



## Il 'fascino' intrinseco del protone

***Publicato su [Nature](#) uno studio sui quark 'charm', che risolve una controversia scientifica di 40 anni: confermata l'ipotesi che questo quark sono componenti intrinseci dei protoni. Il lavoro, frutto della collaborazione NNPDF e guidato dall'Università Statale di Milano e INFN, è stato possibile grazie a innovative tecniche di machine learning. Importanti ricadute sulla fisica di precisione.***

Milano, 29 agosto 2022. Un nuovo lavoro della collaborazione **NNPDF (Neural Networks Parton Distribution Functions)**, guidata dall'Università degli Studi di Milano e dall'INFN, fa luce su una sorprendente caratteristica della struttura dei protoni. Lo studio, pubblicato sulla rivista [Nature](#), ha infatti determinato come **anche i quark 'charm'**, insieme ai più noti e leggeri quark 'up' e quark 'down', siano da annoverarsi tra i componenti intrinseci di questi costituenti atomici, **confermando un'ipotesi elaborata oltre 40 anni fa**. Il risultato è stato ottenuto **adottando innovative tecniche di machine learning**, grazie alle quali è stato possibile analizzare e risolvere nel dettaglio la grande messe di dati prodotti dai collisori di particelle. Oltre a **migliorare la comprensione della struttura dei protoni, ancora poco nota, lo studio contribuirà a rendere più accurata la descrizione teorica degli urti tra queste particelle, favorendo l'osservazione di possibili indizi di nuova fisica.**

La semplice rappresentazione del protone come oggetto costituito da due soli quark 'up' e da un quark 'down' confinati e legati insieme per mezzo dello scambio reciproco dei bosoni mediatori dell'interazione forte, i gluoni, ignora la presenza all'interno del protone di un numero infinito di coppie composte da quark e dalle loro controparti di antimateria, gli antiquark. Questa complessa composizione cambia nelle collisioni di protoni all'aumentare delle energie, e quindi con il diminuire delle scale di misura. Uno scenario che trova riscontro nelle previsioni della cromodinamica quantistica, la teoria di riferimento per la descrizione della forza nucleare forte.

*"A partire dai dati sperimentali", spiega Stefano Forte, ricercatore INFN e docente dell'Università Statale di Milano alla guida della collaborazione NNPDF, "e facendo ricorso alla cromodinamica quantistica, siamo in grado di risolvere indirettamente la struttura interna del protone a riposo. La principale difficoltà di questa procedura è legata all'incertezza che contraddistingue l'osservazione delle particelle prodotte nelle collisioni ed alle approssimazioni che è necessario adottare per rendere possibili i calcoli, che, se non trattate correttamente, potrebbero fornire conclusioni che dipendono dalle assunzioni iniziali soggettive adottate."*

Nel 1980 i fisici Stan Brodsky, Paul Hoyer, Carsten Peterson e Noriskue Sakai formularono l'ipotesi secondo cui anche il quark 'charm', la cui massa è maggiore di quella del protone stesso, avrebbe potuto rappresentare una delle componenti intrinseche di questi costituenti atomici a riposo, da non confondere quindi con i quark pesanti irradiati dalle collisioni tra protoni ad alte energie. Una proposta al centro di una controversia scientifica durata oltre 40 anni, risolta solo oggi dalla collaborazione NNPDF grazie allo sviluppo e all'impiego di metodologie di analisi all'avanguardia in grado di superare i limiti teorici e sperimentali relativi alla determinazione della struttura interna del protone.



## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

"Il risultato è stato reso possibile dall'impiego di nuovi dati molto recenti" illustra Forte. **Felix Hekhorn e Alessandro Candido**, rispettivamente assegnista e dottorando presso l'Università Statale di Milano sottolineano che "un ruolo fondamentale lo ha avuto il ricorso ad alcuni sviluppi teorici ottenuti dalla nostra stessa collaborazione, che permettono di separare senza ambiguità la componente intrinseca dalla componente radiativa". **Juan Cruz Martinez**, assegnista presso l'Università degli Studi di Milano, osserva che "più importante di tutti è stato lo sviluppo di una metodologia basata su machine learning che permette di estrarre dai dati l'informazione in modo particolarmente efficiente".

Aver stabilito che il protone ha una componente di charm intrinseco avrà **importanti ricadute** nello studio sia delle proprietà del protone sia della fisica oltre il Modello Standard, la teoria che descrive le particelle elementari e le loro interazioni. "Da un lato, **la componente 'charm' individuata sarà infatti inclusa nei calcoli di processi fisici che si producono in collisioni di protoni, e ne influenzerà il risultato. Essa avrà quindi un impatto sulla fisica di precisione, come per esempio la misura dei parametri della teoria attuale, e di conseguenza sulla ricerca di deviazioni da essa, quali le ricerche di possibili particelle candidate per la materia oscura. Dall'altro, ci fornisce importanti indizi per il calcolo della struttura del protone a partire dalla cromodinamica quantistica, che resta difficile ed elusivo**", conclude Forte.

Il lavoro della collaborazione **NNPDF è stato reso possibile grazie ai risultati raggiunti da N3PDF, un progetto di ricerca, coordinato sempre da Forte, che ha come principale obiettivo lo sviluppo di una metodologia basata su tecniche moderne di machine learning per la determinazione della struttura del protone**, e che nel 2016 ha ottenuto un finanziamento dal Consiglio Europeo delle Ricerche (ERC *Advanced Grant*). La metodologia sviluppata da N3PDF è ora utilizzata sistematicamente da NNPDF. **Tutti i risultati, i metodi e i codici di entrambi i progetti sono resi disponibili liberamente in formato open-source.**

La collaborazione internazionale NNPDF, di cui fanno parte nove università e istituti di ricerca di sei paesi, è oggi **una delle sole tre realtà a livello mondiale dedicate alla determinazione e all'aggiornamento delle misure relative alla struttura del protone.**

Proprio in questi giorni è in corso presso il Palazzo Feltrinelli di Gargnano l'annuale [meeting](#) della collaborazione NNPDF e del progetto N3PDF, un'occasione per discutere di nuove idee e sviluppi futuri, grazie anche alla partecipazione di alcuni ospiti internazionali, fra cui Wouter Verkerke, del laboratorio nazionale olandese NIKHEF di Amsterdam e Alexander Huss, del CERN di Ginevra.

Ufficio Stampa Università Statale di Milano  
Anna Cavagna tel. 02.5031.2983 – cell. 334.6866587  
Glenda Mereghetti tel. 02.50312025 – cell. 334.6217253  
[ufficiostampa@unimi.it](mailto:ufficiostampa@unimi.it)

Ufficio comunicazione INFN  
Matteo Massicci  
Cell. 3334753263  
[matteo.massicci@presid.infn.it](mailto:matteo.massicci@presid.infn.it)