

L'attività di ricerca di Daniele Passeri si è sviluppata secondo alcune linee principali, tra loro correlate e cronologicamente sviluppate come di seguito descritto:

- studio e applicazione delle reti neurali artificiali e della logica “fuzzy”;
- analisi numerica e modellistica fisica dei dispositivi a semiconduttore;
- ottimizzazione delle geometrie e della tecnologia di fabbricazione di rivelatori di radiazione a stato solido;
- modellazione numerica del danneggiamento causato dalla radiazione in un semiconduttore;
- progettazione e realizzazione di sensori di radiazione a matrice di pixel attivi integrati in tecnologia CMOS sub micrometrica e su scala verticale (3D).

Più specificatamente, dopo la laurea ha intrapreso l'attività di ricerca presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, occupandosi inizialmente dello studio e applicazione delle reti neurali artificiali e della logica “fuzzy” e, in particolare, del progetto di un sistema software in grado di risolvere il problema della sintesi della presa di oggetti mediante organi di estremità robotici (cfr. [J2], [C1], [C2], [C3], [C4], [I1]).

In seguito, si è occupato di problemi connessi alla analisi numerica e modellistica fisica dei dispositivi a semiconduttore, dedicandosi allo sviluppo ed al collaudo di strumenti di simulazione, principalmente a livello di dispositivo. In particolare, in collaborazione con ricercatori delle Università di Bologna e Trento, ha contribuito allo sviluppo di un programma di simulazione per sensori elettrochimici basati sulle strutture elettrolita-isolante-semiconduttore (EIS). La soluzione delle equazioni descrittive di tali strutture, ottenuta tramite opportune tecniche di discretizzazione ed accoppiata alla soluzione delle equazioni del trasporto nel semiconduttore, ha consentito l'analisi di dispositivi ione-sensibili del tipo ISFET (Ion-Sensitive Field Effect Transistor) e LAPS (Light Addressable Potenziometric Sensors), e di correlare le loro caratteristiche di trasduzione ai parametri tecnologici di fabbricazione (cfr. [J4], [J6], [C5], [C7], [C8], [I2], [I3], [I4]).

Successivamente, in collaborazione con la sezione di Perugia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.), alla quale è associato dal 1996, e con il Laboratorio Europeo per la Fisica delle particelle (CERN) di Ginevra, al quale afferisce sempre dal 1996, ha collaborato all'attività di ricerca dell'esperimento Compact Muon Solenoid (CMS) in corso di definizione presso il futuro acceleratore di particelle Large Hadron Collider (LHC) del CERN.

In questo ambito, la sua attività si è concentrata nella estensione delle tecniche di analisi numerica normalmente applicate per dispositivi microelettronici “convenzionali” a dispositivi utilizzati nella fisica delle alte energie, in particolare ai sensori di radiazione (rivelatori di particelle). Tipicamente, infatti, i meccanismi di trasduzione sfruttati dai rivelatori di particelle a stato solido non sono considerati nell'analisi di dispositivi elettronici; si è quindi reso necessario lo sviluppo di appositi modelli numerici per considerare gli effetti dell'interazione di una particella elementare con i dispositivi a semiconduttore, con particolare attenzione dedicata alla generazione di carica dovuta al transito di una particella ad elevata energia attraverso un substrato di materiale semiconduttore.

In questo contesto, è stato intrapreso un programma di simulazione orientato alla ottimizzazione delle geometrie e della tecnologia di fabbricazione di rivelatori di radiazione a stato solido utilizzati nell'esperimento CMS. In particolare, sono stati analizzati i rivelatori a “microstriscia” integrati in silicio, applicando tecniche di modellistica numerica alla stima delle componenti di capacità intrinseche, critiche per quello che riguarda il rapporto segnale/rumore, in dipendenza del processo di fabbricazione e all'analisi dei campi elettrici “critici”, potenzialmente responsabili dell'insorgere di fenomeni di “breakdown” (cfr. [J12], [C15]). Simulazioni tempovarianti sono state invece utilizzate per descrivere il meccanismo di raccolta della carica generata dalla radiazione incidente da parte di più microstrisce parallele (cfr. [J1], [J3], [J5], [J18], [C6], [C9], [C10], [C12], [C18], [C21], [T1]). Nel corso di questa attività ha trascorso alcuni mesi presso il

“Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique di Neuchâtel,” Svizzera (sede di produzione dei rivelatori impiegati nell'esperimento CMS) e numerosi periodi al CERN, impegnato nella definizione e nella convalida di alcune specifiche di progetto del rivelatore CMS (cfr. [J7], [J9], [J11], [J14], [J15], [J16], [J17], [J20], [J23], [J36], [C13], [C16], [T2]). In particolare, è stato membro del gruppo il cui compito è analizzare e definire alcuni parametri geometrici e fisici del sottosistema di rivelazione del tracciatore dell'esperimento CMS basato sui rivelatori a microstriscia in silicio (“CMS Silicon Task Force”). I principali risultati di questa attività hanno permesso di definire alcuni parametri progettuali dei sensori a microstriscia dell'esperimento CMS (cfr. [J13], [J21], [J22], [J25], [J27], [J29], [J31], [J33], [J34], [C25]).

Inoltre, ha contribuito alla attività di ricerca della collaborazione internazionale ROSE (R & d On Silicon for future Experiments) il cui scopo è sviluppare rivelatori di particelle integrati in silicio “resistenti alla radiazione,” che possano cioè operare oltre i limiti degli attuali dispositivi, garantendo prestazioni adeguate per un lungo periodo (diversi anni) in ambienti sottoposti ad elevatissime dosi di radiazione. Le prossime generazioni di esperimenti nel campo della fisica delle alte energie, a causa dell'utilizzo di particelle sempre più energetiche, impongono infatti come principale requisito di progetto del sistema di rivelazione la resistenza al danneggiamento prodotto dalla radiazione. Un'efficace modellazione numerica del danneggiamento causato dalla radiazione in un semiconduttore è stata ottenuta mediante l'introduzione di centri di generazione/ricombinazione caratterizzati da livelli energetici cosiddetti “profondi”. Il tasso netto di generazione/ricombinazione nelle equazioni di continuità di carica è stato quindi adeguatamente generalizzato secondo una statistica Shockley-Read-Hall a livelli multipli. L'ambiente di simulazione sviluppato, convalidato attraverso il confronto con dati sperimentali, ha contribuito ad interpretare il comportamento di dispositivi “irraggiati”, consentendo inoltre di effettuare delle previsioni sul cambiamento delle proprietà elettriche dei rivelatori di particelle in diverse condizioni ambientali e, in particolare, in condizioni di progressivo danneggiamento (cfr. [J8], [J10], [J19], [J24], [J26], [J28], [J30], [C14], [C17]). Ulteriori sviluppi del modello hanno permesso di modellare anche l'interazione diretta dei difetti creati ai quali non è più applicabile una statistica SRH standard (cfr. [J32], [C23], [C29]) ed estendere l'analisi a condizioni operative non convenzionali, ad esempio a temperature criogeniche per ridurre l'effetto del danneggiamento da radiazione (cfr. [J36], [J37], [C35], [J40], [J43], [J47], [J49]).

L'esteso utilizzo di strumenti di CAD tecnologico (TCAD) insieme all'esperienza maturata nel campo dei sensori di radiazione a stato solido è culminata nell'attività di ricerca attuale incentrata sulla progettazione VLSI e realizzazione di sensori di radiazione a matrice di pixel attivi integrati in tecnologia CMOS submicrometrica. L'approccio particolarmente innovativo è legato alla possibilità della contemporanea integrazione su un substrato di tipo CMOS standard dell'elemento sensibile e della relativa elettronica di amplificazione e condizionamento locale (on-pixel). Questo permette di compensare la ridotta sensibilità di substrati CMOS standard alla generazione di carica per effetto di ionizzazione, rispetto a substrati ad elevata resistività usualmente impiegati in tale ambito.

In questo contesto, lo scrivente è stato responsabile nazionale del progetto RAPS finanziato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.) - gruppo V per gli anni 2001 – 2004 e il cui scopo è quello di mutuare i progressi recentemente ottenuti nelle applicazioni di sensori CMOS nel campo della radiazione visibile, estendendone l'impiego alla rivelazione di singole particelle, modificandone e ottimizzandone la struttura in funzione delle specifiche operative e funzionali caratteristiche della radiazione ionizzante. In particolare, è possibile ottenere significativi vantaggi (rispetto a classi analoghe di sensori) in termini di risoluzione e rapporto segnale/rumore, grazie all'integrazione di elettronica di elaborazione “locale” associata a ciascun elemento sensibile (pixel) garantita dell'utilizzo di tecnologie CMOS commerciali avanzate, sfruttando inoltre modalità di lettura “intelligenti” di un'intera matrice di pixel basate su architetture innovative specificatamente dedicate alla rivelazione di singole particelle, che permettono di velocizzare le operazioni di lettura rispetto a classici schemi ad esempio utilizzati in matrici di dispositivi ad accoppiamento di carica

(CCD) (cfr. [J38], [C27], [C28],). Il primo prototipo di chip è stato fabbricato nella primavera del 2003 (cfr. [C31], [C32], [C33], [J39]) ed i primi risultati dei test si sono rivelati particolarmente incoraggianti, testimoniando la validità del principio di rivelazione e dell'approccio innovativo seguiti (cfr. [C34], [J41], [J42]). Nell'ambito del progetto è stato quindi sviluppato e realizzato un secondo prototipo di chip comprensivo di funzionalità avanzate di lettura e modalità operative.

E' stato responsabile nazionale del progetto SHARPS (Self-resetting High-gain Radiation Pixel Sensor) finanziato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.) - gruppo V avente per tema il progetto e l'applicazione di sistemi di rivelatori di radiazione a matrice di pixel attivi integrati in tecnologia CMOS. In questo ambito, sono state proposte e realizzate architetture innovative di matrici di pixel finalizzate ad applicazioni per la rivelazione di singole particelle ionizzanti sia nell'ambito di esperimenti di fisica delle alte energie che di "imaging" medica mediante raggi X molli ([C42], [J46]). Contestualmente, sono state verificate le funzionalità di una terza generazione di chip a pixel attivi integrati in tecnologia CMOS standard da 0.18µm mediante lo sviluppo di un sofisticato banco ottico basato su laser monocromatici a diverse lunghezze d'onda per la stimolazione selettiva e controllata di pixel di dimensioni micrometriche ([J48], [J51], [J52]). Quest'ultima attività in particolare ha portato alla collaborazione con Micron Technology Italia su temi legati alla caratterizzazione avanzata di sensori di immagine realizzati in tecnologia CMOS per radiazione visibile e allo sviluppo di un microradiografo per applicazioni mediche [C41], [C43], [C44]. Più recentemente infine, ha intrapreso degli studi inerenti la progettazione di dispositivi microelettronici integrati su scala verticale e in particolare le potenzialità offerte dall'evoluzione delle tecnologie microelettroniche ad alta densità, che negli ultimi anni hanno registrato progressi di grande interesse nei processi di interconnessione verticale. Tali processi consentono infatti la fabbricazione di circuiti integrati tridimensionali ("3D"), che permettono di affrontare efficacemente i problemi fondamentali dello "scaling" delle tecnologie CMOS (lunghezza delle interconnessioni, densità di integrazione) e di progettare gli strati del circuito integrato secondo criteri diversi, ottimizzati per una particolare applicazione (layer analogico, layer digitale, layer sensibile). Su questi temi di ricerca è stata avviata una attività di collaborazione, partecipando ad un consorzio internazionale (<http://3dic.fnal.gov/>) guidato dal Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL) e uno specifico progetto nazionale (VIPIX) finanziato dall'INFN) volto allo sfruttamento delle potenzialità di questa tecnologia per la realizzazione di sensori di particelle multistrato ad elevate prestazioni, in grado di misurare la coordinata e la direzione della traiettoria di una singola particella ionizzante. ([J54]).