Corso di Laurea

Insegnamento / Course

Magistrale in Fisica

ANALISI DATI IN FISICA SUBNUCLEARE / DATA ANALYSIS IN PARTICLE PHYSICS

SSD: FIS/01 CFU/Credits: 8 Anno di corso: II Lezione (ore): 64 Esercitazione (ore): -

Obiettivi formativi:

Il corso intende fornire conoscenze e capacità d'uso delle tecniche per la trattazione e l'interpretazione statistica dei dati sperimentali, nonché e la comunicazione e presentazione dei risultati ottenuti. Approfondisce ed amplia temi di statistica di fondamento, descrivendone l'applicazione nell'ambito dei moderni esperimenti di fisica delle particelle, e fornisce ulteriori strumenti statistici avanzati di comune applicazione nelle analisi attuali. Il corso si propone dunque in primis di sviluppare l'attitudine dello studente all'osservazione sperimentale dei fenomeni naturali con un atteggiamento critico, con particolare attenzione all' inquadramento in un corretto sistema per l'interpretazione statistica. Il corso fornisce poi allo studente la forma mentis e gli strumenti tecnici per comprendere il design di apparati sperimentali, e per comprendere, assimilare, revisionare, e eventualmente realizzare analisi di fisica basate su di una rigorosa elaborazione statistico-numerica.

Training objectives:

The goal of the course is to teach both principles and application of techniques to treat and interpret data in particle physics, and to correctly communicate and present the results that follow. It expands on fundamental topics of statistics, describing their application within modern particle physics experiments, and treats further advanced statistical tools commonly used current-day in analyses. The course therefore aims at first developing the student's aptitude to observe with a critical mindset natural phenomena, paying particular attention to frame observations within an appropriate statistical framework necessary for the interpretation. The course then provides the student with the mindset and competences to understand the purpose and design of an experimental apparatus in particle physics, as well as to understand, assimilate, critically review, and potentially realize rigorous statistical-numerical physics analyses.

Programma sintetico (sillabo):

Il corso si propone di introdurre i concetti fondamentali che permettono di analizzare i dati raccolti da un moderno esperimento di Fisica Subnucleare.

- 1) Concetti di base di teoria della probabilità: probabilità Frequentista e Bayesiana, 2) Distribuzioni di probabilità, binomiale, multinomiale, poissoniana, gaussiana e loro applicazione in casi di fisica delle particelle: istogrammi, risoluzione sperimentale, esperimenti di conteggio. Convoluzione tra distribuzioni.
- 3) Stima di parametri: concetti generali sugli stimatori, minimum variance bound, il metodo dei minimi quadrati (MQ), il metodo della massima verosimiglianza (ML), proprietà degli stimatori MQ e ML; applicazione a casi pratici, binned vs unbinned ML.
- 4) Il problema del trigger negli apparati sperimentali: tipici rates e flusso di dati; esempi di sistemi di trigger per esperimenti a bersaglio fisso e su collider.
- 5) Tecniche di ricostruzione: algoritmi di ricostruzione di tracce, di clusters e di vertici. Definizione e ricostruzione dei jet. Variabili complesse per evento. Esempi di ricostruzione all'interno di rivelatori in esperimenti di fisica delle particelle.
- 6) Analisi di sistemi a molte variabili: pattern recognition, tecniche multivariate e machine learning.
- 7) Il Metodo Monte Carlo (MC): integrazione MC, metodi di riduzione della varianza, il metodo MC per la simulazione di processi fisici ed esempi su processi fisici a varie scale di energia.
- 8) Trattamento delle incertezze: incertezze statistiche e sistematiche, covarianza, propagazione degli errori nel caso generale, stima delle incertezze sistematiche. Teorema di Wilk e trattamento delle incertezze con la profile likelihood, interpretazione bayesiana e marginalizzazione delle incertezze.
- 9) Test di ipotesi:errori di primo e secondo tipo, lemma di Neyman Pearson e likelihood ratio, discriminanti di Fisher, test del chi quadrato applicazione del teorema di Wilk al test d'ipotesi. 10) Intervalli di confidenza: definizione frequentista e Bayesiana; il problema degli intervalli vicino ad un limite fisico o in presenza di fondo. Upper e lower limits su casi rilevanti, definizione di test statistic usate negli esperimenti di fisica delle alte energie, CLs.
- 11) Esempi di design di analisi in fisica subnucleare: misure di precisione, ricerche di processi rari in diversi tipi di apparati sperimentali.
- 12) Introduzione all'uso di tool software tipici per l'analisi dati, esempio pratico di un'analisi su campioni di dati simulati.

Contents:

The purpose of the course is to teach the basics concepts to perform data analysis in modern Particle Physics experiments.

1) Basics of probability theory: frequentist and bayesian approach.

- 2) Probability density functions: binomial, poisson, and gaussian, and some applications to high-energy physics: histograms, experimental resolutions, event counting experiments. Convolution of distributions.
- 3) Parameter estimate: concept of an estimator, minimum variance bound, least-square method, maximum likelihood method. Properties of LS and ML estimators; practical examples, binned vs unbinned ML.
- 4) The trigger in experimental setups: typical rates, queues. Example of trigger systems in fixed target experiments and colliders.
- 5) Reconstruction techniques: algorithms for tracking, clustering and vertexing. Examples of particle reconstruction in particle physics detectors. Jet definition and reconstruction. Complex event variables.
- 6) Analysis of systems with many variables: pattern recognition, multivariate techniques and machine learning.
- 7) The Monte Carlo Method: MC integration, variance reduction methods, MC method for the simulation of physics processes and examples at different energy scales.
- 8) Uncertainty treatment: statistical and systematic uncertainties, covariance, error propagation in the general case, systematic uncertainty estimate. Wilk's theorem and profile likelihood treatment of systematics; bayesian interpretation and uncertainty marginalisation.
- 9) Hypothesis testing: first and second type errors. Neyman Pearson Lemma and likelihood ratio, Fisher discriminant and chi square test.
- 10) Confidence intervals: frequentist and bayesian definition. Intervals close to a physics boundary or with a background.
- 11) Examples of physics analysis design in particle physics: precision measurements, rare processes in different types of experimental setups.
- 12) Introduction to common software tools for data analysis, hands-on example of an analysis on simulated data samples.

Esami propedeutici / Propaedeutic exams: -

Prerequisiti / Prerequisites: Conoscenze di base di fisica delle particelle, nozioni di statistica / Basic knowledge of particle physics, notions of statististics

Finalità e modalità di verifica dell'apprendimento

Si verificherà tramite esame orale la comprensione da parte dello studente degli argomenti del corso. Un'esercitazione pratica verificherà su casi ristretti ma realistici di analisi dati, la capacità dello studente di applicare le conoscenze acquisite e la capacità di affrontare e risolvere problemi tipici di questo ambito. / An oral exam will verify the student's acquired competences on the topics treated during the course. A practical exercise will verify on a small but realistic case of data analysis, the student's ability to apply the acquired knowledge and to solve typical problems encountered in data analysis.

Il corso può essere erogato in lingua inglese in presenza di studenti stranieri (es. Erasmus) / The course can be given in English in presence of foreign students (e.g. Erasmus)