



SUPER QUARK

Viaggio al centro del nucleo

S. Venturini, M. Cerutti, L. Rossi

Nel lontano 1981...



“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.
Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche particelle subnucleari, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti. È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



Viaggio al centro del nucleo

“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.

Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche particelle subnucleari, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti. È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



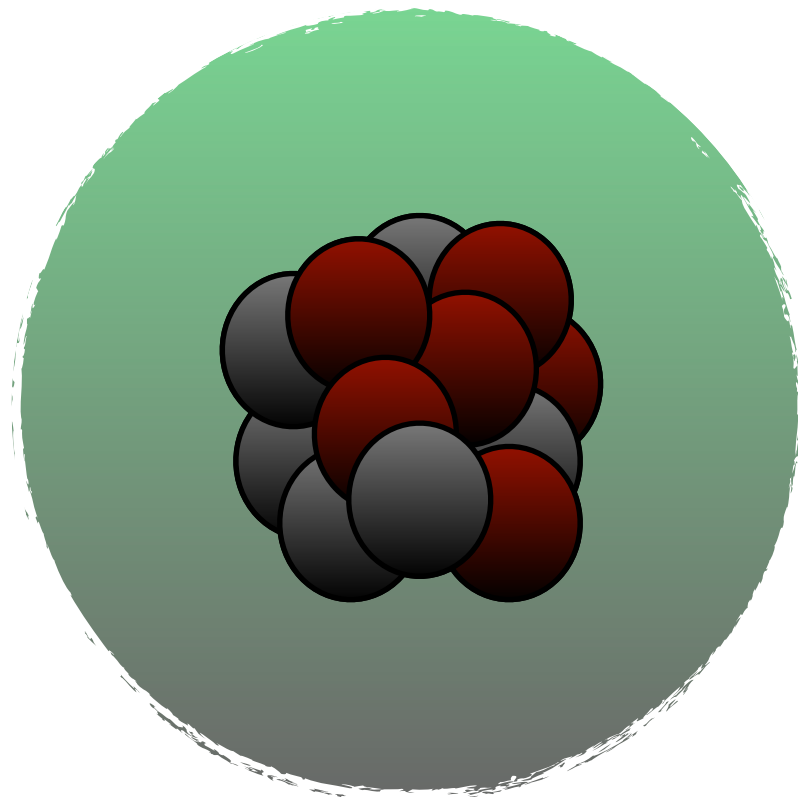
Viaggio al centro del nucleo

“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.
Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche **particelle subnucleari**, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti. È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

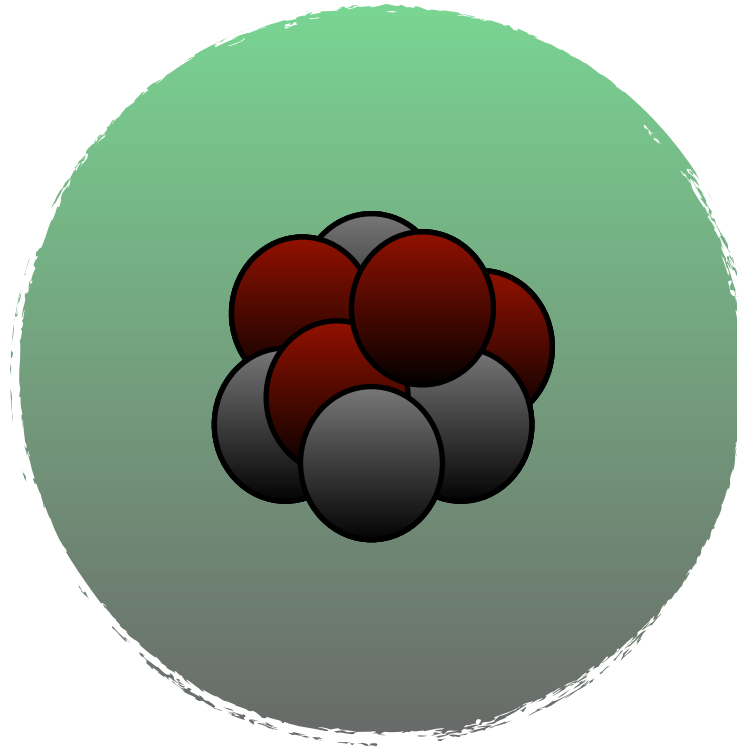
Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



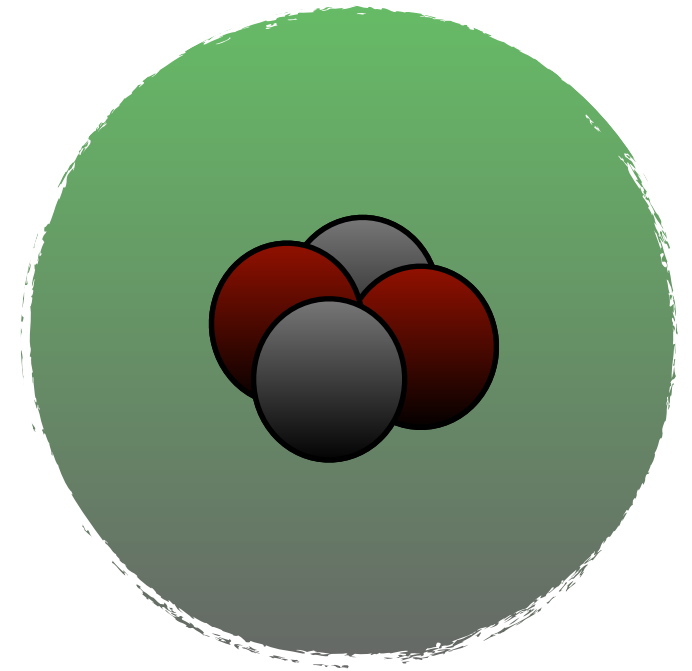
Viaggio al centro del nucleo



$^{12}_6\text{C}$

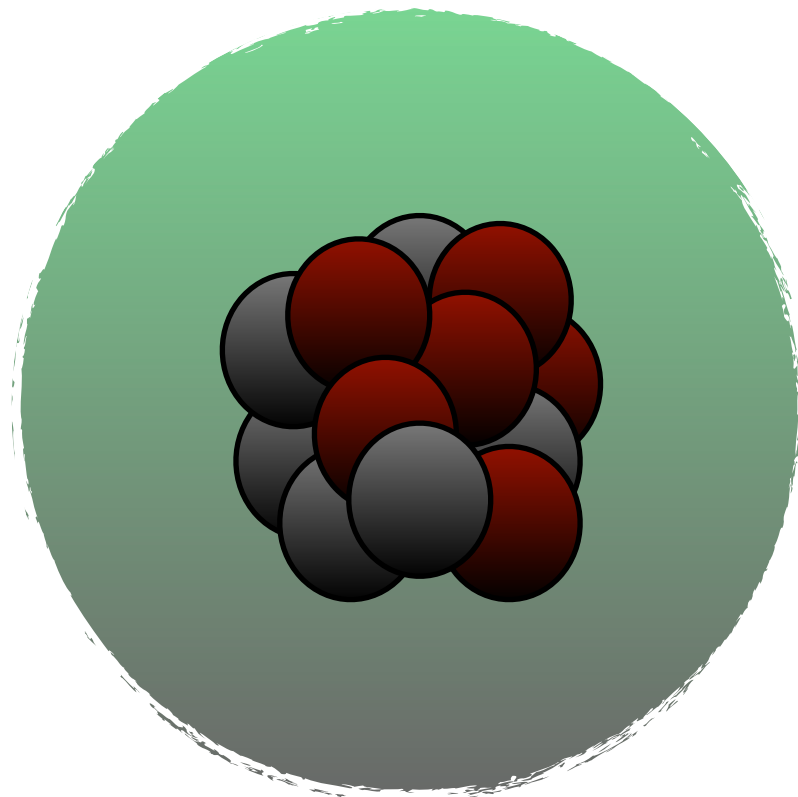


^8_4Be

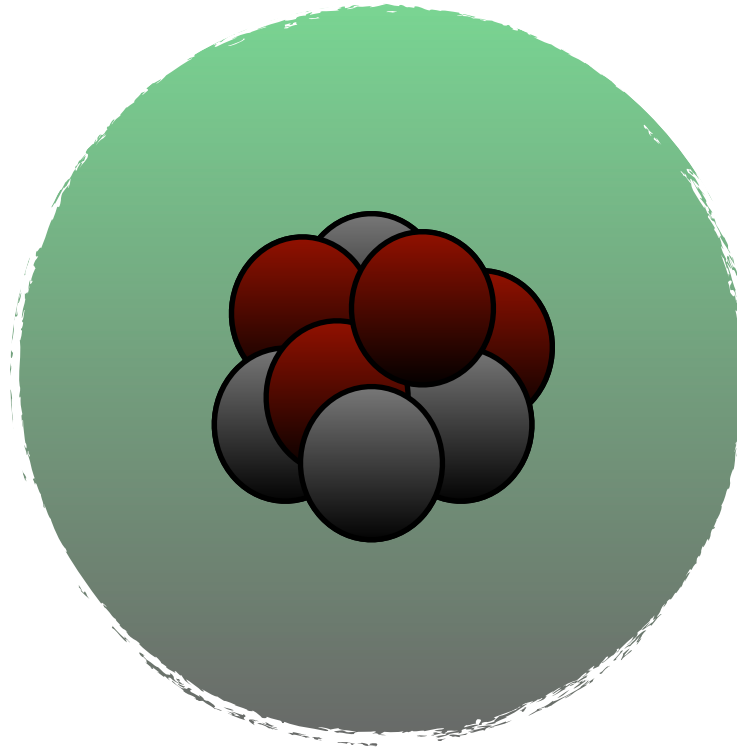


^4_2He

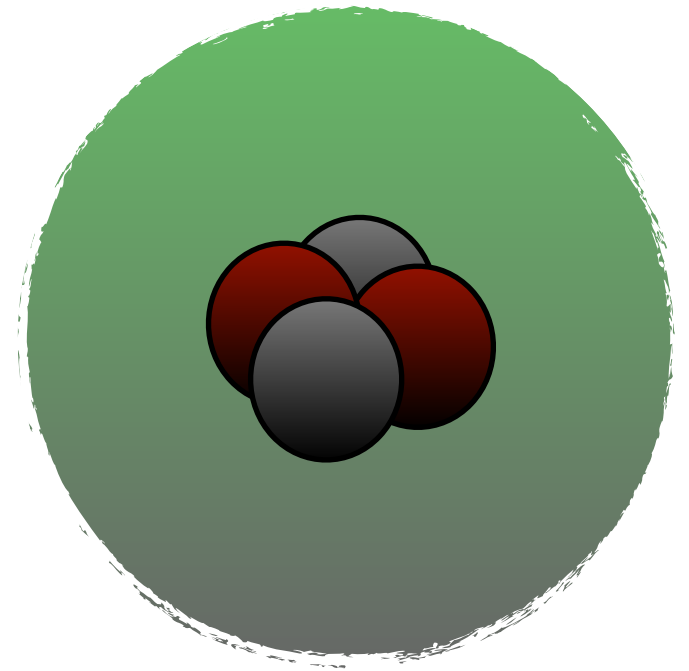
Viaggio al centro del nucleo



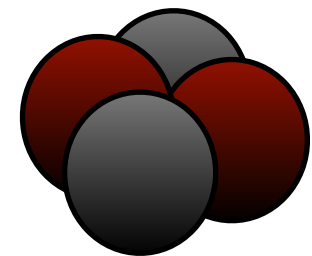
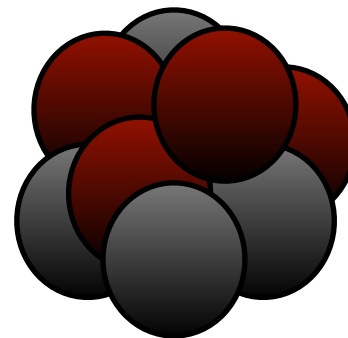
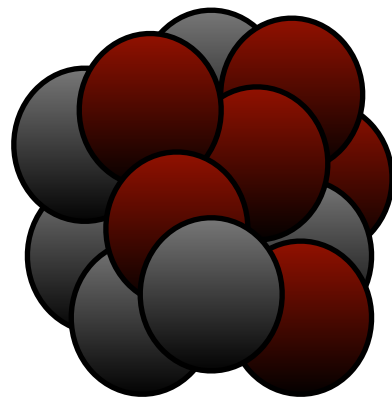
$^{12}_6\text{C}$



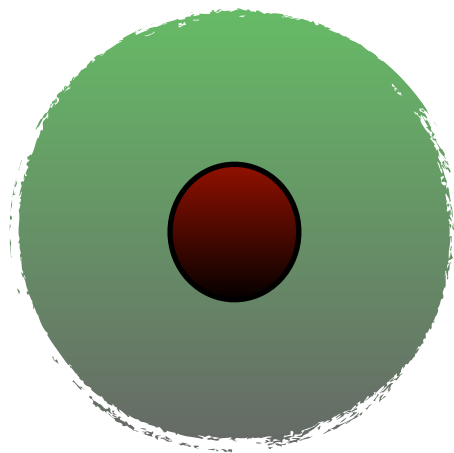
^8_4Be



^4_2He

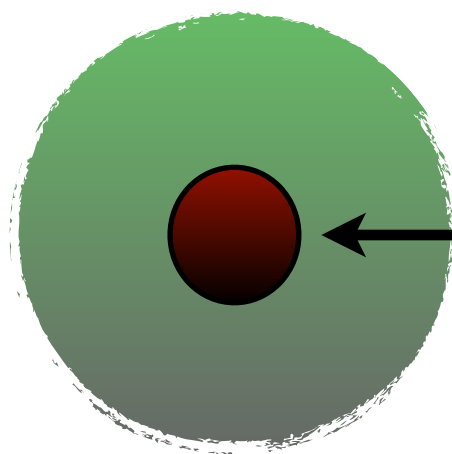


Viaggio al centro del nucleo

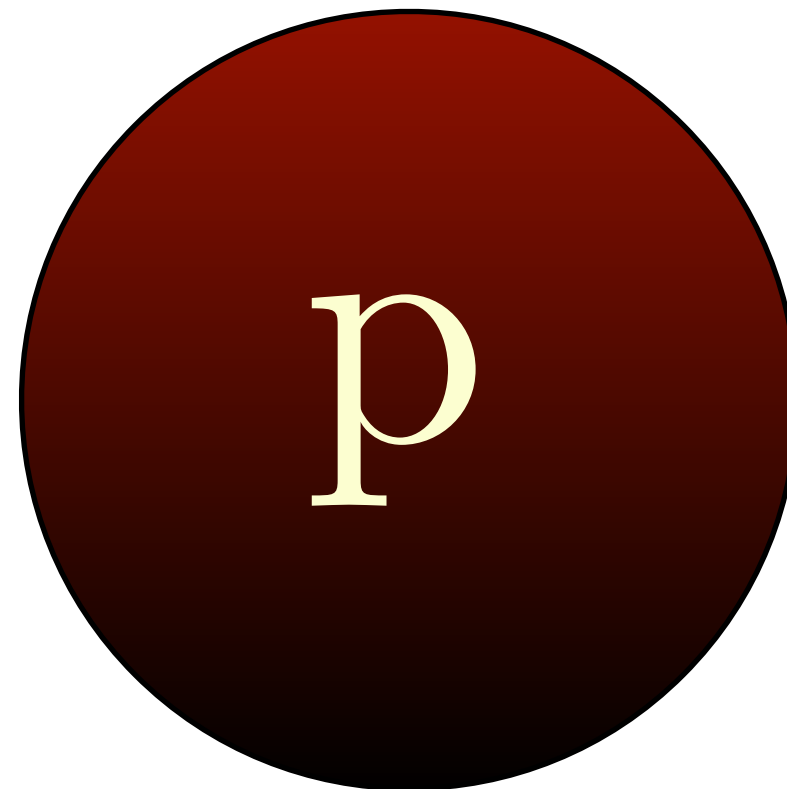


^1H

Viaggio al centro del nucleo



^1H



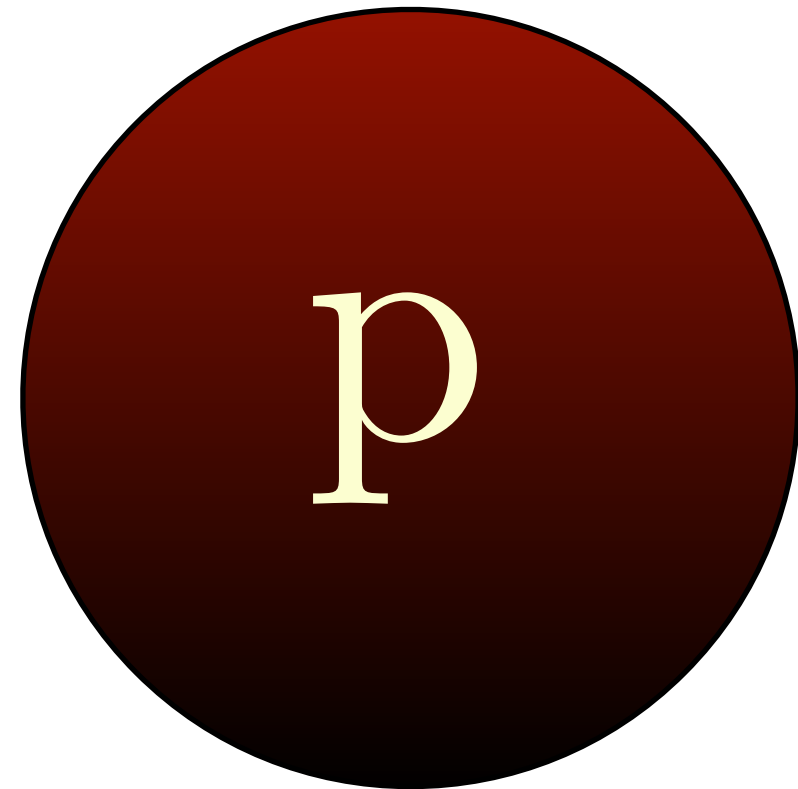
Viaggio al centro del nucleo

Identikit

Massa: $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Carica: $+e$

Spin: $1/2$



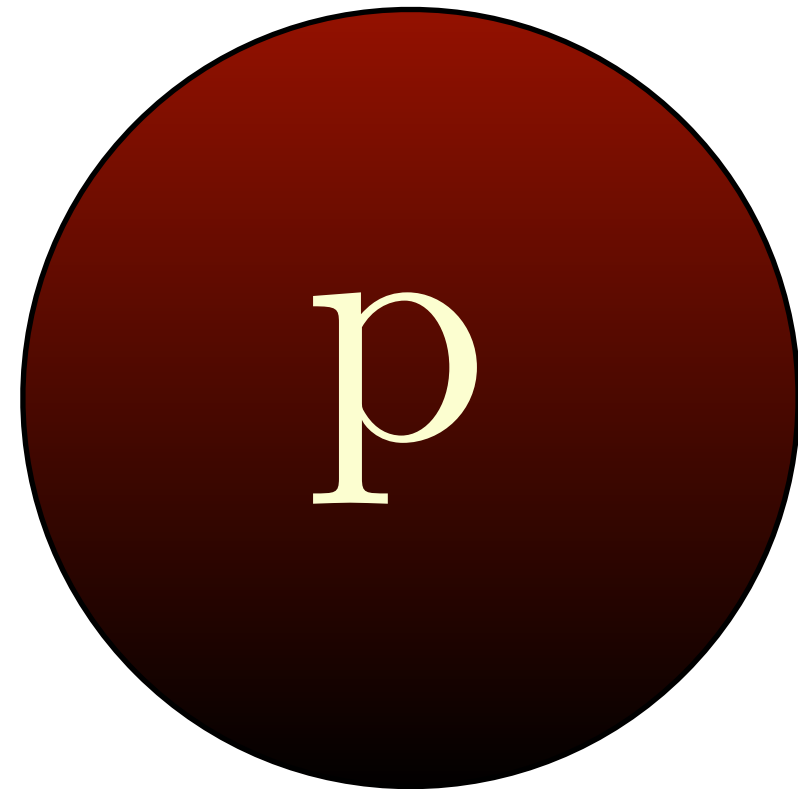
Identikit

Massa: $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$$E = mc^2$$

Carica: $+e$

Spin: $1/2$

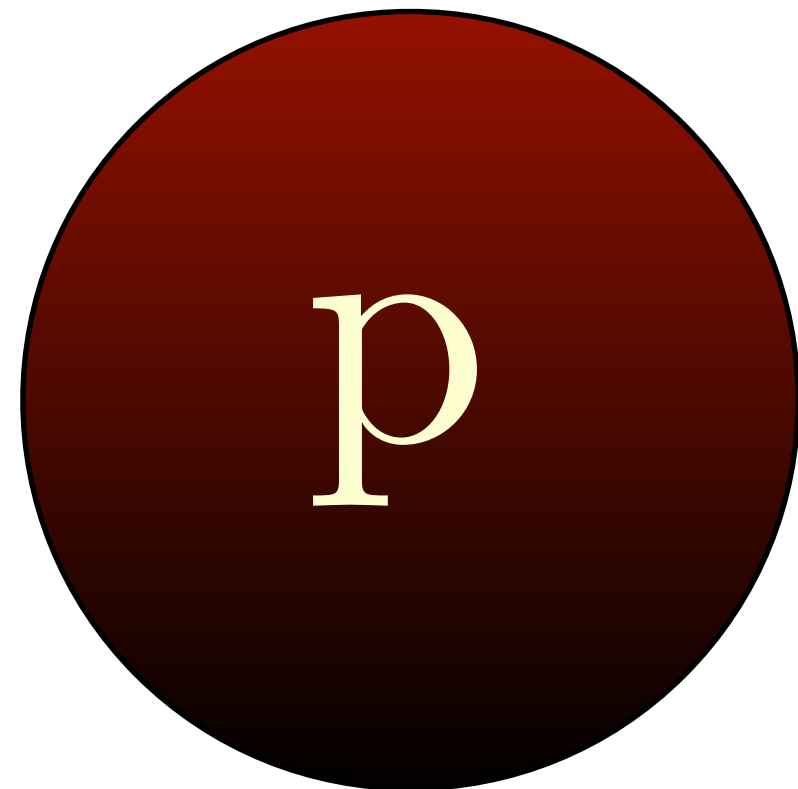


Identikit

Massa: 938.27 MeV

Carica: $+e$

Spin: $1/2$



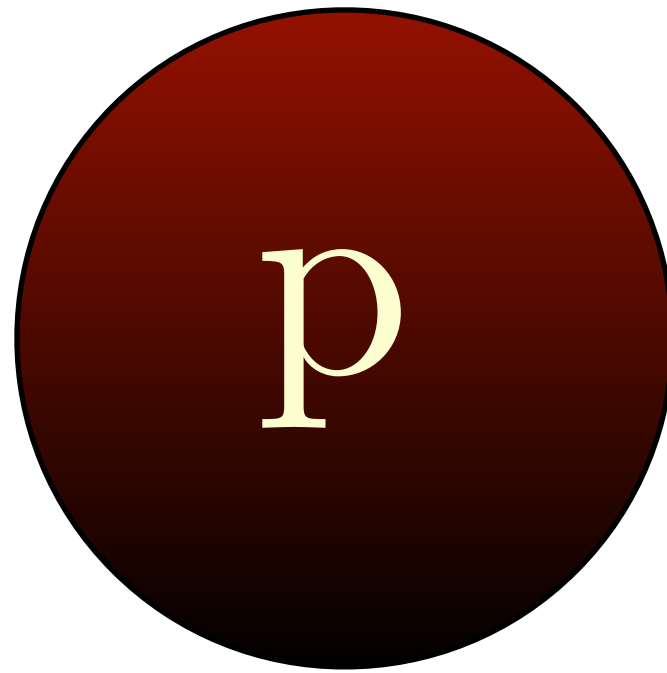
Identikit

Massa: 939.56 MeV

Carica: 0

Spin: $1/2$





Carica:

$+e$

0

Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

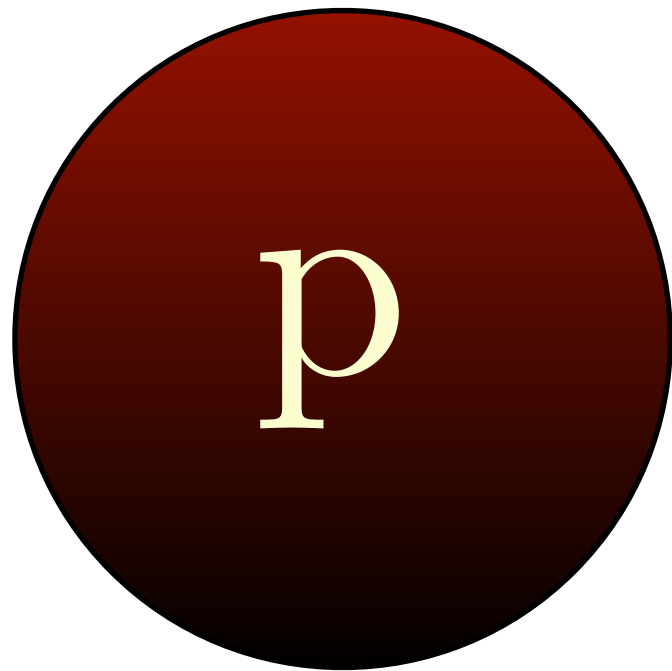
Spin:

$1/2$

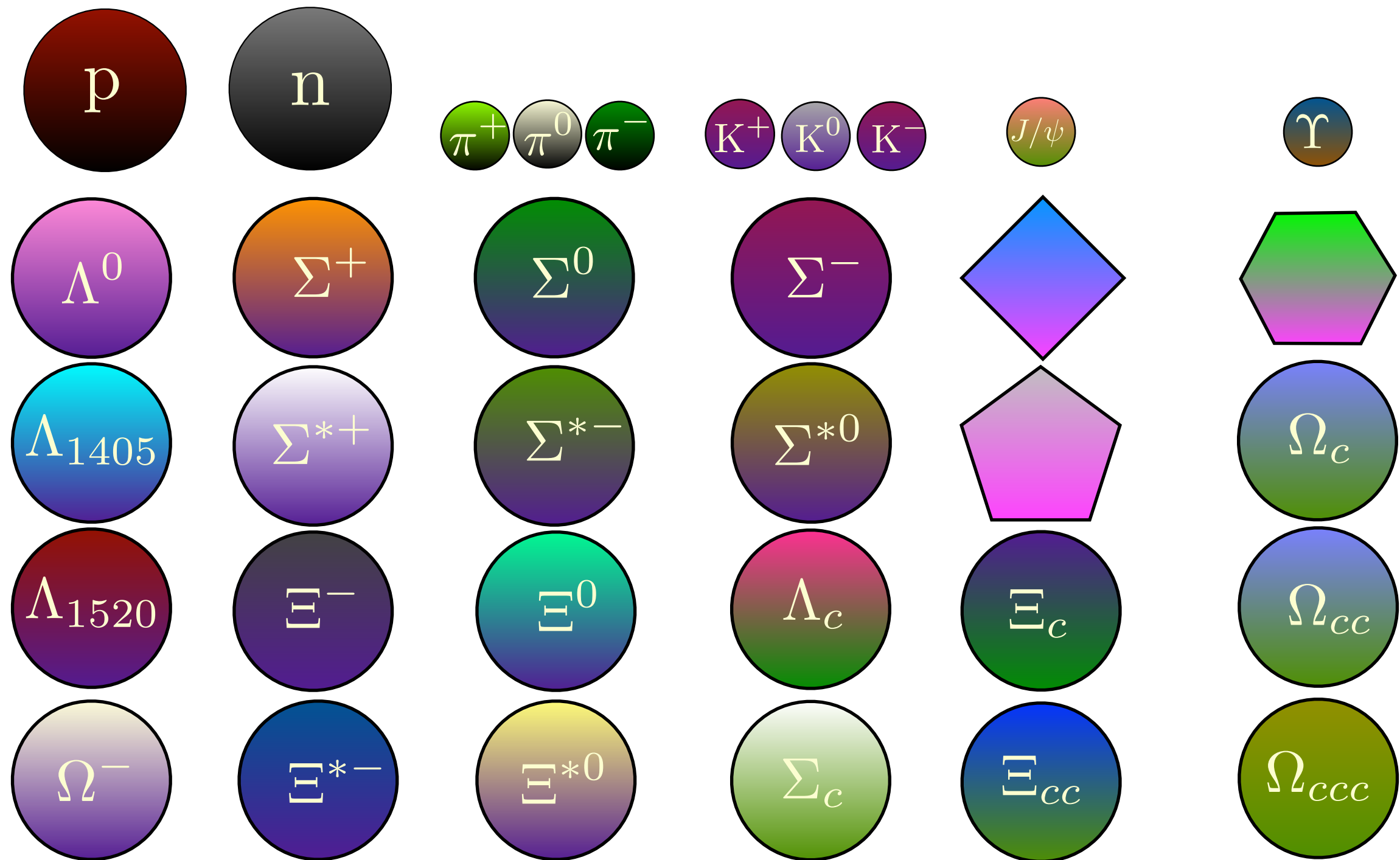
$1/2$

Viaggio al centro del nucleo

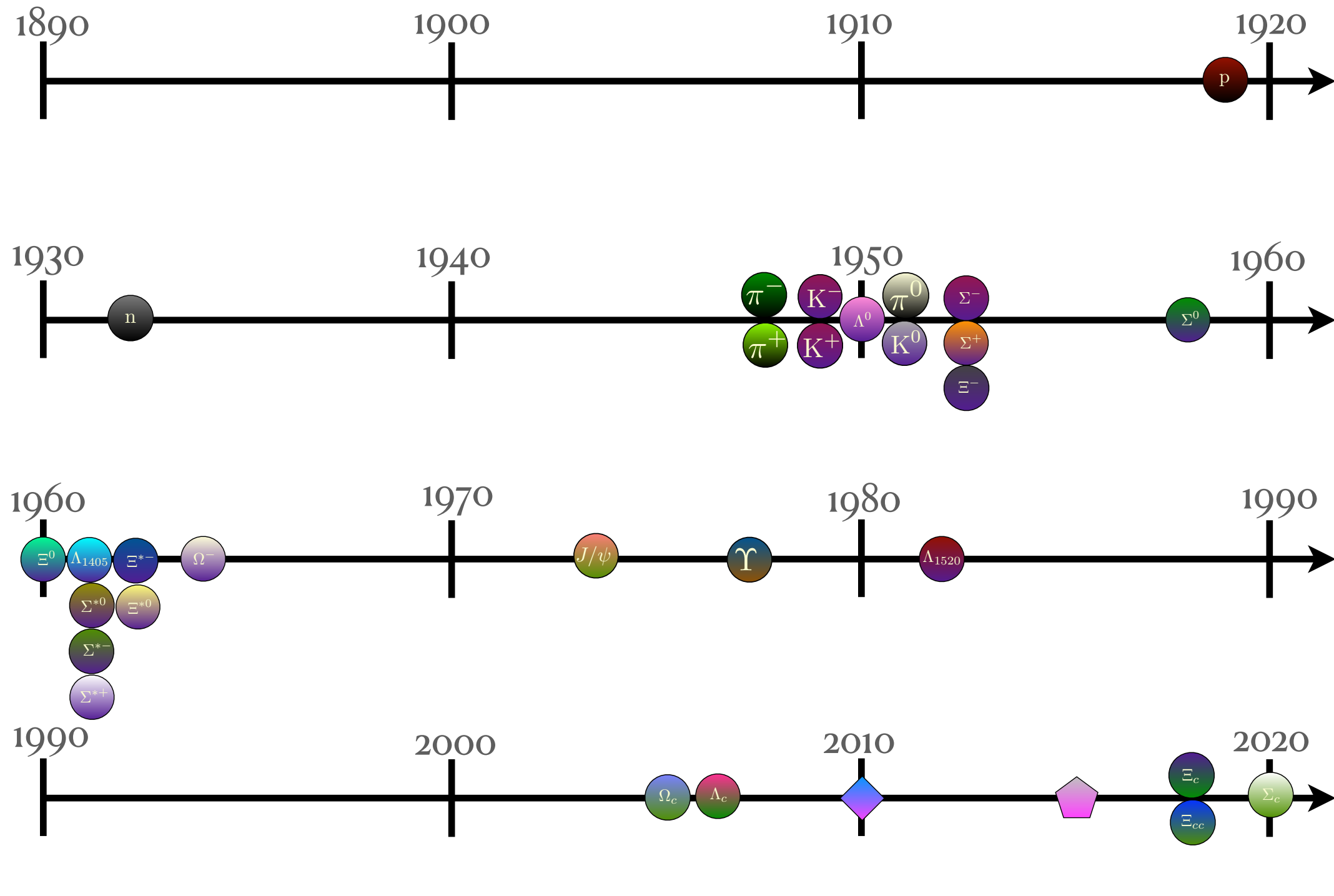
Esistono particelle simili?



Esistono particelle simili?

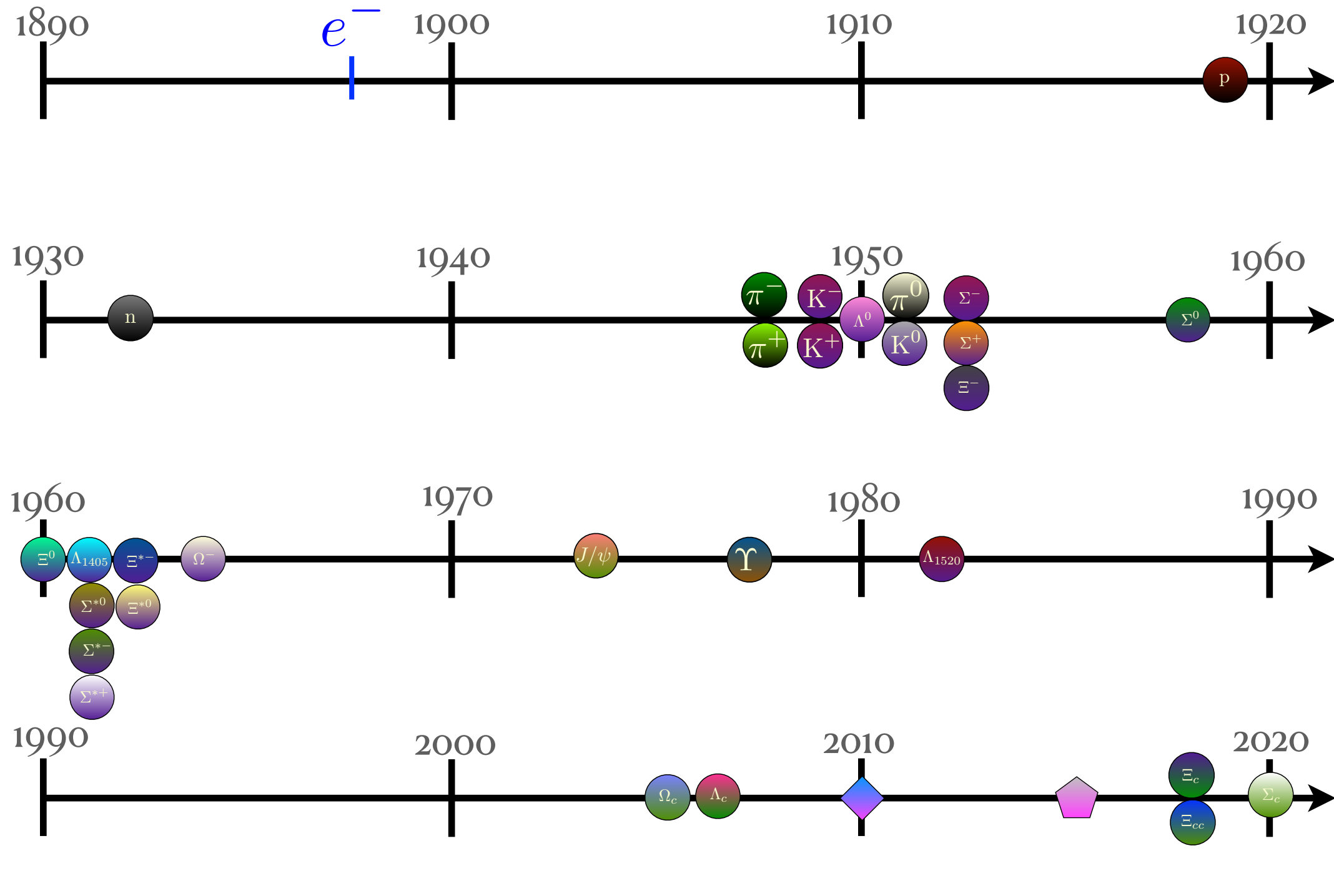


Uno “zoo” di particelle



Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



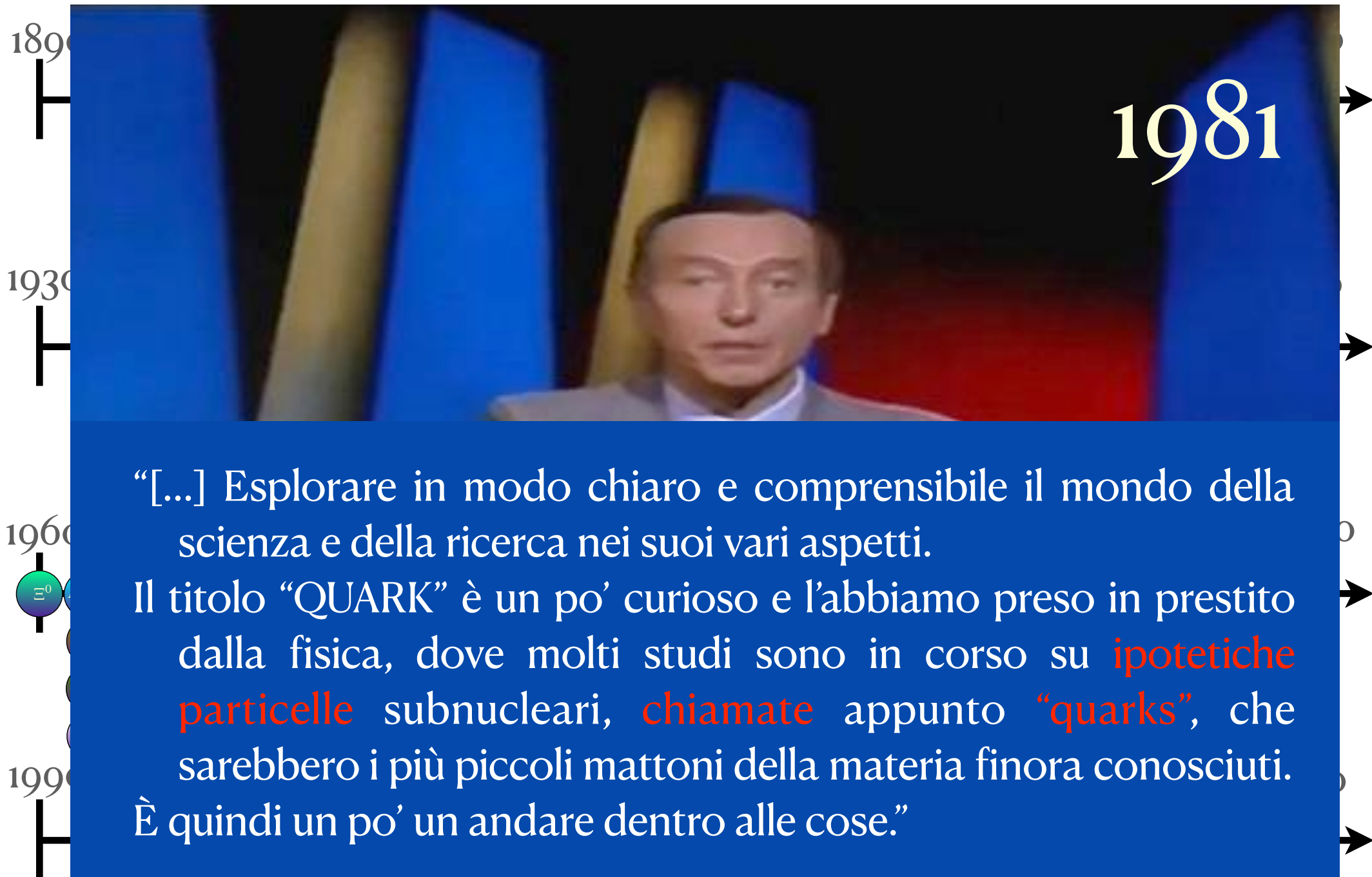
Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



1890

1930

1960

1990

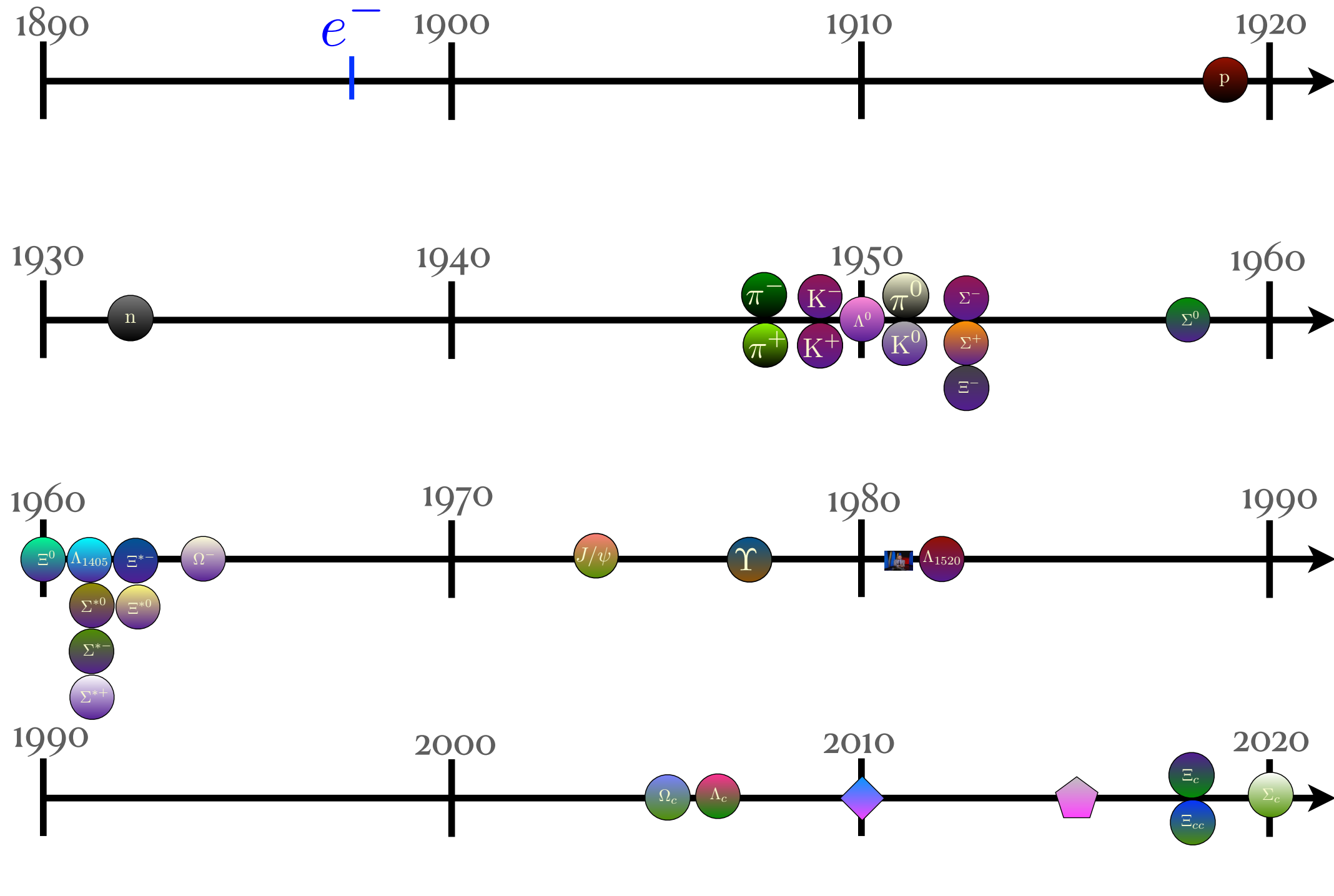
1981

“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.

Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su **ipotetiche particelle** subnucleari, **chiamate** appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti. È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

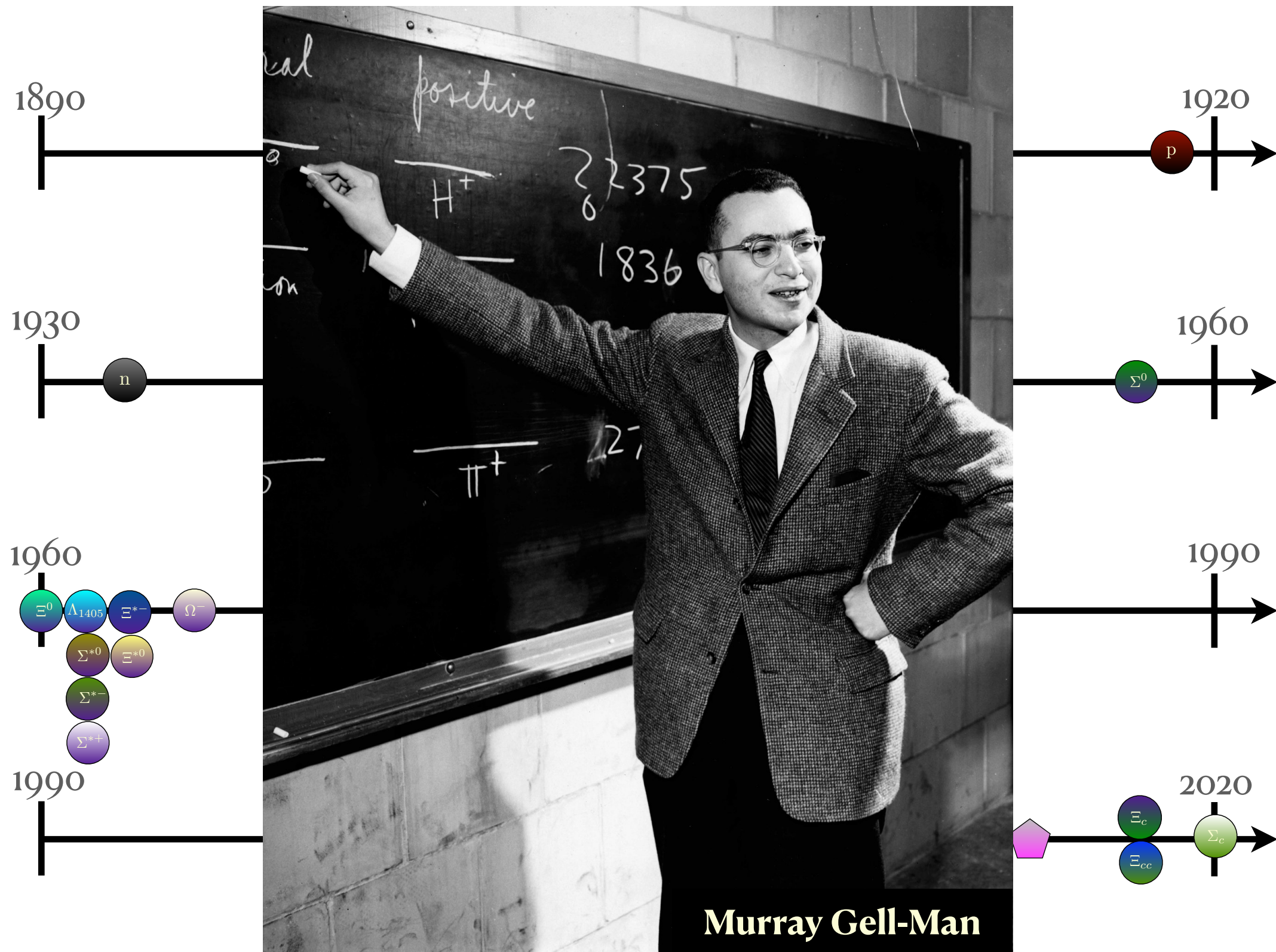


Uno “zoo” di particelle



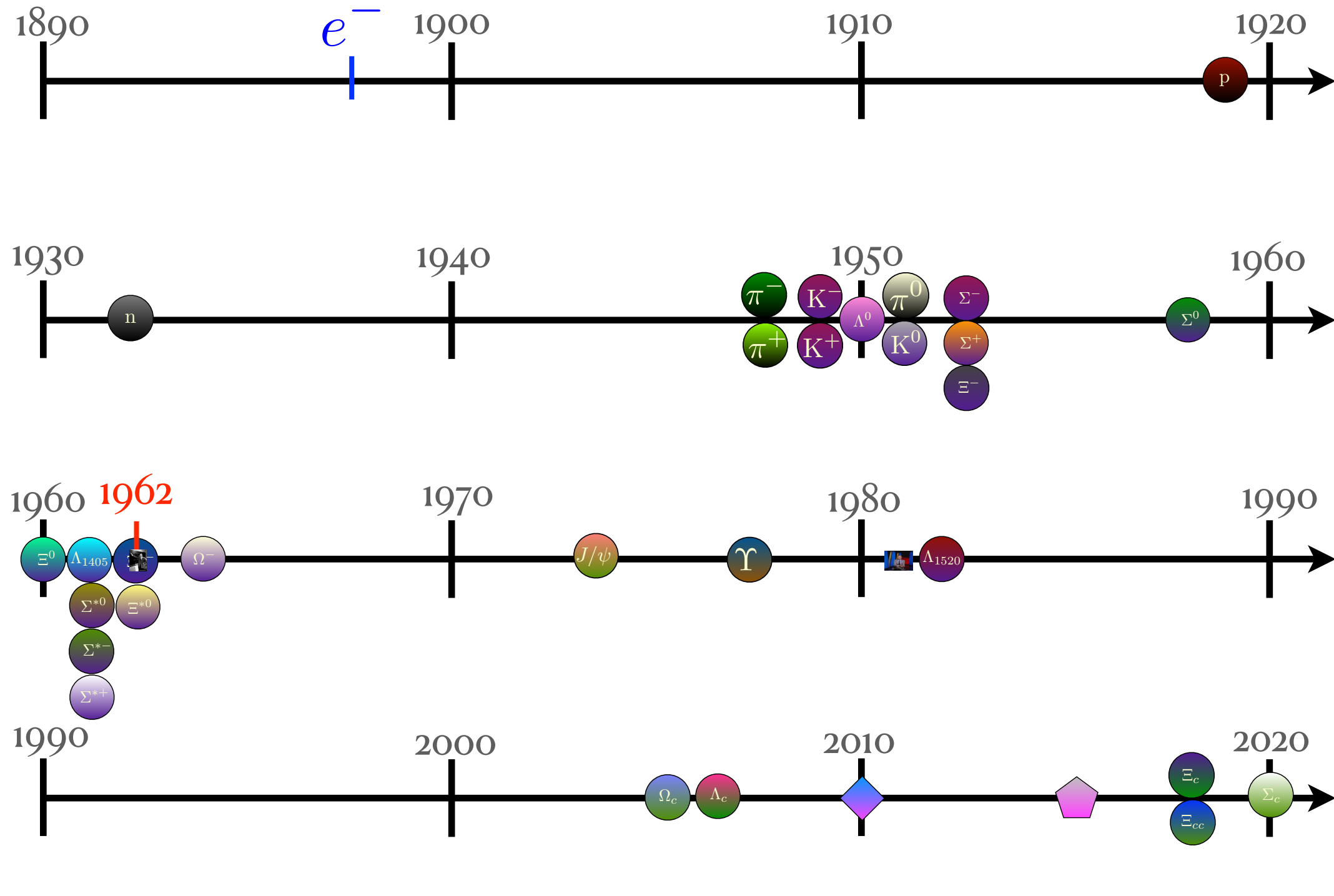
Viaggio al centro del nucleo

Uno "zoo" di particelle



Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



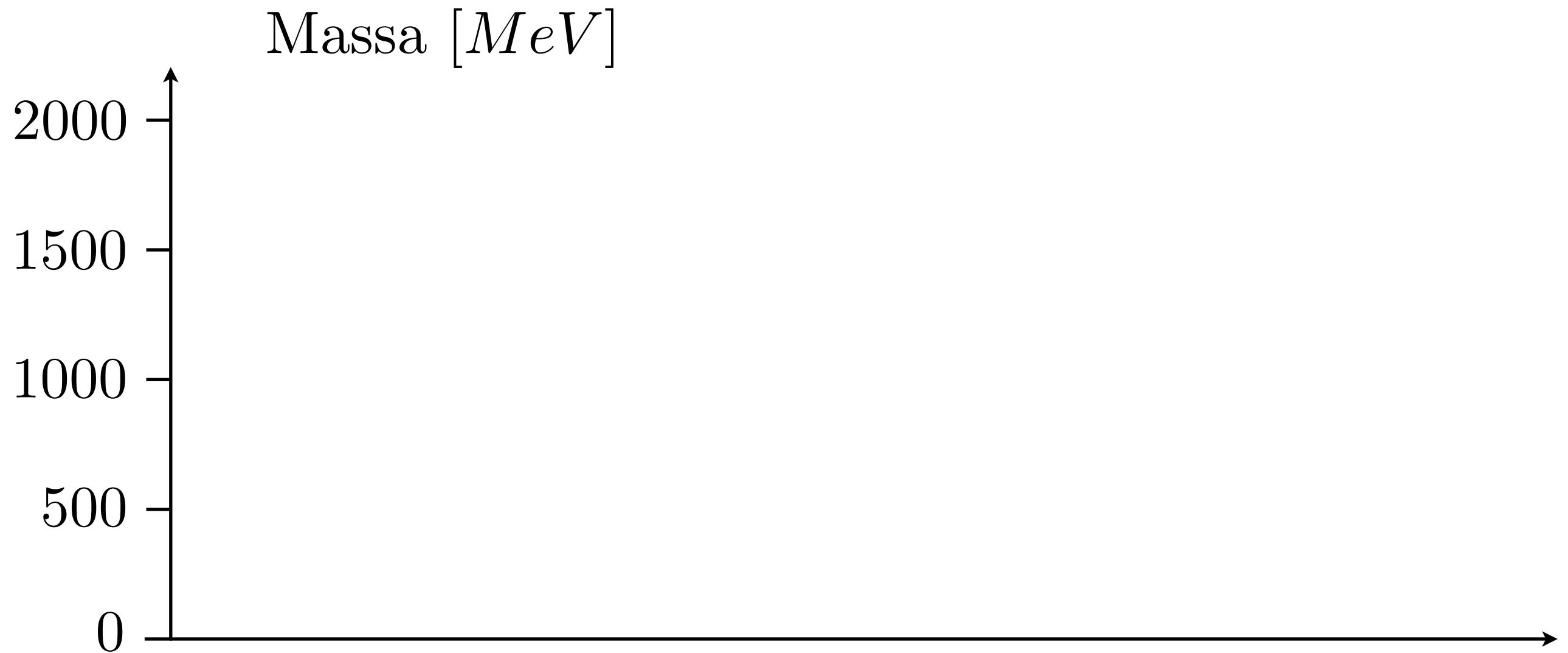
Viaggio al centro del nucleo

20 anni prima del programma...



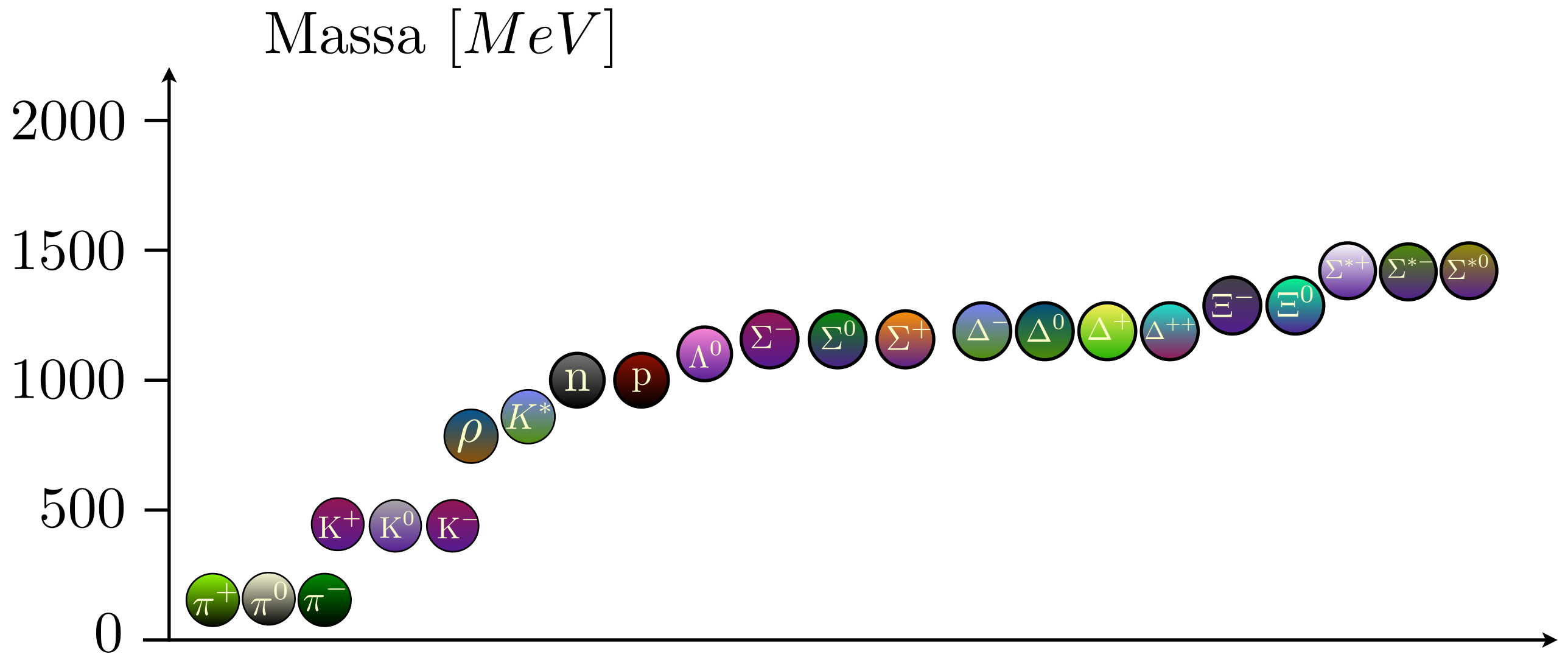
Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



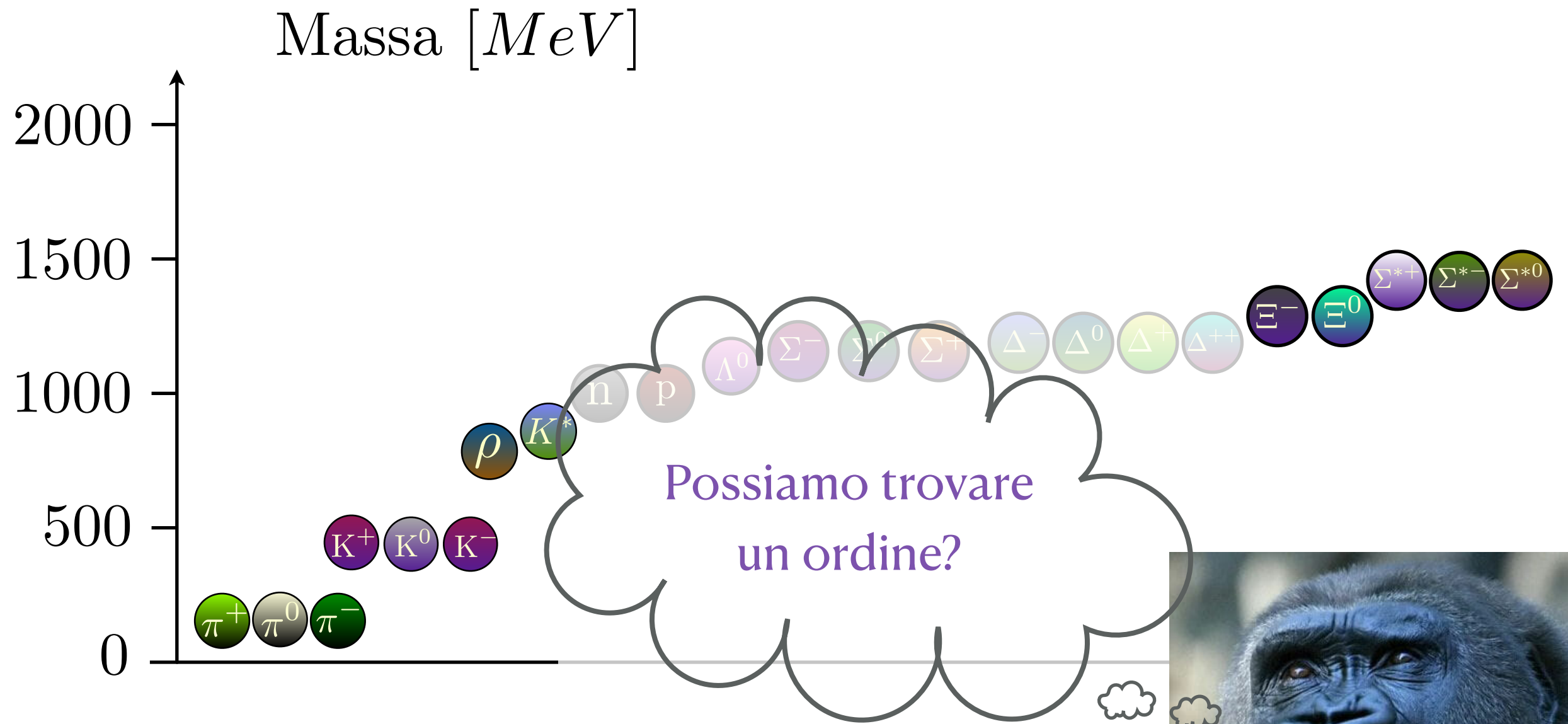
Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



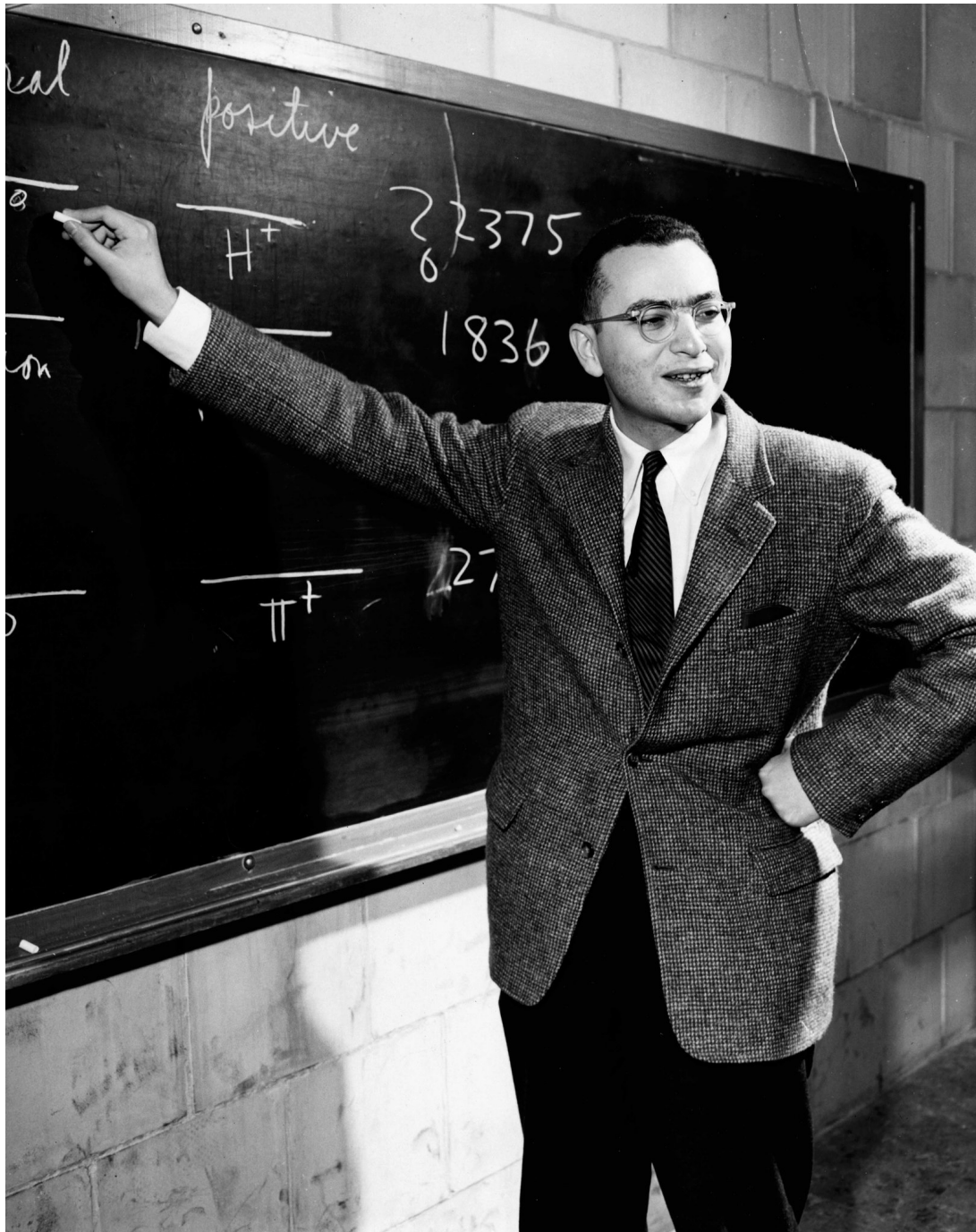
Viaggio al centro del nucleo

Uno “zoo” di particelle



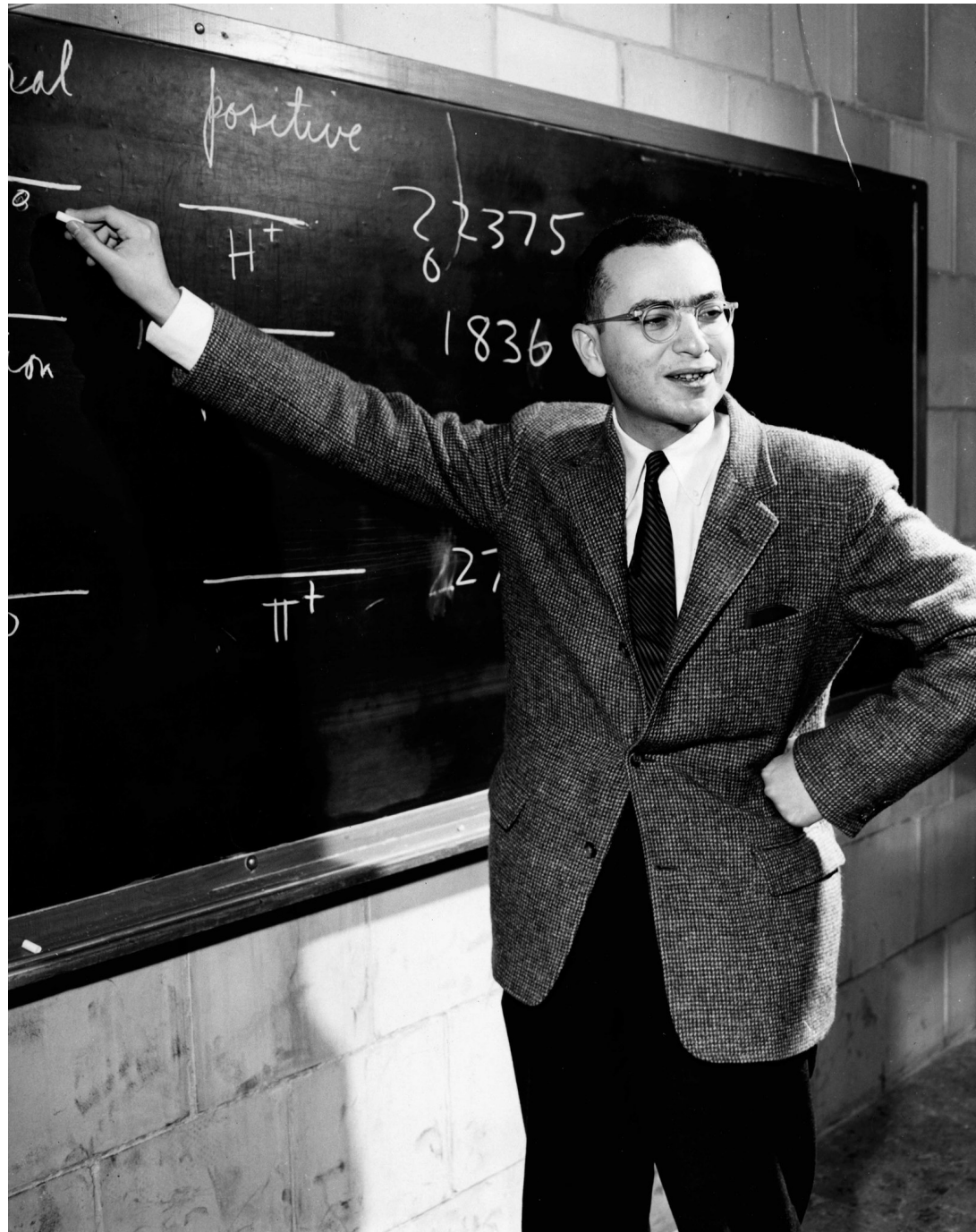
Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks



Viaggio al centro del nucleo

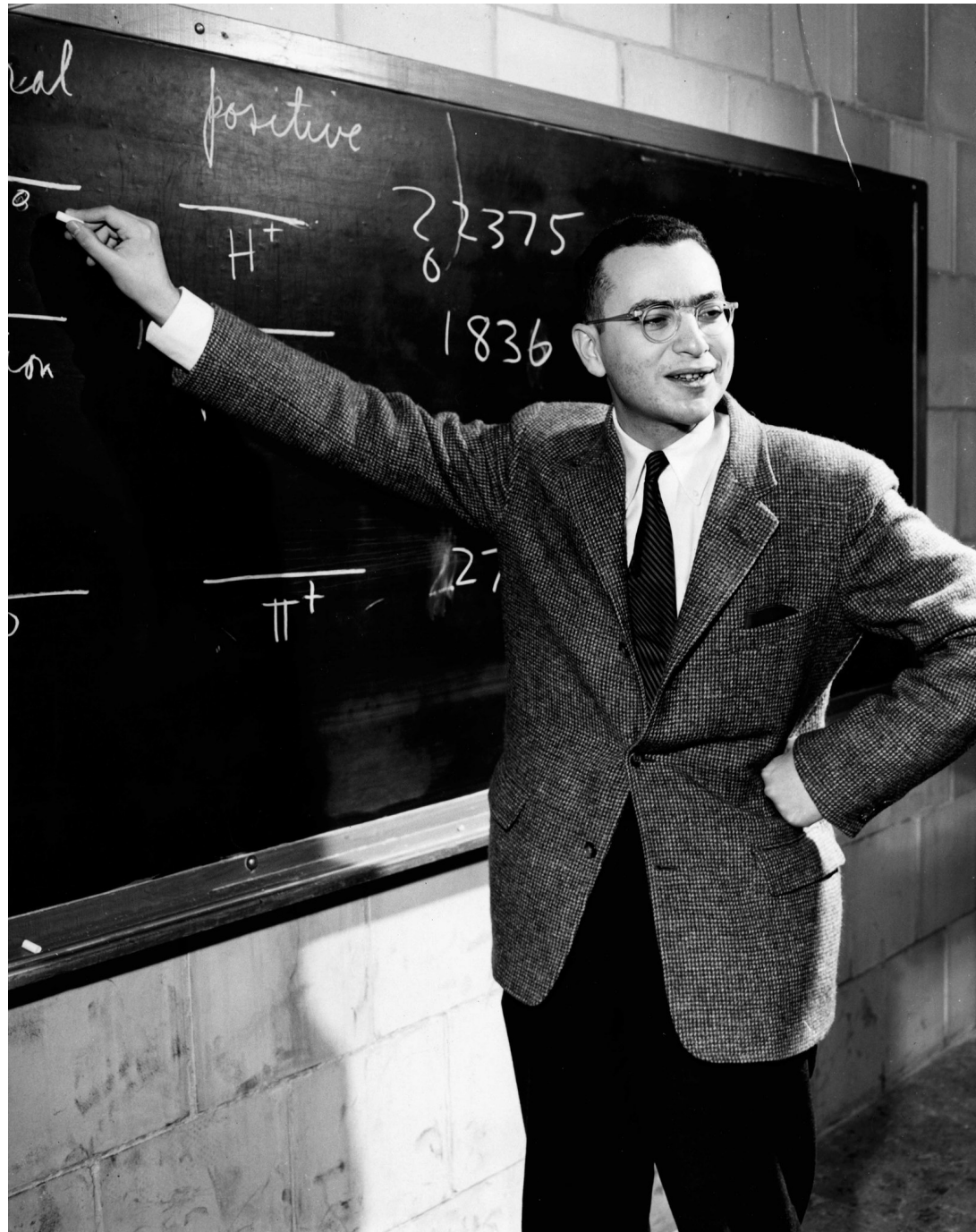
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks



Le nuove particelle osservate sono chiamate ADRONI

Viaggio al centro del nucleo

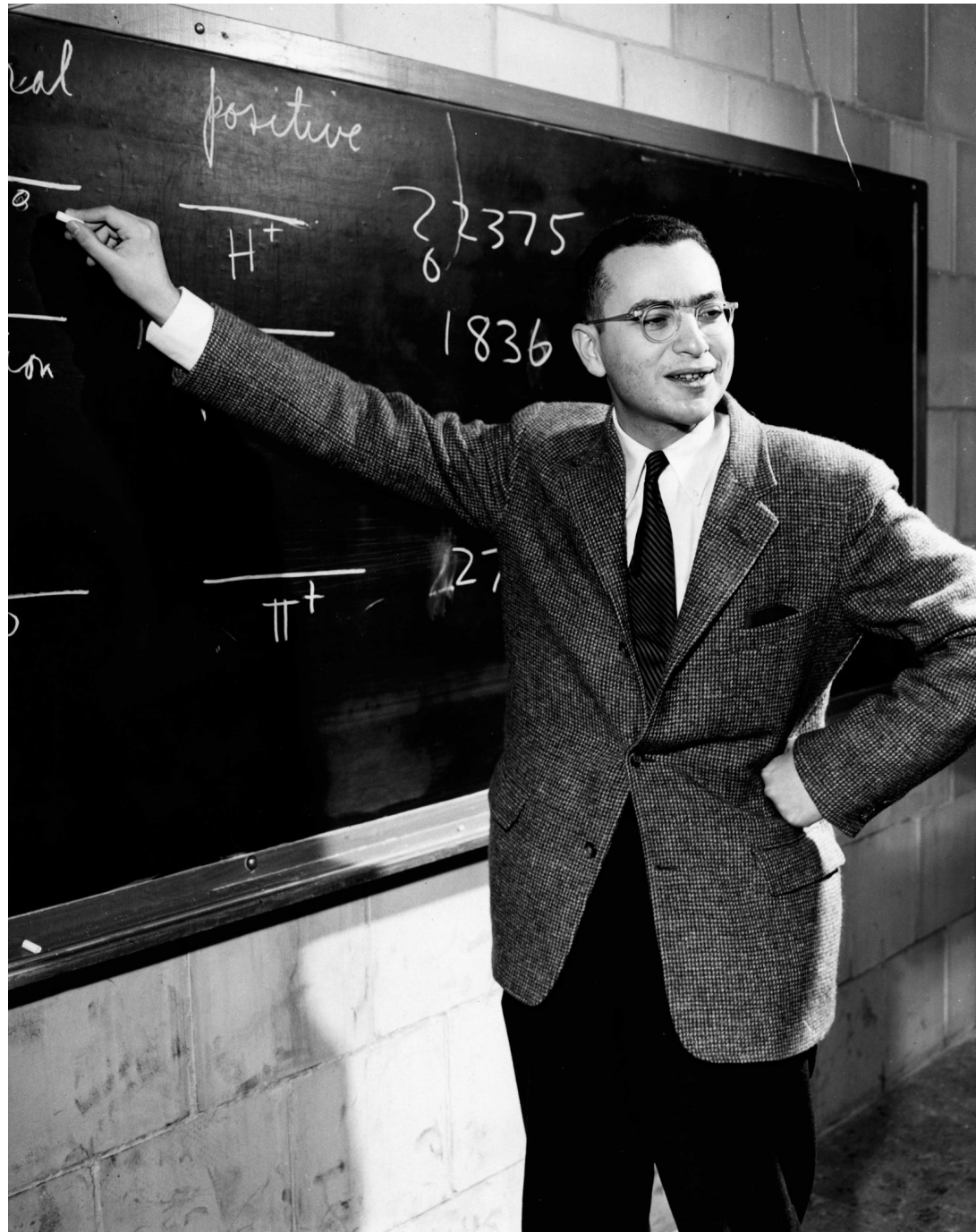
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks



Le nuove particelle osservate sono chiamate ADRONI

SPOILER: il protone e il neutrone sono a tutti gli effetti degli adroni!

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks



Le nuove particelle osservate sono chiamate ADRONI

SPOILER: il protone e il neutrone sono a tutti gli effetti degli adroni!

Capito, ma come classifichiamo gli adroni?

Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

Viaggio al centro del nucleo



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK **James Joyce**
Finnegans Wake



Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK James Joyce
Finnegans Wake



“Three quarks for Muster Mark”

Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK James Joyce
Finnegans Wake



“Three quarks for Muster Mark”

“Three quarts for Mister Mark”

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

EIGHTFOLD WAY



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

REGOLA DELL'OTTETTO

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

REGOLA DELL'OTTETTO

gli adroni si classificano tramite i numeri quantici

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

REGOLA DELL'OTTETTO

gli adroni si classificano tramite i numeri quantici

isospin (carica), ipercarica forte e stranezza

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

POSTULATO

esistono solo 3 particelle elementari

QUARK up, down e strange

Queste, combinate in tutti i modi possibili, formano gli adroni

MODELLO

REGOLA DELL'OTTETTO

gli adroni si classificano tramite i numeri quantici

isospin (carica), ipercarica forte e stranezza

Gli adroni vanno a formare gli stati del gruppo di simmetria $SU(3)$

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI



Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI

Sono particelle composte da una certa combinazione di quarks

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI

Sono particelle composte da una certa combinazione di quarks

BARIONI

Statistica di Fermi-Dirac

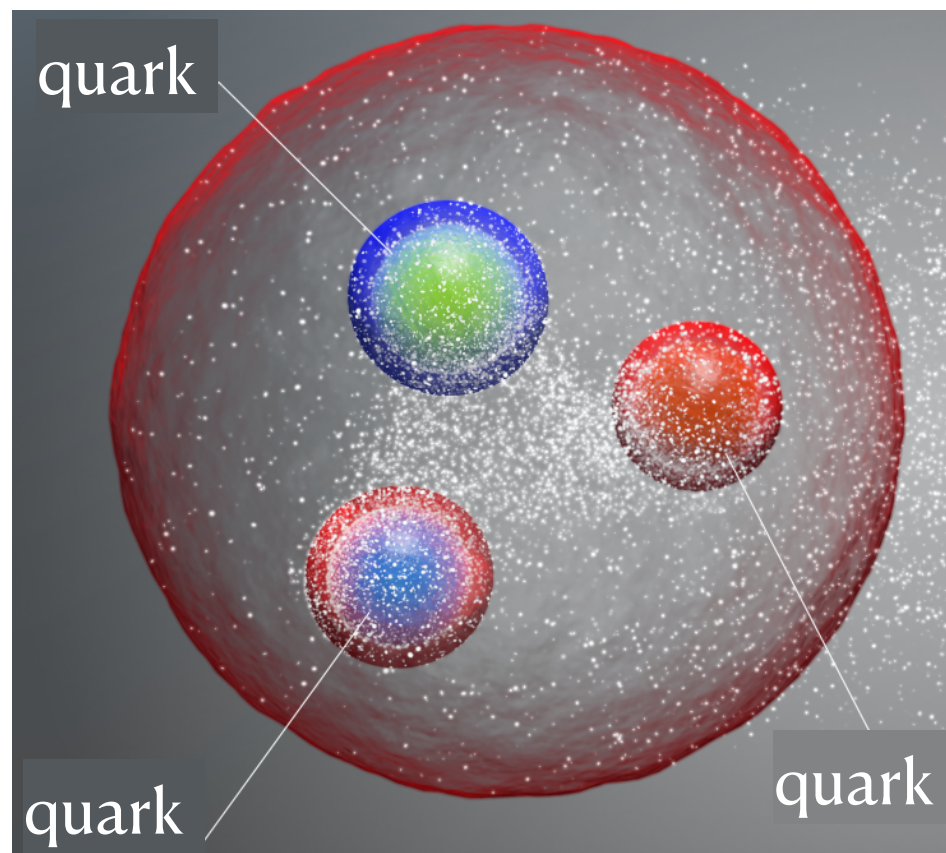
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI

Sono particelle composte da una certa combinazione di quarks

BARIONI

Statistica di Fermi-Dirac



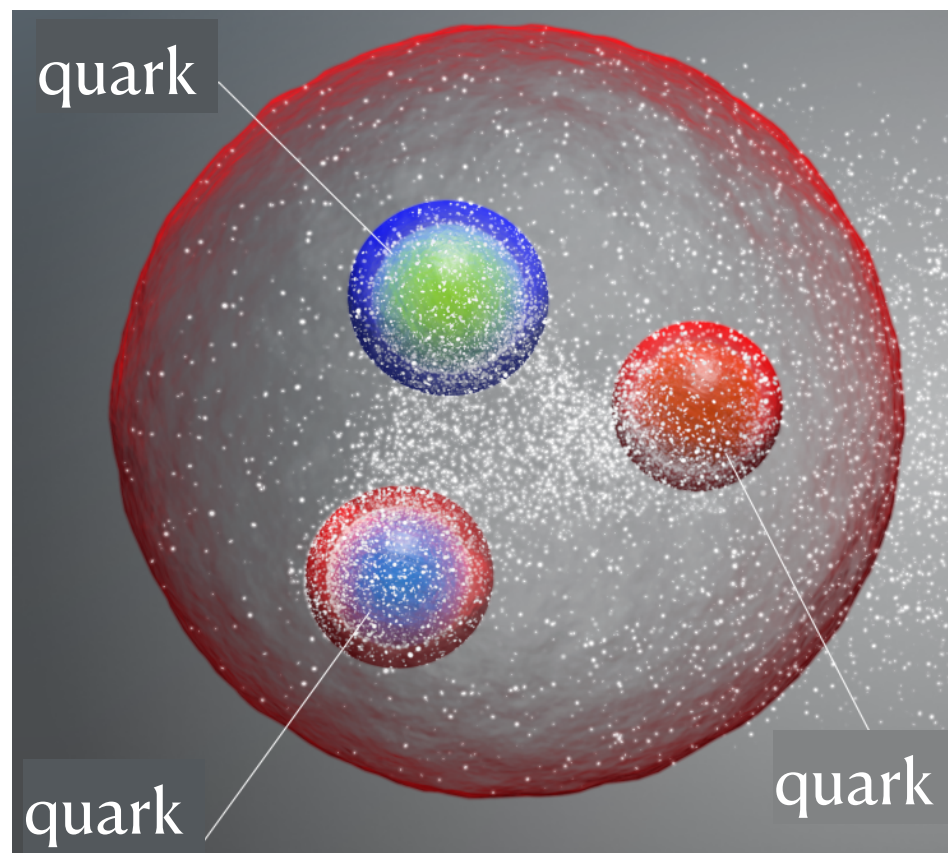
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI

Sono particelle composte da una certa combinazione di quarks

BARIONI

Statistica di Fermi-Dirac



MESONI

Statistica di Bose-Einstein

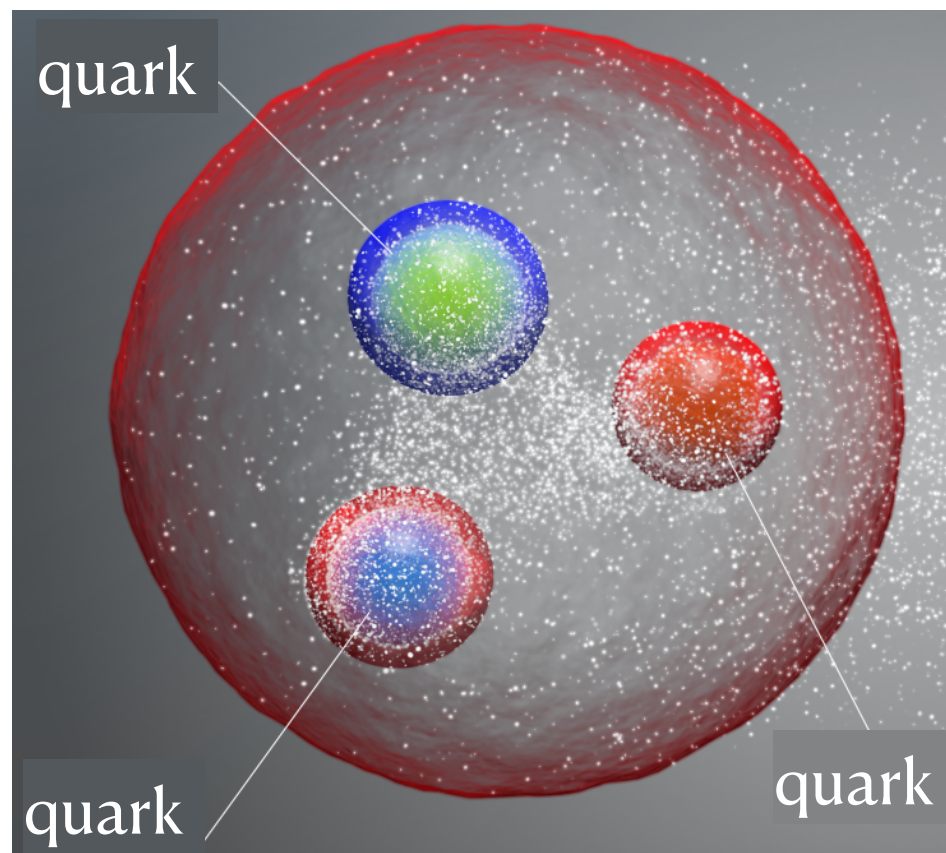
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

ADRONI

Sono particelle composte da una certa combinazione di quarks

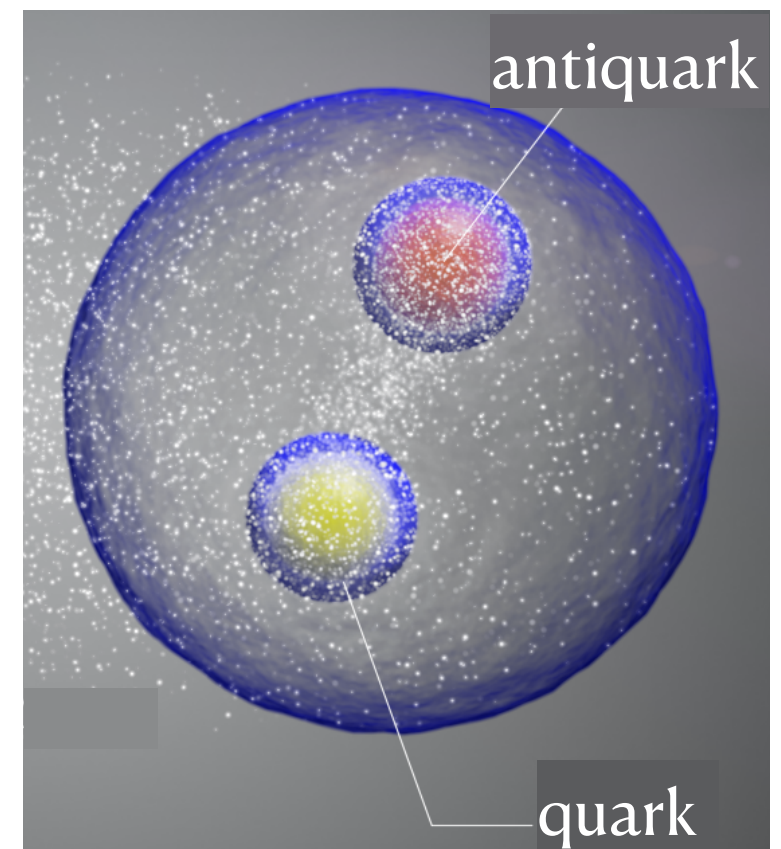
BARIONI

Statistica di Fermi-Dirac



MESONI

Statistica di Bose-Einstein



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks



Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per



Viaggio al centro del nucleo

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

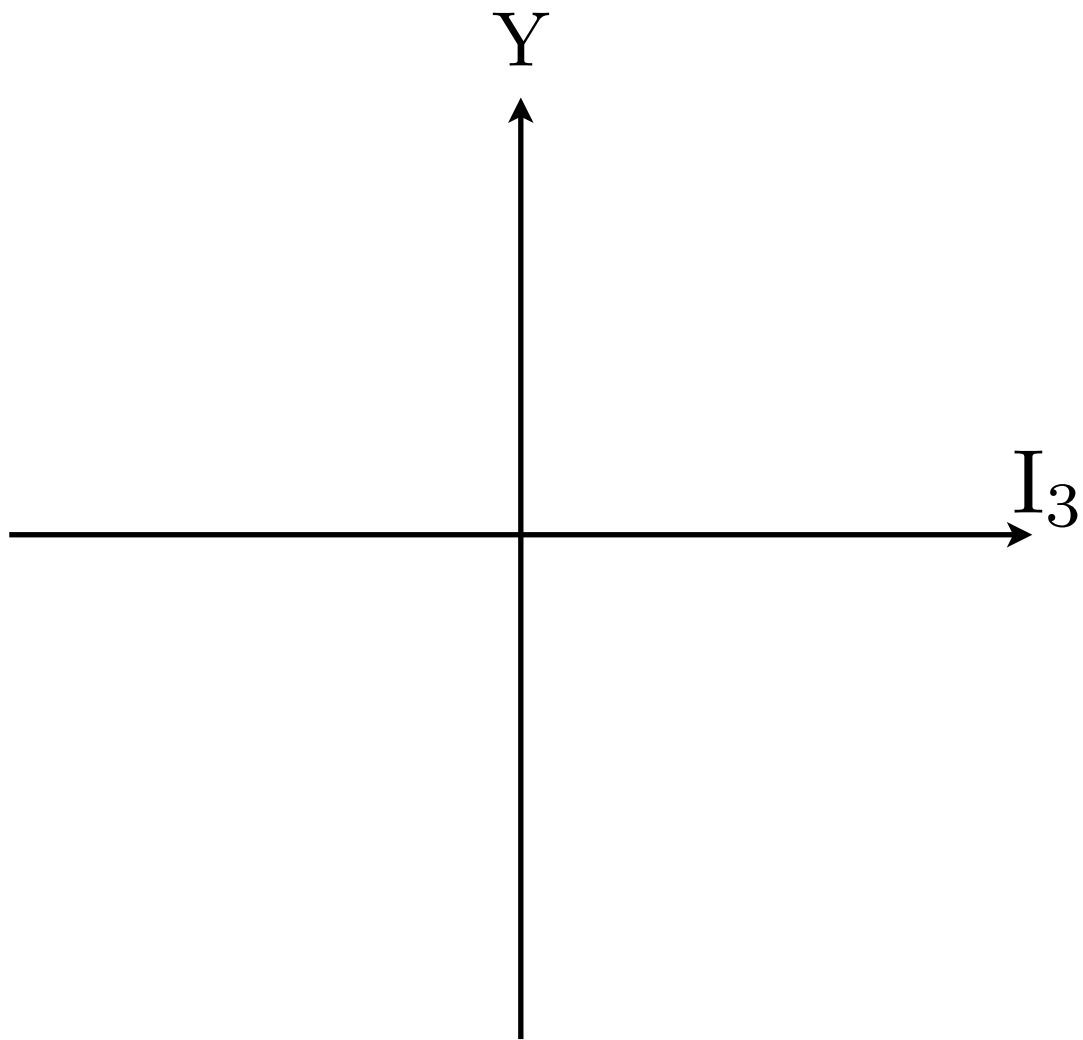
REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

BARIONI

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

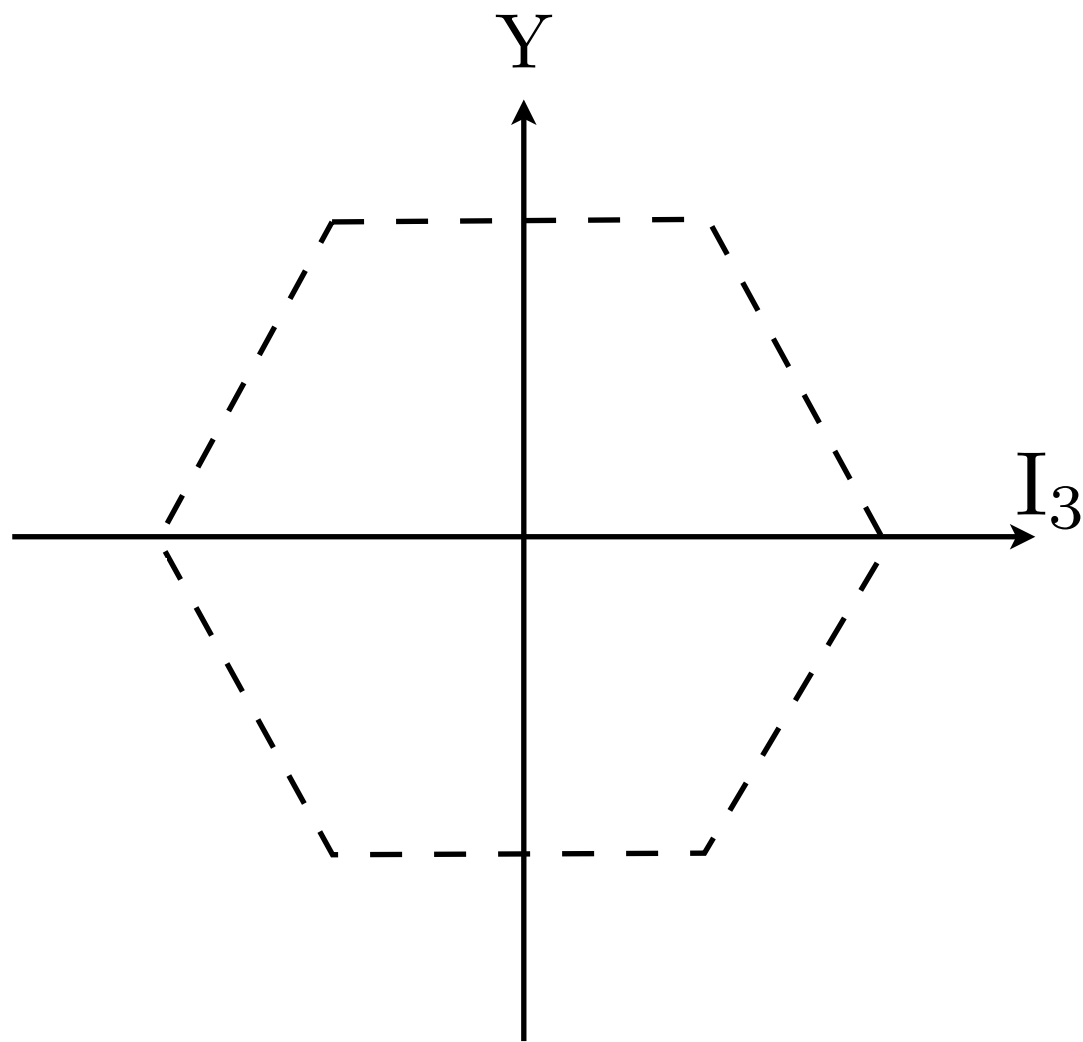
BARIONI



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

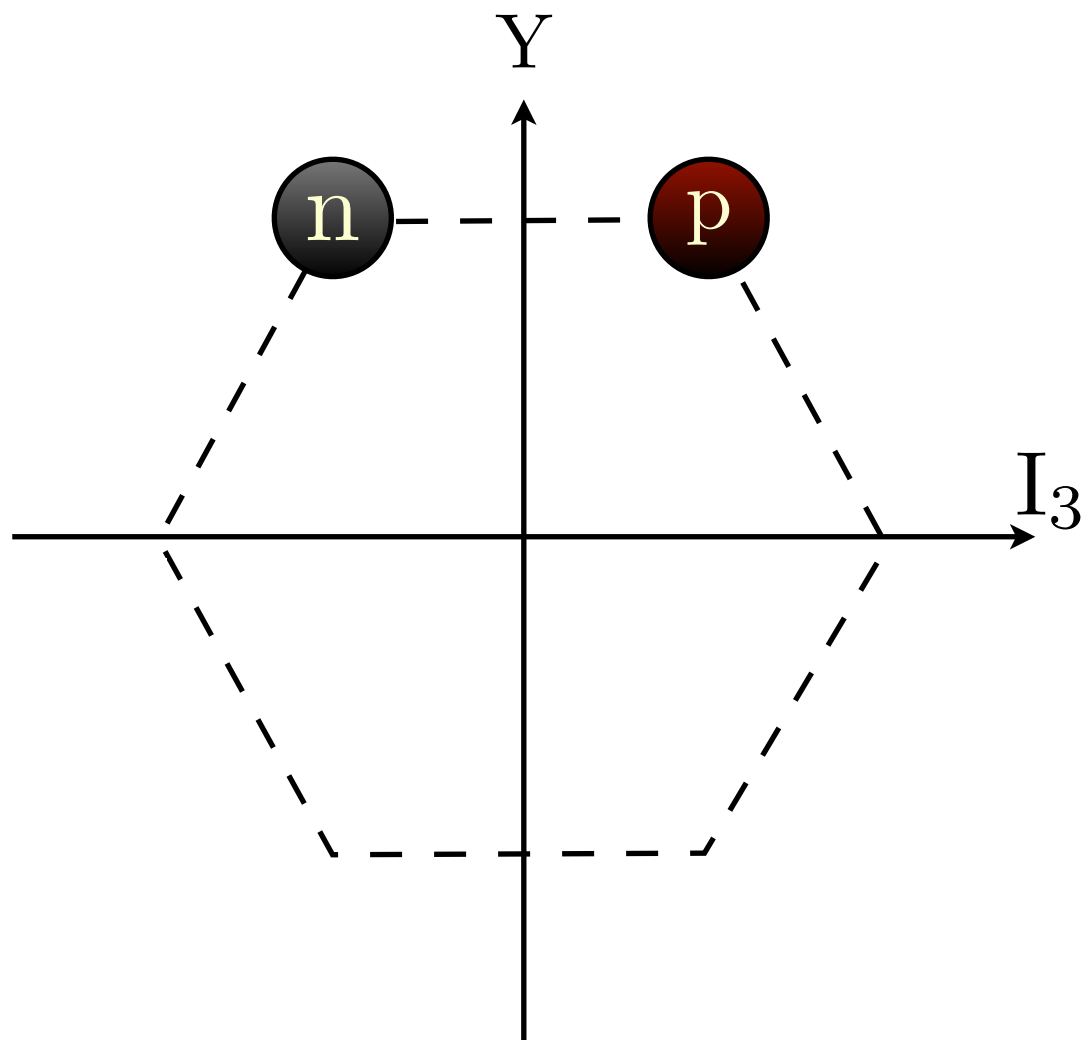
BARIONI



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

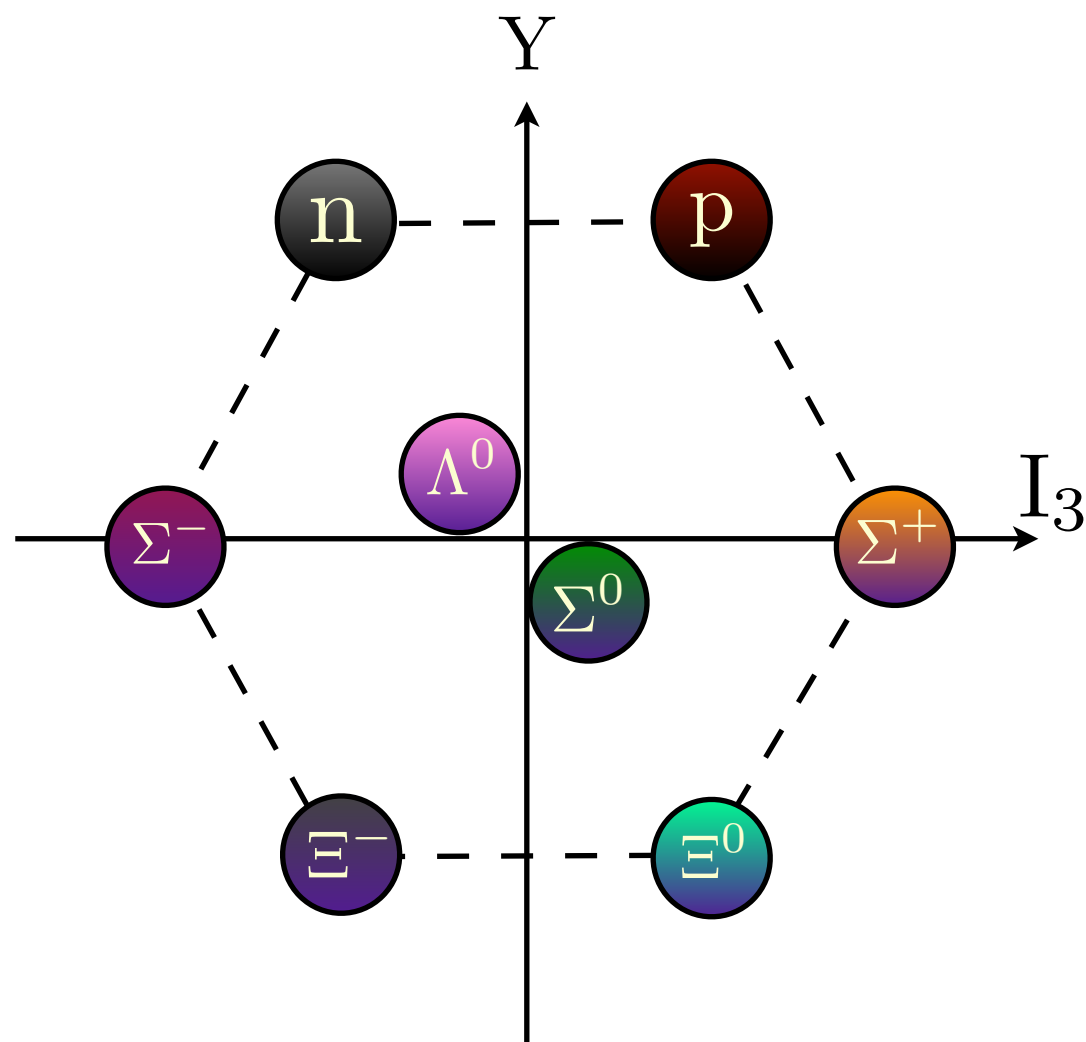
BARIONI



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

BARIONI

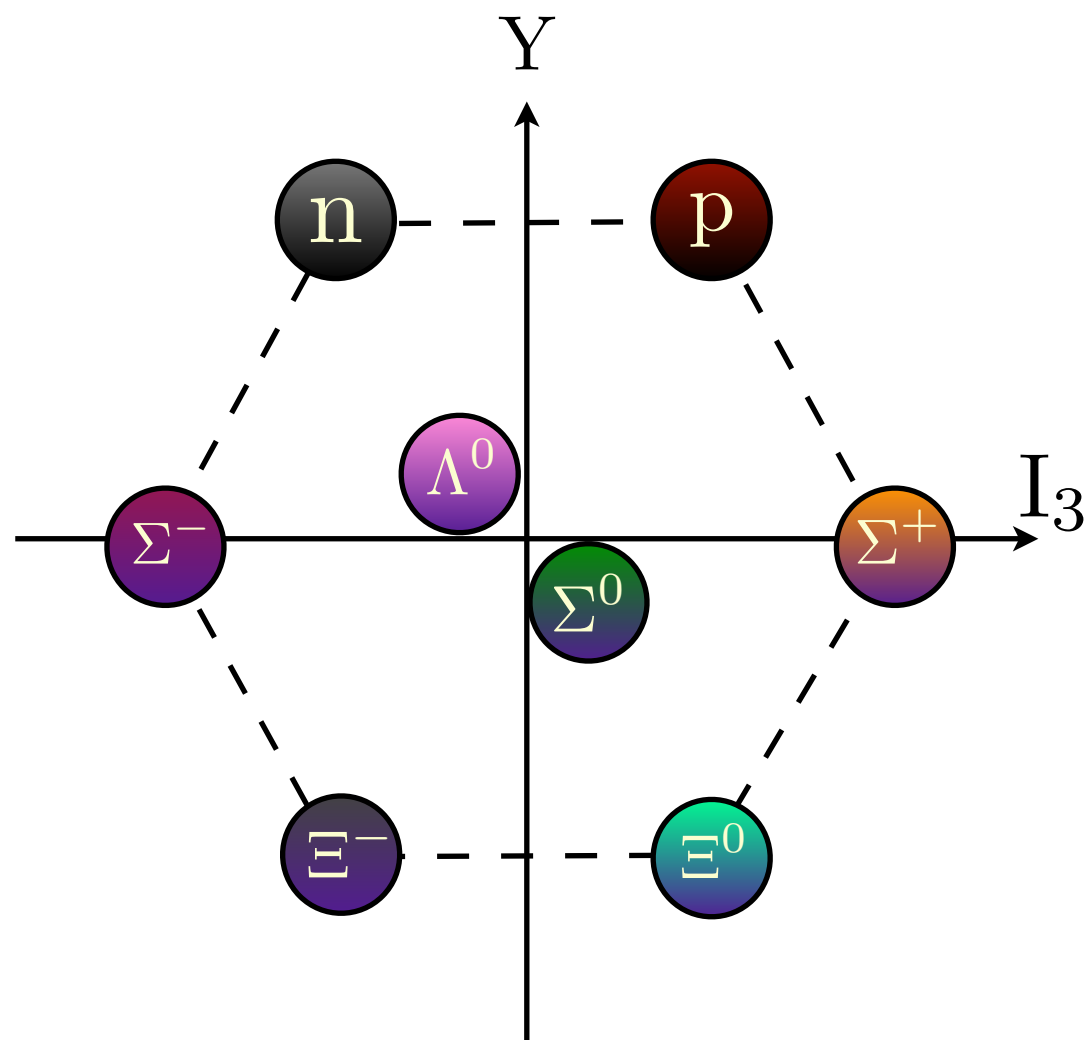


Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

BARIONI

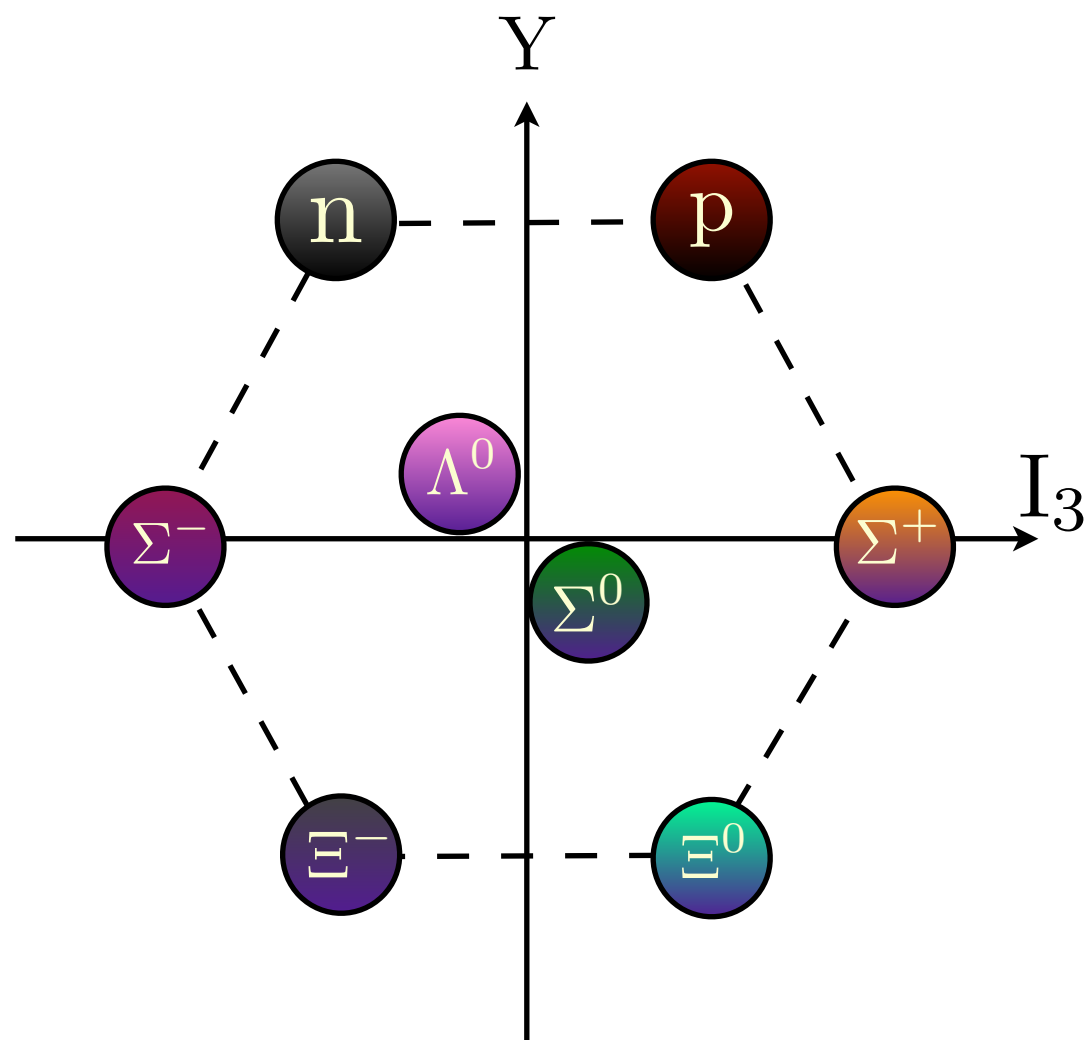
MESONI



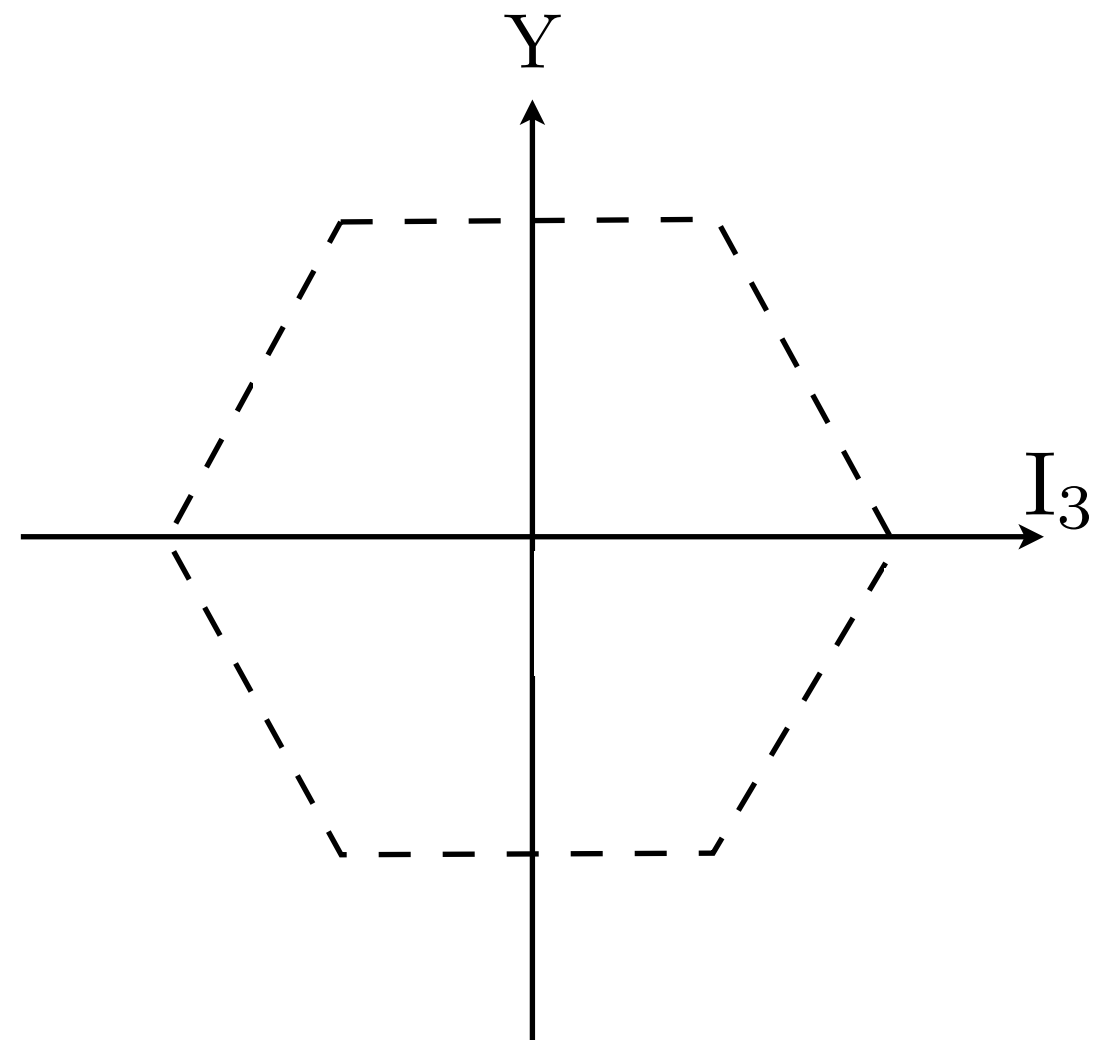
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

BARIONI



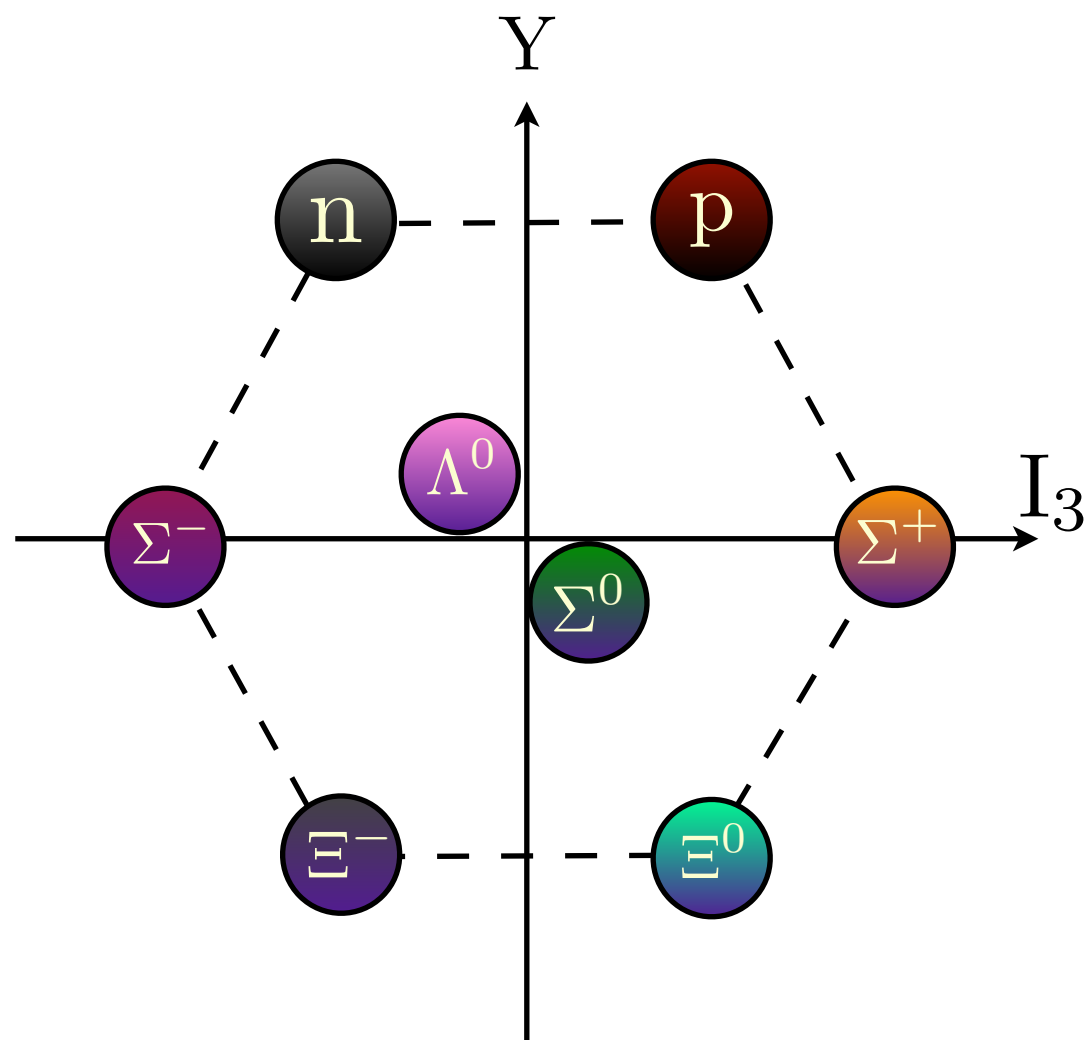
MESONI



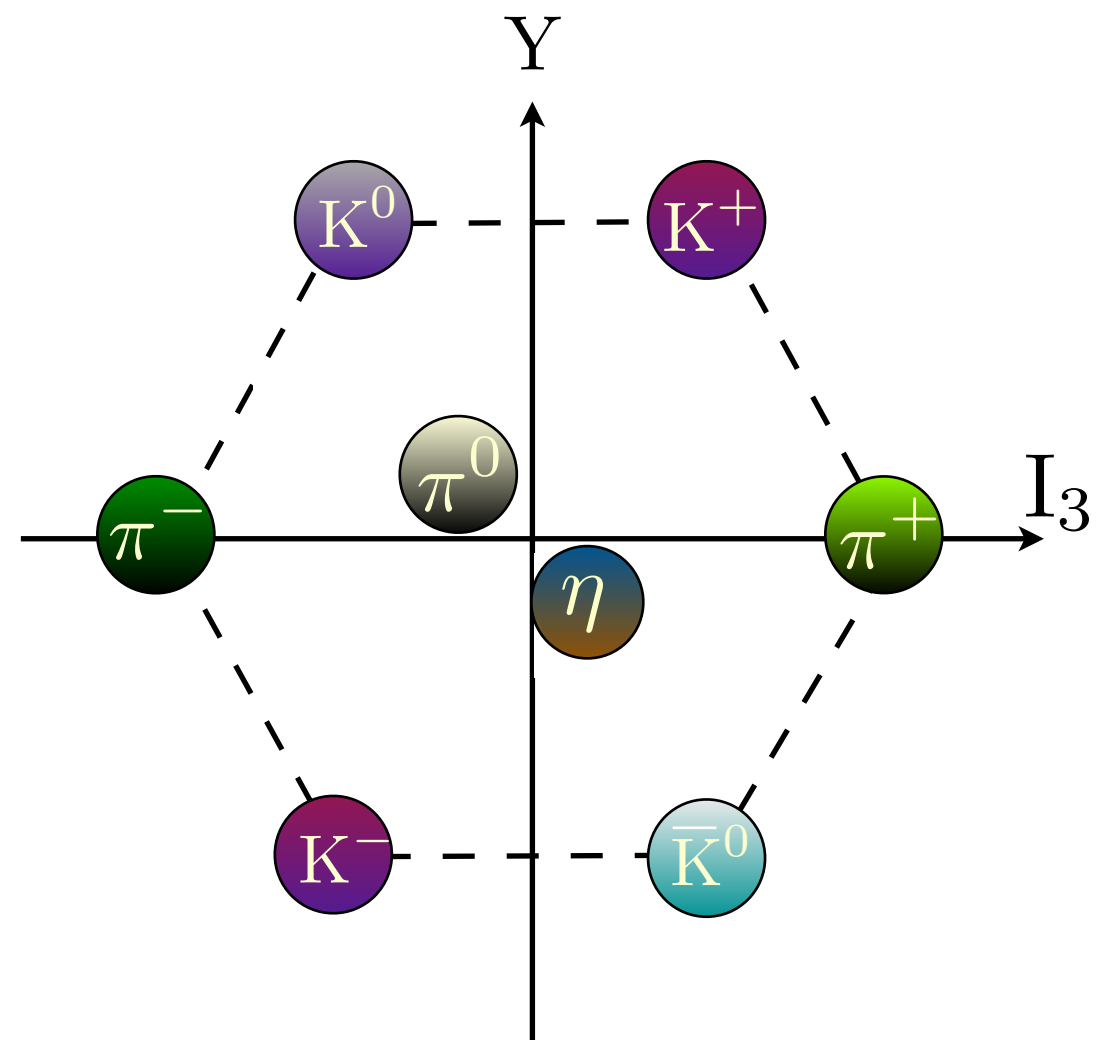
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **adroni già osservati**

BARIONI



MESONI



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

Viaggio al centro del nucleo



Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

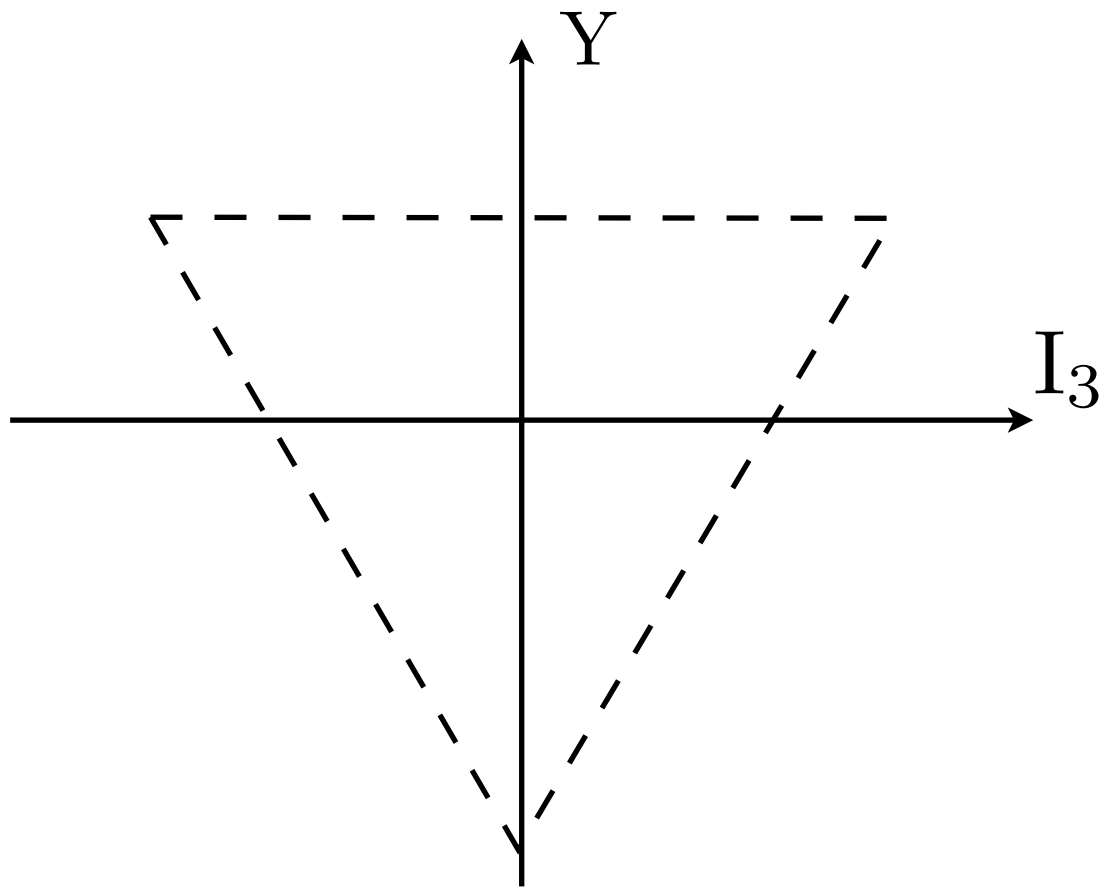
REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**

BARIONI

Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

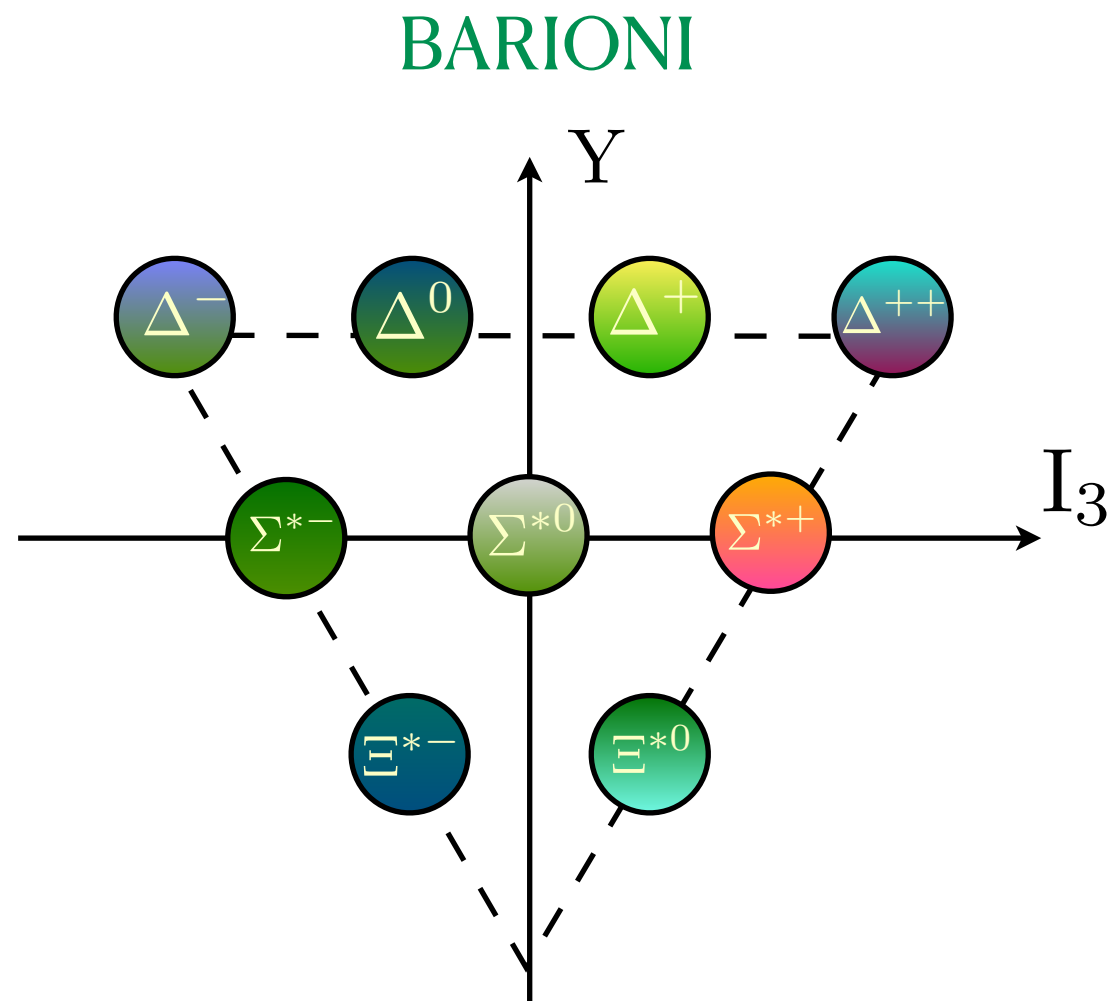
REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**

BARIONI



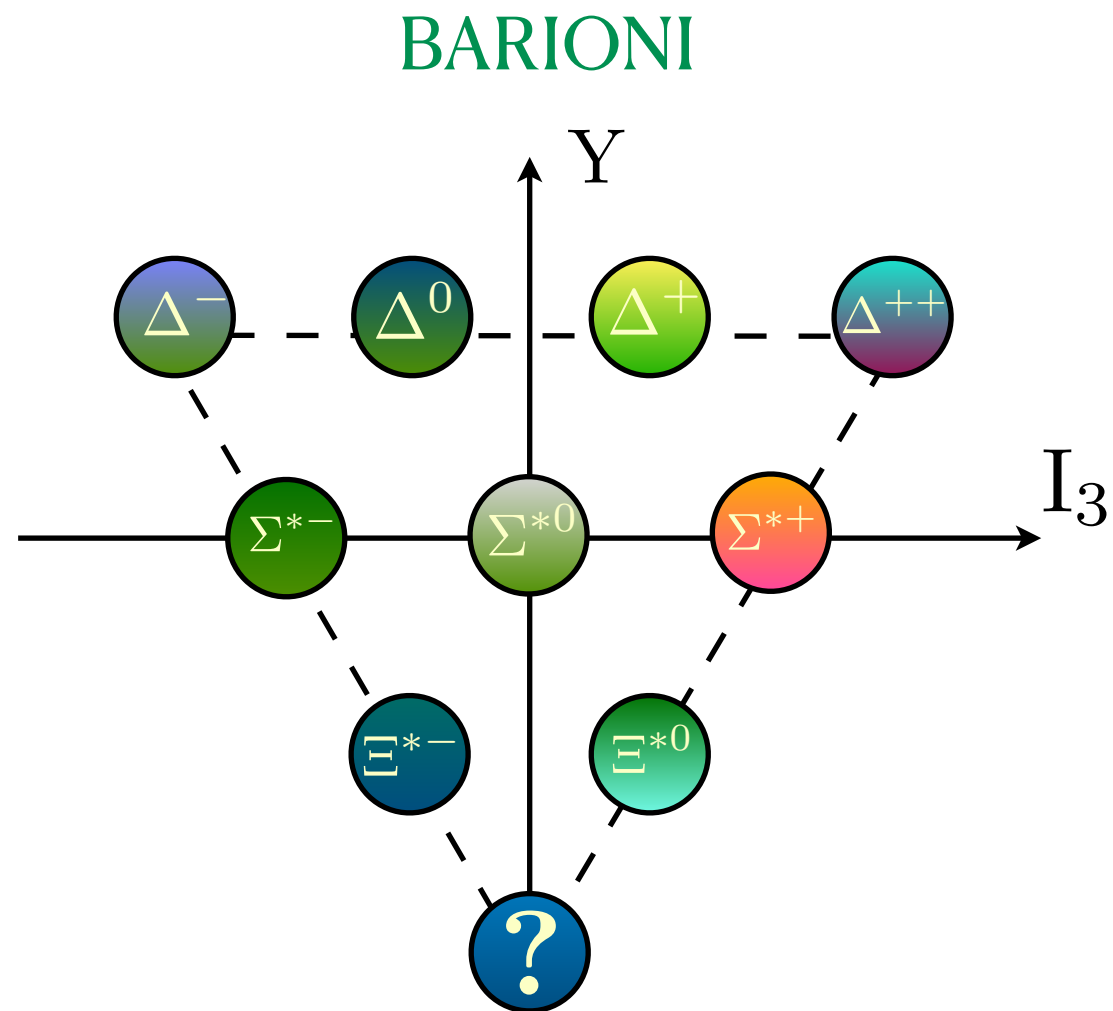
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**



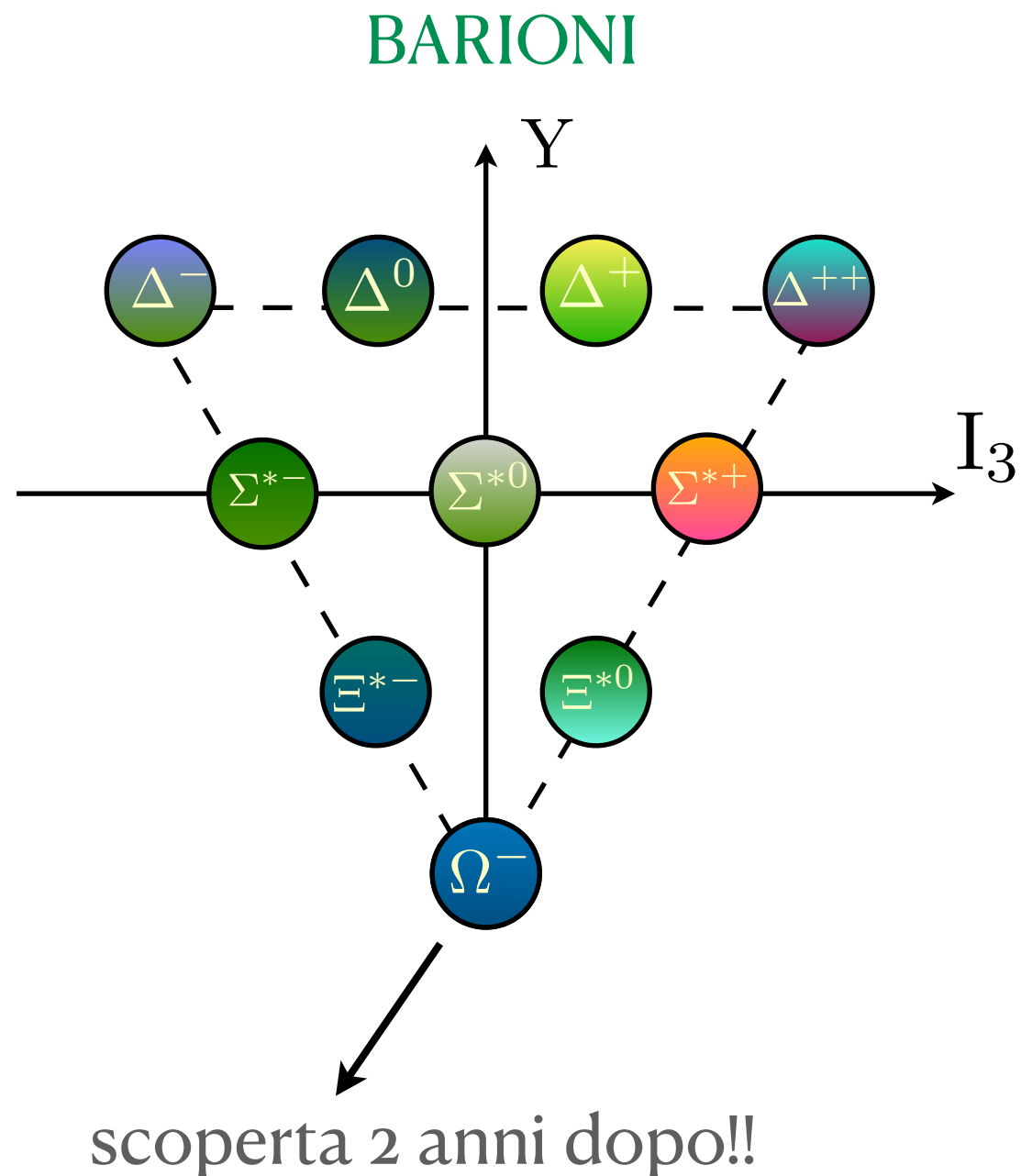
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**



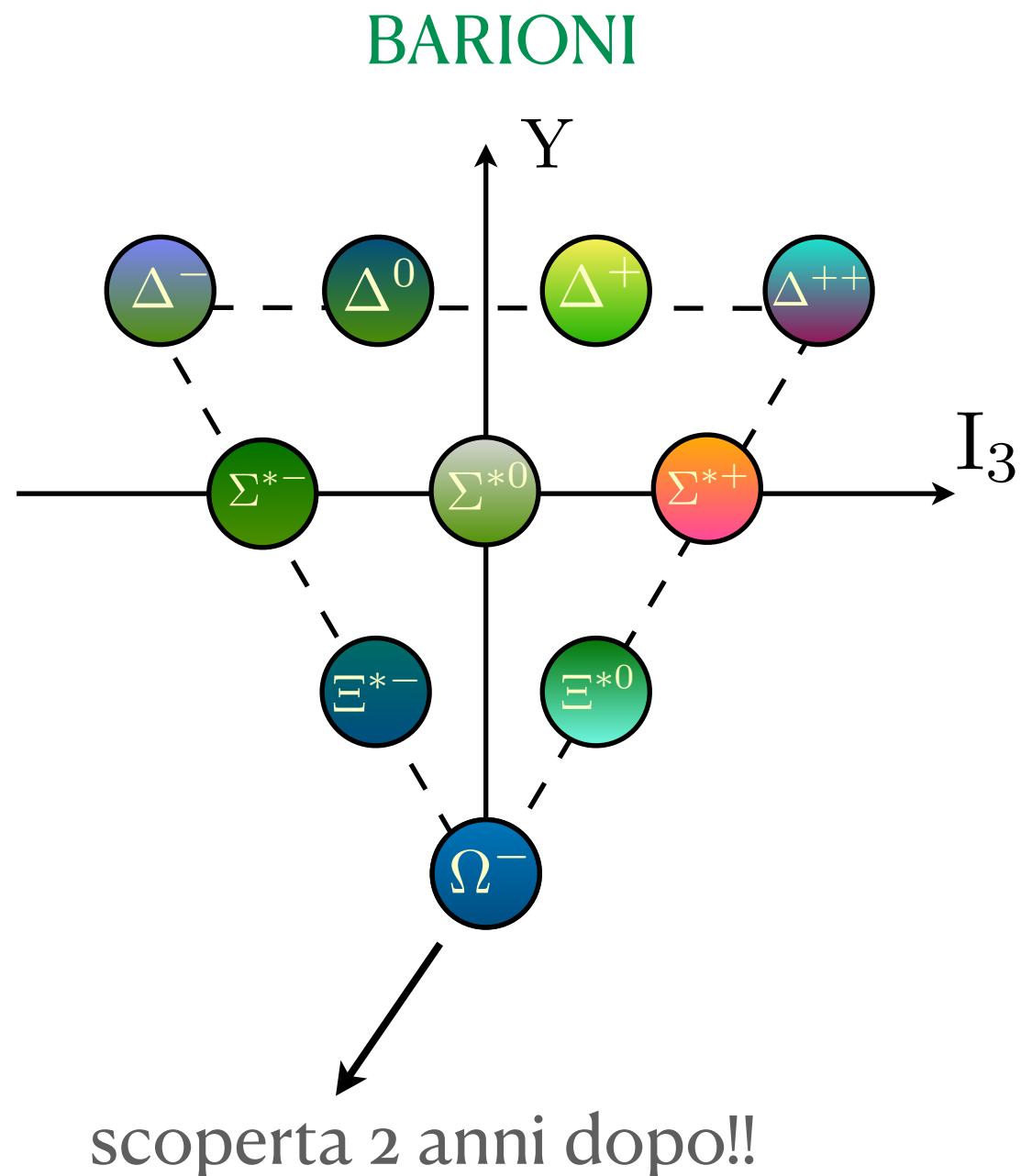
Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**

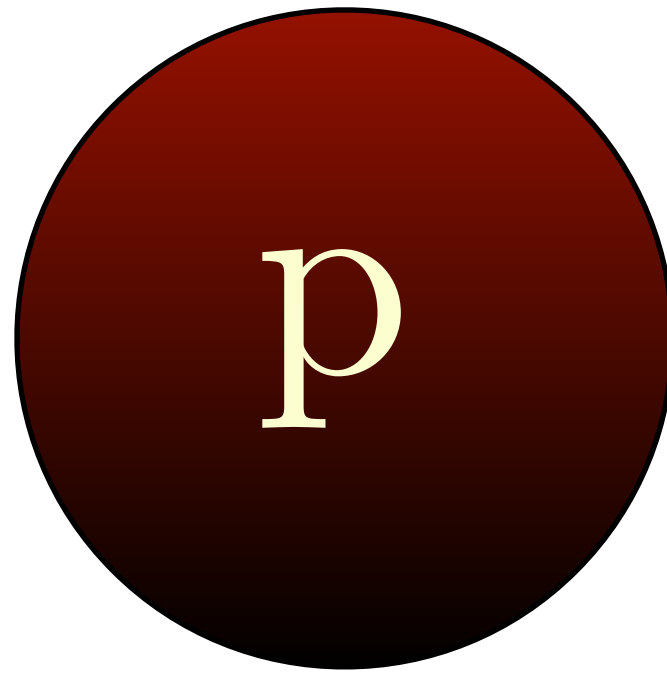


Il modello di Gell—Mann e la “nascita” dei quarks

REGOLA DELL'OTTETTO: modello per **predire nuovi adroni**



1969: “Per i suoi contributi e le sue scoperte riguardo alla classificazione delle particelle elementari e le loro interazioni”



Carica:

$+e$

0

Massa:

938.27 MeV

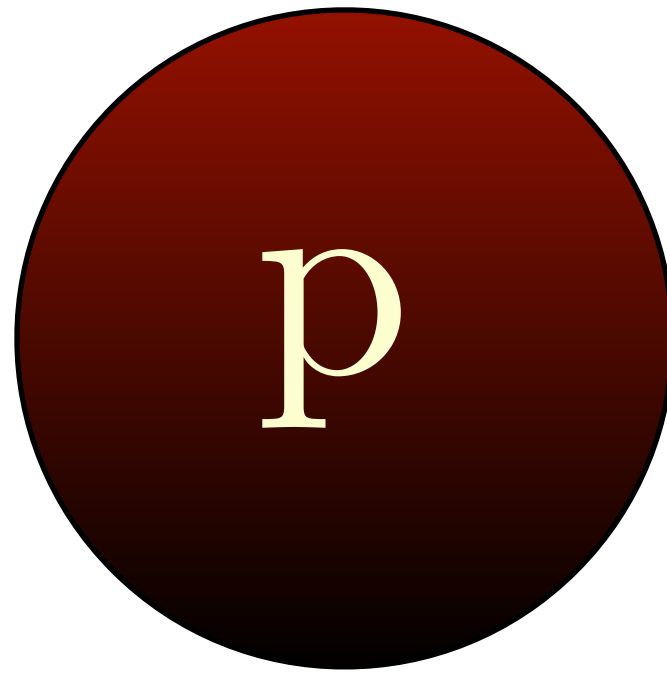
939.56 MeV

Spin:

$1/2$

$1/2$

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

0

Massa:

938.27 MeV

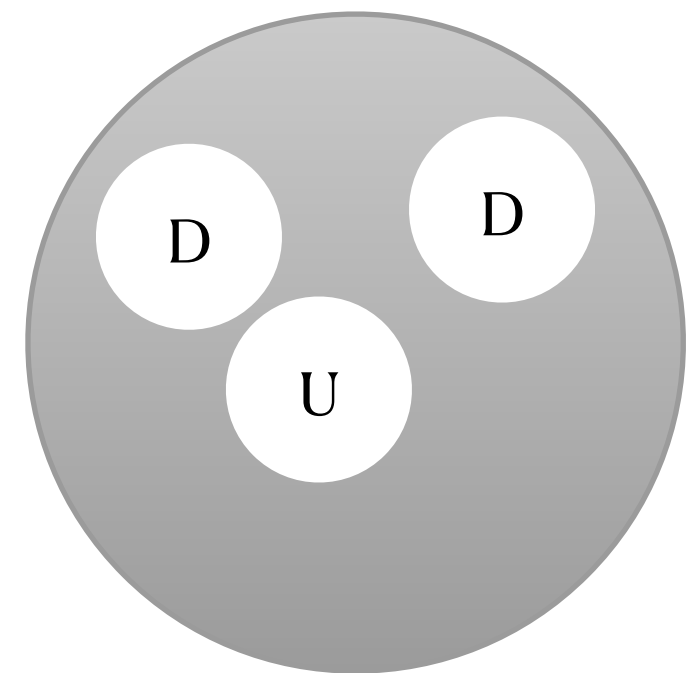
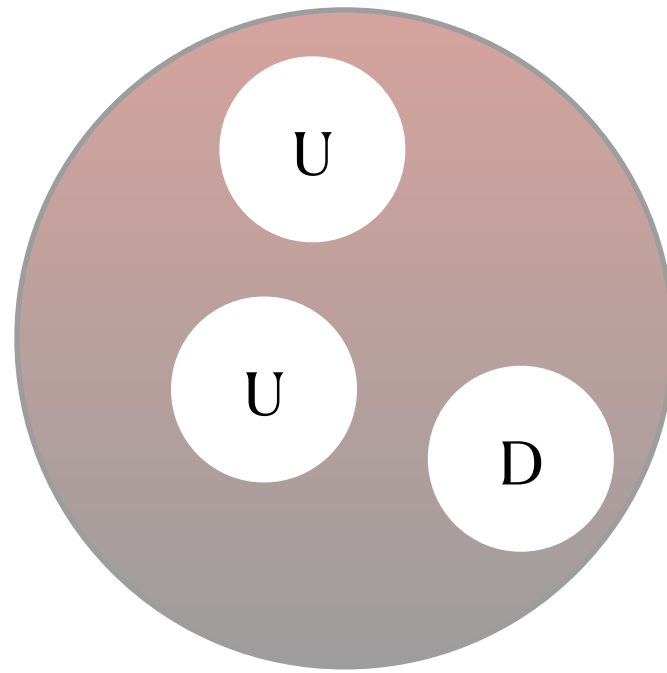
939.56 MeV

Spin:

$1/2$

$1/2$

Come spieghiamo questi numeri?



Carica:

$+e$

0

Massa:

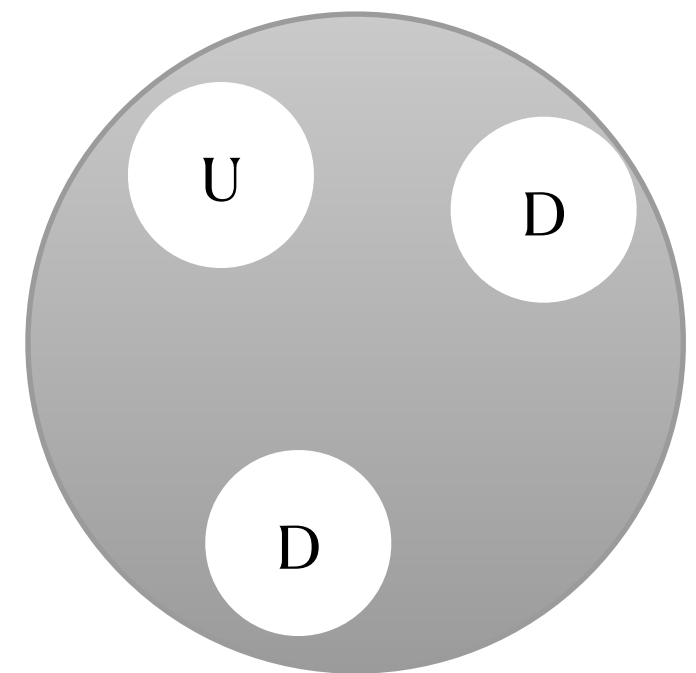
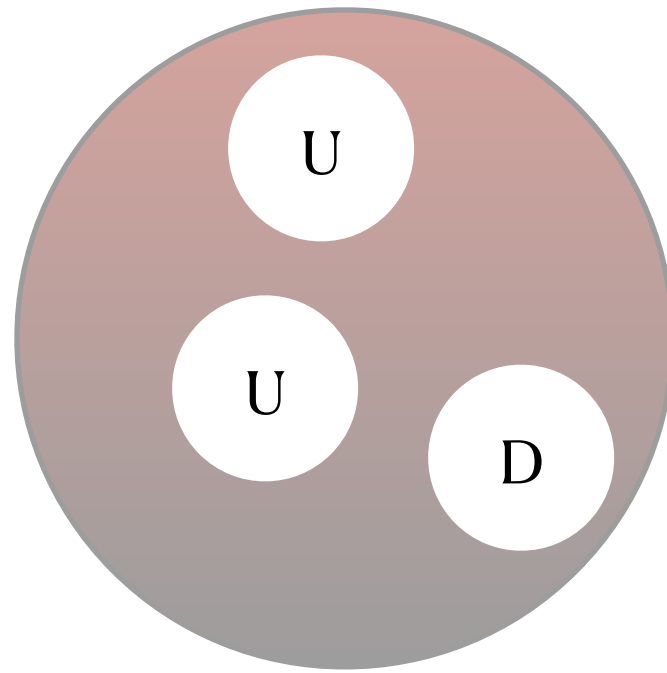
938.27 MeV

939.56 MeV

Spin:

$1/2$

$1/2$



Carica:

$+e$

0

Massa:

938.27 MeV

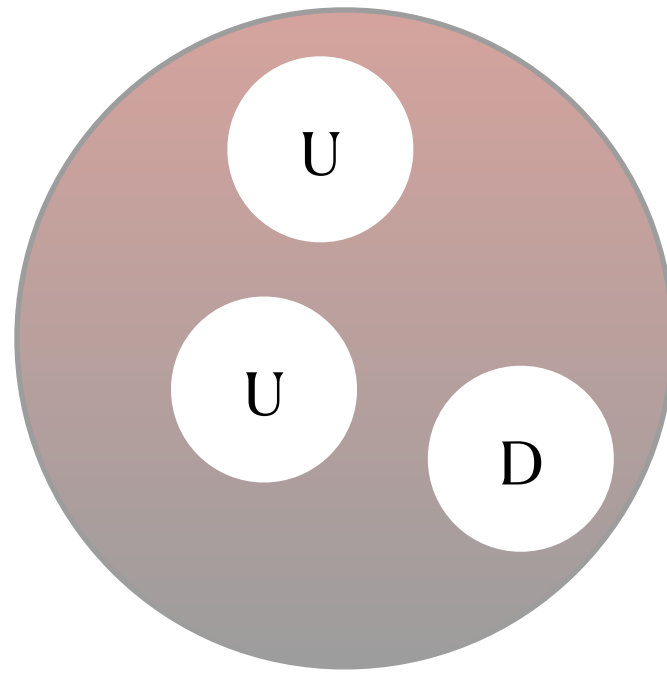
939.56 MeV

Spin:

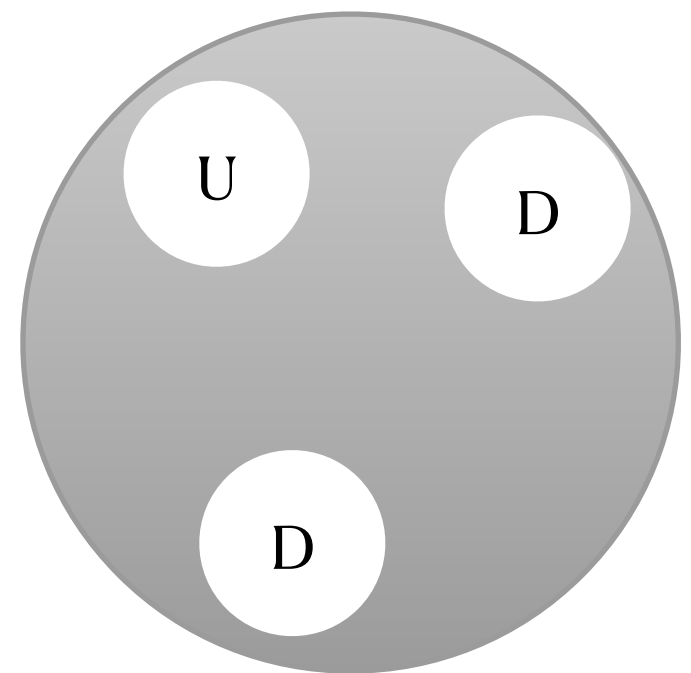
$1/2$

$1/2$

Modello a quark



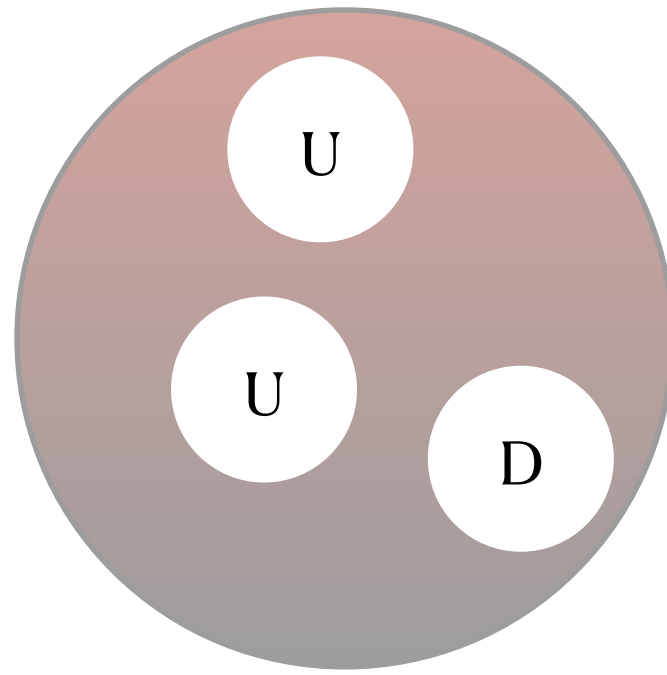
$+e$



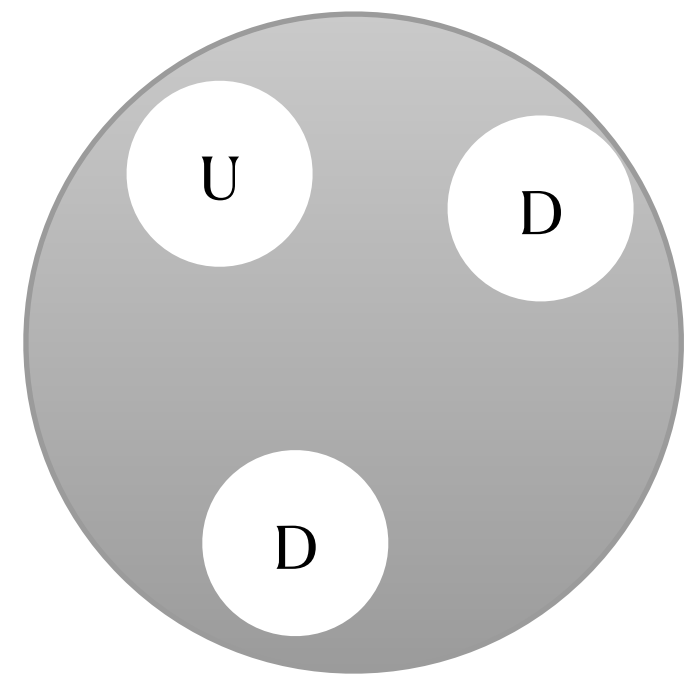
0

? **Carica:**

Viaggio al centro del nucleo



$+e$



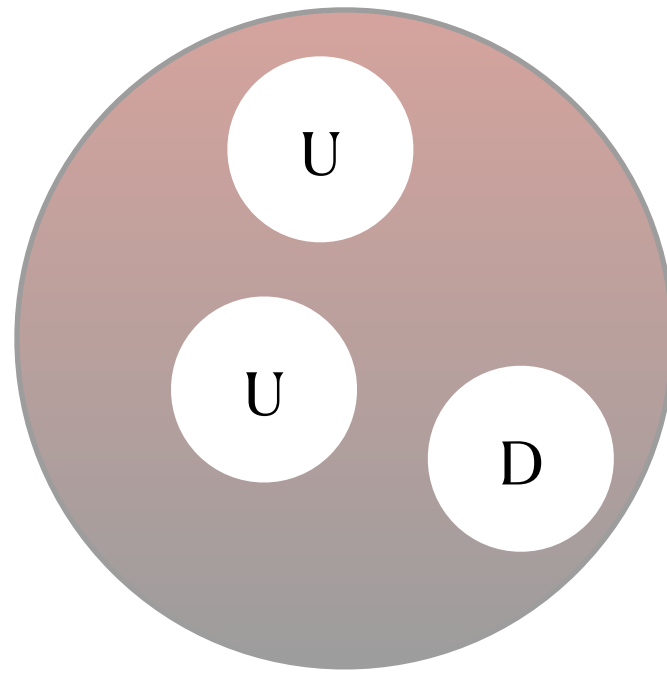
0

? **Carica:**

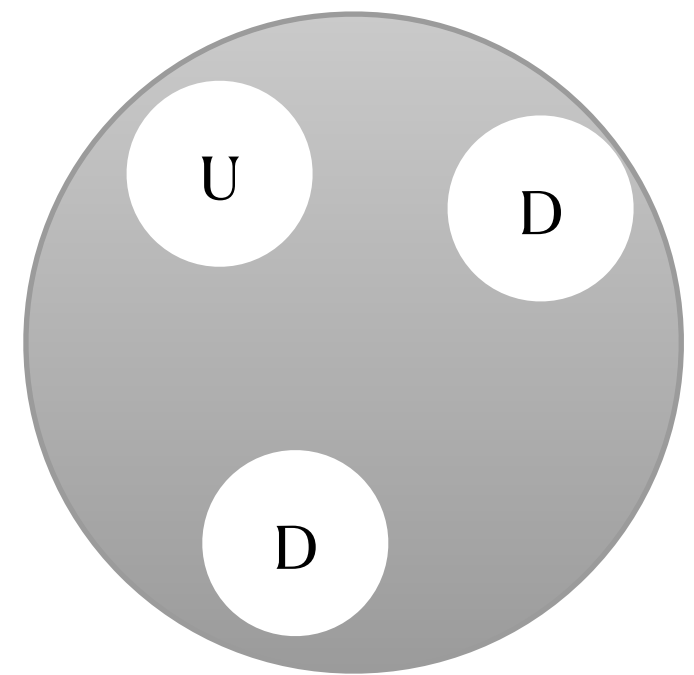


I quark sono particelle a carica frazionaria

Viaggio al centro del nucleo



$+e$



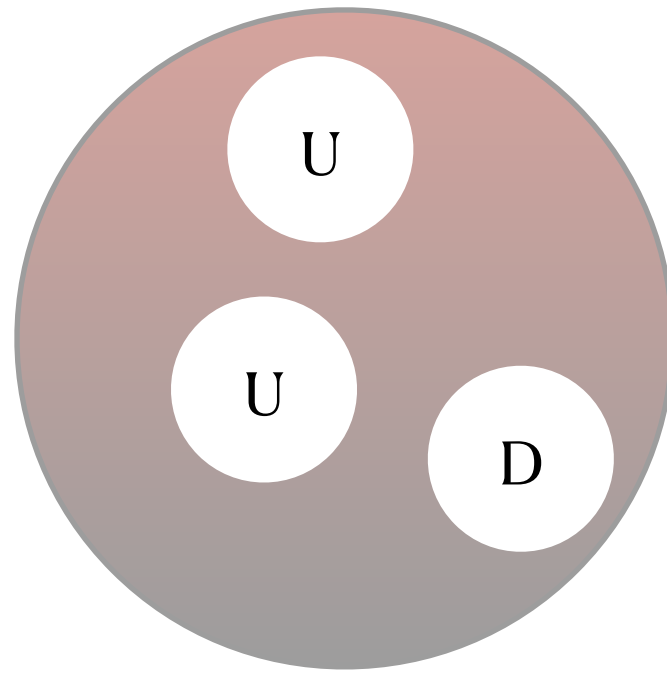
0

? **Carica:**

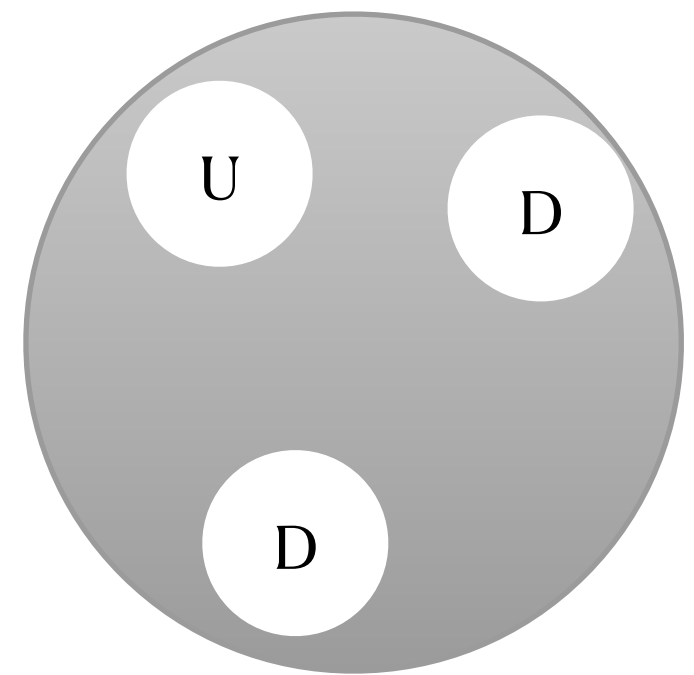


I quark sono particelle a carica frazionaria

Quale è il valore della loro carica?



$+e$



0

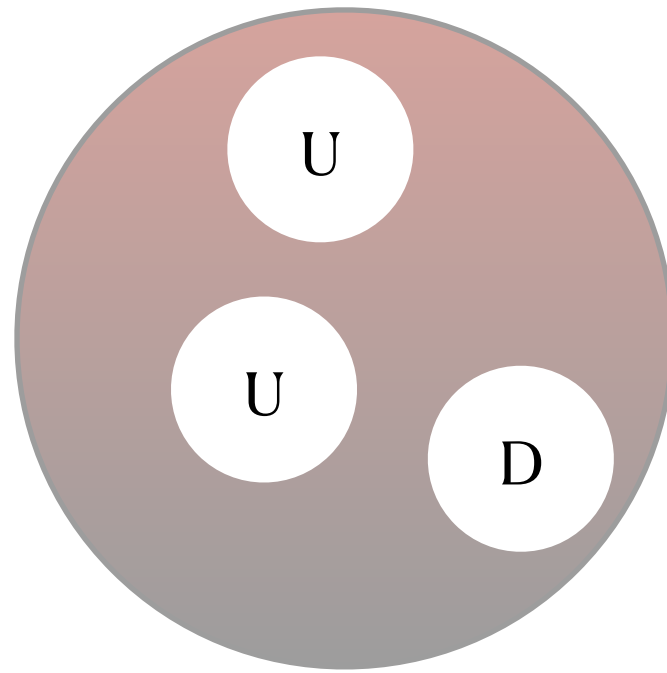
? **Carica:**



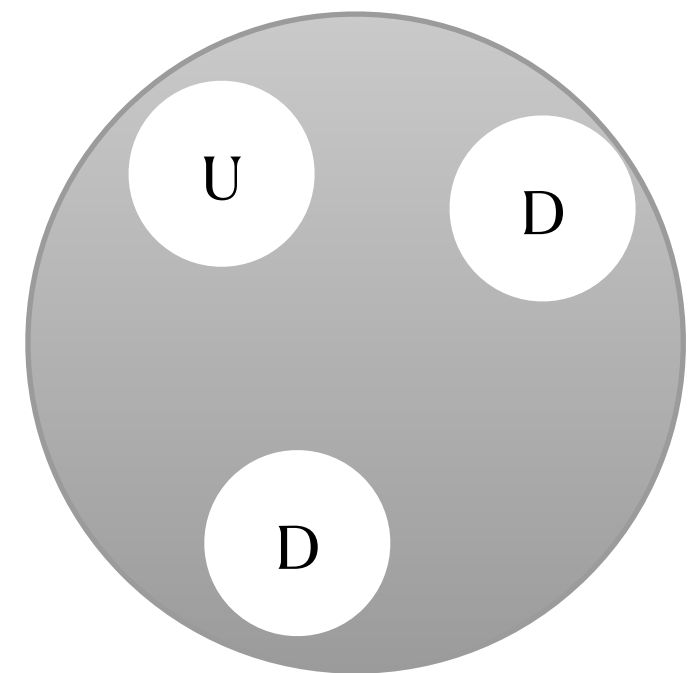
I quark sono particelle a carica frazionaria

Quale è il valore della loro carica?

$$\begin{cases} 2e_u + 1e_d = e_p \\ 1e_u + 2e_d = e_n \end{cases}$$



$+e$



0

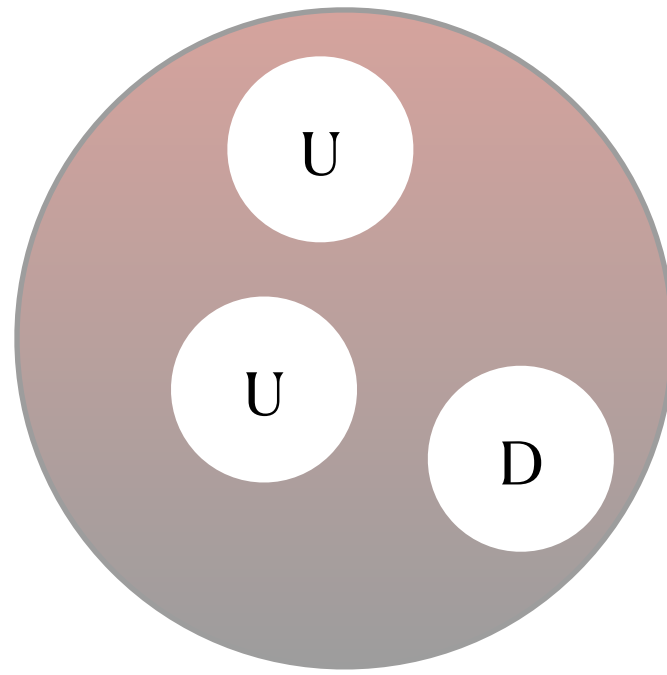
? Carica:



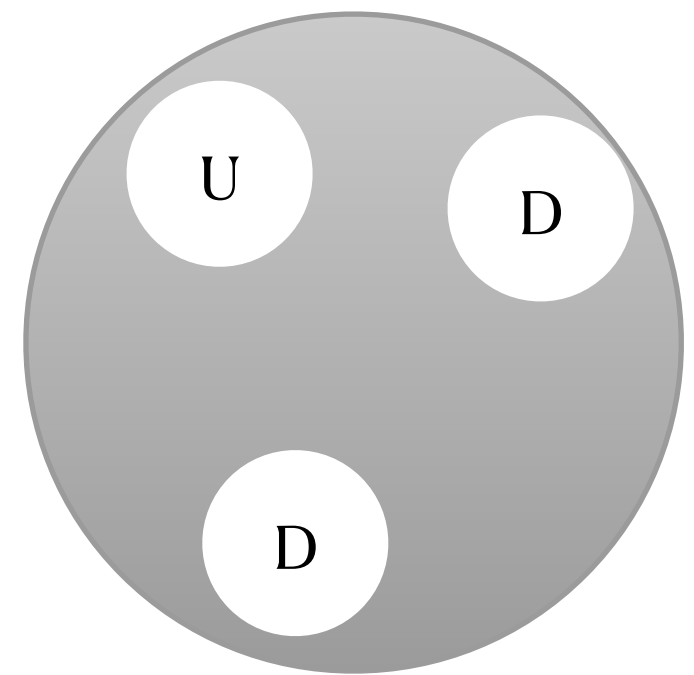
I quark sono particelle a carica frazionaria

Quale è il valore della loro carica?

$$\begin{cases} 2e_u + 1e_d = e_p \\ 1e_u + 2e_d = e_n \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} e_u &= +2/3 \\ e_d &= -1/3 \end{aligned}$$



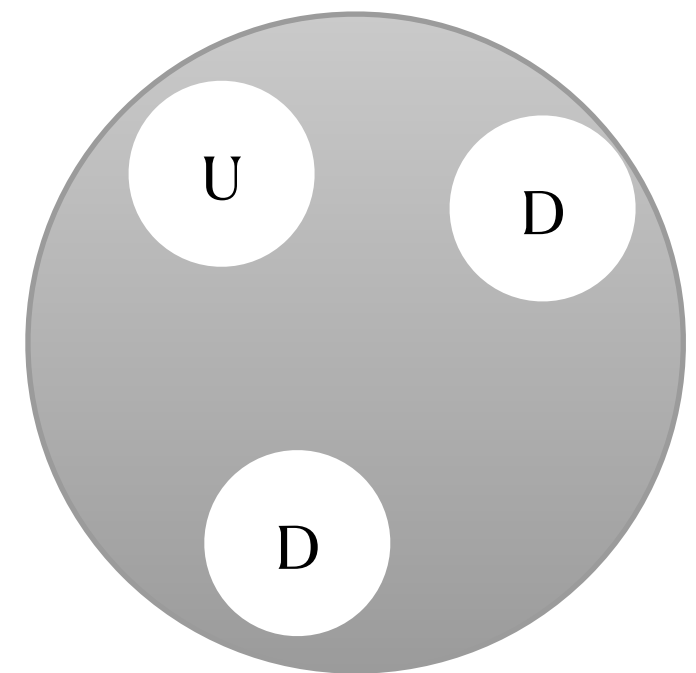
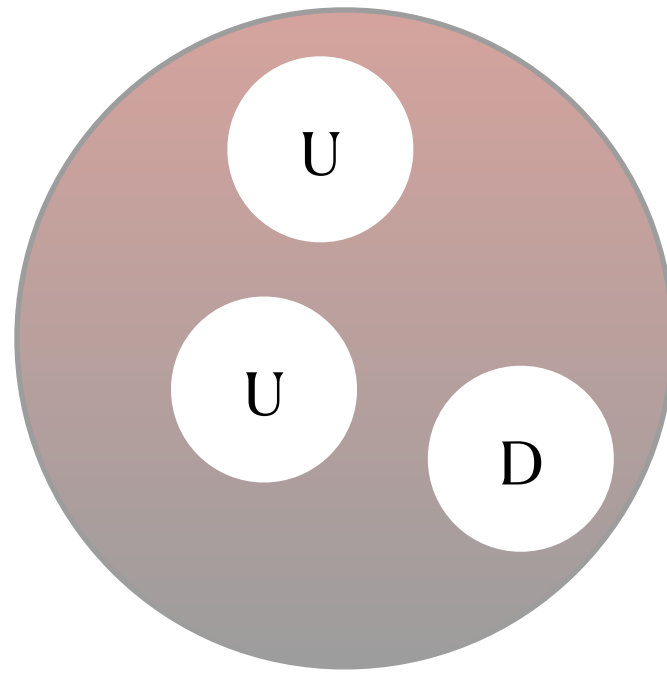
$+e$



0

✓ **Carica:**

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

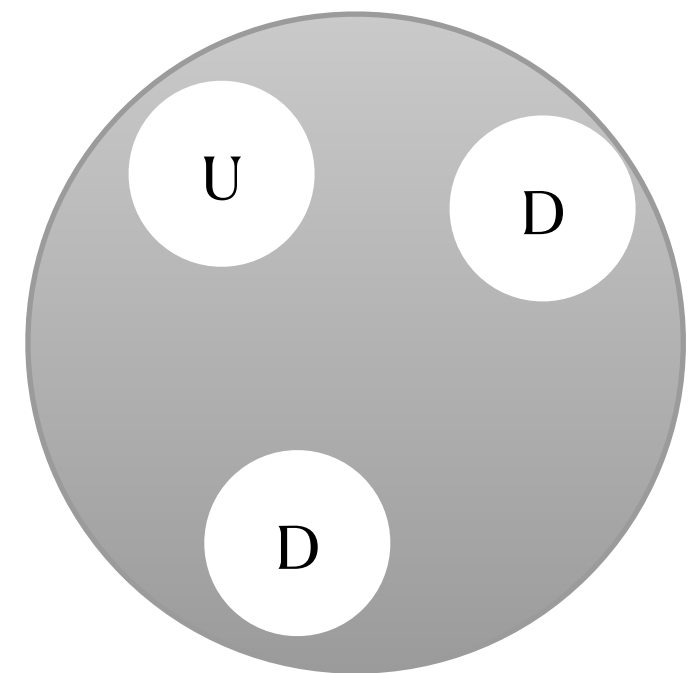
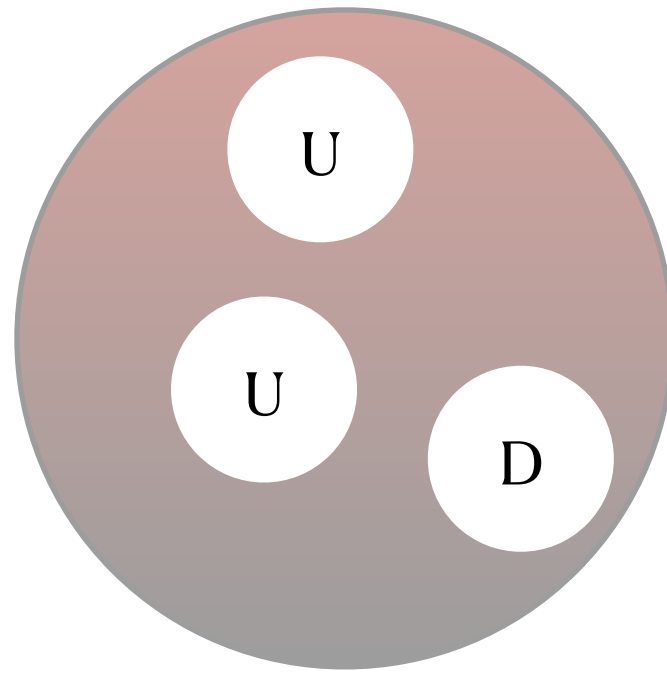
0

Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

0



Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

Viaggio al centro del nucleo

Viaggio al centro del nucleo



da dove viene
la massa del
protone ?

da dove viene
la massa del
protone ?

dal bosone
di Higgs

da dove viene
la massa del
protone ?

dal bosone
di Higgs

Ah.. la particella
di Dio 🙏

da dove viene
la massa del
protone ?

dal bosone
di Higgs

ne siamo
sicuri ??

Ah.. la particella
di Dio 🙏

il meccanismo di Higgs giustifica la massa delle particelle

il meccanismo di Higgs giustifica la massa
delle particelle **elementari**

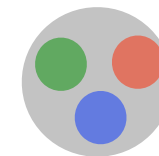
il meccanismo di Higgs giustifica la massa
delle particelle **elementari**



particelle **elementari** = no struttura interna
= puntiformi



Viaggio al centro del nucleo

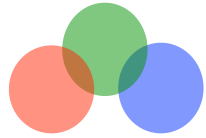


protone
 938.27 MeV

Viaggio al centro del nucleo



protone
 938.27 MeV



quark **down**

4.8 MeV

quark **up**

2.3 MeV



protone
 938.27 MeV

quark **down**

4.8 MeV

quark **up**

2.3 MeV



protone
 938.27 MeV

quark **down**

4.8 MeV

quark **up**

2.3 MeV



Da dove viene
allora la massa
del protone ?

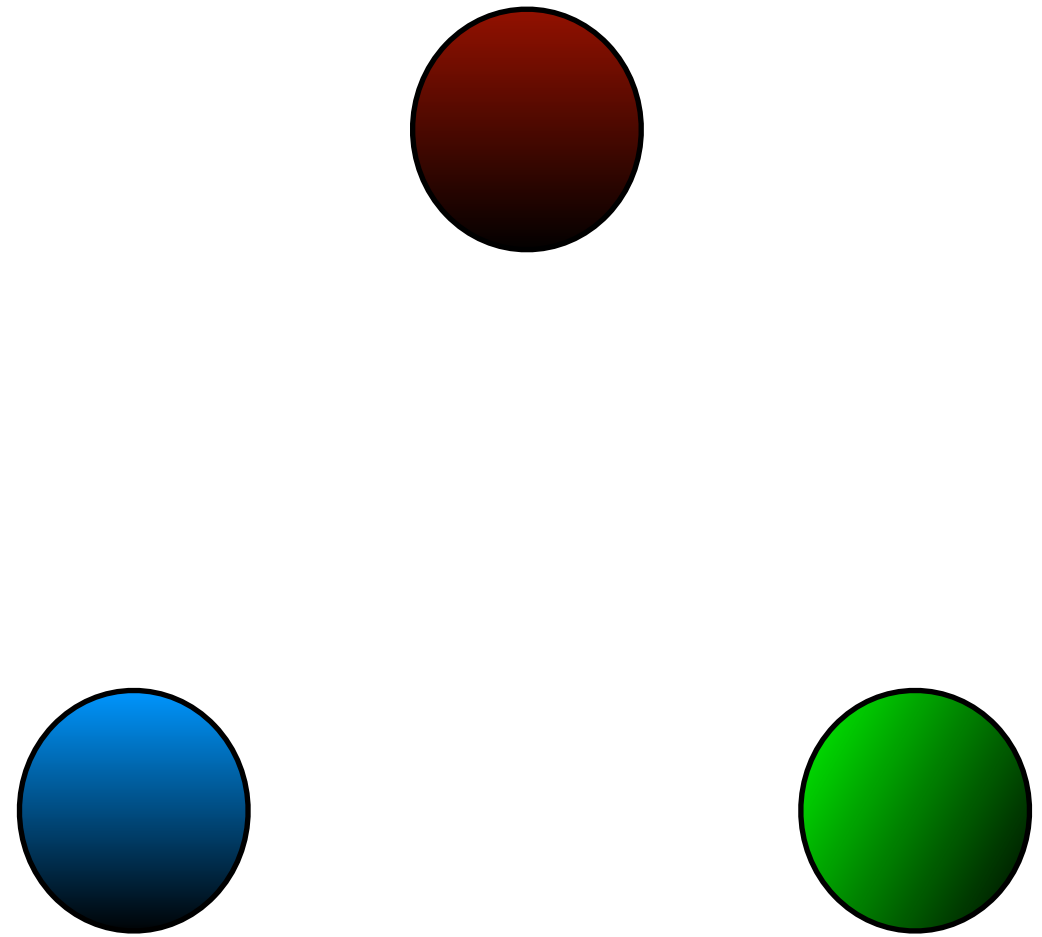
protone
 938.27 MeV



Viaggio al centro del nucleo

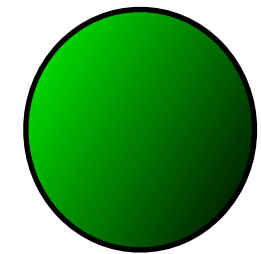
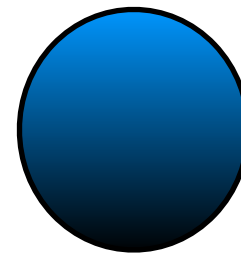
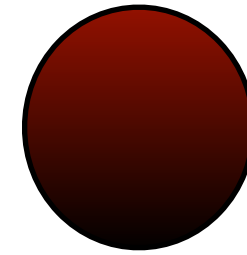
Viaggio al centro del nucleo

I **quark** sono trattenuti
dentro il protone dalla
interazione forte



I **quark** sono trattenuti
dentro il protone dalla
interazione forte

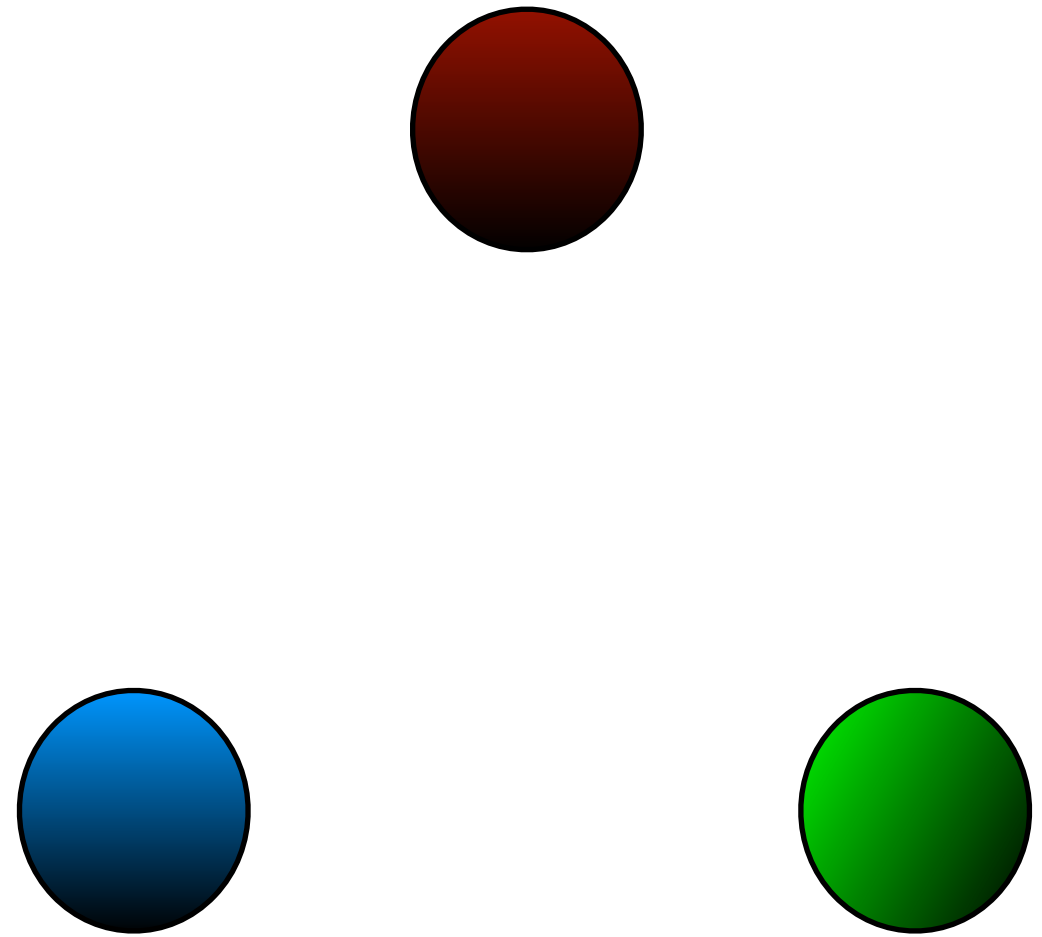
Forza
elettromagnetica $\longleftrightarrow$ Carica
elettrica



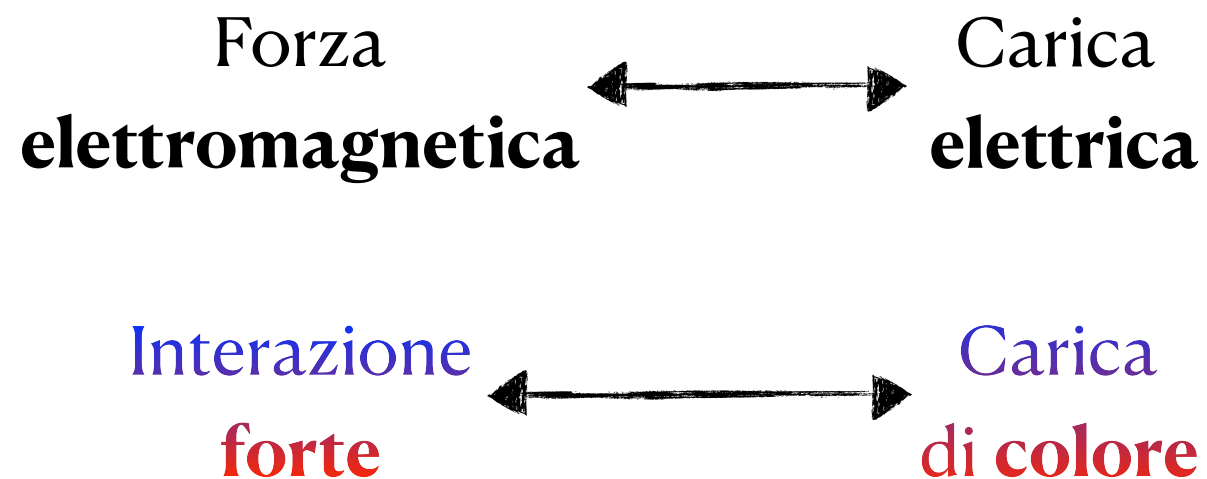
I **quark** sono trattenuti
dentro il protone dalla
interazione forte

Forza
elettromagnetica ↔ Carica
elettrica

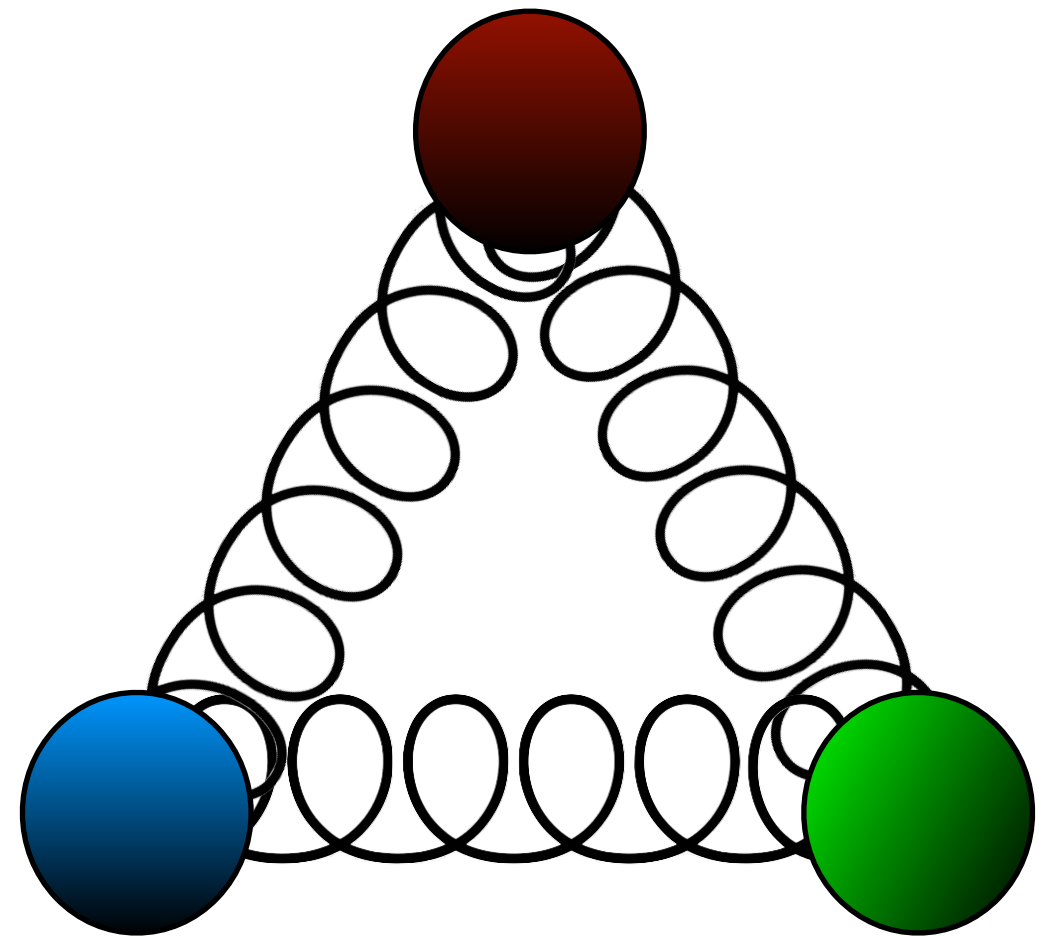
Interazione
forte ↔ Carica
di colore



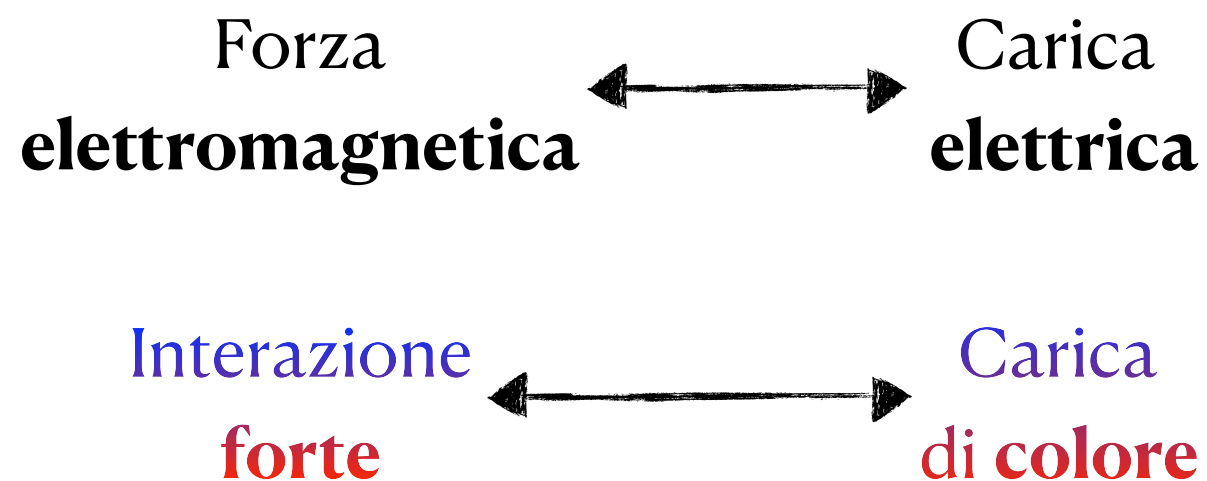
I **quark** sono trattenuti
dentro il protone dalla
interazione forte



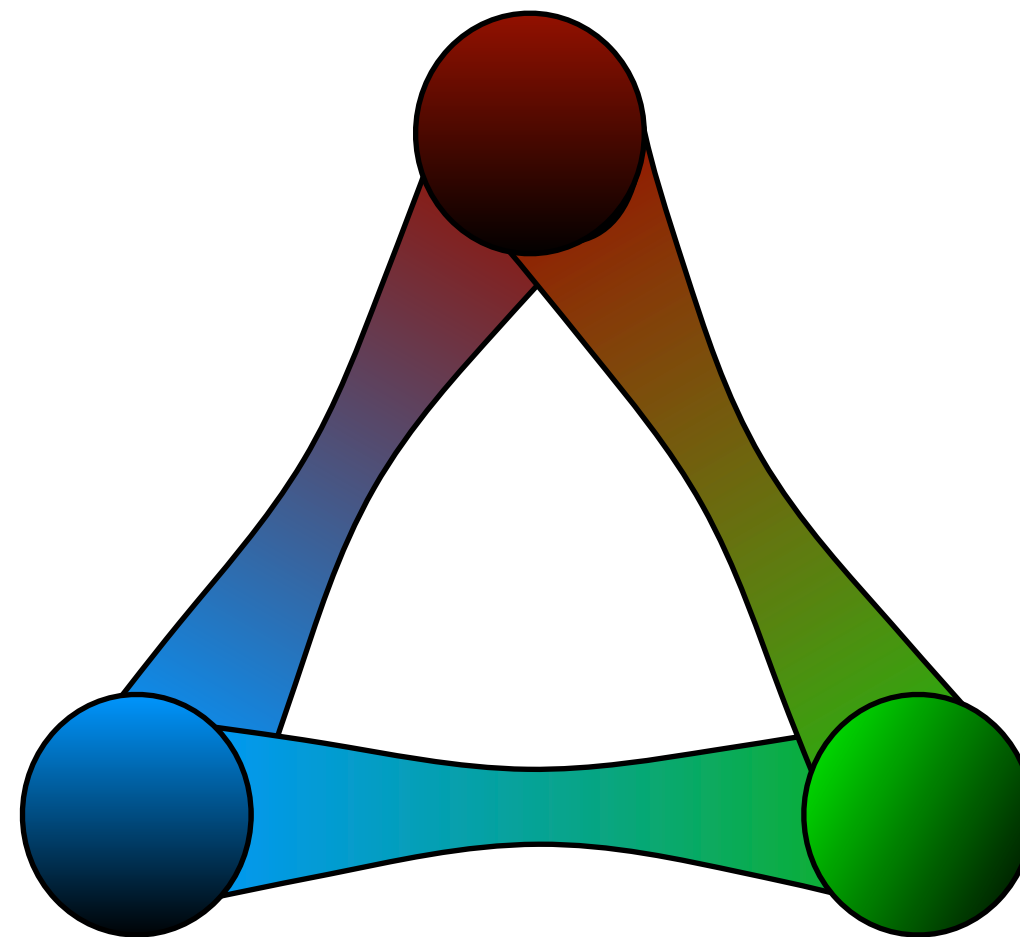
Immaginiamola
come una **molla**..



I **quark** sono trattenuti
dentro il protone dalla
interazione forte

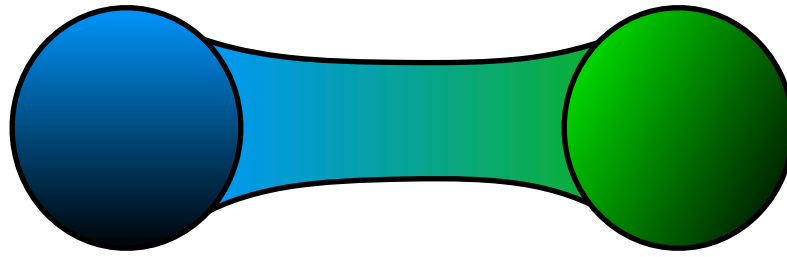


Immaginiamola
come una **molla**..

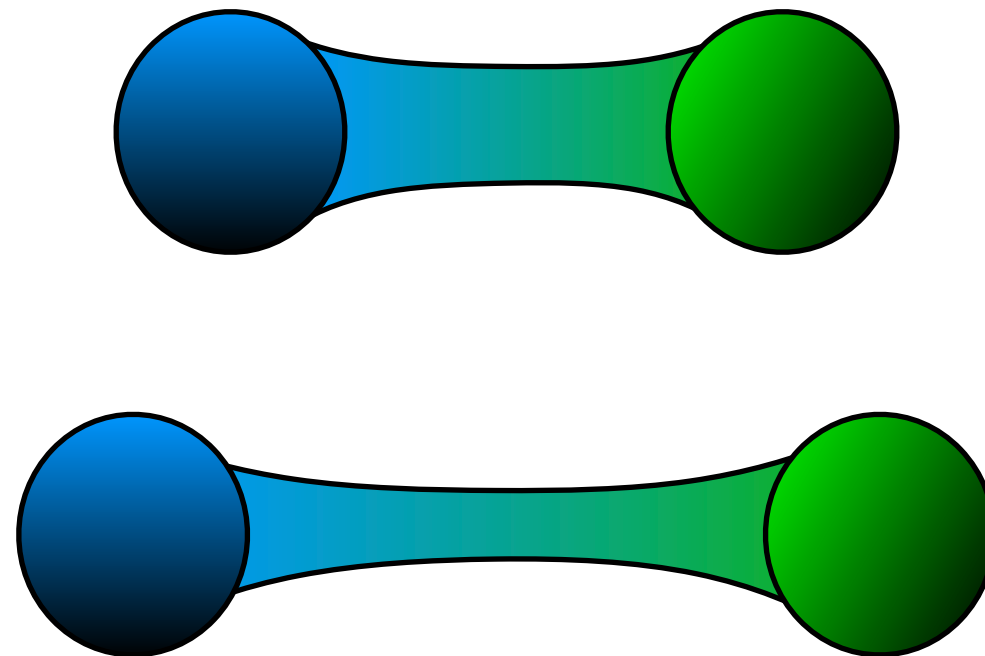


.. anche se è una particella
chiamata **gluone**

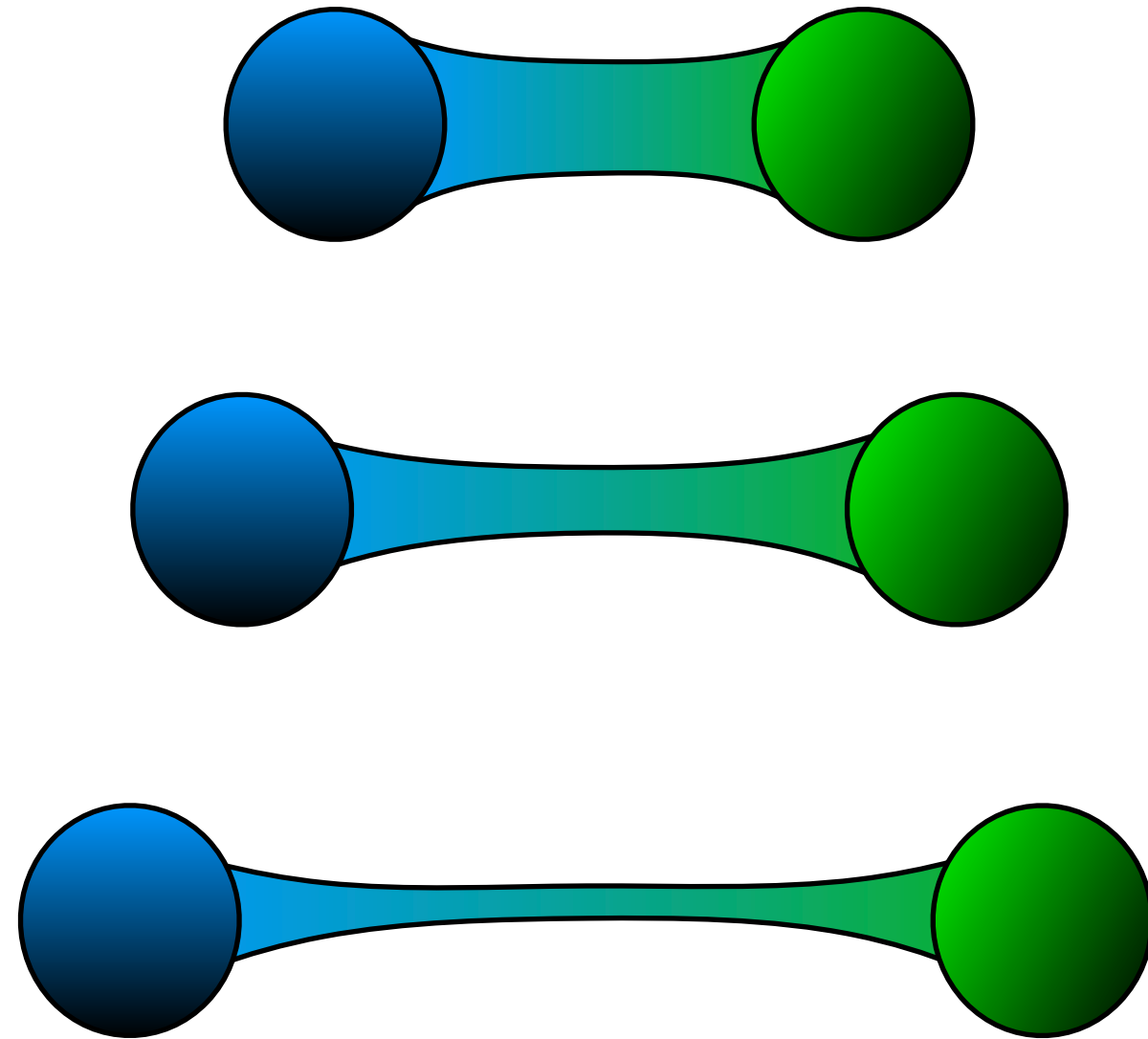
Viaggio al centro del nucleo



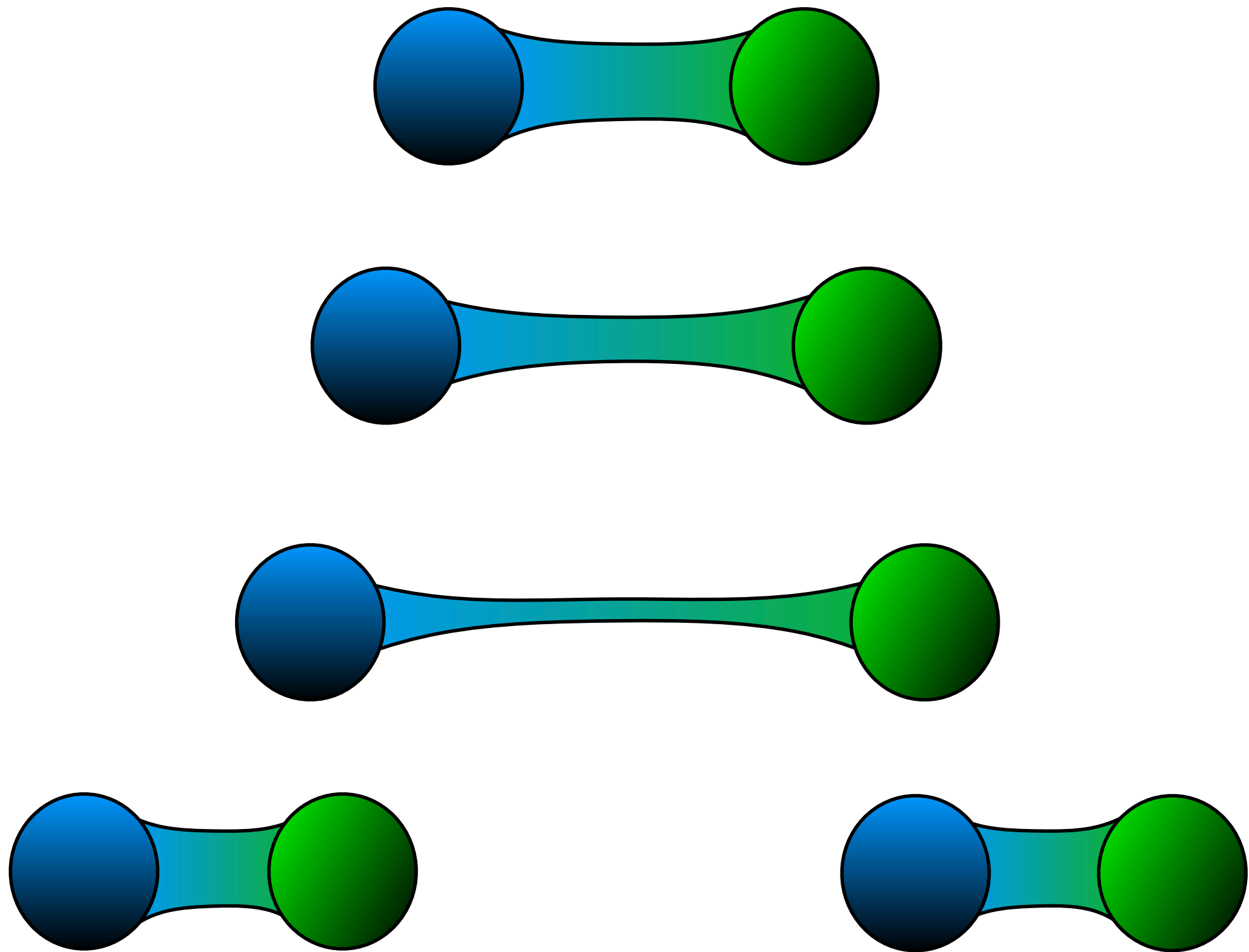
Viaggio al centro del nucleo



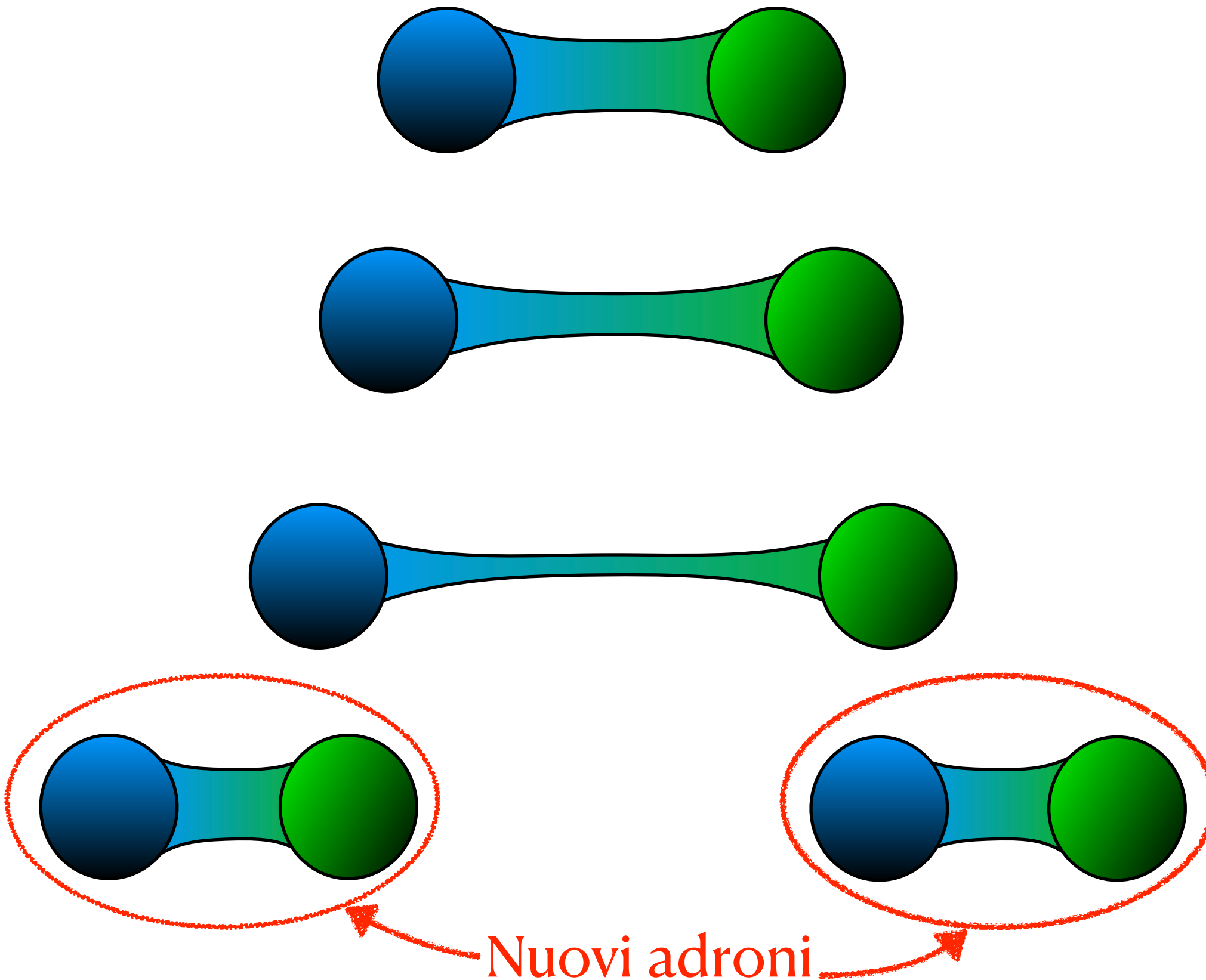
Viaggio al centro del nucleo

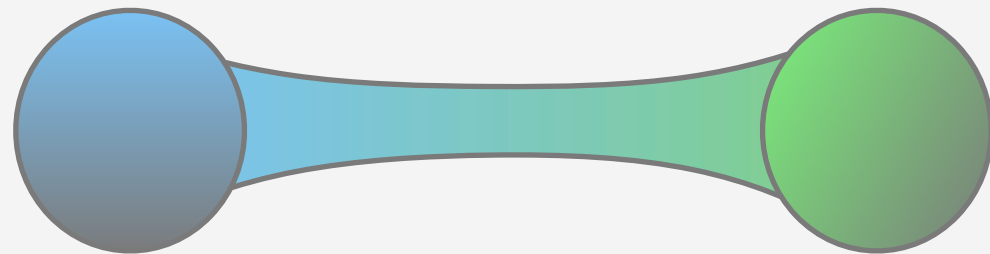
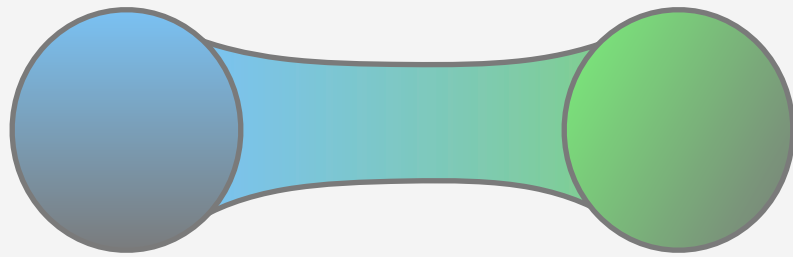


Viaggio al centro del nucleo

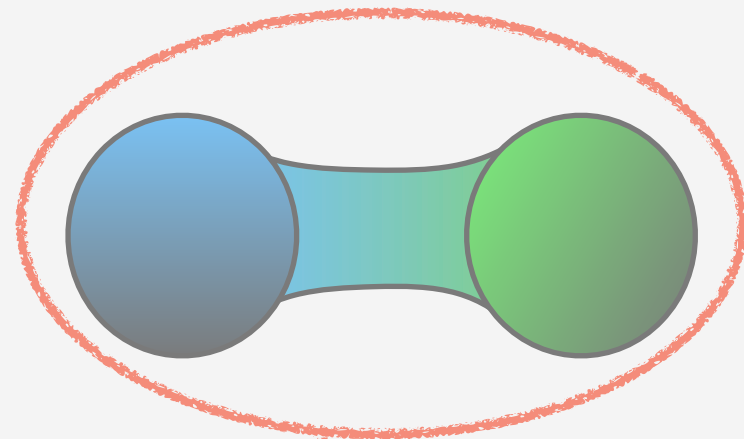
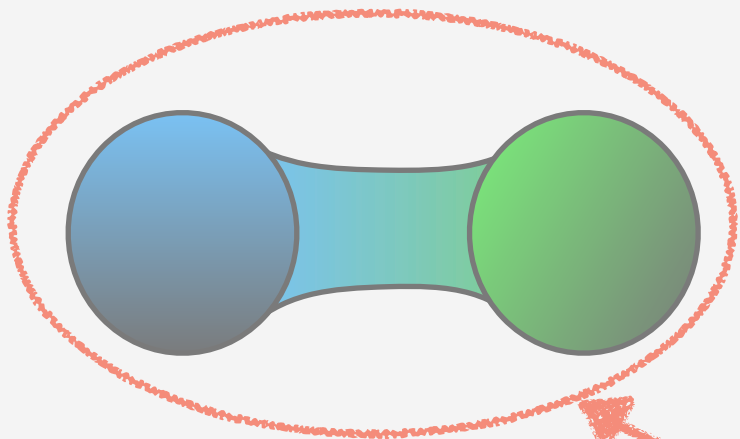
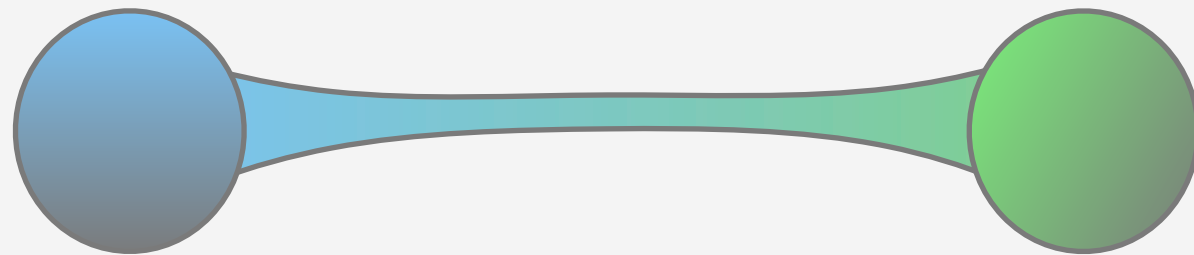


Viaggio al centro del nucleo





Proprietà del confinamento!!



Nuovi adroni

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Modello di
Gell-Mann

QCD

Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

Viaggio al centro del nucleo

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Modello di
Gell-Mann

QCD

Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

Gell-Mann: $SU(3)_f$

Viaggio al centro del nucleo

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Modello di
Gell-Mann

QCD

Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

QCD: $SU(3)_c$

Viaggio al centro del nucleo

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

QCD: $SU(3)_c$

La carica di colore può assumere tre valori:

Viaggio al centro del nucleo

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Modello di
Gell-Mann

QCD

Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

QCD: $SU(3)_c$

La carica di colore può assumere tre valori:

Verde

Viaggio al centro del nucleo

Cromodinamica Quantistica (QCD)



Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

QCD: $SU(3)_c$

La carica di colore può assumere tre valori:  Verde
 Blu

Viaggio al centro del nucleo

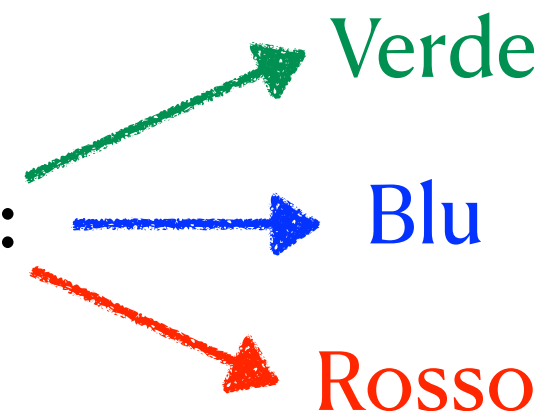
Cromodinamica Quantistica (QCD)



Teoria fisica che descrive
l'interazione *forte* tra
particelle *colorate*

QCD: $SU(3)_c$

La carica di colore può assumere tre valori:



Viaggio al centro del nucleo

Il modello standard delle interazioni fondamentali

intensità



up



charm



top



gluone



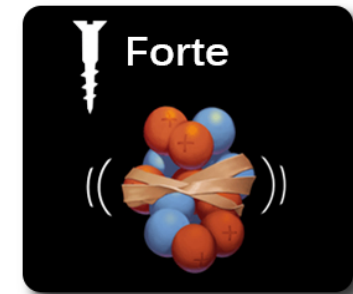
down



strange



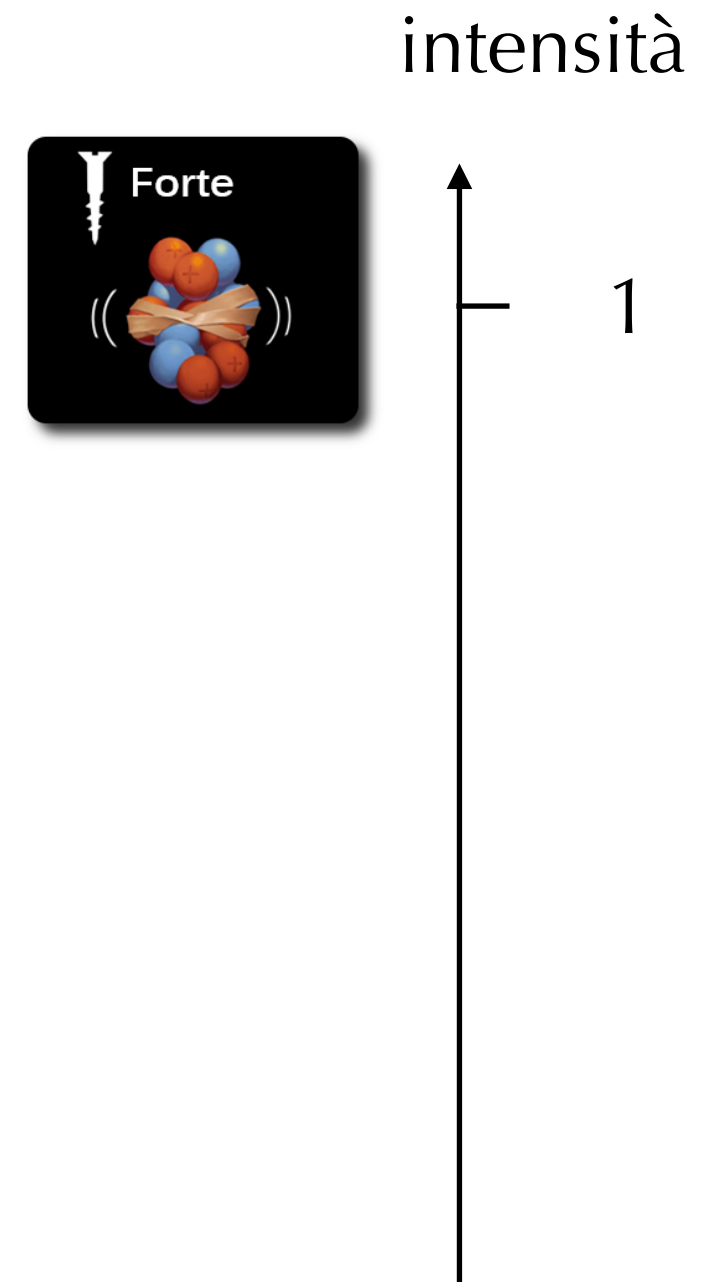
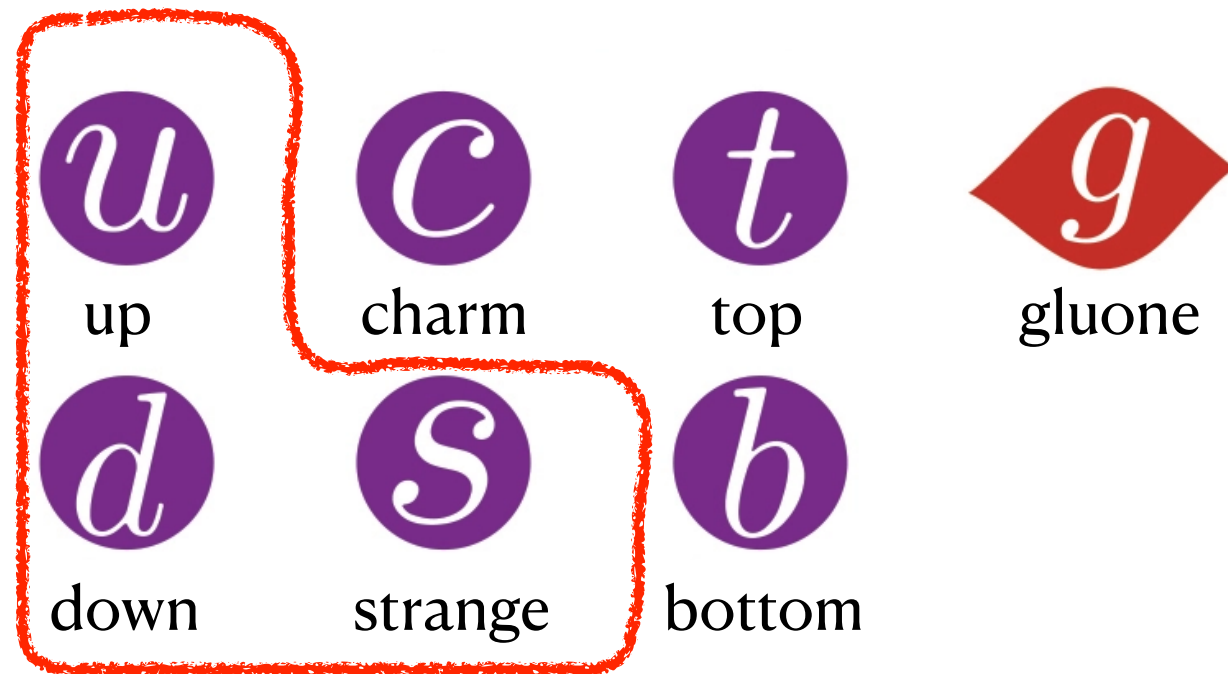
bottom



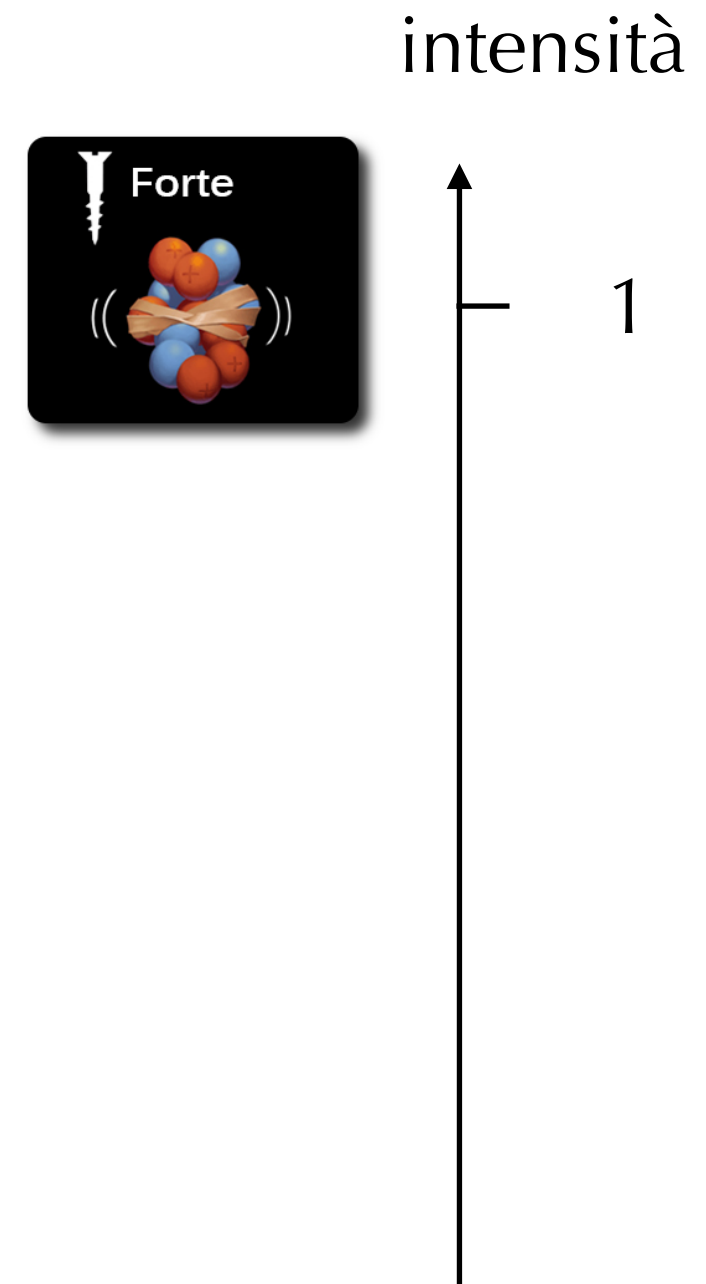
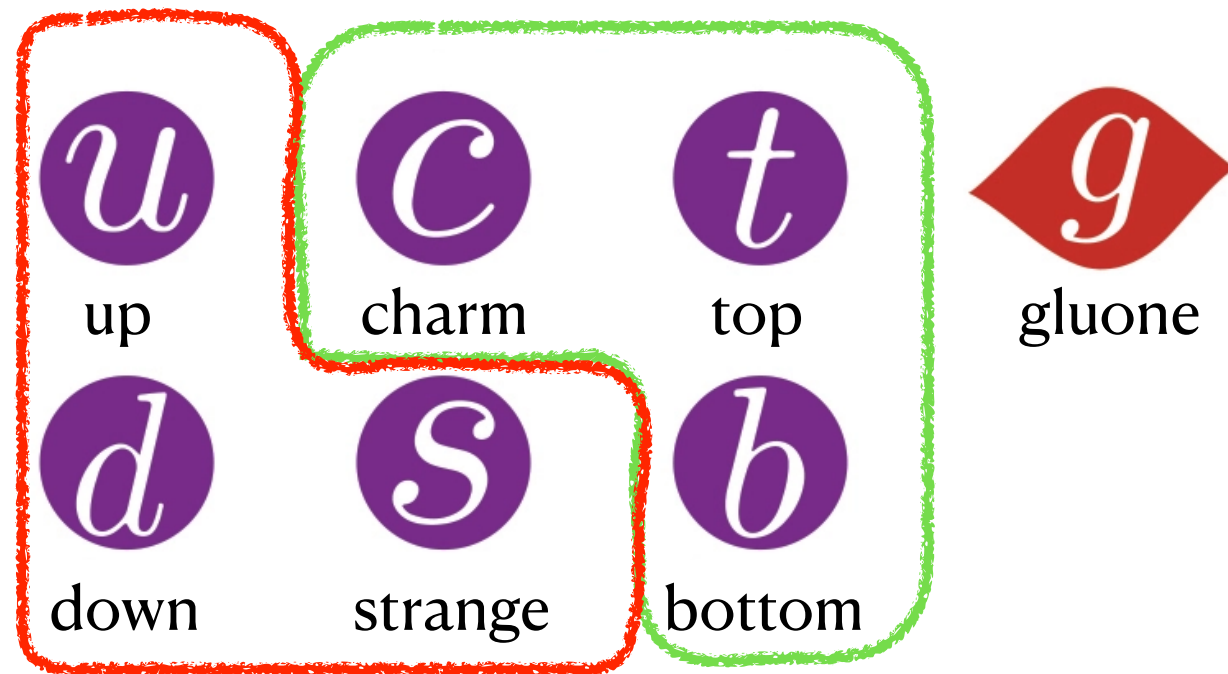
1

Viaggio al centro del nucleo

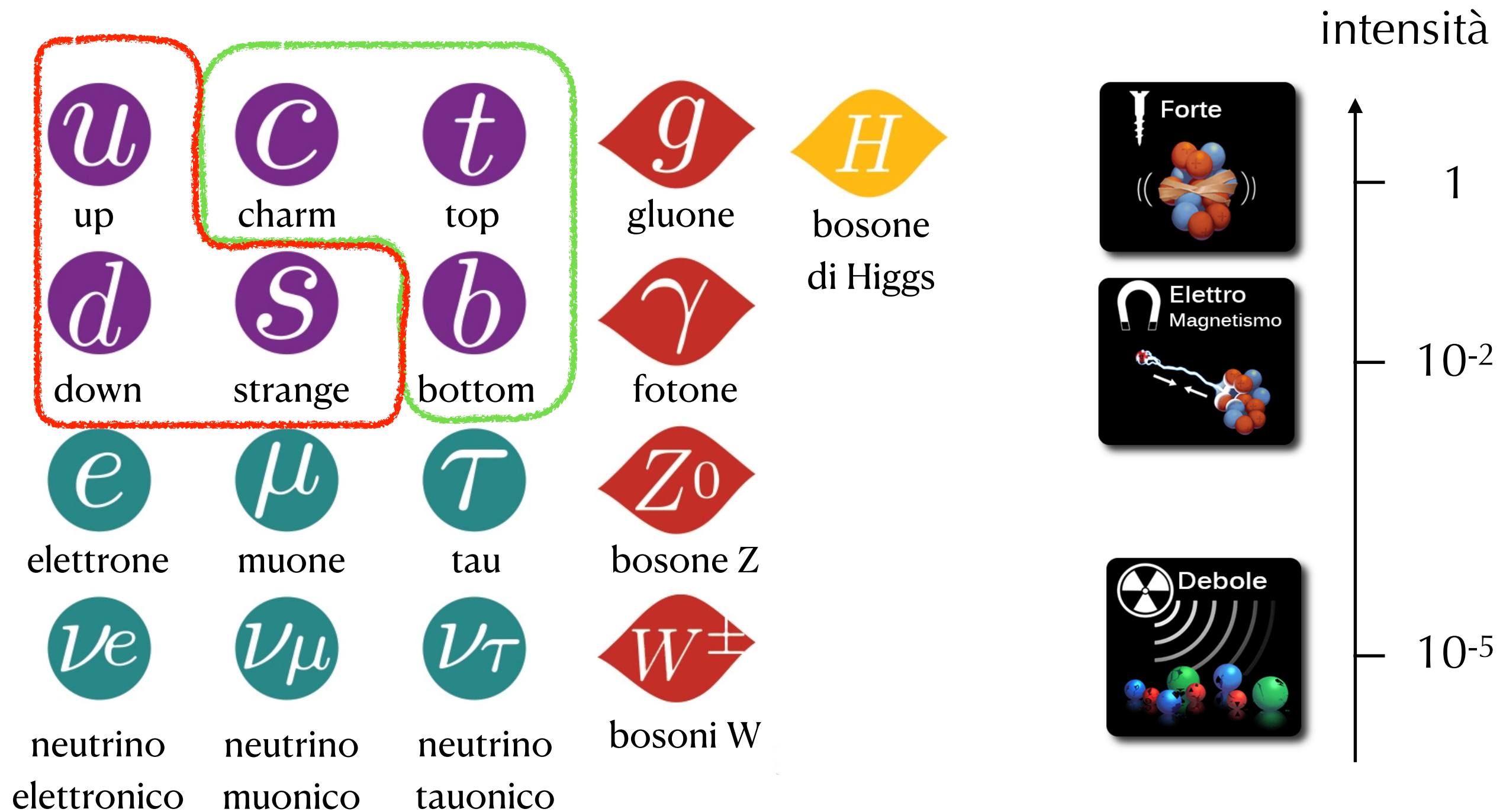
Il modello standard delle interazioni fondamentali



Il modello standard delle interazioni fondamentali



Il modello standard delle interazioni fondamentali

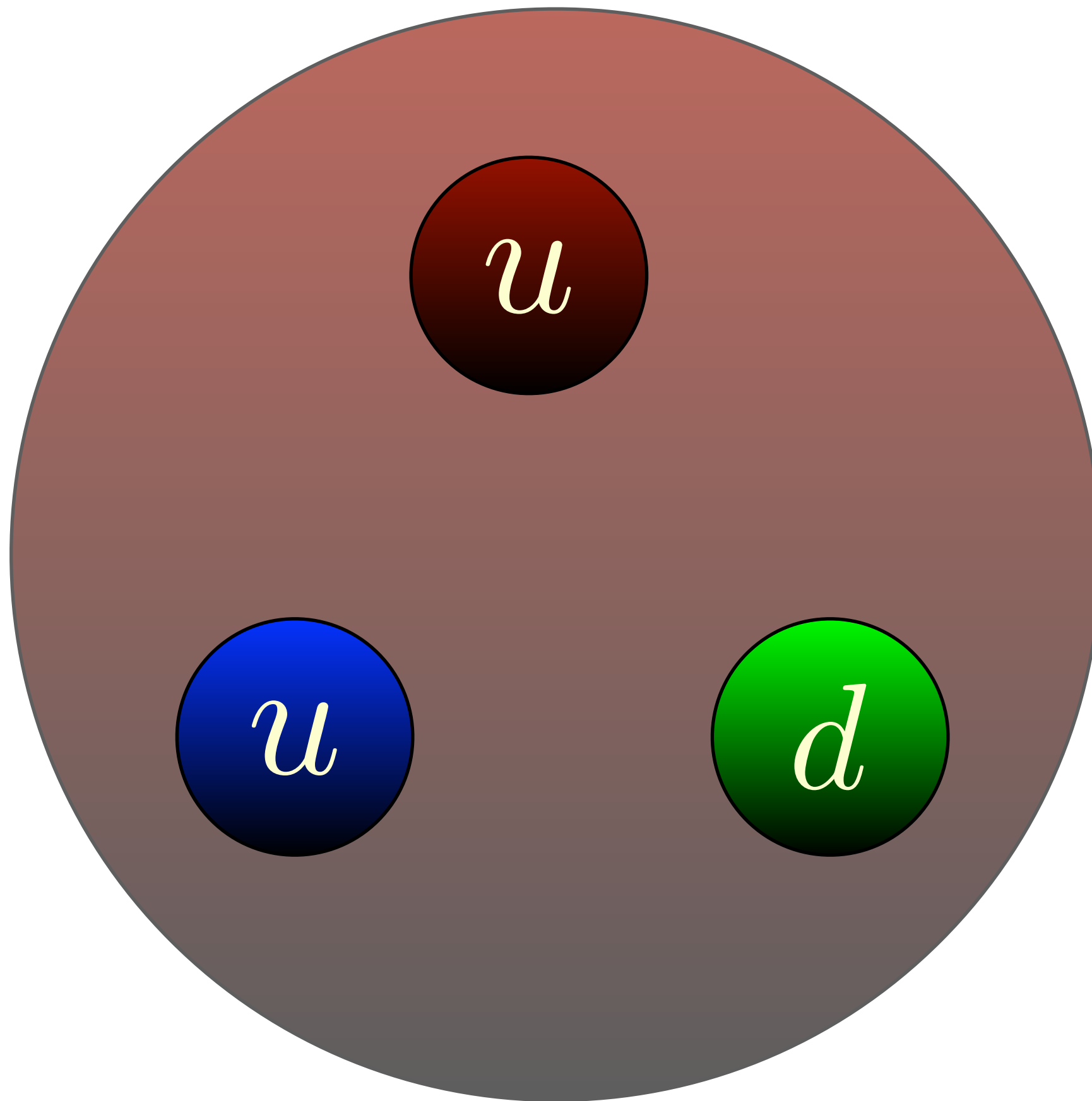


“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.
Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche particelle subnucleari, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero **i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti**.
È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

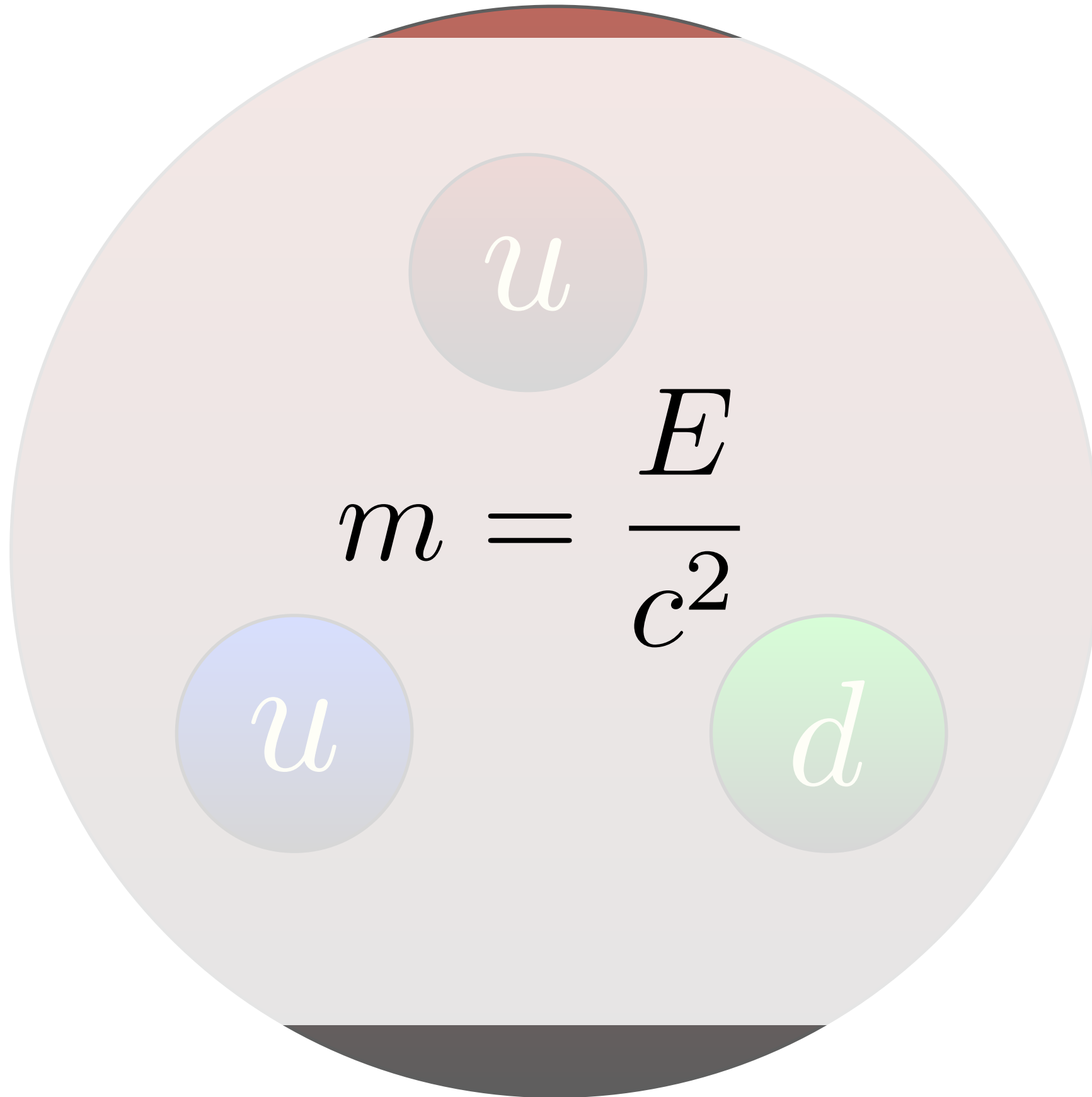
Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



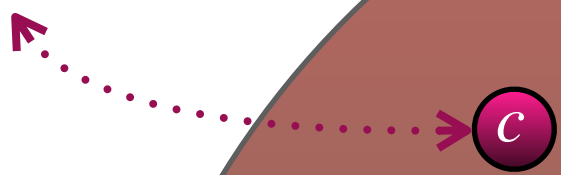
Viaggio al centro del nucleo



Viaggio al centro del nucleo

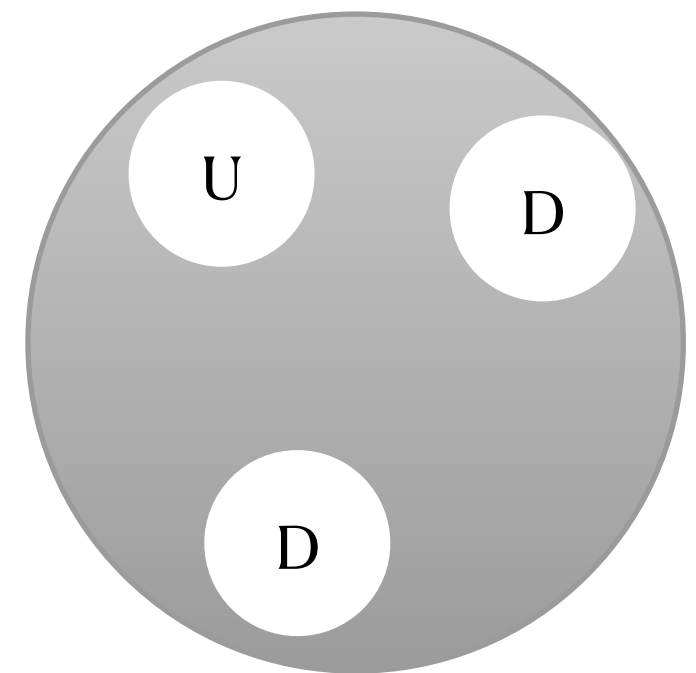
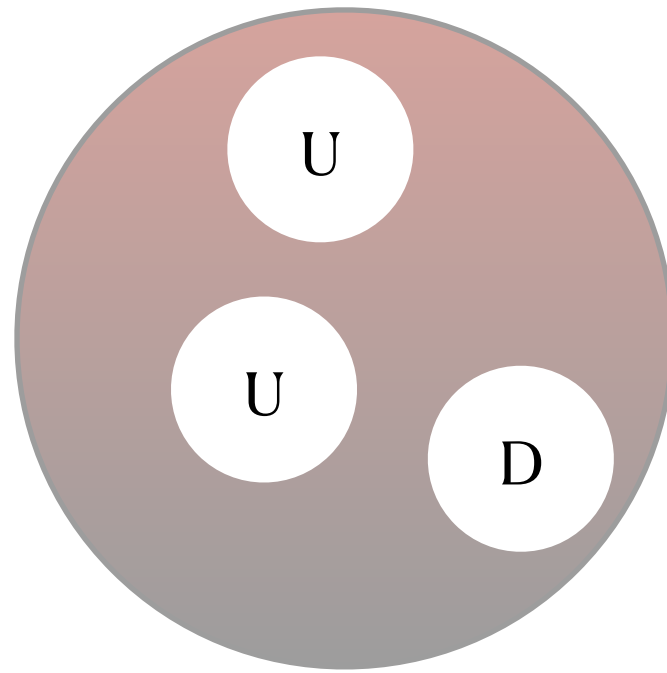


Charm intrinseco (?)



Viaggio al centro del nucleo





Carica:

$+e$

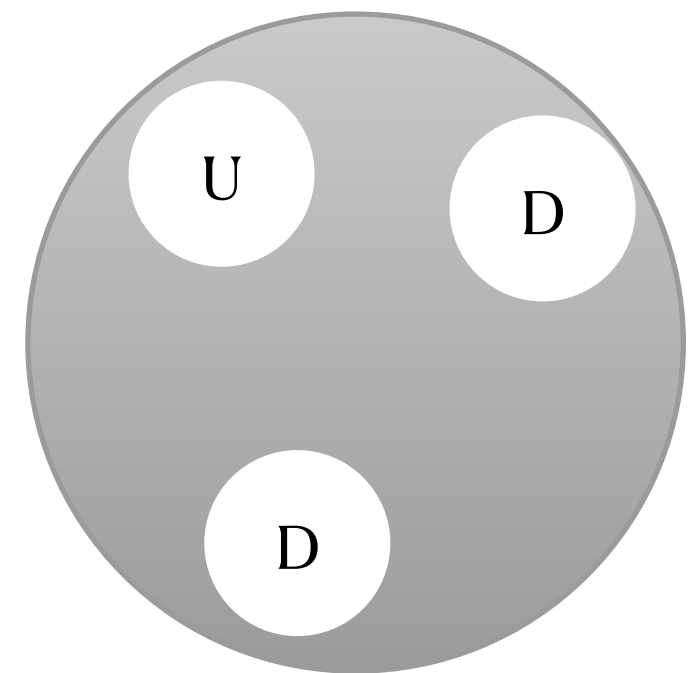
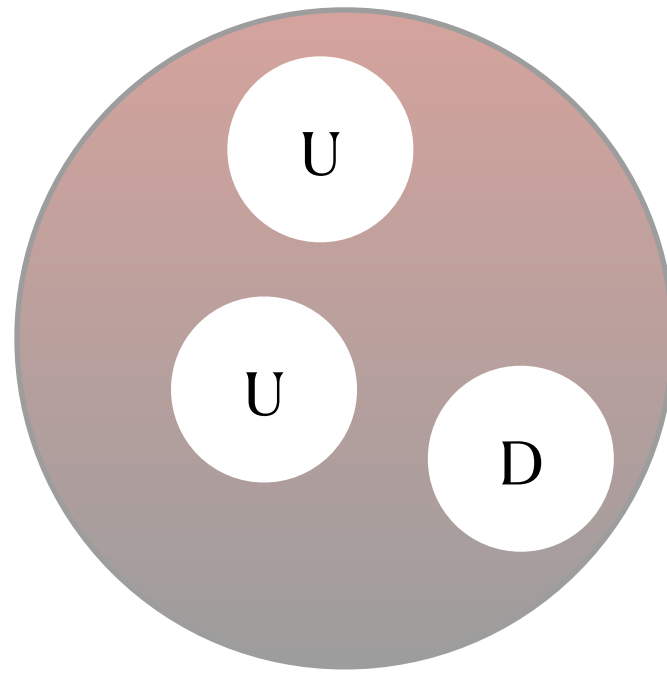
0

Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

0

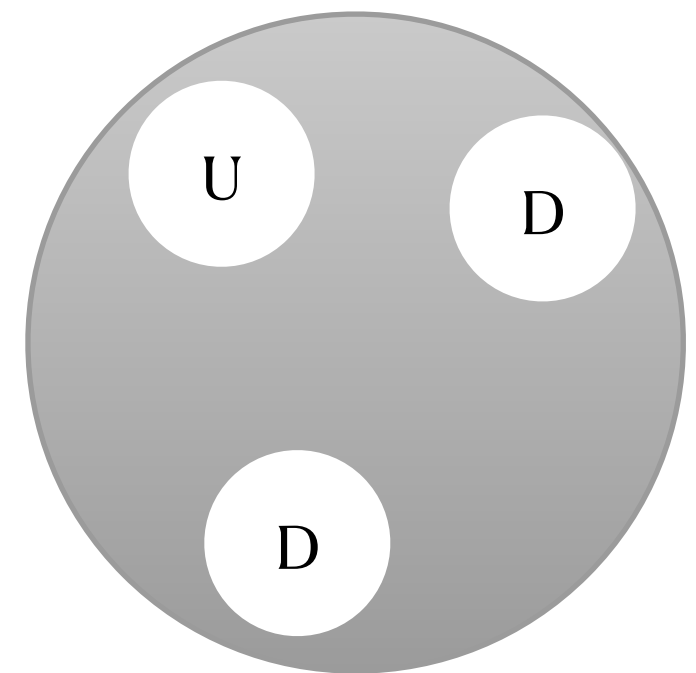
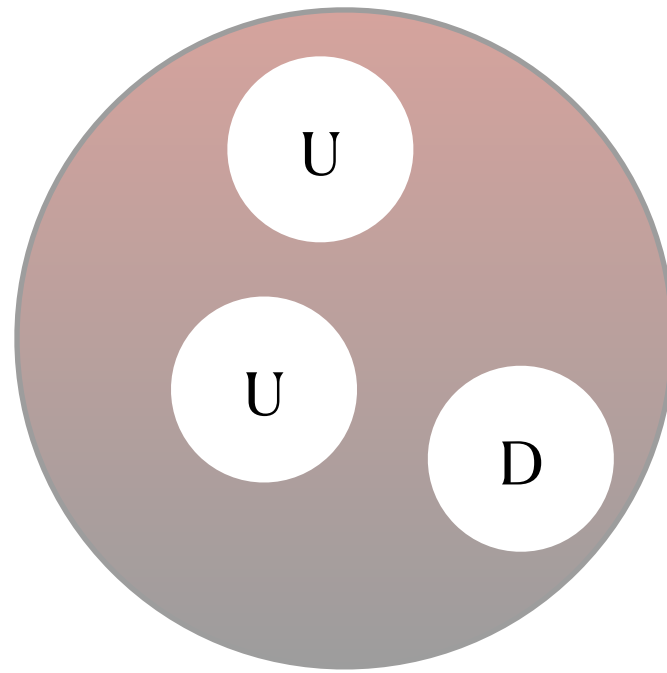


Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

0



Massa:

938.27 MeV

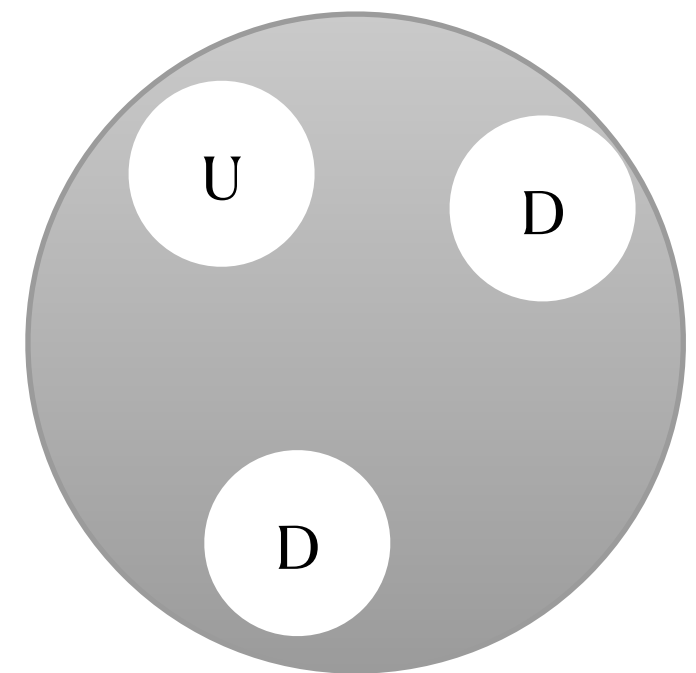
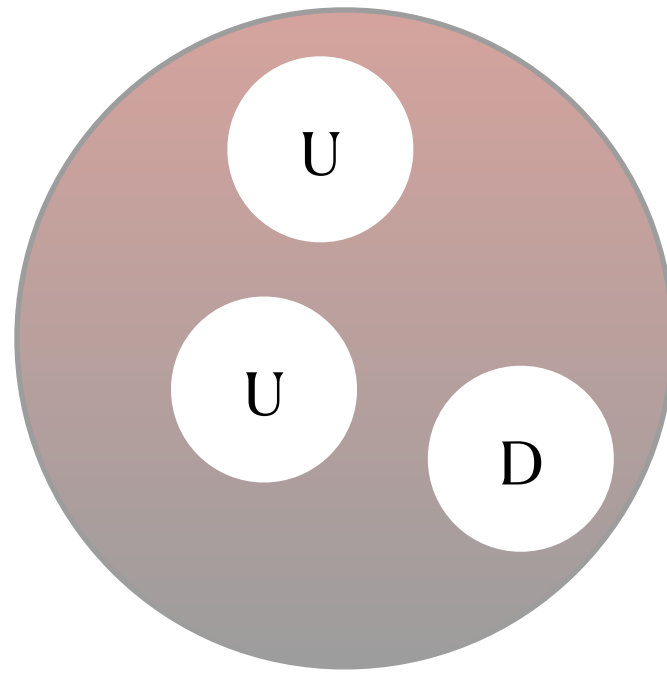
939.56 MeV

Spin:

$1/2$

$1/2$

Viaggio al centro del nucleo



Carica:

$+e$

0



Massa:

938.27 MeV

939.56 MeV

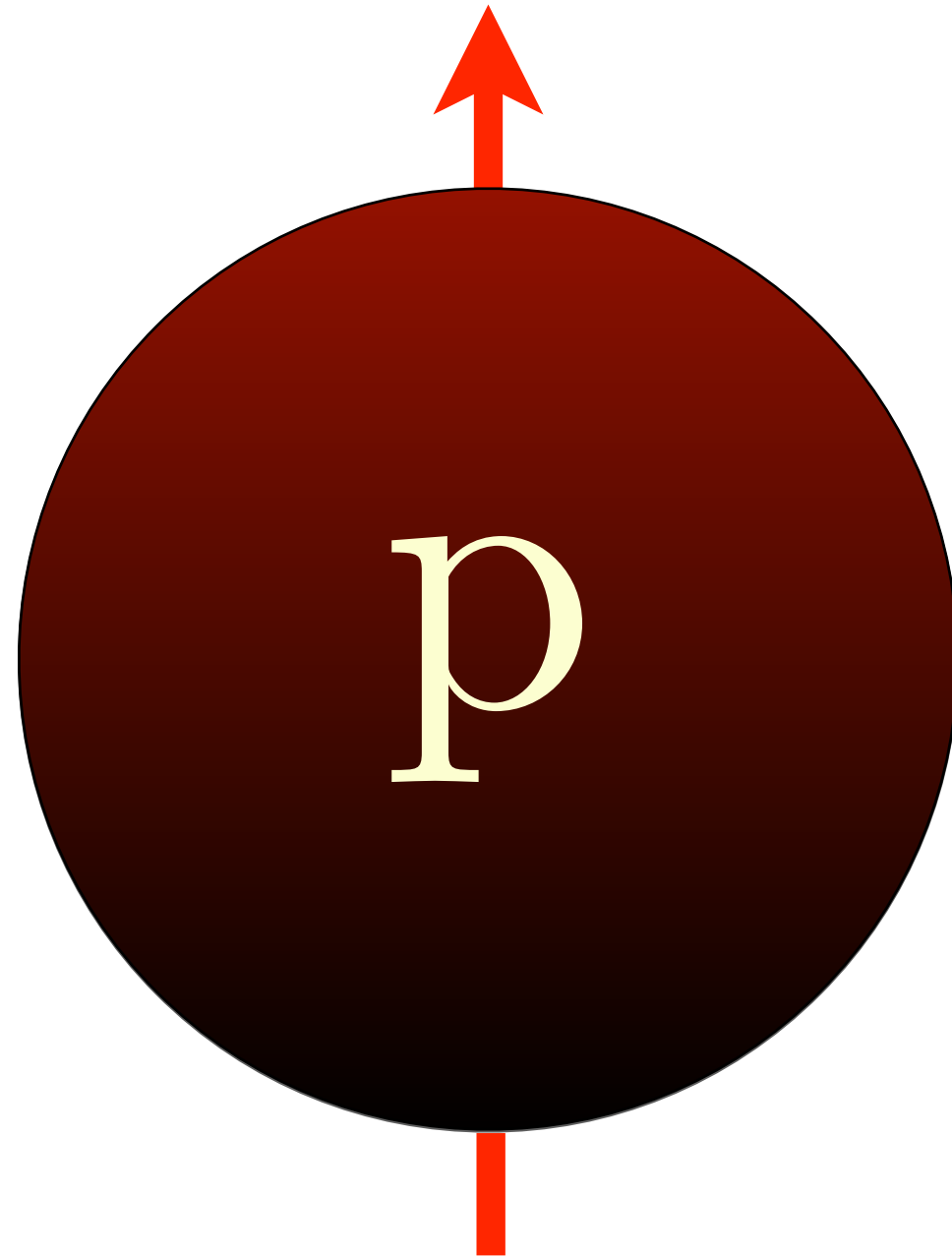


Spin:

$1/2$

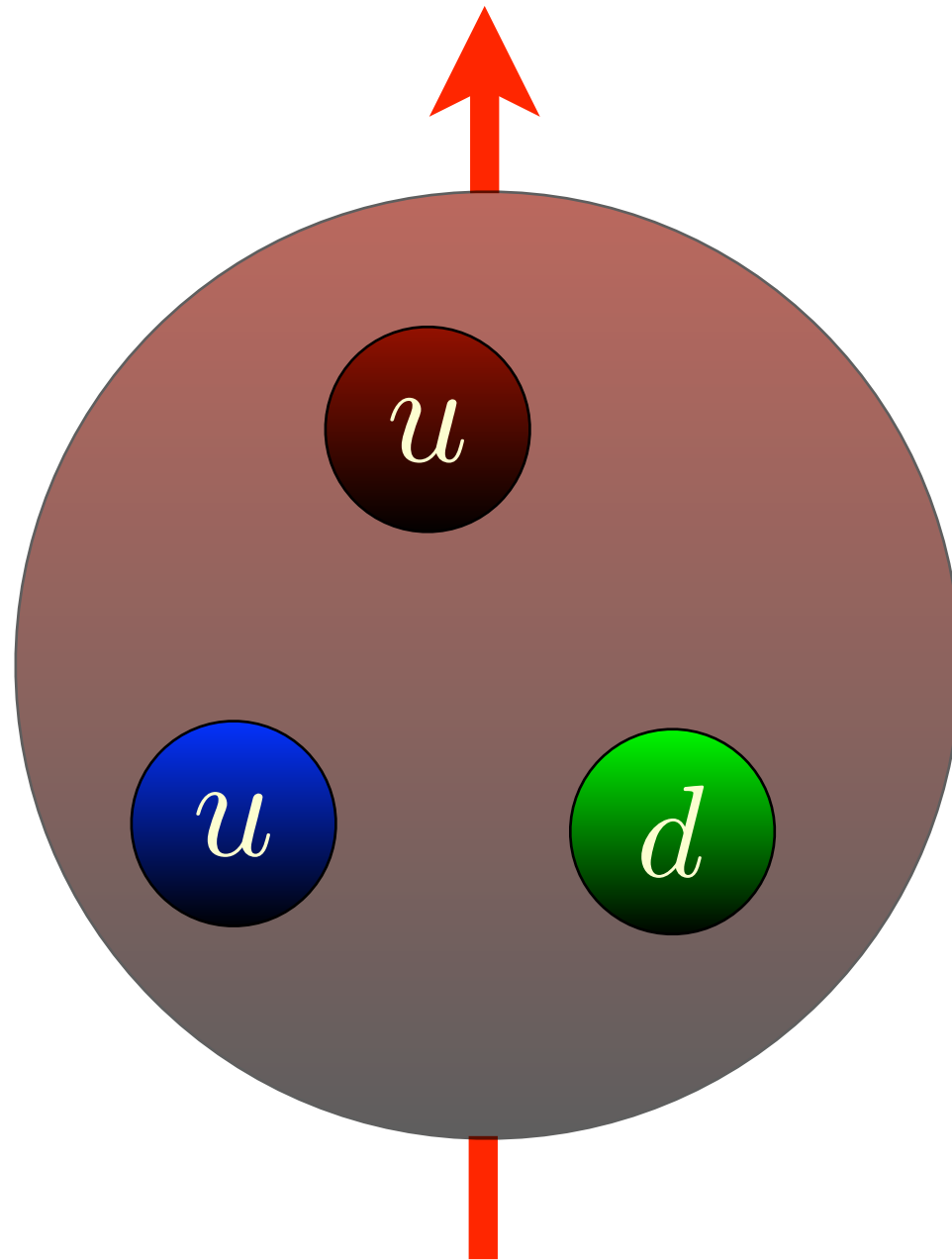
$1/2$

Modello di Gell-Mann

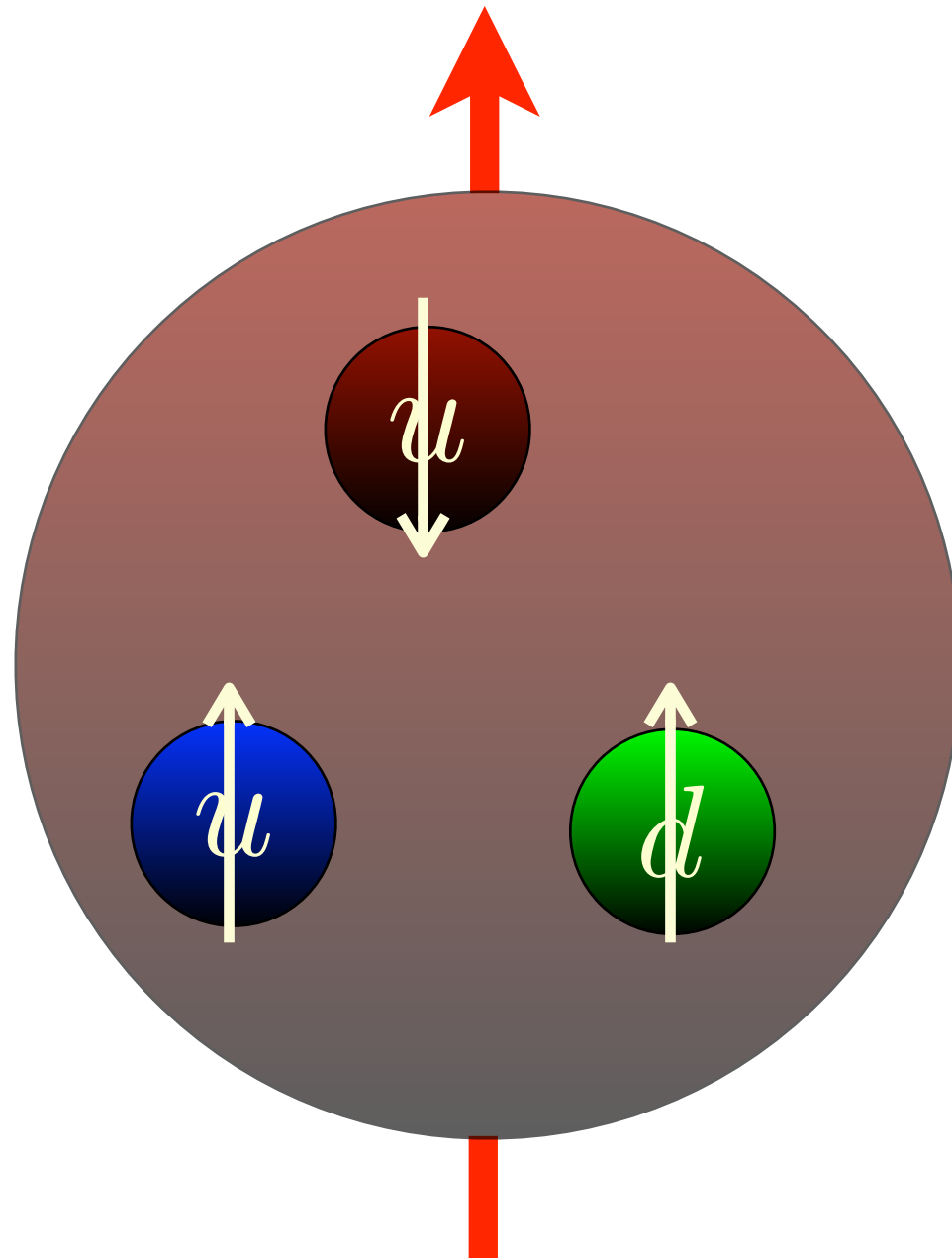


Viaggio al centro del nucleo

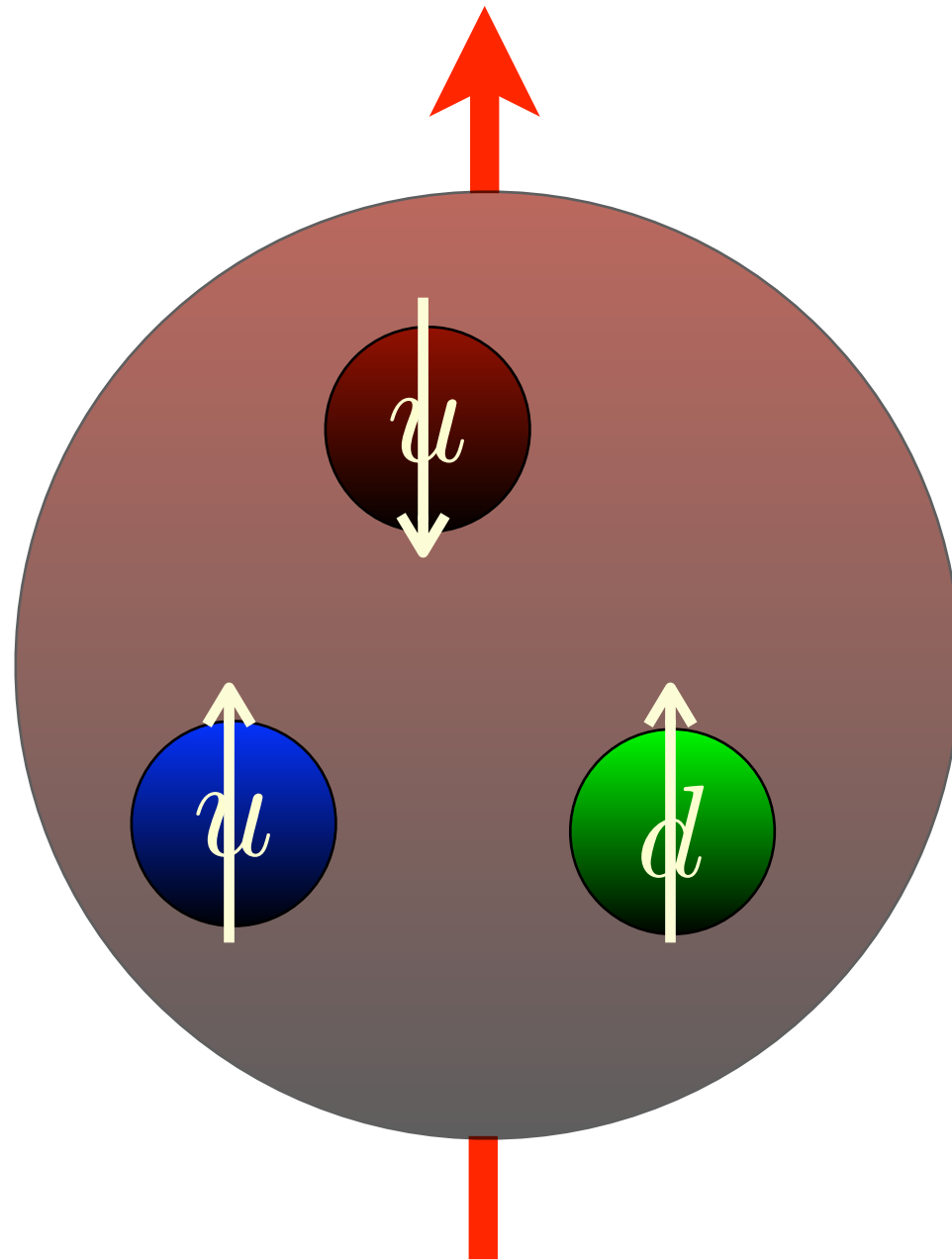
Modello di Gell-Mann



Modello di Gell-Mann

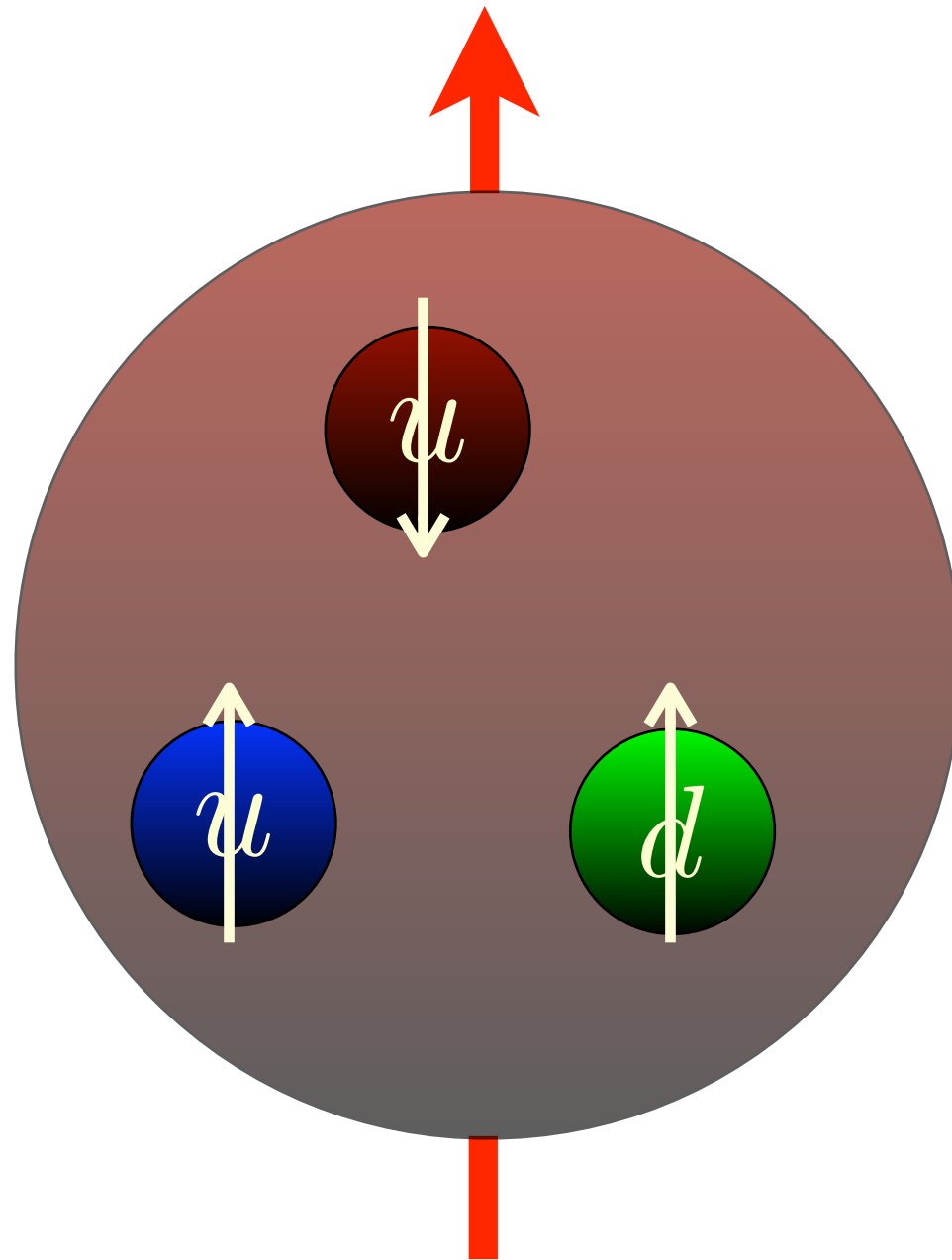


Modello di Gell-Mann



$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

Modello di Gell-Mann



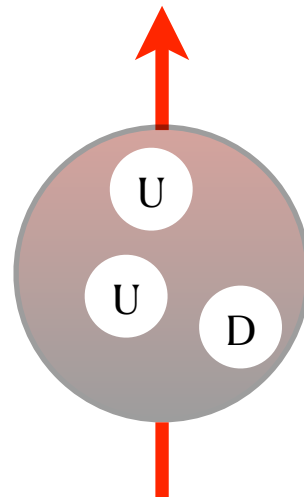
$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

Sarà davvero
così semplice?

Analisi sperimentale

European Muon Collaboration (EMC, Cern 1987)

$$\mu^{\uparrow} p^{\uparrow} \rightarrow \mu X$$



Viaggio al centro del nucleo

Analisi sperimentale

European Muon Collaboration (EMC, Cern 1987)

$$\mu^{\uparrow} p^{\uparrow} \rightarrow \mu X$$



Analisi sperimentale

European Muon Collaboration (EMC, Cern 1987)

$$\mu^{\uparrow} p^{\uparrow} \rightarrow \mu X$$



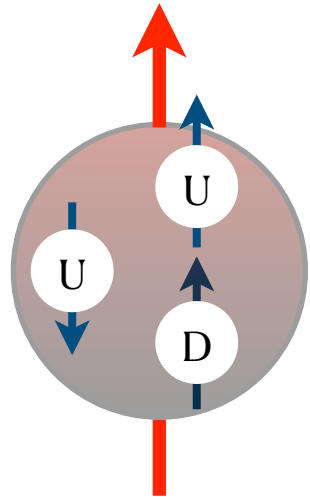
Misura del contributo dei quark
allo spin del protone

Risultato sperimentale

Viaggio al centro del nucleo



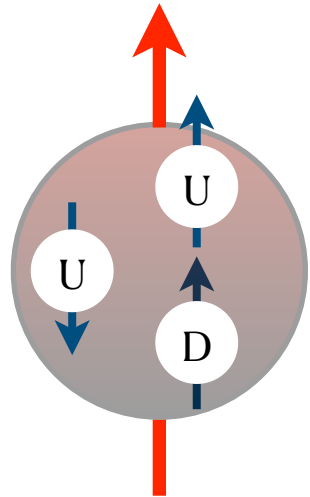
Risultato sperimentale



Modello di Gell-Mann

$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

Risultato sperimentale

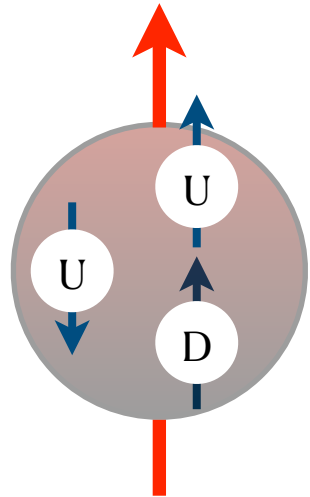


Modello di Gell-Mann

$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

$\Rightarrow$ contributo = 100%

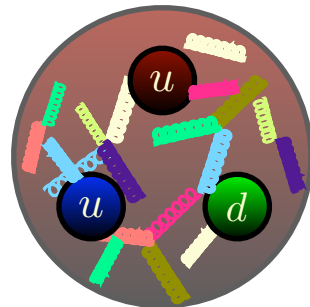
Risultato sperimentale



Modello di Gell-Mann

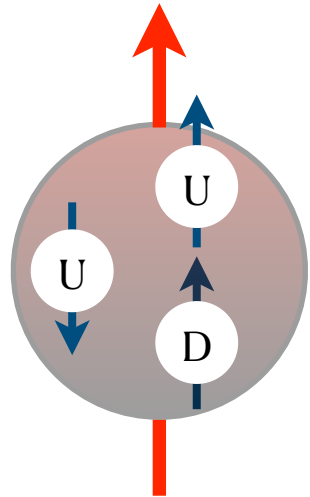
$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

$\Rightarrow$ contributo = 100%



Esperimento EMC

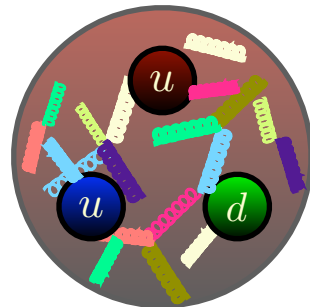
Risultato sperimentale



Modello di Gell-Mann

$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

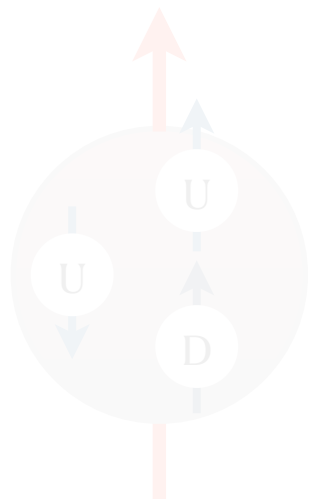
⇒ contributo = 100%



Esperimento EMC

⇒ contributo = 30%

Risultato sperimentale



Modello di Gell-Mann

$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

⇒ contributo = 100%



Esperimento EMC

⇒ contributo = 30%



Viaggio al centro del nucleo

Risultato sperimentale

Solo il 30% dello spin
del protone viene
dallo spin dei quark!!

Modello di Gell-Mann

$$\frac{1}{2} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

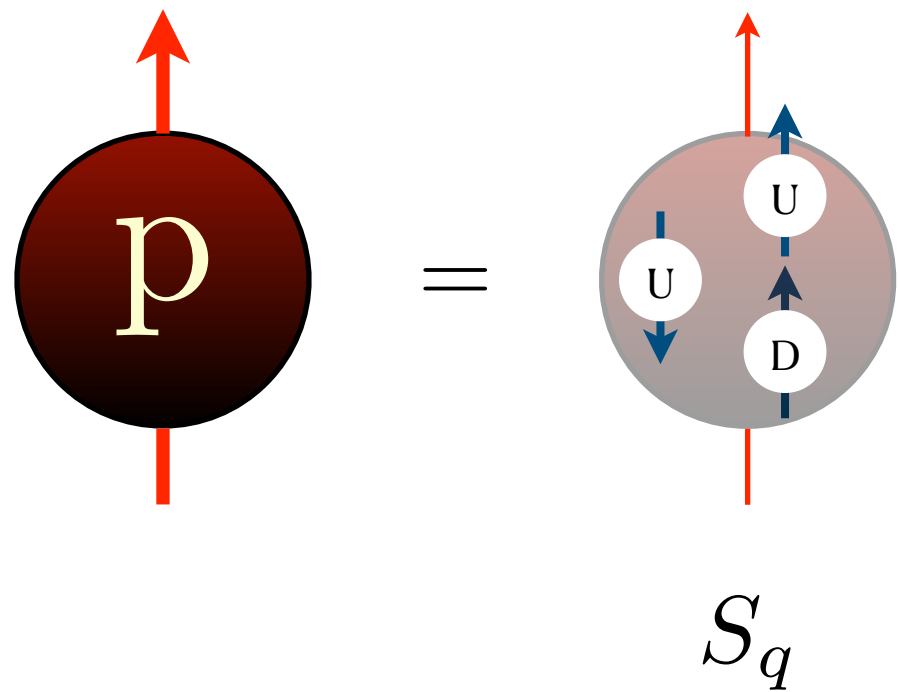
⇒ contributo = 100%

Esperimento EMC

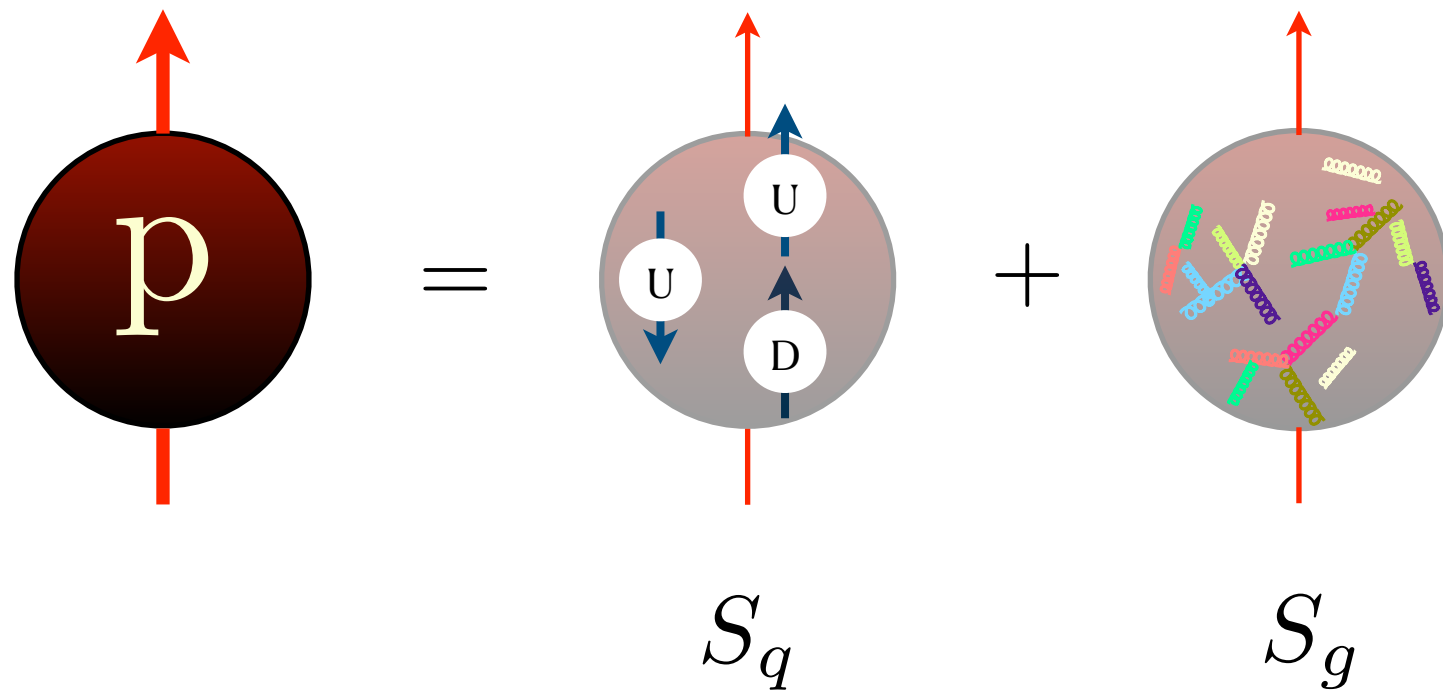
⇒ contributo = 30%



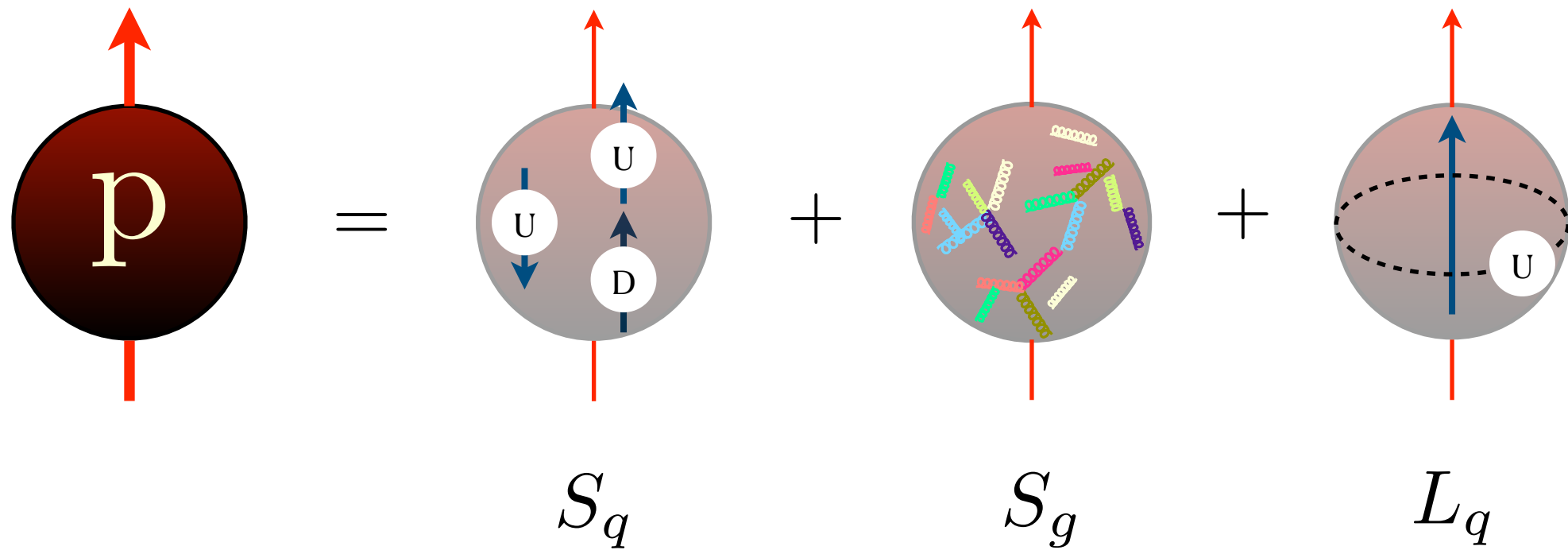
La “crisi dello spin”



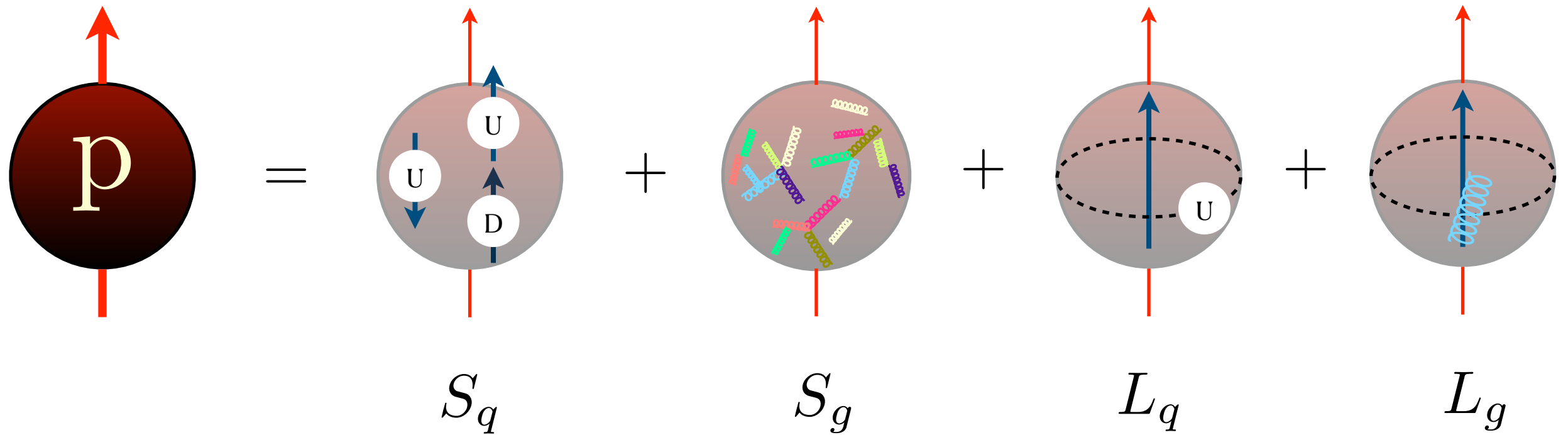
La “crisi dello spin”



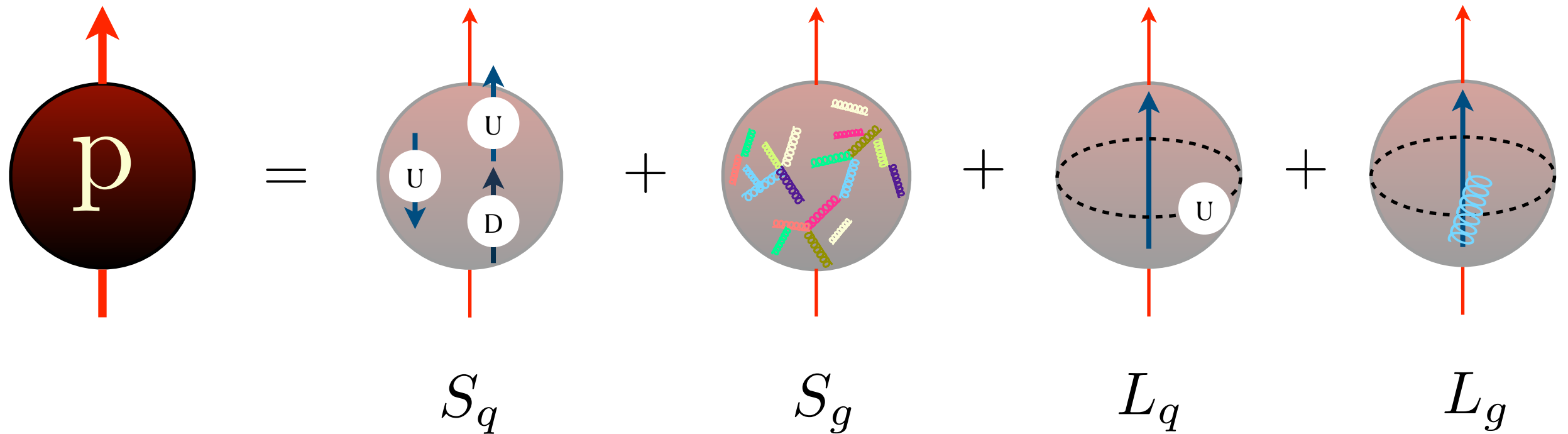
La “crisi dello spin”



La “crisi dello spin”



La “crisi dello spin”



Nuove idee

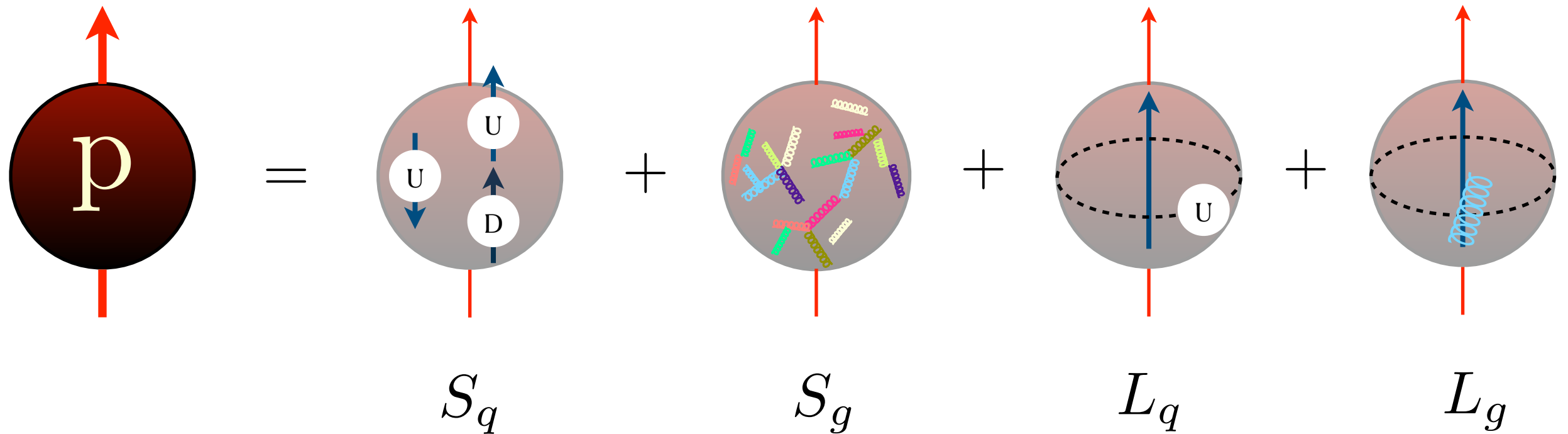
Contributo del momento angolare L dei quark

Contributo del gluone

Contributo di coppie $q\bar{q}$

Viaggio al centro del nucleo

La “crisi dello spin”



Distribuzioni di momento trasversale dei quark (TMDs)

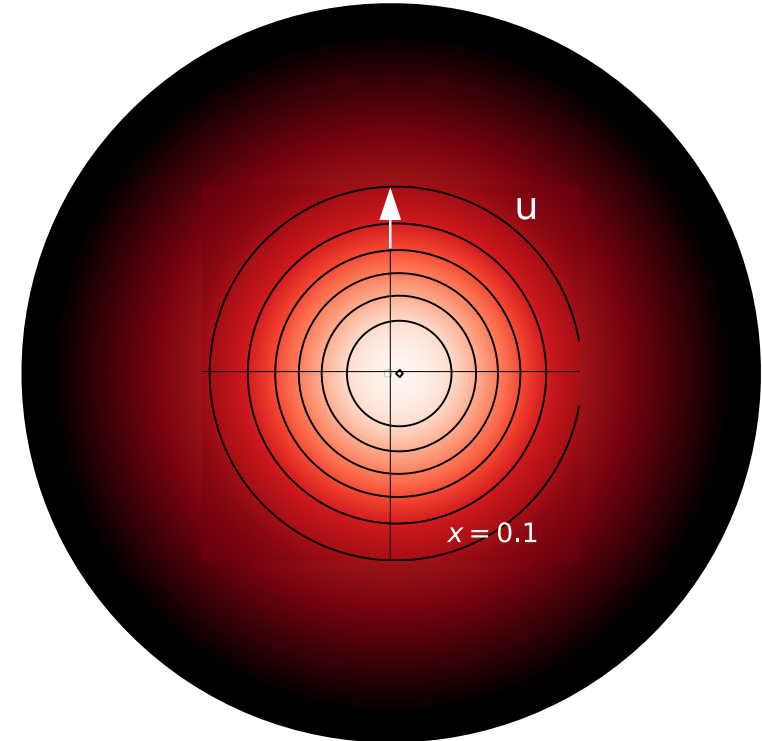
Nuovi metodi

Distribuzioni partoniche generalizzate (GPDs)

Distribuzioni di Wigner

Viaggio al centro del nucleo

Alcuni risultati recenti



Nuovi metodi

Distribuzioni di momento trasversale dei quark (TMDs)

Distribuzioni partoniche generalizzate (GPDs)

Distribuzioni di Wigner

Viaggio al centro del nucleo

“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile **il mondo** della scienza e **della ricerca nei suoi vari aspetti**.

Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche particelle subnucleari, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti. È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

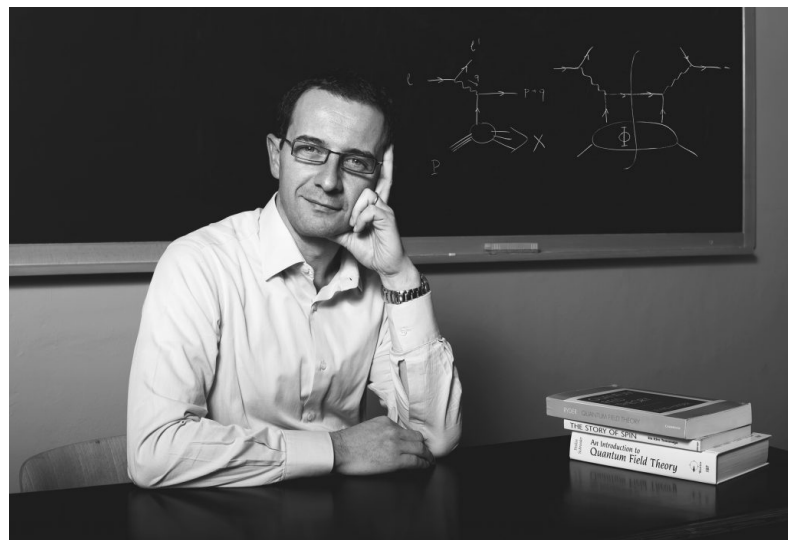
Hadronic Structure and QCD (HaSQCD)

<http://www.hadronicphysics.it/hasqcd/>

Chi siamo?

Hadronic Structure and QCD (HaSQCD)

<http://www.hadronicphysics.it/hasqcd/>



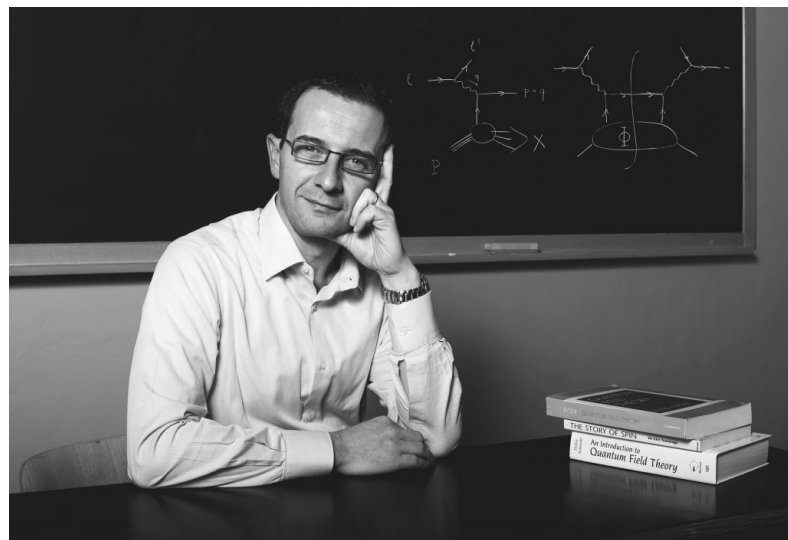
Alessandro Bacchetta

Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Hadronic Structure and QCD (HaSQCD)

<http://www.hadronicphysics.it/hasqcd/>



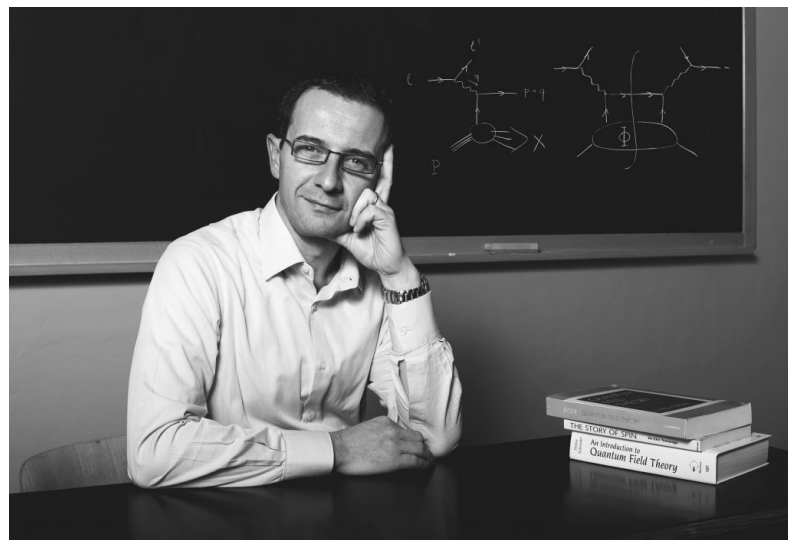
Barbara Pasquini

Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Hadronic Structure and QCD (HaSQCD)

<http://www.hadronicphysics.it/hasqcd/>



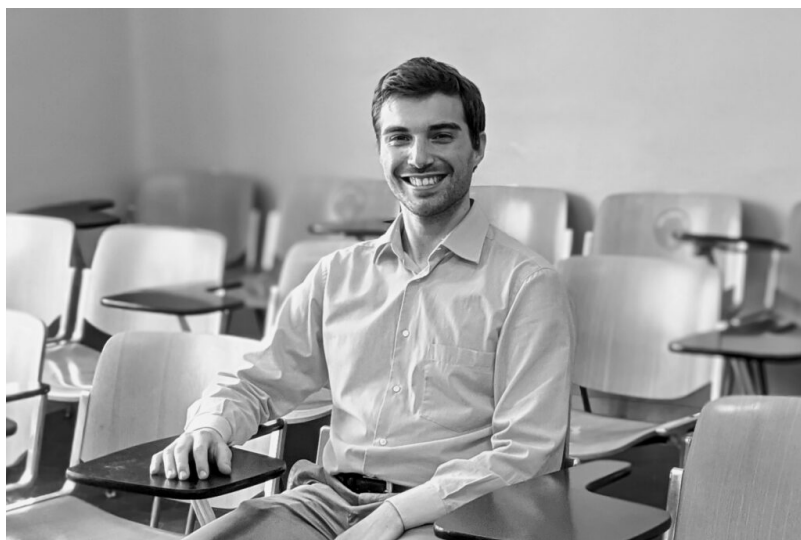
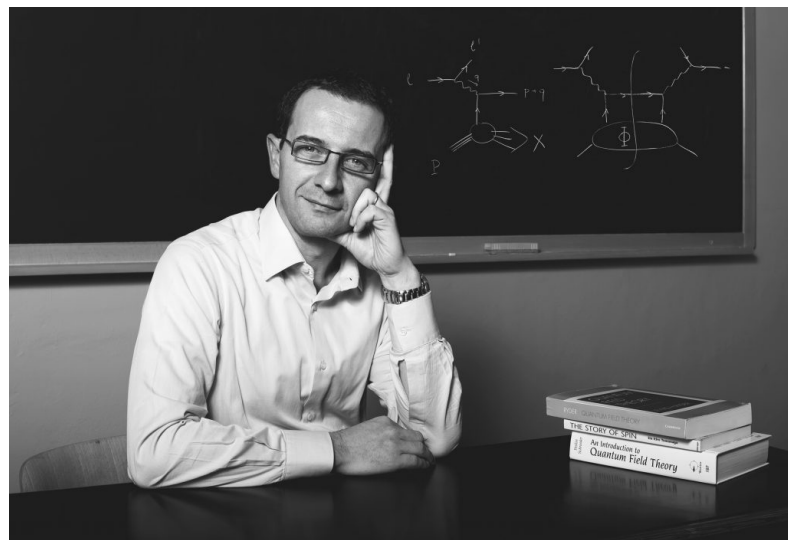
Marco Radici

Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Hadronic Structure and QCD (HaSQCD)

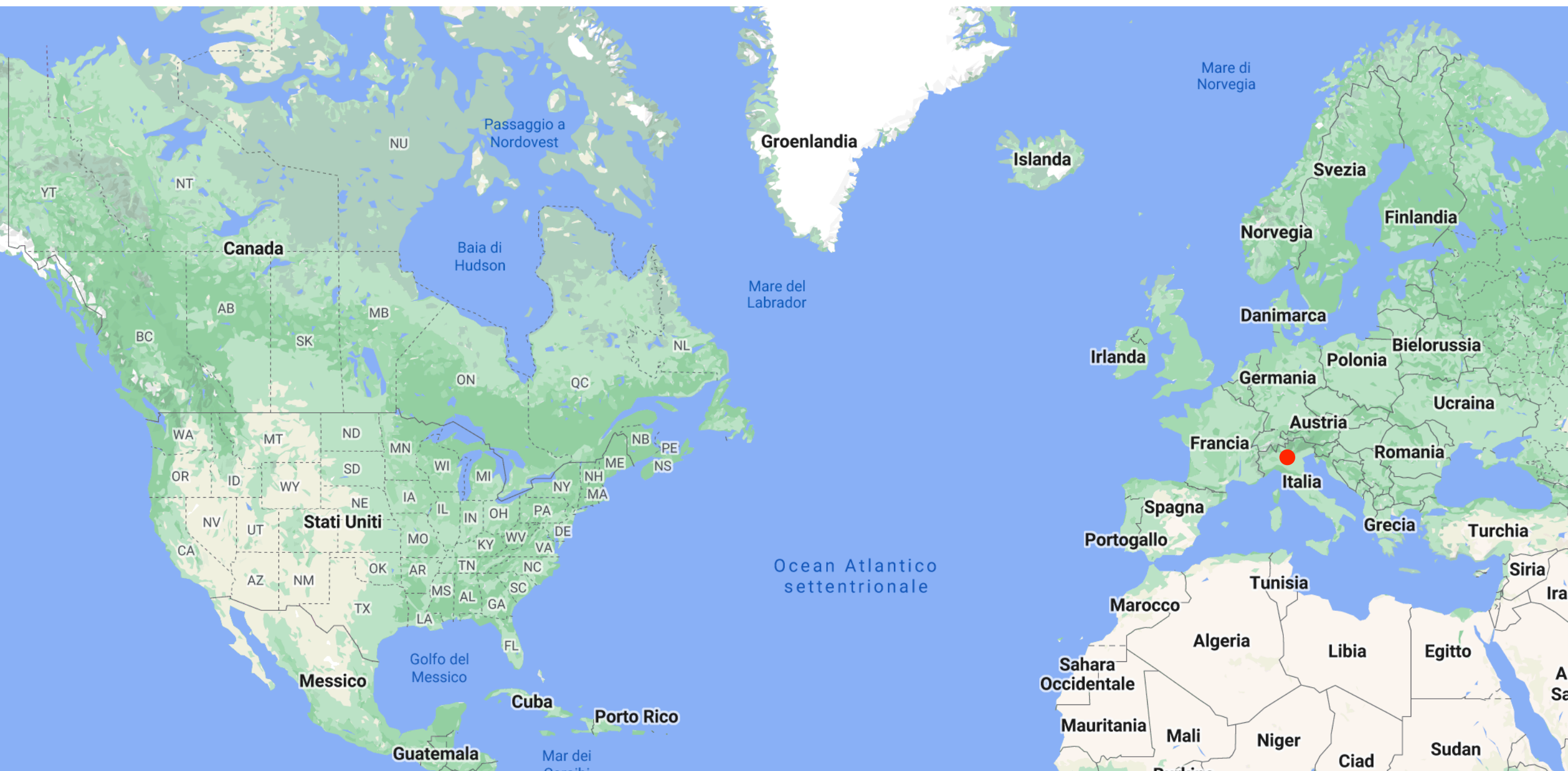
<http://www.hadronicphysics.it/hasqcd/>



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

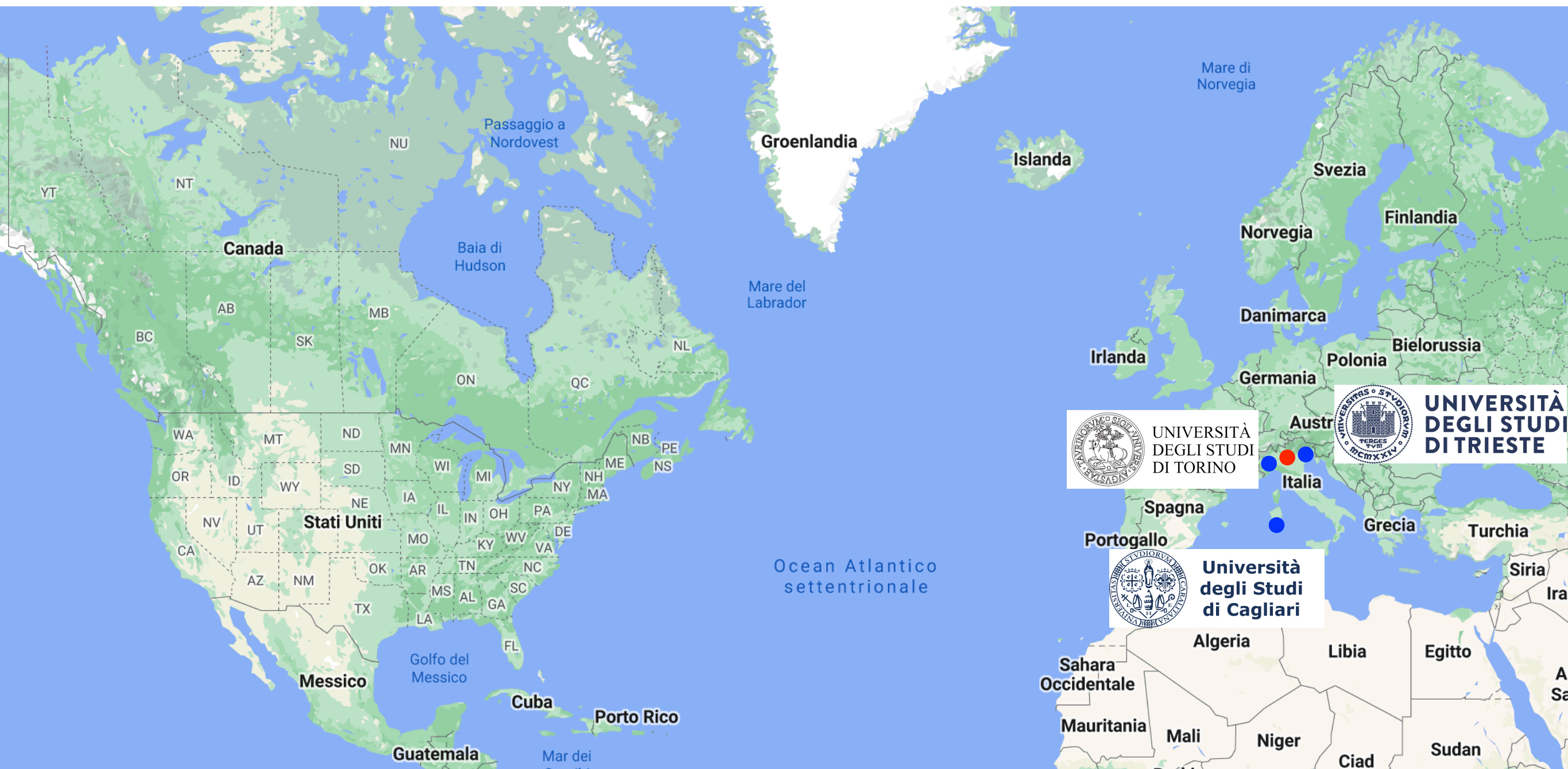
Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

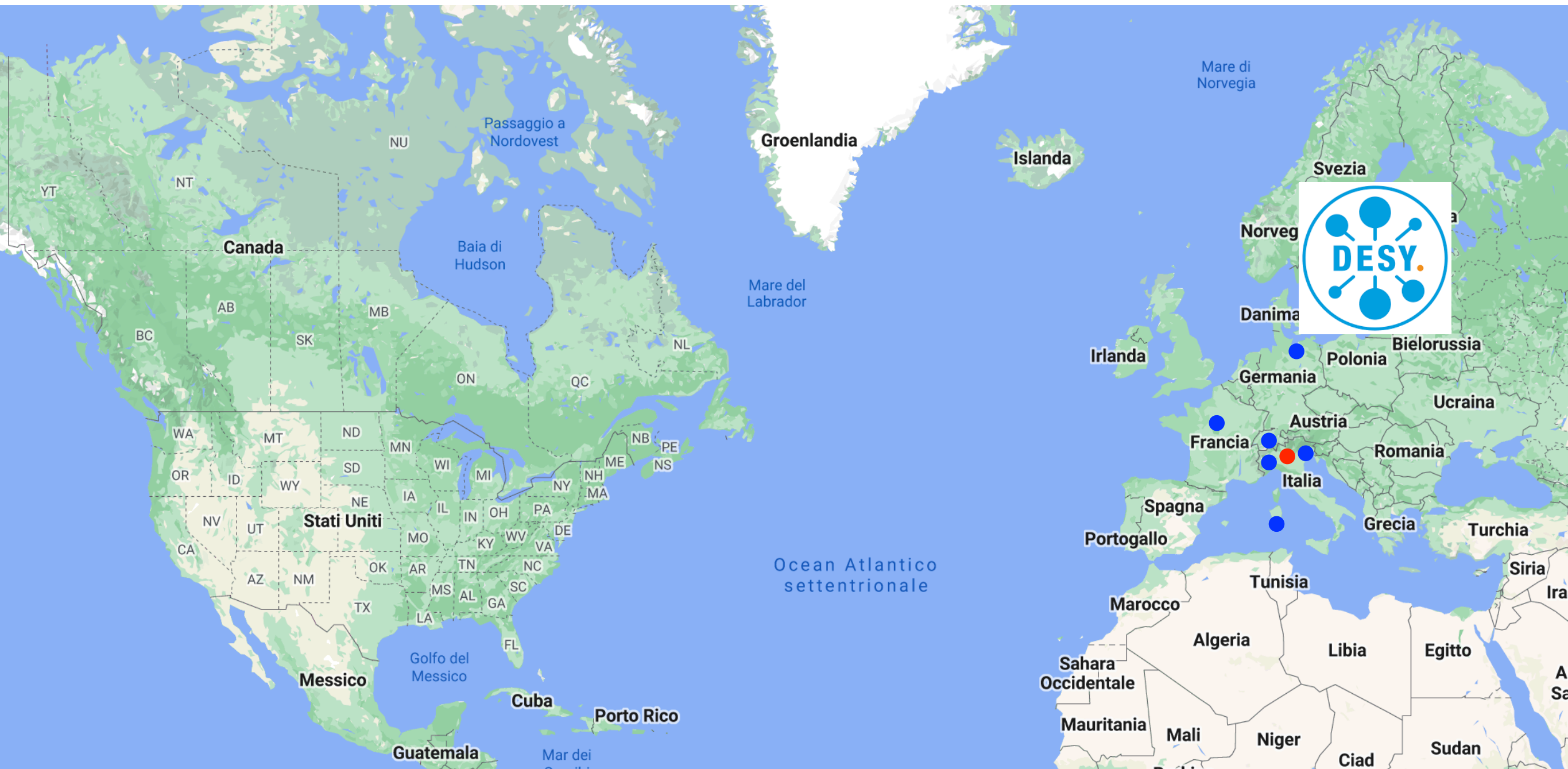
Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

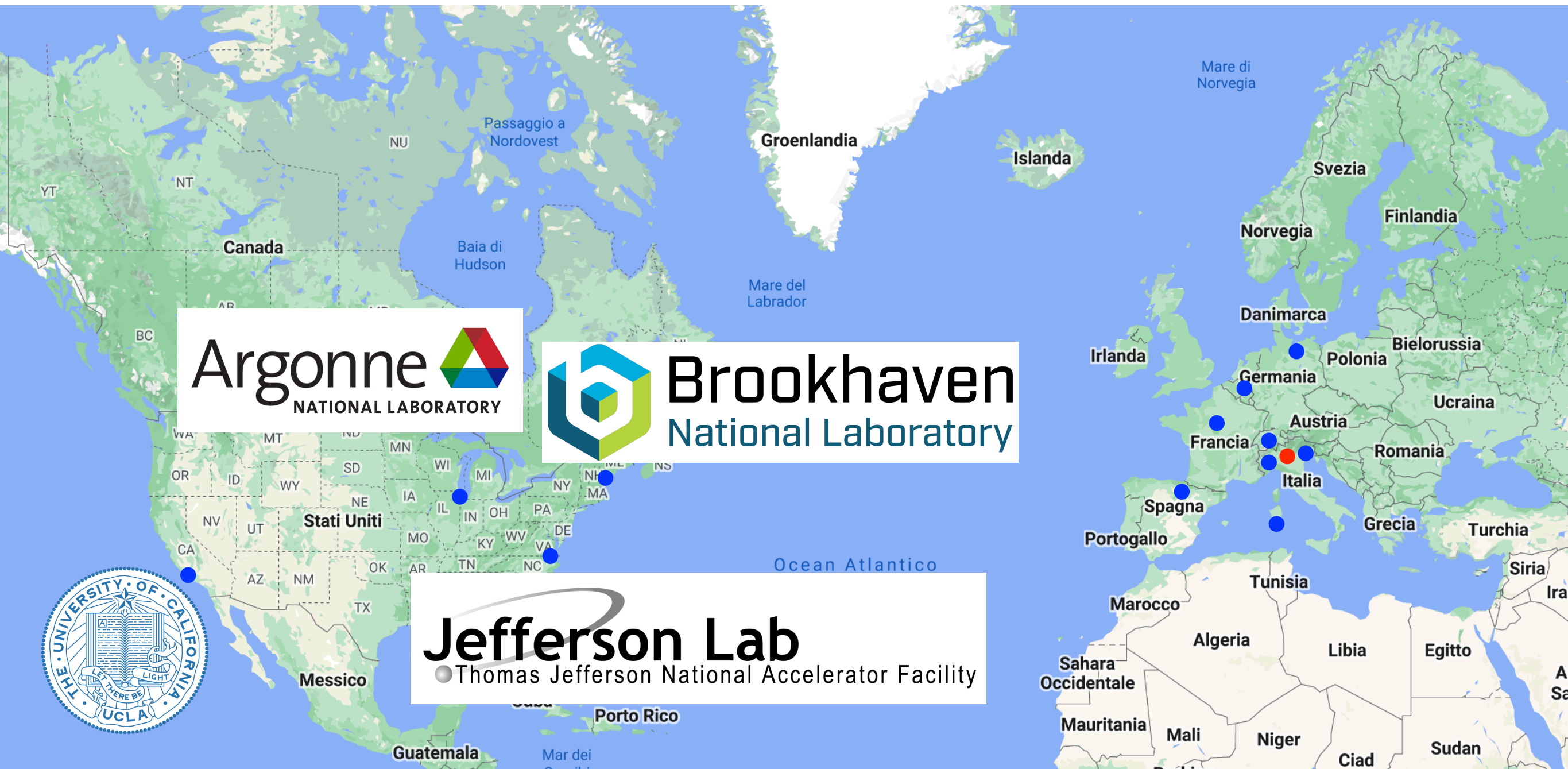
Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

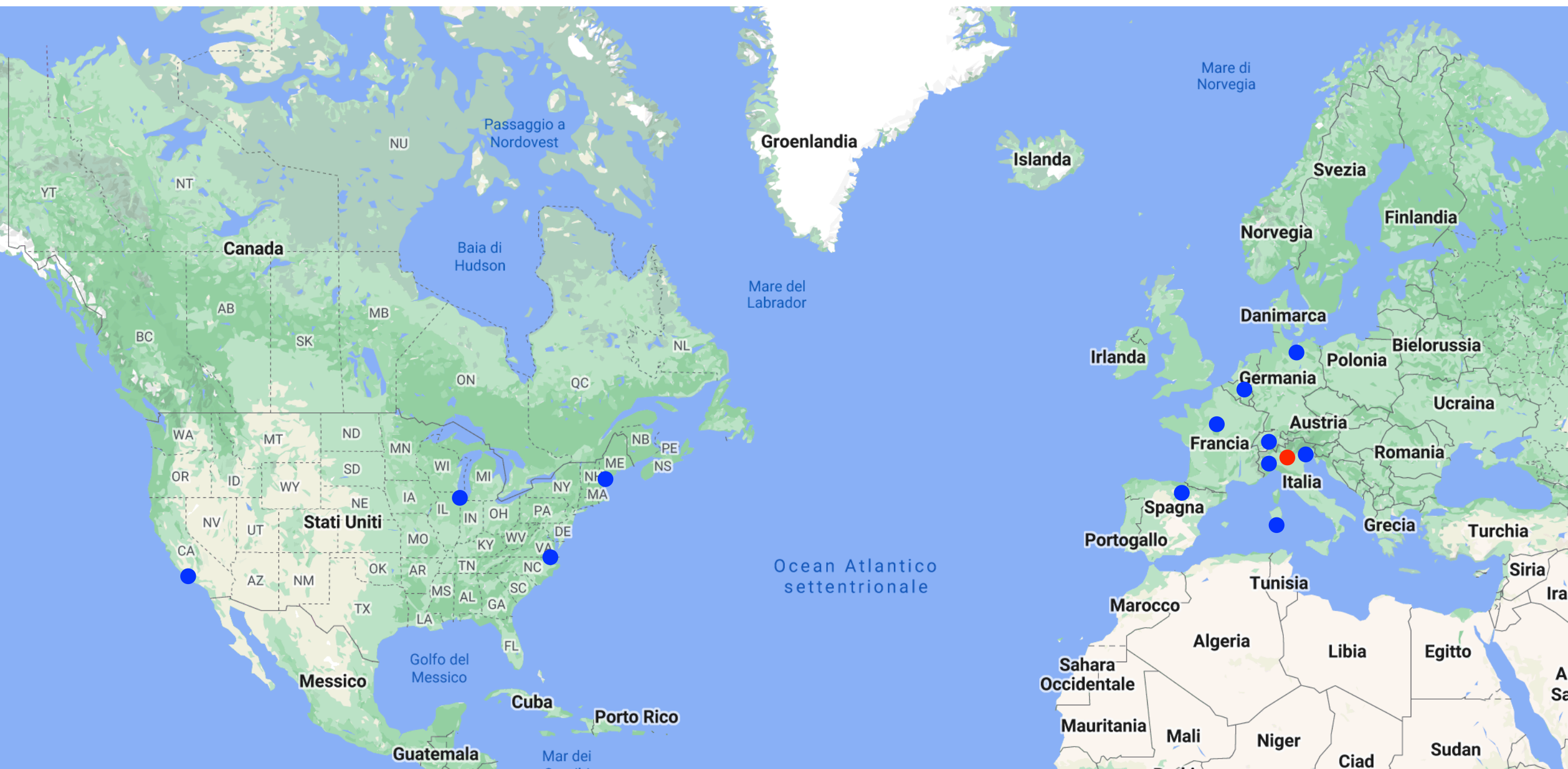
Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

Chi siamo?

Diversi collegamenti internazionali



Viaggio al centro del nucleo

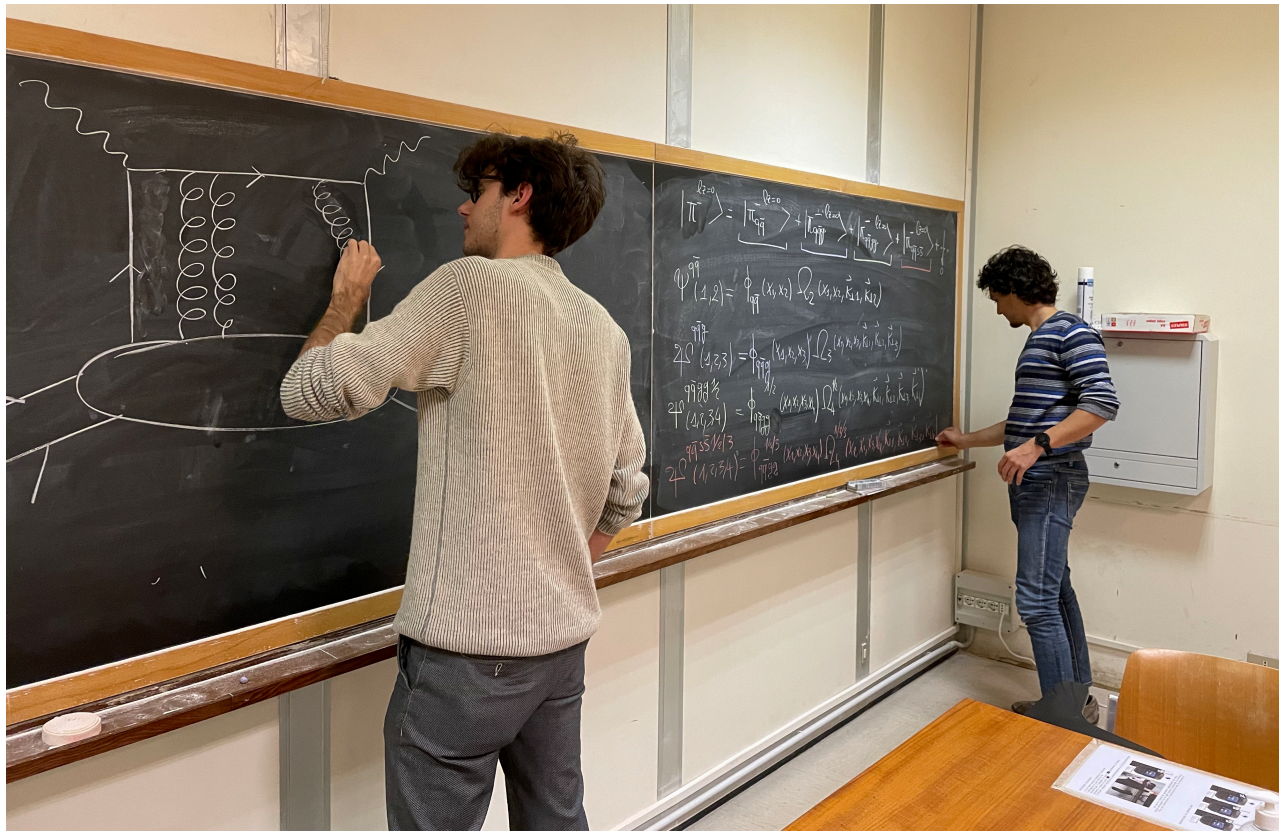
Cosa facciamo?



Viaggio al centro del nucleo

Cosa facciamo?

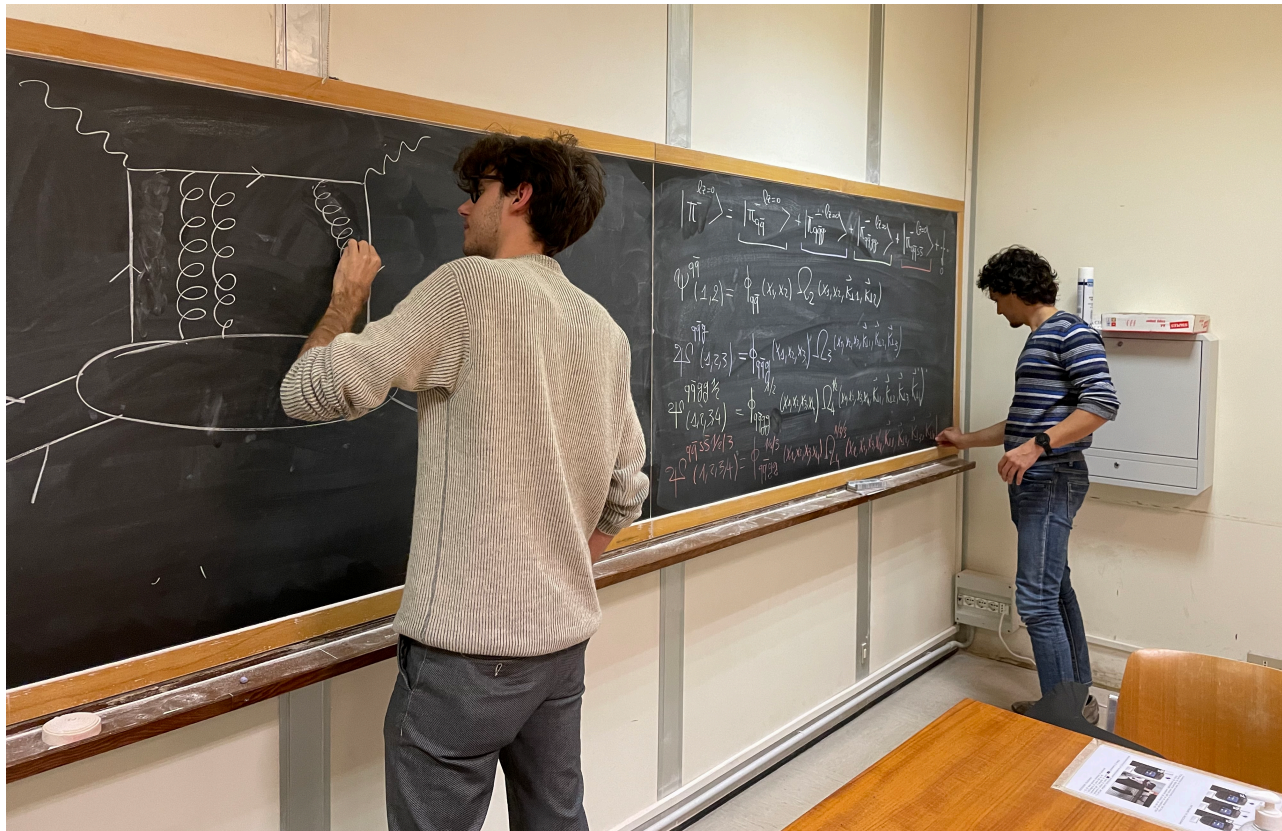
Lavoro teorico



Viaggio al centro del nucleo

Cosa facciamo?

Lavoro teorico

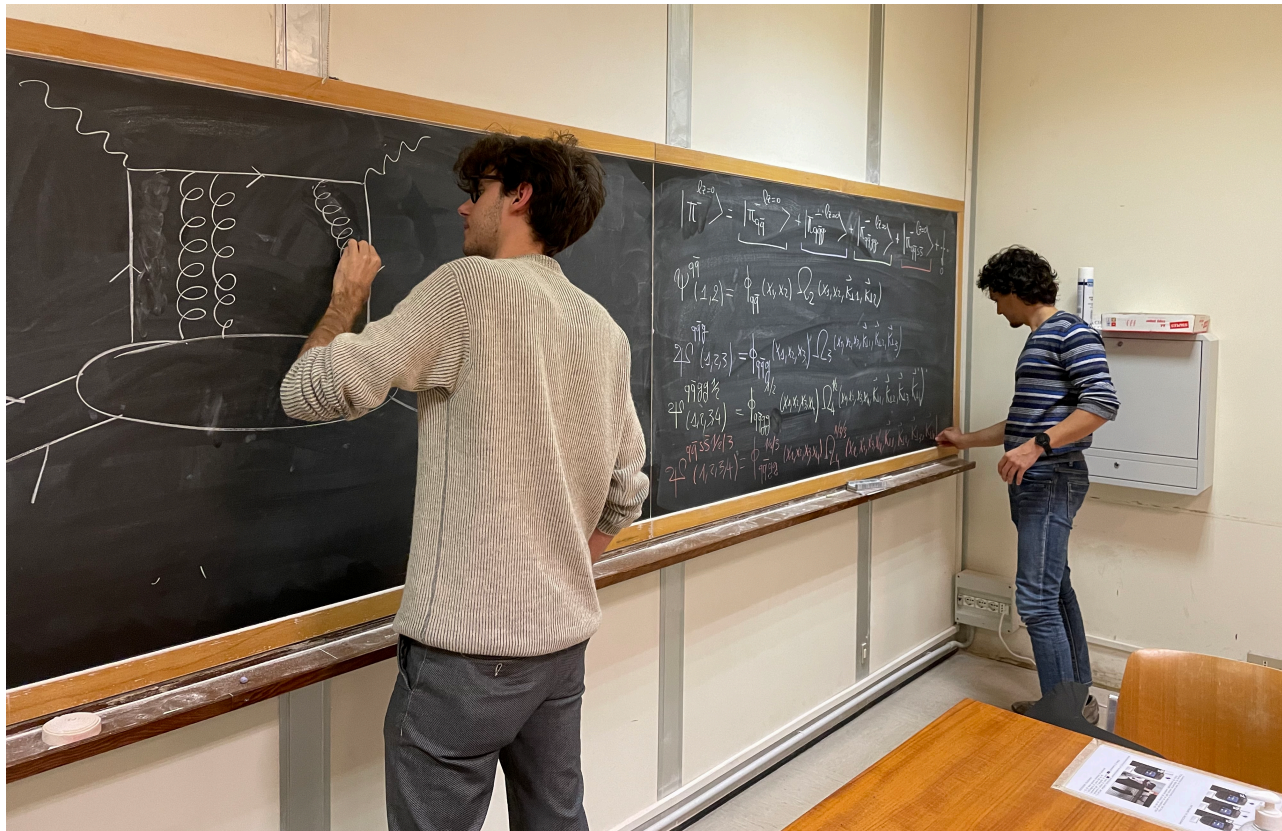


Idee, modelli

Viaggio al centro del nucleo

Cosa facciamo?

Lavoro teorico



Calcoli analitici e
simulazioni numeriche

Idee, modelli



Viaggio al centro del nucleo



IWHSS, CERN 2022

Workshop e conferenze



GORDON, USA (NH) 2022



DIS, SANTIAGO DE COMPOSTELA 2022

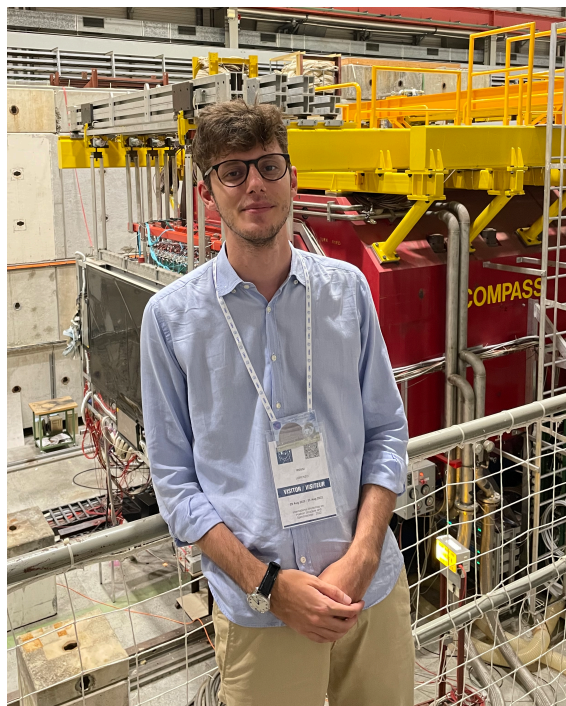
Cosa facciamo d'altro?

Viaggio al centro del nucleo



Cosa facciamo d'altro?

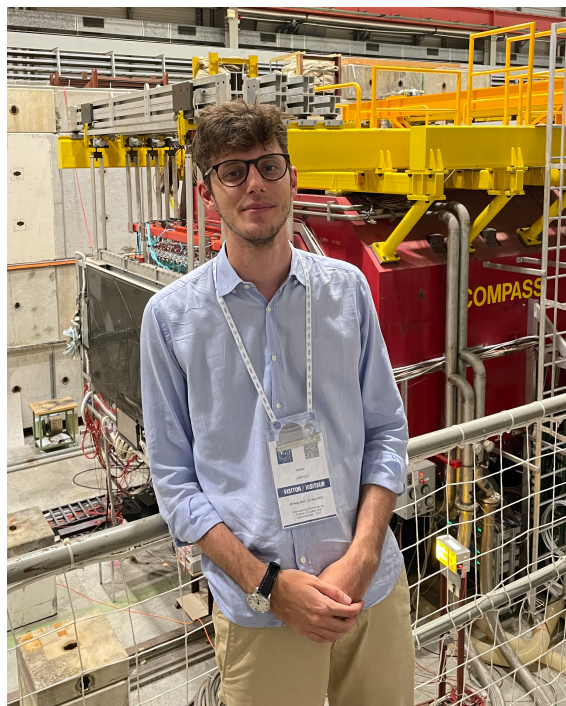
Visite ai laboratori



Viaggio al centro del nucleo

Cosa facciamo d'altro?

Visite ai laboratori



UNIVERSITÀ DI PAVIA
Dipartimento di Fisica

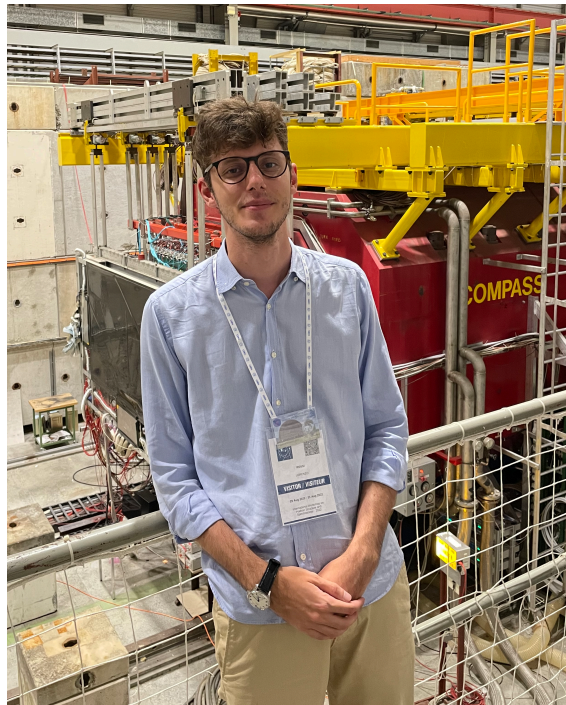


HAS QCD
HADRONIC STRUCTURE AND
QUANTUM CHROMODYNAMICS

Viaggio al centro del nucleo

Cosa facciamo d'altro?

Visite ai laboratori



UNIVERSITÀ DI PAVIA
Dipartimento di Fisica



HAS QCD
HADRONIC STRUCTURE AND
QUANTUM CHROMODYNAMICS



Viaggio al centro del nucleo

Se volete contattarci



Viaggio al centro del nucleo

Se volete contattarci

barbara.pasquini@unipv.it

alessandro.bacchetta@unipv.it

marco.radici@pv.infn.it

Se volete contattarci

barbara.pasquini@unipv.it

alessandro.bacchetta@unipv.it

marco.radici@pv.infn.it

matteo.cerutti02@universitadipavia.it

simone.venturini01@universitadipavia.it

lorenzo.rossi04@universitadipavia.it

Se volete contattarci

barbara.pasquini@unipv.it

alessandro.bacchetta@unipv.it

marco.radici@pv.infn.it

matteo.cerutti02@universitadipavia.it



1-59

simone.venturini01@universitadipavia.it



1-59

lorenzo.rossi04@universitadipavia.it



1-52

“[...] Esplorare in modo chiaro e comprensibile il mondo della scienza e della ricerca nei suoi vari aspetti.

Il titolo “QUARK” è un po’ curioso e l’abbiamo preso in prestito dalla fisica, dove molti studi sono in corso su ipotetiche particelle subnucleari, chiamate appunto “quarks”, che sarebbero i più piccoli mattoni della materia finora conosciuti.

È quindi un po’ un andare dentro alle cose.”

Piero Angela - Prima puntata del programma televisivo “QUARK”



Viaggio al centro del nucleo