

Particle Simulation and Analysis

Federico Baldini

2024

Contents

1	Introduzione	3
2	Struttura della relazione	3
3	Struttura del codice	4
4	Generazione dati	5
5	Analisi	6
5.1	Distribuzione delle particelle	6
5.2	Distribuzioni cinematiche	6
5.3	Analisi della risonanza K^*	7
5.4	Analisi grafica	8

1 Introduzione

Questo progetto ha lo scopo di simulare eventi di collisione tra particelle, riproducendo il comportamento di particelle elementari in un ambiente controllato. Attraverso questa simulazione, il programma genera le proprietà fisiche delle particelle (ad esempio: angolo, quantità di moto e tipo) e calcola delle grandezze derivate, come energia e massa invariante. Il risultato della simulazione è analizzato mediante il framework **ROOT**, utilizzato per creare istogrammi e verificare la consistenza dei dati rispetto alle distribuzioni teoriche attese.

Questa simulazione include anche il decadimento di particelle risonanti, come K^* , garantendo la conservazione della quantità di moto e la generazione dei relativi prodotti di decadimento. Lo scopo principale del progetto è studiare i picchi di risonanza, analizzando le masse invarianti e verificando la coerenza delle proprietà distribuite.

2 Struttura della relazione

La relazione è suddivisa nelle seguenti parti:

- **Struttura del codice:** Analisi delle classi implementate ed in particolare su aspetti come ereditarietà ed astrazione, con il fine di garantire modularità e manutenibilità.
- **Generazione dati:** Descrive il processo di simulazione, incluse le distribuzioni delle proprietà cinematiche, la quantità delle particelle ed il confronto tra i valori teorici e quelli osservati.
- **Analisi:** Presenta l'estrazione dei risultati, tra cui le distribuzioni delle masse invarianti ed i risultati dei fit per la verifica delle distribuzioni teoriche.

3 Struttura del codice

Il progetto è organizzato in modo modulare per favorire la riusabilità e la leggibilità del codice. Le principali classi implementate sono:

- **ResonanceType**: Classe base che rappresenta un tipo di particella, contiene informazioni fondamentali come il nome, la massa, la carica e la larghezza di decadimento. Questa classe fornisce un'implementazione comune per tutte le particelle risonanti.
- **ParticleType**: Estende la classe **ResonanceType** aggiungendo funzionalità specifiche per le particelle non risonanti. Questo approccio sfrutta l'ereditarietà per evitare la duplicazione del codice, condividendo proprietà comuni tra i diversi tipi di particelle.
- **Particle**: Classe che rappresenta una singola particella fisica. Contiene attributi come quantità di moto ed energia, ed è in grado di calcolare grandezze derivate, come la massa invariante. Include anche il metodo **Decay2Body**, che simula il decadimento di particelle risonanti.

Queste classi e la loro suddivisione consente di usare caratteristiche tipiche della programmazione ad oggetti, tra le quali:

- **Ereditarietà**: Le proprietà comuni sono definite nella classe **ResonanceType** e riutilizzate da **ParticleType**.
- **Astrazione**: Le operazioni sulle particelle (ad esempio, il calcolo della massa invariante) sono incapsulate in metodi specifici della classe **Particle**, evitando duplicazioni nei calcoli.
- **Organizzazione modulare**: Le classi sono separate in file distinti, migliorando la manutenibilità del codice.

L'uso di questa struttura permette inoltre di mantenere il codice flessibile e scalabile, facilitando l'aggiunta di nuovi tipi di particelle o funzionalità future senza modificare il comportamento delle classi esistenti.

4 Generazione dati

Durante la simulazione sono stati generati 100.000 eventi di collisione, per un totale di 10.199.840 particelle. I tipi di particelle generate, insieme alle loro proporzioni teoriche e osservate, sono:

- **Pion+** e **Pion-**: Ognuna con una probabilità teorica del 40%. La simulazione ha prodotto rispettivamente il 39,7042% e il 39,7188% del totale, con una differenza minima rispetto al valore atteso.
- **Kaon+** e **Kaon-**: Con una probabilità teorica del 5%, hanno registrato proporzioni osservate del 5,3869% e 5,3846%.
- **Proton+** e **Proton-**: Con una probabilità teorica del 4,5%, le proporzioni osservate sono state rispettivamente del 4,4172% e 4,4087%.
- **K***: Risonanza generata con una probabilità teorica dell'1%, corrispondente allo 0,9796% delle particelle totali.

Le proprietà cinematiche delle particelle, come quantità di moto, angoli azimutali (ϕ) e polari (θ), sono state generate casualmente. In particolare:

- Gli angoli azimutali e polari seguono distribuzioni uniformi rispettivamente nell'intervallo $[0, 2\pi]$ e $[0, \pi]$. Le verifiche effettuate hanno mostrato un'eccellente accordo con le distribuzioni teoriche attese.
- La quantità di moto segue una distribuzione esponenziale con valore medio di 1 GeV/c. Il fit ha confermato una media osservata di $0,992 \pm 0,0005$ GeV/c, leggermente inferiore al valore teorico.

Gli eventi di collisione generati sono stati analizzati in base alla loro energia totale, alla quantità di moto trasversale ed alle masse invarianti. Complessivamente, sono stati registrati 515.281.596 ingressi per le masse invarianti, includendo combinazioni di tutte le coppie di particelle e specifici decadimenti del K^* . Questa analisi permette di identificare picchi di risonanza e verificare la conservazione delle proprietà fisiche negli eventi simulati.

5 Analisi

In questa sezione vengono analizzati i risultati della simulazione, confrontando le distribuzioni osservate con i dati di input e verificando la congruenza delle proprietà delle particelle generate. Inoltre, viene descritto l'approccio seguito per estrarre il segnale della risonanza K^* .

5.1 Distribuzione delle particelle

Le quantità dei diversi tipi di particelle sono state confrontate con le occorrenze attese. Come mostrato nella Tabella 1, le occorrenze osservate sono in buon accordo con quelle teoriche, considerando gli errori statistici associati.

Specie	Occorrenze Osservate	Occorrenze Attese
π^+	$4\,049\,760 \pm 2\,012$	4 000 000
π^-	$4\,051\,260 \pm 2\,013$	4 000 000
K^+	$549\,452 \pm 741$	500 000
K^-	$549\,221 \pm 741$	500 000
p^+	$450\,544 \pm 671$	450 000
p^-	$449\,680 \pm 671$	450 000
K^*	$99\,920 \pm 316$	100 000

Table 1: Distribuzione delle particelle: confronto tra occorrenze osservate ed attese.

5.2 Distribuzioni cinematiche

Le distribuzioni degli angoli polari (θ) e azimutali (ϕ), insieme alla distribuzione del modulo dell'impulso, sono state analizzate tramite fit per verificare la loro congruenza con le distribuzioni teoriche attese.

Distribuzione	Parametro del Fit	χ^2	DOF	χ^2/DOF
Angolo polare θ (fit costante)	$99\,998.9 \pm 31.6$	113.261	99	1.144
Angolo azimutale ϕ (fit costante)	$99\,999.2 \pm 31.6$	75.738	99	0.765
Modulo dell'impulso (fit esponenziale)	0.9924 ± 0.0005	146.115	88	1.660

Table 2: Risultati dei fit per le distribuzioni degli angoli e del modulo dell'impulso.

Come evidenziato in Tabella 2, i parametri del fit per gli angoli polare e azimutale sono in accordo con una distribuzione uniforme. La distribuzione del modulo dell'impulso presenta una media leggermente inferiore al valore atteso di 1 GeV/c, ma comunque compatibile entro gli errori statistici.

5.3 Analisi della risonanza K^*

Per estrarre il segnale della risonanza K^* , è stata effettuata un'analisi delle masse invarianti delle coppie di particelle. In particolare, si è proceduto sottraendo l'istogramma delle combinazioni di carica concorde da quello delle combinazioni di carica discorde, al fine di ridurre il segnale di fondo e di isolare il picco della risonanza.

I risultati dei fit gaussiani sulle diverse distribuzioni sono riportati in Tabella 3.

Distribuzione e Fit	Media (GeV/ c^2)	Sigma (GeV/ c^2)	Ampiezza	χ^2/DOF
Massa invariante vere K^*	0.8918 ± 0.00016	0.04987 ± 0.00012	$2\,395 \pm 9$	1.050
Massa invariante da differenza carica discorde/concorde	0.8945 ± 0.0054	0.0545 ± 0.0054	$2\,270 \pm 196$	0.946
Massa invariante da differenza πK carica discorde/concorde	0.8939 ± 0.0021	0.0531 ± 0.0022	$2\,297 \pm 80$	0.878

Table 3: Risultati dell'analisi della risonanza K^* tramite fit gaussiani.

Le masse ottenute sono in ottimo accordo con il valore atteso per il K^* (≈ 0.892 GeV/ c^2). L'approccio seguito ha permesso di ridurre il contributo del segnale di fondo e di evidenziare il segnale della risonanza, confermando la validità del metodo utilizzata.

5.4 Analisi grafica

Distribuzioni delle proprietà cinematiche e delle abbondanze delle particelle generate (in riferimento alla Figura 1):

- **Angolo polare (θ):** la distribuzione è uniforme, come previsto, con un fit costante sovrapposto. I parametri del fit sono riportati nel box delle statistiche.
- **Angolo azimutale (ϕ):** anche questa distribuzione segue un andamento uniforme, confermato dalla sovrapposizione del fit.
- **Modulo dell'impulso:** la distribuzione esponenziale è in accordo con i valori teorici e con i parametri del fit esponenziale (normalizzazione e media) riportati nella box.
- **Abbondanze delle particelle:** le occorrenze osservate per ciascun tipo di particella (pioni, kaoni, protoni e K^*) sono mostrate con barre proporzionali alla frequenza relativa. I dati sono confrontati con le proporzioni teoriche.

Ogni box statistica mostra i parametri principali per il fit associato a ciascuna distribuzione.

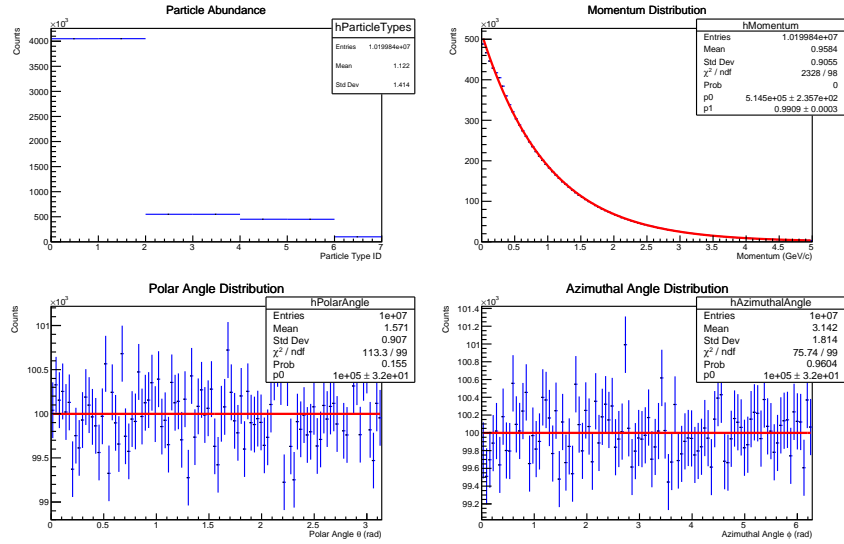


Figure 1:

Analisi delle masse invarianti associate alla risonanza K^* (in riferimento alla Figura 2):

- **Decadimenti veri di K^* :** distribuzione delle masse invarianti delle coppie generate direttamente dai decadimenti delle risonanze K^* . Il fit gaussiano sovrapposto evidenzia una media intorno a $0.892 \text{ GeV}/c^2$ e una larghezza coerente con la teoria.
- **Differenza fra combinazioni di carica discorde e concorde (tutte le particelle):** questa distribuzione mira a rimuovere il segnale di fondo uniforme dovuto a combinazioni casuali. Il fit gaussiano mostra un picco centrale in accordo con la massa del K^* , confermando la qualità della sottrazione del segnale di fondo.
- **Differenza fra combinazioni πK di carica discorde e concorde:** qui la selezione è ristretta a coppie πK , migliorando il rapporto segnale-rumore e rendendo più evidente il picco della risonanza K^* . I parametri del fit (media, larghezza e ampiezza) sono riportati nel box delle statistiche per ogni grafico.

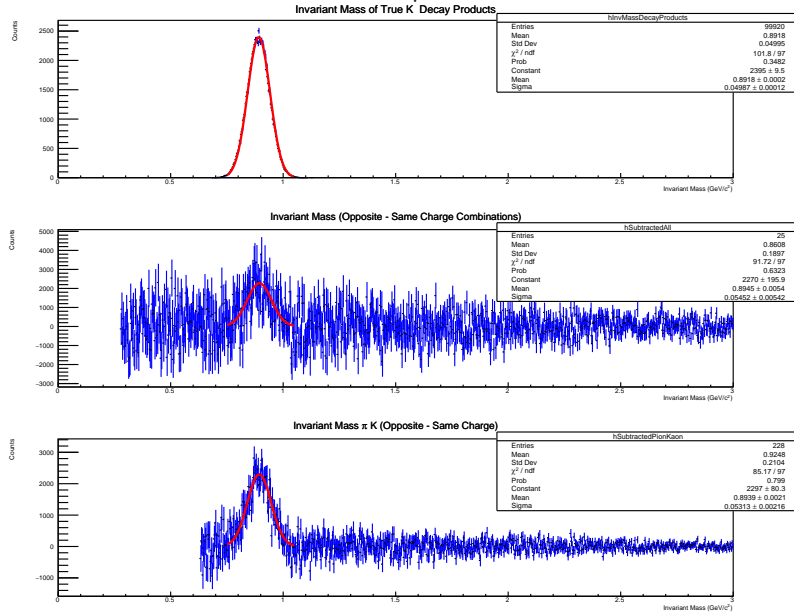


Figure 2: