

Disegni, meccanismi articolati e altri artifici per conoscere e comprendere lo sSpazio

Antonella Maraner¹

Introduzione

In questo scritto voglio mostrare la rilevanza a livello pratico, fattuale, di alcuni aspetti della geometria, sia sotto forma di meccanismi articolati, sia sotto forme più “evanescenti”, legate più all’evocazione di esperienze intuitive e primarie dello spazio che alla geometria intesa formalmente. In particolare mi focalizzerò sulla rilevanza di questi aspetti per la comprensione da parte dei giovanissimi, diciamo tra i 4 ed i 14 anni, della fisica del Cosmo - o, per lo meno, di quella fisica, più macroscopica, che si iscrive nella fisica classica.

I sistemi articolati² sono sistemi costituiti da parti rigide che, essendo girevoli attorno a loro punti di congiunzione o a punti fissi di un piano, possono compiere movimenti in quello stesso piano: pertanto permettono di studiare “matematicamente” traiettorie di punti. Generalmente è facile fare in modo che i punti di cui si vuole studiare la traiettoria (ma anche altri punti del meccanismo) lascino una traccia visibile, cioè disegnino la propria traiettoria. Gli altri artifici e disegni di cui parleremo servono a visualizzare caratteristiche, relazioni spaziali rilevanti, ma non salienti, nei fenomeni fisici con un linguaggio visivo e al contempo matematico.

Nel seguito, nella prima sezione, illustro alcuni esempi specifici di disegni e meccanismi utilizzati per comprendere le relazioni meccaniche che si osservano nel sistema solare e alcuni esempi di artifici utilizzati per raccontare la storia dell’universo; poi, per chi vuole comprendere più a fondo, presento, nella seconda sezione, una giustificazione dell’adozione di questi artifici, che è illustrazione di un progetto più generale di laboratori hands-on per far comprendere ai giovanissimi pupilli la fisica classica e quel che le è pertinente di fisica del cosmo, sezione che eventualmente può essere saltata o di cui possono essere saltate le parti in caratteri piccoli.

Uso dei disegni sistemi articolati e altri artifici

Esempio 1: il “metrorologio”

Il metrologio permette la rappresentazione spaziale del tempo effettuata da un corpo di riferimento che si muova sempre alla stessa velocità costante.

Il concetto di istante di tempo, come il concetto di punto, in fisica, è un’approssimazione legata all’idea della risoluzione minima in tempo, o nello spazio. E’ un concetto difficile da comprendere e maneggiare correttamente nei ragionamenti, in alcuni casi, come anche osservato direttamente da noi, anche all’inizio degli studi universitari.

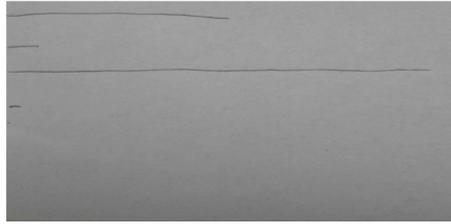
Come si realizza un metrorologio?

La realizzazione di un metrorologio è molto semplice, poiché ognuno di noi è capace spingere la matita sempre alla stessa velocità sul foglio ³, lasciando dunque la traccia della durata di un intervallo temporale sotto forma di segmento di retta, o di un istante, sotto forma di punto – si noti che c’è tutta l’approssimazione che uno vuole nel disegnare un punto.

¹ Fisico, ricercatore indipendente. Per contatti: antomaraner@gmail.com

² Da D. Hilbert, S. Cohn-Vossen, Geometria Intuitiva, 1972 Editore Boringhieri Torino

³ Il moto della mano mentre disegna sul piano del foglio segue delle leggi precise: se ad esempio si disegnano archi di curva, la mano si muove come se fosse un proiettile in moto balistico.

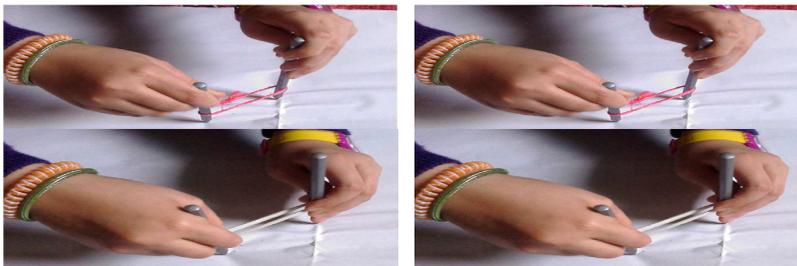


Esempio 2 a: la forza di gravità

Questa esperienza è stata suggerita da un'osservazione di Bettelheim⁴, relativa alla spiegazione del moto della Terra attorno al sole: <<non si può dire ai bambini che la gravità è una specie di elastico>>.

E se invece, come diceva Rodari, <<a sbagliare le storie ...>>, si provasse a dire?

Possiamo disegnare la traiettoria – una versione di prima approssimazione, circolare- con un compasso: il perno centrale rappresenta il sole, la punta-matita, la Terra. Se questo compasso lo realizziamo con un anello di corda rigida, un perno centrale verticale ed una matita: possiamo anche cercare di spingere la matita a velocità costante lungo una retta tangente al cerchio nel punto di partenza per tracciarlo. Non ci riusciremo perché la tensione della corda, diretta verso il centro fa cambiare la direzione del moto. Se sostituiamo l'anello di corda con un anello di uguale forma (stessa dimensione) di materiale elastico, la forza di richiamo dell'elastico è sempre diretta verso il centro, ma a causa dei processi di deformazione, il bilanciamento tra le varie componenti di forza di richiamo, forza che spinge la matita e forza d'attrito risultano differenti: il sistema non simula più l'azione di una sola forza centrale su un corpo in moto inerziale. Per comparazione tra i due casi riusciamo a fare “percepire” – o meglio propriocepire- la forza perpendicolare al moto e diretta verso il centro della rotazione che, come nel caso di una forza centrale – sola forza agente- produce la traiettoria circolare (quando vi sia una velocità iniziale non nulla tangente). Occorre discutere con i pupilli le differenze delle varie forze di vincolo – non “intuibili” in base al senso comune: per mostrare come sia difficile scegliere cosa trascurare e cosa no, come fare le giuste approssimazione. [Questa esperienza è un precursore per capire il moto del pendolo e il moto sul piano inclinato, che non sono di pertinenza di questo scritto].



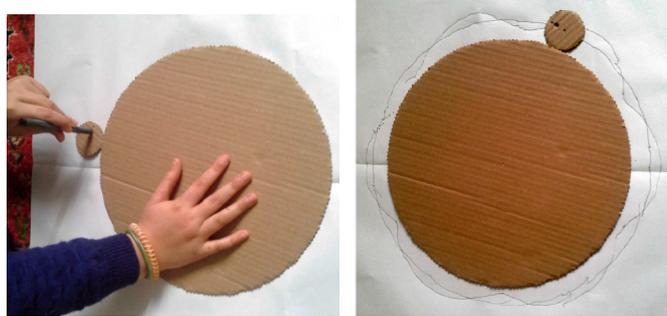
⁴ Bettelheim B., Il mondo incantato, 2006 Giunti Editore Milano



Questo “esperimento” fa parte di un gruppo di esperienze, volte, inoltre, a dare plausibilità della “necessità logica” di spiegare, sulla base dell’idea di forza di gravità, il fenomeno della caduta sulla Terra, quindi a scala locale. Infatti questa esperienza è sempre accompagnata prima da piccoli esperimenti in cui si osserva che, su un piano d’appoggio orizzontale liscio, il moto di un oggetto “indisturbato” è sempre rettilineo e che per far sì che l’oggetto segua una traiettoria circolare occorre interagire dandogli delle spinte opportune e, successivamente, da “esperimenti” di caduta in verticale e di caduta di oggetti lanciati in orizzontale, in cui si deve disegnare la traiettoria, fino a che non viene riconosciuto che la traiettoria, nel secondo caso, è curva e non rettilinea.

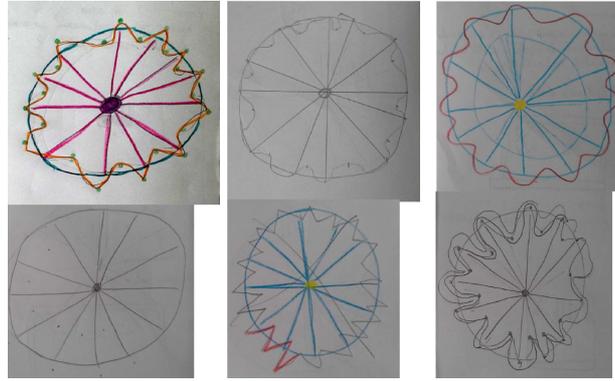
Esempio 2 b: il moto del sistema terra-luna-sole

Il compasso rigido può essere realizzato, come in figura, attraverso ruote dentate.



La ruota dentata di diametro minore ha due fori in cui inserire la matita: uno centrato ed uno su un diametro in posizione intermedia tra il centro ed il cerchio massimo. In questo caso si tracciano due traiettorie: quella “della Terra attorno al sole” e quella “della luna attorno al sole e attorno alla Terra” [si tratta ovviamente di analoghi].

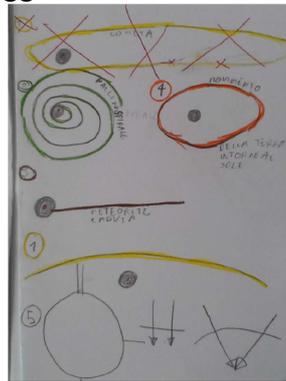
Le stesse traiettorie possono essere “costruite” con la costruzione geometrica, come si vede nei disegni di bambini del 3° anno di scuola primaria, in questo caso però manca la percezione delle tensioni e spinte in gioco. [I bambini sono rimasti stupiti, dal contrasto tra la forma della traiettoria e quanto avevano immaginato a sentire raccontare che la luna passa tra la Terra o il sole]



Esempio 2 c: le possibili traiettorie dei corpi celesti

Abbiamo adottato un artificio ideato da M. Michelini [picassianamente “rubato”], il telo elastico “curvato” da un peso al centro, come lo spazio cosmico da una massa, per visualizzare altre traiettorie, in maniera da ottenere una panoramica completa di quanto si può osservare per corpi che si muovono attorno ad un centro di gravità.

Eccole nel disegno di un bambino del 4° anno di scuola primaria [con ripensamenti, perchè inizialmente, per la traiettoria della cometa, aveva disegnato non quanto realmente osservato sul telo curvo, ma quanto appreso dai libri e conservato in memoria]. Si osservi che l’attrito sul telo rende osservabili anche traiettorie spiraleggiate attorno al centro, fatto che va spiegato e discusso.



Commenti sugli esempi 2 a,b,c

Dopo l’esecuzione di un gruppo di esperimenti si evidenziano anche i limiti dei modelli proposti e si confrontano le possibili differenti maniere per visualizzare uno stesso fenomeno o una stessa traiettoria: è necessario fare capire che le relazioni matematiche osservate realizzano ciò che, in termini matematici – che ai bambini non vengono detti, poiché l’importante è l’essenza dell’idea matematica- si chiama isomorfismo di struttura relazionale.

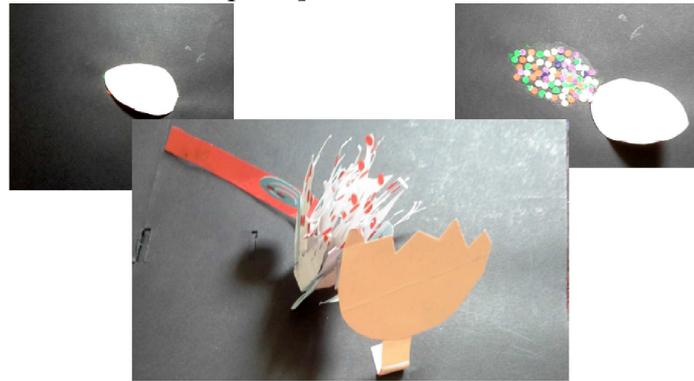
Esempio 3: la storia dell’universo

Con L. Conti abbiamo creato un manoscritto – in questo caso è forse meglio parlare di prototipo, dal momento che contiene pop-up- per raccontare, ai bambini della scuola dell’infanzia e della primaria, la storia dell’Universo in accordo al modello cosmologico standard.

Come detto nella prima sezione, con la visualizzazione- attraverso i pop-up soprattutto- si vuole guidare la costruzioni di immagini mentali. Come in tutti i libri illustrati moderni, si sfruttano le immagini per veicolare soprattutto quelle parti che è troppo difficile affidare al codice verbale. Si sfrutta inoltre il fenomeno della sorpresa produttiva⁵.

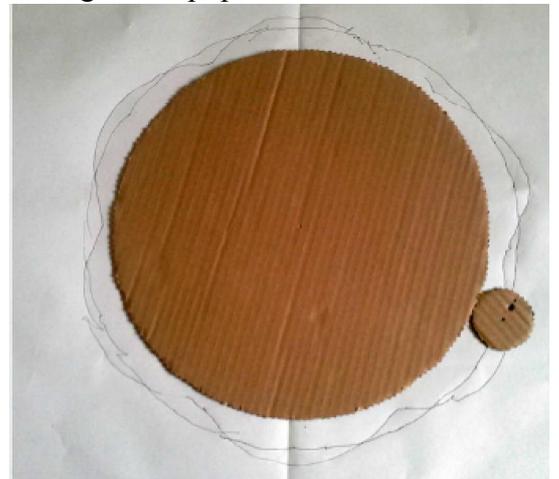
⁵ Si veda: Bruner J. Il conoscere. Saggi per la mano sinistra, Armando editore Roma. E: Arnheim R. Il pensiero visivo 1974 Giulio Einaudi Editore, Torino

Qui sotto potete osservare immagini che rappresentano, o vogliono evocare: la nascita di spazio e tempo “limitati”, come un uovo, rispetto ad un osservatore [resta irrisolto il problema della rappresentazione “dal di fuori” di qualcosa che non ha un fuori, ma si supera l’idea di big bang come “gigantesca” esplosione, dove gigantesco, pensato da un bambino, è in rapporto alle proprie dimensioni]; la rivoluzione della Terra [è sufficiente il disegno di un disco, quando mobile, ad evocare la sfera]; la “profondità” del cielo stellato [e la lontananza delle stelle che paiono incollate alla “sfera” della volta celeste]; l’esplosione di una supernova [con raggi di luce e particelle che iniziano il loro viaggio nell’estensione dello spazio].





Infine è interessante confrontare il meccanismo in cui, nel libro, una funicella fa avanzare lungo un arco e al contempo ruotare un disco, per illustrare il movimento della luna attorno alla Terra e di entrambe attorno al sole, con i meccanismi articolati illustrati negli esempi precedenti



Storia delle motivazioni dell'uso dei disegni, sistemi articolati e altri artifici

Lo Spazio, inteso come Cosmo, è anche una enorme estensione spaziale in cui si trovano innumerevoli corpi materiali. Come ben noto, questa rappresentazione, differente da quella di un piccolo scrigno multistrato di sfere avvolgenti il nostro pianeta, ha accompagnato la nascita della prima fisica, la meccanica, da quel momento distinta sia dalla filosofia naturale che dalla matematica, anche se con quest'ultima inizia ad essere intrecciata [distinguendosi può inglobarne degli aspetti]. L'enorme estensione è comunque stata pensata inizialmente come una sorta di scatola, contenitore rigido, con le proprietà precise della geometria euclidea. E in questa estensione spaziale si muovono corpi materiali, piccoli come gli oggetti quotidiani, obbedendo alle stesse leggi cui obbediscono, nel loro moto, i grandi corpi che popolano lo Spazio-Cosmo. Con la relatività, lo spazio, ormai unito al tempo, perde questa sua rigidità e immutabilità e soprattutto non è più "il contenitore", bensì un aspetto essenziale delle relazione tra i corpi che prima si pensavano "dentro" lo spazio (così come anche la luce è "dentro" lo spazio), cioè come dice Weehler, <<la materia dice allo spazio come curvarsi e lo spazio dice alla materia come muoversi>>⁶.

⁶ Da Ashtekar A., a cura di , 100 years of relativity, 2005 World Scientific

Tutto questo, come ben si sa, è la fisica classica⁷, in cui si cerca di capire a fondo come è fatta la realtà intorno a noi. In cui, cioè, il percepire e il capire lo spazio, inteso sempre come relazione spaziale tra gli oggetti, e il tempo, è percepire e capire dei fatti fisici⁸, con la speranza di comprendere come <<lo stato attuale dell'universo sia effetto del suo passato e causa del suo futuro>>⁹. Per arrivare dunque ad esaudire <<un'aspirazione originaria ad una forma di sapere pieno ... presente in ogni uomo a partire da quando, bambino, rivolge i suoi primi perché man mano che gli si rivela il mondo dell'esperienza>>¹⁰.

Personalmente, sollecitata da richieste di aiuto ad insegnare ai bambini come la fisica classica vede in certi principi generali le ragioni di fatti particolari di cui si fanno esperienza, ho sviluppato, con un poco di aiuto¹¹, dei cicli di laboratori "hands on science" in cui sfrutto il disegno geometrico e alcune idee della geometria come strumento di rappresentazione e ragionamento.

Questi laboratori, di cui quelli riportate in precedenza sono degli estratti, si rivolgono sia ai bambini della scuola materna, che a quelli della scuola primaria, della scuola secondaria di primo grado e, recentemente, sono adattati anche alle esigenze dei ragazzi al primo e secondo anno di secondaria di secondo grado. Attualmente, i laboratori hanno raggiunto circa 500 pupilli, tra le varie età, e di questi circa un terzo hanno seguito un secondo, o anche un terzo, ciclo di laboratori, in successivi anni scolastici.

La primissima, embrionale esperienza di questi laboratori è stata fatta con bambini della scuola dell'infanzia nella forma "alla scienza attraverso l'arte"¹². Per arte qui intendiamo arte figurativa, o meglio disegno. Ma non solo disegno libero bensì un disegno in cui l'arte ha molto in comune con la geometria, come ha sottolineato Kandinsky con il suo libro "Punto linea e superficie". Successivamente per due anni ho collaborato con gli psicologi della cognizione¹³, prendendo consapevolezza, dimestichezza e padronanza di varie problematiche, ipotesi e tecniche di studio del modo di acquisire quel sapere, come la scienza e la filosofia, cui i bambini aspirano, come detto sopra.

Riporto un elenco delle problematiche e congetture che hanno tanta parte nell'organizzazione degli aspetti di apprendimento dei laboratori, e ciascuna tema è affiancato dal nome di uno studioso che per me costituisce un riferimento, talvolta anche più d'uno, oppure dal nome di un paradigma scientifico in cui la problematica o la congettura si iscrive: ipotesi dell'origine mimica, Donald M; ruolo dell'imitazione Rizzolatti G.; flessibilità concettuale Barsalou L.; ruolo di azione e percezione (connessionismo/embodied cognition); problema del fondamento dei simboli. Barsalou. L., Harnard S., Steel L.; ruolo di conoscenza esplicita e implicita (neuro-cognitivism) Kandel E.; ruolo della memoria episodica, Kandel E., Rolls E.; ruolo della cognizione spaziale, Poincaré H, Mach E, Piaget J., Newcomb D. Hegarty M. e Rizzolatti G.

Il ruolo della cognizione spaziale è quello su cui mi sono impegnata avviando un'azione di ricerca. Vi sono vari ordini di motivi, tra cui da un lato tematiche dibattute sia nella letteratura della psicologia neuro-cognitiva sia

⁷ La fisica classica vista come <<"una logica di fondo" che governa tutti i fenomeni in cui l'incertezza quantistica non è essenziale>>, da L. Susskind, G. Gabor, Il minimo teorico, Le Scienze, 2014 Codice Edizioni Torino

⁸ Sempre in Ashtekar, si veda nota 3

⁹ Laplace citato in Susskind L, Hrabovsky G. Il minimo teorico, citato da me in nota 4

¹⁰ Da E. Agazzi, Temi e problemi di Filosofia della fisica, 1969 C. Manfredi Editore Milano

¹¹ Si ringraziano Antonello Ortolan, Alessandro Pascolini, Lorena Finato, Margherita Marsili e Giuseppe Zampieri

¹² A. Maraner, A. Pascolini, "Alla scienza attraverso l'arte" in Atti del settimo Convegno nazionale sulla comunicazione della scienza, a cura di Nico Pitrelli, Donato Ramani, Giancarlo Sturloni

¹³ Si ringrazia il gruppo di psicologia della matematica guidato da Lucageli D., e Benelli B., Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo, Università di Padova

nella letteratura della ricerca in didattica in fisica; dall'altro lo studio degli errori commessi dagli studenti nei corsi di fisica del primo anno di corso di laurea in fisica.

Approssimativamente potremmo dire che per ogni studente che commetta errori, un 60 % di questi errori sono dovuti alle "rappresentazioni spaziali". Certo si potrebbe dire che si tratta di errori di "geometria", intendendo con ciò strettamente l'apprendimento della disciplina matematica. Ma in realtà, da quanto emerge dalla letteratura scientifica, sia quella di psicologia neuro-cognitiva sia dalle riflessioni su queste tematiche di grandi scienziati come Poincaré e Mach, la sussunzione di queste rappresentazioni deve essere fatta sotto i principi più generali della cognizione delle relazioni spaziali, da cui poi nasce ed evolve autonomamente la geometria, nello stesso modo in cui anche la fisica, prima di evolvere autonomamente in disciplina regolata da propri metodi, nasce come intuizione, come cognizione di senso comune, dei principi del comportamento fisico degli oggetti intorno a noi¹⁴. Abbiamo portato avanti uno studio statistico sull'evoluzione della conoscenza e comprensione degli elementi della geometria, attraverso la somministrazione di un questionario da noi costruito. I primi dati sono stati raccolti nell'anno accademico 2009/2010, attraverso due tesi di laurea al corso di laurea di scienze della formazione primaria¹⁵. Negli anni seguenti il questionario ha necessariamente subito alcune modifiche, "richieste" dai risultati preliminari, ma in tutte le varie versioni è rimasto immutato un nucleo di domande fondamentali, le cui risposte danno una prima rozza ma efficace immagine della comprensione e conoscenza nel continuum da spaziale intuitiva a geometrica formale. Attualmente abbiamo somministrato il questionario a circa 400 soggetti tra i 4 ed i 16 anni. In estrema sintesi diciamo che il passaggio da una rappresentazione intuitiva, di senso comune degli enti della geometria – e dalle inferenze su questa rappresentazione- ad una rappresentazione ed una capacità di ragionamento strutturate logicamente - che avviene sotto la pressione dell'educazione scolastica- è molto lenta -osservando le curve distribuzione dei punteggi conseguiti distinte per età scolastica dei soggetti, si può parlare solo di trend crescente in funzione dell'età scolastica, e dalla loro asimmetria si vedono code di permanenza in percentuali non trascurabili di soggetti di età più avanzata che ragionano ancora nella maniera più intuitiva, come se non traessero beneficio dall'educazione ricevuta.

Non è nostro compito indagare le ragioni cognitive di questi "ritardi", anche se ai fini della metodologia ce ne siamo fatti un quadro sulla base di quanto emerge dalla letteratura sull'argomento.

Le rappresentazioni e inferenze che ci interessano sono quelle di quantificazione delle relazioni spaziali. Si tratta di una capacità di quantificazione che pur portando tutte le caratteristiche delle strutture relazionali algebriche, manca però del sistema di rappresentazione simbolica, cioè si tratta di quantificazione esplicitate, espresse in maniera analogica: e, tra le varie maniere possibili, anche attraverso il disegno geometrico¹⁶!

Questo è legato al fatto che il nostro approccio alla fisica classica, dovendo trascendere la sola meccanica, - [anche al fine di preparare i pupilli alla molteplicità di "punti di vista" delle differenti teorie fisiche, che non sono incommensurabili, ma saldamente interconnettibili come ad esempio (banale) attraverso principi di corrispondenza] - non pone il focus nel concetto di forza, o interazione o, come nel caso della "fisica di Karlsruhe", nel concetto di energia, ma ruota attorno al concetto di stato e di cambiamento, utilizzando tutti i concetti di caso in caso necessari ad una migliore comprensione. Ora, non si può parlare di stato fisico solo narrativamente bensì è necessario farlo in maniera quantitativa. Il motivo per cui non può essere "narrativo" è che le parole sono legate ai concetti e non ai valori variabili: i concetti infatti sono in-varianti¹⁷!

¹⁴ con un breve elenco di nomi di autori cerco di dare, per chi volesse provare ad approfondire quanto qui, in questo scritto, non è possibile trattare, una piccola traccia, un esile filo conduttore nella ricerca internazionale volta a comprendere come dai processi universali attraverso cui conosciamo il mondo si sia passati a quella modalità di conoscere che chiamiamo scienza: Bozzi, McClosky-Green-Caramazza, Clements, McDermott-Trowbridge, Hestenes, Carey, Spelke, Vosniadou, diSessa.

¹⁵ Munaro A., "La cognizione della fisica nella scuola dell'infanzia: un intervento sullo sviluppo di concetti e relazioni spaziali". Manera R., "Cognizione della fisica in bambini di 6-7 anni: un'indagine preliminare dello sviluppo del concetto di spazio".

¹⁶ Di nuovo diamo dei riferimenti bibliografici per chi volesse approfondire personalmente questo punto: si trova materiale sia in La rivoluzione dimenticata, di L. Russo, sia nel libro di E. Agazzi citato nella nota 7. Si veda anche la voce "visual calculus" di Wikipedia che rimanda al lavoro del matematico M. Mamikon

¹⁷ Si veda ad esempio una discussione su questo punto in Arcà M. Guidoni P., Guardare per sistemi, guardare per variabili, 1987 Emme Edizioni, Torino. Un altro spunto interessante di riflessione sull'argomento si trova

Per quanto riguarda specificatamente le rappresentazioni spaziali di senso comune, facciamo riferimento allo schema di Newcomb¹⁸, che riconosce l'esistenza, nel nostro sistema cognitivo, di una struttura gerarchica in cui si hanno livelli di rappresentazione "a grana grossa" categoriale, cioè a valori discreti, per uno spazio ripartito in regioni, e livelli di rappresentazione a grana fine, cioè a valori continui, per uno spazio di punti geometrici euclidei rappresentati in matematica dai valori reali –[valori che Newcomb chiama "metrici"]. Ebbene è evidente che il linguaggio di senso comune, la narrativa, rappresenta esplicitamente in maniera adeguata solo il livello "a grana grossa", mentre per la rappresentazione verbale esplicita del livello "a grana fine", quelle di tipo metrico, serve il linguaggio matematico¹⁹.

Quello che però vogliamo fare presente è che non è necessario utilizzare il sistema numerico per "parlare il linguaggio matematico": è infatti stata dimostrata la validità, in termini di rigore e di logica dimostrativi, per la matematica visiva, in cui si possono rappresentare i ragionamenti attraverso il disegno geometrico.

E così attraverso il disegno geometrico – come già per Galileo e Newton- è possibile "matematizzare" il rappresentare ed il ragionare nel dominio di conoscenze della Fisica -certo però non ci si può aspettare dai giovanissimi lo stesso grado di capacità dei padri fondatori della scienza!-.

Iniziamo a poter mostrare evidenze osservative del fatto che l'apprendimento informale – ma ciò nondimeno rigoroso – della fisica classica va di pari passo con le capacità di ragionamento spaziale.

Infatti abbiamo sviluppato una versione "visiva" dei test di meccanica – il Mechanical test e il Force Concept Inventory¹⁹, con inclusioni di osservazioni sulle difficoltà con il concetto di velocità²⁰- e lo abbiamo somministrato a studenti del primo e secondo anno di liceo scientifico. Lo studio è in corso, tuttavia possiamo anticipare che i primi campioni – si tratta di 60 studenti- mostrano una correlazione pari 0.8, cioè 80%. Un risultato simile, ma ottenuto con domande sul contenuto dei laboratori effettuati a bambini del 4° anno di scuola primaria, meno basato del questionario su risposte "visive", molto più su quelle verbali, presenta una correlazione del 70%.

Sottolineiamo la differenza tra la rilevanza storica della geometria nello sviluppo della meccanica, che è un fatto, e l'idea che una buona comprensione di una delle due discipline è associato ad una buona comprensione dell'altra. Quest'ultima, se vera, è rilevante ai fini, non solo dell'apprendimento, ma, ipotizziamo, anche ai fini di una efficace comunicazione dei contenuti della meccanica- e della fisica classica- a livello informale. Perciò, come mostrato sopra, proponiamo non solo meccanismi articolati da utilizzare durante i laboratori hands-on, ma anche artifici evocativi basati sulla cognizione spaziale nelle fasi "narrative" di trasmissione di nozioni, informazioni, modelli.

In associazione al legame tra cognizione spaziale e "matematizzazione geometrica", richiamiamo anche la relazione tra azione e percezione. Di mezzo – tra azione e percezione- c'è il pensiero umano, necessario a progettare le azioni adattive all'ambiente, come rilevato dalla nostra percezione: ma anche il pensiero che risponde all'«aspirazione al sapere pieno» sul «mondo rivelato dall'esperienza». Questo pone delle richieste severe sul modo di operare in "hands-on": richiedono che il "hands-on" sia effettuato in "zona di sviluppo prossimale" di Vygotskij, cioè ad un adeguato livello affinché ciascun pupillo possa far fare un avanzamento al proprio livello – di conoscenza e competenza- in un certo senso "autonomamente".

nel saggio di Cianiello E. in Roger J., a cura di, Teoria dell'informazione, 1974, società editrice il Mulino, Bologna

¹⁸ Newcomb N., Huttenlocher, Making space

¹⁹ Si veda Hestenes D., Malcom Wells, Schwackhamer G., The Physic teacher, vol 30, 1992, 141-158. E refenze.

²⁰ Si veda Trowbridge D., Mc Dermott L., American Journal of Physics, col 49, issue 3, 242-253

Riallacciamo i fili del discorso, facciamo il punto dei nostri obiettivi: parliamo ai giovanissimi di Cosmo, di Spazio e di spazio per rispondere alle esigenze basilari di conoscenza e vogliamo farlo senza preconcetti, scelte predeterminate di argomenti, per cui occorrerebbe in realtà tirare in campo tutta la fisica fino ad oggi sviluppata. Ma come farlo se vogliamo realmente massimizzare l'efficienza? Massimizzare l'efficienza comporta un delicato equilibrio tra il mantenere sempre aperta la prospettiva sullo stato attuale delle conoscenze, cioè le "visioni" della fisica, e delle modalità di acquisire nuove conoscenze – il mantenere attiva la "curiosità scientifica" e l'apprendere le modalità di fare scienza- e il produrre apprendimento non inerte, apprendimento con sviluppo delle capacità di chi sta apprendendo anche dei contenuti, delle nozioni, delle informazioni, delle visioni, delle narrazioni. Come discusso appena sopra, è necessario fondare lo sviluppo di capacità e conoscenza nell'esperienza diretta di chi apprende- in zona di sviluppo prossimale.

Allora dobbiamo porci ancora un problema: quali esperimenti sono possibili per i giovanissimi, e soprattutto quali si possono proporre "in classe" o in un "science center" quando i giovanissimi vi possono accedere? E se gli esperimenti rilevanti per i contenuti da fare conoscere o fare apprendere sono troppo lontani dalle capacità dei pupilli, limitarsi a narrazioni, a modelli narrativi ancorchè ricchi di informazioni quantitative? Come permettere una esperienza diretta e "matematizzata"? Ricordo che un insieme di informazioni quantitative non fa un ragionamento matematico, non più di quanto – secondo Poincarè- << un mucchio di mattoni non fa una casa>>²¹.

Il nostro suggerimento è di ricorrere ad "esperimenti analoghi". [Chiaramente in associazione a rappresentazioni standard, anche narrative con informazioni quantitative, di quanto si vuole far conoscere e capire]

Per fare un esempio dalla fisica, sono in corso esperimenti su sistemi fisici "terrestri" in cui vedere quantitativamente fenomeni che obbediscano ad equazioni formalmente identiche a quelle che descrivono il comportamento di oggetti "cosmologici" attualmente inaccessibili agli esperimenti, i buchi neri²². Ricordiamo infatti che un esperimento consiste nel fare svolgere un fenomeno in condizioni controllate, in condizioni in cui i valori dei vari parametri, che rappresentano le influenze reciproche delle varie entità in gioco, sono conosciute quantitativamente in maniera tale da permettere di verificare la validità o invalidità di una specifica ipotesi. Questo dunque richiede non solo la capacità di identificare concettualmente tutte le categorie di entità in gioco, ma anche la capacità di riconoscerne e identificare e "mettere in scala"– rispetto alla variabilità intercategoriale- le varie istanze di quelle categorie di entità. Sottolineo che queste capacità – prima ancora di essere capacità fondamentali nella scienza- sono le capacità fondamentali, universali- alla base della cognizione, cioè dell'acquisizione di informazioni sull'ambiente e manipolazione di queste informazioni per creare rappresentazioni sensate dell'ambiente – (ovviamente ai fini dell'azione in questo ambiente).

Ebbene: suggeriamo di guardare agli "esperimenti" con i meccanismi articolati (o con i disegni) come a "esperimenti analoghi", in cui si impara a controllare le relazioni tra le variabili rilevanti.

L'analogia è sempre parziale, per cui servono diversi esperimenti per osservare i svariati aspetti del fenomeno che è il target dell'analogia.

Ancora un ultimo filo da riallacciare. Dobbiamo riprendere l'idea di stato, e dire come e perché poi ci interessiamo di traiettorie. Innanzitutto ricordiamo che lo stato fisico è di un sistema meccanico è dato non dalla posizione, ma anche dalla velocità del corpo di cui si studia il moto. Dovremmo quindi osservare contemporaneamente le traiettorie nello spazio e delle "traiettorie" della velocità in un altro "spazio"- l'insieme di spazio e "spazio delle velocità" si chiama in fisica spazio delle fasi- cosa che per i nostri pupilli è molto difficile a livello di osservazione autonoma. Ma, caratteristico della fisica – anche quando era ancora solo "filosofia matematica della natura", è il creare, per il

²¹ Poincarè H. La scienza e l'ipotesi, 2012 Edizioni Dedalo

²² Si veda ad esempio il sito <http://www.centrofermi.it/progetti/buchi-neri-acustici>

primo approccio, in prima approssimazione, modelli che guardano solo all'essenziale, anche se il modello è "falso", in contraddizione con quanto si osserva nella realtà, come in un modello di Archimede o l'idea di Galileo di trascurare quell'attrito che domina nei moti della nostra quotidianità. Allora anche noi scegliamo di esaminare moti in cui la velocità ha solo due valori 0 o un valore costante di cui non ci interessa l'entità quantitativa, cosa molto facile da rilevare osservativamente ed ecco che lo spazio reale e la constatazione se il corpo si muove o no rappresentano lo stato del sistema.

Possiamo a questo punto concentrare l'attenzione sulle interazioni, che si manifestano, ora solo nel mettere in moto o arrestare il corpo o nel far cambiare la direzione di moto del corpo – [e analogamente si tratteranno i casi di coppia di forze, o i problemi in cui si deve valutare l'energia cinetica]. Unica eccezione sarà il moto sotto l'azione della gravità su brevi percorsi: ma di nuovo utilizzeremo questi fenomeni in esperimenti dove non commettiamo errori se trascuriamo il cambio di valore della velocità. Una volta che i pupilli mostrino padronanza di questi modelli approssimati del mondo Newtoniano si potranno introdurre le osservazioni per comprenderlo nella sua interezza.

Ad ogni modo anche nel modello approssimato, l'essenza della fisica è capire come e perché cambia lo stato di un sistema fisico: nel nostro sfruttando il fatto che la traiettorie nello spazio [insieme alla valutazione della velocità nulla o non nulla] condensa la "storia temporale" degli stati del sistema.