



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



# ALICE Masterclass 2024

## Hands-on session

**Bianca Sabiu, Sofia Tomassini, Francesca Ercolessi, Nicolò Jacazio, Pietro Antonioli**

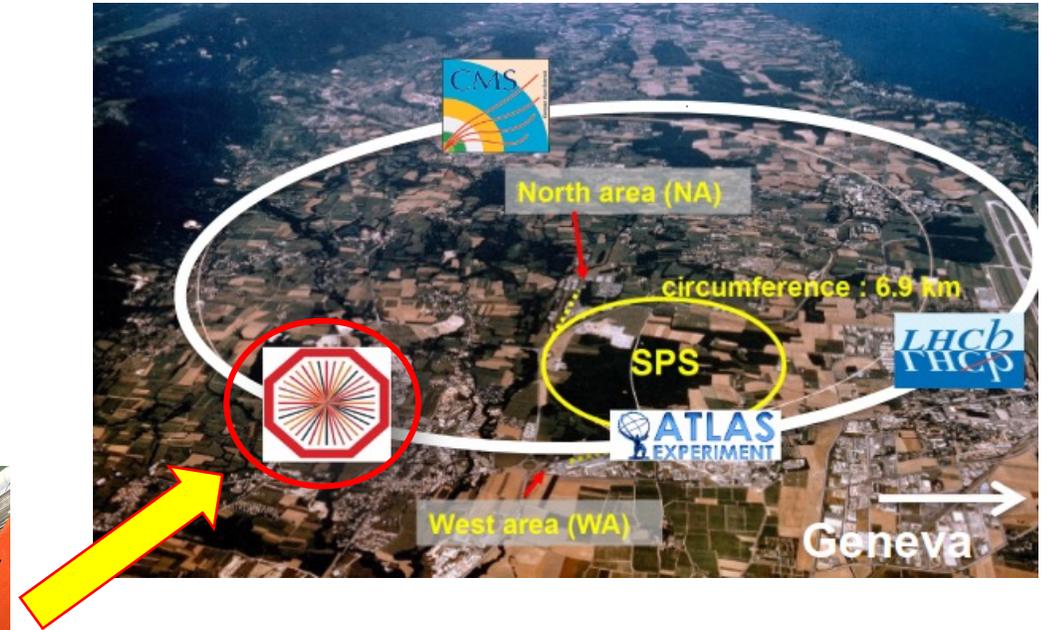
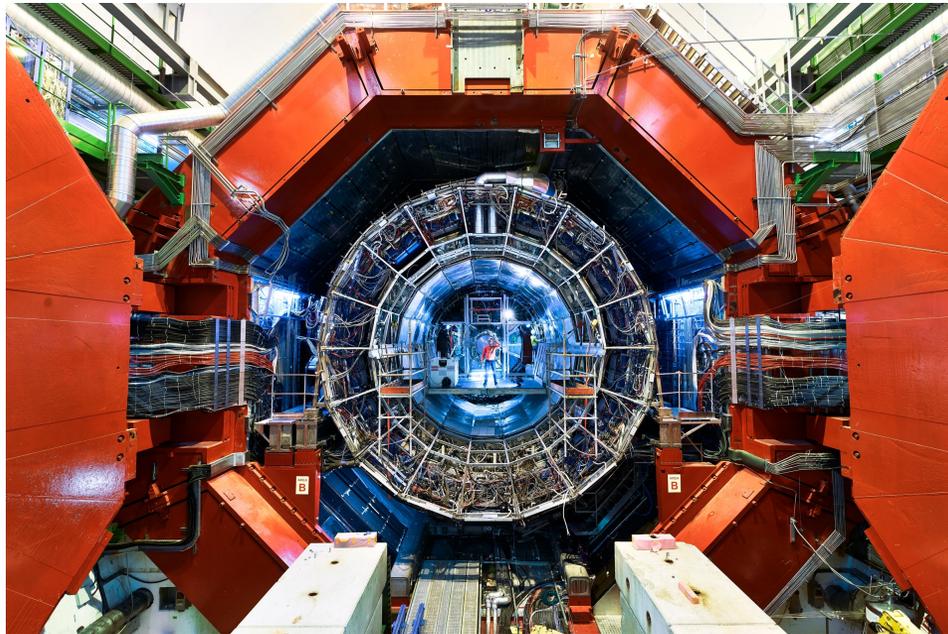
Bologna

12 Marzo 2024

---

# Obiettivo

Ricerca di **particelle strane** prodotte in collisioni protone-protone (p-p) e nuclei di piombo (Pb-Pb) in LHC grazie all'esperimento **ALICE**



# Modello Standard

Il Modello Standard è la teoria che descrive 3 delle 4 **interazioni** fondamentali

- Elettromagnetica
- Forte
- Debole

e classifica le particelle elementari.

<https://www.particlezoo.net/>



	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.11 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> higgs
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	

**QUARKS** (left side of the table)

**LEPTONS** (left side of the table)

**GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS** (bottom right of the table)

**SCALAR BOSONS** (right side of the table)

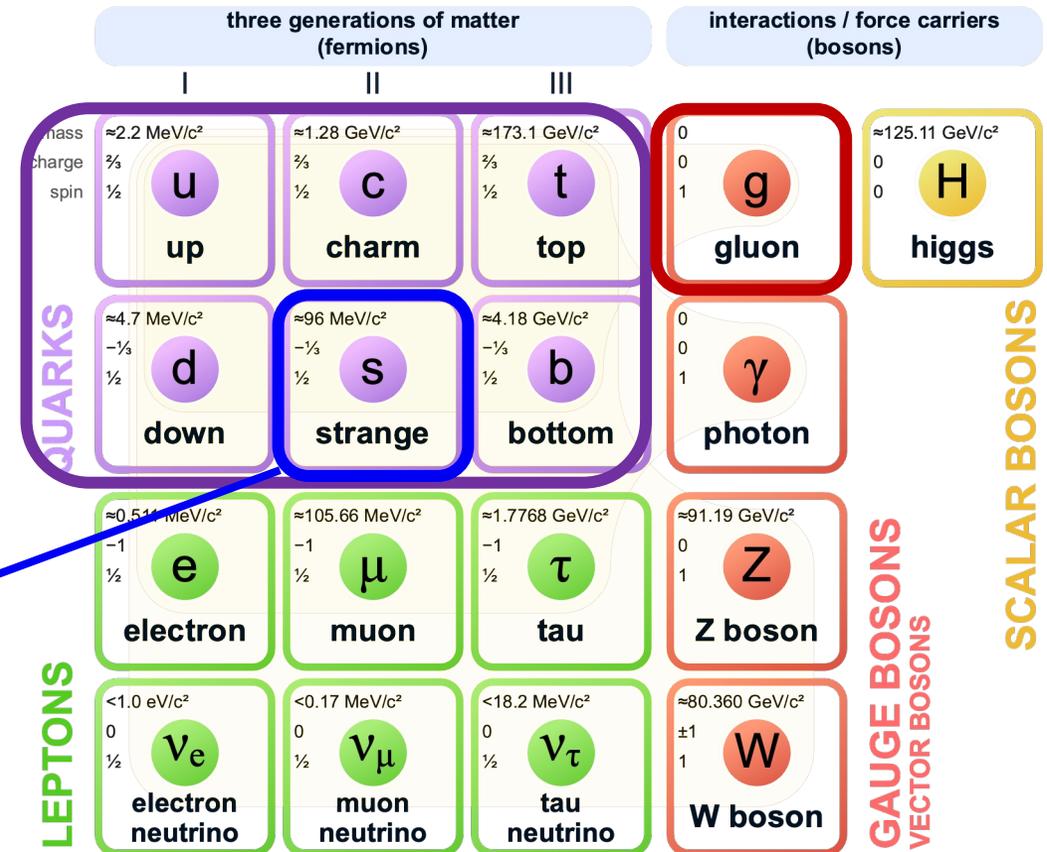
# Modello Standard

LHC è un acceleratore di **adroni**: particelle composte da **quark** legati fra loro dalla forza nucleare forte mediata dai **gluoni**.

I quark sono **confinati** all'interno degli adroni.

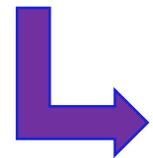
Protoni e neutroni sono adroni formati da quark UP e DOWN.

Le particelle strane contengono **almeno** un quark **STRANGE**.

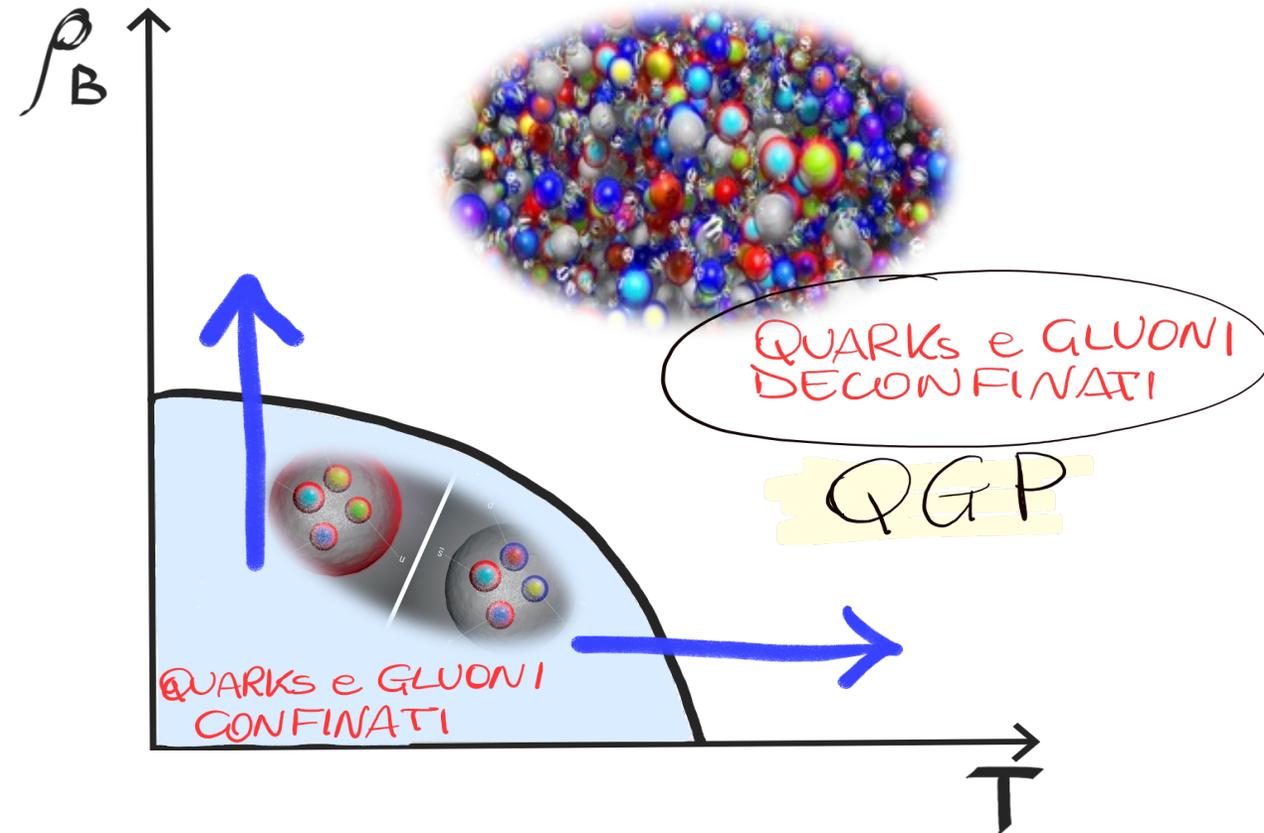


# Quark-Gluon Plasma

La teoria delle interazioni forti (cromodinamica quantistica, QCD) predice che a **temperature e densità molto elevate** (200 miliardi di gradi, 100 mila volte il nucleo del Sole!) quark e gluoni vanno incontro a una transizione di fase: non sono più confinati ma **liberi** di muoversi fuori dagli adroni.

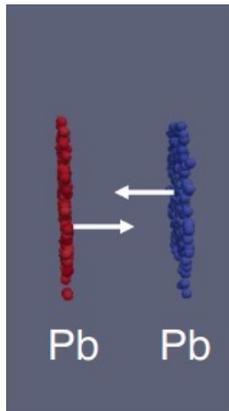


nuovo stato di quark e gluoni  
deconfinati:  
**Quark-Gluon Plasma!**



# QGP da collisione di ioni pesanti

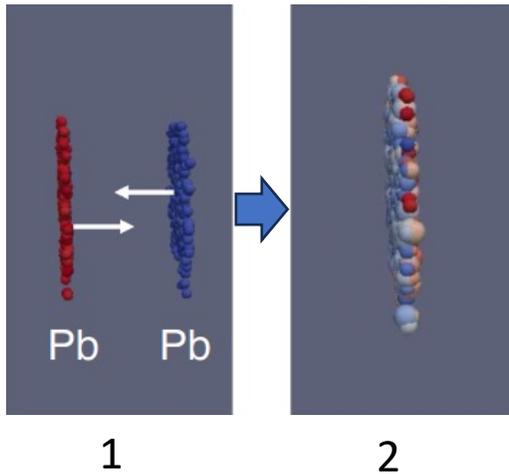
1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce



1

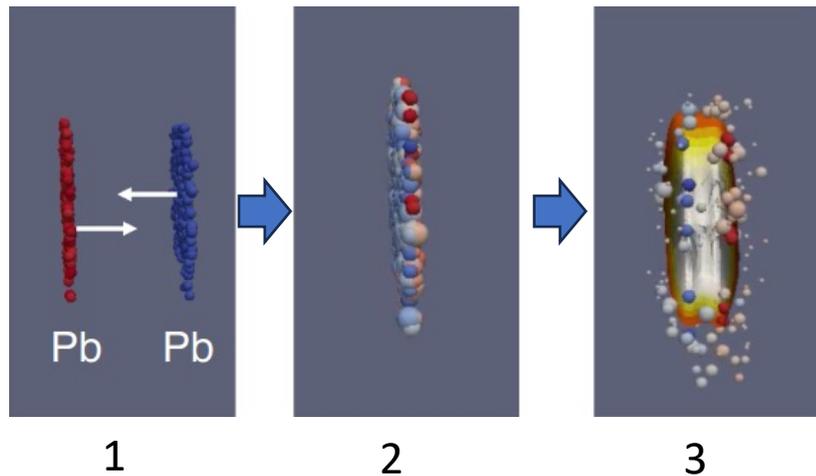
# QGP da collisione di ioni pesanti

1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce
2. Nella collisione si crea una condizione di altissima temperatura e densità



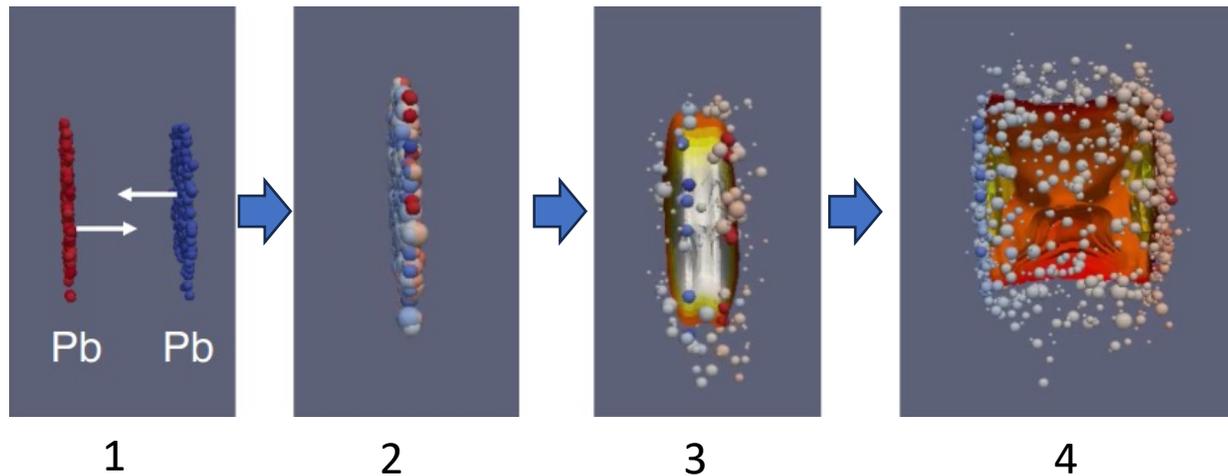
# QGP da collisione di ioni pesanti

1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce
2. Nella collisione si crea una condizione di altissima temperatura e densità
3. In queste condizioni si forma il **QGP**



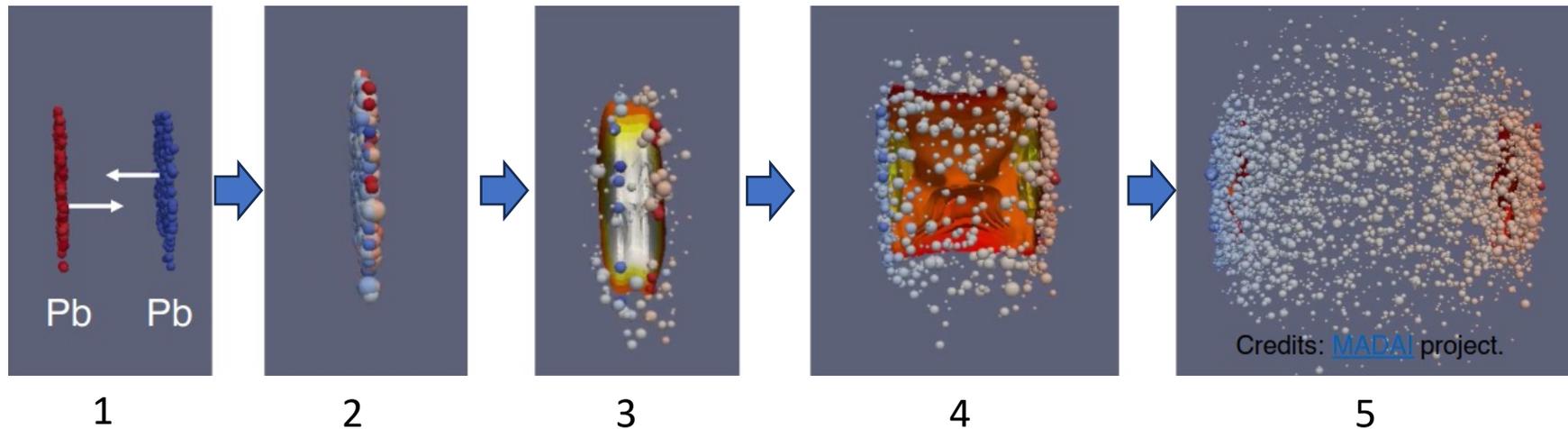
# QGP da collisione di ioni pesanti

1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce
2. Nella collisione si crea una condizione di altissima temperatura e densità
3. In queste condizioni si forma il **QGP**
4. Quark e gluoni formano un mezzo in equilibrio termico che si espande e si raffredda



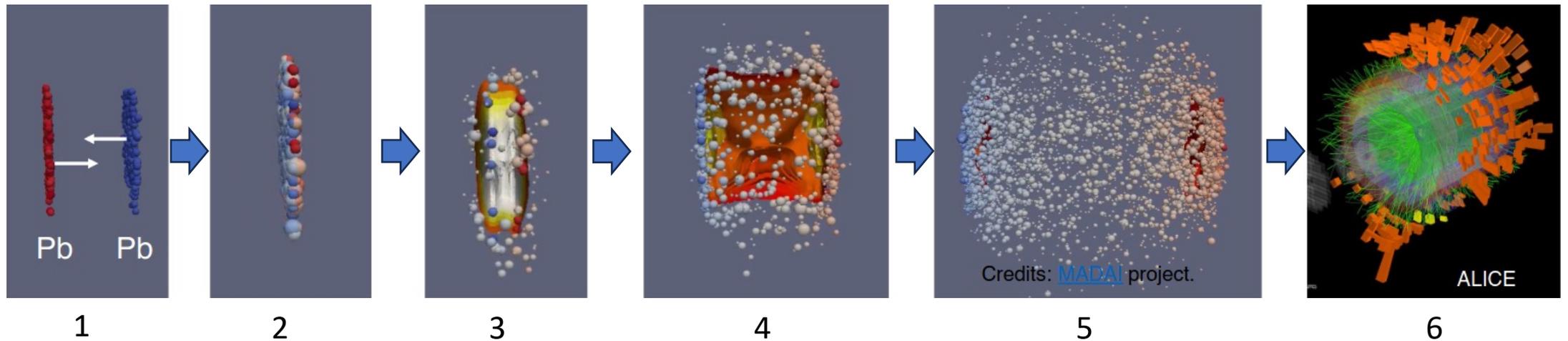
# QGP da collisione di ioni pesanti

1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce
2. Nella collisione si crea una condizione di altissima temperatura e densità
3. In queste condizioni si forma il **QGP**
4. Quark e gluoni formano un mezzo in equilibrio termico che si espande e si raffredda
5. Quando la temperatura del QGP scende sotto ai  $10^{12}$  gradi, quark e gluoni si aggregano formando particelle strane (circa  $10^{-23}$  s dopo la collisione!)



# QGP da collisione di ioni pesanti

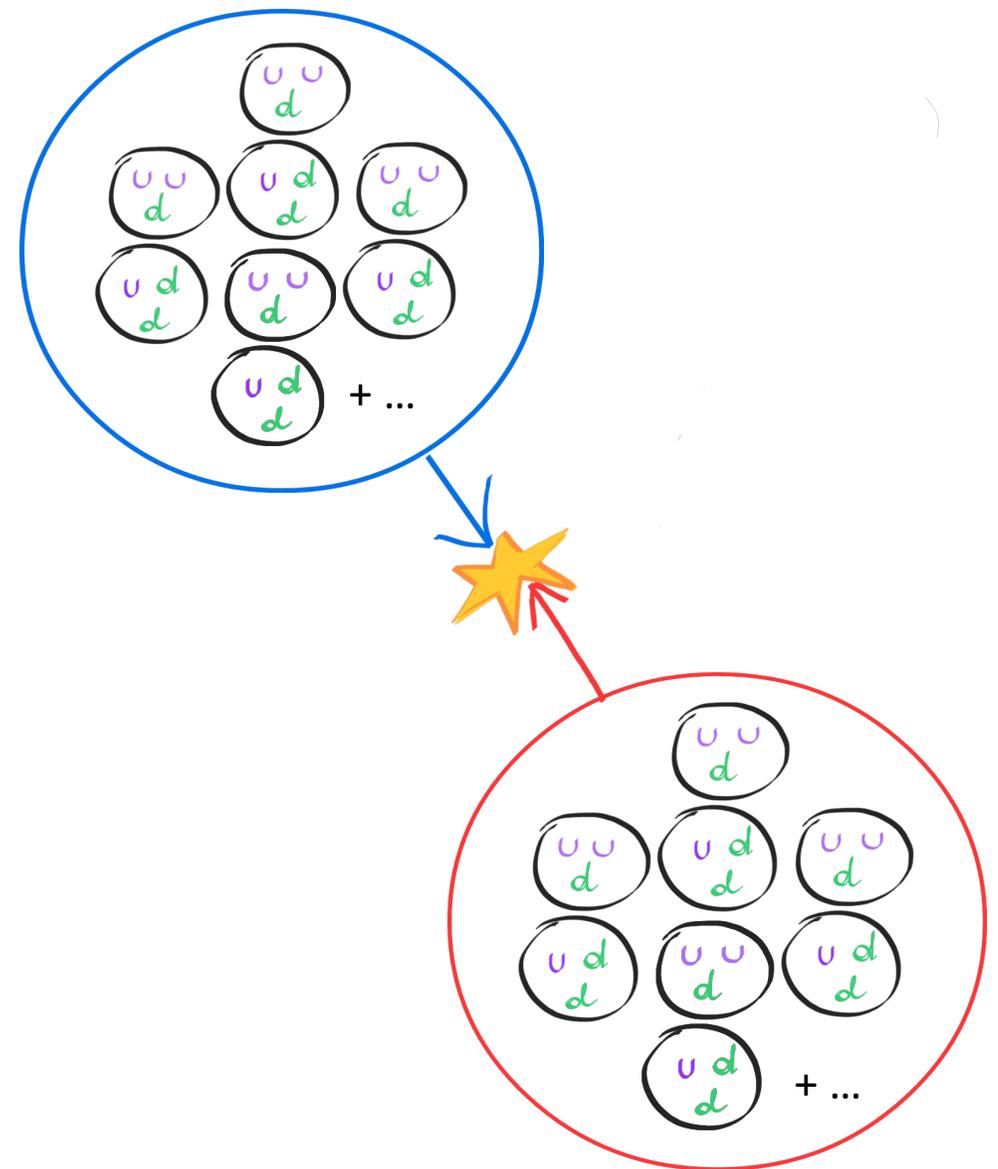
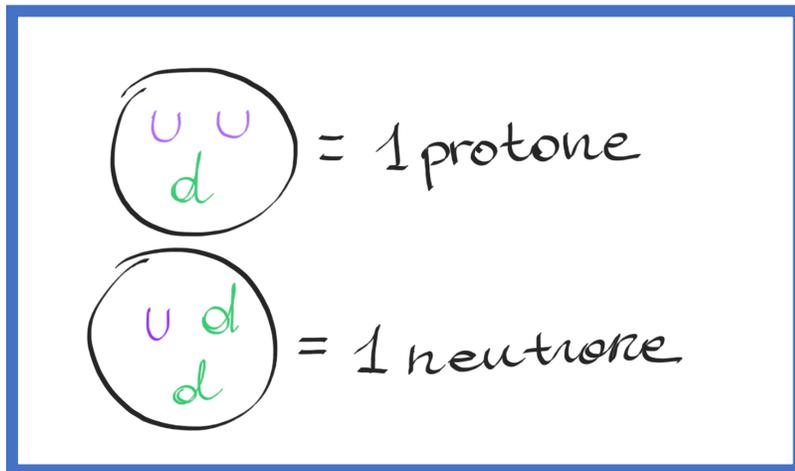
1. Due **nuclei pesanti** (come il Piombo) collidono a velocità prossime a quella della luce
2. Nella collisione si crea una condizione di altissima temperatura e densità
3. In queste condizioni si forma il **QGP**
4. Quark e gluoni formano un mezzo in equilibrio termico che si espande e si raffredda
5. Quando la temperatura del QGP scende sotto ai  $10^{12}$  gradi, quark e gluoni si aggregano formando particelle strane (circa  $10^{-23}$  s dopo la collisione!)
6. Le particelle strane vengono rivelate da **ALICE**



# Particelle Strane

## Stato iniziale

- solo quarks **UP** e **DOWN** (in protoni e neutroni)



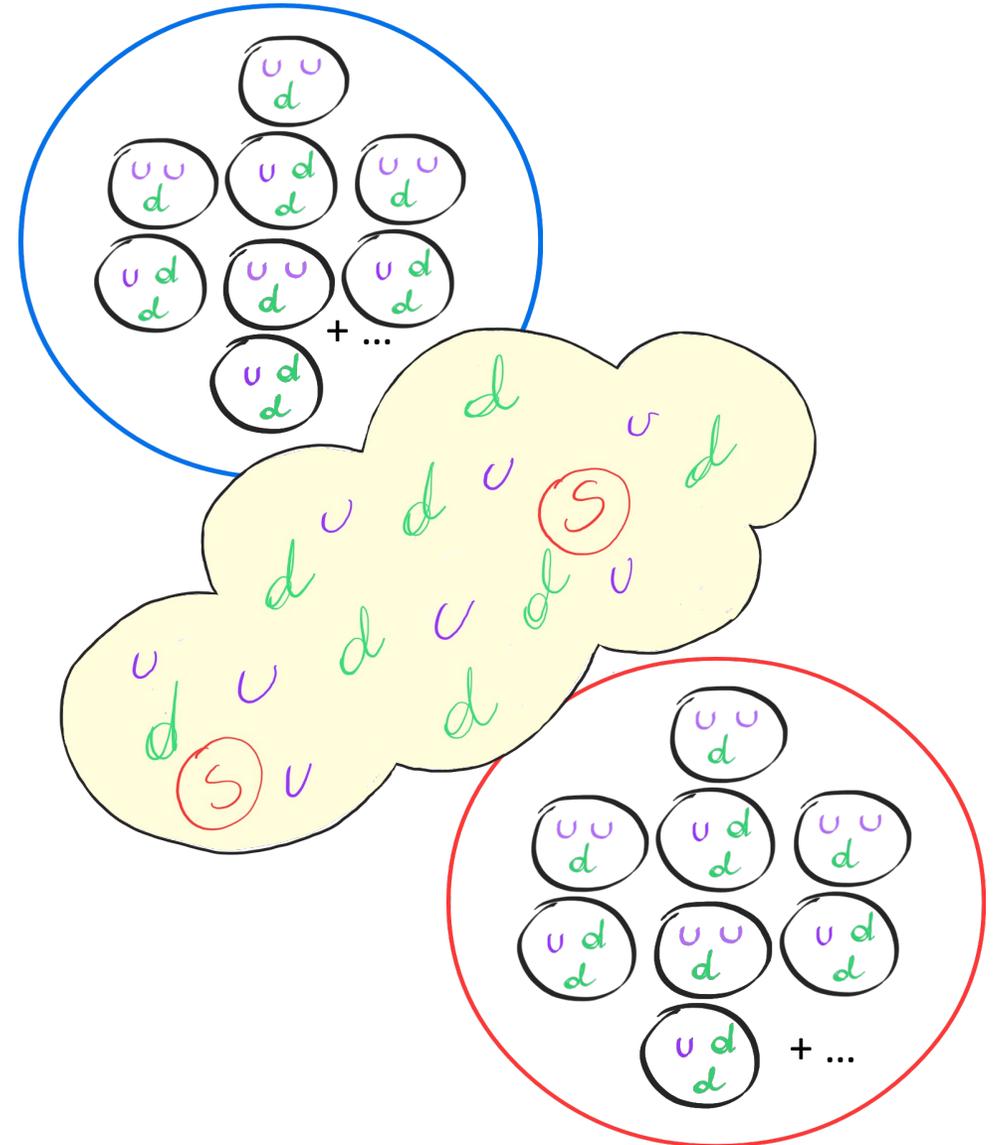
# Particelle Strane

## Stato iniziale

- solo quarks **UP** e **DOWN**

## Stato QGP

- quarks **STRANI** creati dall'energia cinetica dei nuclei collidenti



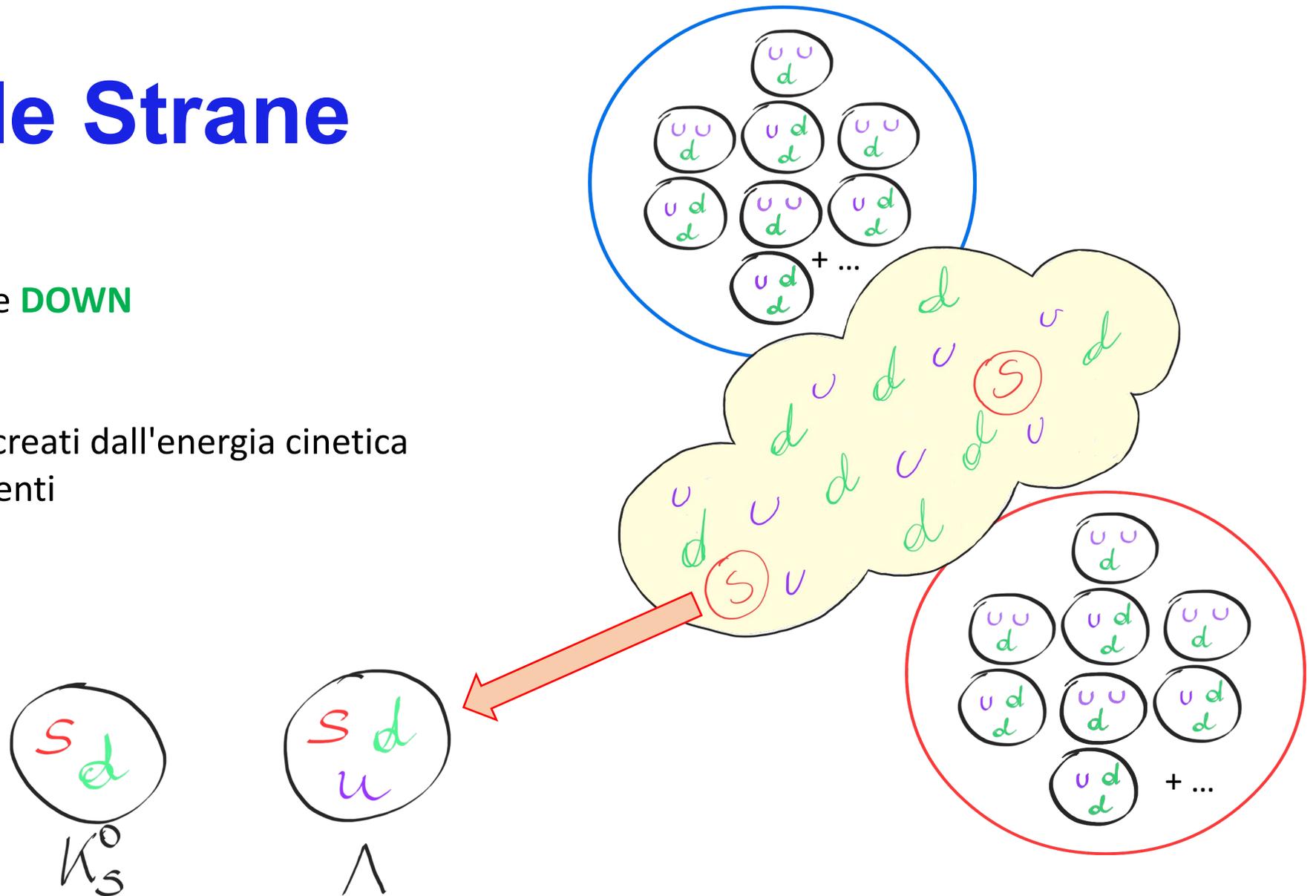
# Particelle Strane

## Stato iniziale

- solo quarks **UP** e **DOWN**

## Stato QGP

- quarks **STRANI** creati dall'energia cinetica dei nuclei collidenti



# Particelle Strane

## Stato iniziale

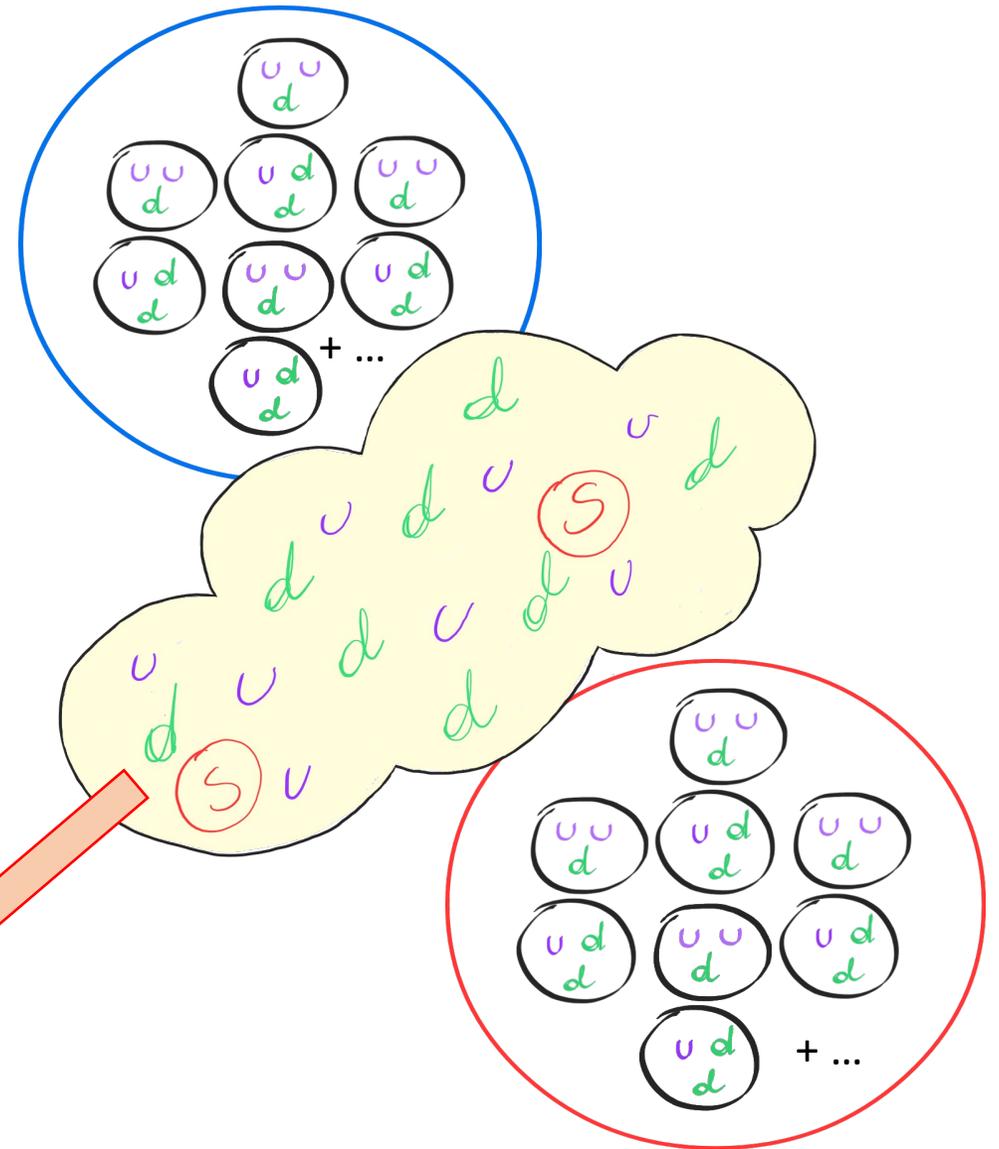
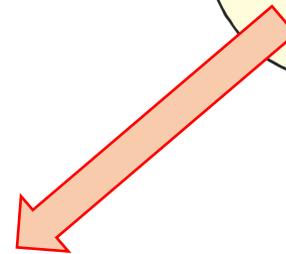
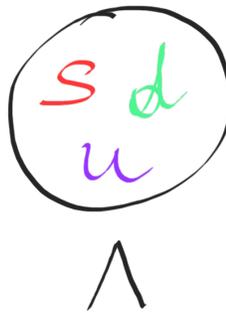
- solo quarks UP e DOWN

## Stato QGP

- Presenza di quarks STRANI creati dall'energia cinetica dei nuclei collidenti

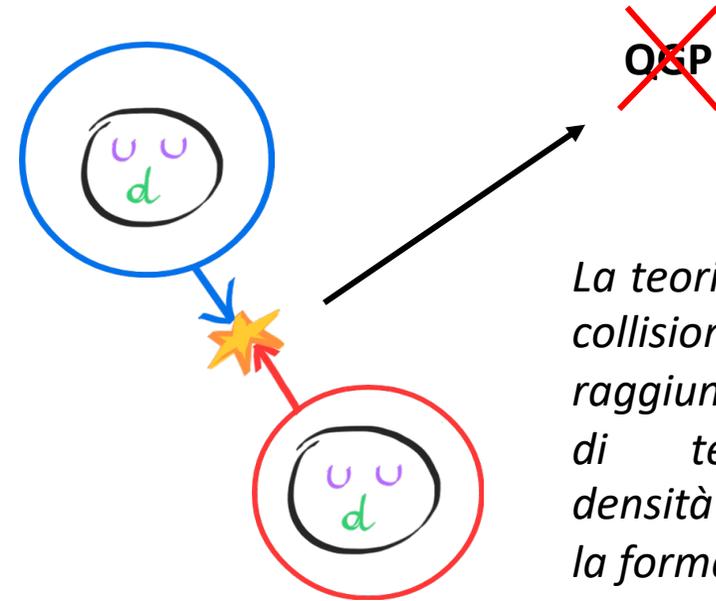
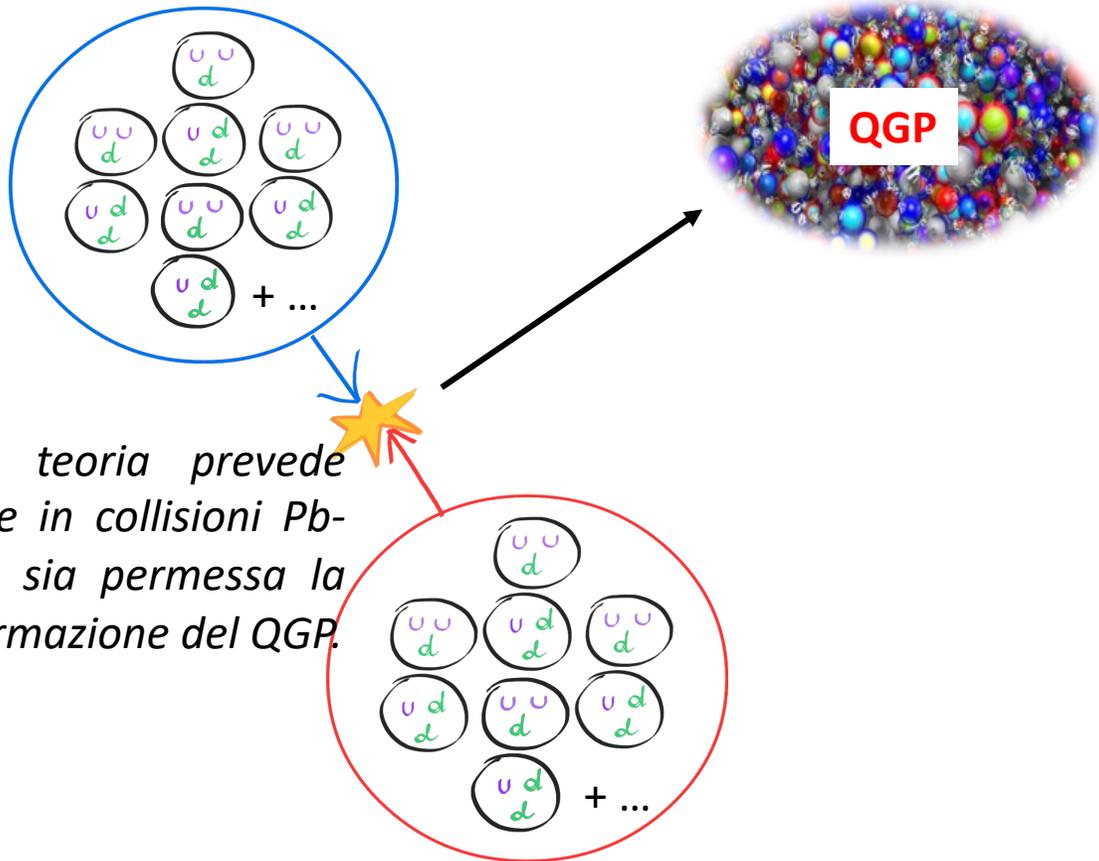
Prova sperimentale del QGP:

**aumento di stranezza**



# Collisioni Pb-Pb VS p-p

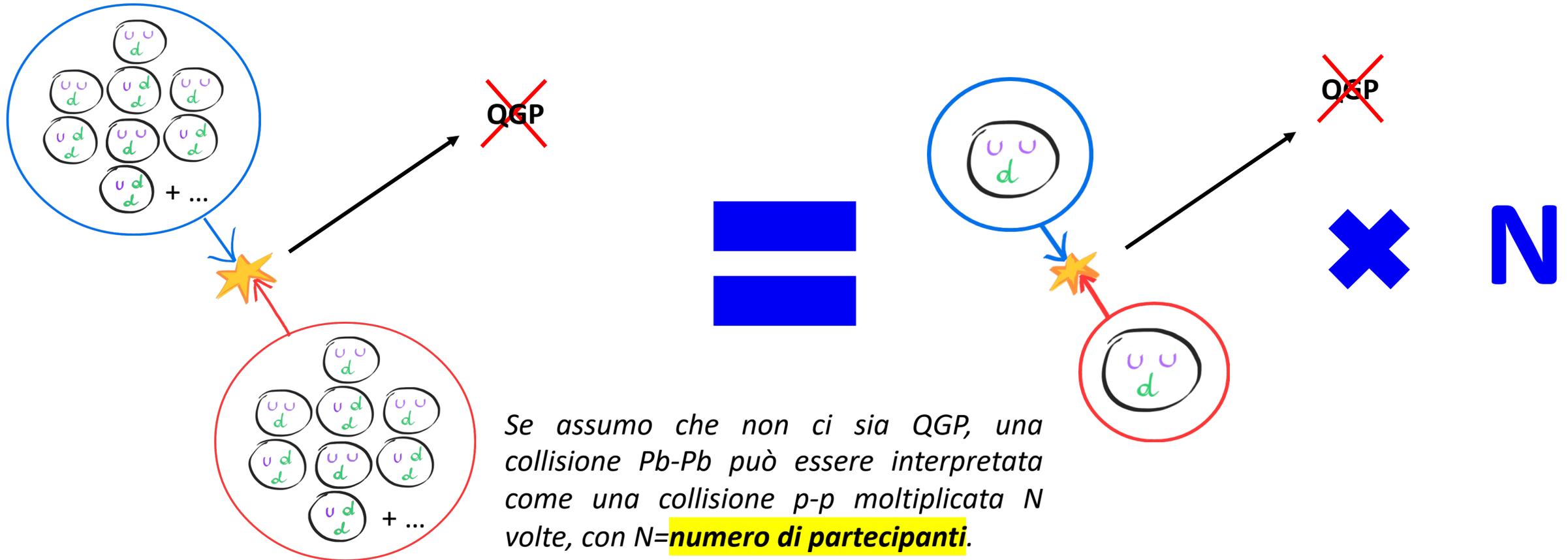
Come posso confrontare collisioni Pb-Pb e p-p e capire se si è formato il QGP?



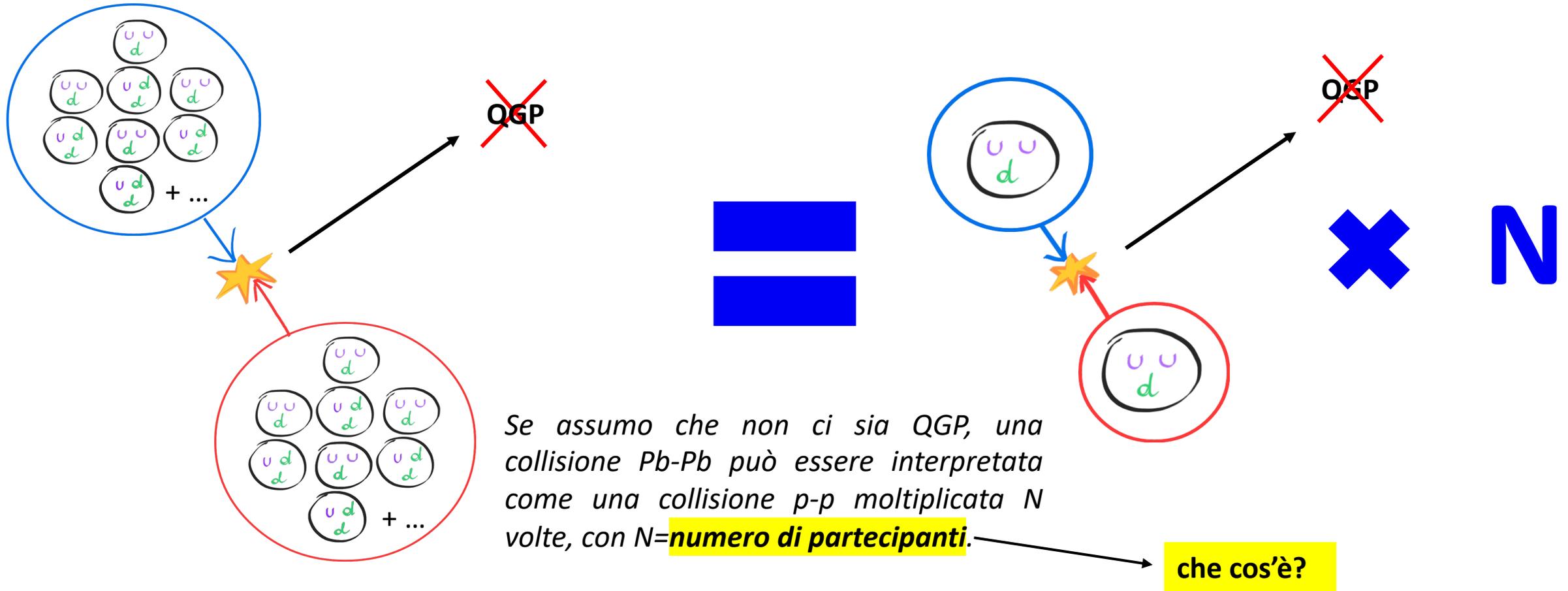
La teoria prevede che in collisioni Pb-Pb sia permessa la formazione del QGP.

La teoria prevede che in collisioni pp non si raggiungono condizioni di temperatura e densità che permettono la formazione del QGP.

# Se non si forma QGP...



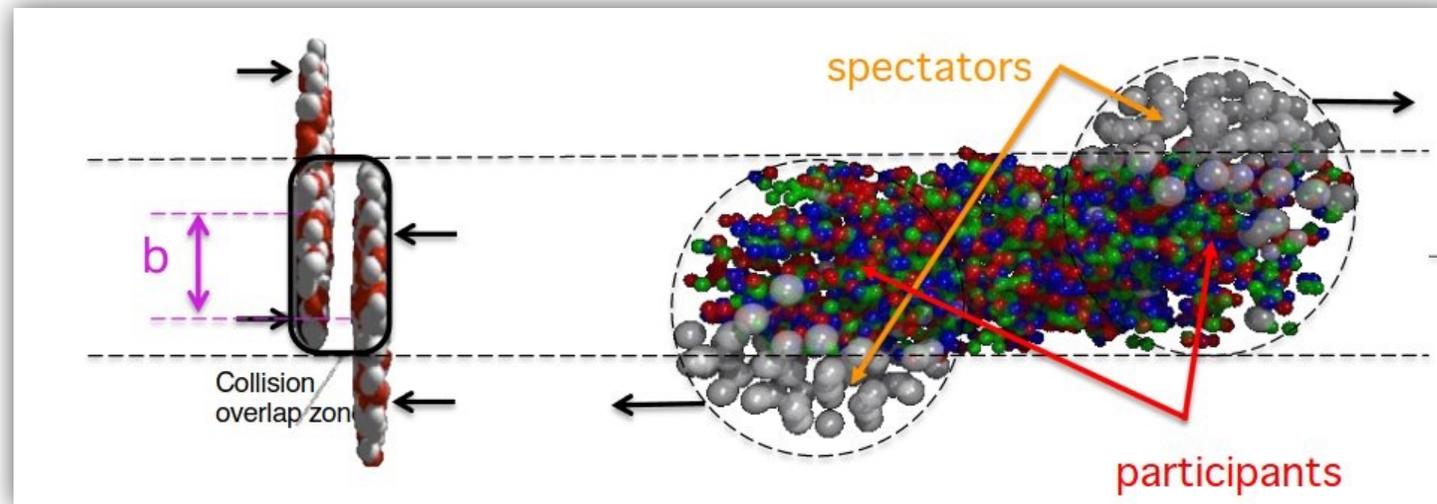
# Se non si forma QGP...



# Centralità di una collisione

Quando due ioni Pb collidono

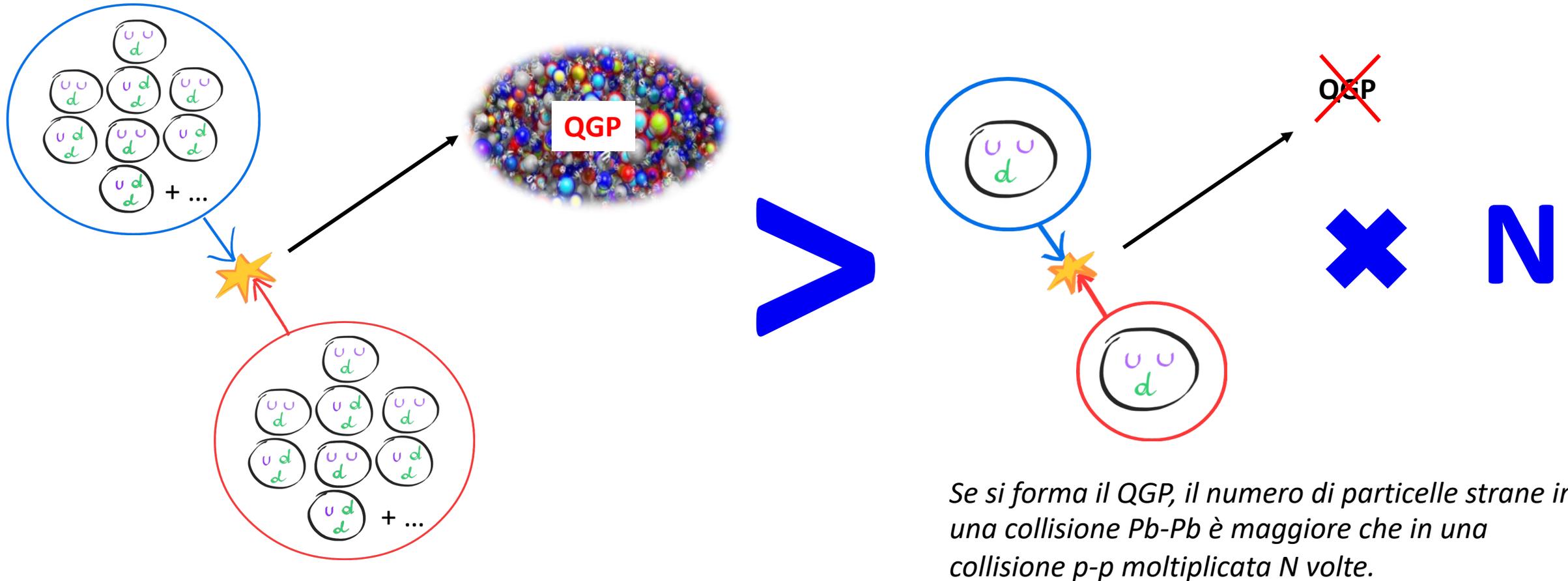
- solo i nucleoni nella zona che si sovrappone collidono e producono QGP: sono i **PARTECIPANTI**
- Gli altri continuano a muoversi senza collidere: sono gli **SPETTATORI**



Più una collisione è *centrale*, più la zona di sovrapposizione è grande, e quindi è grande il numero di partecipanti.

Ci aspettiamo che il numero di particelle strane **AUMENTI** con l'aumento di centralità!

# Se invece si forma QGP...



# Prova di QGP

$$\frac{\text{Pb-Pb}}{\text{p-p} \times N} > 1$$



**AUMENTO DI STRANEZZA:**  
Si è formato QGP!

$$\frac{\text{Pb-Pb}}{\text{p-p} \times N} = 1$$



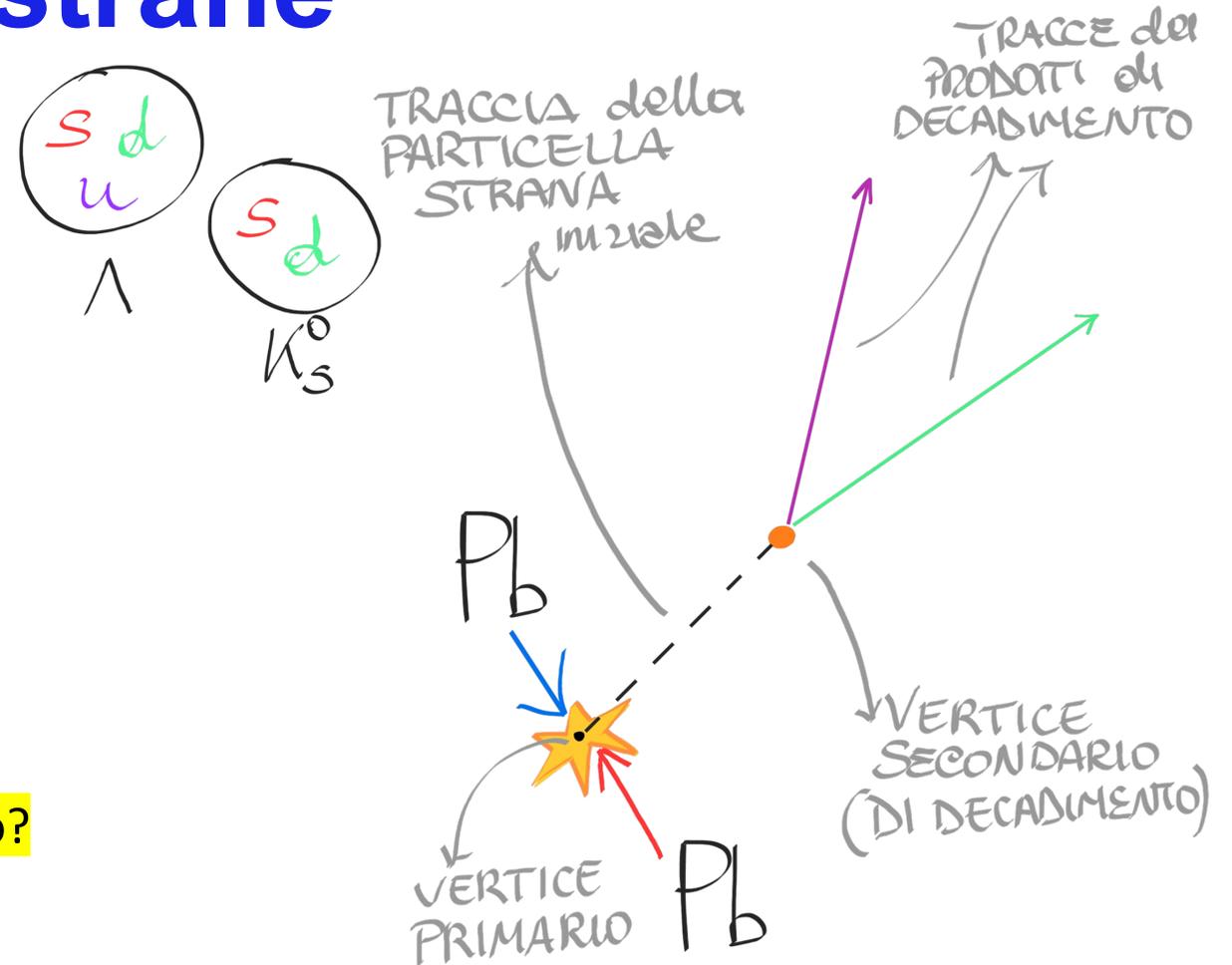
Non si è formato QGP

# Rivelare particelle strane

Le particelle strane percorrono alcuni cm e poi decadono in altre particelle.

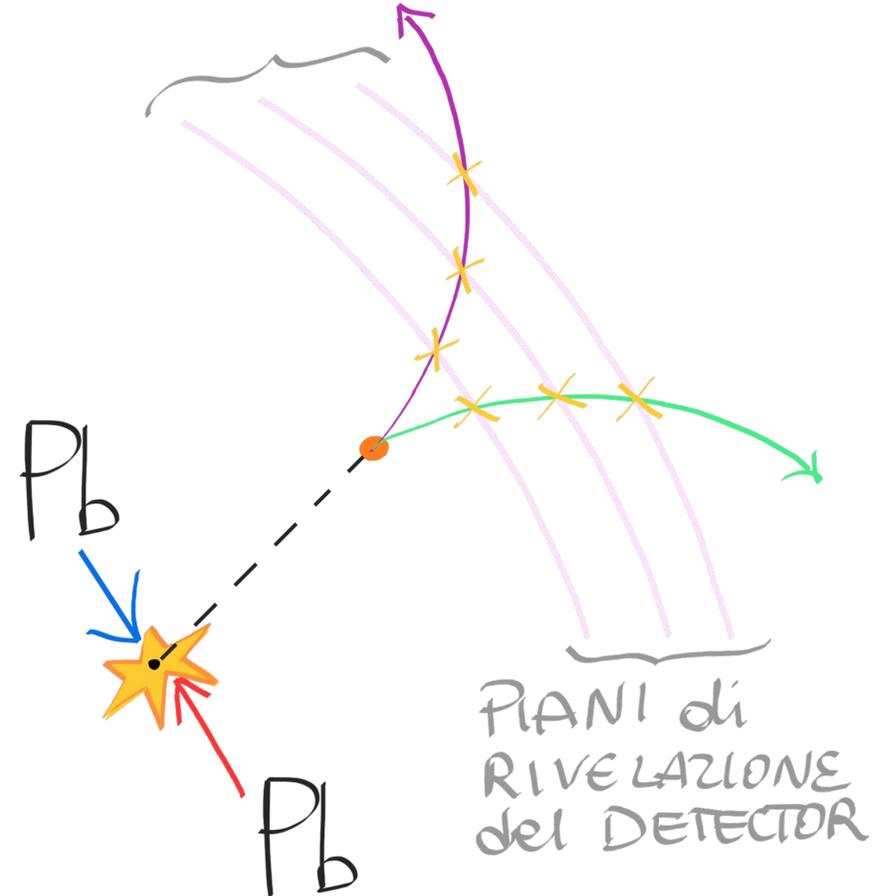
Noi identifichiamo i **prodotti di decadimento** che variano in base alla particella.

Come identifichiamo i prodotti di decadimento?



# Rivelare particelle strane

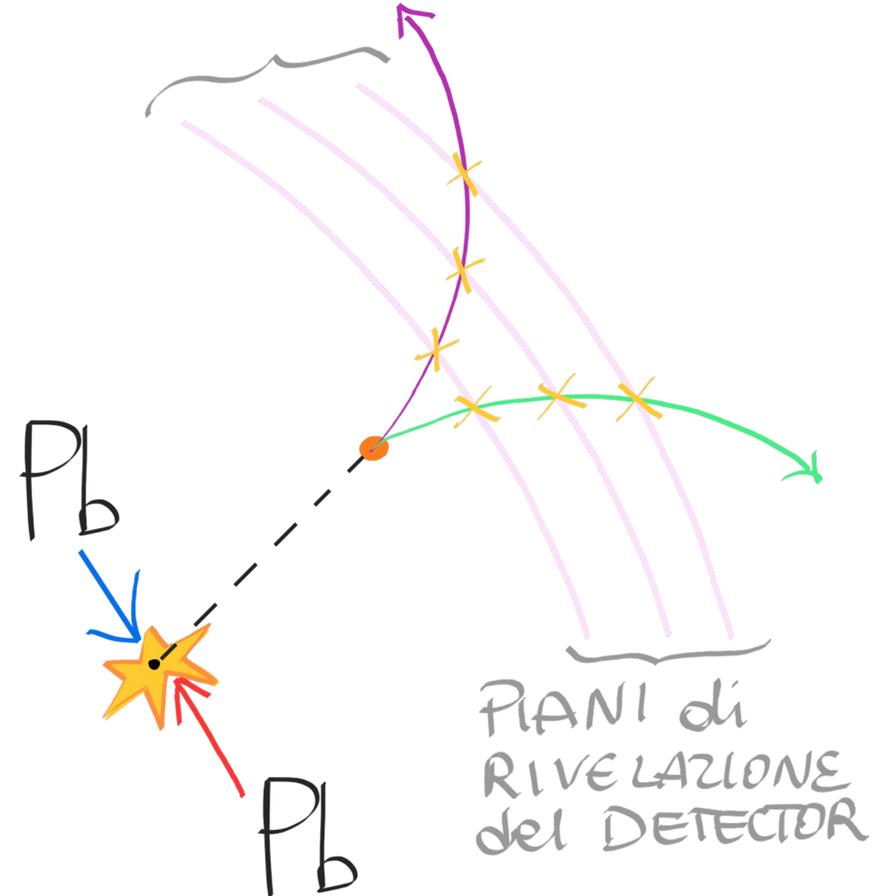
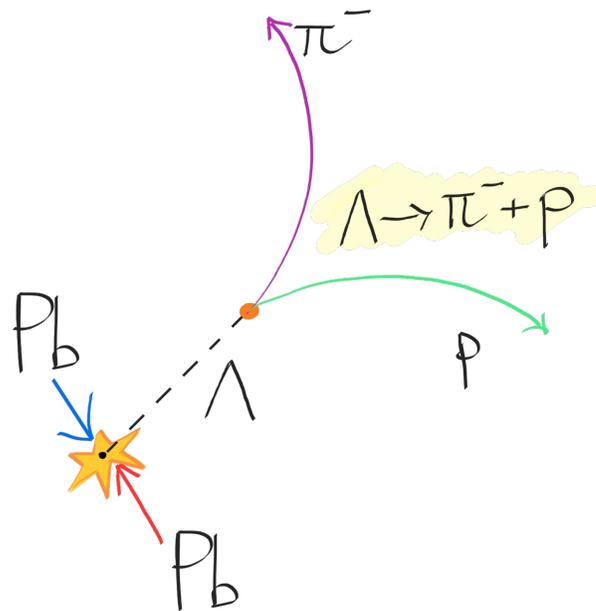
Nel detector, curvando le traiettorie delle particelle con un campo magnetico, identifichiamo le particelle prodotte nel decadimento.



# Rivelare particelle strane

Nel detector, curvando le traiettorie delle particelle con un campo magnetico, identifichiamo le particelle prodotte nel decadimento.

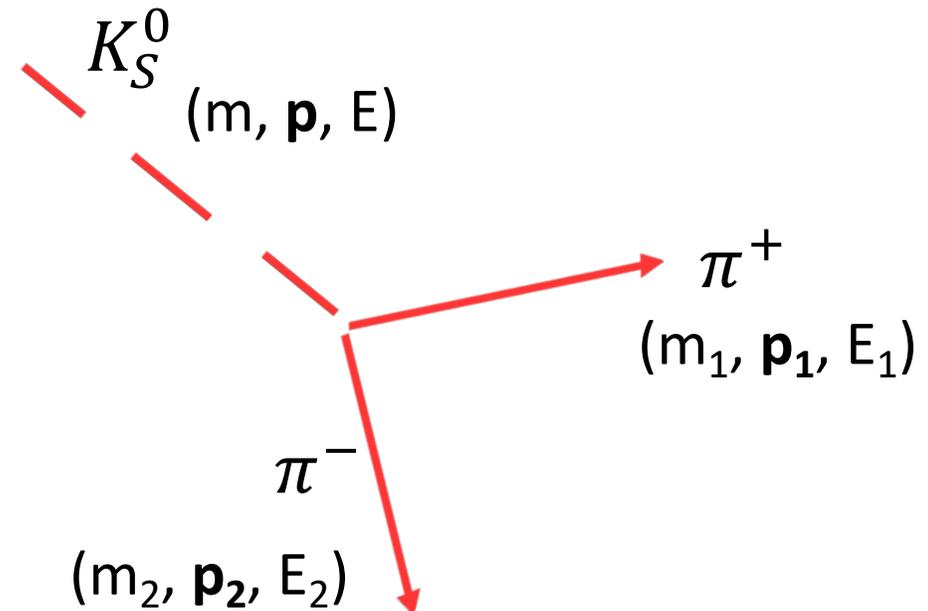
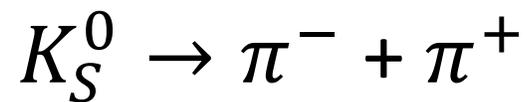
Ad esempio:



# Il metodo della massa invariante

La variabile che osserviamo per determinare l'identità delle particelle prodotte dal decadimento di una particella strana è la massa invariante.

Consideriamo ad esempio un Kaone  $K$  formato da un quark STRANGE ed un quark DOWN che decade in due pioni:



# Il metodo della massa invariante

Conservazione **energia**:

- $E = E_1 + E_2$

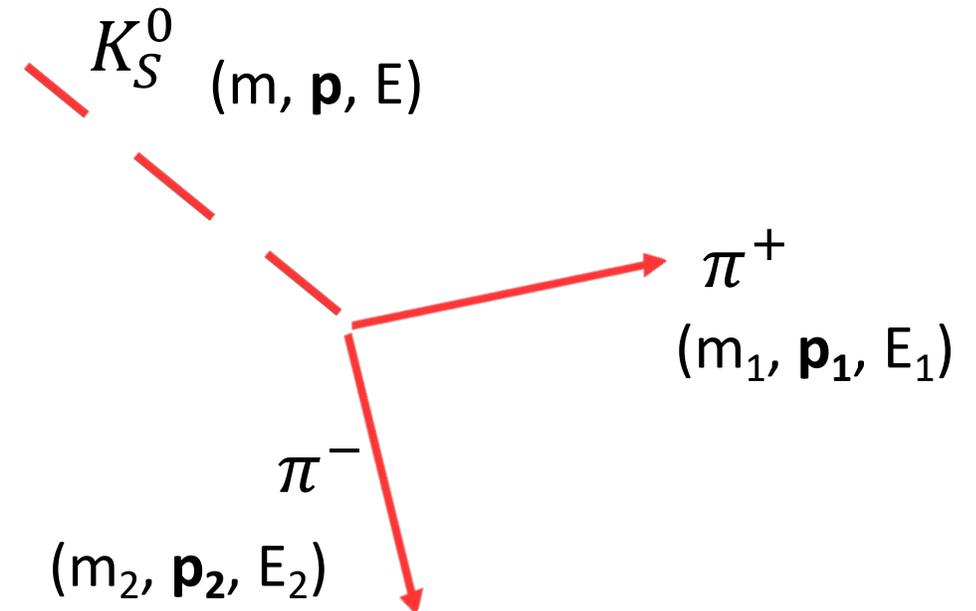
Conservazione della **quantità di moto**:

- $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$

Dalla relatività (supponendo  $c=1$ )

$$E^2 = \mathbf{p}^2 + m^2$$

dove  $p = |\mathbf{p}|$  (modulo del vettore  $\mathbf{p}$ )



# Il metodo della massa invariante

Conservazione **energia**:

- $E = E_1 + E_2$

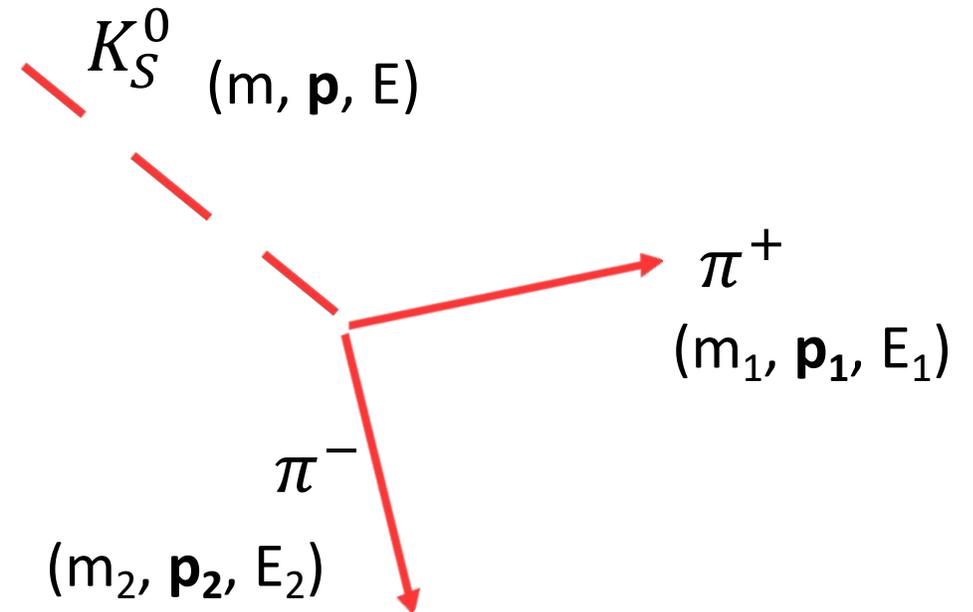
Conservazione della **quantità di moto**:

- $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$

Dalla relatività (supponendo  $c=1$ )

$$E^2 = \mathbf{p}^2 + m^2$$

dove  $p = |\mathbf{p}|$  (modulo del vettore  $\mathbf{p}$ )



# Il metodo della massa invariante

$$m^2 = E^2 - p^2$$

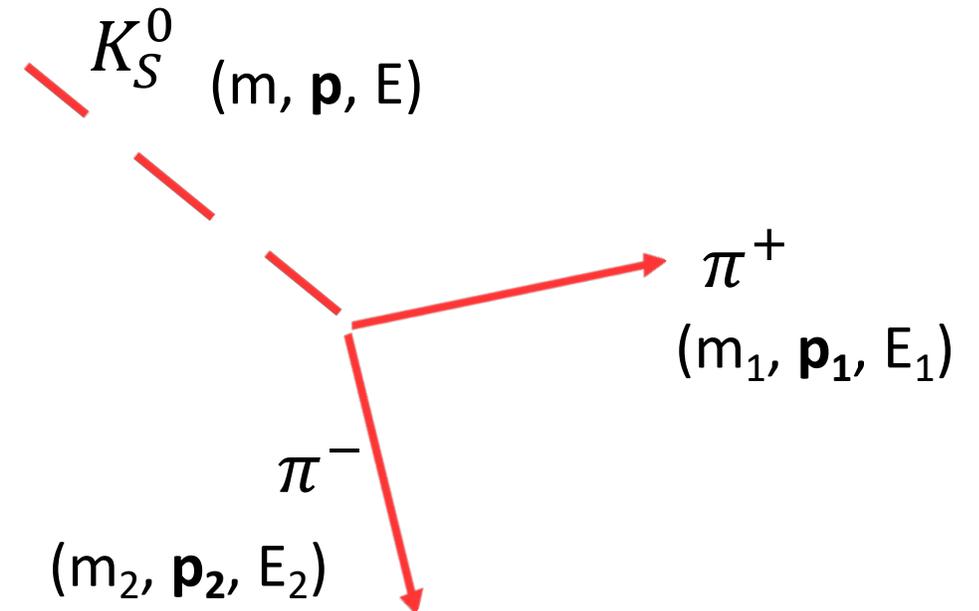
$$= (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2$$

$$= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{p}_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$$

prodotti scalari



$$= m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 E_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$$



# Il metodo della massa invariante

$$m^2 = E^2 - p^2$$

$$= (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2$$

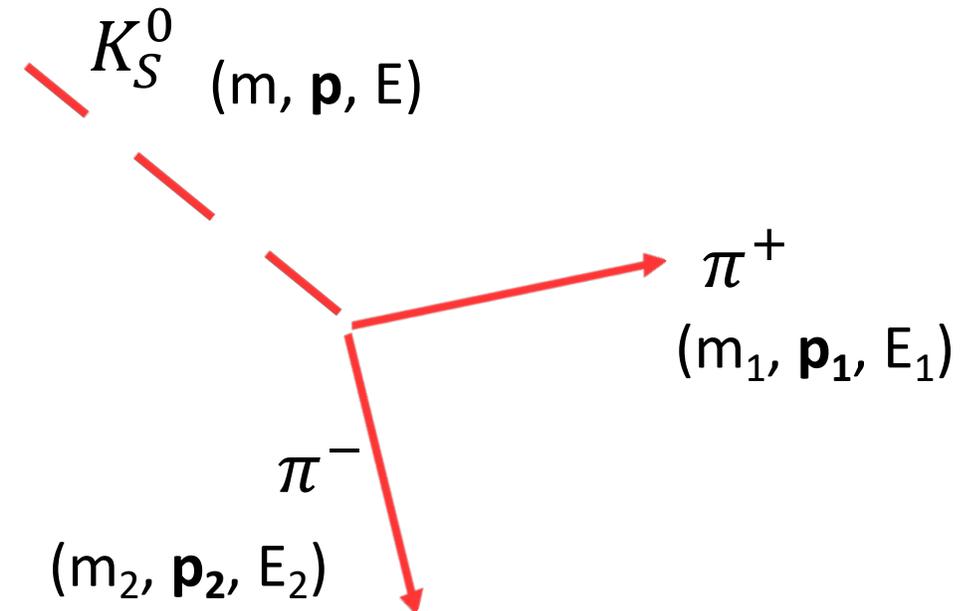
$$= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{p}_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$$

prodotti scalari

$$= m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$$

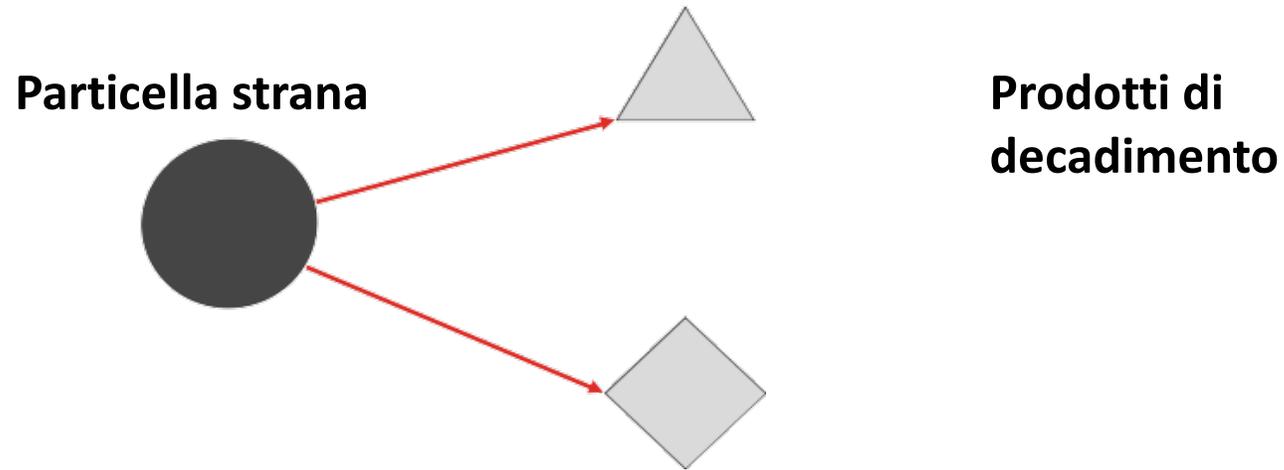
Misurate dai **rivelatori**  
per **identificare le**  
**particelle!**

Misurando **raggio di**  
**curvatura** nel campo  
magnetico!

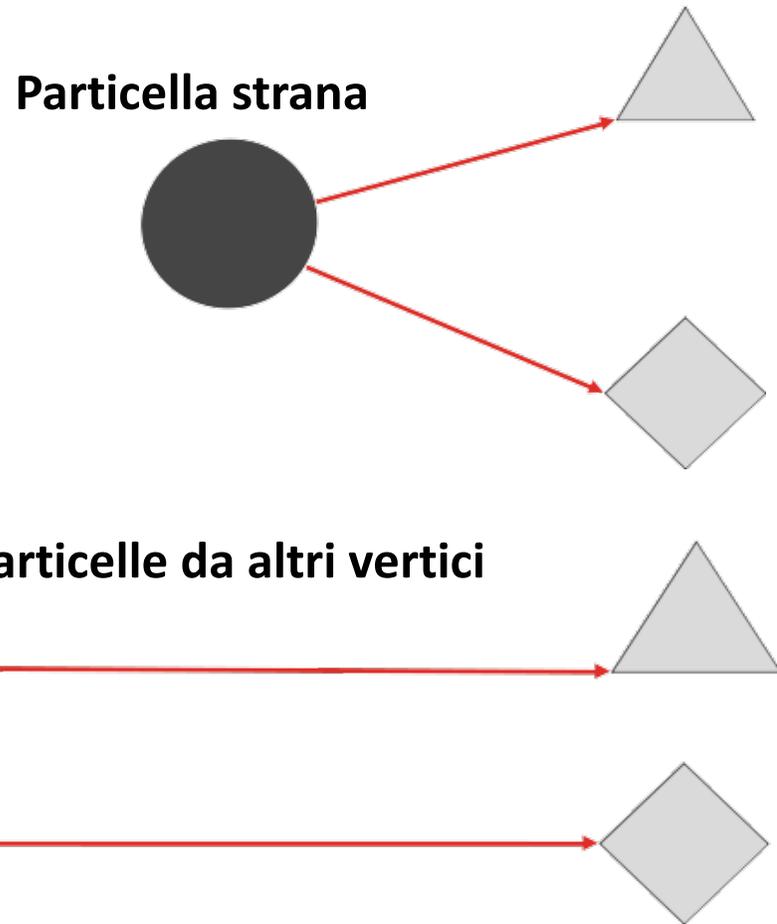


$m$  del  $K_S^0$  è 497.6 MeV

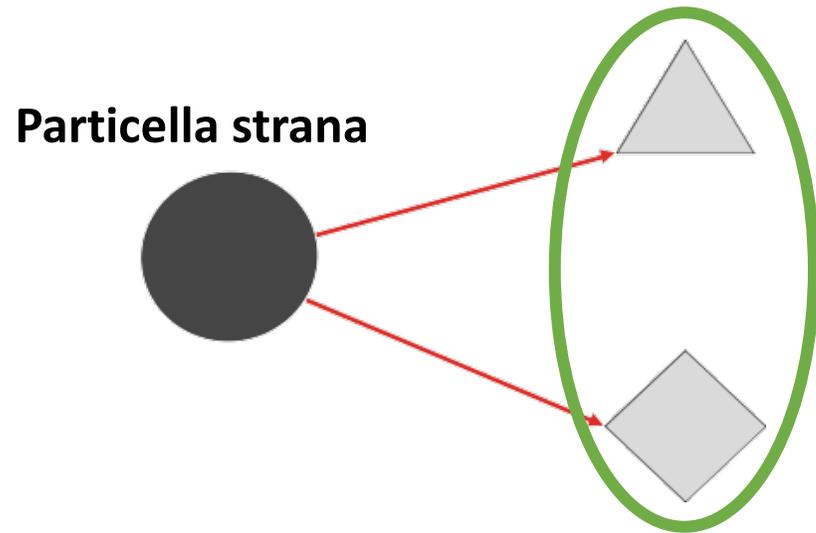
# Il metodo della massa invariante



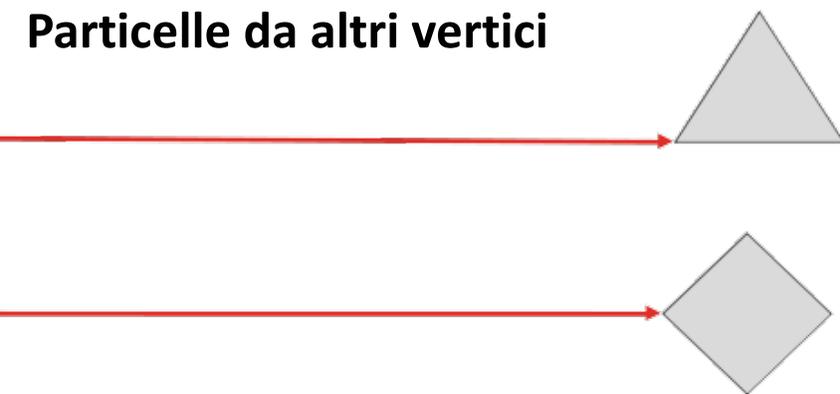
# Il metodo della massa invariante



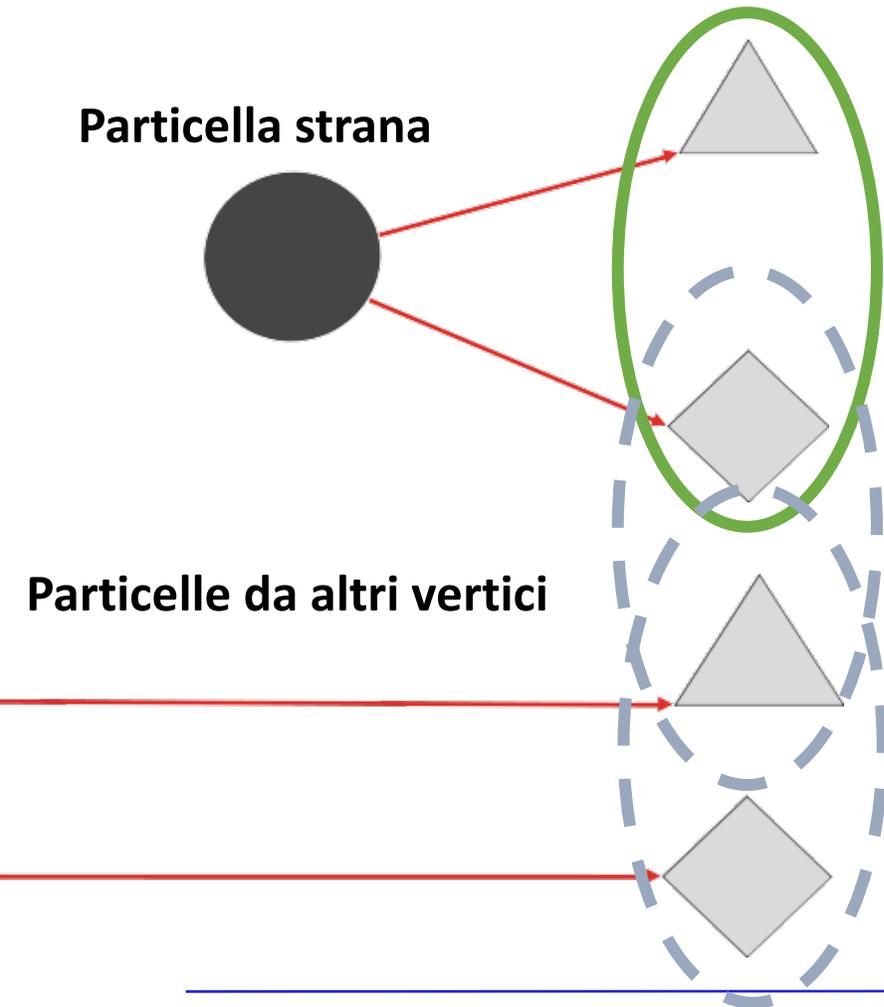
# Il metodo della massa invariante



**Segnale:** se accoppio "bene" le particelle arrivano dalla particella corretta!



# Il metodo della massa invariante



**Segnale:** se accoppio "bene" le particelle arrivano dalla particella corretta!

**Background:** se accoppio "male" mi danno un risultato casuale.

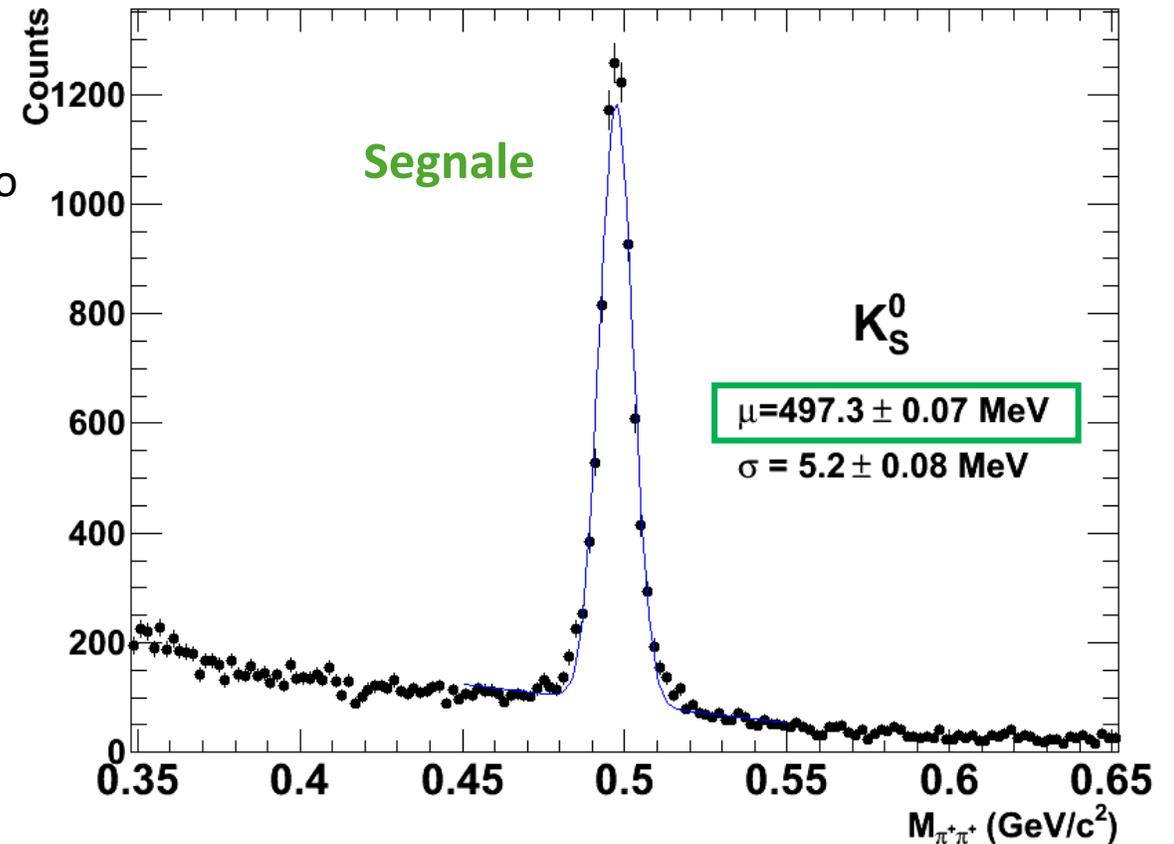
# Il metodo della massa invariante

Calcolando la massa invariante  $m^2$ , ricostruiamo la massa della particella strana che è decaduta .

Ogni volta che misuriamo una stessa quantità fisica non otteniamo *esattamente* lo stesso valore a causa dell'errore sperimentale.

Per questo il **Segnale** non è una linea verticale, ma un **picco "allargato"**.

La massa *ufficiale* del  $K_S^0$  è 497.6 MeV



# Il metodo della massa invariante

Calcolando la massa invariante  $m^2$ , ricostruiamo la massa della particella strana che è decaduta .

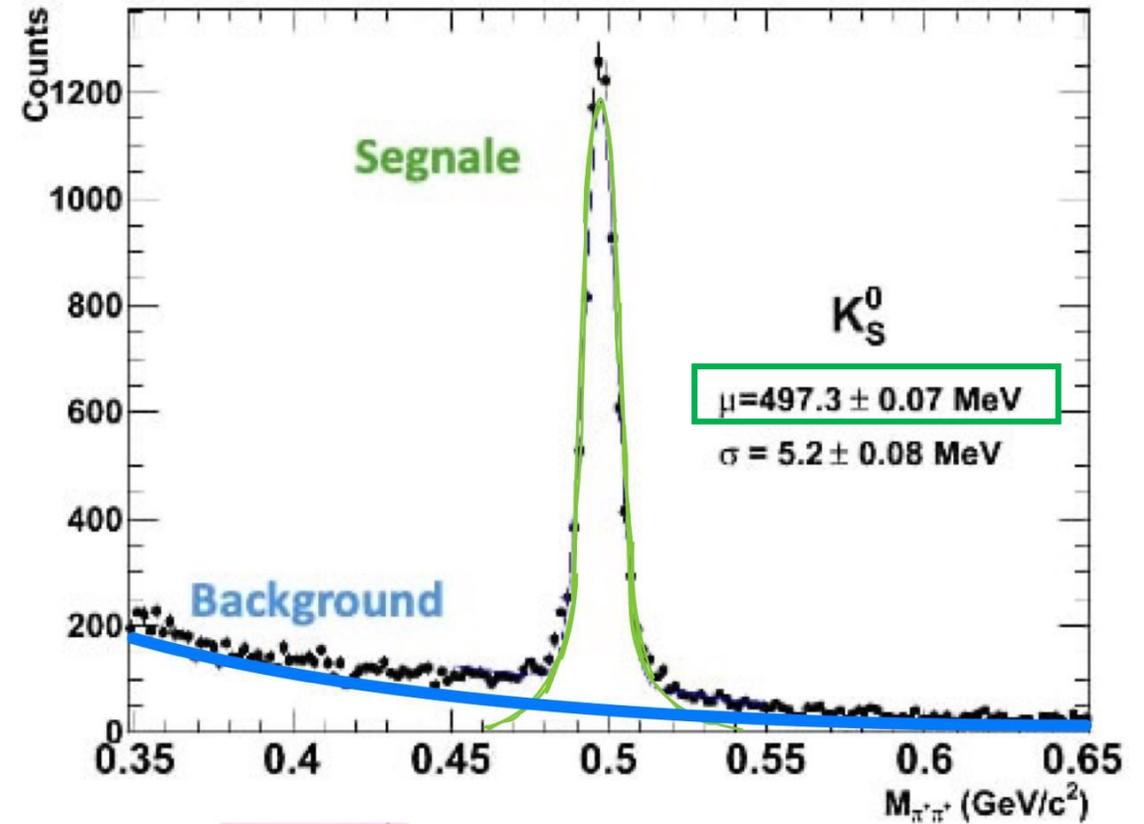
Ogni volta che misuriamo una stessa quantità fisica non otteniamo *esattamente* lo stesso valore a causa dell'errore sperimentale.

Per questo il **Segnale** non è una linea verticale, ma un **picco "allargato"**.

Il **Segnale** è *centrato* intorno ad un valore  $\mu$ : è il valore di massa invariante risultante dalla nostra misura  $\rightarrow \mu = 497.3 \text{ MeV}$   
 $\rightarrow$  È molto vicino alla massa *ufficiale* del  $K_S^0$  (**497.6 MeV**)  
 $\rightarrow$  Quindi le tracce selezionate vengono dal decadimento di un  $K_S^0$ !

Riusciamo a separare **Segnale** e **Background**

La massa *ufficiale* del  $K_S^0$  è 497.6 MeV



# Istruzioni pratiche

The screenshot shows the ALICE Masterclass website interface. At the top, there is a dark red header with the text "CERN Accelerating science" on the left, "ALICE Masterclass" in the center, and a globe icon with "EN" on the right. Below the header, the ALICE logo is on the left. The main content area features a 3D cutaway rendering of the ALICE detector. A white dialog box is centered over the page, containing the following text: "Welcome to the ALICE Masterclass!", "Please fill in your Student Number and the Session Password (both should be given to you by your supervisor).", "You can skip this by clicking Cancel, but you won't be able to share your results!", and "You can return to this window later by selecting the Password option from the Menu." Below the text is a text input field labeled "Student Number" with a red asterisk, containing the text "BolognaMasterclass2024". At the bottom of the dialog are "Proceed" and "Cancel" buttons. The background text on the page describes the ALICE Collaboration's goals and provides information about downloading a desktop version. At the bottom of the page, there are logos for the European Funds, the Republic of Poland, Warsaw University of Technology, and the European Union.

CERN Accelerating science

ALICE Masterclass

EN

**ALICE**

## Welcome to the ALICE Masterclass!

The ALICE Collaboration has built a dedicated detector to exploit the unique physics potential of nucleus-nucleus collisions at LHC energies. Our aim is to study the physics of strongly interacting matter at the highest energy densities reached so far in the laboratory. In such condition, an extreme phase of matter - called the quark-gluon plasma - is formed.

Our universe is thought to have been in such a primordial state for the first few millionths of a second after the Big Bang. The study of this phase are key issues for Quantum Chromo Dynamics, the understanding of confinement and the transition to the hadronic phase.

For this purpose, we are carrying out a comprehensive study of the hadrons, electrons and muons produced in nucleus-nucleus collisions. ALICE is also studying proton-proton and proton-nucleus collisions both as a benchmark and to understand the underlying physics.

If you wish, you can download and use a desktop version of the Masterclass:

Windows icon

Download icon

Please fill in your Student Number and the Session Password (both should be given to you by your supervisor).  
You can skip this by clicking Cancel, but you won't be able to share your results!  
You can return to this window later by selecting the Password option from the Menu.

Student Number \*

BolognaMasterclass2024

Proceed Cancel

European Funds  
Knowledge Education Development

Republic of Poland

Warsaw University of Technology

European Union  
European Social Fund

Copyright © 2022 CERN, Warsaw University of Technology  
Piotr Nowakowski, Łukasz Graczykowski, Małgorzata Janik

# Istruzioni pratiche



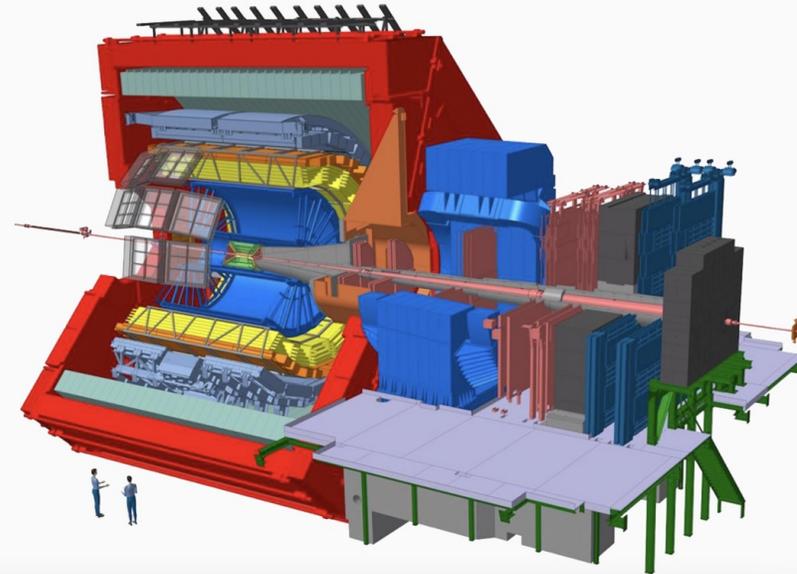
## Welcome to the ALICE Masterclass!

The ALICE Collaboration has built a dedicated detector to exploit the unique physics potential of nucleus-nucleus collisions at LHC energies. Our aim is to study the physics of strongly interacting matter at the highest energy densities reached so far in the laboratory. In such condition, an extreme phase of matter - called the quark-gluon plasma - is formed.

Our universe is thought to have been in such a primordial state for the first few millionths of a second after the Big Bang. The properties of such a phase are key issues for Quantum Chromo Dynamics, the understanding of confinement-deconfinement and chiral phase transitions.

For this purpose, we are carrying out a comprehensive study of the hadrons, electrons, muons and photons produced in the collisions of heavy nuclei. ALICE is also studying proton-proton and proton-nucleus collisions both as a comparison with nucleus-nucleus collisions and in their own right.

If you wish, you can download and use a desktop version of the Masterclass:



# Istruzioni pratiche- primo esercizio

Menu

- Home
- Strangeness
- Visual Analysis
- Large Scale Analysis

## Welcome to the ALICE Masterclass!

**Il primo esercizio permette di visualizzare i singoli eventi e ricercare tra le tracce candidati per particelle strane**

The ALICE Collaboration has built a dedicated detector to exploit the unique physics potential of nucleus-nucleus collisions at LHC energies. Our aim is to study the physics of strongly interacting matter at the highest energy densities reached so far in the laboratory. In such condition, an extreme phase of matter - called the quark-gluon plasma - is formed.

The universe is thought to have been in such a primordial state for the first few millionths of a second after the Big Bang. The properties of such a phase are key issues for Quantum Chromodynamics, the understanding of confinement-deconfinement and chiral phase transitions.

For this purpose, we are carrying out a comprehensive study of the hadrons, electrons, muons and photons produced in the collisions of heavy nuclei. ALICE is also studying proton-proton and proton-nucleus collisions both as a comparison with nucleus-nucleus collisions and in their own right.

If you wish, you can download and use a desktop version of the Masterclass:

# Istruzioni pratiche

The screenshot shows the ALICE Masterclass interface. At the top, there is a header with 'ALICE Masterclass' and a language selector set to 'EN'. The main area is divided into several sections:

- Event 0:** Contains a 3D View of the detector and two 2D views (View 1 and View 2).
- Dataset Selection:** A dropdown menu is open, showing options: Demo, Dataset 0, Dataset 1, Dataset 2, and Dataset 3. A red arrow points to 'Dataset 0'.
- Calculator:** A table for calculating particle properties.

**Calculator Table:**

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

**Particle Selection Table:**

Select particle type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.000
$\pi^-, \pi^+$	0.139
$K_s^0$	0.497
$p, \bar{p}$	0.9383

**Annotation:** A red box with white text and a red arrow pointing to 'Dataset 0' contains the text: **Selezionate il dataset con il numero che vi è stato assegnato**

# Istruzioni pratiche

Event 1

## 3 panoramiche di ALICE

3D View

View 1

View 2

**Cliccate e trascinate per farlo ruotare o zoom**

**Vista 3D**

**Proiezioni**

**Visibility**

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

**Track Width**

S M L

### Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

Select particle type

Add

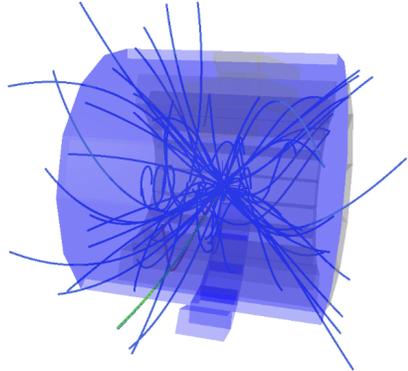
### Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

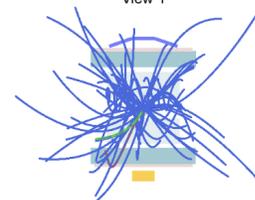
# Istruzioni pratiche

Event 1

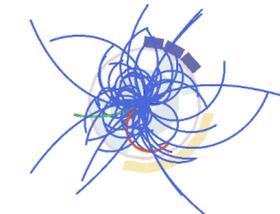
3D View



View 1



View 2



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

Select particle type

Add

Particles

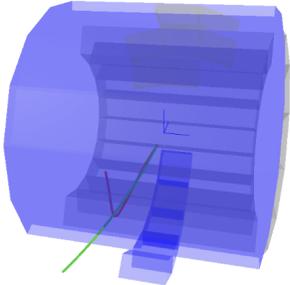
Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

**Accendi/spegni i pulsanti per visualizzare/rimuovere elementi**

# Istruzioni pratiche

Event 1

3D View



View 1

Spegni "Tracks" per togliere le tracce e visualizzare solo i "Decays" ossia i prodotti di decadimento (tracce verdi, rosse, blu)

Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

Select particle type

Add

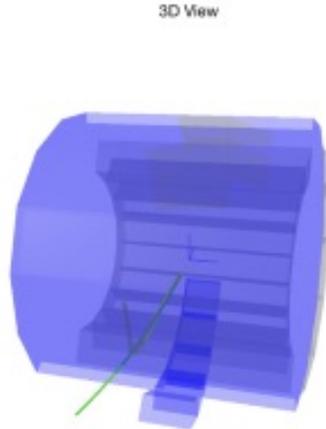
Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

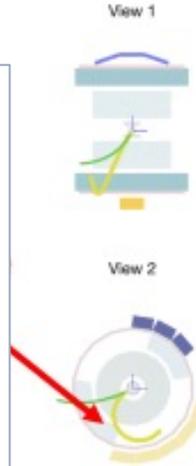
# Istruzioni pratiche

Event 1

**TRACCIA  
ROSSA:**  
particella con  
carica  
positiva



Clicca sopra alla  
traccia: vedrai  
apparire la sua  
quantità di moto e la  
massa nella tabella  
in basso a sinistra



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)				
(b)				
Total				

- Carica positiva
- Massa 0.140 GeV/c<sup>2</sup>

**Che particella è?**

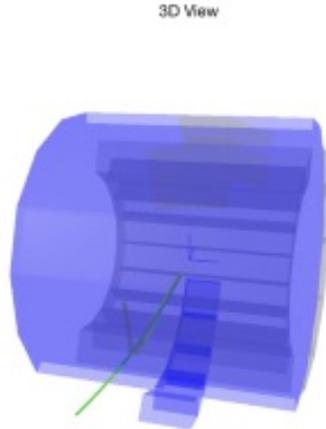
Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^+, \pi^-$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

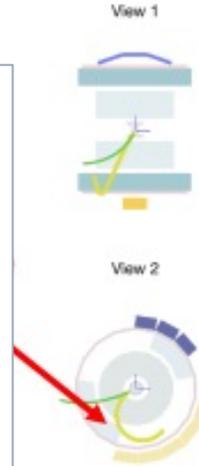
# Istruzioni pratiche

Event 1

**TRACCIA  
ROSSA:**  
particella con  
carica  
positiva



Clicca sopra alla  
traccia: vedrai  
apparire la sua  
quantità di moto e la  
massa nella tabella  
in basso a sinistra



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)				
(b)				
Total				

- Carica positiva
- Massa 0.140 GeV/c<sup>2</sup>

**Che particella è?**

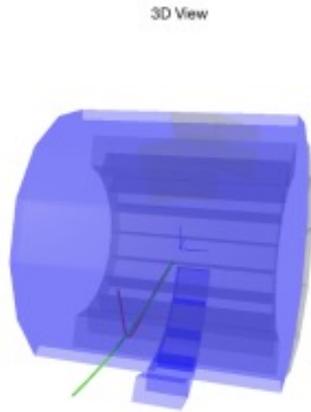
Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_s^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

**PIONE POSITIVO**

# Istruzioni pratiche

**TRACCIA VERDE:**  
particella con carica negativa



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

## Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)	-1.230	-0.566	-0.317	0.938
(0)				
Total				

Carica negativa  
Massa 0.938 GeV/c<sup>2</sup>

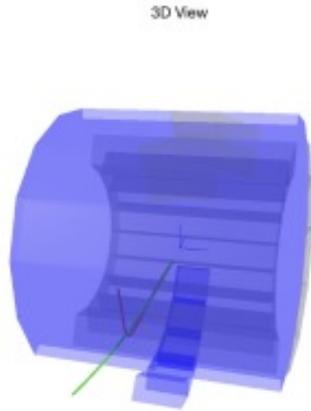
**Che particella è?**

## Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

# Istruzioni pratiche

**TRACCIA VERDE:**  
particella con carica negativa



**Visibility**

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

**Track Width**

S  M  L

## Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)	-1.230	-0.566	-0.317	0.938
(0)				
Total				

Carica negativa  
Massa 0.938 GeV/c<sup>2</sup>

**Che particella è?**

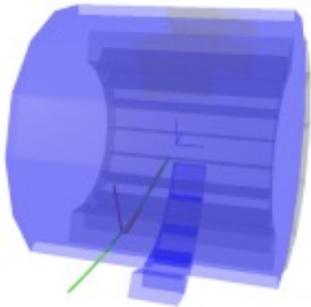
Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_s^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

**ANTIPROTONE**

# Istruzioni pratiche

Event 1

3D View

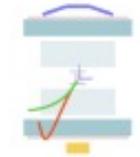


Adesso che

- avete **ricostruito la massa invariante** della particella iniziale
- sapete in cosa è **decaduta**

Cliccate su «select particle type» e **trovate la particella giusta!**

View 1



View 2



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

## Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)	-1.230	-0.566	-0.317	0.938
(b)				
Total				1.119

Massa invariante

Particle type selection menu:

- Adon
- Lambda
- Anti-Lambda
- Xi
- Background

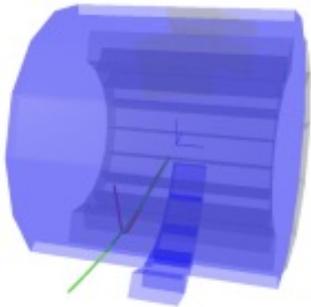
## Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^+, e^-$	0.0005
$\pi^+, \pi^-$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$K^0, \bar{K}^0$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Sigma, \bar{\Sigma}$	1.3217

# Istruzioni pratiche

Event 1

3D View

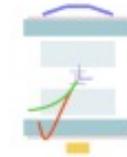


Adesso che

- avete **ricostruito la massa invariante** della particella iniziale
- sapete in cosa è **decaduta**

Cliccate su «select particle type» e **trovate la particella giusta!**

View 1



View 2



Visibility

- Side Views
- Detector
- Axes
- Tracks
- Decays

Track Width

S  M  L

## Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	-0.285	-0.221	-0.162	0.140
(-)	-1.230	-0.566	-0.317	0.938
(b)				
Total				1.119

Massa invariante

Particle type selection menu:

- Adon
- Lambda
- Anti-Lambda
- Xi
- Background

## Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^+, e^-$	0.0005
$\pi^+, \pi^-$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$K^0, \bar{K}^0$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Sigma, \bar{\Sigma}$	1.3217

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

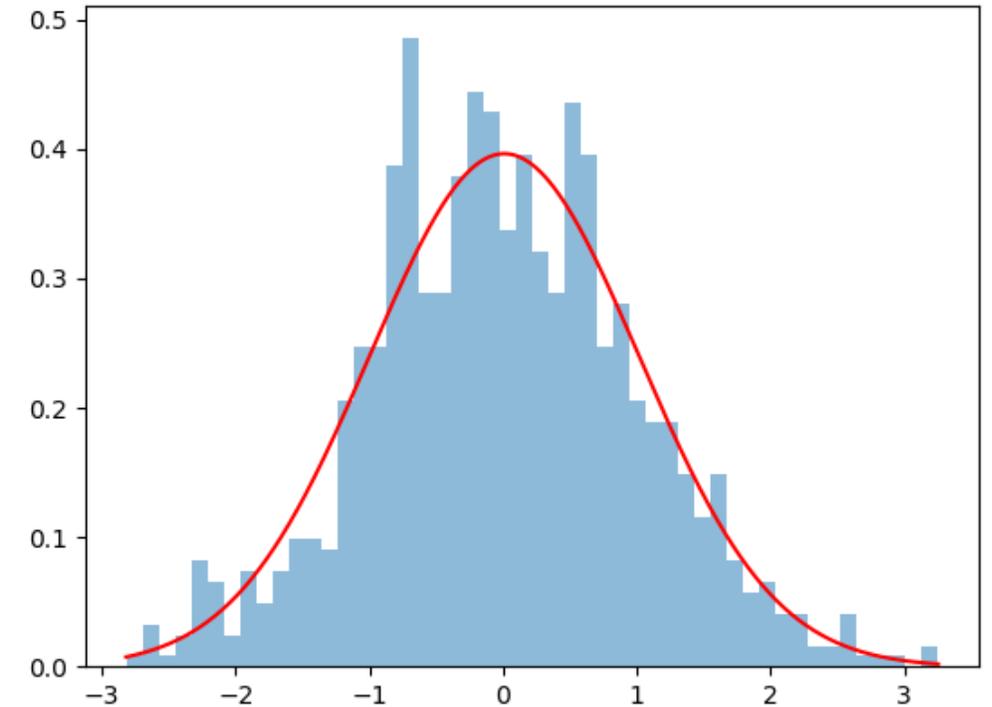


The screenshot shows the ALICE Masterclass website. On the left is a navigation menu with the following items: Menu, Home, Strangeness, Visual Analysis, and Large Scale Analysis. A red arrow points from the 'Large Scale Analysis' item to a white text box with blue text that reads: 'Il secondo esercizio permette di estrarre le caratteristiche delle particelle mediante fit alla distribuzione di massa invariante'. The main content area of the website has a dark red header with 'ALICE Masterclass' and 'EN' (English) on the right. Below the header, it says 'Welcome to the ALICE Masterclass!'. There is a large 3D cutaway diagram of the ALICE detector on the right side of the page. On the left side of the main content, there is introductory text about the ALICE Collaboration and the quark-gluon plasma phase of matter.

# Fare il FIT di una distribuzione

Fare il fit di una distribuzione significa **confrontare la distribuzione dei dati con una funzione teorica calcolata secondo un modello.**

La funzione ha dei **parametri** liberi, sconosciuti a priori dalla teoria. Questi parametri vengono trovati e calcolati tramite la procedura di fit in modo che **la funzione riproduca al meglio i dati sperimentali.**



# Fare il FIT di una distribuzione

Fare il fit di una distribuzione significa **confrontare la distribuzione dei dati con una funzione teorica calcolata secondo un modello.**

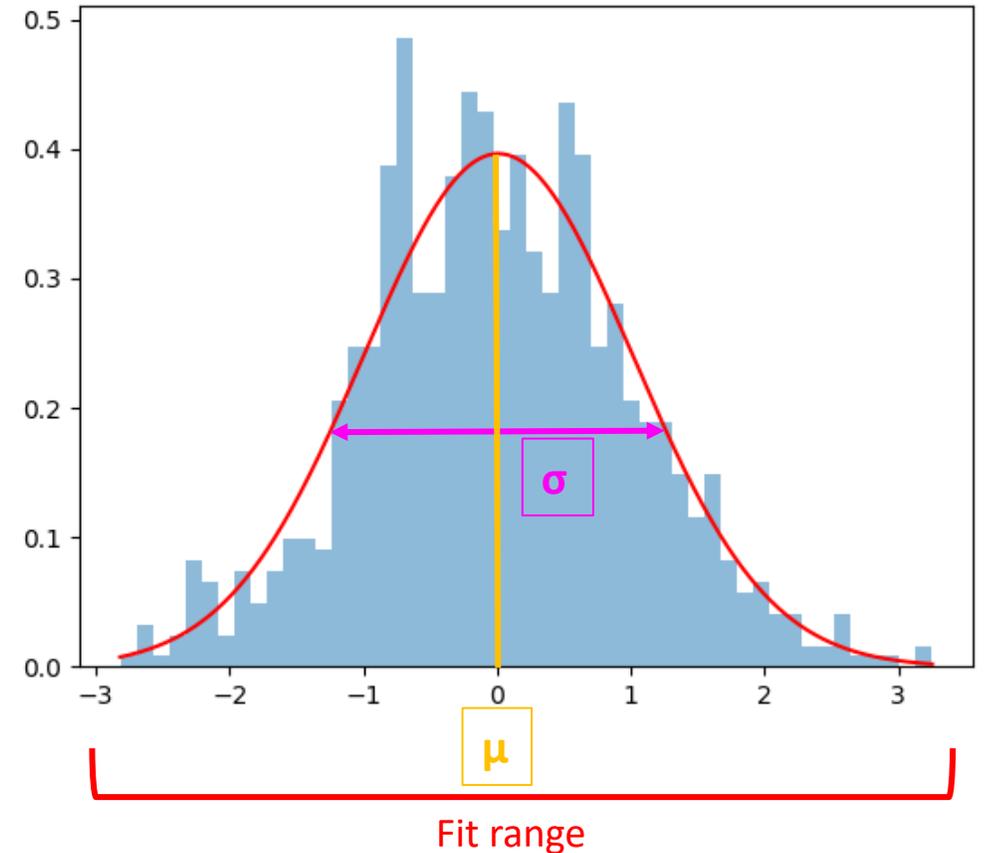
La funzione ha dei **parametri** liberi, sconosciuti a priori dalla teoria. Questi parametri vengono trovati e calcolati tramite la procedura di fit in modo che **la funzione riproduca al meglio i dati sperimentali.**

## Perché facciamo il fit?

- I parametri (come  $\mu$  e  $\sigma$ ) calcolati dal fit possono validare o meno un modello teorico.
- Tramite i parametri del fit si possono calcolare altre quantità sperimentali.

## Dove facciamo il fit?

Il fit si fa solo nell'intervallo in cui si vogliono stimare i parametri di interesse e in cui ci aspettiamo il segnale fisico → il **Fit range** deve essere deciso caso per caso...

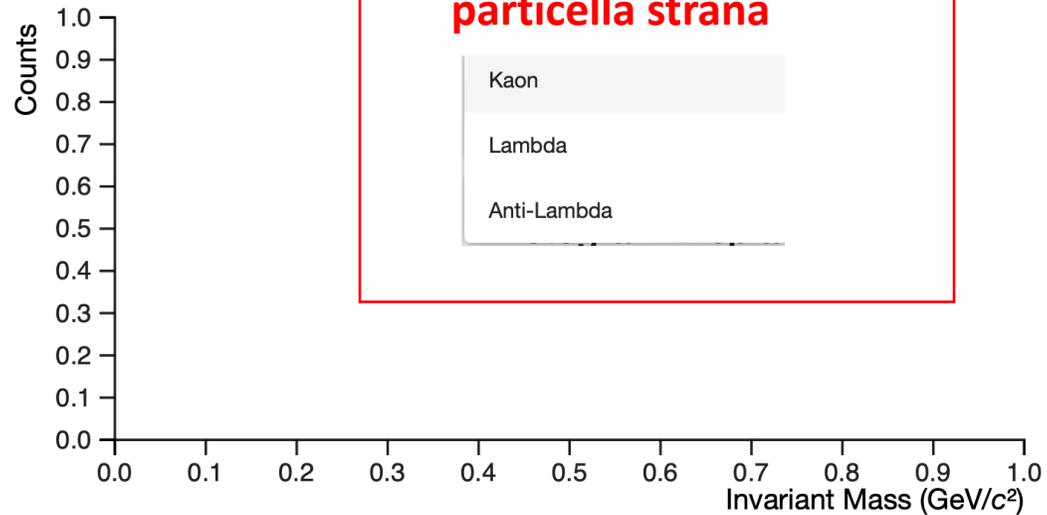


# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

## Histogram Selector

Select particle type ▼ Select collision & centr... ▼ Open histogram

## Histogram Display



## Results

Type	Collision	Centrality	Signal
Items per page: 5 0 of 0  < < > >			

## Fit Selector

Signal 0 1  Fit

Backg. 0 1  Accept

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

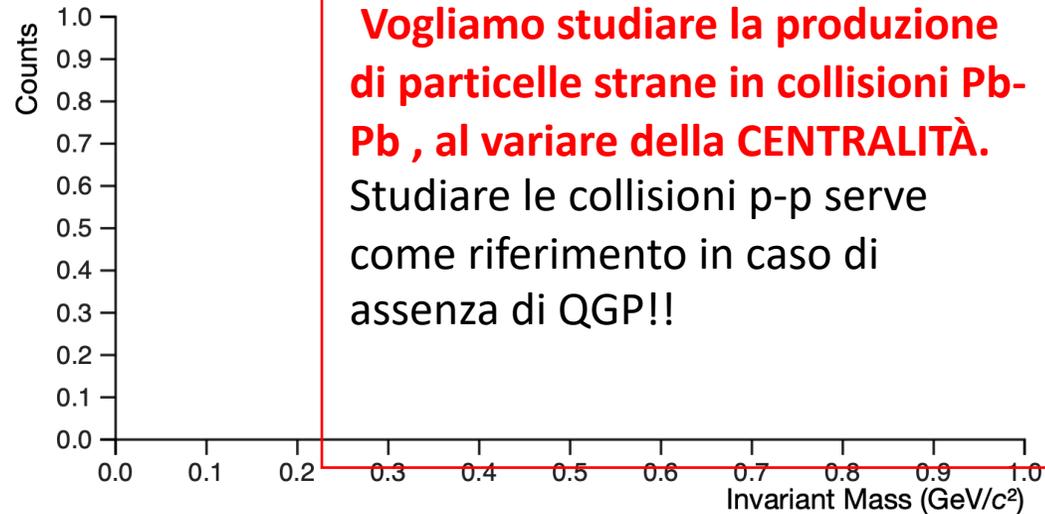
## Histogram Selector

Select particle type

Select collision & centr...

Open histogram

## Histogram Display



**2) Selezionare il tipo di dati :  
Vogliamo studiare la produzione  
di particelle strane in collisioni Pb-  
Pb , al variare della CENTRALITÀ.  
Studiare le collisioni p-p serve  
come riferimento in caso di  
assenza di QGP!!**

pp 0%  
Pb-Pb 0% - 10%  
Pb-Pb 10% - 20%  
Pb-Pb 20% - 30%  
Pb-Pb 30% - 40%  
Pb-Pb 40% - 50%

Centrality

Signal

Items per page: 5

0 of 0

< < > >

## Fit Selector

Signal 0

1

Fit

Backg. 0

1

Accept

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

## Histogram Selector

Select particle type

Kaon

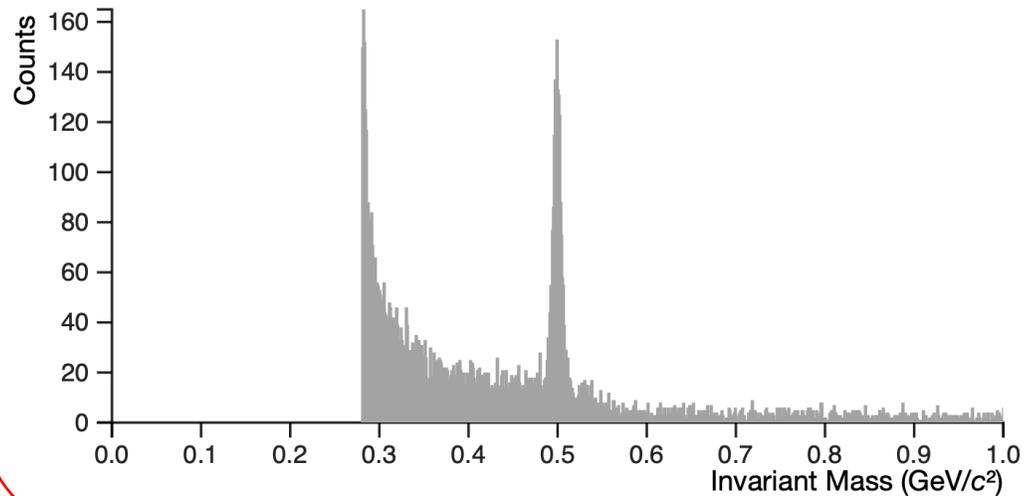
Select collision & centrality

Pb-Pb 40% - 50%

Open histogram

3) cliccate su "Open histogram" ...  
E vi apparirà un istogramma

## Histogram Display



## Results

Type

L'istogramma rappresenta il numero di conteggi per Massa invariante.

se c'è stato un decadimento, la massa invariante ha un **picco proprio in corrispondenza della massa della particella iniziale**

## Fit Selector

Signal	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Fit
Backg.	0	1	<input type="checkbox"/>	Accept

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

## Histogram Selector

Select particle type

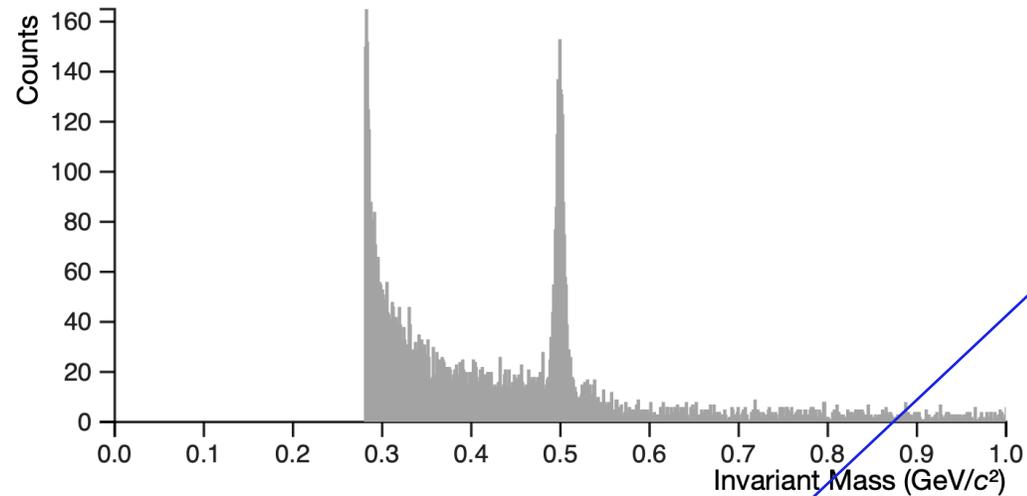
Kaon

Select collision & centrality

Pb-Pb 40% - 50%

Open histogram

## Histogram Display



**Il SEGNALE che ci interessa è proprio il picco, mentre il resto è il background!**

Quindi:

- **Separiamo il segnale dal background**
- **Troviamo il numero di particelle strane prodotte nella collisione**

**COME? Facciamo un FIT**

## Fit Selector

Signal

0

1

Backg.

0

1

Fit

Accept

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

## Histogram Selector

Select particle type

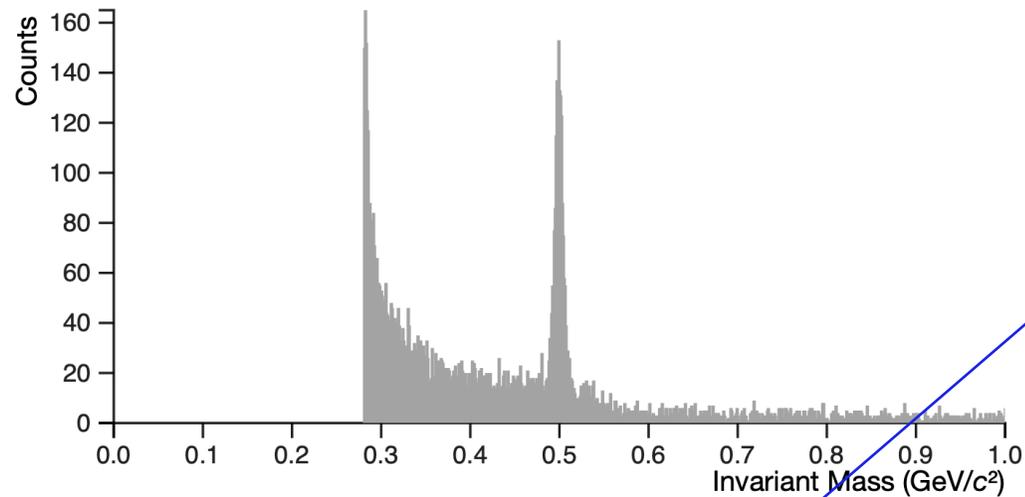
Kaon

Select collision & centrality

Pb-Pb 40% - 50%

Open histogram

## Histogram Display



- 1) Muovere i due estremi per scegliere il range in cui il fit viene fatto
- 2) Ripetere la procedura per il segnale e per background
- 3) I due range sono diversi!
- 4) Cliccare sul bottone rosso "Fit"

## Fit Selector

Signal

0



1



Backg.

0



1



Fit

Accept

# Istruzioni pratiche- secondo esercizio

## Histogram Selector

Select particle type

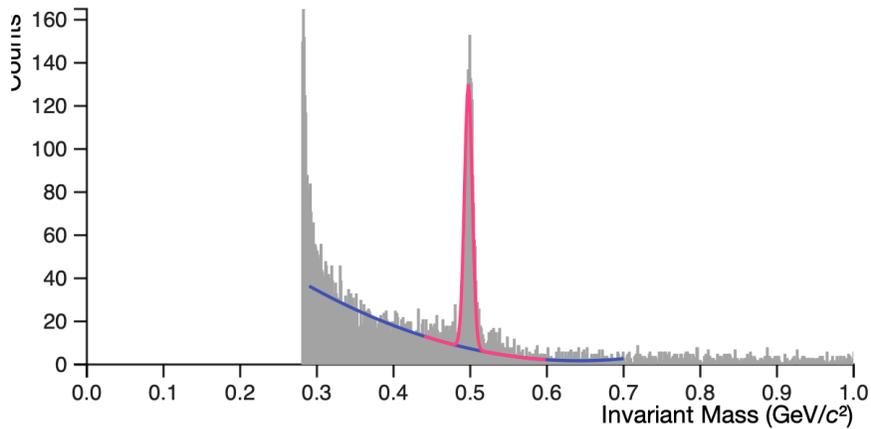
Kaon

Select collision & centrality

Pb-Pb 40% - 50%

Open histogram

## Histogram Display



Total: 3092

Signal:  $2138 \pm 10$

Background: 954

$\mu$  : 0.4976

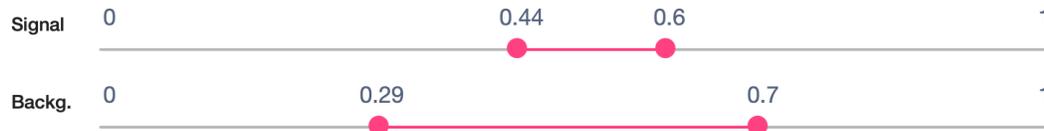
$\sigma$  : 0.0051

## Results

Type	Collision	Centrality	Signal
Kaon	Pb-Pb	40% - 50%	2138

- 1) Variate il range fino a che il fit non riproduce al meglio l'istogramma dei dati
- 2) Quando il fit è pronto, cliccate sul Bottone "Accept"
- 3) Nella lista dei risultati apparirà il risultato del fit + cliccate per l'upload del risultato
- 4) Ripetete la stessa procedura per diverse collisioni, centralità e tipo di particella

## Fit Selector

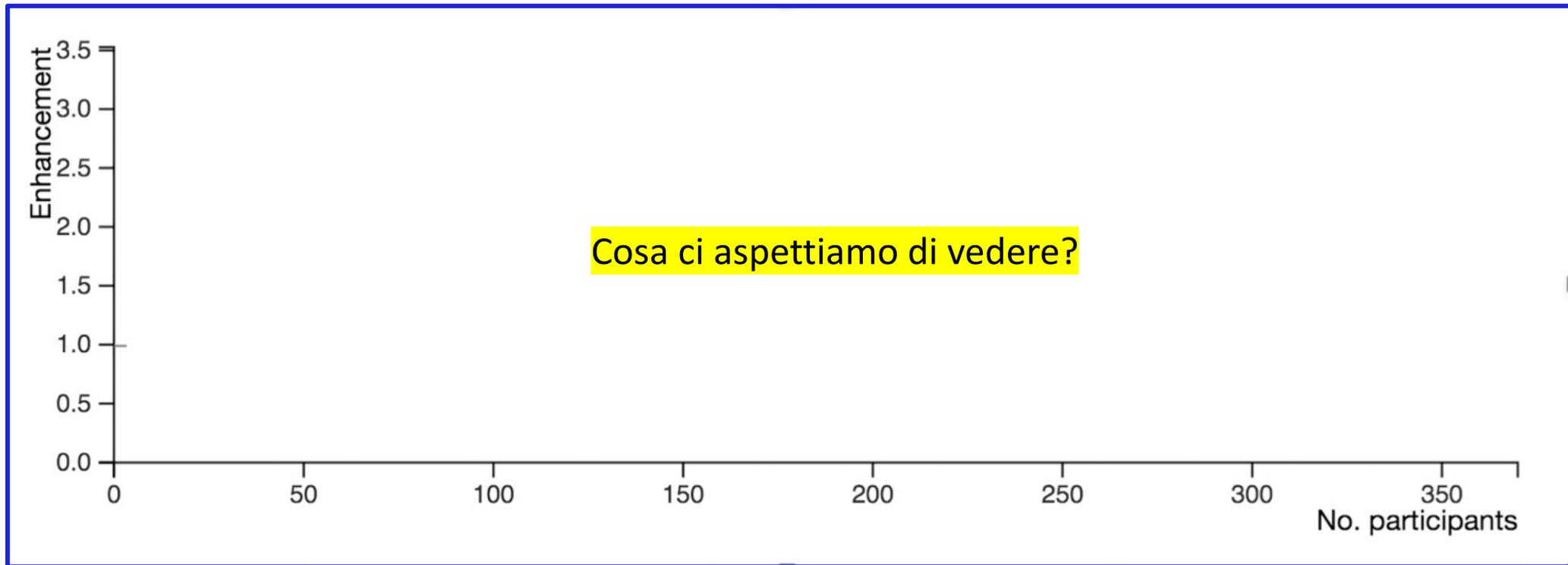


Fit

Accept

# Calcoliamo l'aumento di stranezza

Tutti i vostri risultati saranno poi uniti per calcolare il grafico l'aumento di stranezza!



# Ora tocca a voi!