il neutrino

Disegni di Laura Strolin

- ***Preistoria e Storia***
- ***A che serve?***
- ***Misteri*** { *Cosmologia* / *Astrofisica* / *Fisica* }
- ***Esperimento OPERA al Gran Sasso:***
  perché, come e cosa fa

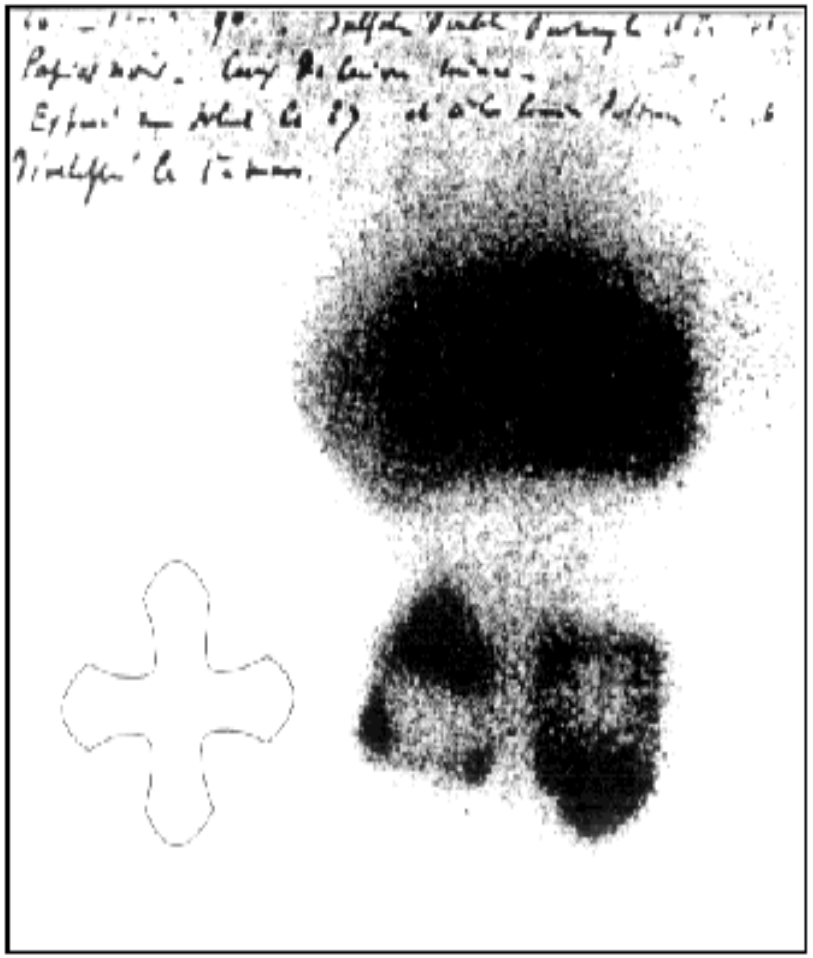
Paolo Strolin

Marzo 2013

L'evento primordiale

1896 Becquerel

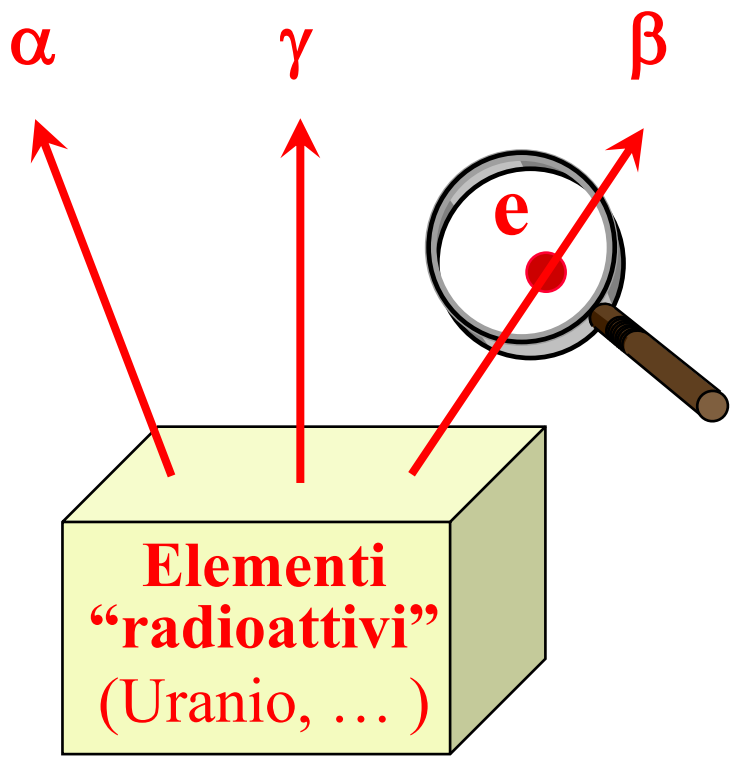
Scoperta (quasi per caso) della "radioattività" naturale



Lastre fotografiche riposte al buio in un cassetto registrano una misteriosa "radiazione" emessa da sali di Uranio

← ***Una croce al merito ha lasciato la sua "ombra"***

Si comincia a capire



1899 Rutherford

Emissioni differenti α , β , γ

1903 Rutherford e Soddy

Emissione associata a una magica trasmutazione di elementi chimici per "decadimento radioattivo"

1909 Bucherer

I raggi β *sono elettroni*

La trasmutazione di elementi : il sogno degli alchimisti diventa realtà

"Il laboratorio dell'alchimista"
(particolare)

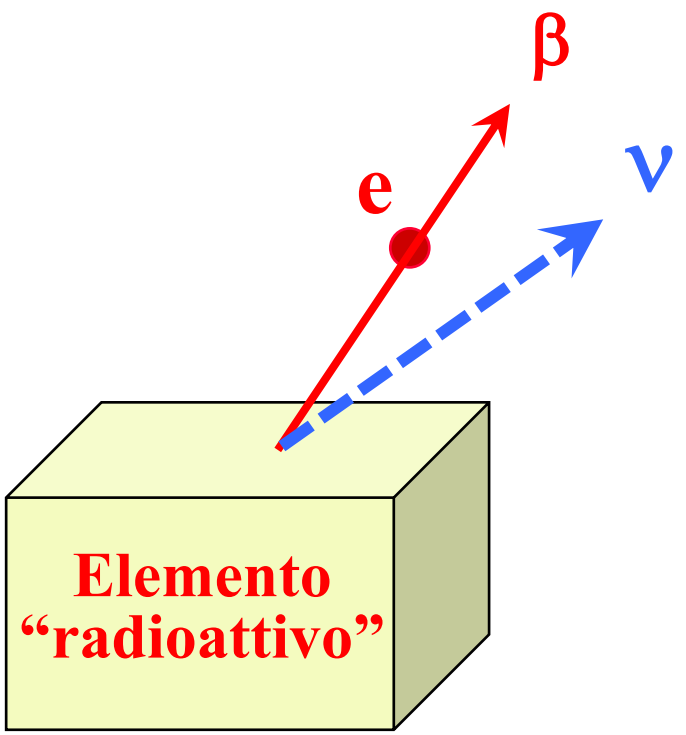
Jan Van der Straet, detto Giovanni Stradano (1523-1605)

Palazzo Vecchio (Firenze)

Raffigura
Francesco I de' Medici (a destra)
durante i suoi esperimenti

http://antologiaincontri.scuola.com

Mistero: nel decadimento β scompare energia



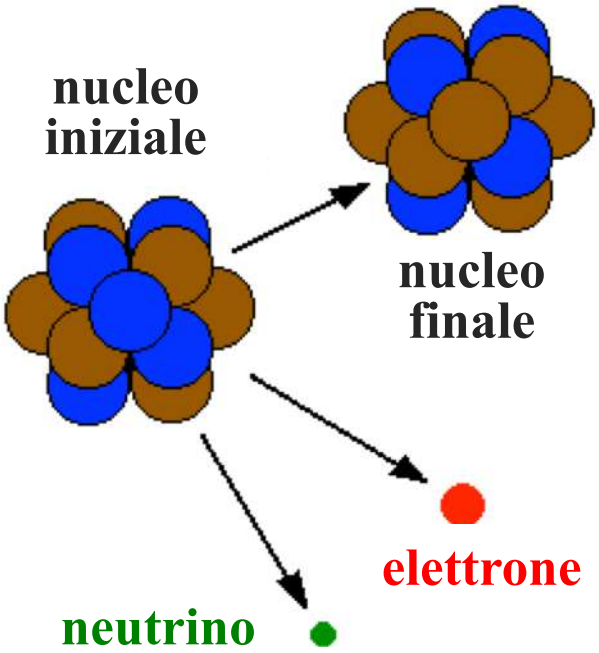
un ladro di energia?

L'elettrone ha meno dell'energia resa disponibile dalla diminuzione di massa (x c^2) da nucleo iniziale a finale

1930 Ipotesi di Pauli:

è emessa anche una particella neutra (invisibile) e con massa nulla, poi chiamata "neutrino" da Fermi

La “Interazione Debole”



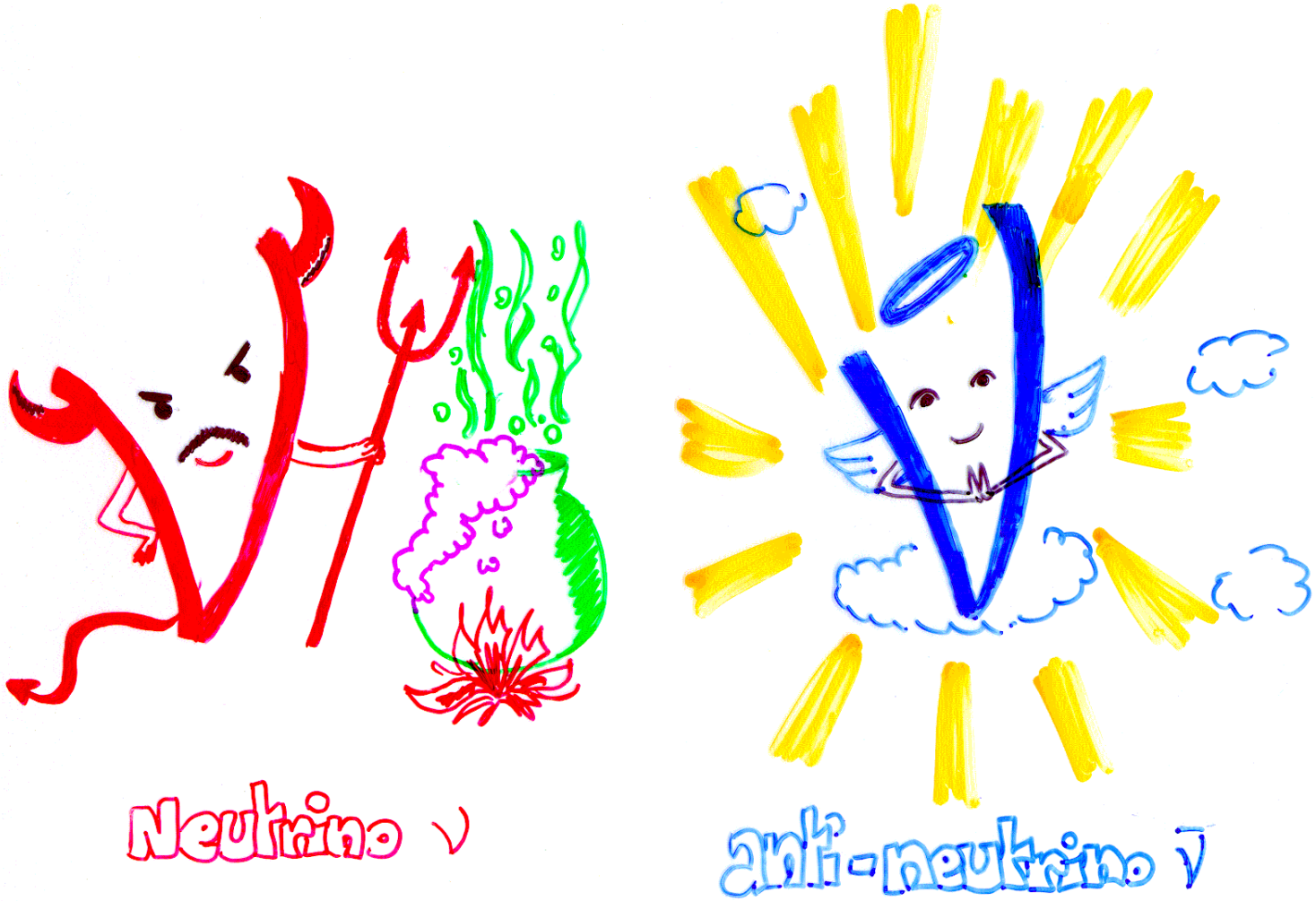
Il decadimento β è un
<u>processo raro</u>:
solo pochissimi nuclei decadono
tra l’enorme loro numero
(Numero di Avogadro 6 x 10^{23} nuclei/mole)

↓

La nuova “interazione” che lo provoca
è detta “<u>Debole</u>”

(le “interazioni” tra corpi generano “forze” sui singoli corpi)

Con le anti-particelle arriva l'anti-neutrino



Le anti-particelle nascono con la Equazione di Dirac (1926) e la scoperta dell'anti-elettrone o "positrone" (Anderson 1932)

Sono denotate da una barra sopra il simbolo

Questa è la "Preistoria" del neutrino

(in assenza di "scrittura" il racconto viene da altro)

Rouffignac (Francia)

Grotta dei Cento Mammuth

(era geologica: Pleistocene)

Lascaux (Francia)

Uomo e "uro" (bue di specie estinta)

(circa 15.000 a.C.)

La “Storia” inizia con la scrittura

Usa caratteri astratti o simboli stilizzati

Permette descrizioni dettagliate e quantitative

Inventata a fini pratici: commercio, inventari ..

Scrittura cuneiforme su tavoletta sumerica (circa 3 millenni a.C.)

Iscrizione fenicia su foglia d’oro (Pyrgi-Lazio, V-VI secolo a.C.)

Così inizia la "Storia" del neutrino

1934 Fermi

Teoria del decadimento β

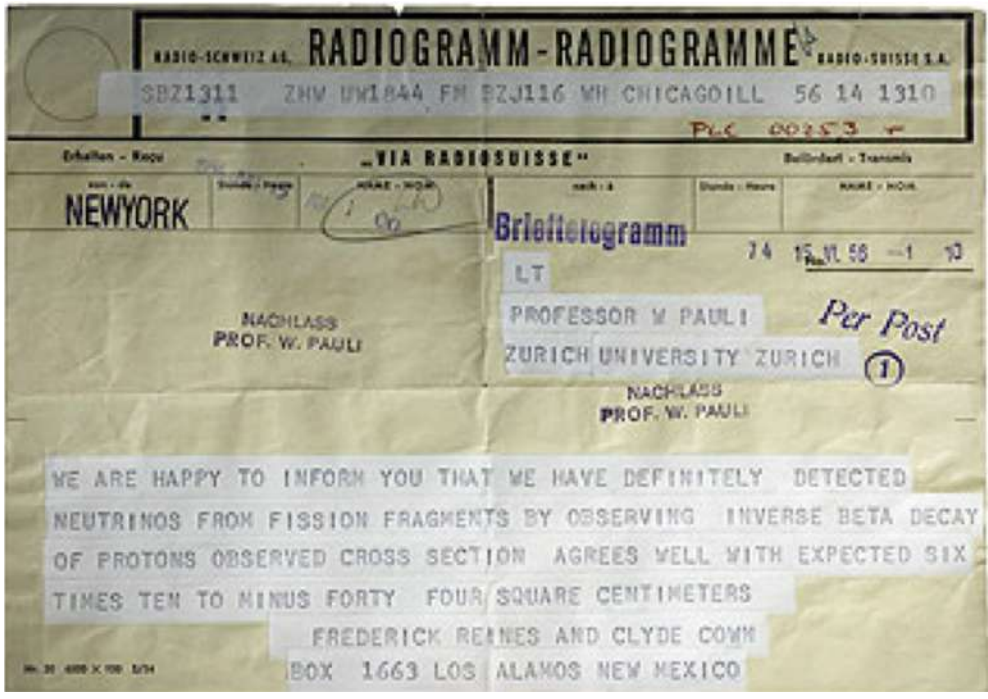
(da osservazioni a descrizione quantitativa)

1956 Reines e Cowan

Osservazione diretta del neutrino (non più "ipotesi")

tramite le sue interazioni:

la sua "scrittura"


RADIOGRAMM-RADIOGRAMME

SBZ1311 ZHV UW1844 FM BZJ116 WU CHICAGOILL 56 14 1310

„VIA RADIOSUISSE"

NEWYORK

Brieftelegramm

LT

PROFESSOR W PAULI

ZURICH UNIVERSITY ZURICH

Per Post

NACHLASS PROF. W. PAULI

NACHLASS PROF. W. PAULI

WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS

FREDERICK REINES AND CLYDE COWN

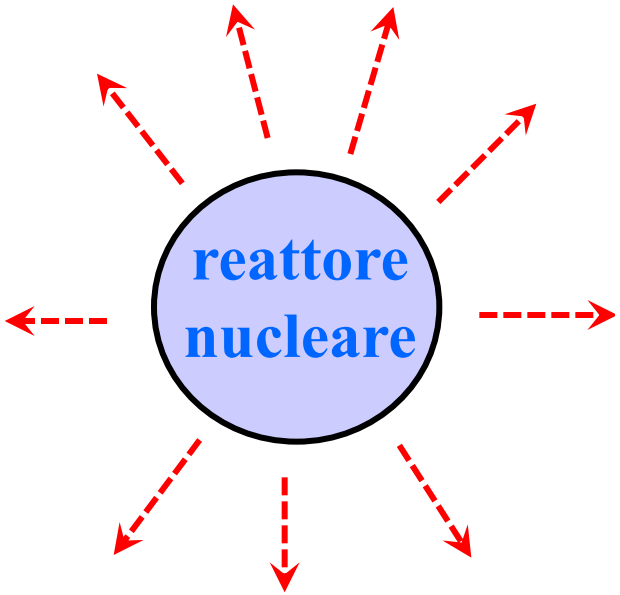
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO

26 anni dopo l'ipotesi di Pauli, Reines e Cowan gli telegrafano che hanno "visto" il neutrino

I 26 anni danno conto delle difficoltà sperimentali date dalle interazioni "deboli" del neutrino

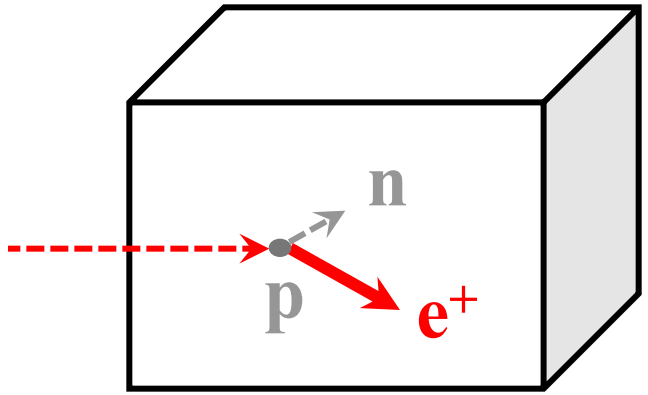
Osservazione "diretta" del neutrino tramite le sue interazioni "deboli"

(Reines e Cowan 1956, idea di Pontecorvo 1946)



intenso flusso
di $\bar{\nu}$

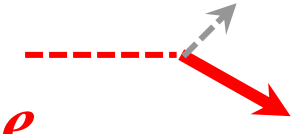
Apparato sperimentale
di "**grande" massa**



$\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$

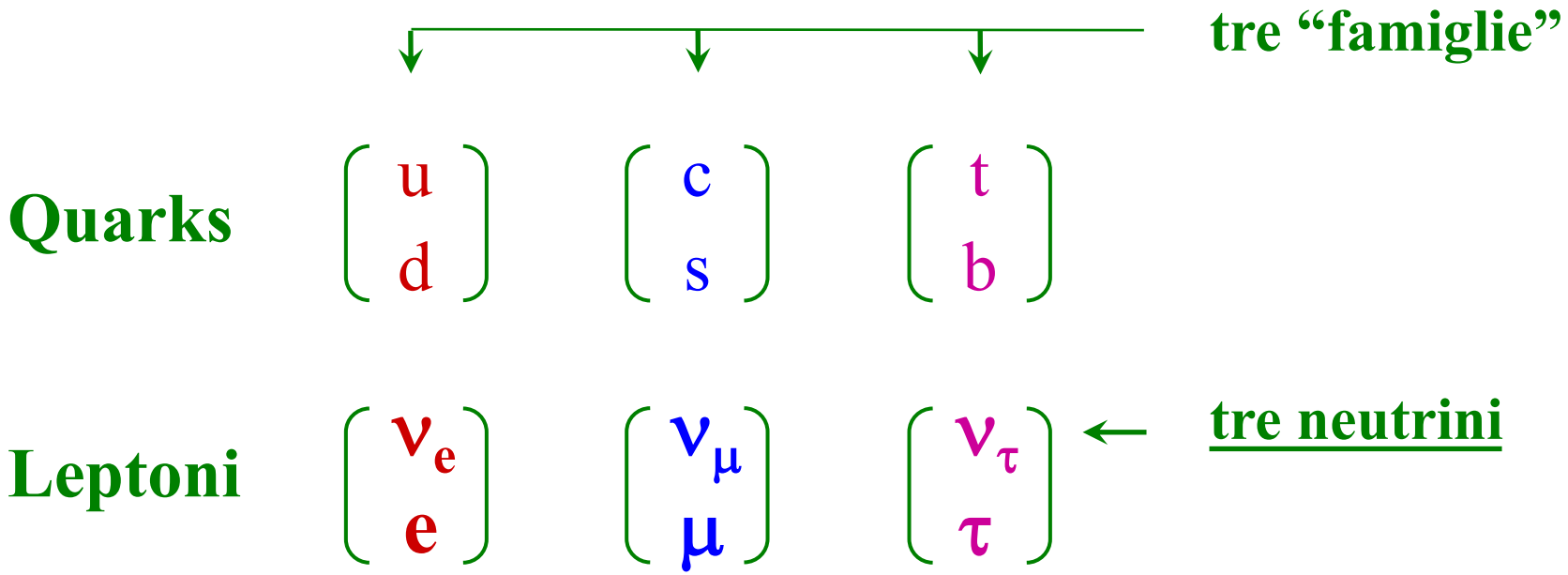
n neutro, p quasi a riposo:
nessuno dei due è visto

La "firma" del neutrino



nulla di visibile entra, esce un positrone

Il neutrino tra le "Particelle Elementari", oggi



Sono "particelle elementari" in senso assoluto?
Emergerà una più profonda struttura della materia?

Il neutrino: una particella veramente speciale

Massa "assunta come nulla" sino a recenti scoperte
di cui si parlerà

Bassissima probabilità di interagire con la materia

↓

esperimenti difficili

Il neutrino ha ancora ancora molti misteri!

Juan Miró (1893-1988)

Il bel volatile decifra l'incognito a una coppia di innamorati

Museum of Modern Art (New York)

Il fascino del mistero è un motore di conoscenza

Il perché lo dice Ulisse:

"Fatti non foste per viver come bruti ma per seguir virtute e conoscenza"

Dante Alighieri
La Divina Commedia
Inferno Canto XXVL

Ulisse
Gruppo di Polifemo
Scultori ellenistici rodii
II metà del I secolo a.C.
Rinvenuto nelle Grotta di Tiberio (1957)
Museo Nazionale di Sperlonga

Il neutrino e le "Interazioni Fondamentali", oggi

Anni '70-'80
Unificazione
Elettro-Debole

	Mediatori	Intensità relativa
Forte (nucleare)	**gluoni**	**1**
Elettro-Magnetica	**γ**	**10^{-2}**
Debole	**$W^{\pm}$, Z^{o}**	**10^{-6}**
Gravitazionale	**?**	**10^{-40}**

Quarks	**Forte** (+ E.-M. + debole)
e^- , μ^- , τ^-	**Elettro-Magnetica** (+ debole)
Neutrini	**Debole**

I neutrini hanno interazioni puramente Deboli

Sono quindi uno straordinario strumento per studiarle

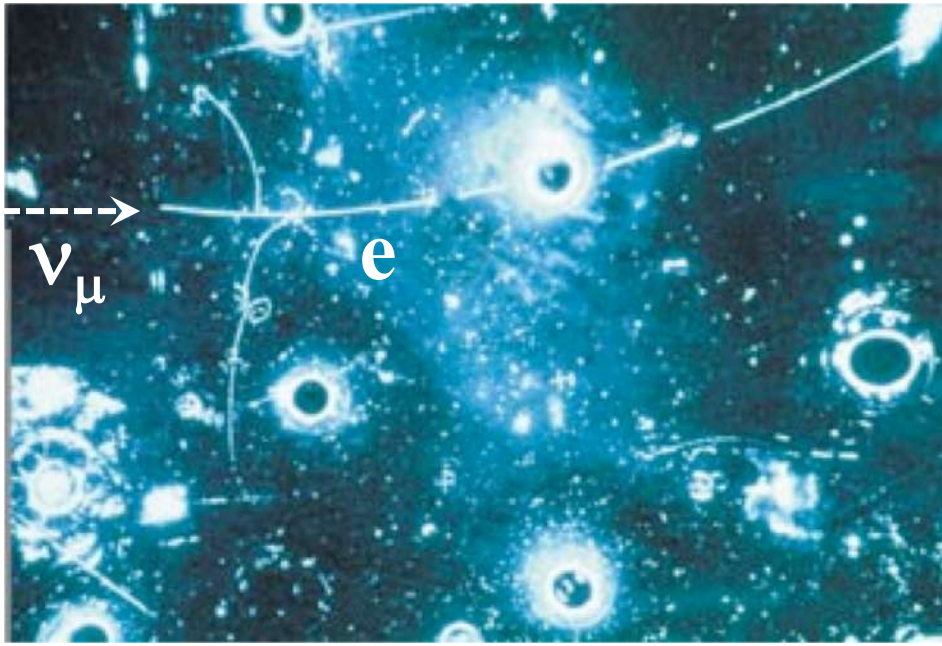
Il neutrino e la "unificazione" delle interazioni

1666 Newton: "Gravitazione Universale" (caduta mela e moto corpi celesti)

1864 Maxwell: "Elettro-Magnetismo"

Anni '70 Glashow Weinberg Salam: Teoria "Elettro-Debole"

1973 CERN:
una altrimenti inattesa interazione di neutrino dà la prima evidenza sperimentale della Teoria Elettro-Debole



$\nu_\mu + e \rightarrow \nu_\mu + e$ *in una "camera a bolle"*

1983 CERN: l'osservazione diretta di $W^{\pm}$ e Z^0 dà conferma definitiva della Teoria Elettro-Debole

A che servono i neutrini?

Senza neutrini, il Sole non darebbe calore !

Non ci saremmo noi, non ci sarebbe vita sulla Terra

Michelangelo Merisi, detto il Caravaggio (1573-1610)
Cestino con frutta (1590?), Galleria Ambrosiana (Milano)

Le reazioni nucleari nel Sole

Tanta energia irradiata non può venire da reazioni chimiche (Eddington 1920)

Fusione di protoni (p) in Deuterio (d) e Elio (He)

$$p + p \rightarrow d + e^{+} + \nu$$

$$d + p \rightarrow {}^{3}He + \gamma$$

$$^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2p$$

$$p + p \rightarrow {}^{4}He + \nu + \gamma + \ldots$$

Senza emissione di neutrini ν le reazioni non avverrebbero e il Sole non splenderebbe

γ: luce e calore

L’enorme flusso di neutrini solari sulla Terra

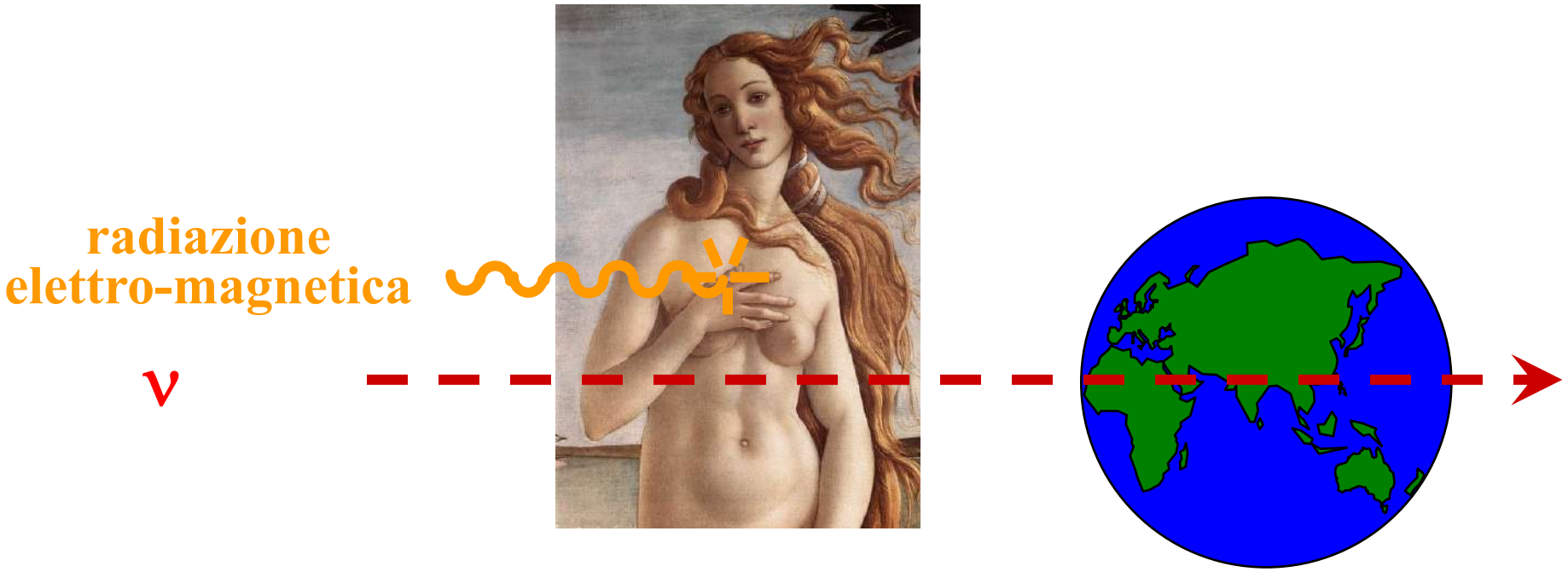
Intenso come quello di luce e calore (γ)

http://lsned.com

Ogni secondo 100 miliardi di neutrini solari attraversano un’unghia

Perché siamo sensibili alla radiazione elettro-magnetica (I.R., luce, U.V., γ) ma non ai neutrini?

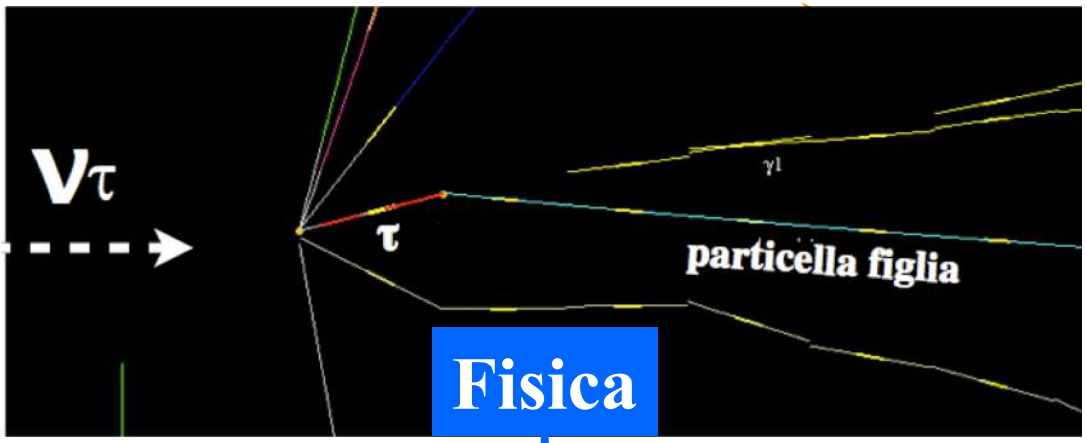
La radiazione elettro-magnetica interagisce con il nostro corpo e vi deposita la sua energia (calore)



I neutrini attraversano perfino la Terra!

Attraversano il nostro corpo senza interagire: non hanno alcun effetto!

Il neutrino è un "punto nodale" nella ricerca



Fisica

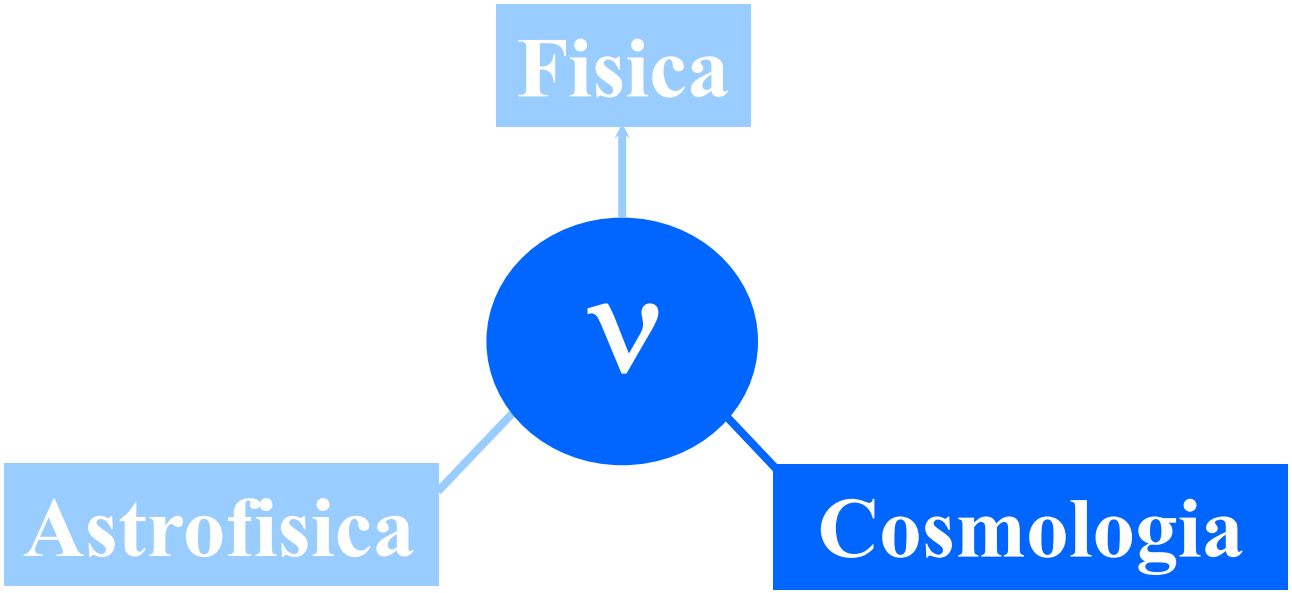
ν

Astrofisica

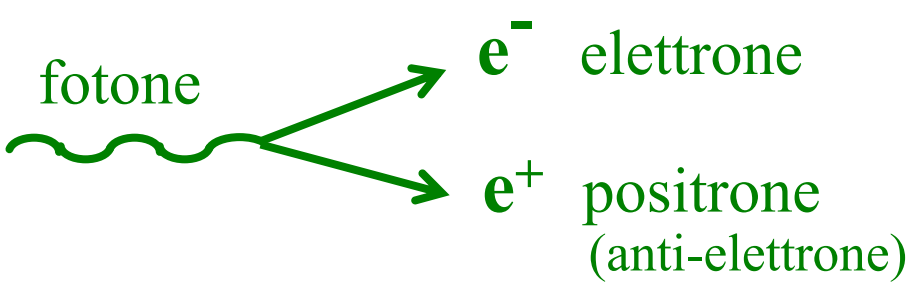
Cosmologia

Vedremo alcuni esempi

I neutrini
e l'apparente assenza di anti-materia nell'Universo



I processi elementari al Big Bang hanno creato materia e anti-materia <u>in misura eguale</u>



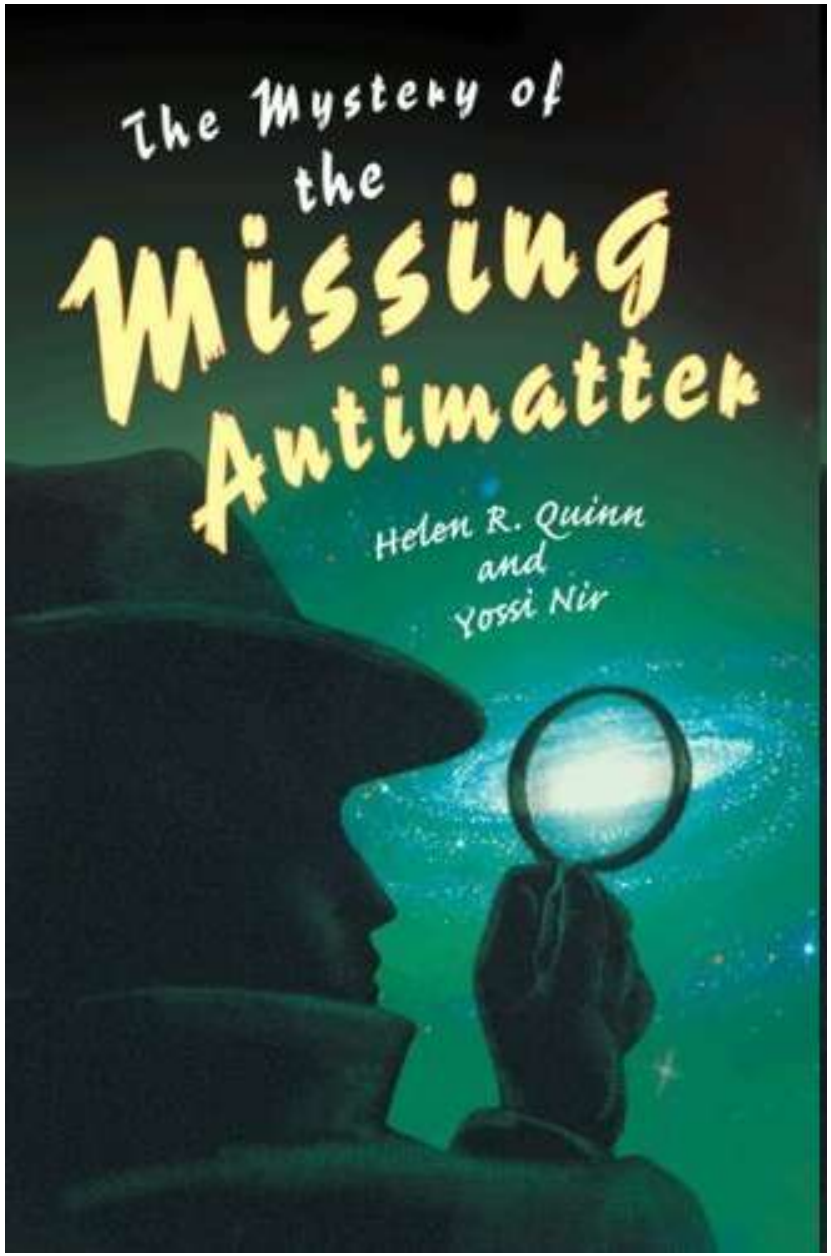
Se ci fosse ancora anti-materia?

Rischio di disastrosa "annichilazione"

materia → ← **anti-materia**

Come mai la materia ha per fortuna prevalso sull'anti-materia?

Il mistero dell'anti-materia scomparsa



Oltre 10 miliardi di anni dal Big Bang

Per spiegare il mistero basta una minima asimmetria ("CP") nel divenire di particelle e anti-particelle!

Vi è tra quarks e anti-quarks
ma lo spiega solo parzialmente

Ci vorrebbe una asimmetria CP anche per i neutrini !

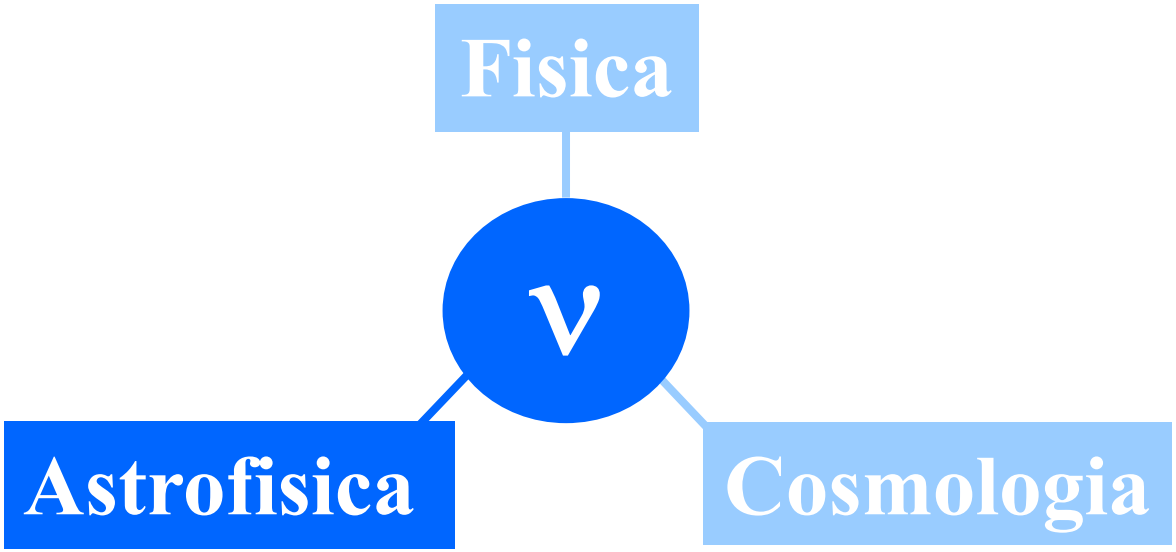
Oggi non siamo capaci di scoprirla, ma si sta pensando a come farlo …

I neutrini dalle stelle e dal Cosmo sono eccezionali "messaggeri astrofisici"

↓

"Astrofisica con Neutrini"

Premio Nobel 2002 a Davis e Koshiba per averla iniziata



Grazie alla loro Interazioni Deboli …..

I neutrini prodotti nel Sole emergono dal suo interno

e parlano di come è prodotta l'energia di Sole e stelle

Ogni altra radiazione (luce, ..) viene assorbita

I neutrini possono giungere a noi dal Cosmo più remoto

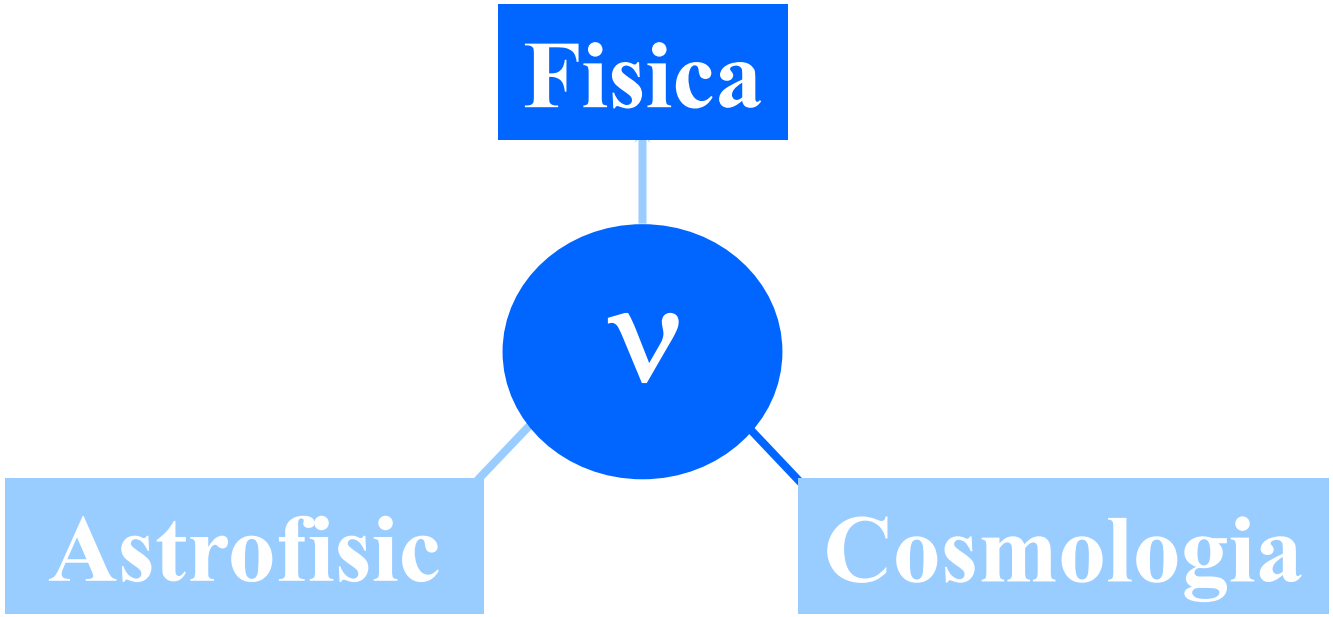
e dirci sugli immani e ignoti fenomeni che vi avvengono

Che cosa ci insegnano i neutrini astrofisici?

Energia del ν

"Reliquie" del Big-Bang	**Che successe negli istanti iniziali?** *Saranno un giorno osservati?*
Solari	**Come funzionano le stelle?** **Massa del neutrino** *Vari esperimenti, anche al Gran Sasso*
Da interazioni di raggi cosmici con l'atmosfera	**Massa del neutrino** *Vari esperimenti, anche al Gran Sasso*
Da Supernovae	**Quali ne sono i meccanismi?** *Osservati una sola volta (SN 1987A)*
Dal Cosmo ad altissima energia	**Quale è l'origine dei Raggi Cosmici?** *Telescopii neutrinici*

I neutrini e la Fisica, oggi



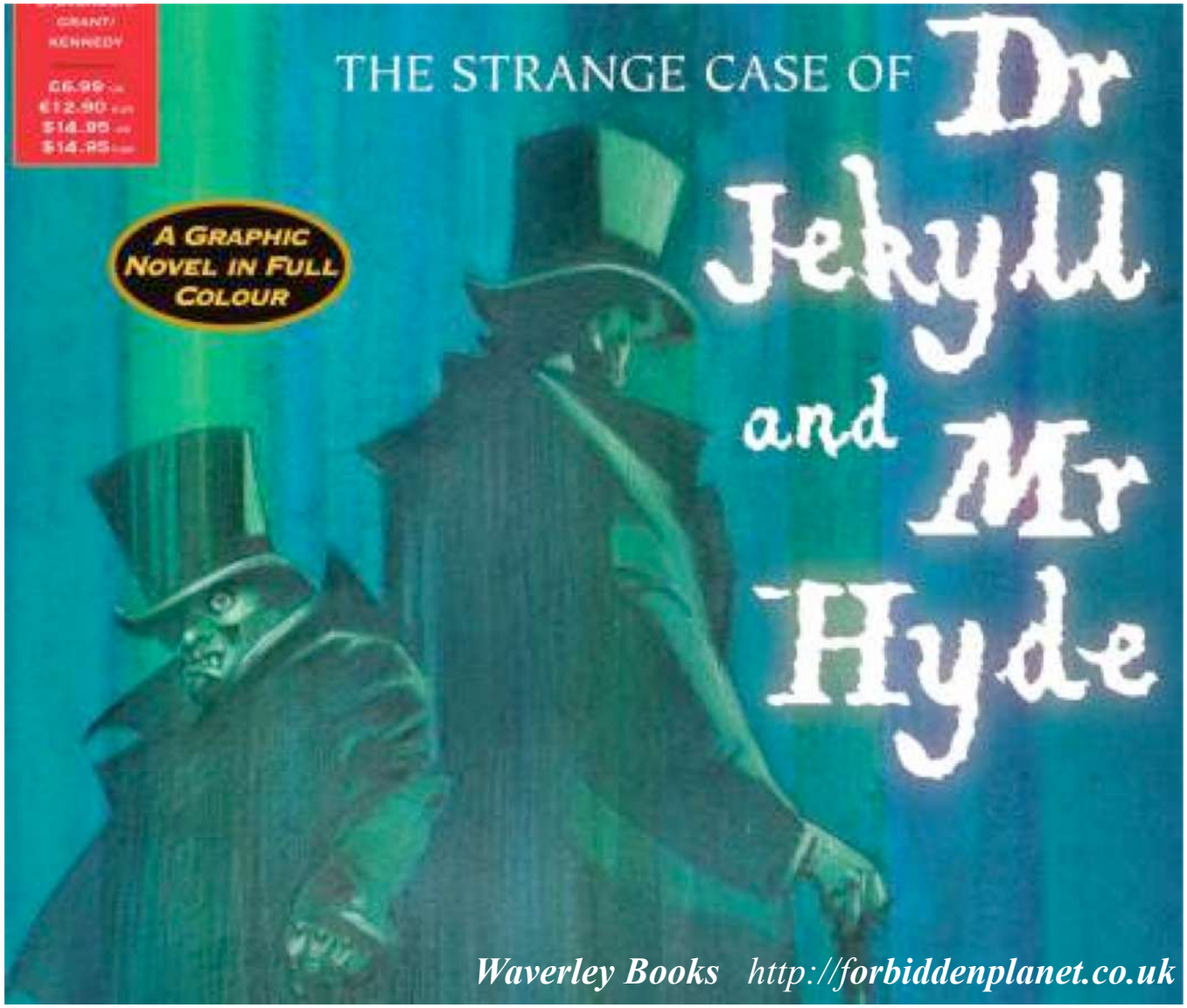
Proprietà fisiche del neutrino: tanti interrogativi

carica elettrica	0
momento angolare di "spin"	½
interazione con la materia	"debole"
<u>massa</u>	piccolissima*: quanto?
violazione della "simmetria CP"	???
$\nu \neq \bar{\nu}$ *(Dirac)* o $\nu = \bar{\nu}$ *(Majorana)*	???
altre proprietà	???

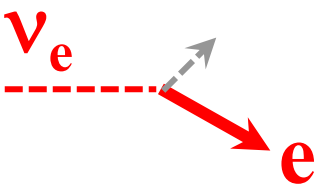
** Recente scoperta: i neutrini hanno massa (si vedrà tra poco)*
Ma in scala assoluta si sa solo che è minore di
un miliardesimo di quella del protone

Due “anime” anche per il neutrino

come nel racconto di Stevenson

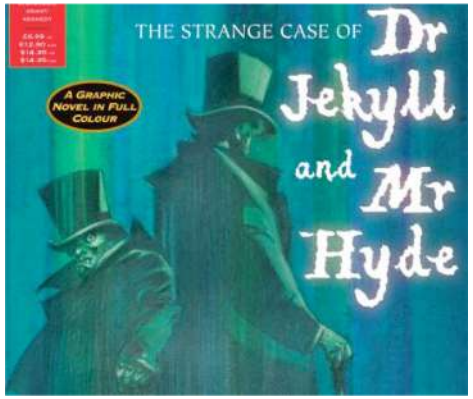


“Anima” <u>diversa</u> secondo quello che fanno
(Meccanica Quantistica)



<u>Nascono e muoiono</u> essendo i soliti ν_e ν_μ ν_τ

- prodotti assieme a **e** μ τ
- interagendo con la materia producono **e** μ τ
- <u>non</u> hanno massa definita



<u>Viaggiano</u> in incognito come ν_1 ν_2 ν_3

- hanno <u>massa definita</u>

Come convivono le due "anime" del neutrino?

ν_1 ν_2 ν_3 sono "**miscugli**" di ν_e ν_μ ν_τ
e viceversa

Vediamo un singolare fenomeno che accade con i neutrini

L'acceleratore produce

ν_μ

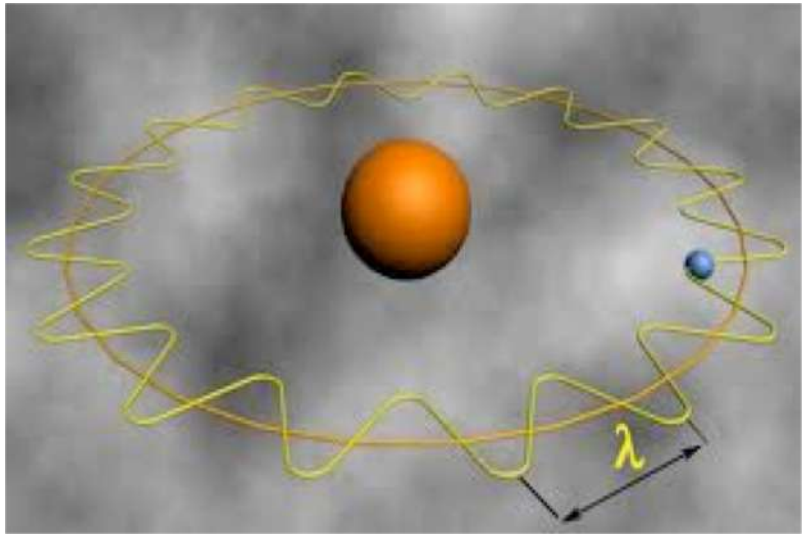
miscuglio di

ν_1, ν_2 e ν_3

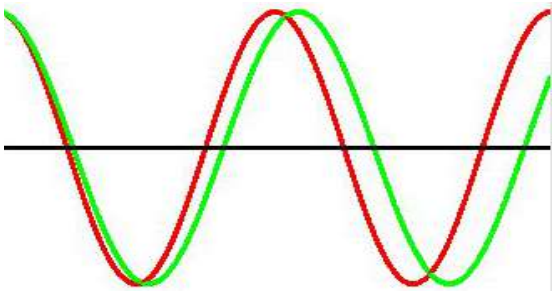
I neutrini ν_1 ν_2 ν_3 viaggiano come "onde"
(Meccanica Quantistica-Ondulatoria)

Le "particelle" si comportano come "onde"
(Dualismo onda-particella)

In figura, l'elettrone in un atomo
(http://home.teletu.it/chimicagenerale)



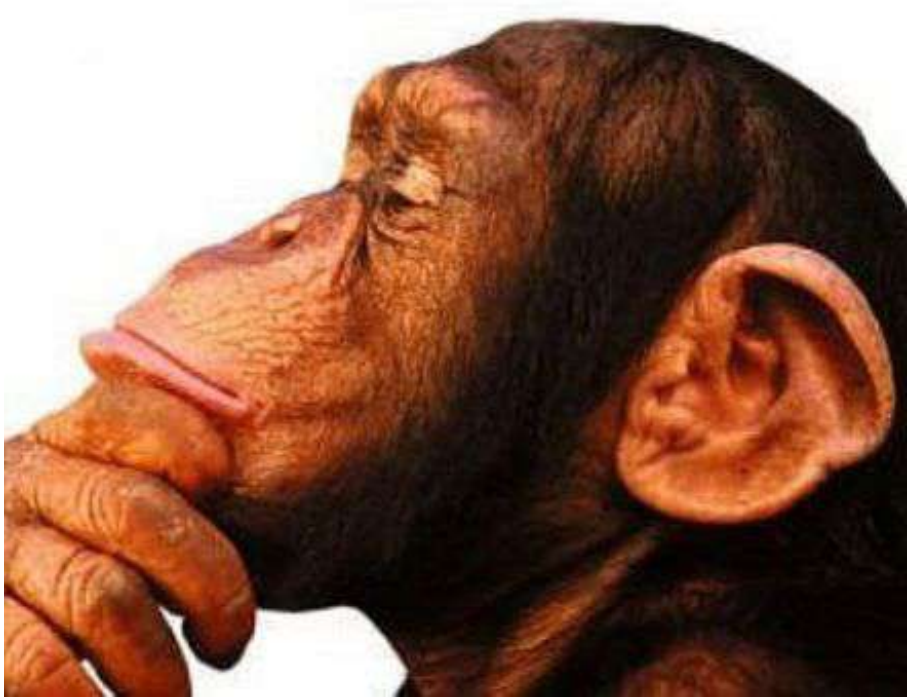
ν_1 ν_2 ν_3
se hanno <u>massa</u> diversa si propagano con <u>lunghezza d'onda</u> diversa



si sfasano tra di loro !

Che può succedere?

Pensiamo



Per i neutrini la magia è realtà: possono cambiare identità!

L'acceleratore produce

ν_μ

miscuglio di
ν_1 ν_2 ν_3

Le lunghezze d'onda di ν_1 ν_2 ν_3 dipendono dalle loro masse

Se diverse, le onde si sfasano

------→

L'esperimento talvolta vede

ν_τ

miscuglio diverso da ν_μ

M.C. Escher, Metamorphose III (1967-68), parte di una xilografia di 0.2 m x 7 m

Il fenomeno è detto "oscillazione di neutrino"

Pontecorvo 1957

Maki, Nakagawa e Sakata 1962

Pontecorvo e Gribov 1969

Bruno Pontecorvo

Un pioniere anche come subacqueo

(fotografato nel Volga)

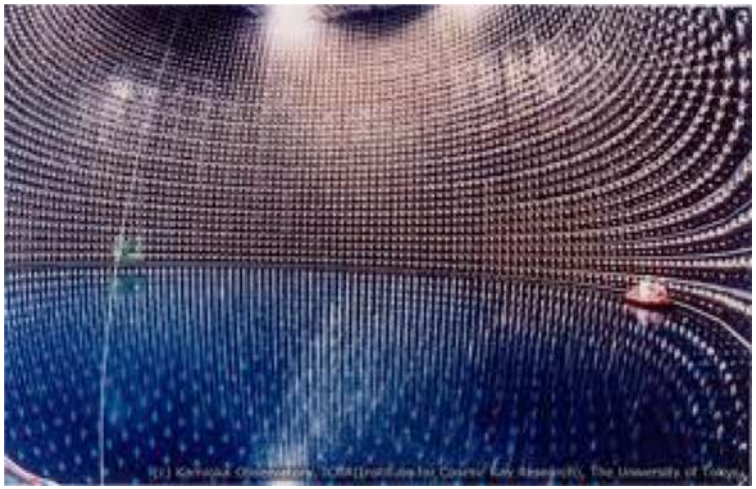
Le oscillazioni di neutrino hanno permesso di scoprire che la loro massa non è nulla

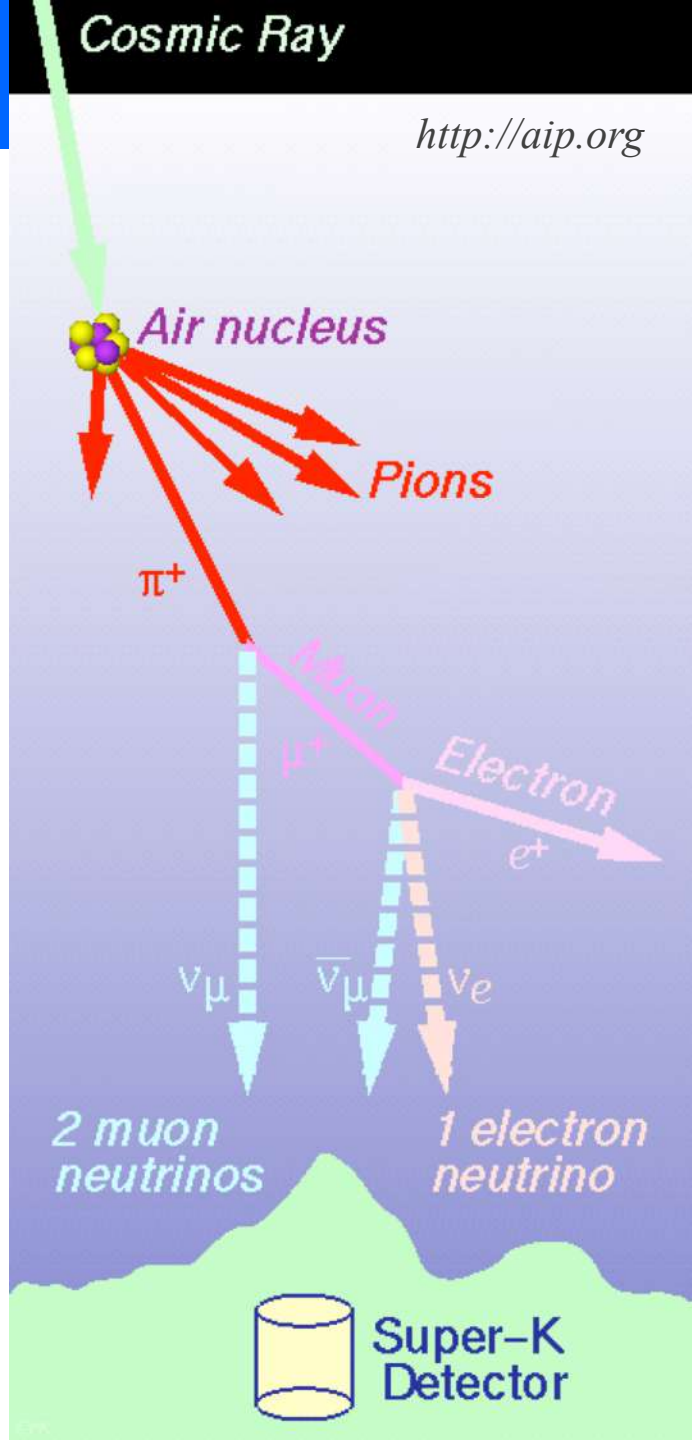
Il mistero del ν_μ scomparso

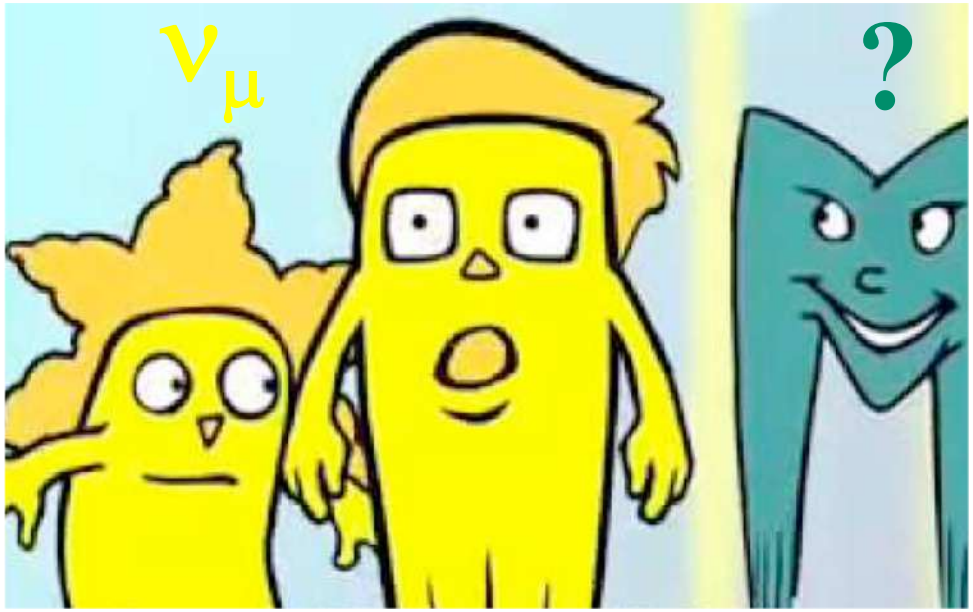
I raggi cosmici interagendo con l'atmosfera producono neutrini

"Sparizione" di ν_μ

osservata dall'esperimento sotterraneo Super-Kamiokande in Giappone: ne manca la metà







“Di certo qualcosa di strano ci avviene nel nostro percorso!”

(emvideo-youtube-xCcqUyFsKAQ.jp)

L’ipotesi sulla scomparsa dei ν_μ

Trasformati per oscillazione in ν_τ ?

(non identificati in Super-kamiokande)

Perché OPERA

Osservazione <u>diretta</u> di "<u>apparizione</u>" di ν_τ

in un fascio di puri ν_μ prodotto al CERN

Il ν_τ come "prova del reato" per dimostrare che avviene una <u>oscillazione</u>

e quindi che il neutrino ha <u>massa</u>

Perché neutrini dal CERN al Gran Sasso?

Le masse dei neutrini sono estremamente piccole

(oltre un miliardo di volte più piccole di quella del protone)

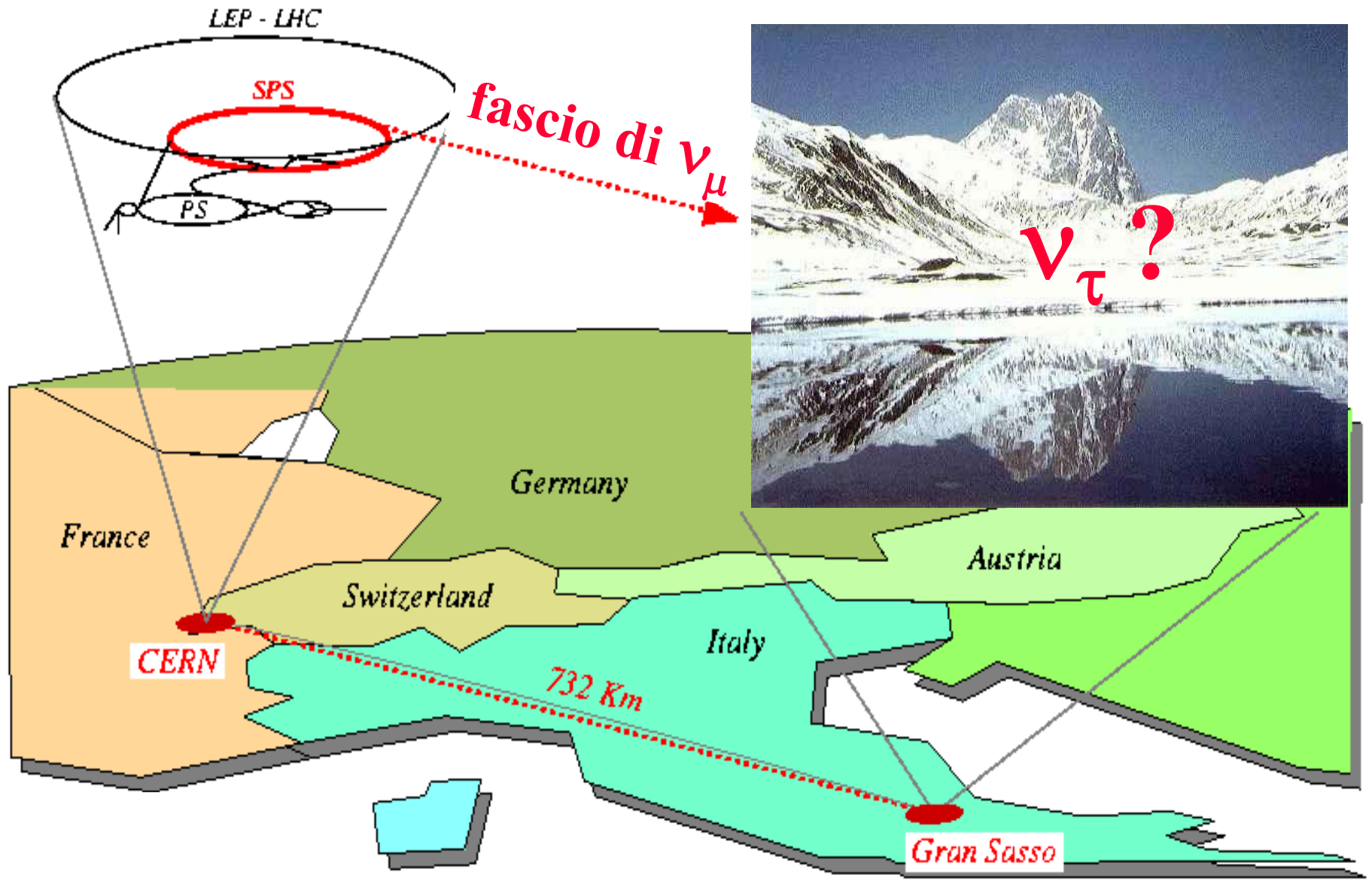
mm^3

m^3

Per vedere un effetto di oscillazione

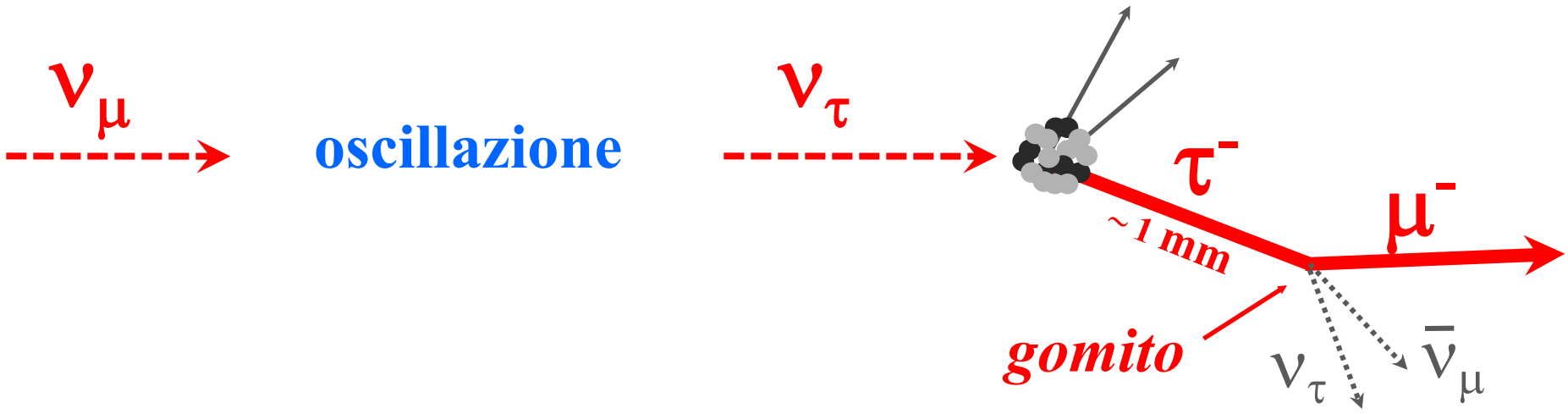
bisogna "far viaggiare a lungo" i neutrini

Fascio di ν_μ dal CERN al Laboratorio Nazionale del Gran Sasso (INFN): 732 km

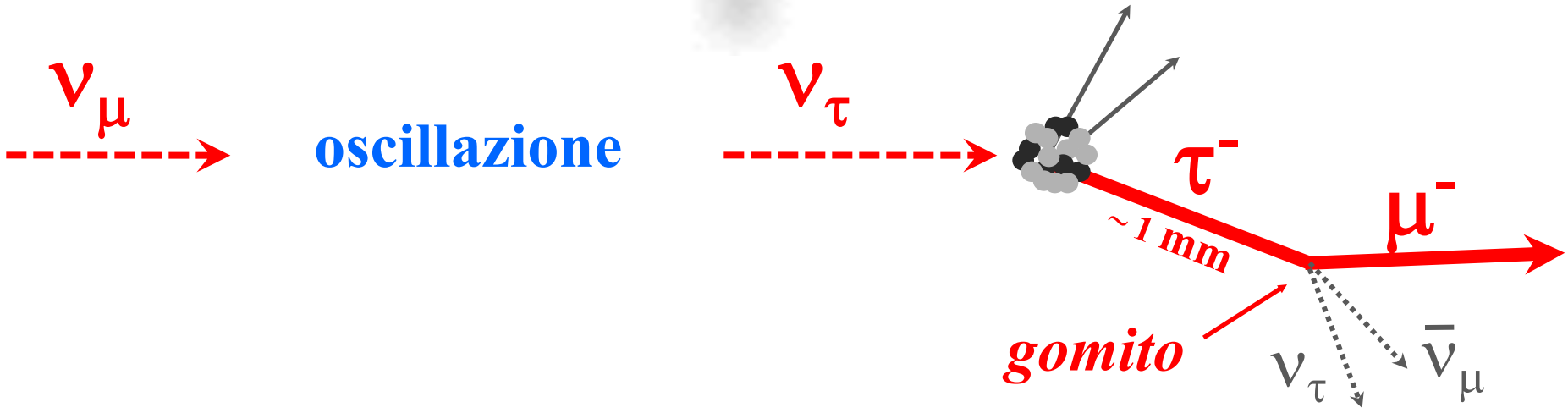


La firma della "apparizione" del ν_τ : il "gomito"

- Il ν_τ interagisce nel "bersaglio" e dà un "leptone τ"
- Il leptone τ vive $\sim 10^{-13}$ s e decade entro ~ 1 mm
- Il suo decadimento lascia una traccia a "gomito" : la firma del ν_τ



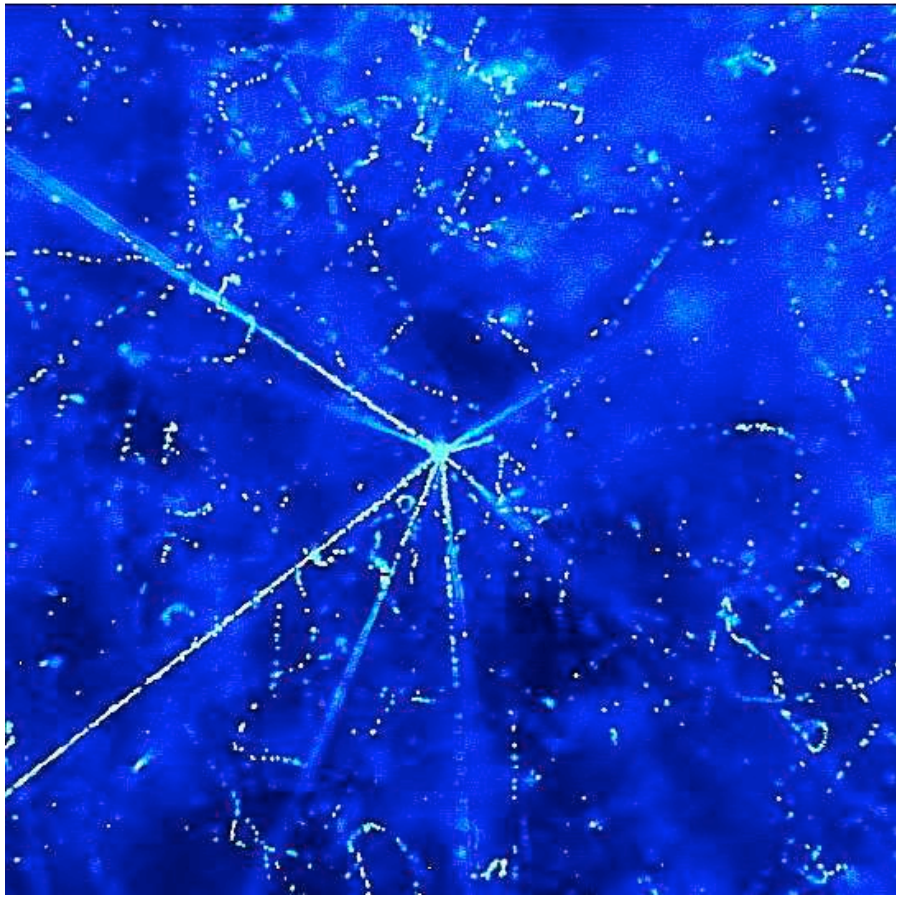
Per rendersi ben conto della scala
a cui il τ va cercato in un apparato di oltre 1000 t



Le “emulsioni nucleari”:
l’unica tecnica capace di “vedere” il gomito del τ

Come pellicole fotografiche, ma:

- “vedono” singole particelle
- risoluzione spaziale
  < 0,001 mm
- immagini in tre dimensioni
  (terza dimensione nello spessore)

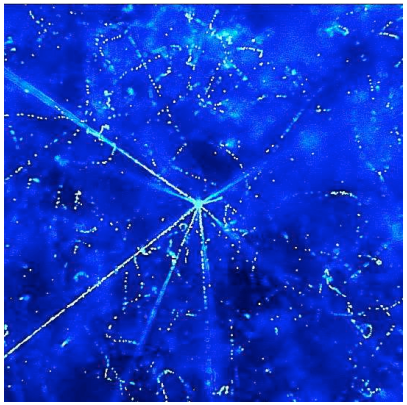


0,1 mm

Interazione di neutrino in emulsione nucleare

(esperimento CHORUS)

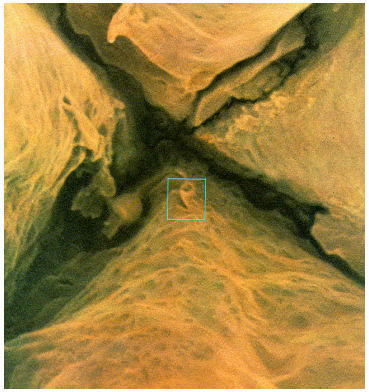
Per avere un'idea della scala



← 0,1 mm →

Interazione di neutrino in emulsione nucleare

← 10 cm →



← 0,1 mm →

La nostra mano

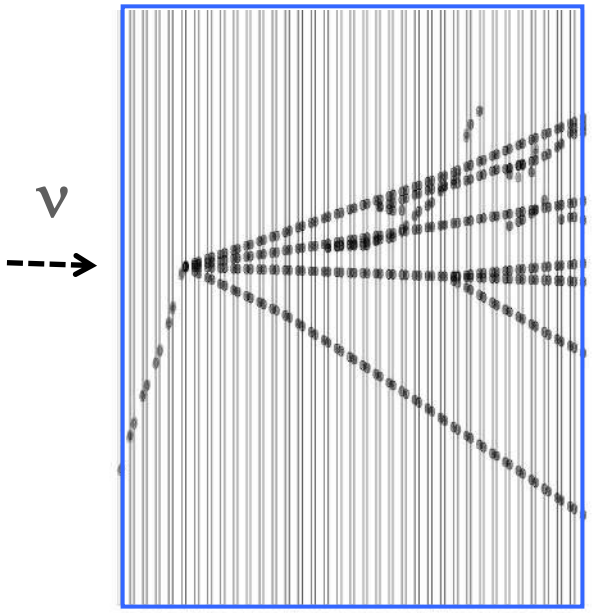
← 0,1 mm →

Embrione umano il "giorno dopo"

Il “mattone” di piombo ed emulsioni

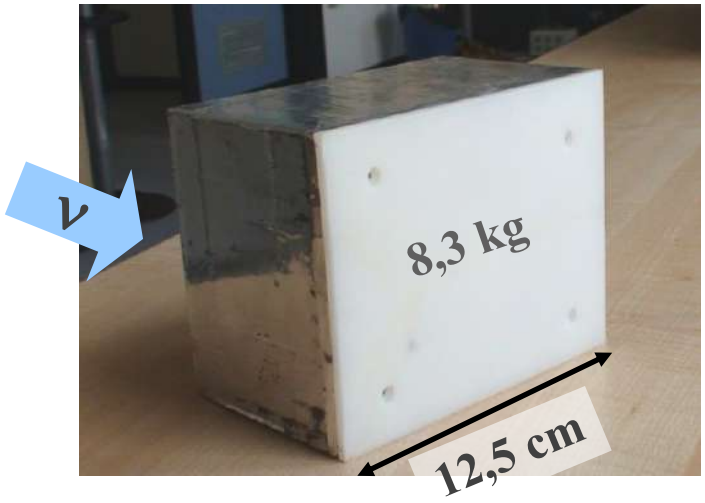
In OPERA alternanza di:

- **placche di piombo (1 mm)**
  → *massa per interazioni di neutrini*
- **film di emulsioni nucleari**
  → *tracciamento micrometrico*

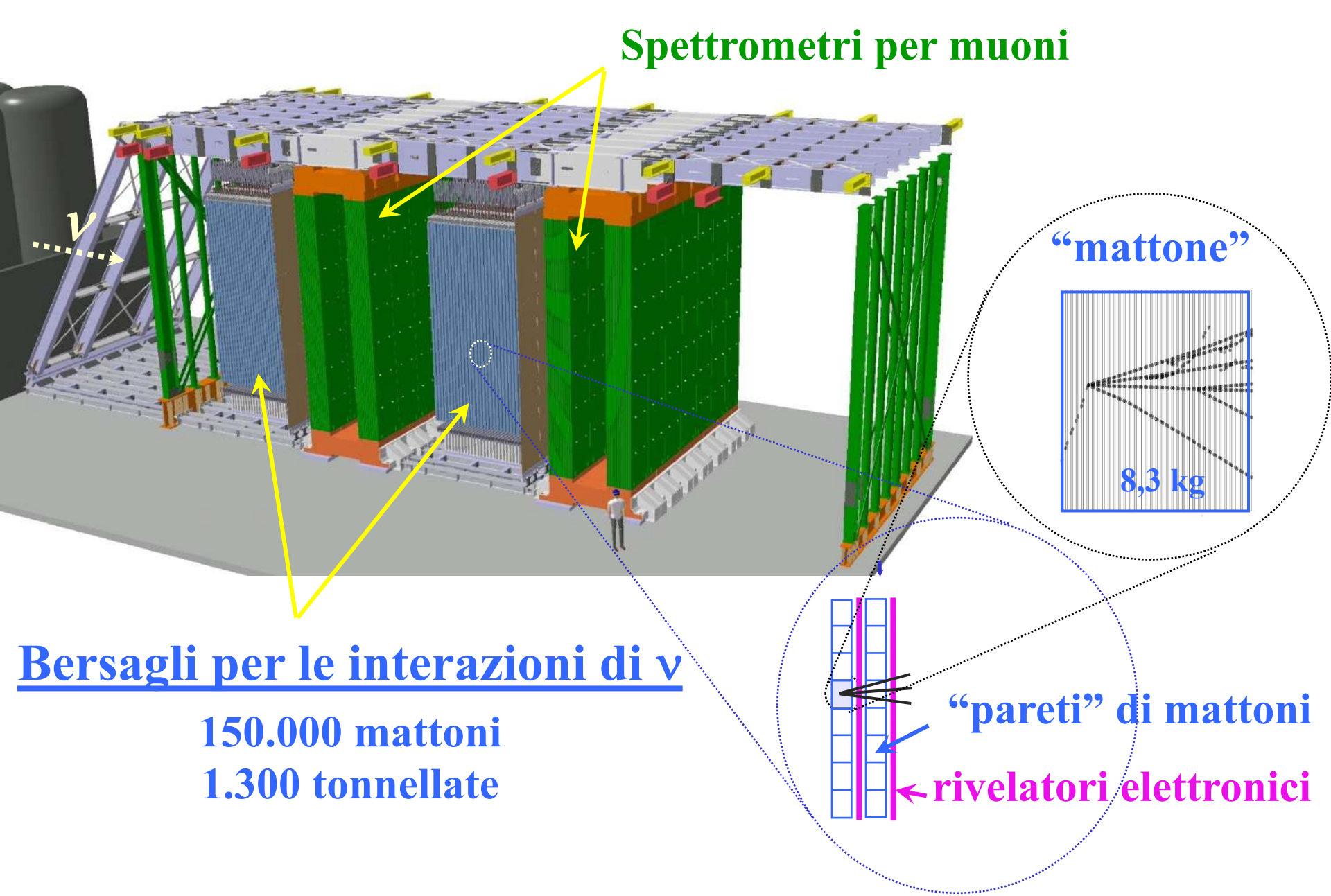


In un “mattone” 57 film di emulsioni

Il mattone è l’elemento modulare del bersaglio per i neutrini:
come per una costruzione



L'apparato sperimentale di OPERA



Bersagli per le interazioni di ν

150.000 mattoni

1.300 tonnellate

OPERA in galleria al Gran Sasso

Le sfide tecnologiche di OPERA

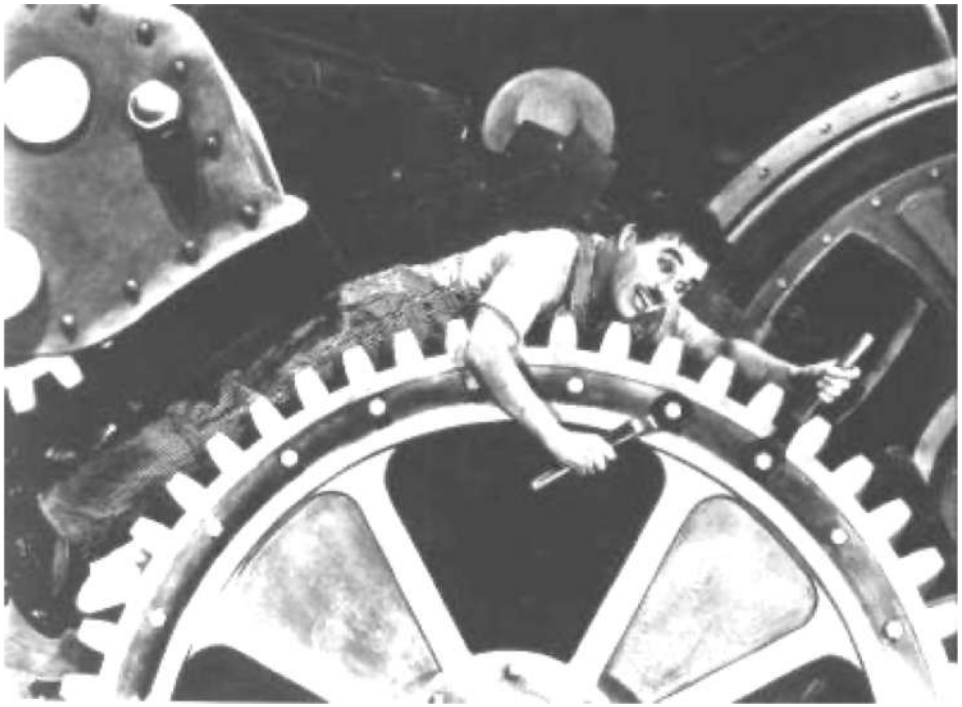
- **Ricerca e sviluppo su emulsioni:**
  alta sensibilità, basso costo, produzione industriale

- **Microscopia automatica:**
  analisi emulsioni ad altissima velocità

- **Robotica:**
  - costruzione dei 150.000 mattoni
  - inserimento dei mattoni nelle pareti
  - estrazione dei mattoni "colpiti" dai ν

- **Sviluppo delle emulsioni:**
  laboratorio automatizzato

- **……..**



Le paure agli inizi dell'era degli automatismi
(dal film "Tempi moderni" 1936)

Microscopio automatizzato per analisi ultraveloce di immagini in tre dimensioni

Altre applicazioni:
Fisica Medica, ...

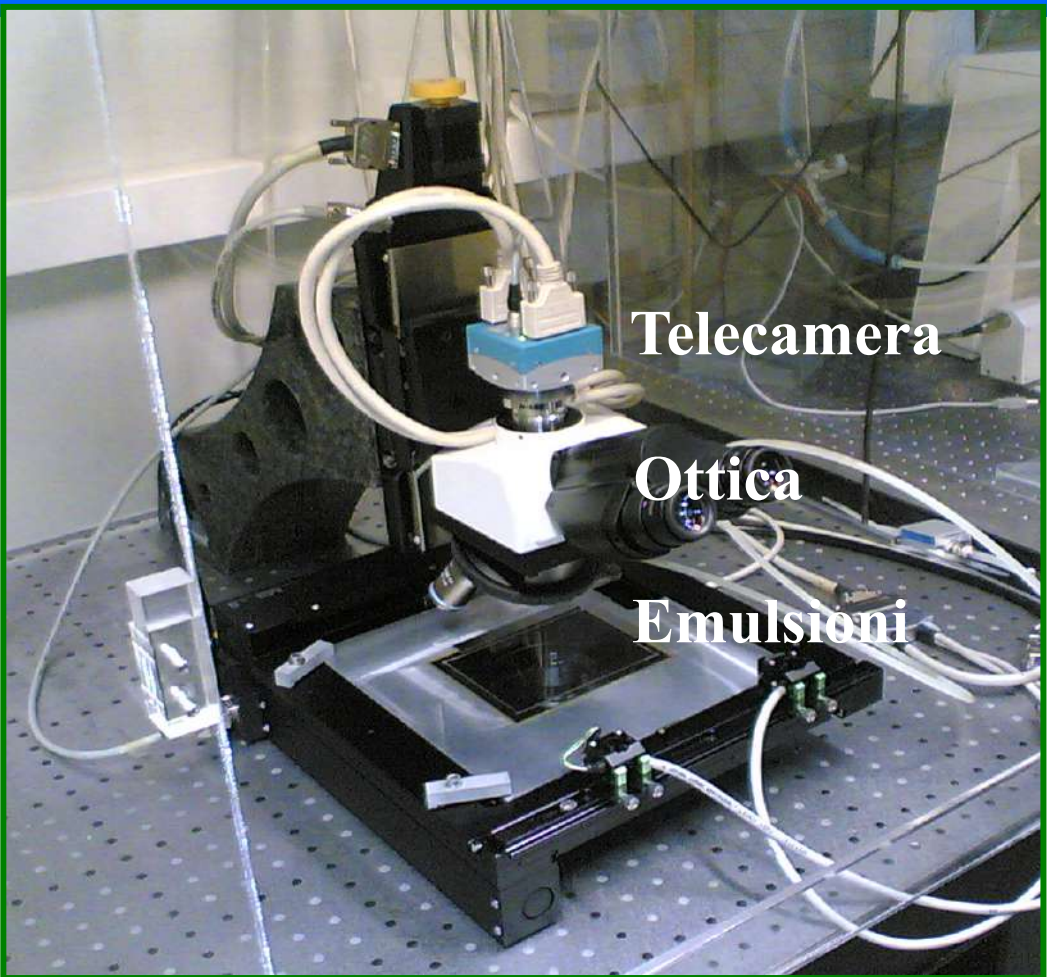


Immagine "tomografica" digitizzata

Terza dimensione: spessore emulsioni (44 μm)

Telecamera digitale

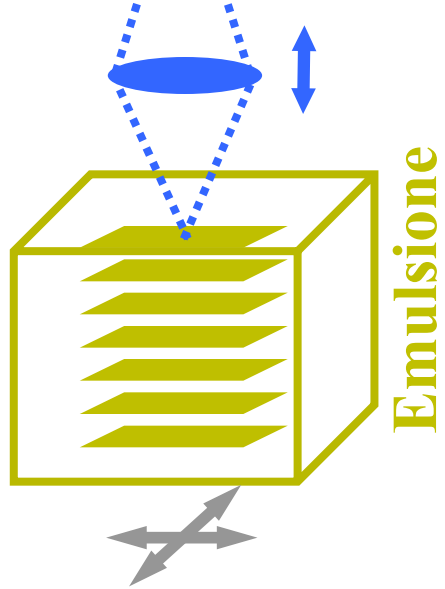
Ottica

profondità di fuoco 0,003 mm

mettendo a fuoco diverse profondità

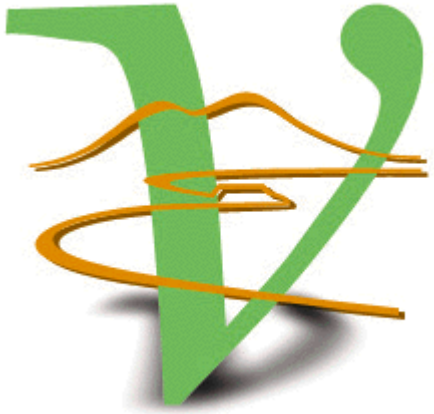
|

"fette ottiche"



Supporto mobile

OPERA e Napoli (INFN e Università Federico II)

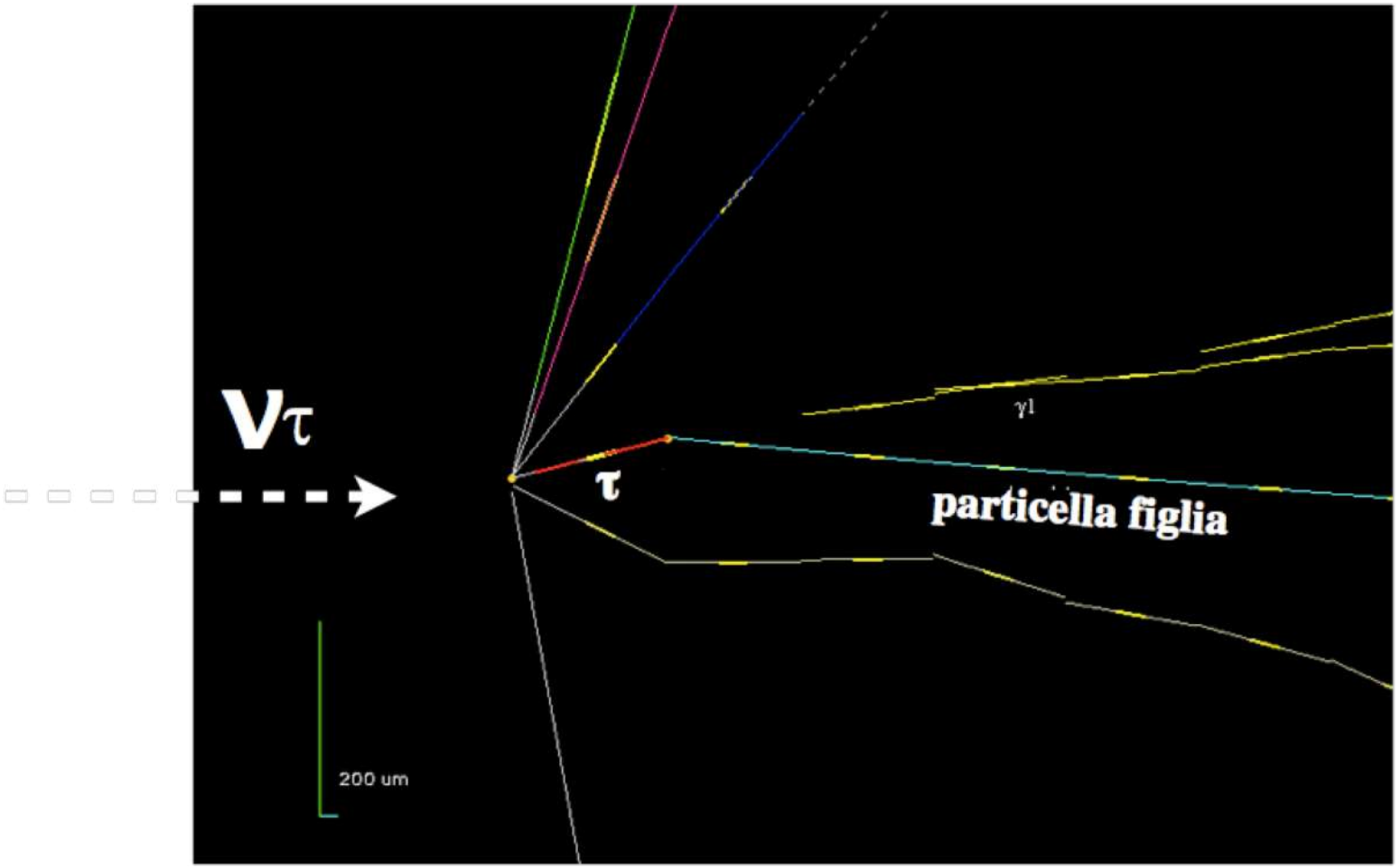


Ruolo fondamentale

- **Concezione e proposta**
- **Sviluppi tecnologici:** microscopia automatica, robotica ...
- **Costruzione**
- **Presa dati**
- **Analisi emulsioni nucleari: Laboratorio Microscopia**
- **Analisi per risultati di fisica**

Il primo evento di "apparizione" di ν_τ

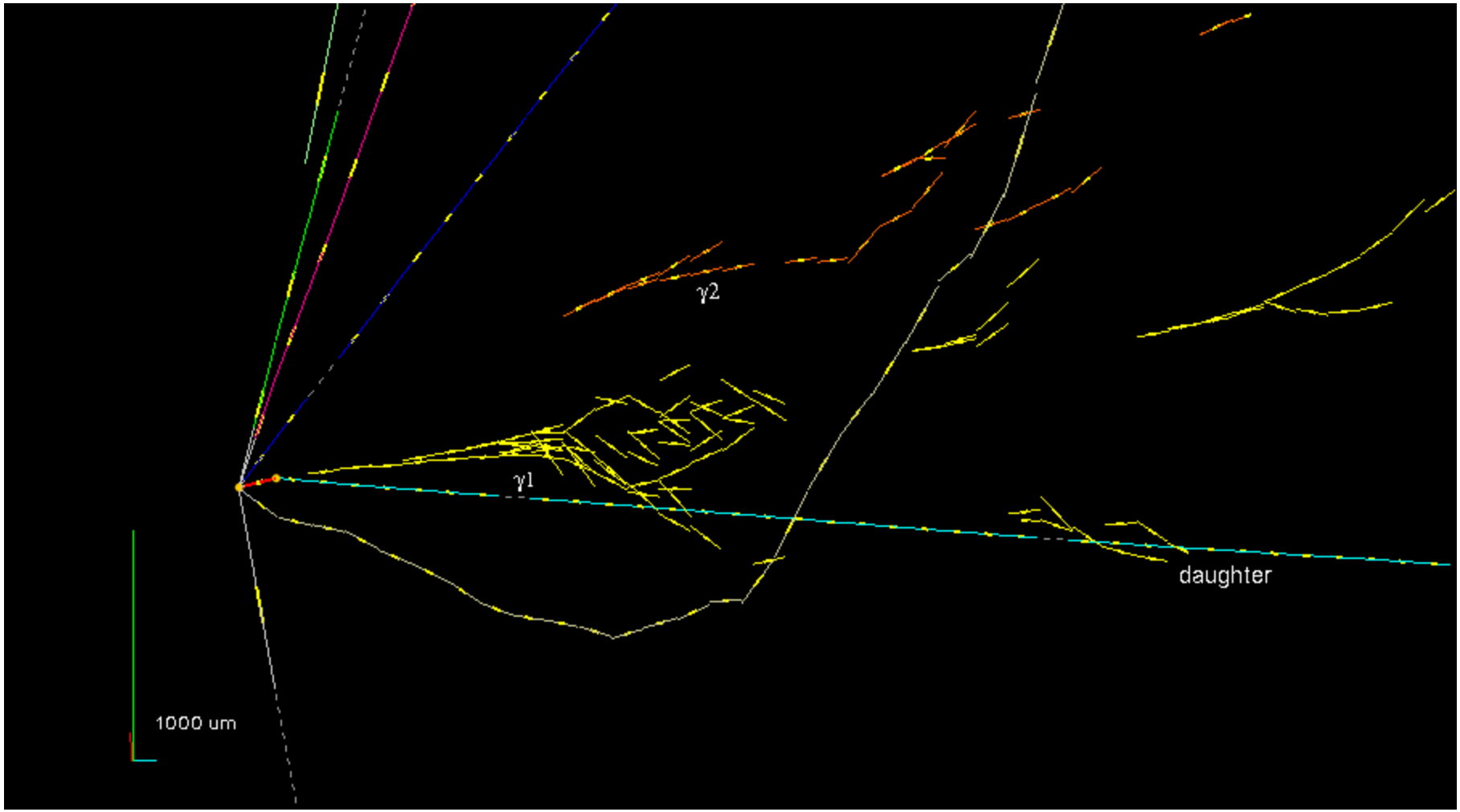
(pubblicato nel 2010)



Alcuni altri eventi necessari per confermare la "scoperta"

La ricerca con OPERA continua ….

Il primo evento di "apparizione" di ν_τ in tre dimensioni



Amo questa particella anche perché mi dimostra che anche i più piccoli possono fare cose importanti

Janet Conrad, 2005

Il seminario sul Web

www.na.infn.it

→ **Elenco telefonico**

→ **Strolin, clic su www**

→ **Seminari per Scuole Medie Superiori**

strolin@na.infn.it