

Ministero degli Affari Esteri  
Ambasciata d'Italia di Atene  
SCUOLA STATALE ITALIANA  
di Atene

# POMERIGGI CULTURALI 2019

## Le frontiere della fisica

... ovvero ... quello che i fisici  
ancora non sanno ...



**Martedì 02 aprile 2019**

**ore 15.30**

Teatro della Scuola

Odos Mitsaki, 18

11141 Atene

<http://www.scuolaitaliana.gr>

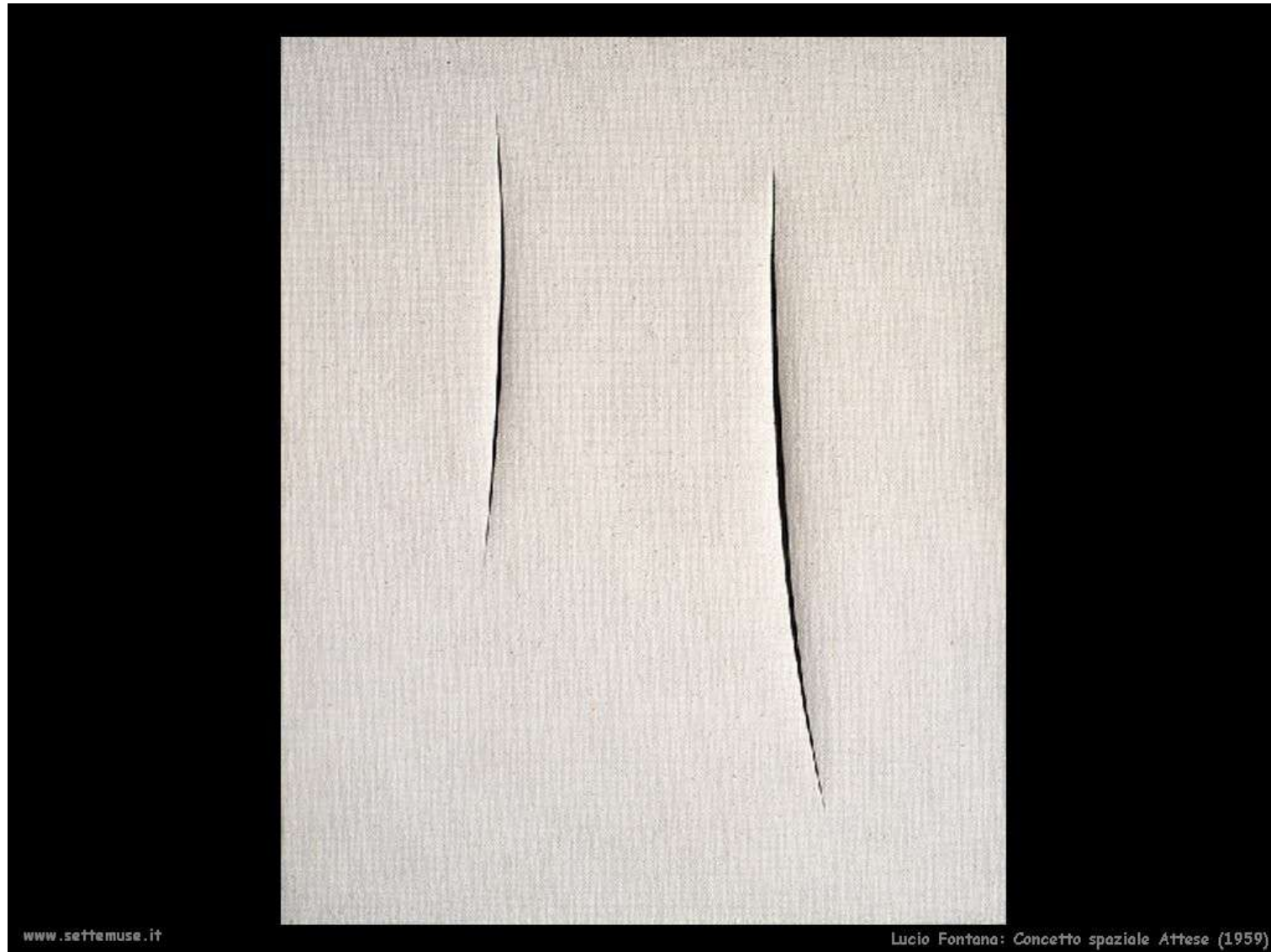


# Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento

## Liceo scientifico – Fisica

“[...] lo studente potrà approfondire tematiche di suo interesse, accostandosi alle scoperte più recenti della fisica (per esempio nel campo dell’astrofisica e della cosmologia, o nel campo della fisica delle particelle) o approfondendo i rapporti tra scienza e tecnologia (per esempio la tematica dell’energia nucleare, per acquisire i termini scientifici utili ad accostare criticamente il dibattito attuale, o dei semiconduttori, per comprendere le tecnologie più attuali anche in relazione a ricadute sul problema delle risorse energetiche, o delle micro- e nano- tecnologie per lo sviluppo di nuovi materiali).”

# “La natura ama nascondersi” (Eraclito)



# Il senso della ricerca ...

«"O frati," dissi, "che per cento milia  
perigli siete giunti a l'occidente,  
a questa tanto picciola vigilia

d'i nostri sensi ch'è del rimanente  
non vogliate negar l'esperïenza,  
di retro al sol, del mondo senza gente.

Considerate la vostra semenza:  
**fatti non foste a viver come bruti,  
ma per seguir virtute e canoscenza".»**

*Inferno, XXVI, vv. 112-120*

# Di cosa si occupa la fisica?

MECCANICA

ONDE

TERMOLOGIA

ELETTROMAGNETISMO

*U. Amaldi, L'Amaldi per i  
licei scientifici.blu, Zanichelli*

FISICA MODERNA

La relatività ristretta

Particelle e onde

La natura dell'atomo

Fisica nucleare e radioattività

Radiazioni ionizzanti, energia nucleare e particelle elementari

# Interazioni (forze) fondamentali

- Interazione gravitazionale
- Interazione elettromagnetica
- Interazione nucleare debole
- Interazione nucleare forte

# ZOOM

## AMBITI

Fisica delle particelle elementari

Astrofisica, Cosmologia

## 2 PROBLEMI APERTI

Espansione accelerata dell'universo (perché?)

La materia visibile non basta (“troppa” gravità)

# ASTRONOMIA MULTIMESSAGGERA

Ascolto del sussurro dell'universo ...

“Certo il nostro universo si espande sì, e forse in maniera imprevedibilmente accelerata, ma ci manda dei messaggeri continuamente, ciascuno dei quali contiene un minuscolo pezzo di informazione sulla sorgente che ce lo ha inviato”, *F. Ferroni, presidente INFN*

Tutti questi “messaggeri cosmici”, permettono l'accesso a fenomeni di ogni tipo che avvengono nell'Universo, alcuni dei quali non saremo mai in grado di riprodurre in laboratorio.



# ... in cosa consiste

- Spettro elettromagnetico (fotoni, astronomia multifrequenza → molte scoperte recenti da osservazioni di fotoni gamma)
- Raggi cosmici (nuclei atomici, elettroni, positroni, ...)
  - Neutrini (astrofisici, cosmici, ...)
- Onde gravitazionali

Combinando con cura e attenzione tutti i tasselli (sinergia tra rivelatori di fotoni, neutrini, onde gravitazionali), possiamo comprendere fenomeni, che per loro natura, ci inviano tutti i tipi di segnali.

# Nascita dell'astronomia multimessaggera

2017:

salto di qualità → prima osservazione in coincidenza

- dell'emissione di fotoni e onde gravitazionali dal collasso di un sistema binario di stelle di neutroni

e

- dell'emissione di fotoni e di un neutrino da un buco nero supermassivo in fase di accrescimento.



# ISTITUZIONI



INFN



INAF,



CERN (trailer), ... et alia

...



oltre alle Agenzie Spaziali  
(ASI, ESA, ... NASA).



# Fabiola Gianotti



Come portavoce dell'esperimento ATLAS del CERN ha annunciato la scoperta del **bosone di Higgs** (2012).

Attualmente (dal 2016) è direttore generale del CERN.



The usefulness of useless knowledge,  
15/1/19

# Evoluzione dei modelli atomici

Democrito (V-IV sec. a.c.), Epicuro (IV-III sec. a.c.), Lucrezio (I sec. a.c.) ...

J. Dalton – dalle leggi ponderali (1803)

Scoperta delle particelle subatomiche (elettrone ...)

J. J. Thomson, modello a panettone (1904)

E. Rutherford, modello planetario (1909-1911)

N. Bohr, modello “quantistico” (1913)

... e poi l'inizio della fisica nucleare ...

# Enrico Fermi



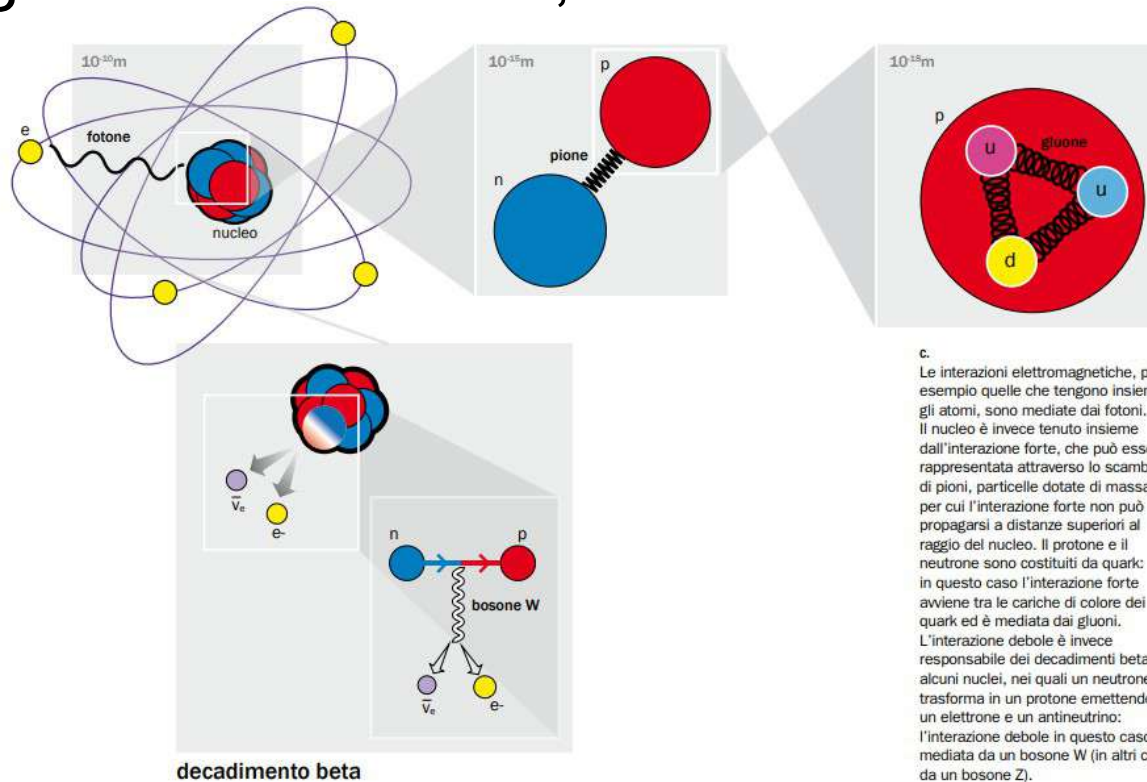
Premio Nobel per la Fisica nel 1938.

The Nobel Prize in Physics 1938 was awarded to Enrico Fermi "for his demonstrations of the existence of new radioactive elements produced by neutron irradiation, and for his related discovery of nuclear reactions brought about by slow neutrons."

# Campo quantistico relativistico

(ápeiron di Anassimandro [C. Rovelli])

È un costrutto teorico molto sofisticato che permette di descrivere la struttura della materia in termini di particelle elementari in interazione tra di loro attraverso lo scambio di “messaggeri di interazione”, che sono a loro volta particelle.



c.  
Le interazioni elettromagnetiche, per esempio quelle che tengono insieme gli atomi, sono mediate dai fotoni. Il nucleo è invece tenuto insieme dall'interazione forte, che può essere rappresentata attraverso lo scambio di pioni, particelle dotate di massa, per cui l'interazione forte non può propagarsi a distanze superiori al raggio del nucleo. Il protone e il neutrone sono costituiti da quark: in questo caso l'interazione forte avviene tra le cariche di colore dei quark ed è mediata dai gluoni. L'interazione debole è invece responsabile dei decadimenti beta di alcuni nuclei, nei quali un neutrone si trasforma in un protone emettendo un elettrone e un antineutrino: l'interazione debole in questo caso è mediata da un bosone W (in altri casi da un bosone Z).

# Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> higgs
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	

**QUARKS**

**LEPTONS**

**GAUGE BOSONS  
VECTOR BOSONS**

**SCALAR BOSONS**



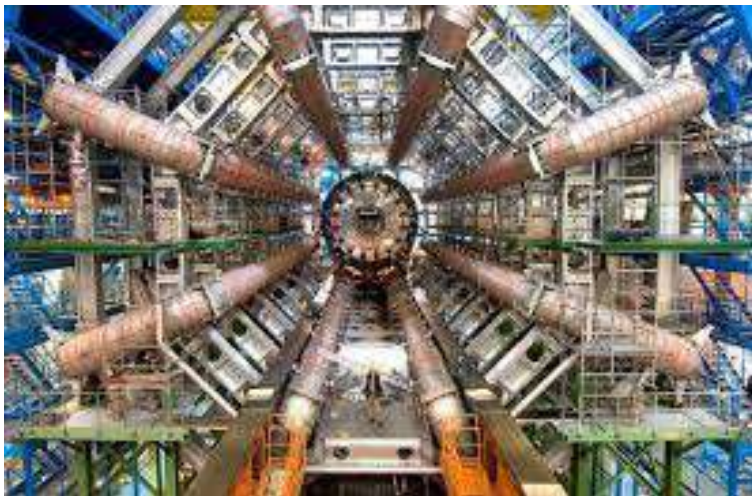
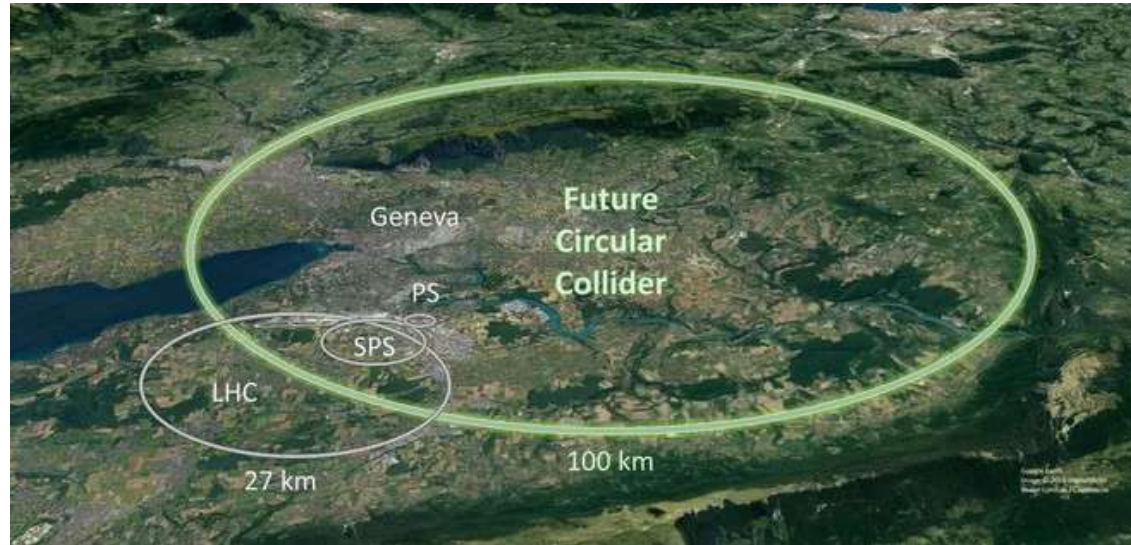
# Carlo Rubbia



Premio Nobel per la Fisica nel **1984**.

The Nobel Prize in Physics 1984 was awarded jointly to Carlo Rubbia and Simon van der Meer "for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z, communicators of weak interaction."

# Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – CERN (Ginevra)



# ... e la gravità?

L'interazione gravitazionale è descritta in modo mirabile dalla relatività generale di Einstein.

Con un salto concettuale gigantesco, essa non è più forza, ma curvatura dello spazio tempo.

Prevede la possibilità che perturbazioni del campo gravitazionale si propaghino sotto forma di onde, le cosiddette onde gravitazionali.

# Cosa sono le onde gravitazionali?

video

Gravità come curvatura ... [0:46 – 1:48]

Due buchi neri in rotazione a velocità vicine a quella della luce [5:55 – 6:32] + [9:10 – 9:20]

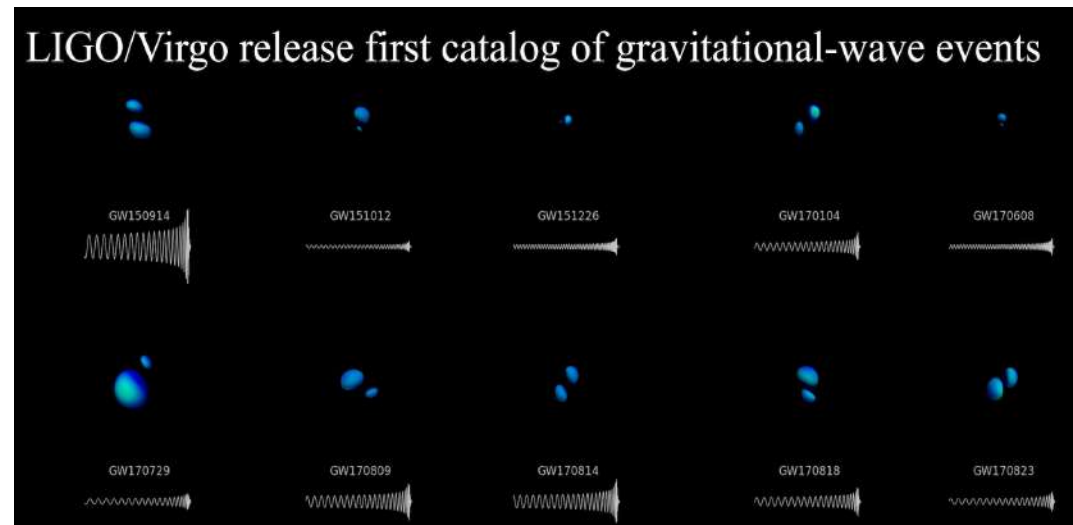
# Premio Nobel per la Fisica 2017

R. Weiss, B. Barish, K.S. Thorne

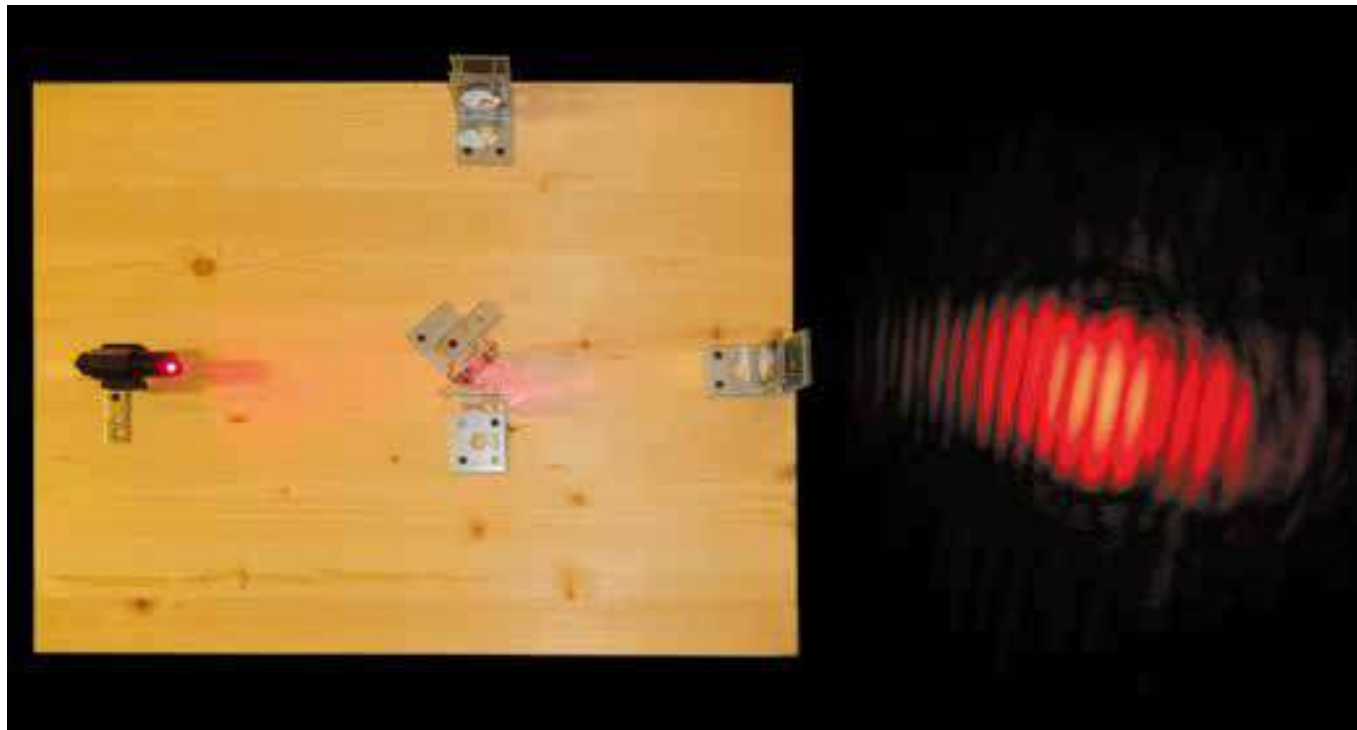
Interferometri: **LIGO** (USA), **EGO-VIRGO** (Italia/Francia)

14/9/2015: osservazione diretta di onde gravitazionali da parte della collaborazione Ligo/Virgo, generate dalla coalescenza di due buchi neri supermassivi (fino a 40 volte la massa solare)

Successivamente, molti altri eventi GW osservati, ormai raccolti in cataloghi appositi ...



# Interferometro



# EGO-VIRGO

(Cascina - PI)



# LIGO

(Livingston, Louisiana – Hanford, Washington - USA)



*LIGO Observatories*





# GW170817

pag. 32, as25 [messaggeri]



# Marica Branchesi



Per il suo contributo alla ricerca sulle onde gravitazionali, Marica Branchesi, ricercatrice del Gssi, è tra le dieci persone più influenti 2017 secondo la classifica “Ten people who mattered this year” di Nature.

“è stata la persona chiave che ha messo in comunicazione gli astronomi e i fisici, convincendoli a lavorare insieme”

# I NEUTRINI

Particelle elettricamente neutre, non deviate dal campo elettromagnetico, con una piccolissima massa, interagiscono debolmente con la materia ordinaria, possono uscire da zone molto dense e indicarci con precisione la direzione da dove provengono.

Portano informazione sull'interazione nucleare debole che determina la fusione dell'idrogeno e degli altri elementi nelle varie fasi della vita di una stella e della formazione di stelle di neutroni.

Ipotizzati per la prima volta da W. Pauli (1930).

Premi nobel sui neutrini:

- 2002, R. Davis, M. Koshiba (e R. Giacconi) → neutrini cosmici
- **2015**: A. McDonald e T. Kajita → oscillazioni di neutrino (massa)

# Ricerca astrofisica con neutrini (cosmici)

- Inizia negli anni '30-'40 del '900, con lo studio dei neutrini solari, la cui esistenza è stata confermata da vari esperimenti:
  - Contributo da esperimenti (tra gli anni '70 e il 2000): Homestake (USA), Gallex-Gno@LNGS, Sage (Russia)
  - 2002-2017: Borexino@LNGS, conferma il modello solare standard
- 1987, Kamiokande (Giappone) rileva per la prima volta un flusso di neutrini proveniente da una supernova

# Neutrini astrofisici di altissima energia

Novità recente.

Utili per identificare la direzione di provenienza dei raggi cosmici più energetici provenienti dall'universo.

Flussi deboli, necessità di una sensibilità altissima  
→

masse d'acqua di almeno un miliardo di tonnellate  
(1 km<sup>3</sup>) →

acqua del mare, o dei laghi, o il ghiaccio dell'antartide, o l'atmosfera stessa.

# IceCube - Antartide

2013: rivelazione convincente di neutrini cosmici di alta energia usando come bersaglio la calotta polare equipaggiata con tubi fotomoltiplicatori inseriti nel ghiaccio a 2000 m di profondità.



22/9/2017: correlazione tra la direzione di provenienza dei neutrini e le emissioni gamma di un blazar attivo, TXS 0506-056 (un buco nero super massiccio ospitato all'interno di una galassia, in direzione della costellazione di Orione).

# Next generation

Prossima generazione di telescopi a neutrini in siti subacquei.

Km3net: nel Mediterraneo, collaborazione Italia, Olanda, Francia, a largo di capo Passero (Sicilia) un rivelatore di almeno  $1 \text{ km}^3$  di acqua con tubi fotomoltiplicatori a 3500 metri di profondità.

Forse sarà possibile anche rilevare il fondo cosmico di neutrini, residuo del Big Bang ...

# Sfida contemporanea

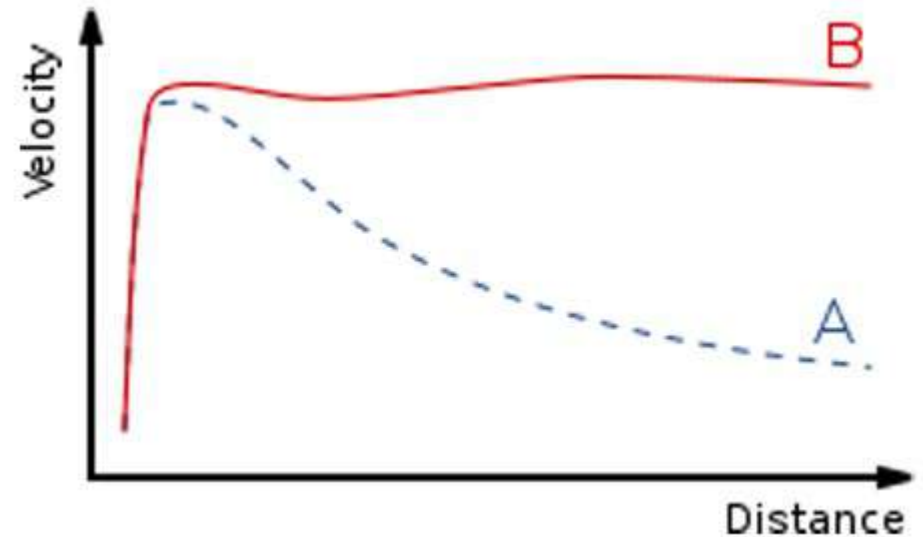
studio multimessaggero dei segnali di  
materia oscura



# La materia oscura

F. Zwicky (e Oort), astronomo svizzero, 1933, osservando l'ammasso di Berenice, notò che le sue velocità di movimento interne non erano compatibili (secondo la gravità) con la massa visibile nell'ammasso → deve esistere una grandissima quantità di massa che non può essere vista dai telescopi, perché non emette radiazione, che chiamò ***materia oscura***.

Anni Settanta, V. Rubin → velocità orbitali delle stelle all'interno delle galassie.



# ... non solo materia, ma anche energia oscura

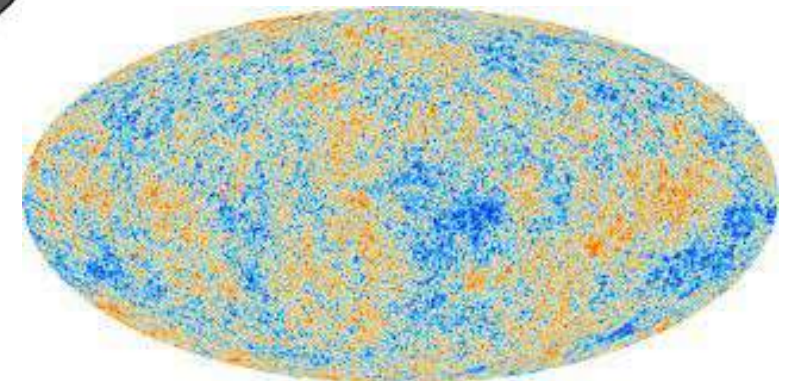
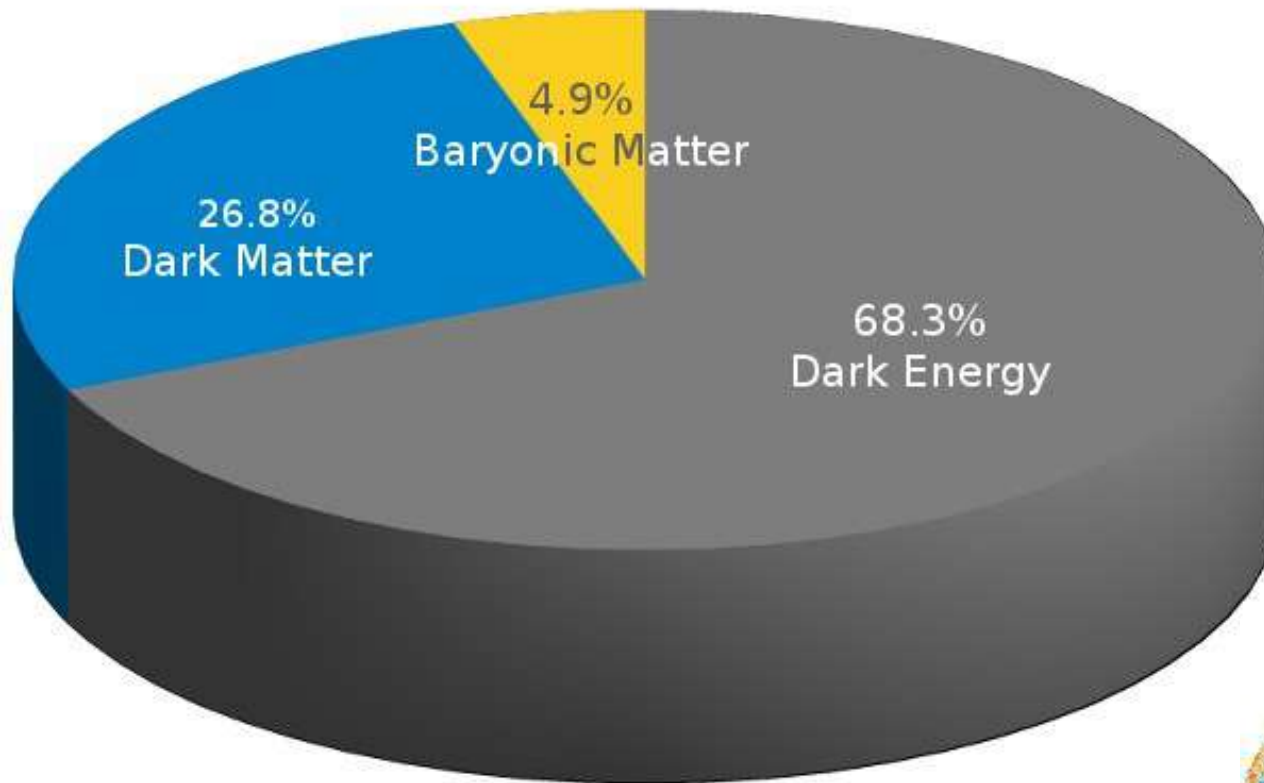
Spiegherebbe, su scala cosmologica, l'espansione accelerata dell'Universo recentemente osservata.

La scoperta è stata ottenuta nel 1998 da Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam Riess sulla base di osservazioni di supernove di tipo Ia in galassie lontane.

Per tali studi ai tre scienziati è stato assegnato il premio Nobel per la fisica nel **2011**.

# Contenuto dell'universo

(esperimento Planck, ESA, 2013)



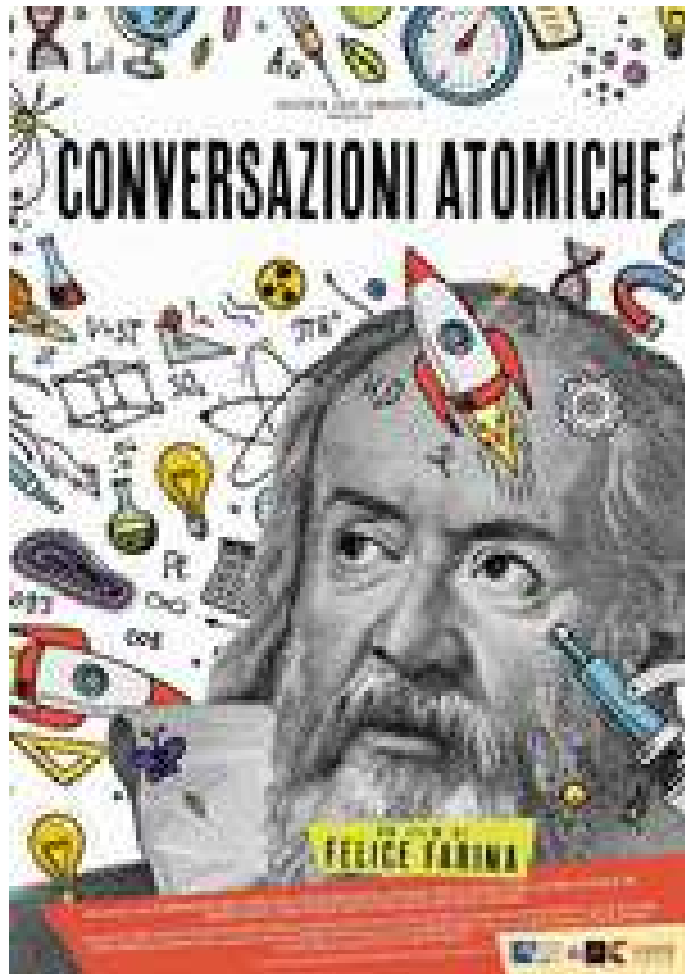
# Ma com'è fatta la materia oscura?

- Neutrini (probabilmente non sufficienti ...)
- WIMPs (Weak Interacting Massive Particles)  
Nessuna evidenza, finora ...

se esistono, sono particelle con massa molto grande e (nuova) interazione molto debole

forse “mediatori” d'interazione appartenenti a settori oscuri, che possiedono almeno una interazione, ancora sconosciuta, chiamata *portale*, che li mette in comunicazione con il settore noto del modello standard ...

# Conclusione



## Conversazioni atomiche

Un film di Felice Farina  
Distribuzione Cinecittà Luce.  
Nelle sale dal 13 dicembre 2018

# Grazie per l'attenzione!



**Global Physics Photowalk.** Foto di Gianluca Micheletti che si è aggiudicata il primo posto della competizione italiana 2018, scattata ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Una ricercatrice osserva l'esperimento Xenon1t, per la rivelazione della materia oscura. Il monitor trasmette le immagini del rivelatore interno all'esperimento.

# Biblio-/sito-grafia

## Libri di testo di Fisica

- U.Amaldi, *L'Amaldi per i licei scientifici.blu*, Zanichelli
- J.D.Cutnell, K.W.Johnson, D.Young, S.Stadler, *La fisica di Cutnell e Johnson*, Zanichelli
- J.Walker, *Dalla meccanica alla fisica moderna*, Pearson

## Riviste

- Asimmetrie (INFN)  
[abbonamento gratuito – disponibile on-line]

## Siti Web

- CERN
- INFN
- Fermilab
- ...

## Finalisti Premio Galileo 2019

- S. Savaglio, *Tutto l'universo per chi ha poco spazio tempo*, Mondadori, 2018
- P. Greco, *Fisica per la pace*, Carocci, 2018