

V Scuola Nazionale

Rivelatori ed Elettronica per
Fisica delle Alte Energie, Astrofisica,
Applicazioni Spaziali e Fisica Medica

INFN Laboratori Nazionali di Legnaro
15-19 Aprile 2013

Abstract delle lezioni

Lunedì 15 Aprile, pomeriggio
Introduzione: radiazioni e rivelatori a semiconduttore
(Chairman Dario Bisello, Università e INFN Padova)

14.00-15.40

Introduzione al danno da radiazione: concetti base e quantità fisiche

Jeff Wyss (DIMSAT, Università di Cassino e INFN Sezione di Padova)

Abstract. L'interazione fra radiazione e materia è alla base sia del funzionamento di rivelatori e di sistemi microelettronici per applicazioni scientifiche e tecnologiche sia, in alcuni casi, del loro malfunzionamento. Garantire il corretto funzionamento dei rivelatori e dell'elettronica è importante soprattutto quando questi sistemi devono lavorare in ambienti ostili per la presenza di radiazione.

L'importanza del concetto di radiazione e di danno da radiazione investe molti campi. È di notevole interesse per tutte le attività agli acceleratori di particelle e sui satelliti, dalle scienze di base (Fisica delle Alte Energie, Astrofisica, Scienze dei Materiali) alle attività commerciali nello spazio, per l'avionica, per la medicina nucleare (diagnostica e terapia), e per le applicazioni industriali. Non è perciò sorprendente che lo studio del danno da radiazione costituisca un campo molto attivo nella ricerca applicata.

In questa lezione illustrerò i concetti essenziali, le definizioni e le grandezze in gioco (dose, Linear Energy Transfer, Non-Ionizing Energy Loss, Effetti da evento singolo, sezione d'urto). L'approccio sarà elementare e di ampio respiro. Lo scopo è fornire ai novizi gli strumenti di base per la comprensione di articoli più tecnici.

16.10-17.50

From pn junction to semiconductor detectors

Piero Giubilato (Dipartimento di Fisica e Astronomia, e INFN Sezione di Padova)

Abstract. After a brief review of the physical properties of the pn junction, principles of operation of different technologies for particle solid state sensor will be described. Special emphasis will be given to detectors providing spatial information, like strip and pixel sensors. Sensitivity, efficiency, noise and other relevant properties will be discussed for every presented detector type. Practical applications for the presented technologies will be discussed as well. A brief overview on practical technological limits involving the use of such detectors will be also provided.

Martedì 16 Aprile, mattina
Effetti delle radiazioni su rivelatori a semiconduttore.
(Chairman Pier Luigi Zotto, Università e INFN Padova)

9.00-10.40

Macroscopic damage in silicon detectors and its consequences to detector operation

Gregor Kramberger (Jozef Stefan Institute, Slovenia)

Abstract. The lecture will shortly summarize the principles of silicon detector operation: from the p-n junction to the detection of charged particles. The techniques regularly employed for characterization of the sensors will be also introduced. The formation of the signal will be explained in order to extract the basic sensor parameters from it. The consequences of radiation damage to sensor macroscopic performance will be deeply discussed.

The second part of the lecture will be devoted to segmented detectors, i.e. detector capable of providing high spatial resolutions, in particular micro-strip and pixel detectors. The most important parameters determining their performance as tracking detectors at High Energy Physics (HEP) experiments such as: signal to noise ratio, position resolution, response capability at high rate of impact, etc. will be addressed. Particular emphasis will be given on the changes of the detector macroscopic performance with irradiation and how to overcome these difficulties in order to successfully implement silicon detectors at future experiments in the LHC upgraded.

11.10-12.50

Microscopic radiation damage in semiconductor detectors

Mara Bruzzi (Dipartimento di Energetica e INFN Firenze)

Abstract. Microscopic defects in semiconductors have a strong influence on transport properties, directly influencing the performance of semiconductor-based devices. This is due to the fact that defects are usually related to localized energy levels placed within the forbidden gap, which are responsible of mechanisms such as doping, trapping and generation-recombination.

In this lecture, a discussion on the principal kind of defects in semiconductor detectors is carried out, with particular focus on radiation induced ones. Recent techniques used to reveal defects in semiconductors are shown. The relationship between radiation induced microscopic defects and macroscopic changes in the electrical properties of the detectors, such as charge collection efficiency, full depletion voltage, leakage current, diffusion length, and so on, is discussed. Different operative environments, all involving special constraints in the radiation hardness of semiconductor detectors, are presented.

A special regard is devoted to silicon detectors planned for forward trackers in future High Energy Physics (HEP) experiments, as in the upgrade of the Large Hadron Collider (LHC) at CERN, but other applications, as dosimetry for radio- and hadron-therapy and semiconductor devices used in space will be addressed as well.

Martedì 16 Aprile, pomeriggio
I fotomoltiplicatori al silicio
(Chairman, Roberto Stroili Università e INFN Padova)

14.00-14.50

Fotorivelatori: tecnologie, sviluppi recenti e tendenze future

Gianmaria Collazuol (Dipartimento di Fisica e Astronomia e INFN Padova)

Abstract. In questa lezione saranno illustrati i più moderni rivelatori per luce dall'ultravioletto all'infrarosso. Dopo un'introduzione sui principi di funzionamento dei diversi tipi di sensori (tubi a vuoto, rivelatori a stato solido e ibridi), saranno discusse le caratteristiche fondamentali (guadagno, efficienze, rumori di buio e di moltiplicazione, afterpulsing, tempi di transito e relative fluttuazioni, invecchiamento, etc. etc.) e le modalità di caratterizzazione e calibrazione.

Enfasi sarà data agli sviluppi più recenti per i fotomoltiplicatori al silicio e i tubi a vuoto e al confronto tra le due tecnologie. Dopo un riassunto dei rispettivi pregi e difetti la lezione verrà conclusa con cenni su possibili miglioramenti e sviluppi futuri.

14.50-15.40

Evoluzione tecnologica dei fotomoltiplicatori al silicio in FBK

Claudio Piemonte (Fondazione Bruno Kessler, Trento)

Abstract. La tecnologia dei fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) sta riscuotendo un enorme interesse in campo scientifico. I vantaggi, rispetto ai classici tubi fotomoltiplicatori sono ben noti e in molti casi permettono di ridefinire e rimodellare gli apparati per ottenere maggiori informazioni, robustezza e diminuzione del costo.

In questa lezione verrà descritta l'evoluzione della tecnologia dei fotomoltiplicatori al silicio all'FBK. I fattori di merito più importanti che hanno guidato questa evoluzione sono l'efficienza di rivelazione, il rumore primario, il rumore in eccesso, il range dinamico e il timing. Vi sono, poi, altri fattori determinanti, non strettamente legati alla prestazione, ma all'effettivo utilizzo del dispositivo in un sistema: l'uniformità della tensione di lavoro, la stabilità in temperatura ed il costo. In questa lezione verrà data una panoramica sulle diverse strade tecnologiche intraprese relativamente agli elementi sopramenzionati.

16.10-17.00

Applicazioni mediche dei fotomoltiplicatori al silicio

Maria Giuseppina Bisogni (Dipartimento di Fisica e INFN Pisa)

Abstract. I fotomoltiplicatori al silicio rappresentano una delle principali innovazioni degli ultimi 10 anni nel campo della sensoristica. Proposti inizialmente come fotorivelatori per applicazioni di fisica delle particelle, hanno presto trovato ampie potenzialità applicative nel campo dell'imaging medicale ed in particolare nei rivelatori PET di prossima generazione.

In questa lezione verranno passate in rassegna le diverse tecniche di imaging medico nucleare, le potenzialità offerte dall'impiego dei fotomoltiplicatori al silicio per migliorare le prestazioni dei sistemi attuali e lo sviluppo di tecniche diagnostiche innovative rese possibili grazie alle caratteristiche uniche di questi sensori.

17.00-17.50

Uso di fotomoltiplicatori al silicio in calorimetria adronica

Aldo Penzo (INFN Trieste)

Abstract. I fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) stanno rapidamente prendendo il posto dei tubi fotomoltiplicatori a vuoto in molte applicazioni, in particolare nel campo della Fisica sperimentale delle particelle. Una componente essenziale degli apparati installati sugli anelli di collisione di alta energia, ad esempio LHC al CERN, è costituita da strumenti calorimetrici, in cui le particelle prodotte dalle collisioni dei fasci, depositano la loro energia, che viene misurata mediante elementi attivi contenuti nel calorimetro. In molti di tali esperimenti (ad esempio CMS e ATLAS a LHC) gli elementi attivi del calorimetro sono costituiti da materiale scintillante, il cui segnale luminoso viene raccolto da fotorivelatori, tradizionalmente tubi a vuoto.

Nei programmi di incremento di tali rivelatori per mantenerli ai migliori livelli di efficienza in vista delle prossime fasi di sperimentazione a LHC (con importanti aumenti di energia e luminosità) è previsto in molti casi di sostituire i fotorivelatori a vuoto con SiPM. Ciò ha portato ad un intenso programma di ricerca e sviluppo in collaborazione fra ricercatori e produttori di SiPM al fine di giungere a standard adeguati alle esigenze sperimentali ed alle condizioni particolari di impiego. È questo il caso del calorimetro adronico di CMS, che verrà illustrato in dettaglio.

Mercoledì 17 Aprile, mattina
Effetti delle radiazioni sull'elettronica
(Chairman Matteo Pegoraro, INFN Padova)

9.00-10.40

Elettronica di front-end per tracciatori in silicio

Valerio Re (Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bergamo e INFN Pavia)

Abstract. In questa lezione verranno discussi i principi generali e le tecnologie di realizzazione dell'elettronica di lettura per i tracciatori in silicio a pixel e a microstrip che vengono utilizzati nei moderni esperimenti di Fisica delle Alte Energie.

L'elevatissima granularità di questi rivelatori richiede di utilizzare circuiti di front-end a segnali misti fabbricati in tecnologie ad altissima densità di integrazione. Vengono analizzati i criteri di progetto che portano tali circuiti a soddisfare severi requisiti fra cui basso rumore, elevata velocità, bassa dissipazione di potenza ed elevata resistenza alle radiazioni. Vengono discussi i problemi fondamentali che devono essere affrontati nella realizzazione di un circuito microelettronico integrato di front-end, dal progetto dei blocchi analogici alla definizione dell'architettura digitale di lettura del chip. Infine la lezione esaminerà alcune delle soluzioni che sono state adottate in chip di lettura utilizzati nelle applicazioni sperimentali.

11.10-12.50

Danno da radiazione ionizzante in dispositivi e circuiti elettronici

Lodovico Ratti (Dipartimento di Elettronica e INFN Pavia)

Abstract. Circuiti e apparati elettronici sono utilizzati in svariati settori che richiedono un grado più o meno elevato di resistenza alle radiazioni: dalla ricerca fondamentale (Fisica delle Alte Energie, Scienza dei Materiali, Scienze della Vita, satelliti per Astronomia e sonde per l'esplorazione spaziale) alle applicazioni spaziali commerciali (satelliti per telecomunicazioni, meteorologici, per navigazione e per telerilevamento), dall'avionica alla terapia (acceleratori per radioterapia oncologica) e diagnostica medica (equipaggiamento per imaging radiografico) per arrivare ad ambiti più tipicamente civili ed industriali (produzione di energia da combustibile nucleare, produzione di circuiti integrati).

Quando i dispositivi e i circuiti elettronici sono impiegati in questi ambienti, possono interagire direttamente con fotoni, elettroni, protoni e altre particelle, con una possibile alterazione delle loro caratteristiche elettriche. Tale alterazione può produrre in un sistema elettronico uno spettro molto ampio di conseguenze, che va da un'accettabile degradazione delle prestazioni a un guasto grave e irreversibile. L'effetto della radiazione dipende da un lato dalle caratteristiche tecnologiche del sistema considerato e, dall'altro, dal tipo e dalla quantità di radiazione (dose) cui il sistema viene esposto.

In questa lezione, dopo l'introduzione di alcuni concetti fondamentali riguardanti l'interazione radiazione-materia, verranno discussi i meccanismi fondamentali del danno da radiazione ionizzante (total ionizing dose, TID) nei dispositivi elettronici, in particolare nei transistori MOSFET e nei transistori bipolari a giunzione. Particolare enfasi sarà posta sul deterioramento delle caratteristiche statiche e di rumore in dispositivi singoli e sulla degradazione delle prestazioni in circuiti di front-end per rivelatori di radiazione.

Mercoledì 17 Aprile, pomeriggio
Effetti delle radiazioni sull'elettronica. Rivelatori a pixel e monolitici
(Chairman Piero Giubilato, Università e INFN Padova)

14.00-14.50

The "Trento Institute for Fundamental Physics and Application"

Roberto Battiston (Università di Trento e INFN-TIFPA)

Abstract. INFN has recently approved a new National Center in Trento specifically devoted to create links between the fundamental research and the related technological developments: the "Trento Institute for Fundamental Physics and Application" (TIFPA). In addition to the Trento University, the partners of TIFPA include the Bruno Kessler Foundation with its Center for Micro Systems and the Trento Proton Therapy Agency: research areas will include advanced solid state sensor development, space instrumentation and scientific computing based on large data set. An introduction to the motivation behind TIFPA and to its scientific potential is presented in this talk.

14.50-15.40

Introduction to CMOS Pixel Sensors

Marc Winter (Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourgo, Francia)

Abstract. CMOS Pixel Sensors (CPS) are silicon based position sensitive devices integrating the front-electronics on the same substrate as their thin sensitive volume. Manufactured in commercial CMOS foundries, they provide particularly high granularity and low material budget. This makes them attractive for a wide panel of applications where more conventional pixel detectors do not allow for the resolution required or are too expensive to cover the desired sensitive area.

The lecture will start by introducing the principle of operation of CPS, will overview their main read-out architecture variants and will illustrate some of their advantages with established performances. Next, the state-of-the-art of CPS for charged particle tracking will be presented within the framework of the PXL detector of the STAR experiment at RHIC (BNL), the first vertex detector based on this pixel technology.

The last part of the lecture will address the limitations of existing devices and the developments carried on to overcome them, motivated by upcoming applications and targetting the real potential of the technology.

16.10-17.00

Monolithic pixels for innovative silicon detectors in HEP

Walter Snoeys (CERN, Ginevra, Svizzera)

Abstract. Monolithic pixel detectors integrating sensor matrix and readout in one piece of silicon have revolutionized imaging for consumer applications, and are now making their way in particle physics. They offer significant advantages compared to hybrid solutions: detector assembly is facilitated and production cost reduced, charge collection electrodes can be realized with very small capacitance values (down to a few fF!) yielding extremely favourable power-signal-to-noise performance. Such monolithic detectors have been implemented integrating CMOS on very high resistivity substrates (10^{12} cm^{-3}), and more recently using standard CMOS imaging technologies. Both approaches have been successful and have demonstrated good S/N performance. However, the former are difficult to produce in volume, and the latter have sequential readout schemes often not compatible with time-stamping requirements of High Energy Physics experiments and other applications, and are often very sensitive to radiation damage. Recently more CMOS technologies become available on substrates compatible with particle detection and after years of research they start being introduced in High Energy Physics.

The first part of the lesson will concentrate on the design of the devices and on the readout circuitry of monolithic detectors, especially in the presence of high radiation levels, and on the perspectives of realizing such detectors in modern commercial CMOS technologies for use in future High Energy Physics tracking detectors. Charge collection, electric field and breakdown, the interaction between power and signal-to-noise in the analog part of the readout and some issues with the digital circuitry and radiation tolerance will be covered.

17.00-17.50

Overview of large area CMOS sensors: challenges and applications

Nicola Guerrini (Rutherford Appleton Laboratory, Regno Unito)

Abstract. This lesson will be focused on large area CMOS sensors in order to consider their challenges and applications. The main topics covered in the presentation are:

- 1) introduction to CMOS sensors;
- 2) CMOS sensors current trends;
- 3) advantages and perspectives of large area sensors;
- 4) design challenges and possible solutions;
- 5) specific project: large area sensor for Transmission Electron Microscopy (TEM);
- 6) specific project: wafer scale sensor for medical applications;
- 7) specific project: wafer scale sensor for low energy x-rays.

Giovedì 18 Aprile, mattina
Effetti delle radiazioni e dispositivi per applicazioni spaziali
(Chairman Flavio Dal Corso, INFN Padova)

9.00-9.50.

Effetti da evento singolo nei componenti elettronici

Alessandro Paccagnella (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e INFN Padova)

Abstract. Uno dei maggiori problemi che deve affrontare l'elettronica in applicazioni ad alto tasso di radiazione, e soprattutto in ambito spaziale, è legato alla sensibilità nei confronti degli Effetti da Evento Singolo (Single Event Effects, SEE). Infatti, una sola particella ionizzante (tipicamente un raggio cosmico) che attraversa il circuito in un punto sensibile può generare malfunzionamenti elettrici, che possono andare dalla corruzione momentanea di un bit memorizzato alla distruzione catastrofica del componente. La presentazione intende offrire una panoramica generale sulle questioni legate ai SEE principalmente nei circuiti elettronici digitali. A partire dai fenomeni fisici della deposizione di carica lungo la traccia di una particella, verranno analizzati i vari tipi di malfunzionamenti che si possono registrare nei circuiti distinti nelle classi di errori Soft e Hard, le metodologie di test a terra e l'interpretazione dei risultati ottenuti, per concludere con esempi relativi a benchmark quali le memorie SRAM e la proiezione per le future tecnologie microelettroniche.

9.50-10.40

Effetti da evento singolo distruttivi in componenti elettronici di potenza

Giovanni Busatto (DAEIMI, Università di Cassino e INFN Pisa).

Abstract. I componenti elettronici di potenza (Diodi, MOSFET, IGBT ecc.) sono largamente usati nei sistemi di alimentazione di tutti gli apparati elettronici e microelettronici. In essi tali componenti svolgono prevalentemente il ruolo di interruttori a commutazione rapida e sono chiamati ad operare ad elevata frequenza di commutazione alternandosi tra lo stato di conduzione e di interdizione. In questo secondo stato tali componenti devono sostenere tensioni elevate e, pertanto, sono esposti al rischio di essere seriamente danneggiati quando vengono colpiti da particelle energetiche così come avviene nelle applicazioni spaziali o negli esperimenti di Fisica nucleare. Infatti, il transito di una particella in regioni del dispositivo dove sono presenti elevati campi elettrici favorisce l'instaurarsi di fenomeni di brevissima durata a causa dei quali il componente viene stressato elettricamente e/o termicamente al punto da subire danni irreversibili e, in molti casi, la rottura. Il fallimento del dispositivo può interessare sia il corpo del componente originando il cosiddetto Single Event Burn-out (SEB) sia la regione di gate che è presente nella struttura del MOSFET e dell'IGBT come terminale di controllo per sostenere detti componenti negli stati di conduzione e interdizione e per commutarli da uno stato all'altro. Il fenomeno che si manifesta in questo secondo caso viene detto Single Event Gate Rupture (SEGR).

La lezione è destinata a presentare, con il supporto di risultati sperimentali e simulazioni, i principali fenomeni fisici che si manifestano durante tali fenomeni di rottura. La trattazione sarà elementare e di ampio respiro ed avrà l'obiettivo di fornire agli studenti gli strumenti utili per comprendere i reali limiti operativi dei componenti di potenza da impiegare nei convertitori a commutazione destinati in particolare alle applicazioni spaziali. A tale scopo sarà presentato anche un confronto tra le prestazioni in termini di tolleranza alle radiazioni ionizzanti dei vari dispositivi oggi disponibili.

11.10-12.00

La fotonica per lo Spazio

Mario Nicola Armenise (Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Politecnico di Bari)

Abstract. I dispositivi fotonici in guida d'onda presentano, rispetto ai corrispondenti elettronici, notevoli vantaggi in termini di una maggiore elevata larghezza di banda nell'elaborazione e nella trasmissione dell'informazione, possibilità di moltiplicare e demoltiplicare segnali in modalità scalabile in sistemi DWDM, immunità da interferenza elettromagnetica e da scariche elettriche e peso notevolmente ridotto del mezzo di distribuzione (fibre ottiche) del segnale.

Fra i principali benefici che i sistemi fotonici possono presentare nelle applicazioni spaziali rispetto alle tecnologie convenzionali si ricordano: peso ridotto, perdite ridotte, aumentata resistenza alle interferenze elettromagnetiche, alle scariche elettriche e alle particelle cariche; maggiore compattazione dei componenti a bordo, elevata capacità di trasmissione, isolamento ottico di sottosistemi critici a bordo; elaborazione ottica ad alta velocità di segnali a RF e a microonde; possibilità di elaborare dati a bordo in modo da fornire servizi in tempo reale ad un gran numero di utenti. La lezione oltre a considerare ampiamente i precedenti aspetti, descriverà alcuni fra i più interessanti dispositivi fotonici che trovano impiego nelle applicazioni spaziali.

12.00-12.50

Attività e componenti optoelettronici per applicazioni spaziali

Matteo Bregoli (Optoelettronica Italia, Trento).

Abstract. Optoelettronica Italia, conosciuta anche con il trademark Optoi Microelectronics, è un'azienda di Trento che realizza e commercializza componenti microelettronici e microsistemi da oltre 15 anni. L'azienda è nata come spin-off dell'istituto di ricerca ITC-irst, ora denominato Fondazione Bruno Kessler, situato anch'esso a Trento.

Tra i componenti storicamente più rappresentativi di Optoi, compaiono i sensori optoelettronici per applicazioni industriali. Recentemente, sulla base delle crescenti progettualità inerenti le applicazioni aerospaziali, è stata definita in Optoi una divisione dedicata, nella quale rientrano sia gli sviluppi optoelettronici che quelli relativi alla microelettronica per radiofrequenza, accomunati dall'utilizzo finale della relativa tecnologia nel campo aerospaziale, dell'avionica e delle telecomunicazioni. Tali aspetti hanno richiesto un notevole sforzo di riorganizzazione che ha riguardato il miglioramento della camera bianca, l'acquisizione di nuovi macchinari, l'affinamento delle metodologie di realizzazione.

La lezione in particolare verterà sugli sviluppi in corso in Optoi nell'ambito dell'optoelettronica, con particolare riferimento agli optocouplers e ai fototransistori, che sono due tipologie di componenti attualmente sottoposti alla *ESCC evaluation* per l'impiego spaziale, nell'ambito di progetti ECI per ESA a seguito di sviluppi pregressi per CNES. Infine verranno presi in considerazione i miglioramenti tecnologici che sono stati introdotti sulle stesse famiglie di dispositivi nell'ambito di un recente progetto supportato dall'Agenzia Spaziale Italiana.

Giovedì 18 Aprile, pomeriggio
Effetti delle radiazioni e dispositivi per applicazioni spaziali
(Chairman Alessandro Paccagnella, Università e INFN Padova)

14.00-14.50

Effetti delle radiazioni su strumenti elettro-ottici per applicazioni spaziali

Gianni Berrighi (Selex ES, Campi Bisenzio, Firenze)

Selex è leader nel mercato mondiale per la progettazione e la realizzazione di sistemi complessi per applicazioni spaziali, da alloggiare su satelliti per determinare il loro orientamento (sensori d'assetto) e per osservazioni scientifiche (payload). Tali strumenti integrano discipline eterogenee, come meccanica, ottica, elettronica e SW real time, per poter operare con affidabilità estrema in ambienti ostili senza possibilità di riparazioni o manutenzione quali, ad esempio, quelli delle missioni spaziali. Le radiazioni presenti nello spazio sono un driver di progetto importante principalmente per la scelta dei componenti elettronici e ottici (lenti e trattamenti). Talvolta, per mitigare le potenziali problematiche indotte dalle radiazioni si implementano schermi metallici localizzati; sono comunque intraprese le contromisure a livello di sistema che assicurano la robustezza del progetto indispensabile a fronteggiare le tante incertezze nella conoscenza della modellizzazione di ambienti radiativi spaziali (sviluppati nel corso degli anni e dalle missioni precedenti). In particolare nella lezione saranno presentate a titolo di esempio le problematiche più comuni che è necessario affrontare per lo sviluppo di uno strumento di tipo "sensore stellare", mettendo in evidenza anche il flusso di lavoro che inizia con lo studio dell'ambiente di missione, la scelta dei tools di analisi, la selezione delle parti critiche al progetto e l'adozione di contromisure che assicureranno la robustezza del sistema.

14.50-15.40.

Radiation testing of electronic components for space applications

Veronique Ferlet-Cavrois (ESA ESTEC, Olanda)

Abstract. Radiation in space leads to both degraded performances of electronic components, and single event phenomena, including destructive events. Such damage at the part level can induce malfunction or ultimately functional failure at electronic box, subsystem, and even system levels. Depending on the component type and function, various tests will be undertaken. For space qualification, radiation tests follow a rigorous methodology recommended in the radiation test guidelines (e.g. ESCC22900 and ESCC25100) and the radiation harness assurance specifications (e.g. ECSS-Q-ST-60-15C).

This course will provide first an historical overview of known in-flight failures due to radiation. This will be followed by a presentation of typical radiation tests performed on space electronics and the observed failure modes, with examples on COTS ICs, power MOSFETs, etc. The existing test standards and RHA specifications and their respective coverage will then be shown. Finally, as an illustration of the space RHA procedure, examples of calculation of the in-flight rate from ground test results will be compared to real in-flight data.

16.10-17.00

Semiconduttori e dispositivi organici

Beatrice Fraboni (Dipartimento di Fisica, Università di Bologna)

I semiconduttori organici, ossia costituiti principalmente da carbonio e idrogeno (ad esempio pentacene, politiofeni e rubrene) stanno attirando un notevole interesse grazie alle loro proprietà (ad esempio la facile funzionalizzazione chimica, deposizione a bassa temperatura e su larga area, il basso costo di produzione, la loro flessibilità e trasparenza ottica) che permettono la realizzazione di dispositivi optoelettronici avanzati e innovativi (quali ad esempio transistor, fotodiodi, celle solari e LED).

La risposta di questi materiali in ambienti ove sono presenti radiazioni ionizzanti non è ancora stata caratterizzata, anche se i pochi risultati riportati in letteratura mostrano una notevole resistenza alla radiazione e la possibilità di utilizzare gli effetti dell'interazione radiazione-matrice organica per lo sviluppo di rivelatori di radiazione.

La lezione analizzerà i precedenti punti e infine considererà gli effetti dell'irraggiamento sui dispositivi organici, studio che richiede una comprensione approfondita dei loro processi di funzionamento, in parte diversi da quelli basati su semiconduttori inorganici.

17.00-17.50

RF-MEMS: caratterizzazione, affidabilità ed effetti delle radiazioni

Marco Barbato (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova)

Abstract. Gli interruttori MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) per applicazioni RF (Radio Frequenza) stanno diventando dispositivi interessanti per le loro performance rispetto ai dispositivi a stato solido. Possiamo menzionare ad esempio il basso consumo di potenza, segnali ad elevata frequenza (20-30 Ghz) e costi di produzione limitati.

Nonostante i molti vantaggi, i dispositivi RF-MEMS non hanno ancora conquistato il mercato a causa di problemi di affidabilità. Tra tutti possiamo nominare problemi di tipo meccanico: shock, vibrazioni e piegamento delle membrane metalliche; problemi di natura elettrica: intrappolamento di carica, microfusioni delle membrane dovute alla potenza del segnale RF; problemi di natura ambientale: umidità, temperatura e radiazioni.

Se consideriamo l'uso di questi dispositivi nelle comunicazioni satellitari, l'influenza delle radiazioni deve essere considerata un fattore primario in quanto utilizzati al di fuori dell'atmosfera terrestre.

Molti studi, negli ultimi due decenni, sono stati realizzati per migliorare l'affidabilità di questi dispositivi e quindi per renderli maturi all'introduzione definitiva sul mercato e per poter sfruttare tutte le loro potenzialità, tuttavia non si è ancora trovato un metodo di indagine definitivo per poter stimare in modo accurato il loro tempo di vita anche a causa degli innumerevoli fattori (meccanici, elettrici ed ambientali) che entrano in gioco durante stress prolungati di invecchiamento.

Venerdì 19 Aprile
Applicazioni delle radiazioni nella Fisica Medica
(Chairman Paolo Colautti, INFN Laboratori Nazionali di Legnaro)

9.00-9.50

Progetti dell'INFN nella Fisica Medica

Massimo Carpinelli (Università di Sassari e INFN)

Abstract. La Fisica nucleare e delle particelle produce continuamente innovazione a beneficio della medicina in diversi ambiti: diagnostico, terapeutico e preventivo. Le principali aree tematiche nelle quali l'INFN concentra la sua ricerca in campo biomedico sono: Imaging (Software e Hardware), Detectors, Tools per Adroterapia, BNCT, Radiobiologia, Radiofarmaci. In questa lezione vengono presentate le principali attività attualmente svolte in Fisica Medica dall'INFN.

9.50-10.40

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica: fasci di particelle per la cura dei tumori

Sandro Rossi (Fondazione CNAO, Pavia)

Abstract. L'adroterapia consiste nell'impiego di particelle subatomiche (protoni e ioni), sfruttando le loro particolari proprietà fisiche e radiobiologiche per la cura dei tumori. L'Italia è all'avanguardia in questo settore ed è in sperimentazione clinica a Pavia il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO). Nella presentazione si illustra il razionale dell'adroterapia, sono evidenziate le caratteristiche tecniche degli impianti che producono i fasci di particelle, si descrivono gli aspetti clinici e i più interessanti progetti di ricerca e sviluppo.

11.10-12.00

Fisica Nucleare per Adroterapia

Giuseppe Battistoni (INFN Milano)

Abstract. In questa presentazione verranno illustrate alcune delle linee di ricerca in adroterapia dove gli aspetti di Fisica Nucleare assumono una rilevanza particolare. Questo avviene soprattutto in relazione all'uso di fasci di ioni e nell'approccio a specifiche tecniche di imaging. Pertanto si propone di affrontare i seguenti punti:

- a) frammentazione dei proiettili nucleari e loro rilevanza nei trattamenti con ioni;
- b) produzione di emettitori β^+ , in vista dell'utilizzo della PET per il controllo dei trattamenti;
- c) produzione prompt di gamma e particelle cariche, utili per il monitoring dei trattamenti.

Si cercherà di illustrare lo stato dell'arte in questi settori, presentando le attività di ricerca in corso, evidenziando soprattutto quelle condotte all'interno dell'INFN.

Tali attività riguardano sia test di carattere sperimentale che sviluppo di modellistica per i codici Monte Carlo.

12.00-12.50

Caratteristiche radiobiologiche dei fasci di ioni e loro impiego in applicazioni adroterapiche

Roberto Cherubini (INFN Laboratori Nazionali di Legnaro)

Abstract. Fasci di ioni leggeri e pesanti forniti da acceleratori di particelle costituiscono una utile sonda per lo studio dei meccanismi di base coinvolti nell'induzione del danno a livello molecolare e cellulare in sistemi biologici da parte delle radiazioni ionizzanti.

Evidenze sperimentali mostrano una maggiore efficacia biologica delle particelle cariche nell'induzione degli effetti biologici rispetto alle radiazioni X e gamma. Questa maggiore efficacia biologica, unita alle proprietà del processo di perdita di energia e dell'avere un percorso finito nella materia, hanno determinato l'interesse verso l'uso delle particelle cariche nella radioterapia dei tumori (adroterapia).

La relazione tratterà le caratteristiche fisico-radiobiologiche degli ioni (deposito energetico; LET; struttura di traccia; curve dose-risposta; efficacia biologica relativa, RBE; problematiche radiobiologiche legate alla frammentazione degli ioni-pesanti; etc. etc.) e come queste costituiscono le basi per le applicazioni in adroterapia.