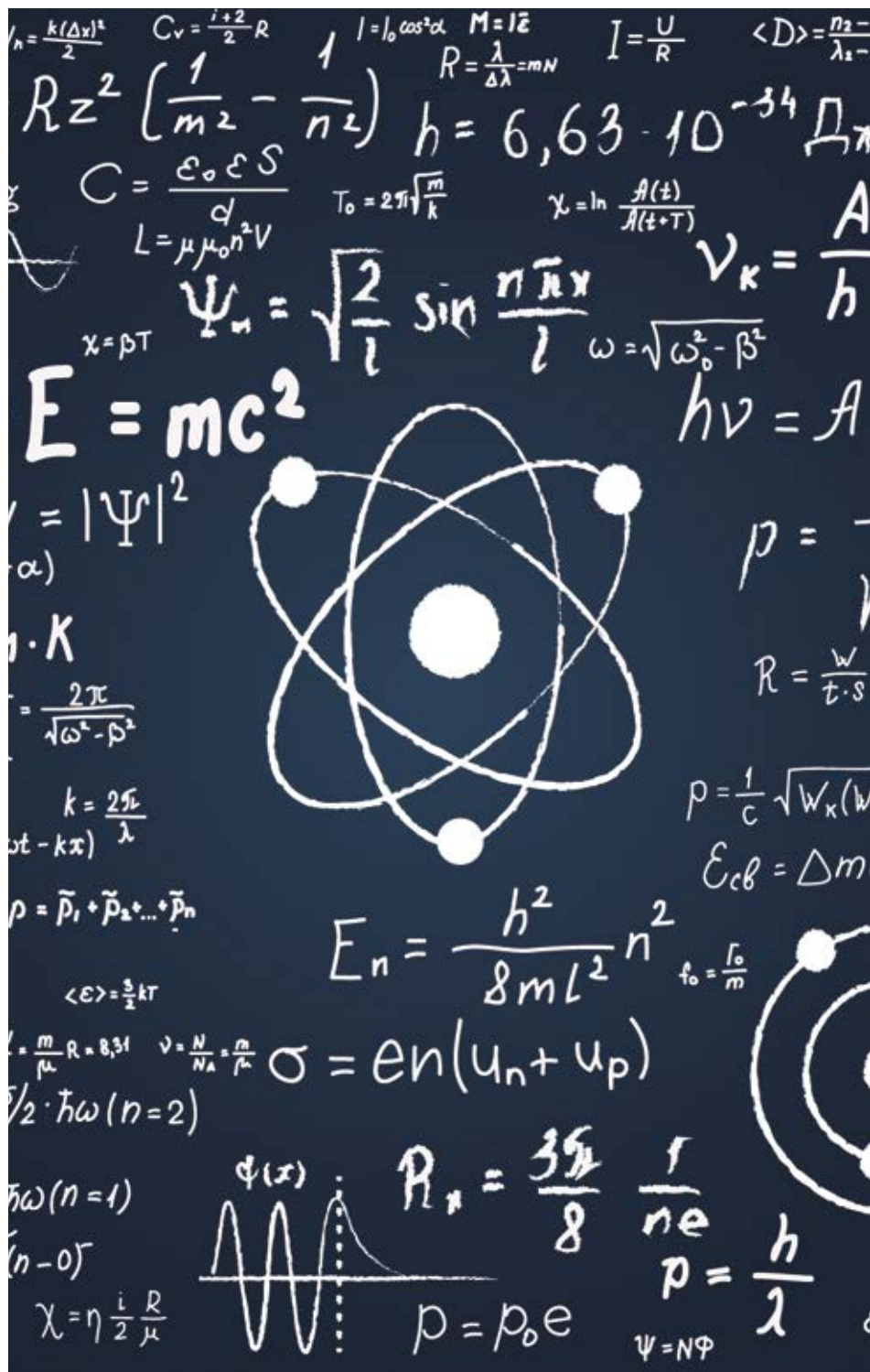


PERCHÉ LA FISICA È COSÌ DIFFICILE?



PHYSICS & NEUROSCIENCES

WHY IS PHYSICS SO DIFFICULT?

Franco Bagnoli,
Giorgio Gronchi

“Le basi cognitive dell’apprendimento e dell’insegnamento della fisica”

“The cognitive bases of learning and teaching physics”

Lo studio della fisica è in genere considerato più difficile di quello della matematica, probabilmente perché la prima non è una disciplina “deduttiva”, anche se viene spesso presentata, almeno al liceo, come se fosse una branca della matematica. È un problema di come viene insegnata o ci sono delle difficoltà intrinseche nel suo apprendimento?

Bisogna per prima cosa tenere presente che l’insegnamento (universitario e liceale) della fisica e delle discipline tecnico-scientifiche è solo in minima parte basato su un approccio scientifico, e in gran parte su prassi poco verificate.

Forse come conseguenza, gli studenti sembrano spesso comportarsi in modo “schizofrenico”: riescono a risolvere i problemi di fisica, se questi sono presentati in termini formali e matematici, ma cambiano radicalmente approccio se il problema è anche solo leggermente variato, utilizzano moduli “non fisici” quando il problema è formulato in termini “di tutti i giorni”, e tali moduli possono cambiare a seconda del contesto.

Da ciò deriva una certa inutilità dell’insegnamento della fisica (tranne che agli studenti di fisica, che probabilmente imparerebbero lo stesso anche senza il corso), sen-

sazione confermata dai risultati del *Force Concept Inventory*, un test per misurare quanta fisica “scolastica”, ovvero galileiana, viene sfruttata per interpretare gli eventi di tutti i giorni. Il test viene somministrato prima e dopo un corso liceale o universitario, e l’incremento delle performance risulta modesto.

Le ricerche relative alle scienze cognitive suggeriscono che gli “errori” degli studenti siano dovuti a dei meccanismi generici, che sono attivi anche in altri contesti, la cui conoscenza potrebbe risultare molto utile nell’insegnamento della fisica. In questo articolo abbiamo cercato di mettere in evidenza alcuni di questi processi, senza pretendere di essere esaustivi o completi.

L’aspetto che secondo noi è più importante è che l’apprendimento della fisica è in realtà in gran parte costituito dal “disapprendimento” delle associazioni intuitive, o meglio, dalla contestualizzazione della fisica intuitiva, che non può essere eliminata dato che, in fondo, è quella che ci consente di sopravvivere.

Non ce la farò mai passare l’esame di fisica! Quanto è difficile! E poi non serve a niente! Abbiamo sentito tante volte queste lamentele da parte di tanti studenti. Certo, dal punto di vista di noi insegnanti di fisica, la risposta è facile: *bisogna studiare di più!*

The study of physics is generally considered more difficult than that of mathematics, probably because the former is not a “deductive” discipline, even if it is often presented, at least in high school, as if it were a branch of mathematics. Does the difficulty lie in how it is taught or are there inherent difficulties in its learning?

First of all, it must be borne in mind that physics teaching (in universities and high schools) is only minimally based on a scientific approach, and largely based on little-verified practices.

Perhaps as a consequence, students often seem to behave in a “schizophrenic” way: they are able to solve the physics problems, when they are presented in formal and mathematical terms, but they radically mutate their approach if the problem is even slightly changed, use “un-physical” approaches when the problem is formulated in “everyday terms”, and the approach methodologies can change, depending on the context.

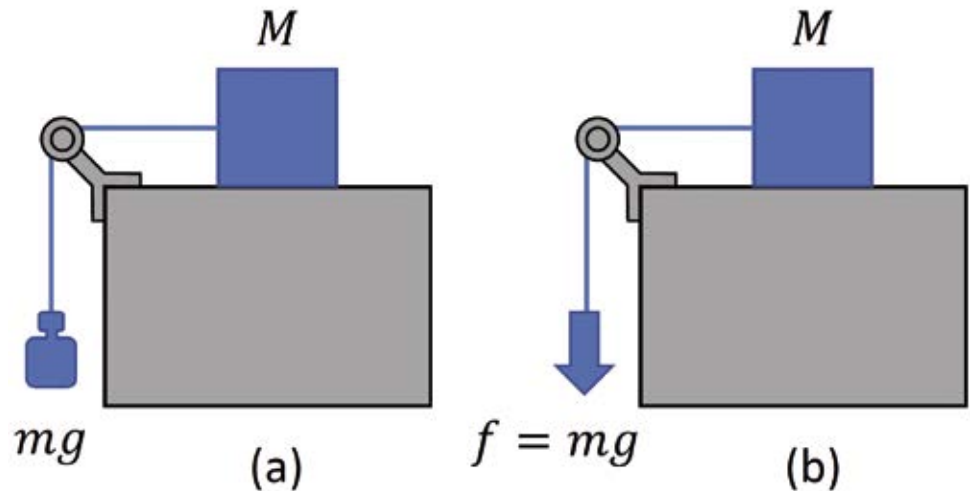
From this a certain uselessness in teaching physics derives. This is probably not true for physics students, who probably would learn the same even without the courses but holds for other students. This feeling is confirmed by the results of the Force Concept Inventory, a test to measure how much Galilean physics is used to interpret everyday events. The test is administered before and after a high school or university course, and the performance increase is modest.

Researches on cognitive sciences suggests that the “errors” of students are due to generic mechanisms, which are also active in other contexts, whose knowledge could be very useful in teaching physics. In this article we try to highlight some of these processes, without claiming to be exhaustive or complete.

The aspect that we think is the most important, is that learning physics is actually largely made up of the “un-learning” of intuitive associations, or rather, of the contextualization of intuitive physics, which cannot be eliminated since, after all, it is what allows us to survive.

Figura 1

Un semplice test: l'accelerazione della massa M nella configurazione (a) è la stessa che nella configurazione (b)?

**Figure 1**

A simple test: is the acceleration of mass M in configuration (a) the same as in configuration (b)?

Però, secondo noi non è così, o meglio, è vero sia che la fisica sia intrinsecamente difficile, sia che ci voglia uno studio intenso e continuo. Però non siamo convinti che la tradizionale tecnica di insegnamento sia di grande utilità (anche se, in mancanza di meglio, è quella che seguiamo).

Per mettere in evidenza quanto la fisica sia intrinsecamente difficile, vogliamo solo citare un esperimento che abbiamo fatto su dei colleghi in occasione della pausa di una conferenza. Abbiamo mostrato loro, in maniera informale, lo schema riportato nella figura 1, domandando se l'accelerazione della massa M fosse la stessa nelle due situazioni.

Una buona percentuale di colleghi, tutti con molti anni di insegnamento alle spalle, ha risposto distrattamente di sì, salvo ovviamente correggersi quando abbiamo chiesto loro se fossero veramente sicuri: la forza è la stessa nel-

le due configurazioni, ma nella figura 1a questa accelera sia il corpo M sia il pesetto m .

La difficoltà della fisica quindi non ha molto a che vedere con lo studio. Certo, questo è necessario, ma non è tutto. In fondo la fisica è basata su poche leggi, che vanno padroneggiate, con una modalità di apprendimento simile a quella usata per imparare il gioco degli scacchi. Come in quest'ultimo caso, bisogna esercitarsi per riuscire ad applicare le leggi e la loro derivazione matematica in maniera intuitiva, ma purtroppo per la fisica questo non basta.

La fisica, diversamente dagli scacchi, è "troppo" simile alla realtà e contrasta con dei moduli di fisica intuitiva che tutti noi (animali) ci portiamo dietro fin dalla nascita, oltre a contrastare con altri processi cognitivi, che ostacolano l'apprendimento di molte altre discipline scientifiche. Vediamo nel seguito di cosa si tratta e come (forse) si può ovviare a ciò.

Physics is hard! How many times have we heard this complaint from so many students. And how often we physics teachers have replied it's not true, *it's you who don't study enough...*

Well, it is not so, or better, it is true both that physics is intrinsically difficult, and that it requires intense and continuous training. Instead, it is doubtful that traditional study is of great usefulness.

To highlight how intrinsically difficult physics is, we just want to mention an experiment we did on colleagues during a conference break. We showed them, in an informal way, the scheme of figure 1, asking whether the acceleration of mass M was the same in the two situations.

A good percentage of colleagues, all with many years of teaching behind them, answered absently yes, except of course correcting their answer when we asked them if they were really confident about their answer: the force is the same in the two configurations, but in figure a it accelerates both the masses M and m .

The difficulty of physics therefore does not have much to do with the study. Of course, it is necessary, but that's not all. After all, physics is based on a few laws, which must be mastered, with a learning mode similar to that used to learn the game of chess. As in the latter case, we must practice, to be able to apply the laws and their mathematical derivation in an intuitive way, but unfortunately for physics this is not enough.

Physics, unlike chess, is "too" like reality, and contrasts with the intuitive physics modules that all of us (animals) carry from birth, as well as contrasting with other cognitive processes that hinder the learning of many other scientific disciplines. Let's see below what they are and how (maybe) this situation can be remedied.

INTUITIVE PHYSICS

All of us animals (at least vertebrates, but likely also insects) are born with a basic physical-mathematical

FISICA INTUITIVA

Tutti noi animali (almeno i vertebrati, ma si pensa anche gli insetti) nasciamo con delle conoscenze fisico-matematiche di base: la capacità di contare fino a piccoli interi (3-5), la numerosità intuitiva (distinguere tra 8 e 16 punti), l'impenetrabilità dei corpi, la distinzione tra liquidi e solidi, e la distinzione tra oggetti animati e inanimati.

Il tipico esperimento riguarda l'attenzione dedicata a tali fenomeni. Per esempio, si prende un bambino di pochi mesi e lo si abitua a vedere dei fogli con un certo numero di punti per esempio otto, con diverse disposizioni. Dopo l'abituazione, si presentano altri esempi dello stesso tipo, con sette o nove punti, oppure dei fogli con un numero molto diverso (per esempio 16) di punti. I bambini fissano per un tempo più lungo lo stimolo diverso dagli altri, manifestando sorpresa.

Esperimenti simili riguardano per esempio gruppi di tre oggetti che vengono prima mostrati, poi coperti e quindi rivelati. Se alla rivelazione gli oggetti sono diventati due o quattro, il bambino mostra sorpresa. In questa maniera si può determinare che bambini di pochi mesi sanno "contare" fino a cinque, o distinguere numerosità

knowledge: the ability to count up to small integers (3-5), the notion of intuitive numerosity (distinguishing between 8 and 16 points), the impenetrability of bodies, the distinction between liquids and solids, and the distinction between animate and inanimate objects.

The typical experiment concerns the measure of the attention devoted to these phenomena. For example, one takes a child a few months old, and get him used to seeing sheets of paper with a certain number (say 8) of points drawn, with different arrangements. After the habituation phase, other examples of the same type with seven or nine points, or sheets with a very different number (for example 16) of points are presented. Children, when facing a different stimulus, stare at it for a longer time, showing surprise.

Similar experiments concern for example groups of 3 objects that are first shown, then covered and then revealed. If the objects have become two or four, the child shows surprise. In this way we can determine that children of a few months can "count" up to five, or distin-

molto diverse tra loro, che si aspettano che gli oggetti solidi non si compenetrino eccetera (Hespos et al., 2012).

Questi esperimenti si possono fare anche con altri animali: per esempio un gatto che vede tre topolini entrare in un buco e due uscirne si mette in attesa dell'ultimo, cosa che non succede se entrano sei topolini e ne escono cinque.

In particolare, molti esperimenti sono stati fatti con pulcini appena usciti dall'uovo, che sono dei soggetti sperimentali molto interessanti perché "nascono adulti", con buona mobilità ma poca esperienza diretta del mondo. Inoltre, i pulcini sono predisposti all'*imprinting* verso la prima cosa mobile che vedono appena usciti dall'uovo, e a seguirla (con lo sguardo se impediti al movimento). In questa maniera si possono eseguire esperimenti sulle "aspettazioni" fisiche dei pulcini, per esempio che uno schermo troppo piccolo non può nascondere un oggetto grande, e così via (Chiandetti, Vallortigara, 2013).

Con gli insetti ovviamente gli esperimenti sono diversi, ma si sa che alcune vespe sanno contare il numero di bruchi paralizzati che immagazzinano per ogni uovo, e che le api possono essere addestrate a distinguere tra gruppi di punti di diversa numerosità (Vasas et al., 2019).

guish very different numbers, expect solid objects to not interpenetrate, etc. (Hespos et al., 2012).

These experiments can also be performed with other animals, for example a cat that sees three mice entering a hole and two coming out of it, puts itself in wait for the last one, something that does not happen if six mice enter and five come out.

In particular, many experiments have been done with chicks that have just hatched, which are very interesting experimental subjects since they are born "adults", with good mobility but little direct experience of the world. Moreover, the chicks are predisposed to get imprinted by the first mobile thing they see, and to follow it (with their eyes if they are prevented from moving). In this way experiments can be performed on the physical "expectations" of the chicks, for example that a screen that is too small cannot hide a large object, and so on (Chiandetti, Vallortigara, 2013).

With the insects obviously the experiments are different, but it is known that some wasps can count the num-

Una delle caratteristiche che più ci interessa qui è quello che riguarda la fisica intuitiva: bambini e pulcini si aspettano che i corpi pesanti cadano verso il basso, che una palla rotoli per un po' e poi si fermi, e così via. Ovvero che i corpi inanimati obbediscano alla "fisica di tutti i giorni", che vagamente assomiglia alla fisica aristotelica (McCloskey et al., 1983). In effetti, come fatto notare da Rovelli (2015), la fisica aristotelica è una corretta descrizione del moto se questo si svolge in un mezzo viscoso, come appunto accade normalmente.

La ragione evolutiva di tale "modulo fisico" intuitivo è probabilmente da associare alla necessità di distinguere velocemente tra oggetti inanimati, non pericolosi, e oggetti animati, da tenere sotto controllo.

L'esatta definizione della fisica intuitiva è ancora oggetto di studio, ma comunque alcuni suoi aspetti sono chiari:

- gli oggetti solidi non si dividono in due o più parti spontaneamente;
- gli oggetti solidi non si compenetrano. Se si appoggia un telo o un foglio su un oggetto, ci si aspetta che produca un rigonfiamento; viceversa, un rigonfiamento mostra che c'è qualcosa sotto;
- gli oggetti continuano a esistere anche se non si vedono, perché temporaneamente nascosti;

- se non sono trattenuti dalla parte inferiore o sospesi, gli oggetti cadono verso il basso;
- oggetti più pesanti cadono più velocemente di oggetti manifestatamente leggeri;
- gli oggetti si spostano in direzione della forza a loro applicata;
- in assenza di "motori" attivi, gli oggetti dopo un po' si fermano;
- le forze sono esercitate da soggetti attivi (viventi) in maniera intenzionale;
- le risposte sono lineari se è possibile percepire la quantità (doppia causa-doppio effetto); altrimenti sono analogiche (l'effetto è solo qualitativamente legato alla causa);
- bisogna sempre fare riferimento al caso tipico, non a quelli estremi.

Alcuni di questi elementi non sono peculiari della fisica, ma si possono identificare anche in altri contesti. Per esempio, Ramachandran ha elaborato una teoria della neuroestetica (le basi cognitive dell'esperienza estetica e artistica) partendo da principi di semplicità, per esempio che un punto di vista troppo particolare (come un paesaggio esattamente simmetrico) è innaturale, che un oggetto parzialmente nascosto è probabilmente composto da un solo pezzo e così via (Ramachandran, Hirstein, 1999).

ber of paralysed caterpillars that they store for each egg, and that bees can be trained to distinguish between groups of different number of points (Vasas, Chittka, 2019).

One of the features we are most interested in here is that of intuitive physics: children and chicks expect heavy bodies to fall down, a ball to roll for a while and then stop, and so on. That is, inanimate bodies obey the "everyday physics", which vaguely resembles Aristotelian physics (McCloskey, 1983). In fact, as noted by Rovelli (2015), Aristotelian physics is a correct description of motion if it takes place in a viscous medium, just as it normally happens.

The evolutionary reason for this intuitive "physical module" is probably associated with the need to quickly distinguish between inanimate, non-dangerous objects and animated objects, to be kept under control.

The exact definition of intuitive physics is still under study, but some aspects are clear:

- solid objects do not split spontaneously into two or more parts;

- solid objects do not interpenetrate. If one places a sheet on an object, it is expected to produce a bulge. Conversely, a bulge shows that there is something below;
- objects continue to exist even if they are not seen, when they are temporarily hidden;
- if not held by below or suspended, objects fall downwards;
- heavier objects fall faster than light objects;
- objects move in the direction of the force applied to them;
- in the absence of active "motors", inanimate objects stop after a while;
- forces are exerted by active (living) subjects in an intentional manner;
- all effects are linearly related to causes if it is possible to perceive the quantity (double cause causes double effect), otherwise they are analogical (the effect is only qualitatively linked to the cause);
- always refer to the typical case, not to the extreme ones.

LA TEORIA DEL DOPPIO PROCESSO DEL PENSIERO E LE EURISTICHE COGNITIVE

Un aspetto da tenere presente per analizzare le caratteristiche legate all'interpretazione dei fenomeni fisici è che si possono distinguere due modalità di pensiero, dette veloci e lente, intuitive e deliberate, associative e basate su regole, o semplicemente Sistema 1 e Sistema 2 (Kahneman, 2012).

Il Sistema 1 è inconsapevole, analogico (non conta se non con numeri piccoli o per numerosità apparente), rapido, sempre attivo. È il sistema che ci permette di eseguire i compiti di tutti i giorni, come anche, previo allenamento, compiti abbastanza complessi come guidare un'automobile e rispondere emotivamente a rumori eccetera. Il Sistema 1 si basa sul concetto di "euristica", ovvero di risposta stereotipata, semplice, economica e (generalmente) efficace, ma che non garantisce l'individuazione di una risposta normativamente corretta.

Il Sistema 2 invece è deliberato, lento e faticoso. Monitora l'attività del Sistema 1 e interviene inibendone la risposta automatica o quando questo non può risolvere un problema, per esempio perché c'è da usare una regola non

lineare del tipo "se... allora", o perché è necessario fare un calcolo complesso (per esempio, risolvere un integrale). Dato che usare il Sistema 2 è faticoso e richiede risorse, se non ne ha a sufficienza (per esempio, nei casi in cui il tempo per risolvere un problema è estremamente breve), ci si affida alla risposta proposta dal Sistema 1 senza fare verifiche.

Per esempio, la risposta sbagliata al test della figura 1 è un classico esempio di una euristica: "Ignora le differenze e agganciati a quello che conosci".

Un altro esempio semplice è il seguente: "In un negozio di sport c'è un'offerta eccezionale: una racchetta da ping pong e una pallina a soli 1,10 euro. Se la racchetta costa 1 euro più della pallina, quanto costa quest'ultima?"

Anche chi è più propenso a fare i calcoli, sente dentro di sé una vocina che dice "10 centesimi, 10 centesimi, 10 centesimi...". È il Sistema 1 che non sa fare i calcoli e chiama il Sistema 2, suggerendo però: "Perché sforzarsi? Insieme costano 1,10 e devi levare 1, resta il 10...".

Queste euristiche sono alla base di tanti "errori" incontrati nei compiti di fisica. Per esempio, in un problema viene descritto un moto composto da due parti: Un corridore percorre un tratto $d = 500$ m partendo e arrivando con velocità nulla, prima con un moto uniformemente

Some of these elements are not peculiar to physics but can also be identified in other contexts. For example, Ramachandran has developed a theory of neuroaesthetics (the cognitive bases of aesthetic and artistic experience) starting from principles of simplicity, for example that a too particular point of view (like an exactly symmetrical landscape) is unnatural, that an object partially hidden is probably composed of a single piece, and so on (Ramachandran, Hirstein, 1999).

THE DUAL PROCESS THEORY OF THOUGHT AND COGNITIVE HEURISTICS

An aspect to keep in mind to analyze the characteristics related to the interpretation of physical phenomena is that we can distinguish two modes of thought, called fast and slow, intuitive and deliberative, associative and rule-based, or simply System 1 and System 2 (Kahneman, 2012).

System 1 is unconscious, analogical (not able to count, except when dealing with small numbers or by means of the intuitive numerosity), fast, always active. It is the system that allows us to perform everyday tasks, as well as, after training, perform complex tasks such as driving a car and responding emotionally to noise, etc. System 1 is based on the concept of "heuristic", that is, a stereotyped and effortless answer, simple and (generally) effective, even if not able to guarantee a normative response.

System 2, on the other hand, is deliberate, slow and tiring. It monitors System 1 activity inhibiting, if necessary, the automatic response of the latter. System 2 is also involved when System 1 cannot solve a situation, for example because one must use a non-linear rule such as "if... then", or to make a complex calculation (i.e., solving an integral). If System 2 does not have enough resources (for example, in time-constrained tasks), we rely on System 1 solution, even if it is perhaps wrong. Since using System 2 is tiring, we often adopt the response proposed by System 1 without making checks.

accelerato con accelerazione $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ e poi con un moto uniformemente decelerato con accelerazione (negativa) $a_2 = 3 \text{ m/s}^2$. Trovare il tempo impiegato.

Un approccio semplice è: Dato che le accelerazioni non sono molto diverse, supponiamo che faccia metà percorso con una accelerazione e metà con l'altra. Oppure dato che $2 + 3 = 5$, farà i primi 200 m con accelerazione $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ e gli altri 300 con decelerazione $a_2 = 3 \text{ m/s}^2$.

Infine, bisogna tenere presente che il Sistema 1 è composto da tanti processi, alcuni sempre attivi, altri richiamati "in azione" a catena. Per esempio, un processo sempre attivo è legato all'attenzione al movimento: se qualcosa si muove (come per esempio un topo), anche al di fuori dell'area visiva cosciente, l'attenzione viene immediatamente diretta all'agente (la "coda dell'occhio"). Similmente, gli occhi sono elementi attivamente ricercati, anche al di fuori dell'area visiva cosciente: sarà capitato a tutti di avere la sensazione di essere osservati, e di girarsi di scatto sorprendendo qualcuno intento a fissarci. Non si tratta di "sesto senso", ma solo di processi inconsapevoli, che analizzano gli elementi, per esempio a seguito di saccadi (Hoffman, Subramaniam, 1985), che non vengono presentati al processo cosciente.

La gran parte dei processi del Sistema 1 viene attivata a catena da altri "schemi" o *script*. Questo è particolarmente evidente nel sistema visivo: la quantità di informazioni che giunge dall'apparato visivo è troppo grande per poterla processare (almeno in maniera conscia), quindi viene brutalmente filtrata dai processi inconsci prima di essere passata al Sistema 2. Un bell'esempio è dato dalla *change blindness* o *motion silencing illusion*, in cui un *pattern* che cambia colore e contemporaneamente ruota non può essere completamente acquisito, per cui il cervello si limita a "ruotare" il *pattern* già presente in memoria, silenziando i cambiamenti (figura 2) [(Suchow, Alvarez, 2011).

Se poi siamo impegnati in un compito particolare, come cercare qualcosa o seguire qualche azione animata, questo filtraggio è ancora più accentuato. Così, se ci focalizziamo nella ricerca di un *pattern* (le chiavi di casa, gli occhiali), possiamo passare davanti all'oggetto senza "vederlo" solo perché abbiamo cambiato da poco il portachiavi, o ignorare oggetti anche cospicui presenti nella scena (*selective attention test* o il gorilla invisibile) (Cabris, Simons, 2011).

Infine, mentre il Sistema 2 è seriale, il Sistema 1 è parallelo, il che vuole dire che più schemi, anche contrastanti, possono essere attivati contemporaneamente, e an-

Figura 2

Motion silencing

(video: <https://youtu.be/IjMV5TFVX10>).

(da Suchow JW, Alvarez GA. *Motion silences awareness of visual change*. *Curr Biol* 2011; 21(2): 140-3; © 2011 psc Elsevier).

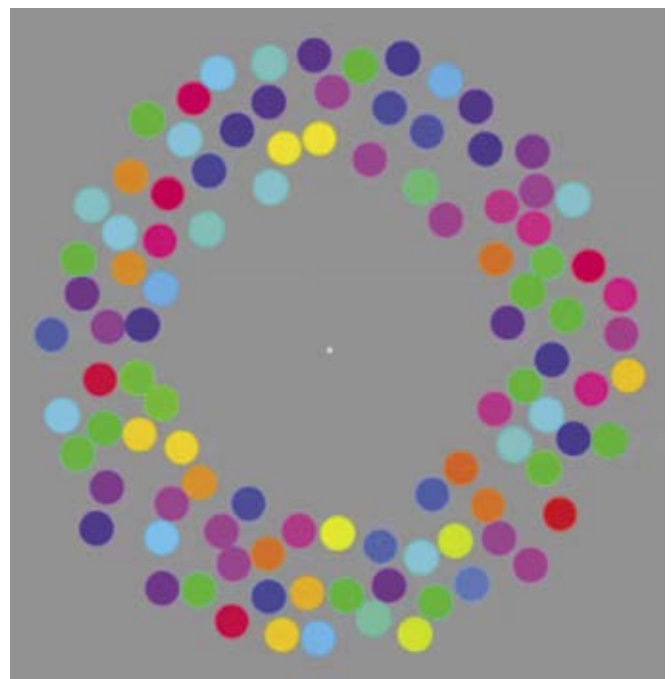


Figure 2

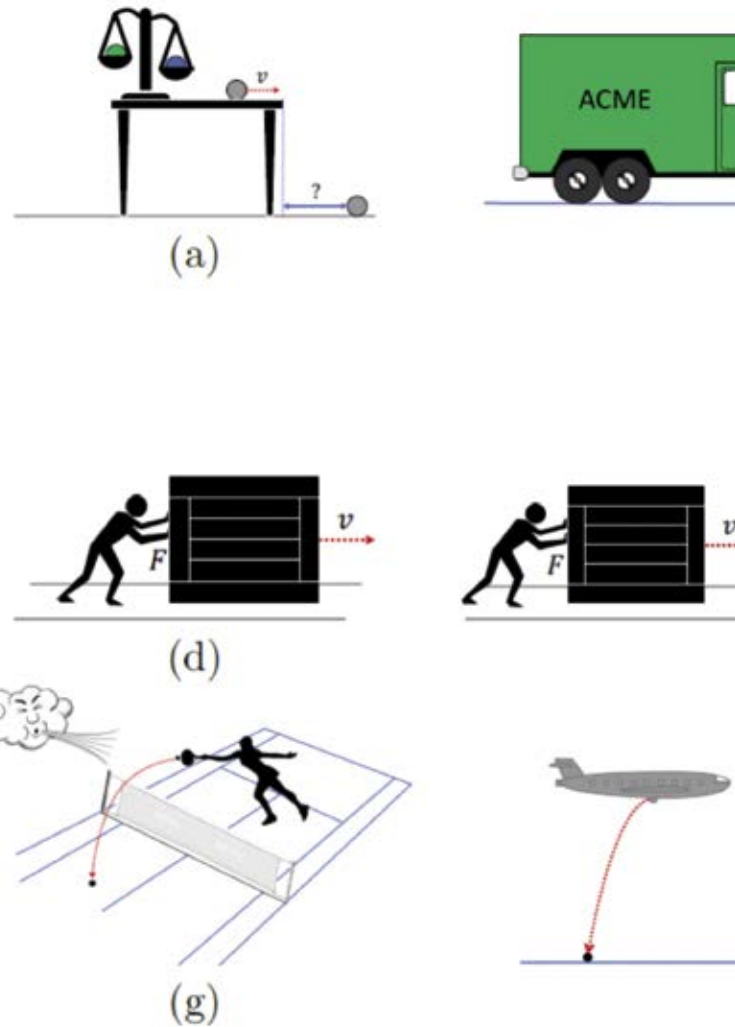
Motion silencing

(video: <https://youtu.be/IjMV5TFVX10>).

(from Suchow JW, Alvarez GA. *Motion silences awareness of visual change*. *Curr Biol* 2011; 21(2): 140-3; © 2011 with permission from Elsevier).

Figura 3

Alcune delle immagini che accompagnano il Force Concept Inventory test nella versione dell'Università di Firenze.



che richiamare il Sistema 2, sempre che questo non porti a un conflitto. Questa attivazione porta a comportamenti “schizofrenici”, come rivelato da interviste (DiSessa, 1982) e anche da molti esami orali: gli studenti possono sostenere un concetto e subito dopo il concetto opposto, in funzione dello “stimolo” ricevuto.

Però questa è anche la base per l'apprendimento della fisica: dato che non possiamo eliminare il modulo di fisica intuitiva, possiamo però allenare degli schemi che praticamente implementino lo script “Occhio che la risposta veloce è probabilmente sbagliata, sentiamo cosa dice il Sistema 2”.

Ovviamente, perché tali concetti in opposizione possano mantenersi, devono avere causato nel passato una azione positiva (rinforzo), oppure possono semplicemente essere frutto di generalizzazioni che non sono state smentite dall'esperienza.

Questa “convivenza degli opposti” è probabilmente alla base del comportamento “quasi quantistico” dei processi cognitivi (Busemeyer, Bruza, 2012) e del successo della prassi del *peer instruction*.

For example, the wrong answer to the test in figure 1 is a classic example of a heuristic: Ignore differences and anchor to what you know.

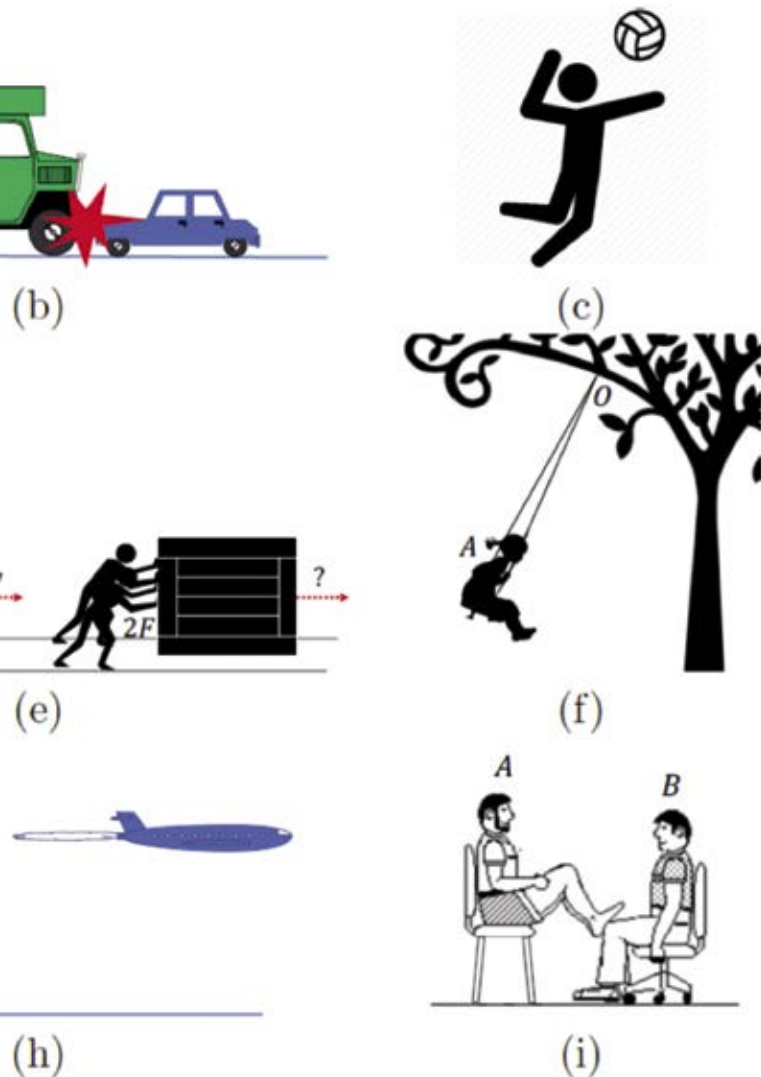
Another simple example is the following: at your preferred sports shop there is an exceptional offer: a ping pong racket and a ball at only 1.10 Euros. If the racket costs 1 Euro more than the ball, how much does the ball cost?

Even those who are more inclined to do the calculations, feel within themselves a little voice that says “10 c, 10 c, 10 c...” It is System 1 that does not know how to do the calculations and calls the System 2, suggesting however: together they cost 1.10 and you must take away 1, remains the 10...

These heuristics are at the base of so many “errors” encountered in physics tasks, for example, a problem concerning composite motion is the following: A runner runs a length $d = 500$ m starting and arriving with zero speed, first with a uniformly accelerated motion with acceleration $a_1 = 2$ m/s² and then with a uniformly decel-

erated motion with acceleration (negative) $a_2 = 3$ m/s². Find the time needed. A simple approach is: Given that the accelerations are not very different, let's say that it takes half the path with an acceleration and half with the other. Or since $2 + 3 = 5$, he will make the first 200 m with acceleration $a_1 = 2$ m/s² and the other 300 with deceleration $a_2 = 3$ m/s².

It must be kept in mind that the System 1 is composed of many processes, some always active, others called “in action” in chain. For example, a process that is always active is related to the attention to movement: if something (such as a mouse) moves, even outside the conscious visual area, the attention is immediately directed to the agent (the “tail of the eye”). Likewise, eyes are actively sought-after elements, even outside the conscious visual area: everybody happened to have the feeling of being observed, and, turning abruptly, discovered someone staring at him. This is not a “sixth sense”, but only an unconscious process, which analyze the environment, for example using saccades (Hoff-


Figure 3

Some of the images accompanying the Force Concept Inventory test in the Florence University version.

FORCE CONCEPT INVENTORY

Il *Force Concept Inventory* è uno strumento molto usato per mettere in evidenza le carenze delle conoscenze di meccanica di base degli studenti, a livello sia liceale sia universitario. Si tratta di un insieme di quiz su cinematica e leggi di Newton, formulati con un linguaggio di tutti i giorni (Hestenes et al., 1992).

Il test mira a sondare le conoscenze relativamente a moti accelerati, caduta di gravi, effetto delle forze e terza legge di Newton o azione-e-reazione. Ecco alcuni degli errori più comuni (che non sono sempre maggioritari, almeno per gli studenti dell'Università di Firenze):

- la forza viene confusa con l'inerzia: un oggetto si muove finché viene “sospinto” da una forza, dopodiché “torna” al suo logo naturale, per dirla in termini aristotelici (figure 3c, 3f, 3g);
- le forze causano spostamenti nella direzione in cui sono orientate e viceversa;
- i corpi più pesanti cadono più velocemente, ma perdono più velocemente la velocità iniziale (la palla più pe-

man, Subramaniam, 1995), which are not presented to the conscious part.

Most of the processes of the System 1 are chain activated by other “schemes” or “scripts”. This is particularly evident in the visual system: the amount of information coming from the visual apparatus is too large to be processed (at least consciously), so it is brutally filtered by unconscious processes before being passed to the System 2. A fine example is given by the “change blindness” or “motion silencing illusion”, in which a pattern that changes color and simultaneously rotates cannot be completely acquired, so the brain simply “rotates” the pattern already in memory, silencing the changes (Suchow, Alvarez, 2011).

If we are then engaged in a task, like searching for something or following some animated action, this filtering is even more accentuated. So, if we focus on finding a pattern (house keys, glasses), we can pass in front of the object without “seeing” it just because we have recently changed the keychain, or ignoring even con-

spicuous objects in the scene (“selective attention test” or “the invisible gorilla”; Charis, Simons, 2011).

While System 2 is serial, System 1 is parallel, which means that more patterns, even contrasting ones, can be activated at the same time, and call System 2, as long as this does not lead to a conflict. This activation leads to “schizophrenic” behaviours, as revealed by interviews (DiSessa, 1982) and also by many oral exams: students can support a concept and immediately after the opposite concept, depending on the “stimulus” received.

But this is also the basis for learning physics: since we cannot eliminate the intuitive physics module, we can, however, train patterns that practically implement the script: “Watch out, that the fast response is probably wrong, pay attention to what System 2 says”.

Obviously, in order for these concepts in opposition to stay active, they must have caused a positive action in the past (reinforcement), or they can simply be the result of generalizations that have not been denied by experience.

- sante arriva prima a terra, ma meno lontano quando cade dal tavolo con una velocità iniziale orizzontale; figura 3a);
- si confondono i punti di vista: una palla che cade da un aereo, vista da un osservatore fermo, va “indietro” non solo rispetto all’aereo (per attrito dell’aria) ma addirittura rispetto al punto di partenza (figura 3h);
 - per muoversi, anche a velocità costante, la forza dev’essere maggiore della resistenza (figura 3d) e se si aumenta la forza aumenta la velocità limite (figura 3e). Il problema qui è che la resistenza di attrito non aumenta con la velocità, diversamente da quanto accade nei fluidi;
 - lo stesso problema (il moto su un piano orizzontale) può avere risposte diverse secondo l’orientamento;
 - il terzo principio della dinamica è quello meno compreso: la forza è proporzionale al danno potenziale (figura 3b) o è collegata all’intenzionalità (figura 3i).
- Come sottolineato da Rovelli (2015), molte di queste *misconception* sono molto simili alla concezione aristotelica della fisica, ovvero sono consistenti con l’esperienza del moto di oggetti in un fluido fortemente viscoso, il che spiegherebbe perché oggetti più pesanti vanno più veloci (e intuitivamente sono “attratti di più” dalla Terra), per-

ché il moto sia nella direzione della forza (la velocità e l’energia cinetica vengono rapidamente dissipati), perché ci si aspetta sempre una velocità limite, proporzionale alla forza (Halloun, Hestenes, 1985).

Nel prossimo paragrafo si discuteranno gli aspetti legati all’*embodiment*, che permettono di spiegare altri errori legati alle forze. Quello che però è da sottolineare è che questo test viene proposto in genere sia prima che gli studenti seguano un corso di fisica, sia dopo che hanno passato l’esame. Ebbene, anni di esperienza mostrano che l’incremento nel punteggio del test è in genere vicino al 15-25%, a livello sia liceale sia universitario. Solo nel caso in cui gli argomenti del corso vengano discussi tra pari o con gli insegnanti, la percentuale di miglioramento sale a quasi il 50% (Hake, 1998).

Nell’anno accademico 2018-2019 il test è stato somministrato, solo all’inizio del corso, a vari studenti di circa trenta corsi di laurea dell’Università di Firenze, collezionando quasi 300 risposte (la maggioranza nei corsi di ingegneria). Nonostante il 47% venga da un liceo scientifico e il 30% da un istituto tecnico, scuole superiori dove si studia fisica approfonditamente, la distribuzione del punteggio, riportata nella figura 4, non è incoraggiante, la media è di soli dieci punti su trenta.

This “coexistence of opposites” is probably the basis of the “quasi-quantum” behaviour of cognitive processes (Busemeyer, Bruza, 2012) and is the basis for the success of the “peer instruction” practice.

THE FORCE CONCEPT INVENTORY

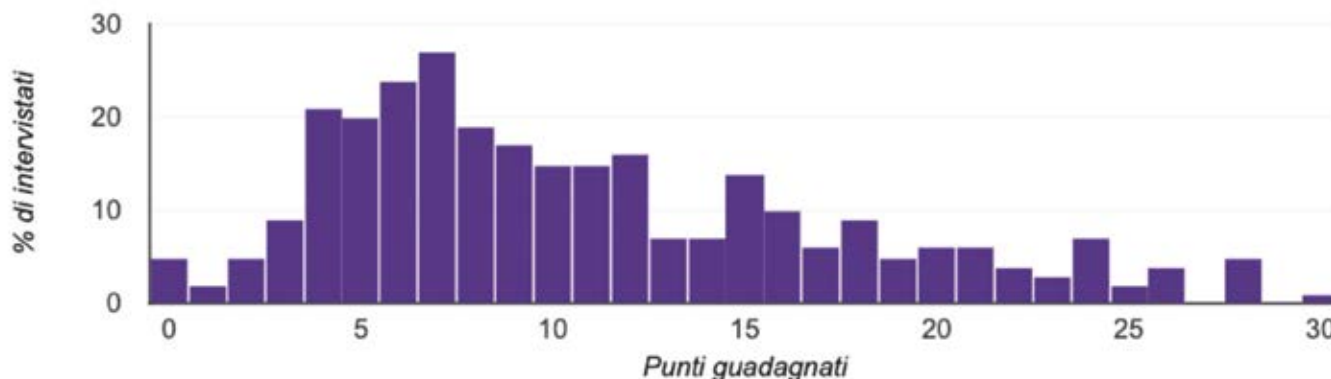
The Force Concept Inventory is a widely used tool to highlight the shortcomings of basic mechanical knowledge of students, both at the high school and university level. It is a set of quizzes on kinematics and Newton’s laws, formulated in an everyday language (Hestenes et al., 1992).

The test aims to probe the knowledge of accelerated motions, falling bodies, force effects and Newton’s third law or action-and-reaction. Here are some of the most common errors (which are not always the majority, at least for Florence University students):

- the force is confused with inertia: an object moves until it is “pushed” by a force, then “returns” to its natural logo, to put it in Aristotelian terms (figures 3c, 3f, 3g);

- the forces cause displacements in the direction in which they are oriented and vice versa;
- the heavier bodies fall faster, but they lose the initial speed faster (the heavier ball arrives first on the ground, but less distant when it falls from the table with a horizontal initial speed; figure 3a);
- the points of view are confused: a ball falling from an airplane, seen by a stationary observer, goes “back” not only with respect to the plane (due to air friction) but even with respect to the starting point (figure 3h);
- to move, even at a constant speed, the force must be greater than the resistance (figure 3d) and if the force is increased the limit speed increases (figure 3e). The problem here is that the friction resistance does not increase with the velocity, differently from what happens in fluids;
- the same problem (the motion on a horizontal plane) can have different answers depending on the orientation;

Distribuzione dei punti totali

**Figura 4**

Distribuzione dei voti del Force Concept Inventory test all'Università di Firenze. Il punteggio massimo è trenta punti.

Figure 4

Score of Force Concept Inventory test at the University of Florence. The maximum score is thirty points.

EMBODIMENT

Molti dei problemi legati all'apprendimento della fisica hanno a che fare con la confusione dei termini, tra cui in particolare quello di forza. Noi siamo legati alla nostra esperienza corporea e per noi la forza è legata allo sforzo muscolare. Inoltre, come mostrano le ricerche sui neuroni specchio (Rizzolatti, Craighero, 2004), noi sfruttiamo la "mappatura" delle azioni sul nostro corpo per capire l'intenzionalità di un atto osservato. Quindi, non è da meravigliarsi se colleghiamo istintivamente la forza all'intenzionalità, così che se vediamo uno studente spingere un altro premendo la mano sulla schiena o sulla spalla, attribuiamo la forza solo al primo. Viceversa, se due stu-

denti si spingono vicendevolmente premendo le mani dell'uno contro quelle dell'altro, allora la forza viene attribuita a entrambi.

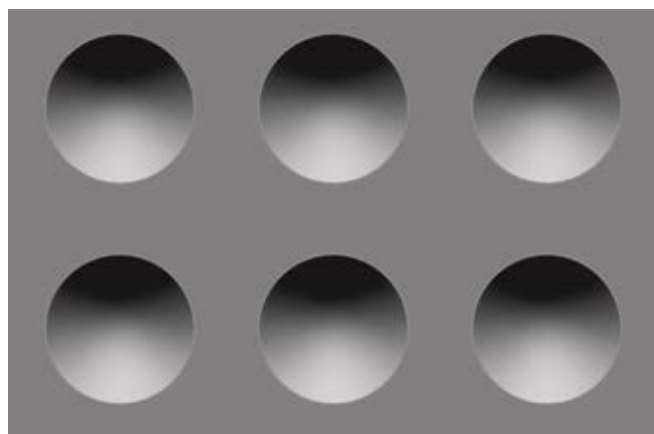
Infine, un altro elemento particolarmente importante è legato alla nostra abitudine di vedere il mondo in senso verticale, con la luce che cade dall'alto. Questo per esempio ci causa una profonda sensazione di tridimensionalità in immagini di per sé bidimensionali, come quella rappresentata nella figura 5. Se l'immagine viene capovolta, gli incavi si tramutano in protuberanze, dato che ci aspettiamo che la luce venga dall'alto.

Infine, un aspetto molto interessante è legato alla scansione destra-sinistra, che associamo istintivamente allo scorrere del tempo. Si potrebbe pensare che questa associazione

- the third principle of dynamics is the least understood: the force is proportional to the potential damage (figure 3b) or is connected to intentionality (figure 3i).

As pointed out by Rovelli (2015), many of these misconceptions are very similar to the Aristotelian conception of physics, i.e., they are consistent with the experience of the motion of objects in a highly viscous fluid, which would explain why heavier objects go faster (and intuitively they are "more attracted" by the Earth), so that motion is in the direction of force (speed and kinetic energy are quickly dissipated), because a limit speed is always expected, proportional to the force (Halloun, Hestenes, 1985).

In the next Section we will discuss the aspects related to the embodiment, which allow to explain other errors related to forces. However, what must be emphasized is that this test is generally offered both before and after students take a course in physics, and after they have passed the exam. Well, years of experience show that the increase in the test score is generally close to 15%-25%,

**Figura 5**

L'illusione della "padella per muffin": le protuberanze e gli incavi si scambiano se la figura viene girata.

Figure 5

The "muffin pan" illusion: bumps and the grooves are reversed if the figure is turned.

sia legata al senso della nostra scrittura, ma esperimenti con i pulcini mostrano che non è così. Nella fase di training si pone un contenitore contenente cibo in una certa posizione in una fila “uscente” rispetto al soggetto. Nella fase di test invece il pulcino si trova di fronte una fila posta perpendicolarmente di fronte a lui. Il cibo viene cercato di preferenza nel contenitore che, partendo da destra, corrisponde a quello che conteneva il cibo nella fase di test partendo da quello più vicino, ovvero il “vicino-lontano” viene mappato sul “destra-sinistra” (Chiandetti, Vallortigara, 2013).

L'ILLUSIONE DELLA PROFONDITÀ ESPLICATIVA E L'ILLUSIONE DELLA CONOSCENZA

Un aspetto cruciale che influenza lo studio in tutte le sue forme (e che probabilmente si può fare risalire all'influenza del Sistema 1 sul Sistema 2) riguarda l'illusione della profondità esplicativa e l'illusione della conoscenza (Sloman, Fernbach, 2017). L'illusione della profondità esplicativa fa riferimento alla nostra tendenza a sovrastimare la nostra comprensione dei fenomeni e oggetti che ci circondano. Se si domanda a qualcuno quanto stimi la

sua conoscenza su qualche aspetto tecnologico usato tutti i giorni (oppure temi di discussione politica), per esempio su come funziona lo sciacquone del bagno, è probabile che la risposta sia molto positiva. Quando poi viene chiesto di descrivere accuratamente il funzionamento del sistema in oggetto, il soggetto si rende conto di aver di molto sopravvalutato le proprie conoscenze.

Questo ovviamente vale anche per gli esami. Se si domanda a uno studente quanto pensa di prendere a un compito scritto che ha appena consegnato, è probabile che si ricevano stime della valutazione molto più alte di quanto poi venga ottenuto. Del resto, accade anche a noi insegnanti: di fronte alla prospettiva di passare alcune ore a preparare la lezione, viene spesso il pensiero: “Ho già fatto questa lezione l'anno scorso, vuoi che non mi ricordi come si fa?”, con l'implicita assunzione che il tempo risparmiato venga più piacevolmente usato per qualcos'altro.

L'illusione della profondità esplicativa è strettamente legata all'illusione della conoscenza, ovvero la tendenza a non distinguere tra ciò che sappiamo in quanto singoli individui e ciò che sappiamo in quanto membri di una comunità (ovvero ciò che sanno le persone che ci circondano); da ciò consegue la sovrastima della conoscenza individuale. Infatti, noi umani tendiamo a considerare “no-

both at high school and university level. Only if the topics of the course are discussed among peers or with the teachers, the percentage of improvement rises to almost 50% (Hake, 1998).

In the year 2018-2019 the test was administered, only at the beginning of the course, to various students of about 30 undergrad courses at the University of Florence, collecting almost 300 responses (the majority in engineering courses). Even though 47% come from a scientific high school and 30% from a technical institute, high schools where physics is studied in depth, the distribution of the score, shown in figure 4, is not encouraging, the average is only ten points out of thirty.

EMBODIMENT

Many of the problems related to the learning of physics have to do with the confusion of terms, including that of force. We are linked to our body experience, and for us the force is linked to muscular effort. Further-

more, as shown by the research on mirror neurons (Rizzolatti, Craighero, 2004), we exploit the “mapping” of actions on our body to understand the intentionality of an observed act. Therefore, it is not surprising if we instinctively connect force to intentionality, so that if we see one student pushing another by pressing his hand on his back or shoulder, we attribute the force only to the first. Conversely, if two students push each other by pressing the hands of one against those of the other, then the force is attributed to both.

Another particularly important element is linked to our habit of seeing the world vertically, with the light falling from above. This for example causes us a deep feeling of three-dimensionality in images that are in themselves two-dimensional, like the one represented in Fig. 5. If the image is turned upside down, the grooves turn into protuberances, since we expect the light to come from above.

Finally, a very interesting aspect is linked to the right-left scan, which we instinctively associate with the passing

stra” anche la conoscenza del gruppo. Una variabile critica di questo fenomeno è l’accessibilità delle conoscenze: siamo vittima di questa illusione se le persone che ci circondano sono accessibili (ovvero se sono disposte a condividere la loro conoscenza con noi). Se a un soggetto viene semplicemente detto che gli scienziati sanno ormai tutto del funzionamento di una cellula o di una reazione nucleare (senza dare ulteriori dettagli), e poi gli/le viene chiesto di stimare la propria conoscenza dell’oggetto, otteniamo punteggi più alti rispetto al caso in cui al soggetto viene detto che gli scienziati hanno compreso tutto, ma non possono diffondere queste conoscenze perché coperte da un segreto militare.

ATTENZIONE E RIFLESSIONE

Un aspetto poco considerato nella modalità di erogazione della conoscenza è poi il meccanismo dell’attenzione rispetto alla riflessione.

Per cominciare, non molti studi hanno misurato il livello di attenzione durante una lezione, il che permetterebbe di calibrare meglio le pause, o anche di modulare la lezione inserendo elementi di sorpresa. Ma l’aspetto più importante riguarda la modalità di fruizione di una lezione.

Come si può vedere nella figura 6, l’attività del sistema nervoso autonomo di uno studente (o di qualsiasi altra

Figura 6

Monitoraggio del livello di attività cerebrale di uno studente durante una settimana.

(© 2010 IEEE. Riprodotta con autorizzazione da Poh M-Z, Swenson NC, Picard RW.

A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2010; 57(3): 1243-52).

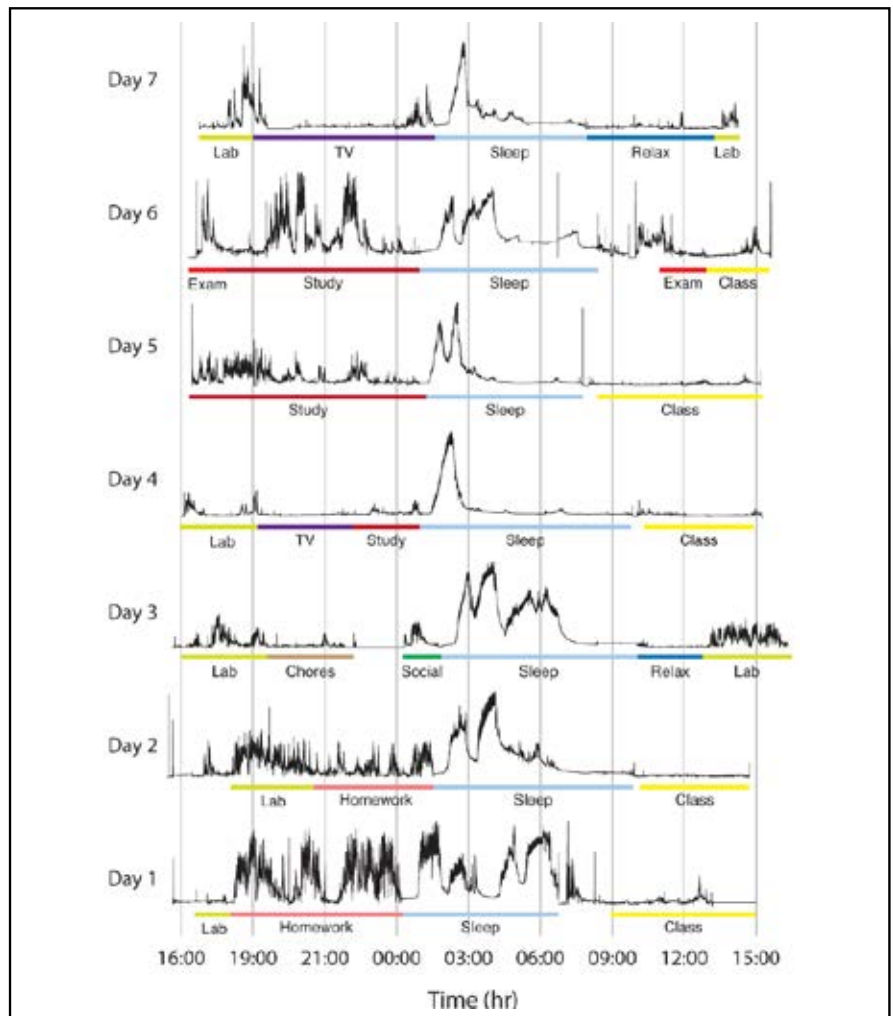


Figure 6

Monitoring a student’s brain activity level during a week.

(© 2010 IEEE. Reprinted with permission, from Poh M-Z, Swenson NC, Picard RW.

A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2010; 57(3): 1243-52).

persona) misurata sulla base delle variazioni della conduttanza cutanea (attività elettrodermica, EDA) è molto varia. L'EDA è un indice di attivazione emotiva, cognitiva e attentiva. Si osserva che il sistema è molto attivo durante lo studio, i compiti a casa, le attività sociali e quelle rilassanti, anche il sonno (anzi, è uno dei periodi di maggiore intensità). Gli unici momenti in cui l'attività scende vicino a zero sono quando si guarda la TV e... quando si è in classe.

In effetti in questi due casi si è in una modalità di “assorbimento e memorizzazione”, in cui non c'è alcuno spazio per la riflessione e l'elaborazione delle informazioni. Come sottolinea Mazur durante i suoi seminari, la domanda più intelligente che uno studente potrebbe fare durante una lezione è: “Professore, potrebbe stare zitto per cinque minuti? Vorrei pensare a quello che ha appena detto”.

Sarebbe molto utile poter capire quando interrompere una lezione per lasciare riflettere gli studenti. Da questo punto di vista, sarebbe molto meglio erogarla in video, così che i fruitori possano fermarla quando vogliono. Ma d'altra parte, l'illusione della conoscenza (e la conseguente spinta a seguire) funziona solo quando si partecipa insieme a un'attività comune.

of time. One might think that this association is linked to the European direction of writing, but experiments with chicks show that even in this case a container containing food, which in the training phase was placed in a certain position “going away” from respect to the subject, is made to correspond to the container placed in the same position from right to left, when the row is presented in the “horizontal” direction (Chiandetti, Vallortigara, 2013).

THE ILLUSION OF EXPLANATORY DEPTH AND THE KNOWLEDGE ILLUSION

A crucial aspect that influences the study in all its forms (and that can probably be traced back to the influence of System 1 on the System 2) is the illusion of explanatory depth and the knowledge illusion (Sloman, Fernbach, 2017). If one asks a subject how much he/she estimates his/her knowledge on some technological aspect used every day (or a political hot topic), for example on

PEER INSTRUCTION

Una possibile soluzione è quella di ribaltare completamente lo schema dell'insegnamento. In fondo, se la fase di elaborazione delle informazioni è quella in cui si discute, e se l'erogazione funziona meglio in video, perché ripetere, anno dopo anno, lo stesso spettacolo (la lezione)? Forse è meglio dedicare le ore in classe alla discussione, invitando gli studenti a documentarsi da soli (o in gruppo) sul libro o, appunto, usando una video-lezione registrata.

Queste sono grosso modo le ragioni che hanno portato a sviluppare il concetto della *flipped classroom* o *peer instruction* (Mazur, 1997; Crouch, Mazur, 2001; Fagen et al, 2002; Crouch et al., 2007; Roehl et al., 2013; Bishop, Verleger, 2013). Secondo questa modalità, la classe è il luogo della discussione e della verifica. Per esempio, si possono dividere gli studenti in gruppi, e porre loro un problema che deve essere prima risolto individualmente, e poi discusso in gruppo, cercando di arrivare ad una risposta comune (e che sia quella giusta). Dato che il voto del test deriva da una combinazione di valutazione della risposta individuale e di quella di gruppo, conviene a tutti farsi convincere da chi dimostra di aver ottenuto la risposta seguendo la prassi corretta.

how the toilet flush works, it is likely that the answer is very positive. When the subject is then asked to accurately describe the functioning of the system in question, he/she realizes his/her greatly overestimation of own knowledge.

This obviously also applies to exams. If one asks a student how much he/she estimates his/her marks on a written assignment just consigned, it is likely that the expectations are much higher than the actual mark. Moreover, this also happens to us teachers: faced with the prospect of spending a few hours preparing the lesson, we often think: “I have already done this lesson last year, I am sure I remember it”: with the implicit assumption that the saved time is more pleasantly used for something else.

The illusion of explanatory depth is strictly related to the knowledge illusion. The latter consists in not distinguishing between what we know as individuals and what we know as members of a community (that is, what the people around us know), hence the overestimation of individual knowledge. In fact, we humans tend to consider the knowledge of the group as “ours”. A critical variable

Figura 7

La famosa scena dell'allenamento di Luke Skywalker da parte di Yoda in "Il ritorno dello Jedi" (1983, Lucas Film).

**Figure 7**

The famous scene with Luke Skywalker trained by Yoda in the "Return of the Jedi" (1983, Lucas Film).

of this phenomenon is the accessibility of the knowledge: we are victims of this illusion if people around us are accessible (or if they are willing to share their knowledge with us). When a subject is told that scientists now know everything about the functioning of a cell or a nuclear reaction (without giving any further details), and then he/she is asked to estimate his/her own knowledge about the object, we observe higher scores than in the case where the subject is told that the scientists have understood everything but cannot share their knowledge because it is covered by a military secret.

ATTENTION AND REFLECTION

A little considered aspect in the modality of supply of knowledge is then the mechanism of attention with respect to reflection.

To begin with, not many studies have measured the level of attention during a lesson, which would allow to better calibrate the breaks, or even to modulate the les-

son by inserting elements of surprise. But the most important aspect concerns the way a lesson is used.

As you can see in figure 6, the Autonomic Nervous System (ANS) activity of a student (or any other person) measured by changes in skin conductance at the surface (electrodermal activity, EDA) is very varied. EDA reflects sympathetic arousal associated with emotion, cognition, and attention. The system is very active during study, homework, social and relaxing activities, even sleep (indeed, it is one of the periods of greatest intensity). The only moments when the activity drops close to zero are when one watches the TV and... when he/she is attending a lecture.

In fact, in these two cases we are in a "absorption and memorization" mode, in which there is no space for reflection and information processing. As Mazur points out during his seminars, the most intelligent question a student could ask during a lesson is: "Professor, could you shut up for five minutes? I would like to think about what you just said".

Il metodo della *peer instruction* ha sicuramente un aspetto molto interessante. Come sottolineato da DiSessa (1982), gli studenti in realtà non seguono in maniera organica una teoria sbagliata, come potrebbe essere quella aristotelica o quella dell'impeto medioevale (McCloskey, 1983), quanto piuttosto un insieme eterogeneo di concetti, elicitati dal contesto narrativo (euristiche, schemi). È piuttosto difficile per un insegnante riuscire a "divinare" queste interpretazioni "originali" della fisica, e quindi controbatterle in modo da indebolire la loro attivazione. Viceversa, il miglior insegnante per questo scopo è lo studente che ha appena capito come usare il metodo giusto, ma è ancora abbastanza "fresco" di ignoranza (per così dire) da capire quale è la ragione dell'errore del compagno.

Purtroppo, la *peer instruction* non è di facile applicazione nel nostro sistema universitario, con classi di centinaia di alunni e pochi esercitatori. Una possibile soluzione potrebbe essere quella (in fase di sperimentazione) di chiedere agli alunni di rispondere a delle domande in forma aperta, in modo da "catturare" l'eterogeneità dei processi elaborativi usati, e quindi classificare e utilizzare queste risposte in quiz a scelta multipla, da erogare immediata-

mente dopo (o durante) la lezione utilizzando i tanto amati telefonini o dei *clicker*.

LE "DIMOSTRAZIONI" E LA MAGIA

Per finire, è importante sottolineare il ruolo delle "dimostrazioni" o esperimenti di fisica. Purtroppo in genere non abbiamo né il tempo né la possibilità di portare gli studenti in laboratorio, ma questo non giustifica l'approccio prevalentemente deduttivo-matematico usato in genere nell'insegnamento della fisica.

Questo approccio, che confonde la fisica con la matematica, porta da una parte al disamoramento verso la prima, che viene vista come "una matematica più difficile, con regole non certe", e poi allontana i concetti fisici, imparati in maniera razionale, dalla "percezione" della fisica nella realtà. Ovvero, come dice sempre Mazur, spesso gli studenti che svolgono il *Force Concept Inventory*, domandano: "Devo rispondere come lei ci ha insegnato, o come io penso avvenga veramente nella realtà?".

It would be very useful to be able to understand when to interrupt a lesson to let the students think. From this point of view, it would be much better to deliver the lesson in video, so that the attendees can stop it whenever they want. But on the other hand, the illusion of knowledge (and the consequent stimulus to follow the lesson) works only when one participates together in a common activity.

PEER INSTRUCTION

A possible solution is to completely overturn the teaching scheme. After all, if the information processing phase is the one in which we discuss, and if the delivery works better on video, why repeat, year after year, the same show (the lesson)? Perhaps it would be better to dedicate the hours in class to the discussion, inviting students to read up on their own (or in groups) the book or using a recorded lesson.

These are roughly the reasons that led to developing the concept of the "flipped classroom" or "peer instruc-

tion" (Mazur, 1997; Crouch, Mazur, 2001; Fagen et al., 2002; Crouch et al., 2007; Roehl et al., 2013; Bishop, Verleger, 2013). In this modality, the class is the place for discussion and verification. For example, one can divide the students into groups, and pose them a problem that must first be solved individually, and then discussed in the group, trying to arrive at a common answer (and the right one). Since the mark of the test derives from a combination of the individual and group responses, it is convenient for everyone to be convinced by those who demonstrate that they have obtained the answer following the correct practice.

The peer instruction method certainly has a very interesting aspect. As pointed out by DiSessa (1982), the students do not actually follow a wrong theory in an organic way, as could be the Aristotelian or the medieval one [4], but rather a heterogeneous set of concepts, prompted by the narrative context (heuristics, schemes). It is rather difficult for a teacher to be able to "divine" these "original" interpretations of physics, and therefore

Da questo punto di vista, gli esperimenti classici “da laboratorio di esperienze didattiche” non servono a molto, dato che sono troppo artificiali e lontano dall’esperienza di ogni giorno. Come notato da molti insegnanti: “We doubt that a demonstration can be effective unless it is performed in a context that elicits and helps to resolve conflicts between common sense and specific scientific concepts” (Halloun, Hestenes, 1985).

Come si può ovviare? In primo luogo, usando dei video, cercati per esempio da YouTube o fatti appositamente (anche con il telefonino), analizzati per esempio usando Tracker (Brown, 2009). Si possono per esempio analizzare video sportivi (Gómez et al., 2013) o immagini e spezzoni di film (Allen, 2015).

Oppure si possono effettuare semplici esperimenti in classe, usando materiali di tutti i giorni, così che gli studenti possano facilmente replicarli da soli (Bagnoli, 2017; 2018).

In particolare, sarebbe oltremodo importante confrontare i risultati dei calcoli su un certo esercizio, con la realizzazione “fisica” di tale esercizio, in modo da confermare che il modello usato effettivamente costituisce una buona

approssimazione della realtà. Filmando la caduta di un grave e verificando che la legge oraria è, in buona approssimazione, quella di una parabola, come descritto dalla fisica. Si possono anche fare delle misure istantanee, in classe, con il telefonino, usando per esempio l’applicazione Phyphox (Staacks, 2017).

Una delle modalità che si è dimostrata particolarmente duratura nella memoria degli studenti è quella di introdurre le dimostrazioni come se fossero trucchi magici, associando una narrazione ed effetti sorprendenti (Bagnoli, 2017; Bagnoli et al., 2018). In questa maniera si possono anche effettuare dimostrazioni relative al comportamento dei fluidi, un argomento spesso trascurato e considerato accessorio, ma che, come abbiamo detto, costituisce la base della fisica aristotelica (Rovelli, 2015).

Non è da trascurare l’idea di utilizzare il computer come strumento di simulazione, per esempio per integrare le equazioni del moto di un pianeta, magari usando strumenti semplici come NetLogo (Wilensky, 1999).

Infine, suggeriremmo l’uso massiccio dei disegni nella risoluzione dei problemi in classe, fino a proporre di risolvere i problemi solo per via grafica. Per cominciare,

to counter them in order to weaken their activation. Conversely, the best teacher for this purpose is the student who has just figured out how to use the right method but is still quite “fresh” in ignorance (so to speak) to understand what the origin for the companion’s error is.

Unfortunately, peer instruction is not easy to apply in our university system, with classes of hundreds of students and few tutors. A possible solution could be (in the experimental phase) to ask the students to answer questions in an open form, in order to “capture” the heterogeneity of the processing processes used, and then classify and use these answers in multiple-choice quizzes, to be delivered immediately after (or during) the lesson using the beloved (by students) mobile phones or clickers.

PHYSICS DEMONSTRATIONS AND THE MAGIC

Finally, it is important to emphasize the role of “demonstrations” or physics experiments. Unfortunately, in

general we have neither the time nor the opportunity to bring students into the laboratory, but this does not justify the predominantly deductive-mathematical approach generally used in teaching physics.

This approach, which confuses physics with mathematics, leads on the one hand to disaffection with the first, which is seen as “a more difficult mathematics, with uncertain rules”, and then increases the distance between the physical concepts, learned in a rational way, and the “perception” of physics in the reality. As Mazur again says, often the students who carry out the Force Concept Inventory ask should I answer using what you taught us, or as I do think it really happens?”.

From this point of view, the classic “laboratories of didactic experiences” are of little use, since they are too artificial and far from the experience of everyday life. As noted by many teachers: “We doubt that a demonstration can be effective unless it is performed in a context that helps and resolve conflicts between common sense and specific scientific concepts” (Halloun, Hestenes, 1985).

fornirebbe agli studenti un modo per verificare la correttezza qualitativa e semi/quantitativa dell'elaborato, e inoltre può essere molto utile per evitare di prendere "fischi per fiaschi".

CONCLUSIONI

L'apprendimento della fisica è spesso percepito come un accumulo di nozioni e di derivazioni matematiche. In effetti, in ben pochi libri si cercano di mettere in evidenza i metodi da usare per affrontare un problema, come effettuare esperimenti per confermare le ipotesi, o i possibili errori in cui si può incappare. Nel caso della fisica la situazione è ancora peggiore, dato che i concetti (e i metodi) proposti confliggono con i moduli della "fisica intuiti-

How can it be remedied? First, using videos, found on YouTube or made specifically (even with a mobile phone), analysed for example using Tracker (Brown, 2009). One can analyse sport videos (Gómez et al., 2013), or images and clips from movies (Allen, 2015).

Or one can perform simple experiments in the classroom, using everyday materials, so that students can easily replicate them at home (Bagnoli, 2017, 2018).

In particular, it would be extremely important to compare the results of the calculations on a certain exercise, with the "physical" realization of the same exercise, so to confirm that the model used actually constitutes a good approximation of reality. For example, filming the fall of a body and verifying that the law it follows is, to a good approximation, a parabola, as described by physics. One can also perform measurements, in the classroom, with the mobile phone, for example using the Phyphox application (Staacks, 2017).

One of the ways that has proved to be particularly lasting in the students' memory is to introduce the demonstrations as if they were magic tricks, associating a narration and surprising effects (Bagnoli, 2017; Bagnoli et al, 2018). In this way it is also possible to carry out

va", conoscenze di origine probabilmente genetica su come ci si deve aspettare che il mondo si comporti.

Il nostro sistema cognitivo è razionale solo apparentemente: normalmente usiamo delle regole euristiche (dette Sistema 1), che sono facili, automatiche e poco faticose, invece di usare il Sistema 2, quello razionale, che è lento e faticoso.

Da ciò deriva che l'aspetto più importante da tenere presente durante l'insegnamento è che l'apprendimento della fisica è in realtà in gran parte costituito dal "disapprendimento" delle associazioni intuitive, o quanto meno dalla loro "contestualizzazione".

Non si può eliminare la conoscenza della fisica intuitiva, che è quella che ci aiuta a sopravvivere, ma, come insegnanti, abbiamo lo scopo di "indebolire" le associazioni automatiche, promuovendo l'insorgenza di un "campa-

demonstrations related to the behaviour of fluids, a topic often overlooked and considered accessory, but which, as we have said, constitutes the basis of Aristotelian physics (Rovelli, 2015).

The idea of using the computer as a simulation tool, for example to integrate the equations of motion of a planet, perhaps using simple tools like NetLogo (Wilensky, 1999) is not to be overlooked.

Finally, we would suggest the massive use of drawings in solving problems in the classroom, to the point of proposing to solve problems only through graphics. To begin with, it would provide students with a way to verify the qualitative and semi-quantitative correctness of the elaborate, and it can also be very useful to avoid "barking up the wrong tree".

CONCLUSIONS

The learning of physics is often perceived as an accumulation of notions and mathematical derivations. In fact, in very few books we find the highlight of the methods to be used to deal with a problem, how-to-carry-on experiments to confirm hypotheses, or the possi-

nello di allarme” che dica: “Attenzione che la soluzione proposta dal Sistema 1 è probabilmente sbagliata. Esamina il problema da più parti, studia i casi limite, fai (o immagina) un disegno, semplifica e getta via il superfluo...”.

Un approccio che in genere non seguiamo regolarmente neppure noi insegnanti.

Franco Bagnoli

Dipartimento di Fisica e Astronomia
Università degli Studi di Firenze
franco.bagnoli@unifi.it

Giorgio Gronchi

Dipartimento Neurofarba
Università degli Studi di Firenze
giorgio.gronchi@unifi.it

ble errors in which we can run into. In the case of physics, the situation is even worse, given that the proposed concepts (and methods) conflict with the modules of “intuitive physics”, of probably genetic origin, on how the world should be expected to behave.

Our cognitive system is only apparently rational: normally we use heuristic rules (called System 1), which are easy, effortless and automatic, instead of using System 2, the rational one, which is slow and tiring.

From this it follows that the most important aspect to keep in mind when teaching is that the learning of physics is largely constituted by the “un-learning” of intuitive associations, or at least by their “contextualization”.

We cannot eliminate the knowledge of intuitive physics, which is what helps us to survive, but, as teachers, we aim to “weaken” the automatic associations, promoting the onset of an “alarm bell” that says: Pay attention that the solution proposed by System 1 is probably wrong. Examine the problem from many sides, study limit cases, make (or imagine) a drawing, simplify and throw away the superfluous...

An approach that even we teacher do not normally follow.

Allen R. I used physics to calculate how much Yoda weighs. *Wired* 2015.

Bagnoli F. Il taccuino del Dr. Watson ovvero: dove si nasconde la fisica nella vita di tutti i giorni. Sesto Fiorentino (FI): Apice libri, 2018.

Bagnoli F, Guarino A, Pacini G. Teaching physics by magic. *Physics Education* 2018; 54(1): 015025.

Bagnoli F. 20 lezioni di fisica e magia. *Giornale di Fisica* 2017; 58(3): 173-94.

Bishop JL, Verleger MA. The flipped classroom: A survey of the research. *ASEE national conference proceedings* 2013; 30: 1-18.

Brown D. Tracker, video analysis and modeling tool. 2009.

Bussemeyer J, Bruza P. Quantum models of cognition and decision. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2012.

Chabris C, Simons D. The invisible gorilla: how our intuitions deceive us. New York (NY): Broadway Paperbacks, 2011.

Chiandetti C, Vallortigara G. The origins of physics, number and space cognition: Insights from a chick's brain. *Human Evolution* 2013; 28(1-2): 1-12.

Crouch CH, Mazur E. Peer instruction: Ten years of experience and results. *Am J Phys* 2001; 69(9): 970-7.

Crouch CH, Watkins J, Fagen AP, Mazur E. Peer instruction: Engaging students one-on-one, all at once. *Research-based reform of university physics* 2007; 1(1): 40-95.

continual/continue...



The screenshot shows the website for 'pH' magazine, which focuses on 'L'inesauribile fascino della fisiologia'. The page features a navigation menu with links for Home, Rivista, Servizi, Archivi, Case Studies, and Contatti. A search icon is visible in the top right corner. The main content area is titled 'Bibliografia' and contains the text: 'All'indirizzo www.phmagazine.it è disponibile la bibliografia completa.' Below this, there is a 'References' section with the text: 'The complete bibliography is available at www.phmagazine.it (English version).' The website logo 'edi-ermes' is also present in the top right corner.