Fisica della bicicletta: uno strumento didattico per gli insegnanti

Marco Beltrame[2], Agnese Berra[1], Emanuele Goldoni[2], Ledo Stefanini[2]
[1]*Istituto d'Istruzione Superiore "Manzoni"*
Via Mantova, 13, 46029, Suzzara , Mantova
agnese.berra@unipv.it
[2]*Università degli Studi di Pavia, sede di Mantova*
Via Scarsellini 2, 46100, Mantova
marco.beltrame01@ateneopv.it, emanuele.goldoni@unipv.it, ledo.stefanini@unipv.it

La bicicletta è uno strumento estremamente interessante dal punto di vista didattico: è un attrezzo costruito dall'uomo e non un fenomeno naturale, è molto diffuso e ha un comportamento ben noto a qualsiasi ragazzo. In questo articolo si descrive una innovativa proposta di insegnamento della fisica basata, a differenza della prassi didattica tradizionale, sullo studio diretto del comportamento meccanico del sistema costituito dalla bicicletta e dal ciclista. Tale studio si avvale sotto diversi aspetti di strumenti informatici messi a punto presso la sede di Mantova dell'Università di Pavia.

1. Introduzione

Tra i motivi che aumentano progressivamente la difficoltà dello studio della fisica nella scuola media superiore due sembrano essere prevalenti rispetto agli altri. Il primo consiste in una struttura curricolare che risultava adeguata a forme di percorsi educativi di tipo autoritario e ripetitivo che erano funzionali ad un tipo di organizzazione scolastica (e sociale) abbandonato ormai da molti decenni. Il secondo consiste nel fatto che il processo di crescita del ragazzo poggia su organizzazioni esperienziali e concettuali pre-scolastiche che sono radicalmente mutate negli ultimi decenni. Se infatti è vero che in biologia l'ontogenesi ripete la filogenesi, siamo inclini ad affermare che qualcosa di analogo vale anche nei processi di crescita intellettuale.

La prassi didattica corrente sembra ignorare una cosa fondamentale e cioè che lo studente è portatore di un'altra fisica – e la chiameremo *ingenua* o *naif* – sulla quale sono stati compiuti approfonditi studi sia da parte di psicologi che di fisici. L'adolescente non è, per quanto riguarda le conoscenze di fisica, *tabula rasa*. Crescere significa fare esperienza della realtà fisica ambientale, con la quale è necessario imparare a convivere. Il bambino dedica gran parte delle proprie energie a fare esperienza dell'ambiente, quindi a scoprire le proprietà degli oggetti, a stimarne il peso, la distanza, la temperatura, ecc. Non si tratta di un mero accumulo di esperienze, ma di esperienze che vengono giustapposte le une alle altre fino a consentire la loro organizzazione in vere e proprie

A. Andronico, L. Colazzo (Eds.): DIDAMATICA 2009 – ISBN 978-88-8443-277-3

strutture concettuali: embrioni di teorie o, per usare un termine caro a Kuhn, di *paradigmi* [Kuhn, 1962]. L'insieme di esperienze registrate e di paradigmi in cui queste sono organizzate costituiscono un patrimonio culturale assolutamente indispensabile per rapportarsi con la realtà. I giochi di abilità e la pratica degli sport possono essere interpretati come la ricerca della soddisfazione che comporta il sapersi muovere in situazioni difficili o estreme: si tratti di raggiungere un'alta velocità con la bicicletta o di colpire un bersaglio difficile con una freccia.

La difficoltà di cui parlavamo consiste nel fatto che questo patrimonio di esperienze e strutture concettuali, col mutare delle condizioni sociali, si è drammaticamente ridotto. Il bambino che cresceva in ambiente campestre era naturalmente più esposto ad esperienze di gioco e di lavoro che sono impensabili per un bambino che cresce attualmente in ambiente cittadino. Esperienze che potevano presentare dei rischi e dei pericoli, ma che arricchivano il suo patrimonio cognitivo. Si trattava di conoscenze dirette di termologia, ottica, idraulica, ma, soprattutto, di meccanica. Un patrimonio che si è andato sempre più impoverendo con la diffusione di stili di vita che sono propri dei grandi agglomerati urbani.

Il percorso che abbiamo elaborato attraverso la meccanica di uno strumento umile e facilmente accessibile all'esperienza qual è la bicicletta, tende al recupero dell'esperienza diretta del ragazzo e al raccordo tra la fisica ingenua, patrimonio profondo del ragazzo, e la fisica scolastica.

Il progetto non è affatto privo di ambizione, poiché mira all'interpretazione del comportamento meccanico di uno strumento comune sulla base della sola meccanica elementare nonché allo smantellamento di una prassi didattica sclerotizzata che la struttura scolastica difende strenuamente. Una fisica, infatti, che abbandona il gesso e la lavagna per confrontarsi con il comportamento meccanico della bicicletta nel cortile scolastico, viene percepita come estremamente eversiva e pericolosa dalla maggior parte degli insegnanti, come possono testimoniare i numerosi che hanno contribuito, con consigli osservazioni ed esperienze, a questo lavoro.

Il risultato è un percorso didattico centrato sulla meccanica della bicicletta che può costituire il filo rosso del primo corso di meccanica per giovani liceali. Si tratta di un percorso non rigido che ogni insegnante può adattare alle condizioni in cui si trova ad operare; che prevede osservazioni ed esperienze facilmente accessibili e riproducibili nell'ambiente scolastico e più raffinate elaborazioni al computer, oppure lo studio quantitativo di sequenze cinematografiche. Il prodotto finale è frutto di una serie lunghissima di *trials & errors,* a cui hanno contribuito esperienza didattica, competenza disciplinare e conoscenza degli strumenti che l'informatica mette oggi a disposizione.

Per poter meglio illustrare quanto brevemente indicato in questa introduzione, l'articolo è strutturato come segue. Nel paragrafo 2 sono brevemente presentate le motivazioni che hanno portato alla definizione di un nuovo approccio all'insegnamento della fisica. Nel paragrafo 3 viene quindi descritta più in dettaglio la proposta di percorso didattico incentrato sulla meccanica della bicicletta e, in particolar modo, il ruolo dell'informatica

all'interno di questo progetto. Il paragrafo 4 ospiterà infine alcune riflessioni conclusive.

2. Meccanica scolastica e meccanica ingenua

Chiamiamo meccanica ingenua o naif quel patrimonio di conoscenze fenomeniche e di strutture concettuali relative ai fenomeni meccanici che appartiene ad ogni ragazzo, indipendentemente dal fatto che abbia seguito corsi scolastici su questo soggetto. Il bambino dedica molta parte del suo impegno intellettivo alla sperimentazione dei fenomeni meccanici, alla loro collocazione nei nodi di reti concettuali che si sforza di costruire come veri e propri abbozzi di paradigmi scientifici. Diversamente dai paradigmi scientifici nell'accezione di Kuhn [Kuhn, 1962], quelli dei bambini sono perennemente aperti ad aggiustamenti e correzioni, in relazione alle esperienze sperimentali e concettuali che il bambino incontra. Quando il ragazzo si trova di fronte alla meccanica scolastica, la fase propulsiva e creativa della scoperta del mondo meccanico è già esaurita e le reti concettuali sclerotizzate in strutture destinate a durare.

La meccanica scolastica dovrebbe proporsi allo studente come rete paradigmatica alternativa alla meccanica ingenua o, perlomeno, dotata di una maggiore ampiezza e profondità interpretativa. Dovrebbe quindi ingenerare nello studente una sorta di conflitto cognitivo che proprio all'interno dell'istituzione scolastica dovrebbe trovare la sua soluzione. Ma è raro che questo avvenga: le nozioni scolastiche non danno origine ad alcuna struttura concettuale permanente in quanto non dimostrano un potere interpretativo maggiore rispetto alle strutture naif. Sembra che la prassi scolastica di insegnamento abbia dimenticato che "*I discorsi nostri hanno a essere intorno al mondo sensibile, e non sopra un mondo di carta [...]*" [Galilei, 1632].

In una sorta di processo di inversione, i principi e le leggi della meccanica scolastica rimangono separati dal mondo dei fenomeni e, in luogo di essere strumenti per la comprensione del mondo, finiscono per diventare i fini dell'attività scolastica. Sono quindi i principi che determinano le domande che è lecito porre riguardo ai fenomeni meccanici e il grande mondo delle esperienze vissute dal ragazzo ne rimane, inesorabilmente, escluso.

Affinché la meccanica scolastica entri a fare effettivamente parte dell'universo concettuale del ragazzo è necessario che si misuri con i fenomeni che cadono entro il cerchio dell'esperienza diretta e dimostri di possedere un potere interpretativo maggiore rispetto alla meccanica ingenua. Questa finalità si può perseguire ponendo al centro dell'insegnamento non l'esposizione coerente e lineare della teoria, ma un corpo di fenomeni di cui il discente abbia esperienza diretta. Questo fatto è la condizione necessaria affinché nel ragazzo sorgano le domande senza le quali non si può costruire alcuna conoscenza scientifica.

L'esempio di modulo didattico che proponiamo, centrato sui fenomeni meccanici che intervengono nel comportamento del sistema uomo-bicicletta, richiede un minimo di pre-conoscenze che riguardano la meccanica elementare; ma, nello stesso tempo, può essere il terreno dal quale estrarre

concetti tradizionali quali l'accelerazione centripeta o meno tradizionali, quali le riflessioni sull'equilibrio dei corpi reali.

3. Il progetto

La bicicletta presenta il vantaggio didattico di essere un attrezzo costruito dall'uomo (invece che un fenomeno naturale) e di essere molto comune. L'aspetto più difficile consiste nel fatto che la bicicletta non funziona di per sé, ma costituisce una sorta di protesi del corpo umano: il suo comportamento dipende strettamente da quello dell'uomo che la utilizza e dai fini che questi si propone di raggiungere: se spostarsi ad alta velocità, andare in salita oppure in discesa, ecc. Inoltre dipende strettamente anche dalla qualità del terreno su cui si muove, quindi dal coefficiente d'attrito, dalla pressione delle gomme, dall'elasticità del telaio, per non indicare che i principali tra i fattori che ne determinano il comportamento fisico. Tuttavia, tutti abbiamo una certa idea della bicicletta standard, che possiamo identificare con quella che una volta veniva chiamata "da viaggio". Di questa qualsiasi ragazzo conosce bene il comportamento avendo spesso a che fare con questo attrezzo.

Dal punto di vista pedagogico la bicicletta è uno strumento molto interessante, se non altro perché mostra come si sviluppano i processi di apprendimento: tutti imparano ad andare in bicicletta, solo alcuni si interrogano sui fenomeni che vi sono connessi e ne tentano una strutturazione razionale. Il percorso didattico che proponiamo indica un terreno di ricerca che, almeno fino ad un certo livello, non richieda sofisticate attrezzature teoriche e sperimentali e ammette un'agevole traduzione nel lavoro didattico ordinario. La sua ispirazione ai *physics project* che fiorirono nelle scuole secondarie anglosassoni negli anni '70 e '80 è manifesta: proposizione di problemi "umili", con l'uso di strumenti di uso comune, facilmente reperibili e adattabili da parte del ragazzo.

3.1 Il percorso didattico

Nonostante questo lavoro sia debitore, ovviamente, alla grande mole di pubblicazioni in materia di stabilità della bicicletta [Jones, 1970], [Lowell et al., 1982], [Stefanini et al., 2001], abbiamo fatto la scelta di un percorso più ingenuo, ma più vicino all'esperienza diretta e agli strumenti concettuali del ragazzo. Il percorso che abbiamo seguito con due classi di un liceo scientifico è finalizzato a condurre i ragazzi a "scoprire" che:

1. quello del ciclista non è un equilibrio, ma uno stato di caduta continuamente compensata;
2. la possibilità di compensare la caduta è legata alla dimensioni del sistema;
3. la possibilità di sterzare consente l'applicazione della forza centripeta necessaria alla compensazione;
4. è la forza d'attrito tra copertone ed asfalto a fornire la forza;
5. la forza centripeta è sufficiente a compensare la caduta solo se la velocità è convenientemente alta.

A questo scopo sono state individuate 15 esperienze il più possibile vicine all'esperienza comune e facilmente realizzabili dagli studenti stessi anche al di

fuori dell'orario scolastico. Questo facilita ovviamente il compito del docente, che può assegnare le esperienze come “esercizio per casa” e, solo successivamente, analizzare in aula il fenomeno partendo proprio dai commenti e dai risultati ottenuti sul campo dagli studenti stessi.

Abbiamo già accennato al fatto che la bicicletta non è una macchina che funzioni da sola, ma solo in simbiosi con il corpo (e l’intelligenza o l’intuito del ciclista). Questo ha reso più difficile il processo di definizione dei modelli che consentono l’applicazione degli strumenti della meccanica; ma, nello stesso tempo, ha reso più interessante il viaggio attraverso questa materia che è estranea alla normale esperienza scolastica [Lin, 1982].

Dal punto di vista didattico, una delle maggiori difficoltà affrontate è stata quella di evitare l’utilizzo di strumenti matematici di difficoltà superiore all’algebra liceale. Il problema è stato risolto incoraggiando gli insegnanti ad un utilizzo più deciso del calcolo dimensionale. Si tratta di una prassi estranea alla tradizionale didattica, ma che presenta il vantaggio notevole di conservare l’attenzione sull’aspetto fisico dei fenomeni piuttosto che sull’elaborazione matematica [Mahajan, 1998] [Bernardini, 1998].

Un altro aspetto rilevante, per chi studia un fenomeno di cui fanno parte lo strumento meccanico (la bicicletta) e un corpo umano è la consapevolezza del *range* dei valori delle grandezze in gioco: le dimensioni, le masse, i tempi, le potenze. Anche questo è un aspetto che generalmente è mantenuto fuori dai corsi tradizionali, mentre è determinante quando si studia effettivamente un particolare fenomeno meccanico. La bibliografia su questo tema è molto ricca [Armenti, 1992], [Lin, 1982] ma noi, per esigenze didattiche, abbiamo preferito fare ricorso a stime effettuate sul campo.

3.2 Il ruolo dell'informatica

L'impiego dell'informatica nell'insegnamento della fisica nella scuola secondaria, oggi pratica piuttosto diffusa [Togliani, 2002] [Togliani, 2008], può indubbiamente aiutare l’esecuzione delle esperienze, semplificando il processo di raccolta e di analisi strettamente quantitativa dei dati e lasciando così maggior spazio ad una riflessione più ampia sul significato fisico dell’esperienza e all'interpretazione del fenomeno studiato.

Come detto in precedenza, il percorso che abbiamo elaborato tende al recupero dell’esperienza diretta del ragazzo. Per questo motivo, sebbene siano oggi disponibili numerosi strumenti software per la didattica in grado di replicare fedelmente vari fenomeni fisici [Backman, 2008], si è preferito evitare l'impiego di simulazioni al calcolatore per lo studio dei fenomeni. Al contrario, l'informatica è stata utilizzata per effettuare misurazioni quantitative, lasciando così lo studente libero di “vivere” le esperienze.

Per alcune esperienze si è fatto uso della piattaforma Arduino [Banzi, 2008], un sistema adatto alla realizzazione di semplici progetti elettronici e informatici. La scheda Arduino è in grado di interfacciarsi con numerosi sensori e, analogamente, può essere impiegata per controllare motori, sorgenti luminosi, interruttori e altri tipi di attuatori. Inoltre il costo dell'apparecchiatura è contenuto e il sistema può essere esteso utilizzando un ambiente di programmazione libero ed estremamente semplice, pensato appositamente per tutti coloro che

non hanno dimestichezza con questo genere di applicazioni. Infine è possibile connettere il sistema al computer, scaricando i dati acquisiti per future elaborazioni. Grazie all'impiego di alcuni accelerometri connessi alla scheda Arduino è stato possibile misurare le accelerazioni impresse alla base di un asta per mantenere la posizione di equilibrio, correggendo le cadute incipienti (vedi Fig. 1). In questo caso il sistema è stato programmato per accendere una spia in presenza di accelerazioni oltre una certa soglia rilevate dal sensore. L'obiettivo è quello di dimostrare come l'asta possa mantenere l'equilibrio grazie alle accelerazioni e non, come si potrebbe erroneamente pensare, alla velocità. Allo stesso modo, i sensori sono stati sistemati sul manubrio di una bicicletta in movimento per rilevare le continue correzioni effettuate dal ciclista.

Fig.1 – Misura delle accelerazioni impresse per correggere una caduta

L'analisi del moto di una bicicletta può essere effettuata anche grazie ad una semplice videocamera digitale (o persino un telefonino) e il software libero Tracker [Brown, 2007]. Grazie a questo programma è infatti possibile, partendo ad esempio dal filmato di una bicicletta in movimento, ricostruire le oscillazioni compiute mentre si pedala. Seguendo quindi gli spostamenti del manubrio da un fotogramma ad un altro è immediato ricavare un grafico delle correzioni effettuate dal ciclista per mantenere l'equilibrio durante il moto (vedi Fig. 2).

Un ulteriore software impiegato all'interno del nostro progetto è Geogebra, un programma libero per la didattica che consente uno studio dinamico della geometria, dell'algebra e dell'analisi [Frangella, 2008]. Analizzando il tracciato di una ruota posteriore di bicicletta, è possibile infatti ricostruire la posizione della ruota anteriore ricavando la tangente alla curva in diversi punti (vedi Fig. 3). I risultati ottenuti possono poi essere confrontati con quelli ricavati filmando una bicicletta in curva da un punto di osservazione posto in alto.

3.3 Disponibilità del materiale didattico

Tutto il materiale didattico sviluppato durante il progetto, insieme alla dispensa per gli studenti e i docenti, è liberamente disponibile sul sito `www.unimn.it`. Analogamente, nelle pagine web dedicate è possibile reperire tutto il software utilizzato e le istruzioni per poter replicare le esperienze didattiche proposte.

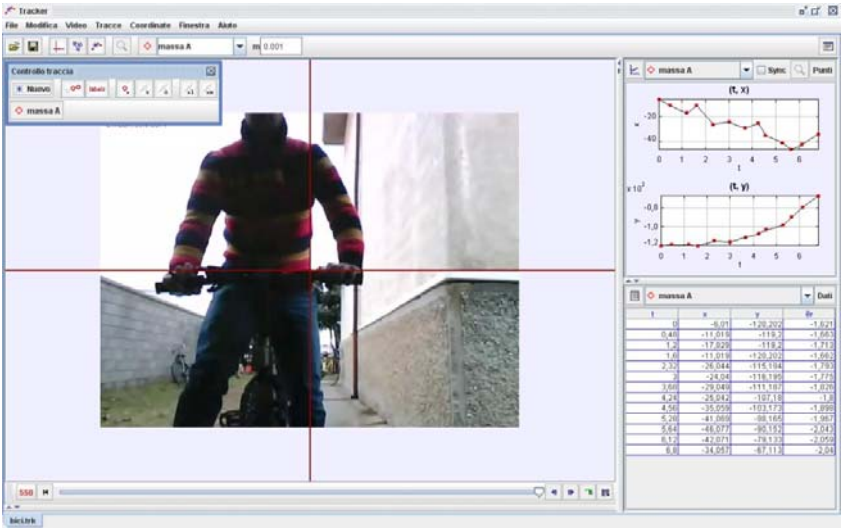

Fig. 2 – Studio di un moto con il software Tracker

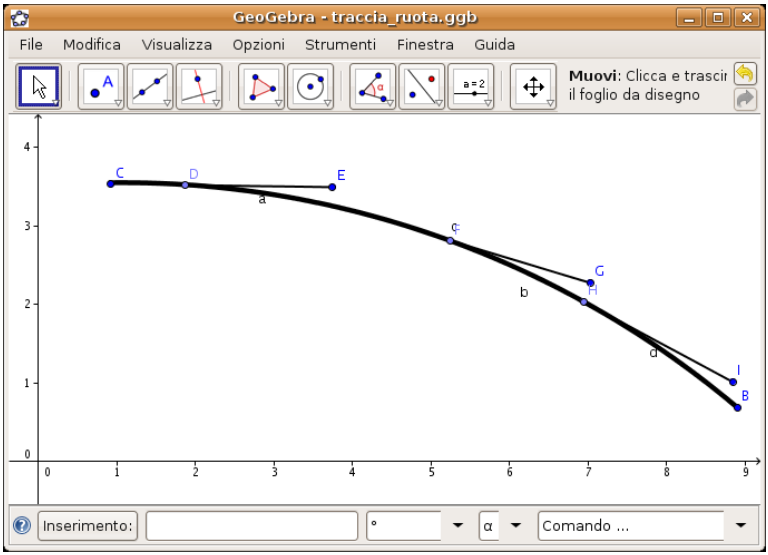

Fig. 3 – Studio di un moto con il software Geogebra

4. Conclusioni

I messaggi che questo viaggio attraverso la meccanica della bicicletta ambisce trasmettere sono due. Il primo è che vale sempre la pena di interrogarsi sui motivi per cui gli oggetti – quelli costruiti dall'uomo e quelli naturali – hanno le dimensioni e le caratteristiche che conosciamo. Il secondo è che la fisica scolastica, grazie anche all'ausilio dell'informatica e delle nuove tecnologie, è in grado di fornire dimensioni nuove alla percezione della realtà.

Nei prossimi mesi verrà completato il percorso didattico e sarà possibile valutare i risultati didattici ottenuti. Al termine dell'anno scolastico in corso verranno quindi somministrati dei questionari agli studenti: i risultati serviranno a determinare l'efficacia e il gradimento della metodologia e degli strumenti proposti.

Bibliografia

[Backman, 2008] Backman A., Algoryx - Interactive Physics, The Annual SIGRAD Conference, Stoccolma, Svezia, 2008

[Banzi, 2008] Banzi M., Getting Started With Arduino, Make Books, Sebastopol, California, 2008

[Bernardini, 1998] Bernardini C., La natura astratta delle grandezze fisiche, In Le grandezze fisiche e la loro misura, a cura di G. Giuliani, La Goliardica Pavese, Pavia, 1998.

[Brown, 2007] Brown D., Combining Computational Physics with Video Analysis in Tracker, Conference of Computational Physics for ULC, Davidson, North Carolina, 2007

[Frangella, 2008] Frangella L., Il Problema del Bagnino con Geogebra, Matematicamente, 8, 2008, 10-15

[Galilei, 1632] Galilei G., Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, giornata seconda, VII-233, 1632

[Jones, 1970] Jones D., The stability of the bicycle, Physics Today, 23(4), 1970.

[Kuhn, 1962] Kuhn T., The structure of scientific revolutions, Chicago, 1962; versione italiana, La struttura delle rivoluzioni scientifiche, Torino, 1969.

[Lin, 1982] Lin h., Fundamentals of zoological scaling, American Journal of Physics, 50 (1), 1982, 71-82

[Lowell et al., 1982] Lowell J., McKell H. D., The stability of bicycles, American Journal of Physics. 50 (12), 1982, 1106-1112.

[Mahajan, 1998] Mahajan S., Order of Magnitudo Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1998.

[Stefanini et al, 2001] Stefanini L., Berra A., Ambiguità della bicicletta, Giornale di Fisica, Vol. XLII, Gennaio-Marzo 2001

[Togliani, 2002] Togliani L., Un caso di urto totalmente anelastico, Ipotesi, 5(2), 2002, 11-15

[Togliani, 2008] Togliani L., Elicotteri di carta, La Fisica nella Scuola, 41(1), 2008, 7-13