

sciencemagazine

LA SCIENZA IN CLASSE

06
MAGGIO 2015

© Dennis Kunkel/ Microscopy, Inc./Visuals Unlimited/Corbis



ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Il nascondiglio di HIV

di Donato Ramani

2

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Nuove sfide per LHC

di Paolo Magliocco

17

IDEE E STRUMENTI PER INSEGNARE

Fotosintesi, prima e dopo

di Vincenzo Guarnieri

6

13

LIBRI

A lezione di matematica con Italo Calvino

di Francesca E. Magni

ESPERIENZE DI CLASSE

Pi greco e Aleph a teatro

di Caterina Vicentini

21

ESPERIENZE DI CLASSE

Ict e making? Un gioco da ragazze

di Tiziana Moriconi

25

Il nascondiglio di HIV

di **Donato Ramani**

Dove si nasconde il genoma del virus HIV, dopo essere entrato nella cellula? Lo ha scoperto un gruppo di ricercatori dell'ICGEB di Trieste. E il racconto di questo percorso di ricerca offre spunti originali per affrontare in classe la biologia cellulare e molecolare con un aggancio all'attualità.



Hashim Ali, Bruna Marini e Marina Lusic, dell'équipe del professor Mauro Giacca

Gli hanno dato la caccia grazie a tecniche raffinate, un gran lavoro e una buona dose di intuito. A guidarli una massima che si è rivelata azzeccata: “A volte, le cose sono più semplici di come immagineremmo”. Così, i ricercatori del gruppo di medicina molecolare guidato da Mauro Giacca all'ICGEB (Centro internazionale per l'ingegneria genetica e le biotecnologie) di Trieste sono riusciti ad arrivare a un risultato molto importante nella ricerca su HIV, il virus

responsabile dell'AIDS: l'hanno stanato: hanno cioè capito dove nasconde il suo genoma all'interno del nucleo della cellula. Si tratta di un traguardo senza precedenti – premiato con una pubblicazione sulla rivista scientifica Nature – che da un lato apre nuove prospettive di ricerca, dall'altro mette in luce, ancora una volta, l'estrema efficienza con la quale il parassita ottimizza il processo di infezione, eclissandosi in un posto tanto banale quanto scaltro: proprio dietro la porta attraverso cui è entrato.

I "POSTI CALDI" PREFERITI DA HIV

È Bruna Marini, biologa e prima autrice di questo lavoro, a raccontare i dettagli della scoperta: «Quando il virus HIV infetta un linfocita T, cellula del sistema immunitario che rappresenta il suo bersaglio, il suo primo compito è raggiungere il nucleo della cellula stessa, dov'è contenuto il materiale genetico. Qui il genoma virale, che è a RNA, viene trascritto in DNA e integrato nei cromosomi dell'ospite». In questo modo diventa impossibile estirparlo, essendo ormai parte integrante del DNA cellulare. Dalla sua nuova posizione, inoltre, il genoma virale può cominciare a sovrintendere alla produzione di nuovi virus che, usciti dalla cellula, continueranno a infettare l'organismo. I ricercatori si sono chiesti a lungo se, in questo processo, il genoma virale finisce per inserirsi in zone particolari e specifiche del genoma ospite. «In effetti sì, lo fa: preferisce zone che chiamiamo hot spots» spiega Marini. «Se andiamo a cercare il genoma virale in una cellula infettata, lo troveremo proprio in questi "posti caldi". Il problema è che, finora, non si riusciva a capire cosa avessero di speciale questi posti: non si trovavano elementi che li accomunassero, né ragioni particolari perché dovessero essere preferiti dal virus.» Ci si concentrava sulle caratteristiche di queste sequenze di DNA, sulla loro possibile funzione, ma, racconta Marini, non era quello il modo giusto per venire a capo del problema.

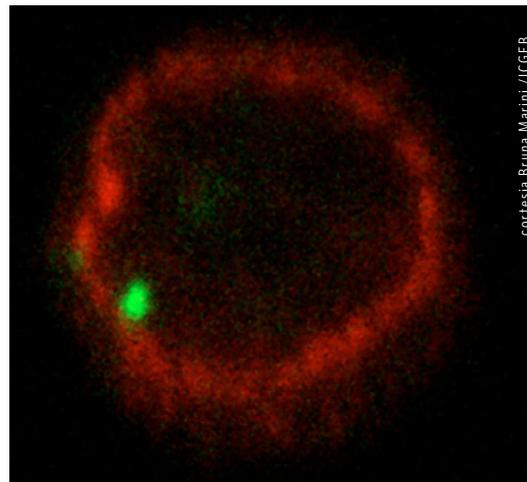
UNA SOLUZIONE SEMPLICE E FUNZIONALE

«A volte, nella ricerca ci si ostina su cose complicate perdendo di vista le spiegazioni più semplici.

Il genoma di HIV, una volta entrato attraverso i pori nucleari – veri e propri canali che attraversano la membrana del nucleo e servono per lo scambio di materiali con il citoplasma cellulare – si piazza, banalmente, nel primo posto disponibile. Ovvero, quello più vicino al poro stesso.» La metafora che i ricercatori del gruppo di Giacca utilizzano per spiegare il comportamento del virus è quella dell'ingresso al cinema, a film già iniziato: appena entrati in sala tendiamo a occupare le prime sedie disponibili. Conferma Marini: «Il genoma virale si comporta allo stesso modo.

I cromosomi nel nucleo occupano posizioni precise, in un'architettura definita. Gli hot spots nei quali si inserisce il DNA di HIV non sono altro che le parti di cromosoma più vicine ai pori di ingresso. Per il virus è una strategia semplice e funzionale». Se il suo genoma dovesse permanere a lungo nel nucleo, infatti, rischierebbe di essere danneggiato o di attivare meccanismi di risposta all'infezione. Nascondendosi subito, proprio dietro al cancello

di ingresso, le possibilità di essere scoperto e annientato diminuiscono drasticamente. Ma non è tutto: «La posizione scelta dal virus è favorevole anche per una seconda ragione. Una volta integrato, sullo stampo del DNA virale vengono prodotte moltissime copie di RNA, dalle quali avranno origine tutte le componenti del virus, che si trasferiscono nel citoplasma per cominciare il processo di produzione di nuove particelle infettive. Stare vicino all'uscita dal nucleo rende il loro viaggio molto più agevole».



cortesia Bruna Marini / ICGEB

La sezione di un nucleo di linfocita T umano infettato con HIV. In verde è marcato il genoma virale, e in rosso i pori nucleari che appaiono come un anello corrispondente alla membrana nucleare

LA RICERCA, PASSO PER PASSO

Per arrivare a queste informazioni, Marini e colleghi hanno proceduto utilizzando una tecnica di analisi chiamata FISH (Fluorescent in situ hybridization), che permette di visualizzare la localizzazione di particolari sequenze di DNA sui cromosomi, grazie a "sonde" marcate con molecole fluorescenti. «Per prima cosa – spiega in dettaglio la ricercatrice – abbiamo spezzettato in provetta un genoma virale e ad ogni frammento abbiamo "legato" una molecola fluorescente che funziona come una bandierina di segnalazione. Così abbiamo creato quelle che in gergo sono chiamate sonde.» Il passo successivo è stata la preparazione delle cellule infettate dal virus, provenienti da sangue di pazienti, sulle quali condurre l'analisi. Tra i trattamenti, c'è un processo di riscaldamento che porta all'apertura della doppia elica dei cromosomi, così che quando questi vengono messi in contatto con le sonde – che sono a singolo filamento – si ha l'appaiamento di eventuali sequenze complementari. «In pratica, se nei cromosomi si è integrato del genoma virale, le sonde lo riconoscono in maniera specifica e vi si legano.» Infine, le cellule trattate e depositate su un vetrino sono state osservate grazie a un microscopio confocale a fluorescenza, che

permette di visualizzare in maniera molto precisa strutture intracellulari: «Le sonde legate al DNA virale integrato nei cromosomi, rese visibili grazie alle molecole fluorescenti, si potevano ammirare come dei pallini verdi» spiega Marini. «La cosa interessante è che tutti questi pallini erano in corrispondenza dei pori nucleari.» Ecco svelato il mistero.

UN LAVORO LUNGO E IMPEGNATIVO

Spiegare una ricerca conclusa con successo fa apparire tutto come un procedimento lineare e di ridotta complessità. Cosa che, evidentemente, non è. L'intera procedura ha richiesto una quantità elevatissima di esperimenti e più di 4 anni di lavoro. Conferma Marini: «Il processo sembra abbastanza facile, ma è invece delicatissimo, occorre porre un'attenzione incredibile in ogni parte, soprattutto per non alterare in alcun modo le strutture cellulari. In ogni passaggio qualcosa può andare storto e il risultato si vede solo alla fine. Questo significa che, se si è fatto un errore, emerge troppo tardi e si buttano via dieci giorni di lavoro. Quante volte abbiamo ripetuto l'esperimento? Ho perso il conto, comunque tantissime.»

DALLA RICERCA DI BASE ALLE POSSIBILI APPLICAZIONI

Quali potranno essere le possibili ripercussioni di questa ricerca? Spiega Marini: «Questa è una scoperta di base, che non ci dà armi dirette contro il virus. Ma certamente più cose si sanno sul suo funzionamento, sul suo cammino nella cellula e sulla sua riproduzione, maggiori



credit: la Bruna Marini / ICGEB

Un microscopio confocale

saranno le possibilità di sbarrargli la strada, con possibili terapie mirate». Per esempio, nell'ambito di questa stessa ricerca, gli studiosi hanno scoperto che anche la struttura del poro nucleare – che è composta da molecole chiamate nucleoporine – aiuta in qualche modo l'azione del virus: infatti, modificandola, HIV si riproduce in maniera meno efficace: «Questo fa pensare che ci sia un qualche tipo di contatto tra il virus e le strutture del poro. I particolari non li conosciamo, ed è troppo presto per fare previsioni, ma in uno scenario futuro, studiare un modo per bloccare questa interazione potrebbe essere una via da percorrere per lo sviluppo di un nuovo approccio terapeutico. In queste ricerche si ragiona a piccoli passi. Ognuno di essi, però, è fondamentale per arrivare a un risultato più grande». ●

PER APPROFONDIRE

- B. Marini *et al.*, *Nuclear architecture dictates HIV-1 integration site selection*, in *Nature*, 2 marzo 2015.
- D. Ramani, *Al lavoro con cuori e molecole. Intervista a Mauro Giacca*, in *Linx Magazine*, n.15, aprile 2013, p. 4. link.pearson.it/C7597EB7
- Le analisi cromosomiche, materiale didattico di CusMiBio. link.pearson.it/EB19E96D

Donato Ramani

è giornalista e project manager del Master in comunicazione della scienza Franco Pratico della SISSA di Trieste.

Si occupa di formazione in comunicazione scientifica e scrive per diverse testate di scienza e non solo.



Nuove sfide per LHC

di **Paolo Magliocco**

Dopo due anni di pausa tecnica, l'acceleratore di particelle più grande al mondo è stato riaperto. Ma che cosa è successo alla "macchina" in questo periodo di pausa e che cosa ci aspettiamo dai nuovi dati sperimentali? Un articolo per fare il punto della situazione, in attesa di nuove scoperte.



Maximilien Brice/CERN

Dopo due anni, al CERN si apre una nuova stagione

Dopo due anni di stop, LHC è stato riaperto. L'acceleratore di particelle del Cern, la più grande (e più costosa) macchina mai costruita dall'uomo, sta per ricominciare a fornire dati dai quali gli scienziati di tutto il mondo si aspettano grandi novità. Dopo aver provato l'esistenza del bosone di Higgs, potrebbe ora dare le prime conferme a teorie ancora prive di verifica sperimentale o invece (come sperano alcuni)

produrre risultati inattesi, che costringano a rivedere le teorie stesse e addirittura a formularne di nuove.

UN'ENERGIA SEMPRE PIÙ ALTA

LHC è una macchina estremamente interessante, non solo per la fisica che "produce", ma anche per la fisica che utilizza per il proprio funzionamento. Il lavoro fatto in questi due anni in cui l'acceleratore

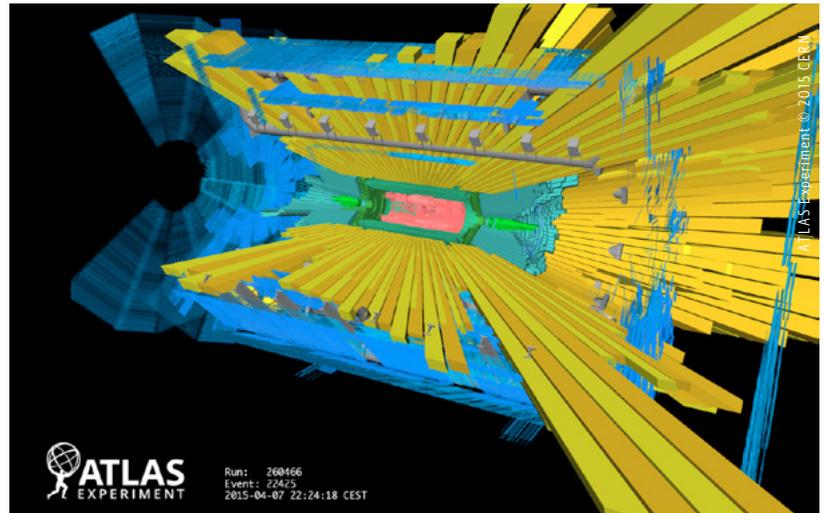
è rimasto spento è stato molto importante. Ricordiamo che LHC è un anello sotterraneo lungo quasi 27 chilometri in cui fasci di protoni corrono in tondo, in direzioni opposte, facendo 11 245 giri al secondo: una velocità molto vicina a quella della luce. Quando i protoni raggiungono la massima energia, vengono fatti scontrare. Nel 2012 LHC ha raggiunto la massima potenza di 8 TeraelettronVolt (TeV), facendo scontrare due fasci contrapposti di protoni, ciascuno con energia di 4 Tev. Per sperare di osservare nuove particelle sconosciute, è necessario aumentare ancora l'energia delle collisioni. LHC è ora in grado di raggiungere 13 TeV di energia totale – 6,5 per ciascuno dei due fasci di protoni – con un aumento di oltre il 60 per cento della potenza. Per ottenere questo risultato bisogna per prima cosa aumentare l'energia fornita alle particelle, facendo passare i protoni più volte ancora negli apparecchi che, a ogni giro, danno loro una piccola spinta in più. Inoltre, bisogna fare in modo che le particelle continuino a viaggiare nella direzione giusta, circolando in tondo nell'anello senza mai “uscire di strada”.

PROTONI IN RIGA

Per mantenere la direzione (leggermente curva) dei protoni, LHC utilizza 1232 magneti che, con i loro fortissimi campi magnetici, assolvono a questo compito di “guida”. I magneti riescono a produrre campi così forti perché sono realizzati con materiali superconduttori, che non dissipano energia. Tutta l'energia fornita contribuisce quindi a creare il campo magnetico, con il risultato che questo è molto più forte rispetto a quello che verrebbe creato con un materiale come il rame. Perché il materiale di cui sono fatti i magneti acquisti la superconduttività, è però necessario che venga tenuto appena al disopra dello zero assoluto (1,9 K°). Se la temperatura salisse, anche di pochissimo, la superconduttività cesserebbe e i magneti improvvisamente rilascerebbero grandi quantità di energia. È quello che successe nel 2008, bloccando LHC per oltre sei mesi. Ebbene, 15 di questi magneti sono stati sostituiti con altri ancora più potenti e sono stati rivisti e migliorati oltre 10 000 collegamenti tra magneti, per evitare ogni dispersione. Inoltre, sono stati sostituiti 3 dei magneti che hanno il compito di avvicinare il più possibile tra loro i protoni: più i protoni sono vicini, più aumentano le probabilità di collisioni tra i due fasci che corrono in direzioni opposte. I fisici sperimentali definiscono questa proprietà come “luminosità”, poiché è come se aumentasse la luce di cui dispongono per vedere le particelle create dagli scontri.

GRANDI ASPETTATIVE, POCHE CERTEZZE

Grazie alle collisioni delle particelle nell'acceleratore, i fisici stanno realizzando molte ricerche diverse. Infatti, quando due particelle si scontrano succedono moltissime cose, a partire dal fatto che danno origine a una pioggia di altre particelle che si trasformano rapidamente una nell'altra. Vediamo le ricerche principali che si stanno conducendo in LHC.



Visualizzazione di una collisione vista da ATLAS

NUOVE INFORMAZIONI SUL BOSONE DI HIGGS

Nel 2012 i dati raccolti dai rilevatori ATLAS e CMS hanno concordemente indicato che all'energia di 125 GeV ($125,09 \pm 0,24$ GigaelettronVolt) appare una particella elementare. Tale particella è compatibile con le caratteristiche previste dalla teoria per il bosone di Higgs, ovvero il quanto di energia del campo di Higgs, che fornisce una massa a tutte le altre particelle. Il bosone di Higgs era l'unica particella non ancora osservata tra quelle previste dal Modello Standard, ovvero la teoria che, oggi, descrive nel modo più completo e preciso come sia fatta la materia che ci circonda e come funzionino le forze che la governano: poche particelle elementari, sedici in tutto, e solo la forza di gravità lasciata fuori dal modello, in attesa di una spiegazione che riesca a comprendere anche lei. Il bosone di Higgs era la sedicesima particella, l'ultima della quale dovesse essere provata sperimentalmente l'esistenza. Ora, grazie alle collisioni a livelli di energia più elevati, sarà possibile veder apparire un maggior numero di queste particelle e così studiare meglio le loro caratteristiche. Il punto più affascinante è capire come il bosone di Higgs interagisca con le altre particelle e con se stesso. È molto importante verificare se le sue proprietà coincidano con quelle previste dalla teoria (come è successo fino ad ora).

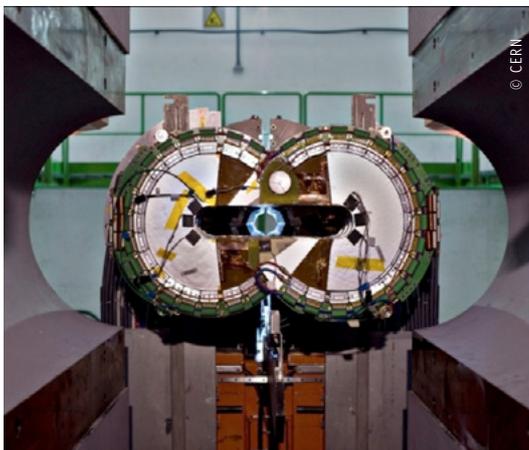
A CACCIA DI NUOVE PARTICELLE

Aumentando l'energia delle collisioni, potrebbero apparire nuove particelle. Come già è avvenuto per il bosone di Higgs, non esiste alcuna indicazione teorica precisa sulla massa di queste particelle.

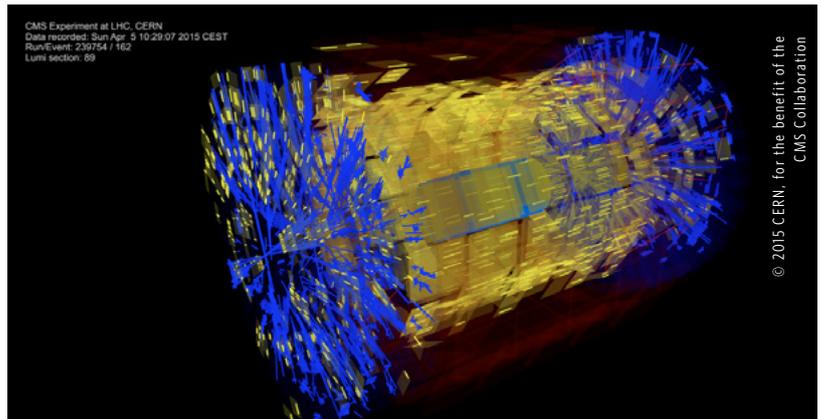
Dunque, non è certo che le energie raggiunte siano sufficienti per rivelarle, ammesso che esistano. Tuttavia, i fisici si aspettano di trovare nuove particelle sconosciute, per esempio perché la massa di nuove particelle potrebbe aiutare a spiegare la ragione per la quale nell'Universo la forza di gravità è molto maggiore di quella prevista in base alla massa di materia che conosciamo. Gli astrofisici hanno fatto e rifatto i calcoli e sono sicuri che sia così: la materia che conosciamo, quella che vediamo con i nostri telescopi, cioè quella che interagisce con la luce e le altre forme in cui si manifesta la forza elettromagnetica, è troppo poca per giustificare la forza di gravità. L'ipotesi è che esista una forma di materia dotata di massa (che quindi interagisce con il bosone di Higgs) ma invisibile (che non interagisce con il campo elettromagnetico): la cosiddetta materia oscura. Le particelle che formano la materia oscura potrebbero essere anche parte di nuovi modelli teorici. Il più noto è il modello della supersimmetria, che prevede l'esistenza di particelle analoghe a quelle conosciute, diverse per la massa e alcune caratteristiche, come lo spin.

LA "ZUPPA" DOPO IL BIG BANG

Il Modello Standard prevede che le particelle come i protoni e i neutroni siano composti da quark, tenuti insieme da altre particelle chiamate gluoni. La forza nucleare forte tiene quark e



Un braccio di un rivelatore TOTEM T2 durante l'installazione



Collisione rilevata da CMS nell'aprile del 2015

I SEI ESPERIMENTI

Nel linguaggio dei fisici sperimentali, un esperimento identifica tanto la macchina che lo realizza, quanto la ricerca che grazie a questa macchina viene condotta. Così ATLAS e CMS, i due esperimenti per la ricerca di nuove particelle, sono in effetti due giganteschi rivelatori, capaci di vedere un gran numero di particelle diverse tra quelle che sono prodotte dallo scontro dei protoni: muoni, fotoni ecc. Attorno a LHC sono stati realizzati sei esperimenti, ci sono quindi sei rivelatori che registrano dati del tutto o in parte differenti per cercare di verificare ipotesi scientifiche diverse. Vediamoli, uno per uno.

ATLAS E CMS

Sono i due esperimenti più grandi, come dimensioni degli apparecchi e come risultati che possono ottenere. Sono loro ad aver "visto" il bosone di Higgs. Grazie ai loro rivelatori possono individuare molte delle particelle prodotte dalle collisioni. Infatti il bosone di Higgs, come altre particelle elementari, non può essere visto direttamente, poiché ha una vita troppo breve: vengono rivelate invece le particelle in cui decade. Per questo sono ATLAS e CMS che potrebbero rivelare nuove particelle.

ALICE

È l'esperimento che osserva le collisioni tra interi nuclei atomici, anziché tra particelle come i protoni. Nuclei pesanti, come il piombo, contengono molti protoni e neutroni (il piombo ne ha tra 204 e 208). Quando si scontrano ad altissima energia, protoni e neutroni dovrebbero lasciar scappare i quark e i gluoni che si trovano al loro interno. In termini più tecnici, i fisici del Cern si aspettano di osservare una transizione della materia nello stato di plasma di quark e gluoni. In termini più semplici, per la prima volta si dovrebbe capire come si comportano quark e gluoni quando non sono stretti insieme a formare la materia ordinaria.

LHC-b

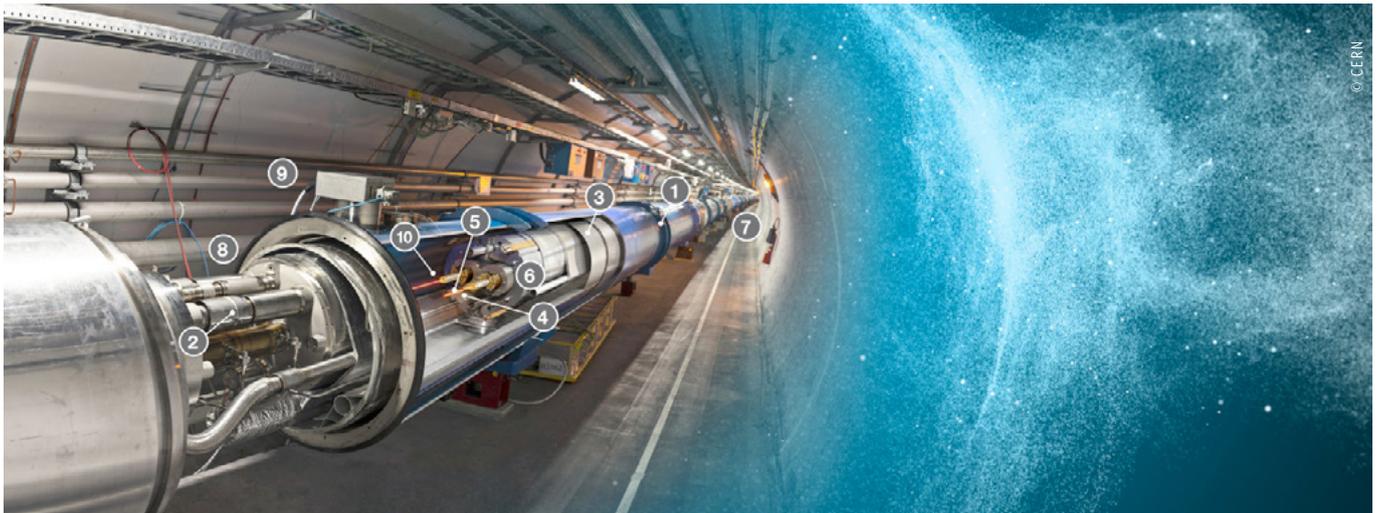
Questo esperimento cerca di vedere particelle di materia e antimateria prodotte dalle collisioni tra protoni e di capire come si comportino. L'idea è che materia e antimateria debbano avere qualche piccola differenza di comportamento e che da questa differenza derivi il fatto che la materia sia più abbondante dell'antimateria. Per riuscire a cogliere le differenze, LHC-b studia solo alcune particelle, i mesoni Bs. In effetti, è già stata rilevata una differenza nel modo in cui mesoni Bs di materia e mesoni Bs di antimateria decadono, ossia si trasformano in altre particelle.

LHC-f

È l'esperimento più piccolo di LHC e studia la produzione e l'interazione di alcune particelle neutre prodotte dalle collisioni. È molto particolare, perché il suo rivelatore si trova a ben 140 metri di distanza dal punto in cui le particelle si scontrano. Il suo lavoro serve a comprendere il comportamento delle particelle cosmiche quando attraversano la nostra atmosfera e dunque la pioggia continua di particelle a cui tutti siamo sottoposti.

TOTEM

Quando i protoni si scontrano, possono succedere cose diverse. Possono centrarsi in pieno o solo sfiorarsi, oppure si può verificare un caso intermedio. L'esperimento Totem è dedicato a studiare quante volte si verificano i tre diversi casi e che cosa succede davvero nell'uno e nell'altro. In questo modo si capirà meglio come è fatto davvero un protone: la sua forma, la sua dimensione e come queste caratteristiche si modifichino, per esempio in base alla sua energia.



Dopo due anni di inattività LHC riparte con maggiore potenza

gluoni uniti in modo così forte che è impossibile vederli liberi e studiare il loro comportamento. Grazie all'energia di LHC e alle collisioni tra nuclei atomici molto pesanti, come quelli di piombo, anziché tra semplici protoni, i fisici sostengono che quark e gluoni potrebbero apparire per breve tempo liberi e in grandi quantità. Ce ne sarebbero abbastanza, tutti insieme nello stesso momento, da dare origine a una situazione simile a quella che si sarebbe verificata un milionesimo di secondo dopo il Big Bang, prima che l'abbassamento della temperatura portasse quark e gluoni a legarsi per sempre. È quella che viene chiamata "zuppa di quark e gluoni", in realtà un plasma di particelle che non è mai stato osservato sperimentalmente.

UN'ASIMMETRIA INATTESA

Materia e antimateria sono presenti in quantità asimmetriche: la materia è più abbondante dell'antimateria. Questa situazione contrasta con l'ipotesi che materia e antimateria siano state prodotte in quantità uguale al momento del Big Bang. Per capire come si sia verificata l'asimmetria bisogna cercare di studiare grandi quantità di materia e antimateria prodotte contemporaneamente. ●

PER APPROFONDIRE

- M. Delmastro, *Particelle familiari*, Laterza, Roma 2014.
- P. Magliocco, *La grande caccia*, Pearson, Milano 2013.
- L. Maiani, Bassoli R., *A caccia del bosone di Higgs*, Mondadori Università, Milano 2013.
- *Democrito aveva ragione?* Edizione 2014 della manifestazione OrvietoScienza, dedicato alla fisica delle particelle e al lavoro di LHC. Al link seguente, i video degli interventi: link.pearson.it/8EB7465E
- *Il buio oltre il bosone*, puntata della trasmissione radio Radio3Scienza dedicata alla ripresa delle attività di LHC. link.pearson.it/F9B076C8

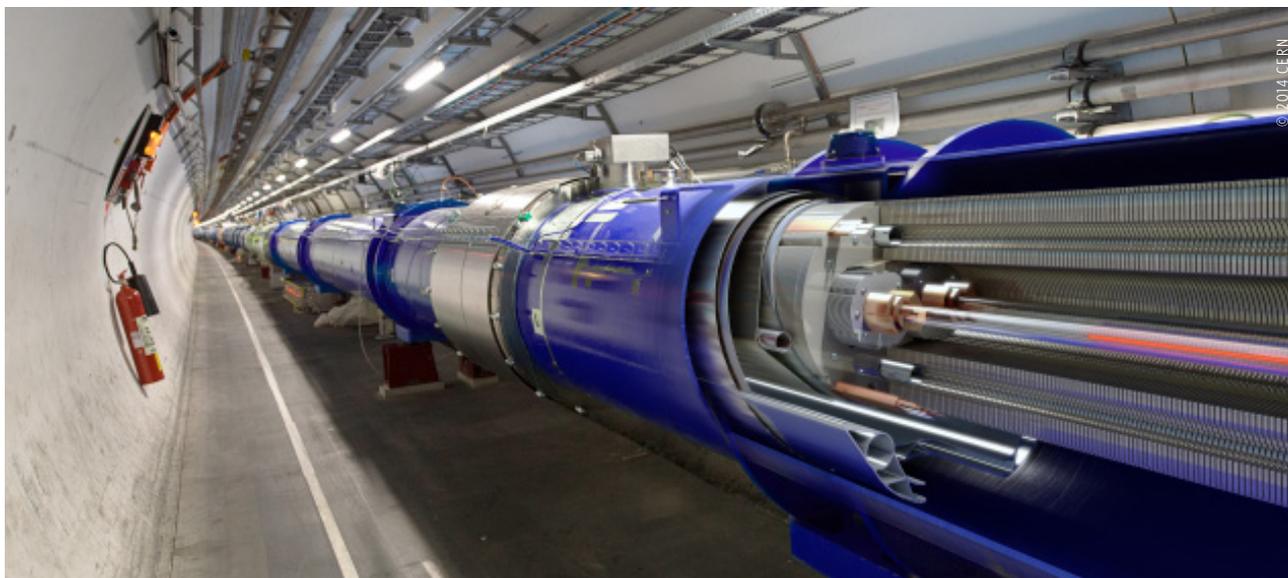
Paolo Magliocco

è un giornalista, appassionato di scienza e divulgazione. Dirige il sito Videoscienza (link.pearson.it/3028421F). Ha scritto un libro sulla scoperta del bosone di Higgs (*La grande caccia*, Pearson) e collabora con diversi giornali.



Scheda Didattica / Nuove sfide per LHC

di **Roberto Vanzetto**



LA MASSA E L'ENERGIA RELATIVISTICA: UN'INTRODUZIONE

Sappiamo che il peso dipende dalla forza di attrazione gravitazionale. Per esempio, un ragazzo di 48 kg pesa circa 470 Newton sulla Terra, ma peserebbe solamente 78 Newton sulla superficie della Luna, cioè un sesto. Siamo invece abituati a considerare la massa come una caratteristica indipendente dalle altre condizioni fisiche. In realtà la massa di un oggetto dipende dalla sua velocità, proprio come la sua energia cinetica. Questo effetto però non si nota alle velocità alle quali siamo abituati, che sono molto inferiori a quelle della luce.

Per le particelle in LHC, che viaggiano a velocità prossime a quelle della luce, l'effetto esiste eccome: la massa diventa "relativistica". Viene cioè aumentata da un fattore moltiplicativo γ che dipende solamente dalla velocità raggiunta.

Il fattore relativistico γ

Questo fattore γ (chiamato "fattore di Lorentz") si trova sia nell'espressione della massa relativistica sia in quelle della contrazione delle lunghezze e della dilatazione dei tempi descritti dalla teoria della relatività. Il suo valore è definito come:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

La formula che esprime γ può sembrare complicata, ma a guardarla con attenzione si vede che γ dipende solamente dal rapporto v/c elevato al quadrato, dove v è la velocità dell'oggetto e c è la velocità della luce, che ha il valore costante di circa 300 000 km/s. Il denominatore che dà il valore di γ è un numero positivo sempre minore o uguale a 1, perciò γ ha un valore sempre maggiore o uguale a 1. A velocità zero, γ vale 1, a velocità che si avvicinano a c , γ tende a crescere sempre di più.

γ nell'esperienza comune

Alle velocità (v) che sperimentiamo di solito, il valore di $(v/c)^2$ è così piccolo da essere praticamente uguale a zero. Così nella formula di γ la radice quadrata vale 1. E siccome 1 diviso 1 fa ancora 1, ecco che il fattore γ vale a sua volta semplicemente 1. Ma 1 è l'elemento neutro della moltiplicazione, perciò moltiplicare per 1 non fa cambiare niente: per questo motivo nella nostra esperienza comune la massa rimane costante, il tempo non si dilata e le lunghezze non si contraggono. Se γ fosse diverso da 1, oltre alla massa, cambierebbero anche il tempo e lo spazio. Gli intervalli di tempo si dilaterebbero mentre le lunghezze si contrarrebbero, secondo le seguenti equazioni:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad l = \frac{l_0}{\gamma}$$



» Scheda Didattica / **Nuove sfide per LHC****La massa relativistica dei protoni accelerati in LHC**

La massa relativistica m è data dalla "massa a riposo" m_0 (il valore quando la velocità è zero) moltiplicata per γ :

$$m = m_0 \gamma$$

L'energia della particella è data dalla famosa equazione di Einstein, che collega l'energia E alla massa relativistica m moltiplicata per il quadrato della velocità della luce c :

$$E = mc^2$$

Questa formula può essere invertita per esprimere la massa alle alte energie:

$$m = \frac{E}{c^2}$$

Da questa si vede come, raggiungendo alte energie, si possano trovare nuove masse, cioè nuove particelle "più grandi". Il valore di scambio tra massa ed energia è molto sbilanciato verso l'energia: basta un piccolo aumento di massa per avere una grande energia in più (perché la massa viene moltiplicata per c^2). Viceversa, serve un grandissimo aumento di energia per cercare nuove particelle con un po' di massa in più.

DOMANDE E ATTIVITÀ**1. Come cambia la nostra massa quando viaggiamo ai 120 km/h?**

Proviamo a calcolare il valore della massa relativistica di Marco, che a riposo è di 48 kg, quando viaggia in autostrada ai 115 km/h. Quanto vale il fattore γ ? Si percepisce un cambiamento nella massa?

Soluzione:

La formula da utilizzare è $m = m_0 \gamma$, dopo aver calcolato il valore di γ per la velocità v data.

$$\text{Esprimiamo } v \text{ in metri al secondo: } v = 115 \text{ km/h} \cdot \frac{115}{3,6} \text{ m/s} = 31,94 \text{ m/s}$$

$$\text{Esprimiamo } c \text{ in metri al secondo: } c = 300\,000 \text{ km/s} = 300\,000 \cdot 1000 \text{ m/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Calcoliamo γ :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{31,94}{3 \cdot 10^8}\right)^2}} \cong \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{10^{14}}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{10^{14}}}} \cong \frac{1}{\sqrt{0,99999999999999}} = \frac{1}{\sqrt{0,99999999999995}} = 1,000000000000005 \end{aligned}$$

La massa di Marco è aumentata meno di un centesimo di millesimo di milionesimo di kg. Questo valore non è misurabile: l'inspirazione di ossigeno e l'emissione di diossido di carbonio durante la respirazione fanno cambiare la massa di Marco molto, ma molto più velocemente di così!

2. A quale velocità vanno i protoni in LHC per raggiungere i 6,5 TeV?

In LHC i protoni arrivano a velocità prossime a quelle della luce. Quanto prossime? Dipende dall'energia che si è in grado di fornire loro. Questa energia va a cambiare la loro massa relativistica m (che come sappiamo dipende dalla loro velocità), secondo la relazione:

$$m = \frac{E}{c^2}$$



» Scheda Didattica / **Nuove sfide per LHC**

La massa a riposo di un protone è $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. Espressa in MeV (MegaelettronVolt, dove $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) tale massa vale 938 MeV.

In LHC le energie in gioco sono di 13 TeV (TeraelettronVolt, cioè milioni di mega), cioè 6,5 per fascio. A quale velocità viaggiano i protoni? E quanto cambia la loro massa?

Soluzione:

La massa passa da m_0 a m , portandosi da 938 MeV a 6,5 TeV. L'aumento % della massa è quindi dato da:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{6,5 \cdot 10^{12}}{938 \cdot 10^6} \cong 1 \cdot 10^3$$

Si tratta di un aumento di mille volte tanto!

La velocità del protone si calcola a partire dal valore del fattore γ , che è pari a 1000, infatti:

$$\gamma = \frac{m}{m_0} = 10^3$$

Da questa relazione si ricava:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 1000$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{1000}$$

$$1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{1}{1000^2}$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \frac{1}{1000^2}$$

$$v = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{1000^2}\right)} \cdot c = \sqrt{1 - 0,000001} \cdot c = \sqrt{0,999999} \cdot c \cong 0,9999995 \cdot c$$

Cioè la differenza tra la velocità raggiunta dai protoni e quella della luce c è di nemmeno un milionesimo!

Fotosintesi, prima e dopo

di **Vincenzo Guarnieri**

Non tutti gli autotrofi hanno bisogno di luce per vivere e molto probabilmente i primi procarioti sulla Terra erano proprio chemioautotrofi. Ma con la fotosintesi e la produzione massiccia di ossigeno è cambiato tutto. Una storia appassionante, per introdurre in classe il tema delle ossidoriduzioni.



© Mike Grandmaison/Corbis

L'isola di Cape Breton in Canada è composta principalmente da coste rocciose di origine Precambriana

È possibile vivere senza luce? Ebbene sì, pare proprio che sia possibile e che per riuscirci ad alcuni organismi basti l'idrogeno. Non solo: una ricerca pubblicata sulla rivista Nature nel dicembre 2014 mostra che la vita senza luce potrebbe essere più diffusa di quanto si pensi ①. Analizzando le rocce più antiche presenti sulla Terra – quelle che si sono originate durante il Precambriano, tra 550 milioni e 4,6 miliardi di anni fa e che rappresentano il 70% delle rocce dei continenti – un team di scienziati canadesi, statunitensi e britannici ha stimato che la concentrazione di idrogeno molecolare (H_2) presente nel sottosuolo

è 100 volte maggiore rispetto a quanto stimato in precedenza.

Ma perché ci interessa l'idrogeno? Cosa c'entra con la vita? Il punto è che esistono microbi che si procurano l'energia per vivere “mangiando” molecole inorganiche come quella dell'idrogeno gassoso. Questi organismi sono stati individuati in prossimità delle sorgenti idrotermali profonde dei fondali oceanici e, più di recente, nel sottosuolo, come mostra una ricerca effettuata in una miniera d'oro del Sudafrica a 4 km di profondità ②. Quindi l'idrogeno molecolare può indicare la presenza della vita. Ma come si forma l' H_2 in profondità? Si conoscono

due modi: attraverso la radioattività naturale della roccia oppure con un processo geochimico chiamato serpentinizzazione. In entrambi i casi l'idrogeno deriva dall'acqua intrappolata tra le rocce. Si pensava che questi fenomeni avvenissero soprattutto nei fondali oceanici e, invece, da dicembre, sappiamo che riguarderebbero in modo significativo anche il sottosuolo delle terre emerse. Nelle acque sotterranee ci può essere molta vita, lontano dall'atmosfera, dalle sostanze organiche e dalla luce solare. E la stessa cosa può accadere in altri pianeti, come Marte.

AL MERCATO DEGLI ELETTRONI

Gli organismi che sintetizzano le sostanze organiche del proprio corpo senza cibarsi di altri organismi vengono definiti autotrofi. Di solito pensiamo alle piante che, grazie alla fotosintesi, utilizzano l'energia solare per produrre zuccheri complessi a partire dal diossido di carbonio (CO_2). Ma oltre ai fotoautotrofi esistono i chemioautotrofi: organismi che non utilizzano l'energia del Sole ma quella di alcune molecole inorganiche. Le prime forme di vita apparse sulla Terra, quasi 4 miliardi di anni fa, sono state cellule procariotiche che probabilmente vivevano così. La fotosintesi non si era ancora evoluta e l'unico modo per procurarsi energia era prenderla dalle sostanze che si avevano a disposizione. L'idrogeno gassoso è una di queste. Ma come fa un microbo a prendere energia da questa molecola? Grosso modo, facendosi attraversare da alcuni dei suoi elettroni. L'idrogeno infatti tende a cedere elettroni che vengono "passati" da una serie di molecole specifiche della cellula fino a quando vengono consegnati a un accettore finale, il diossido di carbonio. Quest'ultimo passaggio permette la sintesi di composti organici complessi, i passaggi precedenti forniscono energia alla cellula. Come in un circuito elettrico, gli elettroni partono da un polo e ne raggiungono un altro, spinti da una certa forza. Nel percorso può esserci un sistema che sfrutta questo flusso per compiere un lavoro, come succede per esempio in una lampadina. Nelle cellule ci sono sistemi molecolari che recuperano l'energia del flusso di elettroni sintetizzando molecole come l'ATP.

Con il linguaggio dei chimici, l' H_2 cede elettroni e quindi si "ossida", mentre il CO_2 li ha acquistati e si "riduce". Il metabolismo del microbo che vive nelle profondità della crosta terrestre può essere visto come una complessa reazione di ossidoriduzione. E non solo il suo. La stessa cosa vale per tutti gli organismi viventi. La vita è sempre associata a uno scambio di elettroni tra una molecola che li



© Dr. Terry Beverage/Visuals Unlimited/Corbis

Il solfobatterio verde vive grazie a processi fotosintetici anossigenici

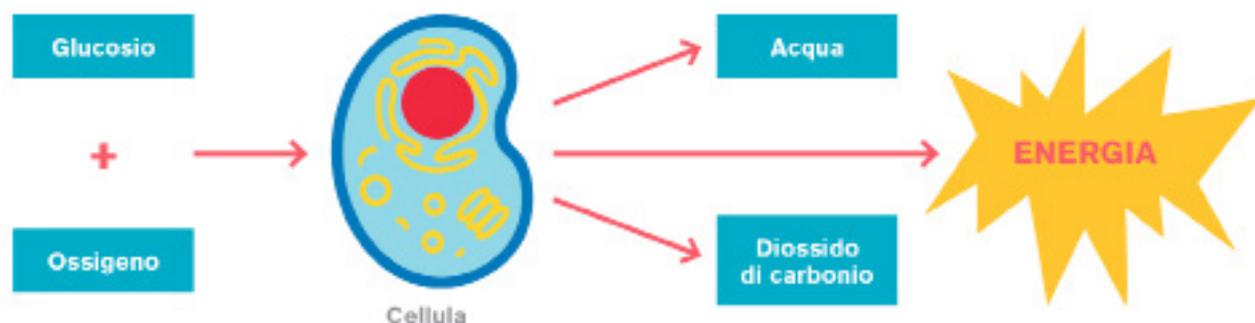
fornisce e un'altra che li acquista. È come se fosse un mercato in cui la merce di scambio è l'elettrone. E, come al mercato, non è detto che i fornitori e gli acquirenti siano sempre gli stessi.

LA NASCITA DELLA FOTOSINTESI

Quando si è evoluto un procariote con un pigmento in grado di intrappolare l'energia solare e di trasformarla in energia chimica, gli elettroni hanno cominciato a percorrere nuove "rotte commerciali". Probabilmente la prima forma di fotosintesi apparsa sul pianeta è stata di tipo anossigenico, cioè che non produce ossigeno molecolare. Ancora oggi, per esempio, i solfobatteri verdi utilizzano il solfuro di idrogeno (H_2S), al quale, grazie all'energia del sole, "strappano" elettroni che vanno a ridurre il CO_2 . Come risultato si ottengono molecole organiche ricche di elettroni (e quindi di energia) e zolfo (S). Anche la fotosintesi è dunque un processo di ossidoriduzione. Quando poi sono apparsi i cianobatteri, in grado di accoppiare due sistemi fotosintetici rendendo il processo più efficiente, è stato possibile "rubare" gli elettroni a una molecola che se li teneva più stretti, l'acqua. Uno dei prodotti di questa nuova ossidoriduzione è l'ossigeno molecolare (O_2). Questo si è diffuso nei mari dove vivevano i cianobatteri. E quando i mari sono diventati saturi, circa 2,7 miliardi di anni fa, ha cominciato a passare anche nell'atmosfera, accumulandosi sempre di più.

PROBLEMI E OPPORTUNITÀ

La maggior parte dei procarioti presenti all'epoca, però, non ha apprezzato la novità. L'ossigeno, per il suo potere ossidante, è un veleno. Molti organismi si sono estinti oppure sono andati a rifugiarsi in ambienti rimasti ancora anaerobici, come i fondali marini o le acque sotterranee.



La respirazione cellulare è stata determinante per lo sviluppo della vita sulla Terra

Una vera e propria rivoluzione della vita sul pianeta, uno stravolgimento del “mercato globale di elettroni”. Le reti metaboliche si erano evolute fino a quel momento con determinati fornitori ed acquirenti. Il nuovo arrivato aveva un “potere di acquisto” superiore a tutti gli altri e le reazioni di ossidoriduzione che garantivano l’energia agli organismi sono state compromesse. La capacità di un batterio di intrappolare l’energia della luce ha provocato un vero e proprio cataclisma per gli esseri viventi. Certo, non per tutti! Oltre ai procarioti rifugiati, altri hanno avuto il tempo di evolvere per poter vivere all’aria aperta e sotto la luce del sole. In che modo? Acquisendo meccanismi molecolari in grado di trasformare in opportunità ciò che per tutti gli altri era un problema. L’elevata tendenza dell’ossigeno ad acquistare elettroni è stata sfruttata per ottenere, con una resa maggiore, energia dalle molecole organiche. Nasce così la respirazione cellulare, processo biochimico grazie al quale viviamo anche noi oggi.

VERSO UNA NUOVA RIVOLUZIONE?

L’impiego della luce del Sole attraverso la fotosintesi ossigenica ha segnato un passaggio cruciale per l’evoluzione della vita sul nostro pianeta. Da una parte è stato drammatico, dall’altra ha permesso l’evoluzione di gran parte del mondo vivente attuale, ancora oggi dipendente dalla capacità di catturare i fotoni con la clorofilla o gli altri pigmenti. La conoscenza delle proprietà della

luce da parte dell’uomo ha permesso in epoca più recente di compiere altre rivoluzioni, anche queste di portata planetaria. Internet ne è un esempio. Grazie all’impiego delle onde elettromagnetiche, cioè la luce, esiste la possibilità di mandare e ricevere informazioni ovunque nel mondo. E grazie alla capacità di mimare il comportamento delle foglie, forse si riuscirà a ottenere una fotosintesi artificiale in grado di risolvere la crisi energetica globale ③. Ci saranno altri sconvolgimenti in seguito a questo nuovo impiego della luce? Saranno paragonabili a quelli provocati dall’ossigeno più di 2 miliardi di anni fa? Qualunque cosa accada, i microbi che vivono a chilometri di profondità probabilmente ne resteranno all’oscuro e continueranno a vivere tranquillamente. Si può vivere senza luce, ma se sappiamo utilizzarla saggiamente è meglio... per quasi tutti. ●

SCHIARITE SULLA FOTOSINTESI

Prima del Settecento non esisteva ancora il concetto di gas e sarebbe stato impossibile individuare la fotosintesi. In un esperimento del 1772 Joseph Priestley, lo scopritore dell’ossigeno, mostra che una pianta, posta in un recipiente in cui era stata fatta bruciare una candela, è in grado dopo qualche giorno di rendere l’aria di nuovo respirabile. Da allora, poco per volta, viene fatta luce sul fenomeno e sull’origine dell’O₂. Fino al 1931 si credeva che derivasse dal CO₂ assorbito. Invece Cornelis Bernard Van Niel si accorge che il CO₂ viene fissato anche dai solfobatteri. Ma questi non producono O₂. Come mai? La risposta è nella molecola che accetta gli elettroni messi in moto dal fotone di luce. Nelle piante è l’H₂O ed è da essa che si forma l’O₂. Nei solfobatteri è l’H₂S, per cui si forma zolfo (S).

BIBLIOGRAFIA

- ① B. Sherwood Lollar, T.C. Onstott et al., *The contribution of the Precambrian continental lithosphere to global H₂ production*, in Nature, 2014, vol. 516, pp. 379-382.
- ② L.H. Lin et al., *Long-Term Sustainability of a High-Energy, Low-Diversity Crustal Biome*, in Science, 2006, vol. 314, pp. 479-482.
- ③ V. Balzani, *Verso la fotosintesi artificiale*, in Science magazine n.04, febbraio 2015. link.pearson.it/9F9A0D95

Vincenzo Guarnieri

è chimico e ha un dottorato di ricerca in biochimica e biotecnologia cellulare. Si occupa di comunicazione della scienza. Ha pubblicato *Maghi e reazioni misteriose* (Lapis edizioni, 2007), una storia della chimica per ragazzi.



Scheda Didattica / Fotosintesi, prima e dopo

di **Vincenzo Guarnieri**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Quando si parla di fotosintesi di solito si pensa genericamente alla clorofilla. Ma in realtà, per catturare l'energia solare gli organismi impiegano diversi tipi di clorofilla e altri pigmenti. Fai una ricerca per individuarli tutti. In quali tipologie di organismo fotosintetizzatore si trovano? Ci sono pigmenti specifici per compiere la fotosintesi ossigenica o quella non ossigenica. Qual è la lunghezza d'onda della radiazione luminosa che catturano? Per ciascun pigmento cerca il relativo spettro di assorbimento e confrontalo con lo spettro della luce solare che raggiunge la biosfera.

2. Per il loro metabolismo, gli organismi chemioautotrofi utilizzano l'energia contenuta in alcune molecole semplici. I microbi trovati nel 2006 a 4 chilometri di profondità in una miniera d'oro nel bacino del Witwatersrand, in Sudafrica, utilizzano l'idrogeno molecolare (H_2). Ma esistono altri tipi di organismi chemioautotrofi. Quali sono e di quali altre molecole si nutrono? Con quale processo chimico riescono ad ottenere energia da queste molecole? Riesci a indicare le reazioni principali che descrivono tale processo?

3. Le prime molecole di ossigeno molecolare prodotte dai cianobatteri con la fotosintesi si sono disciolte nell'acqua dei mari e dei laghi dove questi organismi vivevano. Dopo averli saturati, sono finite anche nell'atmosfera. Sia nell'acqua sia nell'aria, l' O_2 ha reagito con il ferro presente. Attraverso quale tipo di reazione chimica? Secondo te, come facciamo a sapere che le cose sono andate davvero così? Quella reazione ha lasciato un segno che possiamo vedere ancora oggi?

SCIENZA E SOCIETÀ

L'ossigeno presente oggi nell'atmosfera del nostro pianeta è di origine biologica. La sua concentrazione sarebbe destinata a ridursi drasticamente se non venisse continuamente prodotto dagli organismi fotosintetizzatori. Cerca di immaginare in quali modi l'uomo può interagire con questa molecola e come può cambiarne la concentrazione globale. Cerca di fare la stessa cosa con le altre molecole che costituiscono l'aria. Descrivi inoltre tutte le relazioni che riesci a trovare tra queste molecole e il processo della fotosintesi.

SCRIVERE DI SCIENZA

Prova a descrivere in un racconto l'avventura di un fotone che parte dal sole e raggiunge la foglia di una pianta sulla Terra. Descrivi ciò che vede e quali sensazioni prova all'inizio della storia (la sua origine in seguito a una reazione di fusione nucleare), durante il suo viaggio nello spazio dal Sole all'atmosfera terrestre e, infine, all'arrivo su una

molecola di clorofilla. Ci sono altri fotoni che condividono il viaggio con lui? Sono tutti uguali o hanno qualcosa che li contraddistingue? Cosa succede a loro? E cosa succede al cloroplasto su cui il fotone si va a schiantare?

ATTIVITÀ CLIL

Consider the following experiment: plants of same species and ages are placed (respecting their photoperiods) each under light sources emitting only one of the colors of the light spectrum (violet, blue, green, yellow, orange and red). The experiment is executed with each of the colors and after days each plant's development is compared. Those plants whose development was normal performed satisfactory photosynthesis while those with abnormal development underused the offered light. Was it expected that green light frequency favored the photosynthesis reaction?

A lezione di matematica con Italo Calvino

di **Francesca E. Magni**

I libri (intesi come saggi, romanzi, raccolte di racconti) offrono spesso spunti interessanti per percorsi didattici originali. In questo articolo una rilettura in chiave matematica delle *Lezioni americane di Calvino*.



Lo scrittore Italo Calvino

Le *Lezioni americane di Italo Calvino* raccolgono gli appunti per un ciclo di conferenze sulla letteratura che si sarebbero dovute svolgere all'Università di Harvard nel 1985, anno della morte dell'autore. Uscito postumo in libreria nel 1988, il testo contiene, come recita il sottotitolo, *sei proposte per il prossimo millennio*, sintetizzate da altrettante parole chiave: leggerezza, rapidità, esattezza, visibilità, molteplicità e coerenza (quest'ultima rimasta incompiuta) ①.

Nel 2011 Gabriele Lolli, docente di filosofia della

matematica alla Scuola Normale Superiore di Pisa, ha pubblicato una rilettura in chiave matematica delle *Lezioni*, dal titolo *Discorso sulla matematica* ②. Nell'introduzione Lolli sostiene che le *Lezioni americane* si possano leggere come una parabola della matematica, in accordo con la dichiarazione di Italo Calvino che «l'atteggiamento scientifico e quello poetico coincidono: entrambi sono atteggiamenti insieme di ricerca e di progettazione, di scoperta e di invenzione». Il saggio di Lolli elenca una vasta gamma di

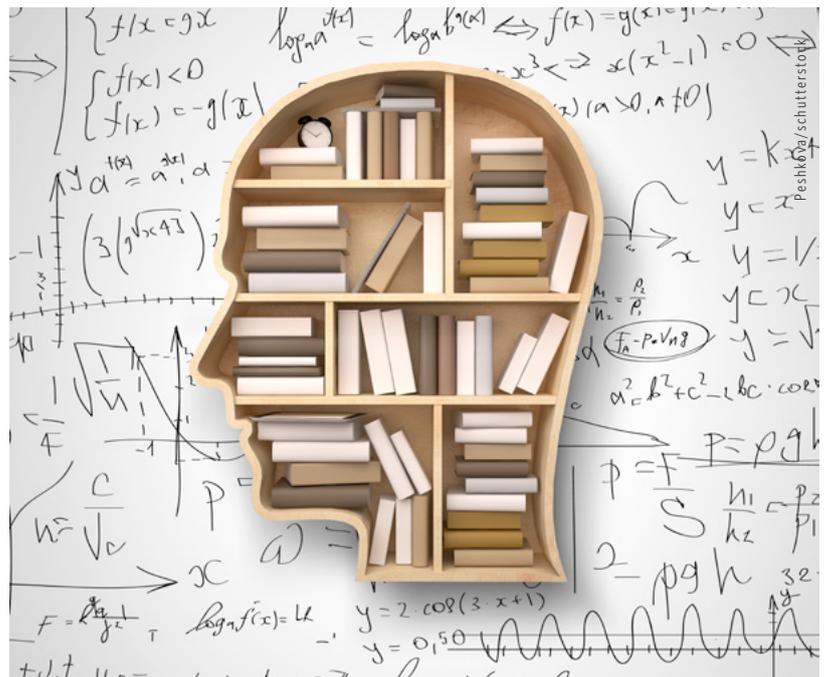
esempi, dimostrazioni ed esercizi che mostrano come le caratteristiche individuate da Italo Calvino per la letteratura siano adatte anche per la matematica.

Fin dalle prime pagine, l'attenzione di Gabriele Lolli è centrata anche sull'insegnamento e l'apprendimento della matematica e vale la pena riportare le sue parole: «"Matematica" nella sua etimologia significa "ciò che si impara"; non è possibile fare matematica senza cercare di farla capire a qualcuno [...] anche una dimostrazione codificata, riportata pressoché nello stesso modo in quasi tutti i libri, ogni volta che è ripetuta in un'aula è accompagnata da un atto creativo, inevitabile e doveroso; è diversa da qualunque versione stampata e può risultare più o meno buona, più o meno riuscita; basta chiederlo agli studenti» (pagg. 12, 15). Dal ricchissimo testo di Lolli è possibile estrarre materiale didattico da utilizzare in classe, che segue la linea di un accordo fra due discipline, la letteratura e la matematica, che spesso gli studenti concepiscono come separate. In questo articolo ne riassumiamo solo alcuni, rimandando al testo per ulteriori approfondimenti.

LEGGEREZZA

«Dedicherò la prima conferenza all'opposizione leggerezza-peso, e sosterrò le ragioni della leggerezza. Questo non vuol dire che io consideri le ragioni del peso meno valide, ma solo che sulla leggerezza penso d'aver più cose da dire» recita l'incipit delle Lezioni americane, che poco dopo prosegue: «cercherò di spiegare – a me stesso e a voi – perché sono stato portato a considerare la leggerezza un valore anziché un difetto; quali sono gli esempi tra le opere del passato in cui riconosco il mio ideale di leggerezza; come situo questo valore nel presente e come lo proietto nel futuro». In maniera analoga, Gabriele Lolli cita gli esempi in matematica che meglio rappresentano l'idea di leggerezza, intesa come "perdita di peso". Con "peso" Italo Calvino intende «l'insieme dei particolari devianti, accessori, poco pertinenti, a volte anche interessanti ma trascurabili ai fini di una comunicazione efficace ed essenziale». E la matematica "toglie peso" alla realtà perché si dirige verso l'astrazione. «Il primo stadio della matematizzazione di un fenomeno toglie peso in senso letterale, sostituendo un linguaggio alle impressioni dei sensi» sostiene Lolli «l'operazione appare in effetti come la proposta di un linguaggio diverso, ma quello soppiantato è il linguaggio primitivo con il quale gli uomini cercano di esprimere e comunicare le impressioni fisiche» (pagg. 53, 54).

Molti esempi di come la matematica abbia acquisito leggerezza si trovano lungo la sua storia: «ai suoi inizi, il linguaggio della matematica è ancora pesante, perché ha origine in discorsi sulle cose concrete [...] i numeri sono insiemi di sassolini, "calcoli", [...] i segmenti della geometria vengono dalle corde dei misuratori di terra egiziani [...] le curve più complicate considerate dai greci sono generate da macchine ingegnose, o da operazioni materiali, finché la matematica non trova semplici equazioni per descriverle» (pagg. 57).



UN ESEMPIO PER LA SCUOLA

Un caso perfetto per un'analisi a scuola del tema della leggerezza è il calcolo delle aree. «Per calcolare l'area di una figura il metodo primitivo è materiale: si considera una sottile lamina della forma della figura, e se ne confronta il peso con quello di una forma di area nota. In matematica la lamina viene sostituita, con un esperimento mentale, da tante striscioline, equiparate a segmenti di larghezza infinitesima, e la figura viene concepita con la totalità di questi segmenti. Archimede (III a. C.) ha usato questo metodo per calcolare l'area di tante figure più complicate dei poligoni, per esempio il segmento parabolico.» (pagg. 58)

MATEMATICA "IN VOLO"

Calvino termina la sua prima lezione considerando il legame fra la leggerezza e il volo. Anche in matematica, aggiunge Lolli, è possibile effettuare voli «sollevandosi verso domini

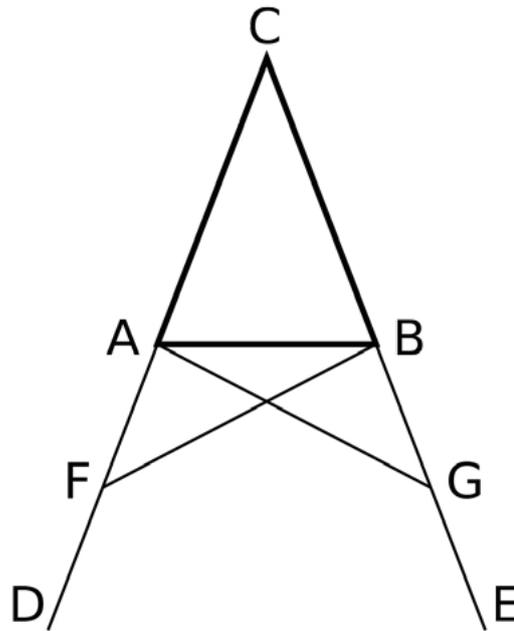
numerici più ampi» come per esempio quando non si riescono ad effettuare operazioni in un dato insieme. Si pensi all'impossibilità di trovare una soluzione all'equazione $x^2 + 1 = 0$ nell'insieme dei numeri reali: «I tesori che desidera, il matematico li trova in altri reami. Se vuole scomporre $x^2 + 1$, che è un blocco monolitico, che resiste alla possibilità che si vorrebbe per tutti i polinomi di scomporli in monomi lineari, deve abbandonare il dominio dei reali e spostarsi, dopo averlo costruito con la fantasia, nel dominio degli immaginari» (pagg. 79, 80).

RAPIDITÀ

Se per Italo Calvino in letteratura «il racconto è un'operazione sulla durata, un incantesimo che agisce sullo scorrere del tempo, contraendolo o dilatandolo», per Gabriele Lolli, in modo analogo in matematica «la dimostrazione va dritto allo scopo senza nessuna divagazione. Tutto quello che dice è un passo essenziale» e come nelle fiabe e nei racconti popolari, che «sono narrati con grande economia espressiva», si trascurano i dettagli. Nelle dimostrazioni matematiche, i lemmi hanno lo stesso scopo delle divagazioni dei romanzi, con il vantaggio di poter esser messi da parte, in appendice, per rendere il discorso più rapido: «con la soluzione dei lemmi, una dimostrazione torna a essere più simile alla fiaba che non al romanzo. [...] Nessuno ha il coraggio di dire agli studenti che la matematica è come le fiabe» scrive Lolli, perché come succede con le fiabe e con i miti, bisogna appropriarsi del loro linguaggio simbolico astratto, «ragionarci sopra senza uscire dal loro linguaggio di immagini» perché «ogni interpretazione impoverisce il mito». A pag. 101 si legge: «Uno studente non capirà cosa sia la matematica finché non sarà in grado di fare da sé una dimostrazione [...] deve avere familiarità con gli oggetti causali [...] senza pensare a cosa rappresentano». Senza togliere nulla alla matematica applicata, in questo frangente si valorizza il ragionamento formale, per rafforzare quella che Lolli chiama «educazione a vivere in un mondo astratto».

BIBLIOGRAFIA

1. I. Calvino, *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Garzanti, Milano 1988.
2. G. Lolli, *Discorso sulla matematica. Una rilettura delle Lezioni americane di Italo Calvino*, Bollati Boringhieri, Torino 2011.



DAI TRIANGOLI ALL'ORLANDO FURIOSO

Uno degli esempi portati nel libro di Lolli è la dimostrazione nota come *pons asinorum* perché pare che nel Medioevo fosse uno degli esercizi per distinguere il pensatore agile da quello più lento: il teorema sui triangoli isosceli che afferma che gli angoli alla base sono congruenti. La dimostrazione si trova negli *Elementi* di Euclide (libro I, 5) e, come si legge anche nei libri di testo scolastici, consiste nel prendere due punti F e G sui prolungamenti dei lati obliqui (dalla parte dei vertici della base A e B), con F e G equidistanti dal vertice C. I punti F e G rappresentano due “oggetti magici” come lo sono le spade, gli scudi o gli elmi ne *L'Orlando furioso* dell'Ariosto, che animano l'intreccio, creando legami attraverso il passaggio di mano in mano ai vari personaggi. Unendo infatti F con B e G con A, si vengono a creare nuove situazioni, nuove figure geometriche: appaiono altri triangoli che permettono di trarre la conclusione voluta dal teorema. Si vede così che i nuovi punti F e G erano una buona idea, i passi dei quali la dimostrazione necessitava. ●

Il teorema sui triangoli isosceli noto anche come *pons asinorum*

Francesca E. Magni

è laureata in fisica e publicista. Insegna matematica e fisica al liceo. Scrive racconti scientifici.



Scheda Didattica / A lezione di matematica con Italo Calvino

di **Francesca E. Magni**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Nel capitolo dedicato alla leggerezza, Gabriele Lolli dice che per realizzare una figura geometrica come l'ellisse si può procedere in maniera "pesante" e materiale, disegnandola con uno strumento matematico reale che si chiama ellissografo. Oppure, dice l'autore, si può ricorrere a un modo molto più "leggero" e astratto e cioè scrivendo la sua equazione. Prova a costruire un semplice ellissografo con due aste piantate a terra e un filo o un elastico con entrambi gli estremi legati singolarmente a un'asta: con una matita fatta scorrere all'interno del filo, girando intorno alle due aste, disegna su un foglio una curva chiusa. Adesso apri il programma Geogebra (puoi scaricarlo da qui: link.pearson.it/4026DA55) e scrivi l'equazione $x^2/16 + y^2/9 = 1$. In entrambi i casi otterrai un'ellisse: quale dei due modi ti è sembrato più semplice? Quale hai preferito?

2. Un altro esempio sulla leggerezza citato nel saggio di Lolli è quello della derivata di funzione. Anche la derivata presenta un aspetto "pesante" che è la sua definizione geometrica e cioè il fatto che essa coincide con il coefficiente angolare di una retta tangente al grafico della funzione. Se dobbiamo ricavare la derivata della funzione in un punto seguendo la sua interpretazione geometrica, dobbiamo prima tracciare la retta tangente alla funzione, poi prendere due punti A e B della retta e calcolare il rapporto fra gli incrementi delle loro ordinate e delle loro ascisse (cioè $y_B - y_A / x_B - x_A$). Il modo più "leggero" per calcolare una derivata è invece quello che si studia in quinta e cioè quello dovuto al calcolo infinitesimale, che con poche regole di derivazione permette di calcolare subito il valore della derivata senza pensare al suo significato geometrico. Questo secondo approccio è molto più astratto anche perché nella sua definizione implica il calcolo di limiti, ha però il vantaggio di ampliare enormemente il campo di studio: esso porta infatti al calcolo integrale e questo è sorprendente, in quanto gli integrali definiti si interpretano come aree di figure geometriche e, come giustamente sottolinea Lolli: "perché mai ci dovrebbe essere un rapporto fra le aree e le tangenti?". Questo legame era nascosto dall'approccio geometrico e invece si è svelato agli occhi dei matematici tramite l'adozione del metodo più leggero. Leggi l'articolo di Maristella Galeazzi pubblicato online sul sito del Pristem dell'Università Bocconi (link.pearson.it/2327DB48), nel quale si racconta la storia del calcolo infinitesimale attraverso l'opera dei suoi ideatori, Newton e Leibniz. Prepara una presentazione da esporre in classe della durata massima di quindici minuti, ponendo particolare attenzione alle differenze fra le diverse concezioni del calcolo dei due scienziati.

3. «La vocazione della matematica è quella di sviluppare un pensiero agile, libero, vincolato sì dalla coerenza ma da nessun'altra restrizione o modello; la sua funzione non è quella di percorrere strade veloci, ma di scegliere tra di esse "esaltandone la differenza", e di scoprirne di nuove» scrive Lolli alla fine del suo capitolo sulla rapidità. Come esempio che vale anche da piccolo aneddoto di storia della matematica, l'autore cita un problema che il fisico ungherese padre dei computer John von Neumann risolse in maniera molto originale, cambiando punto di vista. Il problema è il seguente: "due biciclette si muovono in linea retta l'una verso l'altra alla velocità di 10 chilometri all'ora, essendo partite a distanza di 20 chilometri. Una mosca contemporaneamente vola a 15 chilometri all'ora da un manubrio di una bicicletta all'altro e ritorno, avanti e indietro. Quale distanza copre la mosca (prima di essere schiacciata tra i due manubri)?" Trovi la risposta a pagina 115-116 del libro di Lolli, insieme al modo originale che scelse von Neumann per risolvere il problema.

4. Nella recensione al libro di Lolli, scritta da Bianca Cepollaro nella Rivista Italiana di Filosofia Analitica Junior (link.pearson.it/D92F8BEF) si legge la seguente conclusione: «La contaminazione tra matematica e letteratura, al di là della sua giustificazione, si è già dimostrata fertile, nel caso di scrittori che si ispirano a principi di composizione matematico-geometrici, come lo stesso Calvino dichiara esplicitamente di fare. Sarebbe curioso interrogarsi sulla possibilità di un tipo di contaminazione in direzione opposta. È possibile che le idee di un letterato giungano a ispirare le ricerche di un matematico o nelle due discipline vigono semplicemente principi affini? Il testo di Lolli offre una ampia rosa di contaminazioni e suggestioni, ma una giustificazione teorica è ancora tutta da indagare». Può la letteratura, con le sue idee, ispirare la matematica? Prova a scrivere un breve "dialogo filosofico" fra due persone che su questo argomento la pensino in maniera opposta: cerca di esporre il più chiaramente possibile le ragioni di entrambi.



Pi greco e Aleph a teatro

di **Caterina Vicentini**

Come introdurre in una secondaria di primo grado il concetto di numero irrazionale trascendente, senza barare troppo? Come ragionare con i ragazzi sull'infinito matematico? Un'insegnante racconta un approccio particolare, attraverso la rappresentazione di un testo teatrale.



Roman Ryachov / Shutterstock

Pi greco (π) è un numero molto presente nei corsi di matematica della scuola media. Lo si usa per calcolare lunghezze di circonferenze, aree di cerchi, aree e volumi di cilindri, coni e sfere. Ma come introdurre un numero irrazionale trascendente a ragazzi così giovani senza generare concezioni errate? Ci ho provato immaginando un percorso didattico che si è rivelato coinvolgente e divertente per i ragazzi di terza media, con i quali è stato realizzato alcuni anni fa a Romàns d'Isonzo (Gorizia).

IL PUNTO DI PARTENZA

In seconda media avevo presentato π come il rapporto costante C/d fra la lunghezza di una qualunque circonferenza e il suo diametro. Usando questa definizione, la lunghezza di una circonferenza di raggio 3 centimetri è 6π centimetri e l'area del cerchio da questa racchiuso è 9π centimetri quadrati. Un giorno mi resi conto che l'aver lasciato i risultati scritti in questo modo aveva convinto implicitamente una parte della

classe che l'area del cerchio di raggio 3 centimetri fosse inferiore a 10 centimetri quadrati. Questo nonostante fosse stato più volte ribadito che π greco ha un valore pari a 3,14159... Alcuni allievi tendevano a "cancellare mentalmente" π e a perdere così il senso della misura. I risultati degli esercizi erano per lo più formalmente corretti, ma le valutazioni numeriche su di essi del tutto errate. Stavo contribuendo a creare studenti "pseudo-strutturati" nel senso di Anna Sfard ^①, ovvero persone che si fermano agli aspetti sintattici della matematica, non essendo consapevoli del significato dei simboli che usano.

CHE FARE?

Avrei potuto chiedere il risultato approssimato. Quando ero ragazzina, a scuola si faceva così. Non scrivevamo che la lunghezza di una circonferenza era 6π o l'area di un cerchio era 9π . 6π diventava 18,84 e 9π era 28,26. Il corretto senso delle proporzioni era salvo. Questo approccio nascondeva però un'altra insidia: valendo sempre e solo 3,14, π diventava implicitamente un numero razionale. Come ovviare a questa "frode didattica" senza perdere il senso della misura? Pensai di accostare ai risultati esatti approssimazioni "a valle" usando il tasto π di una calcolatrice scientifica. Bisognava tenere la migliore approssimazione a meno di un millimetro per le lunghezze, a meno di un millimetro quadrato per le aree e a meno di un millimetro cubo per i volumi. Si salvavano

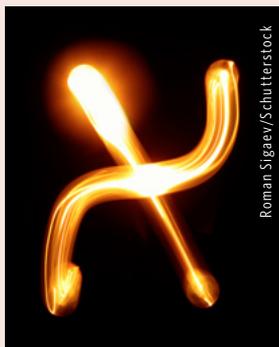
così capra e cavoli: π veniva presentato come irrazionale e le circonferenze erano lunghe più del triplo del diametro.

L'operazione non fu indolore. Sorsero spontaneamente in classe dubbi filosofici del tipo: come faccio a dire di conoscere veramente un numero con infinite cifre decimali che non si ripetono periodicamente? I miei allievi mostravano grande difficoltà nel concepire l'infinito attuale dell'insieme delle cifre decimali di π . Avevano digerito con una certa disinvoltura l'infinito potenziale del contare, erano riusciti a bypassare discretamente le difficoltà con i numeri periodici grazie alla loro scrittura frazionaria, e con gli irrazionali algebrici grazie alla notazione radicale, ma questo "numeraz" (così lo definì un giorno Elisa) non riuscivano proprio a mandarlo giù! Stavo pretendendo troppo? Come aiutarli? Decisi di prendere il toro per le corna e affrontare con loro un ragionamento sulla natura dell'infinito matematico.

HOTEL ALEPH

Qualche anno prima avevo scritto un testo teatrale ^② ispirato alla famosa metafora introdotta da Hilbert riguardante un hotel con infinite stanze che può essere completo pur avendo stanze disponibili. Lessi la pièce alla classe, e gli studenti si mostrarono molto contenti all'idea di metterla in scena come recita di fine anno anche se sembrava loro abbastanza inafferrabile. Grazie alla collaborazione





ALEPH E I NUMERI TRANSFINITI

Aleph è la prima lettera degli alfabeti fenicio ed ebraico, la “progenitrice” della nostra A. Il matematico Georg Cantor (1845-1918) la scelse per indicare i cardinali transfiniti che scoprì mentre stava introducendo il concetto di cardinalità all’interno di una nuova teoria: la teoria ingenua degli insiemi (5). In particolare indicò con aleph zero il più piccolo cardinale transfinito, quello associato ai numeri naturali. La cardinalità venne inizialmente introdotta per confrontare gli insiemi finiti. L’insieme dei multipli di 4 minori di 10 è diverso dall’insieme dei numeri 1 e 2, ma questi sono equipotenti. Posso infatti associare 1 a 4 e 2 a 8 ed ho costruito una corrispondenza biunivoca che conta gli elementi. I due insiemi hanno la stessa cardinalità: 2. Fintanto che ci si limita a insiemi finiti, un insieme ha sempre cardinalità strettamente maggiore di un qualunque suo sottoinsieme proprio. Quando si passa agli insiemi infiniti, invece, questa proprietà talmente intuitiva da costituire uno dei postulati generali della geometria euclidea (il tutto è maggiore di una parte) non vale più. E così succede che i numeri pari e i numeri quadrati, pur essendo solo una parte dei numeri naturali, abbiano la stessa cardinalità di questi: aleph zero. Si può dire di più: la proprietà di poter avere la stessa cardinalità di un sottoinsieme proprio è talmente connaturata agli insiemi infiniti da essere la loro definizione.

degli insegnanti di Italiano (Laura Delpin), Educazione Artistica (Wilma Canton), Educazione Fisica (Laura Valli), Educazione Musicale (Laura De Simone) e sostegno (Bruno Raicovi) allestimo lo spettacolo.

IL BACKSTAGE MATEMATICO

Dopo aver riletto il testo in classe, iniziai un dibattito. I ragazzi faticavano a capire come un hotel potesse essere completo pur avendo stanze disponibili. Cominciammo allora a ragionare sugli hotel reali. Se un hotel ha 10 stanze, quando è completo non ha stanze libere e neanche “liberabili”. Se chiedessi ad ogni cliente di muoversi nella stanza successiva, il cliente della decima stanza non saprebbe dove andare dal momento che non c’è un’undicesima camera. In un immaginario albergo con infinite stanze invece, questo problema è superabile. Il cliente della 1 va alla 2, quello della 2 alla 3, eccetera. Dal momento che non c’è un’ultima stanza, tutti trovano una nuova collocazione, la 1 risulterà libera e potrà ospitare un nuovo cliente. Avendo colto questo punto chiave, non fu troppo difficile comprendere come un albergo così surreale potesse all’occorrenza ospitare anche una comitiva composta da un’infinità di nuovi clienti. Sarebbe bastato spostare tutti gli ospiti nella camera contrassegnata dal numero doppio di quella che occupavano prima, e in un colpo solo tutte le camere dispari, che sono in numero infinito, sarebbero state liberate!

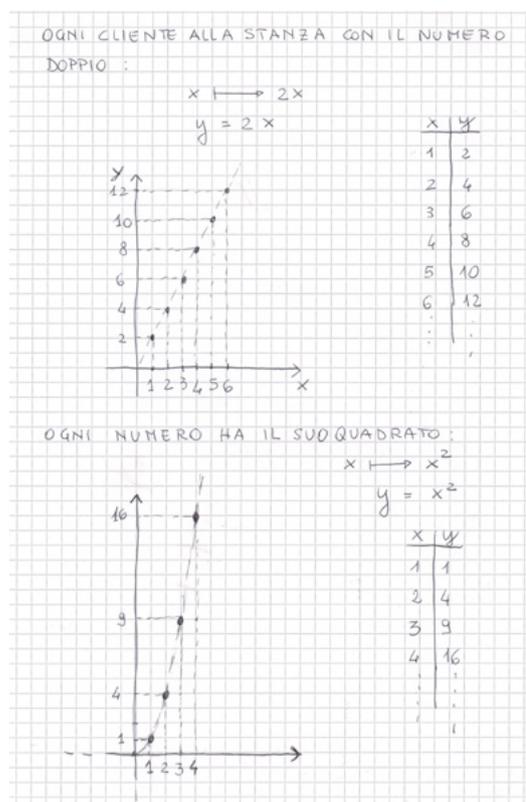
In seguito leggemo anche un breve dialogo tratto dal libro *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* di Galileo (3) e più precisamente il frammento in cui ci si interroga se siano “di più” i numeri naturali o i loro quadrati, incluso nella “Giornata Prima”.

Dopo le due letture chiesi alla classe di disegnare le due situazioni usando rappresentazioni in un piano cartesiano. “Hotel Aleph” venne

rappresentato mediante la semiretta $y=2x$, anche se “piena di buchi” e il dialogo fra Sagredo, Salviati e Simplicio diventò “metà” della parabola $y=x^2$ “bucherellata”.

Siccome lavoravo con allievi molto giovani, non mi spinsi oltre. Terminammo con la stessa perplessità espressa da Galilei, che fa dire a Salviati:

«Queste son di quelle difficoltà che derivano dal discorrer che noi facciamo col nostro intelletto finito intorno agli infiniti, dandogli quelli attributi che noi diamo alle cose finite e terminate; il che penso che sia inconveniente, perché stimo che questi attributi di maggioranza, minoranza ed egualità non convenghino agli infiniti,»



Rappresentazioni degli studenti in piano cartesiano dell’Hotel Aleph e del dialogo Galileiano

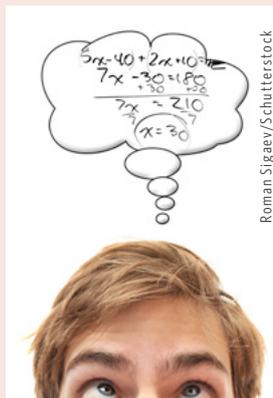
IN CONCLUSIONE

Gli studenti si sono entusiasmati e divertiti facendo ragionamenti astratti. Le diverse prove dello spettacolo hanno permesso loro di “passare e ripassare” su un concetto difficile aiutandoli ad interiorizzarlo senza annoiarsi. Il muoversi in scena per rendere concretamente l’idea degli spostamenti fra stanze li ha aiutati a “incorporare” ④ la biezione fra i numeri pari e i numeri naturali.

Riscoprire in una fonte originale le perplessità di un genio quale Galilei è stato emozionante e ha consentito di presentare la matematica come un prodotto storico in continuo divenire.

Il lavoro sinergico di sei insegnanti ha veicolato una visione unitaria ed ampia della cultura e la recita pubblica di fine anno è stata un momento di grande soddisfazione in cui i ragazzi si sono sperimentati nella duplice veste di attori e comunicatori scientifici con grande apprezzamento delle famiglie e del pubblico in generale.

L’esperienza mi ha convinta che una “buona perplessità” sia una fonte di apprendimento più ricca e prolifica di una “certezza pseudostrutturata”. Che ne pensate? ●



MATEMATICA, MENTE, COMUNICAZIONE

Insegnare matematica è difficile, lo sappiamo. I risultati nell’apprendimento di questa materia a livello mondiale sono lì a ricordarcelo. Per cercare di facilitarne l’apprendimento è importante prendere coscienza degli aspetti neurologici, psicologici, semiotici, linguistici, cognitivi e comunicativi intrinsecamente legati a esso.

Segnalo due libri illuminanti a questo proposito, che sono stati tradotti in italiano: *Da dove viene la matematica* di George Lakoff e Rafael E. Nunez (Bollati Boringhieri) e *Psicologia*

del pensiero matematico di Anna Sfard (Erickson). Nel primo si cerca di rispondere alla perplessità galileiana: come può un essere con un cervello e una mente finiti comprendere l’infinito.

Si tratta di un’analisi cognitiva delle idee matematiche e del loro legame con la realtà da un lato e col nostro cervello dall’altro in cui viene assegnato alla metafora il ruolo fondamentale di tramite concettualizzante.

Nel secondo invece, la figlia di Zygmunt Bauman critica la dicotomia fra il pensiero e la comunicazione. Ritiene che molti problemi nell’apprendimento della matematica traggano origine dall’ambiguità insita nel linguaggio e nei discorsi sul pensiero.

Introduce la “comognizione”, neologismo figlio della fusione fra “comunicazione” e “cognizione”. La comognizione è il pensiero visto come una forma individualizzata di comunicazione interpersonale ed è il modo in cui le idee matematiche si formano e si sviluppano dentro di noi.

BIBLIOGRAFIA

- ① A. Sfard, *On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin*, Educational Studies in Mathematics, vol. 22, pp.1-36.
- ② C. Vicentini, *Si les mathématiques m’étaient contées...*, Proceedings of the Third European Summer University on History and Epistemology in Mathematical Education, edito da Radlet-P. De Grave, Leuven and Louvain-la-Neuve, 1999, pp. 355-366.
- ③ G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Boringhieri, Torino, (1638), 1958.
- ④ G. Lakoff, Nunez R.E., *Da dove viene la matematica. Come la mente embodied dà origine alla matematica*, Bollati Boringhieri, Torino, 2005.
- ⑤ G. Cantor, *La formazione della teoria degli insiemi*, a cura di Gianni Rigamonti, Biblioteca Universale Sansoni, Firenze, (1874-84) 1992.

Caterina Vicentini

insegna matematica e fisica al liceo artistico Max Fabiani di Gorizia e storia ed epistemologia per la didattica della matematica all’Università di Udine. Per Pearson è autrice dei volumetti Matevisual, dedicati alla visualizzazione di concetti matematici.



Ict e making? Un gioco da ragazze

di **Tiziana Moriconi**

Un progetto rivolto alle secondarie di primo grado, per spingere le ragazze a prendere confidenza con tecnologie informatiche e *maker space*: il racconto dell'esperienza e del suo successo.



Siamo in una scuola media di Milano, in un pomeriggio di novembre, in compagnia di quattro ragazze tra gli 11 e i 13 anni che hanno deciso di partecipare a un'insolita attività extrascolastica: ideare e realizzare un progetto "da maker", dall'inizio alla fine. Significa dialogare con il committente, fare ricerche "di mercato" e verifiche di fattibilità, e darsi delle scadenze. E ancora: decidere gli strumenti e i materiali da utilizzare, modellizzare al computer ciò che si intende realizzare, scrivere il programma per le componenti hardware e quello per istruire le macchine da usare per creare il prototipo. Infine, presentare il progetto, magari attraverso un sito o con un video

da pubblicare online. È un lavoro complesso, che richiede diverse competenze, anche nel campo delle Ict (Information and Communication Technology), ma le giovani studentesse lo porteranno a termine.

GIRLS CODE IT BETTER

La cornice del quadro che abbiamo appena dipinto è *Girls code it better* (link.pearson.it/3A3CEA09), un programma sperimentale realizzato grazie all'agenzia per il lavoro MAW-Men at Work, il *maker space* di Milano WeMake (link.pearson.it/A335BBB3) le associazioni Sociopratiche e Connessioni didattiche, e al patrocinio e alla collaborazione di diversi enti pubblici.

Il progetto, partito quest'anno, si rivolge esclusivamente alle ragazze, e ha uno scopo ben preciso: avvicinarle ai linguaggi e alle nuove competenze digitali, in modo da renderle capaci di comprendere, creare e utilizzare consapevolmente il web e le tecnologie informatiche, e incoraggiarle a prendere in considerazione percorsi formativi e carriere STEAM (acronimo di science, technology, engineering, arts, mathematics). «Il leitmotiv – spiega Cristina Martellosio di Sociopratiche, una delle coordinatrici dell'iniziativa – è combattere lo stereotipo secondo il quale il genere femminile non sarebbe portato per il mondo delle Ict e delle scienze. Il secondo obiettivo è presentare le tecnologie digitali come strumenti e non come un fine: promuovere cioè l'acquisizione di competenze digitali nei processi di risoluzione di problemi o di progettazione di oggetti, secondo una logica di apprendimento per scoperta e ricerca.»

IL PROGETTO, IN SINTESI

In questa prima esperienza sono state coinvolte dieci scuole di quattro città: Bologna, Modena, Reggio Emilia e Milano. A ciascun istituto è stato chiesto di raccogliere le candidature spontanee delle alunne e di selezionare 16 partecipanti, che sono state a loro volta divise in quattro gruppi. Sotto la guida di un'educatrice e di una maker (entrambe esterne alla scuola) e con il supporto di un'insegnante referente, ogni gruppo avrebbe dovuto ideare e realizzare un progetto ispirato a un tema proposto dalla propria scuola. Per farlo, avrebbe avuto a disposizione 45 ore (con l'impegno di un pomeriggio a settimana per circa cinque mesi, da novembre a marzo), aule, computer, tecnologie Arduino ^①, software liberi, connessione a internet e accesso ai makerspace (detti anche FabLab), con la possibilità di utilizzare stampanti 3D e altri macchinari. Le alunne si sarebbero poi autovalutate sull'acquisizione di competenze chiave e di cittadinanza.

L'IMPORTANZA DEL PERCORSO

Ecco allora circa 160 alunne divise in 40 gruppi alle prese con dieci problemi da risolvere, in un contesto completamente nuovo per loro. «Le difficoltà di portare a termine un progetto del genere sono diverse» spiega Chiara Amendola di WeMake. «La più grande è che le ragazze devono prendere tutte le decisioni in autonomia: dato il tema, devono stabilire quale aspetto sviluppare e se si trovano in un'impasse, devono capire da sole come venirne a capo. E non devono solo imparare a usare un programma, ma prima devono capire quale programma usare: qual è il più adatto al loro scopo. In tutto questo, noi tutor possiamo aiutarle

soltanto a porsi le domande giuste e a ragionare, e offriamo alcuni strumenti, come le tabelle per le timeline, ma non diamo mai soluzioni. Dal punto di vista didattico, crediamo che sia più importante il percorso della meta.»

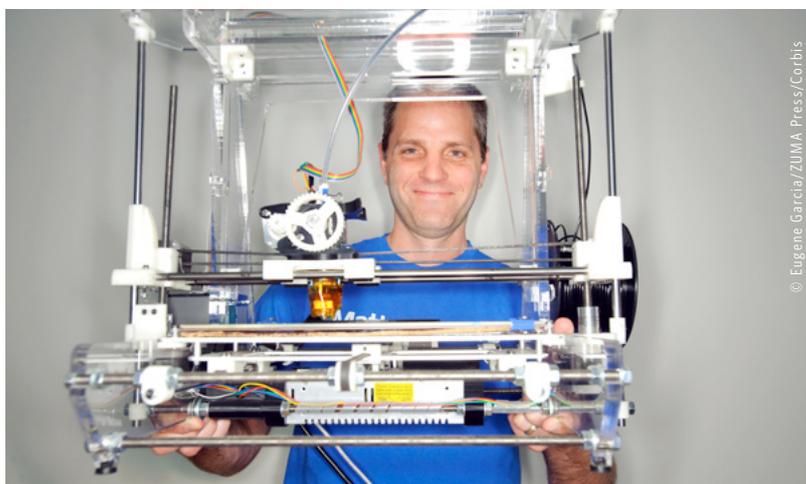
L'ESPERIENZA DEL "CLUB MUNARI"

Amendola è stata l'educatrice di un gruppo dell'Istituto comprensivo Bruno Munari di Milano, una delle dieci scuole coinvolte. «Il primo passo è stato portare le ragazze a ideare qualcosa che potesse risolvere, o almeno affrontare, il problema posto dalla scuola. Ma nel loro caso specifico il tema era piuttosto complesso: pace e solidarietà tra i popoli. Si sono chieste: "cosa possiamo fare riguardo al problema delle guerre, visto che non possiamo risolverlo?" La risposta che è venuta loro in mente è fare informazione.»

I quattro gruppi del "Club Munari" hanno ideato progetti molto diversi tra loro: una cover per cellulari che sensibilizzasse i coetanei sul problema dei bambini soldato, e che si adattasse a diverse marche, grazie a un'apertura allargata per la telecamera; un gioco a puzzle per adulti e bambini: per costruirlo, i primi sono chiamati a spiegare i valori di pace e solidarietà ai secondi; un gioco da tavolo sulla distribuzione delle risorse nel mondo e sulle disparità che causano le guerre; una linea di magliette con grafiche sul tema della tolleranza, realizzate attraverso stencil.

COME SI FA UN GIOCO DA TAVOLO?

«Io ho seguito il gruppo che ha realizzato il gioco da tavolo sulle risorse del pianeta», continua l'educatrice. «La prima cosa da fare è redigere un piano di fattibilità, avendo chiari tutti gli step e ciò di cui si avrà bisogno, e calcolando le tempistiche. Quindi le ragazze dovevano decidere cosa creare



© Eugene Garcia/ZUMA Press/Corbis

Una stampante 3D

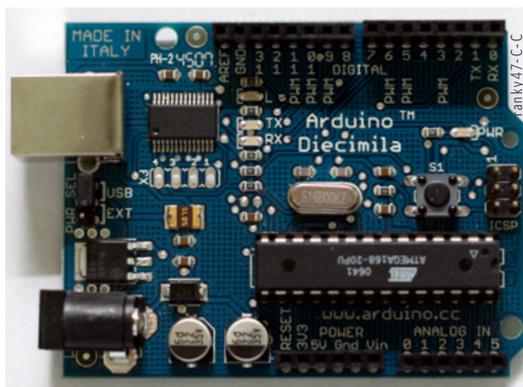
esattamente, fare ricerche online, stabilire come realizzare il gioco, scegliere i materiali e le macchine da utilizzare per fare le pedine e il tabellone. Durante tutto il lavoro, dialogavano tra loro attraverso un diario di bordo collettivo, al quale avevamo accesso come lettrici anche noi tutor: questo ci ha permesso di osservare le dinamiche e aiutarle nelle difficoltà. Da subito hanno imparato a usare i programmi di grafica vettoriale 3D, ma dopo questa fase c'è stato un primo blocco: lavorando solo nel mondo virtuale, non riuscivano a immaginare il prodotto. Per superarlo, ho consigliato loro di fare una piccola incursione nell'aula di educazione artistica, e di attingere ai materiali per creare un primo prototipo alla vecchia maniera, con forbici e cartone. Sono riuscite a superare l'ostacolo alternando queste due fasi della creazione, reale e digitale. Alla fine sono arrivate a preparare il file da inserire in una stampante 3D.»

VISITA AL MAKERSPACE

Il programma, infatti, prevedeva anche due pomeriggi da trascorre in un FabLab, dove le studentesse avrebbero finalmente dato materia alle loro idee. «Quello del makerspace è un momento di verifica», spiega Claudia Scarpa, maker presso WeMake. «Le ragazze si sono trovate per la prima volta davanti a una lasercut (un laser che si usa per tagliare o incidere diversi materiali, *NdR*), a una stampante 3D, a un banco di elettronica dove si saldano circuiti e si lavora con Arduino e ad altri macchinari. Si comincia testando la modellizzazione, intagliando un materiale economico, per esempio cartone. Si verificano gli incastri e le caratteristiche del progetto e, come sempre accade, bisogna rimettere mano al file, per apportare correzioni. Da questa fase non si può scappare: abbiamo spiegato che l'errore non deve essere inteso come un fallimento, ma come esperienza. Che i makerspace sono luoghi in cui si fa più verifica che produzione, e che ogni volta è necessario rivedere i codici e i settaggi delle macchine.»

Le studentesse non potevano toccare i macchinari per una questione di sicurezza, ma hanno seguito da vicino tutti i passaggi. Una volta perfezionato il progetto, hanno utilizzato il materiale definitivo, che poteva essere legno, cuoio, tessuto, plexiglass o plastiche atossiche, che non sviluppano sostanze nocive quando vengono tagliate con il laser.

«Un altro aspetto importante – continua Scarpa – è che i FabLab sono ambienti di *coworking*: si incontra sempre qualche artigiano digitale che lavora ai propri progetti, e le ragazze hanno



La tecnologia open source Arduino, protagonista dei maker space

avuto la possibilità di confrontarsi e scambiare idee.» Alla fine, per loro è stata una grandissima soddisfazione ritrovarsi tra le mani un prodotto rifinito, all'altezza di quelli industriali.

IL PUNTO DI VISTA DELL'INSEGNANTE

L'ultimo, ma fondamentale, passaggio era la presentazione del progetto: le ragazze del Club Munari hanno deciso di usare un blog, e hanno quindi dovuto imparare anche a lavorare in WordPress. «Credo che *Girls code it better* sia stato utile per le studentesse sotto diversi aspetti», dice Anna Chirolì, docente di italiano presso la scuola Munari e referente interna del progetto. «Prima di tutto perché il preconcetto secondo il quale esiste una differenza di genere nella propensione per le scienze dure e l'informatica è ancora diffuso. Quando, lo scorso settembre, abbiamo presentato il progetto nelle classi, quasi tutti i ragazzi avrebbero voluto partecipare, mentre non è stato semplice trovare ragazze interessate. Il progetto ha invece permesso di provare loro che sono perfettamente in grado di riuscire in queste materie, e di scoprire che le STEAM sono una strada percorribile. Per questo è stato fondamentale che non fosse richiesto alcun prerequisito: non dovevano, cioè, essere studentesse modello in matematica. L'unica richiesta era garantire la frequenza.»



Un altro aspetto interessante riguarda la motivazione allo studio. «Attraverso il progetto – continua Chirolì – le ragazze hanno compreso il nesso tra le cose che si imparano e ciò che si può realizzare concretamente. Cioè, che il passaggio teorico è importante. Che senza le competenze, potrai anche avere l'idea più brillante del mondo, ma non potrai realizzarla. Queste ragazze hanno dovuto tirare fuori idee da un tema astratto, razionalizzarle ed esprimerle con parole. Come insegnante di tre delle partecipanti, ho notato che questo esercizio ha avuto un ritorno significativo in classe: c'è stata una grande maturazione soprattutto nella più svogliata delle tre, che nel corso del progetto ha cambiato atteggiamento nei confronti dello studio. La sua votazione è passata dal 5 al 7.» Il progetto ha avuto una ricaduta anche sul loro senso di responsabilità. «Uno dei problemi con cui si sono scontrate è il rispetto delle scadenze. E credo che questo sia servito loro per capire l'importanza di un uso intelligente del tempo. Infine, le ragazze si sono rese conto del valore del loro lavoro, e hanno presentato il gioco da tavolo alla manifestazione Scienza Under 18 di Milano», conclude Chirolì.

SE LA SCUOLA MOSTRA NUOVI PERCORSI

Anche per l'Istituto Comprensivo Di Vona-Speri di Milano la partecipazione al progetto è stata estremamente positiva. A seguire i progetti era l'insegnante di Matematica Patrizia Golin: «La nostra scuola è molto grande, con 13 sezioni e più di 900 studenti, di cui circa 400 ragazze, e la partecipazione a *Girls code it better* è stata massiccia: abbiamo ricevuto un centinaio di richieste. L'esperienza è stata sbalorditiva non solo per quello che le ragazze hanno realizzato, ma anche per lo spirito che hanno mostrato. Non hanno fatto quasi mai assenze, nonostante l'impegno fosse grande, e i gruppi si sono aiutati l'uno con l'altro. Hanno anche imparato a usare strumenti non banali, come i tester per le celle solari. Credo sia positivo

che il progetto non si rivolga alla classe intera, ma ai singoli, e che studentesse di età differenti collaborino». Anche lei ha notato un cambiamento radicale in una delle sue alunne: «Una ragazza già ripetente, con un atteggiamento completamente disinteressato nei confronti dello studio e della propria istruzione, durante il percorso ha cominciato a partecipare molto di più in classe, a studiare, a prepararsi per l'esame, e ha deciso che si iscriverà a una scuola di grafica. Questo dimostra l'importanza di progetti del genere, e per di più gratuiti per la scuola, che hanno come primo obiettivo mostrare nuovi percorsi e infondere nei giovani la fiducia in loro stessi».

ALLA RICERCA DI PROGETTI DA MAKER

Per chi volesse informazioni su iniziative simili a *Girls code it better*, ci sono alcuni siti web da inserire tra i preferiti. Ecco un piccolo elenco da cui cominciare. E oltre a questo, sono naturalmente consigliate le visite agli oltre 40 makerspace che si trovano in giro per l'Italia.

Lepida Scuola (link.pearson.it/5420EBDE): un gruppo di docenti della scuola pubblica impegnato nella ricerca educativa, che ha messo a punto un suo metodo di didattica "per problemi e progetti", per lo sviluppo delle competenze. A questo metodo si sono ispirate le ideatrici di *Girls code it better*.

Maker Faire Rome (link.pearson.it/34E7623B): il grande evento annuale dedicato ai maker di ogni età. La fiera presenta anche la sezione "Scuole", creata in collaborazione con il ministero dell'Istruzione e con l'Assessorato Scuola, Sport, Politiche Giovanili e Partecipazione di Roma Capitale. La scadenza per presentare la domanda di partecipazione è il 25 maggio. L'edizione di quest'anno si terrà dal 16 al 18 ottobre.

Maker@scuola (link.pearson.it/43E052AD): un progetto di ricerca dell'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (Indire).

Make in Italy (link.pearson.it/D35F4F3C): una fondazione nata per aiutare e promuovere i maker italiani e i FabLab.

Scuola di Robotica (link.pearson.it/A4587FAA): un'associazione che porta avanti attività di istruzione, formazione, educazione e divulgazione.

Digital makers - La buona scuola (link.pearson.it/3D512E10): l'iniziativa che intende definire il curriculum dei Produttori Digitali per la scuola secondaria, da utilizzare a partire dall'anno scolastico 2015/16.

FabCentre - Immaginario Scientifico (link.pearson.it/4A561E86): il nuovo programma di attività e laboratori dedicati ad adulti e ragazzi sopra i 14 anni, su Arduino e stampa 3D, organizzati dal museo delle scienze di Trieste.

BIBLIOGRAFIA

- ① Wikipedia, per saperne di più sulla piattaforma elettronica Arduino: link.pearson.it/D4328B25

Tiziana Moriconi
giornalista scientifica, collabora
con Galileo, Le Scienze, D la
Repubblica online, Wired.it.



Comitato editoriale: Valeria Cappa, Marika De Acetis, Cristina Gatti, Valentina Murelli
Coordinamento e progettazione: Valentina Murelli
Redazione e ricerca iconografica: Jacopo Cristini
Coordinamento realizzazione editoriale: Marco Palvarini, Triestina Giannone
Disegni: Vito Manolo Roma
Progetto grafico: Shiroi studio
Impaginazione: Giorgia De Stefani

Pubblicazione aperiodica distribuita gratuitamente nelle scuole, pubblicata da Pearson Italia S.p.A. Corso Trapani 16, 10139, Torino. L'editore è a disposizione per gli aventi diritti per eventuali non volute omissioni in merito a riproduzioni grafiche e fotografiche inserite in questo numero. Si autorizza la riproduzione elettronica e cartacea per l'uso didattico in classe.

Tutti i diritti riservati © 2015 Pearson Italia. www.pearson.it