



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Laboratori Nazionali di Frascati

INFN-19-05/LNF

25 Febbraio 2019

Expression of Intent “Singularity”

Stefano Pioli¹

¹*INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, I-00044 Frascati, Italy*

Abstract

L'automazione dei processi che riguardano il commissioning e l'operazione di un acceleratore prevede in prima istanza l'integrazione di hardware per la gestione dei rischi nei sistemi critici secondo standard di riferimento, come quello sulla Sicurezza Funzionale (IEC-61508) o la ANSI N43.1 “Radiation Safety for the design and operation of Particle Accelerator”, e successivamente l'inserimento di software di alto livello, intelligenza artificiale (IA), per l'operazione di un acceleratore tramite controllo automatizzato di differenti apparati. Le criticità peculiari dei diversi sistemi di un acceleratore richiederanno l'impiego di diverse tecnologie (FPGA veloci e sicure con connessione diretta all'hardware, server connessi al sistema di controllo, detector per il monitoraggio perdite di fascio, ...).

Il progetto che si va a proporre punta a realizzare una piattaforma composta di diversi dispositivi che consentano di integrare intelligenze artificiali per il controllo e la gestione automatizzata di intere facility. Tali dispositivi dovranno essere realizzati e mantenuti secondo gli standard della Sicurezza Funzionale con design scalabile e modulare che ne permetta il versatile upgrade per soddisfare nuove richieste dell'acceleratore o l'applicazione su nuove infrastrutture.

La possibilità di sviluppare una piattaforma con IA a cui vengano affidate mansioni specifiche per la gestione di un acceleratore, la prevenzione dei rischi e la relativa realizzazione dell'hardware necessario per l'integrazione di tale “intelligenza” permetterà di esplorare aspetti innovativi nel campo tecnologico quali: automazione di sistemi complessi, realizzazione ed integrazione di nuovo hardware per la diagnostica dei sistemi di un acceleratore.

L'ente potrà così beneficiare di una migliore gestione dei rischi e dei costi delle facility, ottimizzare l'up-time degli acceleratori e ridurre i costi del man-power coinvolto nella gestione e nella manutenzione di tali apparati. In aggiunta a questo, i dispositivi realizzati, essendo in conformità con gli standard industriali, potranno essere d'aiuto al trasferimento tecnologico arricchendo l'offerta con i partner.

*Published by
Laboratori Nazionali di Frascati*

1 Caso Tecnologico

Durante la realizzazione del Gamma Beam Source per il progetto ELI-NP è sorta la necessità di realizzare un sistema di alto livello in grado di venire in contro alle necessità di una facility in cui team di diverse nazioni dovessero provvedere al commissioning di in tempi ridotti e senza poter garantire la presenza simultanea di esperti per ogni sotto-sistema. In questo contesto è stato realizzato un sistema di protezione di macchina (MPS), secondo lo standard IEC-61508, in grado di provvedere automaticamente alla sicurezza di tutti i sotto-sistemi dell'acceleratore e un sistema di gestione di applicazioni ad alto livello (HLA) per automatizzare il conditioning delle strutture acceleranti e le misure di diagnostica del fascio di elettroni.

L'obiettivo di questo progetto è implementare ulteriormente le competenze acquisite con il progetto ELI-NP-GBS dimostrando la versatilità delle HLA e costruendo un innovativo apparato per la sicurezza del personale e di macchina:

- Nella prima fase del progetto si intende progettare un innovativo sistema di protezione del personale (PPS) che vada a sostituire gli attuali banchi di relè in doppia linea con un sistema in ridondanza doppia basato sulla tecnologia degli FPGA. Tale apparato, il primo del suo genere secondo letteratura, sarà in grado monitorare autonomamente i segnali da pulsanti di emergenza, di ronda, dal controllo accessi e dalle stazioni di misura dosimetrica ambientali. Grazie all'affidabilità della tecnologia FPGA, che nasce interfacciata con una CPU, sarà possibile garantire allo stesso tempo sia la sicurezza necessaria per impedire esposizioni accidentale del personale alle radiazioni ionizzanti sia monitorare lo stato del sistema stesso senza bisogno di ulteriore hardware.
- Con la seconda fase si procederà alla realizzazione, costruzione e test di un apparato basato su tecnologia FPGA che possa essere impiegato all'interno di una facility sia per la sicurezza del personale, grazie alla prova di principio di cui alla fase precedente, sia per la sicurezza di macchina, grazie all'esperienza di ELI-NP. Tale apparato sarà realizzato in modo da poter fornire:
 - tempo di azione per rispondere ad un problema in real-time (per acceleratori con tempo di ripetizione fino ad 1 kHz);
 - ridondanza doppia per massimizzare reliability e availability del sistema;
 - design modulare per scalare il sistema in un network multi-nodo con link ottici per accogliere le necessità di facility di grandi dimensioni;
 - design fail-safe e fail-proof per mantenere la sicurezza della facility anche in caso di malfunzionamento dell'apparato;
 - design scalabile per acquisire/produrre segnali digitali in base alle necessità;
 - resistenza alle radiazioni ionizzanti;
 - compatibilità con lo standard IEC-61508 sulla Sicurezza Funzionale, con la ANSI N43.1 "Radiation Safety for the design and operation of Particle Accelerator" e il report 88 del NCRP.

Verrà realizzato un caso dimostrativo di PPS da installare presso il linac di Dafne (che opererà parallelamente al sistema di protezione attualmente in uso senza affliggere l'uptime della macchina) con lo scopo di verificare e quantificare le performance del sistema ed eventualmente evidenziarne criticità da risolvere.

- Nella terza fase verrà realizzato un sistema di alto livello per la gestione e l'ottimizzazione delle performance della Beam Test Facility (BTF) di Dafne. Questa HLA si baserà su di un sistema di monitoraggio delle perdite di fascio, che sarà progettato ed installato su entrambe le linee disponibili, ed una unità di calcolo per la gestione della BTF e la localizzazione delle perdite che consenta un feedback sui correttori. Questo sistema garantirà monitoraggio delle perdite di fascio con un risoluzione di circa 4 cm e un feedback on-line integrato nel sistema di controllo.

In conclusione gli obiettivi del progetto comprendono:

- evidenziare i benefici di sistemi intelligenti nell'ambito degli acceleratori di particelle e come questi debbano essere strutturati includendo non solo un livello software, come le HLA, ma anche dell'hardware dedicato, come sistemi di protezione e sistemi di monitoraggio delle perdite di fascio nel trasporto;
- mostrare la fattibilità di impiego di una nuova tecnologia oltre lo stato dell'arte nell'ambito della protezione del personale dalle radiazioni ionizzanti garantendo la fail-safe, la fail-proof e l'affidabilità necessaria secondo gli standard industriali sulla Sicurezza Funzionale;
- realizzare un innovativo apparato impiegabile per la protezione di macchina e del personale ed evidenziarne scalabilità e flessibilità per l'applicazione su facility dell'ente ed eventuale trasferimento tecnologico;
- dimostrare il netto vantaggio economico, stimato di circa un fattore 7, sia nell'uso di questa tecnologia rispetto all'attuale basata su relè (correntemente usata nell'ente) sia nell'uso di risorse interne all'ente piuttosto che impiegare prodotti disponibili sul mercato.

2 Descrizione

Come anticipato nei paragrafi precedenti, verrà realizzato un caso dimostrativo utile per validare le fasi del progetto nel dettaglio validando funzionalità e prestazioni di cui sopra.

- Per quanto riguarda le prime due fasi, il setup impiegato punta a replicare il sistema di controllo accessi della "zona linac" di Dafne includendo, come illustrato da figura 1, il monitoraggio delle due porte schermanti, un pulsante di ronda e uno d'emergenza. L'apparato di controllo sarà costituito da due unità FPGA principali ognuna dotata di un modulo FPGA distribuito per dimostrare le funzionalità della ridondanza doppia e il design modulare. Le quattro unità FPGA installate in due stazioni, che saranno collocate in zone caratterizzate da alti ratei di dose del linac, come illustrato nella figura 1, verranno monitorate per dimostrare la resistenza alle radiazioni ionizzanti. Sarà realizzato

un prototipo con prodotti commerciali per verificare nell'immediato l'impiego di questa tecnologia e guidare il design dell'apparato che sarà realizzato.

Saranno installati micro-switch e pulsanti con doppi contatti per il cablaggio alle due unità FPGA (o dei relativi moduli distribuiti) ognuno dei quali monitorerà una linea di tutti gli elementi installati. I segnali prodotti/monitorati dai due sistemi FPGA principali saranno sempre in logica positiva per dimostrare il design fail-safe.

Per quanto riguarda l'impiego dell'apparato per la sicurezza del personale verrà storicizzato, per un periodo di 6 mesi, l'attività dei micro-switch sulle porte schermanti e del pulsante di ronda che verranno comparati con quelli dell'attuale sistema di sicurezza (saranno realizzati gli opportuni cablaggi in parallelo senza inficiare il funzionamento dello stesso). Questo setup insieme ad una campagna di verifica di ciascuna condizione programmata nelle unità FPGA provvederà a verificare la fail-proof del sistema.

La verifica delle performance dei tempi di risposta dell'apparato, quindi la verifica del funzionamento in real-time, sarà condotta con una campagna di misure per stimare il tempo di risposta nel caso più gravoso: un segnale in ingresso ad un modulo distribuito causa la produzione di un segnale d'uscita nello stesso modulo (round-trip delle informazioni dal modulo distribuito a quello principale e di nuovo indietro).

- Nella terza fase saranno installate fibre scintillanti lungo le due linee di fascio in BTF, come illustrato nella figura 2, che saranno poi rilette con dei SiPM acquisiti tramite Wave-Catcher. Il sistema di monitoraggio delle perdite così costituito permetterà di localizzare le perdite di particelle cariche con una risoluzione longitudinale di ~ 4 cm.

Questo sistema di monitoraggio andrà sostenere le operazioni automatizzate della HLA che andrà ad operare e monitorare on-line le performance delle due linee di fascio secondo le richieste della facility (elettroni/positroni, energia, intensità, spot trasverso) andando ad operare tutti gli elementi di macchina coinvolti (target, magneti, collimatori ed apparati di diagnostica). In aggiunta a questo, il software di controllo provvederà anche all'ottimizzazione delle performance tramite correzione dello spread in energia e correggendo variazioni di intensità del fascio dovute alla commutazione elettroni/positroni nel linac.

L'affidabilità del sistema verrà verificata in prima istanza con tempo macchina dedicato sotto la supervisione del personale della BTF e poi successivamente in parallelo alle attività della facility al servizio diretto degli utenti.

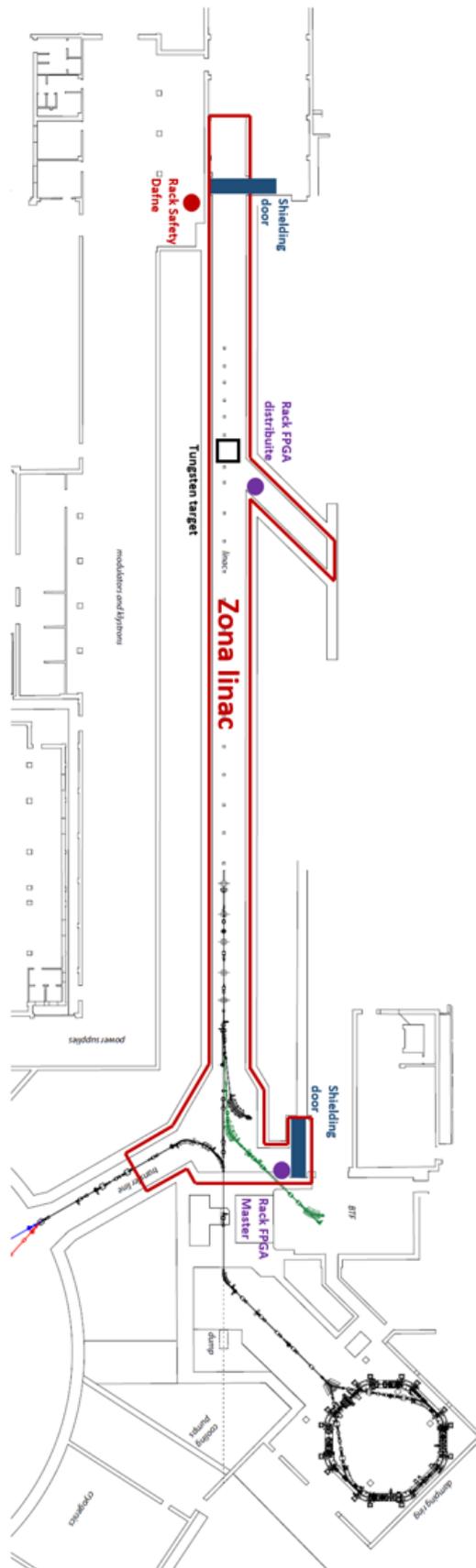


Figure 1: Setup da installare nel linac per replicare il monitoraggio della zona radioprotetta.



Figure 2: In rosso i segmenti di fibre scintillanti da installare lungo le due linee di fascio.

3 Costi, calendario e risorse

Di seguito verranno presentati i costi per la realizzazione delle due fasi del progetto, le risorse che dovranno essere messe a disposizione e un gantt chart, figura 3, illustra la scala dei tempi.

	Costi	Risorse da LNF
Fase 1- design di un apparato basato su tecnologia FPGA per la protezione del personale.	—	—
Fase 2 - design, sviluppo e test di un apparato per protezione di macchina e del personale.	30k€	1 mese uomo (tecnico servizio linac DA) 2 mese uomo (tecnico servizio controlli DA) 2 mese uomo (tecnico fisica sanitaria DA) 2 mesi uomo (servizio elettronica DR)
Fase 3 - design, test e sviluppo di un sistema di ottimizzazione del trasporto di fascio.	5k€	1 mese uomo (tecnico servizio controlli DA) 2 mesi uomo (servizio linac DA)

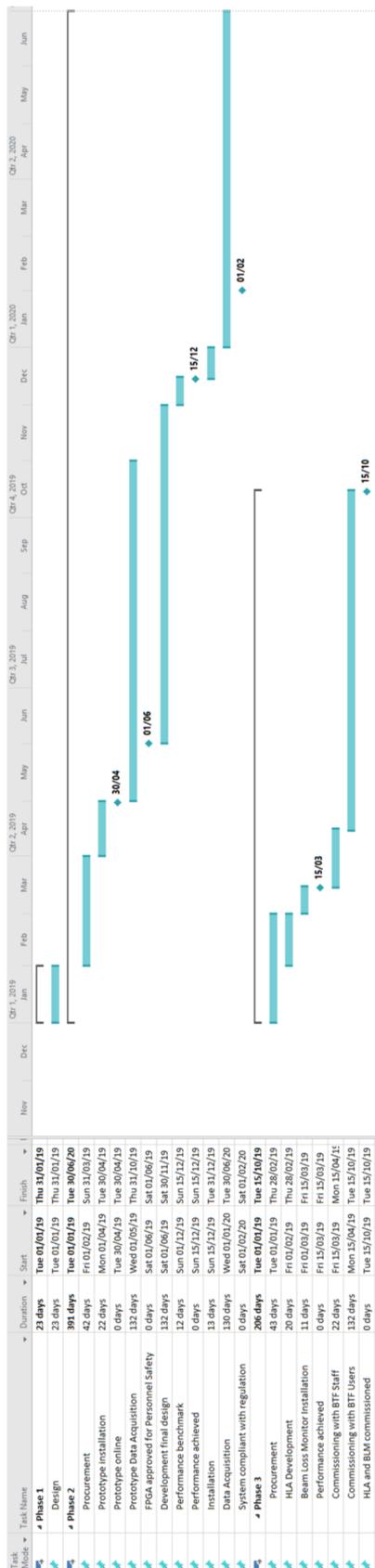


Figure 3: Gantt chart per la realizzazione delle varie fasi del progetto. Il t_0 è solo una data indicativa.

4 Acknowledgements

Un sentito ringraziamento per il sostegno e la revisione del progetto a P. Campana, A. Ghigo, A. Variola, P. Valente, O. Frasciello, B. Buonomo, M. Ferrario, C. Milardi e A. Stecchi.