

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

FACOLTÀ DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI

TESI DI DOTTORATO IN FISICA

XXIII CICLO

**Verso una didattica costruttivista
dell'astrofisica: nuovi approcci e percorsi.**

Tutor: Ch.mo Prof. **S. Oss**

Dottoranda: **Michela Guglielmino**

Anno Accademico 2009-2010



Questa tesi è il risultato del lavoro di tre anni, anni che sono stati finora (speriamo nel futuro!) i più divertenti, stimolanti, coinvolgenti e brevi della mia vita. È stato merito prima di tutto dei membri del Laboratorio di Comunicazione delle Scienze Fisiche, Stefano, Gigi, Teresa, Gabriele e Massimo, se sono stata così bene: un gruppo eccezionale! Hanno completato l'idillio un corpo docente disponibilissimo, una segreteria superefficiente e le officine, che sanno fare anche i miracoli ☺ Grazie a tutti!

Indice.

Introduzione	pag. 1
Capitolo 1: La comunicazione della scienza: a che punto siamo?	pag. 5
Capitolo 2: Una teoria della conoscenza: il costruttivismo.	pag. 15
Capitolo 3: Alcuni esempi di didattica costruttivista delle scienze.	pag. 27
Capitolo 4: Uno strumento rinnovato: il manuale di fotografia astronomica digitale.	pag. 39
Capitolo 5: Un nuovo strumento: il gioco da tavolo “Martiamo?”.	pag. 49
Capitolo 6: Conclusioni.	pag. 67
Bibliografia	pag. 73
Appendice 1	pag. 79
Appendice 2	pag. 181

Introduzione.

Il mio essere un'insegnante di matematica e fisica delle scuole superiori (il mio primo anno scolastico come insegnante è stato il 1989/90) mi ha portata a questo dottorato e mi ha guidata nella mia ricerca: il bisogno di un rinnovamento, di una modifica delle strategie didattiche e dei contenuti è per me un'*emergenza* della scuola.

Stiamo perdendo i nostri alunni alla scienza, quando loro stessi avrebbero la massima necessità del pensare scientifico nella società contemporanea, per essere cittadini a pieno titolo; per la mia generazione era sufficiente che solo una piccola frazione degli studenti si interessasse ed appassionasse alla conoscenza scientifica, ed i metodi didattici rispecchiavano questo approccio. Non possiamo più permettercelo.

Mi sono quindi orientata alla creazione di strumenti innovativi che potessero essere effettivamente utilizzati dai miei colleghi, ma che potessero avere spazio anche fuori da contesti formali come la classe.

Lo sviluppo della mia tesi rispecchia il percorso che ho seguito nei tre anni di dottorato, dalla comunicazione della scienza in generale agli strumenti da me progettati.

Nel primo capitolo definisco sinteticamente l'evoluzione del concetto e significato di *science communication*, dal modello di deficit alla partecipazione informata del pubblico alle scelte di politica della scienza. La situazione attuale evidenzia molte ambivalenze: il pubblico valuta gli scienziati, non legati al mondo degli affari, come tra le persone di cui maggiormente ci si può fidare, per poi, invece, ritirare la fiducia in certi ambiti, quali la discussione sugli OGM. Per quanto la scienza sia reputata importante per la qualità della vita, le energie dedicate ad informarsi sono poche e le conoscenze risalgono spesso agli studi scolastici. Fanno eccezione i gruppi di interesse, che, motivati da una condizione particolare (la malattia propria o di un familiare, la preoccupazione per un impianto industriale, la vicinanza ad un possibile sito di discarica), acquisiscono per vie informali approfondite conoscenze in ambiti ristretti e si pongono come interlocutori degli scienziati. Per questo aspetto, l'avvento del web e la possibilità di avere informazioni gratuite praticamente su qualsiasi tema hanno modificato l'approccio alla scienza da parte di chi ne sia interessato.

Anche le scelte politiche in merito alla comunicazione della scienza e le posizioni degli scienziati sono *schizofreniche*: per quanto venga politicamente riconosciuto che la comunicazione con il pubblico faccia parte dei doveri di uno scienziato, questa attività non viene incentivata dal punto di vista economico e non influisce nella progressione di carriera. Gli scienziati, poi, sono in netta maggioranza convinti dell'importanza del loro *public engagement*, ma lo sentono spesso come un furto di tempo ed energie al loro vero lavoro, la ricerca.

Nel secondo capitolo presento una teoria dell'apprendimento, il costruttivismo, che è al momento quella che viene maggiormente applicata, con forti segnali di efficacia, nel superare le difficoltà ed i problemi posti dalla didattica tradizionale, quella delle lezioni frontali per capirci.

Secondo il costruttivismo, il discente non è un recipiente vuoto che possiamo riempire con la conoscenza che proponiamo, ma possiede già una serie di rappresentazioni della realtà che ha maturato nel corso della vita ed in funzione delle sue esperienze.

Possiamo quindi sperare di “insegnare” qualcosa solo se possiamo dimostrare che la nuova conoscenza che proponiamo è un modello della realtà più efficace in termini di rappresentazione e previsione di quella già formata.

Inoltre, un vero cambiamento concettuale è possibile solo attraverso il diretto coinvolgimento del discente nella costruzione della propria conoscenza, nel guidare il proprio apprendimento. La conoscenza viene quindi costruita personalmente dallo studente, se questo è convinto della significatività del nuovo apprendimento e se l’insegnante riesce a creare il giusto ambiente, dove il discente potrà costruire il proprio percorso cognitivo: il ruolo del docente cambia, si sposta dietro le quinte e, invece di fornire risposte, pone domande, le domande adatte a stimolare la curiosità ed a indicare la direzione lungo la quale proseguire la ricerca.

Il terzo capitolo presenta una serie di esempi di didattica costruttivista delle scienze: dalla biologia, con l'impronta genetica, alle scienze della Terra con i terremoti, all'astrofisica con il Sistema Solare. Tutte le attività sono contraddistinte dal fatto di rendere lo studente regista del proprio apprendimento: i percorsi forniscono suggerimenti, pongono domande, ed è compito degli studenti, che lavorano in piccoli gruppi, trovare risposte che possano essere inquadrare in una cornice unitaria del fenomeno.

Alcune proposte tengono conto dei vincoli che regolano l'andamento di una scuola reale: lezioni scandite ad orari fissi, risorse limitate, aule che non permettono l'interazione tra studenti e tra questi e il docente.

Avvicinandomi alla scelta degli strumenti su cui avrei lavorato, ho deciso di sfruttare il fascino che l'astrofisica ha sul pubblico non esperto (ma anche esperto!): galassie, supernovae, universo, ammassi stellari, satelliti sono *cool*, soprattutto se supportati da una serie di bellissime immagini. Sotto questo aspetto l'astronomia è imbattibile.

Una cernita dei materiali già disponibili mi ha portato a scegliere come tema per un primo strumento l'evoluzione stellare: infatti il Sistema Solare è per ora l'indiscusso protagonista del materiale didattico astronomico già disponibile ed ho ritenuto che spostare l'interesse verso le stelle ed il loro ciclo vitale potesse offrire nuovi spunti.

Proporre una serie di lezioni, però, non avrebbe fatto altro che ripetere gli errori che stiamo commettendo in classe: abbiamo bisogno di rendere i nostri alunni protagonisti della costruzione della loro stessa conoscenza, coinvolgendoli il più attivamente possibile nel processo. Ed abbiamo bisogno di superare quella prima resistenza che quasi tutti, arrivati alle superiori, hanno ormai sviluppato verso le materie scientifiche.

Nel quarto capitolo descrivo il primo strumento che ho progettato e che si trova, in forma stampata nella appendice n.1.

Mi serviva un aggancio con la realtà quotidiana degli studenti, un qualcosa che fosse per loro familiare, ma che potesse diventare anche uno strumento per “fare scienza”, ed ho scelto la macchina fotografica digitale.

Ho quindi costruito un percorso didattico, sotto forma di manuale di fotografia astronomica *for dummies*, che unisce attività pratiche, analisi di dati con software disponibile liberamente in rete e

modelli fisici. Il punto di arrivo è la costruzione di un diagramma HR con dati raccolti dall'utente stesso, ma non è questo il tratto importante del manuale: conta soprattutto il percorso per arrivarci. Partendo dai fondamenti della fotografia, dei CCD che popolano le digitali, il manuale offre spunti su contenuti della fisica molto vari: dalle basi dell'ottica ai telescopi dell'ultima generazione dell'ESO ed ai satelliti per rilevare i fotoni altamente energetici, dal colore delle stelle alla spettroscopia delle regioni HII, passando per le stelle supermassicce e l'evoluzione stellare, chiamando in gioco sia temi che fanno parte del curriculum scolastico, che risultati delle ultime ricerche pubblicate.

Il manuale, comunque, non va letto, ma piuttosto *fatto*: determinante è la scelta di partire dalle osservazioni e dalle foto fatte dall'utente per "scoprire" un fenomeno e solo dopo cercarne il modello che lo spiega.

Un esempio: ad occhio nudo le stelle hanno colori diversi: perché? E come quantificare questa diversità? Una serie di foto di due stelle come Arcturus e Spica con la digitale attraverso tre filtri RGB (di plastica trasparente colorata) sono analizzate con un software per valutarne la luminosità nelle tre bande: perché Spica è più luminosa nel blu e meno nel rosso di Arcturus? Si tratta di un modo alternativo per presentare la radiazione di corpo nero.

Questa strategia, che vede lo studente protagonista del proprio processo di apprendimento, attivamente coinvolto nelle attività, cognitivamente sfidato a trovare un modello esplicativo per un fenomeno da lui stesso osservato e che non trova soluzione nelle conoscenze già possedute, segue i dettami della didattica costruttivista. Ho formulato due proposte di percorsi didattici a partire dai temi affrontati nel manuale.

Il manuale può essere utilizzato sia in un contesto formale, dove l'insegnante guida gli studenti attraverso i molteplici contenuti e li esorta ad approfondire alcuni temi, oppure dal singolo utente, motivato dalla curiosità e dalla voglia di capire.

I materiali richiesti sono per scelta poco costosi ed i software suggeriti gratuiti in rete; la scrittura è volutamente informale e cerca di alleggerire contenuti a volte corposi senza perdere la correttezza scientifica.

Mentre sviluppavo il manuale, ho lavorato alla creazione di un altro strumento, un gioco da tavolo, cui è dedicato il quinto capitolo. Una breve carrellata delle possibili definizioni di gioco precede un esame dello stato dell'arte dell'utilizzo dei giochi nella didattica della scienza.

Sempre nell'ottica costruttivista, ho predisposto un gioco che stimolasse la curiosità ed il desiderio di "saperne di più" nel giocatore, che può essere chiunque dai dieci/dodici anni in poi.

Considerazioni di carattere economico mi hanno fatto escludere un gioco a computer; la grafica ha infatti dei costi improponibili all'interno di una ricerca di dottorato. In ogni caso, sia sotto forma di videogiochi che simulazioni che giochi da tavolo, sono stati ancora realizzati ben pochi giochi per la didattica della fisica

Con la collaborazione di uno studente al corso di laurea triennale di fisica presso la facoltà di Scienze di Trento, Matteo Conci, ho quindi progettato e realizzato un gioco da tavolo che simula la progettazione e realizzazione di una missione con equipaggio su Marte. Il tabellone di gioco è composto di due parti: una prima *orbita* interna di caselle che offrono varie opzioni per la composizione della missione, come lo scudo di protezione per le tempeste solari, il modulo in rotazione per simulare la gravità, diverse tipologie di motore e molto altro. La scelta è vincolata dai costi e dalla massa, come anche dagli imprevisti che possono accadere nel corso dell'*orbita* esterna,

che rappresenta il viaggio vero e proprio: una micro meteorite, un incidente ad un membro dell'equipaggio, un guasto dell'impianto di riciclo possono essere superati solo se nella preparazione della missione si sono acquistate le opzioni necessarie.

Una partita dura circa un'ora e per vincere è necessario realizzare per primi due esperimenti tra quelli che si hanno disponibili; il lancio dei dadi decide quali caselle vengono raggiunte. Manuale, regolamento e tabellone del gioco sono raccolti nella seconda appendice.

Oltre al puro divertimento, il gioco, all'interno di una classe, stimola il desiderio di approfondire le questioni poste: che cos'è una tempesta solare e perché serve uno scudo? Perché le condizioni di microgravità protratte sono dannose alla salute? Come funziona un motore solare-elettrico? Le domande che possono nascere sono tantissime e dettate dall'interesse del giocatore, quindi significative per lui stesso; l'insegnante può allora sfruttare questa situazione e guidare gli studenti nella ricerca delle risposte alle domande che loro stessi si pongono, secondo una didattica costruttivista.

Gli studi di NASA ed ESA per una missione su Marte hanno fornito la struttura della missione e i dati utilizzati.

Il gioco è stato presentato all'European Science Open Forum (ESOF2010) che si è tenuto a Torino dal 2 al 7 luglio 2010; in questo contesto è stato possibile testarlo con varie tipologie di giocatori ed raccogliere informazioni per migliorarne la fruibilità.

Nel sesto capitolo raccolgo le mie conclusioni, frutto anche del mio rientro in servizio come docente di scuola secondaria superiore; sono conclusioni in parte amare, che analizzano gli ostacoli che si trovano sul percorso di un rinnovamento della scuola italiana.

Capitolo 1

La comunicazione della scienza: a che punto siamo?

Stiamo facendo una camminata in montagna, per riprendere contatto con la natura, il silenzio, anche noi stessi. La fatica, il respiro e il battito del cuore ci permettono di lasciare indietro la vita quotidiana e di allontanarci, crediamo, dalla modernità, dalla scienza-tecnologia onnipresente ...

Crediamo, appunto.

Anche se abbiamo lasciato a casa il cellulare e il GPS, un'occhiata ai nostri scarponi (aderenza, forma, traspirabilità), al nostro zaino (leggerezza, ergonomia, resistenza) o ai nostri occhiali polarizzati dovrebbe farci sentire come la scienza e la tecnologia non ci abbandonino mai.

Questo sentire, questa coscienza, invece, non paiono essere "senso comune", forse perché siamo arrivati a dare per scontate le libertà e le comodità che la nostra società ci garantisce, in grandissima parte frutto di applicazioni scientifiche.

Vorrei fare un esempio molto personale: senza la scienza non potrei vedere il mondo come è, perché sono miope, molto; avrei ben pochi denti, perché parecchi di quelli definitivi non mi sono mai cresciuti ed ho perciò 7 impianti dentali; e sarei morta 3 anni fa, per un'appendicite. Quanto siamo coscienti della pervasività della scienza e della tecnologia? Quanto questa consapevolezza guida le nostre scelte?

Nel modo di vedere comune scienza e società sono percepite come enti distinti e, spesso, distanti, quando invece questi due soggetti si plasmano e condizionano e determinano reciprocamente ad ogni livello.

Una distanza che non viene, però, creata solo dal pubblico, ma anche dall'atteggiamento e comportamento degli scienziati come gruppo.

Eppure ... scienza e società, essendo parte di una stessa entità, avrebbero bisogno di parlarsi, di più e più facilmente.

Comunicare la scienza: cosa significa?

Forse le parole che si danno per scontate sono quelle, invece, più complesse da definire. Inoltre spesso *science communication* viene usato come sinonimo di *scientific literacy*, di *public awareness of science* e di *public understanding of science*. Cominciamo perciò con qualche definizione.

Per la scienza ne sono disponibili innumerevoli; una che mi piace è la seguente del Panel on Public Affairs dell'American Physical Society:

“Science is the systematic enterprise of gathering knowledge about the world and organizing and condensing that knowledge into stable laws and theories.” “... the success and credibility of science is anchored in the willingness of scientists to expose their ideas and results to independent testing and replication by other scientists... (and) abandon or modify accepted conclusions when confronted with more complete or reliable experimental evidence.”

Quando, però, ci avventuriamo nella comunicazione della scienza, troviamo che anche matematica, ingegneria, medicina, statistica, tecnologia e altro fanno parte degli argomenti *comunicati*: oggetto di comunicazione della scienza è quindi un insieme di discipline, di cui la scienza pura, definita sopra, è un elemento.

Diversi sono poi gli aspetti, le sfaccettature che possiamo scegliere di comunicare una volta deciso l'argomento della comunicazione: comunicare il *metodo* con cui si sviluppa una ricerca per arrivare ad un risultato non coincide con l'informare il pubblico dell'ultima eclatante scoperta o con il modificare l'immagine spesso stereotipata dello scienziato.

Lo scoop può catturare l'attenzione, ma la comprensione e l'applicazione del metodo scientifico danno al cittadino strumenti per vivere come membro attivo di una società democratica; e l'immagine di uno scienziato realizzato nel proprio lavoro apre la possibilità di scelta di questa carriera. Sono tutti effetti importanti da realizzare con la comunicazione della scienza.

Il *modello di deficit* della comunicazione scientifica (la trasmissione lineare di contenuti dallo scienziato, che sa, al pubblico, che non sa, attraverso un mezzo) ha dimostrato negli ultimi 20 anni la sua inefficacia, sia come rappresentazione di una realtà molto più complessa, sia come modalità di comunicazione. Cosa manca?

Molto. I significati non vengono puramente trasmessi, ma *prodotti e negoziati* tra i soggetti che comunicano; non ci troviamo quindi davanti un pubblico passivo che assorbe quanto comunicato, ma una continua interazione tra due soggetti alla pari. Questo non significa negare le competenze dello scienziato, che è indubbiamente l'*esperto*, ma sottolineare la complessità dell'atto comunicativo (Burns et al., 2003).

Inoltre le condizioni *al contorno*, cioè sociali, culturali e politiche, dei soggetti della comunicazione modificano e condizionano ulteriormente i significati.

Un altro difetto del modello di deficit consiste nell'uniformare il *pubblico*, supponendo che sia composto da elementi omogenei: niente di più lontano dalla realtà.

Una definizione molto generale di pubblico, cioè ogni persona della società, permette poi di classificare almeno alcune delle sue componenti: gli scienziati stessi, i mediatori (giornalisti, operatori dei media, comunicatori), i decisori (nel governo e nelle istituzioni), il pubblico attento (interessato e già ragionevolmente informato), il pubblico interessato (ma non informato), il pubblico generale.

Membri del pubblico sono anche quelle persone interessate ad un particolare risultato (gli stakeholders), i clienti (che pagano per un servizio) ed i partecipanti diretti e indiretti alla comunicazione scientifica, come chi sceglie di visitare una mostra scientifica o uno sponsor.

Chiunque abbia come scopo la comunicazione, deve sapere a quale pubblico si sta rivolgendo (quali siano le competenze, gli interessi, le attitudini) e tarare il messaggio secondo questi parametri: molto più facile a dirsi che a farsi!

Sopra abbiamo definito i singoli termini e cercato di inserirli nel contesto della comunicazione della scienza; lasciamo adesso le singole parole, per passare alle frasi.

L'insegnamento strutturato della scienza è quasi interamente inserito dentro percorsi scolastici di vari livelli; quando invece si pensa a situazioni informali, come una mostra o un dibattito, lo scopo del comunicatore è, piuttosto che "educare", incrementare la consapevolezza scientifica del pubblico (*public awareness of science*, PAS) e la sua comprensione della scienza (*public understanding of science*, PUS).

Per PAS si intende un insieme di attitudini positive verso scienza e tecnologia, supportate da un insieme di capacità che permettano di accedere alla conoscenza. PAS è quindi un prerequisito per la comprensione di temi scientifici. Per PUS non si intende ovviamente un'esauriva conoscenza di tutti i rami della scienza, ma piuttosto la comprensione dei *contenuti* scientifici, del *metodo* che definisce la ricerca scientifica, e dell'*impatto* della scienza nella vita dell'individuo e nello sviluppo della società.

Durante gli anni scolastici lo scopo dell'insegnamento della scienza dovrebbe essere quello di sviluppare l'alfabetizzazione scientifica (*scientific literacy*, SL), stimolando la curiosità e l'interesse per il mondo che ci circonda, lo scetticismo e il dubbio verso affermazioni scientifiche fatte da altri, fornendo la capacità di formulare domande, investigare e ricavare risposte sulla base di evidenze sperimentali, per arrivare ad essere in grado di prendere decisioni informate in merito politiche ambientali, della salute e altro.

La SL è quindi un obiettivo critico per la nostra società.

Questa percezione deve però essere fondata su un sistema di valori sociali che apprezzi e promuova la scienza (per se stessa, non solo per le applicazioni che ne derivano), quello che viene indicato come cultura scientifica (*scientific culture*, SC).

Possiamo adesso cercare di definire la comunicazione della scienza (*science communication*, SciCom) sulla base di quanto sopra, perché ciascuno dei termini che abbiamo trattato diventa obiettivo della comunicazione stessa.

Comunicare la scienza consiste nell'utilizzare abilità, mezzi di comunicazione e varie attività per promuovere nel pubblico una o più delle seguenti reazioni: consapevolezza (*awareness*), piacere (*enjoyment*), interesse (*interest*), opinioni (*opinions*) e comprensione (*understanding*). Si tratta, in inglese, dell'analogia delle vocali (*vowel analogy*, AEIOU), dalle iniziali dei termini inglesi.

La comunicazione della scienza è quindi un mezzo per stimolare il passaggio dalla consapevolezza che esiste un certo campo scientifico (PAS), all'adozione delle abilità per la comprensione del campo stesso (PUS); il processo ha come obiettivo finale l'alfabetizzazione scientifica (SL), ma questa sarà conseguibile solo se lo sforzo sarà supportato da una cultura scientifica (SC).

Per quanto l'alfabetizzazione scientifica venga raggiunta da una piccola parte del pubblico, comunque possiamo considerare la comunicazione efficace se produce anche solo un piccolo incremento della SL.

Pare evidente che non ci si improvvisa *comunicatori scientifici*, ma è solo nell'ultimo decennio che si sono affermati scuole e master che offrono qualificazioni, sia con lezioni teoriche che con esperienze sul campo. Ad abilità personali, che costituiscono la base per la comunicazione, si aggiungono quindi competenze specifiche per lavorare con il pubblico in musei e media di vario genere.

La misura dell'efficacia di un intervento di comunicazione della scienza è complessa e difficile: cosa si misura? Quanto il pubblico ha annuito o riso? Quanto ha partecipato agli esperimenti? Quanto ha imparato, somministrando un test finale?

Indagini di quest'ultimo tipo sono state quelle maggiormente utilizzate finora, ma hanno mostrato i loro limiti; dopotutto la comunicazione della scienza non ha come unico scopo l'apprendimento di contenuti, ma anche, come abbiamo visto, creare interesse, modificare atteggiamenti, fornire strumenti di pensiero e decisione, divertire ... Misurare l'alfabetizzazione scientifica media di una popolazione potrebbe non essere mai possibile, ma abbiamo bisogno di indicatori che ci guidino nella scelta delle strategie comunicative.

Comunicare la scienza: a che punto siamo?

Nell'era accademica della prima metà del XX Secolo, quando le decisioni importanti per il lavoro degli scienziati erano prese da comunità scientifiche, la comunicazione tra scienziati era l'unico tipo di comunicazione importante. Validazione del lavoro, riconoscimento, fondi per la ricerca erano basati sulla capacità dello scienziato di comunicare con altri scienziati.

La situazione è cambiata in fretta: la comunicazione intra-scientifica mantiene assoluta importanza per il riconoscimento della qualità del lavoro, ma il baricentro delle decisioni politiche ed economiche si è spostato verso le comunità non scientifiche. Gli scienziati si trovano, perciò, adesso obbligati a comunicare con non esperti e a dipendere dalla propria efficacia come comunicatori per il proseguimento dell'attività, per ottenere la *licenza* per praticare la scienza (Greco, 2002).

Questo aspetto emerge nelle ragioni che gli scienziati portano a sostegno dell'impegno rappresentato dalla comunicazione a non esperti, insieme a motivazioni più generali e sociali: si comunica per

- ottenere supporto alla scienza;
- rendere il mondo un posto migliore;
- sviluppare abilità ed ispirare l'apprendimento;
- migliorare la carriera;
- creare un'economia più efficiente, dinamica e sostenibile;
- aumentare l'impatto e la qualità del lavoro;
- aumentare la coesione sociale e la partecipazione democratica;

- avere un comportamento etico, responsabile e trasparente.

Società e scienziati sono cambiati negli ultimi decenni; intanto alcuni “incidenti di percorso” hanno minato l’autorità e la competenza prima riconosciute agli scienziati. Un esempio è la diffidenza del pubblico in merito ai cibi OGM, dove il parere “esperto” viene rigettato. Serve quindi che il pubblico abbia la possibilità di esercitare una forma di controllo sulle decisioni scientifiche, senza però trasformare scienza e scienziati in capri espiatori per le insoddisfazioni sociali.

Anche il modo di fare ricerca è molto cambiato: l’interazione e il lavoro di gruppo rischiano di creare, almeno nella percezione del pubblico, “cricche” di scienziati ed ingegneri che escludono i non esperti e che prendono univocamente decisioni che possono cambiare il profilo etico e sociale della nazione.

Giornali, televisione, libri, internet, riviste: la quantità di informazione disponibile a basso prezzo non è mai stata così elevata. Gli scienziati si trovano adesso anche a competere con gruppi che sono spinti da motivazioni diverse dalla ricerca, in fatto di accuratezza e rapidità (aspetti difficilmente coniugabili nel metodo scientifico) nel fornire risposte.

Stiamo parlando di gruppi di pressione, guidati da un singolo scopo, e di movimenti populistici: gli scienziati, forti del possesso della conoscenza scientifica, devono sfruttare questa marcia in più all’interno di comitati decisionali elitari o cercare invece di inculcare comportamenti e metodi scientifici in una porzione più ampia della società, come è proprio delle democrazie moderne?

Per i Research Councils britannici, il coinvolgimento pubblico di ricercatori e scienziati ha come scopi:

- “to enable society to value and have confidence in the research process and outputs;
- for young people to pursue research careers;
- and to create a culture where the research sector and researchers themselves, value public engagement as an important activity and an awareness of social and ethical issues informs research decisions and increases the societal impact of research”.

Si sottolinea in questo caso anche la necessità di cambiare il valore che gli scienziati danno alla comunicazione pubblica.

Uno studio commissionato nel 2000 da The Wellcome Trust ha indagato specificamente le posizioni degli scienziati verso la comunicazione della scienza.

Ne è emerso che la maggior parte degli scienziati è in grado di apprezzare i benefici di una maggiore comprensione della scienza da parte del pubblico. Comunque, il 75% degli scienziati ritiene che la carenza in conoscenza, educazione e interesse per la scienza da parte del pubblico sia un grave ostacolo alla SciCom, ed un terzo considera i media una vera barriera, riflettendo un’opinione ben radicata: i giornalisti rappresentano la scienza in modo negativo ed allarmistico. Per contro, l’84% dei 300 giornalisti americani intervistati in un sondaggio ha affermato che una notizia non dovrebbe essere riportata se è importante ma noiosa.

Aggiungiamo poi il fatto che la scienza è un processo in fieri e che non esiste una “verità” finale ed assoluta alla convinzione dei media che lo scienziato possa fornire una descrizione del problema

indagato che ne permetta la rapida soluzione ... questi sono pianeti diversi, che hanno bisogno prima di tutto di capirsi, per poi sperare di comunicare.

Gli stessi media sono, per gli scienziati, la sorgente principale di informazione scientifica per il pubblico; mentre gli scienziati si fidano soprattutto dei colleghi per avere informazioni scientifiche affidabili, ritengono che il pubblico riponga la propria fiducia nei mezzi di comunicazione e nei rappresentanti di organizzazioni no-profit.

Per quanto la maggioranza degli scienziati ritenga che sia proprio dovere comunicare la propria ricerca e le sue eventuali implicazioni etiche e sociali al pubblico, è da notare che solo uno scienziato su dieci si sente molto adatto a questo compito per quanto riguarda la componente morale, ed il 60% solo adatto. Le percentuali crescono, rispettivamente 20% e 75%, quando si tratta di comunicare gli aspetti scientifici della ricerca.

A questa convinzione si somma anche la percezione che hanno gli scienziati di essere limitati dalla routine di lavoro quotidiana, che lascia loro poco tempo per la comunicazione con il pubblico: solo la metà degli scienziati interpellati nello studio ha dichiarato di aver partecipato ad una qualsiasi attività di SciCom.

La partecipazione è correlata alla fiducia nelle proprie capacità di comunicare con il pubblico, con l'esperienza didattica e con l'aver ricevuto uno specifico addestramento.

Gli stessi interessati hanno suggerito che, per potenziare la comunicazione verso i non-esperti, sono necessari incentivi per motivare l'investimento di tempo ed energie dello scienziato in questo ambito, una preparazione nella gestione del rapporto con i media e il riconoscimento dell'attività da parte delle istituzioni.

Al momento, purtroppo, la valutazione di una ricerca ed il suo finanziamento raramente tengono conto dell'aspetto della comunicazione ad un pubblico non ristretto agli esperti. Questo è anche dovuto al fatto che esistono serie perplessità riguardo ai modi di misurare la qualità e quantità della comunicazione pubblica di una ricerca; per contro, il numero di citazioni di un articolo pesato relativamente all'IF delle riviste scientifiche è un dato accettato.

Questo contrasta anche con il fatto che considerare che sia un "dovere" del ricercatore avere un coinvolgimento con il pubblico è la motivazione più fortemente sentita dall'individuo: le istituzioni si aspettano questo tipo di attività, ma non la riconoscono formalmente come parte dell'impegno accademico, lasciandola alla buona volontà dei singoli.

La situazione viene anche fotografata dalle risposte fornite al sondaggio del Beacons For Public Engagement Initiative: il coinvolgimento pubblico aiuta nella carriera scientifica "molto" per il 6% dei ricercatori, "abbastanza" per il 36%, "poco" per il 34% e "per niente" per il 24%.

Si mescolano, quindi, due percezioni opposte: "l'esposizione pubblica aiuta" contro "intralcia la carriera". Non dimentichiamo, poi, posizioni ancora più parziali, per le quali la scelta della comunicazione scientifica rappresenta la via di uscita per il ricercatore che non è in grado di fare buona ricerca.

I benefici per la carriera vengono identificati come un miglioramento delle abilità comunicative (anche nell'insegnamento) e dell'autostima; in alcuni casi il dover spiegare il proprio lavoro a non-esperti porta anche ad una migliore comprensione dell'oggetto e ad acquisire una visione più ampia del contesto. È, però, presente anche la convinzione che praticamente nulla di quello che un non-scienziato possa dire ad uno scienziato abbia alcun valore per la ricerca.

Un beneficio ampiamente riconosciuto dagli scienziati coinvolti nella comunicazione con il pubblico è il divertimento e la soddisfazione che ne traggono.

Le posizioni degli scienziati sono state sottoposte ad un limitato numero di indagini; ben più cospicuo è stato lo sforzo per comprendere il pubblico.

Dal punto di vista dell'interesse espresso, si tratta di un periodo aureo per la scienza: il 70% (più che per lo sport) afferma che la scienza svolge un ruolo così determinante della vita della gente, che tutti dovrebbero esserne interessati. Solo il 20% dichiara di non esserne interessato e di non capire perché dovrebbe, con una componente femminile predominante.

Non sorprende che l'interesse sia rivolto soprattutto alla scienza che offre potenziali benefici e che riveste maggiore rilevanza nella vita della gente.

Tre quarti del pubblico intervistato dalla British Association for the Advancement of Science (Ap. 2005) afferma di essere stupito dai successi della scienza e due terzi concordano con l'affermazione che la scienza rende la vita facile, confortevole e sana.

Infatti, per il 70% degli intervistati, lo scopo principale della scienza è il miglioramento della vita umana, ma una percentuale leggermente maggiore è disposta a sostenere la ricerca anche se i benefici non sono immediati.

È opinione dell'80% degli interpellati che l'investimento in scienza e tecnologia aumenti la competitività di una nazione, ma questo ottimismo è temperato dalla cautela verso i possibili danni di una scienza senza controlli: circa la metà del pubblico non crede che i benefici superino qualsiasi effetto dannoso. Una minoranza, il 24%, arriva ad affermare che la scienza è fuori controllo e sempre la metà ritiene che il governo non sia in grado di legiferare in modo adeguato in merito ad un campo che evolve così rapidamente.

Per quanto il pubblico in larga maggioranza affermi di credere generalmente che uno scienziato dica la verità, la stessa percentuale concorda sul fatto che leggi e regole non trattengono gli scienziati dal fare quello che vogliono nei laboratori; il 50%, poi, reputa che i ricercatori procedono nel loro lavoro senza fermarsi a pensare ai possibili rischi.

Nonostante ciò, gli scienziati godono di più fiducia di politici, giornalisti e di chi lavora per l'industria. Il 75% ritiene che sia importante avere scienziati che non siano legati al mondo degli affari.

Una maggiore apertura da parte degli scienziati verso il pubblico è un'esigenza fortemente sentita: l'80% della gente comune ritiene che i ricercatori dovrebbero spendere più tempo discutendo le implicazioni del loro lavoro con il pubblico, mentre il 75% chiede una maggiore attenzione a quello

che i non esperti pensano. Addirittura l'80% desidera che il pubblico sia consultato per decisioni relative a sviluppi scientifici.

Un altro studio del 2000, dell'Office of Science and Technology insieme a The Wellcome Trust, divide il pubblico in sei categorie:

- **i tecnofili (20%)**: hanno un'opinione positiva della scienza, sanno come ottenere informazioni; sono caratterizzati da buon reddito, educazione e giovane età.
- **i credenti fiduciosi (17%)**: interessati alla scienza per i benefici che può dare e, a differenza dei precedenti, fiduciosi nel sistema normativo; di mezza età, hanno un buon reddito ed educazione.
- **i sostenitori (17%)**: affascinati da scienza e tecnologia, sono in grado di seguirne i rapidi cambiamenti; credono che il governo abbia il controllo della situazione; si tratta di giovani, spesso ancora del percorso educativo.
- **gli incerti (17%)**: hanno poche opinioni sulla scienza, forse perché non incide sulla loro vita; basso reddito e limitata educazione.
- **non fa per me (15%)**: per quanto apprezzino i benefici della scienza e la sua importanza per il futuro, non sono interessati; si tratta soprattutto di donne anziane a basso reddito e di artigiani leggermente più giovani.
- **i preoccupati (13%)**: scettici verso le autorità, sono convinti dell'importanza della scienza e si interessano di specifici argomenti; maggioranza di donne.

Da questo tipo di analisi risulta che l'alfabetizzazione scientifica è correlata a fattori demografici: l'uomo, lettore di giornale ed appartenente al ceto medio tende ad essere più informato in merito alla scienza.

Il generale e dichiarato interesse per la scienza si scontra, però, con una certa ignoranza del metodo scientifico: solo la metà del pubblico descrive l'approccio sperimentale come mezzo scientifico di investigazione e tre quarti non ha idea di cosa significhi "peer review". Ma è veramente la conoscenza di fatti e metodi scientifici che crea fiducia nel pubblico verso la scienza oppure non potrebbe essere più importante l'immagine che il pubblico ha della scienza?

Inoltre, da un pubblico che nei test di alfabetizzazione scientifica, basati su conoscenze scolastiche, ottiene risultati sconcertanti, ci si aspetterebbe una grande difficoltà di gestione di un ambiente tecnologico che evolve rapidamente ... invece la gente dimostra di saper imparare quello che le serve, e non di più.

Un altro tema rispetto al quale scienziati e pubblico hanno attitudini molto diverse, che possono causare incomprensioni, è il rischio: quello che per un esperto è valutato in termini di probabilità e conseguenze, è influenzato nel pubblico da fattori psicologici, sociali e culturali.

I rischi che maggiormente preoccupano la gente sono quelli che colpiscono vittime che possono essere identificate, che sono sconosciuti, che sono ingiustamente ripartiti e, soprattutto, che sono involontari e fuori dal proprio controllo (per questo motivo continuiamo a fumare).

Inoltre un'azione di prevenzione verrà presa più facilmente se eliminerà il rischio, piuttosto che solo ridurlo. Poiché la probabilità di un rischio sarà valutata sulla base dell'esperienza di vita, le campagne di informazione avranno sempre un effetto minore.

Sempre all'interno dell'indagine è emerso che il pubblico ha meno fiducia e rispetto verso autorità ed esperti che riducano, nascondano o addirittura neghino la presenza di incertezza in una certa questione scientifica. Anche trattare l'incertezza solo come rischio quantificabile e non tenendo in debito conto responsabilità, bisogni e conseguenze a livello sociale genera sfiducia.

Quindi il pubblico valuta gli sviluppi scientifici in funzione della propria percezione di rischio, basata principalmente sull'esperienza personale, e beneficio, tradotto come utilità pratica nella vita di tutti i giorni.

Sia i mezzi che le tipologie di comunicazione sono multipli e vari; possiamo comunque cercare di identificare le azioni principali, che possono in ogni caso essere realizzate con modalità diverse:

- raccontare: lo scopo è quello di promuovere un certo punto di vista nel pubblico, convincendolo di un particolare messaggio. Campagne di relazioni pubbliche e comunicazioni ne sono esempi.
- condividere: volendo aumentare la comprensione e l'apprezzamento del pubblico, si forniscono informazioni efficaci, accessibili e rilevanti, andando incontro a bisogni ed interessi degli utenti, per esempio durante le giornate delle "porte aperte", festival, in siti web, con una presenza costante nei media. Non vanno trascurate alternative e problematiche etiche, in modo che il pubblico possa partecipare alle discussioni e prendere decisioni informate.
- coinvolgere: il coinvolgimento attivo del pubblico sia nella distribuzione che nella realizzazione di prodotti, servizi e attività essenziali migliora la qualità e l'impatto di questi per gli utenti (pensiamo, per esempio, alla sanità).
- consultare: anche il pubblico deve entrare a far parte del processo decisionale che guida lo sviluppo della scienza, aumentando quindi la sua condivisione, supporto e comprensione della politica emergente, e migliorando la qualità delle decisioni e del metodo democratico. Consultazioni a vari livelli, giurie di cittadini per discutere precisi temi scottanti e simili iniziative possono svolgere questa funzione.

Per creare una cultura dove la scienza sia più rilevante nella vita di tutti i giorni e dove l'impegno pubblico degli scienziati sia giudicato importante e premiato dagli scienziati stessi e dalle istituzioni, serve un cambiamento all'interno della cultura scientifica : le organizzazioni scientifiche devono imparare a interagire con il pubblico.

Alcune aree sono al momento critiche:

- molti aspetti del coinvolgimento del pubblico nella scienza non sono ancora compresi: perché il pubblico si interessa, quali attività sono più efficaci e meglio raggiungono il pubblico, quali effetti vengono ottenuti ... i campi di indagine sono innumerevoli.
- Per quanto gruppi ed individui siano attualmente coinvolti nella comunicazione della scienza, condivisione, confronto e interazione non sono ancora sufficienti.

- L'importanza della SciCom è riconosciuta per la cultura scientifica, ma esistono tuttora barriere sostanziali a chi desideri un coinvolgimento con il pubblico, dovute soprattutto al mancato riconoscimento istituzionale dell'attività.

Chi si occupa di comunicazione della scienza riconosce che mezzi di informazione di massa ed educazione scolastica sono le vie più importanti nella SciCom; metodi interattivi ed attività *hands-on* sono considerati i migliori, perché abbattano le barriere tra scienziato e pubblico, instaurando un dialogo.

Gli studenti stessi esprimono il desiderio che il curriculum scolastico includa più attività pratiche e discussioni, anche in merito a problemi etici, mentre la maggioranza degli insegnanti ritiene che il proprio ruolo sia presentare i fatti e non coinvolgersi in questioni morali. Ancora gli studenti affermano in gran maggioranza che non hanno difficoltà di comprensione della scienza legate a carenze di conoscenze matematiche, ma che piuttosto la scuola non è capace di spiegare loro perché la scienza sarebbe rilevante nella loro vita quotidiana.

Pare, quindi e con le dovute eccezioni, che il modello scolastico corrente, invece di produrre cittadini "forti", capaci di agire efficacemente nel processo democratico, sforni cittadini che non sono capaci di interessarsi costruttivamente alla scienza e scienziati che non sono capaci di comunicare in modo adatto con il pubblico.

Capitolo 2

Una teoria della conoscenza: il costruttivismo.

Il pubblico ideale, cui dovrebbe rivolgersi la comunicazione della scienza, è costituito da tutti i cittadini: un bersaglio enorme, eterogeneo, impegnato nella vita quotidiana, distratto da una quantità di informazione che non è mai stata disponibile prima ... pare una causa persa.

Eppure, se vogliamo costruire una *cultura scientifica*, che sia il substrato sul quale la scienza si sviluppi proficuamente per tutta la società, dobbiamo mirare a coinvolgere ed interessare il maggior numero possibile di persone.

Ho scritto possibile, perché ci sarà sempre una parte del pubblico che non riusciremo a raggiungere, sia per una resistenza o disinteresse da parte del soggetto, sia, e questa è la ragione principale, perché le nostre risorse sono limitate.

Nel capitolo precedente abbiamo visto come l'attività di comunicazione raramente venga riconosciuta (e quindi sostenuta economicamente) dalle istituzioni: le risorse a nostra disposizione devono essere quindi impiegate nel modo migliore, utilizzate là dove si possa prevedere una buona efficacia dell'intervento effettuato.

A chi?

Le varie modalità di comunicazione della scienza cercano di raggiungere tutto lo spettro del pubblico: troviamo la scienza nei giornali, in televisione, alla radio, nelle riviste, nei libri, si organizzano "porte aperte" in università e laboratori, festival, mostre nei musei, incontri e dibattiti e conferenze.

Sono tutti interventi importanti ed utili; la loro varietà mira a cogliere i diversi bersagli che il pubblico racchiude, con mezzi di comunicazione diversi, in momenti diversi, con registri diversi. Sono sforzi che, però, devono competere con innumerevoli attività alternative, che spesso appaiono più divertenti e stimolanti di, per esempio, una visita al museo.

Abbiamo comunque a disposizione un periodo della vita di ogni cittadino, durante il quale lo stesso è tenuto a prestare attenzione a quello che diciamo, facciamo, comunichiamo, proponiamo: la scuola. È indubbiamente una grande opportunità per il comunicatore: avrà davanti a sé un pubblico che non se ne potrà andare, che tornerà ancora e ancora, con il quale potrà costruire un dialogo duraturo.

Questi aspetti positivi si contrappongono al fatto che la maggior parte di questo pubblico, gli studenti, non avrà scelto di partecipare proprio alle nostre lezioni di fisica, matematica e scienze: la

decisione di un indirizzo scolastico comporta l'acquisizione di un "pacchetto" di discipline, alcune delle quali possono anche essere molto lontane dagli interessi dell'allievo.

Alcuni studenti, di solito pochi, saranno già motivati, incuriositi e interessati alle discipline scientifiche: ce ne sono. Ma rappresentano una piccola percentuale. L'obiettivo più importante della comunicazione della scienza è quello di "agganciare" la maggioranza che di scienza non si è mai interessata, non con l'intenzione di trasformare le classi intere in scienziati, ma con il traguardo di creare la cultura scientifica.

La scuola è quindi una grande occasione, che non si ripresenterà più, di raggiungere tutti i cittadini, con tempi e mezzi unici. Se però pensiamo che la priorità sia quella di produrre "studenti che vengano a Fisica più preparati", allora ci giochiamo una grande possibilità.

Individuato l'obbiettivo, ora si tratta di trovare il modo più efficace per colpirlo.

Come?

In classe possiamo praticare una *comunicazione della scienza* nella sua forma più potente: possiamo, oltre che trasmettere contenuti, portare gli studenti ad utilizzare il metodo scientifico, facendo in modo che se ne impadroniscano e siano poi in grado di utilizzarlo in ogni situazione dove lo ritengano necessario. Un'arma che ogni cittadino di una moderna democrazia dovrebbe avere a disposizione per partecipare consapevolmente alla società.

Le resistenze ad *imparare* qualcosa di nuovo, qualsiasi cosa, hanno diverse ragioni: mancanza di motivazione, mancanza di capacità o attitudine, insegnamento inadeguato, *fatica* di imparare ... Possiamo fare un parallelo tra l'evoluzione, che con la selezione naturale ci ha plasmati ad essere ciò che siamo, e l'apprendimento.

Quando un essere vivente raggiunge un certo livello di fitness in una nicchia ecologica specifica, tende a restarvi; immaginiamo questo livello di fitness come una vetta in un paesaggio montuoso. Ci sono cime più alte, che rappresentano una migliore capacità di sopravvivenza e riproduzione, ma, per essere raggiunte, il soggetto deve prima scendere dal picco dove già si trova e poi faticosamente risalire. Le motivazioni per un tale investimento devono essere molto forti.

Allo stesso modo, l'apprendimento può avvenire solo se il soggetto reputa le proprie "vecchie" conoscenze inadeguate, decide di cambiarle e si impegna nella fatica di sostituirle con "nuovo" sapere. Non sempre è facile accettare che quello che credevamo corretto e che ha modellato i nostri comportamenti debba essere scartato e sostituito: dobbiamo cambiare anche l'immagine che abbiamo di noi stessi, il modo in cui facciamo certe cose, affrontare insomma una destabilizzazione.

E, se possibile, lo evitiamo; le scuse possono essere un ambiente di lavoro rigido, un professore che insegna male o che "ce l'ha con me" e mille altre. Tutto questo accade spesso senza che ne siamo consapevoli e soprattutto quando il sapere da scartare ha fondato la nostra vita.

Ma allora perché una persona dovrebbe volontariamente sottoporsi a questo processo? Esistono ovviamente delle condizioni che possono innescare e facilitare il processo di apprendimento (Atherton, 2010):

- L'ambiente esterno è cambiato ed il sapere pregresso porta a comportamenti che non sono più risposte adeguate alla nuova realtà: una **crisi**, che porta destabilizzazione e disorientamento.
- L'aver **toccato il fondo**, cioè trovarsi in uno stato di assoluto disorientamento, mette il soggetto nella condizione di avere come unica direzione possibile la risalita, verso un riorientamento del sapere.
- Infine, l'apprendimento può avvenire in un **ambiente facilitatore**, che protegge il soggetto dalle pressioni del mondo esterno e lo fa sentire libero di sperimentare in un contesto sicuro.

Le prime due situazioni *obbligano* il soggetto all'apprendimento, mentre la terza lo rende solo possibile; serve in questo caso un mentore (un insegnante) che garantisca che lo sforzo profuso porterà adeguati benefici e che imparare sia effettivamente possibile.

All'interno di questo ambiente protetto, l'insegnante può innescare il primo passo del processo di apprendimento: la **destabilizzazione**. Può, per esempio, proporre una situazione che metta in dubbio le conoscenze finora utilizzate: un fenomeno fisico che non viene rappresentato dai modelli noti, un problema che esula da competenze che parevano finora sufficienti. La destabilizzazione può, però, essere scatenata anche da eventi fortuiti, come un'osservazione fatta dallo studente stesso; l'insegnante deve allora essere pronto a cogliere l'opportunità che gli viene così offerta e guidare l'allievo nel focalizzare la sorgente del disagio cognitivo.

Fuori dell'ambiente protetto, il **disorientamento**, che segue la presa di coscienza di aver agito sulla base di un sapere inefficace o addirittura sbagliato, può portare il soggetto a forti sentimenti: rabbia, delusione, depressione, frustrazione, ecc. Queste emozioni saranno presenti, ma in forma debole, anche nell'ambiente facilitatore; compito dell'insegnante è garantire allo studente che si tratta di sentimenti naturali e che, impegnandosi, sarà possibile conseguire l'apprendimento desiderato.

A questo punto si può cominciare ad imparare: il processo di **riorientamento** può ancora essere soggetto a resistenze al cambiamento e l'insegnante deve essere perciò pronto a fornire supporto quando necessario.

Il costruttivismo.

Se imparare non pare facile, insegnare può essere molto difficile. Quale è il modo *migliore* per insegnare? E come se ne può valutare l'efficacia?

Nella seconda metà del XX Secolo movimenti all'interno della filosofia della scienza hanno scosso la fino ad allora scontata fiducia nell'obiettività della conoscenza scientifica, la stessa fiducia che era alla base dei metodi di insegnamento.

La pubblicazione, nel 1970, di *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* di T. Kuhn ha esposto chiaramente una posizione che aveva radici ben più antiche: troviamo già nel trattato di Gian

Battista Vico *De antiquissima Italorum sapientia* (1710) l'idea che l'agente può conoscere solo le strutture cognitive che esso stesso ha costruito e che "sapere" significa "sapere come fare".

Queste posizioni costituiscono il nucleo del **costruttivismo**: la parola "sapere" si riferisce ad un bene completamente diverso dalla rappresentazione oggettiva di un mondo indipendente dall'osservatore; per conoscenza si intendono invece le strutture concettuali che un agente, all'interno della sua cultura, considera sostenibili.

Nel testo di Richard Rorty, *Introduction to Consequences of Pragmatism* (1982), troviamo un passaggio che esplicita questo spostamento dell'attenzione e che ben si adatta al costruttivismo:

"He (the pragmatist) drops the notion of truth as correspondence with reality altogether, and says that modern science does not enable us to cope because it corresponds, it just enables us to cope."

A differenza del pragmatismo, però, il costruttivismo è interessato in modo predominante a come si arriva alla conoscenza "che ci mette in grado di farcela". Nella sua ricerca, Jean Piaget ha cercato di formulare un modello per la generazione di conoscenza sostenibile; come per Vico, la conoscenza non è mai una rappresentazione della realtà, ma una raccolta di strutture concettuali che sono adattate all'esperienza dell'agente (von Glasersfeld, 1989).

Per Piaget, il cambiamento cognitivo e l'apprendimento avvengono quando uno schema, invece di produrre il risultato atteso, porta ad una perturbazione, che a sua volta conduce ad un assestamento in un nuovo equilibrio. L'apprendimento e la nuova conoscenza che produce sono quindi strumentali, ma in due modi diversi: in ambito senso-motore gli schemi di azione sono strumentali all'organismo nel raggiungere gli scopi nell'interazione con il mondo; a livello di astrazione, gli schemi operativi aiutano l'organismo a conseguire un rete concettuale coerente, che rifletta i percorsi sia di azione che di pensiero che l'organismo reputa sostenibili nel presente stato di esperienza.

La distinzione di Piaget è ben nota, anche se non sempre esplicitamente riconosciuta, anche in ambito educativo: gli insegnanti conoscono la differenza tra far acquisire certi comportamenti (colpire una palla, usare un algoritmo, recitare un brano a memoria) e generare comprensione, cioè tra addestrare e insegnare. Si tende a volte a confondere i due obiettivi, mescolando quindi i metodi, diversi, per ottenerli, ma per entrambi la comunicazione ha un ruolo fondamentale.

Da un punto di vista comportamentista, che considera il discente come un ricevitore passivo degli stimoli ambientali volti a formarne il comportamento, insegnare è semplice: l'insegnante deve fornire al discente una serie di stimoli e rinforzi che lo inducano ad esibire un certo numero di risposte comportamentali stabilite dall'insegnante. Se lo scopo è che lo studente replichi un comportamento osservabile, il metodo è efficace, ma "capire" non necessariamente è confermato da quantità osservabili.

Da qualsiasi punto di vista si consideri l'apprendimento, comunque, un aspetto preciso della comunicazione è importante: il significato del messaggio comunicato non sta nel mezzo fisico che passa da un comunicatore all'altro; piuttosto, viene trasmessa una serie di istruzioni a scegliere certi significati da una lista che, insieme ad un elenco di segnali convenuti, costituisce il codice di quella particolare comunicazione.

Nel costruttivismo questa caratteristica della comunicazione mette in evidenza come ciascun agente abbia costruito dalla propria esperienza personale le strutture concettuali e le relazioni che le legano: queste non possono essere trasmesse da “fuori”, ma un adattamento interpersonale, che renda possibile quella che noi consideriamo “comunicazione”, può essere raggiunto nel corso di una protratta interazione. E in questa prospettiva l’uso del linguaggio nell’insegnamento è molto più complesso di quello che di solito si presume.

Spiegare un problema verbalmente non porta alla comprensione, a meno che i concetti, che chi ascolta associa alle componenti linguistiche della spiegazione, non siano compatibili con quelli di chi spiega; è quindi essenziale che l’insegnante abbia un modello adeguato della rete concettuale all’interno della quale lo studente assimila ciò che gli/le viene detto.

L’interazione con altri è il metodo più efficiente per generare quella perturbazione dell’equilibrio cognitivo, che innesca il processo di apprendimento: l’apprendimento di gruppo è perciò una strategia che viene adottata spesso dall’approccio costruttivista all’insegnamento. Partecipare ad una discussione di gruppo permette agli studenti di generalizzare e condividere le proprie conoscenze. In questo modo lo studente comunica oralmente le proprie idee, le verifica, le sintetizza con quelle altrui ed acquisisce una migliore comprensione di quello che sta studiando. Inoltre impara ad esercitare auto-controllo, a gestirsi e a perseverare; la motivazione aumenta insieme alla capacità di collaborare.

Buona parte delle basi di questo costruttivismo sociale si trovano nei lavori di Lev Vygotsky, uno psicologo russo, che pubblicò i suoi testi di maggior interesse tra il 1925 e il 1935. Egli osservò come i bambini, quando messi alla prova con un compito, raramente ottenessero, lavorando da soli, risultati paragonabili a quando erano assistiti da un adulto. Non si tratta del caso in cui l’adulto attivamente insegna al bambino, ma piuttosto l’interazione permette al bambino di affinare il proprio pensiero e di rendere la prestazione più efficace.

Un’altra conseguenza è che ciascun studente può formulare una soluzione diversa per uno stesso problema, una soluzione perfettamente ragionevole dal suo punto di vista; l’insegnante, piuttosto che censurare come “sbagliata” la proposta dello studente, dovrebbe invece cercare di capire come viene visto il problema e perché la soluzione sia parsa sensata. In questo modo può costruire un modello ipotetico della rete concettuale dello studente.

Per motivare lo studente, l’insegnante deve far percepire il vantaggio di padroneggiare modelli concettuali che hanno, nel suo mondo esperienziale, un ambito di applicabilità e successo più ampio di quelli che ha al momento. Ed ancora più importante, lo studente deve avere la possibilità di provare il piacere di verificare che il nuovo modello concettuale è effettivamente adeguato e soddisfacente in una nuova situazione.

In classe un insegnante costruttivista incoraggia gli allievi a verificare continuamente come la loro attività li stia aiutando a comprendere; questa riflessione su se stessi e le proprie strategie li porta ad *imparare come si impara*.

L’insegnante ha un ruolo importantissimo in questo processo: pur ovviamente conoscendo la risposta o soluzione al problema, guida gli studenti a formulare le domande in modo che siano utili, a riflettere e ad analizzare le conoscenze che hanno a disposizione, e, quando un membro del

gruppo propone un concetto rilevante, lo indica come uno spunto da esplorare. Successivamente la discussione continua focalizzandosi su quello che si è imparato e come.

Non si tratta quindi di sminuire il ruolo dell'insegnante, ma di trasformarlo cosicché assista gli studenti nel costruire la conoscenza, piuttosto che nel riprodurre una serie di fatti. L'insegnante fornisce strumenti come il problem solving ed attività di apprendimento basate sulla ricerca, con le quali gli studenti formulano e verificano idee, traggono conclusioni e inferenze, e condividono la loro conoscenza con il gruppo, trasformandosi da recettori passivi in agenti attivi.

Di conseguenza il curriculum enfatizza i concetti ampi e segue anche gli interessi e le domande degli studenti; piuttosto che libri di testo, i materiali dello studio sono le fonti principali e strumenti che possano essere manipolati. La verifica dell'apprendimento verte non solo sul prodotto, ma anche sul processo, che è altrettanto importante. Infatti il progresso degli studenti viene valutato esaminando le loro strutture di pensiero: per esempio, chiedendo di formulare la soluzione di un problema e di sostenere le decisioni che hanno portato a quel risultato. Anche un diario che documenti le loro attività e riflessioni sull'apprendimento è uno strumento molto utile. Infine, è possibile chiedere agli studenti, al termine di una ricerca, di formulare problemi che verranno risolti da altri studenti.

Insegnante e studenti condividono l'idea che la conoscenza non è un insieme di fatti statici da memorizzare, ma una visione dinamica del mondo in cui viviamo e l'abilità di modificare ed esplorare questa visione.

In un approccio costruttivista, l'apprendimento è **costruito** su quello che gli studenti già sanno; è **attivo**, perché l'insegnante permette agli studenti di sperimentare, porre domande, seguire anche vicoli ciechi, con una partecipazione completa e continuamente riflettendo sul processo di apprendimento; è **riflessivo**, perché gli studenti monitorizzano il proprio apprendimento e valutano le conoscenze già possedute; è **collaborativo**, perché si impara ad imparare non solo da se stessi, ma soprattutto dagli altri; è **basato sulla ricerca**, dove gli studenti si pongono domande, indagano un argomento e usano risorse diverse per trovare soluzioni e risposte; è **in evoluzione**, perché la conoscenza viene continuamente verificata contro nuovi fatti ed esperienze.

Vediamo più in dettaglio alcune delle strategie utilizzate in una classe costruttivista (Concepts to classroom):

L'**apprendimento collaborativo** è un metodo di insegnamento nel quale un gruppo di studenti indaga insieme una domanda significativa o realizza un progetto interessante: un gruppo di studenti che discute una lezione o studenti di scuole diverse che collaborano a un compito comune in rete.

L'**apprendimento cooperativo** è un tipo di apprendimento collaborativo. In questo caso piccoli gruppi di studenti (3/4) lavorano insieme ad un'attività strutturata; ciascuno di loro è singolarmente responsabile per il proprio lavoro, ma viene valutato anche il prodotto del gruppo. Gli studenti lavorano in presenza ed imparano a collaborare. Affinché questa tecnica funzioni, tre condizioni devono essere soddisfatte:

- Gli studenti si devono sentire sicuri, ma anche messi alla prova dal compito assegnato.
- I gruppi devono essere abbastanza piccoli da permettere a tutti di contribuire.

- L'incarico assegnato deve essere ben definito.

A differenza quindi di una didattica tradizionale, gli studenti lavorano insieme e, in una società dove la capacità di collaborare, per esempio, a un progetto è un'abilità richiesta, sviluppano doti interpersonali e imparano a gestire i conflitti. Si possono affiancare in classe sia lavori individuali che collaborativi, in modo da fornire allo studente un insieme più ampio di capacità.

Ancora dibattuto è il modo in cui comporre i gruppi: se i ricercatori concordano sul numero di membri (da due a quattro), non c'è invece unanimità per la composizione. Si dibatte se i gruppi debbano essere formati da studenti di pari capacità o debbano invece essere misti, se la formazione debba essere casuale o si debba invece permettere agli studenti di *sceglersi*: probabilmente la scelta dipende anche dal tipo di compito assegnato.

L'apprendimento collaborativo porta gli studenti a riconoscere e provare la diversità: approcci, domande e risposte possono differire tra i componenti del gruppo sia per tratti personali che culturali e gli studenti imparano a riconoscerne gli effetti. Oltre ad affinare le capacità di relazione, questa strategia coinvolge attivamente gli studenti nell'apprendimento ed il piccolo gruppo fornisce un feedback continuo alle idee proposte dai membri.

Alcune critiche sono state mosse a questa strategia: l'insegnante potrebbe "scaricare" la responsabilità dell'apprendimento sui membri del gruppo, un carico troppo pesante per gli studenti; il problema della valutazione continua ad essere presente; gli studenti che invece beneficiano di uno studio personale sono svantaggiati; c'è il rischio che il gruppo si accomodi sul livello del componente più debole, rallentando l'apprendimento di chi sia più rapido. Ciascuna di queste critiche trova risposta in un attento uso dell'apprendimento cooperativo, in modo da ovviare a queste difficoltà.

Sono invece ancora sotto indagine le iniquità che possono emergere dal genere: soprattutto per le discipline scientifiche, il gruppo può confermare e rafforzare gli stereotipi che vogliono questi ambiti dominati dal genere maschile, danneggiando le studentesse che, invece, avrebbero maggior vantaggio da uno studio individuale.

Un'altra strategia costruttivista è l'*inquiry based learning* (IBL, apprendimento basato sulla ricerca/indagine), che sfrutta la curiosità, la voglia di fare domande presente in tutti gli esseri umani. Purtroppo la struttura scolastica non incoraggia gli studenti in questo aspetto, piuttosto essi imparano presto a fare poche domande ed ascoltare e ripetere le risposte attese.

Invece la società è cambiata e l'abilità di memorizzare dati e informazioni non è più così importante: una rapida ricerca in rete ci può fornire quasi tutti i dati che cerchiamo. I cittadini che prepariamo a scuola hanno invece bisogno di saper trasformare questa massa disponibile di informazioni in conoscenza utile, un processo che è sostenuto da IBL. Infatti la conoscenza di un esperto non è solo un insieme di fatti, ma è strutturata in modo da essere accessibile e trasferibile ed applicabile ad altre situazioni.

L'*inquiry based learning* si focalizza sull'apprendimento di contenuti in modo da poterli usare per sviluppare le capacità di elaborazione delle informazioni e di soluzione di problemi; si tratta di un processo centrato sullo studente, dove l'insegnante è un facilitatore, e che lo coinvolge attivamente.

È quindi determinante che il tema o progetto che impegna gli studenti sia interessante e significativo dal loro punto di vista.

Le domande svolgono un ruolo fondamentale in questa strategia e sono più aperte e riflessive di quelle che troviamo in una classe tradizionale. L'insegnante stimola gli studenti con domande di genere diverso: domande di inferenza, che spingono ad andare oltre le informazioni subito disponibili; domande di interpretazione, che propongono la comprensione delle conseguenze delle informazioni; domande di trasferimento, che inducono lo studente a spostare la propria conoscenza in ambiti nuovi; e infine domande su ipotesi, con le quali lo studente formula predizioni sulla base dell'informazione disponibile.

Con questi stimoli gli studenti vengono attivamente coinvolti nel processo di apprendimento e si impegnano volontariamente nell'esplorazione: fanno domande, propongono spiegazioni e usano osservazioni, pianificano e svolgono le attività di apprendimento, comunicano in vari modi e infine valutano l'efficacia delle loro strategie. L'insegnante tiene ben presente lo scopo di IBL e pianifica in questo senso; una volta che il processo è iniziato, il suo ruolo principale è quello di facilitatore.

La critica principale che genitori ed educatori muovono a IBL è che occupa troppo tempo e che, affinché uno studente superi i test che gli sono proposti, è più efficiente fornire semplicemente l'informazione di cui ha bisogno.

Ma non educiamo i nostri studenti per un mondo statico e fisso; questi si troveranno in una realtà che evolve velocemente, molti dovranno cambiare più lavori nell'arco della vita e trasferirsi da un luogo all'altro. Ed avranno bisogno di imparare continuamente, per poter affrontare le sfide che li aspettano: imparare ad imparare è la migliore preparazione che possiamo dare loro.

Sempre tra le pratiche costruttiviste applicate alla didattica troviamo il ***problem-based learning*** (PBL, apprendimento basato sui problemi): problemi del "mondo reale" vengono usati come contesto affinché gli studenti imparino il pensiero critico, le abilità per la soluzione di problemi e per acquisire nel processo i concetti essenziali del corso. A tal fine, viene presentato agli studenti un problema, la cui natura cercano di definire sulla base delle loro conoscenze; attraverso la discussione gli studenti pongono domande, che definiscono i nuclei di apprendimento. Successivamente questi nuclei vengono ordinati per importanza ed assegnati a tutto il gruppo, per un lavoro comune, o a singoli membri, che poi informeranno tutti. Insieme all'insegnante sono discussi anche le risorse e i metodi per le ricerche. Nell'incontro successivo i risultati delle ricerche vengono valutati ed integrati nelle conoscenze del gruppo, nuovi nuclei di apprendimento individuati ed il processo si ripete fino a quella che viene ritenuta dal gruppo la soluzione del problema.

Tutte queste strategie portano lo studente ad essere il protagonista del proprio apprendimento e mettono in luce come ciascun discente sia caratterizzato da un proprio "stile" preferito di apprendimento. Nel 1983 lo psicologo dello sviluppo Howard Gardner propose che gli esseri umani hanno **intelligenze multiple** e le classificò in linguistico-verbale, logico-matematica, musicale, spaziale-visuale, corpo-cinestetica, interpersonale, intrapersonale, naturalistica ed esistenziale.

Senza entrare nel particolare delle caratteristiche di ciascuna intelligenza, secondo l'autore ogni persona possiede le nove intelligenze in quantità diverse che variano da soggetto a soggetto. Si

tratta di un approccio che si scosta dall'idea tradizionale di intelligenza: una capacità cognitiva uniforme, definita alla nascita e non equamente distribuita. Se le intelligenze sono multiple, invece, non possono essere valutate dai test classici e, soprattutto, una combinazione lineare di intelligenze, che identifica un individuo, caratterizzerà sia il suo modo di apprendere che di risolvere i problemi.

Didatticamente, la “composizione” delle intelligenze di uno studente dovrebbe essere valutata dall'insegnante, che, di conseguenza, potrebbe proporre un apprendimento tagliato su misura per il soggetto.

Dal 1983 questo approccio è stato adottato spesso in ambito scolastico; i critici (Pashler et al., 2008), comunque, non mancano. Prima di tutto non si tratta di un'idea nuova: quelle che Gardner identifica come intelligenze sono le abilità fondamentali che educatori e psicologi hanno sempre riconosciuto. Le intelligenze non sono poi ben definite da un punto di vista scientifico e cosa ci impedisce di introdurne altre? Ogni cultura, inoltre, favorisce un certo insieme di intelligenze, in modo che solo certe possano essere facilmente espresse.

Mancano poi, in letteratura, studi quantitativi dell'efficacia di questa strategia: nonostante abbondino gli articoli che descrivono il fenomeno, è necessario adesso passare ad una valutazione oggettiva delle pratiche.

La critica più forte, comunque, viene dalla realtà scolastica: non è un approccio attuabile (come anche altri fin qua suggeriti) in una classe di trenta studenti, con un monte orario dedicato alla disciplina limitato e ben definito e con un esame di stato al termine del percorso didattico.

Anche l'approccio costruttivista in toto, non solo le sue pratiche, non è esente da critiche e critici. Alcuni di essi sostengono che beneficiano di questo tipo di didattica soprattutto gli studenti che hanno ottimi insegnanti, genitori che dedicano loro attenzioni e ambienti ricchi di stimoli, mentre per ragazzi privi di queste risorse un approccio “tradizionale” è più efficace. Altri sottolineano i pericoli intrinseci all'apprendimento di gruppo: c'è il rischio che solo alcuni degli studenti portino avanti le proprie idee, mentre altri sono costretti ad adeguarsi. Infine, viene contestata l'efficacia del metodo: le modalità di verifica sono così diverse da quelle normalmente usate che sostanzialmente i risultati degli studenti di classi costruttiviste non sono valutabili; quando sottoposti agli stessi test degli altri studenti, pare che abbiano carenze nelle abilità di base. I costruttivisti rispondono che, quando vengono verificate abilità cognitive di livello superiore, i loro studenti ottengono risultati nettamente migliori degli studenti tradizionali.

Una ricerca, pubblicata nel 2009, di John Hattie (Hattie, 2009), cerca di indagare quali pratiche didattiche siano efficaci, sulla base di ben 800 meta-analisi, che a loro volta comprendono più di 50000 studi e milioni di studenti, di ogni ordine e grado e a partire dagli anni '80.

Nello studio, Hattie associa alle pratiche che sta analizzando una misura, che indica con *effect size*, che ne valuta proprio l'efficacia. Un effect size negativo indica ovviamente che la strategia è addirittura controproducente; da 0 a 0.15 l'effect size rappresenta un incremento delle prestazioni dello studente dovuto solo al suo sviluppo (cioè di quanto sarebbe migliorato in un anno senza avere nessuna educazione). La presenza dell'insegnante ha un effect size da 0.2 a 0.4 (a seconda delle circostanze), e solo le pratiche che superano il valore di 0.4 sono quelle che “fanno la differenza”.

È interessante vedere come anche pratiche tradizionali possano essere efficaci; entriamo un po' di più nel dettaglio.

La pratica vincente pare essere il **feedback**, con un altissimo effect size: 1.13! Si tratta sia del feedback dall'insegnante verso lo studente, quindi fornendo informazioni sul come e perché il soggetto comprende oppure no, ma soprattutto del feedback inverso, dallo studente all'insegnante: in questo modo l'insegnante apprende cosa gli studenti fanno, cosa capiscono, dove sbagliano, quali misconcezioni sono presenti, quando non sono coinvolti, e può accordare insegnamento e apprendimento.

Un fattore che l'insegnante non può controllare, ma che ha un effect size di 1.04, è costituito dalle abilità cognitive che lo studente ha precedentemente accumulato.

La qualità dell'insegnamento, che dipende invece dal docente, incide con un 1.00; è interessante che una pratica tradizionale come l'istruzione diretta, centrata sull'insegnante, comunque ottiene un effect size di 0.82.

Consigli specifici su come migliorare il risultato in test e verifiche ottiene uno 0.65, mentre la motivazione personale dello studente ad apprendere uno 0.61.

Tra 0.6 e 0.4, quindi sempre sopra gli effetti che ha comunque un insegnante, troviamo l'ambiente della classe, il fatto che gli obiettivi rappresentino una sfida, il tutoraggio tra pari, i compiti per casa, lo stile dell'insegnante e il porre domande.

Sotto l'effetto medio di un insegnante, cioè 0.4, troviamo pratiche e situazioni la cui efficacia non è tale da suggerirne l'adozione: relazioni tra studenti, mappe concettuali fornite all'inizio del corso, giochi e simulazioni, apprendimento assistito da computer, verifiche, caratteristiche fisiche degli studenti, istruzione programmata, supporti audio e video, individualizzazione dell'insegnamento e obiettivi comportamentali.

Per quanto la misura dell'efficacia di un certo intervento da un punto di vista didattico sia un processo del tutto non banale (come verificare un eventuale incremento? Con test? Di che tipo? E rispetto a chi? Molte pratiche non sono tradizionali e quindi si focalizzano sull'apprendimento di competenze di alto livello, piuttosto che su contenuti.), è proprio quello di cui gli insegnanti hanno bisogno adesso, per capire, in un mare, a volte in tempesta, di proposte diverse, quali sono le metodologie che funzionano con un investimento, di tempo e risorse, accessibile alla scuola.

Applicazione.

Le metodologie associate al costruttivismo sono applicate ormai da lungo tempo nelle scuole di medicina e legali e in corsi tenuti da aziende per il personale.

Le troviamo anche in alcuni corsi universitari, sia scientifici che umanistici. Meno utilizzate sono invece nelle scuole. Ci sono ovviamente scuole private che fanno propri i principi del costruttivismo, ma anche alcune realtà statali, come le scuole di Reggio Emilia, stanno adottando una didattica centrata sullo studente.

Certamente una delle ragioni di questa situazione la possiamo imputare agli insegnanti: non è facile sconvolgere la propria professionalità, che, per inciso, ha funzionato per tanti anni, e gestire improvvisamente una classe che pare nel caos.

Gli insegnanti hanno bisogno di una formazione (incentivata) che li metta in grado di utilizzare sia le strategie descritte sopra che le nuove tecnologie disponibili; una volta che si sentiranno a proprio agio e competenti, saranno i primi a voler provare qualcosa di nuovo (credetemi, parlo con cognizione di causa: sono un'insegnante anch'io).

Ma non basta la volontà del docente. L'ambiente in cui si opera è altrettanto, se non più, importante. Classi numerose e mancanze di strumenti (computer per tutti gli studenti, laboratori, spazi) rendono veramente difficile la realizzazione di una didattica costruttivista. Un altro ostacolo si trova nella normativa: nel corso di ogni termine deve essere prodotto un certo numero di valutazioni orali e scritte, queste nella forma di test da consegnare agli atti della scuola; un docente che decida di utilizzare l'inquiry based learning, per esempio, deve comunque trovare un compromesso che gli permetta di soddisfare queste richieste.

Inoltre al termine del percorso scolastico gli studenti devono affrontare l'esame di stato: è vero che dovremmo prepararli per la vita che li aspetta, ma dobbiamo anche metterli in condizione di superare questo esame ... che non è esattamente basato su una didattica costruttivista.

Il cambiamento, quindi, per portare una nuova didattica nelle nostre scuole deve coinvolgere tutto il sistema. Se però guardo alla attuale situazione politica ed economica italiana, confesso, scusate, che mi prende lo scoramento.

Per chiudere, una citazione:

“The illiterate of the 21st century will not be those who cannot read and write, but those who cannot learn, unlearn and relearn.”

Alvin Toffler.

Capitolo 3

Alcuni esempi di didattica costruttivista delle scienze.

Il costruttivismo, fra le tante teorie dell'apprendimento, è una teoria che promette di risolvere molti dei problemi che studenti ed insegnanti incontrano nelle reciproche interazioni. Inoltre, si tratta di una teoria che sta riscuotendo grande successo, come testimoniano sia la quantità di letteratura inerente prodotta, sia le pratiche che sempre più vengono applicate.

Per esempio, la ricerca ha ripetutamente evidenziato come gli studenti, a tutti i livelli, portino con sé un voluminoso bagaglio di strutture cognitive su come funziona il mondo: nel caso delle scienze, si tratta molto spesso di misconcezioni, causate da come la mente vede ed interpreta l'ambiente. Un insegnante non può quindi semplicemente sperare di riempire un vuoto, ma deve prima convincere il discente che quello che egli già "sa" è un modello della realtà meno efficace, per coerenza, predittività e forse anche bellezza, di quello nuovo che gli viene proposto.

Il ruolo dell'insegnante, quindi, cambia, perché lo studente, lungi dall'essere un contenitore passivo, diventa costruttore della propria conoscenza, che solo in questa modalità sarà veramente acquisita, fatta propria: un facilitatore che aiuta lo studente a conseguire una propria comprensione dell'argomento affrontato, che pone domande, invece di fornire risposte, che sostiene il processo da dietro le quinte, invece di essere protagonista davanti alla cattedra, che dialoga e prepara l'ambiente in modo che lo studente possa arrivare alle proprie conclusioni.

Per il costruttivismo l'apprendimento consiste nella *costruzione* di conoscenze, che l'individuo forma tramite la valutazione delle informazioni che ottiene dal mondo conformemente ai propri schemi di conoscenza, per decidere se modificare o meno gli stessi schemi posseduti. Per la scienza, spesso la conoscenza spontanea, per quanto basata sulla stessa base esperienziale, è formata da schemi che non sono congruenti con quelli della conoscenza scientifica. La conoscenza formale, come intervento pianificato a scuola, è comunque un'esperienza, come la conoscenza spontanea, ma risulta meno "personale" o "propria", perché imposta dall'autorità della scienza e dal sistema scolastico. Un apprendimento scientifico efficace si traduce, quindi, in una integrazione di queste due conoscenze, quella formale e quella spontanea.

Ma cosa succede quando queste non sono congruenti? In questo caso l'insegnamento può essere definito efficace solo se porta ad un *cambiamento concettuale* in chi apprende; le sfumature del cambiamento vanno dall'ampliamento di uno schema alla costruzione di nuovi, dalla categorizzazione dei significati dei concetti alla potatura di schemi ridondanti, dall'identificazione del contesto di applicabilità di uno schema al suo trasferimento in un contesto diverso. Non sono forse proprio i cambiamenti e le abilità che ci sforziamo di produrre e coltivare nei nostri studenti ogni giorno a scuola?

Le scienze della Terra.

Come strutturare un percorso costruttivista per i terremoti? Pare difficile seguire un approccio *hands-on*, per citare solo un aspetto della didattica costruttivista, per la tettonica delle placche e lo scorrimento delle faglie, ma con l'aiuto del web si può fare.

Porto come esempio questo percorso rivolto a studenti delle scuole superiori, che si può trovare all'indirizzo http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/constructivism/lp_hs_intro.html.

Coinvolge, oltre alle scienze della Terra, altre discipline, come la matematica, la geografia e le lettere: infatti gli studenti dovranno utilizzare scale di vario genere (anche logaritmiche), determinare punti su mappe e tenere un diario delle attività svolte, delle informazioni raccolte e dei ragionamenti fatti. Alla fine del percorso gli studenti sapranno descrivere le caratteristiche di un terremoto, le differenti onde sismiche, comprendere le cause di un terremoto, confrontare le scale Mercalli e Richter, calcolare la magnitudine e l'epicentro di un terremoto da dati diversi.

In questo caso, si tratta di una proposta che non riporta dati di eventuali applicazioni e confronti con gruppi di controllo.

All'inizio di ogni lezione, agli studenti viene richiesto di formulare ipotesi e di fornire soluzioni sulla base delle conoscenze in loro possesso; solo dopo questa fase l'insegnante fornisce le indicazioni per acquisire nuove informazioni, in modo da verificare ed eventualmente modificare le idee prima formulate.

Secondo questa struttura, la classe, divisa in gruppi, deve prima elencare quello che conosce dei terremoti; successivamente, a ciascun gruppo, viene assegnata la lettura di testimonianze reali da parte di testimoni di terremoti. Da queste gli studenti devono trarre gli effetti e le conseguenze del fenomeno che reputano più importanti e confrontarli con gli elenchi precedenti. Altri siti forniscono la possibilità di ulteriori approfondimenti sui pericoli successivi alle scosse telluriche: l'insegnante li indicherà nel proseguimento della lezione.

Dagli effetti alle cause che scatenano i terremoti: la tettonica a zolle e le faglie. Un altro sito provvede articoli e animazioni, la cui lettura e visione vengono assegnati a ciascun gruppo, sempre simultaneamente prendendo nota di notizie e ragionamenti sul diario personale. Seguono poi i tipi di onde sismiche, i vulcani e gli tsunami: alla fine di ogni tema la classe si ritrova a discutere quanto scoperto, per confrontare le diverse risorse e comprensioni.

I fenomeni fisici devono, però, anche essere misurati per poter essere paragonati e capiti; sono disponibili siti che trattano le scale Mercalli e Richter: agli studenti viene chiesto di capire come vengono usate e quali siano pregi e difetti di ciascuna. Solo dopo l'attenzione verrà portata sul carattere logaritmico della scala Richter, stimolando gli studenti a ricordare quello che sanno della funzione logaritmica e del suo uso. Questo fatto influenza la valutazione delle due scale?

Un altro sito permette invece di calcolare la magnitudine di un terremoto con dati sismografici storici e di triangolarne l'epicentro con tre sismogrammi registrati in luoghi diversi: dopo aver richiamato le tipologie di onde sismiche e le loro diverse "firme" sismografiche, gli studenti si

possono esercitare online in queste attività. Nell'ultima lezione dell'unità, l'insegnante darà a ciascun gruppo sismogrammi e tempi di registrazione di sismografi in tre località diverse: con questi dati e i grafici dei tempi di percorrenza delle onde gli studenti possono calcolare la magnitudine del terremoto e triangolare il suo epicentro.

La valutazione è basata su tre diversi tipi di attività degli studenti: durante le discussioni l'insegnante può seguire i progressi dei singoli studenti; il diario personale documenta poi in una narrazione il processo di apprendimento; infine, un test a conclusione dell'unità può verificare la comprensione dei singoli concetti.

La biologia.

Per il costruttivismo è importante presentare allo studente i diversi aspetti di una situazione aperta e permettergli di identificare ciò che maggiormente gli può essere utile per prendere una decisione e trarre delle conclusioni. Allo stesso modo, nulla risulta essere più efficace di un'attività che lo coinvolga praticamente, nell'esecuzione, ma anche nella progettazione ed interpretazione.

Nell'attività che segue, disponibile all'indirizzo web http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/constructivism/lp_dna1.html, vengono presentati alla classe alcuni fatti basilari sull'impronta genetica (un codice che rappresenta la composizione del DNA di un essere vivente), chiedendo anche se gli studenti vorrebbero che tale pratica fosse applicata a loro ed alla loro famiglia. Poi un esempio di analisi viene mostrato e lo studente è chiamato ad utilizzare le nuove conoscenze per interpretare una situazione simile. Infine in laboratorio gli studenti potranno utilizzare loro stessi l'apparecchiatura necessaria per la determinazione dell'impronta genetica.

Alla fine del percorso, gli studenti dovranno aver appreso cosa è e come si realizza un'impronta genetica, in quali ambiti e come possa essere utilizzata e dovranno aver preso coscienza delle problematiche etiche che questa tecnica solleva.

Il termine "impronta genetica" indica che, come ogni individuo è identificato dalle proprie impronte digitali, allo stesso modo il suo DNA caratterizza l'individuo univocamente. Le molte applicazioni di questo strumento, che viene utilizzato nel perseguire i crimini, per la determinazione della paternità o di predisposizioni a particolari malattie di origine genetica, ne rendono il suo uso controverso: la possibile contaminazione dei campioni e le inevitabili incertezze sperimentali non la rendono una tecnica assolutamente certa ed alcuni sostengono che non dovrebbe essere usata per l'incriminazione o meno di un imputato; altri si preoccupano di cosa accadrebbe nel caso datori di lavoro o compagnie di assicurazione venissero in possesso di informazioni riservate e che potrebbero discriminare l'interessato.

Gli studenti, divisi in gruppi, sono invitati a trovare altri possibili impieghi per questa tecnica, a decidere se vorrebbero che fosse applicata alla loro famiglia per scoprire eventuali patologie genetiche e a chi dovrebbe essere fornita l'informazione, a determinare quali altre informazioni sono, secondo loro, necessarie per prendere decisioni informate.

Nella lezione successiva, ai gruppi vengono presentate tre situazioni, per le quali dovranno prendere una decisione sulla base delle evidenze presentate, costituite dalle bande che i segmenti di DNA del campione producono quando sottoposti ad un campo elettrico in un gel di agarosio. I frammenti sono carichi negativamente ed il campo elettrico esercita su di essi una forza che li fa migrare attraverso il gel, che è poroso; i frammenti più piccoli migrano più velocemente di quelli più grandi e si vengono a formare nel gel delle bande di frammenti di DNA di diverso peso molecolare. Gli studenti dovranno decidere chi sia il colpevole tra due imputati, basandosi sulle bande prodotte con elettroforesi su gel del DNA dei due individui e quello trovato sul luogo del delitto; confrontando il DNA di madre, figlio e possibile padre, decidere sulla rivendicazione di paternità avanzata dalla madre; interpretare infine i risultati di un test genetico per una malattia, che non ha ancora cure, ma che potrebbe essere trasmessa alla prole.

Infine, dopo aver incoraggiato gli studenti a raccogliere indipendentemente e in rete materiale sulle decisioni delle corti, la genetica, la teoria dell'informazione, i codici, nel caso sia disponibile un laboratorio di biologia, si potrà fare un'esperienza pratica. Ai gruppi viene fornito il materiale e l'attrezzatura per produrre le bande per elettroforesi dei campioni trovati sul luogo del delitto e dei tre sospetti: con questa informazione, dovranno decidere se è possibile identificare uno dei sospetti come colpevole, perché presente.

La chimica.

Possiamo trovare un esempio di approccio costruttivista alla didattica della chimica in un corso di chimica per matricole di facoltà scientifiche al Massachusetts College of Pharmacy and Health Sciences (Tomei et Garofalo, 2003). Questa "rivoluzione" di un corso di chimica si è articolata nell'arco di una decina di anni, durante i quali gli autori hanno via via modificato, raffinato e focalizzato temi, metodologie ed approcci del corso, provando sul campo (nell'aula e in laboratorio) quali scelte fossero, a loro parere, più efficaci nel sostenere l'apprendimento degli studenti.

Il rinnovamento del corso è stato guidato da alcuni "capisaldi" comprovati dalla ricerca relativa all'apprendimento:

- I discenti costruiscono la propria conoscenza, non si limitano a riflettere quanto leggono o viene loro detto.
- Un ambiente, in cui gli studenti lavorano attivamente con i materiali e rapidamente ottengono dei risultati, è più efficace di uno dove solo ascoltano passivamente.
- Gli studenti devono essere in grado di legare le nuove conoscenze a quanto già appreso.
- La comprensione è vincolata a come la conoscenza è organizzata.
- Le misconcezioni sono facili da sviluppare e difficili da eradicare.
- La comprensione qualitativa dei concetti è importante quanto la capacità di applicare algoritmi quantitativi.
- Sviluppare abilità di ragionamento e costruire la comprensione di concetti scientifici richiede molto tempo, che spesso né studenti né insegnanti sono abituati ad investire.

Una caratteristica distintiva ed innovativa di questo corso consiste nella massiccia presenza di contenuti fisici, determinata dalla sovrapposizione dei concetti fondanti delle due discipline. Spesso questi stessi concetti sono introdotti durante i corsi di chimica secondo necessità e senza prestare adeguata attenzione alle difficoltà che gli studenti incontrano; anni di prove ed esperienze durante il corso hanno guidato gli autori all'approccio che segue.

Le lezioni introduttive sono dedicate ai concetti fondamentali: valore ed utilizzo dei simboli nella comunicazione, loro manipolazione e paragoni tra le quantità rappresentate. Le basi fisiche, che sono necessarie in questo tipo di corso, sono poi introdotte da un punto di vista qualitativo con coppie di opposti, quali "vicino/lontano", "veloce/lento" e "pochi/molti": uno degli strumenti che gli esseri umani usano per comprendere la realtà consiste nel fare confronti e paragoni, e questo ha creato coppie di descrittori qualitativi opposti, come quelli appena sopra. In questo modo gli studenti sono indirizzati a prestare attenzione alle esperienze dirette, piuttosto che all'idea astratta di concetti primitivi. La discussione passa poi naturalmente dal qualitativo al quantitativo, con il concetto di misura e la sua applicazione pratica.

Gli studenti definiscono in questo modo grandezze fisiche come distanza, lunghezza, superficie, volume, massa, densità. In questa occasione le misconcezioni tra massa e peso vengono in evidenza e possono essere adeguatamente discusse; con la densità gli studenti possono formulare le loro ipotesi per spiegare le differenze in massa (non dimenticando il peso) di volumi uguali di sostanze diverse.

Dai fondamenti parte anche la descrizione dei cambiamenti di fasi: il tempo viene introdotto con fenomeni che si ripetono e gli studenti sono incoraggiati a misurare le durate di eventi usando come unità proprio questi fenomeni periodici. Il passaggio successivo riguarda il moto nel tempo, quindi la velocità: misure di posizioni e corrispondenti letture di orologi, con particolare attenzione alla loro rappresentazione grafica, conducono alla velocità media, mentre, riducendo l'intervallo di tempo, gli studenti definiscono la velocità istantanea. Il passaggio all'accelerazione, sempre delicato soprattutto per le misconcezioni tra velocità ed accelerazione, è meglio affrontato tramite rappresentazioni grafiche di tutte le grandezze utilizzate. In questo modo il concetto di velocità di cambiamento può essere saldamente ancorato ad esperienze. Contenuti della fisica sono qui utilizzati per gettare le fondamenta di una vera successiva comprensione di fenomeni chimici.

Il concetto che naturalmente segue è quello di forza. Questa parola viene utilizzata spesso nel linguaggio corrente in modo non conforme al suo significato fisico, descrivendola come un agente, piuttosto che come un'interazione durante la quale un soggetto può cambiare il moto di un oggetto. Per modificare questo schema concettuale, gli studenti si esercitano prima nella classificazione di termini comuni in oggetti, attributi e relazioni: per esempio, "sfera", "luminosità" e "matrimonio" identificano rispettivamente un oggetto, un nome che indica un attributo ed un nome che indica una relazione o un evento, quest'ultimo come il termine "forza"

Solo dopo le forze trovano una loro definizione quantitativa e grande cura viene data a chiarire la relazione tra forza ed accelerazione, un punto molto delicato in una visione aristotelica del moto.

A queste lezioni, che sono focalizzate sostanzialmente sulla fisica, segue una serie di interventi centrati maggiormente sulla chimica, passando dalla pressione alle leggi dei gas, alla tavola periodica, formule chimiche e mole.

Oltre alla conservazione della massa, idea che gli studenti incontrano nelle reazioni chimiche, anche la conservazione dell'energia necessita di essere adeguatamente introdotta: la discussione comincia con la trasformazione dell'energia potenziale di un corpo che cade in energia cinetica, per poi passare alla sua trasformazione in calore con l'urto. Gli studenti descrivono le trasformazioni subite dall'energia per vari eventi che osservano: palline che cadono e rimbalzano, oggetti che strisciano sul pavimento e si fermano, molle che fanno oscillare masse.

Il corso dedica particolare attenzione all'energia, perché successivamente questo stesso concetto guiderà la comprensione delle reazioni chimiche e delle diverse energie potenziali chimiche.

L'approccio descritto può essere efficace solo se accompagnato da esperienze concrete, attenzione all'uso di un vocabolario appropriato, accoppiamento tra concetti presentati e sviluppo di abilità di pensiero, e molto tempo, affinché gli studenti possano elaborare le proprie idee in un ambiente ricco di opportunità per verificarle. Tutto ciò ha un prezzo: i contenuti devono essere opportunamente selezionati dagli insegnanti e adeguatamente ridotti.

La fisica.

La conoscenza che uno studente porta con sé può essere un bagaglio veramente ingombrante, soprattutto per le discipline scientifiche, i cui modelli sono spesso contro intuitivi ed "illogici" sulla base delle esperienze quotidiane.

Alcuni studi hanno dimostrato che perfino interventi intensi, concentrati su un piccolo gruppo di studenti, possono avere come effetto una mera riverniciatura dei concetti pregressi; ancora più preoccupante, per l'insegnante è difficile decidere fino a che punto portare avanti verifiche dell'effettivo apprendimento da parte degli studenti.

Certamente un cambiamento permanente nelle credenze richiede da parte dell'interessato una profonda riflessione, ma come causarlo? Una condizione necessaria pare essere prima di tutto l'insoddisfazione degli studenti per le loro proprie credenze; successivamente i nuovi modelli devono essere comprensibili, plausibili e utili.

La chiave appare quindi essere l'integrazione della conoscenza, ottenuta attraverso la riflessione sul suo significato e l'identificazione e soluzione delle contraddizioni con quanto già noto. Questo tipo di analisi è una parte importantissima della coscienza e del controllo che l'individuo ha sul proprio stesso apprendimento, quello che viene indicato come meta-apprendimento.

Attività come dirigere una discussione, chiarire concetti, fare predizioni, sintetizzare, che coinvolgono personalmente lo studente, paiono essere efficaci nella promozione del meta-apprendimento. Inoltre, per contrastare un approccio passivo, ad ogni lezione lo studente si dovrebbe porre una serie di domande: cosa so di questo argomento? Quanto è difficile? Perché lo sto facendo? In che relazione sta con quello che già so? Lo capisco veramente? Lo studente che sia reso dall'insegnante responsabile del proprio percorso di apprendimento è maggiormente motivato nel processo stesso.

Per ottenere un cambiamento effettivo nelle modalità di apprendimento, questo tipo di approccio ha bisogno di tempo, molto tempo, che spesso gli studenti, pressati magari da altri obblighi scolastici, non sono disposti ad investire in uno sforzo che non porta risultati immediati.

L'insegnante deve costruire un ambiente che sia di sostegno al cambiamento concettuale degli studenti, deve decidere quali strategie didattiche utilizzare e deve verificare che queste siano adatte agli obiettivi di apprendimento determinati dall'argomento trattato. Ma non basta: durante le lezioni l'insegnante dovrebbe anche essere cosciente sia delle idee degli studenti relative all'argomento, che dei percorsi concettuali che attuano; dovrebbe monitorare il progresso nell'apprendimento e prevedere compiti che lo incoraggino e sostengano; ed avere una solida competenza del tema, in modo da poter apprezzare differenti punti di vista.

Troviamo un esempio di approccio costruttivista all'insegnamento/apprendimento della fisica spesso in corsi iniziali universitari, soprattutto se dedicati a studenti che non si specializzano in discipline scientifiche (Wilhelm, Thacker et Wilhelm, 2007). Gli studenti lavorano in gruppi di apprendimento cooperativo di quattro/cinque persone e seguono sia lezioni che laboratori, dove loro stessi sperimentano. Durante le lezioni, gli studenti fanno previsioni in merito al fenomeno che stanno esaminando, esponendo in questo modo i preconcetti che possiedono; riflettono sulle loro osservazioni e rifiniscono le concezioni che hanno espresso; sviluppano congetture e generalizzazioni delle loro osservazioni e progettano esperimenti che testino le loro congetture. In laboratorio eseguono gli esperimenti da loro ideati e si confrontano con i risultati: questi creano l'occasione per rivedere i modelli formulati ed ottenere una nuova comprensione del fenomeno, comprensione che viene poi applicata alla soluzione di altri problemi collegati.

Tutte le attività sono contemporaneamente registrate su diari personali, dove lo studente spiega in forma narrativa i ragionamenti che lo hanno portato a certe conclusioni; contemporaneamente, ciascun componente del gruppo discute con gli altri e si confronta sia con spiegazioni che con punti di vista diversi.

Per questo approccio la cinematica e la dinamica si prestano ad essere efficacemente verificate per mezzo di sensori di movimento; lo sviluppo tecnologico di questi strumenti li rende ora agili da utilizzare ed il collegamento ad un computer permette di elaborarne i dati immediatamente per visualizzare le relazioni tra le grandezze fisiche in gioco.

La verifica dell'efficacia della metodologia è stata attuata con due modalità: la somministrazione di un test sui concetti riguardanti la forza prima e dopo il corso, e questo ha attestato un miglioramento non casuale della comprensione delle strutture concettuali, ed i commenti degli studenti che hanno partecipato al corso, come il seguente:

“This one made us actually think about what we're doing. Some science courses are telling us that this is how it is and then take formula and put in the numbers, but this one you actually saw why the formula makes sense.”

Un nodo molto dolente dell'insegnamento della fisica è rappresentato dalla risoluzione dei problemi: perché così tanti studenti incontrano difficoltà che paiono insormontabili di fronte a un problema? E come mai altri riescono, ma dimostrano poi di avere serie lacune concettuali e di ragionamento sullo stesso materiale?

Purtroppo un'introduzione prematura di procedure algoritmiche di soluzione incoraggia gli studenti a concentrarsi solo sul formalismo, piuttosto che sulla fisica che descrive il problema.

Un corso di aggiornamento per insegnanti (Gil, Martinez et Senent, 1987) ha cercato e trovato risposte a questa domanda, mettendo in evidenza come gli insegnanti stessi mostrassero difficoltà parallele a quelle degli studenti: la soluzione di un banale problema di cinematica ha fatto prendere coscienza del fatto che la mancanza di una riflessione preliminare e la trattazione superficiale e poco chiara dei concetti minano alla base le possibilità di successo. Da qui parte la necessità di una revisione profonda delle modalità della didattica tradizionale.

I problemi che troviamo nei libri di testo sono molto lontani dai problemi reali della scienza: quando mai uno scienziato ha già a disposizione la strategia risolutiva, senza dubbi e senza tentativi? Eppure quasi sempre l'insegnante conosce la soluzione e si sforza di spiegarla il più chiaramente possibile.

Un primo passo per avvicinare i problemi alla realtà consiste nell'eliminare i dati del problema; infatti questi orientano la soluzione verso la manipolazione di certe grandezze senza una seria riflessione e senza formulazione di ipotesi. Per esempio, un tipico problema di dinamica potrebbe diventare: un autista vede un pedone in procinto di attraversare la strada ed inizia a frenare; riuscirà a fermarsi prima di investirlo?

L'ambiguità della formulazione induce, in chi deve trovare una soluzione, una profonda riflessione ed analisi della situazione: quali sono i parametri che influenzano l'esito? Come sono legati tra di loro? Quali sono i casi limite? Un approccio qualitativo, che obbliga a formulare ipotesi, aiuta a mettere in evidenza eventuali misconcezioni.

Solo dopo si passa alla formulazione e discussione di possibili strategie, che devono essere coerenti con le conoscenze disponibili. Il metodo scelto va poi applicato motivando tutti i passaggi che richiede e il risultato va confrontato con le ipotesi iniziali e con i casi limite.

L'astrofisica.

A volte il fare scienza implica anche attività noiose o frustranti, perfino per gli scienziati: la ripetizione della stessa misura, la messa a punto di una apparecchiatura che non ne vuole sapere di funzionare come ci aspettiamo. E a volte i contenuti proposti dai curricula scolastici di fisica sono, dal punto di vista degli studenti, *vecchi*, oltre che noiosi: davanti all'ennesimo pendolo l'intera classe emette un gemito di disperazione, come abbandona ogni speranza davanti ad un ciclo di Carnot.

Certo, moltissimo dipende da come i temi vengono proposti, dalle opportunità di coinvolgimento che riusciamo a creare, ma ci sono, credo, argomenti della fisica che sono effettivamente più affascinanti, stimolanti e percepiti come *moderni*. E, poiché ho studiato astronomia, credo anche che questi argomenti si trovino lassù, nella volta celeste; sia per rinnovare la didattica della fisica, che per sfruttare il fascino esercitato dallo spazio e da ciò che vi si trova, alcuni progetti si sono focalizzati su temi astronomici adottando un approccio costruttivista.

Uno di questi è il **progetto ARIES** (Ward, Sadler et Shapiro, 2008), che si è rivolto dal 1992 al 2002 a studenti di classi elementari terminali ed a classi di scuole medie, in almeno 100 istituzioni negli Stati Uniti. Si tratta di un curriculum di scienze fisiche (fisica e chimica) basato sull'astronomia, nel quale gli studenti usano strumenti innovativi, semplici ed a basso costo per realizzare un ampio insieme di attività hands-on e di scoperta, sia in classe che all'aperto.

Il curriculum è costituito da otto moduli, ciascuno indipendente dagli altri e che richiede circa 30 ore per essere realizzato; inoltre sono incluse estensioni intercurricolari e multiculturali, connettendo le attività, per esempio, alla matematica, all'arte o ai modelli astronomici di culture non occidentali.

Proprio perché l'astronomia si trova ai confini della scoperta scientifica e molta attenzione le viene dedicata dai media, essa rappresenta lo strumento ideale, anche se spesso poco utilizzato, per catturare l'attenzione dei ragazzi; fenomeni che sono familiari, come le stagioni o le fasi della Luna, continuano a destare meraviglia, ma hanno spiegazioni spesso contro intuitive, offrendo la perfetta occasione per far "scoprire" i modelli agli studenti stessi.

Le caratteristiche principali del progetto sono la ricerca sulle misconcezioni dei ragazzi, la ricerca sul loro apprendimento ed un contenuto scientifico accurato, accessibile sia agli studenti che agli insegnanti e limitato ai concetti principali delle scienze fisiche e dello spazio: questo significa che vengono esaminati pochi importanti concetti da molti punti di vista, piuttosto che studiarne molti superficialmente.

Ciascuno dei moduli include una sequenza di esplorazioni hands-on, che richiedono osservazioni dirette del comportamento della natura, ed attività da svolgere in classe che modellizzano i fenomeni naturali.

La comprensione delle ombre, sia all'aperto che all'interno, costituisce un filo conduttore attraverso molti moduli: nel modulo del tempo, i schemi ripetuti e predicibili delle ombre prodotte dallo gnomone costruito dagli studenti guidano all'uso delle meridiane per la determinazione dell'ora del giorno. Le stesse ombre forniscono la prova del cambiamento di orientamento della Terra rispetto al Sole, nel corso della sua orbita, e permettono di comprendere il motivo delle stagioni. Gli studenti possono poi dedurre che la superficie terrestre è curva o la direzione della rotazione confrontando le ombre esterne con quelle proiettate su un modello sferico della Terra. Luce e colori sono poi fenomeni centrali in astronomia e i loro moduli includono esplorazioni per investigare emissione, riflessione e rifrazione.

Alcune misconcezioni emerse da questo studio riguardano l'ombra: i ragazzi ritengono che la loro ombra esista anche quando si trovano al buio, ma che la luce sia necessaria per vederla; che le ombre abbiano sempre la stessa dimensione dell'originale e che si trovino "dietro" di esso; che non esistano ombre multiple e che le ombre debbano essere connesse all'oggetto che le genera.

Il paragone, tra studenti che hanno partecipato al progetto e quelli che hanno studiato gli stessi temi, ma con una metodologia tradizionale, effettuato tramite test relativi ai contenuti di alcuni moduli, ha evidenziato che i primi aumentano la loro comprensione di concetti legati al tempo, all'astronomia, alla luce ed al colore in modo significativamente maggiore del gruppo di controllo. Va comunque

sottolineato che il grado di “comprensione” è in questo caso definito dalla capacità di rispondere correttamente al test.

Una strategia che cerca di unire nuovi materiali, che permettano di evitare errori precedentemente rilevati nella costruzione della conoscenza, e le abilità cognitive del discente per un apprendimento efficace, è il **thinking journey** (Schur et al., 2002).

Questo metodo originale di insegnare la scienza combina l'intenzione di guidare la costruzione della conoscenza dei contenuti con il corretto funzionamento cognitivo dello studente. I contenuti scientifici vengono introdotti con un dialogo tra studenti specificamente preparato, cui l'insegnante partecipa come mediatore, guidando e suggerendo cosa e come sperimentare, cosa considerare e interpretare. L'insegnante, quindi, facilita l'apprendimento fornendo le conoscenze richieste e gli strumenti per la comprensione.

Le attività sono organizzate in un viaggio immaginario, sorprendente e che rappresenta una sfida; le istruzioni invitano gli studenti ad utilizzare la loro fantasia per formulare un loro resoconto di un certo fenomeno in ambienti comuni o inusuali, da diversi punti di vista, come, per esempio, un giorno sulla Luna. Successivamente le descrizioni vengono confrontate e discusse, in modo da costruire una nuova conoscenza ampliando, modificando e raffinando la conoscenza iniziale. Per stimolare la percezione individuale vengono utilizzate illustrazioni scelte accuratamente per far reagire lo studente ed elicitare una descrizione verbale che rivela concezioni ed idee iniziali. L'astronomia provvede moltissime immagini di incredibile bellezza che stimolano la curiosità ed accendono l'immaginazione.

La struttura di un *thinking journey* è quindi basata su alcune fondamenta: il dialogo, tra l'insegnante e gli studenti e tra gli studenti stessi; le immagini, che messe in sequenza creano lo scenario del viaggio; l'osservazione, che, adeguatamente guidata, permette anche ad un osservatore inesperto di vedere il fenomeno in un nuovo modo, di identificare gli elementi essenziali e di interpretarli; il paragone, di idee, concetti, interpretazioni tra studenti; il ritorno a casa, cioè riportare lo stesso fenomeno in un contesto familiare, ma con una comprensione approfondita; la visualizzazione, che prepara, con la manipolazione di immagini, il passaggio all'astrazione; e il supporto cognitivo, fornito dall'insegnante spesso in forma di domande che guidano e stimolano il ragionamento.

L'approccio ha dimostrato di essere efficace nel promuovere abilità e strutture di pensiero essenziali per la scienza in studenti di età diverse e con capacità eterogenee.

Ogni anno più di 200000 studenti americani si iscrivono, durante il college, ad un corso introduttivo di astronomia, soprattutto per soddisfare gli obblighi dettati dai curricula. Si tratta, quindi, quasi sempre del solo corso scientifico che questi studenti seguiranno e dell'unica opportunità per comunicare interesse per la ricerca scientifica a coloro i quali hanno scelto una carriera che altrimenti la evita.

Proprio per questo corso sono stati progettati materiali, nella forma di **lecture-tutorial**, che il corpo docente potesse facilmente incorporare nella struttura esistente, senza ulteriori spese e senza che fossero richieste specifiche competenze pedagogiche (Prater et al., 2005). Una solida competenza disciplinare è invece una condizione necessaria al docente che voglia adottare una didattica costruttivista, che richiede una comprensione “metabolizzata” di schemi, strutture e concetti.

In ciascun lecture-tutorial, difficoltà che è noto gli studenti incontrano vengono contrastate con obiettivi accuratamente stabiliti in modo che gli studenti si impegnino ad un livello cognitivo appropriato ad assicurare il confronto con le loro misconcezioni. L'approccio è quello di un dialogo socratico, che utilizza il linguaggio degli studenti per avanzare con piccoli passi cognitivi verso una comprensione scientifica più accurata e sofisticata.

La breve durata dell'intervento, circa 15 minuti, e la possibilità di realizzarlo in una classe normale senza bisogno di altri facilitatori hanno reso i lecture-tutorial facili da utilizzare. La loro struttura è articolata in tre parti: prima agli studenti viene posta una serie di domande cognitivamente stimolanti dopo una breve lezione sull'argomento, in modo da verificare le conoscenze fondamentali. Se una parte troppo grande degli studenti non è in grado di rispondere in modo soddisfacente, il lecture-tutorial corrispondente all'argomento viene utilizzato. Seguono 15 minuti di apprendimento collaborativo con l'ausilio del lecture-tutorial, durante il quale il docente diventa facilitatore e passa tra i vari gruppi per porre domande che guidino nella giusta direzione. Alla fine, il ragionamento necessario alla completa comprensione dei concetti viene esplicitato e in questo modo gli studenti apprendono il corretto linguaggio per descrivere il fenomeno investigato.

Un confronto con gruppi di controllo è stato effettuato con un test di domande a scelta multipla, la cui importante caratteristica, che ne ha guidato la creazione o la scelta, sta nel fatto che utilizzano distrattori basati sulle misconcezioni astronomiche degli studenti che sono comunemente documentate. Si è verificato che questo utilizzo dei lecture-tutorial, nonostante richieda solo un piccolo investimento di tempo, produce un significativo aumento della comprensione dell'astronomia da parte degli studenti, per come questa è valutata dal test. Inoltre gli studenti stessi hanno indicato questo intervento come la componente più preziosa del corso.

Un commento finale. Purtroppo non solo nel contesto scolastico italiano, ma di tutto il mondo, l'astronomia è la Cenerentola dei curricula: la troviamo nelle scuole del primo ciclo, dove l'insegnante può con flessibilità decidere di introdurre questa disciplina in modo consona alle capacità degli alunni, ma al crescere dell'età degli studenti corrisponde una diminuzione degli argomenti astronomici.

Se vogliamo poter sfruttare il fascino che spazio ed universo esercitano a tutte le età per "rompere il ghiaccio" tra scienza e studenti, abbiamo bisogno di intervenire su due livelli. La preparazione degli insegnanti di materie scientifiche deve includere anche un corso di astronomia, perché solo un insegnante che si senta preparato vorrà scegliere come tema delle proprie lezioni (assolutamente costruttiviste!), per esempio, l'evoluzione stellare (vedi il prossimo capitolo). Inoltre, una revisione dei curricula delle discipline scientifiche nella scuola secondaria superiore, che dia un ruolo all'astronomia, costituisce il secondo ingrediente per un vero cambiamento.

Capitolo 4

Uno strumento rinnovato: il manuale di fotografia astronomica digitale.

Lo ammetto: sono di parte. Dopotutto una laurea in astronomia denuncia una passione, che non nascondo: cielo nero, notte gelida e tersa, puntini di luce, un binocolo ed una bimba a congelare sul terrazzo per vedere qualcosa di più. Crescendo l'interesse è passato dalle osservazioni ai modelli, ma la passione non è cambiata.

Il fascino che il cosmo esercita non è, però, ristretto ai pochi "matti" che appunto congelano nelle notti invernali per avere un seeing migliore: la combinazione di mistero profondo ed immagini meravigliose fa breccia anche nelle persone di solito refrattarie alla scienza. E dovremmo essere capaci di fruttare meglio l'opportunità che l'astronomia ci offre.

Osservatori, planetari e musei propongono attività che soddisfano le richieste del pubblico, ma potremmo fare molto di più a scuola. Infatti l'astronomia trova ben poco spazio nei curricula ed è spesso limitata a temi legati al Sistema Solare, mentre ben poco viene proposto per stelle, galassie ed universo. I motivi sono evidenti: scarsa competenza dei docenti, che si sono formati in altri indirizzi, timore che questa parte dell'astronomia sia troppo *difficile* per gli studenti, un esame di stato che vincola comunque la programmazione, in barba all'autonomia.

Beh, io credo che, nonostante gli ostacoli, potremmo comunque sfruttare meglio questa opportunità. Cerco, quindi, di proporre uno strumento che possa contribuire ad ampliare il poco spazio che l'universo trova tra i banchi, soprattutto nella scuola secondaria superiore.

I requisiti.

Ho cominciato il lavoro di costruzione da un elenco di requisiti che lo strumento che volevo produrre doveva soddisfare:

- Intanto niente Sistema Solare: questo è l'unica parte dell'astronomia che è già presente nella scuola, perché meglio si presta ad osservazioni e modelli. Fin dalle elementari è possibile osservare il cambiamento della lunghezza delle ombre proiettate dal Sole al passare dei giorni; Marte, Venere e Giove sono visibili ad occhio nudo ed un semplice rifrattore ci mostra gli anelli di Saturno; il moto retrogrado dei pianeti, poi, può essere registrato con osservazioni quotidiane della posizione del pianeta in esame. L'elenco non finisce qua, ma certamente non c'è bisogno di un altro contributo didattico su questo capitolo

dell'astronomia. Ho deciso quindi che sarei andata più lontano, verso le stelle, per focalizzare il mio lavoro attorno all'evoluzione stellare.

- Mi serviva uno strumento che potesse avere un aggancio forte con la vita quotidiana di chi lo avrebbe utilizzato: avrebbe avuto poco senso utilizzare, per esempio, solo dati disponibili in rete, ottenuti con strumenti eccezionali, ma lontanissimi dalla vita di tutti i giorni. La macchina fotografica digitale mi è parsa adatta: quasi tutti ne possiedono una e, senza bisogno di strumenti sofisticati, è possibile fotografare e vedere ben oltre le possibilità dell'occhio umano, soprattutto se la si usa in formato RAW.
- Qualsiasi cosa facessi, doveva costare poco, meglio se pochissimo! Il budget di una scuola, come quello di quasi tutti, è ultra-limitato: avrei perciò sfruttato prima quello che ritenevo essere già a disposizione dell'utente, insieme alle risorse gratuite del web, e solo per poche e piccole eccezioni avrei proposto l'uso di attrezzature dedicate.
- Infine, la mia proposta, ero e sono convinta, doveva accordarsi ad una didattica costruttivista: attività pratiche, che rendessero protagonista chi le realizzava, che lo facessero sentire scienziato, che suscitassero domande e che stimolassero ulteriori ricerche, senza, però, i vincoli di un percorso rigido e fissato.

Una volta messi i paletti, le idee sono fluite abbastanza facilmente ed ho iniziato a scrivere.

Il manuale.

Quello che ne è venuto fuori è un manuale di fotografia, in buona parte astronomica. Fin dall'inizio nella mia testa l'ho chiamato *Photo handbook for dummies*, e tale per me resta, anche se per l'utente è diventato il *Manuale di fotografia astronomica digitale*: un nome più esplicativo, ma non suona anche un pochino pomposo?

Quel *dummies* indica che il lavoro è strutturato in modo da poter essere utilizzato anche da principianti assoluti della fotografia senza aiuti esterni: l'indipendenza dell'utente mi è parsa importante da mantenere, per ampliare il numero dei possibili interessati. Così il manuale può essere sfruttato da un insegnante come fondamento di un percorso didattico strutturato magari per un lungo periodo, oppure può essere preso in mano da un curioso che ha ricevuto in regalo una digitale e vuole farne qualcosa.

Nel manuale, che sarà disponibile in rete, si articola un percorso che unisce attività pratiche, analisi di dati con software liberamente disponibile nel web e modelli fisici: dai fondamenti della fotografia approda alla costruzione di un diagramma HR con dati raccolti dall'utente stesso. Ma non credo sia importante la meta, quanto piuttosto il percorso per arrivarci, che è pieno di biforcazioni e percorsi alternativi: *hyperlink* ad altri documenti ed a siti permettono approfondimenti e divagazioni, che, spero, invogliano l'utente ad ulteriori personali ricerche.

Gli argomenti che trovano spazio, con diversi gradi di approfondimento, sono i seguenti:

- Basi della fotografia digitale: apertura, sensibilità, tempo di esposizione, CCD, profondità di campo, formato RAW.
- Fotografia astronomica: carte del cielo, seeing.

- Analisi delle immagini: conversione del formato RAW, controllo del rumore (offset, dark, flat), somma e media di foto.
- Telescopio: struttura (rifrattore e riflettore), lenti (convergenti e divergenti), sistema obiettivo/oculare, aberrazione cromatica e sferica, montature.
- Telescopio amatoriale: scelta ed utilizzo, potere risolutivo, ottiche adattive/adattative, oculari, sistemi di inseguimento, combinazione con macchina fotografica e con webcam (calibrazione del colore).
- Telescopi a terra e in orbita: VLT, Agile, Pierre Auger Observatory.
- Spettroscopia stellare: spettro elettromagnetico, raggi cosmici, AGN, luminosità e magnitudine, classe spettrale, spettro di una stella ed emissione di corpo nero, bande di assorbimento e righe di emissione, assorbimento atmosferico, fusione nucleare, indice di colore, assorbimento e scattering della radiazione elettromagnetica, diagramma HR, ammassi stellari, equazioni fondamentali della struttura stellare, evoluzione stellare, regioni HII e loro diagnostica, funzione iniziale di massa, stelle super-massicce.

Alcuni argomenti si sovrappongono ai classici curricula scolastici: ottica geometrica, spettro elettromagnetico, corpo nero. Altri, invece, esulano da quanto normalmente trattato nelle scuole superiori nei corsi di fisica, ma questo non ne compromette la valenza didattica: comprendere quali forze agiscono all'interno di una stella e come stanno in equilibrio, capire come sulla superficie terrestre si registrano i raggi cosmici e perché mandiamo in orbita satelliti per osservare le alte energie, sapere che gli astronomi non si inventano la composizione chimica delle stelle, ma la determinano da dati osservativi e come... Non posso evitare di pensare che siano temi più stimolanti del pendolo (lo ammetto: mi ha ossessionata, quando ero uno studente) o del carrellino che accelera sulla rotaia inclinata (e già avere a disposizione una rotaia è un privilegio nella scuola italiana).

Attraverso una serie di attività fotografiche, chi consulta il manuale può imparare perché solo le foto in formato RAW hanno significato astronomico, quali difficoltà gli astronomi incontrano quando utilizzano immagini, e che le immagini non mostrano solo quello che noi vediamo, ma molto di più. E provarlo praticamente con le foto personalmente scattate. Si passa, quindi, dal concetto di "immagine", con una sua valenza estetica visiva, a quello di "dato", dove la bellezza sta nella potenza deduttiva/induttiva di formulare modelli che descrivono in modo predittivo ed aderente alle misure la realtà.

IRIS (<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>) è un programma free e dedicato alla trattamento di immagini astronomiche rivolto ad astrofili; ho scelto di utilizzarlo nel manuale, perché è abbastanza semplice e comunque completo per le attività che propongo. Inoltre il sito offre un buon numero di tutorial, che chiariscono l'uso degli strumenti messi a disposizione e consentono a chi sia interessato di esplorare ulteriori applicazioni.

Una parte del manuale è dedicato al controllo del rumore presente nelle immagini, evidenziando come tutte le misure ne siano comunque afflitte. IRIS fornisce gli strumenti adatti per costruire le immagini di offset, dark e flat, ed in questo modo è possibile chiarire le diverse sorgenti del rumore e quali strategie possano essere attuate per ridurlo.

Le attività guidano l'utente a porsi domande ed a cercare risposte. Un esempio: anche a occhio nudo le stelle hanno colori diversi: perché? Il primo passo consiste nel passare da una percezione qualitativa (stella rossa o bianca) ad una misura quantitativa: una serie di foto di una coppia di stelle come Arcturus e Spica attraverso tre filtri RGB (semplici foglietti di plastica trasparente colorata) fornisce i dati. Un software disponibile nel web, come Tracker (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>), permette di valutare la luminosità della coppia nelle tre bande, per scoprire che non è la stessa: Spica emette di più nel blu rispetto ad Arcturus, e questo, a sua volta, di più nel rosso rispetto a Spica. La misura quantitativa non dà ancora la spiegazione, ma fornisce la base per la ricerca di un modello: l'emissione di corpo nero. Il confronto tra gli spettri della radiazione emessa da stelle (disponibili nel web), cominciando da quello del nostro Sole, e quello dell'emissione di un corpo nero rivela il modello che sta dietro ad affermazioni come: Rigel ha una temperatura di 12000 K.

Una semplice frase come questa che riporto qui da qualche riga sopra, *una serie di foto di una coppia di stelle come Arcturus e Spica*, nasconde una serie di piccoli problemi, la cui soluzione credo essere formativa proprio per gli aspetti pratici che coinvolge.

Cominciamo dalla scelta della coppia: le due stelle devono avere colori diversi e non sempre la sola osservazione ad occhio nudo ci permette di discriminarle. Inoltre, visto che lo strumento è una macchina digitale, sono preferibili stelle luminose. Una ricerca in Wiki (ma si trovano anche cataloghi "seri") permette di scegliere tra le magnitudini e le classi spettrali e di trovare le possibili candidate.

Però... e se sono visibili dall'emisfero australe? E se in questo periodo dell'anno sorgono alle nove del mattino? E se una sorge alle nove del mattino e l'altra alle undici di sera? E se entrambe sono prossime allo zenit (posizione ottimale) alle tre di notte e non è il caso di essere in giro a quell'ora in una notte di gennaio? Sono tutte situazioni che si presentano e che richiedono di sostituire le stelle che pensavamo perfette: solo con una carta del cielo centrata sulla nostra posizione osservativa e sul momento della seduta di scatto è possibile capire cosa si può veramente vedere e fotografare.

Dopo aver superato questi ostacoli, organizziamo la seduta di scatto: la scelta del luogo è importantissima, perché l'inquinamento luminoso letteralmente devasta le immagini delle stelle; serve poi un luogo dove il cavalletto sia stabile (i prati non sono il massimo) e che consenta libertà di movimento (per mettere e togliere i filtri RGB dall'obiettivo). Poi le prove: apertura e tempo di esposizione che permettano di avere una buona immagine attraverso tutti i filtri. Ma attenzione: comunque i tempi devono essere brevi (per evitare l'effetto del moto apparente dell'oggetto celeste) e dipendono anche dall'uso di un eventuale teleobiettivo.

Di solito, quando tutto è pronto, la stella è uscita dal campo. Allora riorientiamo la macchina e finalmente facciamo quello che volevamo fare. Con il telecomando. Quale telecomando? Quello per scattare senza toccare ed ovviamente muovere la macchina. Che magari abbiamo lasciato a casa. Intanto la volta celeste continua a ruotare, le stelle si allontanano dallo zenit ed una nuvola arriva.

È vero, sono tutti piccoli problemi, assolutamente risolvibili, ma credo che un ragazzo possa imparare molto in termini, per esempio, di organizzazione del lavoro, di pianificazione, di

perseveranza e ordine mentale, dalla preparazione di una seduta fotografica come questa appena descritta. E questi sono obiettivi formativi trasversali che troviamo nei P.O.F. delle scuole italiane.

Nel manuale faccio anche riferimento a siti dove sono disponibili simulazioni ed applet che ho trovato interessanti e ben fatte; queste costituiscono una cospicua integrazione alle attività pratiche (assolutamente essenziali) ed offrono un approccio alternativo. Lo *Sky Server* (<http://cas.sdss.org/dr7/en/>) della Sloan Digital Sky Survey, per esempio, è una miniera inesauribile di dati e di attività didattiche rivolte soprattutto all'universo ed alla elaborazione delle immagini.

Alcuni articoli pubblicati recentemente su riviste specializzate, come *The Astrophysical Journal* o *Astronomy and Astrophysics*, mi sono serviti per approfondimenti sulla formazione delle stelle super-massicce, l'assorbimento del mezzo interstellare, gli AGN, ottiche adattive ed abbondanze chimiche nelle regioni HII.

Credo che gli strumenti che gli astronomi usano siano proprio affascinanti per la gente comune, soprattutto quando vanno in orbita: secondo più di un sondaggio, l'HST è il telescopio più conosciuto dal pubblico. Ho quindi dedicato tre approfondimenti proprio allo "stato dell'arte" degli strumenti osservativi.

Uno di questi è il VLT all'ESO nel Deserto di Atacama: dalla sua progettazione negli anni '90 le innovazioni tecnologiche sono state continue e mantengono lo strumento a livelli di prestazione equivalenti (e in certi casi migliori) dell'HST. Ed i progetti per il futuro sono semplicemente incredibili! Al sito dell'ESO, <http://www.eso.org/public/teles-instr.html>, si possono trovare tutte le informazioni, come anche sono disponibili pubblicazioni gratuite.

Per le alte energie ho scelto un esempio in orbita ed uno a terra. Il satellite AGILE dell'ASI raccoglie dal 2007 dati su emissioni da AGN, gamma-ray bursts, gamma-ray pulsars, resti di supernovae; interessante, secondo me, è come i fotoni γ vengono registrati, per scuotere una misconcezione che vede gli astronomi sempre alle prese con specchi e lenti.

Sempre per le alte energie, a terra ho scelto il Pierre Auger Observatory, che dal 2008 nella pampa argentina *osserva* i raggi cosmici con 1600 vasche, ciascuna contenente 12000 litri d'acqua e poste in una griglia con un passo di un chilometro e mezzo: il sito web di questo osservatorio merita una visita anche solo per le foto di questa incredibile apparecchiatura.

La forma di scrittura che ho scelto è volutamente leggera ed informale, senza perdere la correttezza scientifica: non desideravo che le prime pagine del manuale rischiassero di allontanare il lettore che cerca anche una lettura piacevole. Inoltre ho provato personalmente tutte le attività proposte ed ho cercato di trasmettere un senso di comunanza con l'utente, soprattutto negli aspetti meno "divertenti" della pratica: mi sono trovata di notte sdraiata sulla neve sotto la macchina montata sul cavalletto (la stella era allo zenit, posizione perfetta per lei, ma non per me), imprecando sonoramente perché il mio respiro appannava il visore. Forse più che di comunanza, si tratta di identificazione.

Due esempi.

Credo che il manuale debba essere liberamente utilizzato da chiunque, secondo inclinazioni e preferenze; ancora di più questo dovrebbe essere vero per l'utilizzo che ne voglia fare un insegnante, in modo da declinarne l'applicazione secondo, per esempio, le capacità degli studenti, il materiale a disposizione, la durata del periodo dedicato alle attività, l'interesse personale e chissà quanti altri parametri.

Le proposte che formulo di seguito, che tracciano a grandi linee due percorsi didattici fondati sul manuale, sono solo, quindi, *proposte*: assolutamente non vincolanti ed immagine parziale di come io desidererei sfruttare il manuale in una classe, quasi come una *scusa* per cercare altre domande. Il manuale, quindi, dovrebbe svolgere la funzione di fornire certamente contenuti e sviluppare ed accrescere capacità negli studenti, ma dovrebbe soprattutto stimolare la curiosità per ulteriori approfondimenti e divagazioni scientifiche.

Perché non ci sono stelle verdi?

Eppure ce ne sono di gialle, azzurre, bianche, arancioni, rosse, e svolgono il ruolo di protagoniste in alcune attività del manuale. Che fine hanno fatto quelle verdi?

Il percorso comincia da questa domanda e trova una risposta nella fisiologia dell'occhio umano, in modo che al termine dell'attività gli studenti abbiano appreso il significato di fenomeni come la dispersione, concetti come lo spettro elettromagnetico, strutture come i coni ed i bastoncelli della retina umana e le alternative sfruttate nel mondo animale in assenza di luce. La collaborazione dell'insegnante di biologia sarebbe auspicabile.

Qualche prisma di plastica, qualche torcia elettrica, diaframmi di cartoncino, se possibile dei puntatori laser e dei LED: con questi materiali gli studenti possono cominciare a "studiare" il fenomeno della dispersione della luce. Il percorso inizia senza spiegazioni, direttamente con questa esplorazione, portata avanti dalla classe divisa per gruppi, di cosa succede alla luce che attraversa un prisma: i diversi comportamenti della luce emessa dalle sorgenti saranno descritti da ciascun gruppo in un quaderno e le annotazioni confrontate e discusse al termine di questa fase.

Un approfondimento può essere realizzato, poi, utilizzando l'applet *Light dispersion* all'indirizzo <http://www.ub.edu/javaoptics/index-en.html>: la simulazione permette sia di verificare come cambia la dispersione cambiando la forma del prisma e l'angolo di incidenza della luce, sia di alterare le caratteristiche ottiche della sostanza di cui è costituito il prisma. Per completare, si può anche consultare un sommario della teoria.

A questo punto credo sia opportuno che gli studenti raccolgano e sistematizzino le informazioni acquisite, chiariscano eventuali dubbi e formulino una descrizione coerente del fenomeno; una verifica della consistenza dei concetti acquisiti dovrebbe poi essere effettuata prima di procedere oltre.

Nel manuale è possibile consultare una breve scheda che descrive lo spettro elettromagnetico, per ricordare agli studenti che il visibile non esaurisce la radiazione elettromagnetica, ma ne rappresenta solo un piccolo, molto piccolo, sottoinsieme.

Ma, allora, se adesso è chiaro, dallo studio della luce, che una stella appare rossa perché emette più luce rossa, quindi di una certa lunghezza d'onda, come si spiega che il Sole, che ha il massimo di emissione sul verde come un qualsiasi suo spettro evidenzia, non ci appare verde? Dopotutto l'atmosfera terrestre è trasparente per queste lunghezze d'onda, quindi certamente non le blocca come invece fa con altre (Quali? Un'altra domanda cui gli studenti possono autonomamente trovare risposta).

Anche in questo caso credo che il ruolo dell'insegnante non sia quello di fornire le risposte, ma piuttosto di indicare possibili direzioni di ricerca: un primo spunto può arrivare da un'altra applet dello stesso sito, *Eye Optics*, che simula l'occhio umano e le immagini viste da un miope o un astigmatico, cambiando le proprietà del cristallino e la distanza dell'oggetto osservato. In questo modo gli studenti possono esplorare la struttura del nostro occhio e gli effetti di difetti della vista molto comuni.

Sempre nel ruolo di facilitatore, l'insegnante può ora indirizzare una discussione su quanto gli studenti hanno appreso della struttura dell'occhio e se questa può motivare il fatto che non vediamo stelle verdi; gli studenti possono essere guidati a "scoprire" loro stessi che cornea, cristallino e corpo vitreo sono trasparenti alla luce verde (dopotutto un prato ci appare verde!), quindi la spiegazione non può risiedere in queste componenti dell'occhio.

Alla descrizione manca ovviamente la retina, con la sua struttura: un piccolo suggerimento rivolge l'attenzione degli studenti a questa parte dell'anatomia umana, che viene ampiamente descritta in molti siti del web. Piuttosto che suggerire uno specifico indirizzo, credo che gli studenti possano da soli determinare con quali parole chiave impostare una ricerca in un motore di ricerca di loro preferenza.

Dalla retina passeranno certamente alla descrizione delle diverse funzioni di coni e bastoncelli ed alla sensibilità dei primi a certe lunghezze d'onda. Certo, questo tipo di indagine richiederà tempo, ma affinerà la capacità, importantissima nella nostra epoca, di selezionare le informazioni che sono effettivamente utili alla ricerca.

Al termine del percorso, ciascun gruppo proporrà la risposta che avrà elaborato in base alle informazioni che avrà scelto di considerare significative; la classe stessa dovrà valutare la coerenza e plausibilità delle spiegazioni trovate e raggiungere il consenso per una risposta comune. A questo punto l'insegnante potrà indicare eventuali debolezze o inconsistenze, se presenti, e, nel caso, suggerire linee di pensiero che portino ad una risposta ottimale.

Solo a questo punto gli studenti potranno consultare un'altra scheda del manuale, che si occupa proprio del concetto di colore primario e della risposta dei coni alla luce visibile.

Mi piacerebbe concludere questo percorso, infine, con un confronto tra la struttura dell'occhio umano e quello di altri animali (come quello del gambero mantide, per esempio, descritto nel manuale), per evidenziare come esistano soluzioni diverse da quelle che la selezione naturale ha scelto per noi.

E porre infine un'ultima domanda: come se la cavano gli esseri viventi che vivono al buio o che non hanno occhi? Il campo di esplorazione potrebbe includere pipistrelli, pesci abissali e batteri!

Sono convinta che un apprendimento di questo tipo, personalmente costruito, che spazia attraverso ambiti diversi, ma che li collega logicamente, per trovare una risposta ad una specifica domanda, dove l'insegnante svolge la funzione di supporto da dietro le quinte, sia ciò di cui i nostri studenti hanno bisogno, per sviluppare le capacità necessarie a trovare risposte alle innumerevoli domande che la vita stessa porrà loro.

Perché AGILE non ha specchi?

AGILE è un satellite dell'ASI, lanciato nel 2007, che raccoglie “immagini” negli intervalli di energia 30 MeV - 50 GeV e 18 - 60 keV. Queste finestre permettono di scandagliare le caratteristiche di AGN, gamma-ray bursts, gamma-ray pulsars, resti di supernovae, in generale delle sorgenti di radiazione dura. Nel manuale si trova una breve scheda che descrive il sensore di AGILE e rimanda al suo sito; questa scheda potrebbe essere il punto di partenza, la *scusa*, per un approfondimento sulla radiazione dura e le sue caratteristiche, le sue sorgenti ed il tipo di sensori che richiede.

Alla fine del percorso gli studenti dovranno aver fatto proprio il concetto di spettro elettromagnetico e conoscere le caratteristiche dei raggi γ , sapere quali sorgenti li emettono e con quali processi, sia sulla Terra che nel cosmo, e poter spiegare e motivare le strutture dei sensori che gli astronomi usano per rilevarli. Il livello di approfondimento del percorso dipenderà sia dalle caratteristiche della classe che dall'interesse degli studenti stessi.

Le esperienze proposte dal manuale introducono il concetto di spettro elettromagnetico, sia in relazione alle stelle e al Sole, che al fenomeno della dispersione. Il percorso può prendere il via da questi spunti per indirizzare gli studenti verso una raccolta di informazioni sullo spettro stesso.

La classe, divisa per gruppi, viene “sguinagliata” nel web alla ricerca di dati per rispondere a domande come:

- Cosa indicano gli scienziati con le parole “spettro elettromagnetico”?
- Che struttura ha? Di cosa è fatto?
- Come è diviso e con quali criteri?
- Dove lo troviamo?

Dalla NASA a Wikipedia, certamente le fonti non mancano e gli studenti si trovano piuttosto a dover imparare a catalogare, scegliere e scartare le innumerevoli offerte. Durante la ricerca, che può svolgersi sia a scuola che a casa, l'insegnante potrebbe magari dare qualche suggerimento ai gruppi per i criteri di scelta dei siti web (come la serietà dell'organizzazione che ha contribuito ad una certa pagina) e delle informazioni (focalizzando l'attenzione sulle domande poste). Una discussione che confronti i risultati ottenuti dai gruppi, integrandoli e sistematizzando i nuovi concetti, conclude questa prima parte e ne rappresenta un aspetto importantissimo: gli studenti devono essere capaci di spiegare ai loro compagni quanto hanno acquisito e perché lo ritengano importante per il raggiungimento dell'obiettivo posto dall'insegnante. Vengono in questo modo sviluppate le loro capacità comunicative ed argomentative, oltre a costruire una comprensione comune del concetto esaminato. Durante questo confronto tra gruppi l'insegnante ha la possibilità di valutare l'impegno ed i risultati ottenuti da ciascun gruppo, oltre all'eventuale progresso proprio nelle abilità di sopra.

Bene, una volta gettate le fondamenta (lo spettro), la costruzione può continuare, puntando l'attenzione su una parte della radiazione, i raggi γ . La difficoltà di realizzare esperimenti con questi pericolosi soggetti vincola l'attività alla raccolta di informazioni; comunque gli studenti possono nondimeno essere protagonisti se la responsabilità del percorso di apprendimento e dell'apprendimento stesso viene data loro: l'insegnante opera come facilitatore, consulente, ma non dà le risposte, per quanto questo potrebbe sembrare più facile e rapido. La conoscenza deve essere costruita dai soggetti, non può essere trasferita.

Visto che i raggi γ si sovrappongono in parte per energia ai raggi x, la loro classificazione dipende dal fenomeno che li ha generati: annichilazione, emissione da nuclei o altri decadimenti di particelle. Gli studenti, divisi nuovamente in gruppi, diversi dai precedenti, dovranno prima elencare i diversi fenomeni che producono questa radiazione e poi accordarsi in modo che ciascun gruppo approfondisca e riferisca in merito ad un singolo fenomeno: fusione nucleare, decadimento radioattivo, effetto Bremsstrahlung, ionizzazione di elettroni in orbitali interni, radiazione di sincrotrone, scattering Compton inverso, annichilazione materia-antimateria...

È vero, sono tutti fenomeni che difficilmente entrano in una classe delle superiori e che hanno una trattazione formale molto complessa. Non vogliamo, però, riprodurre un corso di fisica universitario, piuttosto permettere la formazione di concetti fisici nelle menti dei nostri studenti: la matematica, le formule, potranno apprenderle se decideranno di seguire un percorso scientifico. In ogni caso si saranno arricchiti di concetti fondamentali, come la conservazione dell'energia, l'interazione tra materia e fotoni, le strutture atomiche e molto altro. Il compito dell'insegnante si fa particolarmente delicato in questo momento, proprio perché deve vigilare che i concetti che gli studenti costruiscono nella propria mente, le strutture con cui descrivono i processi, siano effettivamente modelli del fenomeno studiato. Domande, dialoghi tra membri del gruppo, discussioni, diari che descrivano i percorsi cognitivi devono essere tutti attentamente sorvegliati, per poter intervenire in caso di difficoltà.

Nel caso l'insegnante ritenga che questa parte del percorso non sia adatta alla classe, altri aspetti della radiazione γ possono essere proposti agli studenti: quali effetti ha sulla materia, come agisce sulla materia vivente e quali applicazioni pratiche trova. Dalla cura del cancro alla diagnostica con PET, dalla sterilizzazione degli strumenti medici alle alterazioni del DNA fino

al cambio di colore di pietre semipreziose, gli studenti possono scoprire come anche questi fotoni molto “caldi” hanno trovato posto nella nostra vita.

Una discussione guidata dall’insegnante, basata sulle informazioni raccolte dai gruppi fino a questo punto, può ora rispondere alla domanda dalla quale tutto era cominciato: perché sui satelliti che osservano i raggi γ non ci sono specchi? Sapendo come questi raggi interagiscono con la materia, gli studenti stessi possono formulare le loro ipotesi e dibatterle insieme.

Infine, per completare, la classe può indagare quali satelliti siano in orbita per seguire le emissioni γ provenienti dallo spazio: insieme ad AGILE, lavorano anche Integral, Fermi Gamma Ray Space Telescope, Swift, Compton Gamma Ray Observatory. Ed è possibile visualizzare la loro posizione nello spazio con J-Track, un software che rappresenta in tre dimensioni le posizioni dei satelliti in orbita attorno alla Terra, disponibile a questo indirizzo <http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/jtrack3d.html>. E perché poi non cominciare a discutere delle forme diverse delle orbite e della disposizione anche degli altri satelliti intorno alla Terra?

Un percorso impegnativo, ma solo le attività che impegnano, che richiedono il nostro coinvolgimento attivo e profondo, possono insegnarci qualcosa. O meglio, possono darci la possibilità di imparare qualcosa.

Ma allora il manuale è costruttivista?

Domande, sempre domande: una deformazione da costruttivismo? Una nuova patologia? Comunque è la domanda che mi sono posta, mentre scrivevo il manuale e anche dopo averlo completato.

In sé credo sia né costruttivista né classico: dipende solo dall’uso che se ne vuole fare, come per molti strumenti didattici.

Potrebbe essere trattato come un libro di testo: studiate da pagina 23 a pagina 35, che la prossima volta interrogo. Certo, ma che peccato! Sarebbe sprecare un’occasione, usare una bicicletta solo spingendola. Quindi l’intervento determinante da fare consiste nel motivare a pedalare, con quella bicicletta.

Spero di aver offerto uno strumento che possa soddisfare le motivazioni intrinseche che noi insegnanti abbiamo: il desiderio di fare sempre meglio il nostro lavoro, la voglia di cambiare ed utilizzare nuove strategie, il bisogno di rinnovarci.

Ma non posso fare granché se le motivazioni interiori non sono sufficienti: in questo caso dovrebbero intervenire quelle esteriori, che consistono, per esempio, in aule attrezzate con la connessione al web, classi con un numero limitato di studenti, forme diverse di verifica, riconoscimenti tangibili per l’impegno nell’innovazione. E la scuola italiana è lontana anni luce da tutto ciò.

Capitolo 5

Un nuovo strumento: il gioco da tavolo “Martiamo?”.

Sto cercando di ricordare quando ho cominciato a pensare, ad immaginare un gioco per la didattica della scienza, ma non riesco a trovare la risposta nella memoria. Mi ricordo bene, invece, quando ne ho parlato per la prima volta.

Nel settembre del 2008 ho seguito una scuola di dottorato a Torino; il tema era la comunicazione della scienza ed i corsi riunivano dottorandi di facoltà molto diverse: filosofia, fisica, ingegneria, biologia, storia e altro. È stata per me un’esperienza molto stimolante, perché mi ha permesso di confrontarmi con persone di formazione diversa dalla mia, con idee per me lontane, ma insieme comunque per imparare a comunicare meglio la scienza.

Dopo una settimana di lezioni, lavori di gruppo e gozzoviglie fino a tarda notte, ciascuno ha ripreso la propria vita, ma siamo rimasti in contatto. Dopo qualche mese siamo riusciti a ritrovarci, in parte, a Pisa, per un finesettimana; tra le tante cose di cui abbiamo parlato, è venuta fuori anche la possibilità di partecipare all’ESOF2010, che si sarebbe tenuto proprio a Torino.

Me lo ricordo benissimo: nella cucina dell’agriturismo dove eravamo impegnati ai fornelli, ho raccontato tutta infervorata del gioco che mi sarebbe piaciuto portare all’ESOF, un gioco scientifico, ma che toccasse anche aspetti psicologici, economici. Una missione con equipaggio su Marte.

Cos’è un gioco?

“What are games? Are they things in the sense of artifacts? Are they behavioural models, or simulations of social situations? Are they vestiges of ancient rituals, or magical rites? It is difficult and even curious when one tries to answer the question “what are games”, since it is assumed that games are many things and at the same time specific games are different from one another – but are they?” (Avedon, Sutton-Smith, 1971).

La definizione di *gioco* è una delle più sfuggenti: porre dei limiti a cosa sia un gioco costringe ad escludere oggetti che sentiamo invece essere giochi, mentre dall’altro lato una definizione che non restringa, dopotutto, non definisce nulla. Vediamone alcune.

Una prima distinzione viene proposta nella definizione di David Parlett, uno storico dei giochi (<http://www.davidparlett.co.uk/>), tra gioco informale e formale: il primo è quel gioco senza una direttiva, come possono fare bambini e cuccioli che ruzzolano senza pensieri. Il secondo, invece, ha una doppia struttura, basata su scopo e mezzo: il gioco è una gara per raggiungere un obiettivo, che può essere conseguito da un solo giocatore, il vincitore, in quanto in quel momento il gioco stesso termina. Per vincere vengono concordate una serie di strumenti e delle regole, che definiscono come manipolare gli strumenti per conseguire l'obiettivo.

Consideriamo adesso la definizione proposta da Clark C. Abt nel suo libro *Serious games*: il gioco è un'attività tra due o più decisori indipendenti, che cercano di raggiungere il loro obiettivo in un contesto limitato. Ancora troviamo l'idea che il gioco ha un obiettivo e che le regole sono intrinsecamente limitanti, ma forse più interessante è il fatto che il gioco sia un'attività nella quale i giocatori decidono. Purtroppo questa definizione risulta troppo limitante: infatti esclude, per esempio, i giochi cooperativi, dove i giocatori collaborano per ottenere un risultato contro una situazione (che non è un giocatore, perché non ha obiettivi). Ma è anche troppo ampia: potremmo allora affermare che un'elezione è un gioco, come le relazioni internazionali, gli affari. Un pensiero stimolante, secondo me.

Nel 1938, nel suo studio *Homo ludens*, l'antropologo olandese Johann Huizinga caratterizza il gioco asserendo che è esterno alla vita ordinaria, che non è "serio", che assorbe completamente l'attenzione del giocatore, che non è associato a interessi materiali, che avviene all'interno di suoi propri confini di spazio e tempo, che procede seguendo delle regole, che genera un gruppo (i giocatori) che si separa dal mondo esterno. Il contrasto tra assenza di serietà e profondo coinvolgimento è un punto di forza di questa definizione, che ben descrive anche il carattere intrinsecamente artificiale dei giochi. Ma un gioco che non sia stato ben progettato, e perciò fallisca nel cogliere tutta l'attenzione dei giocatori, non è più un gioco?

Negli anni '60 il sociologo francese Roger Caillois espande il lavoro di Huizinga e pubblica *Man, play, and games*. Qui troviamo una sua definizione di gioco, il quale deve soddisfare alcune condizioni:

- Deve essere libero: giocare non deve essere un obbligo, altrimenti non può essere una diversione attraente e gioiosa.
- Separato, cioè circoscritto dentro i suoi propri limiti di spazio e tempo, definiti in anticipo.
- Incerto: gli esiti non possono essere previsti ed un certo spazio viene lasciato alle innovazioni che un giocatore voglia sperimentare.
- Non produttivo: non deve creare beni, ricchezza o nuovi oggetti di qualsiasi tipo, in modo che, escludendo lo scambio di proprietà tra i giocatori, alla fine del gioco la situazione sia identica a quella iniziale.
- Governato da regole, che sospendono le leggi ordinarie e stabiliscono una nuova legislazione, l'unica che conta.
- Caratterizzato dall'accettazione di una finzione, di una seconda realtà, contrapposta alla vita reale.

Le novità consistono nel sottolineare che la partecipazione ad un gioco deve essere volontaria, che gli esiti finali sono incerti e che i giocatori condividono una “irrealtà”, che li separa dal mondo di tutti i giorni. Che dire allora di una rappresentazione teatrale? È un gioco?

Un punto di vista un po' diverso viene espresso da Chris Crawford, un progettista di giochi per computer, nel suo *The art of computer game design*: un gioco è un sistema formale chiuso che rappresenta soggettivamente un sottoinsieme della realtà, cosicché non sia necessario fare riferimento ad agenti esterni al gioco e che le sue regole siano esplicite. Il carattere interattivo del gioco rappresenta un fattore cruciale di attrazione, perché permette ai giocatori di esplorare i cambiamenti che possono essere causati e quali effetti producono. Inoltre il giocatore cerca attivamente di raggiungere un obiettivo e deve perciò superare ostacoli che gli impediscono una facile riuscita; in questo modo nasce naturalmente un conflitto, che è un elemento fondamentale dei giochi. Un conflitto che, però, può essere combattuto in tutta sicurezza, perché il gioco esclude le conseguenze fisiche del fallimento.

Niente paura: non continuo con tutte le definizioni che troviamo in letteratura! Ne aggiungo solo una, che è la mia preferita, per sintesi e perché riguarda, più che il gioco, il significato di giocare un gioco. La cito dal libro *The grasshopper: games, life and utopia*, di Bernard Suits, un filosofo molto interessato ai giochi; l'autore racconta una versione alternativa della favola della Cicala e della Formica, che trasforma in una profonda analisi della natura dei giochi. Ne risulta un testo che io ho trovato coinvolgente e stuzzicante per la mente.

“To play a game is to engage in activity directed towards bringing about a specific state of affairs, using only means permitted by rules, where the rules prohibit more efficient in favour to less efficient means, and where such rules are accepted just because they make possible such activity. [...] I also offer the following simpler and, so to speak, more portable version of the above: playing a game is the voluntary effort to overcome unnecessary obstacles.”

Dopotutto, se volessimo porre una pallina in un buco nel prato, la prenderemmo in mano, andremmo al buco e ce la metteremmo dentro: mai ci sogneremmo di utilizzare un bastone con una testa di ferro ad un'estremità per lanciarla nel buco da 300/400 metri di distanza. Eppure il golf ha tantissimi appassionati.

In ogni situazione, tranne che in un gioco, si ritiene che introdurre ostacoli non necessari al raggiungimento di un obiettivo sia decisamente irrazionale; invece in un gioco ciò appare come una cosa assolutamente necessaria da fare. Suits chiama questo modo mentale *lusory attitude*, uno stato necessario affinché un giocatore possa partecipare ad un gioco: per molti aspetti un “atto di fede” che riveste il gioco del suo speciale significato.

Ed in questa inefficienza si trova un piacere: da qualche parte nello spazio tra azione e risultato, nell'attrito tra un desiderio frustrato e l'obiettivo seducente del gioco, emerge il piacere unico di giocare.

Ma non sempre. I giocatori vengono coinvolti dal gioco e provano questo piacere solo se l'atto di giocare è significativo: questa qualità nasce dall'interazione tra giocatori e struttura del gioco, come anche dal contesto all'interno del quale il gioco viene giocato. Lo scopo di un progettista di giochi consiste proprio nella creazione di giochi che siano significativi: la struttura del gioco è allora

determinante, perché il significato del gioco sta nella relazione tra azione (del giocatore) e risposta (del gioco).

Questa relazione deve essere *percepibile e integrata*:

- Percepibile significa che il risultato di un'azione di gioco è comunicato al giocatore in modo percepibile, cioè il gioco permette ai giocatori di sapere cosa è accaduto come conseguenza di un loro atto. Senza questa caratteristica, giocare sarebbe equivalente a schiacciare pulsanti a caso.
- Integrata si riferisce al fatto che la relazione è radicata nella struttura più ampia del gioco: un'azione di un giocatore non ha solo un effetto immediato e locale, ma influenza lo sviluppo del gioco anche successivamente.

Quindi, la percepibilità informa il giocatore su cosa sia successo come conseguenza di una sua azione, mentre l'integrazione gli permette di sapere come l'accaduto influenzerà il resto del gioco.

Gioco e didattica.

Che cosa mi fa divertire mentre imparo qualcosa? È possibile strutturare l'istruzione in modo che gli studenti ne siano affascinati e catturati, mentre apprendono? Non sogniamo studenti intrinsecamente motivati che imparino di più, che siano più soddisfatti ed utilizzino quanto appreso nella loro vita?

Confesso che ho delle perplessità: non credo sia possibile apprendere **solo** divertendosi, perché, prima o poi, impegno, memoria, fatica e anche noia chiedono il loro prezzo. Possiamo, comunque, cercare di capire quali strategie utilizzare per spostare, almeno un po', la motivazione dei nostri studenti dal voto al piacere. Se il processo dell'apprendimento non consiste nell'accumulare cataste di fatti, la semplice esposizione ai contenuti non è sufficiente; vogliamo che gli studenti sviluppino abilità di vedere, fare, pensare ed essere nel mondo e quindi l'educazione consiste nel generare certi punti di vista o modi di comprendere la realtà. Hanno perciò bisogno di vivere esperienze che producano in loro queste modifiche concettuali, esperienze che hanno senso solo se volontariamente esperite: creare esperienze che sono auto-motivanti è proprio quello che i giochi fanno.

Un'attività è intrinsecamente motivata se non viene eseguita per ricevere qualche ricompensa esterna, ma solo perché è divertente, interessante, affascinante, coinvolgente: per me la matematica, a scuola, era così. Non sono, però, un campione rappresentativo della popolazione; quali sono invece le caratteristiche comuni ad attività diverse, ma divertenti?

Un primo aspetto è quello della **sfida**: giocatori di scacchi e scalatori confermano di essere motivati dalla presenza di un limite da superare, un miglioramento da conseguire, una vittoria da raggiungere contro gli ostacoli. La sfida deve comunque essere strutturata in modo che l'attore possa modificarne il livello: sia sfide troppo facili che insuperabili cancellano il divertimento. Serve, inoltre, un chiaro criterio per valutare la prestazione ed un feedback che permetta all'attore di capire se sta soddisfacendo il criterio.

L'attività dovrebbe poi innescare la **fantasia** dell'attore, stimolando l'accettazione di una finzione che isola l'attore dalla realtà e stabilisce sue proprie leggi.

Un ambiente è intrinsecamente motivante in proporzione alla **curiosità** che riesce a suscitare e mantenere ed a soddisfare nell'attore; per quanto la novità sia la caratteristica prima nel generare curiosità, questa viene rapidamente esaurita se l'attività considerata non è poi strutturata in modo da continuare a stimolare l'attore. Entrano in gioco, allora, aspetti come la complessità, che deve essere accuratamente dosata, la sorpresa e l'incongruenza.

Anche se i giochi significativi hanno le caratteristiche di cui sopra, non siamo autorizzati a pensare che questi possano essere trasformati sempre e comunque in ambienti didattici, e neppure possiamo illuderci che qualsiasi contenuto o competenza possano essere trasmessi con successo utilizzando il gioco adatto. A livelli universitari, soprattutto in ambito medico e legale, vengono utilizzate simulazioni che propongono agli studenti versioni, a volte semplificate, di eventi reali, che li mettono a confronto con una forma protetta di realtà. Credo, invece, che per il livello secondario i giochi possano trovare valido impiego non solo come portatori di contenuti, ma anche come punto di partenza per introdurre le basi di un tema, in modo suscitare curiosità e desiderio di saperne di più. Dopotutto un gioco include una versione semplificata della realtà, nel senso della sua meccanica di causa ed effetto: non vogliamo che l'apprendimento si svolga sulle scorciatoie euristiche necessarie in un gioco, ma che queste inneschino la motivazione per scoprire come *veramente* stanno le cose.

Quasi tutta l'attenzione rivolta ai giochi applicati alla didattica si è concentrata negli ultimi due decenni sugli sviluppi che il computer ha reso accessibili. Nonostante i giochi "classici" siano stati trascurati, molti principi sono trasferibili dal silicio al tavolo.

Certamente una forte spinta nella ricerca della relazione tra didattica e gioco è stata impressa dal costruttivismo e dal suo crescente successo tra insegnanti, filosofi e pedagoghi: il fatto che il giocatore è protagonista, che le sue decisioni dirigono lo sviluppo del gioco, che l'atto del giocare è inserito in un contesto significativo ed auto-motivante sono tutte caratteristiche della didattica costruttivista.

Ma sono caratteristiche efficaci? Aumentano effettivamente l'apprendimento? Una verifica è stata fatta con 72 alunni tra i nove e gli undici anni di due scuole private di San Francisco (Cordoba et Lepper, 1996). Dividendo gli alunni in gruppi casuali, a ciascun gruppo è stata proposta una diversa strategia didattica: il contenuto, presentato come un'attività giocosa da svolgere al computer, è immerso in un contesto fantasioso (contestualizzazione), che può essere oppure no personalizzato in funzione di alcune caratteristiche del singolo studente (personalizzazione); a queste due opzioni si aggiunge l'alternativa di concedere o meno allo studente anche la possibilità di effettuare alcune scelte relative a molti aspetti dell'attività (scelta). Confronti tra i gruppi e con quello di controllo hanno provato che giovano di questi tre aspetti sia l'apprendimento che la motivazione intrinseca, il coinvolgimento, la percezione della propria competenza ed il desiderio di proseguire con altre attività simili.

Non è, però, ovvio come il gioco possa essere inserito in un contesto scolastico: dopotutto un gioco implica sempre l'atto di giocare, mentre in classe si gioca proprio poco. Un giocatore esercita le

libertà che nel gioco gli spettano per diritto: libertà di fallire, di sperimentare, di assumere identità, di impegno e di interpretazione.

Ci sono comunque delle indicazioni che apprendimento e gioco possono andare di pari passo ed avere anche successo commerciale: pensiamo alla serie *Brain training* della Nintendo, che ha raggiunto milioni di utenti. Un'altra lezione ce la dà la Wii: non è necessario che un gioco educativo replichi la costosissima grafica tridimensionale di altri giochi, o che utilizzi un joystick coperto di pulsanti. Costruire un gioco che sia divertente **ed** educativo è una sfida paragonabile alla preparazione di un dolce che sia gustoso **e** sano: tutt'altro che facile! Inoltre la ricetta che soddisfa un gruppo di persone non necessariamente è apprezzata da un altro.

Una soluzione consiste nel preparare una torta ipercalorica e piena di grassi, farcita però con una crema alle vitamine e con una glassa di calcio: deliziosa, ma il suo valore nutrizionale è a dir poco dubbio. Allo stesso modo si possono inserire contenuti didattici in un gioco di per sé divertente, ma se il tuo personaggio deve risolvere un problema matematico per poter sparare al mostro, forse qualche perplessità è lecita.

Oppure si possono prendere tutti gli ingredienti salutari, farina integrale, yogurt, frutta, niente burro, e farne una torta, ma, solo perché il risultato sembra una torta, non è detto che sia anche buona. Allo stesso modo troviamo esempi di “cose” che hanno sì un alto contenuto didattico e che sembrano pure giochi, ma che fanno pena.

Ted Castranova, un professore dell'Università dell'Indiana che si interessa dell'economia dei giochi on-line, suggerisce (Baker, 2008) poche regole per evitare di progettare un gioco penoso: non essere ambiziosi, utilizzare tecnologie semplici, pensare agli utenti, avere un gruppo che lavora al gioco a tempo pieno, programmare fallimenti. Non conoscevo queste *regole* mentre progettavo il gioco, ma mi ha sollevata scoprire che ne ho applicate quattro su cinque.

E, nonostante non esista una ricetta per un gioco educativo e divertente, possiamo dedurre che cercare quale sia il divertimento nell'apprendere e farne il nucleo del gioco è una valida indicazione. Si tratta quindi di scegliere un tema che possa efficacemente essere tradotto in un gioco, in una forma che possa essere gestita: un MMORPG (*massively multiplayer online role-playing game*), per quanto competa con quanto di meglio il mercato offra, non è alla portata, economica ed organizzativa, di un ricercatore; il contenuto didattico stesso dovrebbe suggerire il mezzo, il tipo di gioco che possa adattarsi. All'interno di ogni disciplina è possibile individuare elementi che sono simili ad un gioco e con questi mettere in contatto i giocatori con quello che di avvincente e affascinante si trova nel soggetto; contemporaneamente si dovrebbe costruire l'impalcatura dei concetti fondamentali ed invogliare a scoprire di più.

Allo stesso tempo, giocando si apprendono quelle che vengono considerate le abilità del 21° Secolo: problem solving, pensiero analitico, valutazione dell'informazione, lavoro di gruppo, acquisizione di conoscenza dalla rete e altro. Gli studenti dovrebbero anche essere in grado di cominciare a giocare senza l'intervento dell'insegnante ed ovunque, non solo in classe: in questo modo si possono superare eventuali resistenze, dovute per esempio alla non conoscenza dello strumento, ed al poco tempo di solito disponibile in ambito curricolare.

Nel progettare un gioco è necessario tenere bene a mente che il nostro scopo è quello di offrire al giocatore un'esperienza: per un gioco didattico, con questo mezzo il giocatore dovrebbe anche autonomamente apprendere contenuti ed sviluppare abilità, gli stessi per i quali il gioco è stato accuratamente progettato. L'esperienza avviene all'interno di un *mondo*, con delle particolari leggi che sono l'impalcatura dell'atto di giocare: sono le leggi che determinano il tipo di esperienza accessibile al giocatore, ma è poi il giocatore, con le sue inclinazioni e preferenze e curiosità, a muoversi all'interno dello spazio delle possibili esperienze. Chi progetta un gioco con intento didattico si trova costretto dentro vincoli strettissimi, poiché deve anche prevedere i possibili utilizzi da parte degli utenti e fare in modo che comunque il giocare mantenga la sua valenza educativa. Il tutto lasciando ai giocatori abbastanza libertà da poter essere agenti all'interno del mondo del gioco: l'impresa pare disperata!

Disperata o meno, dobbiamo accettare la sfida e sfruttare alcune indicazioni per aumentare le possibilità di successo (Squire, 2005):

- L'apprendimento è guidato da problemi e scenari significativi per il discente.
- Molta attenzione deve essere prestata a quello che l'utente sta facendo e sperimentando in ogni momento.
- I problemi dovrebbero essere strutturati e inseriti nel contesto in modo da sviluppare quanto precedentemente compreso.
- Dati e conoscenze sono funzionali al fare.

Nonostante le grandi potenzialità educative del gioco, è necessario ricordare sempre che essi sono rappresentazioni semplificate di una parte della realtà: possono portare gli studenti/giocatori a sviluppare concetti semplicistici e superficiali di come un fenomeno avviene, un risultato si ottiene. Il processo, quindi, di interpretare il gioco, costruire analogie tra le rappresentazioni simboliche del gioco e le loro corrispondenti nella realtà è fondamentale per un solido apprendimento e costituisce un ulteriore elemento di sviluppo delle abilità cognitive.

Martiamo?

Non è facile per chi ama e fa scienza capire perché sia spesso invece poco apprezzata: noi ci divertiamo, facendola, certo faticiamo e ci arrabbiamo e a volte sbagliamo, ma la soddisfazione di arrivare a capire un fenomeno, ad applicare un modello per risolvere un problema, accidenti, è grandissima. Ci piace anche ragionare in modo scientifico, mettere insieme i pezzi, i particolari, essere pignoli, ma avere una visione di insieme: ci piace pensare.

Siamo *biased*. E, se ce ne dimentichiamo, non riusciamo ad essere comunicatori efficaci. Non sono certa di esserci riuscita, ma ho cercato di dimenticarmi di quello che piace **a me** della scienza, mentre progettavo il gioco, concentrandomi invece su quello che poteva piacere a tutti. Progettazione e realizzazione del gioco sono frutto della collaborazione con uno studente della laurea triennale di fisica della facoltà di Scienze di Trento, Matteo Conci, che divide con me meriti e colpe.

Ci serviva un tema di facile presa e comprensione, ma complesso, affascinante, attuale, avventuroso, umano, e nel 2009 cadeva il quarantesimo anniversario dello sbarco sulla Luna: passare a Marte non è stato difficile.

Una missione con equipaggio su Marte raccoglie sia sfide tecniche (la sopravvivenza, l'affidabilità, la propulsione e il payload) che umane (la segregazione, la lunghezza della missione, le interazioni in ambienti ristretti), proprio la combinazione che stavamo cercando, per toccare le corde sia di chi si appassiona ai razzi che di chi invece vede nelle relazioni umane la vera sfida. Si tratta anche di una questione di genere: le ragazze sono meno interessate a giocare, soprattutto se il contesto è decisamente tecnologico. Abbiamo quindi prestato attenzione a bilanciare le componenti del gioco in modo da equilibrare questi due aspetti, per non rischiare di selezionare a priori gli utenti.

Martiamo? è un gioco da tavolo che simula la progettazione e la realizzazione di una missione con equipaggio su Marte. Considerazioni di carattere economico ci hanno fatto escludere un gioco a computer: lo sviluppo e la grafica di un videogioco hanno costi improponibili all'interno di una ricerca di dottorato, richiedendo l'impiego di personale competente e di software professionali. Peccato, per certi aspetti, perché mi sarebbe piaciuto utilizzare una tecnologia che fa parte del vissuto di adolescenti e giovani come non fa parte, per motivi anagrafici, della mia: credo che soprattutto la componente sociale che alcuni videogiochi hanno assunto possa offrire spunti stimolanti.

In ogni caso, su tavolo o su schermo, pochissima ricerca è stata fatta in relazione alla didattica della fisica attraverso il gioco: scarseggiano al momento sia i giochi che hanno specificamente questo intento, sia gli studi che ne valutino gli eventuali effetti, tranne qualche eccezione, come il lavoro della Education Arcade del MIT.

Il tabellone di gioco è costituito da due parti: una prima *orbita interna* di caselle che offrono varie opzioni per la composizione della missione, come lo scudo di protezione per le tempeste solari, il modulo in rotazione per simulare la gravità, diverse tipologie di motore e molto altro. Le caselle vengono raggiunte lanciando dei dadi. I giocatori devono scegliere se acquistare o meno una certa opzione e di che tipo: rendiamo disponibile all'equipaggio, che sarà in missione per quasi tre anni, una toilette spartana (leggera ed economica) o una dove sia anche possibile farsi la doccia (più costosa e pesante)? Quanto il benessere fisico e psicologico dell'equipaggio conta nel successo della missione?

Motore ed equipaggio devono invece essere acquistati: senza la missione non può partire. Offriamo ai giocatori tre tipi di propulsione, chimica, solare-elettrica e nucleare, rispettivamente di costo crescente, massa decrescente, quantità di combustibile a parità di massa decrescente: i giocatori devono valutare se preferiscano risparmiare sul motore, ma avere più massa di combustibile e quindi maggiori spese per questo, oppure se investire in un motore leggero ed efficiente. Allo stesso modo dovranno scegliere tra un equipaggio di quattro, otto o dodici membri: il minimo ha meno massa e necessita di meno acqua, ossigeno e viveri, ma è esposto al rischio di incidenti, perché basta un infortunio per far fallire la missione.

Nel percorso interno, quindi, i giocatori bilanciano il budget che hanno a disposizione con ciò che viene offerto nelle caselle che raggiungono lanciando i dadi, scelgono quali opzioni acquistare e quali tralasciare, quali rischi correre e quali sono invece per loro inaccettabili. Il manuale di gioco

offre brevi spiegazioni delle varie opzioni presenti nelle caselle ed informa sui rischi che potrebbero presentarsi in assenza di una certa componente. Ottimale sarebbe che i giocatori fossero divisi in squadre, all'interno delle quali potessero confrontarsi opinioni diverse, in modo che dalla discussione emerga una decisione condivisa.

Una volta che la missione viene ritenuta completa dalla squadra, essa può partire e cominciare il viaggio verso Marte nell'*orbita esterna*. Questa è costituita da caselle di tre tipi: quelle di transito permettono il passaggio senza conseguenze. Quelle degli imprevisti, invece, impongono di pescare una carta, casualmente, che riporta un evento possibilmente pericoloso: una micro meteorite, un guasto all'impianto di purificazione dell'aria, un cedimento psicologico di un membro dell'equipaggio ed altro. Tutti questi accadimenti possono essere superati se nella fase di preparazione della missione si è acquistata la componente o scelta l'opzione adatta, altrimenti viene richiesto il rientro sulla Terra o il fallimento della missione.

Il terzo tipo di caselle indica, infine, gli esperimenti: nel corso della progettazione i giocatori possono acquistare vari tipi di esperimenti che dovranno essere realizzati durante la missione. Una squadra in possesso di un esperimento lo realizza se il lancio dei dadi la porta sulla casella che indica lo stesso esperimento. E la squadra che realizza due esperimenti, vince.

Abbiamo voluto strutturare il gioco in modo che fosse fondato su conoscenze scientifiche attuali e su progetti realistici; abbiamo perciò utilizzato materiale della NASA e dell'ESA, soprattutto gli studi di fattibilità delle missioni su Marte, i progetti e le scalette, per offrire un quadro corretto e veritiero della complessità di un tale progetto. Nell'offrire le opzioni e nel pensare sia gli imprevisti che le occasioni, abbiamo anche introdotto quelle che riteniamo alternative divertenti, per rendere il gioco accattivante.

Gli obiettivi del gioco sono molteplici, ma siamo convinti che, se i giocatori vengono coinvolti dall'attività ludica, possano essere realizzati. Un obiettivo molto semplice è la trasmissione di una serie di contenuti relativi alle missioni nello spazio: astronomia del Sistema Solare, orbite, propulsione dei razzi, fenomeni fisici come la tempeste solari, microgravità, aerobraking e molto altro. Ovviamente si tratta di un obiettivo minimo: perché non limitarsi allora ad una lezione frontale?

Su altri due livelli si trovano, invece, gli obiettivi che riteniamo importanti. Il gioco è strutturato in modo che i giocatori, meglio se in squadre, sentano la necessità di informarsi per poter prendere decisioni efficaci in merito alle varie opzioni. Per esempio, si può decidere di rinunciare allo scudo che protegge dagli effetti delle tempeste solari solo sapendo quali sono questi effetti e con quale frequenza una tempesta avviene. L'importanza di una decisione informata, il fatto che **solo** una scelta basata sulla conoscenza è una vera scelta, sono concetti che i giocatori provano sulla propria *pelle*, di organizzatori della missione, quando scoprono che la carenza di informazioni li ha magari guidati ad una opzione inutile o, peggio, fallimentare per la missione. I giocatori sono quindi spinti ad approfondire i concetti che appaiono nel gioco e potrebbero trovare utili le indicazioni di un esperto per indirizzare una ricerca su temi specifici. In questo modo gli studenti potranno costruire personalmente le loro nuove conoscenze e contemporaneamente esercitare abilità a tutto campo.

Infine, auspichiamo che i giocatori si dividano in squadre: il confronto tra pari, mettendo insieme le conoscenze acquisite e le opinioni formate, e la necessità di argomentare le proprie convinzioni

sono elementi essenziali della formazione e possono trovare ampio spazio di applicazione nello svolgimento di una partita di *Martiamo?*.

Il gioco è stato presentato a ESOF2010, la quarta edizione dello European Science Open Forum che si è tenuto a Torino dal 2 al 7 luglio 2010 (<http://www.esof2010.org/>); nel corso dell'evento hanno giocato persone del pubblico di varie età e formazione culturale, permettendoci di aggiustare il tiro della versione finale: abbiamo ritenuto opportuna una razionalizzazione delle opzioni, con una riduzione delle caselle, ed uno snellimento delle procedure per la preparazione della missione.

Una proposta.

Il gioco può essere giocato da chiunque dai dieci anni in su e non richiede la presenza di un esperto: leggendo il regolamento ed il manuale è possibile cominciare a giocare. Si tratta, nel nostro intento, di un gioco per tutti, con la finalità di raggiungere il maggior numero possibile di utenti. Tabellone, carte, manuale, regolamento, moneta e tutto quello che serve per giocare (ad esclusione dei dadi) sono disponibili al sito del Laboratorio di Comunicazione delle Scienze Fisiche di Trento (<http://lcsfunitn.wordpress.com/actions/gioco/>), insieme alle istruzioni per la stampa: basta un po' di pazienza per avere *Martiamo?* a disposizione.

Sono, però, convinta che questo gioco possa essere utilizzato al meglio in un percorso didattico scolastico e presento di seguito una proposta, sottolineando che si tratta solo di un esempio, che il gioco può dare molti altri spunti e che ciascun docente saprà trovare temi e strategie ottimali per la propria classe.

Questo percorso inizia con la visione di un film ambientato su un Marte ormai colonizzato dall'uomo, come potrebbe essere *Total recall*, un film di azione del 1990, oppure con la lettura di un racconto di fantascienza, come *We can remember it for you wholesale*, di P.K. Dick, che è stato di ispirazione per il film. A questo link <http://marsmovieguide.com/> si possono trovare molti altri suggerimenti. La visione o lettura in lingua potrebbe contribuire alla costruzione di un percorso interdisciplinare.

Successivamente alcune lezioni sono dedicate al gioco: gli studenti dovrebbero imparare a conoscerlo da soli, esplorandolo attraverso le partite. Queste durano circa un'ora, per giocatori esperti, ma all'inizio e nel caso di squadre che devono raggiungere decisioni concordate, la durata potrebbe essere maggiore; è necessario, quindi, avere a disposizione un tempo curricolare che permetta di arrivare alla conclusione delle partite, in modo da evitare la frustrazione di un evento non concluso.

L'insegnante dovrebbe essere presente solo per porre le giuste domande, in modo da indirizzare efficacemente il gioco e le ricerche degli studenti: potrebbe chiedere di determinare quali sono le componenti essenziali per la riuscita della missione, suggerire di avere cura nel gestire le risorse economiche, ed indicare quali potrebbero essere le parole chiave per impostare una ricerca nel web. È essenziale che interesse e curiosità scaturiscano dagli studenti e che questi lo dimostrino impegnandosi attivamente e personalmente: una ricerca nel web genera di solito una quantità di

informazioni che gli studenti devono imparare a selezionare e dalle quali devono poi essere capaci di ottenere indicazioni per ampliare e completare e sfaccettare la risposta che stanno cercando.

A questo punto dovrebbero essere evidenti alcuni temi che appassionano un gruppo o un altro, magari anche una o due questioni che incuriosiscono tutti. L'insegnante saprà cogliere questi argomenti ed inserirli all'interno di un progetto comune della classe: i diversi gruppi potranno ciascuno approfondire un diverso aspetto della missione su Marte, come la scelta della traiettoria, il tipo di alimentazione, gli effetti della microgravità sul corpo umano o della radiazione cosmica o delle tempeste solari, i possibili carburanti per la propulsione e molto altro. Al termine del periodo fissato per gli approfondimenti, i gruppi in cui è divisa la classe riferiscono agli altri studenti quanto hanno scoperto e confrontano ed integrano le loro nuove conoscenze e la comprensione dei fenomeni indagati che hanno ottenuto.

Credo che quasi certamente gli studenti vorranno capire come funziona il sistema di propulsione della navetta e quali sono le differenze tra i tre tipi di motori offerti tra le opzioni: cosa vuol dire chimico, solare-elettrico e nucleare?

L'indagine potrebbe cominciare dalla raccolta in rete di informazioni su queste tre tipologie di propulsione per razzi: se i razzi a combustibile chimico sono quelli maggiormente utilizzati, il solare-elettrico viene ormai da tempo sperimentato e raffinato (DS1, Dawn Mission) ed una sorgente di energia di tipo nucleare potrebbe essere una valida alternativa (fissione o fusione?). Anche fermandosi solo a Wikipedia è possibile raccogliere dati e confronti tra queste tre forme di produzione di energia: gli studenti dovrebbero proprio comprendere che queste sono tre soluzioni diverse allo stesso problema, la necessità di energia per accelerare ed espellere gas dal razzo (nel caso questa consapevolezza non si formi autonomamente, l'insegnante potrebbe stimolare un ragionamento in questa direzione). Quale soluzione sia migliore dipende dal contesto e dallo sviluppo della tecnologia: gli studenti dovrebbero essere capaci di discutere pregi e difetti delle tre alternative.

Il passo successivo consiste nel chiedersi perché espellere gas fa sollevare un razzo dalla superficie terrestre e lo fa poi muovere nello spazio: quali principi fisici stanno alla base del fenomeno? Dal principio di azione e reazione alla conservazione della quantità di moto, parecchia fisica classica viene chiamata in causa, offrendo l'opportunità di trattarla in un contesto stimolante.

Il sito della NASA credo possa soddisfare tutte le curiosità e nello stesso tempo mantenere la voglia di saperne di più: a questo indirizzo <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/ienzl.html> si trova una simulazione interattiva di un razzo, dove è possibile variare la geometria, il tipo di propellente ed il flusso del gas emesso, valutando la spinta totale, l'impulso specifico ed il flusso di massa delle diverse combinazioni.

A questo indirizzo <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/shortr.html>, invece, gli studenti possono trovare tutte le informazioni relative alla fisica di un razzo: forze, spinta, equazioni del moto, resistenza dell'aria, equazioni fondamentali della conservazione e basi della matematica necessaria, fluidodinamica, termodinamica e altro ancora. Gli studenti, lavorando insieme per comprendere come funziona un razzo e quali siano gli elementi rilevanti al suo moto, incontrano buona parte dei concetti fondamentali della fisica curricolare; l'insegnante è allora disponibile a fornire eventuali chiarimenti e comunque controlla, a conclusione di una parte dello studio, la

sistematizzazione delle conoscenze, verificando, per esempio, la capacità degli studenti di condividere quanto imparato con il resto della classe.

Il sito, ma è solo uno dei molti disponibili, presenta anche attività pratiche, come la costruzione di razzi amatoriali ad acqua o ad aria compressa: ideale sarebbe coinvolgere gli studenti anche in progetti di questo tipo, dove possono verificare i principi studiati. Oltre a variare la pressione dell'aria all'interno del razzo, si possono modificare le forme degli ugelli di uscita, la quantità di acqua, la struttura delle derive e studiarne gli effetti sul volo del razzo.

Molto di più può essere costruito a partire da *Martiamo?*: le tempeste solari sono un sentiero dritto per arrivare ad analizzare la struttura del Sole; un percorso in collaborazione con gli insegnanti di biologia potrebbe abbracciare gli effetti della microgravità sul corpo umano; con i docenti di scienze sociali si possono indagare le dinamiche psicologiche all'interno di piccoli gruppi in spazi ristretti per lungo tempo, in condizioni di stress; la chimica della produzione su Marte di ossigeno e idrogeno potrebbe coinvolgere ancora gli insegnanti di scienze. E chissà quante altre idee verranno in mente ai miei colleghi (spero!).

E se volessero saperne di più? Il viaggio.

Il problema della traiettoria da seguire per raggiungere Marte, e possibilmente anche tornare, è vincolato da tutta una serie di parametri, che a loro volta sono condizionati dalla traiettoria scelta:

- Sia la Terra che Marte sono oggetti in movimento, quindi la missione dovrà partire da un luogo ed in un certo momento tenendo conto della posizione del Pianeta Rosso quando la navicella lo avrà raggiunto. Da Marte altrettanto importante sarà il momento scelto per il ritorno, che deciderà le traiettorie possibili.
- Avendo a disposizione tutto il combustibile che vogliamo, non avremmo problemi e potremmo scegliere qualsiasi percorso, purché ci faccia evitare la collisione con un corpo celeste e ci porti su Marte, ma non è così. Ogni chilogrammo di combustibile deve essere a sua volta portato in viaggio, prima di essere utilizzato per accelerare la navicella, e richiede quindi altro combustibile per essere, per esempio, sollevato dalla superficie terrestre: un circolo vizioso che limita la quantità di carburante che ragionevolmente abbiamo a disposizione.
- Viaggiare nello spazio e sollevarsi da Terra non sono la stessa cosa; eppure la missione deve comprendere sia la fase che porta la navicella dalla superficie terrestre all'orbita, che quella che dall'orbita va fino all'orbita intorno a Marte e, infine, quella che la porta sulla superficie di Marte, e ritorno. Le strategie per queste fasi sono necessariamente diverse.

Una missione su Marte prevede, a causa del moto orbitale della Terra e di Marte, un periodo piuttosto lungo di permanenza per l'equipaggio sulla superficie di Marte stesso; ci sarà quindi bisogno di materiale ed equipaggiamento per garantire sopravvivenza e benessere degli astronauti: non solo viveri e acqua ossigeno, ma anche spazi e materiali. Per questo le missioni ipotizzano lanci separati per attrezzature ed equipaggio, con le prime che raggiungono Marte autonomamente ed in anticipo.

Il primo passo del viaggio consiste nel portare uomini e materiali in orbita attorno alla Terra; per questa fase vengono utilizzati i tradizionali razzi chimici. Per quanto il principio di funzionamento di un razzo sia molto semplice, per la conservazione della quantità di moto l'espulsione ad alta velocità dei gas di scarico in una direzione determina un aumento della quantità di moto del razzo nella direzione opposta, molto complesso è invece tenere conto di tutte le forze agenti sul razzo e degli effetti che la geometria del razzo ha sulla sua prestazione.

Nel moto nell'atmosfera, terrestre o marziana, il razzo subisce, oltre alla forza gravitazionale esercitata dal pianeta ed alla spinta fornita dal motore, anche la resistenza dell'aria ed una piccola portanza. La resistenza viene ridotta dalla forma lunga e sottile del razzo, che aumenta il coefficiente balistico, direttamente proporzionale alla massa ed inversamente alla sezione d'urto ed al coefficiente di resistenza.

La spinta netta (in N) del razzo è espressa da:

$$F = v_e \dot{m}$$

cioè dal prodotto della velocità effettiva dei gas di scarico rispetto al razzo per la variazione della massa nel tempo (in kg/s).

Nel corso del volo, però, il razzo di solito consuma per secondo in combustibile una frazione significativa della propria massa iniziale; visto che il carburante rappresenta per i razzi più del 90% della massa iniziale, la variazione della massa nel corso del volo è drammatica. L'equazione di Tsiolkovsky mette in relazione il rapporto tra la massa iniziale e quella finale di ogni manovra effettuata dal razzo con la massima variazione della velocità del razzo in assenza di altre forze esterne:

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_1}$$

dove m_0 indica la massa iniziale (propellente incluso) e m_1 la massa finale totale. La suddivisione di un razzo in più stadi permette di applicare questa relazione ogni volta che uno stadio viene utilizzato, ottenendo una maggiore variazione di velocità, ma un payload inferiore.

La suddivisione in stadi permette anche di sfruttare l'effetto Oberth: l'utilizzo del motore in un razzo che si muova ad alta velocità produce molta più energia che in uno a bassa velocità. Infatti il propellente possiede, oltre alla propria energia potenziale chimica, anche quella cinetica determinata dal moto, e questa può essere utilizzata per generare più potenza meccanica:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{F}{m} v$$

dove S indica l'energia per unità di massa, F la spinta del motore del razzo, m la sua massa e v la sua velocità.

I razzi devono portare navicella e materiali in *LEO*, *low earth orbit*, ad un'altezza dalla superficie terrestre inferiore ai 2000 chilometri, al di sotto delle fasce di Van Allen interne; il payload deve, però, arrivare all'altezza prescelta con una velocità che gli permetta di entrare in orbita e di non essere risucchiato giù dalla forza gravitazionale esercitata dalla Terra. La velocità minima per

sfuggire completamente all'attrazione gravitazionale terrestre ed allontanarsi all'infinito in assenza di propulsione viene chiamata velocità di fuga e dipende dalla posizione in cui si trova l'oggetto.

$$v_f = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

dove M è la massa del pianeta e r la distanza tra l'oggetto ed il centro di massa del pianeta. La velocità di fuga dalla superficie della Terra è circa 11.2 km/s.

Per entrare in LEO la velocità necessaria è, però, inferiore, visto che la navicella non deve allontanarsi all'infinito:

$$v_{LEO} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Una volta arrivati in orbita, astronauti e materiali devono cominciare la seconda parte della missione, il viaggio verso Marte. Dicevamo che non possiamo semplicemente puntare verso Marte, magari quando questo si trova più vicino alla Terra, perché, mentre orbitiamo attorno alla Terra, la seguiamo anche nella rivoluzione attorno al Sole, con una velocità di circa 30 km/s, ben superiore a quella ottenibile con motori. Dirigendoci direttamente verso Marte, la traiettoria verrebbe determinata dalla somma vettoriale della velocità propria e di quella iniziale dovuta alla rotazione terrestre, deviandoci ben lontano dalla nostra meta. Inoltre, una volta lasciata l'orbita terrestre, il nostro moto sarebbe dominato dall'attrazione gravitazionale del Sole, che curverebbe il nostro percorso.

La traiettoria ideale è perciò un'orbita attorno al Sole, detta di Hohmann, che abbia come perielio il punto in cui lasciamo l'orbita terrestre, muovendoci nella stessa direzione della Terra per sfruttare la sua velocità, e come afelio il punto in cui raggiungiamo Marte. Questo tipo di orbita minimizza il consumo di propellente, perché richiede solo due spinte: una per lasciare la Terra nella giusta direzione ed una in prossimità di Marte per uguagliare il moto del pianeta.

È allora necessario calcolare quanto tempo impiegheremo nel transito per stabilire dove si troverà Marte quando lo raggiungeremo; ci serve solo la terza legge di Keplero:

$$P_H = P_T \left(\frac{a_H}{a_T} \right)^{\frac{3}{2}}$$

dove P_H e P_T indicano rispettivamente i periodi dell'orbita di Hohmann e della Terra e a_H e a_T i semiassi maggiori delle stesse orbite. Il periodo calcolato è di 516.6 giorni, la metà del quale corrisponde alla durata del viaggio verso Marte. L'inserzione nell'orbita verso Marte ci richiede di aggiungere circa 3 km/s alla nostra velocità attorno alla Terra e di ridurla, nelle vicinanze di Marte, di circa 2.5 km/s, per seguire l'orbita di questo pianeta.

Purtroppo la combinazione delle rispettive posizioni di Terra e Marte per permettere questo tipo di traiettoria accade solo ogni circa 26 mesi e gli astronauti devono attendere su Marte per circa un anno che i pianeti raggiungano la configurazione adatta al ritorno.

Sono possibili anche traiettorie dove Terra e Marte non occupano rispettivamente perielio ed afelio, comunque, escludendo l'ipotesi di una brevissima permanenza su Marte, che non ha significato da un punto di vista scientifico ed economico, tutte le traiettorie richiedono un tempo totale (andata, permanenza, ritorno) di circa 1000 giorni.

L'ESA ha messo in rete un gioco, *The space game*, il cui scopo consiste nel determinare la traiettoria di consumo minimo di carburante tra due corpi nel Sistema Solare, minimizzando quindi la variazione di velocità richiesta nel viaggio. Le soluzioni trovate vengono caricate nel sito e confrontate con quelle degli altri giocatori. Lo trovate all'indirizzo <http://www.thespacegame.org/>.

Orbiter è invece un software free che vi permette di essere ai comandi della navicella sulla quale state viaggiando: sarete il capitano e dovrete condurre la vostra missione a buon fine. Si può scaricare a questo indirizzo <http://orbit.medphys.ucl.ac.uk/home.php>.

E se volessero saperne di più? Il motore ionico.

Nella propulsione chimica, la spinta viene prodotta dalla combustione in una camera di un propellente che si espande poi in un ugello; la velocità di uscita delle particelle neutre combuste dipende sia dalle proprietà chimiche e molecolari del propellente che dal coefficiente di espansione del motore. Anche se la velocità di uscita è limitata a 3-5 km/s, si possono ottenere grandi spinte.

Nelle propulsione elettrica, la spinta viene prodotta dall'espulsione di particelle cariche. Una sorgente di potenza elettrica viene usata per creare e accelerare queste particelle; poiché queste reagiscono ai campi elettrici, la velocità di emissione risulta molto superiore, 10-50 km/s, ma la spinta è di ordini di grandezza inferiore ai razzi chimici a causa del limitato input di propellente. Campi magnetici vengono invece utilizzati quando sia necessario il confinamento delle particelle cariche. Possiamo esprimere la spinta come segue:

$$F_{ib} = \sqrt{\frac{2M_i V}{q}} I$$

dove M_i indica la massa degli ioni, V il potenziale che li accelera, q la loro carica e I l'intensità della corrente elettrica che producono.

Ma perché non fermarsi ai razzi chimici, visto che funzionano? Purtroppo questi funzionano con un basso impulso specifico, cioè un basso rapporto tra spinta e consumo di propellente espresso in peso a livello del mare: poca spinta per tanti chilogrammi di combustibile utilizzati e, quindi, un piccolo payload.

Proprio per aumentare l'impulso specifico si è studiata, dalla fine degli Anni '60, l'alternativa elettrica. Le tipologie di motore possono essere classificate in base al meccanismo principale di riscaldamento del propellente: elettrotermico, elettromagnetico ed elettrostatico

Nel primo caso, il riscaldamento avviene per mezzo di resistori o con un plasma nella forma di un intenso arco elettrico tra anodo e catodo. Plasma viene anche utilizzato nel riscaldamento

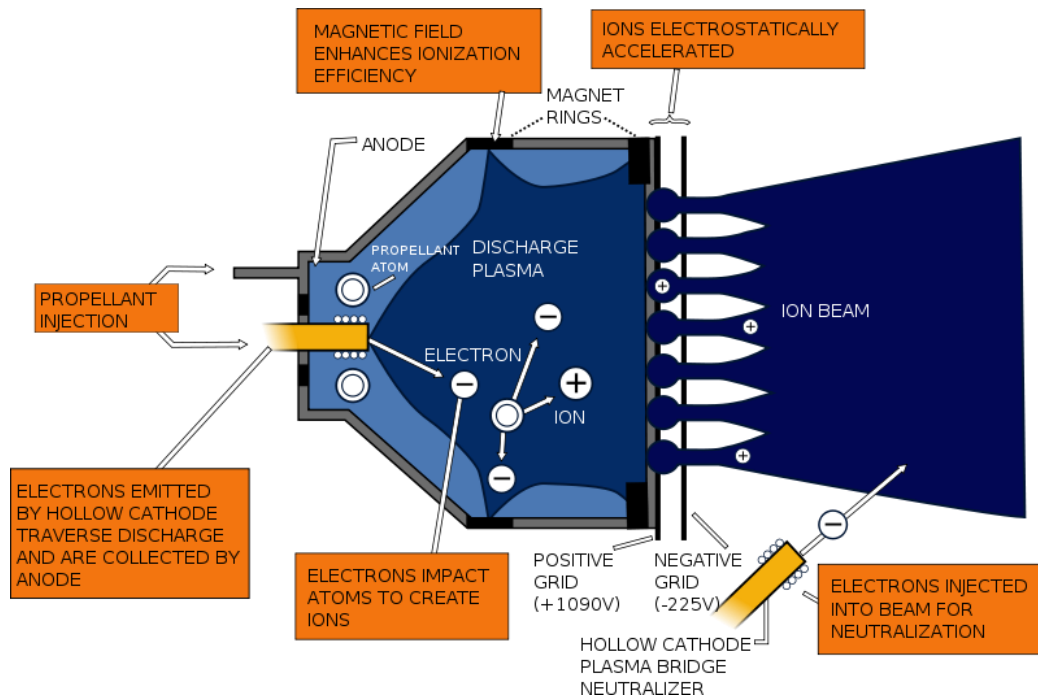
elettromagnetico: il propellente, che può essere solido come una barra di teflon o gassoso come un gas inerte, viene ionizzato in un arco elettrico molto intenso tra un catodo centrale e un anodo che lo circonda e successivamente viene accelerato dal campo elettrico e guidato dalla forza di Lorentz. Il riscaldamento elettrostatico prevede la produzione di plasma in una camera, per poi accelerarlo con un campo elettrostatico.

Un motore elettrico è costituito tipicamente da tre parti: la camera del plasma, la zona di estrazione ed accelerazione degli ioni e la regione di neutralizzazione/distacco del fascio ionico. Nella cavità del plasma, la ionizzazione del propellente, di solito xenon, scelto per la sua elevata massa atomica e bassa energia di ionizzazione, avviene per collisione con gli elettroni prodotti da un catodo ed accelerati per mezzo di un potenziale applicato. Il trasferimento radiale ed assiale delle particelle cariche viene determinato, oltre che dalla geometria della cavità, anche da campi elettro-magnetici: l'ottimizzazione della spinta si ottiene massimizzando l'intensità della corrente estratta lungo l'asse centrale minimizzando le perdite radiali.

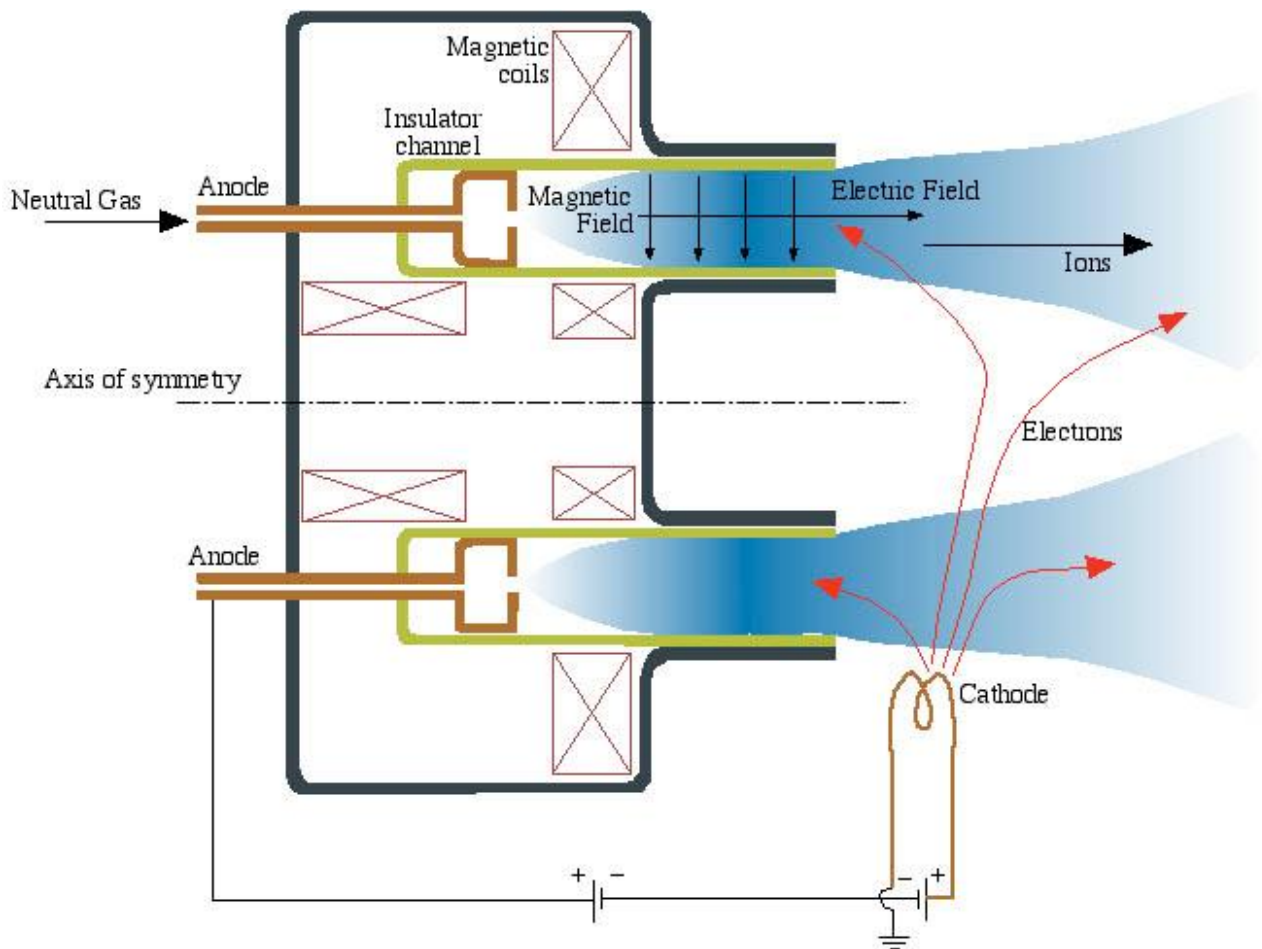
Il fascio di ioni può essere estratto ed accelerato dal plasma con una serie di griglie poste a differente potenziale rispetto al plasma e con molte aperture: nella figura sotto vediamo una configurazione a due griglie, ma quella a tre griglie è stata di maggior successo nelle missioni che impiegavano i motori a ioni. La differenza di potenziale tra la prima griglia, a contatto con il plasma, e l'ultima, a contatto con il fascio uscente, definisce l'energia del fascio stesso. La prima griglia è sempre ad un potenziale leggermente inferiore al potenziale del plasma. Invece, la differenza di potenziale tra la prima e la seconda griglia definisce la forma del sottile involucro positivo formato dal plasma attorno ad ogni foro di estrazione e la frazione di corrente che può essere estratta:

$$I_i = \frac{4\epsilon_0}{9} \sqrt{\frac{2e}{M_i}} \frac{V^{\frac{3}{2}}}{d^2}$$

dove V è la differenza di potenziale dell'involucro e d il suo spessore. In breve, la forma del fascio ionico estratto (convergente, divergente o collimato) dipende fortemente dalla forma dell'involucro presso il foro nella griglia a contatto con il plasma. La terza griglia aggiunge complessità all'ottica del fascio ionico, ma, importantissimo, riduce l'erosione della seconda griglia, che accelera gli ioni: senza di essa ioni freddi prodotti da scambi di carica in collisioni con atomi neutri nel fascio uscente potrebbero accelerare all'indietro verso la cavità del plasma.



Un motore Hall (figura sotto) funziona invece senza griglie: un anodo e un catodo vengono messi sotto tensione; un campo magnetico radiale viene generato tra i poli interni ed esterni e gli elettroni che fluiscono dal catodo all'anodo interagiscono con questo campo radiale ed il gas introdotto nella cavità, producendo ionizzazione. La maggior parte degli elettroni che lasciano il catodo, comunque, vengono utilizzati per neutralizzare il fascio ionico all'uscita degli ugelli.



Infatti il fascio di ioni, affinché possa lasciare la navetta e fornire la spinta, deve essere neutralizzato e formare un pennacchio di plasma. Nel caso il fascio non venisse neutralizzato, la spinta potrebbe essere persa per l'effetto di carica spaziale generata dagli ioni stessi; si vuole anche evitare che la navetta si carichi. L'interazione tra il pennacchio e le componenti della navicella, inoltre, è dannosa per quest'ultima riducendone l'operatività e la durata.

Una delle difficoltà che incontra lo sviluppo di questi motori si trova nella potenza richiesta, intorno ai 100 kW; queste potenze non possono essere prodotte con i pannelli solari e richiedono quindi una sorgente alternativa, per esempio nucleare. Infatti, per quanto questi motori abbiano un'alta efficienza, la spinta che possono generare dipende dalla potenza che hanno a disposizione, limitata su una navetta. Per questo motivo un motore ionico deve funzionare per lungo tempo per produrre il cambio di velocità richiesto dalle manovre e deve soddisfare richieste di durata stringenti.

Martiamo ? è costruttivista. Punto!

Audace affermazione, ovviamente smentibile, perché l'aderenza di questo gioco ad una didattica costruttivista dipende soprattutto dall'utilizzo che se ne fa. In ogni caso, spero che anche il solo giocare possa avvicinare gli utenti ad alcuni temi scientifici: credo che una collocazione naturale di *Martiamo?* possa trovarsi nelle ludoteche dei musei, dove gli operatori possono svolgere un funzione di guida soprattutto nelle prime fasi del gioco.

L'introduzione di giochi appositamente strutturati nella didattica offre nuove opportunità sia ai docenti che agli studenti: occasioni sia di interagire tra loro che di apprendere in un ambito meno formale, ma non per questo meno serio. E potrebbe essere la chiave per risvegliare l'interesse di ragazzi che sono già subissati di stimoli ed informazioni di ogni genere: perché dovrebbero ascoltarci se non siamo capaci di rendere le nostre proposte significative per loro? Lo spauracchio del voto non è certamente la motivazione migliore all'apprendimento.

Non intendo dire che noi docenti siamo i soli responsabili della situazione difficile in cui si trova la scuola pubblica italiana, ma che potremmo introdurre un cambiamento significativo se avessimo la possibilità di adottare le strategie didattiche del costruttivismo. O meglio, se ce ne fosse data la possibilità.

Da ultimo, vorrei spiegare che il nome del gioco è nato, tra arrovellamenti di varie persone e surriscaldamento di neuroni, scarto di proposte oscene e molte risate, dalla fusione delle parole *Marte* e *Partiamo?*: speriamo che sia azzeccato.