Il personale tecnico INFN e l'elettronica

Mauro Citterio, Riccardo Travaglini

8 - 10 Maggio 2025 - La Biodola, Isola D'Elba

01. Come siamo visti e dove siamo

02. Lo stato attuale e le tendenze

03. Infrastrutture e personale

04. Criticita' e desiderata

01. Come siamo visti e dove siamo

Come siamo visti .....

Un motore di ricerca conversazionale, alimentato da modelli di intelligenza artificiale avanzati sintetizzerebbe ....

L'elettronica nell'INFN rappresenta un pilastro tecnologico per esperimenti di fisica nucleare, fisica delle alte energie, astrofisica ma anche in applicazioni interdisciplinari.

Con competenze che spaziano dalla progettazione di circuiti integrati rad-hard all'ottimizzazione di sistemi di acquisizione dati, l'Istituto è protagonista in progetti internazionali ad LHC, Fermilab .. collabora con ASI, ESA ed industrie.

Le sfide poste da futuri esperimenti - dall'aumento dei tassi di interazione alla necessità di ridurre consumo energetico e footprint - richiedono una costante innovazione.

perplexity

Dove siamo .....

L'elettronica nell'INFN è a un crocevia:

- da un lato, le competenze accumulate garantiscono leadership in progetti internazionali
- dall'altro, l'innovazione accelerata richiede scelte strategiche.

L'incontro odierno vuole essere un'occasione per affrontare priorità e sinergie, per farsi delle domande, per stimolare un dialogo costruttivo sulla direzione da intraprendere.

Per trasformare le sfide in opportunità

Per mantenere noi stessi e l'Istituto all'avanguardia della ricerca globale

02. Lo stato attuale e le tendenze

L'elettronica e' microelettronica avanzata, sensoristica di nuova generazione, sistemi di acquisizione dati ad alte prestazioni e l'integrazione di tecnologie digitali e di comunicazione all'avanguardia

1. Microelettronica e ASIC

Progettazione di circuiti integrati specializzati (ASIC), cruciali per la lettura di rivelatori avanzati

2. Elettronica di Front-End e Sistemi di Acquisizione

Elettronica posizionata a pochi millimetri dai rivelatori, ottimizzata per minimizzare rumore e ritardi

Sistemi di acquisizione dati (DAQ) basati su FPGA, link veloci e architetture compatte e modulari

3. Sensori di ultima generazione ed elettronica

L'elettronica e' sempre più' interconnessa con il rivelatore.

Il system engineering e' parte essenziale del progetto

4. Sostenibilita' Energetica ed innovazione

Il consumo dei sistemi di lettura deve essere ridotto del ~ 50% per gli esperimenti post-2030.

Nuovi sensori quantistici e l'arrivo dell'Intelligenza Artificiale

Cloud Computing e ICT per la ricerca

Microelettronica e ASICs

Le attività includono studi approfonditi sulla tolleranza alle radiazioni di dispositivi elettronici, fondamentali per garantire l'affidabilità dei sistemi in esperimenti di fisica delle alte energie e in ambienti spaziali

Stiamo sviluppando circuiti integrati (ASIC) in tecnologie CMOS di "ultima generazione" per la lettura di rivelatori, sfruttando tecnologie che permettono la realizzazione di pixel chip monolitici.

- **Progetto Ignite**: Realizza matrici di pixel miniaturizzate (25×100 μm^2) in tecnologia TSMC 28 nm, con architetture front-end basate su Time over Threshold (ToT) per la lettura di raggi X e particelle.
- **Progetto Arcadia**: Utilizza processi LFoundry 110 nm per sensori monolitici full-depleted, candidati per l'Inner Tracking System del futuro collisore FCC.
- **Progetto Aspides**: Piattaforma CMOS per Digital SiPM e SPAD (Single Photon Avalanche Diode), ottimizzata per calorimetria dual readout e fisica dei neutrini.

Questi chip integrano logica digitale, riduzione del rumore e tolleranza alle radiazioni, con verifiche formali per garantire affidabilità in ambienti estremi.

Elettronica di Front-End e Sistemi di Acquisizione

L'aumento dei tassi di trigger (fino a 40 MHz) rende impraticabile l'invio di tutti i dati ai sistemi centrali. L'uso di FPGA con reti neurali integrate permette di filtrare eventi in tempo reale con efficienza superiore al 99%.

L'implementazione di algoritmi ML su hardware rad-hard richiede una riprogettazione dei flussi di dati e una stretta collaborazione tra fisici e progettisti

Nei rivelatori moderni, la prima parte dell'elettronica (front-end) è spesso custom e progettata per digitalizzare il segnale il prima possibile, riducendo il rumore e migliorando la qualità della misura

Vengono esplorate soluzioni innovative per circuiti stampati (PCB) con geometrie inusuali, rigido-flex e alta densità di interconnessioni, per supportare la miniaturizzazione e la flessibilità di integrazione con i rivelatori

Investiamo nello sviluppo di sistemi di acquisizione dati (DAQ) basati su FPGA, link veloci e architetture compatte e modulari, capaci di gestire un alto numero di canali e garantire la tolleranza alle radiazioni per applicazioni in ambienti ostili come quelli degli acceleratori di particelle

DAQ moderni utilizzano trigger gerarchici per filtrare eventi in tempo reale.
Esperimenti come ATLAS generano ~1 PB/s di dati grezzi, ridotti a ~1 GB/s dopo il trigger

Sensori di ultima generazione ed elettronica

I rivelatori a silicio rappresentano sempre una priorità ma non sono gli unici rivelatori.
L'elettronica e' sempre più interconnessa con il rivelatore.

Gli aspetti di "sistema" diventano preponderanti

La corretta dissipazione del calore e' essenziale

Nuovi Silicon Tracker a Pixel: per la ricostruzione di vertici in collisioni ad alta luminosità, richiedono ASICs, elettronica discreta su **supporti flessibili e power distribution integrata** con il sensore

MAPS (Monolithic Active Pixel Sensors): Incorporano **volume sensibile ed elettronica di lettura nello stesso substrato** (CMOS 65 nm), con pixel da 20 µm e consumi ridotti. Questi rivelatori al silicio curvabili (raggio di curvatura <5 cm) utilizzati nell'ITS3 di ALICE (CERN) troveranno applicazione in satelliti per il tracciamento di particelle cariche.

LGAD (Low-Gain Avalanche Diodes): Forniscono **risoluzione temporale inferiore a 30 ps**, fondamentali per esperimenti come ALICE 3 (2035) ed ePIC (EIC, Brookhaven).
Questi sensori saranno testati in condizioni estreme: flussi di particelle fino a 20 MHz/cm^2 e dosi cumulative di radiazione superiori a 1 Grad

Rivelatori a Gas: GEM e TPC: I Gas Electron Multiplier (GEM) richiedono front-end a **basso rumore** (ENC ~500 e$^-$) per **segnali di carica deboli** (~10 fC). Circuiti integrati come l'APV25, utilizzato in CMS, combinano 128 canali con shaping time regolabile (50–200 ns)

Spettrometri Gamma: Germanio Iperpuro
Sistemi come AGATA utilizzano schede elettroniche con **ADC commerciali a 14 bit e shaper digitali** per risolvere energie gamma con precisione <0.1%

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems): Interferometri sviluppati per **nanosatelliti**, con **sensori di movimento a risoluzione nanometrica**

.....

Sostenibilita' Energetica ed innovazione

Tecnologie come il serial powering (ITK in ATLAS) e l'adozione di processi CMOS a 28 nm con tensioni di alimentazione inferiori a 0.9 V sono promettenti, ma pongono sfide nella gestione termica

Ottimizzazione di algoritmi di intelligenza artificiale per hardware a basso consumo. L'uso di reti neurali embedded per l'analisi in tempo reale dei dati

Standardizzazione protocolli: convergenza verso formati comuni (IPbus, PCIe) per ridurre la frammentazione degli sviluppi.

Lo sviluppo di sensori quantistici basati su correlazioni entangled, capaci di ridurre il rumore e migliorare la risoluzione temporale (<100 ps) nei sistemi di imaging a singolo fotone (SPAD)

Potrebbero aprire la strada a sensori compatti per applicazioni spaziali e medicali.

Partecipiamo attivamente allo sviluppo di piattaforme per il calcolo scientifico multidisciplinare, anche su cloud computing, con requisiti stringenti quali la bassa latenza e la sincronizzazione real time
Le competenze degli elettronici su piattaforme quali FPGA - con linguaggi ad alto livello - possono contribuire significativamente

03. Infrastrutture e personale

Conoscere e migliorare le nostre capacità e' la chiave per la prossima generazione di esperimenti, bilanciando ricerca fondamentale e impatto industriale

2. Dotazioni hardware, software e non solo

Ricchezza di ciò' che abbiamo e possibilità' di scelta

Necessita' di canali per le "produzioni"

1. Infrastrutture

Le strutture che permettono il nostro lavoro

Create per esigenze "particolari" che possono diventare patrimonio di tutti

3. Il Personale

Una forza silenziosa che fa vivere i progetti

Da valorizzare e da aumentare

Infrastrutture

Capillare distribuzione sul territorio ma non facile condivisione di quello che abbiamo

La comunita' non ha un "luogo" comune dove ritrovarsi

Ogni Sezione/Laboratorio ha una o piu' infrastrutture dedicate all'elettronica

- Laboratori di elettronica
- Laboratori di supporto agli acceleratori
- Laboratori di Microelettronica
- Facilities di test
- Aree di montaggio
- Camere bianche
- ……..

Nate come supporto a necessità sperimentali, mantenute e cresciute negli anni

In molti casi queste infrastrutture sono descritte nei siti delle Sezioni/Laboratori

Non c'è invece un sito web Nazionale dedicato alla comunita', in cui sia possibile condividere il nostro "patrimonio sperimentale"

- Difficile crearlo ma di indubbia utilità'
- La comunita' acceleratori avendo lo stesso problema ha creato il suo

Dotazioni hardware, software e non solo

Dal CAD al test passando dai componenti e i circuiti stampati

- Ampie dotazioni di strumenti di misura, test e lavorazioni
  - Sinergia tra servizi ed esperimenti: acquisti importanti per progetti specifici diventano poi asset delle strutture
  - Un ampio spettro di prestazioni (e costi): oscilloscopi, analizzatori di spettro, time domain reflectomer, generatori, stazioni di rilavorazioni, wire-bonder, ...

- Software
  - CAD di progettazione (microelettronica, circuiti stampati, ...) e simulazione
  - Situazione eterogenea tra le strutture (molteplicità di sw - licenze nazionali e locali) fino ad ora un punto di solidità

- Componentistica elettronica
  - Contratto nazionale per acquisto a catalogo

- Prototipazione veloce, uno strumento fondamentale
  - Diversita' di soluzioni nella varie strutture (in-house, RS, contratti "a consumo", terzisti,..)

Il Personale

La capacità e la "ingenuity" per far vivere queste attività non saranno mai raggiunte dall'Intelligenza Artificiale

Più di 200 persone con competenze costruite su anni di impegno, lavoro continuo, formazione e "condivisione" delle conoscenze.

Persone che sanno progettare, realizzare, misurare, installare ....

- che imparano ed introducono continuamento "elementi innovativi" nel work flow
- che vivono il loro lavoro/ruolo in modo partecipato ed attivo.

Non dobbiamo per forza introdurre un nuovo "prodotto di marketing", ma sappiamo scegliere ciò che e' lo stato dell'arte ed ottimizzarlo nei nostri progetti

- in alcuni casi le specifiche a cui dobbiamo sottostare richiedono un'attenzione che l'industria dell'elettronica non puo' permettersi.

Siamo esperti "in settori di nicchia" e possiamo continuare ad esserlo.

Occorre trasferire e programmare il sapere dai senior ai giovani?

Occorre che i giovani capiscano l'importanza e la bellezza di essere tecnici INFN.

04. Criticita' e desiderata

Cosa non funziona proprio come vorremmo e come ci piacerebbe che fosse

1. Strumentazione

La mia cassetta degli attrezzi e' fornita?

Anche quelli che ci sono riesco ad usarli al meglio?

2. Formazione

La formazione INFN e' adeguata alle esigenze degli elettronici?

Vi sono altre opportunita' e riesco a sfruttarle?

3. Burocrazia

Quanto del mio tempo lavorativo mi appare come "perso"?

Quanto quello dei miei colleghi con cui dovrei fare elettronica?

4. Colleghi

Non parliamo di problemi personali!
Il servizio in cui lavoro e' adeguato alle richieste?
Il cambiamento "anagrafico" ha impatto sul mio lavoro?

Strumentazione

La mia cassetta degli attrezzi e' fornita?
Anche quelli che ci sono riesco ad usarli al meglio?

- Strumenti di misura, test e lavorazioni
  - In generale non ci sono carenze, abbiamo gli strumenti che ci servono (qualche problema localizzato?)
  - Si puo' pensare ad un metodo di condivisione, se non prestito, degli strumenti piu' avanzati (costosi) o che richiedono competenze particolari per l'utilizzo corretto
- Software
  - Le licenze sono un problema (poche e molto costose) es: Altium
  - Open source vs. proprietari
- Componentistica elettronica
  - Alcune criticita' del contratto nazionale RS: disponibilita' e fatturazione
  - Impossibilita' di acquistare da altri cataloghi online
- Prototipazione
  - Si potrebbe auspicare una soluzione nazionale (non facile fare un capitolato)
  - Il montaggio?

Formazione

La formazione INFN e' adeguata alle esigenze degli elettronici?

Vi sono altre opportunita' e riesco a sfruttarle?

- I corsi di elettronica presenti nell'offerta formativa INFN ogni anno sono molto apprezzati

- Alcune criticita' sui corsi erogati da esterni
  - Costo: corsi di alto livello forniti da industrie e privati richiedono impegni gravosi (qualche migliaio di euro) e per poche persone
  - Tempi: informazioni sui corsi o disponibilita' residue con pochi giorni o settimane di preavviso

Burocrazia

Quanto del mio tempo lavorativo mi appare come "perso"?
Quanto quello dei miei colleghi con cui dovrei fare elettronica?

- Una parte estranea all'elettronica ma e' inevitabile
  - Ordini (quanti tecnici RUP o punti istruttori? Comunque coinvolti nel preparare documentazione non tecnica?)
  - "Non voglio disturbare il mio collega (o il mio responsabile) perche' e' pieno di compiti burocratici ma quanto lavoreremmo meglio se potessimo dedicarci solo all'elettronica?"
  - Altri tipi di carichi burocratici?

Colleghi

Non parliamo di problemi personali!
Il servizio in cui lavoro e' adeguato alle richieste?
Il cambiamento "anagrafico" ha impatto sul mio lavoro?

- Si nota nei servizi di elettronica un aumento di tecnologi in proporzione rispetto ai tecnici
  - Cambia il carico di lavoro o la tipologia?
- Innalzamento attivita' media del personale tecnico elettronico
  - In media (non in tutte le strutture) si fatica a reclutare giovani tecnici: come impatta il lavoro?
  - Si fa (o si riesce a fare) affiancamento ai giovani?

Opportunita' di incontro e scambio: una richiesta sentita

1. Esigenza

Condividere sia i problemi che le soluzioni

2. Incontri

Riunioni, workshop, eventi, ...

3. Strumenti per la condivisione

Riservati, open, ...

Esigenza

Condividere sia i problemi che le soluzioni

- Condividere i problemi:
  - Conoscere le competenze degli altri per trovare il giusto supporto (es: chi è esperto di EMI? Chi sa misurare l'impedenza di una pista di PCB?)
  - Problemi comuni possono generare la massa critica per soluzioni migliori (es: una libreria di componenti condivisa per PCB Expedition)
- Condividere le soluzioni:
  - Circuiti
  - IP (Asic e FPGA)

Incontri

Riunioni, workshop, eventi, ...

- Una vera e propria commissione nazionale forse è eccessiva
  - Tuttavia, un coordinamento per aumentare e ottimizzare le occasioni per fare rete può dare continuità (es: riunione dei vari servizi di elettronica nel 2018)

- Vi sono molte possibili tipologie di incontri auspicati
  - Workshop veri e propri con presentazioni delle attività
  - Riunioni degli afferenti ai servizi
  - Eventi come INFN condivide tecnici

Strumenti

Riservati, open, ...

- Mailing list(s)
- Sito Web
- Un forum di elettronici (servizi? ampliato?)
- Condivisione IP
  - Quale tool? (gitlab, baltig, ...)
  - Problema delle licenze e della proprietà intellettuale

Domande che ci vengono spontanee

Per rimanere allo stato dell'arte dobbiamo interrogarci sulle nostre forze e le nostre debolezze

1. **La vera forza e' il nostro patrimonio umano:** Come possiamo trasferire efficacemente le nostre conoscenze ai nuovi assunti?
2. **Ottimizzazione delle Risorse**: Con budget limitati, come priorizzare tra lo sviluppo di ASIC custom e l'adattamento di soluzioni commerciali (es. FPGA di ultima generazione)? Come minimizzare i costi di produzione/assemblaggio delle schede elettroniche?
3. **Formazione Continua**: Quali competenze (es. machine learning embedded, fisica dei semiconduttori) dovrebbero essere potenziate nei prossimi 5 anni?
4. **Collaborazione Industriale**: Come bilanciare trasferimento tecnologico e tutela della proprietà intellettuale in progetti con partner privati?
5. **Standardizzazione vs. Personalizzazione**: È auspicabile una maggiore convergenza/condivisione di "componenti" comuni, protocolli e standard specializzati per ridurre la frammentazione e le "quasi" duplicazioni?

Grazie

8 - 10 Maggio 2025 - La Biodola, Isola D’Elba