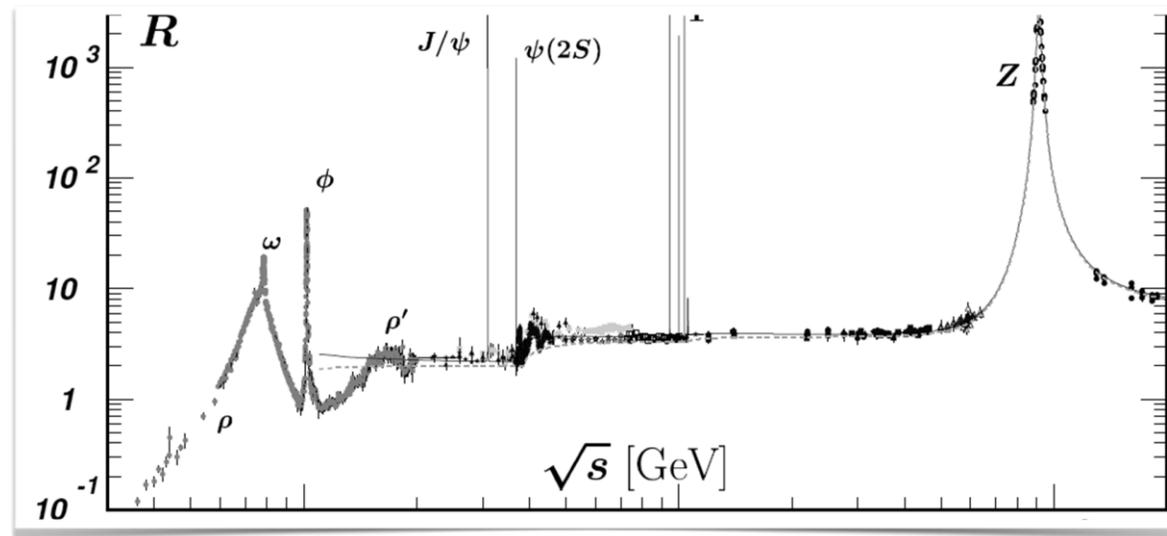


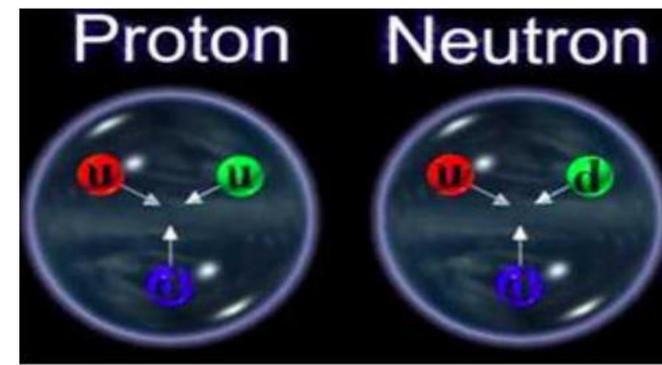
Quanti colori hanno i quarks ?

Esercizio con i dati dell'esperimento Belle II:

Misura del numero di colori dei quark a partire dal rapporto R



Il rapporto R



$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{N(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} = 3 \sum_i Q_i^2$$

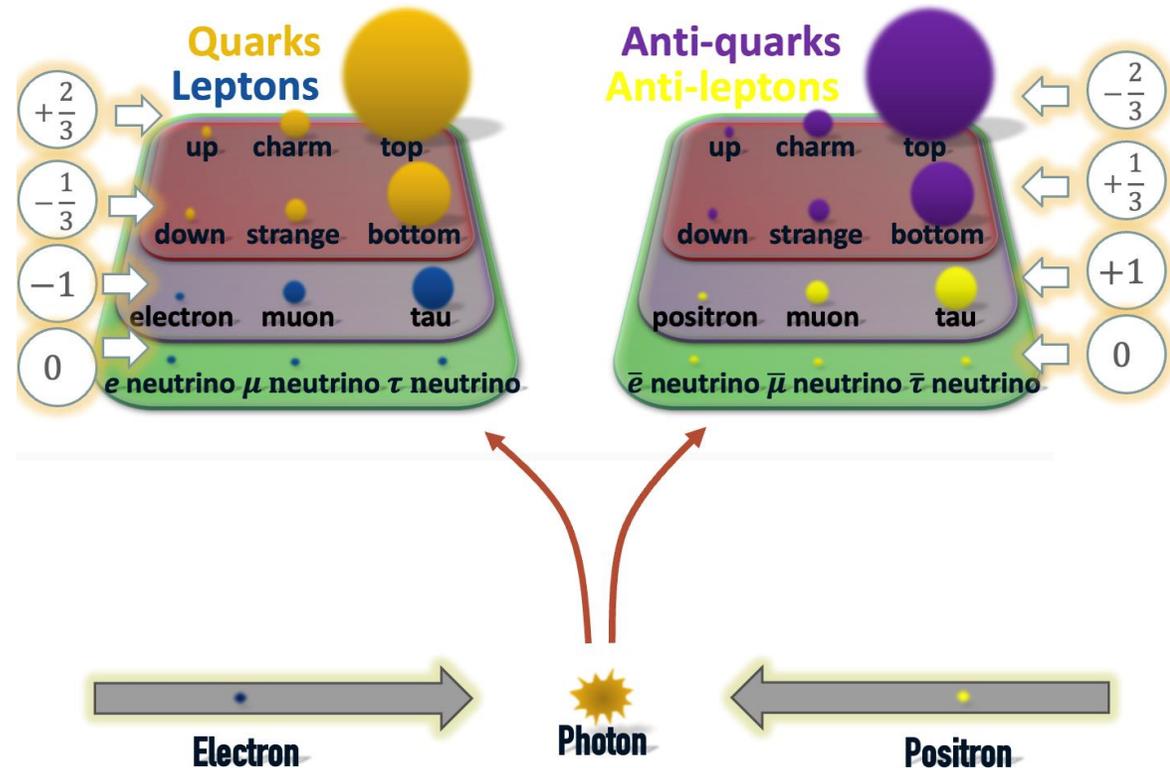
Numero di «colori»: l'equivalente della carica nell'interazione «forte», che tiene insieme gli adroni

Somma dei quadrati delle cariche ELETTRICHE dei quark che formano gli adroni prodotti: 2/3 per quark di tipo «up», 1/3 per quark di tipo «down»

Energy	Ratio R
$\sqrt{s} > 2m_s \sim 1 \text{ GeV}$	$3\left(\frac{4}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9}\right) = 2$ u,d,s
$\sqrt{s} > 2m_c \sim 4 \text{ GeV}$	$3\left(\frac{4}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{4}{9}\right) = 3.1111$ u,d,s,c
$\sqrt{s} > 2m_b \sim 10 \text{ GeV}$	$3\left(\dots + \frac{1}{9}\right) = 3.6667$ u,d,s,c,b

Le collisioni elettrone-positrone a Belle II

- $e^+e^- \rightarrow$ “pure energy” \rightarrow particle/antiparticle
- Lepton pairs:
 - Electron-positron events
 - Muon-antimuon events
 - Tau-antitau events
- Quark pairs:
 - Light quark-antiquark events
 - $b\bar{b}$ quark events



Non si producono quark top perché la loro massa è molto superiore all'energia disponibile

Cosa misureremo oggi

$$R = \frac{N(\text{light quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{muons}) + N(\text{taus})]} = N_C \cdot \frac{10}{9}$$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2} [N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-)]}$$

$$N_C = \frac{9}{10} \cdot R$$

Perché non si usano anche eventi e^+e^- ed eventi $\bar{b}b$?

- Gli elettroni e positroni iniziali hanno spesso anche interazioni di «diffusione» (scattering in inglese), il cui prodotto finale è di nuovo una coppia e^+e^- , che però non sono annichilazioni e non vanno contate in R.
- L'energia di collisione di SuperKEKB è scelta per produrre uno stato risonante $\bar{b}b$, che sono quindi gli eventi dominanti a quella specifica energia. Questi eventi si potrebbero includere nella misura di R solo lontano dai picchi di risonanza.



Intermezzo di cultura giapponese

- Giappone in lingua originale è 日本 (pron. Nihon o Nippon) 
- E' un'isola *composta* da circa 7000 isole! 
- Il capo di stato è l'imperatore (天皇 tennō)
- Al contrario di quanto si potrebbe pensare Tokyo non è la capitale del Giappone: non esiste una legge che designi una città come capitale del Giappone
- Gli anni sono indicati a partire dall'ascesa al trono dell'imperatore in carica. Il periodo di regno, detto «era» ha un nome, anche nei documenti ufficiali. Quello attuale (imperatore Naruhito) si chiama «Heisei» e significa «raggiungimento della pace»

箸
Hashi



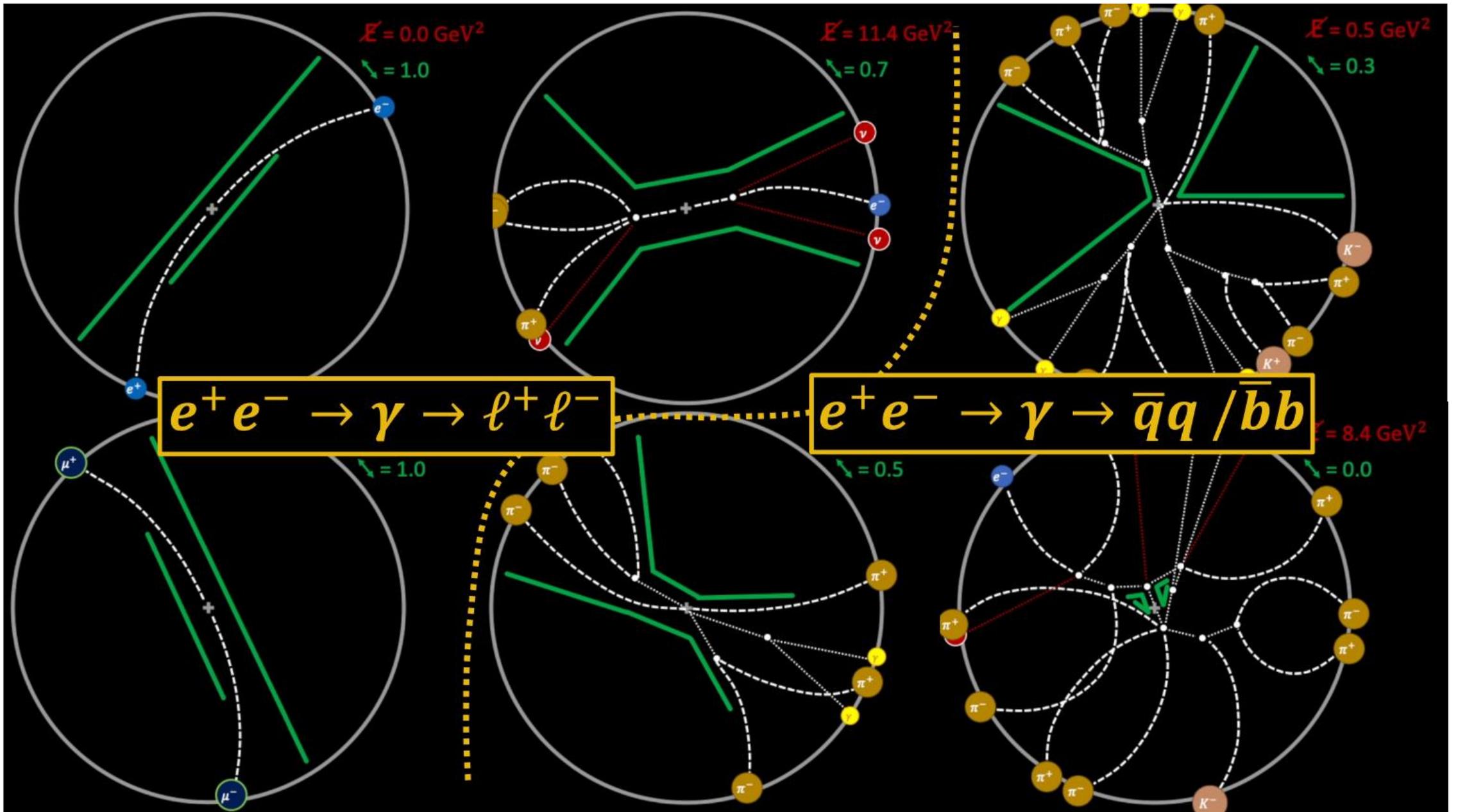
猫
Neko



花
Hana



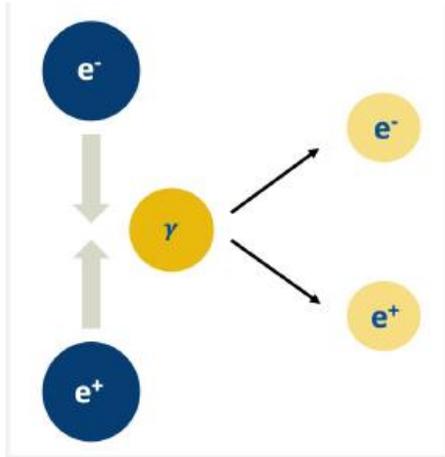
Riconosceremo gli eventi dalle loro proprietà topologiche ed energetiche



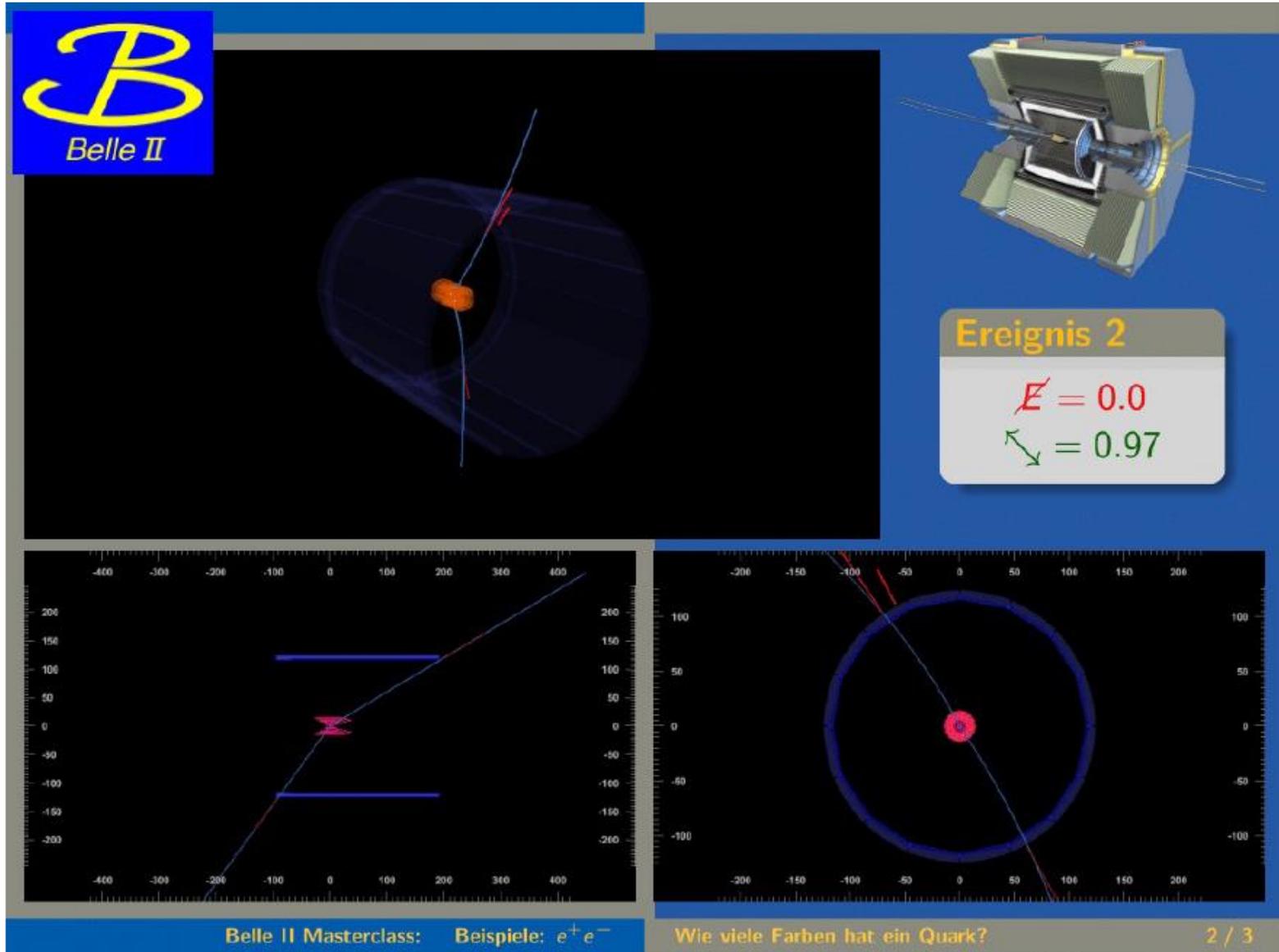
Riconosceremo gli eventi dalle loro proprietà topologiche ed energetiche

- Numero di tracce provenienti dalla zona di interazione: passaggio di particelle cariche
- Segnali lasciati nel calorimetro elettromagnetico (linee rosse) e/o nel rivelatore di muoni (rettangoli verdi)
- Energia mancante nell'evento rispetto a quella fornita dai fasci iniziali
- «collinearità» dell'evento: 1 per eventi disposti lungo una linea, 0 per eventi «sferici». E' una variabile che si costruisce a partire dalle direzioni e dagli impulsi degli eventi

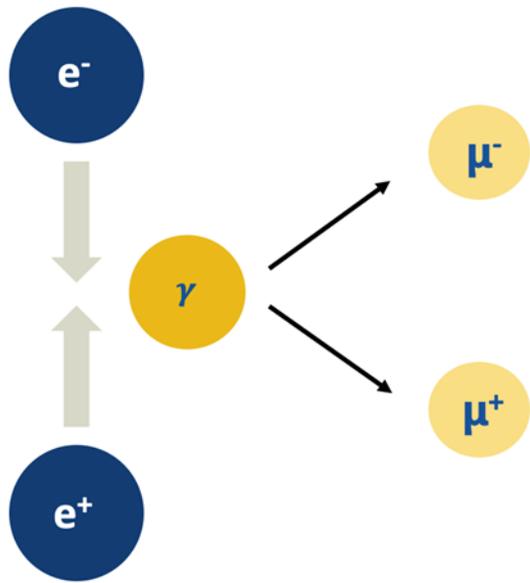
Eventi elettrone positrone



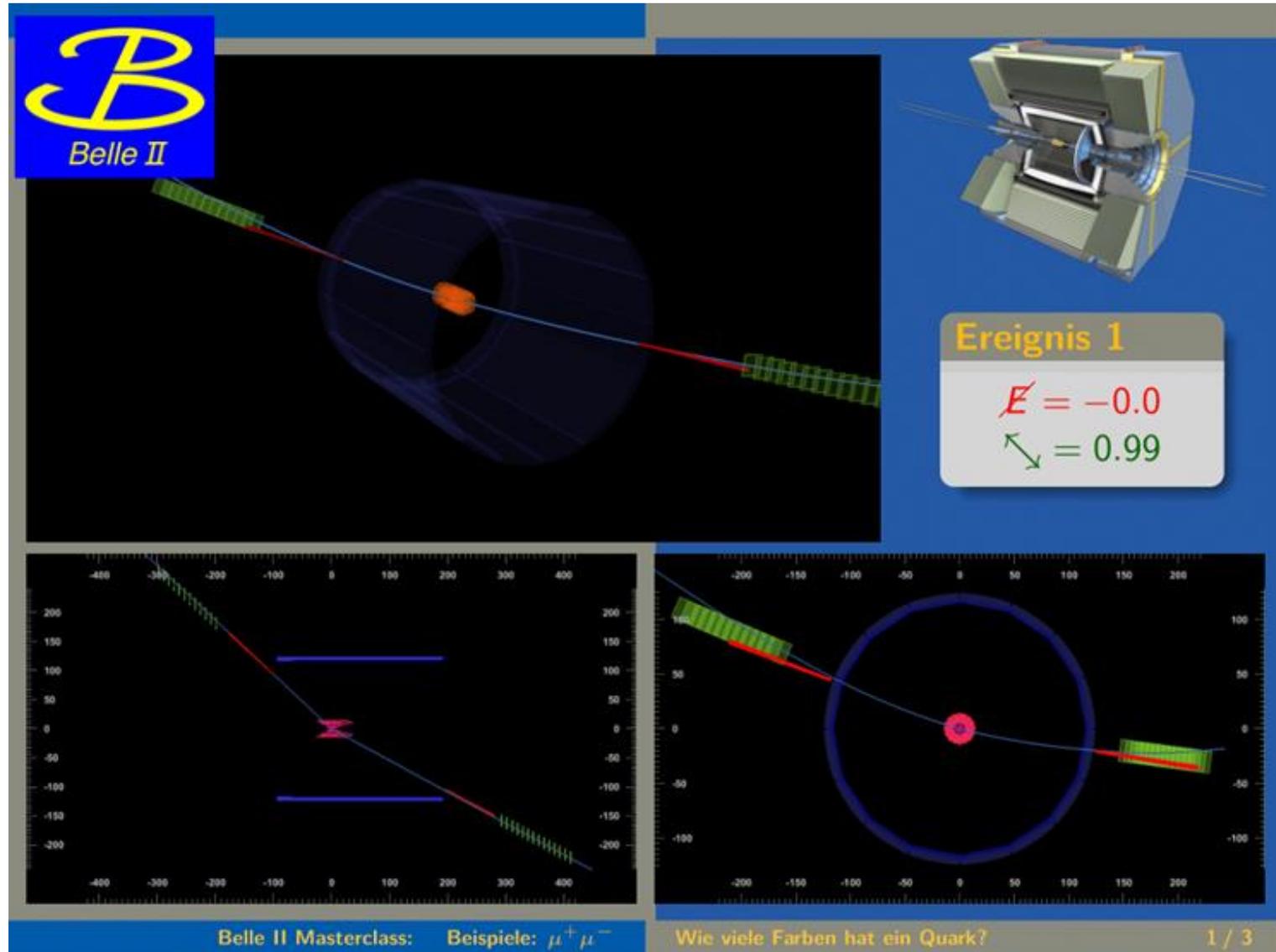
- 2 tracce ben visibili di opposta curvatura
- Entrambe lasciano segnale nel calorimetro elettromagnetico



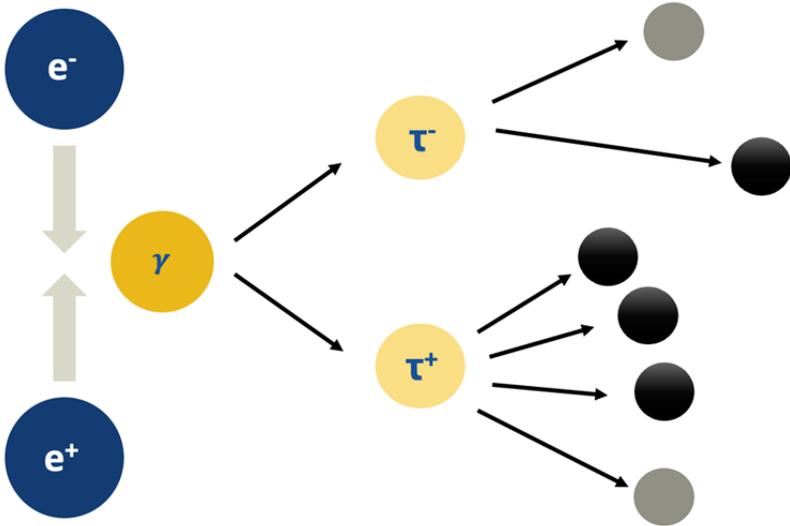
Eventi muone anti-muone



- 2 tracce ben visibili di opposta curvatura
- Entrambe lasciano segnale nel rivelatore di muoni
- Spesso anche nel calorimetro elettromagnetico

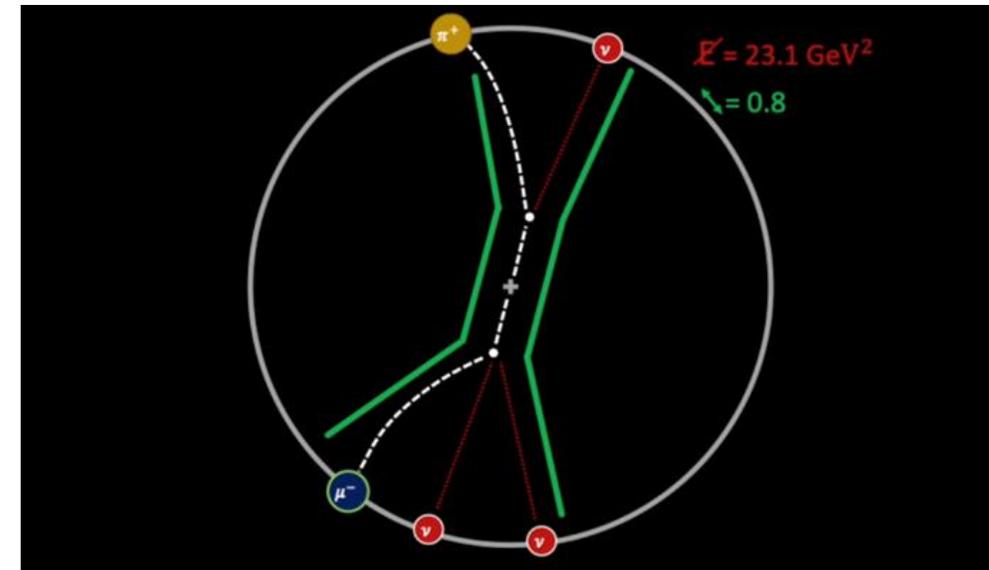


Eventi tau anti-tau



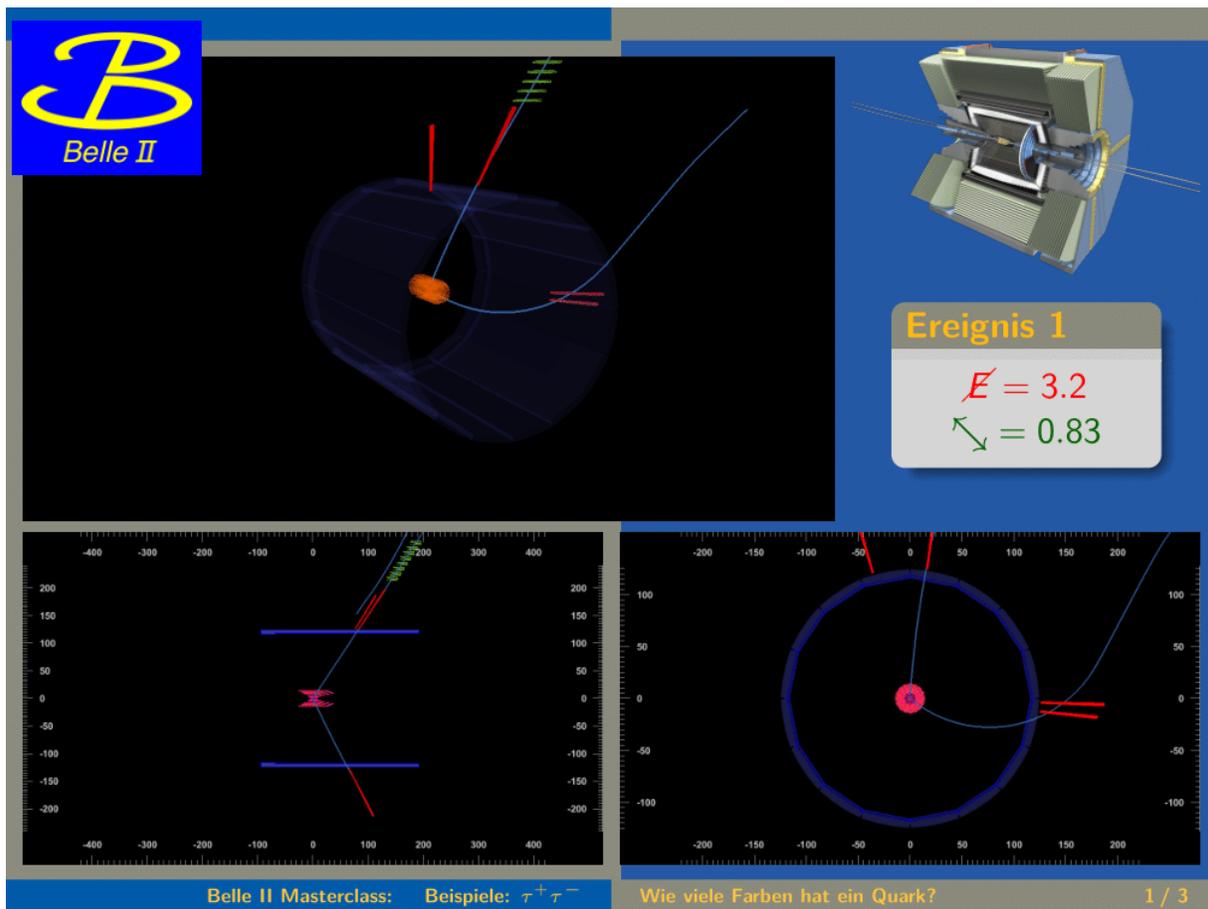
- I tau decadono subito dopo la loro produzione, all'interno del rivelatore.
- Ci sono molti possibili canali di decadimento. Due topologie principali:
 - Un elettrone o un muone + **neutrini**
 - Quarks leggeri + **neutrini**

- I neutrini non interagiscono nel rivelatore, ma si portano via una parte dell'energia disponibile:
 - ➔ **gli eventi tau hanno grande energia mancante**
- **Il numero di tracce varia fra 2 e 4-5.**
- Le tracce isolate sono elettroni (segnale in rosso nel calorimetro elettromagnetico) o muoni (segnale in verde nel rivelatore di muoni)
- **La collinearità ha valori intermedi, di solito > 0.6**

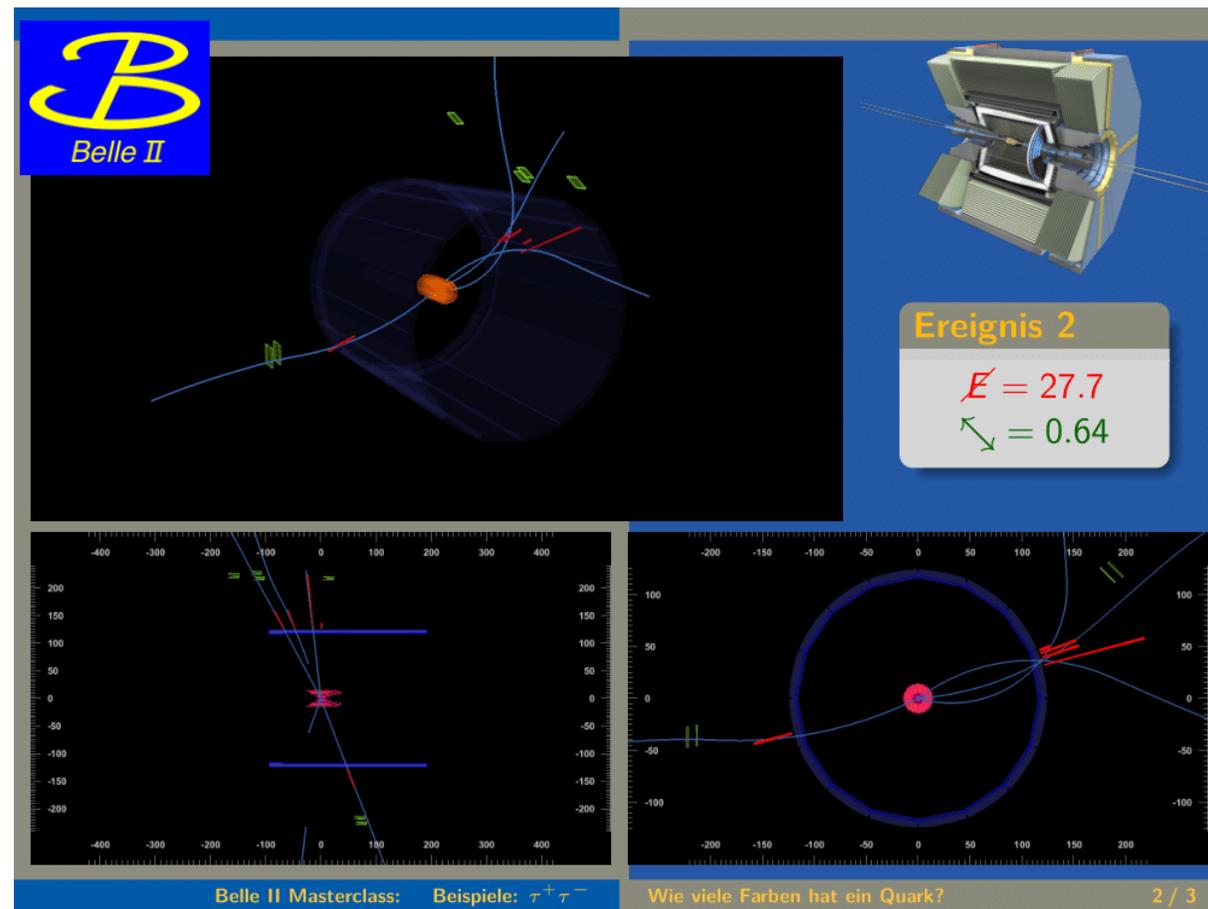


Esempi di eventi tau anti-tau

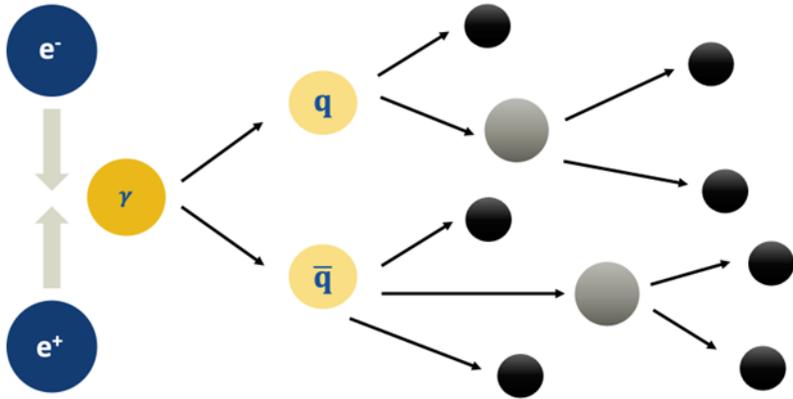
Un tau in elettrone ed uno in muone:



Un tau in muone ed uno in adroni:



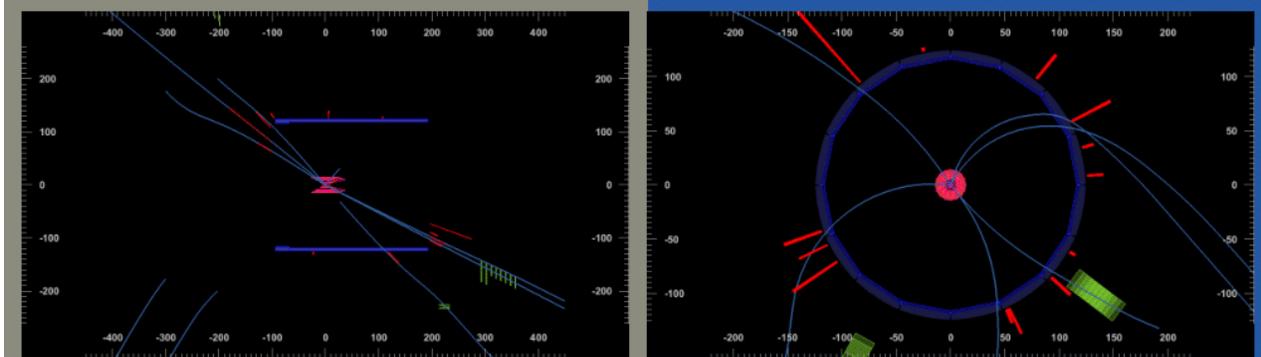
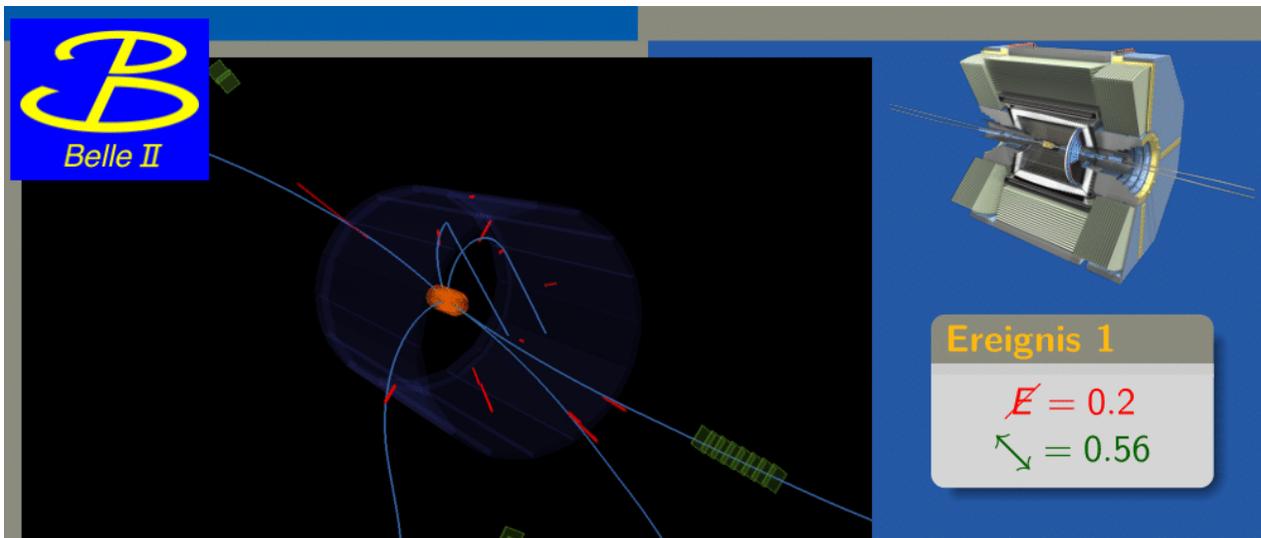
Eventi in quark anti-quark leggeri



Decadono in una grande varietà di stati finali

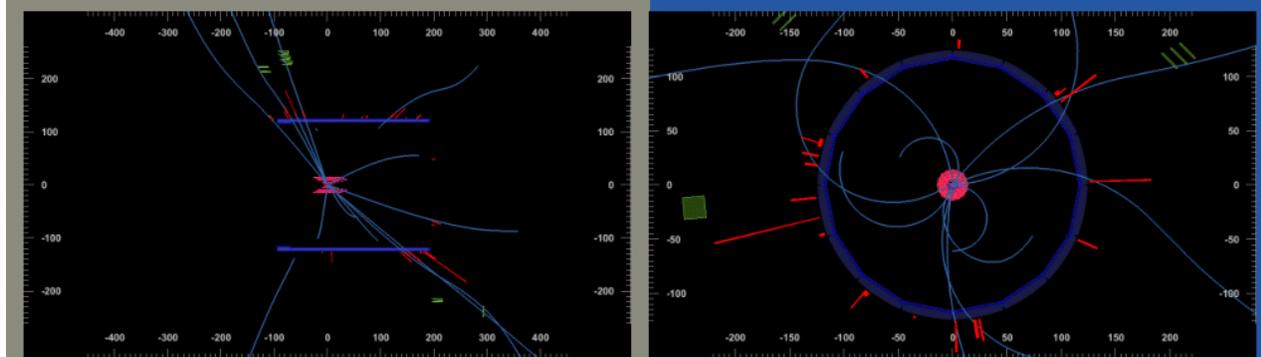
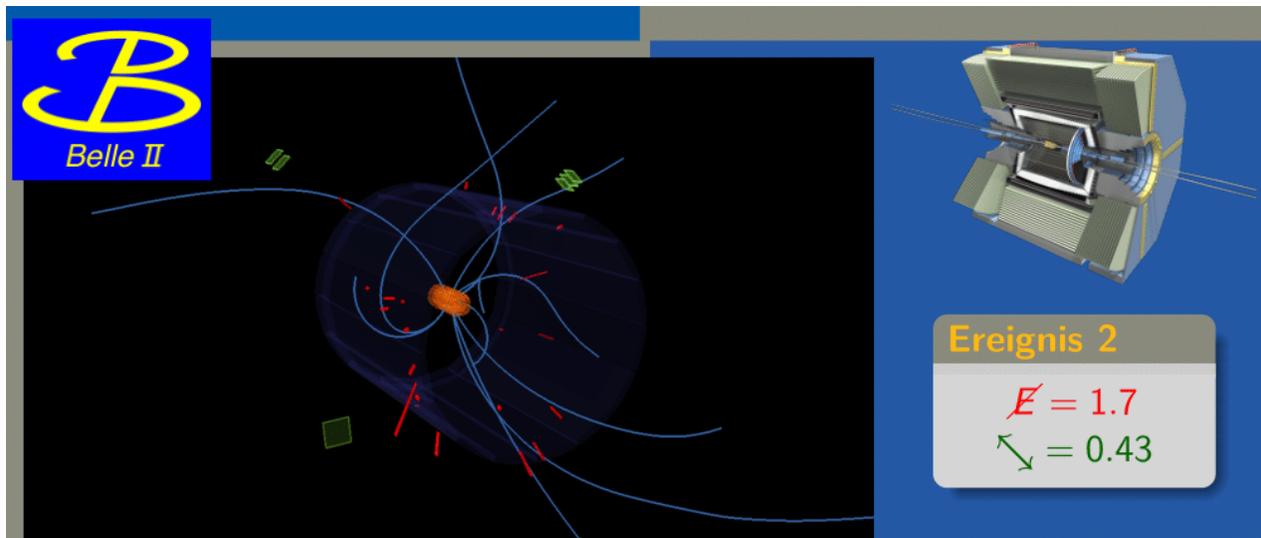
- Producono un numero di tracce spesso elevato (da un minimo di 3 fino a più di 10)
- I neutrini prodotti non sono molti e sono in genere poco energetici → poca energia mancante
- Le particelle finali sono prodotte in varie direzioni → gli eventi sono poco collineari

Esempi di eventi in quark leggeri



Belle II Masterclass: Beispiele: Leichte Quarks

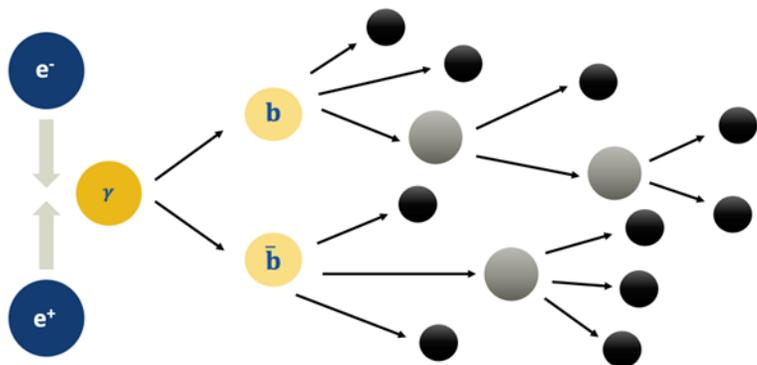
Wie viele Farben hat ein Quark?



Belle II Masterclass: Beispiele: Leichte Quarks

Wie viele Farben hat ein Quark?

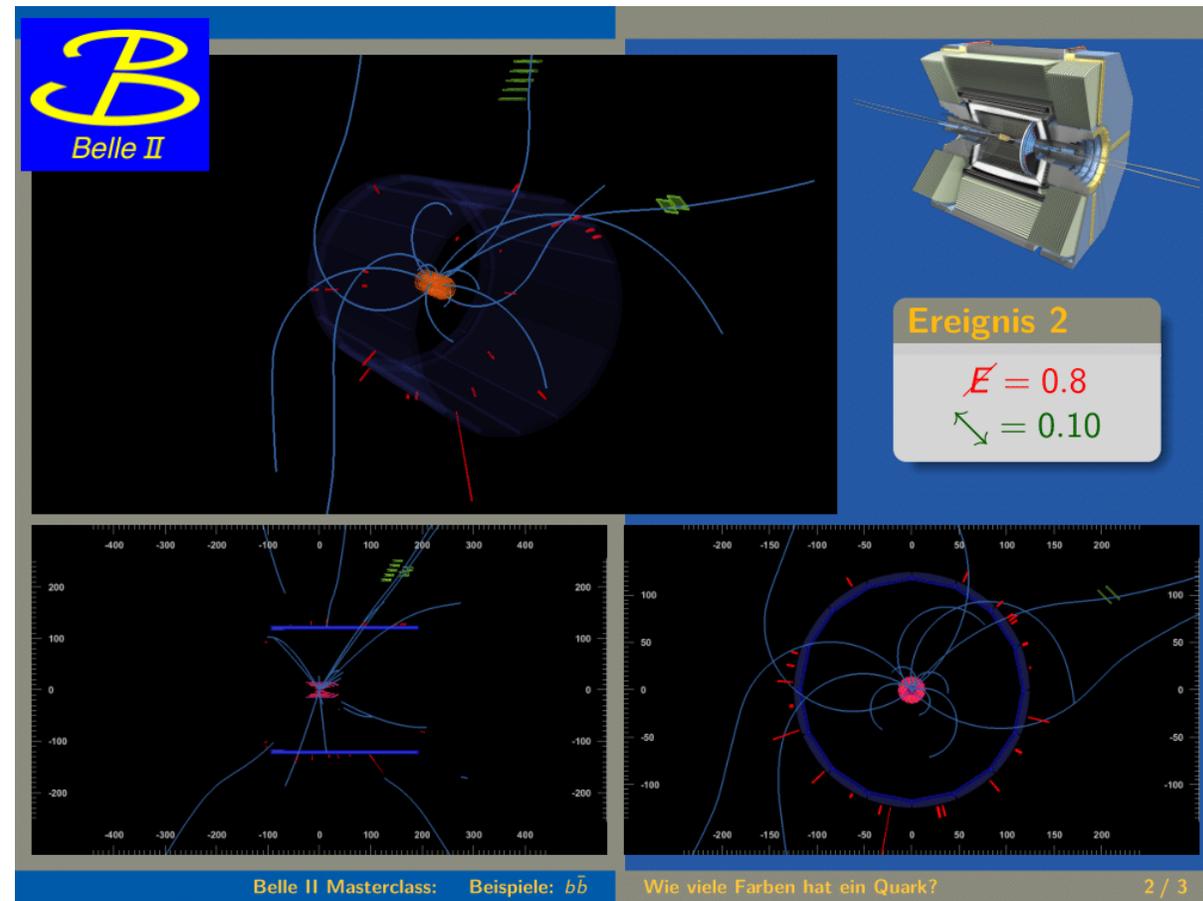
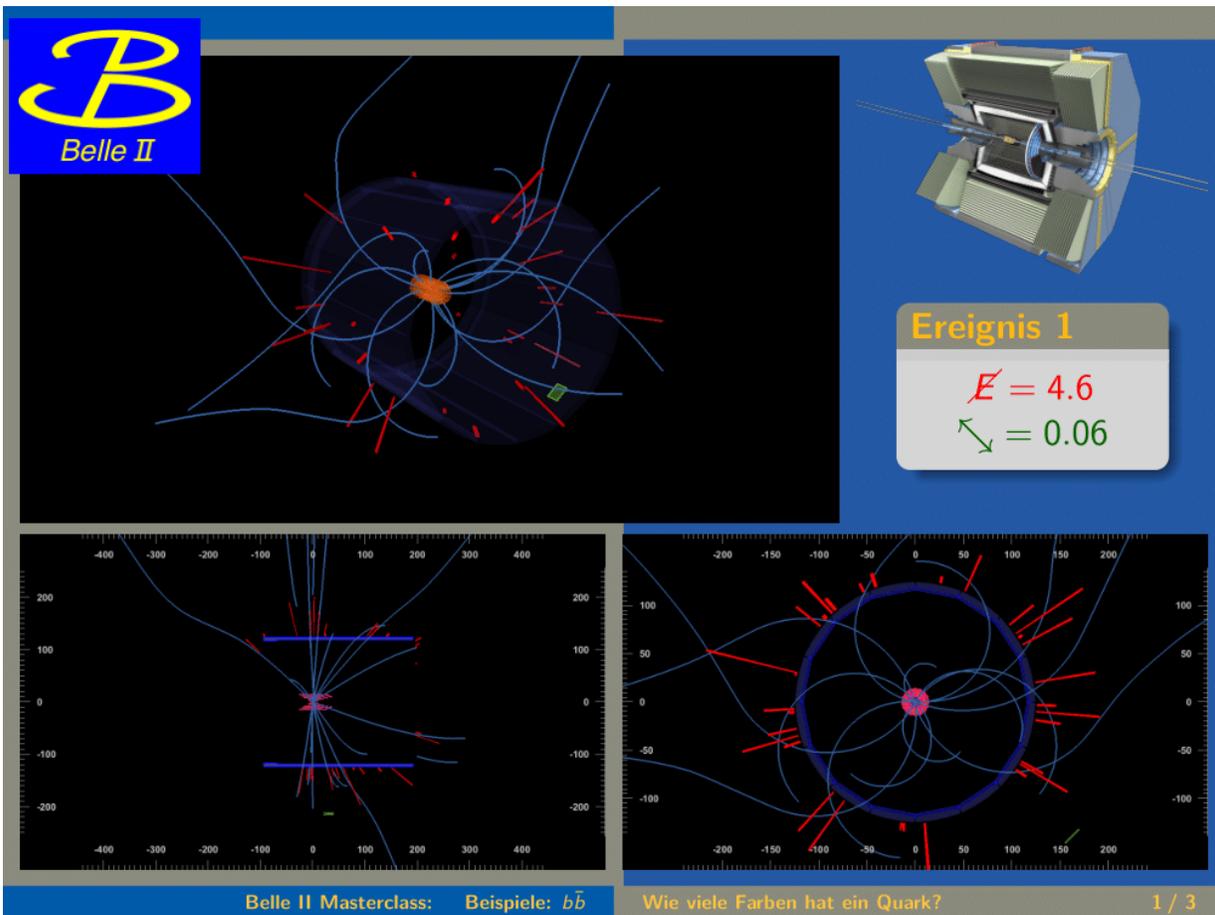
Eventi in quark b anti-b



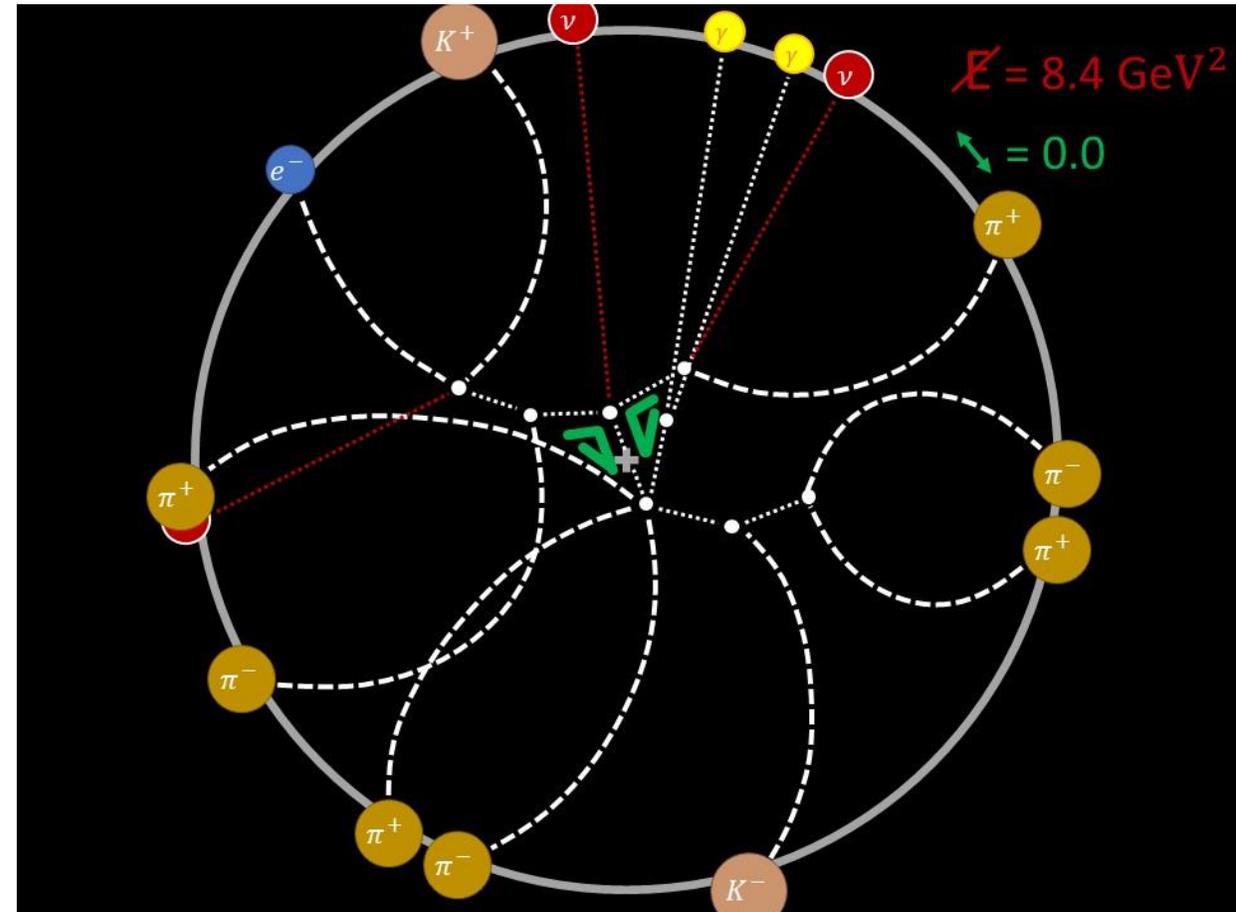
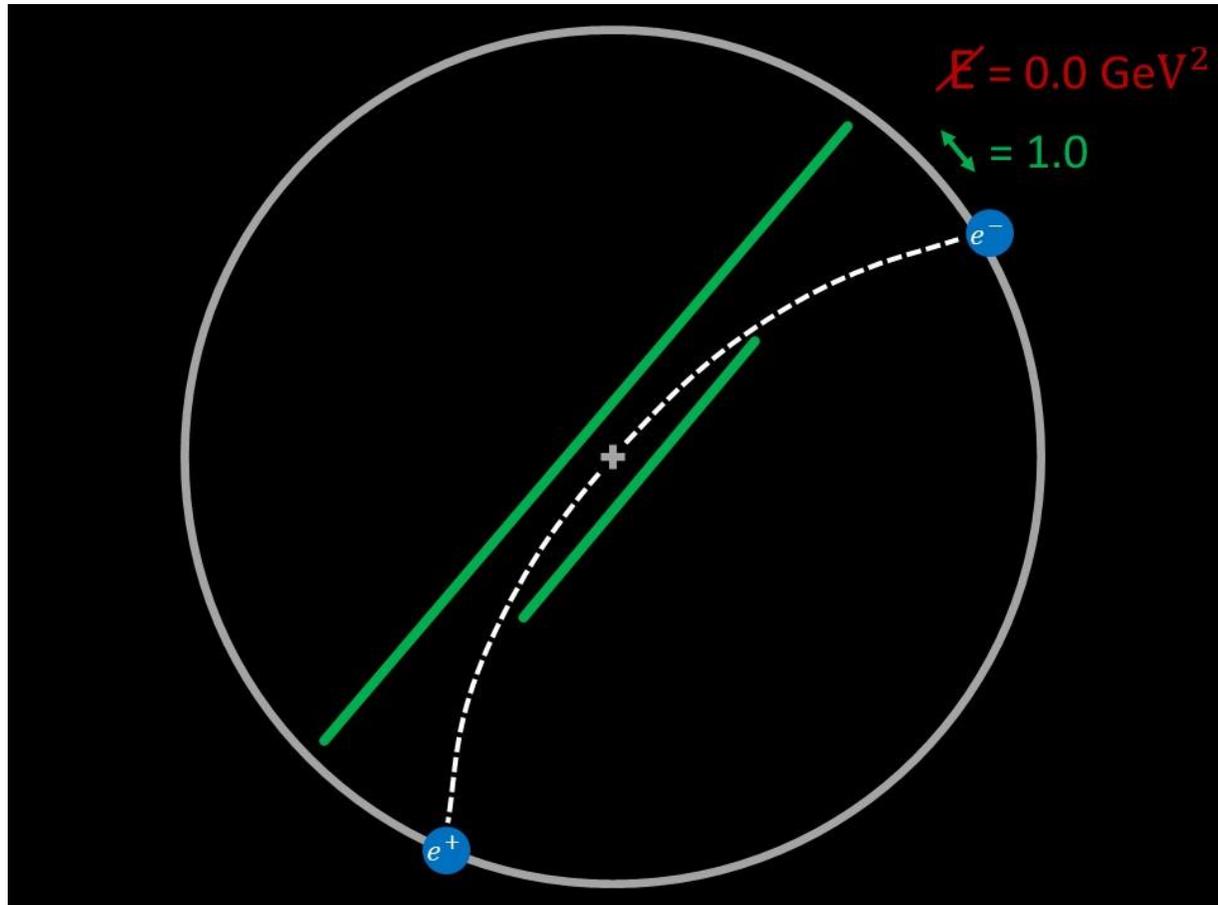
A causa della loro grande massa i mesoni con beauty decadono in stati finali ancora più popolati

- Il numero di tracce è sempre elevato
- I neutrini prodotti possono essere più energetici di quelli prodotti dai quark leggeri: l'energia mancante assume valori non troppo elevati, ma a volte può essere significativa
- Le particelle finali si aprono in tutte le direzioni → gli eventi sono quasi sferici

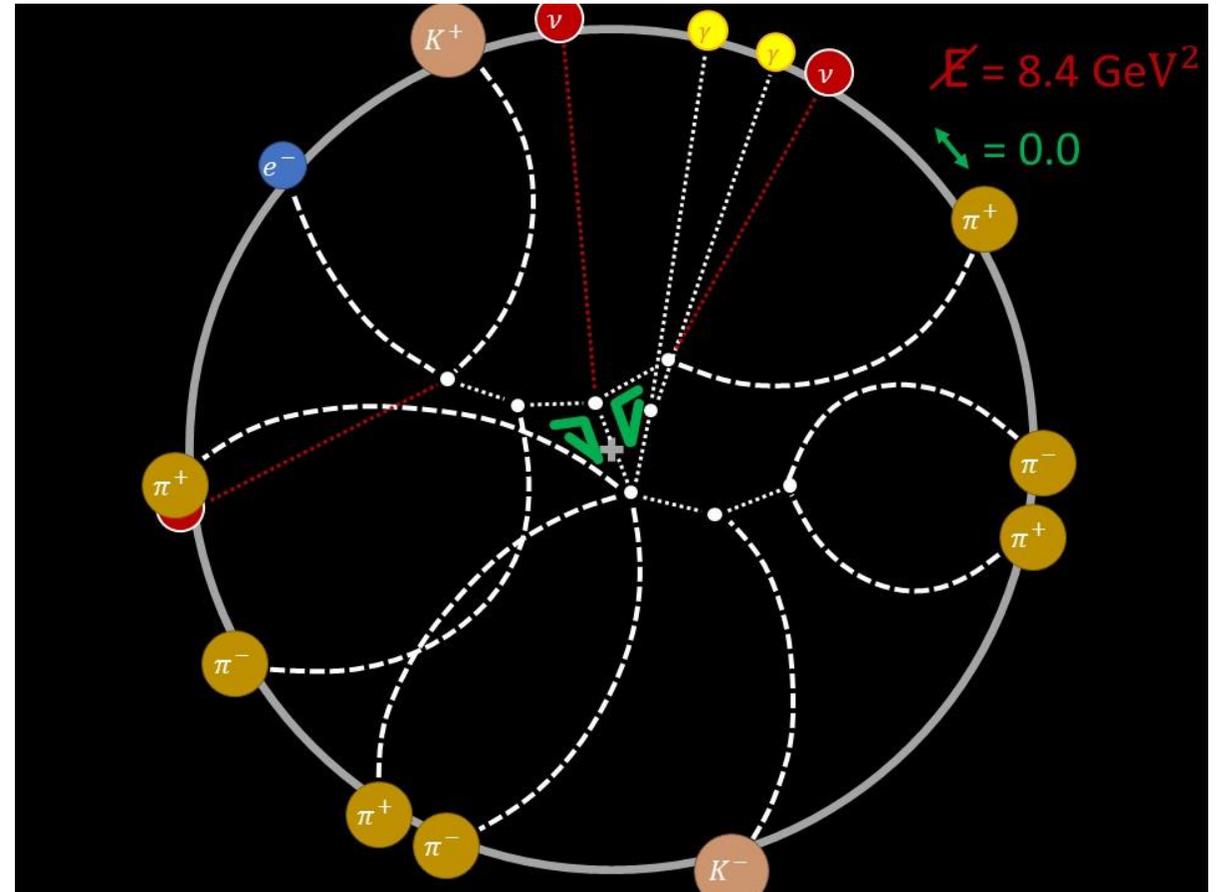
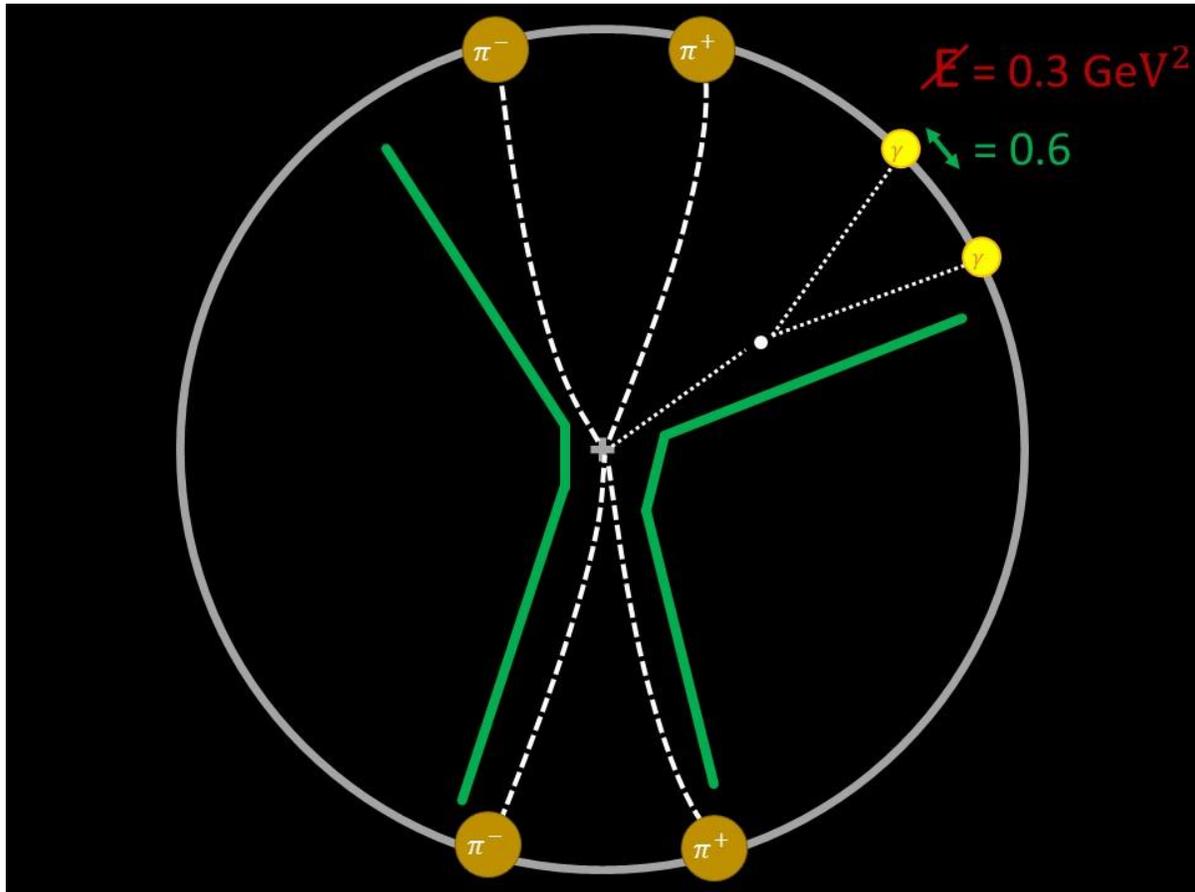
Esempi di eventi in quark b anti-b



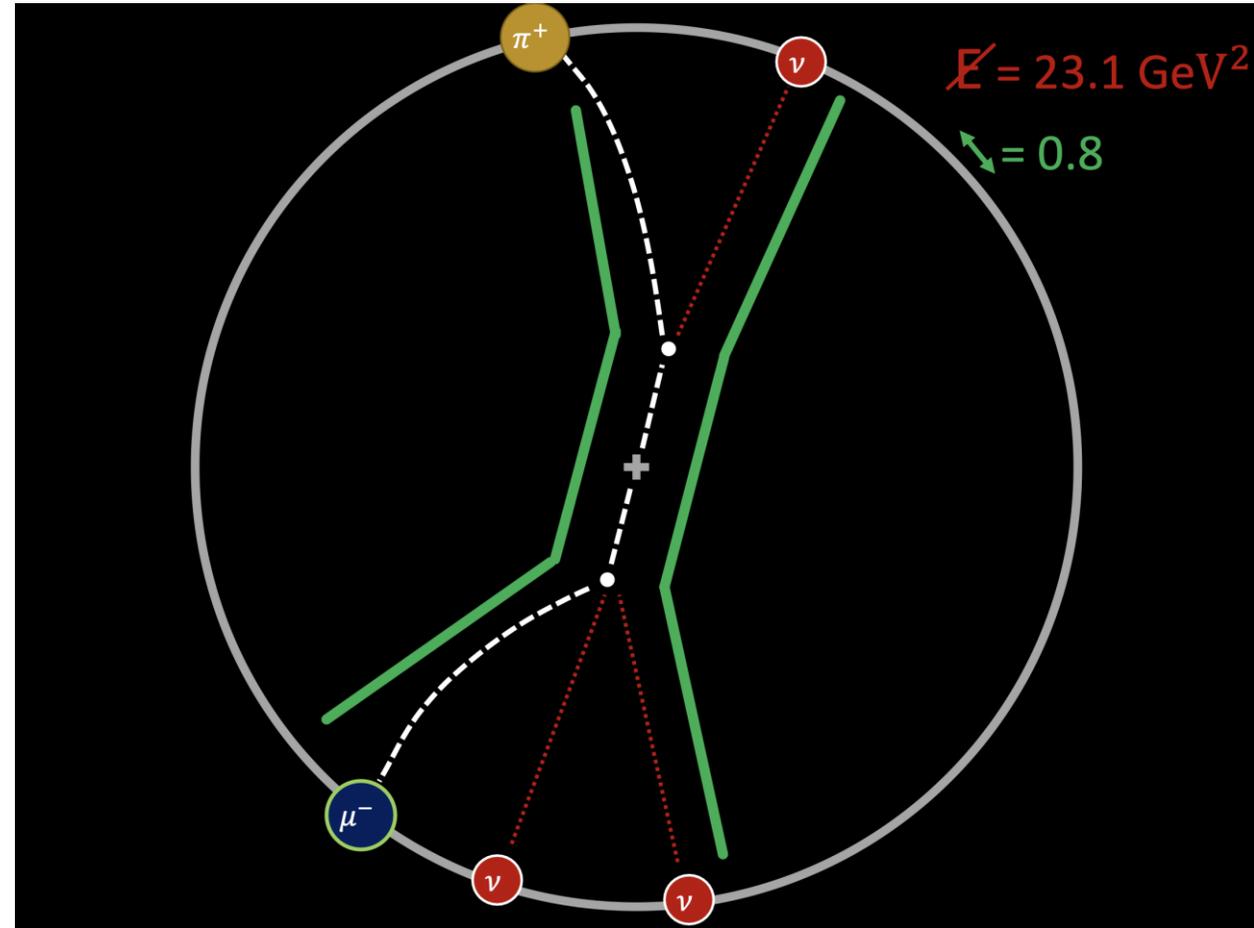
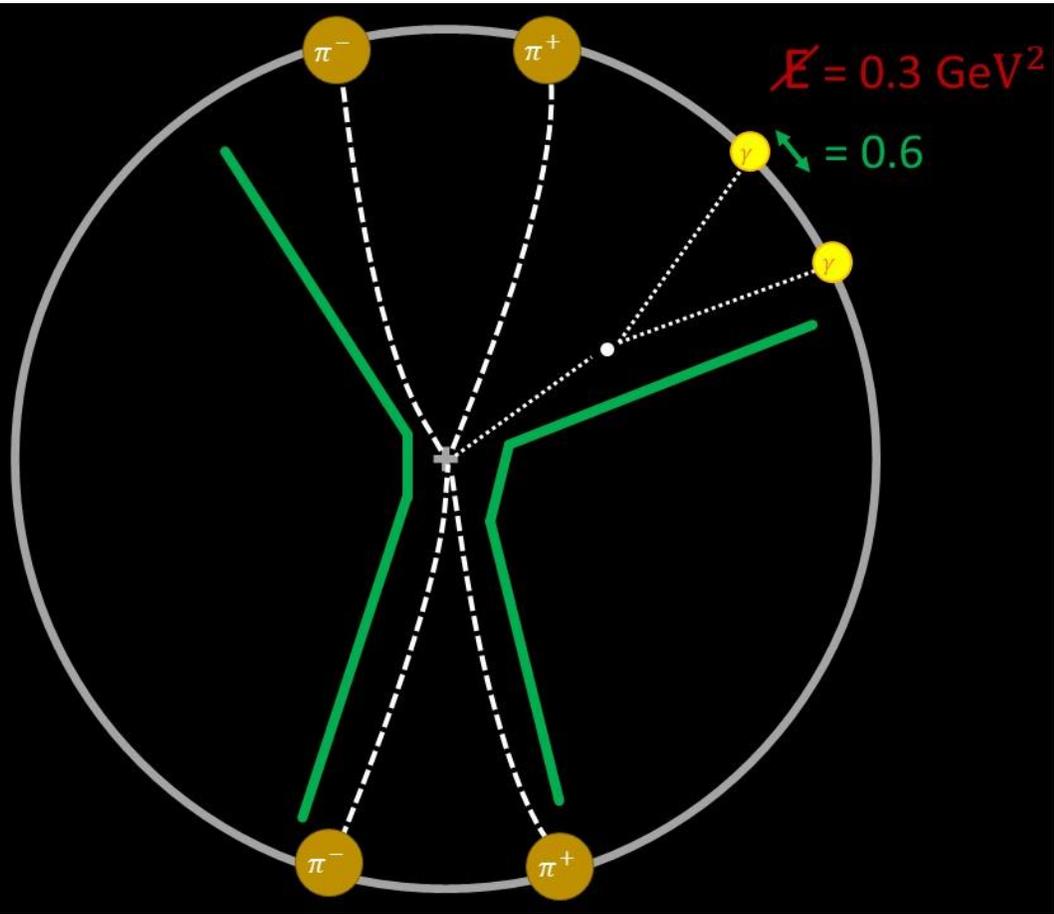
Electrone-positrone vs quark b / anti-b



Quark leggeri vs quark b / anti-b



Quark leggeri vs tau / anti-tau



Un diagramma di flusso riassuntivo per guidare l'analisi

