

## Concezioni alternative degli studenti di scuola superiore su argomenti di base di Astronomia. Parte 2: ruolo delle immagini di libri di testo

I. Testa

*Dipartimento di Fisica, Università Federico II - Napoli, Italy*

S. Leccia e E. Puddu

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

**Riassunto.** L'articolo presenta i risultati di un'indagine sulle difficoltà di interpretazione di immagini di fenomeni di Astronomia (stagioni, eclissi solari e lunari, fasi della Luna). L'indagine è stata condotta mediante una intervista con 15 domande su immagini caratterizzate da uno o più elementi grafico-testuali che potevano presentare difficoltà interpretative (es. la contemporanea presenza di elementi realistici e astratti o la presenza di più immagini da correlare tra loro). Cinque studenti dell'ultimo anno di liceo scientifico sono stati intervistati. I risultati suggeriscono che le difficoltà presentate da alcune immagini dipendono dal contenuto affrontato mentre, per altre immagini, le difficoltà sono indipendenti dall'argomento trattato. Come principale implicazione, si suggeriscono opportuni criteri per progettare immagini da utilizzare in percorsi didattici centrati su concetti di base di Astronomia.

**Abstract.** This paper presents the results of a study about the difficulties that secondary school students (17-18 years old) may encounter in interpreting images of elementary astronomical phenomena (seasons, solar and lunar eclipses, Moon phases). The study was carried out through a 15-questions interview focused on images with textual-iconic features that could present interpreting difficulties (*e.g.*, the presence of real and abstract entities in the same image or the presence of one or more correlated images). Five students were interviewed. The reported results suggest that, for some images, the difficulties presented by textual-iconic features depend on the addressed content, while for other type of images, the difficulties due to other graphical features are common to the addressed topics. As a primary implication of this study, we suggest some criteria to design images to be used in teaching-learning sequences about basic Astronomy topics.

### 1. Introduzione

Le moderne tecnologie digitali (implementate su computer portatili, tablet, lavagne multimediali) hanno introdotto una nuova modalità di comunicazione, grazie alle possibilità pressoché illimitate, che offrono, di creazione e manipolazione di immagini anche da parte di “non addetti ai lavori”. Tutta l'attuale società dell'informazione, a partire dagli spazi virtuali dei social network, scambia informazioni mediante immagini ed anche la *comunicazione educativa* comincia ad usare questi mezzi innovativi.

Nella didattica delle Scienze, il ruolo delle rappresentazioni grafiche e simboliche è ben consolidato: tutti i libri di testo, a partire dalle scuole primarie fino alle superiori, fanno largo uso di immagini che cercano di catturare l'attenzione degli studenti

spiegando al contempo i concetti presentati. Nella didattica della Fisica in particolare, è praticamente impossibile affrontare oggi <sup>(1)</sup> molte aree di contenuto di base senza l'uso di rappresentazioni grafiche. La necessità di utilizzare immagini costringe ad acquisire nuove competenze ed abilità riguardo ai linguaggi visivi sia da parte dei docenti che degli studenti: i primi devono essere in grado di gestire diversi tipi di immagini, con diverse modalità e su diversi piani semantici, mentre i secondi devono acquisire nuove e più complesse competenze cognitive per sfruttarne al meglio il potenziale [1–4].

Pertanto, la ricerca sulle difficoltà incontrate dagli studenti nella comprensione ed interpretazione di immagini su tematiche scientifiche è di particolare importanza, poiché i risultati possono essere utili per migliorare l'efficacia nella pratica scolastica del linguaggio visivo in generale.

Questo è il secondo articolo che illustra lo studio condotto dai gruppi di ricerca didattica dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte e del Dipartimento di Fisica di Napoli sulle concezioni alternative degli studenti di scuola superiore riguardanti argomenti di base di Astronomia (come l'alternarsi delle stagioni, le eclissi solari e lunari, le fasi della Luna). Nel primo articolo abbiamo indagato il ruolo dell'istruzione formale ricevuta dagli studenti durante il ciclo di studi di scuola secondaria superiore. In questo lavoro tratteremo in modo specifico il ruolo delle immagini comunemente presenti nei libri di testo di Geografia Astronomica. Nella prima sezione descriveremo un quadro teorico generale per analizzare immagini e rappresentazioni grafiche, nella seconda sezione passeremo in rassegna i lavori di ricerca che hanno affrontato il tema delle immagini in Astronomia di base. Nella terza sezione, descriveremo l'intervista utilizzata nello studio. Infine, riporteremo i risultati delle interviste condotte con cinque studenti di scuola superiore e discuteremo le possibili implicazioni per la didattica dell'astronomia.

## 2. Quadro teorico per l'analisi delle immagini in campo didattico

Il crescente utilizzo di immagini o rappresentazioni grafiche nell'insegnamento pone il problema della comprensione del cosiddetto "linguaggio visivo", che possiede funzioni e struttura del tutto analoghe a quelle del linguaggio verbale [5, 6]. La conoscenza del linguaggio visivo permette di comunicare in modo adeguato e aiuta ad acquisire nuove informazioni. Come già accennato, nell'ambito della didattica delle Scienze, il linguaggio visivo si affianca a modalità della comunicazione scientifica più tradizionali come il linguaggio verbale e quello dei segni o *matematico* [3, 7, 8].

Le caratteristiche delle immagini utilizzate in didattica variano secondo il livello scolastico: immagini figurative che rappresentano idee o concetti scientifici sono

<sup>(1)</sup> Storicamente, l'uso di immagini in Fisica non sempre è stato visto di buon occhio: nella prefazione al testo 'Lectures on Theoretical Physics', A. Sommerfeld riferisce che Lagrange era molto orgoglioso che in tutta la sua opera non vi fosse alcuna figura.

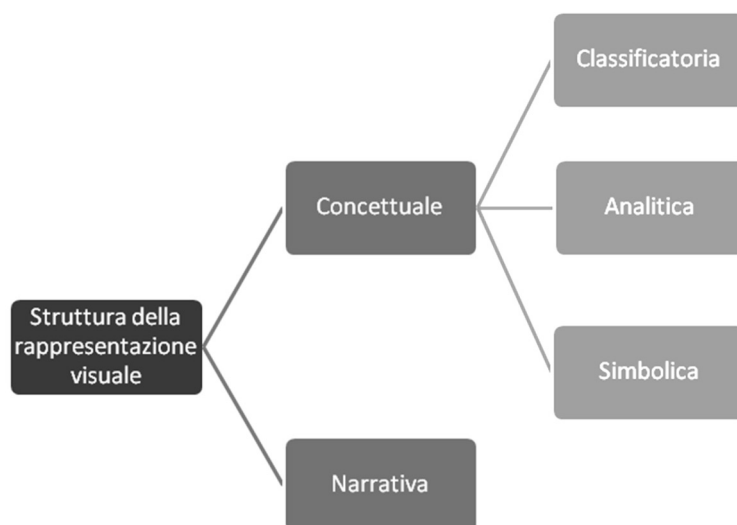


Fig. 1. – Tipi di strutture di rappresentazioni visuali.

per lo più utilizzate a livello di scuola primaria e scuola media, quando gli studenti hanno ancora una scarsa padronanza del linguaggio matematico. Man mano che si avanza con il livello scolastico, fino all'istruzione universitaria, la comunicazione scientifica utilizza immagini sempre più schematiche e caratterizzate da termini più tecnici. È chiara, quindi, la necessità di insegnare agli studenti a decodificare il linguaggio visivo presente nelle immagini in modo da poterne interpretare correttamente il contenuto [6].

Secondo diversi autori [3, 4, 9], i testi scientifici, in generale, possono essere considerati *multimodali*, cioè presentano diverse *modalità (verbale, matematica e visuale)*, che interagiscono tra loro per esprimere i concetti principali da comunicare [3, 10]. Ad esempio, una delle modalità integrate più utilizzate è quella verbale-visuale, dove un testo è accompagnato da uno o più grafici cartesiani che ne dettagliano il contenuto [11]. Un ulteriore esempio è quello delle illustrazioni in cui la modalità privilegiata è quella visuale, che semplifica il concetto mostrandone solo le caratteristiche principali.

Il proliferare di fotografie, disegni, diagrammi nei libri di testo scolastici non garantisce una maggiore efficacia nel comunicare i concetti scientifici. Spesso, infatti, la funzione esplicativa che tradizionalmente è loro attribuita può essere stravolta in virtù di una struttura complessa che può ostacolarne l'interpretazione [12]. Ad esempio, in alcuni studi è stato rilevato che gli studenti considerano più utili alla comprensione dei concetti scientifici i diagrammi e non le fotografie, che a volte nascondono messaggi impliciti non facilmente decodificabili [13]. Altri studi ancora mostrano che, in molte occasioni, le immagini producono un effetto contrario a quello che gli autori si prefiggono [14, 15].

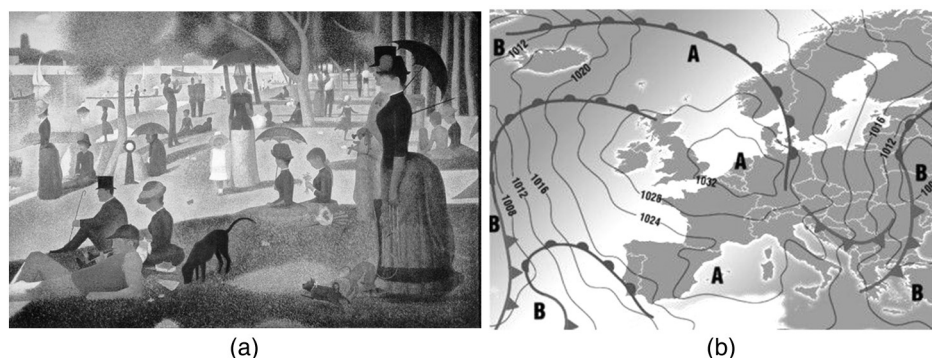


Fig. 2. – a) Rappresentazione narrativa di tipo naturalistico (Una domenica pomeriggio sull'isola della Grande-Jatte, Georges-Pierre Seurat). b) Rappresentazione narrativa di tipo astratto (curve isobare utilizzate nelle previsioni del tempo).

Nell'ambito del Progetto STTIS (Science Teacher Training in an Information Society <sup>(2)</sup>), è stato sviluppato un quadro di riferimento teorico per l'analisi delle immagini ispirato ai lavori di Kress e Van Leeuwen [6] secondo cui esistono due tipi di strutture di rappresentazione visuale, una *narrativa* e una *concettuale* (fig. 1):

La rappresentazione narrativa raffigura una sorta di “transazione tra partecipanti ad una relazione transitoria” e può essere “naturalistica”, ad esempio un quadro che rappresenta un ben determinato momento di una giornata (fig. 2a), o “astratta”, ad esempio le curve isobare che indicano le condizioni meteorologiche in un determinato giorno (fig. 2b).

La rappresentazione concettuale raffigura invece delle relazioni “permanenti o caratteristiche fisse” che mostrano come l'ente rappresentato possa essere classificato all'interno di un insieme di oggetti simili. Anche tali rappresentazioni possono essere “naturalistiche”, ad esempio un disegno realistico di un oggetto che richiama l'attenzione sulle sue principali caratteristiche (fig. 3a) o “astratto”, ad esempio il diagramma che indica come funziona un circuito elettrico (fig. 3b).

Le rappresentazioni concettuali sono di tre tipi principali: *classificatorie*, *analitiche*, *simboliche*. Le rappresentazioni classificatorie definiscono una relazione o una tassonomia tra gli elementi rappresentati; esempi tipici sono le strutture ad albero che raffigurano la struttura gerarchica di un'organizzazione. Le rappresentazioni analitiche definiscono una relazione o struttura di tipo *parte-tutto*; esempi tipici sono le mappe stradali. Le rappresentazioni simboliche definiscono una relazione in base ad un significato fornito dal lettore stesso; esempi tipici sono i quadri espressionisti o le equazioni matematiche.

La possibilità di combinare insieme tutti questi diversi tipi di rappresentazioni comporta difficoltà nell'interpretazione del messaggio codificato all'interno dell'imma-

<sup>(2)</sup> Maggiori informazioni possono essere trovate sul sito <http://www.crecim.cat/projectes/websttis/index.html>

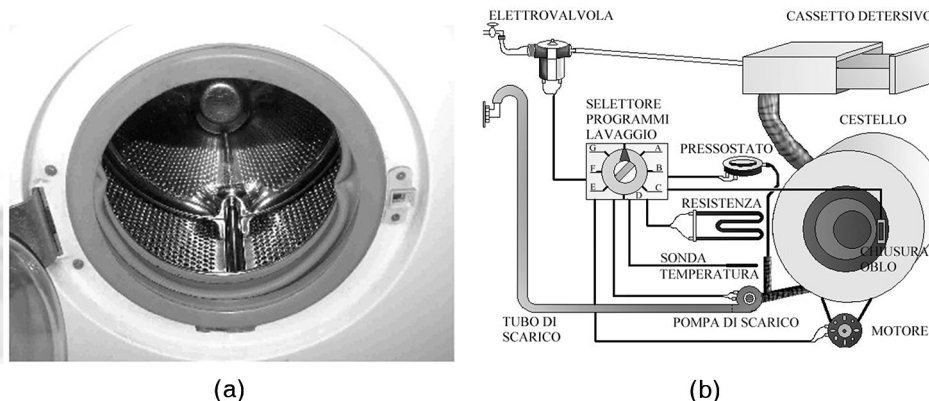


Fig. 3. – a) Rappresentazione concettuale di tipo naturalistico (foto del cestello di una lavatrice). b) Rappresentazione concettuale di tipo astratto (schema astratto di una lavatrice).

gine. I risultati della ricerca del progetto STTIS [16–19] hanno condotto alla definizione delle seguenti categorie di caratteristiche grafico-testuali che possono presentare difficoltà interpretative nella lettura di documenti contenenti immagini:

1. presenza di elementi che rappresentano sia entità del mondo reale sia entità schematiche o simboliche (*R/S*)
2. presenza di elementi da evidenziare o selezionare concettualmente (*SEL*)
3. presenza di simboli che richiedono un’opportuna lettura in quanto esempi di sinonimia, omonimia e / o polisemia (*SYM*)
4. presenza/assenza di elementi verbali da leggere come una parte importante dell’immagine, come ad esempio le didascalie (*VER*)
5. presenza di più immagini relazionate tra loro (*INT*)
6. presenza di strutture compositive che richiedono l’interpretazione di diverse rappresentazioni (*CST*).

Le categorie *R/S*, *SEL*, *SYM* e *VER* raggruppano le caratteristiche *locali* dell’immagine, con un significato che è indipendente dalla specifica immagine in cui sono utilizzati (ad esempio la scritta “m/s” in un grafico cartesiano indica sempre l’unità di misura della velocità, indipendentemente dall’andamento del grafico rappresentato). Invece, le categorie *INT* e *CST* raggruppano caratteristiche *globali* dell’immagine, con un significato che dipende dall’immagine in cui sono utilizzati (ad esempio uno specifico grafico  $s(t)$  ed uno  $v(t)$  che si riferiscono allo stesso moto). Proprio in virtù del loro legame con ragionamenti di tipo locale o globale, dalle interviste condotte con gli studenti e gli insegnanti, è emerso che le difficoltà interpretative legate alle caratteristiche sopra elencate sono principalmente dovute a idee ingenuie, strategie di ragionamento e modelli mentali legati al senso comune o conoscenza innata [20], che agiscono come delle “lenti” inconsapevolmente utilizzate nella lettura di un’immagine.

Il quadro teorico su descritto ha permesso di spiegare ben note difficoltà degli studenti nell’interpretazione di grafici cinematici [21] e di immagini riguardanti l’ottica

geometrica [22]. Alla luce dei risultati ottenuti in precedenza, adotteremo il quadro di riferimento anche per l'analisi delle immagini di fenomeni astronomici di base.

### 3. Ricerche precedenti sulle immagini riguardanti fenomeni astronomici

Come discusso nel precedente articolo, molti sono stati gli studi che hanno analizzato le difficoltà degli studenti nella comprensione dei fenomeni astronomici (si vedano le rassegne [23, 24]). Tuttavia, pochi studi hanno focalizzato la loro attenzione sulle difficoltà potenzialmente dovute all'interpretazione delle rappresentazioni iconiche di questi fenomeni nei libri di testo [25–27]. Queste rappresentazioni sono spesso complesse o ambigue, in quanto rappresentazioni bidimensionali di fenomeni che avvengono nello spazio tridimensionale. Collocare oggetti o enti nella loro posizione corretta all'interno di un sistema tridimensionale di coordinate cartesiane è di grande importanza per la comprensione dei concetti astronomici.

In generale, gli studenti che producono rappresentazioni grafiche non corrette di un fenomeno astronomico possiedono plausibilmente modelli mentali errati dal punto di vista scientifico del fenomeno stesso [28–31]. Purtroppo, come accade anche per altre aree disciplinari [32], le immagini dei libri di testo che accompagnano la trattazione teorica dei fenomeni astronomici di base, presentano numerosi ostacoli interpretativi. In tabella I riportiamo, a titolo di esempio, la categorizzazione di alcune immagini comunemente utilizzate nei libri di testo di Astronomia secondo il quadro di riferimento sopra descritto. La tabella I suggerisce che molte immagini utilizzate nei libri di testo di Astronomia possono presentare difficoltà interpretative per gli studenti.

Lo scopo dello studio riportato in questo articolo è quindi indagare eventuali relazioni tra le difficoltà interpretative delle immagini e le spiegazioni degli studenti di fenomeni astronomici di base. La domanda di ricerca che ha guidato la nostra indagine può essere così sintetizzata: *in che modo le immagini di fenomeni astronomici di base influenzano le spiegazioni degli studenti di tali fenomeni?*

### 4. Strumento di ricerca

Per rispondere alla domanda di ricerca è stata progettata una intervista in cui è chiesto agli studenti di rispondere a delle domande basate su immagini comuni riguardanti tre fenomeni astronomici di base: alternanza delle stagioni, eclissi di Luna e Sole, fasi lunari. La ragione di tale scelta è che la gran parte delle immagini presenti nei libri di testo riguarda questi fenomeni. Inoltre, come già accennato, precedenti ricerche in didattica hanno mostrato che gli studenti, per spiegare questi fenomeni, utilizzano ragionamenti non corretti ed idee ingenuie anche dopo un'istruzione formale.

L'intervista consta di 15 domande aperte, 12 delle quali presentano immagini. Tre domande senza immagine richiedono allo studente di spiegare con parole proprie i fenomeni indagati (domanda 1, 6, 11). Le immagini sono di due tipi, egualmente suddivise tra immagini da libri di testo (domanda 2, 7, 9, 10, 14, 15) ed immagini

TABELLA I. – categorizzazione di alcune immagini di fenomeni astronomici di base.

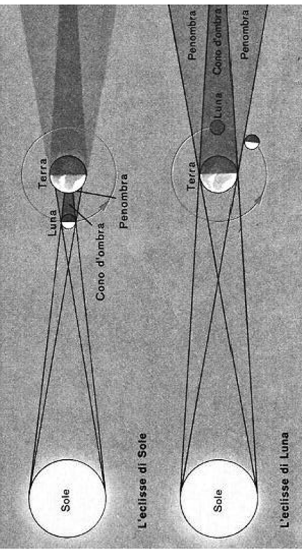
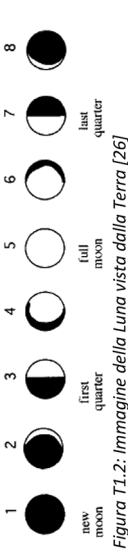
Immagine	Descrizione della difficoltà	Categoria
 <p data-bbox="735 1294 778 1693">Figura T1.1: Condizioni per le eclissi di Sole e di Luna <a href="http://planet.racine.ra.it/testi/sole3.htm">http://planet.racine.ra.it/testi/sole3.htm</a></p>	<p data-bbox="384 450 448 1128">Il modello Sole / Terra / Luna presenta i tre corpi sempre allineati in modo tale che la posizione della Luna piena (nuova) è la stessa di quella che dà luogo ad un'eclissi di Luna (Sole).</p> <p data-bbox="518 450 635 1128">Le indicazioni dell'angolo tra eclittica e piano dell'orbita della Luna (<math>5^{\circ} 9'</math>) e dell'inclinazione dell'asse della Luna rispetto al piano della sua orbita (<math>1^{\circ} 32'</math>) sono omesse.</p> <p data-bbox="655 920 678 1128">Orbita della Luna circolare.</p>	<p data-bbox="384 450 448 831"><b>SEL:</b> occorre saper distinguere tra due posizioni della Luna che in due dimensioni sono identiche ma che nello spazio sono diverse</p> <p data-bbox="655 450 724 831"><b>CST:</b> occorre selezionare le posizioni della Luna sulla sua orbita che danno luogo effettivamente ad eclissi</p>
 <p data-bbox="970 1272 991 1693">Figura T1.2: Immagine della Luna vista dalla Terra [26]</p>	<p data-bbox="751 869 794 1128">Dimensioni della Luna rispetto alla Terra.</p>	<p data-bbox="751 450 794 831"><b>CST:</b> occorre riconoscere che in realtà il diametro della Luna è 0.27 volte quello terrestre</p> <p data-bbox="890 450 932 831"><b>SEL:</b> Occorre ricostruire le condizioni per le diverse fasi rappresentate</p>

TABELLA I. – *Continued.*

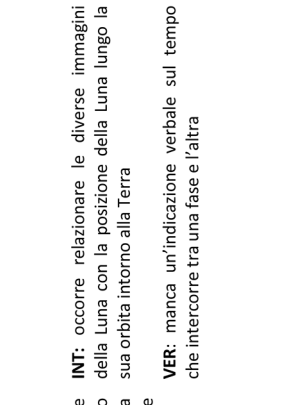
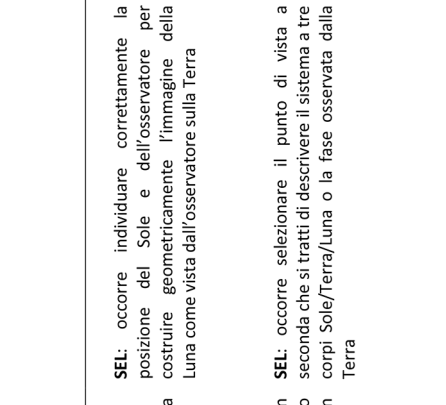
	<p>Le fasi della Luna sono rappresentate tutte insieme (4 o 8) su un cerchio ideale della durata di un mese senza alcuna indicazione del tempo che intercorre tra due fasi consecutive.</p> <p><b>INT:</b> occorre relazionare le diverse immagini della Luna con la posizione della Luna lungo la sua orbita intorno alla Terra</p> <p><b>VER:</b> manca un'indicazione verbale sul tempo che intercorre tra una fase e l'altra</p>
	<p>La posizione del Sole non è indicata</p> <p><b>SEL:</b> occorre individuare correttamente la posizione del Sole e dell'osservatore per costruire geometricamente l'immagine della Luna come vista dall'osservatore sulla Terra</p> <p>Le fasi sono disegnate nel modo in cui sono viste dalla Terra ma il punto di vista dell'immagine è di un osservatore nello spazio.</p> <p><b>SEL:</b> occorre selezionare il punto di vista a seconda che si tratti di descrivere il sistema a tre corpi Sole/Terra/Luna o la fase osservata dalla Terra</p>

Figura T1.3: Relazione tra la durata delle fasi lunari e le settimane del mese [26]

Figura T1.4 Susseguirsi delle fasi della Luna [25]



TABELLA I. – Continued.

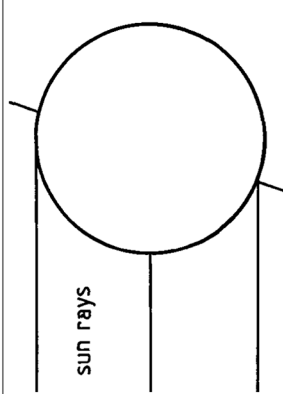
 <p>Differente "lunghezza" dei raggi solari al Polo e all'equatore implica una distanza delle zone equatoriali dal Sole "apparentemente" minore rispetto alle regioni polari con conseguente differenza di temperatura tra Polo ed Equatore.</p> <p><b>CST:</b> occorre riconoscere che la prospettiva dell'immagine è esagerata in modo da evidenziare l'inclinazione dell'asse terrestre e che l'effetto della diversa distanza dal Sole sulla temperatura delle due regioni della Terra è del tutto trascurabile</p>	<p>Le quattro stagioni sono mostrate tutte insieme nello stesso diagramma con la conseguenza che il Sole sembra essere al centro dell'orbita di quattro Terre diverse.</p> <p><b>INT:</b> occorre relazionare le diverse immagini della Terra in stagioni diverse con la posizione della Terra lungo la sua orbita intorno al Sole</p> <p>L'orbita della Terra è raffigurata (nel tentativo di condensare in 2D elementi significativi in 3D) da una visuale quasi frontale, introducendo una falsa eccentricità.</p> <p><b>CST:</b> occorre riconoscere che l'orbita è quasi circolare (come apparirebbe, se la guardassimo dall'alto) nella realtà</p>
--	--

Figura T1.5: Distribuzione non uniforme della radiazione solare sulla superficie sferica della Terra [27]

Figura T1.6: Alternarsi della Stagioni

<http://www.espressonline.net/notizie/popscienza/118-rubrica-lo-sai-che-le-stagioni.html>

TABELLA II. – *Categorizzazione delle immagini presenti nell'intervista.*

Principali caratteristiche grafico-testuali	Frequenza nell'intervista
1. R/S	Domanda 4, Domanda 5 (Stagioni); Domanda 8 (Eclissi), Domanda 14, Domanda 15 (Fasi)
2. SEL	Domanda 7, Domanda 9, Domanda 10 (Eclissi); Domanda 14, Domanda 15 (Fasi)
3. SYM	Domanda 3 (Stagioni); Domanda 10 (Eclissi)
4. VER	Domanda 2, Domanda 3, Domanda 4 (Stagioni); Domanda 10 (Eclissi); Domanda 13 (Fasi)
5. INT	Domanda 4, Domanda 5 (Stagioni); Domanda 12, Domanda 14, Domanda 15 (Fasi)
6. CST	Domanda 2, Domanda 3 (Stagioni); Domanda 7, Domanda 8, Domanda 9, Domanda 10 (Eclissi)

appositamente progettate per l'intervista (domanda 3, 4, 5, 8, 12, 13). In tabella II riportiamo la categorizzazione delle immagini utilizzate nell'intervista secondo il quadro di riferimento adottato. In base alla tabella si evince che l'item *stagioni* e l'item *eclissi* sono descrivibili con cinque principali caratteristiche grafico-testuali, l'item *fasi* con quattro. Di seguito riportiamo le domande dell'intervista, discutendone in dettaglio alcune

#### Item *stagioni*

##### Domanda 1

*“Sapendo che la Terra gira intorno al Sole con periodo di un anno, che cosa causa le stagioni? Motiva la tua risposta”*

##### Domanda 2

Per indagare se le tipiche immagini dell'orbita terrestre intorno al Sole possono indurre l'idea non corretta che l'alternarsi delle stagioni sia dovuto alla differente distanza tra Sole e Terra, è presentata l'immagine di fig. 4 con la seguente domanda:

*“Osserva attentamente l'immagine seguente. Secondo te è possibile individuare la posizione della Terra quando in Italia è estate o inverno a partire da questa immagine? Se sì, segna le due posizioni con una crocetta e un cerchio, rispettivamente. Se no, spiega perché”*

L'immagine presenta un'orbita ellittica con eccentricità estremamente accentuata rispetto alla realtà. L'obiettivo della domanda è quello di indagare se la struttura compositiva dell'immagine (*CST*) può provocare difficoltà nell'interpretazione delle stagioni da parte degli studenti. Inoltre, vi sono alcuni elementi verbali (*VER*) come “Terra”, “orbita terrestre” e “23° 27'” che dovrebbero aiutare gli studenti a rispondere correttamente. Una tipica risposta non corretta è indicare che l'estate o l'inverno si

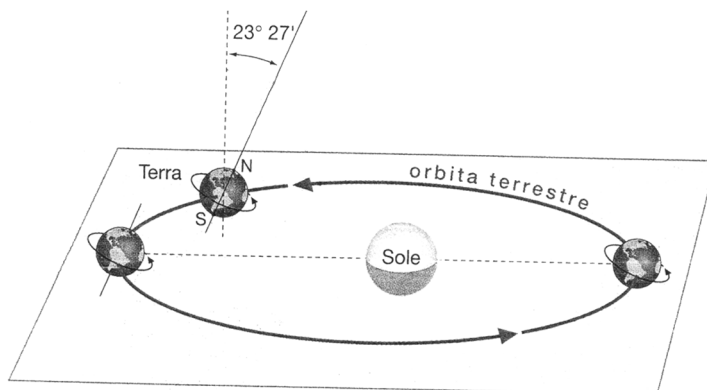


Fig. 4. – Immagine utilizzata nella domanda 2 dell'intervista sul fenomeno delle stagioni.

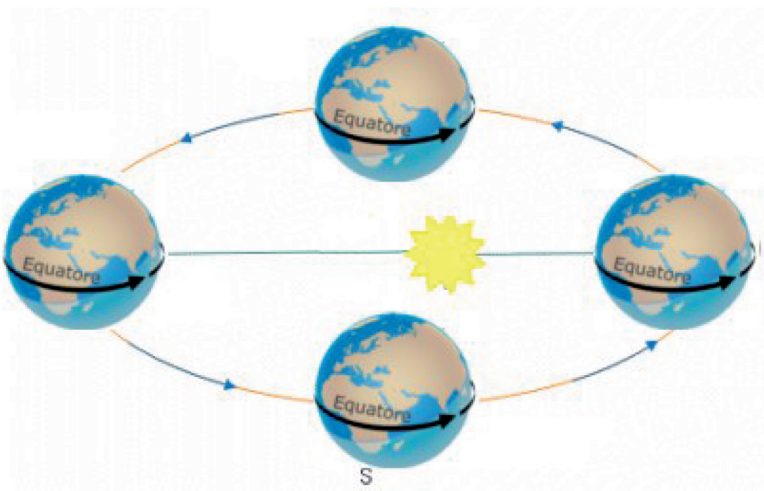


Fig. 5. – Immagine utilizzata nella domanda 3 dell'intervista sul fenomeno delle stagioni.

verificano in base alla posizione della Terra sulla sua orbita; in realtà, essendo l'orbita quasi circolare, qualunque posizione della Terra su di essa sarebbe equivalente, se l'asse di rotazione terrestre non fosse inclinato.

### Domanda 3

Per indagare il ruolo attribuito dagli studenti all'inclinazione dell'asse della Terra rispetto all'orbita terrestre nelle rappresentazioni astratte del sistema Terra-Sole, è presentata l'immagine di fig. 5 con la seguente domanda:

*“Osserva attentamente l'immagine seguente. Secondo te è possibile individuare la posizione della Terra quando in Italia è estate o inverno a partire da questa immagine? Se sì, segna le due posizioni con una crocetta e un cerchio, rispettivamente, e motiva la tua scelta. Se no, spiega perché”*

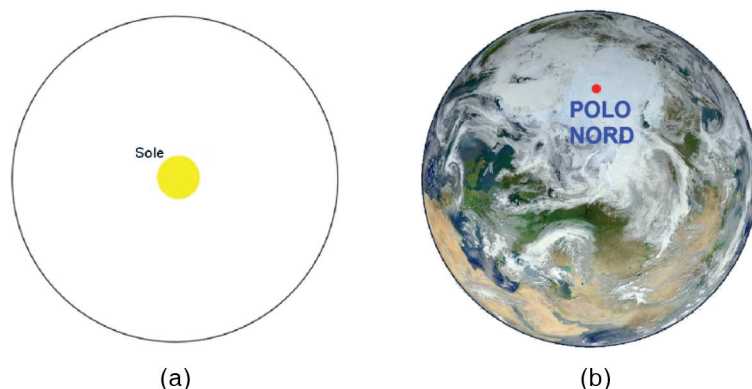


Fig. 6. – a) Schema dell’orbita Terrestre utilizzata nella domanda 4 dell’intervista sul fenomeno delle stagioni. b) Foto della Terra utilizzata nella domanda 4 dell’intervista sul fenomeno delle stagioni.

L’immagine presenta difficoltà iconiche simili a quelle dell’immagine in fig. 4 (*CST*). Le due immagini differiscono per l’assenza nella seconda immagine dell’inclinazione dell’asse terrestre e per la presenza della scritta “Equatore” sulle Terre rappresentate (*VER*). Inoltre, sono presenti due frecce (*SYM*), una che indica il verso di rotazione della Terra intorno a stessa (più spessa), l’altra che indica il verso di rotazione della Terra intorno al Sole (più sottile). L’utilizzo di una tale immagine ha come obiettivo di indagare quale ruolo gli studenti attribuiscono all’inclinazione dell’asse terrestre nella spiegazione dell’alternarsi delle stagioni. L’indicazione esplicita dell’equatore e del verso di rotazione dovrebbe aiutare gli studenti a riconoscere che l’asse in questo caso sarebbe perpendicolare all’orbita e, quindi, l’assenza del fenomeno delle stagioni (l’incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre è la stessa durante tutto l’anno).

#### Domanda 4

Per indagare in un diverso contesto iconografico il ruolo che gli studenti attribuiscono alla distanza Terra-Sole e all’inclinazione dell’asse Terrestre nel fenomeno delle stagioni, sono presentate le immagini di fig. 6a e 6b con la seguente domanda:

*“Osserva la fig. 6a. Posiziona, usando una crocetta, la Terra (esattamente così come è rappresentata in grande in fig. 6b) sulla sua orbita intorno al Sole quando in Italia è estate ed inverno.”*

L’immagine non è comunemente presente nei libri di testo scolastici; quasi mai, infatti, l’orbita terrestre è rappresentata con una circonferenza. Inoltre, non è usuale utilizzare un’immagine realistica della Terra e posizionarla sulla sua orbita schematica (*R/S*). L’elemento verbale “POLO NORD” (*VER*) dovrebbe aiutare gli studenti ad individuare la corretta inclinazione dell’asse terrestre nella visuale dall’alto. Come per la domanda 3, l’immagine ha lo scopo di indagare il ruolo che gli studenti attribuiscono all’inclinazione dell’asse terrestre utilizzando un linguaggio non più solamente concettuale ma semi-naturalistico (si veda anche la domanda 5). Infine, è possibile



Fig. 7. – a) Immagine della Terra utilizzata nella domanda 5 dell'intervista sul fenomeno delle stagioni. b) Schema dell'orbita Terrestre utilizzata nella domanda 5 dell'intervista sul fenomeno delle stagioni.

indagare come gli studenti ricostruiscono il meccanismo delle stagioni a partire da due immagini da correlare tra loro (*INT*).

*Domanda 5*

*“Osserva le fig. 7a e 7b. Indica con una B sull'orbita riportata in fig. 7b la posizione della Terra come rappresentata in fig. 7a quando è estate in Brasile e con una I quando è inverno in Italia. Spiega brevemente la tua risposta”*

*Item eclissi*

*Domanda 6*

*“Che cosa causa le eclissi di Luna e di Sole? Motiva la tua risposta”*

*Domanda 7*

Per indagare se le usuali rappresentazioni del sistema Terra-Luna-Sole possono indurre gli studenti a confondere le fasi della Luna con le condizioni per le eclissi solari e lunari, è riproposta una tipica immagine di libro di testo (fig. 8) modificata in modo opportuno da far emergere eventuali idee non corrette degli studenti. L'immagine è accompagnata dalla seguente domanda:

*“Osserva l'immagine seguente. Cosa si vede dalla Terra nelle 4 situazioni rappresentate?”*

Dall'alto, la prima e la seconda immagine corrispondono rispettivamente ad un'eclissi totale di Sole visibile da alcuni posti della Terra e ad un'eclissi totale di Luna visibile da tutta la parte al buio (notte) della Terra. Le due immagini presentano come ostacolo principale la necessità di riconoscere che i coni d'ombra si formano perché i tre corpi sono allineati nello spazio (*CST*). La terza e la quarta immagine invece sono state costruite appositamente per l'intervista e presentano due situazioni in cui non vi è alcuna eclissi sebbene le posizioni del Sole e della Terra siano apparentemente allineate in 2D (*CST*). La Luna si trova rispettivamente al primo quarto e nella fase di Luna nuova. Si noti che, nella proiezione necessariamente bidimensionale dell'immagine, le posizioni della Luna nell'ultima e nella prima immagine sono uguali. Confrontando

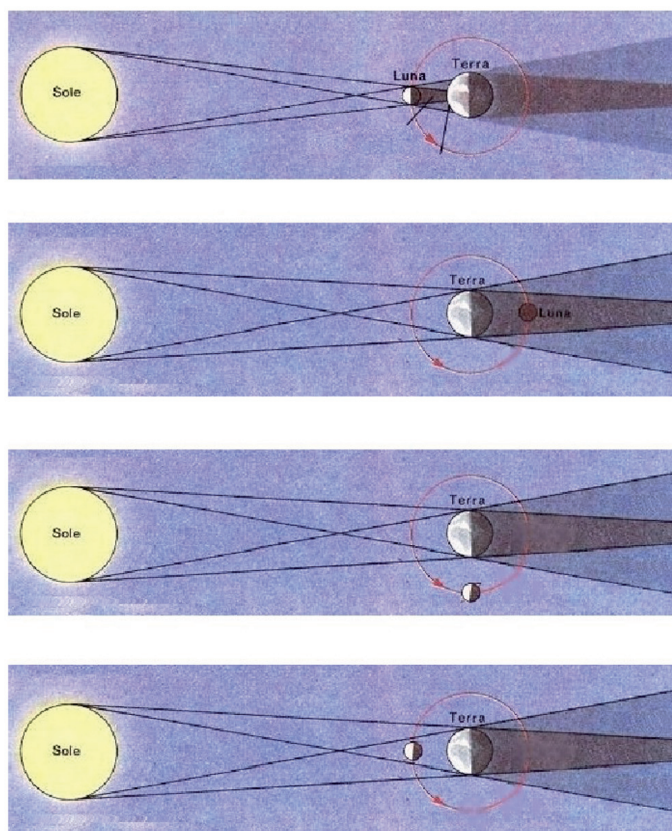


Fig. 8. – Immagine utilizzata nella domanda 7 dell'intervista sul fenomeno delle eclissi di Sole e Luna.

i ragionamenti degli studenti sulla prima e quarta immagine si può indagare il ruolo che gli studenti assegnano al cono d'ombra nelle immagini sulle eclissi (SEL).

#### Domanda 8

“Osserva la fig. 9. Date le posizioni come riportate nell'immagine della Terra e del Sole, posiziona la Luna sulla sua orbita in modo da osservare:

- a) un'eclissi lunare (crocetta a ics)
- b) un'eclissi solare (crocetta verticale)

Spiega brevemente la tua risposta”

#### Domanda 9

“Sulla base della tua risposta alla domanda 7 e riferendoti alla figura 8, spiega come mai le eclissi di Luna sono visibili da un'area maggiore della superficie terrestre (dall'intero emisfero terrestre rivolto alla Luna) mentre quelle solari sono visibili solo da un'area limitata”

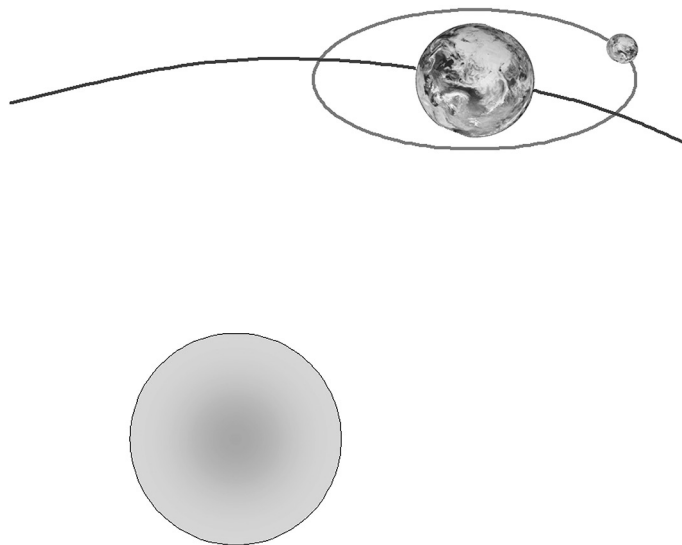


Fig. 9. – Schema dell'orbita della Luna intorno alla Terra utilizzata nella domanda 8 dell'intervista sul fenomeno delle eclissi di Sole e Luna.

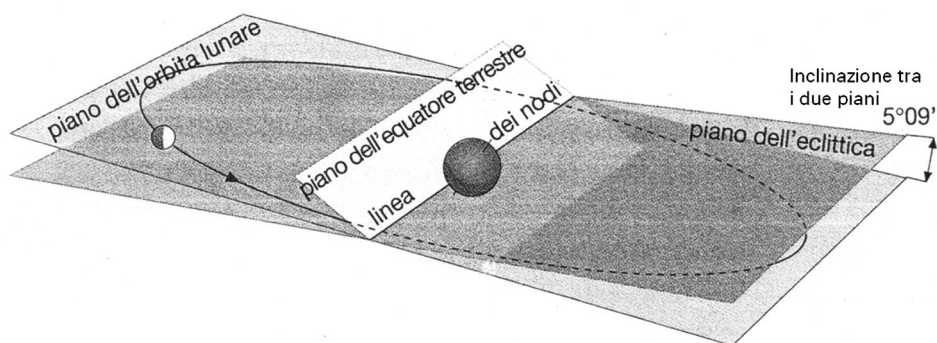


Fig. 10. – Immagine utilizzata nella domanda 10 dell'intervista sull'inclinazione dell'orbita lunare rispetto al piano dell'orbita terrestre.

*Domanda 10*

Per indagare se le immagini tipiche dei libri di testo che riportano le inclinazioni relative tra i piani dell'orbita terrestre e lunare sono realmente utili per comprendere il perché le eclissi di Sole e Luna non avvengano tutti i mesi, è stata proposta l'immagine in fig. 10 con la seguente domanda:

*“Spiega, sulla base della seguente immagine, perché le eclissi lunari e solari non si verificano tutti i mesi”*

L'immagine presenta numerosi ostacoli interpretativi: la rappresentazione prospettica dei due piani contenenti le orbite della Terra e della Luna quasi sovrapposti



Fig. 11. – Immagine utilizzata nella domanda 12 dell'intervista sul fenomeno delle fasi lunari.

che devono essere messi in relazione tra loro (*CST*). Segnaliamo la presenza di numerosi elementi verbali (*VER*) che dovrebbero aiutare a loro volta a selezionare (*SEL*) alcune entità importanti (“linea dei nodi”, “piano dell’equatore terrestre”, “ $5^{\circ} 09'$ ”) per la spiegazione della diversa frequenza delle eclissi di Sole e di Luna. Inoltre sono presenti due frecce, una indicante il verso di rotazione della Luna intorno alla Terra, l'altra l'ampiezza dell'angolo di inclinazione tra i due piani (*SYM*).

Item *Fasi*

*Domanda 11*

“Come saprai esistono le fasi della Luna.

a) cosa causa tali fasi? b) cosa si intende per primo o ultimo quarto? c) cosa si intende per luna calante o crescente? Motiva la tua risposta.”

*Domanda 12*

“Le immagini seguenti mostrano due fotografie della Luna (fig. 11a e 11b). Quanto tempo può essere trascorso tra i due scatti? Quale potrebbe essere la ragione del cambiamento?”

*Domanda 13*

“Alle ore 18 del 4 gennaio 2011, la Luna appariva (dall'Italia) come in fig. 12 (Luna piena). Disegna come appare anche alle 12 e alle 24 dello stesso giorno e alle 06 e alle 12 del giorno dopo (sempre dall'Italia). Motiva la tua risposta”

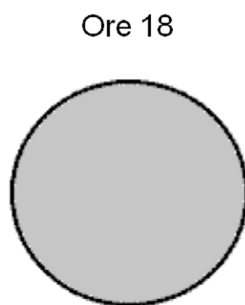


Fig. 12. – Immagine di Luna piena utilizzata nella domanda 13 dell'intervista sul fenomeno delle fasi lunari.



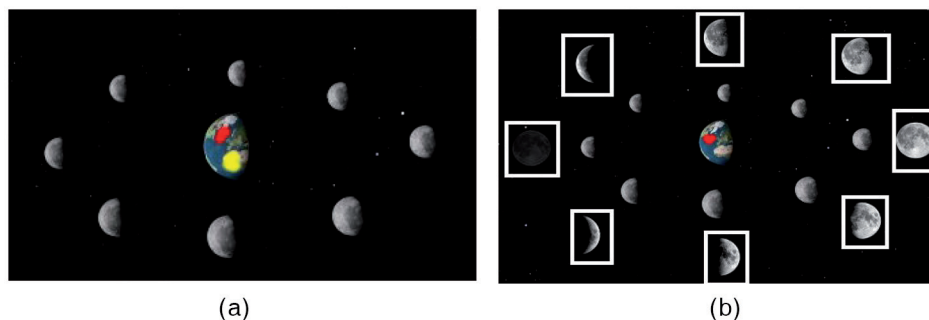


Fig. 13. – a) Immagine utilizzata nella domanda 14 dell’intervista sulla visibilità delle fasi lunari da varie posizioni sulla Terra. b) Immagine utilizzata nella domanda 15 dell’intervista sulle fasi lunari.

#### Domande 14-15

Per indagare se le usuali immagini da libro di testo con le varie fasi della Luna, riportate tutte insieme (*INT*) in maniera schematica o realistica (*R/S*), possono indurre gli studenti in errori di interpretazione del fenomeno delle fasi della Luna, sono state progettate le immagini riportate in fig. 13a e 13b accompagnate rispettivamente dalle seguenti domande:

*Domanda 14: “Spiega, sulla base dell’immagine, qual è la differenza nell’aspetto della Luna osservata dai due luoghi contrassegnati sulla Terra in giallo e in rosso”*

*Domanda 15: “Spiega, sulla base dell’immagine, perché dal punto rosso indicato sulla Terra la Luna ci appare come nei riquadri indicati.”*

L’immagine in fig. 13a può essere utile per indagare se gli studenti pensano che le diverse Lune rappresentate sono effettivamente visibili da diversi punti della Terra, confondendo quindi la disposizione spaziale con la successione temporale delle fasi della Luna. L’immagine in fig. 13b può essere utile per indagare se gli studenti riescono a utilizzare correttamente l’informazione presente nella rappresentazione realistica per spiegare il meccanismo alla base della successione delle fasi della Luna. Inoltre, occorre individuare correttamente la posizione del Sole (*SEL*).

## 5. Metodo e campione

Cinque studenti (2 femmine, 3 maschi) sono stati singolarmente intervistati per questo studio. Gli studenti facevano parte della stessa classe di 23 unità dell’ultimo anno di un liceo scientifico di Napoli; partecipavano alle attività del Piano Lauree Scientifiche 2012-2013 – Fisica, presso l’Osservatorio Astronomico di Capodimonte di Napoli, effettuando misure di ottica geometrica e sperimentando l’uso di un telescopio. Durante le attività non venivano affrontati i concetti oggetto dell’intervista, ma tutti gli studenti li avevano già studiati durante l’anno scolastico in corso nel programma di Geografia Astronomica. La scelta di un campione che aveva già trattato i fenomeni oggetto dell’intervista è giustificata dal fatto che lo studio era rivolto espressamente alle difficoltà sulle immagini e non alle difficoltà concettuali sugli argomenti. Per tale ragione, i cinque studenti sono stati selezionati tra quelli con i voti più alti nelle

TABELLA III. – Frequenza dei ragionamenti degli studenti in base alle caratteristiche delle immagini dell'item Stagioni.

Principali Caratteristiche grafico-testuali	Ragionamenti corretti	Ragionamenti non corretti
R/S	4	6
VER	10	5
INT	3	7
SYM	4	1
CST	8	2

materie scientifiche, inclusa matematica. Ogni intervista, della durata media di 45 minuti, è stata videoregistrata e trascritta. L'analisi delle interviste è stata condotta da due ricercatori che hanno indipendentemente analizzato le trascrizioni con relativi video evidenziando, sulla base del quadro teorico di riferimento, alcuni tratti salienti delle immagini alla base di ragionamenti non corretti da parte degli studenti. Si è quindi proceduto al confronto tra i risultati ottenuti individuando le caratteristiche delle immagini alle quali erano associati ragionamenti corretti o non corretti da parte degli studenti.

## 6. Risultati

### Item Stagioni

In tabella III riepiloghiamo la frequenza con cui gli elementi grafico-testuali presenti nelle immagini delle cinque domande concernenti l'item hanno condotto gli studenti intervistati a ragionamenti corretti o non corretti sul fenomeno dell'alternarsi delle stagioni. Ad esempio, la caratteristica grafica R/S (vedi tabella II) compariva in due domande (4 e 5). Quindi, essendo 5 gli studenti intervistati, abbiamo in totale una frequenza di R/S pari a dieci. In 4 casi su dieci, la caratteristica R/S è associata a ragionamenti corretti.

Dall'analisi delle risposte sembra emergere che per questo item le caratteristiche grafico-testuali abbiano per lo più aiutato gli studenti a rispondere in maniera sostanzialmente corretta. In particolare, la presenza di omonimia di simboli (frecche che rappresentano versi di rotazione e di rivoluzione) solo in un caso ha condotto ad una risposta non corretta. Similmente, caratteristiche verbali ("23° 27'", "equatore") e strutturali (eccentricità dell'orbita terrestre accentata, orbita circolare) delle immagini hanno anch'esse aiutato gli studenti nel produrre un ragionamento corretto. Quando invece vi era la necessità di mettere in relazione rappresentazioni tra loro diverse ma coesistenti nella stessa immagine (es. la Terra staccata dall'orbita; la Terra realistica e l'orbita schematica), gli studenti hanno rivelato ragionamenti ingenui o del tutto non corretti. In Appendice riportiamo alcuni esempi di risposte degli studenti.

TABELLA IV. – Frequenza dei ragionamenti degli studenti in base alle caratteristiche delle immagini dell'item *Eclissi*.

Principali caratteristiche grafico-testuali	Ragionamenti corretti	Ragionamenti non corretti
R/S	5	0
SEL	7	8
SYM	2	3
VER	2	3
CST	13	7

Item *Eclissi*

In tabella IV riportiamo la frequenza con cui gli elementi grafici utilizzati nelle immagini delle domande hanno portato a ragionamenti corretti o non corretti.

L'analisi delle risposte mostra che sono principalmente due le caratteristiche grafico-testuali delle immagini presentate che conducono gli studenti intervistati per lo più a ragionamenti corretti: la presenza della Terra realistica nella domanda 8 e la struttura compositiva che generalmente caratterizza maggiormente le immagini riguardanti le eclissi, cioè l'allineamento tra Luna, Terra e Sole. Questo risultato suggerisce che l'allineamento tra i tre corpi celesti sia un forte attrattore cognitivo che permette agli studenti di ben interpretare le immagini delle eclissi presenti nei libri di testo.

Dalle risposte emerge però la difficoltà nell'interpretare l'immagine della domanda 10, esito tra l'altro facilmente prevedibile: in questa domanda, infatti, vi è un'immagine molto complessa di cui gli studenti hanno avuto difficoltà ad interpretarne le caratteristiche grafiche, plausibilmente perché presentate in una prospettiva tridimensionale. Sebbene possa sembrare un risultato scontato, la nostra categorizzazione ci permette di individuare nella polisemia dei simboli (le orbite tratteggiate, le frecce), e nella necessità di selezionare su quali punti porre l'attenzione (i punti di intersezione tra i due piani d'orbita) le principali difficoltà interpretative di tale immagine. Inoltre, sembra che la presenza dei numerosi elementi verbali in questo caso non aiuti la comprensione dell'immagine. In appendice riportiamo alcuni esempi di risposte degli studenti.

Item *Fasi*

La frequenza con cui le quattro principali caratteristiche grafico-testuali delle immagini delle domande hanno condotto gli studenti a ragionamenti corretti o non corretti è riportata in tabella V.

Dall'analisi dei risultati sembra emergere che gli elementi iconici delle immagini utilizzate durante l'intervista siano stati difficili da interpretare per gli studenti. In particolare, le due immagini (fig. 13a e 13b) con la successione delle otto fasi della luna risultano di difficile interpretazione per la presenza di elementi simbolici (i punti sulla Terra, i riquadri) e realistici (le foto di come appare la Luna nelle sue fasi, la

TABELLA V. – *Frequenza dei ragionamenti degli studenti in base alle caratteristiche delle immagini dell'item Fasi.*

Principali caratteristiche grafico-testuali	Ragionamenti corretti	Ragionamenti non corretti
R/S	1	9
SEL	4	6
VER	3	2
INT	4	11

Terra stessa) che devono anche essere messi tra loro in una qualche relazione. Tale sovrabbondanza di elementi iconici ha plausibilmente condotto gli studenti a non rispondere correttamente alla domanda sul perché le fasi della Luna si vedono come nelle foto riportate. Quando occorre invece mettere in relazione due sole immagini schematiche (come nella domanda 12), gli studenti hanno trovato minori difficoltà. L'elemento verbale nella domanda 13 (*"Ore 18"*) è stato correttamente utilizzato solo da 3 studenti su 5, il che suggerisce che in generale il meccanismo che spiega l'alternarsi delle fasi non è sempre chiaro. Inoltre solo due studenti correttamente individuano la posizione del Sole nell'immagine. Riportiamo in appendice qualche esempio di risposta degli studenti.

## 7. Discussione ed implicazioni didattiche

Riepiloghiamo in tabella VI, per ognuna delle caratteristiche grafico-testuali presenti nelle domande dell'intervista, la frequenza con cui hanno plausibilmente condotto gli studenti a ragionamenti corretti o non corretti negli item dell'intervista.

I risultati, in generale, suggeriscono che le difficoltà presentate da alcune caratteristiche grafico-testuali dipendono dal tipo di contenuto affrontato (stagioni, eclissi o fasi). Ad esempio, le immagini con elementi iconici che mescolano enti naturalistici con enti schematici (R/S) sono risultate difficili da interpretare quando questi riguardavano le fasi della Luna, mentre hanno aiutato gli studenti a ricostruire correttamente il fenomeno delle eclissi.

Al contrario, il mettere in relazione due o più rappresentazioni nella stessa immagine (INT) è risultato sempre difficile per gli studenti, indipendentemente dal tipo di argomento affrontato (stagioni o fasi). Simmetricamente, la struttura compositiva delle immagini sulle stagioni e delle eclissi (CST) ha in generale aiutato gli studenti ad esporre correttamente i concetti oggetto delle domande. A questo proposito, è plausibile ipotizzare che le immagini delle fasi della Luna siano di difficile interpretazione proprio perché mancanti di un'opportuna struttura compositiva che aiuti gli studenti a comprendere il meccanismo alla base del fenomeno.

Le altre caratteristiche grafico-testuali delle immagini dell'intervista quali gli elementi verbali (VER), le sinonimie di simboli (SYM) e gli elementi da indica-

TABELLA VI. – Riepilogo della frequenza dei ragionamenti degli studenti in base alle caratteristiche delle immagini.

Caratteristica grafico-testuale	Ragionamenti Corretti	Ragionamenti non corretti
R/S		
<i>Stagioni</i>	4	6
<i>Eclissi</i>	5	0
<i>Fasi</i>	1	9
INT		
<i>Stagioni</i>	3	7
<i>Fasi</i>	4	11
VER		
<i>Stagioni</i>	10	5
<i>Eclissi</i>	2	3
<i>Fasi</i>	3	2
SYM		
<i>Stagioni</i>	4	1
<i>Eclissi</i>	2	3
CST		
<i>Stagioni</i>	8	2
<i>Eclissi</i>	13	7
SEL		
<i>Eclissi</i>	7	8
<i>Fasi</i>	4	6

re/selezionare (SEL) non provocano difficoltà, sebbene nemmeno aiutino gli studenti nella loro comprensione del fenomeno.

I dati raccolti permettono di individuare alcune specifiche caratteristiche iconiche che giocano un ruolo essenziale nella comprensione dei fenomeni raffigurati nelle immagini presenti nell'intervista. È il caso, ad esempio, dell'accentuata eccentricità dell'orbita della Terra nelle immagini sulle stagioni. In particolare, le rappresentazioni dell'orbita della Terra come ellittica sembrano talmente predominanti al punto di non permettere agli studenti di spiegare l'alternarsi delle stagioni a partire da una presentazione schematica, diversa da quella usuale, in cui la Terra è separata da un'orbita circolare.

Allo stesso modo, l'inclinazione dell'asse terrestre, di solito rappresentata in immagini in 2d, sembra difficile da trasporre in immagini realistiche in 3d, il che spiegherebbe le difficoltà spesso persistenti nell'includere l'inclinazione dell'asse e la conseguente diversa esposizione delle aree della Terra alla radiazione solare nel meccanismo alla base dell'alternarsi delle stagioni. Anche la corretta interpretazione della disposizione della Terra, della Luna e del Sole nelle immagini delle eclissi sembra essenziale. In particolare, la visualizzazione del concetto geometrico dell'allineamento dei tre corpi

TABELLA VII. – Riepilogo della frequenza dei ragionamenti corretti e non corretti in base alle macro-categorie delle caratteristiche grafico-testuale delle immagini dell'intervista.

Macro categoria	Ragionamenti Corretti	Ragionamenti non corretti
Locale (R/S, VER, SYM, SEL)		
<i>Stagioni</i>	18	12
<i>Eclissi</i>	16	14
<i>Fasi</i>	8	17
Globale (INT, CST)		
<i>Stagioni</i>	11	9
<i>Eclissi</i>	13	7
<i>Fasi</i>	4	11

sembra, in generale, aiutare gli studenti a comprendere il meccanismo alla base di questo fenomeno.

In qualche caso, tuttavia, resta la difficoltà di interpretare l'allineamento in tre dimensioni per cui spesso la fase di Luna nuova può essere confusa con un'eclisse solare. C'è da notare invece, che le usuali immagini dei libri di testo non aiutano gli studenti a capire il meccanismo che spiega le diverse frequenze delle eclissi solari e lunari ed il perché le eclissi di Sole siano visibili da regioni più ristrette del globo terrestre. Dalle risposte degli studenti, sembra emergere anche in questo caso che l'allineamento sia il concetto predominante che impedisce di identificare altri elementi dell'immagine (es. i coni d'ombra o l'orbita della Luna) che potrebbero favorire una comprensione più completa del fenomeno.

Infine, per quel che riguarda le fasi della Luna, le caratteristiche grafico-testuali delle immagini utilizzate nell'intervista sono state per lo più degli ostacoli per gli studenti. Risulta chiaramente dalle risposte raccolte che la tipica immagine con le 8 fasi della Luna tutte contemporaneamente raffigurate può causare difficoltà perché l'idea della visione rettilinea è in questo caso predominante. Le 8 lune nei riquadri, inoltre, non chiariscono affatto il meccanismo alla base del diverso aspetto, in quanto nessuno studente, seppur tra i più bravi della classe, è riuscito a spiegare, sulla base delle sole caratteristiche iconiche presenti nell'immagine, l'aspetto della Luna nei diversi riquadri.

Raggruppando le caratteristiche grafico-testuale nelle macro-categorie *locali* e *globali*, è possibile indagare in maniera più quantitativa se le differenze emerse tra le risposte ai tre item dell'intervista sono statisticamente significative.

In tabella VII riportiamo le frequenze dei ragionamenti corretti e non corretti aggregate secondo le macro-categorie. Sebbene le differenze siano statisticamente non significative per entrambe le macro-categorie (Locale:  $\chi^2 = 4.562$ , gradi di libertà = 2;  $p = 0.102$ ; Globale:  $\chi^2 = 5.250$ , gradi di libertà = 2;  $p = 0.070$ ), i risultati suggeriscono tuttavia che l'item *Fasi* abbia presentato difficoltà interpretative maggiori rispetto agli altri due item soprattutto a causa della necessità di dare un opportuno significato agli enti simbolici e realistici presenti nella stessa immagine (punto di vista locale)

e di interpretare correttamente la relazione tra la Terra e le diverse fasi della Luna rappresentate sulla stessa immagine (punto di vista globale).

Da questi risultati è plausibile ipotizzare che, per aiutare gli studenti ad acquisire una più accurata conoscenza dei fenomeni astronomici elementari qui trattati, le immagini utilizzate usualmente nella didattica dell'Astronomia dovrebbero essere cambiate nei seguenti dettagli:

- si dovrebbe evitare di utilizzare le immagini con elementi iconici di diverso tipo (naturalistico e schematico) o con diverse rappresentazioni da relazionare tra loro. Tener separate situazioni diverse può aiutare a superare questo problema
- si dovrebbe favorire l'utilizzo di immagini con strutture compositive che facilitino la modellizzazione in maniera corretta, focalizzandosi sulla geometria e sul meccanismo del fenomeno
- se utilizzati, elementi verbali o iconici simbolici con possibili significati diversi devono essere ben indicati ed integrati nell'immagine; inoltre, sarebbe opportuno fornire chiavi di lettura per la decodifica corretta
- si dovrebbe limitare la presenza di caratteristiche grafiche nascoste/implicite, che devono essere riconosciute/identificate, per poter interpretare correttamente l'immagine
- si dovrebbe evitare di confondere una sequenza temporale con una sequenza spaziale
- si dovrebbe evitare di inserire troppi elementi iconici che rappresentano diversi concetti o idee scientifiche nella stessa immagine.

Infine, la nostra indagine solleva altre questioni, che può essere utile approfondire. Tutte le immagini discusse nell'intervista provengono, o sono ispirate ad altre immagini da libri di testo ampiamente utilizzati nelle scuole superiori. Questi testi oggi puntano molto sull'aspetto della comunicazione visiva dei concetti scientifici. Tali immagini quindi sono, in linea di principio, i casi meno "difficili" perché espressamente costruite per studenti. I risultati suggeriscono che altre immagini ancora più complesse possono presentare una simile serie di difficoltà. Inoltre, l'analisi delle risposte mostra che le difficoltà degli studenti intervistati non sono derivanti da "disattenzione" o altre cause. Lo strumento dell'intervista strutturata permette proprio di eliminare il "rumore di fondo" presente in altri tipi di rilevazione (es. questionari scritti) e di identificare in modo più preciso i ragionamenti degli studenti. Da essi, è stato possibile concludere che gli studenti interpretano le informazioni presenti nelle immagini attraverso delle proprie lenti teoriche, come rilevato anche dagli studi del progetto STTIS. Per la natura dei concetti affrontati, tali lenti sono essenzialmente dei modelli geometrici non corretti o inadeguati per i fenomeni affrontati, come ad esempio: l'ellisse (orbita terrestre nelle immagini sulle stagioni), l'allineamento tra corpi solidi (Sole, Luna e Terra nelle immagini delle eclissi), la visione rettilinea (come appaiono le fasi della Luna). Pur essendo in linea di principio neutrali, quando applicati a contesti specifici come quello dell'Astronomia, questi modelli possono condurre gli studenti a ragionamenti non corretti. Questa evidenza è coerente con i risultati del primo articolo da cui era emerso che le difficoltà degli studenti nello spiegare alcuni fenomeni astronomici comuni erano principalmente legate a ragionamenti non

corretti riguardo concetti di geometria piana o solida e di ottica geometrica (costruzione di immagini e di ombre). Di conseguenza, gli insegnanti dovrebbero spendere più tempo nel discutere con gli studenti di questi modelli e del significato “a priori” che gli studenti stessi possono attribuire alle immagini sulla base dei modelli adottati. Troppo spesso si suppone che le immagini siano trasparenti di per sé, cioè che si possa inferirne il significato semplicemente guardandole o abbellendole con orpelli grafici di vario tipo che invece spesso ottengono l’effetto opposto. Gli strumenti analitici che abbiamo impiegato suggeriscono che ciò non è vero, e questo è tanto più importante in un’area disciplinare come l’Astronomia dove la visualizzazione dei fenomeni fisici è essenziale per la loro comprensione.

In conclusione, lo studio riportato in questo articolo può essere un utile punto di partenza per ricercatori che intendono costruire percorsi didattici in Astronomia basandosi su immagini, sia stampate sia virtuali, come quelle utilizzate in ben noti programmi di simulazione come Stellarium o Celestia.

## Appendice

### *Estratti dalle interviste degli studenti*

#### *Item Stagioni*

Quattro studenti giustificano correttamente l’alternarsi delle stagioni. Ad un esame più attento delle loro giustificazioni, però tutti questi studenti individuano solo un punto preciso dell’orbita in cui è estate o inverno. Ad esempio lo studente M3 risponde:

*M3: Le stagioni sono dovute all’inclinazione asse terrestre rispetto all’orbita ... durante un certo periodo il Sole riscalda di più una parte rispetto all’altra. Questa sarà l’estate in questa parte della Terra (fig. A1) e simmetricamente sarà inverno in quella parte lì (fig. A2)*



Fig. A1

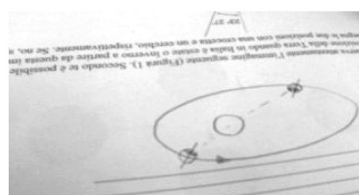


Fig. A2

In questo caso lo studente sembra individuare la posizione della Terra aiutandosi con un asse immaginario che congiunge il Sole perpendicolarmente alla superficie della



Terra. Solo in un caso, una studentessa, F2, non risponde correttamente:

*F2: ... quando si è più vicini al Sole è inverno, le stagioni sono causate dalla precessione degli equinozi ...*

*I: cosa intendi?*

*F2: gli equinozi sono le date in cui il giorno e la notte hanno la stessa durata.. dipende dai raggi del Sole, se arrivano tangenti a quella zona*

*I: Come te lo rappresenti il sistema Sole - Terra?*

*F2: ... dunque.. abbiamo un'orbita ellittica, ma è quasi una circonferenza ...*

*I: come nella figura dopo?*

*F2: ... sì ... .. è una visione di taglio ... abbiamo che è estate quando la Terra è più lontana, è inverno quando la Terra è più vicina*

Da queste risposte, sembra che F2 abbia confuso alcuni concetti riguardanti l'alternarsi delle stagioni e all'asse terrestre, che però non compare nella sua giustificazione. Inoltre, sembra che il ruolo di uno degli elementi verbali presenti nella figura ( $23^\circ 27'$ ) non sia rilevante nella lettura superficiale dell'immagine. Solo quando l'intervistatore richiama l'elemento verbale, F2 giustifica correttamente l'alternarsi delle stagioni:

*I: e come mai qui è inverno e qui è estate? Cosa c'è in questa figura che non abbiamo ancora trattato?*

*F2: uhm.. ah.. questa è la misura dell'inclinazione dell'asse terrestre ... qui la Terra è inclinata ed i raggi del Sole arrivano direttamente sull'emisfero boreale, meno diretti nell'emisfero australe ... è estate perché i raggi solari sono più diretti ....*

*I: cosa causa quindi l'alternarsi di inverno ed estate?*

*F2: ... l'inclinazione dell'asse ... perché l'asse si mantiene parallelo a se stesso ....*

Il riferimento all'asse sembra per questa studentessa comunque confuso. Infatti, nella domanda 3, mentre tutti i quattro studenti che avevano risposto correttamente alle domande 1 e 2 riconoscono che l'immagine (vedi fig. 5) non è corretta e che si avrebbe una sola stagione, F2 risponde:

*F2: ... allora... questa è la zona del perielio (fig. A3) ... quindi dell'inverno perché la Terra è più vicina al Sole... e questa (fig. A4) è la zona dell'afelio ... quindi estate perché la Terra è più lontana*

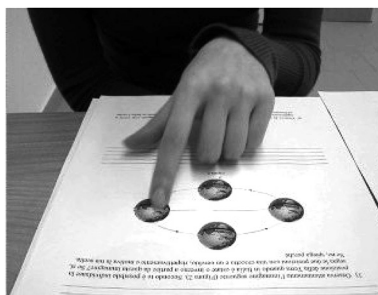


Fig. A3

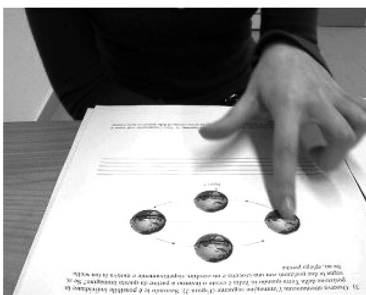


Fig. A4

In questo caso, il ruolo della distanza sembra predominante come se fosse una regola che oscura il ruolo di tutti gli elementi iconici dell'immagine (le frecce che indicano i versi di rotazione e rivoluzione, l'indicazione dell'equatore). Di conseguenza, il ruolo dell'inclinazione che sembrava chiarito dopo la discussione sulla precedente immagine resta marginale nella spiegazione della studentessa. Solo quando l'intervistatore richiama alla mente quanto detto prima, F2 si corregge focalizzandosi su alcuni elementi iconici:

*I: guarda bene la figura ... cosa abbiamo detto che causava le stagioni?...*

*F2: l'inclinazione dell'asse terrestre ... ma qui sembrerebbe perpendicolare.. quindi no..*

*I: disegna l'asse (fig. A5)*

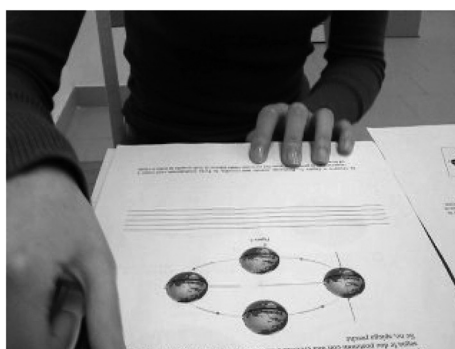


Fig. A5

*F2: ... e quindi questa non è un'immagine realistica..*

*I: che si avrebbe?*

*F2: ... i raggi arriverebbero direttamente all'equatore.. sarebbe sempre l'estate ...*

*I: e altrove?*

*F2: ... sarebbe estate solo all'equatore ci sarebbe estate ....*

In questo caso, l'elemento verbale "Equatore" richiama l'attenzione di F2 e la aiuta ad individuare l'inclinazione dell'asse dell'ipotetica Terra rappresentata, ma al tempo stesso si comporta come un ostacolo concettuale che le impedisce di estendere il suo ragionamento a tutte le regioni della Terra. Inoltre, la relazione tra l'asse ed il piano dell'orbita sembra del tutto marginale nella sua giustificazione.

In questo item, solo uno studente (M2) risponde correttamente ad entrambe le domande che presentano immagini che mescolano elementi naturalistici (foto della Terra) e concettuali (orbita della Terra). M2, infatti, sfruttando l'indicazione verbale "POLO NORD" riesce a ricavare l'inclinazione dell'asse terrestre e a posizionare correttamente sull'orbita la terra "realistica", individuando la posizione della Terra in inverno ed in estate (fig. A6) in base alle informazioni dell'immagine (fig. A7). Da notare che M2 riconosce la quasi circolarità dell'orbita terrestre e non fa alcun riferimento alla distanza Terra-Sole.

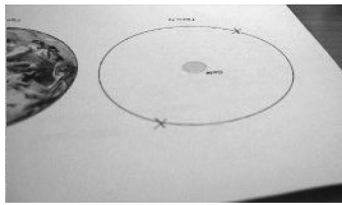


Fig. A6

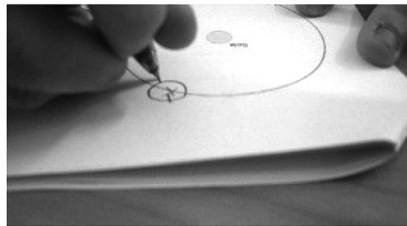


Fig. A7

Il ragionamento corretto è ripetuto anche nella domanda 5. Al contrario, i rimanenti quattro studenti hanno soprattutto difficoltà a ricavare nella domanda 4 l'inclinazione dell'asse Terrestre dall'immagine proposta. Ad esempio la studentessa F1 riconosce che l'asse della Terra deve passare per il Polo Nord e Sud (quindi l'elemento verbale nell'immagine è riconosciuto come centrale) ma ha difficoltà a segnare la posizione della Terra sull'orbita disegnata. L'intervistatore quindi chiede:

*I: che difficoltà trovi?*

*F1: non ho punti di riferimento ...*

*I: che intendi?*

*F1: ....*

*I: facciamo una cosa, posiziona l'asse come te lo immagini in estate ...*

*F1: ... dunque, in estate l'inclinazione è diretta verso il Sole ... (fig. A8) mentre in inverno è così ... (fig. A9)...*



Fig. A8

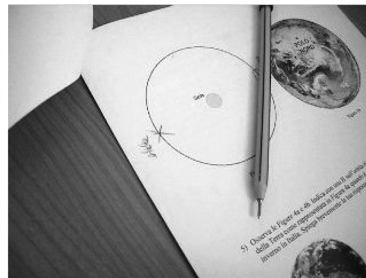


Fig. A9

In questo caso, l'immagine "decostruita" ha permesso di individuare alcuni ragionamenti non corretti sulle stagioni che permangono nonostante in apparenza il meccanismo sia chiaro. Dalle fig. A8 e A9 si vede, infatti, che F1 ruota l'asse della Terra durante il moto di rivoluzione in modo da inclinarlo nel modo che lei pensa sia tale da garantire l'alternarsi dell'inverno e dell'estate. In questo caso, è evidente come, nel meccanismo delle stagioni, sia ancora predominante il concetto di distanza di una regione della Terra dal Sole e non quello della diversa inclinazione con cui arrivano i raggi solari sulla superficie terrestre. Le difficoltà incontrate da F1 nella domanda 4 sono confermate nella sua risposta alla domanda 5. Richiesta di indicare la posizione della Terra quando è estate in Brasile, F1 indica il punto dell'orbita dove

la distanza Terra-Sole, nella prospettiva volutamente esagerata dell'immagine proposta (fig. A10). Allo stesso modo F1 indica come punto dell'orbita corrispondente all'inverno in Italia, il punto più lontano dal Sole lungo l'orbita disegnata (fig. A11).

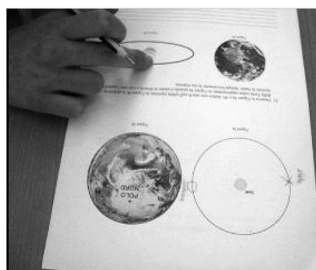


Fig. A10

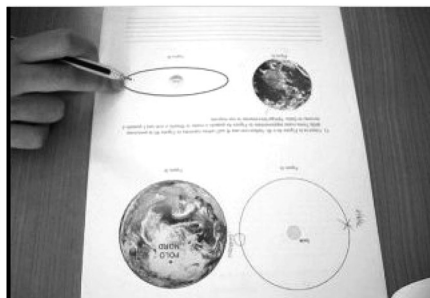


Fig. A11

Anche M3, come M2, sembra rispondere correttamente alla domanda 4 aiutandosi con l'indicazione del Polo Nord terrestre (fig. A12 e A13)



Fig. A12



Fig. A13

Tuttavia la spiegazione rivela qualche punto confuso:

*M3: ... al Polo Nord sarà estate quando i raggi solari saranno più diretti ... al tropico sarà estate quando l'orbita è nel punto più basso ... qui è estate (in basso) e qui è inverno (in alto)*

*I: cosa intendi per punto più basso dell'orbita? Fai un disegno ...*

*M3: Ecco, questo è il punto più alto (fig. A14)... cioè quando proietto l'ellisse ci viene un segmento proiettato quindi la Terra la metto qui ...*

*I: e quando dici che metti qui la Terra, come arrivano i raggi solari?*

*M3: .. quasi perpendicolare all'Equatore.. qui.. quasi sopra ... (fig. A15)*

Da questo scambio emerge chiaramente che il modello matematico dell'ellisse con Terra e Sole puntiformi induca il ragionamento errato basato sulla distanza Terra-Sole. Tale sovrainposizione del modello matematico alla situazione in esame comporta anche la difficoltà ad associare il paese ad un determinato emisfero, cioè per questo studente in un dato emisfero non sempre è estate o inverno.

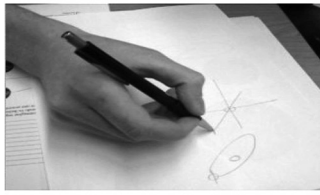


Fig. A14

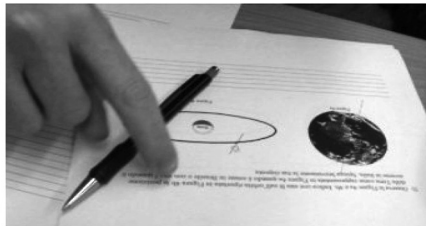


Fig. A15

Da notare infine che F2 risponde alla domanda 5 posizionando la Terra correttamente sull'orbita, ma ha difficoltà nel posizionare la Terra realistica sull'orbita circolare nella domanda 4.

#### Item *Eclissi*

Le immagini utilizzate sembrano essere chiare agli studenti durante l'intervista. In generale, infatti, gli studenti intervistati sono stati in grado di esporre correttamente il meccanismo che spiega le eclissi lunari e solari (domanda 6). Due studenti (F1 e M2) mostrano un ragionamento non corretto.

Ad esempio, per M2, l'immagine stessa non risulta molto chiara come mostra il seguente estratto:

*I: Hai mai visto questa immagine?*

*M2: L'ho vista sui libri delle medie ... nel primo caso i raggi solari vengono coperti dalla Luna.. in una piccola parte della Terra perché la Luna è piccola ... Nella 2) c'è eclisse lunare.. nella 3) abbiamo luna crescente ... nell'ultima c'è un'eclisse di Sole parziale.. cioè si vede tutto il Sole e la Luna che passa davanti ...*

In questo caso sembra emergere una confusione tra l'eclisse e una delle fasi della luna, segno che la rappresentazione utilizzata non riesce a fornire una chiara idea del sistema Luna-Terra-Sole in tre dimensioni. La confusione tra eclisse e fase sembra coesistere anche con l'idea (corretta) della necessità dell'allineamento dei tre corpi celesti (fig. A16 e A17) per avere un'eclissi di Sole e di Luna. In generale, sembra che l'idea dell'allineamento sia chiara a tutti gli studenti che ben ricostruiscono il sistema a tre corpi utilizzando l'immagine realistica della Terra.

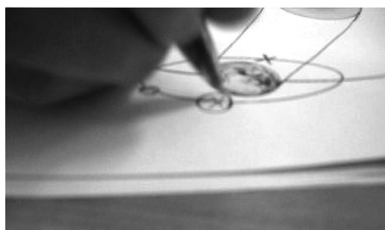


Fig. A16



Fig. A17

Anche per la studentessa F1 l'immagine non è del tutto chiara.

F1: ... in 3) l'immagine è strana perché non c'è allineamento, non c'è eclisse ... , ma in 4) c'è eclisse solare ... la Luna non copre completamente il Sole come nella 1)

Tali difficoltà riemergono, in maniera più frequente, nella domanda 9, nella quale l'immagine con le quattro configurazioni sembra non fornire agli studenti alcun aiuto per giustificare perché le eclissi di Luna sono visibili da un'area maggiore della Terra rispetto a quelle di Sole. In questo caso, la struttura dell'immagine aiuta sì a comprendere che ci deve essere qualche differenza dal punto di vista di un osservatore terrestre riguardo ai due tipi di eclissi, ma non a tutti gli studenti (3 su 5) è chiaro su quale elemento focalizzare l'attenzione (area della Terra). Ad esempio F1 risponde così alla domanda:

F1: in 2) solo una parte della Terra vede l'eclisse Lunare.. ed è la metà oscura.. l'eclisse solare dipende dalle varie angolazioni in cui avviene .... nella 1) l'eclisse solare è visibile ... dipende dall'inclinazione dell'asse ...

mentre F2 correttamente si focalizza sul cono d'ombra:

F2: poiché l'eclisse di Luna è data quando la Luna è in fase di plenilunio e quella di Sole quando la luna è in fase di Novilunio.. accade che i coni d'ombra sono completamente diversi ... in quella di Sole.. il cono d'ombra della Luna è minore del cono d'ombra della Terra ... e quindi diciamo che l'eclissi di Sole si vede da un'area più limitata ... i raggi sono tangenti e si vede ovunque sia buio ...

Infine, solo uno studente (M3) riesce a sfruttare tutte le caratteristiche grafico-testuali dell'immagine della domanda 10 per spiegare come mai le eclissi lunari e solari non accadono tutti i mesi. M3 così risponde:

M3: L'orbita della Luna è inclinata di  $5^\circ$  rispetto a quella della Terra, c'è anche scritto, ... per avere l'eclisse c'è bisogno dell'allineamento e questo avviene solo in due punti di intersezione delle due orbite ...

I: dove?

M3: lì ... dove c'è scritto linea dei nodi (fig. A18)

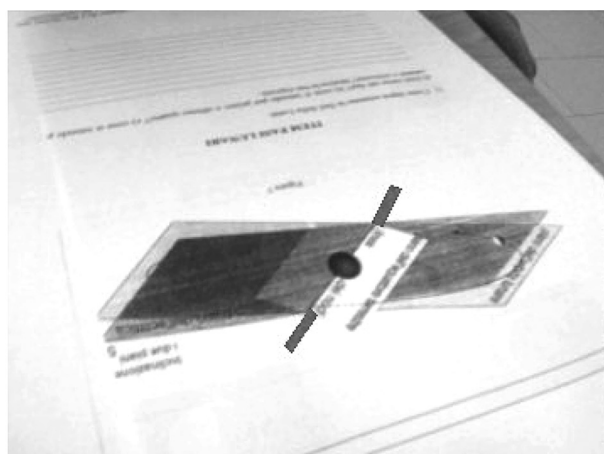


Fig. A18

Per questo studente, l'elemento verbale "5° 09'" ha richiamato alla mente una delle ragioni alla base della frequenza delle eclissi, come anche la scritta "linea dei nodi" che ha richiamato l'allineamento in tre dimensioni. In altri casi, queste informazioni possono non essere oggetto di attenzione da parte degli studenti, come nel caso di M2:

*I: Cos'è che ti è chiaro o non chiaro in questa immagine?*

*M2: lo scuro . . . . Mi sembra l'asse dell'orbita Terrestre .. l'altro meno scuro, grigino, è l'orbita Lunare . . .*

*I: ma ti aiuta l'immagine?*

*M2: mi aiuta perché mi dice che la Luna potrebbe trovarsi in punti diversi . . .*

In questo caso, sembra che l'immagine ponga allo studente delle difficoltà nel selezionare gli elementi chiave per poter essere interpretata.

#### Item Fasi

Solo due studenti danno una spiegazione convincente del fenomeno in generale:

*F2: Le fasi della Luna sono causate dalla rotazione della Luna intorno alla Terra.. la Luna non emette luce propria . . . i raggi solari riflettono sulla superficie della Luna.. le fasi le abbiamo perché la Luna nel novilunio non è illuminata, nel plenilunio è tutta illuminata.. nelle fasi intermedie vediamo solo il 50% della superficie della Luna . . . il Sole illumina la metà della metà . . . quindi un quarto.. ..*

Anche M3 propone un ragionamento simile:

*M3: il Sole illumina metà Luna e a seconda da dove la vediamo, ne vediamo una parte . . . la Luna ruotando intorno a noi la vediamo di più o di meno.. . . in un mese . . . .*

Ma quando richiesto a proposito del nome "primo quarto" risponde:

*M3: Il primo quarto è quando abbiamo un quarto di Luna illuminato.. (fig. A19)*



Fig. A19

Le difficoltà nell'individuare il meccanismo alla base dell'alternarsi delle fasi della Luna sono accentuate dalle immagini nelle domande 14 e 15. Tutti gli studenti alla domanda di quale fase si osserva dai due punti della terra cerchiano quella che giace sulla congiungente tra il punto della Terra e la Fase (fig. A20-A22). Plausibilmente l'idea di come un oggetto è "visto" da un osservatore (cioè lungo una traiettoria rettilinea) è preponderante rispetto al fatto che da tutta la Terra, in una data giornata, si osservi solo una fase della Luna, ragionamento che era invece correttamente emerso dalle domande 12 e 13 che però presentavano immagini con molti meno ostacoli iconici.

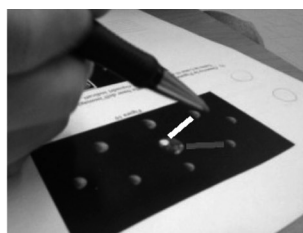


Fig. A20

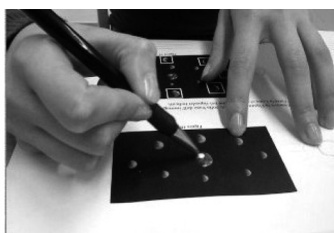


Fig. A21

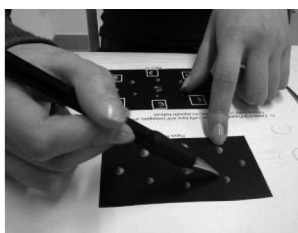


Fig. A22

### Bibliografia

- [1] LEINHARDT G., ZASLAVSKY O. e STEIN M. K., *Rev. Educ. Res.*, **60** (1990) 1.
- [2] BERG C. A. e PHILLIPS D. G., *J. Res. Sci. Teach.*, **27** (1994) 803.
- [3] KRESS G. e VAN LEEUWEN T., *Modes of Representation and Local Epistemologies* (University of London, London) 1998.
- [4] LEMKE J. L., in *Reading Science* a cura di J. R. Martin & R. Veal (Routledge, London) 1998, p. 87.
- [5] HALLIDAY M. A. K., *Language as Social Semiotic. The Social Interpretation of Language and Meaning* (Edward Arnold Publishers, London) 1978.
- [6] KRESS G. e VAN LEEUWEN T., *Reading Images: The Grammar of Visual Design* (Routledge and Kegan Paul, London) 1996.
- [7] BARLEX D. e CARRE C., *Visual Communication in Science. Learning Through Sharing Images* (Cambridge University Press, Cambridge) 1985.
- [8] JEWITT C., KRESS G., OGBORN J. e TSATSARELIS C., *Multimodal Teaching and Learning* (Institute of Education, London) 2000.
- [9] LEMKE J. L., *Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions* (Documento on-line <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>) 1998.
- [10] LYNCH M., in *Representation in Scientific Practice*, a cura di M. LYNCH e S. WOOLGAR (MIT Press) 1990.
- [11] SCHNOTZ W., PICARD E. e HRON A., *Learn. Instruct.*, **3** (1993) 181.
- [12] ROTH W.-M., BOWEN G. M. e MCGINN M. K., *J. Res. Sci. Teach.*, **36** (1999) 977.
- [13] KEARSEY J. e TURNER S., *J. Bio. Educ.*, **33** (1999) 87.
- [14] REID D., *J. Bio. Educ.*, **4** (1990) 251.
- [15] REID D. e BEVERIDGE M., *Brit. J. Psych.*, **60** (1990) 76.
- [16] PINTÒ, *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 227.
- [17] STYLIANIDOU F., ORMEROD F. e OGBORN J., *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 257.
- [18] TESTA I., MONROY G. e SASSI E., *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 235.
- [19] AMETTLER J. E. e PINTÒ R., *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 285.
- [20] VICENTINI M. e MEYER M., *Didattica della Fisica* (La Nuova Italia, Firenze) 1996.
- [21] GIBERTI G., MONROY G. e SASSI E., *La Fisica nella Scuola*, **30** (1997) 10.



- [22] VIENNOT L., *Raisonnement en physique: la part du sens commun* (Louvain la Neuve: De Boeck) 1996.
- [23] BAILEY J. M. e SLATER T. F., *Astr. Ed. Rev.*, **2** (2003) 20. <http://dx.doi.org/10.3847/AER2003015>.
- [24] LELLIOTT A. e ROLLNICK M., *Int. J. Sci. Educ.*, **32** (2010) 1771.
- [25] PENA MARTINEZ B. e GIL QUILEZ M. J., *Int. J. Sci. Educ.*, **23** (2001) 1125.
- [26] DOVE J., *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 823.
- [27] OJALA J., *Int. J. Sci. Educ.*, **14** (1992) 191.
- [28] JONES B. L., LYNCH P. P. e REESINK C., *Int. J. Sci. Educ.*, **9** (1987) 43.
- [29] BAXTER J., *Int. J. Sci. Educ.*, **11** (1989) 502.
- [30] VOSNIADOU S. e BREWER W. F., *Cogn. Psych.*, **24** (1992) 535.
- [31] VOSNIADOU S. e BREWER W. F., *Cogn. Sci.*, **18** (1994) 123.
- [32] PEREZ DE EULATE L. e LLORENTE CAMARA E., *Alambique*, **16** (1998) 45.