

Progetto SeCiF

LUCE E VISIONE

M. Gagliardi, E. Giordano

Marzo 2002

1. IL PROGETTO

1.1 Contenuti

LUCE E VISIONE propone un itinerario per affrontare lo studio di base dei fenomeni luminosi dal punto di vista fisico, sottolineandone le connessioni con altri punti di vista indispensabili per interpretare la vastissima esperienza quotidiana legata alla vista che ognuno di noi possiede. Gli argomenti di fisica affrontati si situano per la maggior parte nell'area tradizionalmente indicata come *ottica geometrica*. Non mancano tuttavia accenni ad argomenti di *ottica fisica* che a nostro parere non possono essere evitati in un percorso di apprendimento significativo.

Il progetto non pretende infatti di trattare in modo esaustivo tutti i temi affrontati, ma piuttosto di costruire un quadro generale al cui interno i contenuti più usuali dell'insegnamento relativi al rappresentare e interpretare "il vedere" acquistino significato e pregnanza nel più vasto campo della cultura umana.

1.2 Motivazione ed obiettivo

La ricerca didattica ha messo in evidenza ed analizzato le difficoltà di ottenere un apprendimento significativo in questo come in altri ambiti della fisica, ha esplicitato alcuni aspetti critici della ricostruzione fisica dei fenomeni naturali a cui tali difficoltà possono essere ascritte, ha infine individuato metodi didattici efficaci per affrontarle.

In particolare, si è constatato che "Spiegare e Capire la Fisica" dei fenomeni luminosi richiede un percorso lungo, complesso, interdisciplinare e che tale percorso può essere avviato fin dalla scuola dell'infanzia e portato avanti lungo l'arco scolastico con modi e tempi rispettosi dei modi di apprendere e delle esigenze cognitive, emotive ed affettive che caratterizzano gli allievi delle diverse età.

"Luce e Visione" affronta contenuti selezionati e propone attività didattiche mirate con l'obiettivo di permettere agli insegnanti di appropriarsi in modo professionalmente efficace dei risultati della ricerca didattica in relazione agli aspetti dei fenomeni luminosi che sono alla base di un apprendimento significativo dell'ottica geometrica e del processo della visione. Da questo punto di vista, la proposta si rivolge agli insegnanti di tutti i livelli scolastici.

Molte delle attività sperimentali, in particolare l'osservazione di situazioni e fenomeni della vita quotidiana e la realizzazione di esperienze qualitative, sono proponibili a tutti i livelli della scuola di base, anche se gli strumenti di descrizione/rappresentazione che si possono utilizzare ed i livelli di interpretazione e formalizzazione che si possono raggiungere dipendono molto dalle fasce di età degli allievi. Ai primi livelli scolari si dovrà porre particolare attenzione al rapporto tra il piano cognitivo e il piano fantastico ed emotivo che le osservazioni e le esperienze possono evocare nei bimbi più piccoli. A livelli scolari più alti sarà possibile arrivare gradualmente agli esperimenti quantitativi e alle attività di schematizzazione e modellizzazione presentate nella proposta, che portano alla formulazione di leggi generali attraverso schemi geometrici, relazioni aritmetiche e algebriche, dipendenze funzionali. Su queste basi potrà essere sviluppato dall'insegnante di scuola secondaria un percorso di ulteriore approfondimento dello studio dell'ottica, facendo riferimento anche a strumenti didattici più tradizionali (libri di testo per lo svolgimento della parte più formale e dei relativi esercizi/problemi, apparecchiature di laboratorio per l'esecuzione di esperimenti più avanzati).

LUCE E VISIONE si presenta in definitiva come un prodotto che può assumere significati diversi a seconda dei destinatari. Per gli insegnanti di scuola dell'infanzia e di scuola elementare, in genere spaventati dalla fisica e con ricordi di scuola secondaria superiore tutt'altro che rassicuranti, vuol essere, oltre che una risorsa dal punto di vista didattico, anche uno strumento di apprendimento personale sui fenomeni luminosi. Per gli insegnanti di scuola media, per la maggioranza non laureati in fisica ma comunque ex studenti all'università di una fisica vista come "materia di servizio" e generalmente poco amata, **LUCE E VISIONE** vuol essere uno strumento che consente un cambiamento personale di prospettiva nella considerazione degli aspetti fisici dei fenomeni naturali e che suggerisce il modo per trasferire il nuovo atteggiamento anche agli allievi. Per gli insegnanti laureati in fisica, infine, **LUCE E VISIONE** può costituire il mezzo per acquistare consapevolezza dei problemi di comprensione, interesse, motivazione che minano alla base l'apprendimento in fisica di tanti alunni (di solito definiti "non portati per ...") e, soprattutto, per rendersi conto che tali problemi possono essere affrontati ed anche, quantomeno in parte, risolti.

1.3 Articolazione

Il progetto è costituito da un insieme di pagine web, variamente percorribili in funzione degli interessi e degli scopi del lettore, suddivise in quattro parti: **Introduzione**, **Quadro di riferimento**, **Percorsi**, **Risorse**.

1.3.1 Introduzione

L'**Introduzione** presenta sinteticamente le ipotesi degli autori trattate più diffusamente ai paragrafi 2 e 4 del presente libretto, relative ai processi di apprendimento ed al ruolo dell'insegnante e della scuola .

1.3.2 Quadro di riferimento

In **Quadro di riferimento** il tema della luce e della visione viene inquadrato nel panorama più generale della cultura. Le sezioni **Arte**, **Astronomia**, **Biologia**¹ affrontano aspetti selezionati dei rispettivi punti di vista disciplinari. La sezione **Fisica** situa gli argomenti di **LUCE E VISIONE** all'interno del panorama complessivo della fisica della luce. Per altri punti di vista culturalmente significativi (filosofia, geometria, mito, psicologia religione, tecnica) vengono indicate voci bibliografiche di riferimento e/o presentate esemplificazioni che evidenziano importanza e pervasività del tema.

1.3.3 Percorsi

Percorsi costituisce la parte centrale della proposta e intende presentare un percorso emblematico di costruzione/rilettura dei modi scientifici di guardare ai fenomeni legati alla luce ed alla visione attraverso quattro tappe fondamentali: *l'analisi di situazioni di vita quotidiana*; *la realizzazione di esperienze controllate ed esperimenti di laboratorio*, *la costruzione di schematizzazioni e di modelli interpretativi* fondamentali, il ritorno all'*interpretazione di fenomeni quotidiani*. Le proposte sono articolate in quattro sezioni: "**Vedere attraverso l'aria**", "**L'occhio ingannato**", "**Fenomenologie**", "**La fisica del quotidiano**".

¹ Nella sezione Arte Oreste Brondo tratta in particolare delle connessioni tra scienza e arte in riferimento alla prospettiva e al colore nella pittura; nella sezione Biologia Annastella Gambini tratta in particolare l'utilizzo da parte dei viventi della luce come segnale che proviene dagli oggetti circostanti. Per le connessioni dello studio della luce con la geometria e l'astronomia viene fatto rimando ai lavori di Nicoletta Lanciano (sul sito <http://pctidifi.mi.infn.it/lanciano>) ed ai lavori che si stanno realizzando in Senis, uno dei progetti pilota SeT (coordinato da P. Guidoni) <http://www.indire.it/SeT> .

“**Vedere attraverso l’aria**” affronta il problema della visione e del comportamento della luce nel caso più semplice e più generale (visione diretta di un oggetto) evidenziando i passaggi fondamentali necessari per arrivare al modello di propagazione rettilinea della luce ed al modello di visione di Keplero².

“**L’occhio ingannato**” affronta il problema della visione e del comportamento della luce nel caso che tra osservatore e oggetto osservato siano interposti oggetti/mezzi diversi dall’aria (specchi, vetri, acqua,...) ed introduce alla necessità di imparare a distinguere, correlare e studiare separatamente i diversi fenomeni che nell’interazione tra luce e materia avvengono contemporaneamente.

“**Fenomenologie**” è suddiviso in sottosezioni relative allo studio dei singoli fenomeni individuati nella sezione precedente (*riflessione, diffusione, rifrazione,...*). Per ciascuna di esse si analizza in dettaglio come si comporta la luce e cosa l’occhio vede. I modelli per la propagazione della luce nello spazio, la schematizzazione dei corpi estesi come insiemi di oggetti puntiformi, la schematizzazione dell’occhio e della visione alla Keplero, introdotti nella sezione “Vedere attraverso l’aria”, sono utilizzati per collegare i due aspetti di luce e visione. Partendo da esperienze qualitative e quantitative sul comportamento di fascetti laser e di coni di luce prodotti da una torcia, vengono ricostruiti tutti i passaggi che permettono di rendere ragione dei fenomeni percettivi già considerati nella sezione “L’occhio ingannato” (il mondo “nello specchio”, l’acquario “schiacciato”, il remo “spezzato” o “piegato” ...). Un’ulteriore sottosezione (*oltre il modello di raggio*) accenna sinteticamente a due aspetti di ottica fisica che non possono essere modellizzati nell’ambito dell’ottica geometrica: *l’intensità* della luce (definizione e misura, dipendenza dalla distanza dalla sorgente o dallo spessore del materiale interposto tra sorgente e recettore, utilizzi dell’energia luminosa,...) e il *colore* (colore della luce, colore delle tinte, percezione del colore), rimandando per una trattazione più estesa al Progetto nazionale SeT 406: Luce, colore, energia³.

Ognuna delle precedenti sezioni di “Percorsi” è organizzata in modo da evidenziare:

- L’insieme di idee, modi di dire, di fare e di guardare che caratterizzano la **conoscenza comune** relativa al fenomeno considerato, che derivano dall’esperienza e dal linguaggio quotidiano.
- L’insieme di idee, modi di dire, di fare e di guardare che caratterizzano la **conoscenza scientifica** relativa al fenomeno considerato.
- Le tappe del **passaggio guidato** dalla conoscenza comune a quella fisica attraverso l’analisi delle situazioni quotidiane, la progettazione e l’esecuzione di esperienze ed esperimenti, l’introduzione di modelli interpretativi.

La sezione “**La fisica del quotidiano**” propone infine il riesame e l’interpretazione, alla luce delle conoscenze acquisite, di alcune tipiche situazioni quotidiane.

1.3.4 Risorse

² Per il modello di occhio si rimanda in particolare all’unità “L’occhio: funzionamento e visione” del Progetto nazionale SeT 406 “Luce, colore, energia”. Il Progetto, coordinato da E. Giordano e finanziato dal MPI, è stato portato avanti parallelamente al secondo anno del finanziamento SeCiF. Un gruppo di docenti di scuola media che da anni collaborano tra loro e con i ricercatori universitari in progetti di ricerca-azione ha preparato su questi temi un sito web con 6 unità di lavoro (schede di lavoro per gli studenti ampiamente commentate per gli insegnanti) ed una guida per l’insegnante.

L’indirizzo provvisorio del sito è <http://pctidifi.mi.infn.it/set>.

³ Molte delle proposte sono facilmente adattabili alla scuola primaria. Accanto all’aspetto più propriamente scientifico sono stati affrontati, in collaborazione con il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia di Milano, anche aspetti tecnologici, in particolare relativamente al problema degli utilizzi dell’energia solare.

E’ possibile consultare la documentazione dei lavori realizzati negli anni precedenti dal gruppo di ricerca-azione nel sito <http://pctidifi.mi.infn.it/luce>.

Altre informazioni su progetti interessanti e sulla realizzazione di lavori in classe si trovano nella sezione “**Risorse**”

Risorse presenta strumenti di diversa tipologia utilizzabili per la programmazione e la sperimentazione di percorsi didattici sul tema Luce e Visione, raggruppati in quattro sezioni: **Attività sperimentali, Documentazione di classe, Valutazione, Bibliografia.**

Attività sperimentali raccoglie l'insieme di tutte le esperienze suggerite all'interno della parte "Percorsi", suddivise per contenuto disciplinare affrontato. **Documentazione di classe** riporta esempi tratti da sperimentazioni svolte a diversi livelli della scuola di base (tracce di percorsi, stralci di discussioni, stralci di relazioni individuali ...). In **Valutazione** vengono suggerite riflessioni e proposte specifiche per l'insegnamento delle scienze sperimentali, elaborate in collaborazione con esperti in campo pedagogico allo scopo di individuare strumenti adeguati per monitorare e valutare il processo di insegnamento/apprendimento nel suo insieme e i percorsi dei singoli allievi coerentemente con il modello di educazione scientifica sotteso a **LUCE E VISIONE**. **Bibliografia** infine dà indicazioni su pubblicazioni a stampa e siti web che offrono spunti di approfondimento delle tematiche affrontate nelle diverse parti della proposta.

2 IL MODELLO DI EDUCAZIONE SCIENTIFICA

2.1 L'educazione scientifica nella scuola di oggi

La società attuale è stata definita come "società cognitiva" per indicare che le attività da cui dipende il benessere delle nazioni, e dunque dei loro cittadini, sono nei paesi avanzati sempre più legate ad una progressiva intellettualizzazione del mondo del lavoro. La rapida evoluzione delle conoscenze e delle tecnologie impone la formazione di cittadini in grado di essere protagonisti attivi di un processo continuo di costruzione di conoscenza che oggi appare l'unica caratteristica veramente prevedibile come indispensabile per il mondo di domani. Da questo punto di vista la scuola è chiamata a fornire agli allievi competenze, conoscenze e capacità indispensabili all'acquisizione di autonomia consapevole e all'assunzione delle connesse responsabilità, dunque a fornire una formazione che abbia valore autenticamente culturale.

L'educazione scientifica nella scuola di base va considerata in questa prospettiva, il che significa che deve essere significativa non solo per chi intraprenderà un'attività lavorativa che richieda l'uso di conoscenze scientifiche, ma anche anche per il futuro avvocato, il futuro letterato, il futuro commerciante e così via ...

La scuola accompagna il singolo individuo nel suo passaggio da bambino ad adulto e lo rende partecipe del sapere elaborato dalla società umana nel corso dei millenni. C'è continuità nell'evoluzione culturale della specie umana, così come c'è continuità nello sviluppo fisico e psicologico, dunque anche cognitivo, di ogni singolo essere umano. A partire da questa duplice continuità si possono costruire itinerari di raccordo fra conoscenze, competenze, capacità individuali ed inizialmente infantili, da un lato, e saperi e metodologie caratteristici dei diversi ambiti disciplinari, dall'altro lato. Visto da questa prospettiva, il processo di insegnamento/apprendimento in ambito scientifico non si identifica più semplicemente con un processo di pura trasmissione di saperi che sono stati oggetto di un'opportuna operazione di trasposizione didattica, ma con un processo di costruzione individuale e collettiva di conoscenza da realizzare attraverso un *passaggio guidato da forme di conoscenza comune a forme di conoscenza disciplinarmente accreditate*.

2.2 Conoscenza scientifica e conoscenza comune: analogie e differenze

Il pensiero, parte della complessa interazione individuo/ambiente, è reso possibile dall'esistenza, nell'individuo, sia di canali percettivi che raccolgono segnali dall'ambiente, sia di strategie cognitive che consentono la creazione di rappresentazioni dell'ambiente stesso. Tale ambiente è inestricabilmente un "ambiente fattuale", costituito cioè da oggetti ed eventi, ed un "ambiente

culturale”, costituito cioè da rappresentazioni dell’ambiente fattuale veicolate attraverso linguaggi di diverso tipo (verbali, gestuali, iconici ...). La componente culturale media e condiziona la relazione di ogni individuo umano con la componente fattuale. Nella mente di ciascuno può così svolgersi un processo di costruzione di conoscenza che si identifica con il continuo riprodursi del gioco fondamentale fra “fatti”, “linguaggi”, “rappresentazioni” costitutivo della cultura di specie.

Nel *processo di costruzione di conoscenza spontaneo* l’ambiente di riferimento è costituito da oggetti ed eventi caratteristici della vita quotidiana di ciascuno e dalla cultura comune che ad essi si riferisce. Tale processo è finalisticamente guidato dalle necessità individuali di interazione con l’ambiente naturale e sociale, praticamente identiche per tutti all’inizio della vita e che vanno differenziandosi nei diversi individui durante il suo corso. La costruzione spontanea di conoscenza è episodica ed essenzialmente inconsapevole se non nei suoi esiti, accettati o rifiutati a seconda del successo o del fallimento delle azioni che ne derivano rispetto agli scopi volta per volta prefissati. Lo strumento principale utilizzato per la costruzione, la comunicazione ed il confronto delle rappresentazioni è la lingua naturale, integrata da altri codici (gestuali, iconici, di matematica elementare) non specialistici.

La *costruzione storica di conoscenza scientifica*, per esempio di conoscenza fisica, è invece finalizzata a sé stessa. L’ambiente di riferimento, più che mai determinato culturalmente, è costituito da eventi (gli esperimenti di laboratorio) che si verificano a scale sempre meno direttamente accessibili ai canali percettivi naturali e che sono sempre più “costruiti ad hoc” per rispondere a domande estremamente specializzate. Il processo di costruzione di conoscenza è il più possibile consapevole ed avviene secondo regole definite e condivise dalla comunità degli scienziati che nel loro insieme giudicano dell’accettabilità o meno delle interpretazioni e rappresentazioni dei fenomeni (modelli, leggi, principi, teorie ...) costruite dai singoli membri della comunità. Alla progressiva specializzazione delle domande e degli eventi considerati, rispetto alle domande ed agli eventi che caratterizzano l’esperienza quotidiana, si accompagna, ora come conseguenza, ora come causa, una progressiva specializzazione del linguaggio, in particolare una formalizzazione matematica sempre più astratta.

2.3 Il processo di insegnamento/apprendimento come processo di mediazione culturale.

Il processo di insegnamento/apprendimento è oggi visto come un *processo di interazione fra culture diverse* (la cultura scientifica e le culture degli allievi) reso possibile dall’*azione di mediazione dell’insegnante* e finalizzato ad una progressiva integrazione della cultura scientifica nella cultura dei singoli allievi.

L’insegnante deve saper costruire *percorsi didattici* che portino alla luce della consapevolezza il mosaico complessivo composto dalle reti cognitive dei diversi allievi per farlo evolvere in una direzione che appaia sensata anche agli alunni, ignari della rete concettuale della disciplina che costituisce la meta finale dell’insegnamento.

Perché ciò sia possibile, l’insegnante deve essere in grado in ogni momento di confrontare le proprie proposte con la rete cognitiva degli allievi, per sincerarsi che esse abbiano per loro significato e siano effettivamente percorribili, permettendo una progressiva conquista di autonomia e fiducia nelle proprie capacità di apprendimento da parte di ogni alunno. Sollecitando ed orientando opportunamente confronti e collaborazioni fra allievi, l’insegnante guida la realizzazione di un *processo collettivo di costruzione di conoscenza* che si intreccia ai processi individuali, costringendo ciascun allievo a quelle operazioni di autoesplicitazione e riflessione sui propri pensieri ed azioni che sono alla base di ogni costruzione di consapevolezza sul proprio processo di apprendimento.

2.4 L’approccio didattico.

L'approccio allo studio scientifico di ogni nuovo tema deve essere fenomenologico, per consentire la ricostruzione del gioco fondamentale fra esperienza, linguaggio, conoscenza rappresentativa. Si deve partire da "fatti" noti riguardo ai quali porsi problemi conoscitivi che devono apparire agli allievi comprensibili, interessanti e non insormontabili, cioè posti in termini che fanno parte del loro linguaggio e che non siano totalmente avulsi dalle loro esperienze e conoscenze. Un "problema conoscitivo" non è un quesito circoscritto per il quale trovare al più presto "la risposta giusta"; è invece il risultato di un insieme di sollecitazioni cognitive che orientino verso l'esplorazione del campo oggetto dell'intero percorso didattico. L'allievo deve poter riconoscere la natura specificamente conoscitiva del problema, sentendosi di conseguenza "sfidato" ad una riflessione autonoma su di esso.

Dopo una prima fase esplorativa, nella quale il ruolo dell'insegnante è soprattutto quello di guidare gli alunni nell'esplicitazione e nella messa in comune delle osservazioni personali, devono nascere problemi più definiti, articolati intorno ad ipotesi da verificare attraverso la progettazione, esecuzione e discussione di esperienze sempre più schematizzate, che richiedono l'uso o la costruzione di strumenti rappresentativi che diventano, nel corso dell'arco scolastico, via via più specifici e formalizzati (dalle parole del linguaggio comune a quelle del linguaggio scientifico ed a forme sempre più avanzate di matematizzazione).

Il compito dell'insegnante diviene molto complesso: deve decidere cosa fare di fronte a proposte alternative, trovare il modo di far superare agli allievi eventuali situazioni di *impasse*, saper riconoscere i momenti giusti per introdurre informazioni, strumenti rappresentativi, concetti che gli allievi non possono costruire da soli e deve trovare modi adeguati per introdurli, affinché tutti possano essere in grado di integrarli nel proprio percorso individuale e di riconoscere quest'ultimo come parte del percorso collettivo della classe. Il fatto che ogni problema affrontato sia un problema collettivo a cui la classe nel suo insieme è chiamata a trovare soluzione mette ciascuno degli allievi in una situazione molto meno "drammatica" di quanto non avvenga nelle ordinarie interrogazioni o nei compiti in classe. L'allievo che esprime un'opinione, suggerisce un'esperienza, rende pubblica un'osservazione personale etc., non teme di poter essere mal giudicato se dice qualcosa di "sbagliato", perché sa che l'insegnante è lì per valorizzare il contributo di tutti, utilizzando anche eventuali "errori" per meglio indirizzare il percorso individuale e collettivo. I progressi fatti appartengono a tutti e questo consente che allo sforzo individuale corrispondano risultati positivi anche per gli allievi con più difficoltà.

3 LA RETE CONCETTUALE ALLA BASE DELLA PROPOSTA

"Vedere" è un processo estremamente complesso che avviene in modo "automatico" o meglio in modo controllato inconsapevolmente: sappiamo fare molto più di quanto ancora oggi non sappiamo...

Il passaggio dalla conoscenza comune alla conoscenza scientifica in questo ambito fenomenologico richiede di affrontare alcuni snodi concettuali che nel loro insieme possono caratterizzare una formazione scientifica che abbia valore autenticamente culturale. In un percorso di apprendimento longitudinale potranno essere affrontati più volte, a livelli via via più avanzati, e con una costruzione progressiva delle reciproche relazioni. Nel seguito sono sottolineati gli aspetti su cui riteniamo che sia possibile lavorare a scuola e che costituiscono a nostro parere i punti qualificanti della nostra proposta dal punto di vista disciplinare.

3.1 Il modello-base della visione e la corrispondenza oggetti-immagini visive.

Condizione necessaria del vedere è che negli occhi entri luce proveniente dall'oggetto della visione. Questa concezione è fondata su alcune schematizzazioni tutt'altro che intuitive: i concetti di *sorgente primaria* e *sorgente secondaria*; la considerazione dell'*occhio come recettore passivo*; lo *schema sorgente-oggetto-occhio* che vede la *luce come ente mediatore* fra i tre elementi.

Per costruire una spiegazione della corrispondenza quotidianamente sperimentata fra gli oggetti che riempiono lo spazio fisico in cui siamo immersi e le immagini visive che ne abbiamo, è necessario individuare le *regole che mettono in relazione le caratteristiche fisiche e geometriche della luce* corrispondenti ai diversi *aspetti psichici delle immagini visive* degli oggetti (forme, dimensioni, colori, collocazione spaziale ...) con le *caratteristiche del sistema percettivo* (occhio, sistema nervoso) che consentono di distinguere e correlare tali aspetti. Alla *fisica* spetta il compito di indagare le caratteristiche della luce e di descriverne/spiegarne il processo di propagazione all'interno dell'occhio. Il resto è di pertinenza della *biologia*, delle *neuroscienze* e della *psicologia della percezione*.

3.2 Il contributo della fisica

3.2.1 Le relazioni fra oggetto, luce, occhio.

Si immagina qualsiasi oggetto come fatto di infiniti punti (*sorgenti puntiformi*), ciascuno dei quali emette nello spazio circostante *fascetti divergenti di luce* fra loro contigui. Analogamente si immagina la retina come formata da infiniti punti-recettori. Da ogni punto-sorgente può entrare nell'occhio un fascetto di luce delimitato dalla *pupilla*. Grazie alla struttura interna dell'occhio (in particolare al *cristallino*), ogni fascetto viene fatto convergere su uno specifico punto della *retina*. Questo modello permette, attraverso un'operazione non intuitiva di *discretizzazione del continuo*, di stabilire una corrispondenza ideale punto a punto fra lo spazio visivo e la struttura dei recettori. La geometria complessiva dei fascetti e le caratteristiche fisiche della luce di cui sono formati costituiscono *il supporto fisico di ogni immagine visiva*.

3.2.2 La luce e lo spazio.

Il modello base per lo studio della distribuzione e propagazione della luce nello spazio considera una sorgente puntiforme all'interno di un mezzo omogeneo o dello spazio vuoto.

Gli aspetti geometrici di questa situazione possono essere schematizzati attraverso il *modello di raggio*, che non deve essere confuso con un modello sulla natura della luce e che non può essere compreso appieno senza un'effettiva *esplorazione dell'intensità di illuminazione nello spazio tridimensionale* intorno ad una sorgente di luce. Attraverso l'uso di oggetti opportuni (tubi di varie dimensioni, sagome opache compatte o fornite di apposite aperture), di schermi su cui raccogliere "*macchie di luce*" e "*macchie di ombra*", di sospensioni diffondenti è possibile ricostruire le forme tridimensionali di "*spazi di luce*" e "*spazi d'ombra*". Sono queste forme che danno ragione dell'uso del modello di raggio per la propagazione e permettono di integrare tale modello con l'aspetto di continuità della distribuzione della luce nello spazio, interpretando il raggio come limite o asse centrale dei fascetti contigui di cui ogni fascio di luce può considerarsi composto. Si ha anche in questo caso a che fare con operazioni di *discretizzazione del continuo*.

Oltre agli aspetti geometrici, si devono considerare gli aspetti più propriamente fisici della propagazione e distribuzione della luce nello spazio. Da questo punto di vista, nello *spazio vuoto* vale una *legge di conservazione dell'energia luminosa* che si propaga, mentre all'interno di un *mezzo materiale* si hanno fenomeni di trasformazione dell'energia luminosa in altre forme di energia, cioè si ha *assorbimento* della luce. All'interno di un fascetto divergente di luce si ha di conseguenza sempre una diminuzione dell'intensità di illuminazione all'aumentare della sezione del fascio, cui si può aggiungere un'ulteriore diminuzione per assorbimento. La comprensione di questi aspetti richiede di saper riconoscere e porre in relazione grandezze che sono intensive dal punto di vista temporale mentre dal punto di vista spaziale sono in parte estensive ed in parte intensive.

3.2.3 La visione indiretta.

Ci sono situazioni in cui gli oggetti ci appaiono con forme, dimensioni, posizioni diverse da quelle che hanno in realtà. Coerentemente con il modello base della visione, l'alterazione delle

caratteristiche geometriche delle immagini visive di questi oggetti deve essere dovuta ad un'alterazione della geometria dell'insieme dei fascetti luminosi che partono dai diversi punti di ciascun oggetto e arrivano agli occhi dell'osservatore.

Spiegare quello che si vede guardando verso uno specchio o una distesa d'acqua oppure attraverso una lente di ingrandimento e così via implica di conseguenza sia lo studio di cosa avviene alla luce quando nella sua propagazione incontra un nuovo mezzo materiale (*riflessione/diffusione e rifrazione*), sia la *ricostruzione di cosa vede l'occhio*, attraverso lo studio delle deformazioni dei conetti elementari. Si tratta di saper gestire e porre in relazione, utilizzando il modello di raggio, descrizioni discretizzate della continuità degli "spazi visivi" e degli "spazi di luce".

3.2.4 Luce e colori.

I colori non "appartengono" né alla luce, né agli oggetti, sono un *fenomeno puramente percettivo* legato all'interpretazione che la mente dà della *composizione spettrale* dei conetti di luce che entrano nei nostri occhi, a sua volta determinata sia dalla sorgente primaria da cui proviene la luce, sia dai mezzi materiali che attraversa e dalle superfici da cui viene riflessa o diffusa. La luce emessa da ogni *sorgente primaria* è infatti formata da una sovrapposizione di componenti tipiche della sorgente stessa (*spettro della sorgente*). Nel corso della propagazione *ogni componente viene assorbita, riflessa, diffusa in una percentuale diversa*, determinata dalla natura dei mezzi materiali e delle superfici incontrate. Anche *la deviazione per rifrazione è diversa per componenti diverse*. I "colori degli oggetti" sono determinati dalle componenti presenti nella luce che arriva all'occhio e dalla loro intensità relativa. Per comodità si usa riferirsi alle diverse componenti della radiazione luminosa parlando di "colori della luce" e intendendo per radiazione di un dato colore quella componente che, percepita isolatamente, provoca la sensazione del colore corrispondente. I singoli "colori della luce" sono molti di meno dei "colori degli oggetti" e corrispondono essenzialmente alle sfumature tra il rosso ed il violetto che è possibile percepire nell'arcobaleno, fenomeno di *dispersione* che produce la separazione spaziale delle componenti della luce emessa dal sole (*spettro solare*). Si dà invece il nome di "*luce bianca*" alla luce che si ottiene dalla sovrapposizione di componenti di tutti i colori con una distribuzione delle intensità relative uguale o prossima a quella della luce solare. La comprensione degli aspetti fisici del fenomeno del colore richiede l'uso di una logica di tipo operatoriale per l'analisi dell'interazione luce-materia e di operazioni di scomposizione e ricomposizione per l'analisi delle caratteristiche della luce e delle operazioni percettive di sintesi additiva e sottrattiva.

3.2.5 La natura della luce.

Non è necessario fare ipotesi sulla natura della luce per dare ragione dei fenomeni relativi alla visione. D'altra parte da un lato è spontaneo cercare di immaginarsi la luce e dall'altro è importante non pensare che sia davvero "fatta di raggi". Non si può negare ai bambini, né agli insegnanti, un supporto immaginativo che soddisfi queste esigenze. Pensiamo che questo problema possa essere affrontato attraverso la costruzione in termini essenzialmente figurativi di due modelli: uno che immagina la luce emessa dalla sorgente come un insieme di particelle velocissime che si susseguono in tutte le direzioni, l'altro che la immagina come onde sferiche che si allargano nello spazio tridimensionale in modo analogo alle onde superficiali in uno specchio d'acqua. E' ovviamente essenziale reinterpretare nell'ambito di entrambi i modelli il modello di raggio. Il gioco a tre che viene a determinarsi è molto importante sia cognitivamente, per i diversi modi in cui implica la relazione discreto/continuo, sia epistemologicamente, come esempio emblematico del gioco fra i vincoli imposti dalla realtà fattuale e la libertà di immaginazione che caratterizzano la costruzione della scienza, ed in particolare della fisica. Da quest'ultimo punto di vista è anche opportuno riferirsi al dibattito storico sulla natura della luce, purché ci si renda conto che non è dando al primo modello il nome di "fotoni" ed al secondo quello di "onde elettromagnetiche" che si può costruire una effettiva comprensione della natura della luce come è intesa nei termini della

fisica contemporanea. Si deve riconoscere la natura puramente figurativa delle due immagini, sottolineando nel contempo la complessità delle teorie attuali, che esclude a livello di scuola di base e di formazione di insegnanti della scuola elementare un'informazione che non sia a livello semplicemente divulgativo.

3.2.6 L'occhio come rivelatore dei segnali luminosi.

La schematizzazione base dell'occhio è quella di un *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*). Oltre alla retina, gli elementi fondamentali del sistema sono il diaframma che limita l'apertura dei fascetti luminosi in ingresso (*pupilla*) e la lente convergente a curvatura variabile che fa riconvergere ciascun fascetto in un punto della retina (*crystallino*). Questa schematizzazione dà ragione soltanto di caratteristiche puramente "geometriche" del mondo delle immagini visive (e non di tutte: la valutazione delle distanze richiede almeno la considerazione del *sistema formato dai due occhi*). Un'ulteriore schematizzazione vede la retina come composta di sensori (*coni e bastoncelli*) che rispondono a caratteristiche specifiche non direzionali della luce che li colpisce (composizione spettrale ed intensità). L'occhio reale presenta inoltre, come ogni strumento di rivelazione, *limiti di vario genere* (valori di soglia e di saturazione, limiti di risoluzione spaziale ...) ed è caratterizzato da *automatismi di regolazione*. Un uso proficuo e corretto delle analogie con altri sistemi ottici (camera oscura, macchina fotografica, luxmetri, radiometri ...) richiede una chiara esplicitazione di quali siano gli elementi che accomunano e quali gli elementi che differenziano fra loro i diversi sistemi considerati.

3.3 Il contributo della biologia, delle neuroscienze e della psicologia

3.3.1 Le basi biologiche della percezione visiva.

Tutte le cellule della retina vengono stimulate 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. 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) 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.

3.3.2 La costruzione delle immagini visive.

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 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.

3.3.3 Il contributo dell'arte e della letteratura.

La lingua, la letteratura, l'arte hanno nelle diverse epoche cercato gli strumenti per rappresentare e descrivere sia i fatti dell'esperienza quotidiana rispetto al vedere, alla luce, alle ombre, al buio, sia le emozioni, le sensazioni, i sentimenti che si provocano in queste situazioni.

Nella lingua e nella letteratura possiamo trovare i termini, le espressioni, per parlare della luce e soprattutto le metafore che usano la luce per esprimere molti degli eventi della nostra vita (venire alla luce; vivere nell'ombra di qualcuno; un carattere ombroso; un avvenire luminoso;...).

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.

4 UNA VISIONE LONGITUDINALE DELL'INSEGNAMENTO SCIENTIFICO AI DIVERSI LIVELLI SCOLASTICI

4.1 Educazione scientifica, scuola di base e scuola secondaria

Ogni allievo, anche delle condizioni culturalmente e socialmente più svantaggiate, ha il diritto, nella scuola di base, di raggiungere una formazione scientifica che realizzi appieno le sue potenzialità di apprendimento, da un lato traducendosi in competenze operativamente spendibili, dall'altro garantendo una base solida per ulteriori approfondimenti nella scuola secondaria. Nel seguito indichiamo come sia possibile attuare una tale formazione scientifica attraverso una progressione di obiettivi formativi e metodologie di lavoro in classe che le sperimentazioni di ricerca hanno dimostrato essere perseguibili ed attuabili ai diversi livelli della scuola di base. Un paragrafo finale esemplifica, attraverso materiali provenienti da sperimentazioni di ricerca, possibili tappe in relazione allo studio delle ombre. Pensiamo che tali esemplificazioni possano essere di aiuto agli insegnanti per individuare, a partire dai materiali di **LUCE E VISIONE**, obiettivi specifici da raggiungere alle diverse età e percorsi didattici adeguati a raggiungerli anche in relazione ad altri temi. D'altra parte finché la scuola di base non sarà in grado di garantire a tutti una formazione del tipo delineato, essa dovrà essere costruita a livello di scuola secondaria, attraverso percorsi di insegnamento/apprendimento che consentano di recuperare tutte le ineludibili tappe che segnano il passaggio dalla conoscenza comune alla conoscenza scientifica. Da questo punto di vista i materiali di **LUCE E VISIONE** possono costituire anche a livello di scuola secondaria uno strumento prezioso per un'impostazione dello studio fisico dell'ottica che lungi dal tradursi in un puro nozionismo si traduca in un'autentica formazione culturale.

4.2 L'educazione scientifica nella scuola dell'infanzia e nel I ciclo elementare

A questo livello scolare non ha senso porsi obiettivi "informativi" nel senso di vere e proprie "nozioni scientifiche". Vanno costruite le basi formative minimali per poter negli anni successivi affrontare ambiti definiti rispetto a cui raggiungere obiettivi dei due tipi. Si devono cominciare a costruire strategie di lettura, rappresentazione, intervento sulla realtà orientate scientificamente cioè adeguate ad una individuazione di sistemi, di variabili, di relazioni fra di essi finalizzata a scopi definiti che appaiano chiari ai bambini. Questo può essere ottenuto attraverso attività di gioco mirate ad esplorare, imitare, modificare, ottenere, indovinare, riprodurre (a parole, a gesti, a disegni ...) situazioni ed aspetti di situazioni percettivamente dominabili. Attività di questo tipo abitano alla scoperta e all'esplicitazione di "regole" che possono essere riutilizzate per raggiungere gli scopi voluti, alla gestione di codici simbolici diversi e ad un confronto iniziale sulle rispettive caratteristiche, al confronto di idee e strategie, a riflettere sul carattere di schematizzazione di qualunque descrizione, a iniziare a correlare stati e trasformazioni; a saper "vedere", "descrivere", "riprodurre" forme di cambiamento di una variabile nel tempo e nello spazio, a distinguere relazioni univocamente definite da relazioni non univoche, ecc.. In un lavoro di questo genere da un lato la formazione scientifica è strettamente intrecciata alla formazione linguistica, artistica, motoria ... in un percorso di sviluppo unitario del singolo individuo, dall'altro lato i diversi punti di vista cominciano a differenziarsi progressivamente attraverso i diversi tipi di attività ed il confronto fra pari e con l'insegnante.

4.3 L'educazione scientifica nel II ciclo elementare

Si possono affrontare percorsi di costruzione di conoscenza relativamente ad ambiti fenomenologici definiti in modo tale che i bambini possano rendersi conto del loro carattere sin dall'inizio. E' necessario per questo partire con la considerazione di situazioni sufficientemente "ampie" con lo scopo dichiarato di voler capire e descrivere quello che succede e non procedere per unità didattiche che ritagliano separatamente aspetti distinti di una fenomenologia che nel suo complesso inizialmente è "vista" solo dall'insegnante. La necessità di segmentare i "fatti" e di studiare un aspetto per volta deve nascere dal lavoro svolto in classe. E' essenziale curarsi di costruire una traccia pubblica del cammino che si percorre (cartelloni di gruppi e di classe, registrazioni di discussioni, sintesi di relazioni), per poter recuperare collettivamente i suoi momenti salienti, le decisioni prese, i problemi rimasti aperti, le scoperte fatte, le conclusioni via via raggiunte ... in un'attività di metariflessione su cosa è un percorso di costruzione di conoscenza, indirizzata tanto ad un'acquisizione di consapevolezza sui comportamenti personali quanto ad un'acquisizione di consapevolezza su caratteristiche generali della costruzione di conoscenza, ed in particolare di conoscenza scientifica. Questo tipo di attività va beninteso proseguito per tutta la durata degli studi, fino a poter costituire dei veri e propri fondamenti di tipo epistemologico per chi proseguirà fino al termine della scuola secondaria. In questa fase è possibile, per quanto riguarda lo studio di fenomeni fisici, arrivare a costruire delle prime "nozioni scientifiche", in particolare leggi fisiche quantitative. E' cruciale che la matematizzazione venga fatta nascere come esigenza per superare il livello di conoscenza che può essere raggiunto basandosi solo su relazioni di tipo qualitativo e non che sia imposta sin dall'inizio come il "modo giusto" per rappresentare i fatti. Affinché ciò avvenga è essenziale un accurato lavoro iniziale sul piano qualitativo. Poiché proprio il fit fra fatto "grezzo", esperimento "ripulito", rappresentazione nella forma di legge matematica è un obiettivo che caratterizza sul piano formativo l'insegnamento scientifico (dal punto di vista della fisica) in questa fase della scuola primaria, si devono scegliere ambiti fenomenologici la cui descrizione/interpretazione fisica consenta osservazioni e manipolazioni dirette, mettendo inizialmente in gioco grandezze che abbiano corrispettivi percettivi abbastanza ben definiti. Per far risaltare nel giusto modo il rapporto fra strumento matematico e conoscenza fisica è importante avere modo sia di utilizzare in contesti fenomenologici diversi lo stesso strumento matematico, sia strumenti matematici diversi in

riferimento ad uno stesso contesto. Nel corso di questi anni si costruisce gradualmente una progressiva differenziazione dell'ambito matematico-scientifico dagli altri ambiti di apprendimento, non nel senso di una totale separatezza (fa parte della cultura saper vedere le reciproche relazioni), ma come costruzione di consapevolezza sulle singole specificità.

4.4 L'educazione scientifica nella scuola media.

Si prosegue nell'indagine fenomenologica e nella matematizzazione, sia avanzando in campi già affrontati nella scuola elementare, sia affrontandone di nuovi, anche relativi ad ambiti che richiedano "l'invenzione" di variabili senza corrispettivo percettivo o con corrispettivo percettivo molto ambiguo e mal definito. Resta sempre la regola di un livello iniziale di indagine qualitativa, tanto sofisticato quanto possibile, prima di passare al piano quantitativo. Si precisa via via la differenza fra i singoli punti di vista disciplinari all'interno dell'ambito matematico-scientifico, riconosciuti come inevitabile necessità di fronte all'esigenza di una conoscenza sempre più approfondita di una realtà di per sé unitaria ma estremamente complessa.

4.5 Un esempio: lo studio delle ombre

Le ombre si notano nelle situazioni in cui la loro sagoma è chiaramente distinguibile e consente di riconoscere l'oggetto che le produce. Sono particolarmente affascinanti le ombre della propria persona. A tutti i livelli della scuola di base si può iniziare lo studio delle ombre con un discorso degli allievi sull'ombra, attraverso un insieme di domande nello stesso tempo sufficientemente vaghe per dare spazio a una pluralità di interpretazioni e sufficientemente mirate per richiamare alla mente aspetti diversi del fenomeno. Il riquadro 1 esemplifica tipologie e livelli di risposta che si possono ottenere alle diverse età.

RIQUADRO 1 - “Avete mai visto un’ombra? Quando?”, “Chi fa ombra?”, “Perché vediamo le ombre?”, “Cos’è un’ombra?” ... I bambini discutono

"[L'ombra] è quella cosa che quando cammini ti segue, se stai fermo no"
"Però io ho visto che certe volte non mi segue, ma cammina davanti a me"
"(...) se l'ombra è la mia [non ho paura], ma se è l'ombra di qualcosa che non so, ho sì paura"
"Sì, ho paura perché può essere un cattivo"
"Io non ho paura perché non mi fanno niente, le ombre"
"No, perché non è tanto buia, si vede quando c'è il sole"
"No, [non ho paura] perché sono fatte dal sole"

(scuola dell'infanzia, sezione 5 anni)

"Quando cammini c'è la tua ombra per terra o sul muro"
"Il lampione di notte fa vedere l'ombra, e anche il sole"
"Se si accende una lampadina al buio si vede l'ombra"
"Noi siamo sulla luce, mettiamo il piede che è scuro e viene l'impronta, no viene l'ombra"

(III elementare)

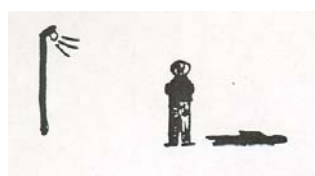
"L'ombra si sposta con noi perché ci appartiene"
"la sera quando camminiamo per strada vediamo tante ombre"
"Quando camminiamo per la strada il sole riflette su di noi e la nostra ombra riflette per terra"
"L'ombra delle persone si forma perché il sole non attraversa la persona"

(I media)

"(...) l'ombra potrebbe essere un volume, anche se astratto, per esempio:



oppure, per ombra intesa come superficie:



(III media)

Successivamente al sole, davanti ad una torcia, in una stanza con illuminazione solare indiretta, nella palestra con tante luci al neon, accendendo in un ambiente oscurato una o più lampadine alogene o un proiettore di diapositive, utilizzando un grande lenzuolo e/o uno schermo da diapositive ... i ragazzi di tutte le età possono compiere osservazioni libere delle proprie ombre e delle ombre degli oggetti, entrare ed uscire negli “spazio d’ombra” che vengono a determinarsi.

Ai livelli più bassi di età (scuola dell’infanzia, I ciclo elementare) le tante “scoperte” che si possono fare possono essere utilizzate-per/guidate-da giochi coinvolgenti (“L’ombra di una mano può far scomparire quella di un intero bambino?” “Cosa ci vuole per fare un’ombra tonda?” “Raccontiamo una storia con le ombre?” “Dove ci si deve mettere per non vedere la lampadina?” ...) che consentono di distinguere “famiglie” di fenomenologie diverse correlandole ai diversi tipi di sorgenti, di individuare i “protagonisti” del fenomeno della formazione delle ombre (sorgente, oggetto, superficie di proiezione), di coglierne a livello qualitativo le relazioni spaziali correlandole a forme e dimensioni delle ombre, di arricchire e precisare il linguaggio attraverso cui le ipotesi, le scoperte, le proposte ... vengono presentate e discusse. Tutto ciò lasciando, tanto più quanto più i

bambini sono piccoli, ampio spazio alla fantasia per divagare nelle più diverse direzioni cui il lavoro sulle ombre può condurre (vedi riquadro 2).

RIQUADRO 2 - Dai discorsi sulle ombre e sulla paura del buio alla drammatizzazione liberatoria (la “grotta” è stata effettivamente costruita in classe, con i pipistrelli e gli scheletri, ed i bambini l’hanno esplorata convenientemente forniti di torcia)

“C'era una volta una grotta disabitata, qualche volta si era visto qualche fantasma e dei vampiri, nessuno si avvicinava, tutti avevano paura. (...) Un uomo coraggioso (...) guardò da lontano con un cannocchiale la grotta e vide tanti pipistrelli che volavano a cerchio all'interno della grotta e di notte volavano fuori. (...) entrò nella grotta per spiare se c'erano dei segreti all'interno. (...) *illuminò la grotta con una torcia* e vide dei pezzi di scheletri, forse erano vissuti degli uomini antichi. Adesso la grotta era abitata solo dai pipistrelli, nessun uomo ci volle più abitare.”

(*scuola dell'infanzia, sezione 3-4 anni*)

Nel II ciclo elementare e nella scuola media le osservazioni libere formano la base per l’individuazione di problemi più definiti, da affrontare attraverso la costruzione di esperienze mirate che permettano osservazioni sistematiche. Diventa possibile lo studio geometrico del sistema sorgente-oggetto-spazio/figura d’ombra, che può consentire la costruzione del modello di raggio (vedi riquadro 3), aprire allo studio delle trasformazioni geometriche delle forme d’ombra (vedi riquadro 4) e che può essere portato tanto più avanti quanto maggiore è l’età degli allievi, arrivando per esempio alla spiegazione di ombra e penombra ed alla previsione del fenomeno delle ombre colorate (vedi riquadro 5).

RIQUADRO 3 - Dalle ombre al modello di raggio

Una lampadina ad incandescenza illumina una sagoma di casetta che proietta sulla parete la sua ombra. Un cerchio di fil di ferro posto subito davanti alla lampadina sorregge dei fili tesi che passano per i contorni della sagoma e finiscono sui contorni dell’ombra.

"E' uno spazio d'ombra" [*indicando la zona in ombra dietro la sagoma di una casetta illuminata da una lampadina ad incandescenza*]

"E questo è uno spazio di luce perché c'è la luce vicina" [*indicando la zona di spazio fra sagoma e lampadina*]

"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 [*aprendo nella sagoma dei rettangoli appositamente ritagliati*] va dentro e viene là [*indicando le “macchie” di luce che si formano all'interno della figura d’ombra proiettata sulla parete*]"

"(...) adesso la luce passa attraverso i buchi e vengono le luci della casa"

"praticamente quello [*indicando l'insieme dei fili*] è come la luce, perché va a raggi la luce, no?"

"I fili vanno dritti"

"Vuol dire linee o luce che vanno sempre nella stessa direzione e non curvano mai ... 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"

(*I media*)

RIQUADRO 4 – Ombre e trasformazioni geometriche

Lavorando al sole, dopo aver studiato le ombre di un quadrato prodotte da una lampadina

"Il trapezio [*l'ombra a forma di trapezio*] non viene perché il sole manda i lati paralleli perché non si può spostare avanti e indietro come la lampadina"

"Sì perché la lampadina la mettevamo vicina, il sole è lontano"

"[*Il sole*] li manda paralleli [*i raggi*], perché dritti sono già dritti. Con la lampadina sono dritti ma non paralleli"

(III elementare)

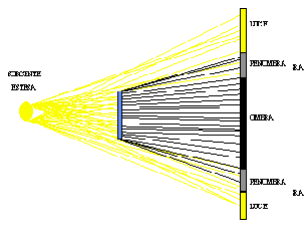
"Ci siamo messi in modo da avere la luce [*una lampadina*] di fronte ed abbiamo poggiate la lastrina [*una sagoma quadrata di plastica*] con un lato fermo sulla tavoletta di legno e l'ombra che si formava era un trapezio. Poi abbiamo poggiate un angolo della lastrina sulla tavoletta e l'ombra che si formava era quella di un romboide. Poi mettendo la lastrina parallela alla tavoletta e diritta con la luce siamo riusciti a ottenere un quadrato. Man mano che avvicinavamo la lastrina alla lampadina l'ombra si ingrandiva, mentre man mano che l'allontanavamo si rimpiccioliva ma la figura restava sempre un quadrato, cambiavano solo le dimensioni"

[*Al sole*] "Abbiamo provato a fare ingrandire il quadrato spostando in avanti e indietro la lastrina senza riuscirci, le dimensioni rimanevano sempre le stesse"

"Come già sappiamo per osservare le ombre ci vuole la sorgente luminosa, l'oggetto e una superficie su cui poggia l'ombra. Noi come sorgente luminosa ci siamo serviti del sole e come oggetto di quattro bastoncini di legno di cui il primo era il più lungo, il secondo di tre quarti, il terzo della metà e l'ultimo di un quarto del primo (...). Le loro lunghezze erano a differenza di un quarto della lunghezza del bastone più lungo. E abbiamo visto che le ombre erano più corte dell'oggetto e parallele. L'ombra del secondo bastone era lunga tre quarti dell'ombra del primo, l'ombra del terzo era lunga la metà dell'ombra del primo, l'ombra del quarto era lunga un quarto (...). Le lunghezze delle ombre le abbiamo misurate con una cordicella e quindi abbiamo verificato quello che abbiamo detto"

(I media)

RIQUADRO 5 - Lavorando con due lampadine si spiega, e si disegna, il fenomeno della penombra e si immaginano situazioni affascinanti che verranno effettivamente realizzate e controllate!



"Ma se al posto della seconda sorgente puntiforme ci metto una sorgente colorata e non bianca, colorerò l'ombra e dunque non avrò più penombra ma un'ombra colorata!"

(III Media)

Il modo di studiare le ombre a cui abbiamo accennato è senz'altro più lungo e complesso dello studio tradizionale che talvolta si affronta a livello di scuola media o di scuola secondaria (quando si ritiene che sia possibile l'operazione di "matematizzazione" che viene ritenuta l'unica connotazione di "scientificità" dello studio stesso), ma ne vale la pena. La considerazione esclusiva delle tradizionali situazioni rigidamente controllate, apparentemente "più semplici", si riduce in realtà ad un puro esercizio matematico sulle proporzioni e sulle trasformazioni geometriche senza significato per una vera interpretazione della realtà. Basta pensare, per esempio, al problema della

confusione fra “ombra” e “riflesso” che può essere ancora presente a livello di scuola media (vedi riquadro 6) e che in uno studio tradizionale viene normalmente ignorato. Le situazioni “matematicamente semplici” hanno culturalmente senso come tappe intermedie di un percorso che parte dalla complessità del quotidiano e ad essa ritorna, percorso che inizia spontaneamente da quando si è piccolissimi e che troppo spesso a scuola invece di trovare modi per crescere e durare tutta la vita trova ragioni per isterilirsi e finire.

RIQUADRO 6 - Cosa si può intendere con la parola “riflesso”? Le frasi riportate mettono in evidenza l’ambiguità del linguaggio. Per i bambini che parlano “riflesso” significa evidentemente qualcosa che, nel loro lessico, “riflette” la forma di un oggetto. Non ha senso parlare di “ignoranza”, è invece necessario rendersi conto che l’interpretazione della parola usata è determinata dalla pregnanza percettiva di questa caratteristica, vuoi delle forme d’ombra vuoi delle immagini riflesse, per guidarli ad una conquista significativa di un linguaggio “più preciso” o “scientificamente corretto” che dir si voglia.

“L’ombra è la stessa cosa uguale alla nostra che però non siamo noi, se c’è uno specchio sta riflessa di fronte, se non c’è lo specchio si forma per terra, anche l’ombra è un riflesso, però con lo specchio se ho una magliaetta bianca la vedo, l’ombra invece è nera”

(III elementare)

“Sul pavimento l’ombra che si vede per terra era stesa, invece quando uno si mette di fronte allo specchio è rialzato e si vede normale”

(I media)