

Progetto di Ricerca

In questo progetto svilupperemo nuovi metodi basati su tecniche di Deep Learning per l'identificazione dei muoni originati dai decadimenti degli adroni associati ai quark b e c, e li sfrutteremo per misurare le proprietà di frammentazione del quark b e la massa del quark top. Il progetto sarà sviluppato all'interno della collaborazione ATLAS utilizzando i dati di LHC.

I quark b e c sono coinvolti in molti aspetti unici della fisica delle particelle nei collider. Comunemente chiamati “Heavy Flavour quark” (HF), svolgono un ruolo cruciale in diversi processi di fisica: processi QCD, produzione in associazione con bosoni elettrodeboli, fisica del quark top e in innumerevoli teorie per nuova fisica oltre il Modello Standard (BSM). Quando vengono prodotti in una collisione di particelle, si frammentano in adroni, producendo particelle adroniche incolori in un cono stretto che vengono identificate e misurate utilizzando rivelatori di tracciamento e calorimetri, ricostruendo i cosiddetti jet adronici. I jet associati ai quark HF (ossia jet HF) hanno proprietà specifiche che possono essere utilizzate per distinguerli dai jet associati a partoni più leggeri (ossia jet leggeri): sono stati sviluppati algoritmi dedicati (algoritmi di jet-tagging) per la loro identificazione, di solito sfruttando il tempo di vita relativamente lungo degli adroni HF e le osservabili basate sui jet.

L'approccio alternativo che utilizzeremo identifica i muoni prodotti dai decadimenti semileptonici degli adroni HF. Questa tecnica è complementare a quelle basate sulle proprietà dei jet, con una minore efficienza ma una maggiore purezza e sensibilità principalmente alle incertezze legate ai muoni, tipicamente più piccole rispetto a quelle legate ai jet adronici. Consente anche di utilizzare la cinematica del muone come sostituto di quella dell'adrone b, un approccio conveniente per molte segnature di fisica, con applicazioni significative nel contesto delle misure della fisica del quark top, delle misure W/Z +jets, delle ricerche di fisica oltre il Modello Standard e altro ancora.

Il progetto si articola in quattro pacchetti di lavoro (WP):

- WP1: sviluppo di MIDDLE, uno strumento innovativo basato su tecniche di Deep Learning (DL) per l'identificazione dei muoni prodotti dagli adroni HF all'interno dei jet.
- WP2: sviluppo di MIDDLETOP, un'estensione dello strumento con funzionalità avanzate progettate per la fisica del quark top, consentendo l'identificazione ad alta prestazione della catena di decadimento dell'adrone HF all'interno dell'evento.
- WP3: prima misurazione delle proprietà di frammentazione del quark b negli eventi $t\bar{t}$ utilizzando osservabili basate sui muoni provenienti dai decadimenti degli adroni b, sfruttando lo strumento MIDDLETOP.
- WP4: misurazione della massa del quark top sfruttando i muoni prodotti dai decadimenti degli adroni b utilizzando lo strumento MIDDLETOP. L'obiettivo è ottenere una precisione di 500 MeV o migliore, fornendo la singola misura diretta di massa più precisa al mondo.

WP3 e WP4 sono due casi d'uso importanti degli strumenti MIDDLE e MIDDLETOP sviluppati in WP1 e WP2, ma prevediamo anche il loro futuro utilizzo nel contesto delle misurazioni W/Z +HF, delle misurazioni della fisica del quark top e delle ricerche di nuova fisica.

Piano di Attività

Il ricercatore che otterrà il presente finanziamento dovrà seguire attivamente le attività del progetto MIDDLE e interagire con gli altri partecipanti ai progetti, compresi i membri delle altre unità operative di MIDDLE e gli altri membri della collaborazione ATLAS interessati allo sviluppo del progetto. Il ricercatore parteciperà a riunioni regolari tra i membri del progetto e ad altre riunioni della collaborazione che possono essere importanti per lo sviluppo e l'integrazione del progetto in ATLAS.

Le principali attività richieste al ricercatore saranno:

- Comprendere la fisica del processo di adronizzazione e ricostruzione dei jet, i processi di simulazione e ricostruzione e selezione dei jet (in particolare quelli prodotti dai partoni HF) e dei muoni, tenendo conto delle proprietà dei rivelatori coinvolti per sfruttarle efficacemente nel processo di riconoscimento;
- Eseguire e interfacciarsi con i software di analisi ATLAS necessari;

- Recuperare, comprendere, utilizzare e creare le ntuple di dati necessarie utilizzando il framework di ATLAS;
- Sviluppare il framework MIDDLE in collaborazione con gli altri membri del team, con particolare attenzione all'implementazione dell'interfaccia degli algoritmi di deep learning e alla loro training;
- Essere indipendente e pro-attivo nell'esecuzione dei compiti assegnati;
- Condividere e discutere regolarmente lo stato dei compiti assegnati con gli altri membri di MIDDLE e collaborare insieme per raggiungere l'obiettivo prefissato nel progetto MIDDLE e ottenendo il miglior risultato possibile;
- Ottenere risultati dagli algoritmi sviluppati e confrontarli con altri analoghi;
- Presentare i risultati all'interno della collaborazione ATLAS e alle conferenze.

Nel caso in cui il ricercatore non sia in possesso della qualifica di autore ATLAS, dovrà seguire la procedura obbligatoria per ottenerla.

Research Project

In this project we will develop novel methods based on Deep Learning techniques for the identification of muons originated by the decays of hadrons associated with b- and c-quarks, and we'll exploit them to measure the fragmentation properties of the b-quark and the mass of the top quark. The project will be developed within the ATLAS collaboration using LHC data.

b- and c-quarks are involved in many unique aspects of particle physics at colliders. Commonly referred to as heavy flavour (HF) quarks, they play a crucial role in many different physics signatures: QCD processes, production in association with EW bosons, top quark physics, and in countless theories for new physics beyond the Standard Model (SM). When produced in a particle scattering, they fragment into hadrons, producing colourless hadronic particles in a narrow cone that are identified and measured using tracking detectors and calorimeters, reconstructing so-called hadronic jets. Jets associated with HF-quarks (i.e. HF-jets) have specific properties that can be used to distinguish them from jets associated with lighter partons (i.e. light-jets): dedicated algorithms (jet-tagging algorithms) have been developed for their identification, usually exploiting the relatively long lifetime of HF-hadrons and jet-based observables.

The alternative approach we'll use identifies muons produced by semileptonic decays of HF-hadrons. This technique is complementary to those based on jet properties, with lower efficiency but higher purity, and sensitive mainly to muon uncertainties, typically smaller than those related with hadronic jets. It also allows for using the kinematics of the muon as a proxy of that of the b-hadron, a convenient approach for many physics signatures, with significant applications in the context of top physics measurements, W/Z+jets measurements, searches for physics beyond the SM and more.

The project is articulated in four work packages (WPs):

- WP1: development of MIDDLE, an innovative tool based on Deep Learning (DL) techniques for identifying muons produced by HF-hadrons inside jets.
- WP2: development of MIDDLETOP, an extension of the tool with advanced features tailored for top physics, allowing for high performance identification of the HF-hadron decay chain inside the event.
- WP3: first measurement of the fragmentation properties of the b-quark in $t\bar{t}$ events using observables based on the muons from b-hadron decays, exploiting the MIDDLETOP tool.
- WP4: measurement of the top mass exploiting muons produced by b-hadron decays using the MIDDLETOP tool. The goal is to achieve a precision of 500 MeV or better, resulting in the world's most precise single direct measurement.

WP3 and WP4 are two important use-cases of the MIDDLE and MIDDLETOP tools developed in WP1 and WP2, but we also envisage their future usage in the context of W/Z+HF measurements, top physics measurements and searches for new physics.

Activity Plan

The researcher that will obtain the present grant should actively follow the activities of the MIDDLE project and interact with the other participants to the projects, including both the members of the other MIDDLE's working units and other members of the ATLAS collaboration interested in the project development. The researcher will attend to regular meetings among the project members and to other collaboration meetings that can be of importance for the development and integration of the project in ATLAS.

The main activities required to be fulfilled by the researcher will be:

- understanding the physics of the process of hadronization and jet reconstruction, understand the simulation and reconstruction and selection processes of jets (especially the ones produced by heavy-flavour partons) and of muons, taking into account the involved detectors properties to possible taking advantage of them in the selection process;
- to run and interface with the need atlas analysis softwares;
- retrieving, understanding, using and creating the required data ntuple using the ATLAS framework;
- developing the MIDDLE framework in collaboration with other team members, with special attention to implementation of the deep learning algorithms interface and their training;
- being independent and proactive in carrying on the assigned tasks;

- to share and discuss regularly the status of the assigned tasks with the other members of MIDDLE and collaborate together to reach the project goal and obtain the best possible outcome of it;
- obtaining results from the developed algorithms and comparing them with state-of-art ones;
- to present results among the ATLAS collaboration and at conferences.

In case the researcher is not in possess of the ATLAS authorship qualification, he/she would need to follow the mandatory procedure in order to obtain it.