LUCE COLORE E VISIONE

Marta Gagliardi, Anna Maria Mancini, Piera Nolli, Annalisa Salomone

Introduzione

Il tema luce colore visione per la ricchezza dei contenuti e per la trasversalità che lo caratterizza è stato ampiamente affrontato e sviluppato sia in ambito di ricerca di didattica, sia in ambito di progettazione ed attuazione di percorsi nelle scuole.

I vincoli sulle dimensioni del documento hanno imposto dure selezioni sui contenuti. Nelle scelte operate ci siamo fatti guidare da due motivazioni principali:

- da un lato le sollecitazioni di molti tutor, che hanno chiesto un appoggio per orientarsi tra gli aspetti di questo tema più strettamente legati alla fisica;
- dall'altro il fatto che i percorsi ed i materiali didattici disponibili anche in rete sono estremamente ricchi ed approfonditi ed una loro sintesi in poche pagine risulterebbe inevitabilmente riduttiva e non significativa.

In questa ottica, abbiamo suddiviso il documento in tre paragrafi, alcuni inserti e due allegati.

Il primo paragrafo è dedicato ad una presentazione della struttura concettuale del tema affrontato, considerato prevalentemente dal punto di vista della fisica. Nella sua stesura abbiamo cercato di coniugare:

- il versante disciplinare,
- il versante cognitivo,
- una visione dell'azione didattica come mediazione continua fra la rete concettuale disciplinare e la rete cognitiva (idee, esperienze, modi di ragionare, di agire e di comunicare …), in continua evoluzione, di ciascuno e di tutti gli alunni.

Il secondo paragrafo presenta gli elementi di una possibile linea di sviluppo verticale del tema "Luce" dalla scuola dell'infanzia al termine della scuola secondaria superiore, a partire da un argomento specifico (lo studio delle ombre). Questa parte vuole mostrare la possibilità di costruire un percorso, con carattere di continuità, in cui il lavoro ad ogni livello scolastico sia un elemento di avanzamento rispetto ai livelli precedenti e la base rispetto ai livelli successivi.

Il terzo paragrafo fornisce alcuni suggerimenti per iniziare ad orientarsi tra le numerose proposte didattiche disponibili in rete.

Gli inserti, nella maggior parte scelti tra il ricco materiale proposto dai presidi, illustrano in modo concreto alcuni dei punti trattati nei primi due paragrafi.

In uno degli allegati viene riportato uno stralcio di diario di un tutor relativo al percorso didattico realizzato in classi di scuola secondaria di primo grado, commentato in modo da evidenziare la rispondenza dell'azione di mediazione al modello proposto da ISS. L'allegato di per sé mette in luce ruolo e significato della documentazione del lavoro di classe.

Il secondo allegato affronta in modo mirato, attraverso un esempio specifico, il problema del processo di modellizzazione in fisica, mettendone in evidenza le radici a livello percettivo e non formalizzato e dando risalto alla non banalità delle operazioni cognitive che consentono di tradurre nell'adeguato linguaggio matematico le relazioni che si sanno pre-vedere fra aspetti già individuati dei fatti oggetto di indagine (a livello "esplorativo" o "sperimentale").

1 - La struttura concettuale

Gli elementi di base

Immaginiamo una stanza impenetrabile alla luce esterna, con pavimento, soffitto e pareti nere, chiusa da una porta che consente di guardare solo attraverso il buco della serratura. All'interno della stanza c'è una lampada che dal buco della serratura non può essere vista. Cosa si può vedere in ciascuna delle situazioni seguenti?

- *La stanza è completamente vuota e la luce al suo interno è spenta.*
- *La stanza è completamente vuota e la luce al suo interno è accesa.*
- *La stanza è completamente arredata e al suo interno la luce è accesa.*
- *La stanza è completamente arredata e al suo interno la luce è spenta.*

N.B. Sperimentalmente la stanza può essere sostituita con una scatola

Alla base del processo di tutta la conoscenza umana si trova il sistema percettivo che riceve i segnali inviati dall'ambiente (interno ed esterno) ed il sistema nervoso che li elabora, costruendo le diverse sensazioni (visive, uditive, olfattive, tattili …). In questo quadro ha da sempre avuto un ruolo di primo piano il processo visivo, per secoli interpretato attraverso l'ipotesi che fra l'occhio del vedente e l'oggetto della visione dovesse esistere una relazione diretta vincolata alla presenza di luce. Occhio, oggetto, luce sono d'altra parte elementi che anche i bambini riescono a collegare in modo spontaneo, attraverso ragionamenti che presentano analogie con le teorie storiche.

A partire dal XVII secolo, grazie a Keplero, la **luce** non è più stata considerata semplice "condizione al contorno" per la realizzazione della visione, ma è divenuta agente unico della interazione fra **sorgente-oggetto-occhio** che costituisce la prima tappa del processo di percezione visiva. Allo studio delle tappe successive, dalla trasduzione in segnali nervosi dei segnali luminosi arrivati alla retina, fino alla creazione ed all'interpretazione delle **immagini visive**, è ancor oggi dedicata una parte di primaria importanza dello studio del funzionamento del **cervello** e della **mente** umana.

La differenza delle teorie attuali con i modelli antichi e quelli spontanei è profonda e può dar luogo a difficoltà di accettazione sul piano psicologico che, se non esplicitate, possono costituire ostacoli cognitivi per la comprensione. Non è infatti banale convincersi che l'occhio come organo di senso abbia un ruolo di puro recettore passivo, sia perché esiste intenzionalità nelle scelte di cosa "guardare" o "non guardare" sia, soprattutto, perchè "lo sguardo" è una delle caratteristiche umane più cariche di significato (basta pensare ai tanti aggettivi con i quali lo si denota: accigliato, ridente, severo, interrogativo, perplesso, complice …). E' ancor più difficile convincersi che è la nostra mente che crea le immagini visive e le proietta nel mondo esterno, quando sembra così ovvio che sia la nostra "vista" a "raggiungere" qualcosa che è fuori di noi.

Non si deve d'altra parte pensare che consapevolezze di questo tipo debbano essere raggiunte all'inizio di un percorso didattico sul tema che stiamo considerando: possono costituire punti di arrivo nel momento in cui gli studenti abbiano raggiunto la maturità necessaria. E' invece importante che l'insegnante abbia presente il problema per poter essere in grado di riconoscerlo come possibile causa di difficoltà riscontrate negli studenti.

***<u>Le relazioni fra oggetto, luce, occhio</u>*.**

Che cosa si può dire di quello che si vede, di come lo si vede, di perché lo si vede ….in ciascuna delle situazioni descritte nel seguito? Che cosa resta lo stesso e che cosa cambia passando da una situazione all'altra?

1. Una stanza di sera illuminata da un lampadario;
2. Una stanza di sera illuminata da una candela;
3. Una stanza di giorno illuminata indirettamente dal sole
4. Una stanza di giorno illuminata direttamente dal sole
5. Un ambiente esterno in un giorno di sole
6. Un ambiente esterno in un giorno nuvoloso
7. Un ambiente esterno di notte, con la luna
8. Un ambiente esterno di notte senza luna
9. Una stanza di notte illuminata da una torcia
10. Un ambiente esterno di notte illuminato da una torcia

Considerare la luce come agente mediatore fra gli oggetti e l'occhio significa ritenere che le caratteristiche visibili degli oggetti possano essere tutte ricondotte alle caratteristiche della luce che penetra negli occhi, all'interno di uno schema che vede la luce emessa da una **sorgente primaria** (una "fonte di luce", come spesso dicono i bambini) arrivare agli oggetti, essere in qualche modo "trasformata" da questi ed arrivare infine alla persona che osserva.
E'necessario un **processo di modellizzazione** della luce, degli oggetti, dei mezzi materiali, dell'occhio, dell'interazione della luce con gli oggetti, con i mezzi materiali e con l'occhio, che dia ragione degli aspetti geometrici (forme, dimensioni, collocazione spaziale …) e non geometrici (luminosità, colori, caratteristiche della superficie …) delle percezioni visive.

<u>La modellizzazione degli aspetti geometrici</u>
Per quanto riguarda le caratteristiche della luce e dei sistemi materiali coinvolti nella visione (oggetti, sorgenti primarie e occhio), la modellizzazione degli aspetti geometrici si basa su un **processo ideale di discretizzazione del continuo** nel quale:
a) la **luce** che nel propagarsi riempie con continuità lo **spazio tridimensionale** è rappresentata da insiemi discreti di infiniti ***raggi*** luminosi rettilinei che si propagano ciascuno indipendentemente dagli altri;
b) le **superfici** delle **sorgenti primarie**, degli o**ggetti** (sorgenti secondarie) e della **retina** (percettivamente continue) sono considerate come insiemi discreti di infiniti ***punti*** che si comportano ciascuno indipendentemente dagli altri nei confronti della luce che emettono e/o ricevono.

E' importante che l'insegnante sia pienamente conscio della drastica schematizzazione della realtà che questo processo sottintende e che cerchi di utilizzare il più possibile un linguaggio diversificato quando intende descrivere elementi di situazioni sperimentali almeno in linea teorica accessibili alla percezione ("fasci" o "fascetti" di luce; "parti" grandi o piccole/piccolissime di superficie) e quando intende riferirsi ad enti puramente ideali per definizione[1]. Anche prima della scuola media (quando non ci si può attendere di poter portare tutti gli allievi ad una concettualizzazione degli enti geometrici come enti puramente ideali e le attività di modellizzazione devono avere

[1]Si può ad es. "ricostruire" il fascio luminoso (di per sé invisibile) di una torcia a partire dal progressivo ingrandimento della "macchia di luce" che si può osservare su un foglio che viene via via allontanato dalla sorgente, o a partire dai "puntini luminosi" che è possibile vedere interponendo sul percorso del fascio materiale diffondente (polvere di gesso, fumo, borotalco …), mentre un "raggio" è un ente puramente ideale perchè definito, come un segmento o una semiretta, "privo di spessore". Il raggio è un concetto limite che può essere costruito per astrazione immaginando un fascetto di luce sempre più "stretto": per così dire il fascetto si trasforma in un raggio quando diventa tanto stretto da "non esistere più"! Un bambino può sempre chiedersi "cosa c'è fra un raggio e l'altro" e interpretazioni spontanee di un modello di raggio imposto e non costruito possono più facilmente dar luogo ad interpretazioni fantasiose (riscontrate sperimentalmente) come l'immaginarsi che ogni raggio emetta luce "lateralmente", che rispondono all'esigenza perfettamente razionale di dover in qualche modo "riempire lo spazio di luce" con continuità.

necessariamente un riferimento “concreto”), vedi [Riquadro 1], è importante che l’insegnante tenga presente la distinzione fra elementi del modello e caratteristiche delle situazioni sperimentali.
Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche dell’**interazione** fra la luce e i sistemi materiali, il modello vede:
a) l’emissione di infiniti raggi divergenti nello spazio circostante, da parte di ogni punto della superficie di una **sorgente primaria,**;
b) la produzione di un **raggio riflesso** ed un **raggio rifratto** per ogni **raggio incidente** su un punto della superficie di separazione fra due mezzi[2] (in particolare, su un punto della superficie di un oggetto, che può pertanto essere considerato una **sorgente secondaria** di luce);
c) la produzione di un **fascetto di raggi** convergenti in un punto della **retina** per ogni fascetto di raggi che proviene da un punto della superficie di un corpo, entra nell’occhio attraverso la **pupilla** e incide sul **cristallino**.

Il modello geometrico nel suo complesso consente di stabilire una relazione punto a punto[3] fra la retina e lo spazio visibile, dunque una corrispondenza immagini visive-oggetti, ed è di conseguenza adatto a dare ragione della sensazione, che abbiamo normalmente, di vedere gli oggetti nello spazio al di fuori di noi, così “come sono” e “dove sono”. Questa sensazione si costruisce nei primi mesi di vita di un bambino attraverso una specializzazione estremamente complessa e del tutto inconscia del sistema senso-motorio, in situazioni di **“visione diretta”** (il soggetto e gli oggetti immersi nello stesso mezzo - l’aria - e luce che parte dall’oggetto raggiunge l’occhio senza subire deviazioni).

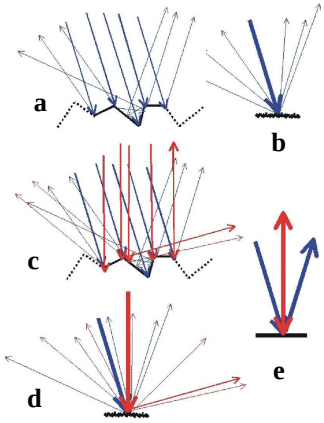
Perché se guardo un muro vedo il muro, mentre se guardo uno specchio vedo me stesso?

Esistono però anche situazioni di **“visione indiretta”,** nelle quali i fasci luminosi provenienti dai diversi punti di un oggetto subiscono deviazioni e deformazioni per **riflessione** o **rifrazione** nel percorso fra i punti di origine e l’occhio. La retina non può registrare altro che la direzione finale di ingresso dei fascetti che entrano attraverso la pupilla pertanto i segnali che invia al cervello “ingannano” la mente, che ci porta a vedere gli oggetti più o meno deformati e situati in luoghi diversi da quelli in cui essi si trovano realmente.
Alcune di queste situazioni sono costruite a bella posta negli strumenti ottici (binocoli, cannocchiali, occhiali, microscopi, specchietti retrovisori, periscopi …) per consentirci di superare i limiti del funzionamento dell’occhio. In questo caso si fa uso di specchi, lenti, prismi … per ottenere che ciascun
fascio di luce che entra nello strumento proveniente da un unico punto-origine venga deviato in modo da ottenere un fascio emergente costituito da un insieme di raggi che appaiano ancora divergere da unico punto dello spazio, definito “**immagine ottica**” del punto-origine[4]. L’insieme delle immagini ottiche dei punti dell’oggetto osservato attraverso lo strumento costituisce l’immagine ottica dell’oggetto.
Nei fenomeni di riflessione e rifrazione che non sono progettati artificialmente spesso non è possibile definire un’immagine ottica di un oggetto, perché i raggi di un unico fascio iniziale vengono deviati in modo da non costituire più un fascio che appaia divergere da un punto unico. In questi casi si possono comunque formare una pluralità di immagini visive dell’oggetto che cambiano a seconda del punto di osservazione. A rigore solo lo specchio piano produce una “vera” immagine ottica di un oggetto.

---

[2] Il raggio rifratto a volte può mancare (fenomeno della riflessione totale)
[3] Più a rigore, la corrispondenza uno a uno è fra i punti della retina e le direzioni dello spazio dalle quali può entrare luce nei nostri occhi.
[4] “**reale**” se è un punto di effettiva convergenza e successiva divergenza dei raggi, “**virtuale**” se invece nasce da un’operazione puramente geometrica di prolungamento all’indietro dei raggi del fascio emergente.

E' molto importante tener presente che la corrispondenza immagini visive-oggetti non può essere ricostruita seguendo il comportamento di singoli raggi: è necessario prendere in esame il comportamento collettivo dei fascetti di raggi provenienti ciascuno da un punto dell'oggetto osservato (sorgente primaria o secondaria). Un raggio "da solo" non distingue un muro da uno specchio (non può "conoscere" le caratteristiche complessive della superficie, dato che incide su di "un punto"): viene riflesso seguendo le stesse leggi in entrambi i casi.
Quando la superficie di un oggetto illuminato è sufficientemente liscia, i raggi corrispondenti ad ogni fascio di luce incidente[5] vengono riflessi in modo da mantenere l'ordine relativo e costituiscono a loro volta un unico fascio (si parla di **superficie riflettente**). Se una superficie è scabra i raggi incidenti appartenenti ad un unico fascio vengono riflessi in modo disordinato, intersecandosi fra loro e mescolandosi ai raggi riflessi generati da altri fasci incidenti (si parla di **superficie diffondente**). Si perde l'informazione sui punti dai quali proveniva il fascio originario e i fasci diffusi portano informazione solo sui punti della superficie diffondente. Così la luce di una lampadina che incide su uno specchio mi fa vedere il riflesso della lampadina, mentre la luce di una lampadina che incide su un muro mi fa vedere il muro. La **diffusione**, che interessa ben poco all'ottica geometrica, è in realtà il fenomeno fondamentale che ci assicura la visione degli oggetti!



In figura le frecce blu e le frecce rosse rappresentano alcuni raggi di due fascetti molto sottili di luce incidenti su una superficie scabra vista più (a, c) o meno (b, d) ingrandita e su una superficie liscia (e).

Il concetto di immagine costituisce un altro punto didatticamente sensibile. In genere non si pone particolare attenzione a distinguere, correlare, approfondire i concetti di immagine visiva ed immagine ottica, né a richiamare continuamente il carattere di schematizzazione di una descrizione per raggi, avendo cura ogni volta di collegarla al comportamento di quanto in realtà avviene ai fasci di luce nello spazio tridimensionale.

Si generano (o si rafforzano) in questo modo convinzioni come quelle che vedono le immagini come entità realmente esistenti (l'aggettivo "reale" contrapposto a "virtuale" non aiuta …) collocate stabilmente nello spazio o continuamente generate e trasportate dai raggi luminosi, o come quelle che attribuiscono un ruolo unico ed insostituibile nella formazione di immagini ai pochi (seppur significativi) raggi strumentalmente scelti per effettuare costruzioni grafiche bidimensionali[6].

La modellizzazione degli aspetti fisici

Vediamo più o meno "bene" a seconda che ci sia più o meno luce. A un primo livello, questa è una consapevolezza abbastanza diffusa, anche se non a tutti viene in mente che si può non vedere affatto se la luce è "troppo poca" (bambini, ma anche adulti, pensano che comunque un po' ci si possa vedere anche quando la luce manca del tutto) o è "troppa" ed abbaglia. Per contro, molti, basandosi sul fatto che azioni come il leggere o lo scrivere sono possibili solo nelle immediate vicinanze di

[5] La parola "fascio" indica un insieme di raggi che divergono da un unico punto.

[6] E' necessario abituare gli allievi alla "visualizzazione" nello spazio tridimensionale **a)** dei fasci di luce che partono dai diversi punti di una sorgente (primaria o secondaria), si propagano nello spazio, incidono su superfici, deviano … **b)** dei fasci che dai punti di un oggetto/superficie entrano nell'occhio (direttamente o dopo aver subito una o più deviazioni) e ci consentono di vedere. Per alcune persone questa è un'operazione semplice, quasi "spontanea", altre possono avere grosse difficoltà, che possono essere superate solo con l'"allenamento". Senza questa visualizzazione l'ottica geometrica si riduce a una sequenza di parole senza senso. Il saper "vedere" nello spazio va poi trasformato in un "saper rappresentare" su un piano, operazione di nuovo tutt'altro che banale, che implica la costruzione, nelle persone per le quali non è spontanea, di regole elementari di prospettiva. Infine, la rappresentazione di alcuni raggi non deve far perdere la consapevolezza che nella realtà ciò che si propaga sono fasci di luce.

una candela accesa, pensano che la luce resti circoscritta attorno allo stoppino che brucia per una distanza che indicano con un'apertura di braccia …
Nell'espressione "vederci più o meno bene" sono contenuti molti aspetti, non sempre identificati spontaneamente, ma che possono essere facilmente fatti osservare: l'identificabilità di un oggetto, la sua separazione visiva dallo sfondo o da altri oggetti, il grado di "luminosità" con cui viene percepito, la brillantezza e la distinguibilità dei colori … **Luminosità** e **colori** fanno parte degli aspetti modellizzati dalla fisica, che di nuovo richiedono un'interpretazione delle caratteristiche della **luce**, delle **sorgenti primarie e secondarie**, dell'**occhio** e delle loro mutue **interazioni**.

Perché da vicino non riesco a guardare l'uscita di un proiettore da diapositive acceso e da lontano ci riesco?

La modellizzazione delle caratteristiche della **luce** e della sua **sorgente** che dà ragione delle percezioni relative alla **luminosità** difficilmente costituisce oggetto di un percorso scolastico, nonostante che sia affrontabile sin dall'inizio sul piano osservativo (vedi [Riquadro 2], su attività esplorative a livello di scuola dell'infanzia), accessibile tecnologicamente[7] e aggredibile cognitivamente già a livello di fine scuola primaria, dove può portare all'elaborazione iniziale di "modi di guardare" estremamente importanti sul piano scientifico[8], in quanto costituiscono una condizione indispensabile per poter comprendere, nel triennio della scuola secondaria o a livello universitario, il significato delle operazioni matematiche (calcolo integrale e differenziale) che sono alla base del concetto fisico di campo (in particolare elettromagnetico).

Entro il biennio della scuola secondaria superiore si può arrivare alla costruzione delle **variabili fotometriche fondamentali**[9], portando a compimento sul piano della formalizzazione matematica le osservazioni qualitative sulla variazione contemporanea di estensione ed intensità delle "macchie di luce" provocate su uno schermo da una torcia che viene via via avvicinata (od allontanata). Nell'[Allegato 1] sono in particolare analizzati i passi successivi di questo processo di modellizzazione.

Che cos'è il cielo? Sono la stessa cosa quello azzurro che vediamo di giorno e quello nero che vediamo di notte?

A differenza del precedente, il tema dei **colori**, di per sé trasversale rispetto a una pluralità di ambiti disciplinari (di area scientifica, umanistica[10], tecnologica) viene in genere trattato a tutti i livelli di scolarità, ma troppo "spezzettato" e in modo spesso sbrigativo, sopprimendone le potenzialità dal punto di vista cognitivo, metacognitivo e culturale in senso lato.

---

[7] Esistono piccoli radiometri poco costosi e di facile uso che consentono di misurare l'intensità di illuminazione in un punto dello spazio.

[8] Dal confronto fra quanto avviene alla luce di una torcia e al flusso d'acqua che esce dal manubrio di una doccia, si può per esempio iniziare a costruire e generalizzare una strategia di pensiero che consente di affrontare situazioni di **flusso stazionario** nelle quali si abbia una **sorgente** di qualcosa (l'acqua, la luce) che si propaga nello **spazio** durante il **tempo,** distinguendo e correlando **grandezze estensive** e **grandezze intensive** (dalla quantità totale di acqua/luce emessa durante l'intera attività della sorgente, alla quantità che passa ad un istante dato per un dato punto dello spazio e così via …).

[9] **Intensità di una sorgente** puntiforme, **flusso luminoso**, **intensità di illuminazione** in un punto. La costruzione di tali variabili può costituire un ottimo ambito per riflettere sul processo fisico di costruzione di grandezze misurabili, fondamentali e derivate.

[10] Ad esempio, nelle opere dell'arte pittorica troviamo i risultati dello studio fatto dagli artisti del ruolo delle ombre, della prospettiva, del colore e in generale delle caratteristiche della rappresentazione grafica, di eventi cose e persone. Gli artisti usano le loro conoscenze relative alla percezione visiva, alla luce, alla geometria, alle proprietà dei materiali per creare una rappresentazione delle caratteristiche fisiche, che trasmetta informazioni e nello stesso tempo evochi sentimenti, emozioni, valori. (dal sito Luce e Visione)

Limitandosi a prendere in considerazione la parte di competenza fisica della visione dei colori, è facile trovare esempi di questa situazione.

- Una frettolosa descrizione dell'esperienza con il prisma presenta la comparsa dello spettro come "prova evidente" della composizione della **luce solare**, quando il fenomeno di per sé potrebbe avere anche altre spiegazioni e la genialità di Newton è consistita proprio nel pensare ad ulteriori esperienze (descrivibili e almeno in parte riproducibili in classe) che consentissero di scegliere fra le diverse possibilità.
- Fenomeni come la percezione di **colori "iridescenti"** in situazioni di diffrazione e interferenza vengono considerati, se lo sono, solo quando è possibile spiegarli con la teoria delle onde.
- Il fatto che i colori possano "scomparire" in **situazioni di scarsa illuminazione** può non essere mai accennato.
- La differenza fra i colori che si osservano sovrapponendo luce proveniente da **sorgenti con spettri diversi** e quelli che si ottengono mescolando **tinte** diverse è quasi sempre ignorata …

Un corretto approccio fenomenologico al tema richiederebbe invece di prendere in considerazione fin dall'inizio l'insieme delle diverse situazioni di esperienza che si hanno quotidianamente sui colori, individuare fenomenologie elementari distinguibili, costruire modellizzazioni sufficientemente articolate da non cadere in contraddizioni pressoché immediate con l'esperienza quotidiana[11].

L'**occhio** rientra nello studio di questi aspetti almeno per due motivi: la **pupilla** regola automaticamente la quantità di luce che può entrare nell'occhio dai diversi punti dello spazio visibile in modo da costituire le migliori condizioni di visibilità possibili in relazione all'illuminazione dell'ambiente esterno; la **retina** invia segnali più o meno intensi in funzione dell'intensità della luce che colpisce ogni sua cellula e per la sua costituzione riesce a inviare segnali codificabili come colori solo se l'illuminazione esterna è abbastanza intensa (altrimenti la codifica è solo in termini di sfumature in una scala che va dal bianco al nero).

L'**oggetto** (ma anche il **mezzo materiale** nel quale la luce si propaga, aria compresa) seleziona la radiazione che l'investe attraverso un processo, rimasto inspiegato fino a tempi relativamente recenti[12], che coinvolge la struttura atomico-molecolare della sua superficie, determinando la percentuale di diffusione (alla sua superficie) e di assorbimento (al suo interno) di ciascuna delle componenti presenti nella luce incidente. La **diffusione**, **selettiva** o **non selettiva**, è alla base della percezione del colore superficiale degli oggetti. In condizioni normali di illuminazione la percezione dei colori dal bianco al nero, attraverso le diverse sfumature di grigio, indica che la selezione è nulla: tutte le componenti sono diffuse praticamente nella stessa percentuale, che varia da praticamente zero per il nero a praticamente il cento per cento per il bianco. Il processo di **assorbimento**, **selettivo** o **non selettivo**, determina il grado di **trasparenza/opacità** di un oggetto o di un materiale. Un oggetto/materiale che per trasparenza appare grigio o incolore assorbe e trasmette in maniera non selettiva. Un oggetto/materiale che appare opaco ha assorbito tutta la luce penetrata al suo interno. E' importante far comprendere che "opaco" e "trasparente" non sono concetti assoluti, ma relativi. Qualunque materiale si prenda in considerazione (anche le rocce, che mineralogisti e petrografi studiano facendone "sezioni sottili" da osservare al microscopio) può essere attraversato dalla luce, se di spessore abbastanza sottile rispetto all'intensità del flusso che lo

[11] Per esempio, affermazioni del genere "un oggetto illuminato diffonde solo la luce del suo colore e assorbe tutto il resto dello spettro", presenti in diversi scolastici, non possono palesemente essere vere. Infatti, anche se si può ignorare che il colore è una creazione della mente e non una proprietà della luce (cosa che per essere davvero compresa può richiedere il livello della scuola secondaria), tuttavia si può constatare già a livello di scuola elementare che i colori che percepiamo sono molti di più di quelli visibili nello spettro della luce solare …

[12] L'interazione fra radiazione e materia è oggetto di studio della meccanica quantistica.

investe[13]. Nessun materiale è perfettamente trasparente, neanche l'aria (anche se su piccole distanze possiamo trascurare l'assorbimento della luce): l'azzurro del cielo di giorno non è altro che "il colore dell'atmosfera", che assorbe in maniera selettiva le diverse componenti della luce solare. Se l'atmosfera fosse sufficientemente spessa, sulla Terra non arriverebbe alcuna luce, come avviene per le profondità del mare: solo nel vuoto la radiazione si propaga senza assorbimento.

Al di là della visione: la natura della luce

Finora abbiamo preso in considerazione la fenomenologia correlata a "quello che vediamo" e ne abbiamo percorso gli aspetti indagati dalla fisica. Mancano sia gli aspetti della fenomenologia della visione non legati alla fisica, sia gli aspetti della luce non legati alla visione. Rimandando a più avanti per i primi, accenniamo qui brevemente ai secondi.

Ben al di là del livello descrittivo delle fenomenologie macroscopiche finora considerato, un problema fondamentale nella storia della fisica, che si dipana dai tempi di Newton senza aver trovato ancora univocità di interpretazione, è il problema della **natura della luce** (oggi più in generale della natura del campo elettromagnetico). Anche un bambino può chiedersi che cosa "è" la luce, ma la risposta attuale resta fuori della portata della scuola di base, perché ha una genesi ed uno sviluppo che per essere seguiti al di là di un livello divulgativo richiedono la padronanza di un livello avanzato di formalizzazione matematica[14]. Ricerche recenti di didattica della fisica sono appunto dedicate allo studio delle possibili modalità di introduzione della meccanica quantistica a livello di fine scuola secondaria superiore.
Questo non significa che il tema della natura della luce debba essere considerato tabù: già a livello di scuola dell'infanzia gli allievi possono liberamente avanzare e discutere ipotesi che in genere si presentano in forma di analogie e metafore e **vanno lasciate "aperte**". A livello di scuola primaria/scuola secondaria inferiore si può arrivare a due tipi di modellizzazione in termini essenzialmente figurativi: uno che immagina la luce emessa da una sorgente come un insieme fittissimo di particelle velocissime che si susseguono propagandosi in tutte le direzioni, l'altro che la immagina come fronti sferici che si allargano nello spazio tridimensionale (uno studio delle onde meccaniche di superficie può portare il modello oltre il piano puramente figurativo). Entrambe le visualizzazioni sono raccordabili al modello di raggio.
La possibilità di "**giocare con le ipotesi**" è molto importante dal punto di vista metacognitivo, perché consente di costruire consapevolezza del ruolo dell'immaginazione nella costruzione della scienza e dei limiti che le sono imposti dalla realtà fattuale. L'essenziale è che l'insegnante sia capace di rinunciare al ruolo di dispensatore della scienza che lo costringerebbe o a spacciare per "verità" tutto ciò a cui gli alunni possono arrivare, o a impedire che vengano affrontati problemi che gli allievi sono in grado di porsi, ma che hanno una soluzione scientifica non raggiungibile al loro livello di età.
Al termine del biennio della scuola secondaria superiore, attraverso una rilettura complessiva delle fenomenologie fisiche affrontate fino a quel momento (movimento di oggetti e propagazione di onde, fenomeni termici, correnti elettriche e magnetismo, fenomeni luminosi), i ragazzi potrebbero essere condotti alla consapevolezza del problema di dover contemporaneamente dare ragione degli

[13] Si possono usare i radiometri già menzionati per effettuare misure di assorbimento della luce per materiali diversi al variare dello spessore. Secondo il livello di scolarità, ci si può limitare a costruire e discutere i grafici delle misure ottenute oppure si può partire da essi per trovare la legge matematica che lega variazione dell'intensità luminosa allo spessore.

[14] Sono le equazioni di Maxwell che portano a considerare la luce come fenomeno di propagazione ondulatoria delle perturbazioni del campo elettromagnetico in una regione definita di frequenze; ci vuole Einstein per "liberare" la radiazione elettromagnetica dalla necessità di un supporto materiale; è Plank che per primo, ancora partendo da un'equazione matematica, fa l'ipotesi che l'interazione radiazione-materia avvenga per scambi quantizzati di energia e quantità di moto, in contraddizione con il modello ondulatorio. Ne nasce il problema della "dualità onda-corpuscolo", che appassiona i fisici del novecento per decenni, ed è alla base della fisica quantistica, ancor oggi oggetto di studio e di dibattito sul piano delle sue possibili interpretazioni.

aspetti di continuità della propagazione della radiazione (luminosa e non luminosa) e degli aspetti di discretizzazione della sua interazione con la materia.

***La visione al di là della fisica: il contributo della biologia, delle neuroscienze e della psicologia*.**[15]

> *Se ad ogni punto dello spazio visibile corrisponde un punto della retina, com'è che più un oggetto è lontano e meno particolari riusciamo a distinguere?I punti dell'oggetto sono tutti illuminati e mandano luce che entra nei nostri occhi …*

Il modello di occhio come *sistema ottico* che consente la corrispondenza uno ad uno fra i punti di uno spazio-oggetti esterno ed i punti di una superficie sensibile agli stimoli luminosi (*retina*) è un modello ideale, che non considera i limiti di vario genere (valori di soglia e di saturazione, limiti di risoluzione spaziale …) che caratterizzano l'organo della vista, come ogni altro strumento di rivelazione, e che derivano anzitutto dal fatto che la retina non è fatta da "infiniti punti ideali privi di dimensioni", ma bensì di cellule di dimensione finita. Tutte le cellule della retina vengono stimolate contemporaneamente dalla luce che entra nell'occhio dall'esterno, proveniente da "punti" di quelli che vediamo come singoli oggetti ben definiti e da "punti" di quello che vediamo come "sfondo" su cui gli oggetti stessi si stagliano[16]. Gli stimoli che arrivano ai singoli recettori della retina cambiano ogniqualvolta cambia la luce proveniente dai corrispondenti punti esterni (perché gli oggetti si muovono, perché cambia l'illuminazione, perché noi ci muoviamo, o quantomeno "giriamo gli occhi" da un'altra parte e così via …). Come è possibile, di fronte ad una situazione tanto variabile e complessa, che si sappiano distinguere, riconoscere oggetti, sfondi, movimenti ….?
La *biologia(morfologia e funzione)* studia i costituenti fondamentali dell'occhio (dalla pupilla alla retina), le peculiarità della visione binoculare, le caratteristiche e i principi di funzionamento dei recettori (coni e bastoncelli[17]) e della trasmissione di segnali attraverso il nervo ottico.
Le *neuroscienze* studiano le basi neurobiologiche degli aspetti percettivi e cioè il *processo di elaborazione dei segnali luminosi* che avviene nel *cervello*. Si sono individuate zone del cervello specializzate nell'elaborazione di particolari segnali. L'elemento più importante, ad un primo livello di schematizzazione di tale processo, è il fatto che ai fini della visione non sono importanti tanto i segnali singoli raccolti da ciascun recettore, quanto il confronto tra i segnali inviati da recettori vicini. Per esempio per il riconoscimento di un oggetto dallo sfondo sono importanti l'identità o differenza di composizione spettrale, l'identità o differenza di intensità luminosa, la variazione o meno dei segnali che arrivano su recettori contigui parte dei quali raccolgono luce che arriva dall'oggetto, mentre gli altri raccolgono luce che arriva da ciò che lo circonda. Anche le esperienze di diversa percezione di uno stesso colore a seconda dello sfondo su cui viene osservato, il confronto tra grigi, le varie "illusioni" ottiche richiedono che si tenga conto del processo cerebrale di elaborazione dei segnali. Conseguenza di questa situazione è la totale inadeguatezza dell'interpretazione della visione come un processo di semplice "presa d'atto" e "ribaltamento" da parte del cervello di un'"immagine rovesciata" del mondo che si viene a formare in corrispondenza della retina.
I segnali raccolti dai vari recettori ed elaborati dalle parti superiori del sistema nervoso vengono interpretati, ci "creiamo" il mondo che "vediamo". La *psicologia* studia a livello fenomenologico le

---

[15] Il paragrafo che segue è tratto dal sito Luce e Visione (http://didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/libretto/libr_3.htm. , paragrafo 3.3)

[16] Anche in questo caso i "punti" ideali corrispondono a zone estese, di dimensioni (tanto maggiori quanto maggiore è la distanza dall'osservatore) tali che tutta la luce che proviene da ciascuna di esse viene focalizzata dal cristallino su un'unica cellula della retina

[17] Coni e bastoncelli sono i due tipi di cellule che costituiscono la retina. I bastoncelli, molto numerosi, sono responsabili della visione in condizioni di illuminazione troppo scarsa perché i coni vengano eccitati. In queste condizioni i colori non sono percepibili perché è l'elaborazione dei segnali provenienti dai coni, molto meno numerosi dei bastoncelli, che provoca la visione dei colori. Esistono tre diversi tipi di coni, denominati rispettivamente rossi, verdi, blu, a seconda della zona dello spettro solare alla quale sono più sensibili.

caratteristiche della percezione visiva (come diamo significato a una figura a seconda dello sfondo, come tendiamo a congiungere parti disgiunte riconoscendovi figure note, ….), individuando nel mondo esterno i diversi fattori responsabili di tali caratteristiche ed il ruolo che essi hanno sia isolatamente sia in combinazione fra loro. Uno strumento particolarmente utile di indagine consiste nella creazione e nell'interpretazione di illusioni ottiche di vario genere.

2. Dalle ombre al principio di minima azione: gradualità cognitiva e verticalità

Il testo che segue[18] *vuol dare un esempio di una possibile "traccia cognitiva", esplicitando le tappe successive che possono portare da una problematizzazione dell'esperienza quotidiana, accessibile a chiunque, alla costruzione di conoscenza fisica matematicamente formalizzata. Le tappe, descritte nel seguito nell'ipotesi che il tema venga sviluppato attraverso tutto l'arco scolastico, sono tutte essenziali e pertanto quelle eventualmente non realizzate in precedenza vanno "recuperate", con le opportune variazioni di strategia didattica, nei livelli scolastici successivi.*

Sin da piccoli tutti i bambini hanno visto "ombre", le loro, quelle di altre persone e quelle di animali e oggetti. Sin da piccoli hanno anche imparato che quando fa freddo, per strada, è meglio camminare "al sole" e quando fa caldo è meglio camminare "all'ombra". Fa dunque parte dell'esperienza sia la visione di ombre, sia la sensazione che si prova stando all'ombra invece che al sole.
Cosa succede a scuola?
Le ombre sono spesso un contesto utilizzato nell'insegnamento della matematica per illustrare/applicare concetti o teorie di vario tipo e difficoltà (dallo studio della proporzionalità a quello delle trasformazioni geometriche), a livelli diversi di approfondimento.
Nell'insegnamento scientifico le ombre hanno al più un breve cenno nell'ambito dello studio dell'ottica, sbrigativamente risolto rimandando alla proprietà della luce di propagarsi in linea retta (cosa eventualmente ripetuta senza apprezzabili variazioni dalla scuola elementare alla secondaria superiore).
In entrambi i casi le ombre "scolastiche" generalmente sono solo "ombre che si vedono" e non anche "ombre nelle quali si può stare". Inoltre sono solo "ombre ideali" (senza penombra), il cui studio non consente di capire la stragrande maggioranza delle situazioni reali che possono essere osservate (se si vuole farlo, o se capita di farlo) nell'ambito dell'esperienza quotidiana. Il fenomeno delle ombre è decisamente più ampio e complesso di quanto si considera a scuola e il modo in cui generalmente viene trattato induce spesso un rafforzamento di idee comuni non corrette.

Un approccio fenomenologico prende in considerazione tutta la fenomenologia delle ombre per trovarne descrizioni e spiegazioni coerenti e via via più generali che permettano:

- di arrivare a connettere in un'unica rete concettuale fatti che si manifestano a scale diverse: da una scala locale "a misura d'uomo" (l'ombra del bambino che gioca nel cortile) fino alla scala astronomica (dalla notte che, come dice Arato di Soli, "*è l'ombra della Terra*", alle eclissi);
- di costruire modelli (delle sorgenti di luce, della propagazione della luce, dell'interazione luce/oggetti, della visione umana …) che possano essere utilizzati per costruire un unico quadro coerente di interpretazione di tutta l'esperienza relativa alla formazione di ombre/coni d'ombra e per situare tale quadro in un insieme più ampio di fenomeni.

Si può lavorare per giungere a questi obiettivi lungo tutto l'arco della scuola di base, partendo già dalla scuola dell'infanzia. Guidando opportunamente i bambini in attività inizialmente di libera esplorazione/gioco e via via in esperienze/esperimenti appositamente strutturati, si può sviluppare

[18] Il testo è tratto quasi integralmente dal contributo di Gagliardi M., Grimellini Tomasini N., Testoni A. "Lo sfondo culturale di riferimento: la posizione del gruppo di ricerca"- in Bertacci M. (a cura di) "Scienze: ricerca sul curricolo e innovazione didattica" – Quaderno n° 8 della Collana "Quaderni dei gruppi di ricerca" dell'USR e dell'IRRE Emilia-Romagna, Editrice Tecnodid, 2007

un percorso che conduce gli allievi ad accorgersi di aspetti che in genere sfuggono all'osservazione quotidiana, ad individuare gli elementi fondamentali del sistema che consente di "vedere ombre" (sorgente, oggetto, schermo), a riconoscere relazioni spaziali invarianti (l'oggetto è sempre "fra" sorgente ed ombra), a studiare come/cosa cambia nell'ombra cambiando la disposizione dei singoli elementi (in particolare superando la convinzione spontanea che l'ombra abbia sempre "la stessa forma dell'oggetto"), a riconoscere l'esistenza di un invisibile "spazio d'ombra"… Si scopre che non sempre le ombre appaiono ben definite, ma a volte hanno contorni sfumati, o sembrano svanire o non esserci affatto… e si cercano parole per esprimere tutti gli aspetti delle situazioni e le caratteristiche delle ombre su cui si è soffermata l'attenzione.
Ci si può poi porre il problema di indagare il "perché" delle diverse regole scoperte per le ombre e per farlo si può decidere consapevolmente di cominciare a considerare i casi più semplici, ripromettendosi di ritornare poi a quelli più complessi. Acquista allora senso culturale e non solo scolastico lo studio delle ombre con oggetti di forma semplice (per es. sagome piatte con forme geometricamente definite), in situazioni nelle quali i contorni siano sufficientemente netti. Si può così precisare il legame fra ombra e luce, fino alla costruzione, possibile già nella scuola elementare[19], di un modello a raggi dal quale si può partire per riconoscere le relazioni geometriche fra forma di un oggetto e forme possibili della sua ombra, riconoscendo invarianti e interpretando cambiamenti… Poi si torna a considerare i casi più complicati (oggetti di forma qualsiasi, ombre sfumate …), inventando nuove esperienze per verificare l'applicabilità della modellizzazione appena costruita.
Attraverso questo lavoro si forma gradualmente la consapevolezza del fatto che l'ombra è semplicemente ("semplicemente"?) una zona di spazio o di superficie meno illuminata dello spazio circostante e svanisce l'idea spontanea che sia qualcosa che esiste di per sé, una sorta di immagine che si stacca dall'oggetto e si appoggia sulle superfici del suolo, dei muri e così via … Questa idea spontanea accomuna le ombre e le immagini allo specchio e inizialmente richiede una guida attenta dell'insegnante perché gli allievi apprendano, su base puramente percettiva, a non confonderle e siano quindi in grado di lavorare separatamente con entrambe. Quando poi si è costruita una sufficiente confidenza su entrambe le fenomenologie, diventa di nuovo possibile un confronto su un livello più astratto, che permette di raggrupparle in un unico insieme nel quale trovano posto tutte le situazioni interpretabili attraverso il modello di raggio. Quest'ultimo, arricchito a sua volta dalle regole sperimentali che definiscono il comportamento della luce alla separazione fra mezzi materiali, porta a costituire la teoria dell'ottica geometrica. Teoria che offre spiegazione anche dei fenomeni astronomici e che ha permesso sin dall'antichità, insieme alle regole della geometria proiettiva, di effettuare misure sulla geometria della Terra e del sistema solare…
La traccia (alquanto succinta) esposta finora potrebbe essere dipanata longitudinalmente dalla scuola dell'infanzia alla scuola secondaria inferiore[20] (nel [Riquadro 3] è riportato uno schema di sviluppo verticale del modello di raggio elaborato da un gruppo di tutor ISS come possibile primo passo per una programmazione del lavoro nelle classi), accompagnandosi ad altri "fili" con i quali possono esserci intersezioni, intrecci, unioni e separazioni in vari momenti e in diversi modi: *fili tecnologici* che prendono in considerazione, per es., strumenti ottici; *fili biologici* che prendono in

---

[19] Vedi, ad es., l'estratto della Tesi di Laurea in Fisica di Elisabetta Zampieri riportato nel sito web "Luce e Visione" all'indirizzo http://didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/risorse/esempio_percorso.htm.

[20] In M. Gagliardi, P. Guidoni, C. Maturo, F. Volpe - *La luce: sperimentazione di un insegnamento integrato di fisica e matematica nella scuola media* - La Fisica nella scuola, XV, 1, 1982, 26-33 ed in M. Gagliardi, F. Volpe - *La geometria delle trasformazioni nella scuola media inferiore, come esempio di insegnamento interdisciplinare della matematica* - L'educazione Matematica, Anno VII, Serie II, vol. I, 1, 1986, 83-100 viene presentato un percorso di insegnamento dell'ottica sperimentato a livello di scuola media, evidenziandone rispettivamente gli aspetti fisici e gli aspetti matematici.

considerazione, per es., costituzione e funzionamento degli organi di senso; *fili matematici* che si intessono attraverso la geometria, l'aritmetica, l'algebra, un iniziale studio di funzioni (a partire, per es., da relazioni di proporzionalità diretta e inversa); ovviamente, anche altri *fili fisici*, che da un lato "esauriscano" le fenomenologie dell'ottica geometrica (compresa, per es., la rifrazione) dall'altro ne evidenzino il carattere di parzialità rispetto ai fenomeni (uno studio dei colori, per es., non trae dall'ottica geometrica elementi utili, fatta salva l'interpretazione del fenomeno della dispersione come rifrazione differenziata per le diverse componenti dello spettro luminoso) ed i limiti (esperienze di diffrazione nelle "ombre")…

Sono naturalmente possibili una pluralità innumerevole di percorsi in classe che rispettino i criteri di gradualità all'interno di ogni anno scolastico (l'[Allegato 2] fornisce un esempio di cura nell'aggiustare costantemente la programmazione, di carattere chiaramente trasversale, alle esigenze degli allievi) e la continuità attraverso gli anni (bene evidenziata dall'attività di sintesi di quanto svolto l'anno precedente illustrata nel [Riquadro 4] come prima tappa del percorso dell'anno successivo)

Nel biennio della scuola secondaria superiore il cammino di costruzione gerarchica di fenomenologie sempre più ampie in connessione a teorie sempre più generali dovrebbe portare ad una visione in cui si unificano, all'interno della teoria dell'elettromagnetismo, i fenomeni ottici, elettrici e magnetici, grazie alla costruzione ed all'evoluzione di un modello di "onda" che a scuola può essere fatto nascere, come è avvenuto anche storicamente, all'interno di esperienze che fanno parte della vita quotidiana (onde meccaniche in mezzi "visibili"). La costruzione progressiva di conoscenza in questo ambito può avvenire a scuola seguendo le stesse "tappe cognitive" che si sono determinate storicamente.

Il modello primitivo è stato dapprima usato (da Galilei) per interpretare esperienze legate al senso dell'udito (onde sonore), attraverso un'ipotesi ardita basata sullo studio delle relazioni fra le caratteristiche della sensazione sonora provocata dalle vibrazioni (onde visibili) di uno strumento musicale e alcune caratteristiche dello strumento stesso, quindi è stato usato (a partire dall'epoca di Newton, Huygens, padre Grimaldi …) per fare ipotesi sulla natura della luce, partendo dal riconoscimento di un isomorfismo fra categorie di fenomeni luminosi e fenomenologie già note per le onde meccaniche (propagazione rettilinea, riflessione, rifrazione, sovrapposizione, diffrazione, …). Lo sviluppo dell'analisi ha infine consentito di tradurre in forma matematica il primitivo modello di propagazione delle onde meccaniche e di riconoscerlo nella forma delle equazioni del campo elettromagnetico di Maxwell. Questo riconoscimento, unito al fatto che i risultati delle misure sperimentali rivelavano una coincidenza fra velocità della luce e delle onde del campo elettromagnetico, ha infine consentito di riconoscere la luce come parte delle radiazioni elettromagnetiche, riducendo così l'insieme dei fenomeni luminosi a un caso particolare della fenomenologia elettromagnetica e l'ottica ad un capitolo dell'elettromagnetismo.

Ancora, forse a livello di triennio della scuola secondaria superiore, può essere effettuata una rilettura "trasversale" di tutto l'insieme delle teorie fisiche (e non solo fisiche) studiate, alla ricerca dei concetti e dei principi che appaiono comunque essenziali quale che sia l'ambito fenomenologico di riferimento e si può, per es., rileggere la "vecchia" ottica in termini di energia e quantità di moto, o ritrovare le leggi della riflessione, le leggi della rifrazione e il fenomeno della dispersione come casi particolari del principio di minima azione …

3. Suggerimenti per un primo approfondimento

Materiale per la formazione degli insegnanti con suggerimenti di attività sperimentali, **schemi interpretativi** e **resoconti di sperimentazioni nelle classi dalle materne alla scuola superiore**

http://didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/Index.html. Il sito tratta in parallelo "cosa fa la luce – cosa si vede" (anche con animazioni).
http://www5.indire.it:8080/set/capire_per_modelli/capire.htm Progetto "Capire per modelli" (idee, percorsi, strategie per fare scienze nella scuola di base). All'interno del sito è possibile accedere al percorso relativo al tema luce dal menù
http://www5.indire.it:8080/set/capire_per_modelli/progetto.htm
http://didascienze.formazione.unimib.it/Luce/index.html
http://didascienze.formazione.unimib.it/Sunder18/index.html
Resoconti di sperimentazione dei primi anni di lavoro del gruppo di ricerca-azione "Laboratori in rete" su luce (i primi due siti) e colore (il terzo) si trovano in:
http://didascienze.formazione.unimib.it/Luce/index.html
http://didascienze.formazione.unimib.it/Sunder18/index.html
http://didascienze.formazione.unimib.it/colori/index.html

Suggerimenti di percorsi, esperimenti e schede per lavori in classe

http://www5.indire.it:8080/set/luce/luce.htm o
http://didascienze.formazione.unimib.it/set/index.html affronta le problematiche relative ad intensità luminosa e colore
http://www.les.unina.it/ Sito del progetto LES: Laboratori per l'Educazione alla Scienza che ha curato la produzione e la messa in rete di esperienze e materiali sulla didattica di laboratorio ed alcuni percorsi per la scuola di base e le scuole superiori

Per una bozza di curricolo verticale

http://didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/schede%20luce%20Marta%20e%20Enrica.pdf

Collegamenti trasversali

Per i **collegamenti tra luce e astronomia**: il sito del progetto SENIS (progetto nazionale SeT)
http://didascienze.formazione.unimib.it/senisquipo/luce/index.htm +
http://didascienze.formazione.unimib.it/senis/Index.html +
http://didascienze.formazione.unimib.it/bellaria/index.html
e il più specifico sito di N. Lanciano http://didascienze.formazione.unimib.it/LANCIANO

Per avviare ad una **visione ondulatoria** a partire dalla scuola di base
www.df.unibo.it/ddf/Perc/Onde/Index_Onde.htm sito sulle onde visibili ricco di filmati e animazioni
Per i collegamenti con alcuni aspetti della **percezione:** il sito del progetto SENIS (progetto nazionale SeT)
http://didascienze.formazione.unimib.it/senisquipo/sensazione/indice_percezione_n.htm
http://didascienze.formazione.unimib.it/senisquipo/sensazione/uno/salco/sensazione_indice.html

RIQUADRO 1 **La costruzione del modello di raggio in una classe terza elementare**

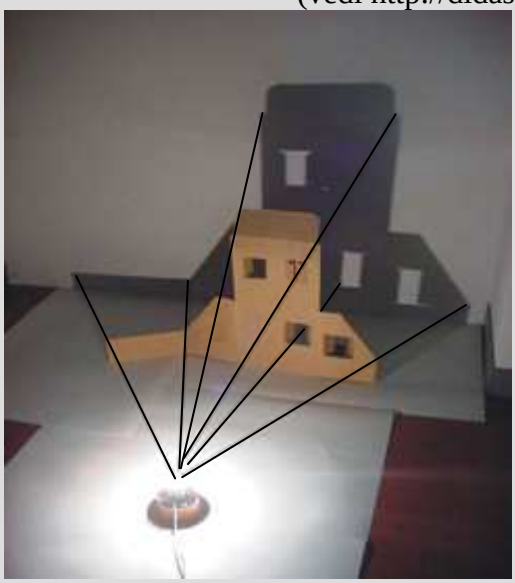
Davanti a una sagoma di una casetta ritagliata da un foglio di cartoncino ed illuminata da una lampadina (situazione analoga a quella rappresentata in fotografia), l'insegnante chiede ai bambini di riconoscere coppie di punti corrispondenti dell'ombra e della casetta e successivamente domanda come si potrebbero collegare l'uno all'altro i punti di ogni coppia. Gli allievi suggeriscono subito di utilizzare dei fili e, dopo che i collegamenti sono stati effettuati, l'insegnante chiede dove arriverebbero i fili stessi "tirandoli dritti" oltre la casetta. I bambini si accorgono immediatamente che i fili arriverebbero alla lampadina e decidono di praticare dei piccoli fori in corrispondenza degli spigoli della casetta per poter effettuare il collegamento senza alterare la direzione dei fili. Una volta collegati i fili ad un archetto di fil di ferro appositamente fissato davanti alla lampadina, la prima cosa che i bambini notano è che "i fili formano dei triangoli". *Vengono distribuiti agli allievi dei bastoncini di legno da usare per esplorare lo spazio delimitato dai fili, sia fra lampadina e casetta, sia fra casetta e parete. Si sviluppa una discussione di classe della quale vengono riportati alcuni stralci:*

"E' uno spazio d'ombra" [*riferendosi allo spazio fra sagoma e parete*]
"E questo è uno spazio di luce perché c'è la luce vicina" [*riferendosi allo spazio fra lampadina e sagoma*]
"E' un fascio di luce!"
"E qui c'è lo spazio di luce e dietro le cose c'è lo spazio d'ombra"
"La luce va a sbattere qua [*indicando la sagoma*] e se apri le finestre va dentro e viene là [*indicando le macchie di luce all'interno dell'ombra*]"
"Adesso la luce passa attraverso i buchi e vengono le luci della casa"
L'insegnante chiede ai bambini di prevedere come saranno i fili se si allontana la lampadina dalla casetta.
"Più lunghi…l'ombra si rimpicciolisce e i fili diventano sempre più stretti"
"Nooo,…si, si".
La lampadina viene spostata e vengono sistemati i nuovi fili.
"Cambiano direzione: il triangolo prima è più preciso, dopo è meno preciso"
"Il triangolo è più stretto e più lungo".
"Praticamente quello [*indicando l'insieme dei fili*] è come la luce, perché va a raggi la luce, no?"
"I fili vanno dritti"
"Se vanno dritti non si possono restringere!"
"Anche se vanno dritti si possono restringere!"
"Vuol dire linee o luce che vanno sempre nella stessa direzione e non curvano mai"
"Anche se vanno dritti si possono restringere!"
"Vuol dire linee o luce che vanno sempre nella stessa direzione e non curvano mai"
Nella lezione successiva si ricostruisce l'esperienza fatta

"Il filo infatti faceva vedere come secondo noi era la luce, la direzione in cui andava la luce"

"La luce è fatta da tanti fili, da tanti raggi"
"Si devono aprire, i raggi"

dalla tesi in fisica di Elizabetta Zampieri
(vedi http://didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/risorse/esempio_percorso.htm)



Le linee disegnate sulla foto danno un'idea dei fili realmente usati nell'esperienza in classe.

RIQUADRO 2 **Diario di una attività (8 aprile 2008, Piano ISS)**

Stamattina, il tempo è un po' nuvoloso e il sole appare e scompare tra le nuvole, siamo un po' costretti a tenere le luci accese in sezione per poter svolgere l' attività programmata di scienze. La Maestra Angela arriva puntuale e, curiosa, osserva con interesse i nostri disegni colorati che tappezzano le nostre parete

Conversazione

Maestra : Ma come siete bravi a disegnare e a colorare,che bella aula allegra,luminosa ….ma da dove viene questa luce?

Eugenia : Ma dalle lampadine…perché dentro ci passa l'elettricità .

Maestra : ma come mai la maestra Violana ha acceso la lampadina stamattina?

Martina : perché non riuscivamo a vedere bene le cose, stamattina è un po' nuvoloso la luce da fuori non basta

Maestra : Mah! Non ci credo voglio provare..

Si spegne l'interrutore.

Martina : vedi maestra che abbiamo ragione , si vede si lo stesso ma non benissimo!

Esploriamo i vari angoli dell'aula , certamente dalla parte della finestre si riesce a disegnare e a colorare meglio, nelle parti più nascoste il rosso non è rosso rosso ma un rosso blu, il blu e il marrone sono quasi uguali al nero, il bianco si vede ma è un po' grigio.

Facciamo completamente buio in sezione, si abbassano le tapparelle.

bambini: Ma è buio non riesco a vedere niente, vediamo tutto nero ..sono spariti i colori

Maestra : Ma allora cosa vuol dire buio?

bambini :quando non c'è luce e non riusciamo vedere niente

.. nella stanza buia dopo un gran fracasso, , tra urla e grida dei bambini che cercavano di riconoscersi si ritorna alla normalità

Maestra : Non capisco , Martina mi ha detto prima che la luce viene anche da fuori ! Forse ci saranno i lampioni delle strade accese? O qualcuno che ci spia con la torcia ?

Andrea : Ma no! E' giorno non è notte!

Eugenia : Da fuori arriva la luce del Sole.

Maestra : andiamo fuori ,andiamo a cercare il Sole!

(Il cielo è bianco e grigio non riusciamo a trovare il sole)

Caterina : sai maestra è inutile che oggi cerchiamo il sole perché è nascosto dietro le nuvole, vedi che il cielo è tutto bianco !.

Maestra: Ma come mai il Sole dà luce?

Andrea : Il sole è come una una palla infuocata , il fuoco dà la luce

Maestra : Ma fatemi capire bene come mai c'è il giorno e la notte?

Isabel: Ma l'ha creato Dio!

(Sono rimasta spiazzata dalla risposta… !!!)

Maestra : si è vero Dio ci ha dato una mano …ma per fare il giorno e la notte ci ha regalato una cosa speciale che sorge al mattino e tramonta la sera . …

Vittoria : …Il sole

Maestra : ..non so se ve ne siete mai accorti ma osservando bene il Sole durante il giorno lo vediamo lentamente fare una bella passeggiata nel cielo , poi verso sera si nasconde e non riusciamo più a vederlo .. nel frattempo arriva la notte.

Federica:. *e di notte il cielo è blu scuro si vedono le stelle, la luna*

Isabel:*… di notte ci sono i pipistrelli, si sentono le rane che fanno cra cra*

Federica : di notte passano i ladri perché così non si fanno vedere.

I bambini dopo discussioni animate concordano che.. di notte non si vedono tutti i colori ma solo il blu, il viola , il nero o grigio

Maestra: Ma che bello osservare il cielo stellato, che bei puntini luminosi lampeggiano nelle notti serene….ma saranno proprio così piccole le stelle nel cielo?

Eugenia: Sono piccole perché sono lontane

Maestra : Brava Eugenia, sapete che anche il nostro sole è una stella ? Lo vediamo così grande rispetto alle altre stelle proprio perché è più vicino alla nostra Terra!!! E pensare che tra tutte le stelle del cielo il solo è una stella nana, ve ne sono di giganti e supergiganti

Silenzio assoluto , sono molto attenti , stupiti e incuriositi!

L'attività si è conclusa in cortile con il gioco della mosca cieca …..per capire che non basta avere solo una fonte di luce per vedere ma….. sono necessari anche gli occhi .

Scuola dell'infanzia "Il Girotondo" – I. C. Marmirolo – insegnanti: Violana Bertazzoni, Brutti Orietta

N.B. attività esplorative del tipo riportato possono portare bambini anche piccoli a notare insiemi di fenomenologie diverse (la variazione dei colori fino alla loro scomparsa; la presenza di zone più o meno illuminate e zone buie o di ombre più o meno definite …, anche affrontando e superando paure istintive), a non cadere in idee stereotipate che si ritrovano facilmente anche fra adulti (nella zona d'ombra "non arriva luce", un'ombra è sempre "nera", gli oggetti trasparenti non hanno ombra …), a collegare ciò che accade o si vede nel "qui ed ora" del tempo scolastico a quanto si sa perché si è già visto/sentito anche al di fuori della scuola, a porsi problemi e costruire relazioni fra aspetti diversi dei fatti ("*buio*" vuol dire "*:quando non c'è luce e non riusciamo vedere niente"*...) …

RIQUADRO 3 Riflessioni su un curricolo verticale (Lucia Olivieri e Federica Prinetto)

Dalla riflessione del gruppo di ISS "Luce 1 di MI1" sono emerse:

- La necessità di pensare al livello successivo per poter progettare (sequenzialità dei percorsi)
- La possibilità di presentare concetti differenti (o anche gli stessi), ma ad un livello di concettualizzazione diverso, ed adatto alle età dei bambini-ragazzi con i quali ci si rapporta.
- La necessità di stabilire una sequenza di concetti o nodi successivi nella verticalità del percorso.
- La necessità di una riduzione degli argomenti affrontati in favore di un maggior approfondimento delle tematiche.
- L'esigenza di descrivere un fenomeno attraverso modelli interpretativi a livelli di approssimazione decrescente (sempre più precisi, più "potenti"), individuando le fasce di età in cui si può passare dalla semplice descrizione del modello, alla sua rappresentazione grafica, fino a giungere all'analisi critica del modello (dei suoi pregi e dei suoi limiti).

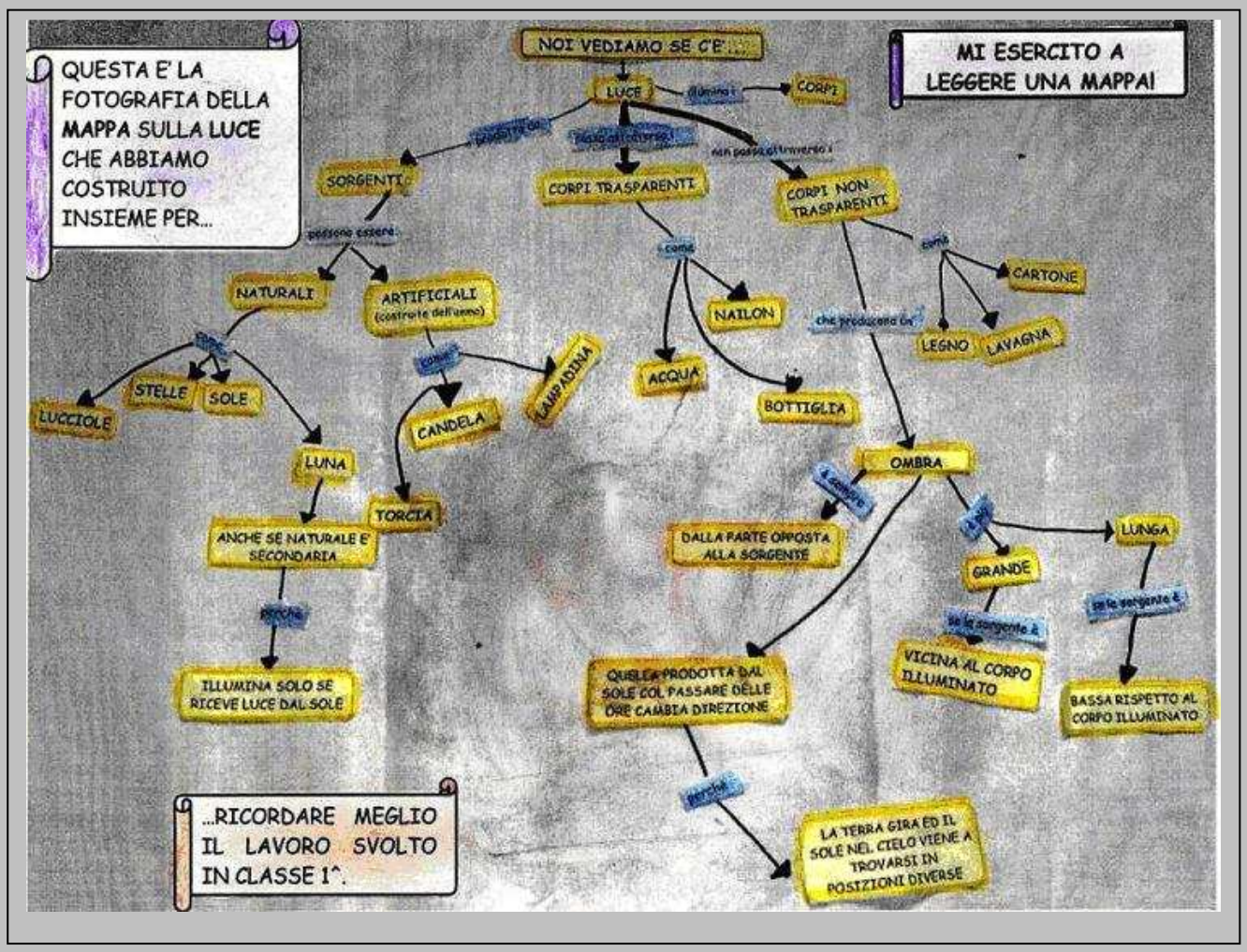
Basandosi su queste premesse, il gruppo ha elaborato lo schema che segue, come prima ipotesi di sviluppo verticale per un aspetto limitato del curricolo.

Il modello a raggi della luce: ipotesi di sviluppo verticale

Età	Cosa/Come	Per …	Metacognizione
3-5	Giochi di luce, ombra e colore: • osservare e giocare a livello fenomenico (calpesta la tua ombra, calpesta quella degli altri…) • far emergere paure, emozioni e affettività	Riconoscere relazioni oggetto-ombra e oggetto ombra-sorgente	Stratificazione delle conoscenze Riflessione sulle esperienze (abilità precedentemente esplicitate rivisitate negli anni successivi per riconoscere cambiamenti di prospettiva). Modello: che cos'è / perché mi serve / come lo uso. **Evoluzione di Modelli** Costruzione di modelli diversi riconoscere limiti e evoluzione il modello evolve in uno più potente Evoluzione di un linguaggio specifico via via più rigoroso.
6-8	Giochi di luce, ombra e colore • guardare la propria ombra (davanti e dietro) • guardare come cambia nella giornata • nascondersi nelle ombre • far cambiare ombra agli oggetti • sperimentare diverse condizioni di illuminazione	Riconoscere relazioni oggetto-ombra e oggetto ombra-sorgente Rappresentare delle situazioni sperimentate Riconoscere diversi livelli di trasparenza	
9-11	Costruzione di giochi (es. con spaghetti e fili) per individuare: • parallelismo e convergenza • spazi d'ombra Osservazione di fenomeni di riflessione e rifrazione	Costruire, raccontare il modello rettilineo (rappresentazione, verbalizzazione, scrittura)	
12-13	Costruzione di un modello Sole, Terra, Luna e osservazione di fenomeni relativi. Costruzione di volumi d'ombra del sistema S.T.L. Interpretazione di fenomeni di rifrazione e riflessione su superfici piane e attraverso liquidi.	Schematizzare situazioni tridimensionali sul foglio. Operare misurazioni e raccogliere dati, elaborare e analizzare i dati. Formalizzare e usare modelli. Effettuare valutazioni quantitative.	
14-16	Osservazioni di fenomeni di riflessione e rifrazione con specchi sferici, lenti convergenti e divergenti. Verifica della legge dei punti coniugati. Osservazione di fenomeni di diffrazione e interferenza.	Operare su sezioni degli spazi di luce-ombra Ragionare sul modello come oggetto di conoscenza (pregi limiti e possibilità)	

RIQUADRO 4 **Ricordare e ricostruire il lavoro dell'anno precedente**

- **"**Mi ricordo che in classe 1^…": rappresentazione grafica e verbalizzazione di alcune delle attività svolte in classe 1^ (scelte individualmente da ogni bambino).
- Realizzazione collettiva di una mappa:
  - Verbalizzazione e trascrizione su foglietti (da parte dei bambini) di singoli elementi ricordati.
  - Suddivisione delle frasi scritte dai bambini,da parte dell'insegnante.
  - Trascrizione al computer delle singole parti.
  - Costruzione collettiva della mappa: collocazione sul cartellone, da parte di ogni bambino, dei propri foglietti, in ordine sequenziale (definito dal gruppo classe) con le opportune frecce.
- Esercizio di lettura della mappa.



Scuola Primaria "Don Milani" di Vinovo (TO) - Insegnante R. PETITI *(Tutor ISS Torino Cintura)*

ALLEGATO 1

Il processo di modellizzazione nella costruzione di conoscenza scientifica: un esempio.

Modelli e modellizzazione

Possiamo definire **"modelli"** dei costrutti mentali con diversi livelli di astrazione, corrispondenti a rappresentazioni esprimibili in linguaggi diversi, adeguati ad organizzare in forma definita le correlazioni che il soggetto conoscente stabilisce tra aspetti diversi della realtà. In questa accezione, molto ampia, il processo di modellizzazione emerge come una caratteristica del pensiero umano che contraddistingue sia la conoscenza comune che la conoscenza scientifica.
Il processo di apprendimento della fisica consiste, da questo punto di vista, in un passaggio da attività di modellizzazione spontanea ad attività di modellizzazione che acquisiscano gradualmente caratteri sempre più vicini a quelli delle attività disciplinari. L'insegnante deve sincerarsi che siano salvaguardati alcuni aspetti critici:

- appropriazione del problema conoscitivo che induce alla costruzione od all'uso del modello;
- distinzione tra modello e realtà: il modello come strumento per sviluppare e testare le proprie ipotesi sulla realtà;
- consapevolezza del carattere di schematizzazione del modello.

Si possono riconoscere livelli successivi di modellizzazione:

A) Attività di modellizzazione a livello qualitativo, ma con forte valore di generalizzazione e di potenza descrittiva rispetto agli (eventuali) modelli spontanei (basate su esperienze riferibili a contesti quotidiani, ma mirate a trovare risposte a domande non più di "conoscenza comune" e che hanno come risultato modelli descrittivi molto semplici ma molto generali).

> *Esempio: costruzione dello schema sorgente/occhio/oggetto; interpretazione dell'interazione luce-oggetto come sovrapposizione di riflessione/diffusione, assorbimento, trasmissione.*

B) Attività di prima modellizzazione a livello quantitativo, con successivo uso del modello per interpretare fenomenologie diverse da quella di partenza ⇒ Necessità di costruire esperimenti ad hoc

> *Esempio: costruzione del modello di raggio a partire dallo studio delle ombre e sua riutilizzazione per l'interpretazione della visione "diretta" e per lo studio dei fenomeni di riflessione e rifrazione*

C) Modellizzazione quantitativa di aspetti fenomenologici attraverso produzione di ipotesi ed uso a vari livelli di modelli di tipo diverso. Costruzione di variabili misurabili e di situazioni sperimentali adeguate al controllo della modellizzazione effettuata

> *Esempio: Variazione dell'intensità di illuminazione all'aumentare della distanza da una sorgente puntiforme [vedi più avanti]*

D) Modellizzazione per trasposizione analogica di modelli formalizzati costruiti in ambiti diversi

> *Esempio: Costruzione del modello di interazione tra radiazione elettromagnetica e materia che dà ragione dei fenomeni di trasparenza, assorbimento selettivo e non selettivo, diffusione, attraverso l'analogia con oscillatori meccanici a diverso grado di accoppiamento.*

Un esempio: dalla percezione di "luminosità" di un oggetto alla modellizzazione della variazione di intensità luminosa nello spazio che circonda una sorgente puntiforme.

E' esperienza comune che più un oggetto è lontano da una sorgente di luce, meno appare "luminoso". La spiegazione **a livello qualitativo** può essere ricondotta all'esperienza della

variazione di intensità e grandezza della "macchia di luce" prodotta da una torcia su uno schermo che viene allontanato progressivamente e si basa su una ipotesi di "conservazione della luce" che si propaga e di conseguente compensazione fra aumento della superficie totale investita dal flusso luminoso e diminuzione della quantità di luce che finisce su porzioni di estensione costante dell'area via via illuminata.[21]

Quali passaggi sono necessari per arrivare alla **formalizzazione matematica** di questa correlazione?

E' necessario individuare/costruire le grandezze fisiche che vanno messe in relazione, grandezze che dovranno caratterizzare la situazione fisica considerata in termini di proprietà fisiche della sorgente e di proprietà geometriche dello spazio.

La "distanza fra oggetto e sorgente" che andava bene come variabile qualitativa va sostituita con il concetto matematico di distanza, che è definito come distanza "fra due punti", non fra due corpi estesi, come lo sono la sorgente e l'oggetto. E' necessario effettuare un procedimento di discretizzazione del continuo che vede la superficie della sorgente e dell'oggetto come insieme di infiniti punti e alla situazione reale si sostituisce una situazione ideale, modificando il problema iniziale.

Si deve poi costruire una variabile misurabile che corrisponda all'idea intuitiva di quantità di luce che finisce su ogni piccola porzione dell'oggetto illuminato da determinata sorgente.

Il processo è cognitivamente tutt'altro che semplice. L'idea intuitiva di "quantità di luce" corrisponde ad un a grandezza estensiva rispetto sia allo spazio che al tempo: qualunque "quantità di luce" non può essere altro che la luce emessa da una sorgente in un intervallo di tempo definito all'interno di uno spazio definito (a livello intuitivo, la porzione di spazio entro la quale si propaga la parte di luce emessa dalla sorgente che va ad investire l'oggetto). Questa quantità di luce sarà diversa, a parità di ogni altro elemento, per sorgenti diverse (due lampadine di diversa potenza emettono nello spazio circostante quantità di luce diverse in tempi uguali).

A noi però interessa stabilire una relazione indipendente sia dal tempo che dall'estensione di sorgente ed oggetto: la sensazione di "luminosità" di un oggetto non dipende dalla luce che investe tutto l'oggetto, ma da quella che finisce su ogni sua piccola parte (matematicamente idealizzata come "un punto"), né cambia al passare del tempo. La variabile che ci serve è una grandezza intensiva sia rispetto allo spazio che rispetto al tempo: è la quantità di luce che arriva in ogni istante in un punto dello spazio situato ad una distanza data da una sorgente puntiforme, definita "**intensità di illuminazione**" in un punto.

Un primo gradino a livello quantitativo nella modellizzazione del fenomeno che stiamo considerando consiste nel trovare la legge che descrive la variazione dell'intensità di illuminazione al variare della distanza dalla sorgente. Se proviamo a "visualizzare" la propagazione della luce emessa ad un certo istante dalla sorgente, seguendone il percorso nel tempo e tenendo presente che si propaga in linea retta e che viaggia a velocità costante, avremo che in ogni istante successivo a quello iniziale essa si troverà distribuita su una ideale superficie sferica avente centro nella sorgente e raggio di lunghezza crescente $R = v \times t$, ove v è la velocità di propagazione e t il tempo trascorso dall'istante iniziale. Ognuna delle superfici sferiche è fatta di punti raggiunti dalla luce nello stesso istante ed illuminati nello stesso modo. La quantità di luce emessa all'istante iniziale si distribuisce nel tempo su superfici sempre più estese ($S= 4\pi R^2$), con la conseguenza che i loro punti sono sempre meno illuminati. Finché la sorgente resta attiva, essa continua ad emanare luce che continua a distribuirsi su superfici sferiche contigue che si allargano via via riempiendo lo spazio circostante (si può immaginare una sorta di "cipolla" che cresce

[21] Operativamente si può ragionare, già a livello di fine scuola primaria, sulla luce che finisce su ogni "quadratino" della zona illuminata usando come schermo una superficie rivestita con fogli a quadretti. L'ipotesi di conservazione non è così intuitiva: si può pensare che la luce "si consuma" o che è "assorbita dall'aria" (cosa vera, anche se trascurabile in prima approssimazione!) via via che si propaga …Se viene accettata, la compensazione segue in modo spontaneo.

continuamente fatta da infiniti "strati di luce"). L'illuminazione dei punti di superfici sferiche contigue diminuisce via via che ci si allontana dalla sorgente[22].

Possiamo definire la grandezza che ci serve, cioè l'"**intensità di illuminazione**" L in un punto posto ad una distanza R dalla sorgente, come quella variabile che moltiplicata per la superficie sferica S alla quale appartiene il punto considerato ci dà la quantità di luce che in ogni istante si distribuisce su S[23]. Nell'ipotesi che durante la propagazione la quantità totale di luce si conservi[24], la variabile L dovrà soddisfare una relazione del tipo $L\,S = cost$ (tutta la luce che parte dalla sorgente in ogni istante). Se cioè si prendono in considerazione due punti a distanze diverse dalla sorgente, R_1 ed R_2, si dovrà avere, qualunque siano i valori di R_1 ed R_2, che

$L_1 \times S_1 = L_2 \times S_2$ da cui $L_1 : L_2 = R_2^2 : R_1^2$

A scuola, il processo di modellizzazione che porta alla relazione testé ottenuta potrebbe essere messo in atto sia in una fase di costruzione di ipotesi a priori, verificabili attraverso successive misure (effettuabili con radiometri che sono disponibili a basso costo e facili da usare), sia in una fase di spiegazione a posteriori dei risultati di misure già effettuate. In un percorso verticale le misure potrebbero precedere la costruzione della relazione formalizzata e dare luogo a grafici da interpretare qualitativamente, rimandando ad anni scolastici successivi la fase di formalizzazione matematica.

Uno stadio più avanzato del processo di modellizzazione, che potrebbe eventualmente essere affrontato a livello di biennio della scuola secondaria superiore, consiste nella costruzione delle variabili fotometriche, a partire dalla grandezza fondamentale **"intensità luminosa"** di una sorgente (puntiforme)[25], grandezza immaginabile come matematicamente legata al concetto di "quantità di luce" nella forma di un rapporto del tipo $I = Q/\omega t$, ove Q sarebbe la quantità di luce emanata in un tempo t all'interno di una porzione di spazio geometricamente definita da un angolo solido[26] con vertice nella sorgente e ampiezza ω. Q, ω, t sono tutte grandezze estensive, mentre I è una grandezza intensiva, cioè con un valore indipendente sia dalla durata t (che può

---

[22] E' tutt'altro che banale saper consapevolmente utilizzare e correlare un modo di guardare che prende in considerazione una situazione spaziale globale in certo un istante ("visualizzando" gli infiniti "gusci" via via meno "luminosi" che corrispondono alla luce distribuita sulle infinite superfici sferiche contigue intorno alla sorgente) ad un modo di guardare che segue l'evoluzione nel tempo di una situazione spaziale "locale" ("visualizzando" l'allargamento continuo, con diminuzione di luminosità, di un unico "guscio di luce", "nato" ad un certo istante dalla sorgente puntiforme). E' una difficoltà ben nota, che non si ritrova solo in fisica (si ripresenta, ad es., in fisica nello studio delle onde, ma anche in biologia nello studio del sistema circolatorio)

[23] La relazione fra intensità di illuminazione, quantità totale di luce che si distribuisce in ogni istante su S, area di S è analoga alla relazione fra velocità, lunghezza e tempo o alla relazione fra peso specifico, peso e volume. C'è però una difficoltà in più: nel caso della luce abbiamo una grandezza intensiva rispetto allo spazio ed al tempo che "parametrizza" la relazione di proporzionalità diretta fra due grandezze entrambe estensive rispetto allo spazio, ma una intensiva e l'altra estensiva rispetto al tempo, invece di avere una grandezza intensiva che "parametrizza" la relazione di proporzionalità diretta esistente fra due grandezze estensive. Il tempo gioca come quarta variabile "nascosta" ed è assolutamente necessario farne oggetto di considerazione esplicita per aiutare gli allievi a raggiungere una piena comprensione del modello.

[24] Come già accennato, l'ipotesi è solo approssimativamente valida in aria, perché c'è assorbimento, mentre è rigorosamente valida nel vuoto.

[25] Una grandezza fondamentale viene definita attraverso un "campione", cioè un sistema fisico per il quale si stabilisce che il valore assunto dalla grandezza considerata vale come unità di misura (per la lunghezza il "campione" è una barra di platino-iridio che costituisce il sistema la cui lunghezza definisce l'unità "metro"). L'unità di misura dell'intensità luminosa di una sorgente è chiamata "candela" (!) ed il sistema-campione è un quadratino di 1 cm^2 platino portato alla temperatura di fusione.

[26] Un angolo solido è una porzione di spazio tridimensionale delimitata da una superficie chiusa illimitata che si "sviluppa" a partire da un punto (il vertice dell'angolo solido). E' immaginabile come un insieme di semirette con origine nel vertice dell'angolo solido che "riempiono" con continuità lo spazio delimitato dalla superficie. Sono angoli solidi ad esempio, un cono illimitato ed una piramide illimitata. Un fascio di luce generato da una sorgente puntiforme definisce comunque un angolo solido (le "semirette" sono il corrispondente geometrico dei "raggi di luce").

essere scelta a piacere) sia dall'ampiezza ω (che può essere anch'essa scelta a piacere). Concettualmente la variabile I corrisponde al parametro (caratteristico della sorgente) per il quale andrebbero moltiplicati il tempo e l'angolo solido di emissione per ottenere la quantità di luce emessa dalla sorgente[27] nel tempo t entro l'angolo solido ω.

Dalla definizione di intensità luminosa discende immediatamente quella di **flusso luminoso**, cioè della quantità di luce che viene emessa in ogni istante all'interno di un angolo solido di ampiezza definita ω ($F = I\omega$) e di intensità di illuminazione media di una superficie di area S ($L_{media} = F/S$, ove F è il flusso luminoso che investe la superficie). Attraverso passaggi matematici che per essere compresi richiedono la conoscenza del processo di misura di un angolo solido, si arriva infine a definire l'**intensità di illuminazione** in un punto a distanza R da una sorgente puntiforme come $L = I/R^2$.

ALLEGATO 2

Un uomo ha fatto un'esperienza ora si sforza di creare la storia,
non si può vivere indefinitivamente con un'esperienza che non possiede una storia,
così sembra e spesso mi è accaduto di immaginare che un altro avesse
la storia di cui avevo bisogno per la mia esperienza.
Max Frisch

Le ombre "dalla Terra alla Luna"

(Stralcio commentato del diario di bordo di Angela DeVitto del presidio di Mantova)

Stralcio del documento	***Spunti di riflessioni e discussione***
Vi presento un primo percorso sulla luce che ho avviato l'anno scorso, verso la fine dell'anno, con i miei ragazzi di seconda per documentare il Piano ISS su RAIexsplora, ma che attualmente ho ripreso con vigore in terza: ***Diario di bordo maggio 2007*** L'input è nato dalla lettura, in classe, di una nota storica riferita a Talete di Mileto e l'altezza della piramide d'Egitto (stavamo affrontando le similitudini tra figure piane) quindi è emerso tra i ragazzi il bisogno di visualizzare concretamente questi triangoli simili e verificare in prima persona le relazioni tra le ombre suggerite dal matematico. Le prime attività sono state di percezione e osservazione in riferimento: -posizione del sole sull'orizzonte, nel corso della mattinata -possibilità di ricoprirlo con una moneta per un primo approccio tra distanza e dimensioni -propagazione rettilinea della luce con i famosi acchiapparaggi -confronto delle proprie ombre al sole, direzione delle braccia per individuare l'inclinazione dei raggi solari. -entrare nelle ombre dei compagni - confronto di ombre di 2 bastoni (canne) posti verticalmente al suolo, illuminati prima dal sole e poi da una lampada da tavolo .	*Trasversalità come spunto per iniziare e coinvolgere/intrigare i ragazzi.* *Si può anche presentare una situazione problematica* - *Primo passo fare e osservare* - *E' interessante in questa fase documentare le osservazioni/domande che fanno gli studenti e/o l'insegnante* - *Gruppi diversi di ragazzi reagiscono nello stesso modo ad uno stesso stimolo iniziale?* - *Può il percorso essere interamente progettato a priori?*
Scrive Camilla: *il sole è molto distante dalla terra, per questo lo vediamo così piccolo, i raggi arrivano dritti e paralleli perché le ombre che si formano sono dritte e parallele. Le ombre della lampada sono sempre dritte ma si aprono, perché la lampada è più vicina al bastone.*	*Dai ragazzi escono sempre osservazioni derivanti dall'esperienza quotidiana che sono spunti fondamentali su cui costruire.* *Il brano "Scrive Camilla"mette in luce l'importanza della documentazione per le riflessioni successive*
Allontanando la lampada dai bastoni ho cercato di far notare come le rette-ombra divergenti, andavano via via diminuendo la loro divergenza . e se fosse possibile portare la lampada a una distanza molto grande quelle rette tenderebbero a diventare parallele avendo così *l'effetto sole.*	*Si costruisce in continuazione su quello che viene dai ragazzi ….* *Indirizzare, evidenziare, rilanciare …*

[27] La relazione è analoga (salvo sempre l'avere quattro variabili invece di tre) a quella che caratterizza tutti i problemi di "flusso di acqua": la quantità totale di acqua che esce in un certo tempo da un rubinetto avente una data portata è data dal prodotto fra portata e tempo. Come tutti gli insegnanti che li usano sanno bene, questi problemi pongono non poche difficoltà agli alunni, difficoltà che hanno origine proprio nel problema cognitivo di distinguere e correlare gli aspetti "intensivi" di un fenomeno da quelli "estensivi".

Propongo di far scoprire ai ragazzi altre regolarità delle ombre alla luce del sole: Si osservano le ombre di 4 canne poste verticalmente al suolo in rapporto tra di loro (1/4, 2/4, ¾, e 4/4) , suggerisco di osservare le ombre e controllare i rapporti delle lunghezze delle ombre, ho fatto utilizzare per il confronto una cordicella come modello di lunghezza campione dell' ombra più piccola …. (L'attività introduce le trasformazioni affini… le lunghezze non sono uguali si conserva il parallelismo,è costante il rapporto fra segmenti corrispondenti che appartengono alla stessa retta o rette parallele.) Successivamente con la fettuccia gialla faccio evidenziare il modello di raggio, Alessandro nota subito i triangoli di uguale forma e interviene: Ma è vero!! "**Alla luce del sole** *i triangoli sono simili perché prima abbiamo capito che i rapporti restano invariati*, (mi indica per ciascun triangolo il cateto bastone, il cateto ombra e l'ipotenusa modello di raggio e l'angolo retto); *quindi gli angoli corrispondenti sono uguali.* Nasce un significativo confronto sull'angolo di inclinazione dei raggi solari. Ci siamo così spostati in cortile, per determinare l'altezza del nostro tiglio utilizzando il metodo delle ombre di Talete e ricordandoci dei nostri bastoni...	*Nella situazione problematica proposta dall'insegnante ai ragazzi sono inseriti dal docente i germi per uno sviluppo trasversale delle riflessioni (trasformazioni geometriche-similitudine)* *La trasversalità non è gestita in successione, ma è insita nel lavoro* *Il cortile è in questo momento il nostro laboratorio*
……**<u>In terza riflessioni in itinere gennaio 2008</u>** Sto mettendo in campo tutte le mie forze, per dare concretezza e senso al lavoro programmato. Mi sono messa in gioco in prima persona: coinvolgimento dei colleghi del consiglio di classe, ricerca, studio e naturalmente a provare e riprovare a casa le esperienze da proporre ai ragazzi al fine di riflettere sui concetti e relazioni fondamentali. Confido che raccolgo interessanti spunti nell' ambiente di formazione Indire, molte idee e riflessioni didattiche mi sono di grande aiuto! Premetto che per me il tema Luce Colore e Visione è nuovo essendo stata indirizzata nei corsi di formazione in leggere l'ambiente, ma comunque il percorso sulla luce che sto attuando permette ampiamente di leggere l'ambiente, secondo vari punti di vista: fisico, biologico,naturalistico, astronomico…!! Come tutti i colleghi tutor, penso di aver perso, o forse è meglio, mi sono liberata del libro di testo.!. Ormai è diventato uno strumento accessorio di sintesi finale. Certamente sono alla ricerca di nuove modalità di valutazione, attualmente per me il quadernone di scienze con gli appunti, le riflessioni, i disegni è il primo strumento per capire cosa i ragazzi hanno capito, come hanno interpretato una particolare situazione.	*Fatica/impegno e continua messa in discussione del proprio operato sono ingredienti insiti nel lavoro dell'insegnante.* *Importanza del gruppo di progettazione, del coinvolgimento attivo e della ricerca di situazioni ottimali ed adatte* *Acquisizione di autonomia da parte dell'insegnante* *L'insegnante utilizza modalità di verifica alternative per le attività laboratoriali* *"Sono alla ricerca" attitudine indispensabile per lo sviluppo della professionalità docente*
Ad esempio dopo l'esperienza di simulazione delle eclissi (lampada e 2 palline di polistirolo di diversa dimensione), i ragazzi nel rappresentare con un disegno la situazione Sole terra luna , mi rappresentavano il cilindro d'ombra, non il cono d'ombra, considerando lo spazio cilindrico conseguenza del parallelismo dei raggi solari e ponendosi come osservatori dalla Terra. La situazione è migliorata spostandoci formalmente come osservatori sul Sole e facendo costruire dei modelli, rappresentativi dei tre corpi celesti, in scala sia per le dimensioni che per le distanze. L'impresa dei modellini non è stata facile …dovevano loro pensare a casa come fare e cosa utilizzare. La sfida è stata vinta da Diego e Chiara dopo una settimana di tentativi ed errori!!. *Diego arriva a scuola con un Sole piatto di 50 cm di diametro (disperato perché non era riuscito a realizzarlo in forma tridimensionale per la sua enorme grandezza) ,una terra e luna di plastilina con i rispettivi diametri di 5 mm e di 1,5mm .* *Chiara invece si è preoccupata di partire dalla Luna e Terra ricercando possibili soluzioni nel suo contenitore di perline …per il sole che per lei doveva essere di 35 cm di diametro ha trovato una soluzione originale…gonfiare un palloncino fino a raggiungere il diametro desiderato.* Molto interessante è stato valutare con questi modelli **personalizzati** le distanze reciproche.. ci siamo dovuti spostare in corridoio … per mantenere i rapporti dovuti. Il diametro del sole ci sta 100 volte nella distanza media Terra – Sole e la terra 10 volte nella distanza media Terra Luna. Sono seguite prove di simulazione per il ricoprimento del sole!!!	*Gli alunni hanno sviluppato un modello interpretativo e lo riusano in un contesto diverso, ma non funziona: l'insegnante sa gestire la situazione non come un fallimento, ma come momento di crescita e di aggiustamento delle conoscenze.* *Si ritorna su idee precedentemente costruite per rivederle/ampliarle/aggiustarle/modificarle.* *Il problema della riproduzione in scala del sistema solare: non si propone "la soluzione", ma ancora una volta si parte dal lavoro degli alunni e dalle loro strategie anche se "imperfette" dal punto di vista di uno specialista.* *"Scopri quello l'allievo conosce già ed organizza il tuo insegnamento." D. P. Ausbel*

Attualmente siamo in attesa dell'eclissi di luna del 21 febbraio 2008, per ora il compito serale a casa è o di osservare e rappresentare come vedono la luna nel corso di un mese e mi sono raccomandata di non tralasciare nel disegno il loro orizzonte.!!!	*Il lavoro scolastico non è staccato dal mondo vero, dalla vita quotidiana, ogni spunto per non dimenticarlo è prezioso.*
Per concludere: ecco alcune riflessioni dei ragazzi, emersi in un tema in classe proposto dalla collega di Lettere: Chiara.:..queste esperienze di scienze mi sono state utili per capire argomenti che leggendoli solamente sul testo non avrei capito. Confesso che ci sono stati dei momenti in cui la professoressa richiedeva un po' troppo lavoro. Diego: è un' emozione evidenziare con il talco il percorso rettilineo di una luce laser e vederla ribalzare da uno specchio, ma ancor di più rendersi conto che cambia direzione passando dall'aria all'acqua intorbidita con alcune gocce di latte o nelle caramelle di gelatina. Secondo me queste esperienze sono 1000 volte più istruttive di un libro. Stefano: apprezzo molto questo modo di fare scienze, mi dispiace che sono solo due ore settimanali, bisognerebbe aumentarle per favorire la comprensione al 101%. Leonardo: tutte le esperienze mi hanno affascinato a volte anche stupito e apprezzo molto i professori che anziché leggere sui libri ci fanno sperimentare.. ..io mi sento più coinvolto. Lavorare in piccolo gruppo è importante perché possiamo confrontare le nostre idee per metterle in pratica e abbiamo imparato insieme a risolvere piccoli problemi che incontravamo, anche personali e relazionali. Stefano ..alle elementari scienze non mi è mai piaciuta, ma adesso, non è la mia materia preferita ma è certamente una delle più belle materie della scuola media. Davide: mi è piaciuto vedere quell'arcobaleno riflesso sul soffitto del laboratorio quando abbiamo puntato la piccola pila sul CD e capire cosa era successo alla nostra luce bianca. Alessandro: …. È cambiato il mio modo di vedere le cose, i fenomeni. Ho constatato che spesso il libro dice la metà delle informazioni ce ne sono molte di più con l'esperienza diretta, e poi ho capito che si può imparare anche fuori dai banchi. Spero di continuare in questo modo anche l'anno prossimo alle superiori. CHE FATICA… PENSO TRA ME E ME!! MA POI …. I RAGAZZI ALLA FINE TI RICARICANO…!! Buon lavoro a tutti !! Angela De Vitto	*La collaborazione / intervento trasversale è parte integrante di un progetto di Consiglio di Classe, non un insieme di episodi estemporanei* *È evidente la riflessione metacognitiva dei ragazzi sia sul proprio apprendimento, sia sugli aspetti emotivi coinvolti.* ***NON SI INSEGNA PER MESTIERE O PER OBBLIGO, MA PER PASSIONE!***