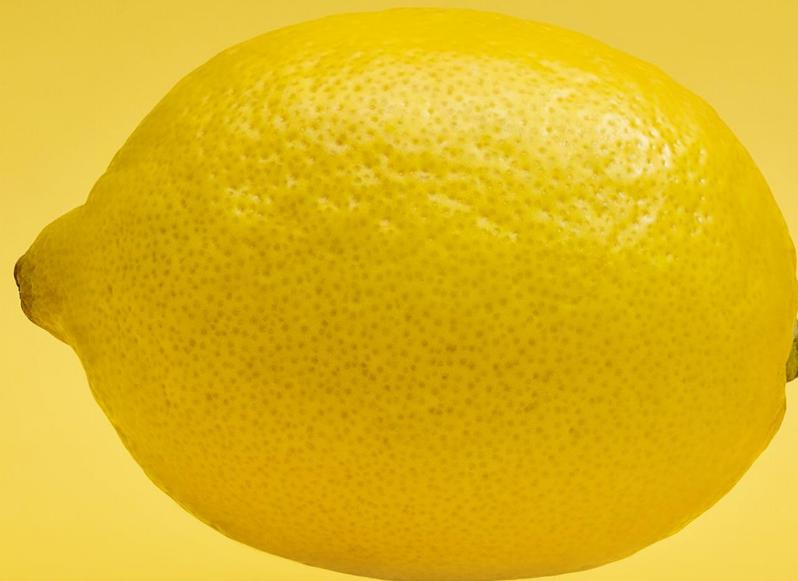


Signori, i muoniiii!

Chiara Aimè e Ilaria Vai



Signori, i muoniiii!

Chiara Aimè e Ilaria Vai



Oggi mi
sento cedro

In un futuro 2073



In un futuro 2073



Novembre 2073

Muon Collider Facility

A wide-angle, high-angle shot of a futuristic city. The architecture is highly advanced, featuring tall, slender spires and complex, multi-tiered structures. In the center-left, a large, circular, metallic structure with concentric rings is prominent. The sky is a hazy, golden-brown color, suggesting either dawn or dusk. The overall atmosphere is one of a highly developed, technologically advanced civilization.

$$E = mc^2$$

Per produrre nuove particelle ci serve energia...come quantifichiamo quanta ne abbiamo a disposizione?

Tramite la variabile s ...

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

$$E^2 = p^2 + m^2 \text{ con } c = 1$$

$$s = \left(\sum_{i=1,2} E_i \right)^2 - \left(\sum_{i=1,2} p_i \right)^2$$

$$E_{cm} = \sqrt{s}$$

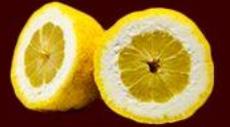
I TRE AGRUMI ORIGINARI



MANDARINO



POMELO



CEDRO



MANDARINO

+



POMELO

=



ARANCIA
DOLCE



VARIANTE
MANDARINO



ARANCIA
AMARA



ARANCIA
DOLCE

+



POMELO

=



POMPELMO



ARANCIA
DOLCE

+



VARIANTE
MANDARINO

=



CLEMENTINA



ARANCIA
AMARA

+



CEDRO

=



LIMONE

cookist

Produrre nuove particelle

Collider



$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = -p \\ p_1 = p \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} E_2 = E \\ E_1 = E \end{array} \right.$$

$$s = (2E)^2 = 4E^2 \propto E^2$$

$$E_{cm} \propto E$$

Produrre nuove particelle

Collider

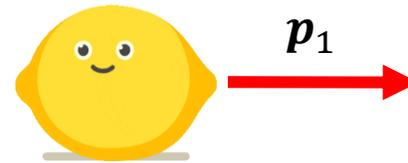


$$\begin{cases} p_2 = -p \\ p_1 = p \end{cases} \quad \begin{cases} E_2 = E \\ E_1 = E \end{cases}$$

$$s = (2E)^2 = 4E^2 \propto E^2$$

$$E_{cm} \propto E$$

Bersaglio fisso

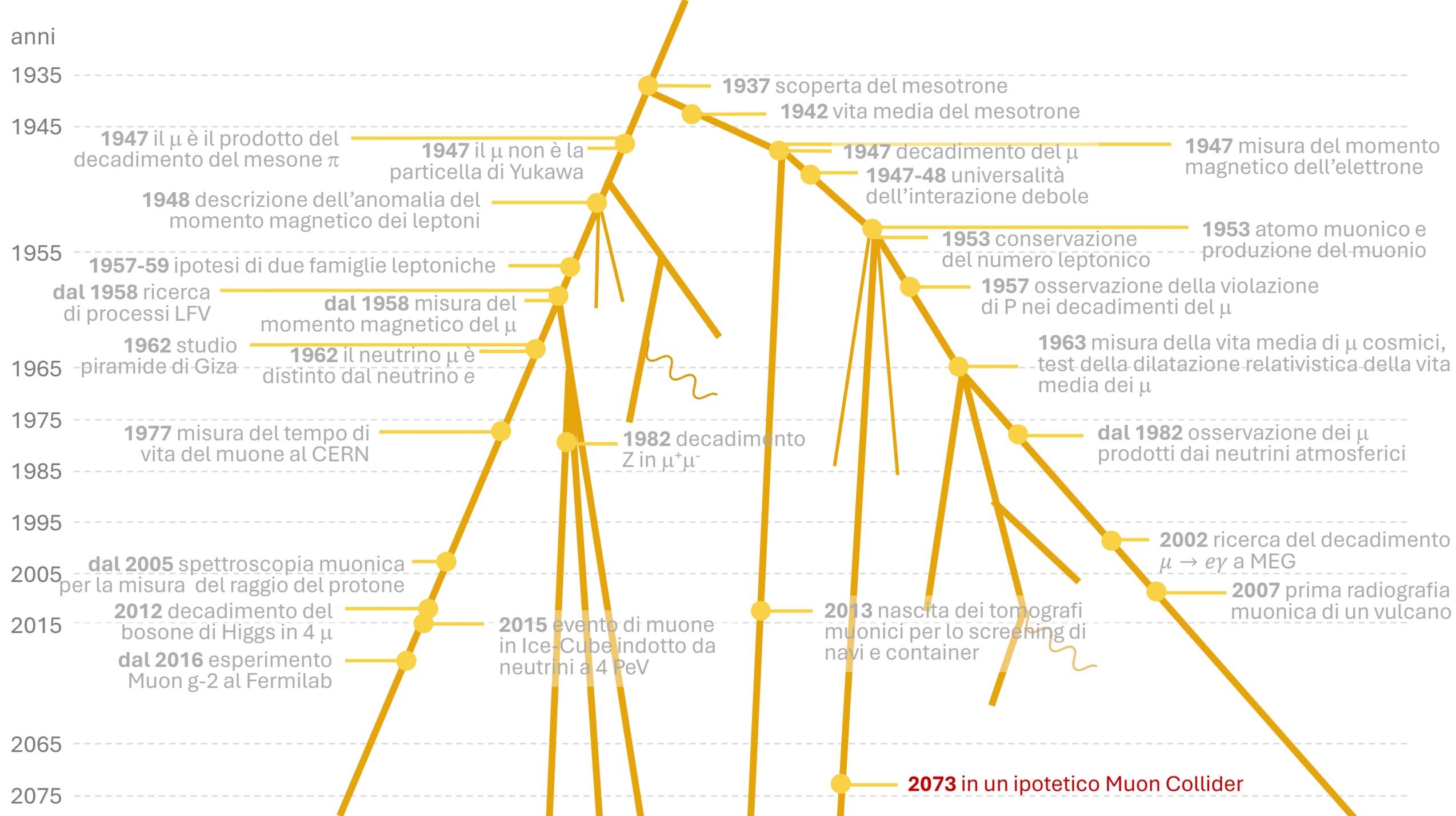


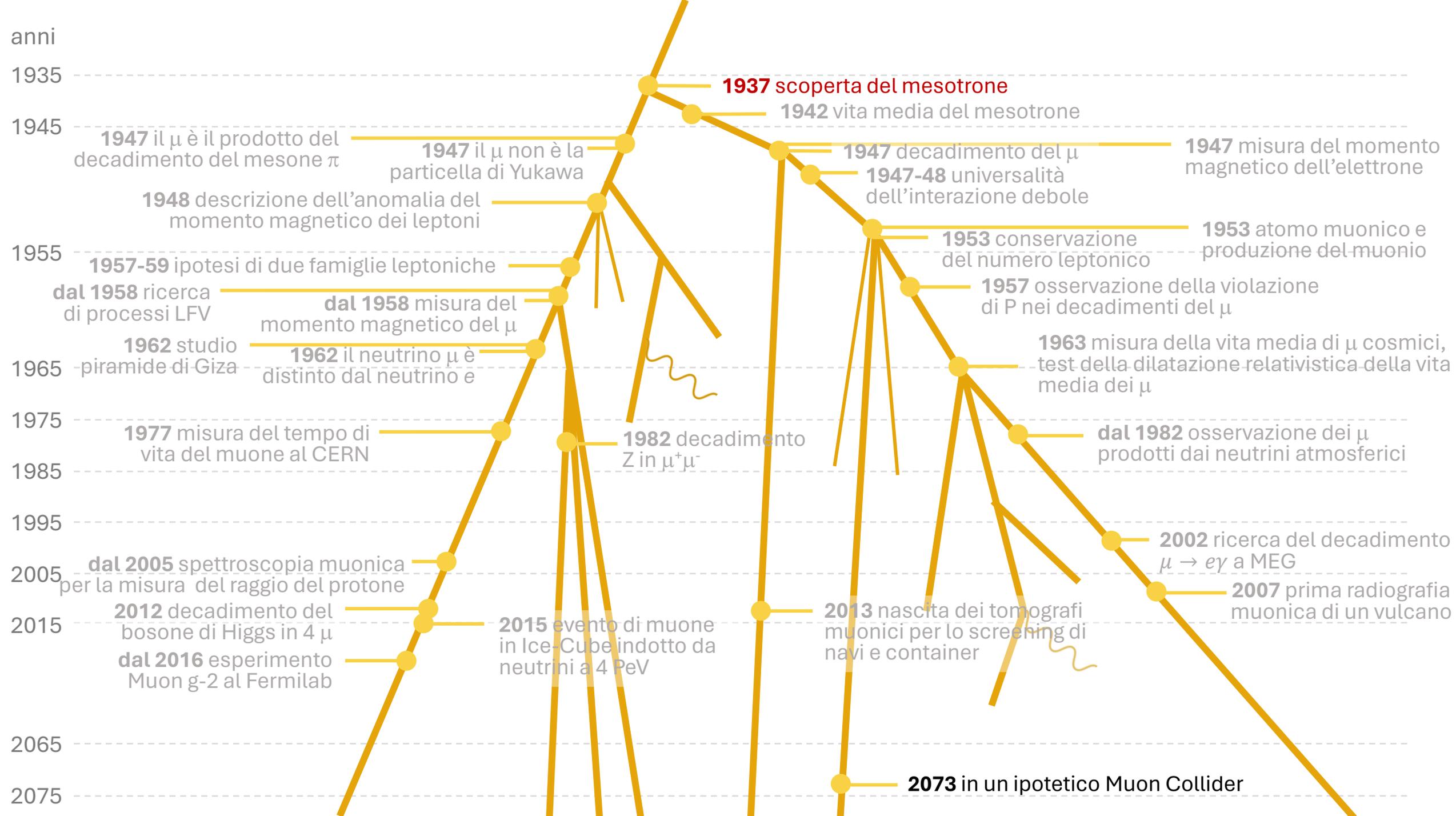
$$m_1 = m_2 = m$$

$$\begin{cases} p_2 = 0 \\ p_1 = p \end{cases} \quad \begin{cases} E_2 = mc^2 \\ E_1 = E \end{cases}$$

$$\begin{aligned} s &= (E + mc^2)^2 - (\mathbf{p})^2 c^2 \\ &= E^2 + m^2 c^4 + 2Emc^2 - E^2 + m^2 c^4 \\ &= m^2 c^4 + 2Emc^2 + m^2 c^4 \cong 2Emc^2 \propto E \end{aligned}$$

$$E_{cm} \propto \sqrt{E}$$



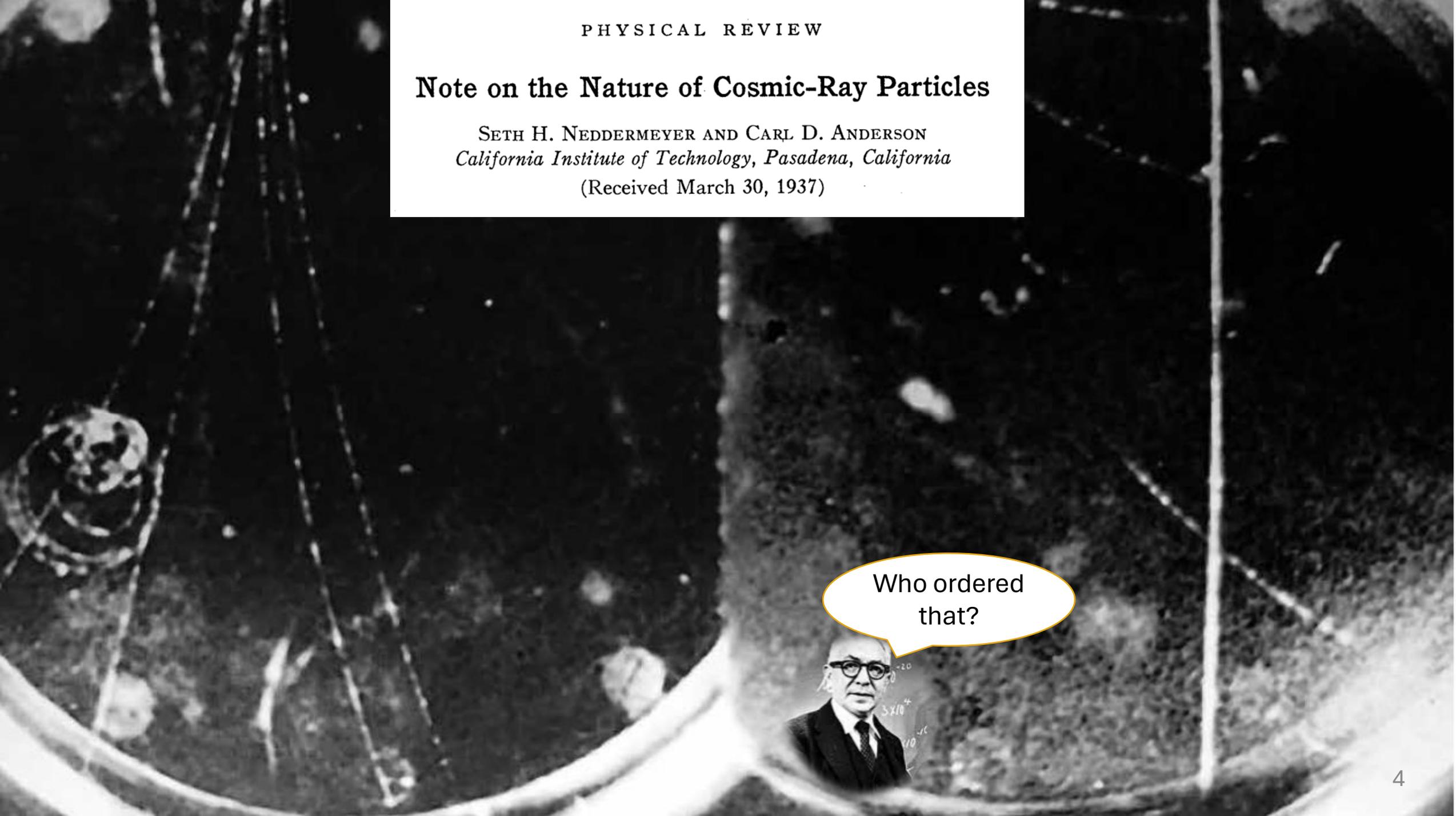




PHYSICAL REVIEW

Note on the Nature of Cosmic-Ray Particles

SETH H. NEDDERMEYER AND CARL D. ANDERSON
California Institute of Technology, Pasadena, California
(Received March 30, 1937)



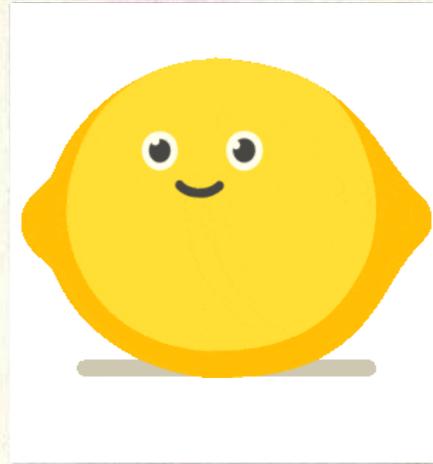
Who ordered
that?

Cognome..... Elementare
 Nome..... Mesotrone
 nato..... un po' di tempo fa..
 (atto n..... P..... S.....)
 in..... atmosfera (Terra)
 Cittadinanza..... Leptonica
 Residenza..... 2° famiglia
 Via.....
 Stato civile..... Si accoppia debolmente
 Professione..... Travel influencer

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

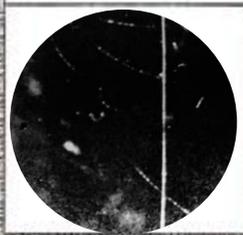
Vita media 2.2 μ s
 Carica ± 1
 Massa 105 MeV

Segni particolari.....
 Muone per gli amici



Firma del titolare..... *lano*
 2° famiglia..... II

Impronta del dito indice sinistro

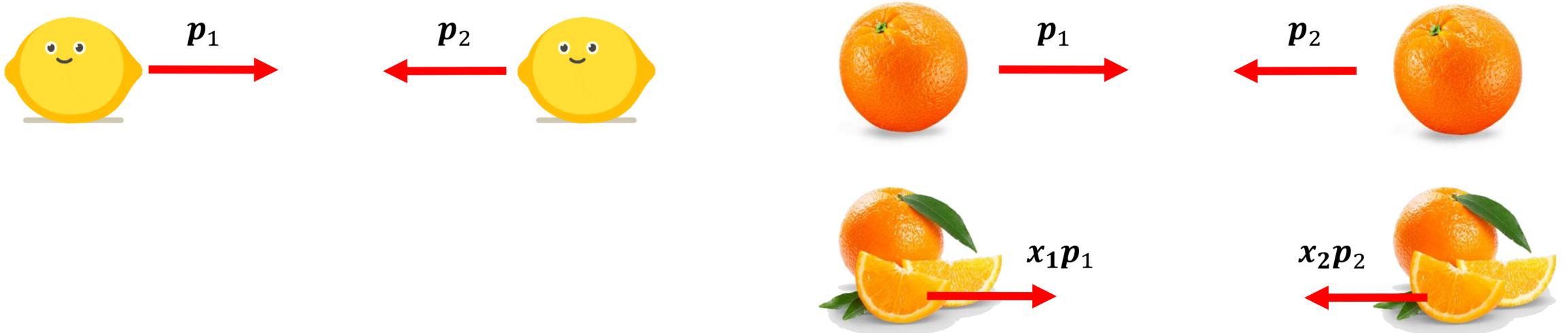


IL SINDACO

MS

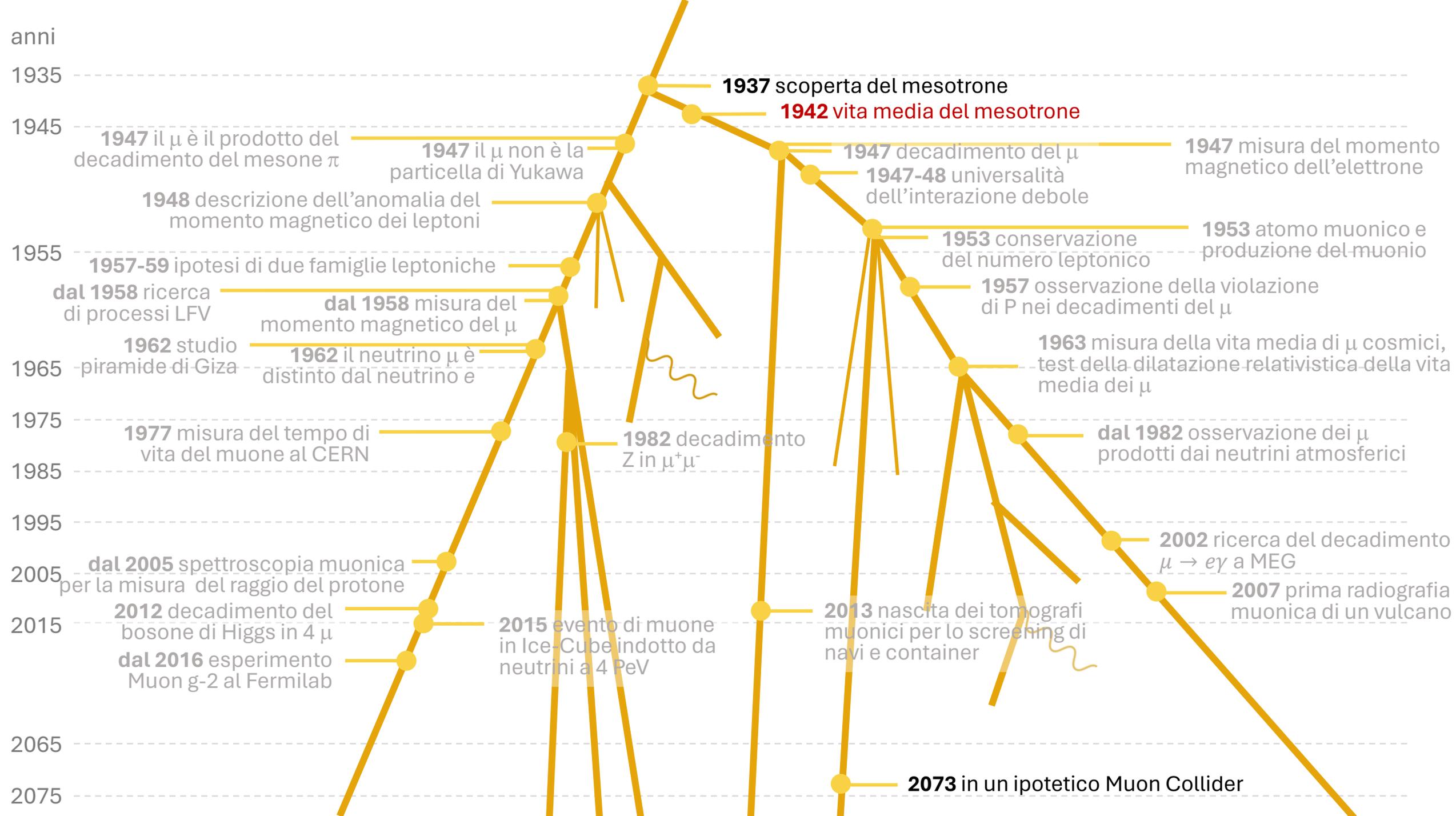


Elementare, Watson



Nel caso di particelle elementari tutte l'energia del fascio è disponibile nel centro di massa, per particelle composite solo una frazione

Nel caso di particelle elementari la collisione è più «pulita»



Decade o non decade...

Probabilità di decadere in ogni istante $\frac{\Delta t}{\tau}$

Probabilità di sopravvivenza

$$t = \Delta t \quad P(t) = 1 - \frac{\Delta t}{\tau} = 1 - \frac{t}{\tau}$$

$$t = 2\Delta t \quad P(t) = \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau}\right)^2 = \left(1 - \frac{t}{2\tau}\right)^2$$

$$t = 3\Delta t \quad P(t) = \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau}\right)^3 = \left(1 - \frac{t}{3\tau}\right)^3$$

$$t = N\Delta t \quad P(t) = \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau}\right)^N = \left(1 - \frac{t}{N\tau}\right)^N$$



E al limite per N che tende all'infinito...

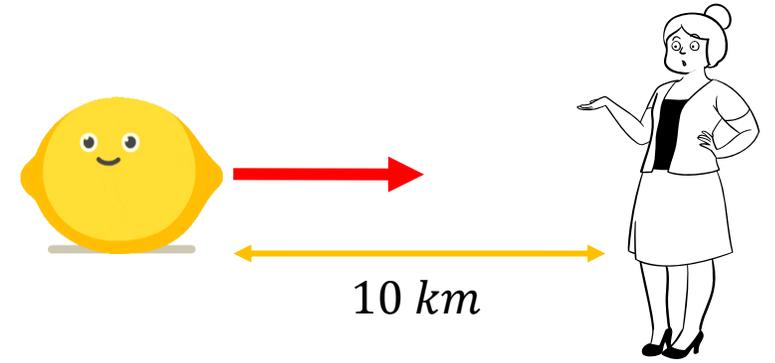
Ci rivediamo a inizio dicembre



$$P(t) = e^{-t/\tau}$$

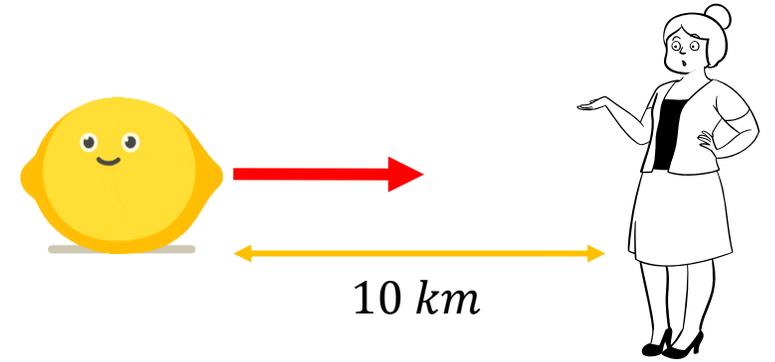
Qual è la probabilità di sopravvivenza di un muone?

$$T = \frac{d}{c} = \frac{10 \text{ km}}{c} =$$



Qual è la probabilità di sopravvivenza di un muone?

$$T = \frac{d}{c} = \frac{10 \text{ km}}{c} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ s} = 33 \mu\text{s}$$



Muone non relativistico

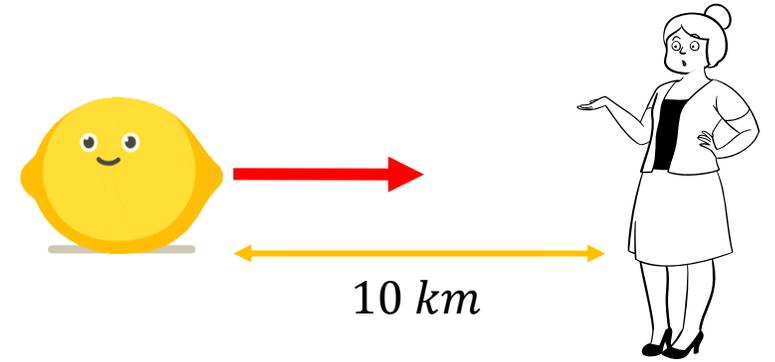
$$\tau = 2.2 \mu\text{s}$$

$$P(T) = e^{-T/\tau} = 3 \times 10^{-7} = 0.00003\%$$



Qual è la probabilità di sopravvivenza di un muone?

$$T = \frac{d}{c} = \frac{10 \text{ km}}{c} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ s} = 33 \mu\text{s}$$



Muone non relativistico

$$\tau = 2.2 \mu\text{s}$$

$$P(T) = e^{-T/\tau} = 3 \times 10^{-7} = 0.00003\%$$



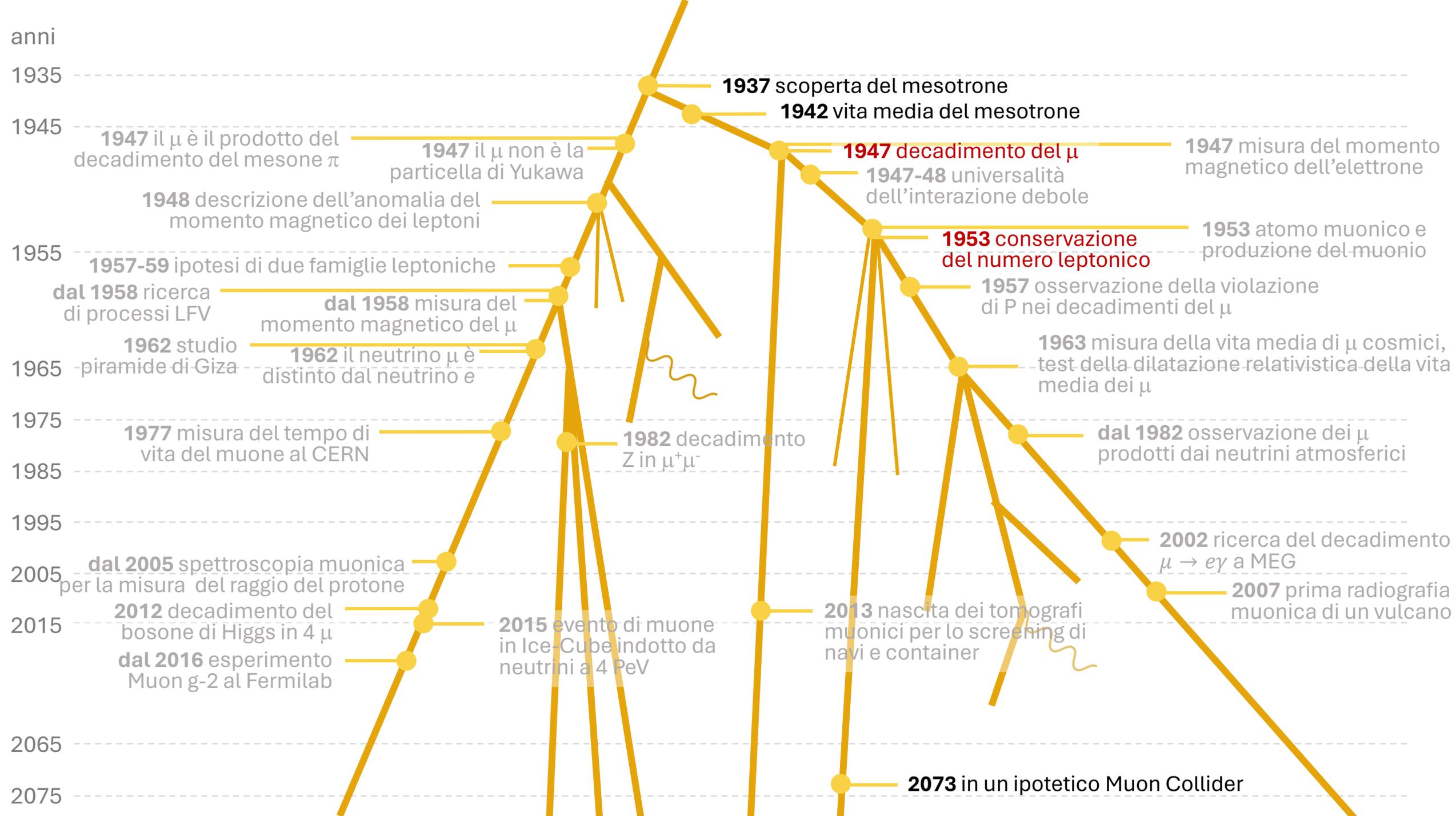
Muone di 3 GeV/c²

$$\tau' = \gamma\tau \quad E = \gamma mc^2 \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$E = 3 \text{ GeV}/c^2 \longrightarrow \gamma \approx 29 \longrightarrow \tau' = 63.8 \mu\text{s}$$

$$P(T) = e^{-T/\tau'} = 0.6 = 60\%$$





Come decade il muone?

secondo il **Modello Standard**...

	L_e	L_μ	q
μ^-	0	+1	-1
μ^+	0	-1	+1
e^-	+1	0	-1
e^+	-1	0	+1
ν_μ	0	+1	0
$\bar{\nu}_\mu$	0	-1	0
ν_e	+1	0	0
$\bar{\nu}_e$	-1	0	0



Conservazione carica elettrica
e *numero leptonic*

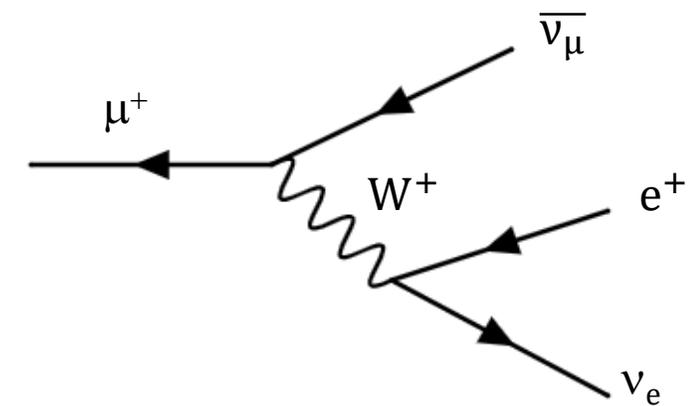
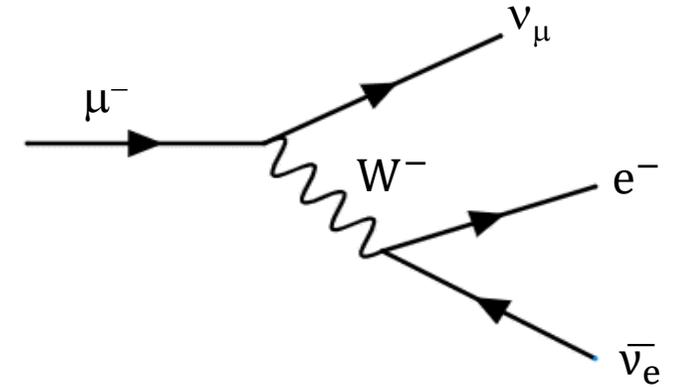
Come decade il muone?

secondo il **Modello Standard**...

	L_e	L_μ	q
μ^-	0	+1	-1
μ^+	0	-1	+1
e^-	+1	0	-1
e^+	-1	0	+1
ν_μ	0	+1	0
$\bar{\nu}_\mu$	0	-1	0
ν_e	+1	0	0
$\bar{\nu}_e$	-1	0	0



Conservazione carica elettrica
e *numero leptonic*



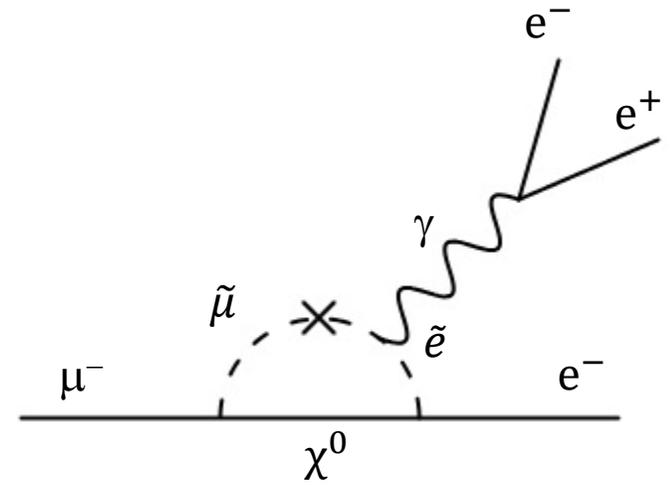
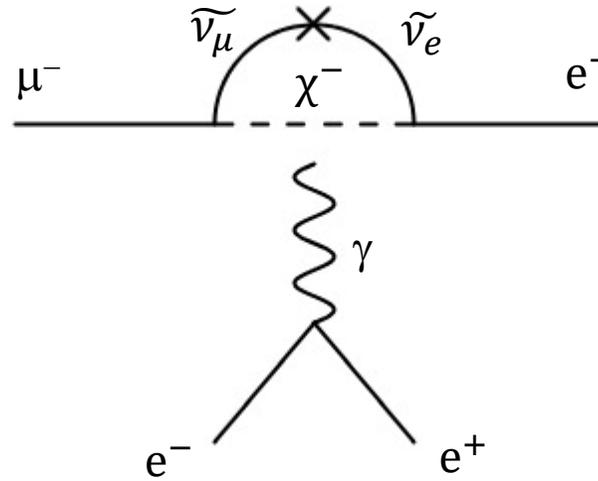
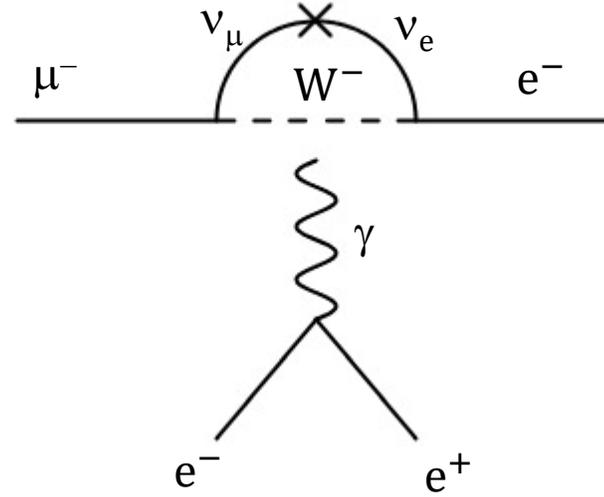
oltre il **Modello Standard**...

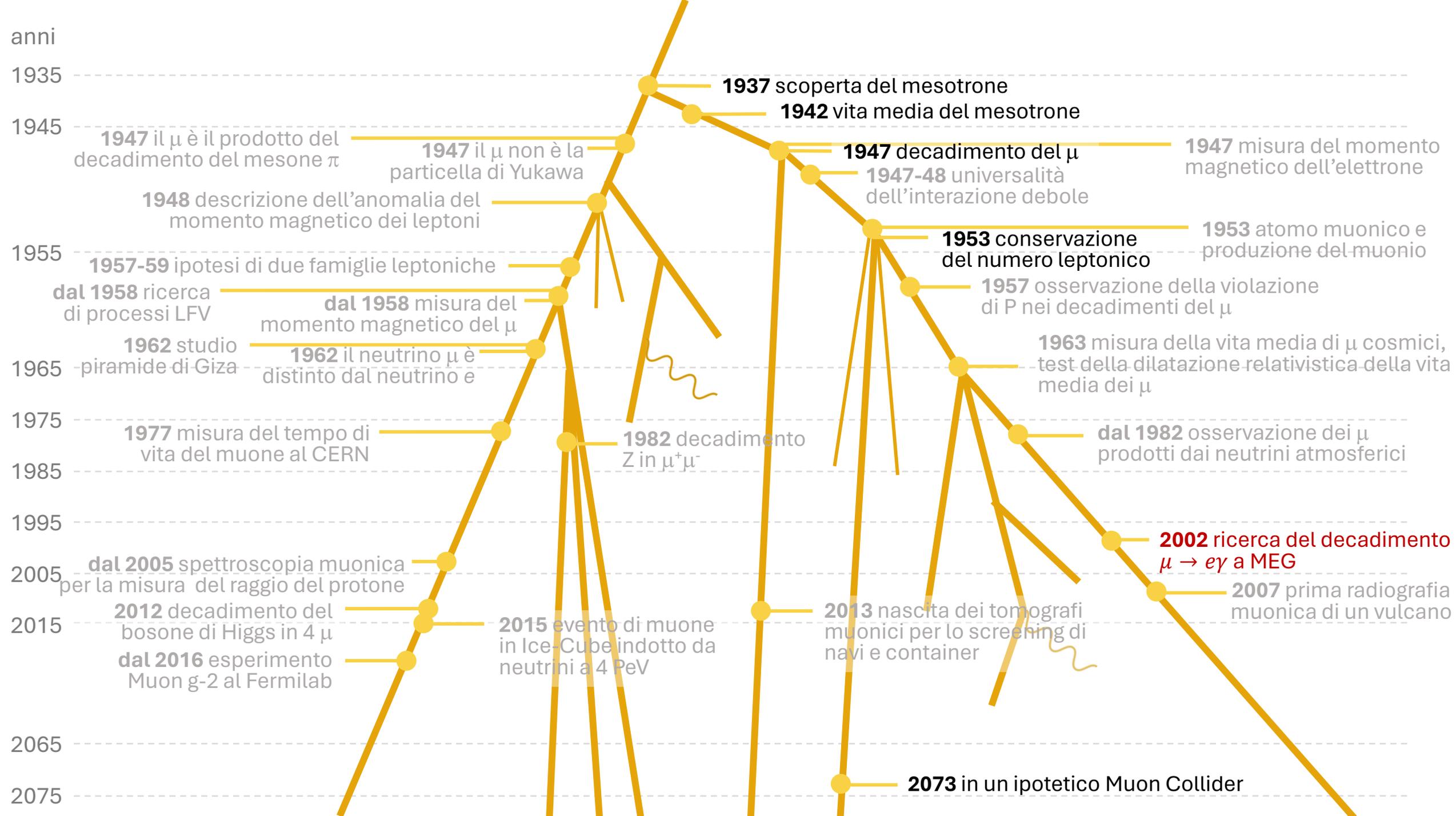
$$\mu \rightarrow 3e$$

Viola la conservazione del numero leptonic

nel MS avrebbe una probabilità $\mathcal{O}(10^{-50})$

Potrebbe accadere con probabilità maggiori se prevediamo fenomeni *oltre* il MS





oltre il **Modello Standard...**

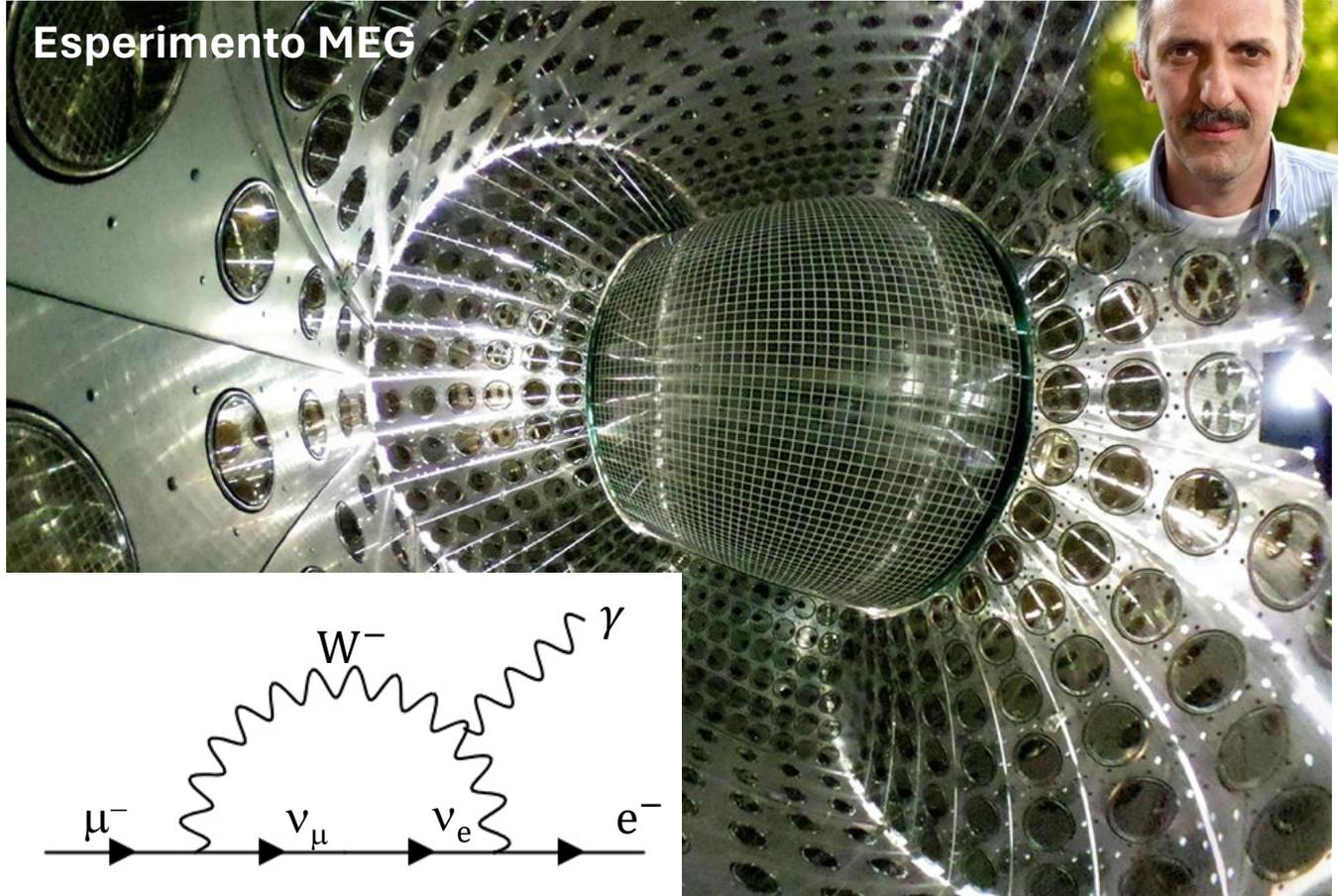
$$\mu \rightarrow e\gamma$$

Viola la conservazione del numero leptonic

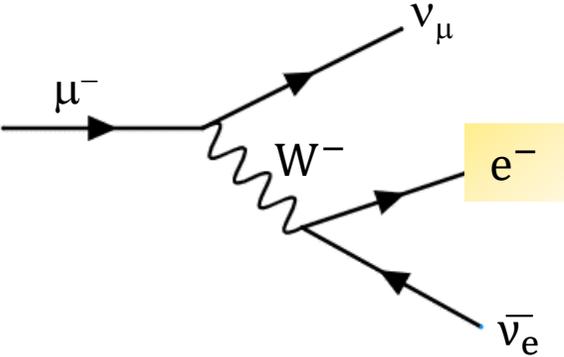
nel MS avrebbe una probabilità $\mathcal{O}(10^{-54})$

Potrebbe accadere con probabilità maggiori se prevediamo fenomeni *oltre* il MS

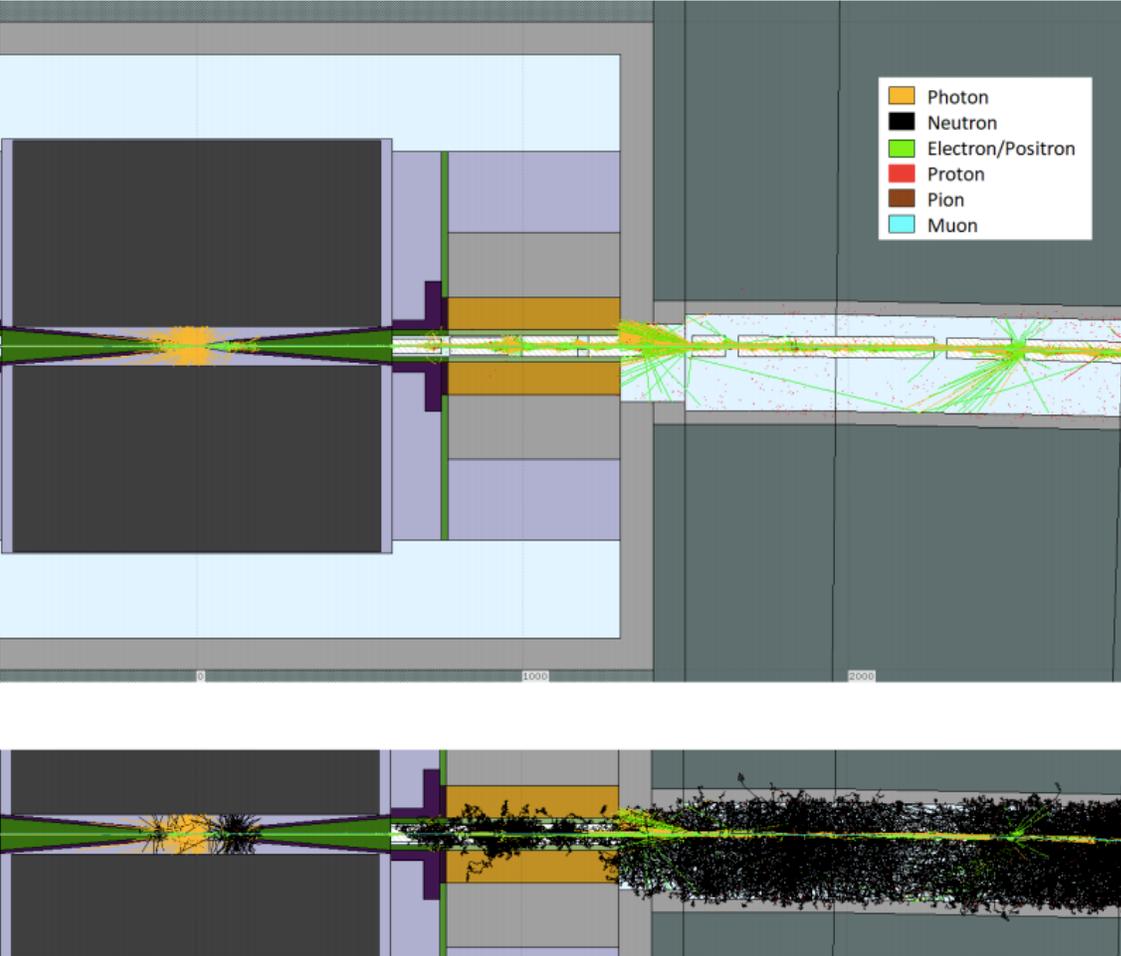
Appuntamento
giovedì alle 16.30
in 106



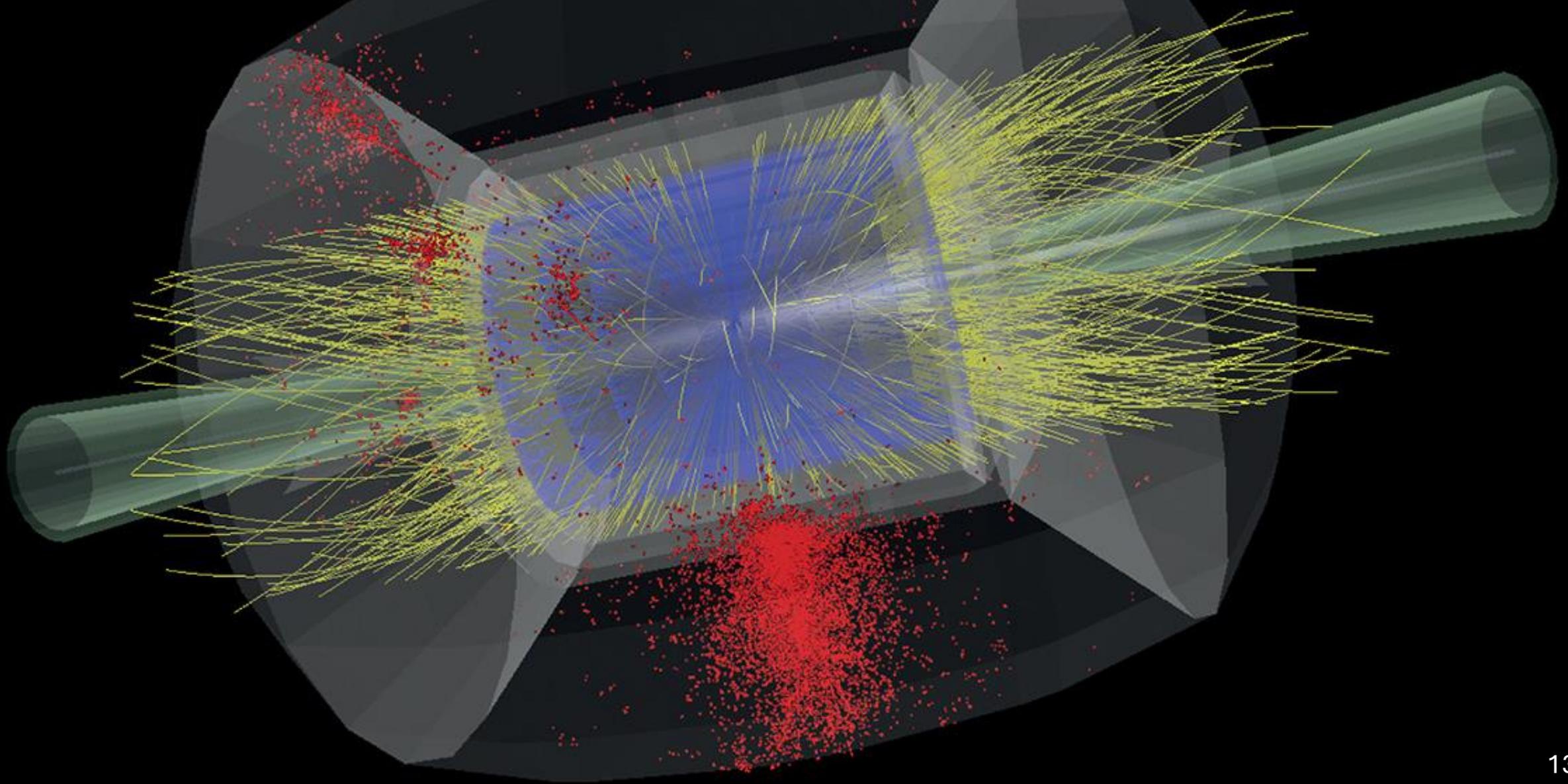
Perché il decadimento del muone ci interessa al Muon Collider? IL BIB



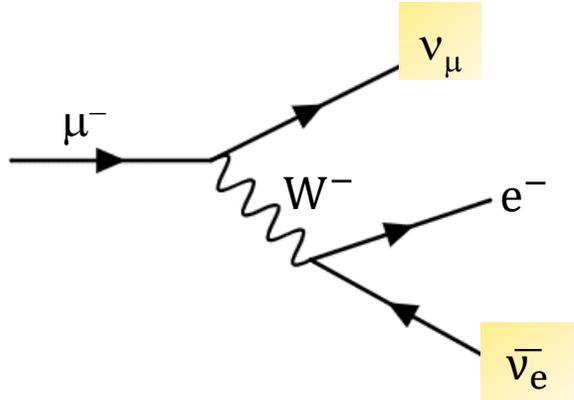
BIB = Beam Induced Background



IL BIB nel rivelatore



E i neutrini?



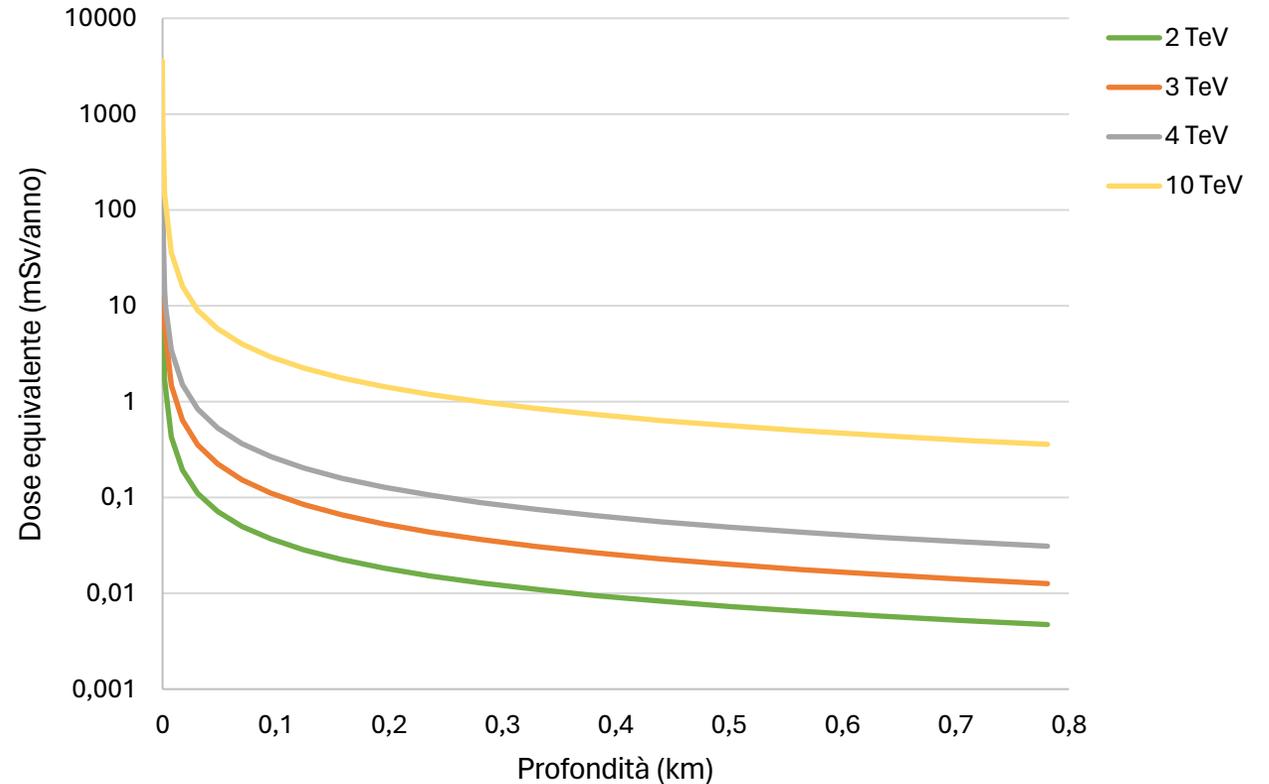
I neutrini al Muon Collider sono così tanti che potrebbero portare ad una dose di radiazione non trascurabile intorno all'acceleratore

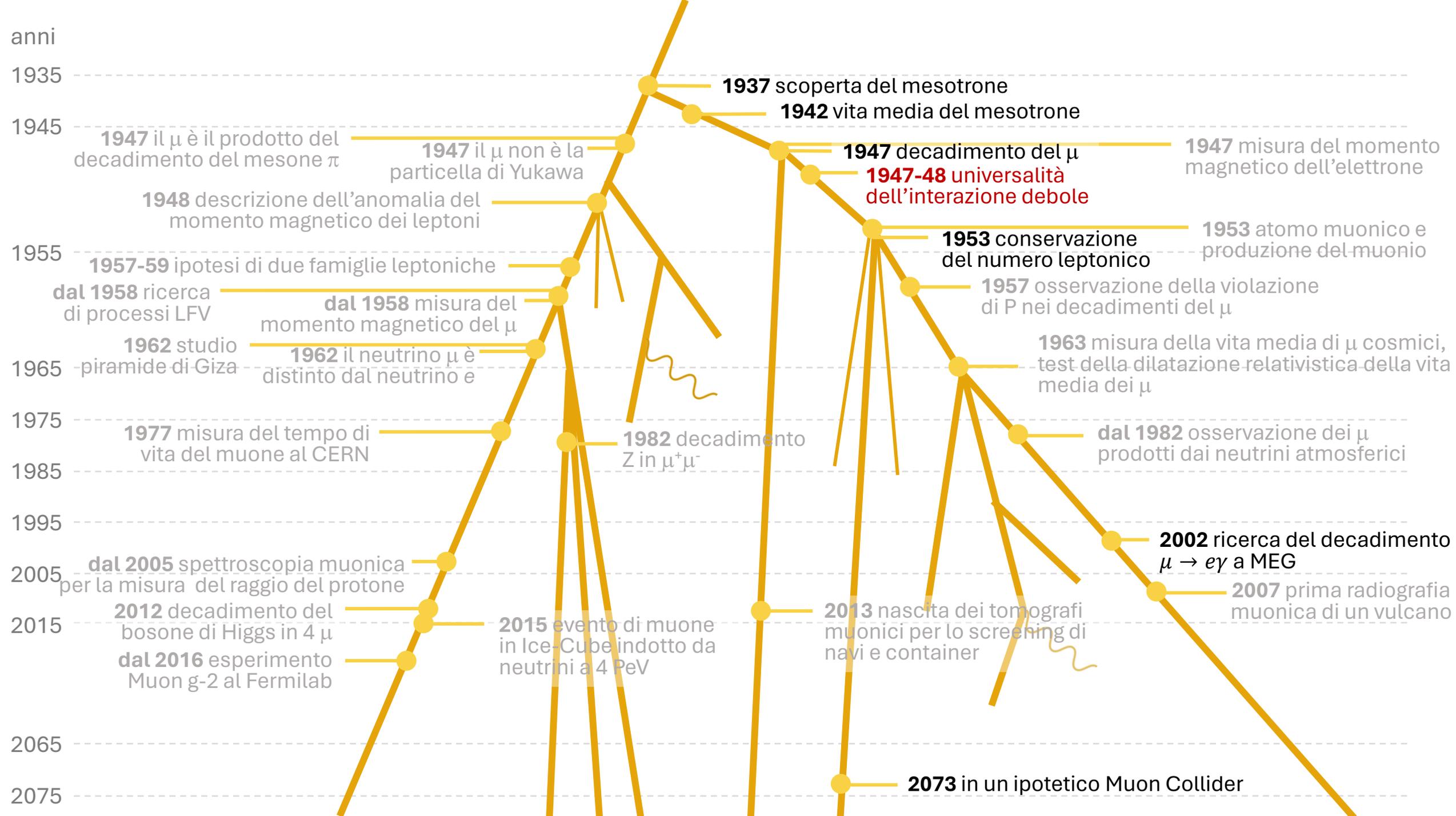
quindi?

Dose assorbita $D = \frac{E}{m}$

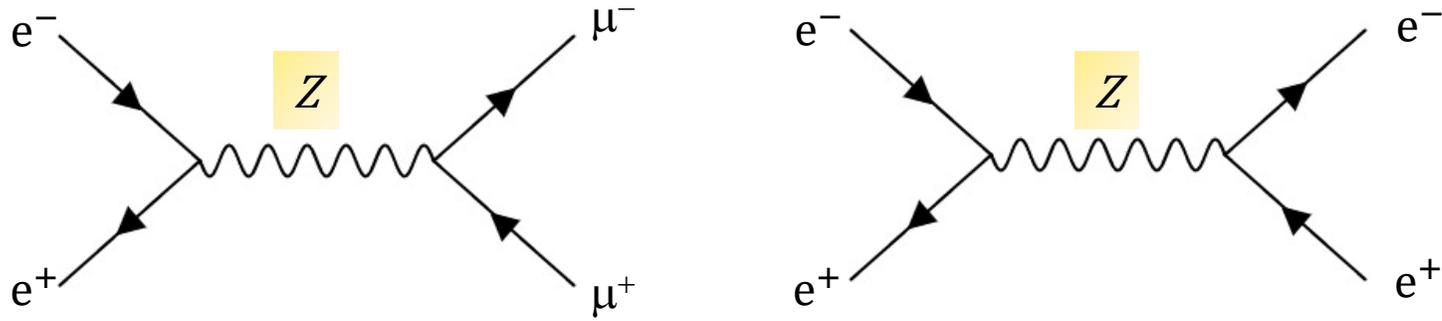
Dose equivalente $H = \sum_r w_r D_r$

Il fondo ambientale è ~ 2.4 mSv /y





Muoni o elettroni?

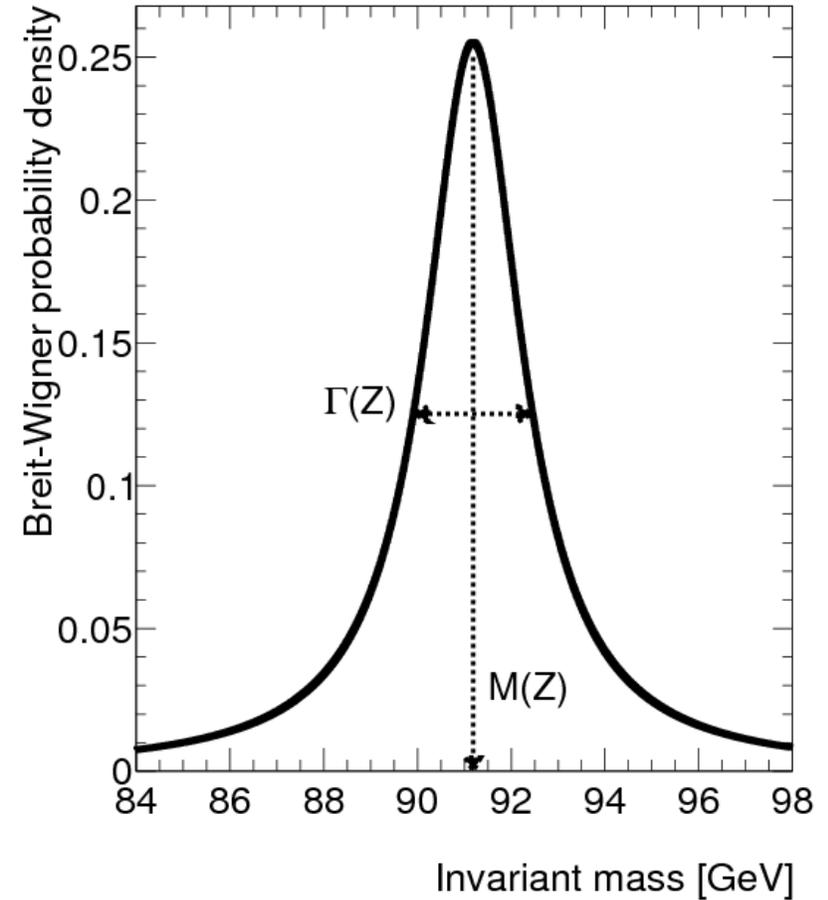


$$\Gamma = \frac{h}{2\pi\tau}$$

$$\Gamma_x = \sum_f \Gamma_f$$

$$\mathcal{B}(x \rightarrow f) = \frac{\Gamma_f}{\Gamma_x}$$

	\mathcal{B}
$\ell^+ \ell^-$	$\sim 3.5\%$
$\bar{\nu} \nu$	$\sim 6.9\%$
adroni	$\sim 69\%$



Perché proprio un Muon Collider? Le dimensioni contano

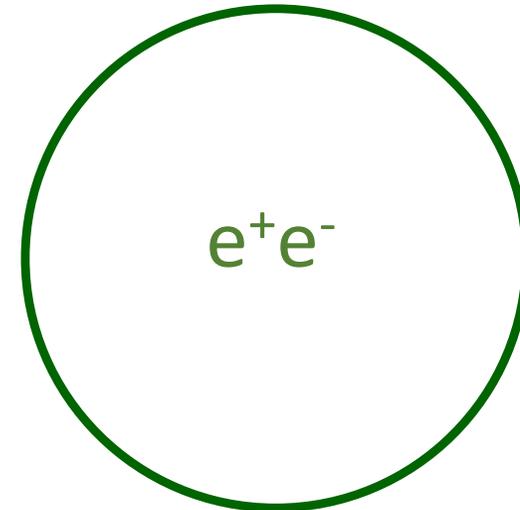
Forza di Lorentz

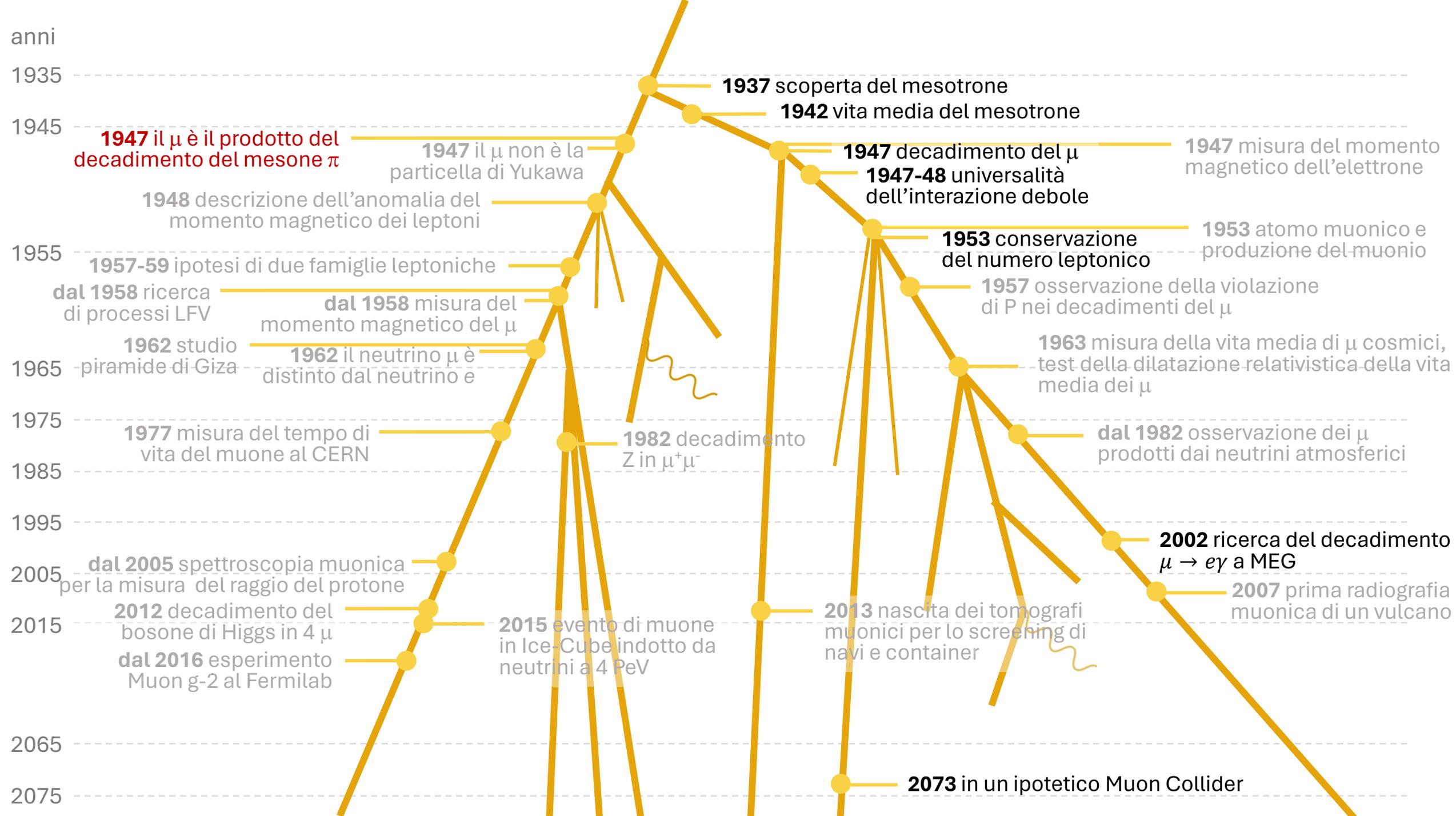
$$R = \frac{p}{qB} \approx \frac{E}{qcB}$$



Potenza irradiata

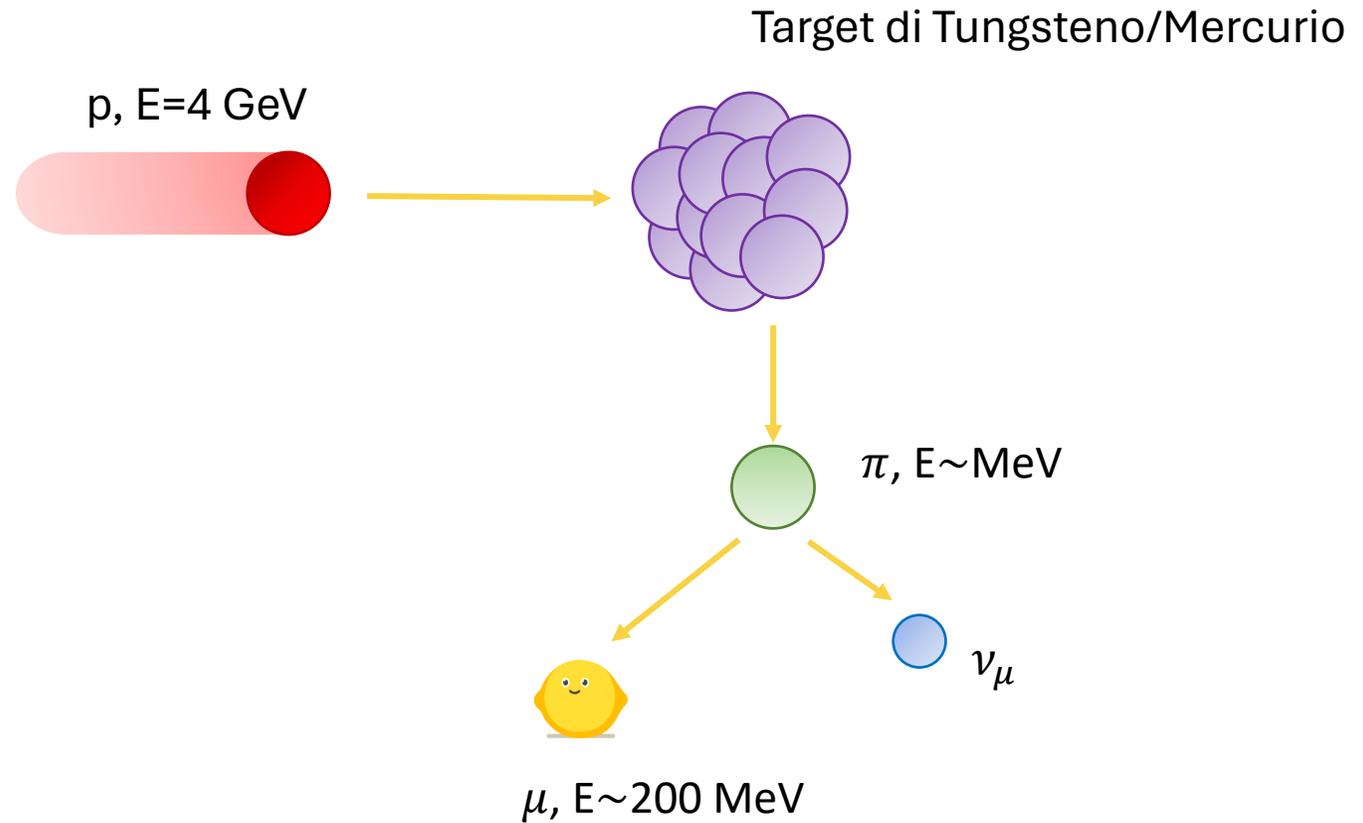
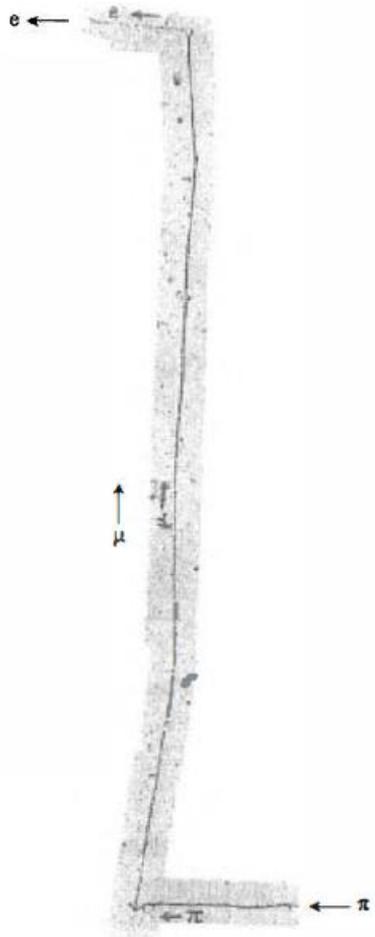
$$P = \frac{q^2 c}{6\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\gamma^4}{R^2} \propto \frac{E^4}{m^4 R^2}$$





Come produciamo un fascio di muoni?

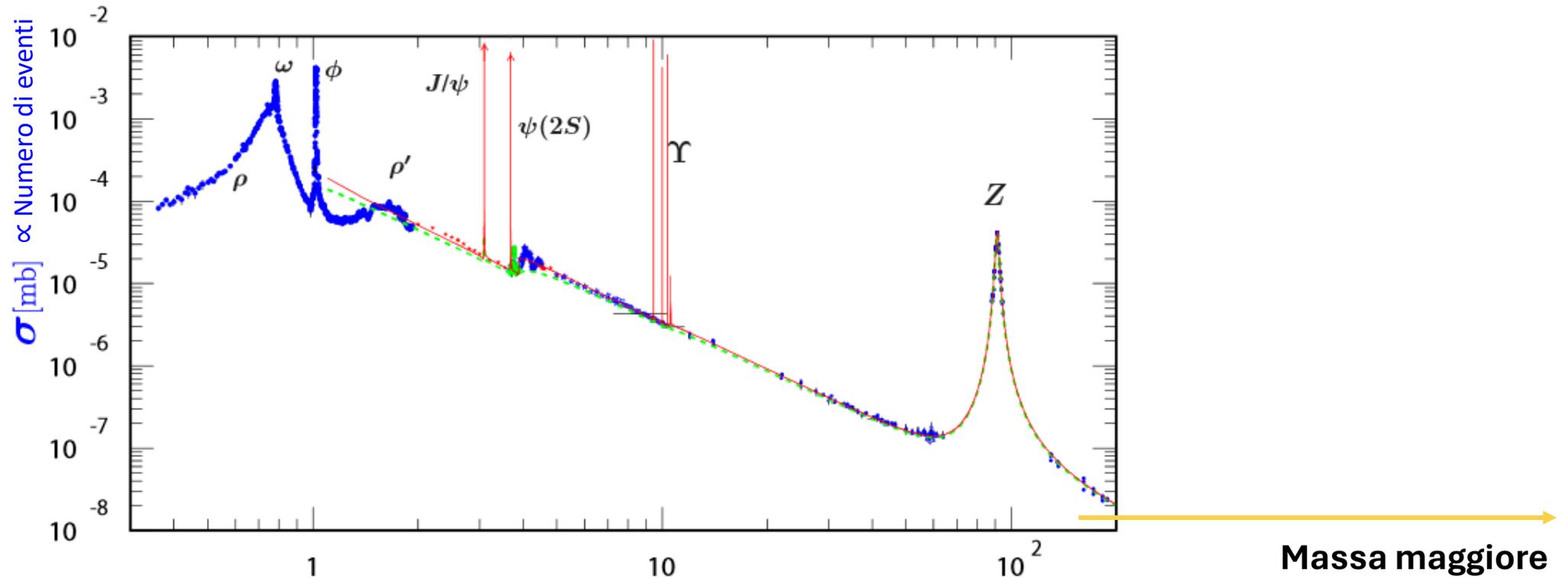
Decadimento del π



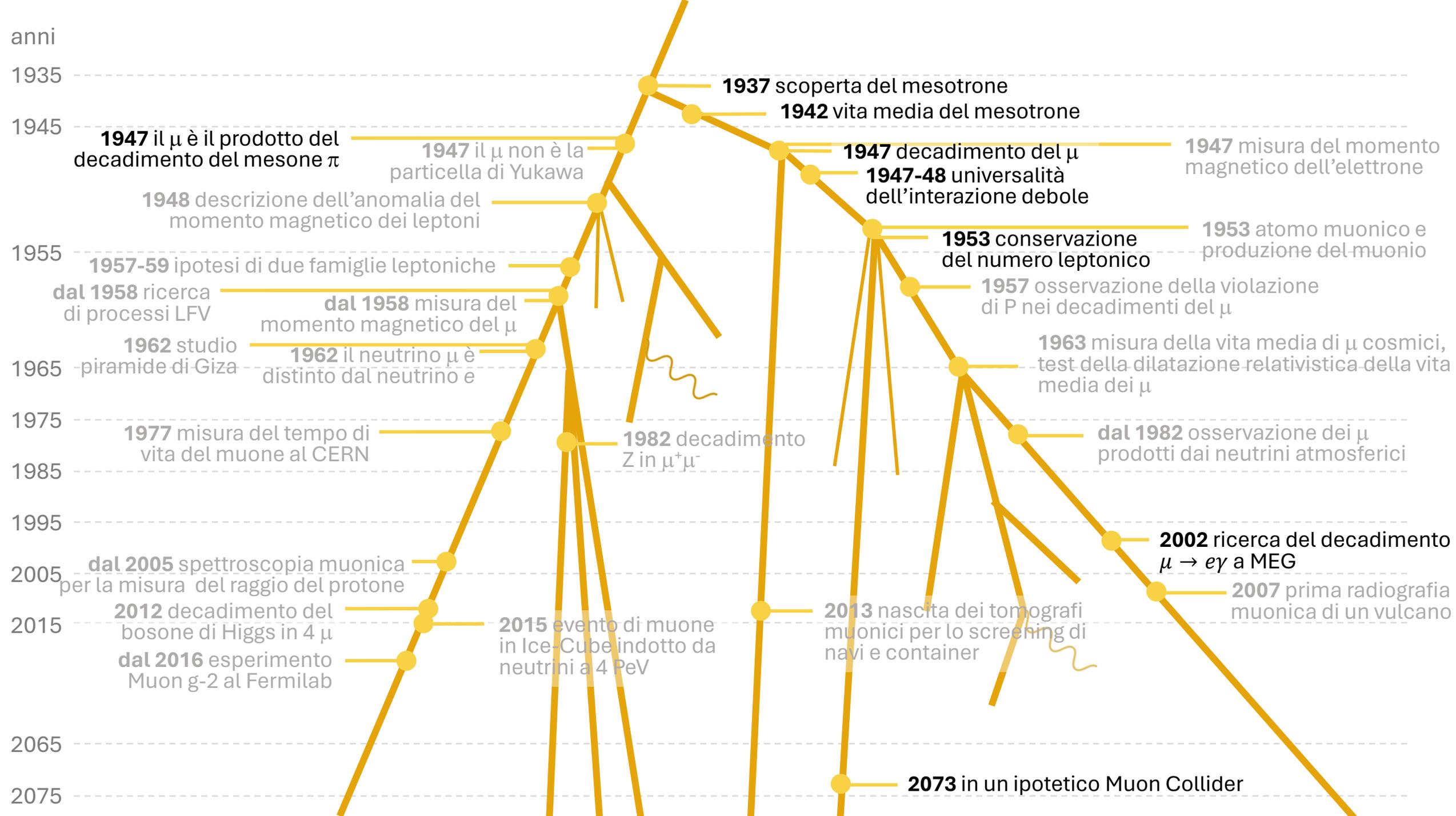
Fin qui tutto bene...

Ma perché?

Saprai farlo sì, con un Muon Collider



- *Fisica di precisione* → conoscere più a fondo le proprietà delle particelle già note
- *Produzione di risonanze nuove* → nuova fisica



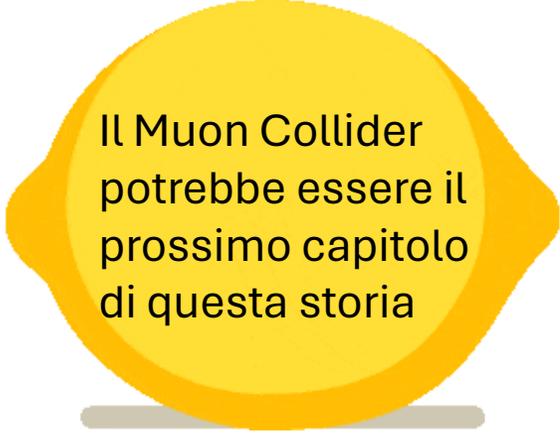
Conclusioni



Il muone affascina
i fisici fin dalla sua
scoperta



Le sue proprietà
sono state studiate
e utilizzate



Il Muon Collider
potrebbe essere il
prossimo capitolo
di questa storia



Ilaria, non ci sono proprio più le mezze stagioni

Novembre 2073

Backup

$$e = g_Z \cos \theta_W \sin \theta_W$$

$$-ig_Z \frac{1}{2} \gamma_\mu [c_V - c_A \gamma_5]$$

$$\Gamma(Z \rightarrow f\bar{f}) = \frac{g_Z^2 m_Z}{48\pi} (c_V^2 + c_A^2)$$

Fermion	Q	I_W^3	c_L	c_R	c_V	c_A
ν_e, ν_μ, ν_τ	0	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
e^-, μ^-, τ^-	-1	$-\frac{1}{2}$	-0.27	0.23	-0.04	$-\frac{1}{2}$
u, c, t	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	0.35	-0.15	+0.19	$+\frac{1}{2}$
d, s, b	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.42	0.08	-0.35	$-\frac{1}{2}$

Volume di xenon liquido

40 photons/keV

è veloce O(ns)

VUV MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) + PMTs

~ 5000 sensori

