

Caratterizzazione del calorimetro per la diagnostica dei fasci di fotoni ad ELI-NP

Relatore: Giovanni Passaleva

Candidata Rita Borgheresi

Il laboratorio ELI-NP, acronimo di Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics facility, è in costruzione a Magurele in Romania e costituisce il pilastro del progetto europeo ELI, dedicato allo sviluppo di fasci laser e alla generazione di raggi γ per la ricerca nell'ambito della fisica nucleare. In particolare il fascio γ polarizzato, realizzato ad ELI-NP, avrà un'energia selezionabile con continuità nell'intervallo da 1 a 20 MeV e sarà caratterizzato da una monocromaticità e brillantezza di ben 1-2 ordini di grandezza migliori rispetto a quanto raggiunto fino ad ora. Queste particolarità del fascio consentono di esplorare nuovi ambiti di ricerca, rendendo attuabile la realizzazione di un largo numero di esperimenti, sia nella ricerca di fisica di base che in quella applicata. Il fascio γ di ELI-NP, ottenuto dalla retro-diffusione Compton fra un fascio laser e un fascio di elettroni relativistici, sarà composto da macroimpulsi separati di 10 ms al cui interno di trovano 32 microimpulsi distanziati fra loro di 16 ns. Un fascio γ con queste particolari caratteristiche necessita di un sistema di caratterizzazione, che fornisca informazioni dettagliate sull'intensità, lo spettro di energie e la distribuzione spaziale del fascio. Date le particolarità del fascio non è possibile utilizzare i tradizionali metodi spettroscopici come strumento di diagnostica, ma è necessaria la realizzazione di un sistema di rivelatori appositamente dedicati a tale scopo. Uno dei rivelatori utilizzati per la caratterizzazione del fascio è un calorimetro a campionamento che ha come scopo quello di misurare l'energia e l'intensità media dei fotoni relativi ai singoli microimpulsi del fascio. Tale calorimetro, costituito da 24 piani di assorbitore plastico alternati a piani attivi equipaggiati con rivelatori al silicio, è stato caratterizzato in questo lavoro di tesi. Dato che il fascio gamma ha un'intensità che non è nota con precisione, l'energia dei fotoni incidenti sul calorimetro non può essere ricavata dalla misura dell'energia totale, ma si dovranno sfruttare proprietà del rilascio di energia che dipendono solo dall'energia dei fotoni incidenti e non dall'intensità. In particolare, la procedura utilizzata per determinare l'energia media del fascio, si basa sul fatto che la frazione di energia rilasciata dai fotoni del fascio nei vari piani del calorimetro dipende solo dalla loro energia. I profili del rilascio di energia possono essere parametrizzati tramite una simulazione Monte Carlo. Dalle simulazioni effettuate si dimostra che con questo metodo il calorimetro è in grado di misurare l'energia del fascio di ELI-NP con la precisione voluta, pari a circa 0.1%. È emerso tuttavia che i contributi principali alla risoluzione ottenibile nella misura dell'energia del fascio sono di tipo sistematico, non statistico. Gli errori sistematici sulla misura dell'energia possono essere dati da una modellizzazione non corretta della dipendenza dall'energia dei profili longitudinali e da una diversa risposta dei vari piani, che può essere dovuta a una scorretta calibrazione o alla presenza di effetti di non linearità. Per questo motivo, in questo lavoro di tesi è stata testata la linearità dei rivelatori al silicio, grazie all'utilizzo di laser impulsati nell'infrarosso. I rivelatori utilizzati si sono dimostrati lineari per un larghissimo intervallo di energie assorbite, largamente più grande di quello atteso ad ELI-NP. La misura dell'intensità del fascio necessita invece di una conoscenza precisa del valore assoluto dell'energia rilasciata all'interno dei rivelatori. Si è studiata quindi la possibilità di realizzare una calibrazione assoluta in energia della risposta dei rivelatori al silicio, tramite l'esposizione a fasci impulsati di particelle, di energia nota, accelerati nei laboratori del LABEC presso la Sezione INFN di Firenze. Tale studio ha dimostrato la fattibilità di questo metodo di calibrazione evidenziandone i punti più critici. Infine sono state realizzate misure di risposta temporale dei rivelatori al silicio, dato che devono essere in grado di distinguere il segnale dato dai diversi microimpulsi del fascio e quindi devono avere un segnale che si sviluppi completamente in 16 ns. Queste misure, effettuate con impulsi laser con frequenze di ripetizione ben superiori a quelle previste ad ELI-NP hanno dimostrato che i rivelatori al silicio scelti per il calorimetro saranno in grado di risolvere i microimpulsi del fascio purché siano utilizzati in regime di sovrasvuotamento e accoppiati ad una opportuna elettronica di lettura.

Characterization of the calorimeter for the diagnostics of ELI-NP photons beams

Supervisor: Giovanni Passaleva

Author Rita Borgheresi

The ELI-NP facility (Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics) is being built in Magurele, Romania and it is the pillar of the European project ELI, dedicated to the development of laser beams and the generation of high intensity gamma beams for frontier research in nuclear physics. In particular, gamma polarized beams, made with ELI-NP, will have tunable energy in the range from 1 to 20 MeV and a monochromaticity and brightness of 1-2 orders of magnitude better than those at state of the art of similar gamma sources. The features of the beam allow to explore new areas of research, making feasible the creation of a large number of experiments, both in fundamental and applied physics that in applied. The ELI-NP gamma beam is obtained by Compton backscattering of a laser beam off relativistic electrons. It will consist of macro-pulses separated by 10 ms, which contain 32 micro-pulses each with a separation of 16 ns. A gamma beam with these features requires a characterization system, to provide detailed information on the intensity, the energy spectrum and spatial distribution of the beam. Due to characteristics of the beam it is not possible to use conventional spectroscopic methods as a diagnostic tool, but it is necessary to realize a detector system dedicated to that purpose. One of the characterization system detectors is a sampling calorimeter especially designed to measure the energy and the average intensity of the micro-pulse photons. The calorimeter consists of 24 layer of plastic absorber interleaved to active layers equipped with silicon detectors. This calorimeter has been characterized in this thesis. Since the gamma beam has an intensity that is not precisely known, the photon energy can not be derived from the total energy released in the calorimeter, therefore properties of the photon energy releases inside the calorimeter will have to be used, that depend only on their photon energy and not in the beam intensity. The energy measurement relies on the fact that the fraction of energy released by beam photons in the calorimeter layers depends only on their energy. Energy profiles can be parametrized by means of a Monte Carlo simulation. With simulations we have demonstrated that with this method the calorimeter is able to measure the beam energy with the required accuracy, at the level of 0.1%. It comes out, however, that the main contributions to the energy resolution are systematic, not statistical. The systematic uncertainties on the energy measurement is due to the reliability of the predicted profiles as a function of energy, and to a different response from different layer, which may be due to incorrect calibration or to a non-linearity in their response. For this reason, in this thesis, the silicon detectors linearity has been evaluated with pulsed infrared lasers. The detectors studied have proven to be linear over a very large range of absorbed energies, largely wider than that expected at ELI-NP. The beam intensity measurement requires the knowledge of the absolute energy scale. Therefore, in this thesis, the possibility to realize an absolute energy calibration has been studied by exposing the sensors to particles bunches of precisely controlled intensity, accelerated at the LABEC laboratory of INFN of Florence. With this study, the feasibility of this calibration method has been demonstrated, showing its most critical issues. Finally, the time response of the silicon sensors has been studied, in order to verify if they are able to resolve the 16 ns separated micro-pulses of the ELI-NP beam. These measurements, made with a pulsed laser with repetition rate much higher than that expected at ELI-NP, demonstrated that the silicon detectors selected for the calorimeter will be able to resolve the beam micropulses, provided that they are used in overdepletion regime and coupled with suitable readout electronics