



[elementi]

anno 14 numero **26** / 04.19

asimmetrie

rivista semestrale dell'Istituto
Nazionale di Fisica Nucleare



asimmetrie

Cari lettori di Asimmetrie,

Date uno sguardo tra il serio e lo scherzoso a quella che giustamente viene definita la “tabella più bella del mondo”. Un insieme di simboli che danno un nome a tutti gli elementi chimici che esistono, sono esistiti, possono persino essere creati dai nostri acceleratori e ancor più e meglio da processi catastrofici e immani, quali i collassi stellari che fanno nascere le supernovae o dalla fusione di stelle di neutroni, le cui onde gravitazionali sono state da poco osservate dagli interferometri Ligo e Virgo. È bella, sembra un incrocio tra il tabellone della tombola, la tastiera di una macchina da scrivere e lo Scarabeo, che ci ha aiutati tutti a imparare parole nuove.

Facciamo qualche esempio.

Ti amo, Ti Am O (titanio, americio, ossigeno);

Panteon, Pa N Te O N (protoattinio, azoto, tellurio, ossigeno, azoto);

Physics forever, P H Y Si Cs F O Re V Er, (fosforo, idrogeno, ittrio, silicio, cesio, fluoro, ossigeno, renio, vanadio, erbio).

Quanti punti abbiamo fatto?

Ma a parte l'aspetto ludico, questo numero vi convincerà del fatto che la tavola di Mendeleev è una costruzione stupefacente dell'ingegno umano e veramente la tabella più bella del mondo.

E a proposito di elementi creati nella fusione di stelle di neutroni vi proponiamo anche un fumetto, in cui un'onda gravitazionale narra una intrigante storia in bilico tra la fisica e l'amore. Un altro incrocio.

Buona lettura.

Fernando Ferroni

presidente Infn



asimmetrie

Rivista dell'Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

Semestrale, anno 14,
numero 26, aprile 2019

direttore editoriale

Fernando Ferroni, *presidente Infn*

direttore responsabile

Catia Peduto

direttore comitato scientifico

Egidio Longo

comitato scientifico

Vincenzo Barone
Massimo Pietroni
Giorgio Riccobene
Barbara Sciascia

redazione

Francesca Mazzotta
Francesca Cuicchio
(infografiche)

hanno collaborato

Marialuisa Aliotta, Anna Bazzocchi,
Carlo Broggin, Eleonora Cossi,
Antonio Di Nitto, Marco Giordano,
Flavia Groppi, Fabio Mantovani,
Maria Nicola Mazziotta,
Gennaro Miele, Francesco Noferini,
Chiara Oppedisano, Nadia Robotti,
Marco Selvi, Luca Venturelli

contatti redazione

Infn Ufficio Comunicazione
piazza dei Caprettari 70
I-00186 Roma
T +39 06 6868162
F +39 06 68307944
comunicazione@presid.infn.it
www.infn.it

impaginazione

Tipolitografia Quatrini

stampa

Tipolitografia Quatrini

su carta di pura cellulosa
ecologica ECF
Fedrigoni Symbol™ Tatami
250 - 135 g/m2

Registrazione del Tribunale di Roma
numero 435/2005 del 8 novembre 2005.
Rivista pubblicata da Infn.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della
rivista può essere riprodotta, rielaborata o
diffusa senza autorizzazione scritta dell'Infn,
proprietario della pubblicazione.

Finita di stampare nel mese di marzo 2019.
Tiratura 20.000 copie.

come abbonarsi

L'abbonamento è gratuito.

Per abbonarsi compilare l'apposito
form sul sito www.asimmetrie.it

In caso di problemi contattare
la redazione all'indirizzo
comunicazione@presid.infn.it

sito internet

**Asimmetrie 26 e tutti i numeri
precedenti della rivista sono
disponibili anche online su
www.asimmetrie.it**

e-magazine

**Asimmetrie è anche disponibile
in versione digitale, ricca di ulteriori
contenuti multimediali, come app
di iOS e Android sull'Apple Store
e nel Google Play Store.**

crediti iconografici

Foto copertina © Istockphoto.com (pzAxe) //
foto p. 4 © Istockphoto.com (ciud); foto pp.5,6
©AIP Emilio Segrè Visual Archives; fig. c p. 7
©Asimmetrie-Infn; foto d p. 8 ©Marco Selvi;
foto 1 p. 9 ©Archivio famiglia Levi // figg.
pp. 10,11 © Asimmetrie-Infn // foto p. 12
©NASA, ESA, CXC, NRAO/AUI/NSF, STScI, and
R. van Weeren (Harvard-Smithsonian Center
for Astrophysics); fig. a p. 13 ©Asimmetrie-
Infn; foto b p. 14 ©NASA, ESA, M. Robberto
(Space Telescope Science Institute/ESA) and
the Hubble Space Telescope Orion Treasury
Project Team // foto p. 15 ©Istockphoto.com
(GM Stock Films); fig. a p. 16 ©Asimmetrie-
Infn; foto b p. 17 ©NASA/Swift/Dana Berry
// foto a p. 18 ©ESA/NASA/SOHO; fig. b p.
19 © Asimmetrie-Infn; foto c p. 20 © Yura
Suvorov-LNGS-INFN // fig. a p. 21 ©Asimmetrie-
Infn; foto b,c pp. 22, 23 ©CERN// foto b p.
25 ©LNGS-INFN; foto c p. 26 © Italrad-INFN
// foto a, b, c pp. 27-29 ©CERN // foto
a p. 30 ©XENON1T COLLABORATION; fig.
b p. 31 ©Asimmetrie-Infn; foto c p. 32
©Yura Suvorov LNGS-INFN // figg. a,b pp.
34,35 ©Asimmetrie-Infn; foto c p. 36 ©
Vincenzo Barone; foto p. 37 ©G. Otto, GSI
Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
// foto a p. 38 ©Cambridge University
Library, courtesy of AIP Emilio Segrè Visual
Archives, Rutherford Collection; fig. b p. 39
©Asimmetrie-Infn // foto a p. 40 ©Istockphoto.
com (Kerrick); foto b p. 41 © CERN // foto a p.
46 ©Polarquest2018/Mike Struik; foto b p. 47
©Anselmo Margotti // foto p. 48 © TIFPA //
foto a p. 48 ©C. Federici-LNF-INFN.

Ci scusiamo se, per cause del tutto
indipendenti dalla nostra volontà, avessimo
omesso o citato erroneamente alcune fonti.

as

26 / 04.19

[elementi]

L'universo dall'H all'Og

di Barbara Sciascia

4

[as]

Tavola periodica degli elementi.

10

E fu subito litio

di Gennaro Miele

12

Corsa all'oro

di Marialuisa Aliotta

15

I neutrini e il berillio

di Carlo Broggin

18

Idrogeno allo specchio

di Luca Venturelli

21

L'uranio che scalda la Terra

di Fabio Mantovani

24

Piombo-scontri

di Chiara Oppedisano

27

Xenon, noblesse oblige

di Marco Selvi

30

L'oganesson, last but not least

di Antonio Di Nitto

34

[as] radici

Rutherford e il sogno degli alchimisti.

di Nadia Robotti

38

[as] riflessi

¹⁴Si può fare!

di Francesca Mazzotta

40

[as] traiettorie

Spettri e mummie.

di Eleonora Cossi

42

[as] selfie

Radon in quota.

di Anna Bazzocchi

44

[as] spazi

Tre E in barca.

di Francesco Noferini e Mario Nicola Mazziotta

46

[as] illuminazioni

Sir Isaac Newton e la mela digitale.

di Marco Giordano e Barbara Sciascia

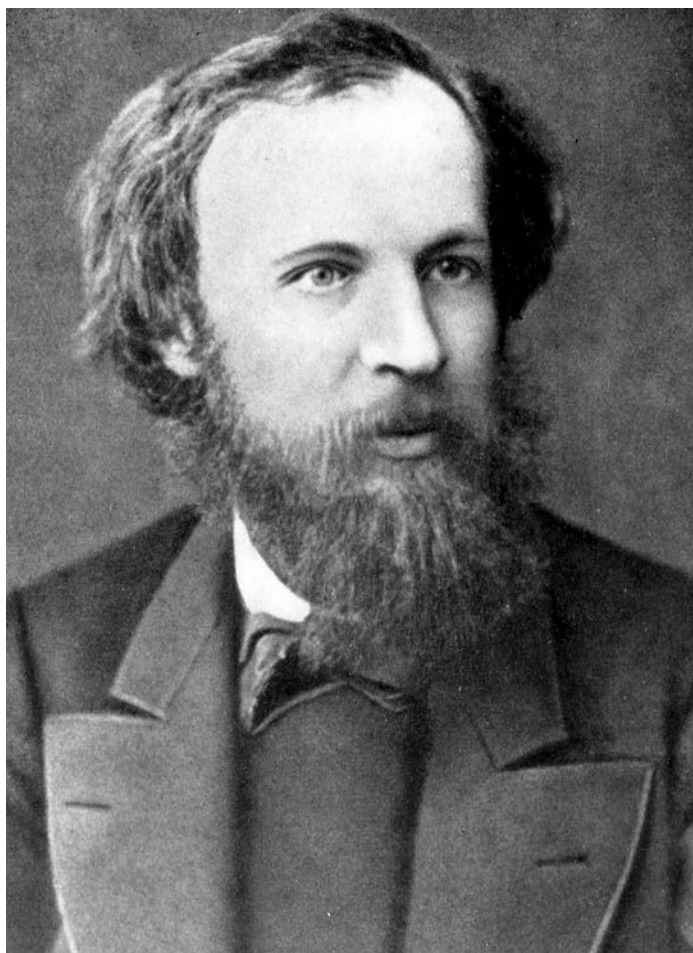
48



L'universo dall'H all'Og

La fisica dietro la tavola periodica

di Barbara Sciascia



b.
L'ideatore della tavola periodica
degli elementi, Dmitrij Ivanovic
Mendeleev.

facendo prevalere l'ordinamento secondo le proprietà chimico-fisiche. La scoperta di Moseley portò ad associare questo numero al numero di cariche positive contenute nel nucleo e quindi di elettroni dell'atomo, fornendo così una base fisica all'esistenza della tavola. Come Mendeleev, anche Moseley era così certo del modello ideato da predire l'esistenza di elementi ancora non noti, inclusa l'intera serie dei lantanidi. La legge di Moseley era solo una delle leggi empiriche che descrivevano gli spettri emessi dagli elementi in opportune condizioni. Uno "spettro atomico" è spesso inteso come una serie di righe colorate, caratteristiche di ogni elemento chimico, che si ottengono facendo passare attraverso un prisma ottico la luce emessa dall'elemento, per esempio dopo averlo riscaldato. Agli inizi del secolo scorso, l'intensa campagna di misure sempre più dettagliate degli spettri, in particolare dell'idrogeno (vd. in Asimmetrie n. 12 p. 21, ndr), portò

a capirne l'origine e all'affermarsi della meccanica quantistica. Nel modello atomico planetario preso in prestito a inizio secolo dall'astronomia, con la maggior parte della massa dell'atomo concentrata al centro a mo' di stella e gli elettroni vincolati a seguire solo determinate "orbite", gli spettri erano la radiazione emessa o assorbita dagli elettroni nel passare dall'una all'altra e le lunghezze d'onda o colori osservati erano fissati dalla differenza in energia tra le orbite stesse. Il problema di questo modello era che gli atomi... non sarebbero dovuti esistere! Secondo l'elettromagnetismo classico, infatti, l'elettrone nel moto di rotazione intorno al nucleo avrebbe irraggiato energia spiraleggiando fino a cadervi, rendendo impossibile l'esistenza anche del semplice atomo di idrogeno. In generale, i modelli teorici e le evidenze sperimentali imposero agli scienziati dell'epoca una rivoluzione culturale, resa più ardua dal linguaggio scientifico

sviluppato nei secoli per descrivere fenomeni macroscopici e accessibili ai sensi, che mal si adattava alle nuove scoperte.

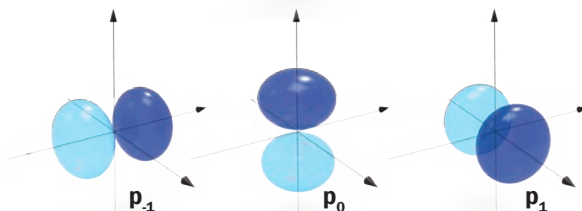
Per esempio, il concetto di orbita o traiettoria perde senso alla scala di energie e distanze in cui si manifesta la meccanica quantistica. Qui vige il principio di indeterminazione di Heisenberg, che implica tra l'altro che tanto più è nota la posizione di una particella, tanto meno si potranno avere informazioni sulla sua velocità, impedendo di fatto di conoscerne la traiettoria. In realtà la meccanica quantistica forza ancora di più la mano. Pur se spesso disegnati con una linea, gli "orbitali atomici" non sono traiettorie, ma piuttosto regioni dello spazio in cui un elettrone "è distribuito", "sta". Questa natura stazionaria degli orbitali, un po' come le oscillazioni delle corde di una chitarra che non si propagano, risolve anche il problema dell'irraggiamento con conseguente

c.
Rappresentazione spaziale degli orbitali atomici per valori di l da 0 (la sfera in alto) a 3 (le 7 configurazioni in basso). Ad ogni valore di l è associata una lettera (s,p,d,f). I valori di m che vanno da $-l$ a $+l$ sono indicati con un numero in pedice.

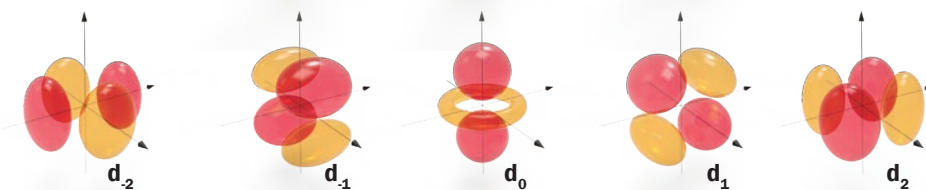
$l=0$



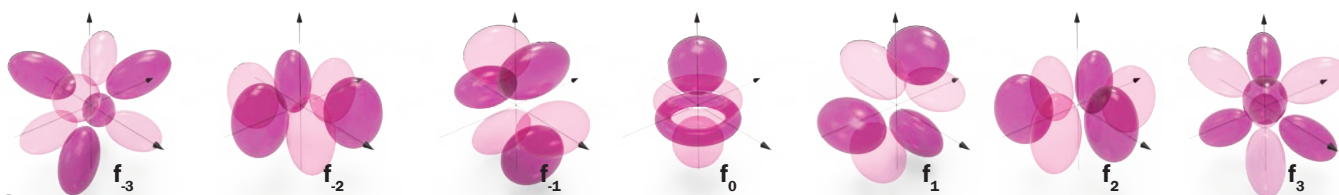
$l=1$



$l=2$



$l=3$



caduta sul nucleo. Definiti matematicamente per la prima volta da Erwin Schrödinger nel 1927, ai diversi tipi di orbitali sono associate specifiche forme tridimensionali, che corrispondono alle zone in cui è più probabile trovare l'elettrone qualora se ne misurasse la posizione. Classicamente non possiamo fare a meno di immaginare gli elettroni come oggetti, "palline", caratterizzati da posizione e velocità, ma ciò dipende solo dalla nostra - comprensibile - difficoltà a visualizzare, in termini di distribuzioni di probabilità, le funzioni d'onda, che sono invece alla base della teoria della misura in meccanica quantistica (vd. in *Asimmetrie* n. 16 p. 36, ndr). Secondo i livelli di energia dell'elettrone, possono essere immaginate una o più distribuzioni di probabilità che assumono forme diverse, indicate convenzionalmente con l , che può assumere solo valori interi a partire da 0. Ciascuna di queste assume distribuzioni nello spazio caratterizzate da orientamenti diversi, da uno per $l=0$ a sette per $l=3$, indicati convenzionalmente con m . Il modo in cui gli elettroni "occupano" queste forme, gli orbitali elettronici, è una diretta conseguenza di un altro principio della meccanica quantistica, il principio di Pauli, secondo cui all'interno di ciascun atomo non possono esistere due elettroni con gli stessi numeri quantici. Ciascun orbitale è individuato in modo univoco da tre numeri quantici, n , che indica il livello energetico principale visualizzabile anche come la distanza dal nucleo, e poi l e m definiti sopra. Il singolo elettrone è poi caratterizzato

dal numero quantico di spin, che può assumere solo due valori, e quindi per ogni orbitale ci saranno al più due elettroni. La distribuzione spaziale degli elettroni, in particolare di quelli più esterni, determina le proprietà chimiche degli atomi, il modo in cui interagiscono e si combinano tra loro, per esempio formando molecole o cristalli. Se gli elettroni non fossero appartenuti alla famiglia dei fermioni, composta dalle particelle che ubbidiscono al principio di Pauli, e fossero stati invece bosoni, avrebbero potuto accumularsi tutti in prossimità del nucleo e il mondo intorno a noi sarebbe stato molto diverso, sicuramente più uniforme e monotono.

Le ripetizioni e le regolarità trovate e ordinate da Mendeleev erano una prima classificazione del modo in cui sono riempiti gli orbitali di ciascun elemento. Oggi è noto che l'atomo ha un nucleo composto da un definito numero Z di protoni, il "numero atomico" (indicato di solito in basso a sinistra del simbolo dell'elemento chimico), e da un numero opportuno N di neutroni. Il numero totale di protoni e neutroni, indicato con A , è chiamato "numero di massa" (indicato in alto a sinistra dell'elemento); atomi di uno stesso elemento con un diverso numero di neutroni sono chiamati "isotopi". Intorno al nucleo si trovano esattamente Z elettroni in modo che l'atomo sia nel complesso neutro. La tavola periodica inizia in alto a sinistra con l'idrogeno: un protone e un elettrone. All'estremo opposto, in basso a destra, c'è l'oganesson, l'atomo più

complesso esistente, caratterizzato da 118 protoni ed elettroni. Comprendere come la differenza numerica tra 1 e 118 possa produrre la spettacolare varietà dell'universo, come si siano formati i vari elementi, perché alcuni siano così abbondanti e altri invece rarissimi, richiede il contributo di molti ambiti della fisica, inclusa la recentissima astronomia multimessaggera. Possiamo liberamente trarre spunto da ciò che fece Primo Levi (di cui ricorre proprio quest'anno il centenario della nascita) nella sua splendida raccolta di racconti "Il sistema periodico" del 1975. Levi scelse ventuno elementi – tra il centinaio noti allora – per costruire un itinerario autobiografico lungo la tavola di Mendeleev: ventuno storie per raccontare la propria formazione, gli anni della guerra, il dramma di Auschwitz, il mestiere di chimico. Anche noi sceglieremo una manciata di elementi, ma per scoprire quanta fisica interessante si nasconde tra le caselle della tavola periodica. Per esempio, la scoperta dell'elio, secondo elemento della tavola e primo dei gas nobili, avvenne studiando lo spettro del Sole: non corrispondeva a nessun elemento noto allora e si ipotizzò l'esistenza dell'elio, da Helios nome del Sole in greco. La scoperta in una miniera quasi trent'anni dopo, fu una delle prime conferme dell'universalità delle leggi fisiche, valide anche al di fuori della Terra. E poiché, nonostante la sua meravigliosa varietà, la tavola descrive solo il 5% dell'universo noto (vd. Asimmetrie n. 4, ndr), raccontare delle proprietà dei gas nobili apre una finestra sulle tecniche più avanzate nella ricerca della materia oscura (vd. p. 30, ndr). Tra i 118 elementi noti oggi vi è solo l'imbarazzo della scelta: dal più

leggero, l'idrogeno (vd. p. 12, ndr), formatosi qualche centinaio di secondi dopo il Big Bang, al più pesante, l'oganesson (vd. p. 34, ndr), ultimo degli elementi sintetizzati in laboratorio e ufficialmente inserito nella tavola solo nel 2016. E se l'attuale comprensione del funzionamento delle stelle rende chiara la formazione degli elementi necessari all'esistenza della vita quale la conosciamo, come il carbonio e l'ossigeno (vd. p. 18, ndr) e fino al vile ferro, la formazione di elementi più pesanti, come il nobile oro, richiede l'esistenza di "mostri del cielo", quali stelle di neutroni e buchi neri (vd. p. 15, ndr). Gli elementi pesanti così prodotti, sono a loro volta portatori di informazioni preziose, per esempio l'uranio sulla composizione dell'interno della Terra, sconosciuto molto più dello spazio profondo (vd. p. 24, ndr) o il piombo, i cui nuclei vengono fatti collidere dall'acceleratore Lhc ricreando per un istante il miscuglio di quark e gluoni esistente un centinaio di microsecondi dopo il Big Bang e da cui si formarono gli atomi primordiali (vd. p. 27, ndr). Infine, da quando nel 1928 Paul Dirac scrisse l'equazione per l'elettrone, l'antimateria è entrata a pieno titolo in ogni teoria della fisica delle particelle. Mentre singole antiparticelle vengono prodotte copiosamente nei laboratori di tutto il mondo, per gli antiatomi la produzione è limitata a poche decine di migliaia di atomi di anti-idrogeno, di cui si studiano in dettaglio le proprietà (vd. p. 21, ndr). È molto improbabile che arriveremo a costruire gli "antielementi" necessari a riempire una "antitavola", ma è certo che la comprensione dei componenti della tavola periodica degli elementi è una delle grandi conquiste del mestiere del... fisico.



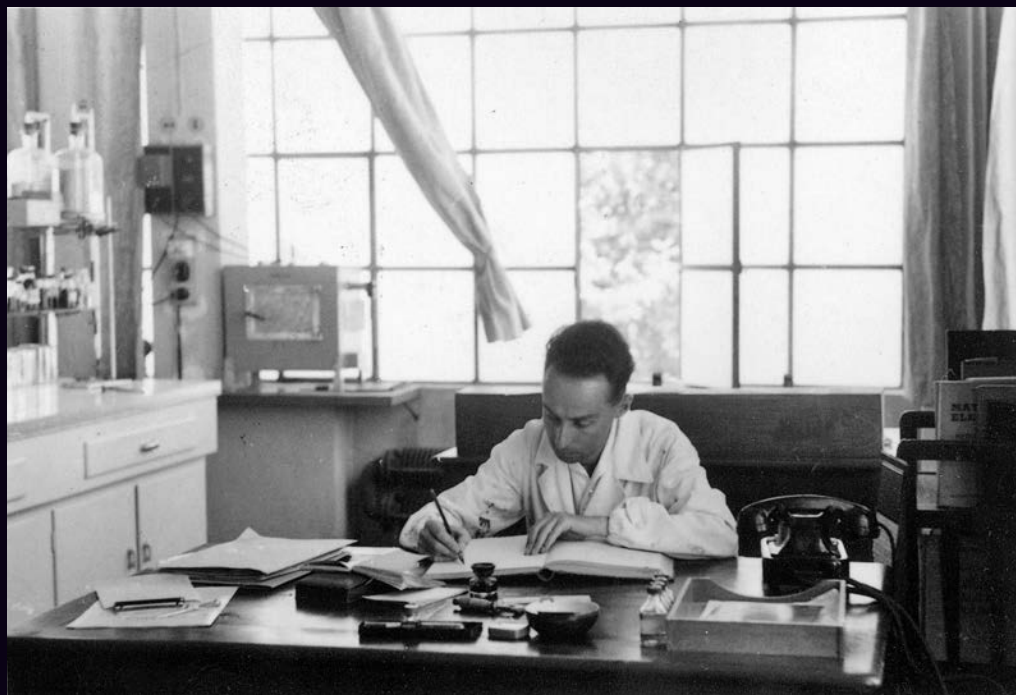
d.

La tavola periodica usata per decorare una macchina che ben difficilmente conterrà tellurio, iodio, xenon, polonio, astato e radon, ma sarà sicuramente fatta di molti più elementi di quanto immaginiamo.

Una passione comune

1.

Primo Levi, nel suo studio-laboratorio alla Siva nel 1952.



Nel giugno del 1984, Primo Levi e un altro grande protagonista della cultura italiana, il fisico Tullio Regge, si incontrarono su invito del critico e scrittore Ernesto Ferrero per una lunga conversazione a ruota libera. Ne scaturì un librino di grande successo, *Dialogo*, pubblicato dalle Edizioni di Comunità (e poi da Einaudi) e tradotto in tutto il mondo. Nei pomeriggi trascorsi chiacchierando davanti al registratore, Regge e Levi si raccontarono piccole e grandi cose - gli anni della formazione, le esperienze di vita, il senso dei rispettivi mestieri, il rapporto tra scienza e umanesimo, il fascino della fisica contemporanea, l'avvento dei computer - muovendosi con leggerezza da un argomento a un altro, tra sprazzi di humour e momenti di grande intensità. Uno dei temi toccati, nello scambio che riportiamo di seguito, era una passione comune ai due interlocutori: la tavola periodica degli elementi.

[Regge]: Mi appassionava la chimica, avevo trovato un testo che raccontava la storia degli elementi... Tradotto dal tedesco, un classico, a livello universitario. Tu l'hai certamente visto. Mi interessava il sistema periodico; per questo quando è uscito il tuo libro mi ci sono buttato; mi piace la frase in cui dici che il sistema periodico è poesia, per giunta con la rima.

[Levi]: L'espressione è paradossale, ma la rima c'è proprio. Nella forma grafica più consueta della tavola del sistema periodico, ogni riga termina con la stessa "sillaba", che è sempre composta da un alogeno più un gas raro: fluoro + neon, cloro + argon, e così via. Ma nella frase che tu citi c'è evidentemente di più. C'è l'eco della grande scoperta, quella che ti toglie il fiato; dell'emozione (anche estetica, anche poetica) che Mendeleev deve aver provato quando intuì che ordinando gli elementi allora noti in quel certo modo, il caos dava luogo all'ordine, l'indistinto al comprensibile: diventava possibile (e Mendeleev lo fece) individuare caselle vuote che avrebbero dovuto essere riempite, dato che "tutto ciò che può esistere esiste"; cioè fare opera profetica, antivedere l'esistenza di elementi sconosciuti, che vennero poi tutti puntualmente scoperti. Ravvisare o creare una simmetria, "mettere qualcosa al posto giusto", è un'avventura mentale comune al poeta e allo scienziato.

Da Primo Levi, Tullio Regge, *Dialogo*, Edizioni di Comunità, Milano, 1984 (ora in edizione Einaudi).

Biografia

Barbara Sciascia è ricercatrice presso i Laboratori Nazionali di Frascati (Lnf) dell'Infn. Collabora agli esperimenti Lhcb al Cern e Padme ai Lnf.

Link sul web

<https://www.ptable.com/?lang=it>

https://it.wikipedia.org/wiki/Scoperta_degli_elementi_chimici

<http://www.primolevi.it/web/italiano/contenuti/scienza>

<https://dmitrimendeleev.com/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.1

Tavola periodica degli elementi



1 H idrogeno										Gli elementi chimici riportati nella tavola periodica hanno origini diverse. Idrogeno ed elio, insieme al litio, furono prodotti già durante la nucleosintesi primordiale dopo il Big Bang. I nuclei fino al nichel sono prodotti dalle reazioni di fusione nucleare all'interno delle stelle. Alcuni elementi con numero atomico intermedio (boro e berillio in particolare) sono principalmente prodotti nelle reazioni di fissione, che avvengono durante la propagazione delle ceneri stellari nella galassia. Gli elementi con Z>28 vengono prodotti, a partire dalle ceneri dei supernovae, da reazioni di fusione, con processi di cattura neutronica di tipo s o r (vd. p. 15, ndr). Gli elementi transuranici e super-pesanti (insieme al tecnezio e al promezio) sono sostanzialmente assenti nel sistema solare e sono prodotti artificialmente in laboratorio.
3 Li litio	4 Be berillio									
11 Na sodio	12 Mg magnesio									
19 K potassio	20 Ca calcio	21 Sc scandio	22 Ti titanio	23 V vanadio	24 Cr cromo	25 Mn manganese	26 Fe ferro			
37 Rb rubidio	38 Sr stronzio	39 Y ittrio	40 Zr zirconio	41 Nb niobio	42 Mo molibdeno	43 Tc tecnezio	44 Ru rutenio			
55 Cs cesio	56 Ba bario		72 Hf afnio	73 Ta tantanio	74 W tungsteno	75 Re renio	76 Os osmio			
87 Fr francio	88 Ra radio		104 Rf rutherfordio	105 Db dubnio	106 Sg seaborgio	107 Bh bohrio	108 Hs hassio			
			57 La lantano	58 Ce cerio	59 Pr praseodimio	60 Nd neodimio	61 Pm promezio			
			89 Ac attinio	90 Th torio	91 Pa proattinio	92 U uranio	93 Np nettunio			

Gli elementi chimici riportati nella tavola periodica hanno origini diverse. Idrogeno ed elio, insieme al litio, furono prodotti già durante la nucleosintesi primordiale dopo il Big Bang. I nuclei fino al nichel sono prodotti dalle reazioni di fusione nucleare all'interno delle stelle. Alcuni elementi con numero atomico intermedio (boro e berillio in particolare) sono principalmente prodotti nelle reazioni di fissione, che avvengono durante la propagazione delle ceneri stellari nella galassia. Gli elementi con $Z > 28$ vengono prodotti, a partire dalle ceneri delle reazioni di fusione, con processi di cattura neutronica di tipo *s* o *r* (vd. p. 15, ndr). Gli elementi transuranici e super-pesanti (insieme al tecnezio e al promezio) sono sostanzialmente assenti nel sistema solare e sono prodotti artificialmente in laboratorio.

abbondanza $\log_{10}$

numero atomico

Elemento	Numero Atomico	Abbondanza $\log_{10}$
H	1	10.5
He	2	9.5
Li	3	1.8
Be	4	0.5
B	5	1.2
C	6	6.8
N	7	6.2
O	8	7.0
F	9	3.0
Ne	10	6.2
Na	11	4.8
Mg	12	5.8
Al	13	5.0
Si	14	5.8
P	15	3.8
S	16	5.5
Cl	17	3.5
Ar	18	4.8
K	19	3.5
Ca	20	4.5
Sc	21	1.5
Ti	22	3.5
V	23	2.5
Cr	24	4.0
Mn	25	3.8
Fe	26	5.8
Co	27	3.2
Ni	28	4.5
Cu	29	2.8
Zn	30	3.0

26

Fe

ferro

numero atomico

simbolo

nome

2

He

elio

5

B

boro

6

C

carbonio

7

N

azoto

8

O

ossigeno

9

F

floro

10

Ne

neon

13

Al

alluminio

14

Si

silicio

15

P

fosforo

16

S

zolfo

17

Cl

cloro

18

Ar

argon

27

Co

cobalto

28

Ni

nicchel

29

Cu

rame

30

Zn

zinco

31

Ga

gallio

32

Ge

germanio

33

As

arsenico

34

Se

selenio

35

Br

bromo

36

Kr

kripton

45

Rh

rodio

46

Pd

palladio

47

Ag

argento

48

Cd

cadmio

49

In

indio

50

Sn

stagno

51

Sb

antimonio

52

Te

tellurio

53

I

iodio

54

Xe

xenon

77

Ir

iridio

78

Pt

platino

79

Au

oro

80

Hg

mercurio

81

Tl

tallio

82

Pb

piombo

83

Bi

bismuto

84

Po

polonio

85

At

astato

86

Rn

radon

109

Mt

meitnerio

110

Ds

darmstadtio

111

Rg

roentgenio

112

Cn

copernicio

113

Nh

nihonio

114

Fl

flerovio

115

Mc

moscovio

116

Lv

livermorio

117

Ts

tennesso

118

Og

oganesson

62

Sm

samario

63

Eu

europio

64

Gd

gadolinio

65

Tb

terbio

66

Dy

disprosio

67

Ho

olmio

68

Er

erbio

69

Tm

tullio

70

Yb

itterbio

71

Lu

lutezio

94

Pu

plutonio

95

Am

americio

96

Cm

curio

97

Bk

berkelio

98

Cf

californio

99

Es

einsteinio

100

Fm

fermio

101

Md

mendelevio

102

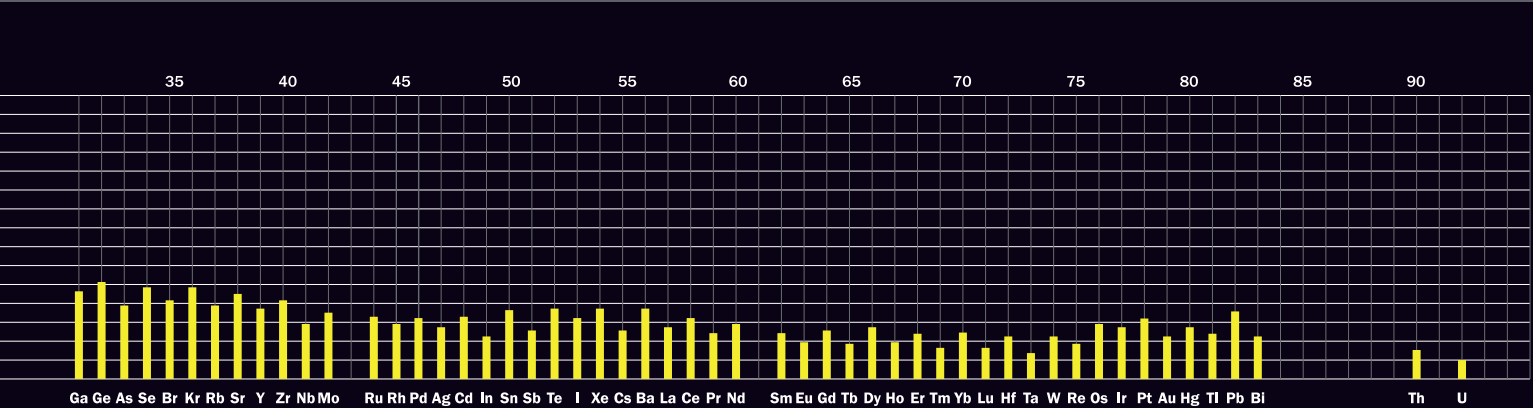
No

nobelio

103

Lr

laurenzio



E fu subito litio

L'origine degli elementi leggeri

di Gennaro Miele



È stato nel tempo intercorso tra un secondo e un'ora di vita del nostro universo che le prime caselle della tavola periodica, quelle corrispondenti agli elementi più leggeri, si sono riempite. Oggi, più di tredici miliardi di anni dopo, siamo riusciti a ricostruire quelle fasi cruciali grazie alle nostre conoscenze di fisica nucleare e di cosmologia. Il quadro

che ne emerge è solido e soddisfacente, ed è in ottimo accordo con tutte le osservazioni astrofisiche e cosmologiche. Con una sola eccezione, rappresentata dal litio, le cui abbondanze predette sembrano in disaccordo con quelle misurate. Se questo sia un problema superabile o l'indizio di una nuova fisica sarà una questione da chiarire nel

prossimo futuro. Ma andiamo con ordine. Si chiama "nucleosintesi primordiale" quella fase dell'evoluzione dell'universo durante la quale, partendo da semplici neutroni e protoni immersi in un plasma di particelle di massa molto piccola (fotoni, elettroni, positroni e neutrini), si vennero a formare i nuclei più leggeri (essenzialmente l'idrogeno nelle varie forme isotopiche, l'elio nelle varie forme isotopiche e il litio), in misura tale da rappresentare grosso modo la quantità che di questi elementi osserviamo oggi. La sintesi avvenne all'incirca nella prima ora di vita dell'universo, una fase nella quale, a causa dell'espansione, la temperatura del plasma calava rapidamente.

Il processo di formazione dei primi nuclei cominciò attorno a un secondo dopo il Big Bang, quando la temperatura del plasma divenne così bassa da rendere inefficaci le interazioni che trasformano neutroni in protoni e viceversa. Una volta spente queste interazioni, il rapporto tra le quantità di neutroni e protoni rimase, per così dire, "congelato". L'effetto di ciò fu una fase significativamente più ricca di neutroni di quanti ce ne sarebbero stati in condizioni di equilibrio termodinamico e quindi una maggiore propensione a legare i neutroni all'interno dei nuclei come l'elio-4 (${}^4\text{He}$), il deuterio (D, un isotopo dell'idrogeno formato da un neutrone e da un protone), l'elio-3 (${}^3\text{He}$) e il litio-7 (${}^7\text{Li}$). Il processo di fusione nucleare procedette quindi, partendo dai nuclei più semplici a quelli più complessi, fino a quando la temperatura raggiunse valori così bassi da non consentire le reazioni in maniera efficiente. Il processo si

arrestò intorno a poco più di un'ora dopo il Big Bang, quando la temperatura del plasma era ormai scesa a un valore attorno ai 0,01 MeV.

L'esito di questa fase fu una produzione abbondante, ovvero non trascurabile rispetto a quella che sarebbe stata l'evoluzione chimica dei seguenti 13 miliardi circa di anni (fino ad oggi), di idrogeno, deuterio, elio-4 e, in subordine, elio-3 e litio-7. I risultati dei calcoli teorici di queste abbondanze primordiali vengono oggi confrontati con le osservazioni astrofisiche, e l'ottimo accordo è spesso indicato come una delle evidenze più impressionanti della teoria del Big Bang, ossia del fatto che l'universo si sia trovato, nelle prime fasi della sua esistenza, in uno stato estremo, molto più caldo e denso dell'attuale.

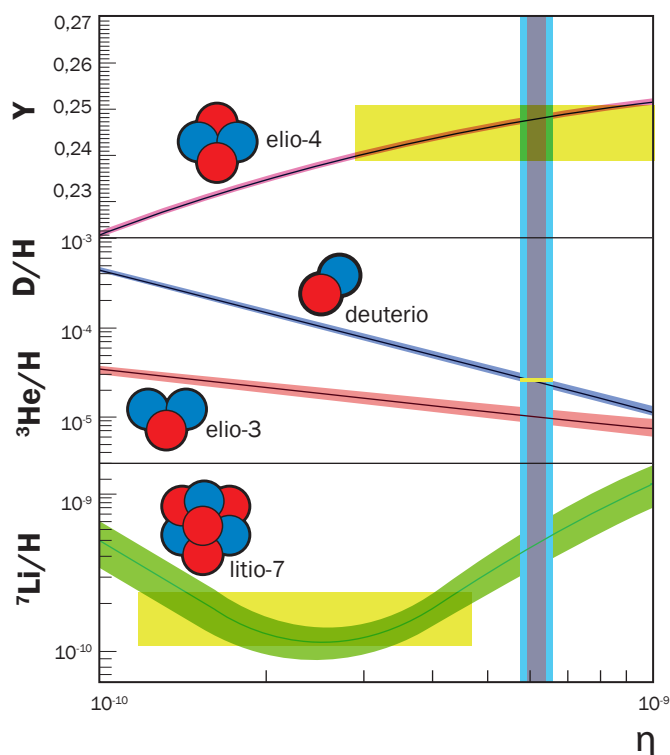
Gli ingredienti teorici della nucleosintesi primordiale sono relativamente semplici. Il primo è costituito dalle equazioni di Einstein, che predicono l'espansione dell'universo, che a queste temperature dipende dall'energia presente in forma di radiazione. Queste equazioni contengono due soli parametri: il numero di particelle relativistiche che contribuiscono all'espansione (fotoni, elettroni, positroni, neutrini, più eventualmente nuove particelle non previste dal modello standard) e la densità di materia "barionica", cioè composta di neutroni e protoni. Il secondo ingrediente è costituito dalle equazioni che descrivono i processi di fusione nucleare, che contengono alcuni parametri che possono essere calcolati per via teorica, oppure misurati in laboratorio. L'affidabilità

dei calcoli teorici spesso si scontra con incertezze difficili da quantificare, per cui la misura sperimentale di questi parametri rappresenta l'unica via praticamente percorribile. Queste misure hanno rappresentato una sfida per la comunità dei fisici nucleari, che ancora continua.

Una volta fissati i parametri ottenuti sperimentalmente, con le relative incertezze statistiche e sistematiche, le due quantità menzionate precedentemente (numero di specie relativistiche e densità barionica) possono essere ottenute dal confronto tra le predizioni teoriche e i dati osservativi.

Nel momento in cui altre osservabili cosmologiche (come ad esempio la radiazione del fondo cosmico a microonde) hanno incominciato a permettere determinazioni indipendenti di una o entrambe le quantità suddette con estrema precisione, la nucleosintesi primordiale è diventata un importantissimo test di consistenza per il modello cosmologico standard (vd. in *Asimmetrie* n. 15 p. 4, ndr).

Il confronto fra i dati osservativi e le predizioni della teoria della nucleosintesi primordiale richiede estrema cautela. Al fine di poter paragonare le predizioni primordiali con le osservazioni attuali è indispensabile trovare regioni dell'universo in cui si possa essere sicuri di una assenza di significativa contaminazione chimica dai processi stellari, che altererebbe le abbondanze rispetto ai valori prodotti durante la nucleosintesi primordiale. Questo è vero in particolare per il deuterio, nucleo per il quale l'abbondanza relativa rispetto all'idrogeno normale è misurabile attraverso uno "shift



a.
Le predizioni delle abbondanze dei nuclei leggeri in funzione del rapporto tra le abbondanze di barioni e di fotoni (η) sono rappresentate dalle bande colorate. Le altezze dei box rettangolari gialli corrispondono alle abbondanze primordiali di elio-4, deuterio (D) e litio-7, determinate da misure astrofisiche (per l'elio-3 non esistono misure affidabili), mentre le basi rappresentano i valori di η che si otterrebbero dal confronto tra previsione teorica e dato osservativo per quel dato nucleo. La banda verticale più larga, in azzurro, corrisponde all'intervallo di valori di η che meglio predicono l'abbondanza di deuterio (l'elio-4 è molto meno sensibile a questo parametro). La banda verticale più stretta, in rosso, corrisponde invece al valore di η misurato dalla radiazione del fondo cosmico a microonde. Come si vede, i due metodi di misurazione di η sono in perfetto accordo. Il riquadro più basso mostra la discordanza tra i valori di litio predetti e quelli osservati.



b.
La nebulosa di Orione rappresenta una delle più grandi regioni HII note.

isotopico”, in regioni cosiddette “HII”, in cui sono presenti nubi di gas ionizzato dalla radiazione ultravioletta emessa dalle stelle giovani, in cui la contaminazione chimica non ha ancora avuto luogo in misura significativa.

Il deuterio risulta essere un’osservabile ideale anche per le seguenti ragioni, di natura differente. Da un lato è un elemento fragile, distrutto dalla maggior parte dei processi chimici stellari e interstellari: il fatto che l’abbondanza misurata in queste regioni sia in accordo con le predizioni è un’indicazione a posteriori, anche se non conclusiva, della bontà del modello. Inoltre, l’abbondanza di deuterio dipende fortemente dal valore della densità barionica, così provvedendo un forte “bariometro”, un misuratore di questa quantità. Una situazione analoga accade per l’elio-4, che invece dipende fortemente dal numero di particelle relativistiche.

Il litio-7, invece, ha rappresentato storicamente un problema, dato che le predizioni teoriche sembrano non essere consistenti con le osservazioni. Questo problema risale al 1982, quando per la prima volta il litio-7 fu osservato nelle atmosfere di stelle di bassa metallicità, appartenenti all’alone della nostra galassia. Fu notato che, indipendentemente dalla metallicità della stella, l’abbondanza di litio-7 nella sua atmosfera rimaneva costante, e questo fu preso come

un’indicazione del fatto che il litio-7 osservato fosse quello preesistente all’evoluzione stellare. Assumendo che il litio-7 osservato nell’atmosfera di queste stelle fosse quello primordiale (un salto logico non banale, e probabilmente errato, come argomentato molte volte negli ultimi 30 anni), questa abbondanza veniva comparata con quella del litio-7 previsto dalla teoria della nucleosintesi primordiale, trovando valori sistematicamente più bassi. Questo problema è ancora oggi argomento di dibattito e una sua eventuale soluzione aprirebbe interessanti nuovi scenari allo studio della nucleosintesi durante il Big Bang.

Biografia

Gennaro Miele è professore di fisica teorica presso l’Università degli Studi di Napoli Federico II, dove insieme al suo gruppo di ricerca conduce studi su astrofisica e cosmologia del neutrino e sulla nucleosintesi dell’universo primordiale. È coautore di numerose pubblicazioni scientifiche e monografie, tra cui “Neutrino Cosmology” edito dalla Cambridge University Press.

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.2

Corsa all'oro

Elementi pesanti della nucleosintesi stellare

di Marialuisa Aliotta



Con 79 protoni nel suo nucleo e una densità pari a circa due volte quella del piombo, l'oro (simbolo chimico Au, dal nome latino *aurum*) è uno degli elementi più pesanti, ma anche più rari, in Natura. Non sorprende quindi che uno dei sogni degli alchimisti nei secoli sia stato quello di trasmutare in oro metalli più comuni come il ferro.

Per capire da dove provenga l'oro presente sulla Terra occorre scoprire dove, come e quando si siano formati gli elementi chimici che compongono la materia ordinaria nell'universo. Com'è noto, l'universo ha origine circa 14 miliardi di anni fa da una gigantesca esplosione nota come Big Bang, ma inizialmente sono presenti solo nuclei di idrogeno (protoni), deuterio (un protone e un neutrone), elio (due protoni e due neutroni) e tracce di elementi leggeri (principalmente litio).

Per formare elementi più pesanti

dell'elio occorre attendere l'epoca di formazione delle stelle, circa 700 milioni di anni dopo il Big Bang. Qui, grazie alla possibilità di raggiungere e mantenere temperature sufficientemente elevate per lunghi periodi di tempo, diventa possibile trasmutare gli elementi più leggeri in elementi via via più pesanti attraverso fasi alterne di "combustione" nucleare e contrazione gravitazionale. In questo modo, è possibile convertire idrogeno in elio, elio in carbonio e ossigeno, carbonio in neon e magnesio, e così via fino alla sintesi del ferro. Occorre notare però che ciascuno di questi processi è possibile solo per stelle con opportuna massa, tale cioè da consentire il raggiungimento di temperature sufficienti a mitigare la crescente repulsione coulombiana tra nuclei con un numero via via maggiore di protoni. A questo punto, per una peculiare proprietà dei nuclei, reazioni di fusione

oltre il ferro diventano "endotermiche", ossia non rilasciano più energia e non possono avvenire in modo spontaneo. La sintesi del ferro all'interno di una stella segna quindi la fase finale di un'epoca relativamente stabile e tranquilla. Ora, esaurita la fonte energetica che mantiene in vita la stella, questa implode definitivamente su sé stessa per poi esplodere come supernova. Tutti gli elementi creati al suo interno vengono così espulsi nel mezzo interstellare, arricchendolo di "metalli" (così sono chiamati dagli astronomi tutti gli elementi più pesanti dell'elio) e dando luogo, nel corso di miliardi di anni, alla distribuzione cosmica degli elementi che osserviamo oggi.

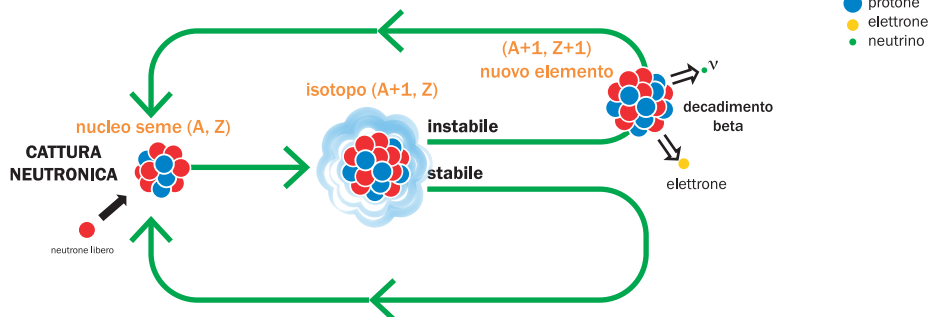
Resta tuttavia una questione ancora irrisolta: se all'interno delle stelle è possibile arrivare solo alla fusione del ferro, da dove provengono tutti gli elementi più pesanti che pure osserviamo

in Natura? E in particolare, dove e come si forma l'oro? Abbiamo accennato al fatto che le reazioni di fusione tra particelle cariche, ossia i nuclei di un dato elemento, siano soggette al "superamento" della barriera repulsiva coulombiana. Poiché reazioni di fusione tra nuclei di ferro sono impossibili, è necessario cercare un meccanismo diverso, che non sia ostacolato dalla repulsione coulombiana. Questo meccanismo consiste nella cattura di neutroni liberi - elettricamente neutri, quindi non soggetti alla repulsione coulombiana - da parte di nuclei "seme", come ad esempio il ferro. La cattura di un neutrone trasforma il nucleo seme in un suo isotopo più pesante (con numero di neutroni N più grande). Se questo è stabile il processo di cattura neutronica può proseguire fino a quando si forma un isotopo instabile che, quindi, subisce un decadimento beta (cioè uno dei neutroni del nucleo decade in un protone, emettendo un elettrone e un antineutrino) diventando un nuovo elemento chimico con Z maggiore di quello del nucleo seme. Questi processi sono detti di tipo s (dall'inglese *slow*) e sono responsabili della formazione di circa la metà degli elementi più pesanti del ferro. Il processo s , infatti, evolvendo lungo la valle di stabilità dei nuclei (cioè il luogo di punti nel piano Z/N corrispondente ai nuclei stabili esistenti in Natura, vd. p. 34, ndr), contribuisce al massimo, e con sempre minore efficienza, alla sintesi degli elementi con un numero atomico intorno all'80. Elementi più pesanti come torio, palladio e uranio richiedono

la formazione di nuclei estremamente ricchi in neutroni. Ciò è possibile solo se i processi di cattura sequenziale dei neutroni avvengono più rapidamente rispetto ai tempi di decadimento beta, permettendo di ottenere isotopi molto lontani dalla valle di stabilità (processo r , o rapido). Da qui, attraverso una sequenza di decadimenti beta, si può finalmente raggiungere la regione corrispondente agli elementi più pesanti esistenti in Natura e giustificare le abbondanze osservate. I processi r sono la pietra filosofale per la produzione dell'oro! Sebbene la dinamica dei processi s e r fosse stata proposta già nel 1957 per spiegare la sintesi di elementi oltre il ferro, esisteva un problema irrisolto fino ad oggi. I neutroni liberi sono particelle instabili e decadono in protoni in circa dieci minuti. Per rendere conto dei processi di cattura neutronica occorre trovare degli ambienti astrofisici in cui i neutroni siano prodotti in quantità copiose. Per il processo s , questo non è un problema e sorgenti di neutroni sono state identificate sotto forma di reazioni nucleari secondarie durante le fasi di combustione dell'elio. Ma per il processo r , il problema è ben più serio. Si stima infatti, che per rendere efficace tale processo occorrono densità di neutroni pari a circa 10^{21} - 10^{28} neutroni/cm³! Sino ad oggi, non esistevano prove certe riguardo l'ambiente astrofisico in cui si potessero produrre così tanti neutroni. Ma esistevano due possibili scenari: uno, le esplosioni di supernova, che rappresentano la fase finale nell'evoluzione di stelle con massa superiore a circa 8-10 masse solari. E l'altro,

processo s

IL PROCESSO SI PUÒ RIPETERE CON TEMPI DI 100-100.000 ANNI

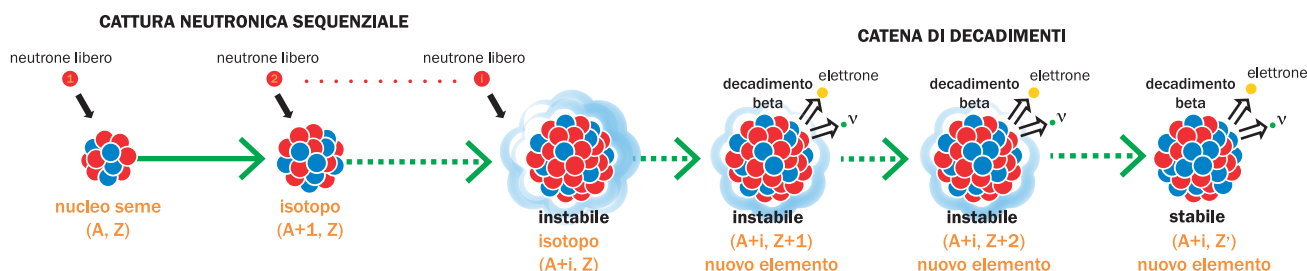


a.

I processi rapidi (r , *rapid*) e lenti (s , *slow*) permettono la formazione di nuclei più pesanti del ferro e del nichel nelle stelle. Nei processi s la cattura di un neutrone produce un isotopo più pesante del nucleo "seme" (il numero di massa passa da A ad $A+1$). I processi s non permettono di creare isotopi molto ricchi di neutroni e ciò limita la produzione di nuclei pesanti con Z maggiore di 80. I processi r richiedono ambienti astrofisici con un'enorme densità di neutroni che vengono assorbiti in brevissimo tempo, creando isotopi molto più pesanti del nucleo seme ($A+i, Z$) e fortemente instabili. Dopo che i neutroni sono stati assorbiti inizia la catena di decadimenti beta che può produrre elementi con numero atomico Z' molto maggiore di Z .

processo r

IL PROCESSO DI CATTURA NEUTRONICA AVVIENE IN TEMPI DI CIRCA 1 SECONDO





b.
Rappresentazione artistica di una collisione tra stelle di neutroni. Questo è il fenomeno alla base della rivelazione delle onde gravitazionali di GW170817 osservate per la prima volta dagli interferometri Ligo e Virgo il 17 agosto 2017. Le collisioni tra stelle di neutroni, mai osservate prima, rappresentano l'evento astrofisico più plausibile per il processo *r* e quindi per la formazione di elementi pesanti tra cui l'oro.

la collisione tra due stelle di neutroni, oggetti estremamente densi e “piccoli” (circa 30 km di diametro), costituiti essenzialmente... di neutroni. Nel primo caso, pur ammettendo la possibilità di liberare enormi quantità di neutroni durante le fasi di esplosione, non era possibile riconciliare i risultati di complesse simulazioni di nucleosintesi con le abbondanze osservate di elementi attribuibili al processo *r*. Nel secondo caso non era mai stato osservato un processo di collisione tra due stelle di neutroni. Ossia, mai fino al 17 agosto 2017, data in cui, alle 14.41 ora italiana, gli interferometri Ligo e Virgo hanno identificato una sorgente di onde gravitazionali a 130 milioni di anni luce da noi, nella costellazione dell'Idra. A differenza di altre onde gravitazionali rivelate fino ad allora, quelle di GW170817 non erano generate però dalla “collisione” di due buchi neri, bensì di due stelle di neutroni (vd. fig. b). Si trattava quindi di un evento mai osservato in precedenza. Non solo. La rivelazione di GW170817 ha dato inizio a una febbrile attività osservativa come forse mai prima d'ora

in astrofisica. Per diverse settimane, il fenomeno è stato prontamente osservato da circa 70 telescopi sulla Terra e nello spazio e praticamente a tutte le lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico arrivando così a confermare che le collisioni tra stelle di neutroni costituiscono effettivamente l'evento astrofisico più plausibile per il processo *r*. Tale ipotesi è stata altresì corroborata da osservazioni

recentissime di abbondanze di elementi caratteristici del processo *r*, tra cui oro, platino e piombo, in galassie nane ed estremamente vecchie attorno alla nostra Galassia. La scoperta di GW170817 ha quindi dato inizio a una nuova era, multimessaggera, nell'esplorazione astrofisica. Ma forse ha anche dato vita alla moderna alchimia! E questa volta con successo.

Biografia

Marialuisa Aliotta è professore ordinario di Astrofisica Nucleare Sperimentale presso l'Università di Edimburgo (UK). La sua attività di ricerca si basa principalmente sullo studio di reazioni nucleari di interesse astrofisico che coinvolgono sia nuclei stabili che radioattivi. Dal 2010 è membro della collaborazione Luna (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Infn.

Link sul web

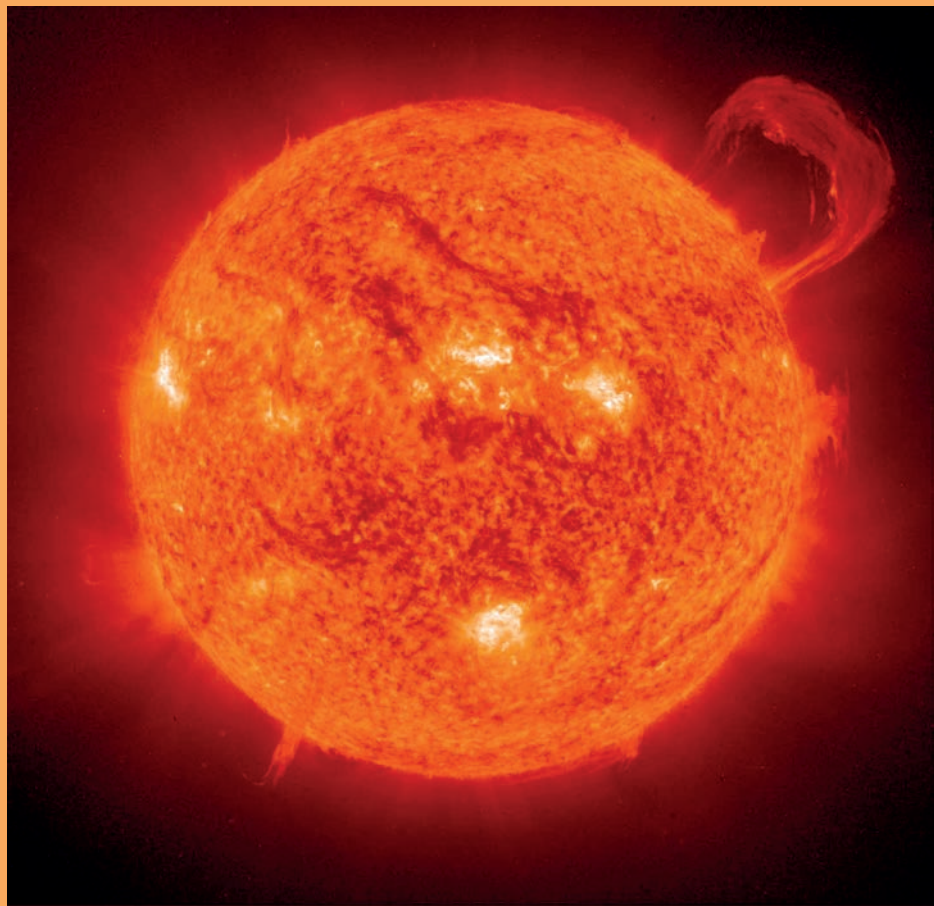
<https://articolidiastronomia.com/2014/10/26/nucleosintesi/>
<https://www.accademiadellestelle.org/tag/nucleosintesi-stellare/>
<http://science.sciencemag.org/content/early/2017/10/13/science.aap9455.full>
www.treccani.it/export/sites/default/Portale/resources/multimedia/Lezioni_di_Sienze/origine_elementi/Origine_elementi.pdf

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.3

I neutrini e il berillio

Le reazioni nucleari del nostro Sole

di Carlo Brogginì



a.
Immagine del Sole presa nell'ultravioletto estremo dall'osservatorio Soho. In alto a destra è visibile una protuberanza formata da plasma.

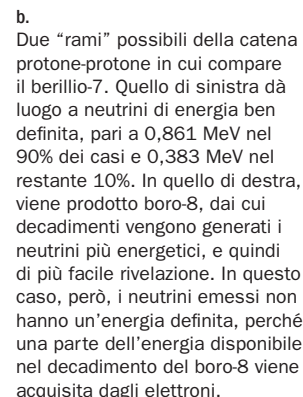
Il motore delle trasformazioni che avvengono sulla Terra, e della vita stessa sul nostro pianeta, è il Sole. Nel 1920, subito dopo la misura precisa della massa dell'idrogeno e dell'elio, l'astrofisico inglese Sir Arthur Eddington ebbe l'intuizione della provenienza dell'energia irradiata dal Sole: è il risultato della conversione in energia dello 0,7% circa della massa dell'idrogeno che si trasmuta in elio, in accordo con la celebre equazione $E = mc^2$. Funziona in questo modo il reattore nucleare a fusione attivo da

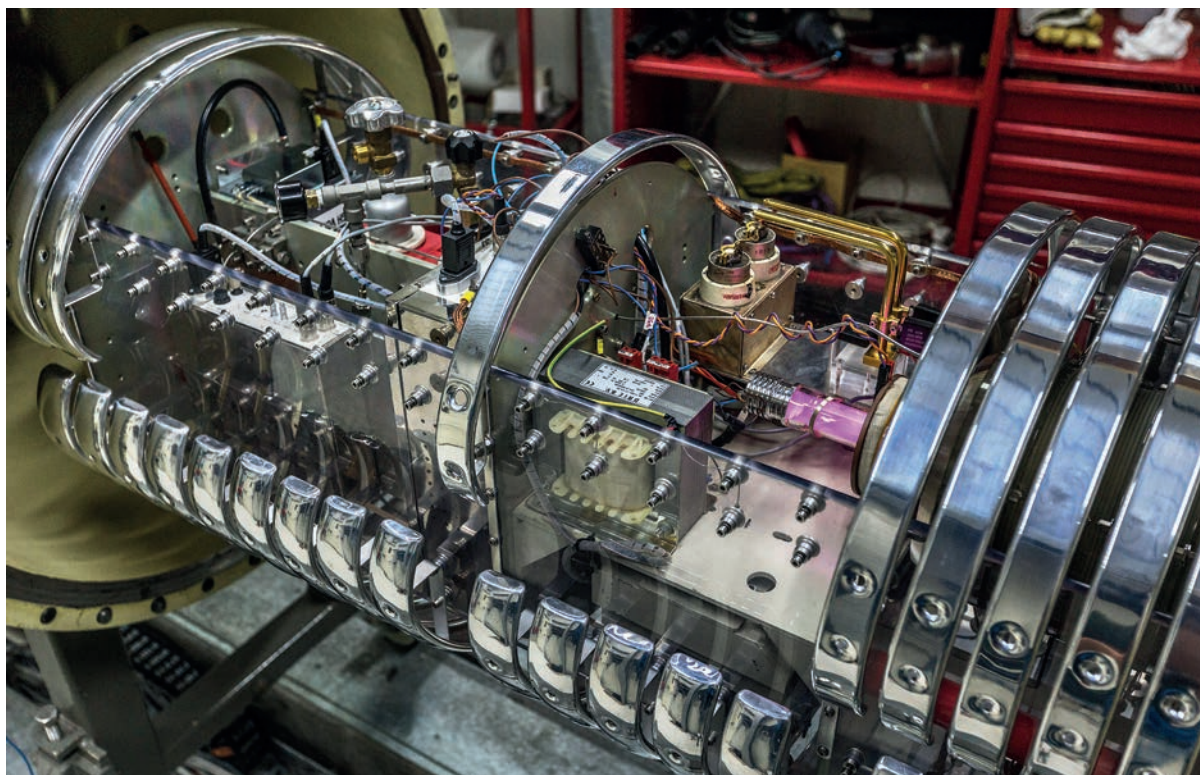
circa 4,5 miliardi di anni al centro del Sole, in cui i nuclei di idrogeno sono confinati dalla pressione gravitazionale a una temperatura di 15 milioni di gradi. Naturalmente questa non è una caratteristica esclusiva del nostro Sole, infatti la maggior parte delle stelle che brillano nel cielo sono tenute "accese" dalla combustione dell'idrogeno. Il processo di base viene oggi descritto come $4H \rightarrow ^4He + 2e^+ + 2\nu_e$, con un rilascio di energia pari a 26,7 MeV, dove $2e^+$ e $2\nu_e$ sono i positroni e i neutrini che accompagnano la fusione. Di particolare

interesse sono i neutrini: particelle molto sfuggenti che attraversano il Sole, con una probabilità di interazione estremamente bassa. La trasmutazione di idrogeno in elio non avviene come fusione simultanea di quattro nuclei di idrogeno, ma si sviluppa, per il 99% dell'energia prodotta nel Sole, attraverso una serie di reazioni nucleari tra due nuclei, che prende il nome di catena protone-protone, i cui dettagli sono determinati dalla probabilità che le differenti reazioni abbiano luogo (cioè dalla sezione d'urto della reazione). Il restante 1% di energia è sempre dovuto alla fusione dell'idrogeno, ma attraverso un ciclo di reazioni, il ciclo CNO (carbonio, azoto, ossigeno), che diventa importante a temperature centrali maggiori di quella del Sole (vd. in Asimmetrie n. 24 p. 20, ndr).

Il Sole è una stella a noi molto vicina: è pari a circa 8 minuti il tempo che impiega la luce irradiata dalla sua superficie a raggiungere la Terra (la seconda stella più vicina, Proxima Centauri, dista circa 4,2 anni luce). Questo ci permette di avere sulla Terra un flusso estremamente alto di neutrini solari, dell'ordine di 60 miliardi ogni secondo attraverso una superficie di un centimetro quadro. Sin dalla fine degli anni '40 si propose di utilizzare i neutrini solari per verificare che il modello di funzionamento del Sole fosse quello corretto. Tuttavia, ci si

A questo punto il flusso di neutrini rivelabili è abbastanza elevato da poter essere misurato nel rivelatore contenente 615 tonnellate di tetracloroetene (un solvente usato nelle lavanderie), che negli anni '60 Raymond Davis ha messo in funzione nella miniera d'oro di Homestake, negli Stati Uniti. I neutrini solari vengono catturati da un isotopo del cloro, il cloro-37 (^{37}Cl), che si trasforma in argon-37 (^{37}Ar), un elemento radioattivo, con una probabilità di produzione davvero modesta.





circa 200 metri di distanza l'uno dall'altro ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Infn. Ancor più vicino era Gallex/Gno, raffinatissimo esperimento radiochimico che ha misurato il flusso integrato di tutti i neutrini solari, a partire da quelli di più bassa energia. I Laboratori del Gran Sasso, proposti 40 anni fa da Antonino Zichichi, restano tuttora il più grande laboratorio sotterraneo al mondo, e il più ricco di esperimenti che necessitano delle particolari condizioni di bassissima contaminazione di raggi cosmici, in gran parte schermati dalla montagna sovrastante, per indagare i più elusivi fenomeni dell'universo.

Abbiamo visto che molto si è progredito dal 1920, quando Eddington ebbe l'intuizione sulla fonte di energia termonucleare, senza che neppure si conoscesse l'esistenza dei neutrini. Adesso siamo addirittura in grado di predire quale sarà il futuro del Sole. Tra circa 4,8 miliardi di anni l'idrogeno a disposizione nella parte centrale terminerà, il Sole si contrarrà, la temperatura aumenterà e, per circa 0,6 miliardi di anni, brucerà l'idrogeno nella parte esterna più vicina, provocando un'espansione del volume del Sole che arriverà sino a inglobare il pianeta Mercurio. Esaurito anche questo idrogeno, il Sole riprenderà a contrarsi ed entrerà quindi in una fase relativamente breve, dell'ordine di 120 milioni di anni, ma alquanto turbolenta, in cui vi sarà la combustione di elio

in carbonio alla temperatura di 100 milioni di gradi, sempre trasformando una parte della massa dell'elio in energia. Esaurito anche l'elio, il Sole diventerà una nana bianca: un grande cristallo di carbonio e ossigeno (l'altro prodotto risultante dalla combustione dell'elio), brillante di luce bianca, con il raggio ridotto di un fattore 100 rispetto al Sole attuale, ma con una densità pari a un milione di volte quella dell'acqua. La massa del Sole è infatti troppo piccola per poter raggiungere nella zona centrale la temperatura di 900 milioni di gradi necessaria per innescare la combustione del carbonio. Alla fine la pressione gravitazionale sarà compensata dalla pressione esercitata dagli elettroni, che non possono essere ulteriormente compressi, e il fuoco termonucleare si spegnerà per sempre all'interno della nostra stella.

c.
Il "cuore" dell'acceleratore di Luna: la sorgente a radiofrequenza. Ben visibile, in color rosa acceso, l'ampolla contenente il plasma da cui si estrae il fascio di ioni da accelerare.

Biografia

Carlo Broggin è dirigente di ricerca Infn alla sezione di Padova. Ha lavorato al Cern e ai laboratori sotterranei del Monte Bianco, Gottardo e Gran Sasso. È stato responsabile della collaborazione Luna e membro del comitato scientifico dei Laboratori del Gran Sasso. Si occupa di astrofisica nucleare ed è *editor* della rivista *The European Physical Journal A*.

Link sul web

<https://www.lngs.infn.it/it>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.4

Idrogeno allo specchio

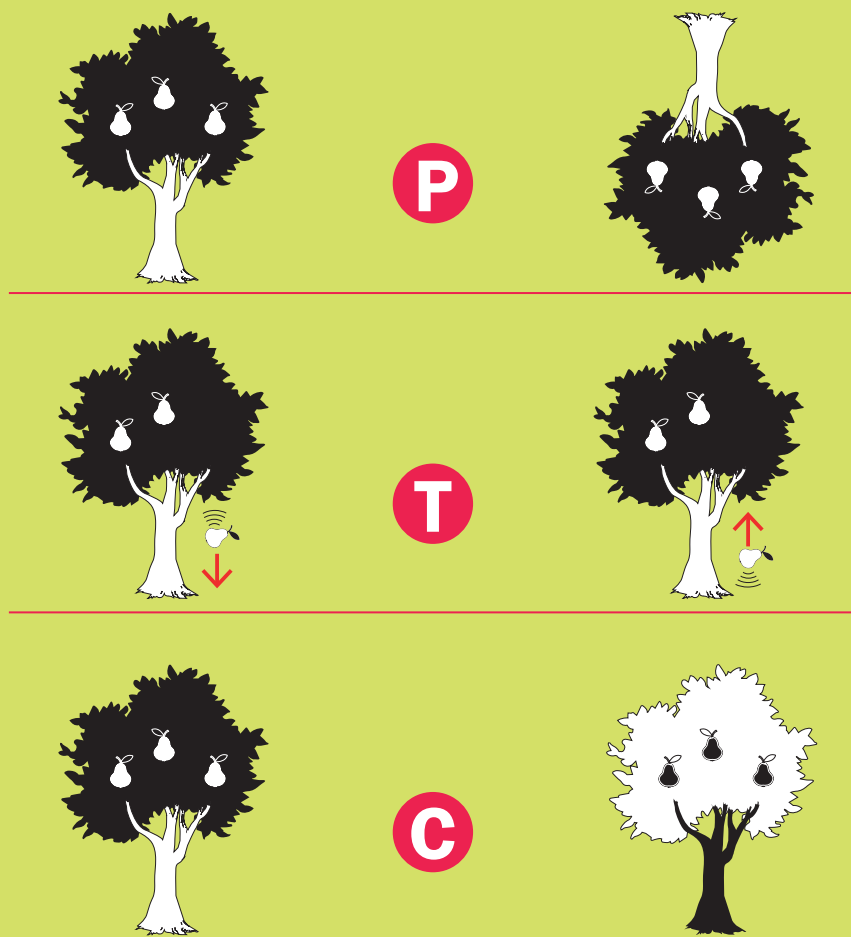
Studi di antimateria in laboratorio

di Luca Venturelli

Gran parte della conoscenza delle leggi della Natura e di come è fatto il nostro universo proviene dallo studio dell'idrogeno (H), l'elemento chimico più semplice, composto da un protone e da un elettrone. Oggigiorno ci sono grandi aspettative che il partner di antimateria dell'idrogeno, formato da un antiprotone e da un positrone e chiamato anti-idrogeno, possa contribuire a sviluppare ulteriormente le nostre conoscenze e a risolvere alcuni dei misteri dell'universo. Uno degli enigmi più intriganti della fisica è il fatto che l'universo visibile è composto quasi completamente di materia, mentre l'antimateria è di fatto assente. È ragionevole assumere che con il Big Bang materia e antimateria siano state create in ugual quantità. Ma se, venendo a contatto, si fossero annichilate completamente, il nostro mondo e noi stessi non esisteremmo. Una possibilità è che una parte di materia e una di antimateria siano sopravvissute isolandosi in regioni separate dell'universo. Se così fosse, dalle zone di confine tra materia e antimateria dovrebbero comunque provenire segnali dell'annichilazione che in realtà non sono mai stati osservati. Quindi allo stato attuale sembra che l'universo sia asimmetrico.

Che la materia e l'antimateria non siano esattamente simmetriche, quando si considerano i processi fisici in cui è coinvolta l'interazione debole, cioè che ci sia la cosiddetta "violazione CP", è cosa nota (vd. in Asimmetrie n. 16 p. 33, ndr). Questa asimmetria e le altre finora osservate sono però troppo piccole per spiegare l'asimmetria dell'universo.

La spiegazione potrebbe risiedere nella violazione di una simmetria più fondamentale, chiamata CPT e consistente nell'invarianza delle leggi fisiche rispetto a un cambiamento della carica (trasformazione C), all'inversione degli assi spaziali (trasformazione P) e



all'inversione del tempo (trasformazione T). Ma la validità di questa simmetria è stabilita da un teorema molto generale e ad oggi la sua violazione non è mai stata osservata. La simmetria CPT implica che la massa, la vita media e i valori assoluti della carica elettrica e del momento magnetico di un'antiparticella siano esattamente uguali a quelli della corrispondente particella. Inoltre, le proprietà spettroscopiche di un antiatomo come l'anti-idrogeno devono essere esattamente uguali a quelli del corrispondente atomo, nel nostro caso l'idrogeno.

a. La simmetria CPT è l'invarianza delle leggi fisiche rispetto alla combinazione di tre trasformazioni: la coniugazione di carica C, che scambia ogni particella con la rispettiva antiparticella; la trasformazione di parità P, che inverte gli assi spaziali, scambiando la destra con la sinistra, il sopra con il sotto, il davanti con il dietro; l'inversione temporale T, che inverte la direzione del tempo.

Esperimenti che mostrassero una sia pur piccola differenza tra le proprietà di particelle e di antiparticelle, o di atomi e di antiatomi, sarebbero una dimostrazione diretta della violazione di CPT e richiederebbero una profonda revisione delle leggi della Natura.

Numerose ricerche sono state realizzate e sono tuttora in corso in questo ambito. Dal momento che l'idrogeno è uno dei sistemi fisici meglio misurati, studi accurati sul suo partner di antimateria possono permettere di verificare la simmetria CPT con grande precisione.

I primi atomi di anti-idrogeno furono creati al Cern nel 1996, ma a velocità relativistiche che li rendevano inadatti a un confronto preciso con l'idrogeno.

È nel 2002 che sono stati prodotti e rivelati i primi atomi di anti-idrogeno di bassa velocità, a opera dell'esperimento Athena prima e di Atrap poco dopo, presso l'Antiproton Decelerator del Cern. Da allora diversi milioni di atomi di anti-idrogeno sono stati prodotti, e notevoli progressi sono stati realizzati nello studio delle loro caratteristiche.

La produzione di anti-idrogeno viene realizzata generalmente sovrapponendo nuvole di antiprotoni e di positroni. Il problema principale di questa sperimentazione è che l'antimateria non può venire a contatto con la materia perché si annichilerebbe. Antiprotoni con una velocità di circa un decimo di quella della luce sono forniti dall'Antiproton Decelerator ai diversi esperimenti, dove vengono ulteriormente rallentati in opportune trappole elettromagnetiche tenute a temperature di qualche decina di kelvin e sovrapposti a un plasma di positroni

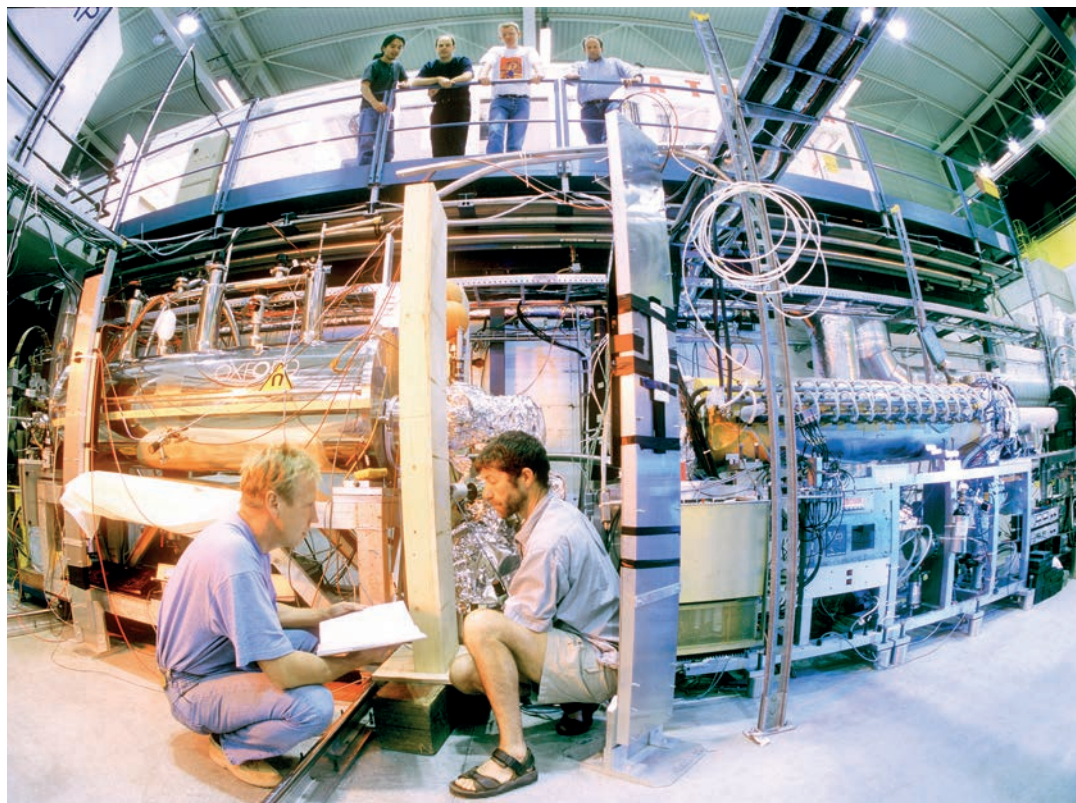
in equilibrio termico con l'ambiente.

I positroni sono prodotti usando delle sorgenti radioattive (solitamente il sodio-22, ^{22}Na), mentre la produzione di antiprotoni relativamente lenti è di notevole complessità. Al momento l'unica sorgente esistente al mondo è l'Antiproton Decelerator del Cern.

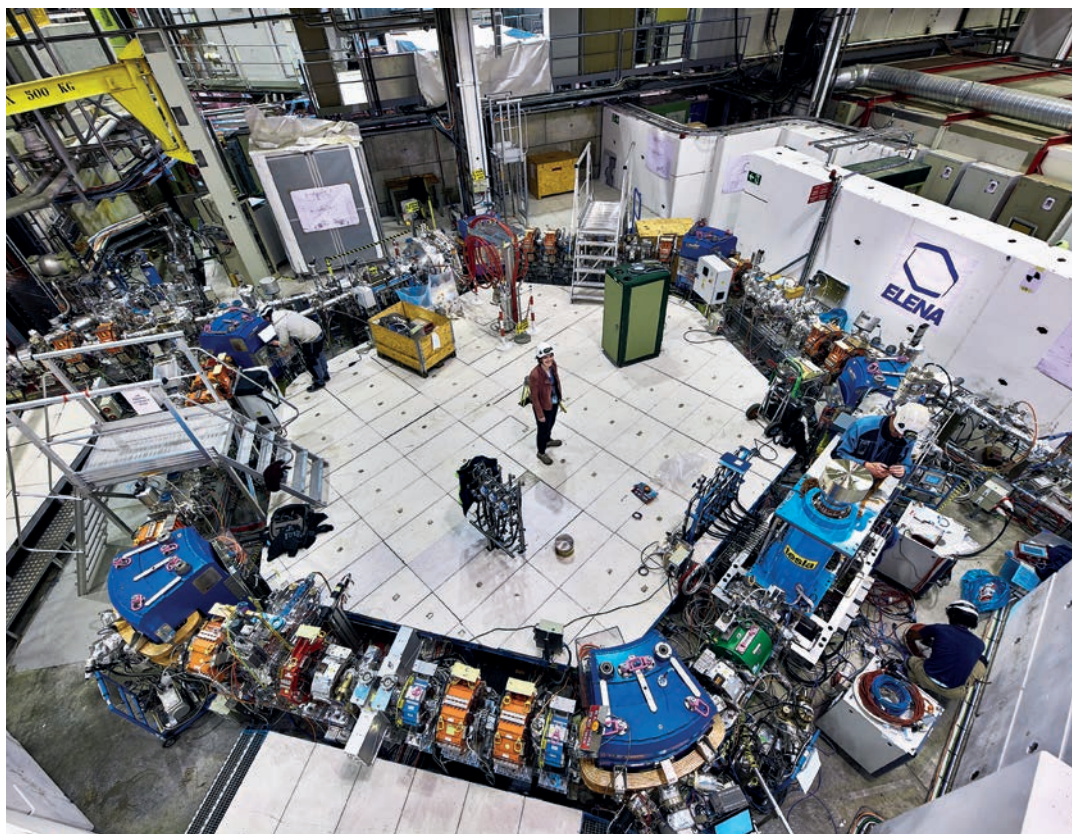
Quando un antiprotone si lega a un positrone si forma un atomo di anti-idrogeno che, essendo neutro, non è intrappolato dai campi elettromagnetici della trappola ed è libero di volare via dalla zona di produzione (vd. in Asimmetrie n. 7, fig. a p. 29, ndr). Per poter realizzare misure di precisione è necessario che l'anti-idrogeno possa essere osservato per periodi relativamente lunghi.

Per questo l'esperimento Alpha, in funzione al Cern dal 2005, ha realizzato un apparato che è in grado di intrappolare, oltre alle particelle cariche, anche gli atomi neutri di anti-idrogeno, sfruttando il fatto che, essendo dotati di momento magnetico, possono risentire di piccole forze in presenza di un campo magnetico che varia nello spazio.

Grazie allo sviluppo di queste tecniche Alpha ha potuto ad oggi intrappolare decine di migliaia di atomi di anti-idrogeno e realizzare le prime misure di spettroscopia di un sistema atomico di antimateria. I risultati più recenti hanno una precisione di 2×10^{-12} nella misura della transizione tra lo stato fondamentale (1S) e il primo stato eccitato (2S) dell'anti-idrogeno e una precisione di 4×10^{-4} per la transizione tra i due sottostati dello stato 1S (la cosiddetta struttura "iperfine"). Alpha è riuscito anche a misurare la "transizione



b.
L'esperimento Athena, del Cern, che nel 2002 ha prodotto per primo atomi di anti-idrogeno a bassa velocità.



c.
Il nuovo anello di decelerazione Elena rallenterà le particelle di antimateria più che mai per migliorare l'efficienza degli esperimenti sullo studio dell'antimateria.

Lyman-alfa" (1S-2P), ottenendo una precisione di 5×10^{-8} . Nei limiti della precisione delle misure, il confronto con l'idrogeno non mostra alcuna differenza tra i due sistemi, e quindi ad oggi la simmetria CPT non risulta essere violata. L'esperimento Asacusa (in funzione dal 2006) si propone di misurare lo spettro iperfine utilizzando un fascio di atomi di anti-idrogeno lenti. In questo caso si avrebbe il vantaggio di poter fare la spettroscopia iperfine lontano dai forti campi magnetici della trappola, che possono disturbare la misura. Nel 2010 Asacusa è riuscito a creare il primo fascio di atomi di anti-idrogeno lenti e al momento ne sta ottimizzando le caratteristiche per poter effettuare la spettroscopia a microonde, con l'obiettivo iniziale di ottenere una precisione di 10^{-6} . All'Antiproton Decelerator vi sono anche studi dell'interazione gravitazionale di antimateria (gli atomi di anti-idrogeno) con la materia (la Terra), per verificare se il principio di equivalenza di Einstein, che afferma che tutti i corpi in presenza di un campo gravitazionale subiscono la stessa accelerazione, vale anche per l'antimateria. Per questo l'esperimento Aegis intende realizzare un fascio di atomi di anti-idrogeno ancora più lenti di quelli di Asacusa per misurarne la deflessione con tecniche interferometriche nel campo gravitazionale della Terra. L'esperimento Gbar, invece, creerà ioni di anti-idrogeno rallentati a velocità bassissime (0,5 m/s), in modo da catturarli, renderli neutri per poi lasciarli cadere liberamente e misurarne l'accelerazione. Dal 2021 entrerà in funzione Elena (vd. fig. c), un ulteriore

deceleratore posto a valle dell'Antiproton Decelerator, che fornirà antiprotoni di velocità pari a circa un centesimo di quella della luce, incrementando il numero di antiprotoni utilizzabile dagli esperimenti. Sarà così possibile aumentare la precisione nelle misure sull'antimateria per avvicinarsi a quanto noto per la materia. Un risultato di per sé sorprendente, se pensiamo quanta sia la materia a disposizione e con quale difficoltà invece deve essere prodotta l'antimateria.

Biografia

Luca Venturelli è professore di fisica sperimentale presso l'Università degli Studi di Brescia. La sua attività di ricerca è rivolta prevalentemente a studi di fisica fondamentale attraverso la realizzazione di esperimenti che utilizzano fasci di particelle di bassa energia. Attualmente è responsabile nazionale per l'Infrastruttura dell'esperimento Asacusa al Cern per lo studio dell'antimateria.

Link sul web

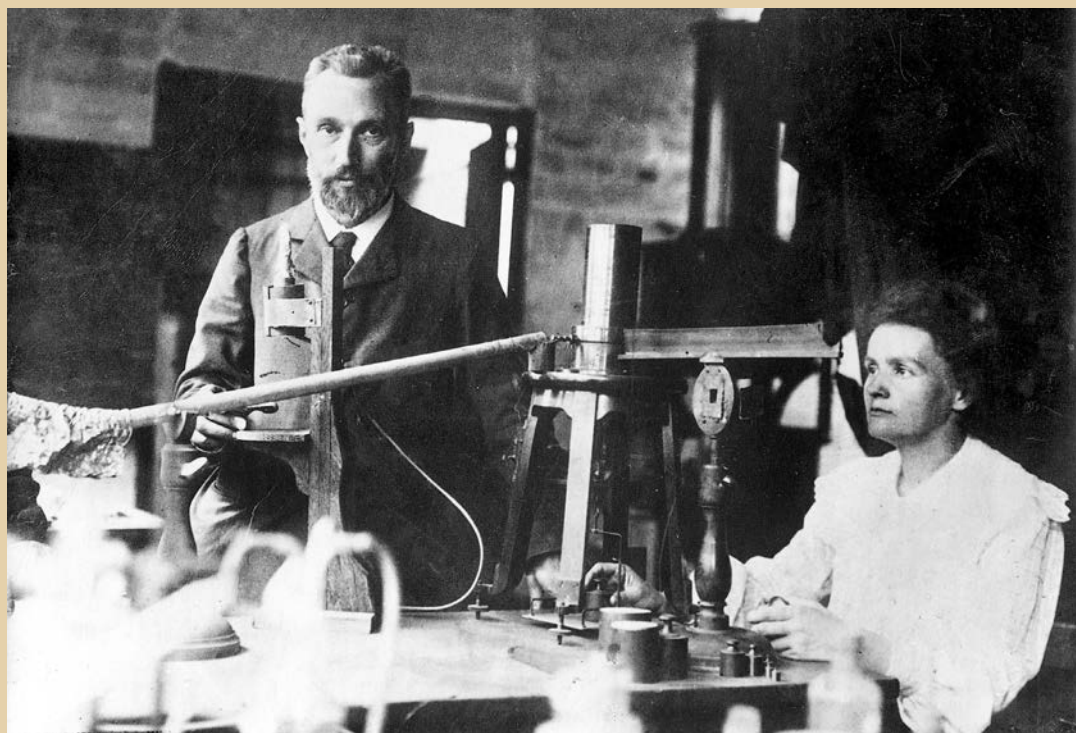
<https://home.cern/science/physics/antimatter>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.5

L'uranio che scalda la Terra

Capostipite di una serie di importanti processi radioattivi

di Fabio Mantovani



a.
I coniugi Curie hanno dedicato la loro vita allo studio della radioattività del radio e del polonio, radionuclidi prodotti nella catena di decadimento dell'uranio.

Qual è l'elemento naturale con il numero atomico più grande nella tavola periodica? A scuola impariamo che la risposta è "l'uranio". La peculiarità di questo elemento di innescare catene di scissioni e trasformazioni ha stimolato nell'ultimo secolo straordinari progressi scientifici, non solo in fisica nucleare e subnucleare, ma anche in astrofisica, nelle scienze della Terra e dell'ambiente. Gli studi sulla radioattività del radio e del polonio realizzati dai coniugi Curie, la messa a punto di sistemi di datazione radiometrica uranio-piombo, la caratterizzazione degli effetti del radon sulla salute dell'uomo, l'impiego della fissione dell'uranio per la

produzione di energia, lo studio delle implicazioni del calore radiogenico terrestre sull'evoluzione della Terra, nonché le recenti misure dei geoneutrini realizzate dagli esperimenti Borexino e Kamland sono solo alcune delle conquiste scientifiche e tecnologiche legate all'uranio e ai suoi prodotti di decadimento.

I due isotopi di origine primordiale dell'uranio, l'uranio-238 (^{238}U) e l'uranio-235 (^{235}U), sono presenti con le stesse abbondanze relative su tutta la Terra, rispettivamente del 99,3 % e dello 0,7 %: il fatto che queste siano state misurate anche su campioni di meteoriti "condritiche", risalenti alla formazione

del Sistema Solare, è considerata una delle principali prove che tutti i pianeti sono stati originati da un unico disco protoplanetario. Al momento della sua formazione, circa 4,5 miliardi di anni fa, la Terra conteneva più uranio di quanto non ne contenga oggi. La metà dell'uranio-238 primordiale e la maggior parte dell'uranio-235 sono decaduti, rilasciando energia termica che ha contribuito a sostenere energeticamente la tettonica delle placche, i processi geodinamici e il campo magnetico terrestre durante l'evoluzione del nostro pianeta. In che misura il calore "radiogenico" dovuto alla radioattività dell'uranio

contribuisce agli odierni 47 TW di potenza termica terrestre? Se conoscessimo quanto uranio è contenuto in tutta la Terra, si potrebbe non solo rispondere a questa domanda, ma anche comprendere meglio il bilancio energetico della Terra, nonché le condizioni termiche di formazione dei pianeti rocciosi. Tuttavia, la differenziazione degli elementi nel nucleo, mantello e crosta terrestri ha favorito una distribuzione disomogenea dell'uranio, impedendo finora una misura diretta su scala globale.

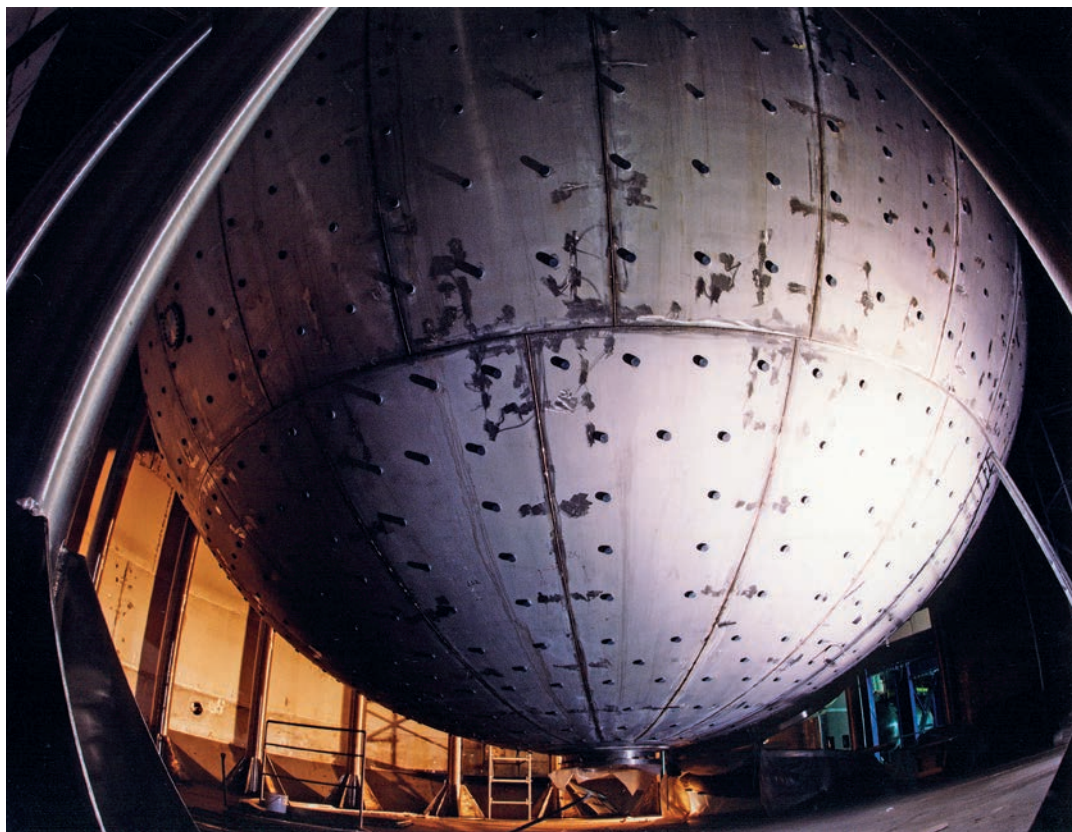
Una possibilità di misurare direttamente la quantità di uranio presente nel nostro pianeta, e quindi il suo contributo radiogenico al calore terrestre, è rappresentata dai geoneutrini, ovvero gli antineutrini prodotti dai decadimenti beta dei nuclei radioattivi naturali contenuti nella Terra, fra cui i più importanti sono quelli appartenenti alla catena di decadimento dell'uranio-238. Nel 2005 i geoneutrini sono stati osservati per la prima volta dall'esperimento Kamland in Giappone e quindi confermati dall'esperimento Borexino, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso. La bassissima probabilità di interazione tra gli antineutrini e i nuclei di idrogeno degli idrocarburi liquidi utilizzati per la loro rivelazione (Borexino misura un geoneutrino circa ogni quattro mesi) rendono queste misure ancora troppo incerte per poter porre dei vincoli stringenti ai modelli che stimano il calore radiogenico prodotto dall'uranio in un intervallo compreso tra 5 TW e 13 TW. Con l'integrazione dei dati raccolti dai rivelatori Sno+ (Canada) e Juno (Cina), attesi per il prossimo decennio,

la possibilità di stimare la massa di uranio presente sulla Terra diventerà più concreta.

Oltre a innescare una catena di decadimenti, il nucleo di uranio può rompersi spontaneamente in due parti, dando origine alla cosiddetta "fissione spontanea". Sebbene sia un evento molto raro (la probabilità per un nucleo di uranio-238 è inferiore a uno su 100 milioni) è possibile osservarne le tracce in alcuni minerali come gli zirconi. Il processo di fissione può innescare una reazione a catena che produce una notevole quantità di energia: in prossimità del fiume Oklo (Gabon) nel 1972 è stato ritrovato l'unico reattore nucleare naturale al mondo. Attivatosi circa 2 miliardi di anni fa, ha funzionato per qualche centinaia di anni scaldando la roccia circostante fino a circa 450 gradi centigradi.

Nel 1934 i "ragazzi di via Panisperna", guidati da Enrico Fermi, realizzarono la prima fissione artificiale di nuclei di uranio utilizzando neutroni. Questi pionieristici esperimenti segnarono l'inizio dell'era della fissione nucleare per la produzione di energia elettrica e di armamenti nucleari. Nel 2016 i 451 reattori nucleari operativi in tutto il mondo hanno prodotto circa 0,4 TW di potenza elettrica, sufficiente per il fabbisogno di circa 400 milioni di persone. L'uranio, pertanto, è una fonte di energia non solo per il pianeta Terra, ma anche per l'umanità che lo abita.

Per queste ragioni dalla fine della seconda guerra mondiale l'uranio è diventato sempre più un elemento strategico da estrarre dalle rocce della crosta terrestre dove abitualmente



b.
La struttura interna dell'esperimento Borexino, grazie al quale è stato possibile misurare i geoneutrini prodotti dall'uranio presente nella Terra.



d.
Il velivolo sperimentale del progetto Italrad, realizzato per misurare la radioattività in volo.

si trova in concentrazioni di una parte per milione, ma in particolari depositi può raggiungere abbondanze dell'ordine del percento. Una delle tecnologie più utilizzate per individuare giacimenti di uranio consiste nel realizzare misure di spettroscopia gamma a bordo di velivoli. I raggi gamma prodotti dai decadimenti dei radionuclidi della catena dell'uranio (in particolare dal bismuto) possono essere rivelati volando a un centinaio di metri dal suolo e impiegando spettrometri a ioduro di sodio. Nell'ultimo decennio l'Infn ha sviluppato tecnologie all'avanguardia nel settore della spettroscopia gamma a bordo di velivoli nell'ambito del progetto Italrad, che ha permesso di realizzare le mappe della distribuzione di uranio e degli altri radionuclidi naturali (il torio-232, ^{232}Th , e il potassio-40, ^{40}K) nelle rocce e nel suolo delle regioni Veneto, Toscana e Umbria. La conoscenza della distribuzione di uranio nel territorio italiano si sta rivelando utile non tanto per l'esplorazione mineraria, quanto per una miglior conoscenza del territorio a supporto anche della salute pubblica. Per esempio, grazie allo sviluppo di hardware e software dedicati, è stato possibile

stimare la dose efficace assorbita dalla popolazione della regione Umbria all'aria aperta, oppure comprendere i processi magmatici che hanno arricchito in uranio alcuni graniti nel nord della Sardegna utilizzati come materiali da costruzione. Non va dimenticato che circa il 40% della dose efficace di radioattività assorbita da un essere umano che vive in un paese industrializzato è dovuta al radon, un gas radioattivo, inerte, inodore e incolore prodotto nella catena di decadimento dell'uranio. L'esalazione del radon da una roccia, un suolo o un materiale da costruzione,

oltre a dipendere dall'abbondanza di uranio, è influenzata dalla porosità e dal contenuto d'acqua del materiale. Indubbiamente una cartografia della distribuzione di uranio nel territorio italiano è uno strumento fondamentale per la prevenzione del rischio radon e una miglior pianificazione territoriale. L'uranio rimane un elemento ricco di fascino, ultimo tra gli elementi naturali della tavola periodica, ma capostipite di una serie di processi radioattivi associati spesso a problemi scientifici interdisciplinari e fortemente legati alla vita dell'uomo.

Biografia

Fabio Mantovani è professore presso l'Università di Ferrara dove coordina il laboratorio di tecnologie nucleari applicate all'ambiente. Coinvolto in esperimenti di fisica del neutrino, sviluppa progetti di ricerca nazionali e internazionali per lo studio della radioattività naturale e per l'educazione scientifica.

Link sul web

<http://www.fe.infn.it/radioactivity/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2018.25.6

Piombo-scontri

La produzione del quark-gluon-plasma in Lhc

di Chiara Oppedisano



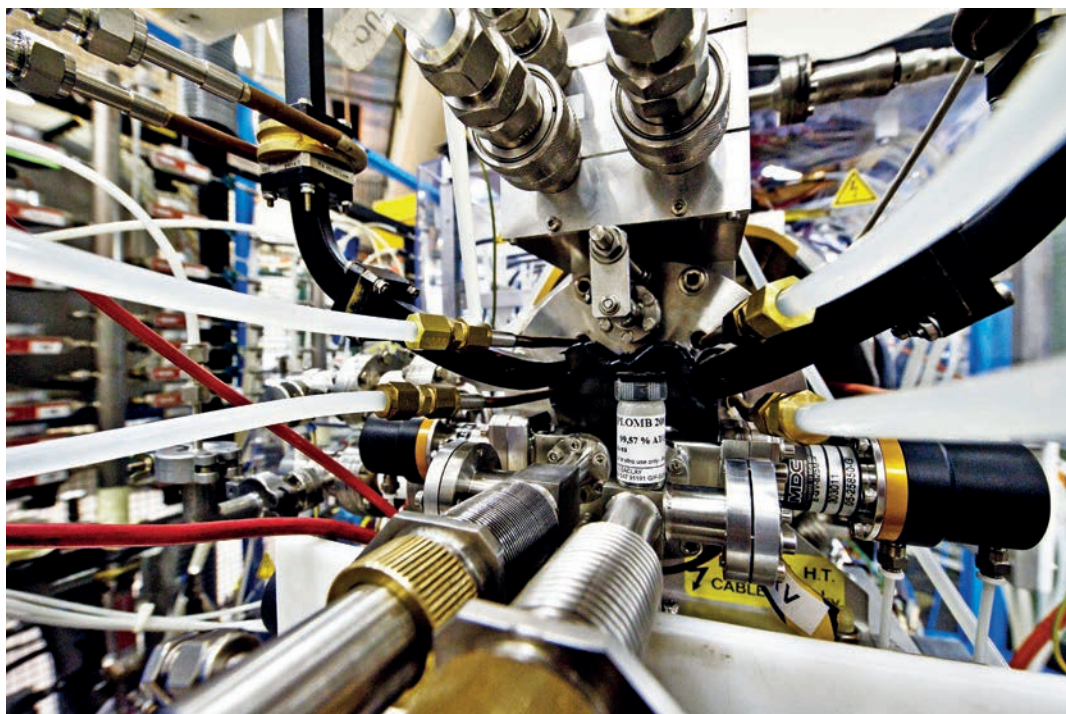
a.
L'esperimento Alice, al Cern, che studia i prodotti delle collisioni di ioni di piombo.

Il piombo (Pb) sta nella tavola periodica tra il tallio e il bismuto. Metallo pesante, tossico se inalato o ingerito, viene usato per schermare le radiazioni. È di piombo, ad esempio, il pesante grembiule da indossare durante una radiografia. Esiste in natura in quattro diversi isotopi stabili, differenti per numero di neutroni (da 122 a 126) e contiene 82 protoni e 82 elettroni. Il più diffuso è l'isotopo con 126 neutroni. Al Large Hadron Collider (Lhc) del Cern gli ioni di piombo sono accelerati a energie estremamente elevate, fino a raggiungere velocità prossime a quelle della luce, e poi fatti scontrare per creare un liquido molto particolare, che viene studiato nell'esperimento Alice (A Large Ion Collider Experiment).

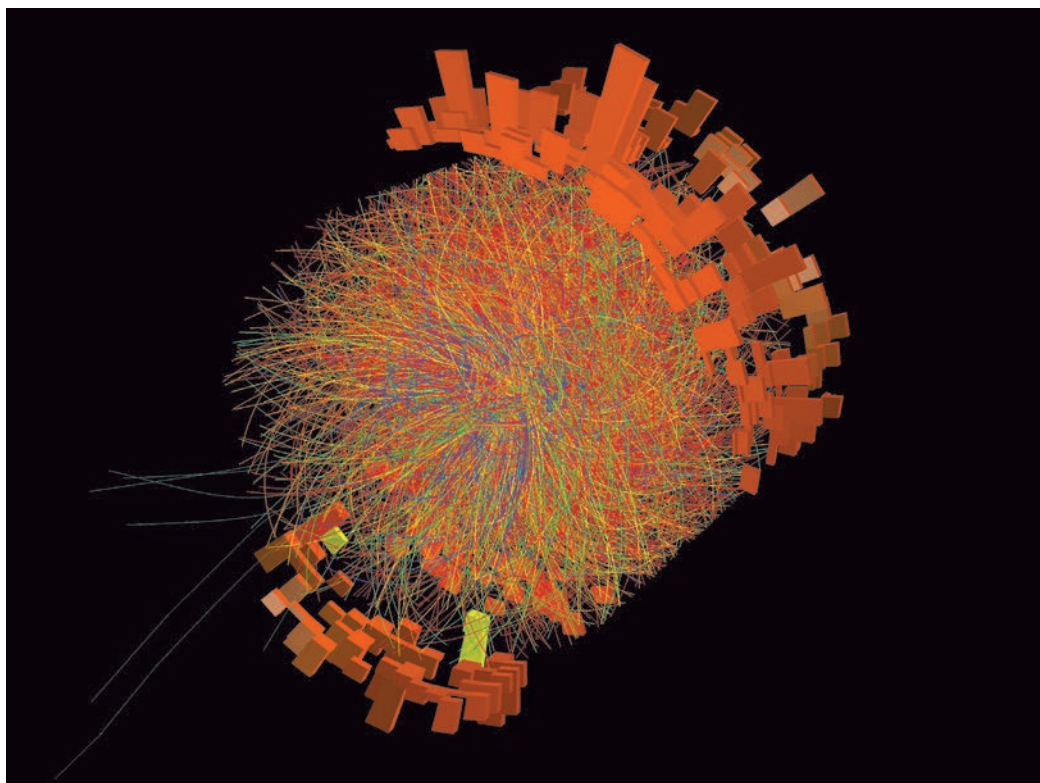
Qual è lo scopo di questo tipo di ricerche e perché viene utilizzato il piombo? Per saperlo dobbiamo risalire a quasi 14 miliardi di anni fa, precisamente a un milionesimo di secondo dopo il Big Bang, quando l'universo primordiale era riempito da un miscuglio estremamente denso e caldo (oltre 100.000 volte più caldo dell'interno del Sole) di quark e gluoni. Dopo un centinaio di microsecondi, nell'universo che andava espandendosi e raffreddandosi, quark e gluoni si legarono a formare i nucleoni,

neutroni e protoni, che a loro volta, circa 2 minuti dopo il Big Bang, diedero origine ai primi nuclei. Da quel momento quark e gluoni, mattoncini fondamentali della materia, esistono solo confinati dall'interazione forte a formare le particelle adroniche: barioni (composti da tre quark) e mesoni (composti da un quark e un antiquark). Facendo collidere ioni di piombo a energie ultra-relativistiche gli scienziati vogliono ricreare in laboratorio il plasma di quark e gluoni, in inglese *quark-gluon plasma*, che caratterizzava l'universo primordiale, per studiarne le caratteristiche e comprendere il meccanismo di confinamento dell'interazione forte. Partiamo dall'ingrediente principale, il piombo: come viene preparato a Lhc per "cucinare" la zuppa di quark e gluoni? Tutto ha inizio con una pastiglia di piombo del peso di 500 mg, un campione molto puro, arricchito dell'isotopo con 126 neutroni. Questa sorgente viene posta in un forno scaldato molto lentamente fino a 800° per vaporizzare alcuni atomi, circa 2 mg all'ora. Gli atomi vengono ionizzati, ovvero vengono rimossi gli elettroni, per poter essere accelerati. Strappare 82 elettroni è un processo che va effettuato in passi successivi. Nella prima fase, grazie all'effetto

termoionico vengono rimossi 29 elettroni alla maggior parte degli atomi del piombo vaporizzato. Gli ioni con carica elettrica positiva 29 vengono quindi selezionati e accelerati a 4,2 MeV per nucleone nell'acceleratore lineare Linac3, quindi fatti passare attraverso un sottile foglio di carbonio in grado di rimuovere altri 25 elettroni. Quindi vengono accumulati e accelerati a 72 MeV per nucleone nel Low Energy Ion Ring (Leir). Da qui in avanti il piombo segue lo stesso percorso dei protoni accelerati in Lhc: il fascio viene trasferito nel Protosincrotrone (Ps), accelerato a 5,9 GeV per nucleone e vengono infine rimossi i restanti 28 elettroni. Nel Superprotosincrotrone (Sps) gli ioni raggiungono l'energia di 177 GeV per nucleone e vengono infine iniettati nell'anello di Lhc, dove sono stati accelerati nel novembre 2018 a energie pari a 2,511 TeV per nucleone. Si possono utilizzare anche altri atomi: sempre in Lhc, nel 2017, sono stati accelerati per qualche ora ioni di xenon, contenenti 129 nucleoni, mentre al Relativistic Heavy Ion Collider (Rhic) del Brookhaven National Laboratory negli Usa si accelerano nuclei di oro, contenente 197 nucleoni, a 200 GeV per nucleone. Contrariamente a quanto si possa pensare, la sorgente di piombo è più



b.
La boccetta in foto contiene la sorgente di isotopi di piombo 208 puri al 99,57%, che vengono poi vaporizzati nel forno prima di essere iniettati nel Linac3 del Cern. Intorno si possono osservare tubi di raffreddamento, cavi e strumenti di misura.



c.
Particelle prodotte nella collisione di due ioni di piombo accelerati a 2,511 TeV per nucleone in Lhc, fotografate dall'esperimento Alice.

costosa di quella dell'oro poiché isotopicamente pura. Quella utilizzata in Lhc è composta al 99,57% dal piombo con numero di massa 208. Un milligrammo di piombo così purificato costa 1000 euro, ma in due settimane di operazioni se ne consuma più di 1 g, per un totale di più di un milione di euro! Perché proprio il piombo? Per la forma quasi sferica del suo nucleo, contrariamente ad atomi come, ad esempio, lo xenon, che hanno la forma allungata di un pallone da rugby, ma soprattutto perché contiene un numero elevato di nucleoni. Accelerando il piombo a 2,511 TeV per nucleone, l'energia massima nello scontro di due nuclei, supponendo che siano coinvolti tutti i 416 nucleoni, diventa superiore a 1000 TeV, l'energia più elevata mai raggiunta in laboratorio! Non in tutte le collisioni però si scontrano tutti i nucleoni dei due nuclei interagenti, anzi sono più probabili le collisioni in cui solo alcuni collidono, ma le interazioni più interessanti sono quelle con molti nucleoni coinvolti, poiché la densità di energia e le temperature raggiunte sono maggiori. Quando la temperatura nella zona di interazione, in gergo chiamata "*fireball*", diventa maggiore di 150 MeV, circa due migliaia di miliardi di gradi centigradi (100.000 volte quella del centro del Sole), neutroni e protoni si "sciolgono" nei loro costituenti elementari, quark e gluoni, che fluiscono liberi, come nell'universo primordiale. La *fireball* si raffredda molto rapidamente e quark e gluoni si ricombinano a formare la materia ordinaria, particelle e nuclei leggeri, che viene rivelata dagli apparati sperimentali. I rivelatori forniscono una fotografia di ogni collisione e studiando le proprietà delle particelle prodotte, come il loro contenuto in quark, la loro energia, le direzioni in cui vengono emesse, si estrapolano importanti informazioni sul plasma di quark e gluoni formatosi per pochissimi istanti dopo la collisione.

Studiando le collisioni di ioni d'oro accelerati a 200 GeV per nucleone all'acceleratore Rhic, nel 2005, si scoprì che il plasma di quark e gluoni si comporta come un liquido "quasi perfetto", ovvero un liquido che può essere descritto con le equazioni per un fluido non viscoso, cioè che non oppone resistenza al flusso e non ha attrito interno. Insomma, il contrario del miele o della melassa! Quei pezzetti di metallo vaporizzati in un forno si trasformano in gocce del liquido perfetto che permeava l'universo nei suoi primissimi istanti e del quale ancora si stanno cercando di comprendere tutti i segreti.

Biografia

Chiara Oppedisano è ricercatrice dell'Infn presso la Sezione di Torino. Fa parte dell'esperimento Alice al collisore Lhc del Cern e si occupa prevalentemente dell'analisi dei dati sperimentali per la caratterizzazione del quark-gluon plasma. Si dedica con passione ad attività di divulgazione nelle scuole primarie e nei licei.

Link sul web

<https://home.cern/science/physics/heavy-ions-and-quark-gluon-plasma>
<https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2010/11/12/lhc-basics-what-we-can-learn-from-lead-ion-collisions>
<https://home.cern/science/experiments/alice>
<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>
<https://www.bnl.gov/rhic/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.7

Xenon, noblesse oblige

Rivelatori innovativi per la ricerca di materia oscura

di Marco Selvi



Lo xenon (Xe) è un gas nobile e, come tutti i gas nobili, è particolarmente restio a legarsi chimicamente con altri elementi. Per questo motivo rappresenta un ottimo materiale per le ricerche di eventi rari in cui è necessaria un'altissima purezza del materiale, per evitare di rovinare la misura con le contaminazioni radioattive residue. Un campo attualmente di grande interesse, in cui si cercano eventi estremamente rari, è la ricerca diretta di materia oscura.

Numerose e differenti osservazioni sperimentali, sia su scala galattica che cosmologica, ci dicono che nell'universo primordiale e in quello attuale deve essere presente una forma di materia capace di avere forti effetti gravitazionali (tali da spiegare sia le piccole variazioni angolari osservate nella temperatura della radiazione cosmica di fondo, sia l'attuale velocità di

rotazione delle galassie), ma nello stesso tempo non interagire con la radiazione elettromagnetica, in quanto non si osserva emissione di luce collegata alla sua presenza. Tale forma di materia è chiamata "materia oscura", a sottolineare il fatto che non emette luce, ma anche la nostra attuale ignoranza sulla sua natura. Infatti, nessuna delle particelle del modello standard che sono state studiate in dettaglio negli ultimi decenni hanno caratteristiche tali da potersi comportare come la materia oscura: nemmeno i neutrini, troppo leggeri e veloci. Uno dei modelli più accreditati prevede che la nostra galassia sia permeata da materia oscura sotto forma di Wimp (particelle massive debolmente interagenti), con una densità equivalente inferiore a un protone per cm^3 . Le Wimp si muovono attorno a noi con un moto di "agitazione termica" con velocità

a.
L'esperimento Xenon1t nella sala B dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso. A sinistra si può vedere l'immagine del criostato, contenente la camera a proiezione temporale a xenon liquido/gassoso, situato al centro del grande serbatoio di acqua che agisce da schermo e da rivelatore di muoni cosmici. A destra si trova la "palazzina" che ospita i vari sistemi ausiliari necessari all'esperimento: dall'alto verso il basso il sistema di raffreddamento e purificazione, il sistema di acquisizione dati, il serbatoio di recupero dello xenon e la colonna di distillazione.

di circa 200 km/s. Se le Wimp sono dotate di interazione debole, come quella responsabile dei decadimenti radioattivi nei nuclei atomici, allora possono effettuare un urto elastico con i nuclei dei materiali utilizzati per i rivelatori e produrre un segnale. La difficoltà sta nel fatto che tali segnali sono molto deboli in termini di energia depositata ed estremamente rari a causa della piccola probabilità di interazione delle Wimp. Per questo motivo i rivelatori devono essere molto sensibili e “silenziosi”, in modo da ridurre al minimo i segnali spuri dovuti alla radioattività naturale. E qui entra in gioco l’elevata purezza dei gas nobili, fra cui lo xenon.

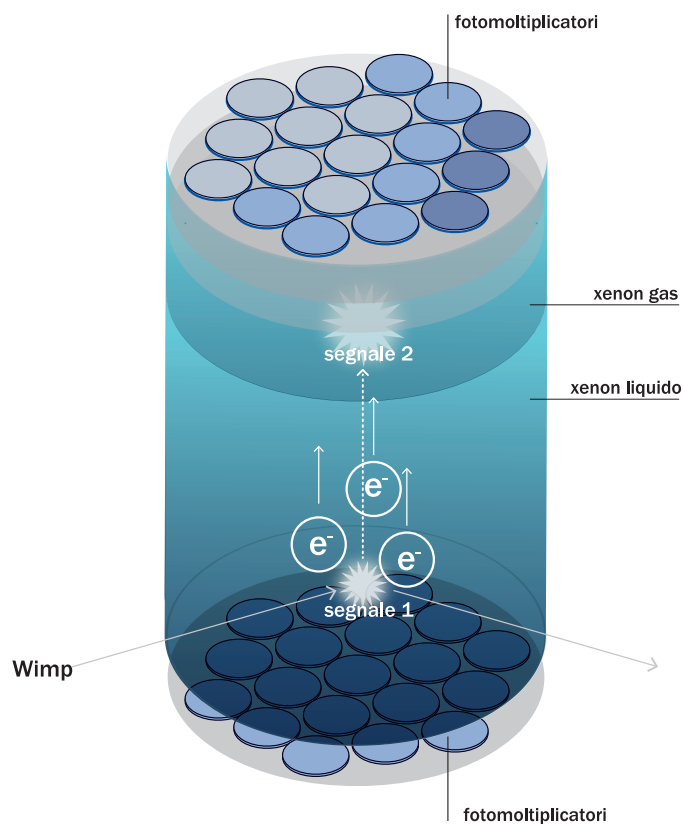
Lo xenon è presente in quantità molto ridotte nell’atmosfera terrestre, circa una parte su 20 milioni. Per questo motivo la sua estrazione tramite distillazione è lunga e complicata e il suo costo finale è molto elevato (dell’ordine del migliaio di euro al kg, con fluttuazioni ampie e rapide, che lo rendono anche oggetto di speculazioni finanziarie). I suoi utilizzi principali sono nel campo della medicina e dell’illuminazione (per esempio per i famosi fari allo xenon delle auto di “fascia alta”, oggi superati dall’uso dei Led). Più di recente, il mercato è trainato dal settore aerospaziale legato alle telecomunicazioni, dove lo xenon è utilizzato come propulsore dei motori che servono per aggiustare la traiettoria dei satelliti. La produzione mondiale annua è di qualche decina di tonnellate.

Una volta raffreddato alla temperatura di -95° C, lo xenon si presenta allo stato liquido, con una densità tre volte maggiore di quella dell’acqua: è quindi piuttosto semplice ottenere grandi masse di rivelatore in spazi relativamente compatti.

Come si è visto a partire dalla fine degli anni ’60, con i primi lavori pionieristici condotti dal premio Nobel (del 1968) Luis Walter Alvarez, lo xenon liquido presenta ottime proprietà come rivelatore di particelle. Viene utilizzato per esempio nel calorimetro elettromagnetico dell’esperimento Meg, che cerca un decadimento rarissimo del muone, oppure in campo medico nella Pet (tomografia a emissione di positroni, dall’inglese *positron emission tomography*) per la rivelazione dei due fotoni di alta energia generati a seguito dell’annichilazione del positrone.

Negli ultimi decenni, l’utilizzo dello xenon nell’ambito della ricerca di eventi rari è stato portato alla piena maturità dagli studi di Tadayoshi Doke (in Giappone) e dell’italiana Elena Aprile.

Il rivelatore Xenon1t, guidato dalla stessa Aprile e in funzione nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Lngs) dell’Infn dalla fine del 2016, è costituito da una “camera a proiezione temporale” cilindrica con diametro e altezza di circa 1 metro e contenente circa 2 tonnellate di xenon liquido. Se una Wimp interagisse con un nucleo di xenon, l’energia depositata produrrebbe sia emissione di luce (scintillazione) sia produzione di elettroni liberi (ionizzazione). Tramite un campo elettrico, gli elettroni sono fatti migrare verso l’alto, fino all’interfaccia fra lo xenon liquido e gassoso. Qui un ulteriore campo elettrico, più intenso, li estrae e li accelera nel gas, generando un secondo segnale luminoso. Tramite sensori di luce molto sensibili è possibile rivelare entrambi i segnali e ricostruire così diverse proprietà dell’interazione:



b.
Schema del funzionamento della camera a proiezione temporale a xenon (o argon) liquido/gassoso: a seguito della interazione di una Wimp con un nucleo del liquido si genera un primo segnale luminoso e sono prodotti elettroni liberi. Grazie al campo elettrico applicato, gli elettroni si spostano in alto verso la regione gassosa. Qui un ulteriore campo elettrico, ancora più intenso, li estrae e li accelera, generando un secondo segnale luminoso. Entrambi i segnali luminosi sono rivelati tramite fotosensori posti nella parte inferiore e superiore del rivelatore. Combinando questi segnali si può ricostruire con buona precisione l’energia depositata nel rivelatore, la posizione e la natura della particella che ha interagito.



c.
L'esperimento DarkSide-50, presso la sala C dei Lngs. L'immagine è scattata all'interno del serbatoio di acqua che serve da schermo per la radioattività ambientale e da rivelatore di muoni cosmici. La sfera centrale racchiude un ulteriore rivelatore a scintillazione liquido per riconoscere e scartare gli eventi prodotti dai neutroni generati nei materiali circostanti. La camera a proiezione temporale ad argon liquido/gassoso, non visibile in questa immagine, si trova all'interno della sfera immersa nello scintillatore.

la sua posizione, l'energia depositata e anche la natura della particella che ha interagito. Combinando queste informazioni, si possono selezionare gli eventi attribuiti alle Wimp: interazioni singole, preferibilmente al centro del rivelatore, di bassa energia e di tipo "rinculo nucleare" (interazioni in cui si osserva l'energia depositata da un nucleo colpito da una Wimp). In questo modo si può rimuovere la gran parte delle interazioni dovute al fondo radioattivo (principalmente, piccole tracce di altri gas nobili, kripton e radon, che sono mescolati allo xenon) e selezionare i candidati Wimp. La schermatura di roccia di almeno 1000 metri dei laboratori sotterranei del Gran Sasso assorbe quasi tutta la radiazione cosmica, che alla superficie terrestre renderebbe di fatto impossibile la misura. Il rivelatore è ulteriormente schermato da una vasca d'acqua di 10 metri di diametro e altezza, al centro della quale è posto il criostato che mantiene freddo e liquido lo xenon e al

cui interno è posizionato il rivelatore. Durante un periodo di acquisizione dati di circa 280 giorni, Xenon1t non ha osservato eventi compatibili con le caratteristiche delle Wimp e ha potuto così presentare a maggio 2018 i risultati in termini di limite superiore alla probabilità di interazione di queste particelle. Tale limite è risultato essere il migliore al mondo grazie alla grande massa di Xenon1t e alla sua piccolissima contaminazione radioattiva. La fase successiva del progetto, Xenonnt (contenente 6 t di xenon nel volume attivo), è già in fase di realizzazione e sarà messo in funzione entro il 2019 sempre presso i Lngs, con l'obiettivo di migliorare di un fattore 10 la capacità di osservare le Wimp. Una tecnica analoga è utilizzata anche dai rivelatori per la materia oscura che utilizzano come elemento nobile l'argon al posto dello xenon. L'argon è naturalmente più abbondante nell'atmosfera, e quindi è molto meno caro, ma contiene un isotopo radioattivo,

l'argon-39 (^{39}Ar), che richiede di essere rimosso con tecniche particolari (vd. approfondimento). Essendo meno denso dello xenon ha una minore efficacia di schermaggio dalla radiazione esterna. A sua volta però l'argon presenta una capacità unica di riconoscere le interazioni elettromagnetiche della contaminazione radioattiva, grazie alla struttura temporale del segnale luminoso emesso. Il rivelatore attuale, DarkSide-50, installato nella sala C dei Lngs, contiene circa 50 kg di argon liquido. Il progetto futuro DarkSide-20k ne conterrà circa 20 tonnellate e sarà in funzione nei primi anni '20. Nel prossimo futuro quindi l'Infn continuerà a essere alla frontiera della ricerca di materia oscura operando i rivelatori Xenonnt e DarkSide-20k ai Lngs, con una sinergia unica che in caso di scoperta delle Wimp permetterà di studiarne in dettaglio le proprietà, grazie alla possibilità di rivelare le interazioni su due bersagli differenti, xenon e argon: *noblesse oblige!*

Il progetto Aria

1.
Vista dall'alto dell'area mineraria di Seruci, in Sardegna, dove sarà realizzata Aria, la colonna di distillazione per purificare l'argon dell'esperimento DarkSide-20k.



L'esperimento DarkSide ha in progetto la realizzazione di un grande rivelatore per la ricerca di materia oscura, costituito da più di 20 tonnellate di argon, presso i Lngs. L'argon estratto normalmente dall'atmosfera contiene una piccola frazione dell'isotopo radioattivo argon-39, prodotto dall'interazione dei raggi cosmici e responsabile di un decadimento per secondo per ogni kg di materiale: troppo elevato per esperimenti che puntano alla ricerca di segnali rari, come quelli attesi negli esperimenti alla ricerca della materia oscura. L'obiettivo del progetto Aria è quindi la purificazione dell'argon dal suo isotopo radioattivo (l'argon-39), tramite la tecnica della distillazione isotopica. La distillazione è un processo comunemente usato per separare due sostanze tramite il loro differente punto di ebollizione (ad esempio, per estrarre con un alambicco l'alcool etilico durante la produzione della grappa!). Nel caso dell'argon i due isotopi hanno caratteristiche molto

simili, per cui è necessario un "alambicco" molto particolare. L'infrastruttura per la selezione dell'argon consisterà infatti di una torre criogenica alta 350 metri, installata in un pozzo dell'area mineraria di Seruci, nella zona del Sulcis-Iglesiente, in Sardegna. La torre sarà costituita da 28 moduli collaudati al Cern e poi trasportati nei cantieri di Nuraxi Figus, dove saranno parzialmente assemblati in superficie per i primi test propedeutici all'installazione dell'intera colonna all'interno del pozzo. La torre di distillazione di Aria, oltre a selezionare l'argon-40, permetterà la sperimentazione e lo sviluppo della nuova tecnologia per la successiva produzione su larga scala di isotopi stabili di interesse commerciale, come il carbonio-13 (^{13}C), l'azoto-15 (^{15}N) e l'ossigeno-18 (^{18}O), che trovano impiego in medicina e hanno un mercato internazionale di grande rilievo.

Biografia

Marco Selvi è ricercatore Infn della Sezione di Bologna. Si occupa da circa 20 anni di ricerca di eventi rari presso i Lngs (neutrini da supernova e materia oscura). Fa parte della commissione scientifica Infn per le astroparticelle. È responsabile nazionale per l'Infn dell'esperimento Xenon.

Link sul web

https://www.sciencedaily.com/news/space_time/dark_matter/
<http://www.xenon1t.org>
<http://darkside.lngs.infn.it>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.8

L'oganesson, *last but not least*

La caccia agli elementi superpesanti

di Antonio Di Nitto

[illegible]

Fino a circa settant'anni fa la tavola di Menedeleev riportava solo gli elementi chimici presenti in natura, il più pesante dei quali era l'uranio, con numero atomico $Z=92$. Le moderne tavole periodiche, invece, presentano in tutto 118 elementi, di cui gli ultimi 26 sono stati sintetizzati in laboratorio. Iniziò tutto ai Laboratori Lawrence Berkeley, negli Usa, nel 1940 con la scoperta del nettunio (Np con $Z=93$) e del plutonio (Pu, $Z=94$), sintetizzati esponendo elementi pesanti in reattori a un elevato flusso di neutroni. Tra questi elementi superpesanti sintetizzati in laboratorio, quelli con numero atomico minore di 104 sono chiamati "transuranici", mentre quelli con numero atomico tra 104 e 118 sono detti elementi "superpesanti" o "transattinoidi", per la loro collocazione nel settimo periodo della tavola periodica. L'esistenza di questi ultimi fu ipotizzata sin dalla fine del XIX

secolo, ma solo lo sviluppo della fisica nucleare ha consentito la loro sintesi. Oggi ci si chiede, quanti altri elementi superpesanti possono esistere e quali sono le loro proprietà chimiche?

Una descrizione elegante dei nuclei atomici “naturali” è fornita dal modello a goccia liquida, che tratta il nucleo come un elemento macroscopico senza struttura, soggetto alle forze nucleari attrattive tra protoni e neutroni (come residuo della forza forte) e a quelle coulombiane repulsive, esercitate tra i protoni. Le forze repulsive generano deformazioni e, se abbastanza intense, portano alla scissione del nucleo in due frammenti di massa quasi uguale, processo noto come “fissione” (vd. in Asimmetrie n. 24 p. 25, ndr). Questo avviene dopo il superamento di una barriera di potenziale, la cui altezza dipende dalla somma delle forze coulombiane e nucleari. Dato che la

a.

Anno e nazione di scoperta degli elementi sintetici, prodotti dall'uomo in laboratorio con reazioni nucleari. Il primo a essere prodotto fu il tecnezio, grazie agli esperimenti condotti a Palermo da E. Segrè nel 1937 (vd. in Asimmetrie n. 6 p. 17, ndr). Durante la seconda guerra mondiale furono prodotti e/o scoperti i primi elementi transuranici. La ricerca degli elementi superpesanti continua fino ad oggi.

barriera di fissione diminuisce all'aumentare del numero atomico, è previsto un valore critico al di sopra del quale il nucleo diventa instabile e si scinde spontaneamente.

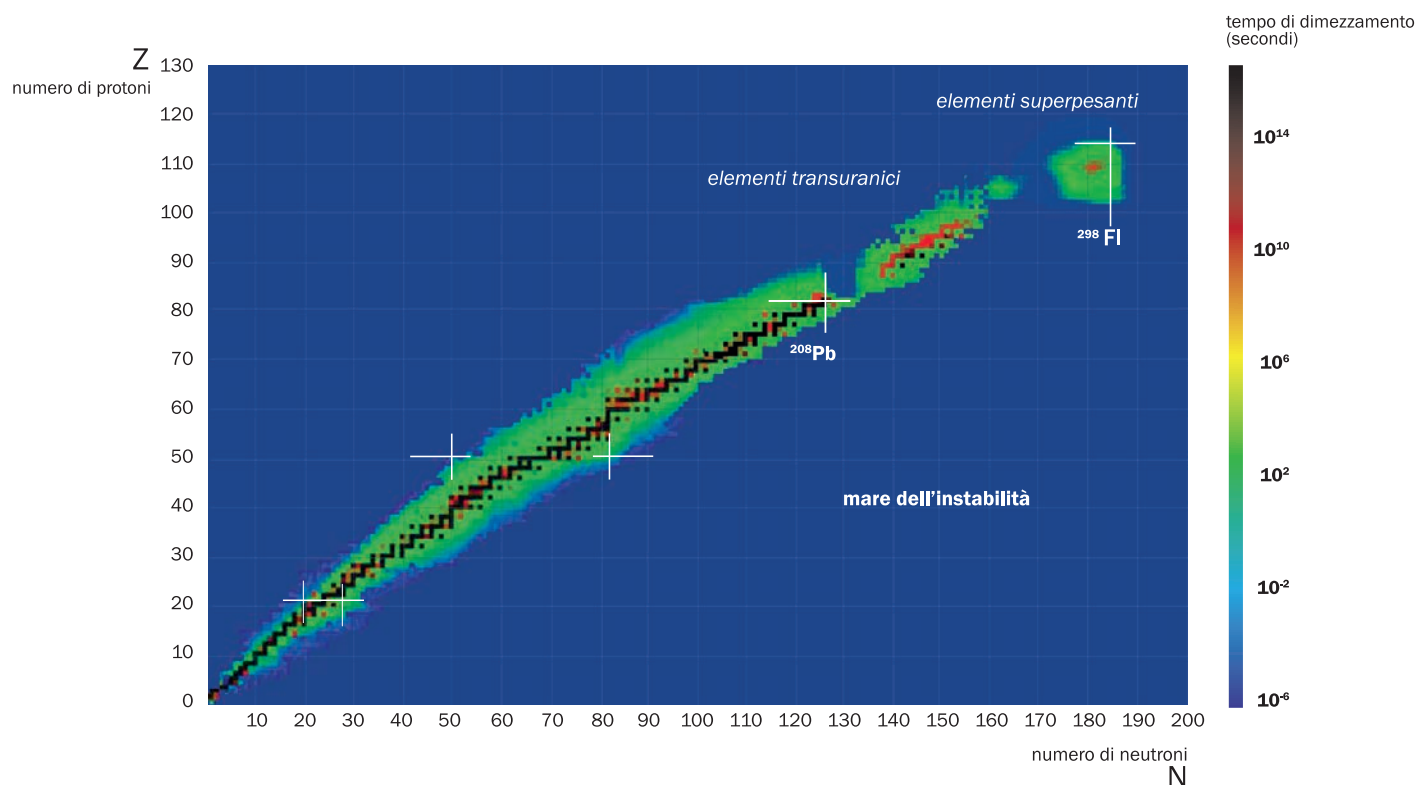
Dopo l'osservazione di un aumento della probabilità di fissione di oltre diecimila miliardi di volte nel passaggio dall'uranio-238 (^{238}U con $Z=92$) al fermio-257 (^{257}Fm con $Z=100$), si capì che il modello a goccia liquida descriveva bene anche gli elementi transuranici. Tuttavia, gli studi di isotopi poveri di neutroni, prodotti in reazioni indotte da ioni, e la scoperta degli isomeri (nuclei che hanno stesso numero di protoni e neutroni, ma con una diversa configurazione, che li rende metastabili o radioattivi) evidenziarono, negli anni '60 e '70, i limiti di questo modello e l'importanza degli effetti della struttura nucleare sulle proprietà dei nuclei pesanti.

Tali proprietà sono attualmente ben descritte dai modelli che prevedono l'esistenza di configurazioni nucleari in cui i nucleoni (protoni e neutroni) si dispongono sulle cosiddette "shell" (gusci), di energia crescente, analogamente a quanto avviene nel modello a orbitali degli elettroni atomici. Quando i numeri di protoni o di neutroni coincidono con i cosiddetti "numeri magici", cioè 2, 8, 20, 28,

50, 82, 126 (solo per i neutroni), corrispondenti al riempimento completo delle *shell*, i nuclei sono particolarmente stabili. Quando sia il numero di protoni sia quello di neutroni sono magici, si parla di "nuclei doppiamente magici". I modelli a *shell* prevedono anche l'esistenza di ulteriori numeri magici elevati, 114 e 126 per i protoni, 184 e 196 per i neutroni. Ci si aspetta che i nuclei superpesanti "doppiamente magici" e quelli limitrofi, che costituiscono la cosiddetta "isola di stabilità" della carta dei nuclidi (vd. fig. b), abbiano tempi di dimezzamento (in gergo "emivite") compresi fra qualche secondo e migliaia di anni. Negli anni '70 la ricerca cominciò a focalizzarsi sul metodo di produzione dei nuovi nuclei superpesanti. Le reazioni di "fusione-evaporazione" indotte da ioni leggeri, utilizzate fino a quel momento per la scoperta degli elementi fino al seaborgio (Sg, $Z=106$), non erano infatti praticabili per la produzione di elementi più pesanti. Ciò era dovuto sia all'impossibilità di produrre bersagli con un numero atomico maggiore di 98, che alla ridotta probabilità di fusione e alle brevi emivite degli elementi prodotti. Metodi di produzione innovativi e nuove tecniche di rivelazione erano dunque necessari.

b.

La "carta dei nuclidi", ideata da Emilio Segrè, che riporta, in funzione del numero di protoni e neutroni, i nuclei atomici osservati e previsti teoricamente. Le crocette bianche indicano i nuclei doppiamente magici. La scala dei colori mostra le emivite in scala logaritmica. Solo nella regione con numero di protoni e neutroni inferiori al piombo-208 (^{208}Pb), detta "penisola di stabilità", sono presenti nuclei stabili che formano la valle di stabilità (i quadratini neri). L'assenza di numeri magici dopo quello del piombo-208 e le elevate forze coulombiane all'interno del nucleo determinano la bassa stabilità degli elementi più pesanti: in questa regione si ha quindi l'interruzione della penisola di stabilità e la presenza di nuclei radioattivi naturali e dei transuranici. La regione estrema è quella degli elementi superpesanti, che formano un'isola nel mare (in blu nella carta) dell'instabilità.



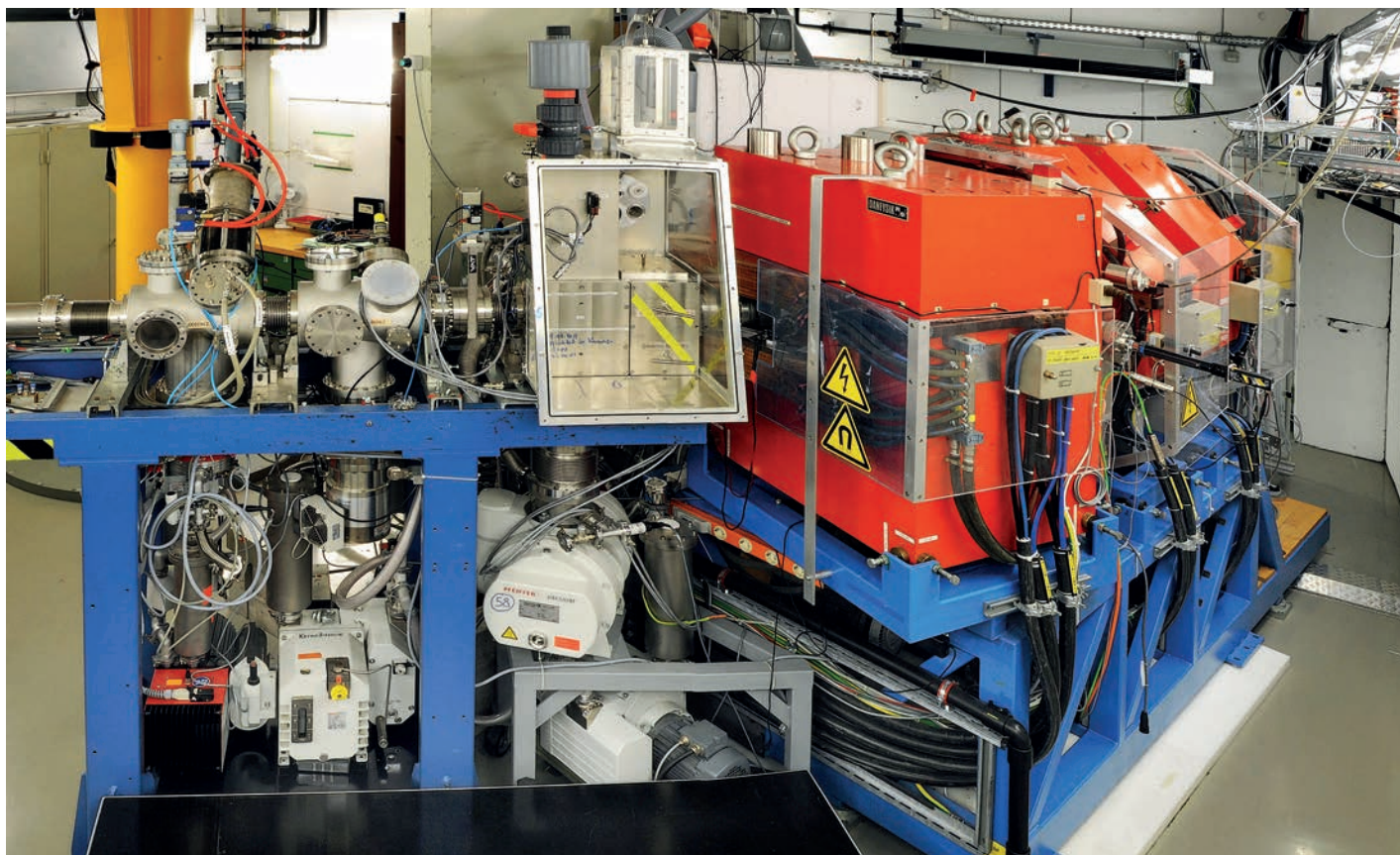
Iniziarono così al Gsi (a Darmstadt, in Germania) le campagne di misura condotte dai gruppi guidati da Gottfried Münzenberg e Sigurd Hoffman che, usando la “fusione fredda” (da non confondere con il presunto fenomeno di produzione di energia dall'idrogeno atomico!), portarono alla scoperta degli elementi con numero atomico tra 107 e 112. In queste reazioni, sfruttando l'elevata stabilità dei bersagli dei nuclei piombo-208 (^{208}Pb) e bismuto-209 (^{209}Bi), con uno o più “numeri magici”, e utilizzando fasci di ioni medio-pesanti di alta intensità, si producevano nuclei composti con una bassa energia di eccitazione (“freddi”), ovvero con un'elevata probabilità di sopravvivenza rispetto alla fissione. Tuttavia, i fasci e i proiettili stabili generano solo nuclei poveri in neutroni, quindi ben lontani dall'agognata isola di stabilità. Il successo comunque ottenuto da questi esperimenti fu reso possibile dallo sviluppo di bersagli resistenti all'energia rilasciata dai fasci molto ionizzanti e dei cosiddetti “separatori di nuclei in volo”, come il Separator for Heavy Ion reaction Products (Ship) tuttora in funzione al Gsi, che impiantavano i nuclei radioattivi, residui di evaporazione di nuclei eccitati, in rivelatori sensibili alla posizione. I nuovi elementi erano identificabili in base alle loro proprietà di decadimento radioattivo (emissione alfa e fissione). Queste tecniche continuano a essere ampiamente utilizzate per l'identificazione di nuclei radioattivi prodotti con bassa probabilità, per studi di chimica e di struttura nucleare. Al crescere del numero atomico si osserva una forte riduzione della sezione d'urto nella “fusione-fredda”: il caso limite è rappresentato dalla produzione del nihonio (Nh, $Z=113$), la cui scoperta ha

richiesto circa 5 anni di misure continue al Riken (a Wako-Shi, in Giappone).

Negli stessi anni, la strada alternativa della “fusione tiepida” fu intrapresa dal gruppo guidato da Yuri Oganesian al Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (Flnr, a Dubna, in Russia), utilizzando il Dubna Gas-Filled Recoil Separator, un separatore in volo riempito con gas. Questo apparato sfrutta fasci di calcio-48 (^{48}Ca), un raro isotopo doppiamente magico, su bersagli con numero atomico maggiore o uguale a 92. La maggiore asimmetria di massa fra proiettile e bersaglio incrementa la sezione d'urto di fusione, mentre l'eccesso di massa del calcio-48 consente di produrre nuclei composti non molto eccitati (“tiepidi”). L'alta intensità dei fasci di calcio-48 e le grandi quantità di materiale per i bersagli transuranici forniti dai laboratori americani (rivali nella produzione di nuovi elementi nel periodo della guerra fredda) hanno consentito di estendere la tavola periodica fino a completare il settimo periodo con la produzione dell'oganesson, chiamato così in onore di Yuri Oganesian (a capo del gruppo che lo ha scoperto). Con i suoi 118 protoni e 176 neutroni, l'oganesson è l'elemento più pesante di tutti quelli finora conosciuti. In analogia con i nomi dei gas nobili, inquadrati nel diciottesimo gruppo della tavola periodica, quali argon, xenon ecc., il nome assegnato al nuovo elemento termina con la desinenza “on”. La corsa ai nuovi elementi ha visto per molti anni contrapporsi le regioni di influenza sovietica e americana, che usavano nomi diversi per i nuovi elementi di cui si contendevano la scoperta. L'International Union of Pure and Applied Chemistry (Iupac) e l'International Union of Pure and Applied Physics (Iupap) hanno



c. Francobollo celebrativo della scoperta dell'oganesson. La scoperta è stata fatta dal gruppo guidato da Yuri Oganesian (in foto). A destra è mostrata la catena di decadimento individuata nelle misure condotte a Dubna usando fasci di ^{48}Ca su bersagli di ^{249}Cf .



quindi istituito un comitato internazionale composto da cinque fisici e chimici (di cui uno è l'italiano Emanuele Vardaci) che ha il compito di confermare la scoperta dei nuovi elementi. Il comitato ha confermato nel 2016 la scoperta del nihonio, moscovio (Mc), tennesso (Ts) e oganesson (Og), gli ultimi tre scoperti grazie alla collaborazione tra la Russia e gli Stati Uniti.

Gli studi nella regione degli elementi superpesanti non si limitano solo alla produzione di nuovi elementi, ma cercano anche di definirne la struttura atomica e nucleare. Ad esempio, gli atomi di flerovio (Fl, $Z=114$) sono i più pesanti finora studiati con degli apparati chimici. Alcuni atomi di flerovio sono stati osservati, ma la limitata statistica ancora non consente di definire se gli effetti relativistici, che modificano le distribuzioni elettroniche, rendono questo elemento simile a un gas nobile. A queste e ad altre domande cercano di dare risposta gli esperimenti di chimica nucleare che usano il separatore magnetico Tasca, in corso al Gsi. L'utilizzo di nuove reazioni nucleari per la sintesi di elementi ancora più pesanti e/o meno poveri in neutroni, beneficiando

degli acceleratori con fasci decine di volte più intensi e di nuovi apparati di misura in costruzione in Russia, Germania e Giappone, certamente consentirà nelle prossime decadi di spingersi oltre. Ma a 50 anni dalla sua previsione teorica, l'isola di stabilità nella carta di Segrè risulta ancora largamente inesplorata e la scoperta dell'oganesson ha consentito solo di sfiorarne la costa. La caccia all'elemento più pesante continua.

d. Tasca è il separatore magnetico riempito con gas in funzione al Gsi di Darmstadt, le cui recenti campagne di misura hanno confermato la scoperta del tennesso (Ts) e del moscovio (Mc) e sono state condotte per la prima volta esperimenti con fasci di titanio-50 (^{50}Ti) per tentare di sintetizzare gli elementi con numero atomico $Z>118$.

Biografia

Antonio Di Nitto è ricercatore presso l'Università Federico II di Napoli ed è associato alla sezione Infn di Napoli. Ha lavorato nel gruppo degli elementi superpesanti al Gsi di Darmstadt (Germania). Si occupa principalmente dello studio dei meccanismi delle reazioni nucleari indotte da ioni pesanti a bassa energia (<10 MeV/nucleone) da un punto di vista sperimentale. Dal 2012 è uno dei responsabili della realizzazione del rivelatore Albega, che si trova al Gsi, per misure spettroscopiche di decadimento alfa-beta-gamma di nuclei superpesanti isolati con tecniche chimiche.

Link sul web

<http://www.periodicvideos.com>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.9

[as] radici

Rutherford e il sogno degli alchimisti.

di Nadia Robotti

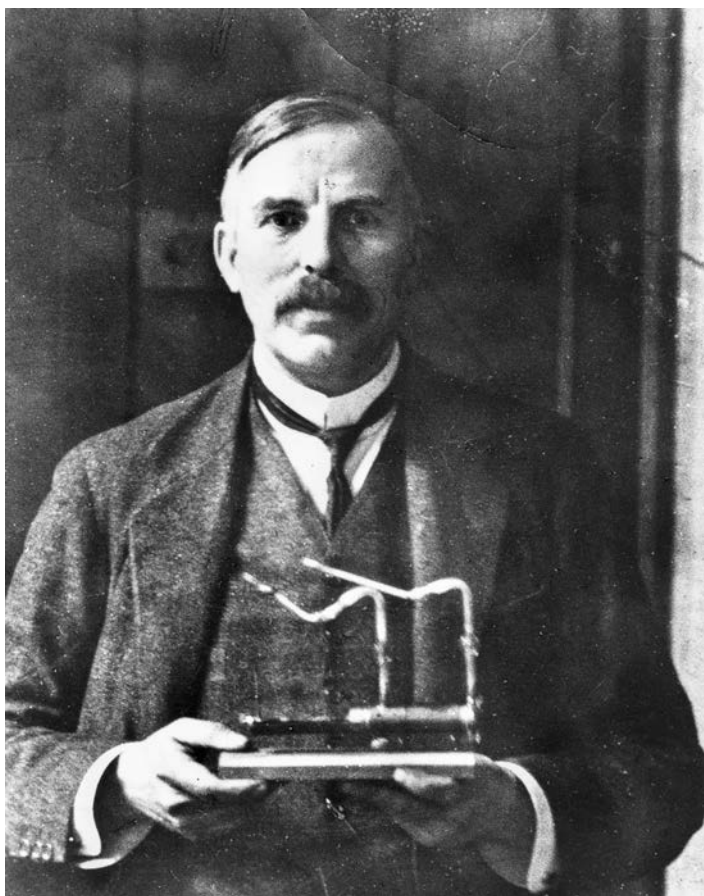
storica della fisica

Il fatto che alcuni elementi (i cosiddetti “elementi radioattivi”) non fossero immutabili nel tempo, ma si trasformassero spontaneamente in altri elementi, emettendo “radiazioni” secondo regole precise, fu ipotizzato da Rutherford già nel 1902, e successivamente dimostrato sperimentalmente. Per queste scoperte, nel 1908, a Rutherford venne assegnato il Premio Nobel per la Chimica. Ma un conto è guardare, studiare, spiegare un fenomeno apparentemente miracoloso, che accade spontaneamente in Natura, quale la radioattività, un altro è riuscire a trasformare un elemento in un altro con mezzi di laboratorio: sarebbe come trovare la pietra filosofale degli alchimisti capace di trasmutare il piombo in oro. È quello che verrà realizzato nuovamente da Rutherford, ma nel 1919. Sulla base di alcuni esperimenti sulla diffusione delle particelle α (nuclei di elio) attraverso materiali pesanti, compiuti sotto la sua guida da Hans Wilhelm Geiger e Ernest Marsden, nel 1911 Rutherford scoprì il nucleo atomico e sviluppò la teoria della diffusione singola nell'approssimazione (legittima per gli atomi pesanti) che il moto del nucleo bersaglio si potesse trascurare. Successivamente incaricò un suo giovane collaboratore, Charles Galton Darwin (nipote del grande naturalista), di generalizzare questa teoria al caso di diffusione di particelle α attraverso materiali leggeri, in cui si doveva tener conto anche del moto del nucleo urtato. La teoria di Darwin del 1912 venne sottoposta a verifica sperimentale nel 1919 dallo stesso Rutherford.

Usando come materiale diffusore l'idrogeno, egli scoprì che, in accordo con la teoria di Darwin, le particelle α , nel passaggio attraverso il gas, mettevano in moto i “nuclei di idrogeno” (le “particelle H”), i quali producevano sullo schermo scintillazioni molto più deboli di quelle delle α , ma avevano un percorso medio circa quattro volte maggiore.

Un “effetto sorprendente” si verificò quando nell'apparato venne introdotta dell'aria secca: il numero di “scintillazioni H” aumentava considerevolmente. Era chiaro che le particelle α , nel passaggio attraverso l'aria, avevano dato origine a ulteriori nuove “particelle H”, rispetto a quelle attribuibili alla sorgente.

a.
Rutherford con il suo apparato
(1919).



Attraverso un'accuratissima indagine sistematica, Rutherford riuscì a stabilire in modo inequivocabile che esse provenivano dall'azoto presente nell'aria. La sua conclusione fu che alcuni nuclei di azoto erano stati disintegrati dall'impatto con una veloce particella α ed erano state espulse “particelle H”,

ovvero “nuclei di idrogeno”, il che equivaleva a dire che il nucleo di idrogeno era “uno dei componenti con cui è fatto il nucleo di azoto”. A questo nuovo componente nucleare, nel 1920, Rutherford diede il nome di “protone”. Successivi esperimenti di Rutherford, assieme a James Chadwick, confermarono che le particelle α erano in grado di espellere i protoni anche dai nuclei di molti altri elementi leggeri.

Il metodo della scintillazione non era però in grado di dare informazioni dirette sul meccanismo della collisione e sulle disintegrazioni nucleari avvenute. Rutherford suggerì allora di utilizzare una camera di Wilson, che consentiva di visualizzare le tracce di particelle ionizzanti in un mezzo gassoso. L'esperimento fu compiuto nel 1924 da un altro suo collaboratore, Patrick Blackett, che studiò le α diffuse dall'azoto, individuando circa 270.000 tracce. Molte di queste avevano una struttura a “forcella”, in cui la traccia della particella α incidente si divideva in due, una dovuta alla α diffusa, l'altra, più corta e più larga, dovuta al nucleo di azoto urtato, a testimonianza dell'avvenuta collisione elastica tra la α e l'azoto. Però, oltre a queste forcelle normali, Blackett ne

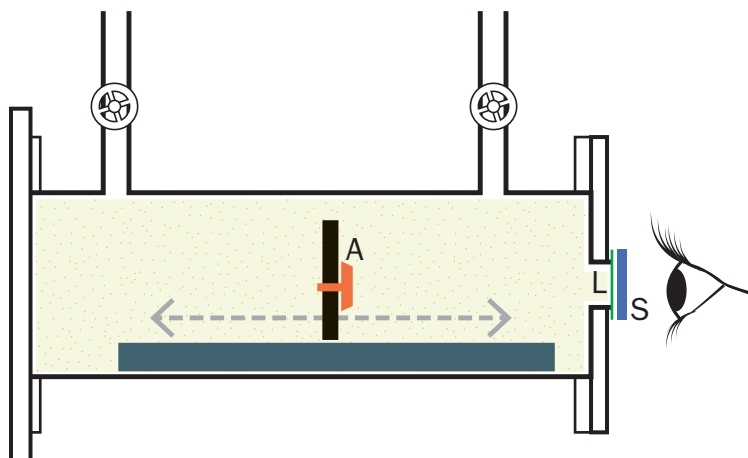
trovò otto di “un tipo diverso”, con una traccia molto sottile, attribuibile al protone, e l'altra simile a quella lasciata dal nucleo di azoto in una forcella normale. Richiamandosi a quanto già previsto da Rutherford, Blackett concluse dunque che la α (di numero atomico $Z = 2$), nell'urto con il nucleo bersaglio, veniva da questo assorbita mentre veniva espulso un protone ($Z = 1$). Quindi, tenendo conto dei numeri atomici, si poteva affermare che il nucleo originario, a seguito della collisione con una α , si era trasformato in un nuovo nucleo, di specie chimica diversa: in questo caso l'azoto ($Z = 7$) era stato trasformato in ossigeno ($Z = 8$).

Così, sempre sotto l'indicazione e la supervisione di Rutherford, non solo veniva provata la possibilità di disintegrare gli atomi con le particelle α , ma veniva indicato anche il modo in cui queste disintegrazioni avvenivano e come un elemento poteva essere trasformato in un altro, realizzando, così, in un certo senso, il vecchio sogno degli alchimisti!

Inspiegabilmente, queste ricerche non furono premiate con un Nobel per la Fisica e il solo premio assegnato a Rutherford rimase quello per la Chimica del 1908.

b.

L'apparato sperimentale di Rutherford. Si trattava di un tubo di bronzo lungo 18 cm, che, tramite due rubinetti, veniva riempito con il gas da studiare. La sorgente di particelle α , (A), era posta su un supporto mobile lungo una sbarra. Un estremo del tubo era chiuso da una sottile lamina metallica (L), di fronte alla quale, a una distanza di 2 mm, all'esterno del tubo, era posto lo schermo di solfuro di zinco (S), su cui venivano rivelate le particelle α e i nuclei diffusi (attraverso le scintillazioni prodotte su di esso).



¹⁴Si può fare!

di Francesca Mazzotta



a.
Il silicio in forma cristallina è di colore grigio scuro con riflessi bluastrì.

Che cosa hanno in comune uno smartphone, un rivelatore di particelle e una bellissima spiaggia della California? Un elemento della tavola periodica, in particolare il quattordicesimo: il silicio.

L'elettronica alla base di un cellulare o di un rivelatore di particelle si basa, infatti, su questo elemento estratto spesso proprio dalla sabbia. E non a caso la zona della California in cui sorgono numerose aziende di elettronica e informatica è nota come Silicon Valley, la valle del silicio.

È usato in elettronica perché è un semiconduttore. Nello stato base, quando è puro, il silicio conduce in maniera limitata la corrente elettrica, ma con l'aggiunta di droganti, ovvero di elementi con configurazioni elettroniche diverse, si possono realizzare delle zone localmente conduttive, chiamate *n* (di carica negativa) e *p* (di carica positiva), che sono la base per realizzare i dispositivi elettronici.

“Alternando zone localmente positive a zone localmente negative, si forma una giunzione p-n,” racconta Carlo Fiorini, professore di Ingegneria Elettronica al Politecnico di Milano.

“Si tratta di un componente elementare che è alla base di dispositivi elettronici più complessi, tra cui anche i rivelatori impiegati nella ricerca di base in fisica delle particelle. Esempi di questo tipo – continua il professore – sono i rivelatori a *microstrip* e i rivelatori a *pixel*, i cosiddetti *pixel detector*, che compongono i piani di rivelazione dei più importanti esperimenti in fisica delle alte energie, come quelli al Large Hadron Collider del Cern. Questi due tipi di rivelatori sono a interazione diretta, cioè captano direttamente il segnale generato dall'interazione della particella con il silicio. Ci sono poi degli altri rivelatori, che vengono utilizzati anche in fisica delle astroparticelle, che utilizzano i *silicon photomultiplier*, meglio noti come Sipm. Questi fotorivelatori possono sia rivelare direttamente i fotoni oggetto della misura, come accade nei telescopi che studiano i raggi cosmici rivelando la luce Cherenkov, sia leggere i fotoni emessi dagli scintillatori, una classe di rivelatori molto importante in fisica e nell'*imaging* medicale”.

L'elettronica al silicio trova largo impiego anche nella

cosiddetta elettronica di consumo: il silicio si trova infatti in tantissime apparecchiature che usiamo nella nostra vita quotidiana, dagli smartphone, in cui molti circuiti analogici e digitali sono basati sul silicio, ai processori dei computer, dalle chiavette usb al settore dell'*automotive*, che comprende tutte quelle tecnologie elettroniche a supporto dell'automobile, come il controllo dei motori o i sensori usati dal *park assist*. Questo è possibile perché la tecnologia del silicio è estremamente efficiente ed efficace e consente di integrare in uno spazio piccolissimo moltissimi dispositivi elettronici che sono alla base di circuiti e sistemi complessi. Oggi, ci sono delle tecnologie alternative al silicio che possono essere usate in alcuni ambiti. I display degli smartphone, ad esempio, si basano su tecnologie Oled o Amoled, che sono particolarmente indicate per l'emissione o la rivelazione della luce. "Dove c'è intelligenza, dove c'è calcolo molto efficiente, dove c'è trasmissione di segnali, il silicio resta ancora un

materiale ampiamente utilizzato. Negli ultimi anni – spiega Fiorini – si è andati verso una sempre maggiore miniaturizzazione dell'elettronica e, in particolare, dei dispositivi in silicio. Nella vita di tutti i giorni, questo si percepisce come un aumento delle velocità dei dispositivi e del loro immagazzinamento d'informazione: basti pensare alle chiavette usb che contengono un numero sempre maggiore di dati. Oggi però questa miniaturizzazione sta andando a scontrarsi con i limiti fisici dei cristalli di silicio. Ci sono già dei dispositivi che funzionano con pochissimi strati di atomi. Quando si sarà arrivati ai limiti intrinseci degli strati atomici, bisognerà trovare delle tecnologie alternative che permettano di immagazzinare l'informazione con supporti ancora più piccoli. Ad oggi, però, nonostante nuove ricerche avviate nel settore, non è ancora stata individuata una tecnologia già in grado di sostituire il silicio *tout court*", conclude Fiorini.

b.
Il Pixel Detector all'interno del rivelatore Atlas del Large Hadron Collider.



[as] traiettorie

Spettri e mummie.

di Eleonora Cossi



Sbarazzatevi dello stereotipo del giovane fisico un po' nerd e un po' asociale tutto preso dai suoi calcoli astratti. Dimenticate Sheldon Cooper e Big Bang Theory. E immaginate invece un edificio austero nel centro di Torino: è qui che ha sede il più antico museo del mondo dedicato interamente alla cultura nilotica. Siamo al Museo Egizio dove incontriamo Claudia Caliri, giovane ricercatrice dei Laboratori Nazionali del Sud (Lns) dell'Infn, esperta di analisi non invasive sulle opere d'arte e sui beni culturali.

[as]: Sei a Torino e stai lavorando in un museo, ma tu sei una fisica dei Lns. Che cosa ci fai qui?

[Claudia]: Faccio ricerca applicata sul campo! In particolare, svolgo analisi con una strumentazione portatile, che sto usando qui al Museo Egizio per il mio gruppo di ricerca che si chiama Landis (Laboratorio di Analisi Non Distruttive In Situ). La mia attività riguarda lo sviluppo di strumenti portatili e di tecniche analitiche basate sull'uso dei raggi X per conoscere, in maniera non distruttiva, i materiali di cui sono fatti gli oggetti d'arte, il loro processo di creazione, la provenienza, lo stato di conservazione e, in alcuni casi, la loro autenticità. All'Infn

esiste un team di ricercatori che lavorano nell'ambito della rete per i beni culturali (la cosiddetta "rete Chnet") e che si spostano per andare a svolgere analisi con strumentazione portatile in loco su opere difficili, o impossibili, da trasportare, che si trovano nei musei e nei siti archeologici in Italia e in Europa.

[as]: Spiegaci meglio cosa fai.

[C]: Nel dettaglio mi occupo di tecniche di analisi chiamate "spettroscopia X", che viene usata per investigare la composizione dei materiali attraverso l'analisi degli elementi chimici di cui è costituita l'opera. La lettura di questi elementi fornisce poi un quadro d'insieme fondamentale per ricercatori di altre discipline con cui collaboriamo, come restauratori, conservatori o storici dell'arte.

[as]: Sembra un lavoro molto interessante e originale e forse poco conosciuto. Che cosa ti piace di più della tua attività?

[C]: Lo studio dei materiali antichi con tecniche fisiche è

affascinante. Infatti, i manufatti archeologici e le opere d'arte sono una testimonianza autentica dell'evoluzione artistica, culturale e tecnologica dell'uomo. Questo si comprende dalla varietà dei reperti, dalla scelta e impiego delle materie prime e dalle conoscenze tecnologiche disponibili in quella precisa epoca storica. L'indagine scientifica in questo ambito, quindi, richiede un continuo sviluppo di nuovi apparati di misura e di sempre più accurate procedure analitiche. Questo è uno degli aspetti che più prediligo, insieme alla possibilità di viaggiare e conoscere nuove culture che mi consente di coniugare il lavoro con una delle mie più grandi passioni. Un altro aspetto per me fondamentale è il carattere multidisciplinare di questo campo di ricerca, in cui esperti di discipline diverse condividono il lavoro, proprio come questo edificio, sede da sempre di due importanti istituzioni del mondo della cultura e della scienza: il Museo Egizio e l'Accademia delle Scienze. Infatti, le numerose collaborazioni scientifiche con importanti musei e gallerie d'arte si basano proprio sul dialogo con conservatori, esperti d'arte e scienziati, e ciò è sia molto stimolante culturalmente sia cruciale per lo sviluppo d'innovazioni future.

[as]: C'è anche qualcosa che ti piace di meno?

[C]: Sicuramente la strada della ricerca è impegnativa e noi giovani ricercatori la percorriamo con molta grinta ed entusiasmo, che è un aspetto che ritengo fondamentale

per fare ricerca. Ci sono tante iniziative e progetti interessanti però non sempre il contesto è favorevole per svilupparli e a volte mancano i fondi. Inoltre, la nostra carriera spesso è bloccata dal precariato, molti di noi sono costretti a continuare l'attività all'estero o spostarsi su altri settori produttivi.

[as]: Progetti lavorativi per il futuro?

[C]: Presto rientrerò a Catania dove ai Lns mi concentrerò su un progetto finalizzato alla realizzazione di una sorgente X monocromatica indotta da protoni per applicazioni nei beni culturali. Inoltre, nell'ambito della mia ricerca sono previste già nei prossimi mesi attività *in situ* in importanti musei, tra cui il Museo Archeologico Nazionale di Atene e ancora il Museo Egizio di Torino, con cui abbiamo avviato collaborazioni scientifiche di lunga durata.

b.
Strumentazione portatile della collaborazione Landis dell'Infn e del Cnr in opera presso il Museo Egizio di Torino, durante le analisi dei manufatti dipinti della tomba di Kha e Merit.



[as] selfie

Radon in quota.

di Anna Bazzocchi

insegnante dell'ITIS E. Mattei di San Donato Milanese

a.

Il gruppo di studenti e insegnanti che hanno partecipato alla Summer School di Radiolab sul Monte Rosa, nel settembre 2018.



Collaboro da anni con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare in un programma di sensibilizzazione della popolazione in tema di radioattività naturale. A partire dall'anno scolastico 2005-2006, tutte le mie classi di triennio del liceo scientifico hanno partecipato ai progetti Laborad, Splash, Envirad-Splash e ora Radiolab. In particolare, abbiamo eseguito misure di concentrazione di radon in interni, nella nostra scuola e in abitazioni di San Donato Milanese e dei comuni limitrofi. Negli anni ho verificato la ricaduta positiva, sia educativa che didattica, che progetti di questa portata potevano avere sui miei studenti e le loro famiglie. Ho avuto inoltre l'opportunità di incontrarmi e confrontarmi con colleghi di altre scuole e indirizzi di studio. La Radiolab Summer School, che si

è svolta l'estate scorsa, ha di fatto sintetizzato in sei giorni l'esperienza di questi anni. Realizzata allo scopo di avvicinare e mettere a confronto studenti e docenti coinvolti nelle attività promosse da Radiolab e provenienti da nove diverse regioni d'Italia, ha decisamente raggiunto l'obiettivo che si era prefissata. Nel corso di una settimana, in un rifugio ai piedi della parete est del Monte Rosa, studenti e insegnanti hanno partecipato insieme a lezioni teoriche e laboratoriali di fisica nucleare e scienze naturali tenute da docenti universitari e ricercatori Infn. Per gli studenti è stata un'esperienza che li ha accompagnati ad arricchire le proprie conoscenze in tema di radioattività naturale, strumenti di misura della radiazione nucleare,

montagna e ghiacciai con una valenza educativa degna di nota. È stata sicuramente anche un'occasione di crescita culturale e umana: hanno avuto accesso a strumentazione non disponibile nei laboratori scolastici e hanno approfondito argomenti solitamente non trattati nei normali programmi ministeriali. Ma, soprattutto, si sono avvicinati al mondo della ricerca con un'empatia che solo una settimana vissuta "gomito a gomito" con docenti universitari e ricercatori poteva permettere. Ne è la prova una lettera che hanno indirizzato a noi adulti al termine della Summer School, in cui la storia del ghiacciaio del Monte Rosa è stata letta dai ragazzi alla luce di quanto vissuto in termini di relazioni significative tra pari e con gli adulti.



b.
Un momento di studio durante la Summer School.

E che dire di quello che abbiamo vissuto noi docenti? La convivenza ha rappresentato un'opportunità preziosa per lo scambio di esperienze, la messa a punto di nuove idee e di aiuto reciproco per la soluzione di problemi incontrati nel corso della realizzazione del progetto nelle nostre scuole. Il confronto ha inoltre consentito di definire format unici per tutte le fasi del progetto da adottare nelle diverse sedi, allo scopo di facilitare il confronto dei risultati finali. Ci siamo lasciati dandoci appuntamento per ulteriori occasioni di lavoro comune, come la realizzazione di attività parallele durante la

ricorrenza dell'European Radon Day, il 7 novembre. Avevo vissuto in passato altre esperienze di formazione professionale. Se devo esprimere quale sia stata la peculiarità della Summer School, posso dire di averla trovata in questo essere stata contemporaneamente studente insieme ai miei studenti e adulto di riferimento per loro. La forte motivazione e l'entusiastica partecipazione a tutte le attività proposte che ho visto nei ragazzi che avevo portato con me è stata sicuramente la risposta più gratificante al mio compito di educatrice e di docente.

[as] approfondimento

Il progetto Radiolab

Radiolab è un progetto per la disseminazione della cultura scientifica iniziato una quindicina di anni fa e che oggi vede coinvolte 11 sezioni dell'Infn da Nord a Sud (precisamente, nelle città di Cagliari, Catania, Cosenza, Milano, Napoli, Siena, Torino e Trieste). Il tema trattato è quello della radioattività.

Il progetto è nato dalla considerazione che la percezione soggettiva del rischio, spesso, non corrisponde al rischio oggettivo e reale delle attività umane, in quanto nell'immaginario comune a tutto ciò che non si conosce si attribuiscono rischi esagerati e non corrispondenti ai reali livelli di pericolo. Questo aspetto è particolarmente evidente quando si parla di radioattività. L'idea di base è avvicinare i ragazzi a tale tematica, dando loro l'opportunità di misurare la radioattività naturale in prima persona, per aiutarli a rendersi conto che viviamo in un "mondo radioattivo".

Il progetto viene sviluppato nello stesso modo in tutte le sedi coinvolte: dopo un'introduzione sul tema della radioattività, delle sue componenti

e da dove e perché nasce questo fenomeno naturale, ai ragazzi vengono forniti gli strumenti per allestire un laboratorio attrezzato presso la loro scuola, con cui misurare la concentrazione del gas radioattivo naturale radon-222 (^{222}Rn).

La modalità di svolgimento è tale per cui il laboratorio non è solo un luogo fisico, ma rappresenta un nuovo modo di insegnare e di apprendere. Gli studenti vengono coinvolti attivamente sul campo e svolgono un'attività simile a quella dei ricercatori. Il lavoro viene svolto su più anni scolastici, dando così la possibilità di una maggiore riflessione, assimilazione e consapevolezza dei temi trattati. Uno dei suoi scopi è lo sviluppo di un interesse verso il territorio e le problematiche ad esso connesse. Infine, Radiolab funge anche da corso di aggiornamento per gli insegnanti, su tematiche di fisica moderna che spesso non sono conosciute approfonditamente.

[Flavia Groppi]

[as] spazi

Tre E in barca.

di Francesco Noferini e Mario Nicola Mazziotta

Un rivelatore per raggi cosmici costruito dagli studenti di scuola superiore, in un viaggio itinerante dal Polo Nord a Lampedusa ... possibile? Forse un'idea strana, ma è proprio quanto è accaduto con il rivelatore PolarquEEEst.

Concepito nell'ambito del progetto Extreme Energy Events (EEE) (ideato e diretto da Antonino Zichichi e attualmente progetto strategico del Centro Fermi – Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi di Roma), PolarquEEEst è stato progettato inizialmente per una misura fatta a bordo di un'imbarcazione a vela ecosostenibile (la Nanuq), che tra luglio e settembre 2018 ha viaggiato per 3500 miglia nautiche dall'Islanda alle Svalbard sino a una latitudine di 82° 07' N (circa 900 km dal Polo Nord). PolarquEEEst era parte della spedizione Polarquest2018 (<http://www.polarquest2018.org/>), che ha ripercorso le regioni artiche, teatro della sfortunata missione del dirigibile Italia di Umberto Nobile nel 1928 che, dopo aver raggiunto la meta, precipitò sulla via del ritorno in prossimità delle isole Svalbard. La spedizione Polarquest2018 ha compiuto una missione al tempo stesso storica (andando alla ricerca del relitto del dirigibile) e scientifica, con quattro esperimenti: per la rilevazione di microplastiche nel mare, di inquinanti in atmosfera, per rilevazioni geografiche con droni e per la misura del flusso dei raggi cosmici.

Il rivelatore di raggi cosmici PolarquEEEst, costituito da due piani di scintillatori plastici, è stato assemblato al Cern (come tutti i rivelatori di EEE) da studenti di scuole medie superiori italiane, norvegesi e svizzere. Altri due rivelatori, identici a quello installato sulla

a.
La barca Nanuq fotografata da un drone durante la traversata tra l'Islanda e le isole Svalbard.



b.
Foto di gruppo durante
l'assemblaggio al Cern dei tre
rivelatori PolarquEEEst (a sinistra
dei rivelatori sono riconoscibili
Ombretta Pinazza e Antonino
Zichichi).



barca, sono stati costruiti e messi in funzione in una scuola a Nessoden, nelle vicinanze di Oslo, e a Bra, in provincia di Cuneo in Italia, e hanno fornito utilissime misure di riferimento.

La costruzione dei rivelatori ha anche rappresentato una sfida tecnologica estremamente interessante, che ha visto l'Infn (in particolare, le sezioni di Bari e Bologna) collaborare su vari aspetti, in particolare nello sviluppo di una elettronica di *readout* a basso consumo (solo 12 W, quanto una piccola lampadina!) per sensori di vario tipo, come per gli esperimenti nello spazio.

PolarquEEEst ha effettuato misure del flusso di raggi cosmici a latitudini sino a ora con pochi dati disponibili, spesso non confrontabili. "È un rivelatore estremamente affidabile, che ha funzionato decisamente bene anche nelle condizioni più difficili durante la navigazione nelle zone artiche, richiedendo solo un minimo di manutenzione", ci racconta Ombretta Pinazza, ricercatrice Infn a bordo della *Nanuq*. "È stata un'avventura di vera esplorazione in mezzo ai ghiacciai e a paesaggi incontaminati!", conclude Ombretta.

Ma dato il successo della misura e l'entusiasmo dei ragazzi di EEE che hanno seguito la missione, perché non continuare il viaggio e le misure anche alle latitudini italiane? E così PolarquEEEst sta proseguendo con un viaggio *on the road* lungo la nostra penisola, facendo tappa in alcune scuole che aderiscono a EEE e che organizzano, in occasione del

suo passaggio, anche eventi a tema aperti al pubblico e agli studenti.

Durante questo nuovo viaggio, PolarquEEEst sta misurando il flusso dei raggi cosmici a latitudini molto inferiori (fino a 38°), realizzando una "mappa" di riferimento per l'Italia. Tra ottobre e dicembre dello scorso anno ha preso dati a Genova in occasione del Festival della Scienza 2018, a Vigna di Valle (RM), a Cosenza, a Cefalù (PA) ed è approdato a Erice (TP), presso la Fondazione e Centro di Cultura Scientifica Ettore Majorana, durante la conferenza del progetto EEE con più di 100 studenti di 30 scuole italiane. Da gennaio 2019 si è fermato a Catania, dove i dati sono stati presi dalle scuole locali anche salendo sull'Etna fino a una quota di 2 km e a Lampedusa. Attualmente il rivelatore si trova a Bologna per essere poi installato su un aeroplano da turismo e acquisire dati in quota.

"PolarQuest2018 è stato ed è un formidabile esempio di come sia possibile coniugare un vero esperimento di fisica, con misure originali, e un'attenta azione di disseminazione scientifica *'hands on'* con gli studenti, un'ulteriore conferma di quanto da anni avviene con il progetto EEE", commenta Luisa Cifarelli, Presidente del Centro Fermi.

Il viaggio terminerà nella stazione di ricerca del Cnr di Ny Ålesund (nelle isole Svalbard) dove, dall'inizio dell'estate, il rivelatore prenderà dati stabilmente, mettendoli, come sempre, a disposizione degli studenti interessati a questa fisica ... di avventura.

[as] illuminazioni

Sir Isaac Newton e la mela digitale.

La leggenda vuole che Isaac Newton abbia formulato la legge di gravitazione universale dopo aver osservato una mela cadere dall'albero davanti casa. Ben altri furono i percorsi che lo portarono a scrivere i Principia e tale legge, ma è indubbio che a volte un dettaglio può essere spunto per profonde elaborazioni. I computer e internet di spunti ne offrono moltissimi ma, anche se si sente sempre più spesso parlare di *coding* e pensiero computazionale, non è sempre facile usarli al meglio in ambito didattico.

La parola *coding*, in italiano "programmazione", descrive l'abilità di tradurre un problema reale in un codice utilizzabile da un computer. Come tale è strumento universale di apprendimento, ma può in particolare arricchire lo studio della fisica restituendole il valore primario di ideazione e validazione di modelli di fenomeni della realtà. Con un approccio basato sul *creative learning*, nei Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn è stato preparato un laboratorio di una giornata per l'avvicinamento alla programmazione, con l'obiettivo di simulare la legge di gravitazione universale (vd. <http://sites.google.com/view/ippog2019/home>). Il laboratorio è stato proposto in tre occasioni, a marzo 2018 e marzo 2019, a due diversi gruppi di 40 studentesse e studenti dell'ultimo anno delle scuole superiori, e a ottobre 2018, a un gruppo di 20 insegnanti di fisica. Come ambiente di sviluppo è stato usato Processing, un linguaggio di programmazione progettato e realizzato al Media Lab del Massachusetts

Institute of Technology per la didattica del *coding*, che è oggi un progetto *open source* utilizzato e sostenuto da decine di migliaia di appassionati, designer e artisti digitali. Nella logica e nei costrutti, Processing è molto simile ad altri linguaggi molto diffusi (Python, Java, C++), ma è molto più semplice nella sintassi e più immediato nella possibilità di realizzare in poco tempo programmi, simulazioni e animazioni interattive. L'idea era partire da eventi che succedono in natura, nel mondo fisico (palline che rimbalzano o pianeti che orbitano) e capire come scrivere il codice per simulare e riprodurre tali eventi. Il laboratorio è costituito da quattro parti: "Le basi" (introduzione pratica al linguaggio Processing), "Oop" (introduzione alla programmazione *object-oriented*, "per far muovere palline nello schermo"), "Palline magiche" (dove, sempre usando Processing, si introducono l'accelerazione e gli urti elastici) e "La legge di Newton" (dove viene simulata la legge di gravitazione universale). Secondo il livello di partenza, i partecipanti hanno trovato più o meno difficile completare il programma proposto, ma tutti si sono divertiti a imparare, come sempre capita quando vi è un'esperienza attiva, e ancora di più hanno probabilmente imparato a sfruttare il computer per... imparare tutto il resto. Tutto il materiale usato nel laboratorio, inclusi il link per scaricare liberamente Processing e il codice, è a disposizione in rete per chiunque volesse usarlo.

[Marco Giordano e Barbara Sciascia]





Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

I laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare sono aperti alle visite.

I laboratori organizzano, su richiesta e previo appuntamento, visite gratuite per scuole e vasto pubblico.

La visita, della durata di tre ore circa, prevede un seminario introduttivo sulle attività dell'Infn e del laboratorio e una visita alle attività sperimentali.

Per contattare
i laboratori dell'Infn:

Laboratori Nazionali di Frascati (Lnf)

T + 39 06 94032423
/ 2552 / 2643 / 2942
sislnf@lnf.infn.it
www.lnf.infn.it

Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Lngs)

T + 39 0862 4371
(chiedere dell'ufficio prenotazione visite)
visits@lngs.infn.it
www.lngs.infn.it

Laboratori Nazionali di Legnaro (Lnl)

T + 39 049 8068342 356
direttore_infn@lnl.infn.it
www.lnl.infn.it

Laboratori Nazionali del Sud (Lns)

T + 39 095 542296
sislns@lns.infn.it
www.lns.infn.it

www.infn.it



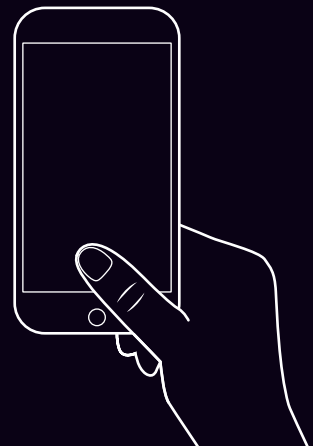
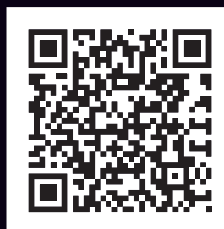
Sul sito **www.asimmetrie.it**
vengono pubblicate periodicamente
notizie di attualità scientifica.

Per **abbonarti gratuitamente** ad Asimmetrie
o per **modificare** il tuo abbonamento vai su:
<http://www.asimmetrie.it/index.php/abbonamento>

Si prega di tenere sempre aggiornato il proprio
indirizzo mail per ricevere le nostre comunicazioni.

Leggi anche le nostre **faq** su:
<http://www.asimmetrie.it/index.php/faq>

Asimmetrie è anche una app,
ricca di contenuti multimediali.





www.infn.it

rivista online
www.asimmetrie.it