

Piombo-scontri

La produzione del quark-gluon-plasma in Lhc

di Chiara Oppedisano

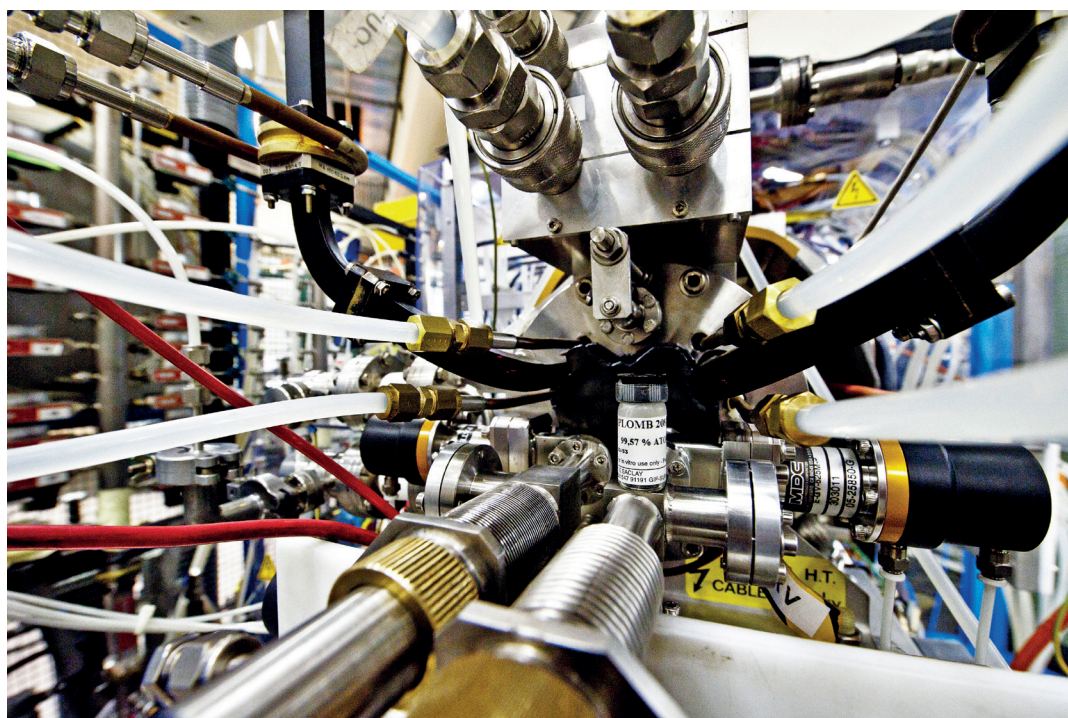


a.
L'esperimento Alice, al Cern, che studia i prodotti delle collisioni di ioni di piombo.

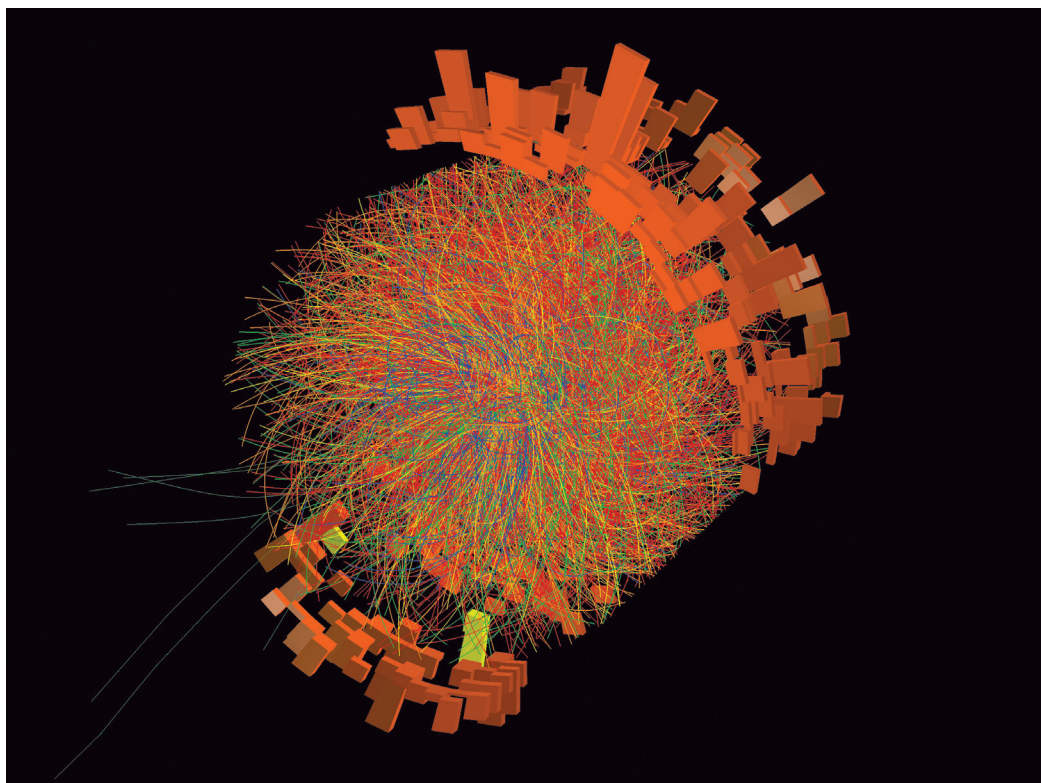
Il piombo (Pb) sta nella tavola periodica tra il tallio e il bismuto. Metallo pesante, tossico se inalato o ingerito, viene usato per schermare le radiazioni. È di piombo, ad esempio, il pesante grembiule da indossare durante una radiografia. Esiste in natura in quattro diversi isotopi stabili, differenti per numero di neutroni (da 122 a 126) e contiene 82 protoni e 82 elettroni. Il più diffuso è l'isotopo con 126 neutroni. Al Large Hadron Collider (Lhc) del Cern gli ioni di piombo sono accelerati a energie estremamente elevate, fino a raggiungere velocità prossime a quelle della luce, e poi fatti scontrare per creare un liquido molto particolare, che viene studiato nell'esperimento Alice (A Large Ion Collider Experiment). Qual è lo scopo di questo tipo di ricerche e perché viene utilizzato il piombo? Per saperlo dobbiamo risalire a quasi 14 miliardi di anni fa, precisamente a un milionesimo di secondo dopo il Big Bang, quando l'universo primordiale era riempito da un miscuglio estremamente denso e caldo (oltre 100.000 volte più caldo dell'interno del Sole) di quark e gluoni. Dopo un centinaio di microsecondi, nell'universo che andava espandendosi e raffreddandosi, quark e gluoni si legarono a formare i nucleoni,

neutroni e protoni, che a loro volta, circa 2 minuti dopo il Big Bang, diedero origine ai primi nuclei. Da quel momento quark e gluoni, mattoncini fondamentali della materia, esistono solo confinati dall'interazione forte a formare le particelle adroniche: barioni (composti da tre quark) e mesoni (composti da un quark e un antiquark). Facendo collidere ioni di piombo a energie ultra-relativistiche gli scienziati vogliono ricreare in laboratorio il plasma di quark e gluoni, in inglese *quark-gluon plasma*, che caratterizzava l'universo primordiale, per studiarne le caratteristiche e comprendere il meccanismo di confinamento dell'interazione forte. Partiamo dall'ingrediente principale, il piombo: come viene preparato a Lhc per "cucinare" la zuppa di quark e gluoni? Tutto ha inizio con una pastiglia di piombo del peso di 500 mg, un campione molto puro, arricchito dell'isotopo con 126 neutroni. Questa sorgente viene posta in un forno scaldato molto lentamente fino a 800° per vaporizzare alcuni atomi, circa 2 mg all'ora. Gli atomi vengono ionizzati, ovvero vengono rimossi gli elettroni, per poter essere accelerati. Strappare 82 elettroni è un processo che va effettuato in passi successivi. Nella prima fase, grazie all'effetto

termoionico vengono rimossi 29 elettroni alla maggior parte degli atomi del piombo vaporizzato. Gli ioni con carica elettrica positiva 29 vengono quindi selezionati e accelerati a 4,2 MeV per nucleone nell'acceleratore lineare Linac3, quindi fatti passare attraverso un sottile foglio di carbonio in grado di rimuovere altri 25 elettroni. Quindi vengono accumulati e accelerati a 72 MeV per nucleone nel Low Energy Ion Ring (Leir). Da qui in avanti il piombo segue lo stesso percorso dei protoni accelerati in Lhc: il fascio viene trasferito nel Protosincrotrone (Ps), accelerato a 5,9 GeV per nucleone e vengono infine rimossi i restanti 28 elettroni. Nel Superprotosincrotrone (Sps) gli ioni raggiungono l'energia di 177 GeV per nucleone e vengono infine iniettati nell'anello di Lhc, dove sono stati accelerati nel novembre 2018 a energie pari a 2,511 TeV per nucleone. Si possono utilizzare anche altri atomi: sempre in Lhc, nel 2017, sono stati accelerati per qualche ora ioni di xenon, contenenti 129 nucleoni, mentre al Relativistic Heavy Ion Collider (Rhic) del Brookhaven National Laboratory negli Usa si accelerano nuclei di oro, contenente 197 nucleoni, a 200 GeV per nucleone. Contrariamente a quanto si possa pensare, la sorgente di piombo è più



b.
La boccetta in foto contiene la sorgente di isotopi di piombo 208 puri al 99,57%, che vengono poi vaporizzati nel forno prima di essere iniettati nel Linac3 del Cern. Intorno si possono osservare tubi di raffreddamento, cavi e strumenti di misura.



c.
Particelle prodotte nella collisione di due ioni di piombo accelerati a 2,511 TeV per nucleone in Lhc, fotografate dall'esperimento Alice.

costosa di quella dell'oro poiché isotopicamente pura. Quella utilizzata in Lhc è composta al 99,57% dal piombo con numero di massa 208. Un milligrammo di piombo così purificato costa 1000 euro, ma in due settimane di operazioni se ne consuma più di 1 g, per un totale di più di un milione di euro! Perché proprio il piombo? Per la forma quasi sferica del suo nucleo, contrariamente ad atomi come, ad esempio, lo xenon, che hanno la forma allungata di un pallone da rugby, ma soprattutto perché contiene un numero elevato di nucleoni. Accelerando il piombo a 2,511 TeV per nucleone, l'energia massima nello scontro di due nuclei, supponendo che siano coinvolti tutti i 416 nucleoni, diventa superiore a 1000 TeV, l'energia più elevata mai raggiunta in laboratorio! Non in tutte le collisioni però si scontrano tutti i nucleoni dei due nuclei interagenti, anzi sono più probabili le collisioni in cui solo alcuni collidono, ma le interazioni più interessanti sono quelle con molti nucleoni coinvolti, poiché la densità di energia e le temperature raggiunte sono maggiori. Quando la temperatura nella zona di interazione, in gergo chiamata "*fireball*", diventa maggiore di 150 MeV, circa due migliaia di miliardi di gradi centigradi (100.000 volte quella del centro del Sole), neutroni e protoni si "sciolgono" nei loro costituenti elementari, quark e gluoni, che fluiscono liberi, come nell'universo primordiale. La *fireball* si raffredda molto rapidamente e quark e gluoni si ricombinano a formare la materia ordinaria, particelle e nuclei leggeri, che viene rivelata dagli apparati sperimentali. I rivelatori forniscono una fotografia di ogni collisione e studiando le proprietà delle particelle prodotte, come il loro contenuto in quark, la loro energia, le direzioni in cui vengono emesse, si estrapolano importanti informazioni sul plasma di quark e gluoni formatosi per pochissimi istanti dopo la collisione.

Studiando le collisioni di ioni d'oro accelerati a 200 GeV per nucleone all'acceleratore Rhic, nel 2005, si scoprì che il plasma di quark e gluoni si comporta come un liquido "quasi perfetto", ovvero un liquido che può essere descritto con le equazioni per un fluido non viscoso, cioè che non oppone resistenza al flusso e non ha attrito interno. Insomma, il contrario del miele o della melassa!

Quei pezzetti di metallo vaporizzati in un forno si trasformano in gocce del liquido perfetto che permeava l'universo nei suoi primissimi istanti e del quale ancora si stanno cercando di comprendere tutti i segreti.

Biografia

Chiara Oppedisano è ricercatrice dell'Infn presso la Sezione di Torino. Fa parte dell'esperimento Alice al collisore Lhc del Cern e si occupa prevalentemente dell'analisi dei dati sperimentali per la caratterizzazione del quark-gluon plasma. Si dedica con passione ad attività di divulgazione nelle scuole primarie e nei licei.

Link sul web

<https://home.cern/science/physics/heavy-ions-and-quark-gluon-plasma>
<https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2010/11/12/lhc-basics-what-we-can-learn-from-lead-ion-collisions>
<https://home.cern/science/experiments/alice>
<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>
<https://www.bnl.gov/rhic/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.7