

il neutrino



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*

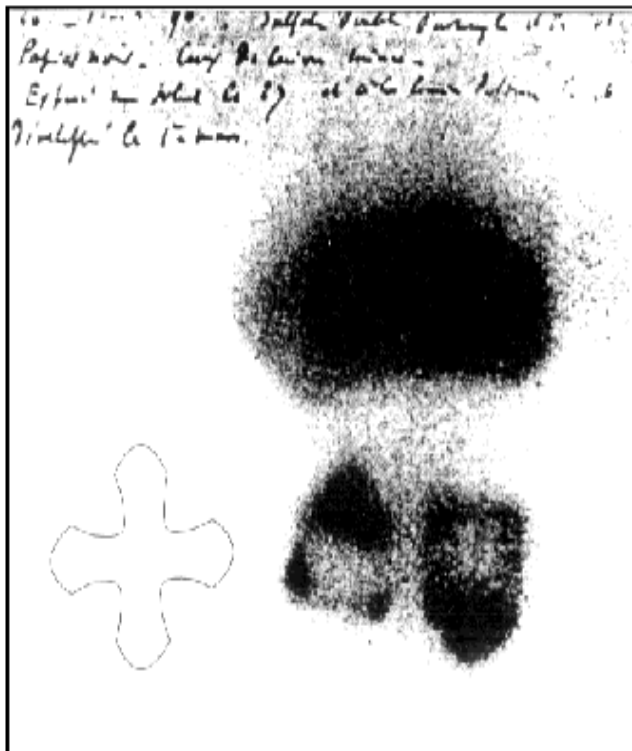
*Paolo Strolin
Febbraio 2013*

Così iniziò l'avventura

1896 Becquerel

Misteriosi “raggi” emessi da sali di uranio

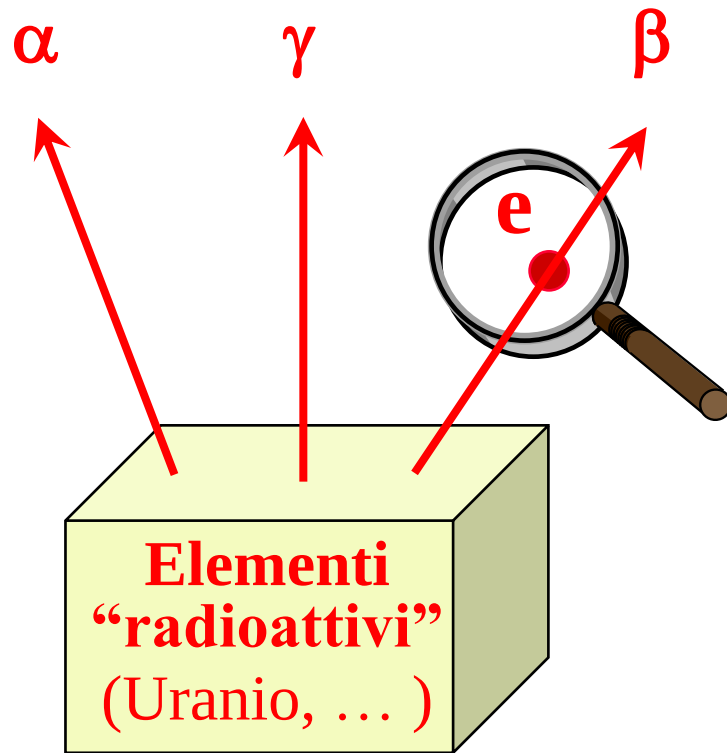
Scoperta (quasi per caso) della “radioattività” naturale



***Lastre fotografiche
riposte al buio in un cassetto
registrano una misteriosa
“radiazione”***

***← 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 trasmutazione di elementi chimici "radioattivi" per loro "decadimento"

1909 Bucherer

I raggi β sono elettroni

La trasmutazione di elementi : il sogno degli alchimisti (ma metalli in oro se possibile!)

*"Il laboratorio dell'alchimista"
(particolare)*

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

Palazzo Vecchio (Firenze)

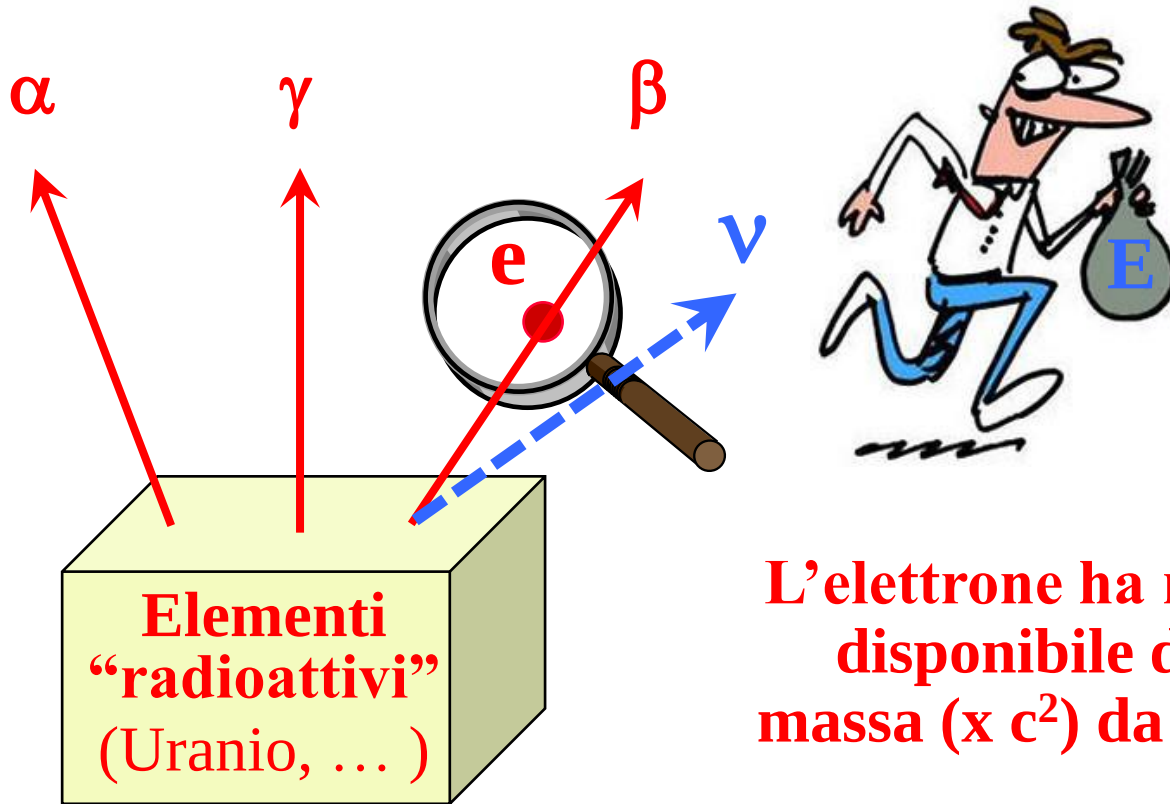
Raffigura di fatto

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

<http://antologiaincontri.scuola.com>



Mistero: nel decadimento β scompare energia



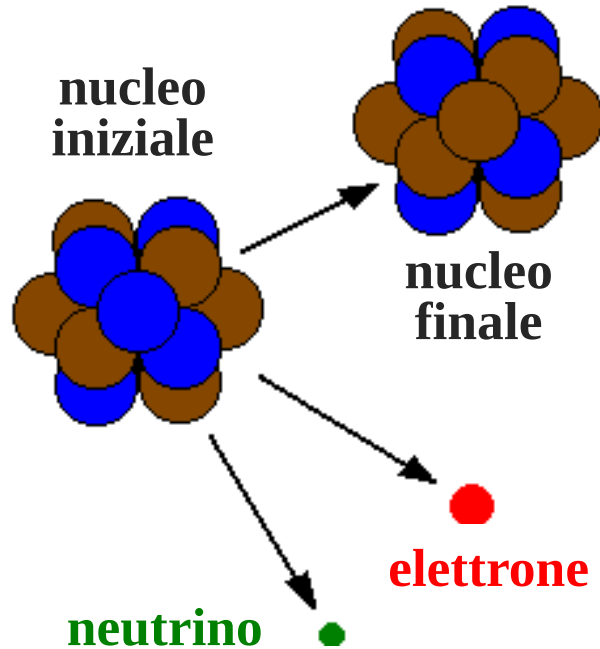
Vi è un ladro di energia?

L'elettrone ha meno dell'energia resa disponibile dalla diminuzione di massa ($\times c^2$) 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”



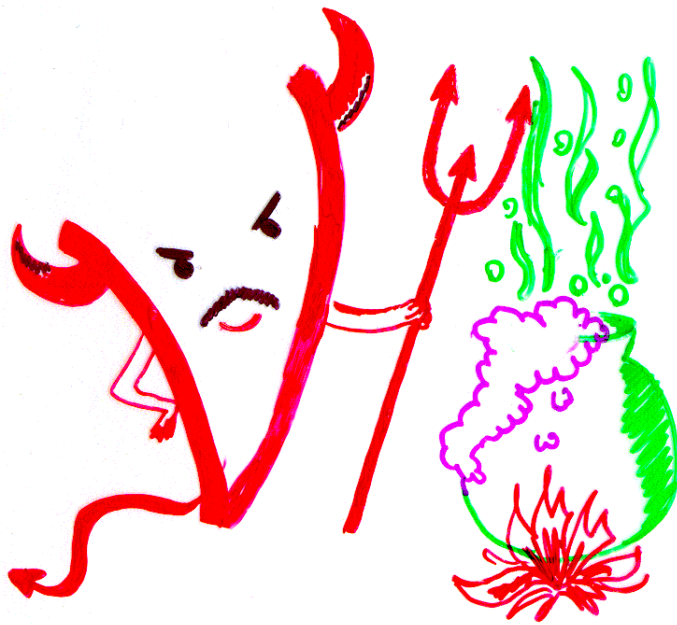
Il decadimento β è un
processo raro:
solo pochissimi nuclei decadono
tra l'enorme loro numero
(Numero di Avogadro 6×10^{23} nuclei/mole)



La nuova “interazione” che lo provoca
è detta “Debole”

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

Con le anti-particelle arriva l'anti-neutrino



Neutrino ν



anti-neutrino $\bar{\nu}$

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

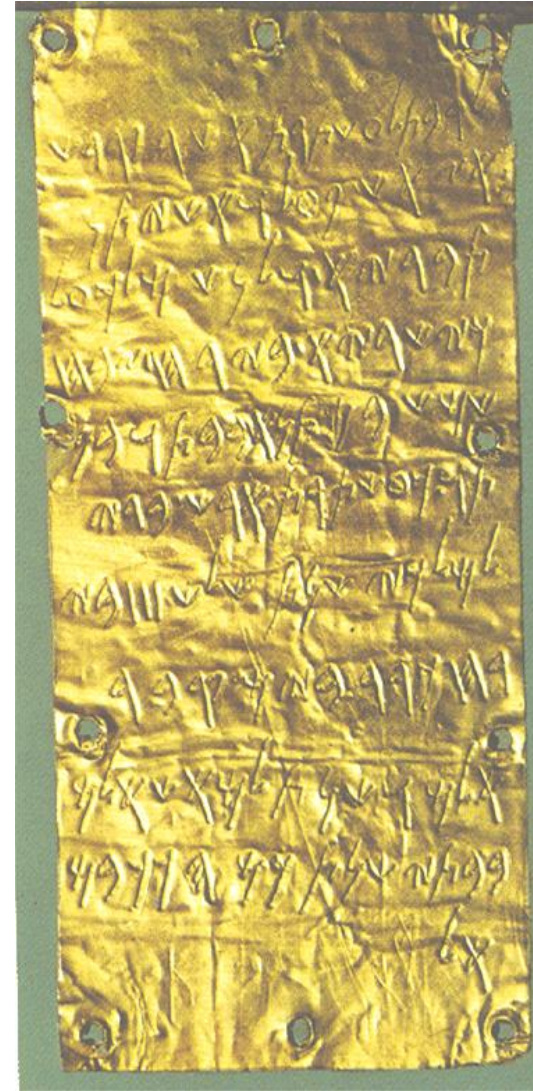
Usa caratteri astratti o
simboli stilizzati

**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

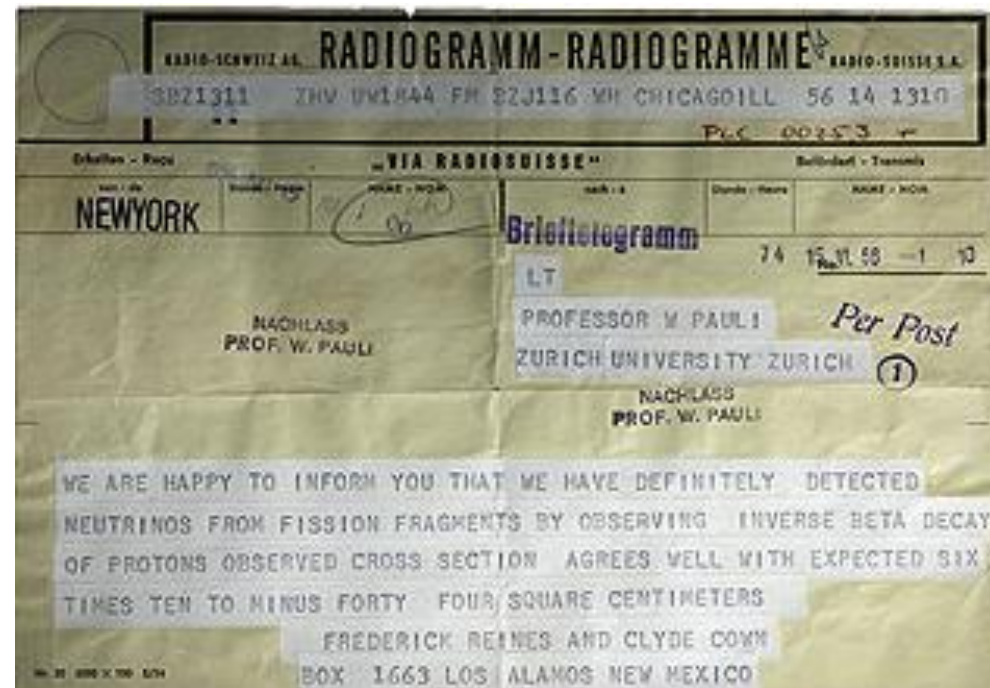
*Teoria del decadimento β
(da osservazioni a descrizione quantitativa)*

1956 Reines e Cowan

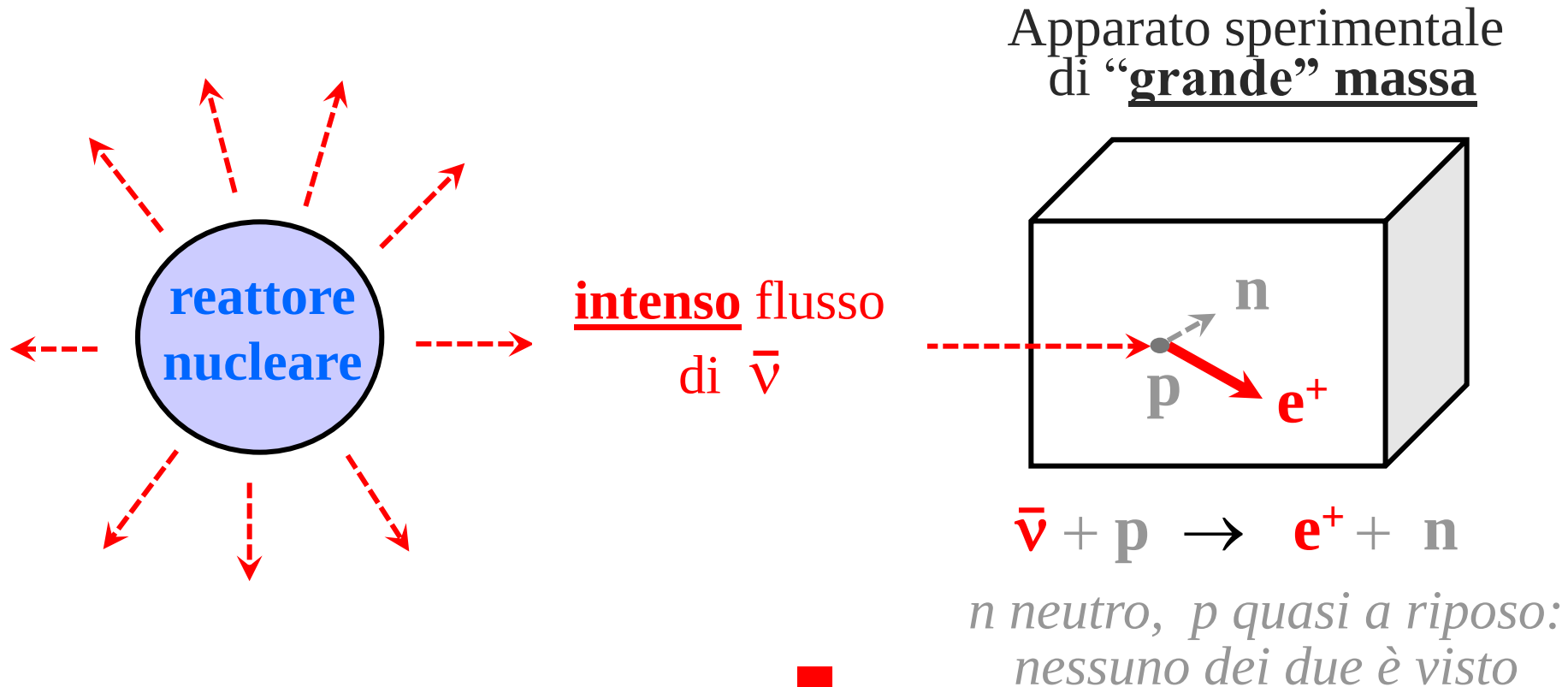
*Osservazione diretta del neutrino (non più “ipotesi”)
tramite le sue interazioni:
la sua “scrittura”*

26 anni dopo l’ipotesi di Pauli, Reines e Cowan gli telegrafano che hanno “visto” il neutrino

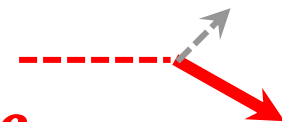
I 26 anni danno conto delle difficoltà sperimentali date dalle interazioni “deboli” del neutrino



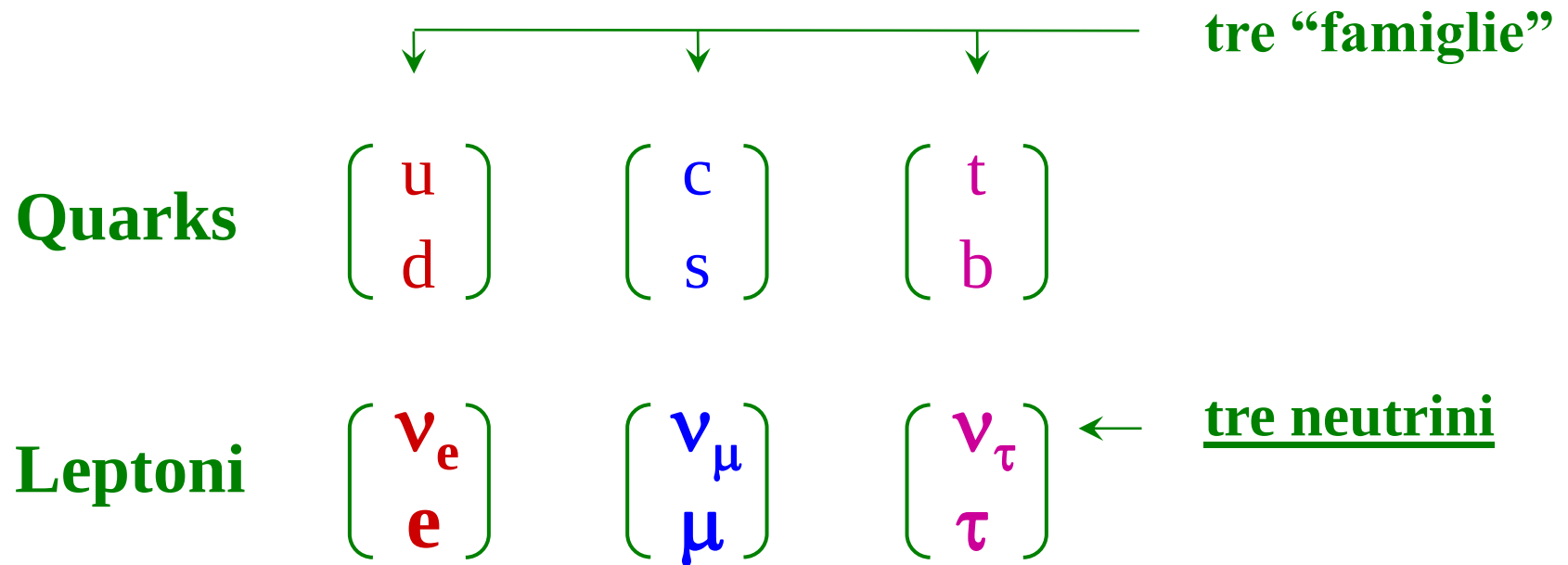
Osservazione “diretta” del neutrino tramite le sue interazioni “deboli” (Reines e Cowan 1956, idea di Pontecorvo 1946)



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



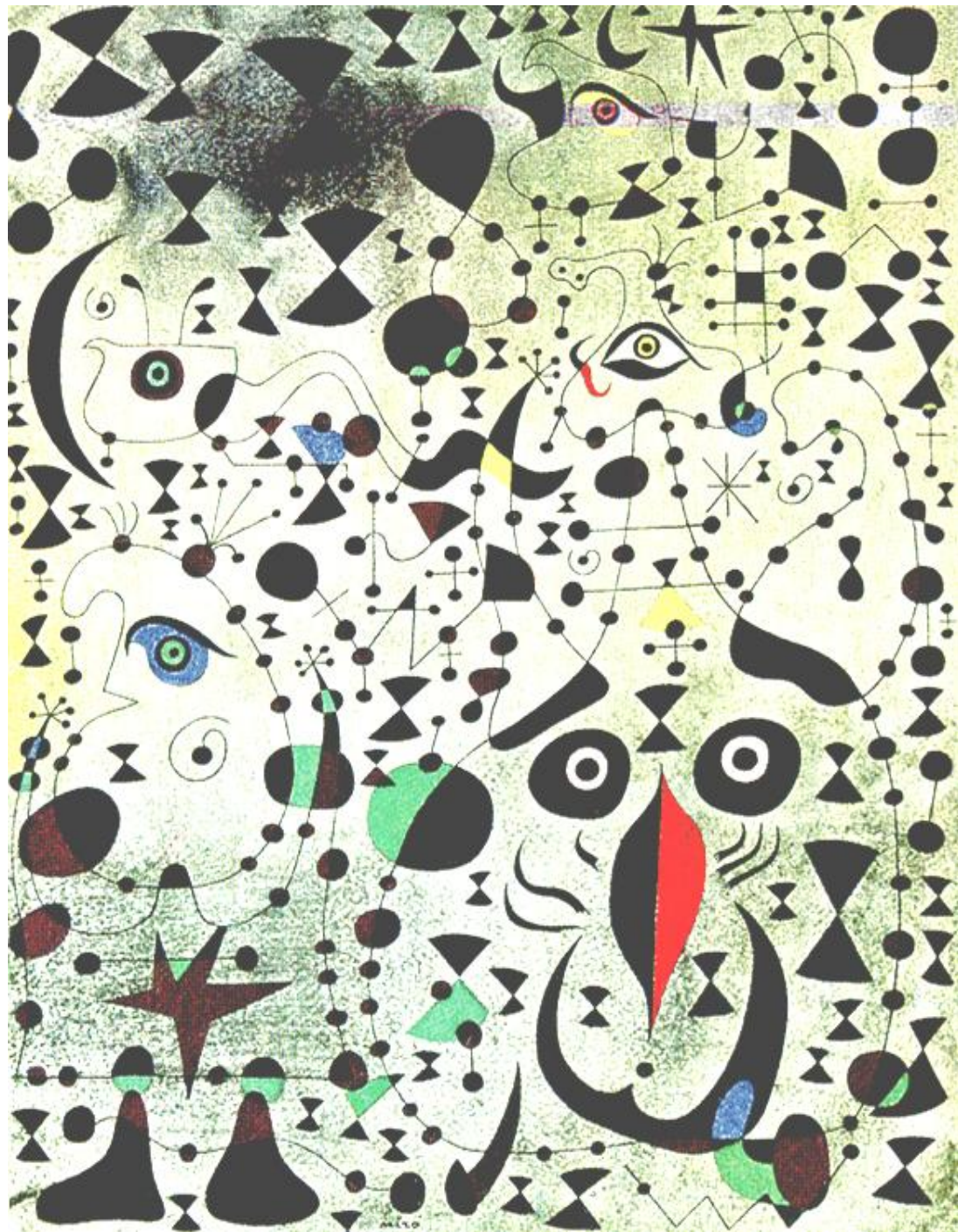
esperimenti difficili

**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	$W^{\pm}, Z^0$	10^{-6}
Gravitazionale	?	10^{-40}

Quarks	Forte (+ E.-M. + debole)
e^{-}, μ^{-}, τ^{-}	Elettro-Magnetica (+ debole)
<u>Neutrini</u>	<u>Debole</u>

I neutrini hanno interazioni puramente Deboli

Sono quindi uno straordinario strumento per studiarle

Il neutrino e la “unificazione” delle interazioni

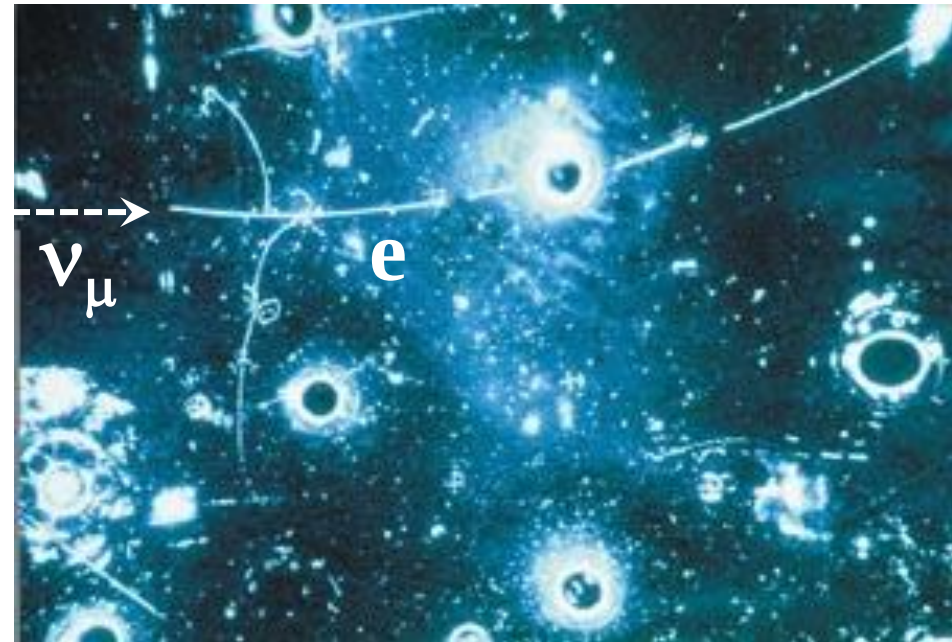
1666 Newton: “Gravitazione Universale” (caduta mela e moto corpi celesti)

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 !*

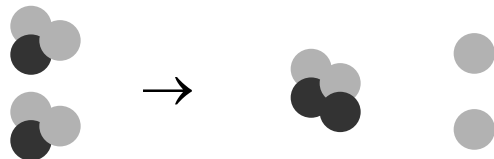
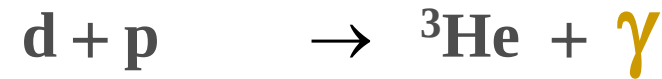
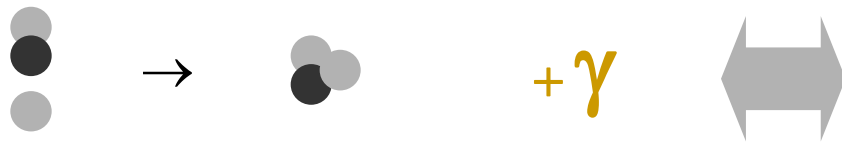
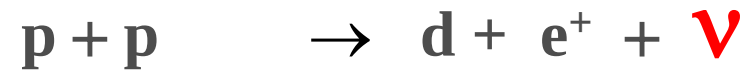
*Non ci saremmo
noi, non ci
sarebbe vita sulla
Terra*



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

Le reazioni di fusione nucleare nel Sole

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

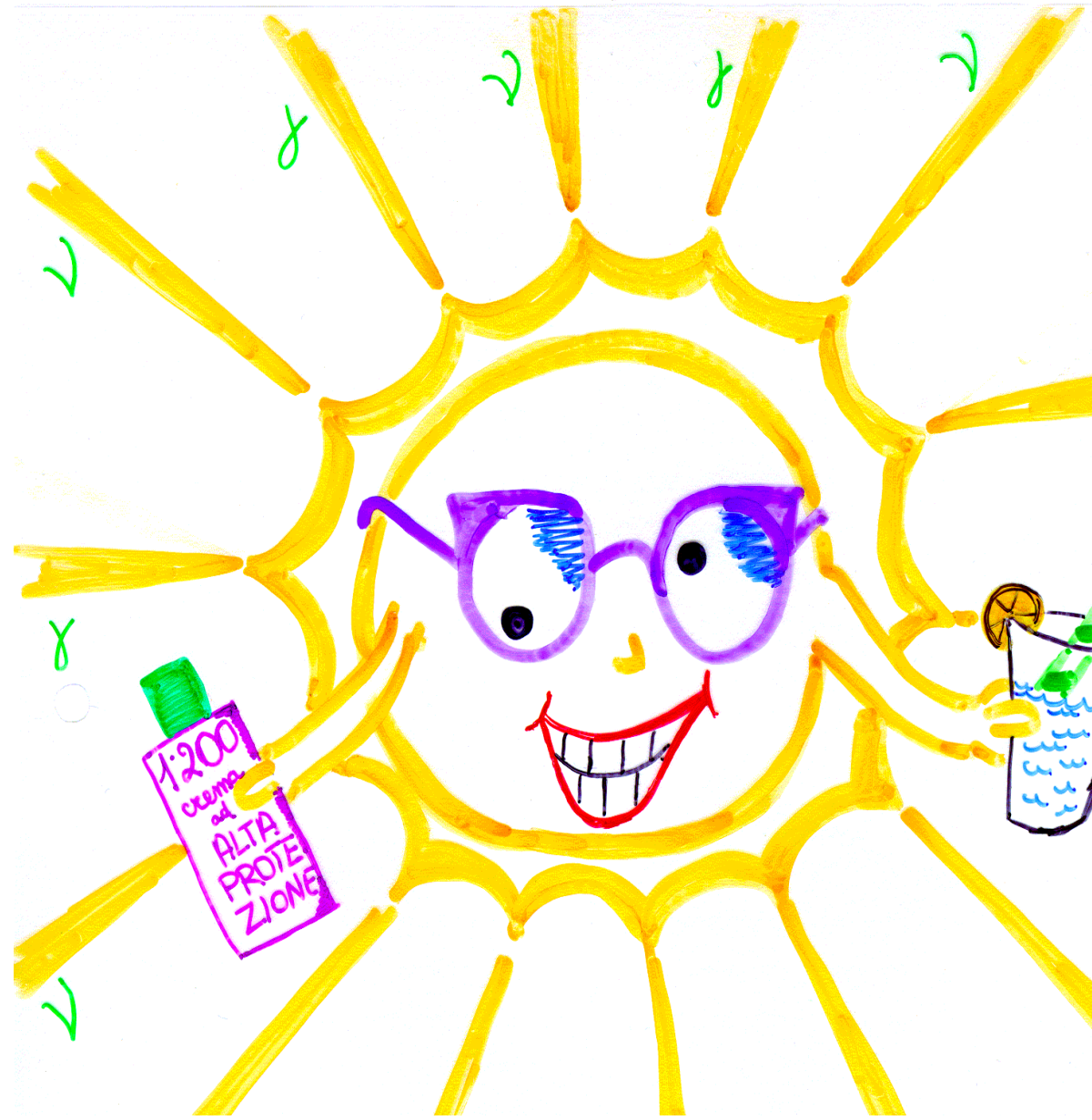


● protone ● neutrone

**Senza il neutrino le reazioni
non avverrebbero
Il Sole non splenderebbe**

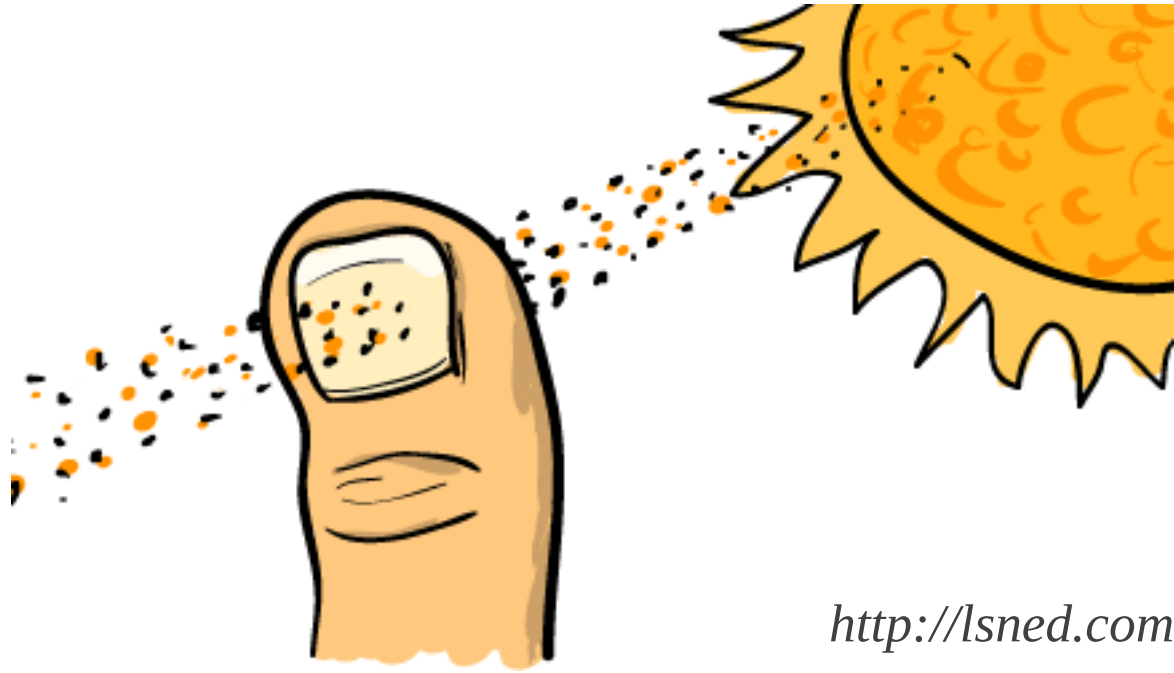


L'enorme flusso di neutrini solari sulla Terra



**Intenso come quello
della radiazione
elettro-magnetica (γ)
che ci illumina e
scalda!**

Per un'idea pratica del flusso di neutrini solari

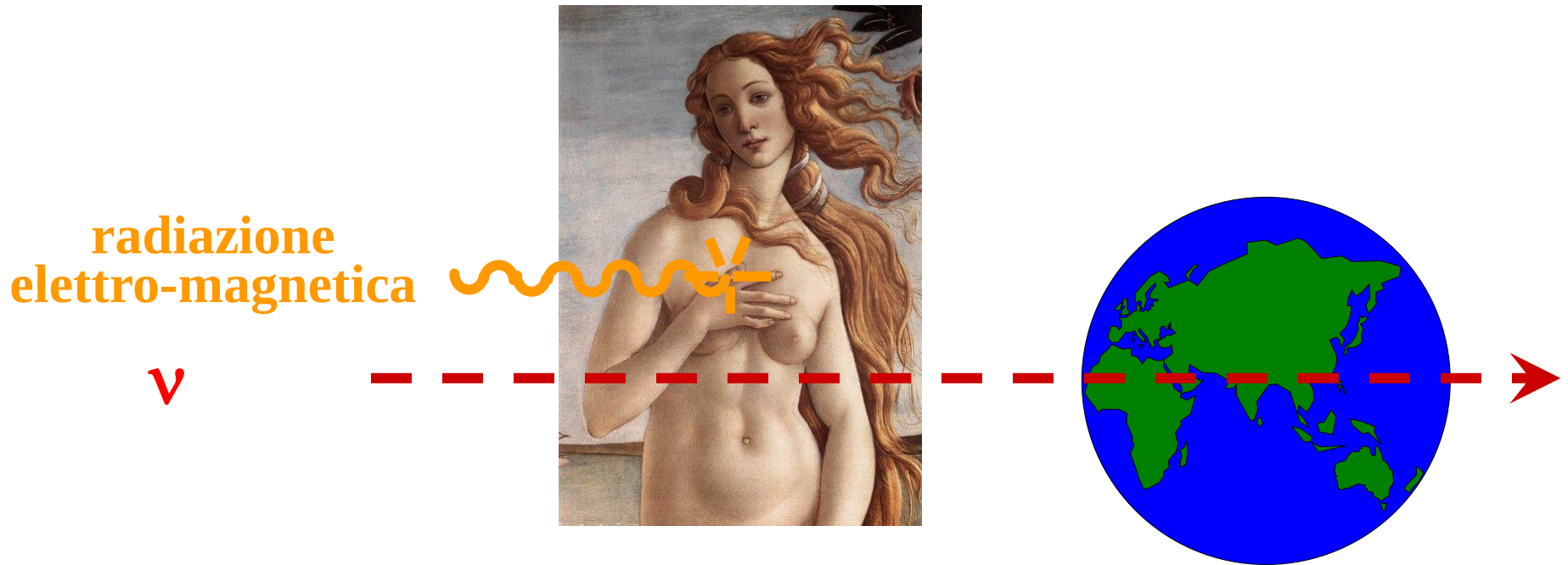


<http://lsned.com>

**In un secondo quasi cento miliardi di neutrini solari
attraversano la vostra unghia**

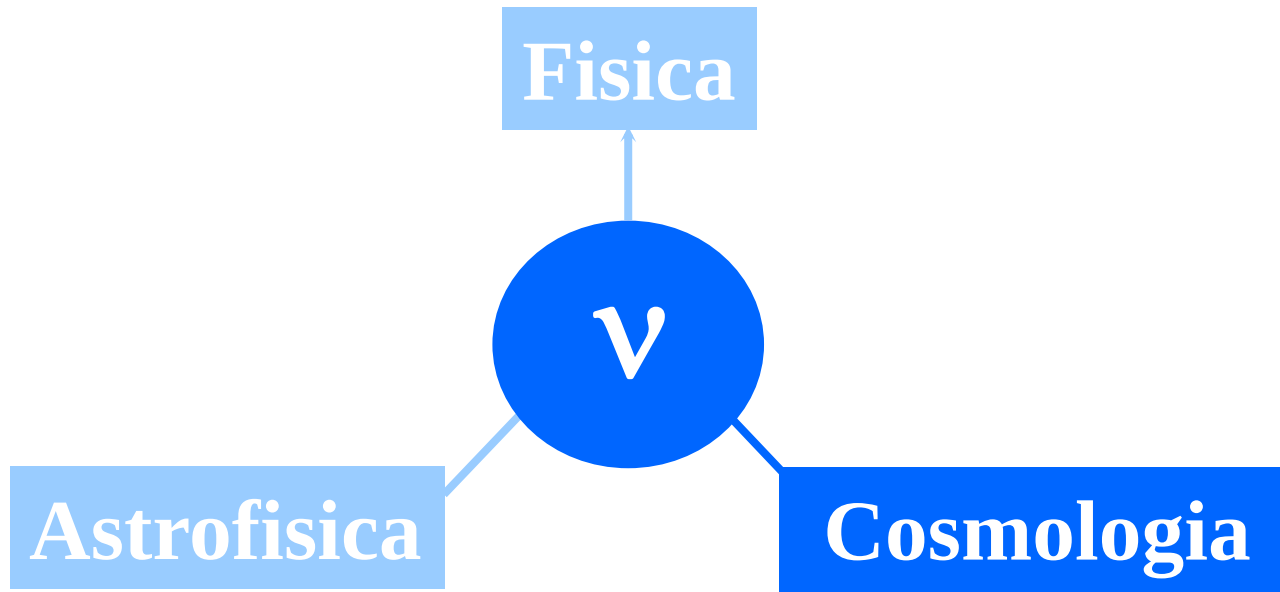
Perché siamo sensibili alla radiazione elettro-magnetica (I.R., luce, U.V., γ) ma non ai neutrini?

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

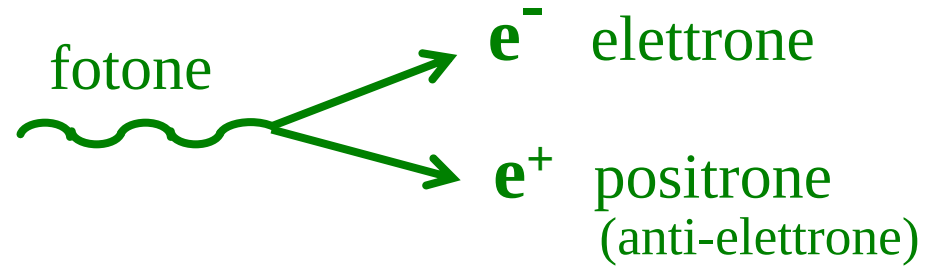


I neutrini attraversano perfino la Terra!
Attraversano il nostro corpo senza interagire:
non hanno alcun effetto!

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



**I processi elementari
al Big Bang hanno creato
materia e anti-materia
in misura eguale**



Se ci fosse ancora anti-materia?

Rischio di disastrosa “annichilazione”

materia



anti-materia

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

Bronzetto nuragico

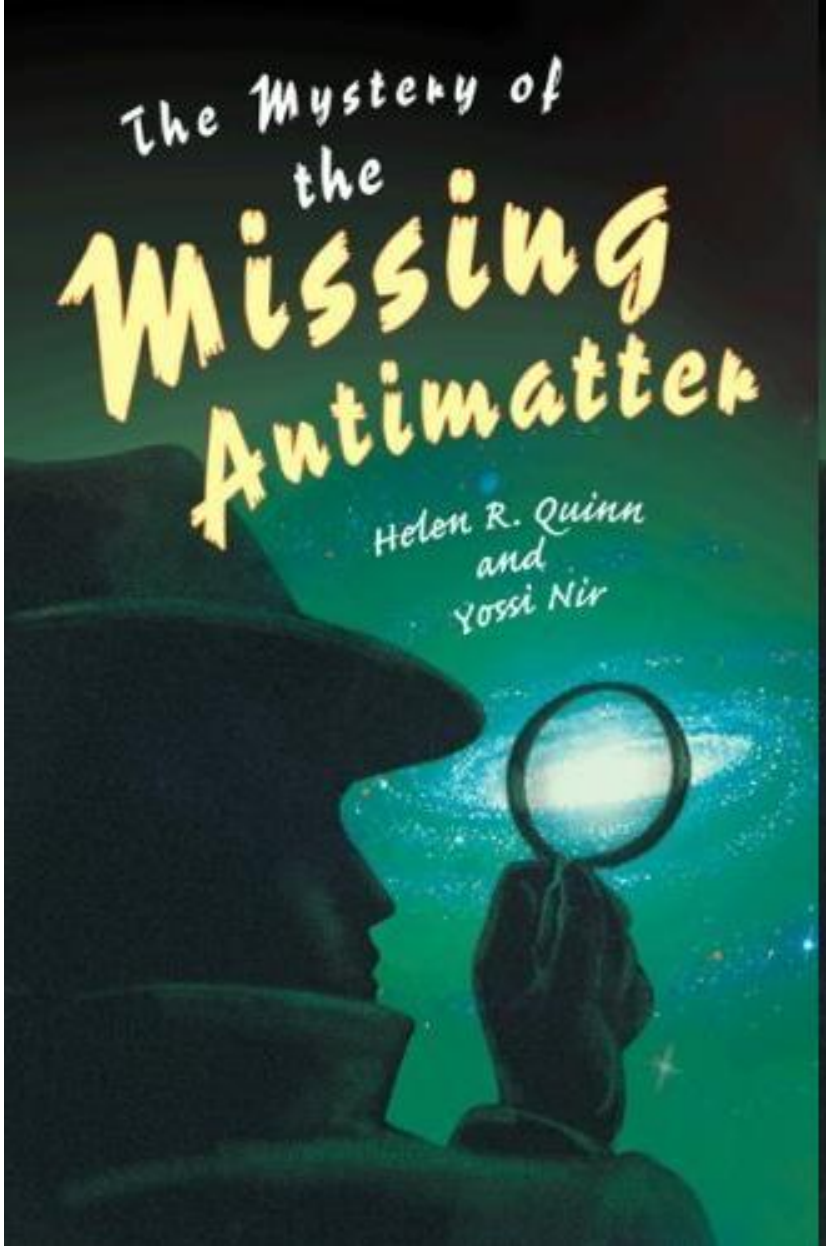
da Monte Arcosu

(Età del Bronzo, circa 1500 a.C.)

Museo Nazionale di Cagliari



Il mistero dell'anti-materia scomparsa



The Mystery of
the
**Missing
Antimatter**
Helen R. Quinn
and
Yossi Nir

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 !**

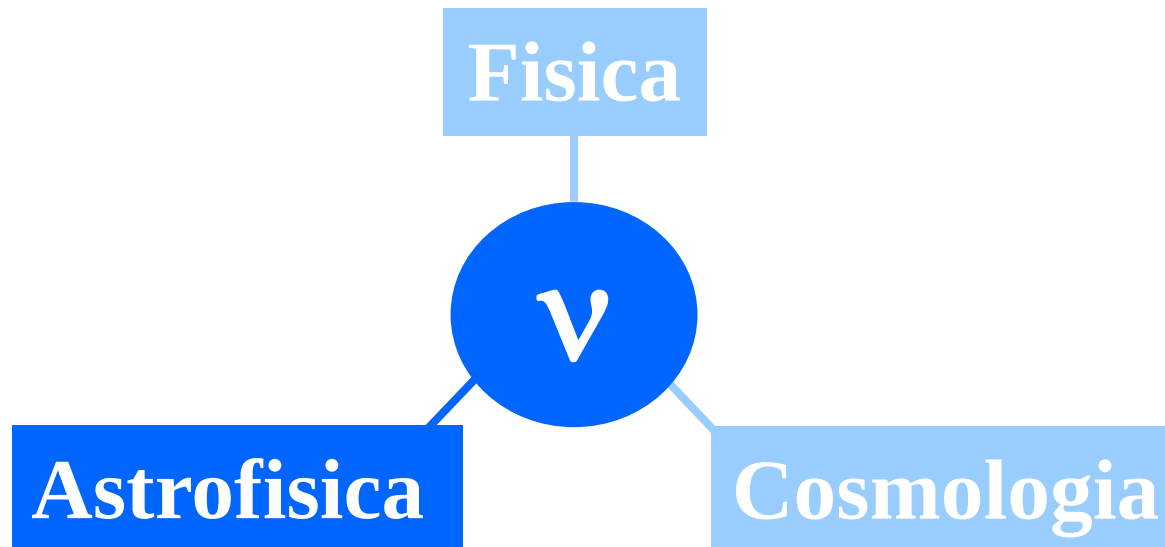
***Oggi non siamo capaci di scoprirla,
ma si sta pensando a come farlo ...***

**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

Solari

**Da interazioni di raggi
cosmici con l’atmosfera**

Da Supernovae

**Dal Cosmo
ad altissima energia**

Che successe negli istanti iniziali?

Saranno un giorno osservati?

Come funzionano le stelle?

Massa del neutrino

Vari esperimenti, anche al Gran Sasso

Massa del neutrino

Vari esperimenti, anche al Gran Sasso

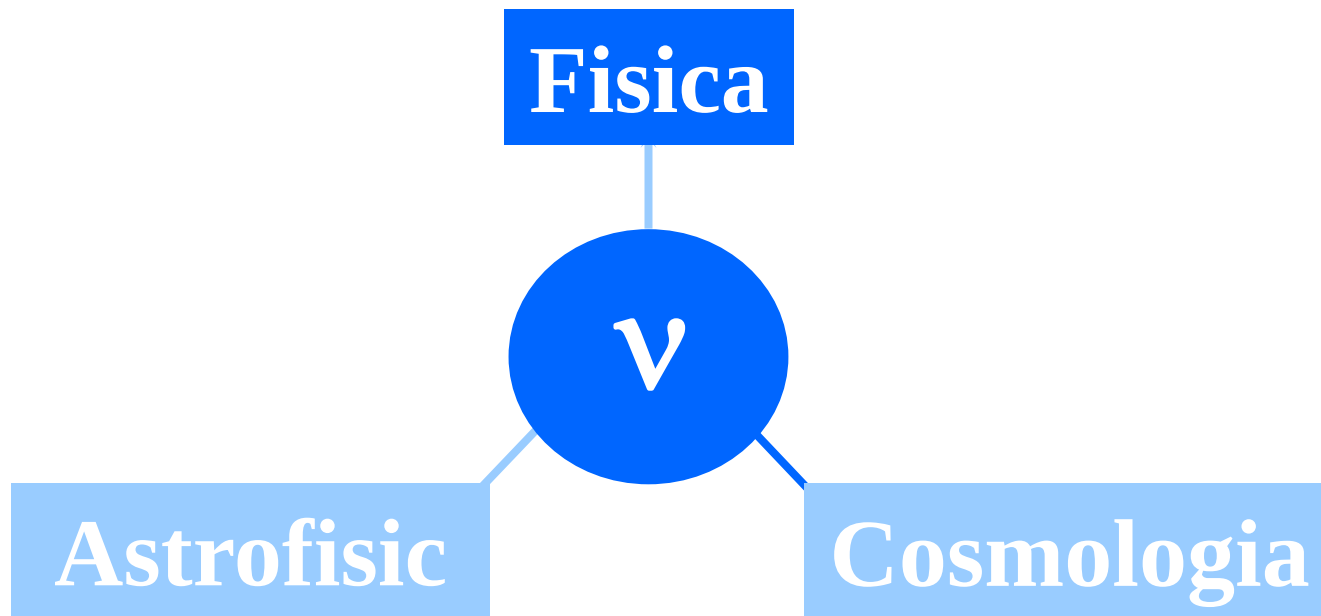
Quali ne sono i meccanismi?

Osservati una sola volta (SN 1987A)

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”

$\frac{1}{2}$

interazione con la materia

“debole”

massa

piccolissima*: quanto?

violazione della “simmetria CP”

???

$\nu \neq \bar{\nu}$ (Dirac) o $\nu = \bar{\nu}$ (Majorana)

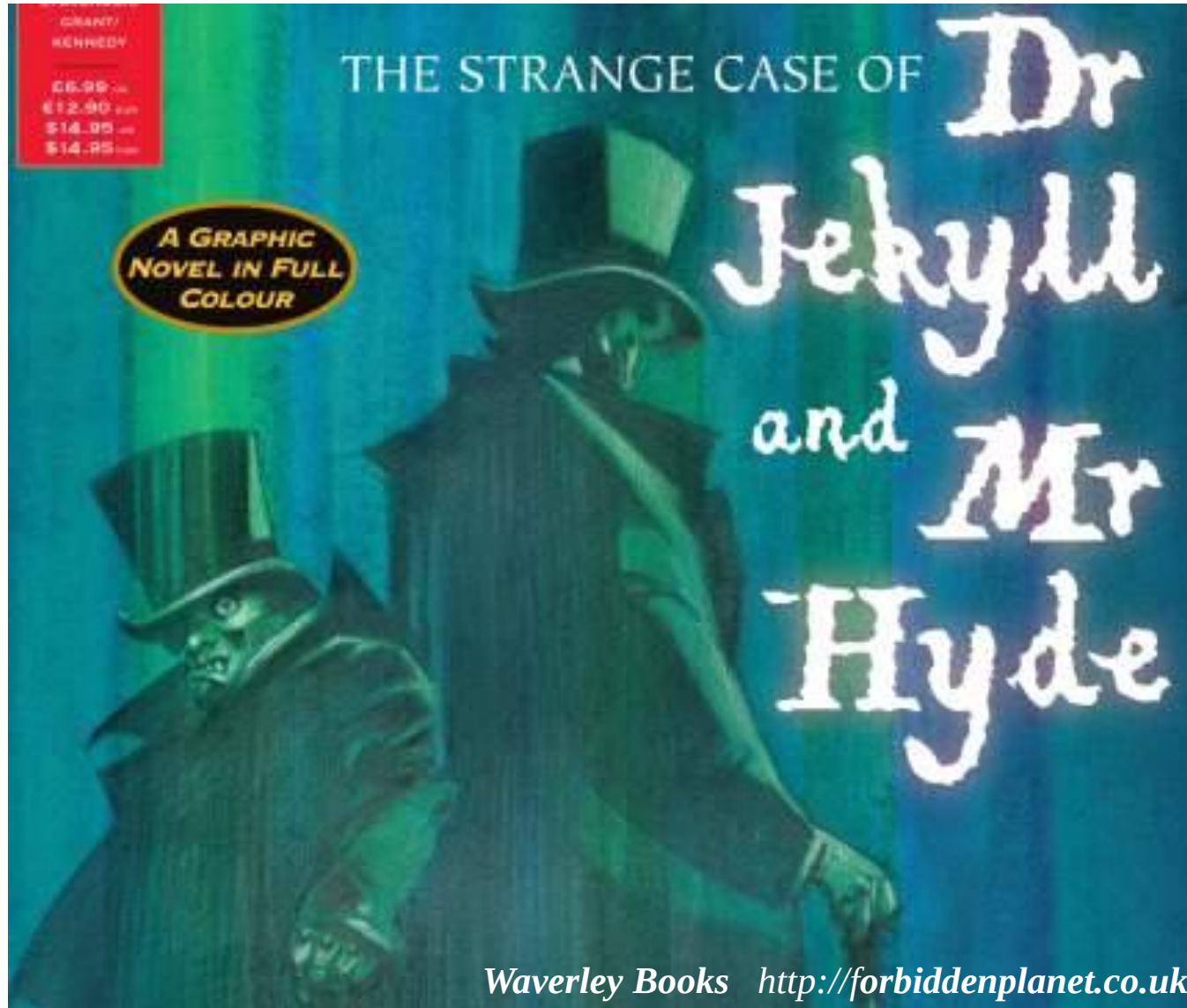
???

altre proprietà

???

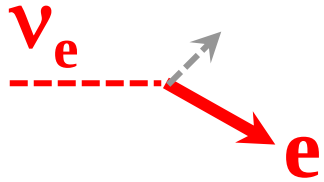
** Recente scoperta: i neutrini hanno massa (si vedrà tra poco)
Ma in scala assoluta si sa solo che è minore di
un miliardesimo di quella del protone*

Due “anime” anche per il neutrino come nel racconto di Stevenson



Waverley Books <http://forbiddenplanet.co.uk>

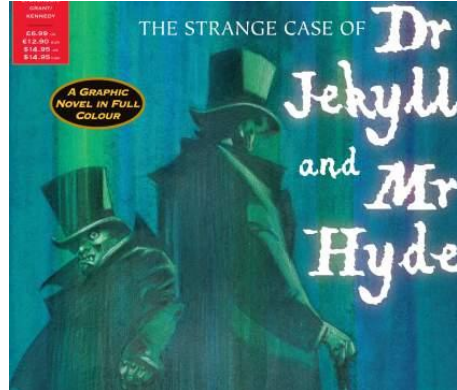
“Anima” diversa secondo quello che fanno (Meccanica Quantistica)



Nascono e muoiono essendo i soliti

ν_e ν_μ ν_τ

- prodotti assieme a e μ τ
 - interagendo con la materia producono e μ τ
- ☐ non hanno massa definita



Viaggiano in incognito come

ν_1 ν_2 ν_3

- hanno massa definita

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



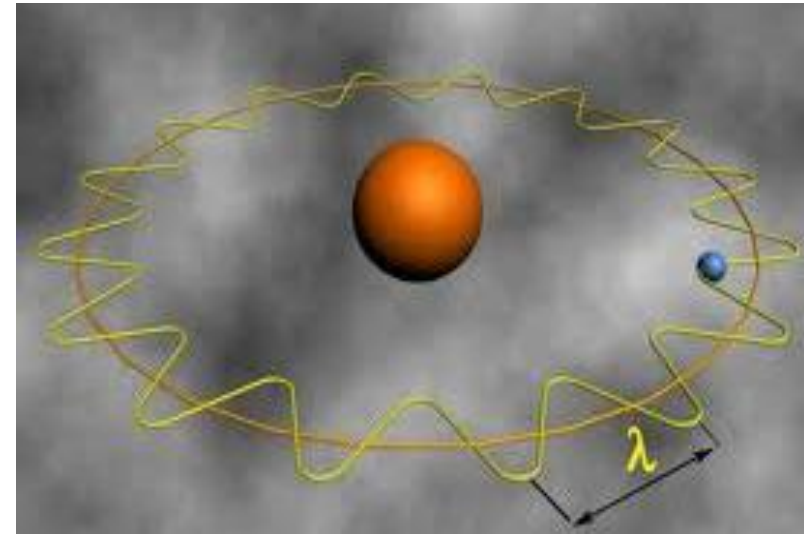
miscuglio di

ν_1 , ν_2 e ν_3

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

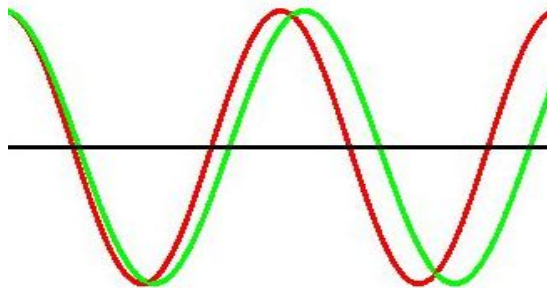
Le “particelle” si comportano
come “onde”
(Dualismo onda-particella)

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



ν_1 ν_2 ν_3

se hanno massa diversa si propagano con lunghezza d'onda 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
 $\nu_1 \nu_2 \nu_3$

Le lunghezze d'onda

di $\nu_1 \nu_2 \nu_3$

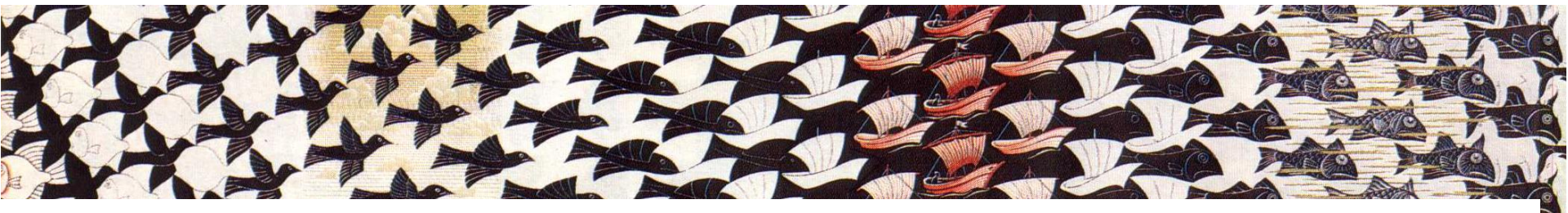
dipendono dalle loro masse

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)



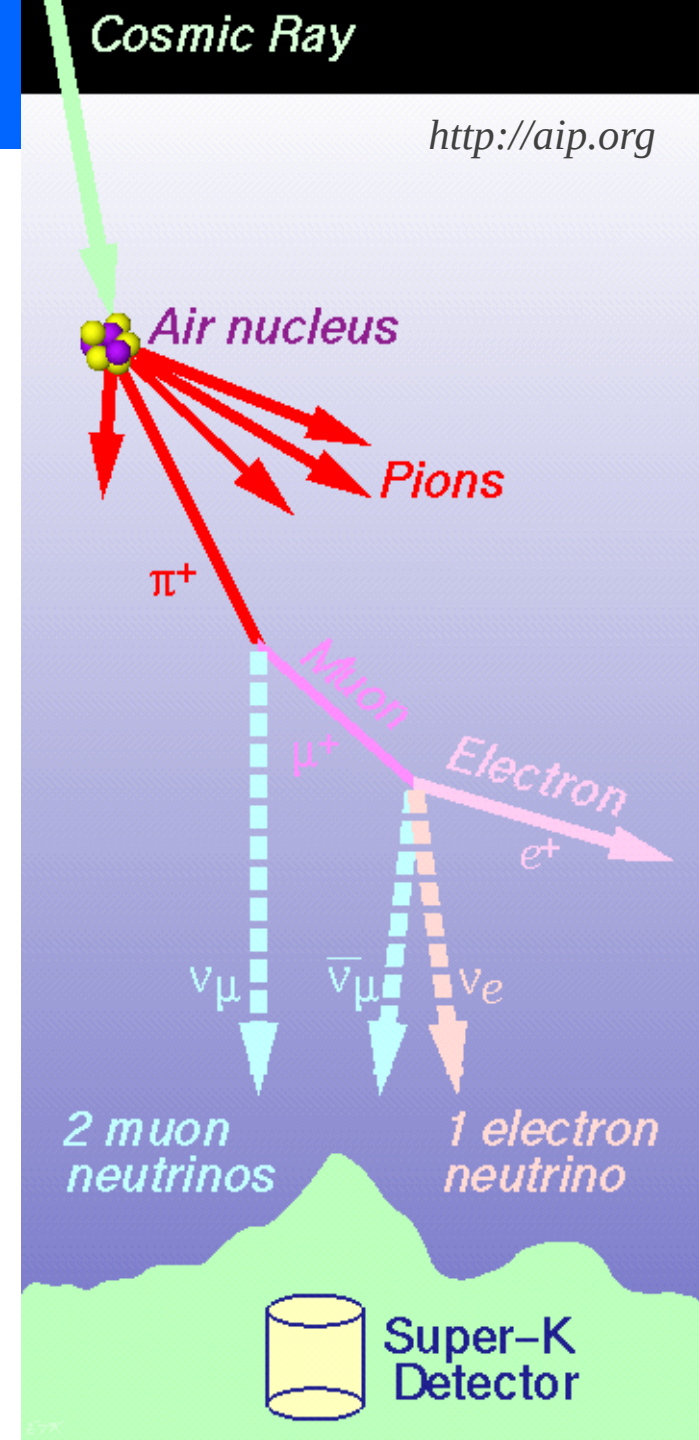
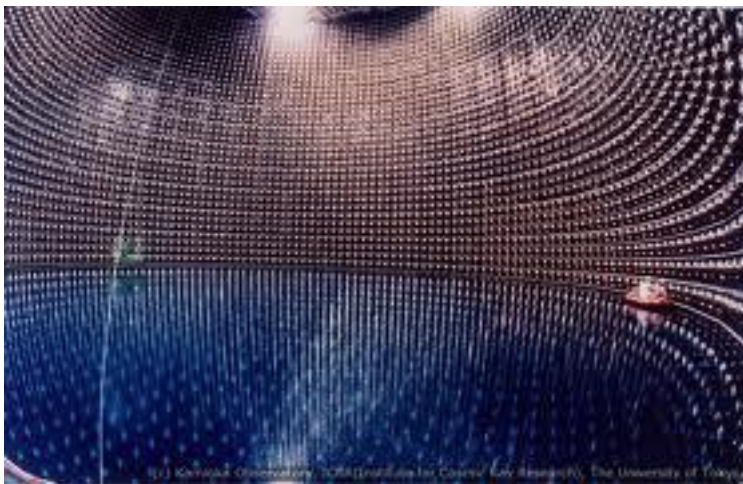
***Le oscillazioni di neutrino hanno permesso di
scoprire che la loro massa non è nulla***

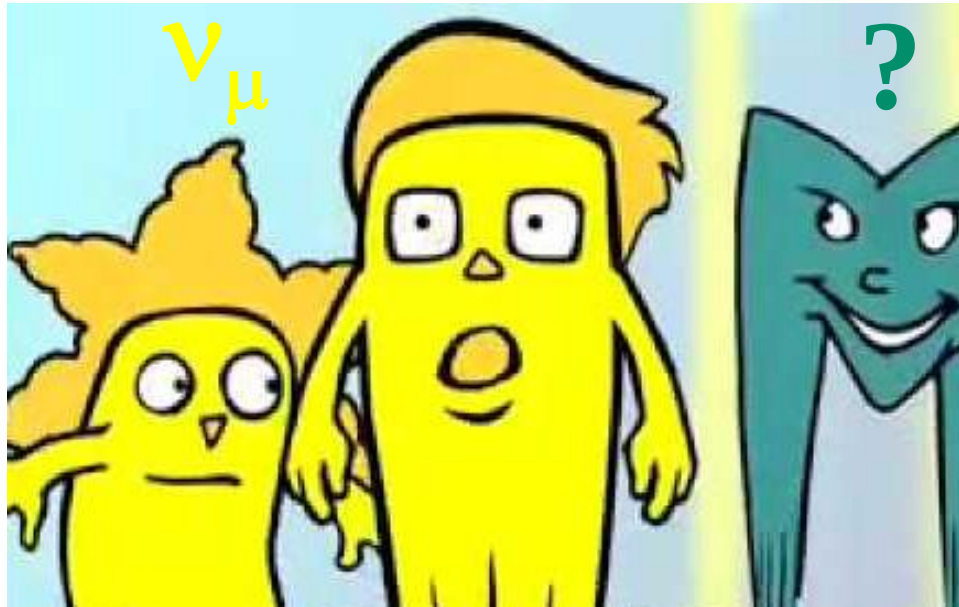
Il mistero del ν_μ scomparso

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 diretta di “apparizione” 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 oscillazione
e quindi che il neutrino ha massa*



Perché neutrini dal CERN al Gran Sasso?

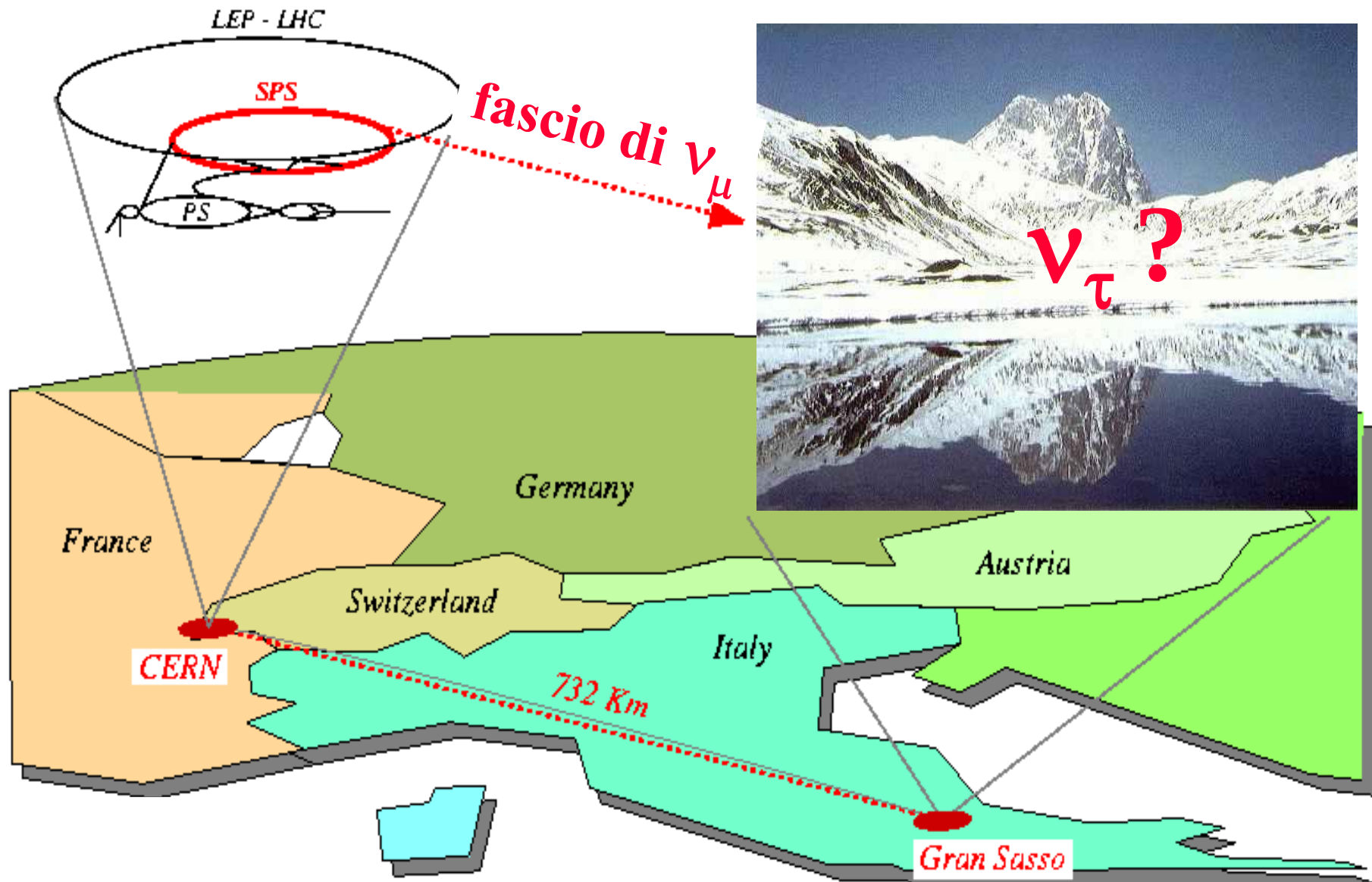
Le masse dei neutrini sono estremamente piccole

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



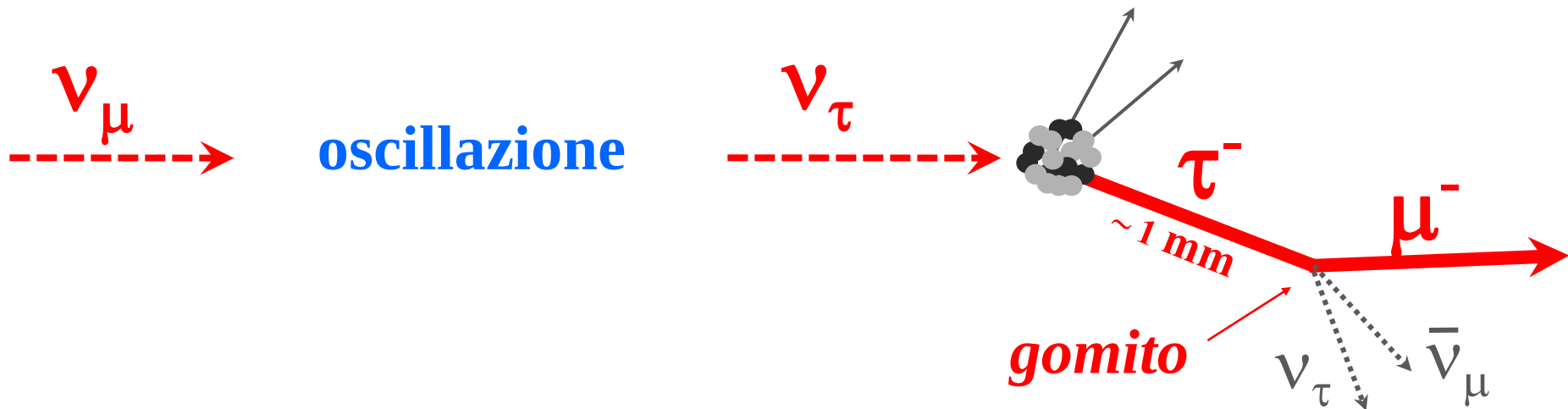
Per vedere un effetto di oscillazione
bisogna “far viaggiare a lungo” i neutrini

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

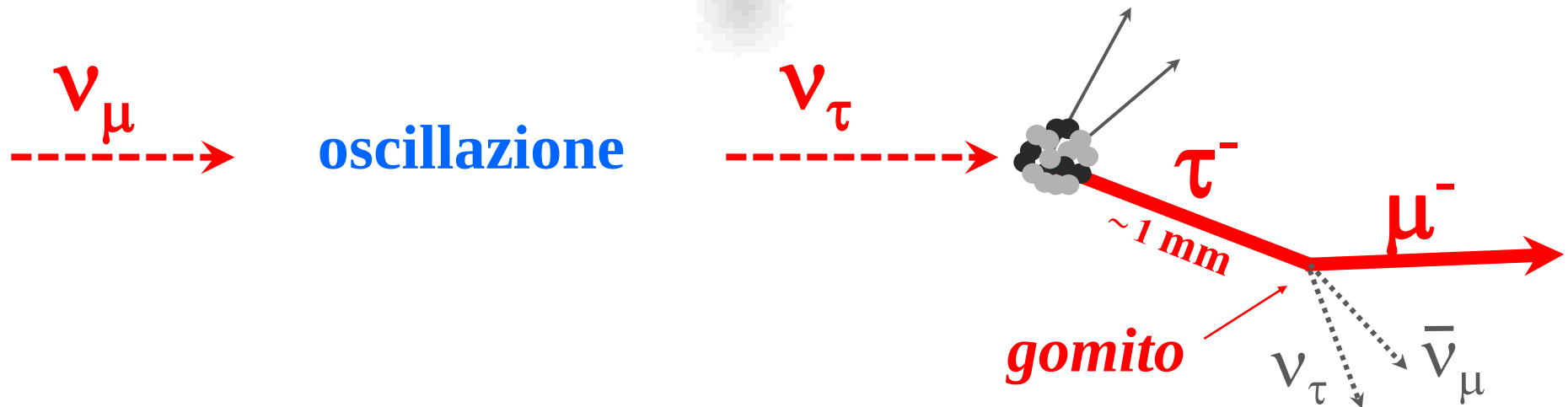
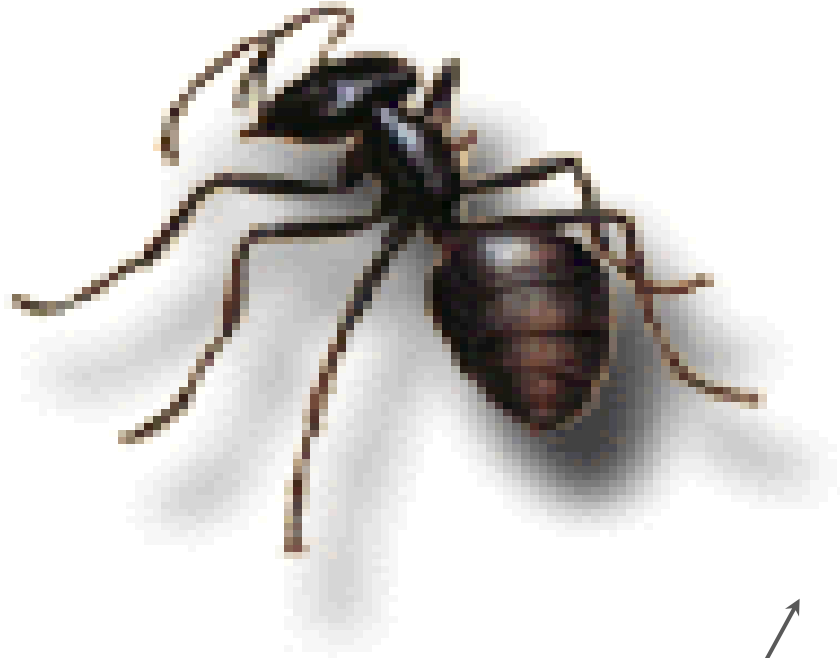


La firma della “apparizione” del ν_τ : il “gomito”

- 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



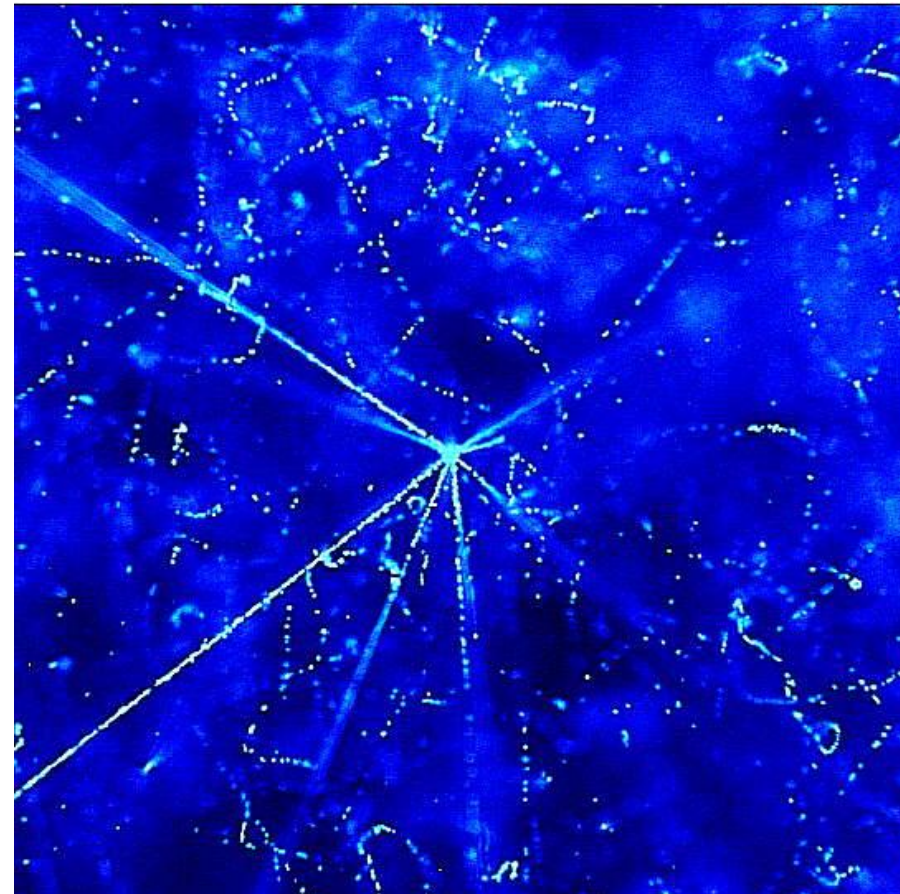
Per rendersi ben conto della scala
a cui il τ va cercato in un apparato di oltre 1000 t



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

Come pellicole fotografiche,
ma:

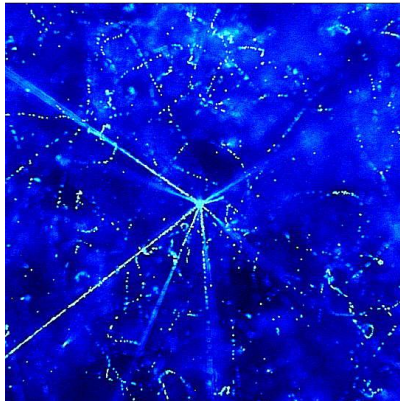
- “vedono” singole particelle
- risoluzione spaziale
 < 0,001 mm
- immagini in tre dimensioni
 (terza dimensione nello spessore)



← 0,1 mm →

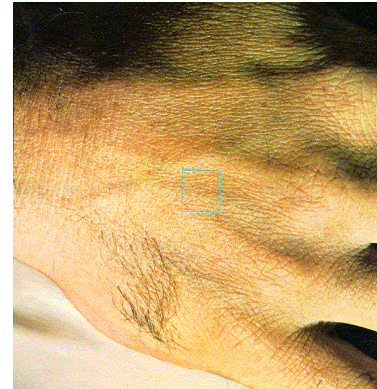
***Interazione di neutrino
in emulsione nucleare
(esperimento CHORUS)***

Per avere un'idea della scala

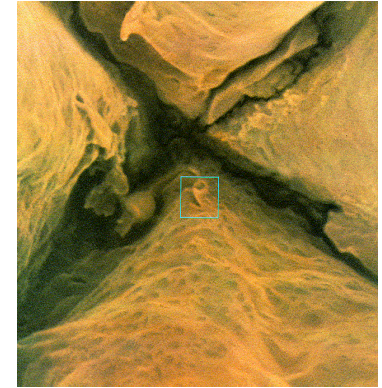


← 0,1 mm →

*Interazione di neutrino
in emulsione nucleare*

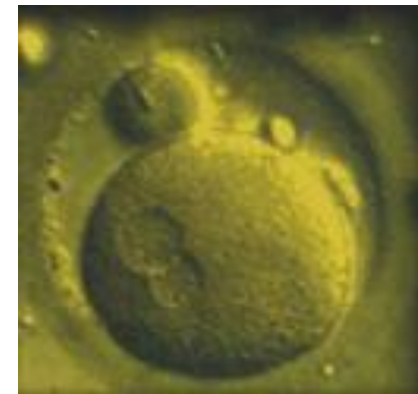


← 10 cm →



← 0,1 mm →

La nostra mano



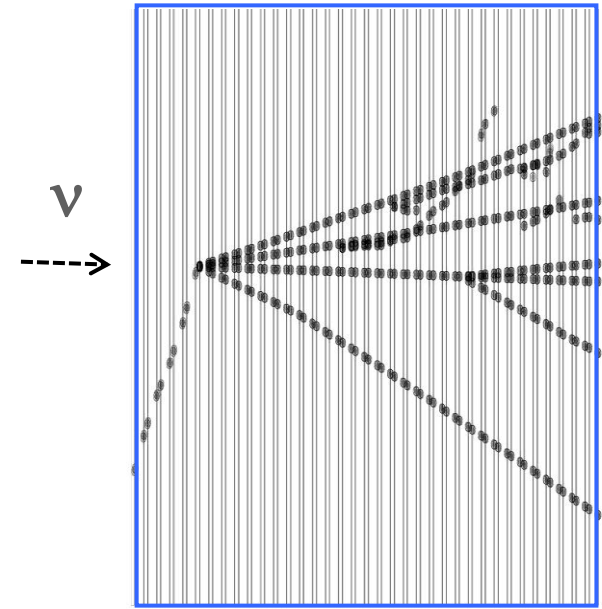
← 0,1 mm →

*Embrione umano
il “giorno dopo”*

Il “mattone” di piombo ed emulsioni

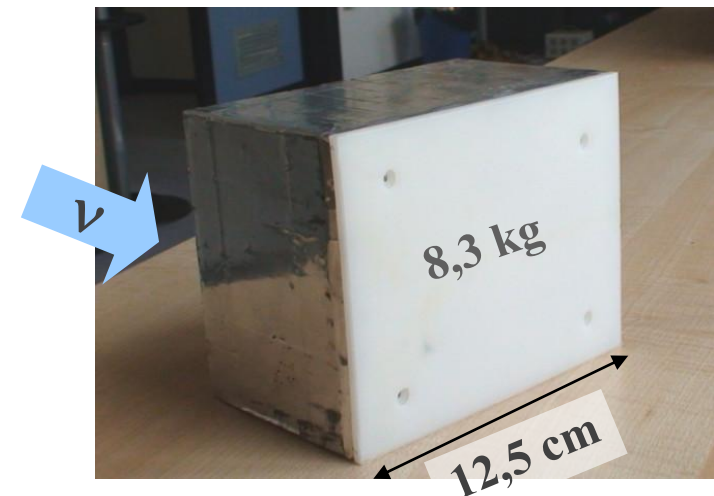
In OPERA alternanza di:

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



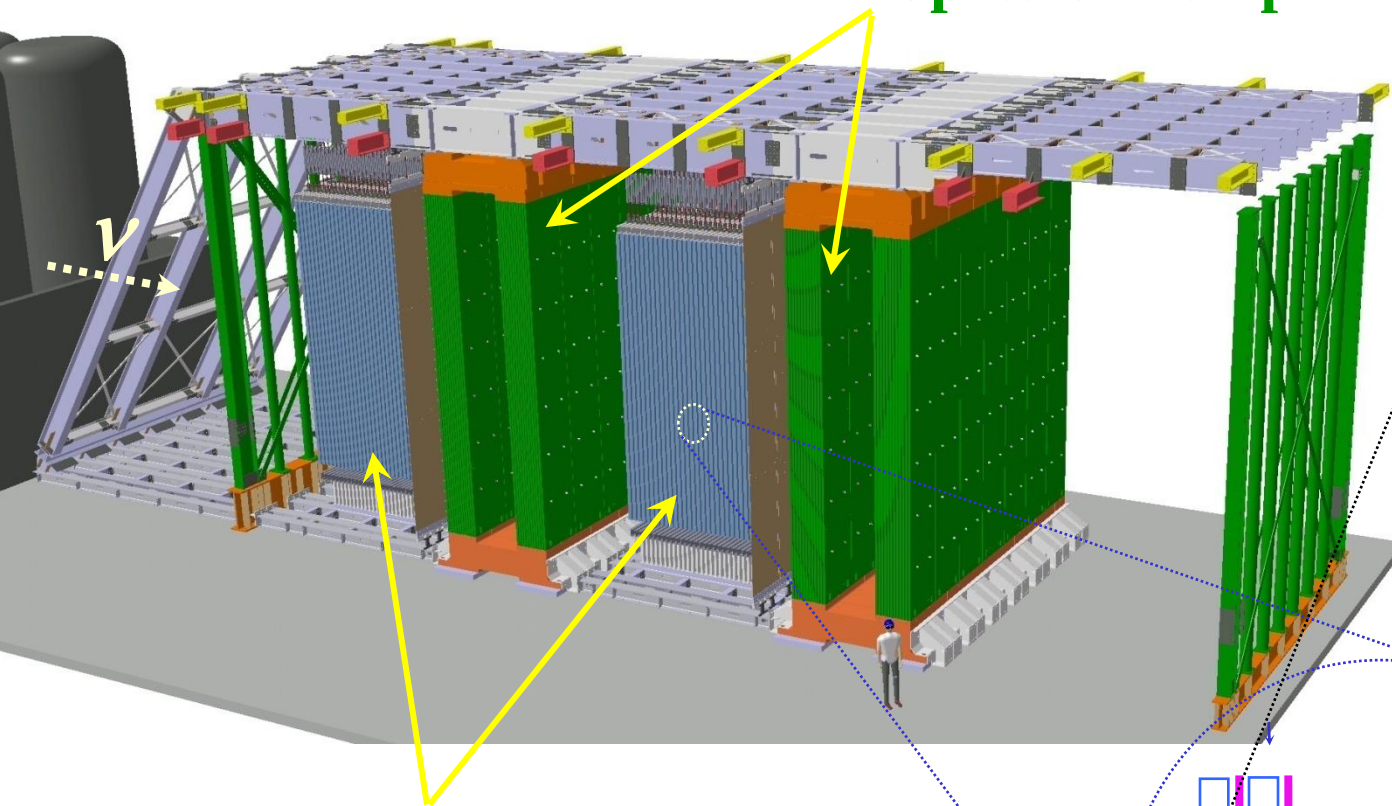
In un “mattone” 57 film di emulsioni

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

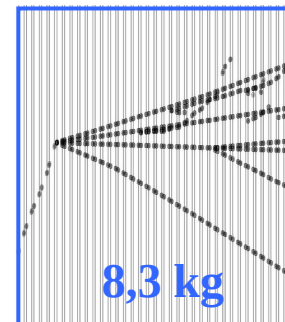


L'apparato sperimentale di OPERA

Spettrometri per muoni



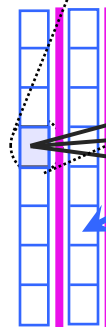
“mattoni”



8,3 kg

Bersagli per le interazioni di ν

150.000 mattoni
1.300 tonnellate



“pareti” di mattoni

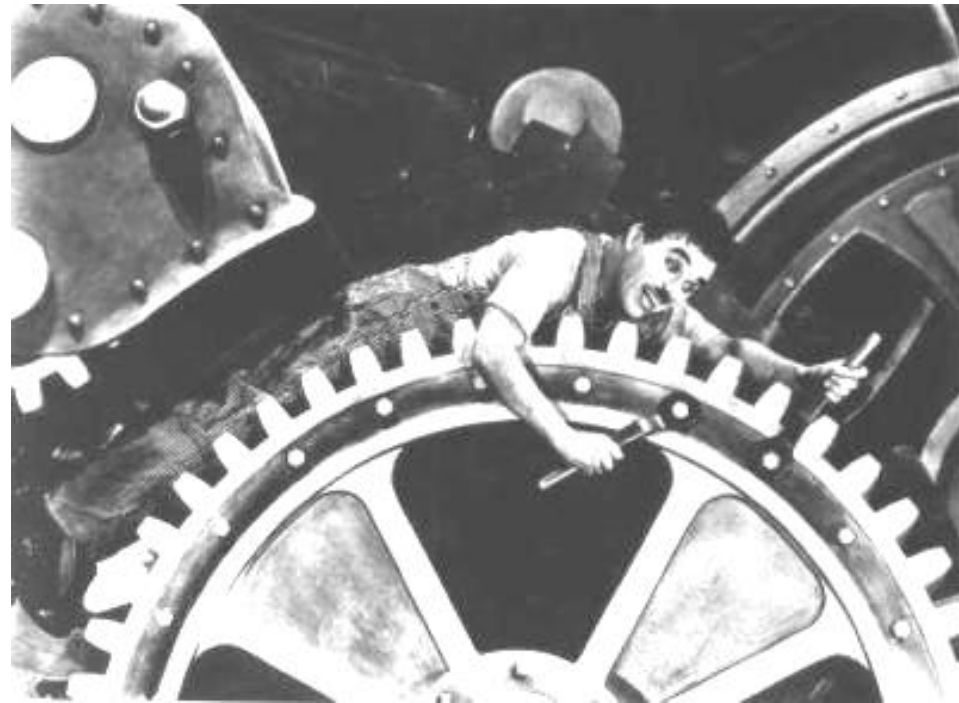
← rivelatori elettronici

OPERA in galleria al Gran Sasso



Le sfide tecnologiche di OPERA

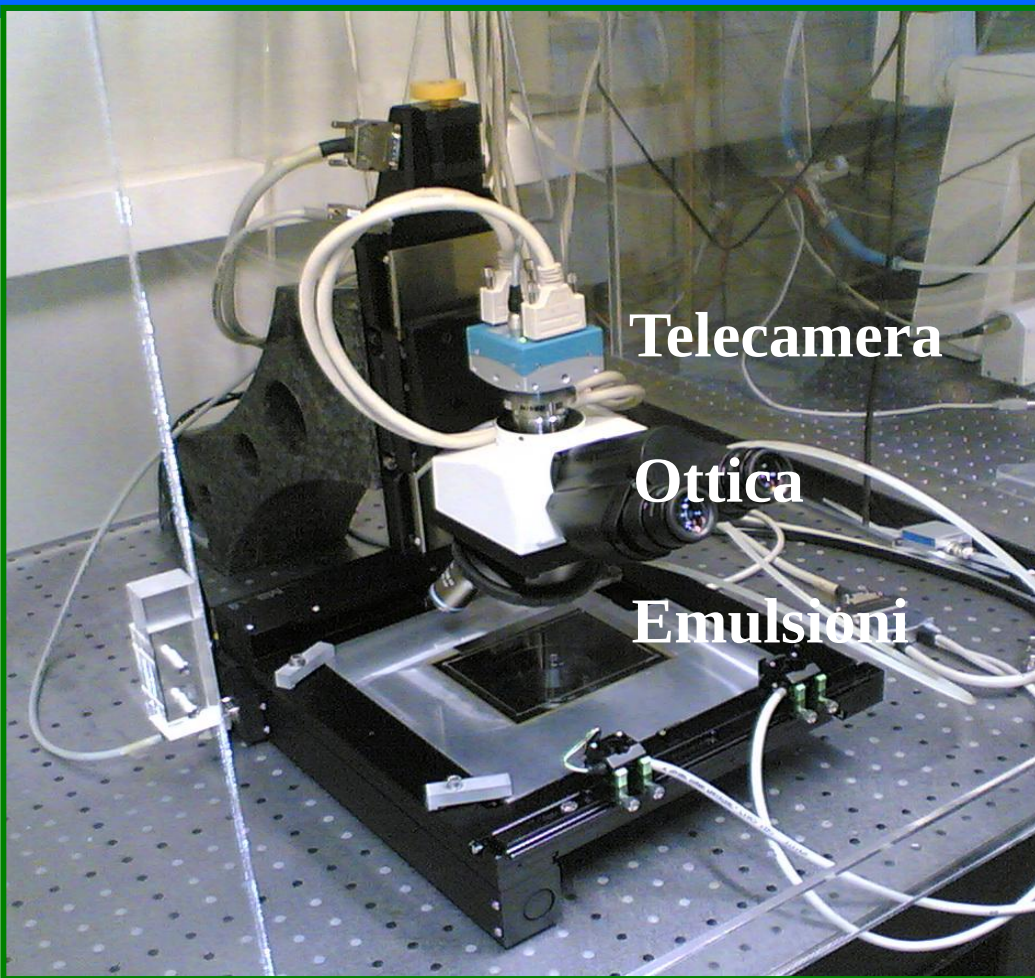
- **Ricerca e sviluppo su emulsioni:**
alta sensibilità, basso costo, produzione industriale
- **Microscopia automatica:**
analisi emulsioni ad altissima velocità
- **Robotica:**
 - costruzione dei 150.000 mattoni
 - inserimento dei mattoni nelle pareti
 - estrazione dei mattoni “colpiti” dai v
- **Sviluppo 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, ...*



Telecamera

Ottica

Emulsioni



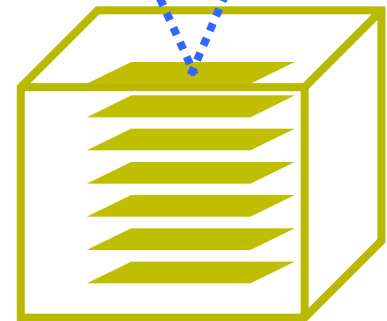
Immagine "tomografica"
digitizzata

Terza dimensione:
spessore emulsioni (44 μm)

Telecamera
digitale

Ottica
profondità di
fuoco 0,003 mm
mettendo a
fuoco diverse
profondità

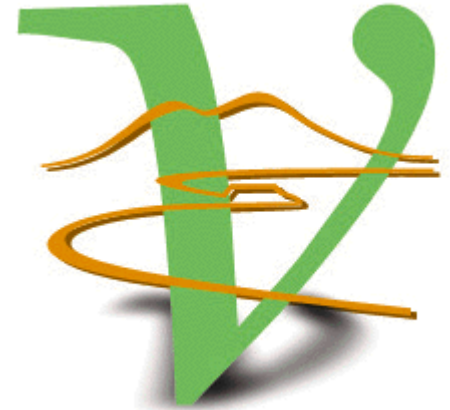
"fette ottiche"



Emulsione

Supporto mobile

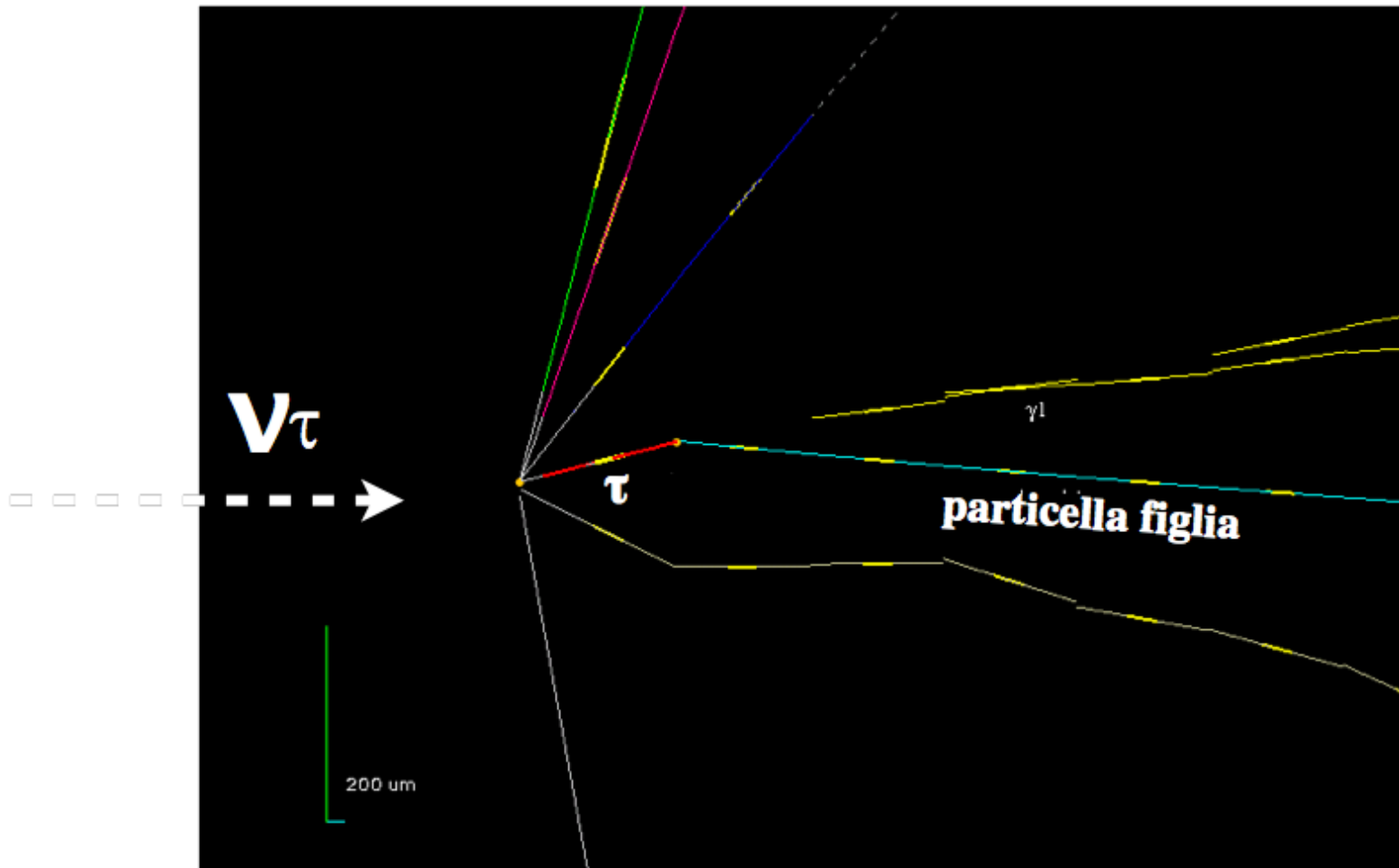
OPERA e Napoli (INFN e Università Federico II)



Ruolo fondamentale

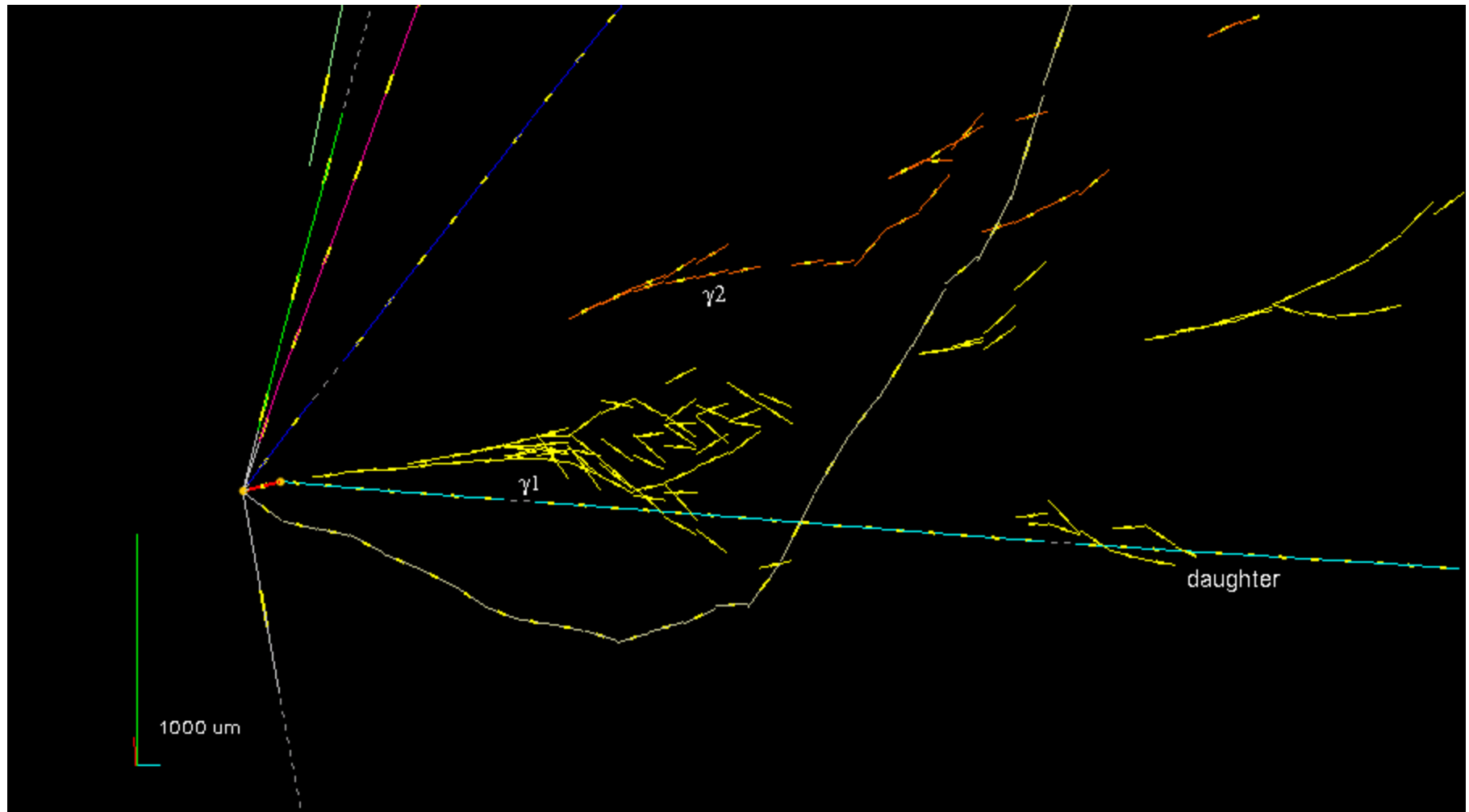
- **Concezione e proposta**
- **Sviluppi tecnologici:** microscopia automatica, robotica ...
- **Costruzione**
- **Presatura dati**
- **Analisi emulsioni nucleari: Laboratorio Microscopia**
- **Analisi per risultati di fisica**

Il primo evento di “apparizione” di ν_τ (pubblicato nel 2010)



Alcuni altri eventi necessari per confermare la “scoperta”
La ricerca con OPERA continua

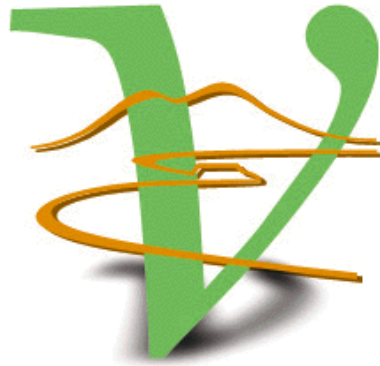
Il primo evento di “apparizione” di ν_τ in tre dimensioni



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