Un percorso didattico sulle cause delle stagioni basato sulla metodologia dell'*Inquiry*

Introduzione

Negli anni '90, fece molto scalpore uno studio, condotto da alcuni ricercatori dell'Università di Harvard, in cui veniva mostrato che brillanti neolaureati di Harvard spiegavano il fenomeno dell'alternarsi delle stagioni con il cambiamento della distanza tra la Terra ed il Sole[1]. Questo sconcertante risultato fu poi confermato da molti studi successivi condotti con studenti di diverse età (Atwood e Atwood, 1996; Baxter, 1989; Sharp, 1996; Trumper, 2000). Lavori più recenti (Nazé & Fontaine, 2014; Starakis & Halkia, 2014), hanno mostrato che non solo gli studenti, ma anche gli insegnanti o il variegato pubblico che popola gli attualissimi "science center", hanno idee sbagliate o non completamente corrette su questo argomento.

Molti ricercatori hanno contribuito a sviluppare un'ampia gamma di proposte didattiche mirate a correggere queste idee errate (Hughes, 2010; Ruangsuwan & Arayathanitkul, 2009; Kücüközer, 2008). Purtroppo, nella maggior parte di queste proposte, i meccanismi fisici alla base dell'alternarsi delle stagioni spesso non vengono affrontati esplicitamente e non vengono chiariti agli studenti. Per questa ragione, abbiamo deciso di sviluppare un modulo didattico, intitolato *"Alternarsi delle stagioni e zone climatiche"* e basato sulla metodologia *inquiry*, che prevede il coinvolgimento attivo degli studenti in esperimenti quantitativi sui principali fattori che determinano i cambiamenti stagionali e caratterizzano il clima in una data località della Terra. Prima di descrivere nel dettaglio il modulo, presentiamo brevemente le caratteristiche salienti della metodologia *inquiry*.

La metodologia "*inquiry*"

Il modulo *"Alternarsi delle stagioni e zone climatiche"* è costruito su un approccio di laboratorio chiamato "scientific inquiry", o più semplicemente *inquiry*. Questa metodologia è da più di

[1] E' possibile visionare le interviste dello studio nel video "*A Private Universe*", prodotto nel 1989 dall'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

vent'anni riconosciuta come centrale nell'apprendimento delle Scienze sperimentali (NRC, 1996; Lunetta, 1998). La ricerca ha dimostrato che l'attività di *inquiry* favorisce una più profonda comprensione dei concetti da parte degli studenti e incrementa l'interesse nei confronti della scienza (Metz, 2000).

La metodologia *inquiry* prende spunto da *"i diversi modi in cui gli scienziati studiano il mondo naturale e propongono spiegazioni sulla base degli elementi derivanti dal loro lavoro"* (NRC, 1996, p. 23). Come Krajicik et. al (1999) affermano: *"l'inquiry consiste nel fare osservazioni, porre e raffinare domande, nella ricerca di informazioni di base, nel pianificare e progettare le osservazioni o gli esperimenti, utilizzando gli strumenti più adatti per raccogliere, analizzare, interpretare i dati, spiegare e comunicare i risultati"*. Spesso nella pratica dell'insegnamento *l'inquiry* è inteso genericamente come "fare esperimenti" (Schwartz & Crawford, 2006), ma tale accezione non riflette il complesso significato del termine. Il dibattito su ciò che deve essere proposto a scuola come *inquiry* è ancora in corso, anche se più autori ammettono che il metodo di lavoro degli scienziati non può essere riprodotto completamente e che solo alcune caratteristiche essenziali possono essere tradotte nella pratica scolastica (Bybee, 2006). In particolare, le attività che possono essere efficacemente condotte a scuola sono quelle in cui lo studente:

- è impegnato in una ricerca che abbia un carattere scientifico e che prevede una o più domande di ricerca;
- formula ipotesi e progetta esperimenti per rispondere alla domanda;
- dà la priorità a quanto già noto e all'evidenza raccolta nel rispondere alla domanda;
- sviluppa una spiegazione per le evidenze raccolte;
- collega la spiegazione alle sue conoscenze scientifiche pregresse;
- comunica e giustifica la sua spiegazione rispondendo alla domanda di ricerca posta all'inizio.

Quando gli studenti sono coinvolti in attività *inquiry*, si trovano ad affrontare delle piccole "sfide", in cui nuove conoscenze scientifiche vengono apprese. Le attività di indagine sono essenzialmente centrate sullo studente e hanno lo scopo di migliorare le sue capacità di astrazione, modellizzazione e comunicazione. L'insegnante, dal canto suo, ha un ruolo di guida del processo, esplicita agli studenti i compiti da portare avanti ed in particolare, a seconda del contesto e delle condizioni al contorno:

- suggerisce eventualmente una domanda scientifica da esaminare;
- li incoraggia ad esprimere le loro idee e a formulare ipotesi;
- suggerisce di eseguire un particolare esperimento;
- li invita a valutare diverse ipotesi e a riflettere sulle evidenze raccolte per rispondere alla domanda di ricerca iniziale.

Razionale del modulo

I cambiamenti stagionali sono dovuti a due fattori astronomici principali: l'inclinazione di 23°27' dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita e la rivoluzione della Terra intorno al Sole. L'inclinazione costante dell'asse terrestre, che rimane, però, sempre parallelo a se stesso nello spazio, e le diverse posizioni che il nostro pianeta occupa lungo la sua orbita durante l'anno, determinano l'inclinazione con cui i raggi solari incidono sulla superficie terrestre e, quindi, la quantità di energia per unità di area assorbita dalla Terra in un dato posto (a latitudine fissata). I due fattori astronomici di cui sopra hanno come conseguenza anche la durata del giorno variabile, più lungo d'estate e più corto d'inverno. Invece, la temperatura media in un dato posto sulla Terra è influenzata oltre che da fattori astronomici anche da fattori climatici, come, per esempio, la presenza di grandi masse d'acqua, venti, ecc. La ricerca in didattica ha mostrato che l'insegnamento tradizionale non è sufficiente a correggere l'idea intuitiva sbagliata che la causa principale del fenomeno sia la variazione della distanza Terra-Sole (si veda Bailey & Slater, 2004; Lelliott & Rollnick, 2010). Questa idea non corretta nasce, da una parte, dalla nostra familiarità con i fenomeni termici che sperimentiamo frequentemente nel nostro quotidiano, e dall'altra, dalla impossibilità di verificare in modo diretto quanto poco vari la distanza Terra-Sole nel corso dell'anno in percentuale (3%), troppo poco per giustificare l'esistenza delle stagioni.

Più in generale, i ragionamenti degli studenti sono spesso incompleti perché, anche quando l'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre rispetto al piano dell'orbita è correttamente citata, non si sa spiegare *perché* questo sia un fattore importante per l'alternarsi delle stagioni. Plausibilmente, la principale difficoltà risiede nel correlare tra loro la quantità di energia che riceve la Terra dal Sole e le diverse condizioni con cui i raggi solari investono la sua superficie (Galili & Lavrik, 1998). In altri casi, il ruolo dell'inclinazione dell'asse terrestre è male interpretato: alcuni studenti, ad

esempio, sanno che l'asse ha un'inclinazione costante rispetto al piano dell'orbita ma, ignorando che rimane parallelo a se stesso nello spazio, credono che esso oscilli nel corso dell'anno in una sorta di "precessione" annuale. Altri studenti invece spiegano l'evidenza che quando nell'emisfero nord è inverno in quello sud è estate (e viceversa), con il fatto che, a causa dell'asse inclinato, i due emisferi terrestri si trovano a distanze diverse dal Sole.

Per illustrare il meccanismo fisico che regola il fenomeno, il nostro modulo si concentra su due idee chiave: flusso di radiazione e trasferimento di energia. Nelle attività proposte, si tratta di ricavare quantitativamente la dipendenza del flusso su una data superficie dall'angolo tra la normale alla superficie e la direzione della radiazione incidente; ricavare quantitativamente la dipendenza del flusso dalla distanza tra la superficie e la sorgente; decidere in quale misura ciascuna di queste due leggi è responsabile dell'andamento del fenomeno. Lo scopo che si vuole raggiungere, modellizzando la dipendenza del flusso dei raggi solari sulla superficie terrestre dall'angolo d'incidenza e dalla distanza Terra-Sole, è quello di fornire agli studenti delle evidenze sperimentali che siano in aperto contrasto con l'idea ingenua che le stagioni siano determinate essenzialmente dall'avvicinamento/allontanamento dalla nostra stella. Infine, partendo dalla considerazione che luoghi della Terra aventi la stessa latitudine possono presentare valori della temperatura media molto diversi tra loro nel corso dell'anno, il modulo familiarizza gli studenti con i fattori che influiscono sul clima delle diverse regioni della Terra (ad esempio la presenza di grandi masse d'acqua o le caratteristiche del suolo). In particolare, viene mostrato loro come gli scambi termici dipendano dalle caratteristiche fisiche delle sostanze coinvolte, come ad esempio il calore specifico.

Descrizione delle attività del modulo

Il modulo è suddiviso in quattro attività descritte nei paragrafi seguenti. La Tabella I mostra uno schema riassuntivo dell'intero modulo.

Attività introduttiva

Durante quest'attività, agli studenti, suddivisi in piccoli gruppi, viene chiesto di definire che cos'è una stagione e come fanno a sapere che siamo in una certa stagione. In particolare, la domanda

“Quali sono i fattori principali che influenzano i cambiamenti stagionali?” dovrebbe far emergere le idee ingenue degli studenti. Esempi sono:

“I fattori che influenzano il cambiamento delle stagioni sono le variazioni di temperatura dovute alla posizione della Terra rispetto al Sole e l’inclinazione della Terra”.

“Le stagioni dipendono dal moto di rivoluzione della Terra: durante il perielio l’inclinazione della Terra è tale per cui i raggi solari colpiscono la superficie terrestre in maniera tale che è estate nell’emisfero australe e inverno in quello boreale; durante l’afelio invece accade il contrario”.

“L’alternarsi delle stagioni è dovuto al moto di rivoluzione della Terra che modifica l’inclinazione dell’asse della Terra, il quale comunque resta sempre parallelo durante l’anno. La diversa inclinazione provoca una diversa inclinazione con cui i raggi solari incidono la superficie terrestre”.

Successivamente, agli studenti viene chiesto di progettare un semplice esperimento, utilizzando materiale a disposizione appositamente elencato, allo scopo di mettere in relazione i fattori che hanno individuato come causa delle stagioni con delle quantità fisiche misurabili. Un esempio di set sperimentale ragionevolmente corretto proposto dagli studenti è il seguente:

“Io userei una luce posta nel fuoco di un ellisse, un globo di plastica ricoperto di una sostanza fotosensibile e misurerei l’intensità della luce cambiando la distanza tra il globo e la luce, e l’inclinazione dell’asse del globo rispetto all’asse del sole” .

Quest’attività termina con una discussione guidata, in cui vengono selezionati due esperimenti sui principali possibili fattori individuati (inclinazione dell’asse terrestre e variazione della distanza tra la Terra e il Sole). Durante la discussione agli studenti viene chiesto quale conseguenza avrebbe l’assenza di ognuno dei fattori individuati, in particolare, cosa accadrebbe se: (i) l’asse della Terra non fosse inclinato rispetto al piano dell’orbita terrestre; (ii) la distanza tra la Terra e il Sole non dovesse cambiare (orbita perfettamente circolare). Tipiche risposte corrette sono:

“Se la Terra non ruotasse intorno al Sole, ci sarebbe sempre la stessa stagione o la stessa temperatura”.

“Se l’asse terrestre non fosse inclinato, avremmo una temperatura fissa”.

Tipiche risposte non corrette invece sono:

“Se l’asse della Terra dovesse cambiare direzione avremmo più stagioni”.

“… Ci sarebbe un perfetto equilibrio nella durata delle stagioni solo in assenza di inquinamento ed effetto serra”

Attività sperimentale sul flusso luminoso

Questa attività costituisce il cuore del modulo: gli studenti devono studiare la dipendenza del flusso di radiazione (introdotto nella precedente attività) dall’inclinazione della radiazione incidente e dalla distanza tra la sorgente e la superficie investita.

Mediante una discussione guidata, si fa comprendere che il flusso di radiazione (potenza per unità di superficie) può essere misurato attraverso un dispositivo che trasforma l’intensità luminosa in differenza di potenziale (d.d.p.) su un carico (resistore da ~1kΩ). Questo dispositivo consiste in un panello fotovoltaico e una lampadina ad incandescenza (che fa le funzioni del Sole). È importante che gli studenti riflettano su ciò che si aspettano dall’esperimento che stanno per eseguire; prima di iniziare, è loro richiesto di prevedere l’andamento del grafico della d.d.p. in uscita dal pannello al variare dell’angolo di incidenza e della distanza. La prima misura consiste nel variare l’inclinazione del pannello rispetto ad una posizione iniziale di riferimento (tipicamente quella in cui il pannello è perpendicolare ai raggi incidenti) e riportare sul grafico la tensione misurata sul carico; la seconda misura consiste nel variare la distanza fra la sorgente luminosa e il pannello, tenendo fissa l’inclinazione (Fig. 1a e 1b). Da un punto di vista didattico, è cognitivamente efficace far confrontare agli studenti i risultati sperimentali effettivamente ottenuti e quelli da loro previsti, chiedendo loro di individuare somiglianze e differenze (Sassi, 2001).

Dopo aver paragonato le previsioni fatte con i risultati delle misurazioni, ciascun gruppo di studenti grazie ad un fit lineare ricava la ben nota relazione tra il flusso di radiazione e il coseno dell’angolo d’incidenza e quella che invece lega il flusso all’inverso del quadrato della distanza dalla sorgente. Esempi di misure sono riportate nelle figure 2-5 con i relativi fit sperimentali.

Attività di modellizzazione

A partire dai risultati sperimentali, agli studenti viene chiesto di calcolare il flusso incidente in specifici luoghi della Terra (circoli Artico ed Antartico, tropici del Cancro e del Capricorno, Equatore) usando angoli tabulati; in particolare, si determinano le variazioni percentuali in determinati momenti dell'anno (equinozi di primavera e d'autunno, solstizi d'estate e d'inverno). Nell'attività viene dato risalto al fatto che, per un fissato luogo della superficie terrestre, i diversi angoli sono conseguenza dal fatto che l'asse di rotazione terrestre punta sempre nella stessa direzione mentre la Terra cambia la sua posizione lungo la sua orbita attorno al Sole. Successivamente, utilizzando il modello relativo alla dipendenza dalla distanza, agli studenti viene chiesto di determinare la variazione percentuale del flusso incidente in un generico luogo della Terra, tra afelio e perielio. Confrontando le differenze percentuali ottenute risulta particolarmente semplice mostrare come le variazioni nella distanza Terra-Sole, indipendentemente dalla località a cui ci si riferisce, possono giustificare al massimo una variazione del flusso della radiazione solare del 6,5%, una differenza percentuale molto minore di quella che si ottiene variando l'angolo d'incidenza (in media la variazione percentuale vale in questo caso il 40%).

Al termine di quest'attività, agli studenti viene chiesto di ricapitolare le previsioni che avevano fatto circa gli effetti che avrebbe avuto l'assenza di uno dei fattori da essi individuati come possibile causa delle stagioni (inclinazione dell'asse terrestre, distanza Terra-Sole), paragonando queste previsioni ai modelli ottenuti.

Attività sul calore specifico

Nella quarta ed ultima attività, usando una mappa con le zone climatiche della Terra, si discute sul fatto che in località alla stessa latitudine si possono registrare temperature medie annuali molto diverse tra loro. Lo scopo di questa discussione è di mettere in evidenza come la durata del giorno, la presenza di grandi masse d'acqua e la composizione del suolo possono influenzare la temperatura media dell'ambiente. In questo modo, gli studenti possono comprendere che sia la durata dell'esposizione alla radiazione solare sia gli scambi di energia con l'ambiente contribuiscono a determinare la temperatura ambientale media. Data l'estrema complessità dell'argomento clima, l'attività si limita a mostrare che gli scambi di energia dipendono

essenzialmente dall'ambiente e dalla sua composizione. Viene quindi presentato agli studenti un modello semplificato relativo agli scambi di calore avendo cura di sottolineare il ruolo ricoperto dal calore specifico di una sostanza. A questo riguardo, un esperimento semplice consiste nello studiare l'interazione termica tra una data quantità di acqua e una sostanza dal calore specifico ignoto. Per questo modulo, abbiamo scelto di utilizzare acqua marina e sabbia per richiamare l'esperienza vissuta dagli studenti che d'estate si recano al mare: la sabbia si scalda prima del mare e diventa decisamente più calda rispetto all'acqua marina. Un tipico apparato sperimentale è mostrato in Fig. 6.

Un esempio di valore ottenibile per il calore specifico della sabbia rispetto a quello dell'acqua è di 0.37 ± 0.06, in accordo con quanto atteso[2]. In tal modo, gli studenti possono giustificare come la presenza di acqua influisca sui trasferimenti di energia tra la radiazione e l'ambiente rispetto alla presenza di sola sabbia o terreno.

Valutazione degli apprendimenti degli studenti

Il modulo, della durata complessiva di 12 ore, è stato implementato con 45 studenti di due quinte di Liceo Scientifico nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche Fisica-Napoli. Entrambe le classi avevano già affrontato l'alternanza delle stagioni nel programma di Scienze. Con l'obiettivo di valutare l'efficacia del nostro modulo rispetto all'insegnamento scolastico tradizionale, abbiamo utilizzato una metodologia didattica basata sulla somministrazione dello stesso questionario prima e dopo le attività (svolte tutte presso l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli).

Il questionario è strutturato in quattro item, ognuno suddiviso in due parti: la prima parte contiene tre affermazioni vero-falso; la seconda una domanda a risposta multipla con quattro alternative, di cui una sola corretta. Le risposte alternative sono state tratte da precedenti studi. Il punteggio massimo ottenibile è stato normalizzato a 10. I concetti affrontati nei quattro item sono descritti in Tab. II.

[2] Una tabella contenente le stime dei calori specifici di comuni sostanze si può consultare al seguente link http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html

Gli studenti che hanno completato il pre e post-test sono stati 34. Il punteggio medio ottenuto nel pre-test è stato 5.6 ± 1.5 (st.dev.), mentre quello nel post-test 9.2 ± 0.9 (st.dev.). La distribuzione delle risposte corrette per i 4 item è mostrata in Figura 7.

Dai risultati ottenuti nel pre-test è evidente che, nonostante l'argomento sia stato trattato nel programma di Scienze, più della metà degli studenti dà risposte non corrette circa le cause del fenomeno dell'alternanza delle stagioni spiegandolo in termini di distanza Terra-Sole e/o oscillazione dell'asse di rotazione terrestre. Le maggiori difficoltà, però, si sono incontrate sul secondo e sul quarto item, ovvero sull'influenza delle caratteristiche ambientali sul clima di una località (item 2) e sul fatto che l'asse di rotazione terrestre rimane parallelo a se stesso nello spazio man mano che la Terra ruota intorno al Sole (item 4); mentre l'inclinazione dell'asse (item 3) e il moto di rivoluzione (item 1) sono i due fattori più familiari agli studenti; anche il concetto che la quantità di energia assorbita da una superficie dipende dall'angolo di incidenza della radiazione sembra trattato in maniera efficace dall'insegnamento tradizionale. Rimane però non chiaro il collegamento fra l'inclinazione dell'asse e il fatto che la quantità di radiazione solare ricevuta da una certa località cambia durante l'anno, così come il fatto che in un certo periodo dell'anno due località ricevono differenti quantità di radiazione solare.

Nel post-test si è registrato un miglioramento generale: innanzitutto, dato il numero maggiore di risposte corrette, è stata modificata la misconcezione sulla distanza; poi è stata migliorata la comprensione della relazione fra asse parallelo a se stesso e variazione dell'incidenza dei raggi solari. In più, l'aver discusso nel modulo i trasferimenti di energia nell'ambito della termologia, ha reso gli studenti maggiormente consapevoli dell'influenza dei fattori ambientali nel clima di una regione.

Conclusioni

La ricerca in didattica delle Scienze a più riprese ha ricordato che l'insegnamento dell'Astronomia a scuola può facilitare l'introduzione di aspetti di base della natura della scienza, come, per esempio, la relazione tra evidenze sperimentali e modelli teorici o la verifica delle ipotesi. Inoltre, tra i molti fenomeni astronomici familiari, il cambiamento delle stagioni è un contesto

interdisciplinare utile per collegare il programma di Fisica (in particolare la parte sull'energia, la termologia e la natura della luce) con quello di Scienze della Terra (che affronta gli aspetti astronomici e climatici del fenomeno). Infine, questo argomento può fornire uno spunto significativo per familiarizzare gli studenti con temi dibattuti come i cambiamenti climatici. A causa della rilevanza di questi aspetti dal punto di vista più generale della cultura scientifica, non c'è da stupirsi, quindi, che le difficoltà degli studenti nella comprensione di questo fenomeno siano stati ampiamente studiate in didattica delle scienze (Sneider, Bar e Kavanagh, 2011). Per far fronte a tali difficoltà, in questo articolo, abbiamo presentato un modulo basato sulla metodologia *inquiry* dove gli studenti apprendono gradualmente i concetti fisici alla base del cambiamento delle stagioni. Il modulo contiene attività sperimentali e di modellizzazione per permettere agli studenti di costruire un meccanismo di interpretazione per la loro esperienza quotidiana con il fenomeno. Le attività proposte sono diverse da quelle tradizionali in quanto le quantità fisiche che influenzano il cambiamento delle stagioni - vale a dire il flusso della radiazione incidente e i trasferimenti di energia tra la radiazione e l'ambiente - sono misurate dagli studenti in situazioni semplificate.

I risultati preliminari ottenuti con studenti dell'ultimo anno di scuola secondaria superiore sono incoraggianti e dimostrano l'efficacia delle attività proposte. Abbiamo in programma di migliorare il modulo inserendo un'attività di modellizzazione con Cabri Géomètre per visualizzare il flusso della radiazione incidente sulla superficie della Terra durante il suo moto intorno al Sole. Inoltre, saranno presto disponibili le note per docenti, al fine di favorire l'implementazione del modulo nelle ore curriculari. Tutti i materiali didattici descritti in questo articolo sono disponibili su richiesta.

Ringraziamenti

Il lavoro presentato in questo articolo è stato realizzato grazie al contributo del **Piano Lauree Scientifiche Project** del Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca. Ringraziamo anche l'**INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte** di Napoli per l'uso delle strutture durante l'implementazione del modulo.

Riferimenti bibliografici

R. K. Atwood and V.A. Atwood, *Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons*, J. Res. Sci. Teach., 1996, 33, 553

J. M. Bailey & T.F. Slater, *A review of astronomy education research*, Astron. Educ. Rev., 2004, 20

J. Baxter, *Children's understanding of familiar astronomical events*, Int. J. Sci. Educ., 1989, 11 502

I. Galili & V. Lavri, *Flux concept in learning about light. A critique of the present situation*, Sci. Educ., 1998, 82, 591

Bybee R.W., *Scientific Inquiry and Science Teaching. Scientific Inquiry and Nature of Science*, Dordrecht, The Netherlands, Springer, 2006, 1.

S. W. Hughes, *Astrophysics on the lab bench*, Phys. Educ., 2010, 45, 3, 231-4

J. Krajcik, P. Blumenfeld, R. Marx, & E. Soloway, *Instructional, Curricular, and Technological Supports for Inquiry in Science Classrooms*. Inquiry into Inquiry: Science Learning and Teaching. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science Press, 1999

H. Küçüközer, *The effects of 3D computer modelling on conceptual change about seasons and phases of the Moon*, Phys. Ed., 2008, 43, 632

A. Lelliott & M. Rollnick, *Big ideas: A review of Astronomy education research 1974-2008.* Int. J. Sci. Educ., 2010, 32, 1771

V. N. Lunetta, *The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching*, International handbook of science education, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 1998, 249

K. E. Metz, *Young children's inquiry in biology: building the knowledge-bases to empower independent inquiry*. Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science Press, 2000, 371

Y. Nazé & S. Fontaine *An astronomical survey conducted in Belgium* Phys. Ed., 2014, 49, 151

NRC [National Research Council] *National Science Education Standards: Observe, interact, change, learn*, Washington, DC: National Academy Press, 1996

C. Ruangsuwan & K. Arayathanitkul K. *A low-cost celestial globe for hands-on astronomy* Phys. Educ., 2009, 44, 5, 503

E. Sassi, *Computer supported lab-work in physics education: advantages ad problems,* Physics Teacher Education Beyond 2000, Parigi, Elsevier, 2001, 57

J. G. Sharp, *Children's Astronomical beliefs: a preliminary study of year 6 children in southwest England*, Int. J. Sci. Educ., 1996, 18, 685

C. Sneider, V. Bar & C. Kavanagh Learning about Seasons: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Educ. Rev,* 2011, 10

I. Starakis & K. Halkia K *Addressing k-5 students' and pre-service elementary teachers' conceptions of seasonal change*, Phys. Ed., 2014, 49, 231

R. Trumper, *University Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts,* Phys. Educ., 2000, 35, 9

Didascalie Figure e Tabelle

Fig. 1. Setting sperimentale utilizzato per la misura del flusso luminoso su un pannello solare al variare de (a) l'angolo di incidenza, (b) la distanza tra la sorgente e il pannello. Quando il pannello è perpendicolare al tavolo, l'angolo tra la normale al pannello e la direzione della radiazione incidente è 0°. Parte della superficie del pannello è stata coperta per ridurre la superficie sensibile a 200 cm^2. La distanza tra la sorgente di luce ed il centro del pannello varia dai 120 ai 310 centimetri.

Fig. 2. Potenza in uscita dal pannello illuminato da una lampadina ad incandescenza di 100 W in funzione dell'inclinazione tra la normale al pannello e la direzione del fascio luminoso. Il fit ottenuto è $P(\theta) = m\cos(\theta) + b$, dove $m = (6.53 \pm 0.06)\,\mu W; b = (0.38 \pm 0.04)\,\mu W$. La pendenza della retta rappresenta la

potenza quando la normale alla superficie del pannello è parallela alla direzione del fascio incidente, mentre l'intercetta *b* rappresenta la radiazione di fondo, idealmente pari a 0.

Fig. 3 Potenza in uscita dal pannello illuminato da una lampadina ad incandescenza di 100 W in funzione della distanza tra il centro del pannello e la lampadina. Il fit ottenuto è $P(D)=\frac{m}{D^2}+b$ dove $m=(7.9\pm0.1)\,\mu W m^2; b=(0.03\pm0.06)\,\mu W$. In questo caso la pendenza della retta rappresenta la potenza in uscita quando la sorgente si trova ad una distanza $D=1\,m$ dal pannello, mentre l'intercetta *b* rappresenta la radiazione di fondo, idealmente pari a 0.

Fig. 4. Misura in tempo reale della potenza in uscita dal pannello in funzione dell'inclinazione tra la normale al pannello e la direzione del fascio luminoso ottenuta mediate un sensore di differenza di potenziale collegato ad un computer. La curva ottenuta rispetta l'andamento cosinusoidale atteso.

Fig. 5. Misura in tempo reale della potenza in uscita dal pannello in funzione della distanza tra il centro del pannello e la lampadina ottenuta mediate un sensore di differenza di potenziale collegato ad un computer. La curva ottenuta rispetta l'andamento dell'inverso del quadrato atteso.

Fig. 6. Setting sperimentale per la misura del calore specifico della sabbia.

Fig. 7. Distribuzione delle percentuali di risposte corrette degli studenti nel pre e post-test.

Tab. I: Schema del modulo "*Alternarsi delle stagioni e zone climatiche*"

Tab. II: Descrizione degli item del questionario