

HELIOS



marzo 2019

volume 2

Trigger: il primo passo alla scoperta del mondo dei rivelatori di particelle.

a pagina 5

A caccia di onde: storia e futuro delle onde gravitazionali.

a pagina 10

Indice

2 **Almost nothing: recensione film**

di Viola Ferretti e Giada Picciaia

Un documentario per scoprire il lato più umano del CERN e capire veramente che aria si respira nel più grande laboratorio al mondo di fisica delle particelle.

5 **Let's talk about Particle Detectors: Trigger**

di Samuele Giuli e Alessandro Pascolini

Uno sguardo sul mondo dei rivelatori di particelle e sulla loro storia, che inaugura la prima rubrica di Helios!

10 **A caccia di onde: storia e futuro delle onde gravitazionali**

di Marta Cocco e Lucio Moriconi

Approfondimento su una delle più recenti scoperte del mondo della fisica, importante conferma delle teorie sviluppate da Albert Einstein.

16 **Viaggio sul pianeta rosso**

di Claudio Brugnoli e Matteo Wassim Jeraisi

Un tuffo nella storia dell'esplorazione del nostro vicino di casa Marte, che non smette mai di rivelarci nuove sorprese.

20 **I LASER alla conquista del Nobel**

di Alba Iovane

Avete mai immaginato le infinite potenzialità di un fascio di luce? Tra Pinzette ottiche e impulsi laser, Arthur Ashkin, Gérard Mourou e Donna Strickland hanno dato ampia prova dei milleusi dei raggi laser.

25 **Fisica e computer (Caffè Scientifico)**

di Alberto Paolini e Maria Susini

Sintesi dell'ultimo incontro del ciclo di eventi "Caffè Scientifico".

ALMOST NOTHING

Recensione film



In questo posto è consentito sognare

Diciamo la verità, tutti conosciamo il CERN (acronimo di Conseil Européen pour la recherche nucléaire) la cui sede sta a Ginevra e da cui ogni tanto salta fuori qualche scoperta. Ma che aria si respira veramente lì dentro? Molti sicuramente sperano di poterlo capire di persona un giorno, ma intanto possiamo trarre qualche indizio dal film "Almost Nothing".

La regista Anna de Manincor ci presenta questo luogo come una "città sperimentale", una vera e propria società quasi a sé stante, utopica, dove l'unica regola che vige è cooperare per permettere il progresso scientifico, che in fondo permette quello umano. L'atmosfera e i principi che caratterizzano il CERN ne sono la conferma, infatti, tra gli obiettivi che si pone, c'è proprio quello di portare avanti la ricerca scientifica superando ogni possibile barriera tra le nazioni. "Se ti dimentichi nazionalità e religione, emerge la civiltà" sostiene uno dei fisici intervistati. È questa unione di intenti a far sì che ci sia la solidarietà e la collaborazione necessaria a far funzionare la società scientifica del CERN. Va da sé che, come sostiene il direttore generale Fabiola Gianotti, "luoghi come il CERN, non solo arricchiscono l'umanità, ma permettono anche la nascita di idee che diventeranno le nuove tecnologie future".

Ma concretamente che cosa si fa ogni giorno? La ricerca che si svolge è in particolar modo incentrata sulla fisica delle particelle, per cui scienziati provenienti da ogni parte del mondo si riuniscono a Ginevra per lavorare a diversi esperimenti. In questo ambiente ci si dedica con tale entusiasmo e coinvolgimento al lavoro che può rivelarsi fondamentale anche la "pausa", ovvero quando i ricercatori si ritrovano in caffetteria, per riposarsi. Persino al tavolo del bar, infatti, avviene il confronto diretto tra idee, interrogativi e tentativi di dare risposte. Le menti si incontrano e lavorano forse più di prima, quando erano in laboratorio, giungendo a intuizioni innovative, nuove teorie, e perché no, anche a nuove e stimolanti domande. Ed è proprio per questo che, secondo quanto ci consigliano i ricercatori, "se qualcuno ti invita a prendere un caffè, ci vai".

Immersi in tutta questa serietà, i ricercatori trovano anche il tempo di divertirsi. La realtà che ci presenta il film distrugge ogni possibile stereotipo del fisico sempre chiuso nel laboratorio, a fare i conti come una sorta di scienziato pazzo. Invece le passioni di ognuno non si annullano, ma anzi si ha la possibilità di poterle coltivare.

Nel corso del documentario sono intervistati fisici che sono anche poeti, musicisti, cantanti (provare per credere: Les Horribles CERNettes sono su YouTube!). Perciò, dopo aver scoperto il World Wide Web, il CERN ha un altro primato: quello di aver dato vita alla prima girl band apparsa su Internet. Effettivamente le figure dello scienziato e dell'artista sono molto più simili di quanto si possa immaginare, poiché entrambe si pongono l'obiettivo di indagare l'ignoto, l'invisibile, sfruttando la loro capacità di astrazione di concetti complessi per esprimerlo in modo simbolico o tecnico.



fig. 1: *Les Horribles CERNettes*, l'unico gruppo musicale formato da sole dipendenti del CERN.

(diritti riservati ad Anna de Manincor)

Uno degli obiettivi che si pone Anna de Manincor girando il documentario non è tanto di informare sulle scoperte che al CERN si sono realizzate, quanto di cercare di mostrarci il processo che permette di arrivare ad esse, di cui molto spesso si ignora l'esistenza. Il singolo risultato di un esperimento, che sia la scoperta di una nuova particella o lo studio delle proprietà dell'antimateria, dipende dal lavoro di numerose persone. C'è chi progetta l'esperimento. C'è chi costruisce le strutture necessarie per realizzarlo.

Ancora, c'è chi raccoglie, analizza i dati. Al pubblico arriva in genere solo la notizia di un nuovo traguardo scientifico raggiunto, ma quasi sicuramente non si rende conto di quanto sforzo, impegno e collaborazione siano stati necessari per arrivarci. Certe volte, tuttavia, il lavoro portato a termine non dà i risultati sperati. Normalmente un fallimento del genere viene visto come una sconfitta personale, in un'ottica per lo più negativa. Nella ricerca scientifica sicuramente si eviterebbero volentieri gli errori, ma è proprio da lì che possono nascere sbocchi per altri studi, che si può conoscere qualcosa di nuovo, o migliorare un esperimento. Il CERN e le esperienze che i ricercatori al suo interno hanno vissuto ne sono una conferma. Dopo un lavoro attento e preciso per completare la costruzione di LHC (Large Hadron Collider), l'esperimento più grande del CERN, il complesso è entrato in funzione il 10 settembre 2008. Tuttavia il 19 settembre un grave incidente ha comportato il blocco delle operazioni. Infatti una massiccia fuga di elio verificatasi all'interno della struttura ha causato il danneggiamento di alcuni magneti e dei tubi a vuoto. Tale evento, a detta degli stessi ricercatori intervenuti nel docufilm, ha fatto sprofondare l'ambiente lavorativo in un'atmosfera di delusione e tristezza generale, sia per il fallimento scientifico in sé che per la risonanza che ha avuto tale spiacevole notizia. Tuttavia è nello spirito stesso di chi fa scienza la volontà di raggiungere le risposte alle tante domande che ci si pone. Perciò questo errore ha ostacolato da un certo punto di vista la ricerca rallentandola, ma dall'altro la ha motivata ancora di più nell'intento di perfezionare ciò che non andava e di far funzionare LHC. Quindi, rimettendosi al lavoro, si è riusciti a farlo ripartire il 20 novembre 2009.

E non finisce qui, infatti per migliorare ancora le prestazioni di LHC e degli altri complessi sperimentali ci sono continue ricostruzioni, poiché, come dicevamo, accorgersi di errori o imprecisioni presenti nel sistema non significa che il lavoro fatto è stato inutile, ma che ne serve ancora altro per arrivare alle risposte che si stanno cercando.



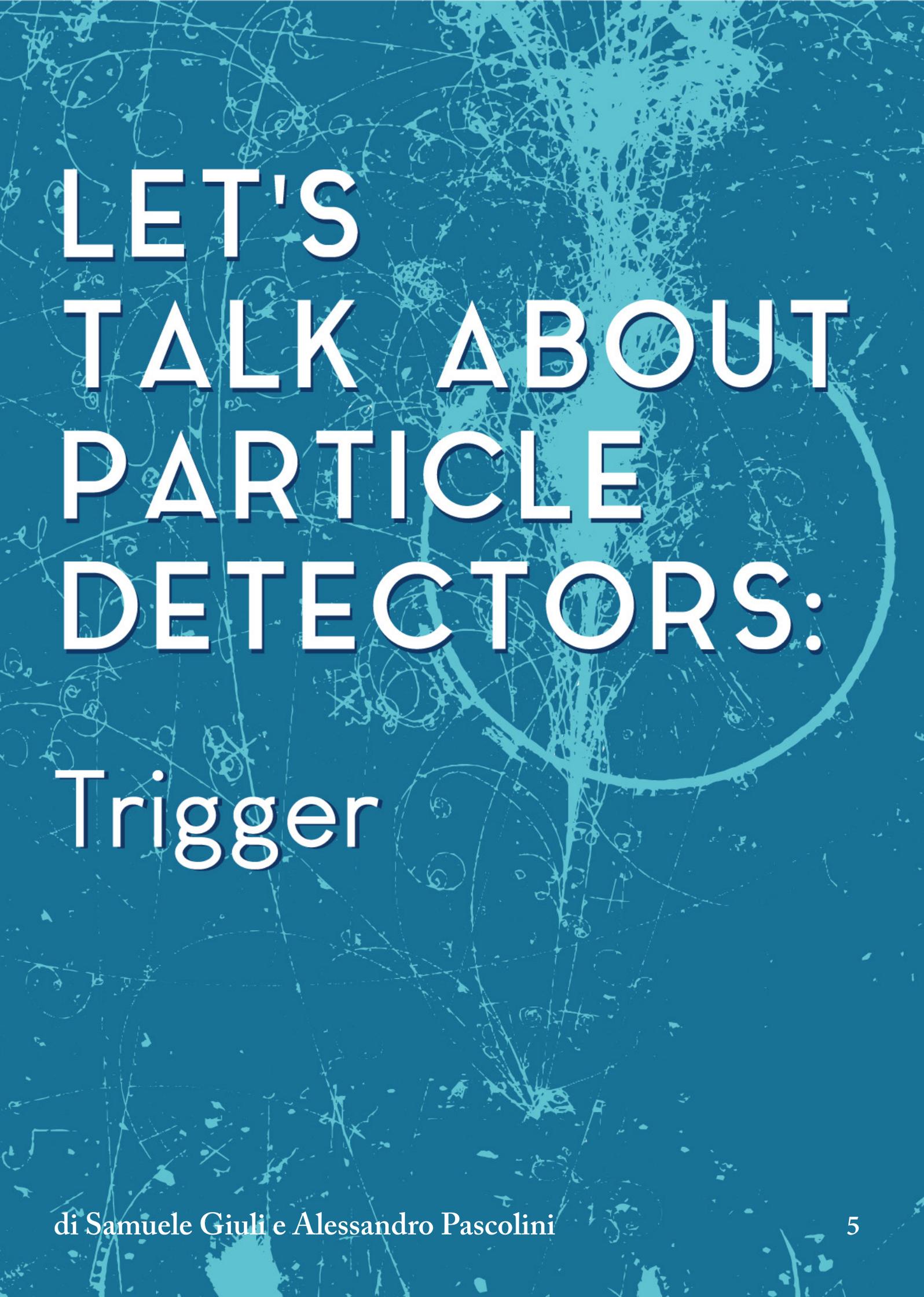
fig. 2: Fabiola Gianotti, attuale direttrice del CERN.
(diritti riservati a CERN)

Insomma, al CERN migliaia di persone lavorano ad esperimenti che durano molti anni, e lo fanno senza la certezza di poter trovare i risultati attesi. Nel loro ottimismo generale c'è un senso di malinconia, di realismo, un senso del tempo e dell'immaterialità di ciò che fanno, vinto però dal desiderio di conoscenza e dalla voglia di sognare, di spingersi più in là. Emblematica è la scelta registica delle ripetute inquadrature su ricercatori semplicemente immobili, ad occhi chiusi, in attesa dell'intuizione che possa suggerire loro una nuova chiave di lettura della realtà.

Giada Picciaia frequenta il primo anno di fisica. Sembra una persona simpatica, o almeno lo crede. Amante della natura, un giorno le piacerebbe fare l'avvocata ambientalista, nel frattempo studia fisica.



Viola Ferretti frequenta il primo anno. Quando ha sentito parlare di Meccanica Quantistica, restandone affascinata (in realtà senza averci capito granché), ha deciso di iscriversi a Fisica. Sogna di visitare un giorno il Jurassic Park.



LET'S TALK ABOUT PARTICLE DETECTORS:

Trigger

Osservare è un verbo che in fisica assume un significato molto importante. Già nel XVII secolo, Galileo Galilei, parlava di come "...nelle dispute di problemi naturali [si dovrebbe cominciare] dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie..." [1].

Aveva ben chiaro quindi che l'osservazione ("sensate esperienze") era una parte fondamentale del metodo scientifico.

La nascita dei primi rivelatori

È ormai comunemente noto che la materia è composta da atomi che a loro volta sono fatti di particelle più piccole come elettroni e protoni. Sappiamo inoltre che l'universo è popolato da una miriade di altre particelle che, una volta generate, possono avere vite così brevi che è impossibile misurarle direttamente. Le particelle che prendiamo in esame non sono più grandi di qualche femtometro (10^{-15}m). Per rendere l'idea, se prendessimo il diametro di una mela e la ingrandissimo fino a raggiungere le dimensioni della terra, allora queste particelle avrebbero le dimensioni della mela di partenza. Come riusciamo quindi a rilevare la presenza di queste particelle e come riusciamo a distinguerle? Sappiamo che queste particelle sono caratterizzate da proprietà, come massa e carica elettrica, che le contraddistinguono. Ad ogni particella inoltre corrisponde un'antiparticella, identica alla prima, ma con carica opposta.

Oltre a queste caratteristiche vi sono proprietà cinematiche come momento ed energia, che da sole non differenziano le particelle, ma svolgono un ruolo importante per la loro misura e identificazione. È chiaro quindi che per distinguere i vari tipi di particelle sarà necessario misurare solo le loro proprietà intrinseche.

Il primo utilizzo di rivelatore di particelle si deve a Wilhelm Röntgen (Nobel per la fisica 1901) che, alla fine del XIX osservò come una radiazione, che oggi chiamiamo raggi X, prodotta da un tubo di Crookes oscurasse la pellicola di una lastra fotografica, utilizzando quest'ultima proprio come un rivelatore di particelle.

La fisica non si è mai allontanata da questo pensiero e, nel secolo passato, ha visto la nascita di una nuova tipologia di strumenti di misura che ci permettono di "osservare" i costituenti dell'universo che sono invisibili all'occhio nudo. Questi strumenti sono chiamati "rivelatori di particelle" e sono nati per studiare la fisica nucleare, una disciplina nata proprio a cavallo fra il XIX e il XX secolo.

Qualche anno dopo Hans Geiger inventò il primo rivelatore di particelle che, come i moderni apparati di rivelazione, restituiva un segnale elettrico al passaggio di una particella carica, il contatore Geiger-Müller, strumento ancora utilizzato per rivelare la presenza di radiazioni ionizzanti e quindi potenzialmente pericolose per l'uomo.

Da quel momento la fisica nucleare vide un'enorme crescita e, parallelamente ad essa, la costruzione di rivelatori di particelle diventò una sfida tecnologica cruciale per la verifica delle nuove teorie nucleari. L'invenzione del primo rivelatore di traccia, si deve a Charles Wilson (Nobel per la fisica 1927) che costruì la prima camera a nebbia. Il principio di funzionamento è semplice: quando una particella carica attraversa un vapore sovrassaturo d'alcool o d'acqua, questo viene ionizzato e gli ioni formati diventano centri di condensazione che rendono visibile il percorso della particella carica tramite la formazione di goccioline lungo la traccia. Quello che interessava i fisici era il moto che ogni particella assumeva attraversando un campo magnetico. Le camere a nebbia sono state particolarmente importanti per la scoperta del positrone, antiparticella dell'elettrone, ad opera di Carl Anderson nel 1932. Il positrone ha carica opposta rispetto all'elettrone e all'interno di un campo magnetico si muove in senso contrario come in figura 4.

[1] Galileo Galilei - Lettera a madama Cristina di Lorena granduchessa di Toscana - 1610 (fonte:[https://it.wikisource.org/wiki/Lettere_\(Galileo\)/XIV](https://it.wikisource.org/wiki/Lettere_(Galileo)/XIV))

Un'evoluzione di questo tipo di rivelatore è la camera a bolle, inventata da Donald Glaser (Nobel per la fisica 1960), a differenza della camera a nebbia questo modello usa un liquido in condizione metastabile¹, in modo da permetterne l'ebollizione una volta attraversato da una particella carica ionizzante. Per registrare la traccia vengono scattate numerose fotografie in un breve lasso di tempo, il risultato è quello della figura 5.

Negli anni successivi, la nascita di grandi laboratori nazionali (e.g. Fermilab nel '67) ed internazionali (e.g. CERN nel '52) di ricerca in fisica nucleare hanno portato allo sviluppo di numerosi rivelatori e oggi un singolo esperimento in fisica delle particelle può contenere anche una decina di apparati di misura.

La necessità di utilizzare più rivelatori in un singolo esperimento deriva dall'alta specificità di un singolo rivelatore e dai limiti che otterremmo utilizzandone uno solo. Non esiste infatti un singolo rivelatore che misuri, con sufficiente precisione, tutte le proprietà che identificano una particella, per questo è necessario combinare diversi rivelatori, che effettuino misure indipendenti, per rilevare le caratteristiche interessanti per un esperimento.

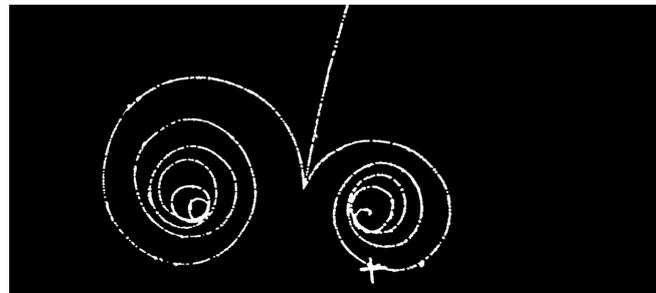


fig. 3: Produzione di coppia elettrone-positrone.

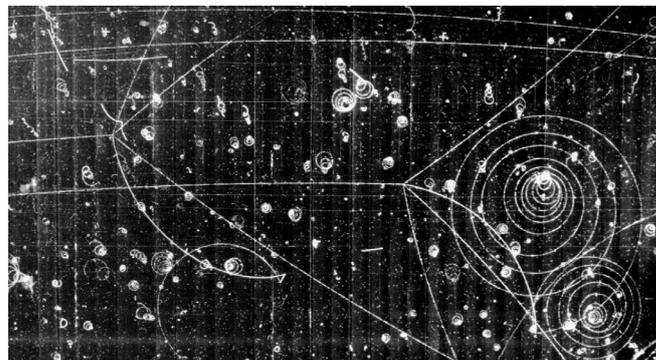


fig. 4: Tracce rilevate con una camera a bolle.

(1) Si mantiene in condizione di equilibrio nel tempo fintanto che non viene fornito al sistema un quantitativo sufficiente di energia che ne perturbi l'equilibrio.

(2) Dall'inglese Photo Multiplier Tube.

Cosa sono i Trigger

Questo articolo è il primo di una rubrica, dal nome Let's talk about Particle Detectors, che introdurrà al mondo dei rivelatori di particelle. I primi apparati di cui parleremo sono i rivelatori che svolgono una funzione di Trigger.

Negli esperimenti di fisica delle particelle vengono elaborati un gran numero di dati, per questo motivo è importante effettuare una prima scrematura, molto rapida, sulle informazioni raccolte. Gli apparati di trigger svolgono il compito di selezionare gli eventi che hanno una struttura interessante.

Molto spesso questi rivelatori sono composti di due sotto-apparati: **scintillatore** e **tubo fotomoltiplicatore (PMT)**².

Gli scintillatori sono materiali che, al passaggio di particelle cariche e di fotoni, emettono luce a determinate lunghezze d'onda. I requisiti di un buon scintillatore sono:

- alta efficienza per la conversione Energia->Luce
- trasparenza alla sua luce di fluorescenza e frequenza di emissione compatibile con quella rilevabile dal PMT
- rapidità di emissione (~ns)

Gli scintillatori si dividono principalmente in due tipi:

organici, i quali hanno una scarsa efficienza ma brevi tempi di emissione;

inorganici, che generalmente emettono molta luce ma sono più lenti

Scintillatori

Il meccanismo di scintillazione è simile. Al passaggio di una particella, un elettrone passa ad un livello energetico eccitato. Nella diseccitazione l'elettrone emette un fotone ad una precisa lunghezza d'onda, dipendente dal salto energetico effettuato.

Gli scintillatori inorganici sono spesso cristalli ionici dopati³ con atomi chiamati "centri attivatori", la cui presenza modifica i livelli energetici "disponibili" per l'elettrone e quindi i salti energetici che può effettuare.

Oltre a fornire un aiuto per il salto energetico i centri attivatori e le impurità del cristallo possono costituire delle "trappole" per gli elettroni. Se l'elettrone cade in una di queste trappole, emette luce ad una frequenza diversa da quella rilevabile, con dei tempi di emissione molto più lunghi (~100 ms).

Mentre il salto energetico negli scintillatori inorganici avviene a livello atomico, per quelli organici avviene a livello molecolare. Il diverso salto energetico comporta anche una diversa frequenza emessa: luce UV per quelli organici, visibile per gli inorganici. Le frequenze ultraviolette vengono assorbite facilmente dalla maggior parte dei composti organici, è necessario quindi inserire un secondo materiale fluorescente (wavelength shifter) che converta la luce emessa in luce visibile per evitare che la scintillazione non venga rilevata.

Una caratteristica importante delle molecole organiche è il basso numero atomico (Z), che comporta una grande efficienza nella rivelazione dei neutroni; ma rende più difficile la rivelazione di fotoni⁴.

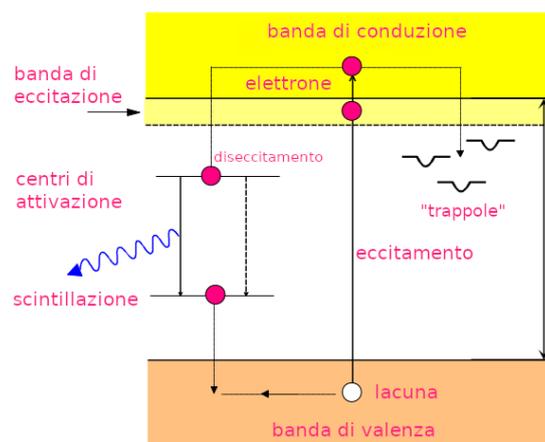


fig. 5: Meccanismo di scintillazione.

PMT

Per rivelare la luce emessa da uno scintillatore vengono utilizzati dei fotorivelatori chiamati tubi fotomoltiplicatori.

Il principio di funzionamento è il seguente: ciascun fotone entrando nel fotomoltiplicatore incontra un fotocatodo che, per effetto fotoelettrico⁵, emette un elettrone. L'elettrone emesso entra in una zona nel fototubo dove incontra una serie di elettrodi, detti dinodi, di potenziale sempre maggiore. Urtando contro di questi provoca l'emissione di altri elettroni che alla fine vengono raccolti da un anodo. Questo processo è detto elettromoltiplicazione ed è necessario per generare una corrente, cioè un flusso di elettroni, che sia misurabile. Si possono ottenere guadagni dell'ordine di 10^7 , ovvero per ogni elettrone generato nel fotocatodo ne vengono rivelati 10 milioni alla fine del processo.

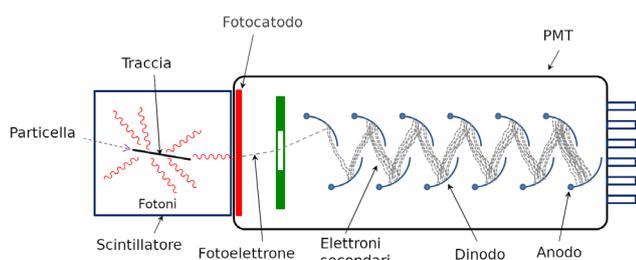


fig. 6: Schema di funzionamento della coppia scintillatore-PMT.
(autore: utente Wikipedia Qwerty123uioip)

(3) Con il termine drogaggio si intende l'aggiunta al cristallo puro di piccole percentuali di atomi non facenti parte del cristallo stesso.

(4) La rivelazione di fotoni si basa su processi fisici come l'effetto Compton che dipende linearmente da Z .

(5) L'effetto fotoelettrico è il fenomeno fisico caratterizzato dall'emissione di elettroni da una superficie, solitamente metallica, quando questa viene colpita da una radiazione elettromagnetica, ossia da fotoni aventi una certa lunghezza d'onda.

(6) Alpha Magnetic Spectrometer - 02. Un prototipo di questo esperimento, AMS-01, volò a bordo dello Space Shuttle Discovery durante la missione STS-91 nel 1998.

(7) Dall'energia depositata al passaggio della particella si risale alla carica.

ToF e ACC

Un tipo di trigger sono i ToF (Time of Flight), formati da due rivelatori posti agli estremi di un esperimento. I ToF misurano il passaggio di particelle, permettendo di escludere quelle che non attraversano tutto l'esperimento. I dati di questo rivelatore forniscono informazioni anche sulla natura delle particelle incidenti, ad esempio la velocità e il verso di percorrenza.

Sulla stazione spaziale internazionale (ISS) si trova un importante esperimento di fisica delle particelle denominato AMS-02⁶ che effettua ricerca su antimateria e materia oscura nell'universo tramite lo studio dei raggi cosmici. Nello spazio questo esperimento viene attraversato da 10000 particelle al secondo, ma solo alcune particelle attraversano AMS nelle condizioni ottimali per la misura. Per questo motivo esso è dotato di due apparati di Trigger, ToF e ACC (Anti-Coincidence Counter), che scartano da subito l'80% degli eventi che non rispettano i parametri necessari per una buona misura (e.g. non attraversano l'esperimento nella direzione giusta). Il Time-of-Flight è stato sviluppato dalla sezione INFN di Bologna ed è formato da 34 scintillatori inorganici disposti su 4 piani, 2 per ciascun estremo dell'esperimento. Ogni scintillatore è collegato a 4 fotomoltiplicatori per avere una ridondanza di segnale e quindi massimizzare la possibilità di rivelazione. Il segnale misurato dai PMT è proporzionale al numero di fotoni generati e fornisce una stima della carica della particella⁷. Inoltre la disposizione in due piani paralleli permette di effettuare una rozza stima iniziale della posizione.

L'ACC è formato da 6 scintillatori disposti a formare un cilindro lungo la superficie laterale dell'esperimento. Il suo compito è individuare gli eventi generati da particelle che entrano o escono lateralmente dall'esperimento per scartare quelle misure. Tutti gli esperimenti moderni di fisica delle particelle che non avvengono su fasci controllati sono dotati di apparati hardware e software, di trigger per diminuire il più possibile la quantità di dati da analizzare. AMS-02 ad esempio ogni anno produce 130 TB di dati che vengono analizzati in tutto il mondo. Senza il trigger offerto da ToF e ACC si avrebbero una quantità di eventi circa 5 volte quella attuale, questo comporterebbe la necessità di avere molti più centri di analisi dati da cui andrebbero scartati gli eventi non interessanti con un costo computazionale considerevole. Con gli esperimenti futuri, in fase di progettazione, questi numeri potranno solo aumentare, per questo è necessario sviluppare sistemi come i trigger per ottimizzare la quantità di dati da analizzare e rendere così gli esperimenti più efficienti e meno costosi.

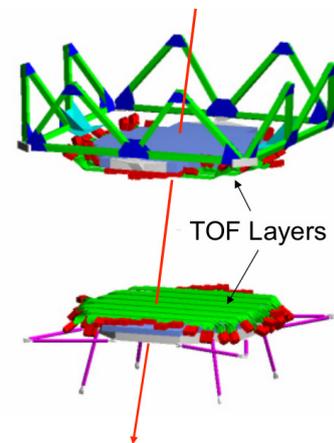


fig. 7: Disposizione dei layer del ToF di AMS-02.
(© 1998-2002 AMS Collaboration)

Samuele Giuli, studente del terzo anno di fisica e presidente del comitato AISF di Perugia. Nel tempo libero cerca di non diventare invariante per rotazione.



Alessandro Pascolini, studente del terzo anno di triennale. Appassionato fin da piccolo di fantascienza, ha scelto fisica sperando di costruire un giorno il proprio motore a probabilità infinita.

A CACCIA DI ONDE

Storia e futuro
delle onde
gravitazionali

Storia dello spazio-tempo

Come tutti gli ambiti della ricerca, anche la fisica ha vissuto momenti di stallo, e altrettanti periodi prosperosi, ricchi di novità e di finestre che si aprivano a nuove frontiere della conoscenza.

Tra questi, uno fu senza dubbio quello che inaugurò Faraday nel 1830. La sua brillante intuizione sul legame tra corrente elettrica e campo magnetico segnò il punto di inizio della moderna elettrodinamica. Da quel momento, passarono decenni prima che la grande riunificazione di Maxwell segnasse l'apice della conoscenza sulle interazioni elettromagnetiche. Da Faraday a Maxwell, la fisica puntò i riflettori su elettricità, magnetismo e la loro simbiosi. E se non vogliamo pensare a cariche e magneti, non rimane che un altro grande oggetto di ricerca, protagonista del XIX e XX secolo: l'atomo. L'infinitamente piccolo divenne infinitamente importante, e prima Thomson, poi Rutherford seguito da Bohr, si competevano il primato per non lasciare dubbi circa la struttura elementare della materia.

In tutto questo, i fisici di quel periodo posero il punto interrogativo sopra ad ogni concetto a loro noto. In realtà, da questo "ogni" si dovrebbero escludere due piccoli, piccolissimi concetti: quelli di spazio e tempo. Dopo Newton e Galileo, spazio e tempo furono i pilastri intorno al quale far girare tutta la fisica. Due concetti stabili, quasi sacri, tanto che nessuno si interrogava sulla veridicità delle loro caratteristiche. In realtà, proprio nessuno. Infatti, se Maxwell fornì delle certezze nel mondo dell'elettromagnetismo, creò altrettanti interrogativi aperti. Furono proprio questi dubbi irrisolti a far sì che Albert Einstein formulasse la teoria della Relatività Ristretta, per dare risposte ai "buchi neri" dell'elettromagnetismo. E proprio come diretta conseguenza della sua teoria, quest'uomo molto coraggioso, vissuto nel caos delle nuove scoperte di atomo ed elettrodinamica, mise al vaglio anche le nozioni di spazio e tempo, apparentemente superate.

La Relatività ristretta

Se con la sua Relatività Ristretta Einstein fece crollare l'idea di uno spazio e tempo come due enti assoluti e immutabili, con la Relatività Generale concepì l'idea di un unico reticolo spazio-temporale come simbiosi dei due. Ma Einstein andò ben oltre. Dopo averne ridefinito le caratteristiche, si chiese, infatti, quale fosse la natura intrinseca di questo spazio-tempo. Una domanda semplice, elegante, ma così innovativa (e su concetti così antichi!) che sconvolse la fisica da quel momento fino ad oggi. E dopo tante lavagnate di equazioni, la risposta fu: "La massa dice allo spazio come curvarsi, lo spazio dice alla massa come muoversi" [1].

Sembra così semplice, vero?

Eppure, dal XVII secolo fino al 1915 nessuno immaginò il profondo legame fra spazio e tempo, né che la massa, per il solo fatto di esistere, potesse provocare una deformazione. Come conseguenza di ciò la gravitazione si allontanò dal concetto di campo, e trovò una giustificazione legata alla geometria di questo nuovo, unico spazio-tempo. Grazie a questo nuovo modo di concepire l'universo, per Einstein fu immediato immaginare come la curvatura data da un corpo si modificasse conseguentemente agli spostamenti di quest'ultimo; intuì che un moto accelerato avrebbe trasmesso la perturbazione gravitazionale attraverso lo spazio e alla velocità della luce, con l'effetto di modificarne le proprietà metriche (ovvero le distanze). Questo fenomeno è oggi noto come "onda gravitazionale".

Il fenomeno

La deformazione, o curvatura, dello spazio-tempo è descritta dal tensore di curvatura di Einstein G , mentre la sorgente di tale deformazione viene indicata con il tensore stress-energia T ; i due tensori sono tra di loro legati attraverso l'equazione di campo di Einstein.⁽¹⁾

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

L'equazione scritta in questa forma può essere paragonata alla seguente, la quale descrive la deformazione dei materiali elastici sottoposti ad una forza. Lo stress (ε) viene messo in relazione con la deformazione, o strain, (δ) dello spazio-tempo.⁽²⁾

$$\delta = E\varepsilon$$

Questa analogia, insieme alla piccolezza della costante di proporzionalità che lega i due tensori, ci porta ad intuire due proprietà fondamentali dello spazio-tempo:

- (i) è un mezzo elastico, quindi può essere attraversato da moti oscillatori (onde).
- (ii) è estremamente rigido, per cui sarà necessario sprigionare enormi quantità di energia per generare un'onda di ampiezza percettibile. Nel migliore dei casi si prevede una sollecitazione in grado di muovere la materia sulla Terra di appena 10^{-21} metri (un milionesimo del diametro di un protone). [2]

Le complicazioni

A causa della bassa ampiezza dell'onda, rilevarla rappresenta una complessa sfida sperimentale; le limitazioni tecnologiche degli apparati usati per andare a caccia di onde gravitazionali hanno fatto sì che passassero decenni prima che l'ipotesi di Einstein trovasse riscontro di alcun tipo. Dopo la formulazione teorica, infatti, il primo indizio di questo fenomeno arrivò decenni più tardi con il lavoro di Russel Hulse e Joseph Taylor.

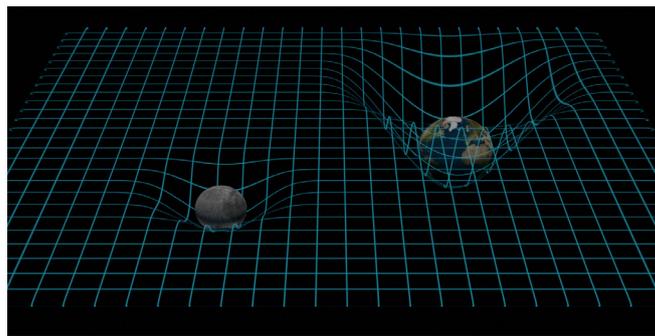


fig. 8: Immaginando lo spazio-tempo come un reticolo bidimensionale, è semplice visualizzare come la gravità si manifesti come deformazione di quest'ultimo. Supponiamo di poggiare un oggetto su un tappeto elastico (lo spazio-tempo). Più l'oggetto è massivo, più il tappeto si curverà. In presenza di più oggetti questi si avvicineranno tra di loro scivolando nella curvatura reciproca. Quando un corpo si muove, la curvatura si modifica di conseguenza; quando il movimento è accelerato è possibile che le modifiche provocate alla curvatura si trasmettano come un'onda che si propaga alla velocità della luce.

(L'analogia non è molto rigorosa, un modo migliore di studiare formalmente il fenomeno può essere trovato a fine articolo)⁽⁵⁾

¹La componente cosmologica è stata volutamente trascurata per facilitare l'analogia.

²" E " Rappresenta il modulo di Young, valore che dipende dal materiale in cui avviene la deformazione, quello dell'acciaio è dell'ordine di 10^{11} .

Nel 1974 i due scienziati osservarono una pulsar binaria (ovvero una stella di neutroni che ruota intorno ad un'altra stella) il cui raggio di rivoluzione appariva diminuire progressivamente. Tale restringimento dell'orbita parve essere causato da una perdita di energia, la quale venne attribuita alla generazione di onde gravitazionali.⁽³⁾

L'osservazione

Il lavoro di Hulse e Taylor, però, non diede alcuna indicazione delle proprietà delle onde e rappresentò una prova troppo indiretta per chiarire ogni dubbio sulla loro esistenza. È servito aspettare fino al 2015, quando l'osservatorio statunitense LIGO ha rilevato la radiazione gravitazionale generata dalla collisione di due buchi neri. I due corpi, di circa 29 e 36 masse solari, si sono fusi in un unico buco nero di circa 62 masse solari. Le 3 masse solari mancanti sono state rilasciate in forma di onde gravitazionali, distorcendo il reticolo spazio-temporale a 1.3 miliardi di anni-luce da noi fino a giungere sulla Terra e interagire con il rivelatore.

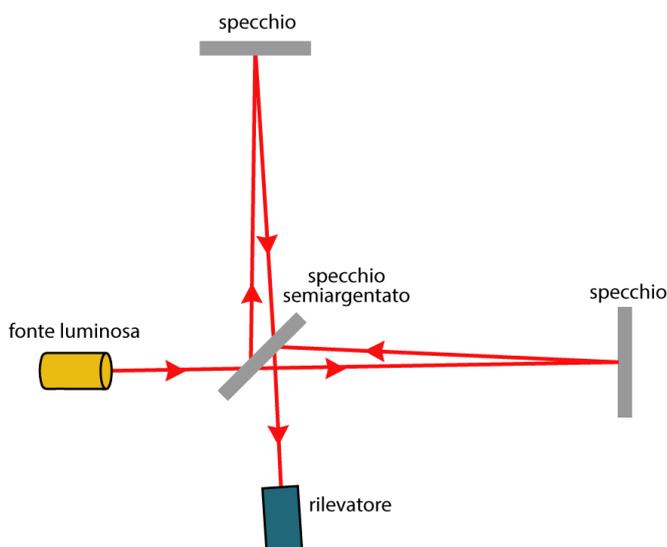


fig. 9: Schema ottico dell'interferometro.

Il rumore

Nonostante l'esperimento sia facilmente schematizzabile, la sua realizzazione richiede materiali di altissima precisione, in modo da permettere una sensibilità talmente elevata da rilevare alterazioni infinitesimali. Oltre alla ridotta ampiezza della radiazione gravitazionale, un enorme ostacolo per permetterne la rilevazione è quello del rumore, rappresentato da tutti i segnali inavvertitamente captati dall'apparato sperimentale e originato da diverse fonti.

L'esperimento che ha permesso di osservare per la prima volta le onde gravitazionali è chiamato LIGO ed è, come si evince dall'acronimo, un interferometro laser. La sua struttura non è così complessa: si tratta di due bracci della stessa lunghezza (si parla di diversi chilometri) disposti ad angolo retto. Nel loro punto d'incontro si trova uno specchio semiriflettente: esso indirizza un fascio di luce proveniente da un laser verso altri due specchi, posti alla fine dei bracci dell'interferometro. I due fasci vengono quindi riflessi, ognuno dal suo specchio, e si ricombinano prima di colpire un rivelatore. Eventuali deformazioni dello spazio-tempo dovute al passaggio di onde gravitazionali alterano la distanza percorsa da uno dei due fasci laser, causando uno sfasamento tra i due e generando delle figure d'interferenza.

³Il lavoro venne riconosciuto con il Nobel nel 1993

⁴Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory.

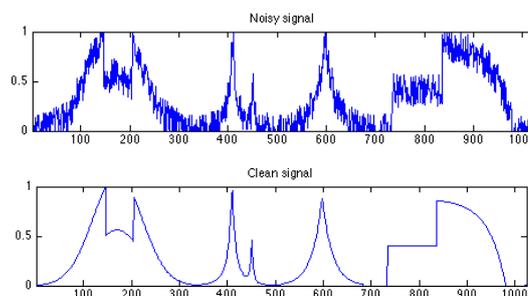


fig. 10: Confronto tra segnale affetto da rumore e segnale filtrato.

- Il rumore sismico è dovuto alle vibrazioni della crosta terrestre, e viene smorzato attraverso dei “super attenuatori”, giganteschi ammortizzatori che sostengono gli specchi dell’interferometro.
- Il rumore newtoniano viene generato dalla variazione del campo gravitazionale, a sua volta dovuta dalle fluttuazioni delle stesse masse terrestri che generano il rumore sismico.
- Il rumore termico, frutto dell’agitazione molecolare, può banalmente essere ridotto abbassando la temperatura dell’ambiente in cui si trovano i macchinari (entro la soglia di sopportazione delle apparecchiature).
- Il rumore quantistico (detto “shot noise”) è dovuto all’incertezza del numero di fotoni che colpiscono gli specchi (legato al Principio di indeterminazione di Heisenberg). Aumentando la potenza del laser si potrebbe aumentare la probabilità di conoscere con esattezza il numero di fotoni che attraversano il rivelatore, ma questo contribuirebbe ad un’altra forma di rumore.
- Laser ad alta potenza rischiano di generare fluttuazioni degli specchi dell’interferometro, dando vita al rumore dovuto alla pressione di radiazione.

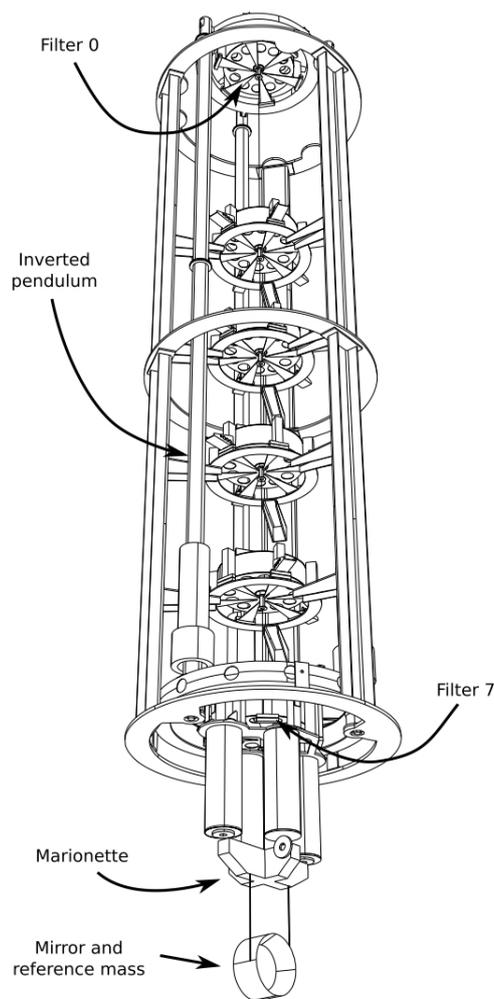


fig. 11: Schema di un super attenuatore.
(Beccaria, Matteo & Bernardini, M & Braccini, S & Bradaschia, C & Bozzi, A. (1998). Relevance of Newtonian seismic noise for the VIRGO interferometer sensitivity.)

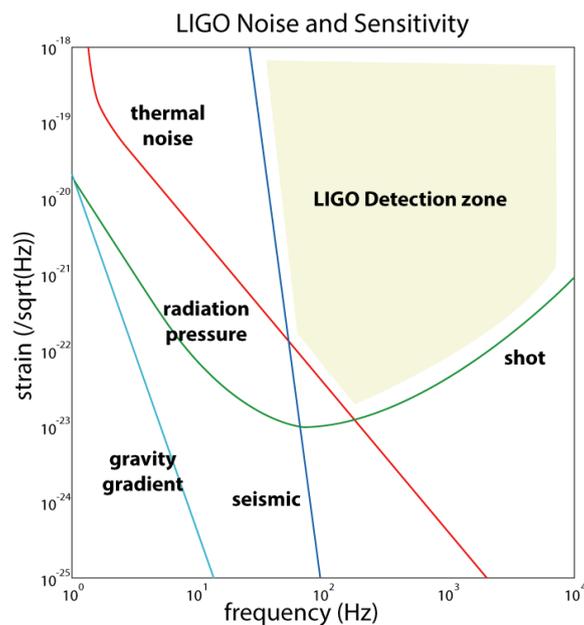
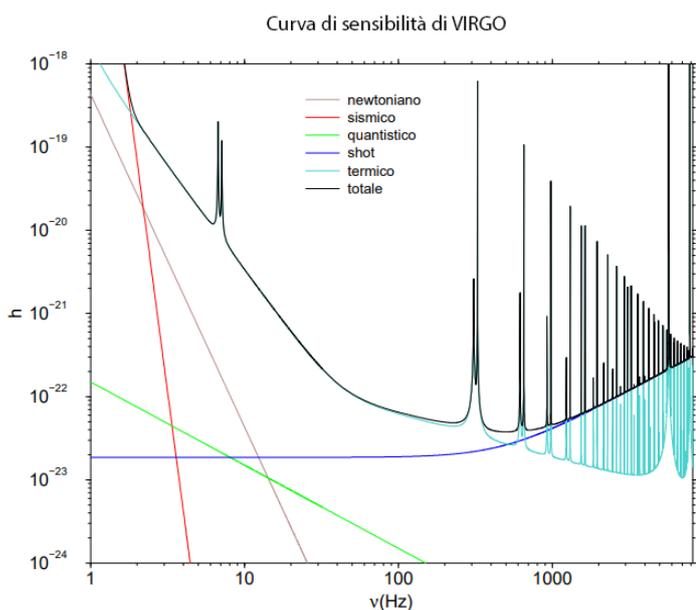


fig. 12: Curve di sensibilità di VIRGO e LIGO, i due interferometri attivi più potenti al momento.

Il futuro delle onde gravitazionali

Gli interferometri attivi al momento sono:

VIRGO in Italia, LIGO negli USA (che comprende due osservatori) e GEO in Germania. Oltre che per la località, essi differiscono anche per la lunghezza di ogni braccio: 3 chilometri il primo, dai 2 ai 4 chilometri il secondo e 600 metri il detector tedesco. Molto più giovane (e ancora inattivo) è KAGRA, interferometro giapponese. Rispetto a VIRGO, LIGO e GEO, considerati di generazione 2.0, KAGRA viene classificato nei detector di "generazione 2.5" per due motivi: è il primo ad essere stato costruito sotto terra, a circa 1 chilometro di profondità, e si trova a temperature molto più basse, così da minimizzare il rumore dovuto all'agitazione molecolare. Ma perché costruire più rivelatori molto simili fra loro e con la stessa funzione? La risposta sta nella triangolazione, la tecnica che permette di localizzare il punto da cui arriva il segnale, per cui sono necessari almeno tre rivelatori.

Le onde gravitazionali sono di certo un argomento affascinante, ancora di più dopo i passi in avanti fatti negli ultimi anni. La conoscenza su queste perturbazioni dello spazio-tempo è un valore aggiunto alla conoscenza, personale e collettiva. Questo dovrebbe già bastare per rispondere ai perché di tale caccia alle onde gravitazionali. In realtà, il loro studio si rivela utile in tanti altri aspetti. Si aprirebbe infatti una finestra a quel 95% dell'universo che non conosciamo: potremmo dare un nome più consapevole alle cosiddette materia ed energia oscura. Infatti, le onde elettromagnetiche sono un'eco di come era l'universo dopo 300mila anni, mentre i neutrini descrivono le condizioni dopo un solo secondo da tale esplosione. Ma sapere di più sulle onde gravitazionali, vorrebbe dire tornare alle origini: "vedere" cioè l'universo dopo 10-43 secondi dal Big Bang, il cosiddetto "tempo di Planck" oltre il quale è letteralmente impossibile spingersi.

⁵La radiazione gravitazionale, analogamente a quella elettromagnetica, può essere analizzata attraverso uno sviluppo in multipoli, ovvero una serie che permette di studiare alcune proprietà dell'onda a grandi distanze. Calcolando lo sviluppo in multipoli per sistemi di masse invece che di cariche, osserviamo che né il momento di monopolo né quello di dipolo contribuiscono all'intensità della radiazione. Notiamo, invece, che nessuna legge azzera il momento di quadrupolo gravitazionale, permettendoci di esprimere l'onda con la formula di quadrupolo:

$$\bar{h}_{ij}(t, x^2) = \frac{2d^2 J_{ij}}{r dt^2}(t_r)$$

Possiamo, quindi, affermare la natura prevalentemente quadrupolare della radiazione gravitazionale, il che la rende generalmente molto più debole di quella elettromagnetica.

[1] John A. Wheeler, (1998). *Geons, Black Holes, and Quantum Foam*. W. W. Norton & Company

[2] David G. Blair, (1991). *The detection of gravitational waves*. New York, NY: Cambridge University Press



Lucio Moriconi, al terzo anno di fisica, redige Helios e ne cura la veste grafica. Sogna di poter conciliare il suo amore per il graphic design e quello per la scienza, ispirato dal mondo della divulgazione. Il suo acerrimo nemico: il tempo.



Marta Cocco, iscritta al primo anno di fisica. Il sogno di diventare un'astronauta, la passione per la cosmologia e l'amore per la filosofia la spronano a indagare la natura dell'universo. Un giorno raggiungerà l'illuminazione in una delle sue lunghe passeggiate.

VIAGGIO SUL PIANETA ROSSO

Marte (il pianeta rosso) è il quarto pianeta del nostro sistema solare in ordine di distanza dal Sole e il più vicino alla Terra. Mentre la Terra dista circa 150 milioni di km dal Sole, Marte è situato a 227 milioni di km e ciò lo porta ad essere il più freddo dei pianeti rocciosi: la temperatura sulla superficie varia tra i 20 e i -140° C. Ricerche recenti hanno rilevato la presenza di ghiaccio e di acqua liquida nei pressi dei poli sollevando la domanda: può esistere vita su Marte?

La storia dell'acqua

Prima di entrare nei dettagli riflettiamo un attimo, qual è la prima cosa che cattura l'occhio quando si guarda la Terra? Esatto! La Terra possiede un'enorme quantità d'acqua, circa il 60-75% della superficie del pianeta ne è ricoperta. Ma da dove viene tutta quest'acqua? E perché sembra così difficile trovarla nei pianeti vicini? L'origine dell'acqua è necessariamente legata all'origine dei suoi componenti molecolari: idrogeno e ossigeno. In questo articolo ricostruiremo anche la storia di questi due.

Le teorie suggeriscono che la storia del nostro idrogeno abbia avuto inizio circa 10 secondi dopo il Big Bang quando la temperatura si è abbassata abbastanza da permettere la formazione di neutroni e protoni (bariogenesi). Proprio questi ultimi costituiscono il nucleo dell'isotopo più abbondante dell'idrogeno. Nei successivi 20 minuti la pressione sarebbe stata ancora sufficientemente elevata da sostenere la fusione di questi per costituire nuclei di deuterio, elio-3 e 4.

L'ossigeno risulta invece molto più giovane, per la sua comparsa dobbiamo infatti aspettare che una stella massiccia raggiunga le fasi finali della sua vita. Quando l'idrogeno a disposizione inizia a scarseggiare, la stella inizia a fondere nuclei di elio, di litio e progressivamente di nuclei sempre più pesanti, ed è qui che la storia dell'ossigeno ha inizio. Se la stella è sufficientemente massiva andrà incontro ad una fine catastrofica; collassando sotto il suo stesso peso innescherà uno degli eventi più violenti nell'universo noto: una supernova. La violenza dell'esplosione porterà alla formazione in abbondanza di elementi ancora più pesanti (si crede che proprio in questo genere di esplosioni si siano formati più del 90% degli atomi più pesanti del Ferro presenti nell'universo) sparpagliandoli in ogni angolo della galassia.



fig. 13: Vista panoramica di Marte dal polo sud ripresa dalla sonda Mars Express nel 2015.

(credit: ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO)

La ricerca

Ricerche suggeriscono che subito dopo la formazione, la Terra non fosse l'unico pianeta del nostro sistema solare ad ospitare acqua. Si pensa infatti che circa 3-4 miliardi di anni fa Marte fosse un pianeta caldo e ricco d'acqua liquida che poteva soddisfare tutti i requisiti necessari per lo sviluppo di forme di vita microbica. Tuttavia la gravità più debole di quella terrestre e l'atmosfera sottile sembra aver portato all'evaporazione e alla dispersione quasi totale di questa. Gli scienziati negli ultimi anni hanno speso sempre più energie nel cercare indizi della presenza presente o passata di acqua sulla superficie del pianeta rosso. La sonda Mars Odyssey, che dal 2001 orbita intorno a Marte, rivelò tramite il suo spettrometro grandi quantità di idrogeno sulla superficie. Questo fu attribuito alla presenza di acqua, principalmente in forma di ghiaccio o intrappolata nelle rocce. I poli marziani ospitano infatti dei grandi depositi di ghiaccio d'acqua.



fig. 14: Il rover Curiosity in missione.
(diritti riservati a NASA&JPL/Caltech-MSSS)

Nel 2004 i rover NASA Spirit e Opportunity, per primi hanno analizzato il suolo e trovato, subito dopo il loro atterraggio, tracce di molecole d'acqua. Nel 2011 la missione Curiosity ha iniziato a raccogliere dati con strumenti più avanzati dei predecessori confermando la presenza di acqua, zolfo e di molecole più complesse. Anche delle tracce di composti organici sono stati osservati, ma non è possibile escludere che siano stati portati sul pianeta dalla sonda stessa.

Nel novembre scorso è arrivata la conferma da parte di un team tutto italiano della presenza di estesi bacini d'acqua liquida sotto le calotte polari del pianeta rosso. La ricerca si è servita del radar della sonda europea MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) per studiare la calotta glaciale australe del pianeta. È stata rilevata in particolare un'area ben definita del diametro di 20 km nella zona del Planum Australe con una riflettività particolarmente intensa rispetto all'area circostante. La particolare brillantezza rilevata nella zona è compatibile con quella prevista per una soluzione di acqua liquida. Ricordiamo infatti che le temperature ai poli di Marte possono raggiungere i -140° , perciò anche sotto la pressione della calotta polare l'acqua liquida può esistere solo con altissime concentrazioni di minerali disciolti.

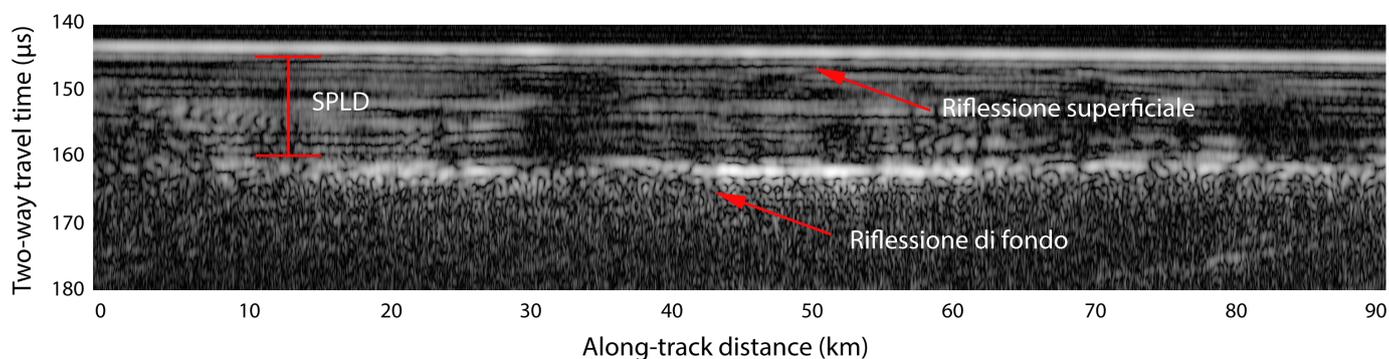


fig. 15: L'immagine riporta la rilevazione del radar di MARSIS lungo un tratto di circa 100 km. La linea continua e brillante più in alto delinea la superficie della calotta di ghiaccio SPLD (South Polar Layered Deposits), mentre le fasce brillanti al di sotto indicano delle discontinuità nella stratificazione del ghiaccio. Le zone estremamente riflettenti alla base della SPLD rivelano la presenza di acqua liquida.

(immagine: ESA)

Purtroppo le rilevazioni del radar di MARSIS non sono in grado di darci informazioni sull'effettiva profondità del deposito d'acqua, non siamo quindi in grado di dire se si tratti di un vero e proprio lago o piuttosto di una grossa pozzanghera gelida. Il sito appena scoperto rappresenta però il luogo più probabile in cui poter trovare tracce di vita marziana.

Abitare Marte

Quello che tutti si chiedono è se sia possibile o meno abitare Marte. La risposta, almeno per ora, è no. L'ambiente marziano si presenta, infatti, estremamente ostile alla vita umana. Per poter abitare Marte dovremmo riuscire a convertire le risorse grezze del pianeta in risorse utilizzabili. Potremmo sfruttare il ghiaccio presente ai poli per avere acqua potabile o per produrre ossigeno e idrogeno tramite idrolisi. Per vivere sul pianeta rosso bisognerebbe, inoltre, affrontare condizioni davvero estreme.

Come già accennato, le temperature raggiungono picchi bassissimi con enormi escursioni tra il giorno e la notte. Inoltre, l'atmosfera, principalmente formata da CO₂, è estremamente sottile; la pressione media è di circa 700 Pa, neanche l'1% di quella terrestre. Marte è anche soggetto a enormi tempeste di polvere: periodicamente infatti la sabbia ricopre completamente il pianeta per molte settimane, anche mesi, impedendo alla luce di raggiungere la superficie. Una tempesta particolarmente lunga è da poco costata la vita del rover Opportunity che, dopo 15 anni di lavoro, ha inviato il suo ultimo segnale il 10 giugno 2018. Essendo alimentato solo da pannelli solari per troppo tempo non ha potuto difendere i suoi sofisticati strumenti dal freddo marziano.

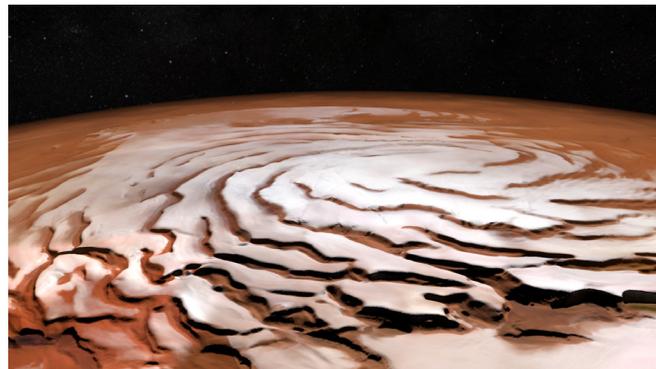


fig. 16: Vista prospettica del polo nord di Marte basata sulle immagini della sonda Mars Express e sui dati dell'altimetro laser MOLA.

(credit: ESA/DLR/FU Berlin, NASA MGS MOLA Science Team)

Come se non bastasse, il campo magnetico di Marte è troppo debole per proteggere il pianeta da raggi cosmici e vento solare, portando il livello di radiazioni sulla superficie ad essere decisamente troppo alto per la vita umana. Costituire delle basi umane rappresenta perciò un'enorme sfida tecnologica che le grandi agenzie spaziali si sono prefissate. Sia la NASA (per il 2028) che l'ESA (tra il 2030 e il 2035) hanno infatti annunciato di voler portare un equipaggio di astronauti su Marte. La terraformazione (il processo che ha l'obiettivo di rendere abitabile un ecosistema ostile) rappresenta invece un'opzione molto più controversa; al di là della fattibilità pratica del processo, va preso in considerazione il fatto che un'operazione del genere implicherebbe la completa distruzione di un ecosistema.

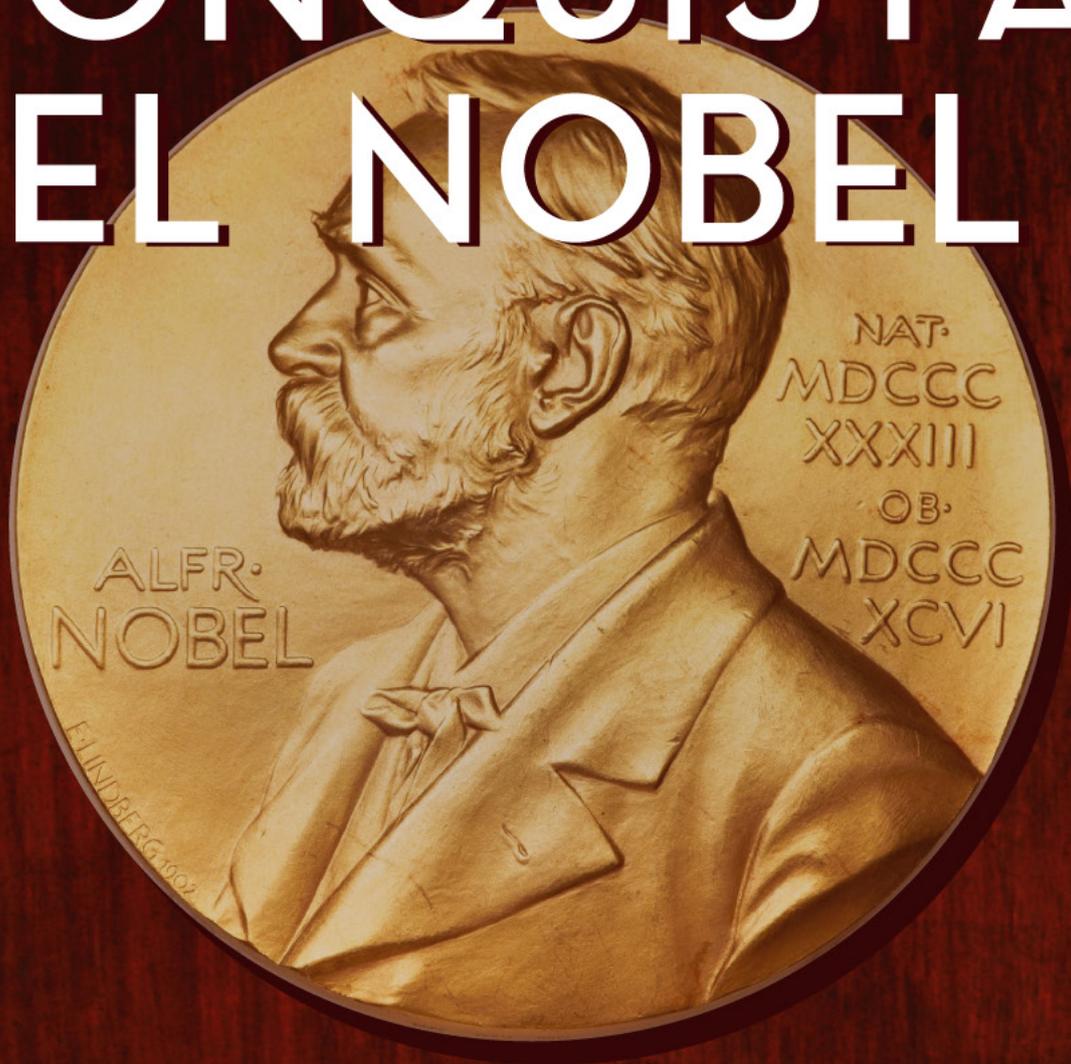
Nonostante le evidenti difficoltà, lo studio di Marte continua a riservarci sorprese sempre più emozionanti. Dopo aver attraversato gli oceani, colonizzato i 7 continenti, sparpagliandoci dai deserti ai ghiacci antartici, ed essere arrivati a mettere piede sulla Luna, la nostra si è definita come una razza di esploratori. A questo punto l'esplorazione del pianeta rosso non può che essere un passo naturale.

Matteo W. Jeraisi, studente israeliano al secondo anno di fisica, momentaneamente alla ricerca di un equilibrio tra lo studio e il gaming.



Claudio Brugnoli, iscritto al terzo anno del corso di laurea in fisica a Perugia. Ha passato la gioventù a osservare le stelle e guardare film. Oggi combatte contro equazioni differenziali e la miopia.

I LASER ALLA CONQUISTA DEL NOBEL



La Royal Swedish Academy of Sciences ha assegnato il Premio Nobel per la Fisica 2018 a tre ricercatori: l'americano Arthur Ashkin dei Bell Laboratories di Holmdel, il francese Gérard Mourou, professore presso l'École Polytechnique di Palaiseau, nonché ricercatore all'Università del Michigan, e la canadese Donna Strickland dell'Università di Waterloo. Oggetti estremamente piccoli e processi incredibilmente rapidi sono visti ora sotto una nuova luce. Le loro invenzioni, infatti, hanno rivoluzionato il campo della fisica dei laser, il quale sta avendo un periodo di forte crescita, grazie soprattutto alle possibili applicazioni pratiche [1].

La tecnologia dei laser è estremamente malleabile e si adatta sia in ambito industriale che medico, dalle operazioni correttive per la vista, alla fotodepilazione, al trasporto di informazioni nelle telecomunicazioni e così via. Il premio di 9 milioni di corone svedesi, circa 870 mila euro, è quindi stato diviso a metà, una parte è andata ad Ashkin per le sue Pinzette ottiche in grado di intrappolare e trasportare particelle, atomi, virus e cellule con le loro "dita di raggi laser", senza danneggiarli, e l'altra metà a Mourou e Strickland per lo sviluppo della tecnica chiamata *Chirped pulse amplification* (CPA), che si basa sui più corti e intensi impulsi laser mai creati dall'uomo [2].



fig. 17: Ritratto dei vincitori, in quest'ordine: Arthur Ashkin, Gérard Mourou, Donna Strickland. (illustrazione di Niklas Elmehed)

I laser in breve

La radiazione LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) nasce dal processo di emissione stimolata, ovvero, sfrutta la proprietà per cui una radiazione elettromagnetica può eccitare o diseccitare un sistema. Normalmente, un fascio di luce perde energia interagendo con le particelle presenti nel materiale in cui si muove, particelle che, solitamente, sono a livelli energetici più bassi.

Invece, un dispositivo LASER cede energia esternamente a queste particelle e le porta a livelli energetici più alti. Di conseguenza, la luce che passerà tra queste, non solo non cederà energia, ma la acquisterà, sfruttando l'emissione stimolata degli atomi.

Le pinzette ottiche

Arthur Ashkin, nato nel 1922 a New York, si è laureato nel 1947 all'Università della Columbia (NY) e nel 1952 ha ottenuto il Dottorato di ricerca in fisica all'Università Cornell, ad Ithaca (NY). Dal 1996 fa parte della National Academy of Sciences e nel 2004 ha ottenuto il Premio Harvey, attribuitogli dal Technion (Israel Institute of Technology) [3]. Nel 1960, ispirato dal raggio traente di Star Trek e dalla creazione del primo laser, capì che tramite un laser sarebbe stato possibile muovere particelle microscopiche senza toccarle.

Ma vediamo più nello specifico la Trappola di luce creata da Ashkin:

Fase 1: Nell'immagine vediamo delle piccole sfere che rappresentano le particelle (che possono essere molecole, cellule, virus e simili) messe in moto quando vengono colpite dalla luce del laser. La loro velocità corrisponde alla stima teorica di Ashkin, dimostrando che è veramente la pressione della radiazione che le spinge.

Fase 2: Un effetto inaspettato è il gradiente che spinge le particelle verso il centro del raggio, dove la luce è più intensa. Questo perché l'intensità del raggio diminuisce verso l'esterno e la somma di tutte le forze spinge le particelle verso il centro del flusso.

Fase 3: Ashkin fa levitare le particelle puntando il raggio laser verso l'alto. La pressione della radiazione contrasta la forza di gravità.

Fase 4: Il raggio laser è concentrato con una lente. Con queste pinze ottiche la luce cattura particelle, batteri, cellule, ... [4].

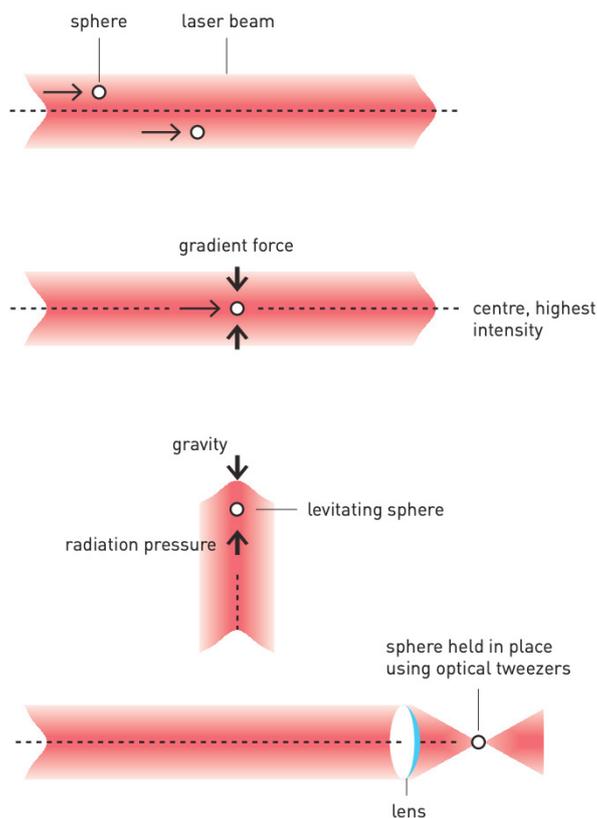


fig. 18: Funzionamento delle pinzette ottiche.
(diritti riservati a: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

[1] Nobel Prize, The Nobel Prize in Physics 2018 – Press Release: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/10/press-physics2018.pdf>

[2] ibidem

[3] American Institute of Physics, Arthur Ashkin: <https://history.aip.org/phn/11409018.html>

[4] Johan Jarnestad, in The Royal Swedish Academy of Sciences, Ashkin creates his light trap: https://6702d.https.cdn.softlayer.net/2019/10/fig1_fy_en_18_tweezers.pdf

Cosa succede quando un motore molecolare cade nella trappola di luce

Ashkin ha dimostrato la particolare validità delle sue Pinzette ottiche nell'ambito della cinetica e della meccanica dei così detti motori molecolari, in particolare della chinesina.

Con motori molecolari si intende macromolecole in grado di trasformare energia chimica (usualmente in forma di ATP) in energia meccanica (movimento, divisione cellulare, ...). Nei sistemi biologici queste macromolecole sono solitamente proteine e la chinesina è una di quelle necessarie per il trasporto di organelli all'interno di un organismo, lungo i microtubuli.

Vediamo in 3 semplici passaggi come è avvenuto questo esperimento:

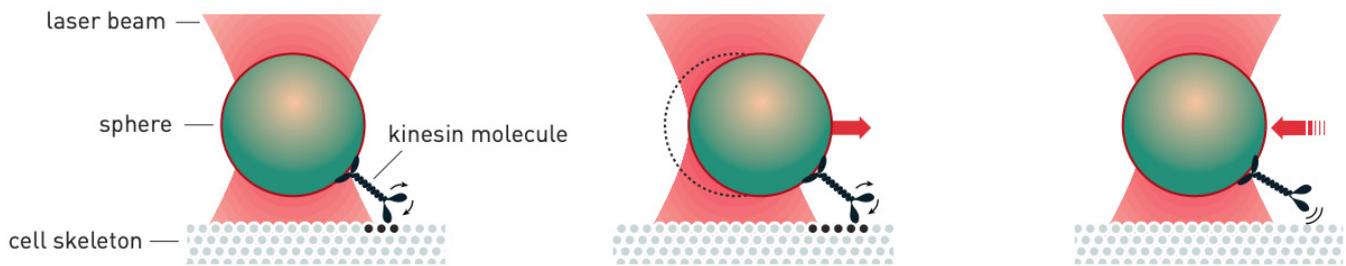


fig. 19: Applicazione delle pinzette ottiche su una molecola di chinesina.
(diritti riservati a: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

- 1) La molecola di chinesina si attacca alla piccola sfera tenuta dalle pinzette ottiche.
- 2) La chinesina si sposta, allontanandosi, lungo la struttura della cellula. Questo tira la cellula, rendendo possibile misurare il progressivo movimento della cellula di chinesina.
- 3) Alla fine, il motore molecolare non riesce più a resistere alla forza della trappola di luce e la sfera viene spinta indietro al centro del raggio [5].

Un passo fondamentale si è avuto nel 1987 quando Ashkin ha usato le pinzette ottiche per catturare batteri vivi ed è riuscito a farlo senza danneggiarli. Da quel momento ha iniziato a studiare i sistemi biologici e ora le pinze ottiche sono largamente usate per investigare la grande macchina della vita

Chirped Pulse Amplification

Gérard Mourou, nato nel 1944 ad Albertville, in Francia, si è laureato all'Università di Grenoble nel 1967 e nel 1973 ha ottenuto il Dottorato di ricerca all'Università Pierre e Marie Curie di Parigi. Direttore e fondatore del Center for Ultrafast Optical Science all'Università del Michigan dal 1988, ha ricevuto diversi premi nel corso della sua carriera, fra cui 3 dall'Optical Society of America (OSA) [7].

Donna Strickland, nata nel 1959 a Guelph, in Canada, si è laureata nel 1981 in Ingegneria Fisica all'Università McMaster, ad Hamilton, e ha ottenuto il dottorato nel 1989 all'Università di Rochester, a New York, specializzandosi in Ottica.

Ha ricevuto altri premi per la ricerca ed è stata vice presidente nel 2011 e presidente nel 2013 dell'OSA [8]. È la terza donna al mondo ad aver vinto il Premio Nobel per la Fisica, dopo Marie Curie nel 1903 e Maria Goeppert-Mayer nel 1963.

Mourou e Strickland hanno creato impulsi laser ultracorti, ad alta intensità, senza che questi distruggano il materiale amplificante.

[5] Johan Jarnestad, in The Royal Swedish Academy of Sciences, A motor molecule walks inside the light trap: https://6702d.https.cdn.softlayer.net/2019/10/fig2_fy_en_18_motormolecule.pdf

[6] The Royal Swedish Academy of Sciences, The Nobel Prize in Physics 2018: <https://www.kva.se/en/pressrum/pressmeddelanden/nobelpriset-i-fysik-2018>

[7] American Institute of Physics, Gérard Mourou: <https://history.aip.org/phn/11810002.html>

[8] American Institute of Physics, Donna Theo Strickland: <https://history.aip.org/phn/11810001.html>

La tecnica

- 1) Il leggero e breve impulso di un laser viene allungato con un sistema di doppia griglia.
- 2) L'impulso ora allungato presenta una potenza di picco ridotta e viene fatto passare attraverso un amplificatore.
- 3) Allungato e amplificato viene quindi fatto passare attraverso il sistema di doppia griglia, per una seconda volta, e così viene compresso.

4) L'impulso compresso ha ora un'intensità molto più elevata rispetto a prima.

Questo metodo permette quindi di avere impulsi laser molto più precisi, che non danneggiano i tessuti con le loro onde d'urto (vedi fig 23)

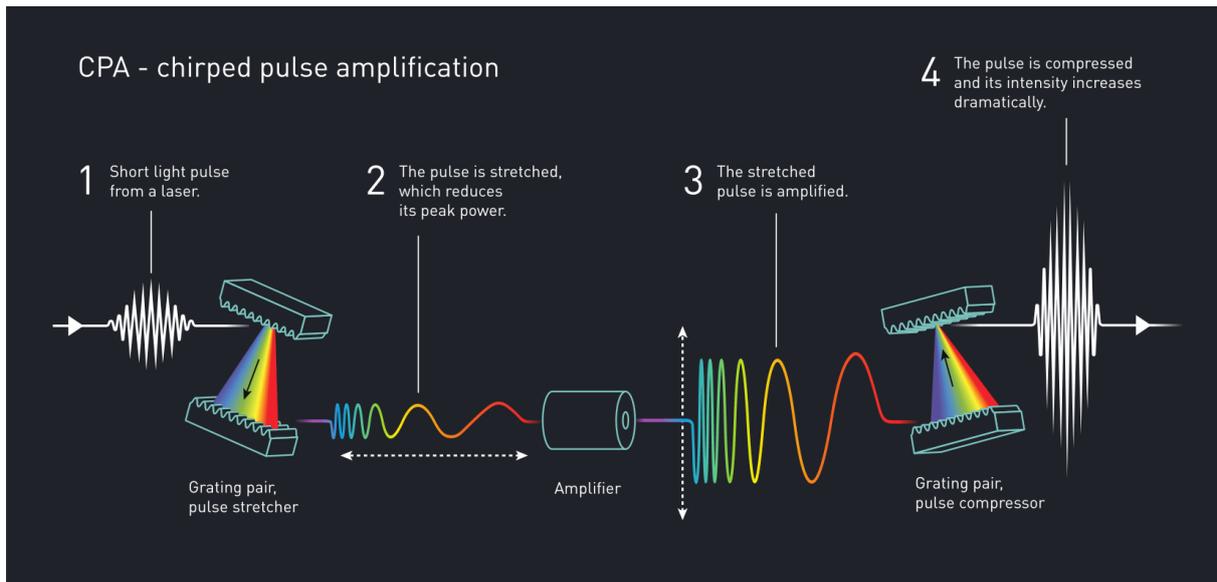


fig. 20: Chirped Pulse Amplification.
(diritti riservati a: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

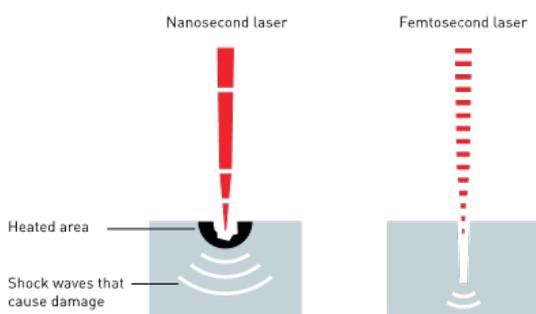


fig. 21: Effetto della precisione del CPA.
(Fonte immagine: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

Tale tecnica ha trovato applicazione non solo nelle operazioni chirurgiche agli occhi, ma anche nei sistemi di archiviazione dei dati e nell'informatica quantistica.

Per entrambe le scoperte, ancora, non sono state esplorate tutte le innumerevoli aree di applicazione, eppure, anche adesso queste invenzioni vincitrici ci permettono di sondare il mondo dell'infinitamente piccolo per il bene dell'umanità [9].



Alba Iovane, laureanda magistrale in Relazioni Internazionali, ha appena intrapreso il percorso della seconda laurea in fisica. Fra mille studi, lavori, pensieri e idee, sogna di vedere la Terra dallo spazio e di poter cambiare il mondo. Ad oggi combatte per trovare il tempo di farlo.

CAFFÈ SCIENTIFICO

Fisica e computer



Il Caffè Scientifico

Nell'era della comunicazione la scienza è alla portata di tutti: internet, biblioteche, migliaia di libri pubblicati ogni anno, dimenticando che in tempi non troppo remoti era relegata a pochi eletti. Possiamo affermare che la nostra società possiede tutti gli strumenti per poter essere definita una società scientifica. Tuttavia, così come non basta possedere una bicicletta per imparare a pedalare, non è sufficiente avere accesso alla cultura per poterla comprendere. Come ogni bambino sa, per imparare ad andare in bicicletta c'è bisogno dell'aiuto di chi già sa pedalare. Perché non chiedere allora di spiegare la scienza a chi la riscrive ogni giorno? Per questo motivo da ormai un anno, per volontà di alcuni studenti del dipartimento di fisica, stiamo organizzando dei cicli annuali di eventi chiamati "Caffè Scientifici" con l'obiettivo di dar voce alla scienza attraverso chi la studia: professori, ricercatori e dottorandi. Durante l'appuntamento dello scorso ottobre il tema affrontato è stato il rapporto fra informatica e fisica con due ricercatori INFN, Matteo Duranti e Valerio Formato.

L'incontro

I computer sono stati accolti a braccia aperte dalla comunità scientifica, da ben prima della loro diffusione commerciale, per la loro rapidità di calcolo e capacità di immagazzinare grandi quantità di dati. Quasi l'80% del lavoro di un ricercatore in fisica sperimentale consiste nello scrivere programmi per simulazioni, ricostruzioni di eventi e analisi dati.

La grande quantità di ore impiegate nella programmazione è ben giustificata se si pensa al numero di dati generato da un singolo esperimento di fisica moderna.

Ogni anno AMS-02, un rivelatore di particelle installato sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS)⁽¹⁾, trasmette a terra circa 30 TB di dati da analizzare, mentre al CERN il Large Hadron Collider ne produce più di 1 PB.



fig. 22: Alcuni server del CERN.
(fonte: CERN)

Chiaramente questa mole enorme di informazioni richiede di essere rielaborata per poter risultare utilizzabile dai ricercatori. I dati devono essere selezionati e ricostruiti per individuare eventuali eventi notevoli come la scoperta di nuove particelle.

I due ospiti chiariscono che, nella quasi totalità degli esperimenti, la raccolta dati viene effettuata da diversi dispositivi che simultaneamente, ma in modo indipendente l'uno dall'altro, studiano un singolo aspetto del fenomeno preso in esame. Una parte fondamentale del processo di analisi è quindi una prima ricostruzione degli eventi attraverso i dati di ogni rivelatore per ottenere un'informazione completa ed esauriente.

Ad esempio in AMS-02: il calorimetro⁽²⁾ rileva un segnale, mentre il tracciatore identifica una traiettoria, si deve poi comprendere se le due informazioni sono relative a uno stesso evento e, in caso affermativo, capire di che tipo di particella si tratti.

La realizzazione dei programmi utilizzati per questi esperimenti può impiegare molte settimane di lavoro tra progettazione, correzioni e modifiche. Le prime stringhe di codice utilizzate per LHC sono state scritte addirittura cinque anni prima dell'accensione dell'acceleratore e tutt'ora il codice viene modificato e migliorato.

La programmazione non ha il solo scopo di semplificare l'analisi dei dati prodotti dagli esperimenti.

Prima del lancio in orbita di un satellite, parte integrante della fase di progettazione consiste nel simulare il funzionamento dell'esperimento e di eventuali problemi che potrebbero occorrere in fase di lancio o durante la presa dati. In precedenza veniva costruito un modello funzionante, da tenere a terra, identico a quello in orbita. A causa degli elevati costi di produzione della strumentazione, le simulazioni computazionali hanno interamente sostituito la copia fisica.

¹Il funzionamento di AMS-02 è stato approfondito nel primo numero di Helios, recuperabile sul nostro sito.

²Un rivelatore che misura l'energia delle particelle che lo attraversano.

In aggiunta all'utilizzo nella fisica sperimentale, è stato anche sottolineato il ruolo dell'informatica in quella teorica. Si possono sviluppare simulazioni in grado di verificare, se in accordo con i dati sperimentali, la tesi formulata.

In ultimo, gli ospiti hanno parlato di come siano sempre più richieste competenze in informatica e la conoscenza di vari linguaggi di programmazione anche al di fuori del mondo accademico. La capacità di apprendere velocemente nuovi metodi di lavoro è una delle caratteristiche più apprezzate dei laureati in fisica.

Inoltre, sia triennali che magistrali, circa il 10% trova lavoro nel settore privato come programmatore, indicando i ruoli coperti come mediamente più redditizi di quelli nel campo della ricerca.

Vi aspettiamo al prossimo Caffè Scientifico!

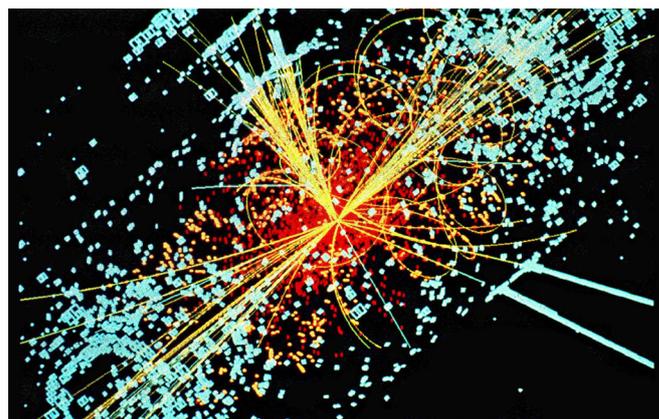


fig. 23: Simulazione del decadimento di un bosone di Higgs. (fonte: CERN)

Alberto Paolini, un ragazzo che non ha un sogno, ne ha due: dominare l'universo e laurearsi. Decide di iniziare a realizzare per primo il più arduo, iscrivendosi tre anni fa al dipartimento di fisica di Perugia. Rimane ambigua la frase "Lunga vita a Mauro" legata alla sua religione.



Maria Susini, studentessa del terzo anno di fisica. Appassionata di letteratura ed arte, è soprattutto nota per sapersi addormentare durante qualsiasi film.

È doveroso ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla creazione di questa prima uscita per il grande impegno profuso, per i suggerimenti che ci sono arrivati, per la stesura e la correzione degli articoli, per l'im-paginazione e per la gestione dei social media.

In ordine sparso:

Samuele Giuli,
Marta Cocco,
Claudio Brugnoli,
Viola Ferretti,
Alessandro Pascolini,
Lucio Moriconi,
Giada Picciaia,
Alba Iovane,
David Pelosi,
Alberto Paolini,
Maria Susini,
Matteo W. Jeraisi,
Helios Vocca,
Livio Fanò,
Matteo Duranti,
Valerio Formato.

Ringraziamo infine il dipartimento di Fisica e Geologia per il contribu-to economico e il supporto garantito fin dagli albori del progetto.

Helios tramonta per ora ma, parafrasando Khalil Gibran, nulla impe-dirà al sole di sorgere ancora, perché oltre la nera cortina della notte c'è un'alba che ci aspetta e, nel nostro caso, un mondo di conoscenze ancora da scoprire.

Il lavoro per il prossimo numero è già iniziato, stiamo cercando nuove idee e soprattutto nuovi redattori! Se sei interessato/a a partecipare scri-vici ad uno dei contatti seguenti.

Al prossimo numero!

 AISF Perugia

 aisf_perugia

 AISF Perugia bot



fig. 24: Statua rappresentante il dio Helios, Museo della storia naturale di Vienna.

Realizzato con la collaborazione di:



Dipartimento di
Fisica e Geologia



Aiuta il POST

Dal 26 febbraio il cancello del Post rimarrà chiuso il pomeriggio al pubblico.

Si è arrivati a questa incresciosa decisione dopo mesi di martellanti richieste, interrogazioni, contrattazioni sui tavoli della politica da cui nulla si è ottenuto per salvare il Post: una struttura, l'unico Museo della Scienza in Umbria, che rappresenta un'eccellenza della divulgazione scientifica riconosciuta sul piano nazionale e internazionale.

L'inevitabile conseguenza arriva in un momento in cui il Post sta bene, gode di ottima salute, riempie la mattina le proprie sale di studenti di tutte le età, i week end di famiglie e turisti desiderosi di sperimentare la scienza viva, invita e dialoga con scienziati di fama internazionale e Premi Nobel. Il Post vuole continuare a fare tutto questo, a parlare di scoperte scientifiche, a presentare il futuro della ricerca alla società.

Oggi più che mai abbiamo bisogno del sostegno di tutti, non solo per "galleggiare" in questo momento di ritardo ministeriale (siamo ancora in attesa di conoscere dal MIUR il risultato del contributo triennale riferito al Triennio 2018-2020), ma anche per individuare nuovi Soci Sostenitori, pubblici e privati

In questo delicato momento l'appello è rivolto anche ad Aziende e cittadini che possono contribuire a sostenere l'attività del Museo tramite:

- **Art Bonus** (maggiori informazioni su: <https://artbonus.gov.it/1640-fondazione-post.html>)
- **Donazioni 5x1000** (<http://www.perugiapost.it/sostieni-il-post/>)
- **Semplice donazione tramite PayPal o bonifico** su c/c intestato a: Perugia Officina della Scienza e della Tecnologia Banca UNICREDIT – CODICE IBAN: IT 85 W 02008 03043 000029504370
- **Donazione liberale** presso il Post, via del Melo 34 (la mattina nei giorni feriali e dalle 15,30 alle 19,30 nel week end)
- **La partecipazione continua alle nostre attività**

#IOSTOCONILPOST



Il comitato locale di Perugia nasce a dicembre 2017, ad oggi risultano 39 iscritti afferenti ad esso.

CAFFÈ SCIENTIFICO

Il caffè scientifico è una conferenza con dibattito che permette di avvicinare gli studenti al mondo della ricerca e alle sue dinamiche. Durante questi eventi vengono ospitati fisici che presentano la propria linea di ricerca e condividono le proprie esperienze con un format estremamente dialogato e diretto.



QUANTUM FILM THEORY

Da quest'anno è attiva una collaborazione con una sala cinematografica Perugina per la proiezione di documentari scientifici e biografie di grandi scienziati. Per il lungometraggio "Conversazioni atomiche" abbiamo ospitato il regista Felice Farina per un dibattito aperto sulla comunità scientifica italiana.



CORSI INTRODUTTIVI

Per avvicinare gli studenti agli strumenti tipici del mondo accademico e della ricerca in fisica abbiamo organizzato due corsi introduttivi all'uso di ROOT e LaTeX. Finora è stata riscontrata una discreta partecipazione al corso di ROOT (novembre 2018) e sono state raccolte numerose adesioni per il corso di LaTeX.



HELIOS

Helios è il nostro progetto più ambizioso: una rivista di genere divulgativo che vede la collaborazione di studenti e dottorandi del dipartimento di fisica di Perugia per la stesura di articoli rivolti a liceali e universitari. Il primo volume, uscito a settembre 2018, è stato distribuito in vari istituti superiori della città e ha riscosso successo tra studenti e professori delle scuole Perugine.

