INTRODUZIONE

La Cromodinamica Quantistica Statistica predice che, nella materia nucleare ad alte densità di energia e/o temperatura, una transizione di fase da materia adronica confinata a materia di quarks e gluoni deconfinati dovrebbe avere luogo. Nella fase deconfinata la materia consisterebbe dunque di un plasma di quarks e gluoni liberi (QGP). Valori di densità di energia e temperatura sufficienti a provocare suddetta transizione possono essere raggiunti nelle collisioni ultrarelativistiche di ioni pesanti, dove inoltre la formazione del plasma di quarks a gluoni dovrebbe essere segnalata dall'apparire di chiari segnature fisiche. Un programma esplorativo fu dunque inaugurato al Super Proton Syncroton (SPS) al CERN nel lontano 1986, dove ioni ossigeno a 200 GeV/c per nucleone furono inizialmente accelerati, poi seguiti da ioni zolfo a 200 GeV/c per nucleone nel 1987 e finalmente da ioni piombo a 158 GeV/c per nucleone dal 1994 a oggi. Suddetto programma, il cui scopo primo è la scoperta e lo studio del plasma deconfinato, permette inoltre uno studio generale delle proprietà della materia adronica prodotta in collisioni nucleo-nucleo.

L'esperimento NA50 al CERN studia appunto la produzione di coppie di muoni (anche detti di-muoni) in collisioni nucleo-nucleo allo scopo di indagare sul comportamento della materia nucleare quando sottoposta alle summenzionate estreme condizioni. I di-muoni prodotti in una collisione, interagendo solo debolmente con l'ambiente nucleare circostante, possono infatti sfuggire indisturbati dal volume di interazione e portare fino a noi importanti informazioni sullo stato della materia ivi contenuta.

Lo spettro di massa dei di-muoni viene generalmente suddiviso in tre grandi regioni : la regione delle basse masse, delimitata superiormente dal picco della risonanza vettoriale ϕ, la regione delle masse intermedie, compresa tra la ϕ e la J/ψ (1.3< M <2.5 GeV/c^2), e la regione delle alte masse, dalla J/ψ in su. La regione delle alte masse è dovuta alla sovrapposizione di di-muoni provenienti dal decadimento delle risonanze vettoriali J/ψ e ψ' e prodotti nel processo di Drell-Yan. Le regioni delle basse masse e delle masse intermedie sono invece di più difficile descrizione, risultando dalla sovrapposizione di distribuzioni di di-muoni prive di struttura risonante, derivanti da sorgenti quali i decadimenti Dalitz degli adroni prodotti nella collisione, i decadimenti semi-leptonici dei mesoni e barioni con charm e il processo di Drell-Yan.

Bisogna inoltre considerare il contributo del fondo combinatoriale generato dalla combinazione dei muoni provenienti dal decadimento dei pioni e kaoni prodotti nella collisione, la cui sottrazione deve avvenire in modo tale da eliminare ogni dubbio sulla natura del segnale analizzato. Il contributo del fondo combinatoriale nella regione delle masse intermedie, dove quest'ultima costituisce l'oggetto dello studio della presente tesi, può ammontare fino all'85% dello spettro di massa in collisioni protone-nucleo ed in collisioni S-U, ed addirittura fino al 95% in collisioni centrali

Pb-Pb. La distribuzione in massa del fondo combinatoriale di di-muoni di segno opposto può essere facilmente dedotta utilizzando le distribuzioni del fondo combinatoriale di di-muoni dello stesso segno, essendo queste ultime costituite da solo fondo combinatoriale. Il contributo assoluto del fondo combinatoriale agli spettri di massa dei di-muoni, può anche essere calcolato a partire dagli spettri di massa di di-muoni dello stesso segno, se la molteplicità dei secondari (pioni e kaoni) prodotti nella collisione è così elevata che ogni correlazione di carica può essere trascurata. In caso contrario, gli effetti della correlazione di carica devono essere accuratamente valutati, e la normalizzazione del fondo combinatoriale corretta di conseguenza.

Sussistono evidenze sperimentali indicanti l'esistenza di un eccesso nella produzione di di-muoni nelle masse basse ed intermedie degli spettri misurati in collisioni nucleo-nucleo alle energie del SPS, se confrontata con estrapolazioni da risultati in protone-nucleo. Appunto l'esistenza di suddetto eccesso motiva lo studio contenuto nella presente tesi, dove la regione delle masse intermedie è studiata su dati ottenuti in collisioni pA (A=Al, Cu, Ag, W) a 450 GeV/c, S-U a 200 GeV/c per nucleone e Pb-Pb a 158 GeV/c per nucleone. In questo studio, la regione delle masse intermedie, dopo un'attenta sottrazione del fondo combinatoriale, viene descritta come una sovrapposizione di di-muoni dal processo duro di DY e dai decadimenti semi-leptonici dei mesoni e barioni charmati, anche generalemente indicati come charm aperto o $D\overline{D}$. L'effetto della residua correlazione di carica sul fattore di normalizzazione del fondo combinatoriale è studiato utilizzando una catena Monte-Carlo specificamente realizzata. Le forme differenziali delle distribuzioni di massa, momento trasverso, rapidità e angolo dei di-muoni da DY e charm aperto sono generate con metodi Monte-Carlo. Lo spettro di massa sperimentale è successivamente interpolato usando le forme in massa così ottenute. La normalizzazione del contributo del processo di DY nello spettro di massa sperimentale è fissata dalla regione delle alte masse, essendo quest'ultima puramente costituita da di-muoni prodotti in suddetto processo. Dato che anche la normalizzazione del fondo combinatoriale è fissata secondo quanto calcolato con la summenzionata catena Monte-Carlo, l'approccio assunto nella presente tesi equivale a interpretare l'eccesso di di-muoni delle masse intermedie come dovuto esclusivamente ad un'aumentata produzione di charm aperto.

Nel primo capitolo, dopo una breve introduzione generale sulla fisica degli ioni pesanti, l'eccesso misurato nelle regioni di massa bassa ed intermedia dagli esperimenti HELIOS/3, CERES e NA38/NA50 al SPS è discusso parallelamente alle esistenti interpretazioni teoriche dello stesso. Nello stesso capitolo è descritta la fisica dei processi duri di Drell-Yan e di produzione adronica di charm aperto. Nel secondo capitolo l'apparato sperimentale di NA38/NA50 è dettagliato, mentre il capitolo terzo spiega brevemente il metodo adottato per processare i dati sperimentali.

Il capitolo quarto contiene una dettagliata descrizione delle tecniche

Monte-Carlo utilizzate onde generare tutte le distribuzioni differenziali dei processi che contribuiscono allo spettro di massa. Il capitolo quinto, che con i capitoli sesto e settimo costituisce il cuore della mia tesi, è completamente dedicato alla descrizione della catena Monte-Carlo specificamente sviluppata per calcolare il fattore di normalizzazione del fondo combinatoriale quando gli effetti di correlazione di carica non possono essere trascurati. Tale approccio è innovativo rispetto a quello fino ad oggi adottato dalla Collaborazione NA38/NA50.

Nel capitolo sesto la regione intermedia degli spettri di massa dei sistemi studiati, 450 GeV/c pA, 200 A GeV/c SU e 158 A GeV/c PbPb, è analizzata. Per ognuno dei detti sistemi, i contributi del DY e del charm aperto sono estratti dallo spettro di massa e sono successivamente corretti per le accettanze. Il contributo del charm aperto dedotto da detto studio, che è stato effettuato in funzione della centralità della collisione, risulta più elevato di quanto atteso nell'ambito della QCD perturbativa.

Nel capitolo settimo, l'eccesso di produzione di charm aperto è mostrato quadraticamente crescere con la centralità della collisione. Dato che la produzione adronica di charm aperto, essendo un processo duro, è supposta crescere linearmente con la centralità della collisione, tale risultato chiaramente indica l'esistenza di anche un altro processo per la produzione di charm aperto in collisioni nucleo-nucleo. La tesi conclude con una discussione sulle teorie esistenti, da cui detto eccesso è interpretato sia nell'ipotesi che si tratti effettivamente di un'aumentata produzione di charm aperto, sia che si tratti di processi di diversa natura contribuenti nello stessa regione di massa.