



<p>Titolo del Dottorato e area CUN prevalente: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (INTERNAZIONALE) – AREA CUN 09</p>
<p>Coordinatore: Prof. Alessandro Busacca</p>
<p>Sede del dottorato: Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) - Università degli Studi di PALERMO</p>
<p><u>Elenco delle tematiche di ricerca:</u></p> <p>ICT for smart communities</p> <ul style="list-style-type: none">• LOCAL CLOUD E MOBILE CLOUD• SICUREZZA E PRIVACY• SOFTWARE DEFINED NETWORKING (SDN)• TECNOLOGIE DI COMUNICAZIONE NON CONVENZIONALI PER APPLICAZIONI BIOMEDICHE• TECNOLOGIE ASSISTIVE PER LE DISABILITÀ BASATE SUL RILEVAMENTO DI SEGNALI BIOELETTRICI• SVILUPPO DI ORTESI ATTIVE LEGGERE PER LA RIABILITAZIONE DEL CAMMINO• SVILUPPO DI NUOVE TECNOLOGIE PER LA LOCALIZZAZIONE SOTTOMARINA E L'ACQUISIZIONE DI PARAMETRI FISIOLGICI UMANI• MODELLI NUMERICI PER LA SIMULAZIONE BIO-ELETTROMAGNETICA ORIENTATA ALLA DIAGNOSTICA IN AMBITO MEDICO• SISTEMI DIGITALI PROGRAMMABILI• SVILUPPO DI SISTEMI DI ALIMENTAZIONE PER APPLICAZIONI VRM CON CONTROLLO DIGITALE• SVILUPPO DI ALIMENTAZIONE IBRIDA PER APPLICAZIONI PORTATILI• CARATTERIZZAZIONE ELETTRICA DI SORGENTI RINNOVABILI E SVILUPPO DI TECNICHE DI MPPT E STUDIO DELLE INTERAZIONI ELETTRICHE FRA CIRCUITI DI SEGNALE E CIRCUITI DI POTENZA• TECNOLOGIE AVANZATE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA MOBILITÀ AD IMPATTO ZERO• SVILUPPO DI CODIFICHE PER LA MITIGAZIONE DEGLI ERRORI NEI COLLEGAMENTI IN FREE SPACE OPTICS• TECNICHE AVANZATE DI CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE E PROGETTO ASSISTITO DA CALCOLATORE DI DISPOSITIVI E CIRCUITI NONLINEARI PER MICROONDE.• APPLICAZIONI DI OTTICA QUANTISTICA E DI CRITTOGRAFIA QUANTISTICA <p>KET for smart communities</p> <ul style="list-style-type: none">• GENERAZIONE DI TERAHERTZ CON INTERAZIONI PARAMETRICHE OTTICHE• NANOANTENNE METALLICHE PER LA RIVELAZIONE MOLECOLARE ULTRASENSIBILE.• PROGETTAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI MICRO-BIOSENSORI PER APPLICAZIONI MEDICALI E/O AMBIENTALI• METODI E STRUMENTAZIONE OTTICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI BIOLOGICI ED INORGANICI• CARATTERIZZAZIONE ELETTRICO-OTTICA DI SILICON PHOTOMULTIPLIER E LORO APPLICAZIONI• CRESCITA DI MATERIALI PER APPLICAZIONI FOTONICHE ED OPTOELETTRONICHE• FABBRICAZIONE DI LED BIANCHI IBRIDI• MATERIALI E DISPOSITIVI PER DATA STORAGE• DISPOSITIVI OPTOELETTRONICI BASATI SU SEMICONDUTTORI ORGANICI• NUOVE TECNOLOGIE FOTOVOLTAICHE PER SISTEMI INTELLIGENTI INTEGRATI IN EDIFICI• FOTOVOLTAICO IBRIDO –ORGANICO DI TERZA GENERAZIONE• PREPARAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI SCAFFOLD POLIMERICI A POROSITÀ DIFFERENZIATA DA IMPIEGARE IN BIOREATTORI• SORGENTE LASER MODE LOCKED STABILE AD ALTA FREQUENZA DI RIPETIZIONE



Descrizione dettagliata delle tematiche di ricerca

ICT for smart communities

LOCAL CLOUD E MOBILE CLOUD

L'architettura attuale delle applicazioni di rete prevede che gli utenti utilizzino una tecnologia *locale* per l'accesso a Internet e risorse *remote* (il *cloud*) per elaborazione e *storage* dei dati. Tuttavia, è sempre più evidente che vari tipi di risorse (*access point* aziendali, router domestici, dischi di rete) e vari tipi di sensori (telecamere, sensori inerziali degli *smartphone*, contatori intelligenti, etc.) sono ormai distribuiti in modo pervasivo nello stesso ambito locale in cui gli utenti risiedono, mentre l'accesso alla rete avviene principalmente da terminali mobili con risorse energetiche limitate.

In questo scenario emerge la possibilità di sfruttare le risorse disponibili in ambito locale, in prossimità cioè dell'utente, per ottenere nuovi servizi che minimizzino latenza, consumi energetici, risorse di banda, etc., sfruttando anche le informazioni di contesto (abitazione, spazi pubblici *indoor* come aeroporti, ospedali, musei, spazi pubblici *outdoor* come piazze e parchi, sistemi di trasporto pubblico). Esempi di questi servizi sono applicazioni di automazione domestica e industriale, *smart metering*, monitoraggio, navigazione assistita, offerta di contenuti multimediali disponibili localmente. In tutti i casi descritti è inoltre evidente che vari tipi di fornitori di servizi (fornitori di rete, fornitori di contenuti, cloud provider, fornitori di energia, gestori di parcheggi, etc.) dovranno coesistere in modo indipendente condividendo le stesse risorse locali.

Nell'ambito di questo scenario, potenziali aspetti di ricerca che meritano di essere esplorati sono i seguenti:

- Architetture e primitive per la gestione delle risorse: quali primitive tradizionali di rete (accesso radio, caching, etc.) devono essere riviste per garantire la coesistenza di fornitori di servizi indipendenti e l'allocazione/isolamento delle risorse disponibili in ambito locale, incluso il mezzo radio (local wireless access as a service)?
- Nuove applicazioni e interfacce di sviluppo: in che modo gli sviluppatori di applicazioni possono beneficiare dall'integrazione delle risorse disponibili nel cloud tradizionale e locale e quali nuove applicazioni possono essere abilitate? Che interfacce devono essere previste per nascondere la complessità della gestione e del controllo delle risorse agli sviluppatori?
- Politiche per l'allocazione delle risorse: Quali modelli di cooperazione possono essere previsti per rendere le risorse locali disponibili a terzi e per decidere di scambiare risorse energetiche, di *storage*, elaborazione tra i dispositivi e gli *smartphone*?

SICUREZZA E PRIVACY

Il problema della sicurezza in rete è un problema non nuovo, che però sta assumendo degli aspetti ancora più critici negli scenari emergenti in cui anche le 'cose' (elettrodomestici, sensori, prese elettriche, automobili) sono connesse alla rete. Le misure tradizionali per autenticare gli utenti e garantire confidenzialità e integrità dei dati devono infatti essere estese o ripensate per rispondere alle nuove esigenze di scalabilità e per proteggere da accessi e controlli indesiderati non solo le risorse tradizionalmente in rete (i computer degli utenti in rete controllati in una *botnets*), ma anche le risorse dell'*Internet of Things*.

La pervasività delle applicazioni e l'interazione con il *cloud* rende inoltre necessario definire delle nuove soluzioni per garantire la *privacy* degli utenti che accedono ai servizi, proteggendo dalla possibilità di raccogliere e correlare dati eterogenei che possono rivelare informazioni sensibili. Mentre tradizionalmente la protezione dei dati è stata affidata a tecniche basate su crittografia omomorfa, che permettono elaborazioni *privacy-preserving* con costi computazionali elevati, è stato recentemente dimostrato che approcci di *multi-party-computation* possono essere scalabili e con costi computazionali molto più bassi.

Le tematiche di ricerca che meritano di essere affrontate sono:

- Architetture e soluzioni di monitoraggio: come rivelare la presenza di intrusioni o comportamenti anomali in scenari multi-tecnologia, multi-provider e multi-purpose (applicazioni di monitoraggio, controllo del traffico, sorveglianza, etc.)? Come collezionare, classificare e correlare gli eventi per abilitare politiche di ispezione più approfondite quando necessario?
- Architetture e soluzioni per la *privacy*: come applicare tecniche di disseminazione e ricostruzione opportuna dei dati (es. *secret-sharing*) in modo da supportare elaborazioni che garantiscano la *privacy* degli utenti, con il desiderato compromesso tra overhead di comunicazione, robustezza e complessità computazionale?

SOFTWARE DEFINED NETWORKING (SDN)

Sebbene l'idea di reti programmabili via software sia da lungo tempo presente nella letteratura. Solo di recente, con il successo di OpenFlow, tale idea sta realmente prendendo corpo. Di fatti, OpenFlow e il paradigma Software Defined Networking (SDN), di cui OpenFlow è un'implementazione, stanno radicalmente cambiando il panorama delle reti di



telecomunicazioni. Ciò è testimoniato dall'incredibile interesse che si è rapidamente manifestato sul tema da parte di tutte le aziende che operano nel settore indipendente dal loro profilo (e.g., operatori di rete, service providers, produttori di apparati per telecomunicazioni).

Dal punto di vista della ricerca, l'SDN offre numerosi aspetti da investigare, soprattutto per quel che riguarda la sua estensione al mondo delle reti wireless.

In particolare, alcuni degli aspetti che si offrono all'attenzione dei dottorandi sono i seguenti:

- Quali sono i livelli protocollari sui quali SDN può intervenire? Tradizionalmente SDN è intervenuta dal livello di Rete in su. Nel dominio wireless però il livello MAC ha grande impatto sulle prestazioni. Inoltre, è ormai consolidata la consapevolezza che in reti wireless prestazioni ottimali possono essere raggiunte soltanto guardando alle soluzioni protocollari in modo cross-layered.
- Come è possibile integrare in un unico framework SDN e il Software Defined Radio (SDR)? Da diversi anni sono presenti soluzioni che permettono di definire il comportamento del livello fisico via software. Sarebbe quindi importante estendere le APIs di SDN per integrare soluzioni SDR.

TECNOLOGIE DI COMUNICAZIONE NON CONVENZIONALI PER APPLICAZIONI BIOMEDICHE

In futuro la medicina si avvarrà sempre più di sofisticati strumenti tecnologici che consentono il monitoraggio continuo delle condizioni del paziente e la somministrazione controllata di farmaci durante le attività quotidiane.

Ciò implicherà la possibilità di supportare sia il monitoraggio delle condizioni cliniche generali del paziente sia la terapia farmacologica controllata a livello cellulare.

Tutto ciò presagisce la disponibilità di micro-dispositivi in grado di comunicare all'interno del corpo umano sia tra di loro sia con le cellule dell'organismo potendo anche controllare il rilascio di sostanze di tipo farmacologico o la terapia anti-tumorale localizzata.

Tali micro-dispositivi dovranno essere in grado di sfruttare paradigmi di comunicazione non convenzionali vista la necessità di interagire con cellule biologiche, tenendo conto tra l'altro della necessità di non danneggiare tessuti e organi vitali, evitandone anche il surriscaldamento.

Inoltre sarà rilevante proporre soluzioni di comunicazione e protocollari che riducano i consumi energetici al fine di massimizzare il tempo di vita dei dispositivi che dovranno essere alimentati tramite sistemi a batteria,

eventualmente anche ricaricabili con metodi ad esempio di harvesting.

Nell'ambito di questa tematica, potenziali aspetti che meritano di essere esplorati sono i seguenti:

- applicazioni di tecnologie alternative alla radiofrequenza al fine di consentire la comunicazione tra micro-dispositivi che monitorano zone importanti del corpo umano;
- studio di comunicazione ibrida biologica-elettromagnetica per relazionarsi con le cellule umane, ad esempio nel caso di micro-dispositivi che comunicano con cellule neuronali;
- utilizzo di comunicazioni molecolari per favorire la codifica di dati rilevanti all'interno di recettori o cellule che si propagano all'interno del corpo umano o in fluidi.

TECNOLOGIE ASSISTIVE PER LE DISABILITÀ BASATE SUL RILEVAMENTO DI SEGNALI BIOELETTRICI

In anni recenti è emersa sempre più l'esigenza di sviluppare sistemi che permettano a persone anziane o affette da gravi disabilità di mantenere o riacquistare un discreto livello di indipendenza ed autonomia nella vita di ogni giorno. Questa esigenza è stata ripresa ed incoraggiata nell'ultimo Programma Quadro della Comunità Europea (Horizon 2020), sia in ambito delle tecnologie chiave dell'informazione e delle comunicazioni (ICT) per la creazione di città intelligenti (Smart Cities), sia per quanto riguarda le sfide societarie legate al cambiamento demografico, al fine di migliorare la salute e il benessere lungo tutto l'arco della vita grazie allo sviluppo di sistemi sanitari e assistenziali di alta qualità ed economicamente sostenibili.

L'attività di ricerca del dottorato riguarderà innanzitutto lo studio e la messa a punto di interfacce elettroniche ad elevata sensibilità, basso rumore, minimo consumo e minimo costo per l'acquisizione di segnali bioelettrici quali segnali elettroencefalografici, segnali elettromiografici o provenienti da biosensori di varia natura. La fase successiva sarà dedicata all'elaborazione numerica e al riconoscimento e catalogazione dei differenti pattern dei segnali acquisiti. Ciò consentirà di utilizzare le informazioni di volta in volta raccolte per vari applicazioni, quali: controllo dello stato di salute del paziente in applicazioni di tipo point-of-care (telemedicina); sistemi per il controllo di protesi articolari attive (protesi bioniche); interfacce cervello-computer che consentano l'invio di messaggi e comandi verso un computer o per il controllo di apparati elettromeccanici in pazienti con gravissime disabilità motorie (BCI, Brain Computer Interface).



SVILUPPO DI ORTESI ATTIVE LEGGERE PER LA RIABILITAZIONE DEL CAMMINO

Negli ultimi anni le tecnologie robotiche trovano sempre maggiore applicazione nella realizzazione di ausili, ortesi e protesi per disabili e anziani. In ambito riabilitativo ambulatoriale, vi sono già alcune applicazioni che costituiscono realtà commerciali di successo. L'obiettivo della ricerca è, invece, quello di sviluppare metodologie di tipo robotico per la realizzazione di ausili e ortesi leggere idonei all'attività riabilitativa quotidiana. La ricerca si colloca come naturale prosecuzione delle analoghe attività svolte nell'ambito del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale: *PRIN 09 (2011-2013) - Robotica Cooperante e Collaborativa (RoCoCo)*. Le tematiche, in parte sviluppate, sono: Analisi della cinematica del passo mediante sensori MEMS (giroscopi, accelerometri); Progetto e realizzazione di muscoli pneumatici artificiali; Controllo coordinato "as needed" dei muscoli artificiali per la deambulazione assistita.

SVILUPPO DI NUOVE TECNOLOGIE PER LA LOCALIZZAZIONE SOTTOMARINA E L'ACQUISIZIONE DI PARAMETRI FISIOLGICI UMANI

La ricerca che si intende sviluppare è, per buona parte, finanziata nell'ambito del *Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 12 (2014-2017) - Robotic Assisted Diving – RoAD*.

A partire dalle tecnologie attualmente disponibili nell'ambito della robotica sottomarina, il progetto si propone di sviluppare un sistema robotico intelligente che sia capace di supervisionare in maniera semi-automatica lo svolgimento di attività da parte di equipaggi di sommozzatori. Tale sistema opererà monitorando, con adeguati dispositivi sensoriali e specifiche procedure, una serie di parametri fisiologici e comportamentali (a esempio: ritmo cardiaco e respiratorio, sequenze di movimenti, risposta a test comportamentali) e processando in linea i dati raccolti per accertare lo stato attuale e ricostruire l'evoluzione delle condizioni psicofisiche dei sommozzatori nel corso della loro attività. Il sistema condurrà l'informazione prodotta con uno o più supervisori umani, segnalando in particolare eventuali situazioni rappresentate da pattern comportamentali che, discostandosi da una norma prestabilita, siano classificabili come potenzialmente pericolose. Inoltre, operando autonomamente o sotto la direzione dei supervisori, potrà fornire supporto ai sommozzatori, ad esempio trasmettendo istruzioni o guidando gli spostamenti e la localizzazione nell'ambiente.

MODELLI NUMERICI PER LA SIMULAZIONE BIO-ELETTROMAGNETICA ORIENTATA ALLA DIAGNOSTICA IN AMBITO MEDICO

Il sistema nervoso umano controlla, coordina e regola tutte le attività dell'organismo. L'acquisizione, l'elaborazione e la trasmissione delle informazioni, da parte del cervello, danno luogo a deboli correnti elettriche a livello dei neuroni. Tali correnti generano campi elettrici e magnetici, la cui valutazione o misurazione consente di ottenere, in maniera non invasiva, informazioni sui processi, ancora oggi per la maggior parte sconosciuti, che regolano le funzioni cerebrali. Tra le tecniche non invasive utilizzate nella neurologia diagnostica, si distinguono la MagnetoEncefaloGrafia (MEG) e l'ElettroEncefaloGrafia (EEG): tali procedure si basano sul rilievo, rispettivamente, dell'induzione magnetica e del campo elettrico prodotti dall'attività elettrica cerebrale. Essi consentono di ricostruire, in maniera approssimata, le correnti cerebrali. Infatti, l'attivazione contemporanea di fasci di neuroni limitrofi, nella corteccia cerebrale, determina campi elettrici e magnetici rilevabili a distanza, la cui distribuzione dipende dalla geometria delle cellule, dalla loro organizzazione all'interno della corteccia e dalla conducibilità elettrica del volume conduttore nell'intorno dell'area attiva. I valori di campo magnetico ed elettrico misurati non forniscono informazioni immediate sulla distribuzione delle correnti cerebrali. Per ottenere una corretta ricostruzione delle correnti neuronali, è necessario ricostruire la distribuzione delle caratteristiche di conducibilità nelle varie aree della testa, contestualmente alla ricostruzione delle correnti. Si tratta quindi di un tipico problema inverso. Risolto tale problema, si possono ottenere importanti informazioni sulla fisiologia del cervello e su alcune patologie, rilevanti per la loro gravità e per la diffusione epidemiologica che le caratterizza (ad esempio epilessia, morbo di Alzheimer, autismo). Si tratta di tecniche che possono essere utilizzate in modo intensivo, a differenza di quelle di tipo nucleare, il cui utilizzo è limitato dalla massima dose di radiazioni alla quale il corpo umano può essere esposto.

La tipologia di problema descritto, è comunque ricorrente in ambito biomedico e si inquadra nell'ambito della caratterizzazione tissutale mediante la diagnostica per immagini. In tale ottica, l'approccio impiegato per il problema neuro-magnetico consente anche di sviluppare delle metodiche di analisi tissutale "concentrata", non invasive e a basso costo. Tale obiettivo può essere raggiunto con l'ausilio delle microtecnologie e di modelli numerici avanzati. Le microtecnologie mettono a disposizione una serie di tecniche che, opportunamente integrate, permettono di realizzare sistemi di acquisizione dati ad elevata sensibilità ed a basso costo. La modellistica numerica può fornire invece accurati ed efficienti metodi di risoluzione di problemi inversi. In particolare, si intendono impiegare metodi numerici innovativi senza griglia (meshfree), di interesse crescente in tale ambito di ricerca, come testimoniato dalla letteratura scientifica internazionale di riferimento. Tali metodi si delineano come una valida alternativa ai metodi numerici tradizionali attualmente impiegati in quanto, attraverso la gestione flessibile del dominio di interesse, consentono di trattare in modo più efficiente la complessità fisico-geometrica del problema. E' opportuno sottolineare che l'aspetto relativo alla ridotta invasività rappresenta uno degli elementi di rilievo dell'attività di ricerca che è incentrata sulla possibilità di impiegare radiazioni elettromagnetiche non-ionizzanti e sensori a ridotto ingombro geometrico, e quindi a basso impatto per il paziente.



SISTEMI DIGITALI PROGRAMMABILI

Il Laboratorio di Elettronica Sistemi Digitali Programmabili (ESDP Lab) offre la possibilità di un percorso di approfondimento sia teorico che pratico nel settore della Progettazione Elettronica con particolare enfasi verso i sistemi elettronici Digitali ed a segnali misti analogico/digitali.

Ciò produce una forte capacità di implementare schede e dispositivi complessi mediante realizzazione di descrizioni hardware e produzione sia di software ad alto livello (C, C++, visual oriented software) sia di firmware a basso livello (assembly, VHDL).

Tale conoscenza offre agli studenti di dottorato ampie possibilità di trovare occupazione presso tutte le industrie del settore elettronico e microelettronico.

La formazione nel settore su indicato offre un panorama di competenze di alto profilo usualmente di grande interesse nell'affrontare tematiche sia di Ricerca che di Sviluppo in tutti i settori nei quali sono fondamentali le cosiddette competenze ibride hardware/firmware/software.

Settori precipui d'interesse sono oltre al campo nativo dell'elettronica applicata mixed signal anche i settori adiacenti quali ad esempio lo sviluppo di applicazioni per le telecomunicazioni wired e wireless.

SVILUPPO DI SISTEMI DI ALIMENTAZIONE PER APPLICAZIONI VRM CON CONTROLLO DIGITALE

I moderni sistemi di alimentazione per applicazioni VRM (Voltage Regulator Module) richiedono basse tensioni di uscita, elevate correnti e un'elevata velocità di risposta alle variazioni di carico. Inoltre, poiché la tensione di uscita deve essere stabilizzata, vengono imposte alcune limitazioni sulla massima tensione ammissibile sul carico. Apparentemente le specifiche imposte in termini di velocità di risposta e di massima variazione della tensione sul carico sembrano incorrelate ma sono in realtà fortemente contrastanti poiché nella maggior parte dei casi ogni tentativo di minimizzare la durata del transitorio provoca un aumento della massima variazione di tensione durante il transitorio. L'attività di ricerca è incentrata sullo sviluppo di tecniche di regolazione digitale per sistemi di alimentazione di microprocessori di nuova generazione, finalizzata alla realizzazione di un controllore integrato su silicio per convertitori DC/DC multifase.

I dottorandi di ricerca che operano nell'ambito di questa tematica di ricerca sviluppano competenze altamente specializzate sulle tecniche di progettazione e sviluppo di sistemi elettronici di potenza e sulle moderne tecniche di integrazione su silicio.

SVILUPPO DI ALIMENTAZIONE IBRIDA PER APPLICAZIONI PORTATILI

L'attività di ricerca sui sistemi ibridi prevede l'analisi, lo studio, il progetto e la realizzazione di un sistema di alimentazione per notebook di nuova generazione. L'ascesa delle apparecchiature portatili e l'aumento delle prestazioni delle stesse comportano una riduzione sempre maggiore delle dimensioni, del peso e dei costi delle apparecchiature ed un aumento considerevole dei consumi. Questi fattori concomitanti e discordanti spingono la ricerca alla determinazione di nuove soluzioni tecnologiche che consentano di ridurre considerevolmente le dimensioni ed il peso delle batterie, permettendo così di immagazzinare energia a più alta densità. In particolare, i moderni microprocessori richiedono al sistema di alimentazione tensioni di uscita relativamente ridotte e stabilizzate, correnti elevate e soprattutto rapidamente variabili nel tempo. Pertanto, il sistema di alimentazione deve essere in grado di fornire non solo un'elevata densità di energia ma anche, e soprattutto, un'elevata densità di potenza per unità di volume. Inoltre, il sistema di alimentazione deve garantire una notevole autonomia al sistema da alimentare e pertanto è necessario effettuare una valutazione delle prestazioni delle sorgenti in termini di tempo di vita, cicli di ricarica, facilità di ricarica, corrente di scarica etc. In particolare, le fuel cell destano sempre maggiore interesse nel campo delle applicazioni portatili grazie alla possibilità di fornire i reagenti dall'esterno ed alla maggiore densità di energia garantita rispetto alle batterie convenzionali. Tuttavia, la densità di potenza che le fuel cell possono garantire non è sufficiente per le applicazioni portatili e per ovviare a questo problema si stanno sviluppando sorgenti ibride, ovvero sorgenti di alimentazione costituite dall'accoppiamento di un componente ad elevata densità di energia ma bassa densità di potenza (fuel cell) e di un componente ad elevata densità di potenza e bassa densità di energia (batteria Li-ion o supercapacità).

CARATTERIZZAZIONE ELETTRICA DI SORGENTI RINNOVABILI E SVILUPPO DI TECNICHE DI MPPT E STUDIO DELLE INTERAZIONI ELETTROMAGNETICHE FRA CIRCUITI DI SEGNALE E CIRCUITI DI POTENZA



L'attività è svolta nell'ambito del progetto RITmare Ricerca Italiana per il mare (Flagship project 2011-2015), che si inserisce nel Piano Nazionale della Ricerca 2010/12 il quale prevede lo svolgimento di progetti di importanza strategica nazionale, i cosiddetti "progetti bandiera". In quest'ambito si è attuata l'implementazione di un *programma nazionale di ricerca scientifica e tecnologica per il mare*, pluriennale ed aperto alla partecipazione di tutti gli attori pubblici e privati, nel quale far convergere gli interessi dei Ministeri competenti in materia di ricerca, innovazione, ambiente, trasporti, pesca, industria e rapporti con i Paesi del Mediterraneo e che riaffermi con forza ed efficacia la vocazione marinara dell'Italia in piena sintonia con le indicazioni dell'Unione Europea (Libro Blu).

Il contributo della UOS di Palermo dell'ISSIA-CNR verte sull'utilizzo ottimo dell'energia a bordo. Le attività sono divise in varie UO fortemente interconnesse fra di loro. L'ottimizzazione dell'energia si consegue mediante uso di sorgenti rinnovabili (SP1-WP2-AZ6-UO 01), e relativi sistemi per la conversione statica dell'energia prodotta per essere utilizzata a bordo di imbarcazioni (SP1-WP2-AZ5-UO 04), in aggiunta vi è l'uso di motori ibridi, endotermici/elettrici (SP1-WP2-AZ5-UO 011) e relativi sistemi per il contenimento delle vibrazioni a vantaggio del comfort e della sicurezza (SP1-WP2-AZ3-UO 05). I sistemi per il contenimento delle emissioni elettromagnetiche generate dai convertitori sono approfonditi da due UO (SP1-WP3-AZ6-UO 04 e SP1-WP3-AZ6-UO 05) ed infine un UO (SP1-WP4-AZ1-UO 02) è specificamente dedicata all'utilizzo delle linee di potenza per il trasporto di informazioni a vantaggio della semplificazione dei cablaggi e dell'affidabilità complessiva.

Sono oggetto di ricerca la caratterizzazione elettrica della sorgente PV (fotovoltaica) per l'analisi/previsione delle prestazioni, la messa a punto di tecniche di controllo ed MPPT (Maximum Power Point Tracking) e la diagnostica. Lo studio degli elementi di non idealità legati all'utilizzo su imbarcazioni (umidità, ageing, corrosione, riflessione, etc.) e all'utilizzo di materiali innovativi per la realizzazione dei pannelli fotovoltaici semi-flessibili e flessibili, tipici per applicazioni su natanti. Lo studio e modellazione delle emissioni elettromagnetiche (EMI) generate dai sistemi per la conversione di energia installati a bordo e lo sviluppo di sistemi di filtraggio attivo e passivo per la minimizzazione delle emissioni elettromagnetiche sia ai fini della compatibilità elettromagnetica che dell'affidabilità del sistema elettrico di bordo.

TECNOLOGIE AVANZATE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA MOBILITÀ AD IMPATTO ZERO

L'attività è svolta nell'ambito di un progetto strategico, essa prende spunto dall'affacciarsi sui mercati energetici di nuovi attori, con dimensioni sempre più ridotte, capaci di interloquire scambiando e condividendo pacchetti di informazioni ed energia contribuirà a ripensare l'intero sistema energetico. Edifici "intelligenti" con capacità di produrre, immagazzinare e gestire flussi di informazioni ed energia diventeranno l'elemento fondante e costitutivo delle future reti di distribuzione (Smart Grids). In questo scenario nuove interfacce edificio/rete ed edificio/utente vengono sviluppate in modo da potere includere tali tipi di innovazioni tecnologiche con l'obiettivo e l'ambizione di integrare al massimo le risorse e di realizzare un concreto Demand Side Management. La UOS di Palermo dell'ISSIA-CNR è impegnata in due attività: 1) Studio e sviluppo di tecnologie e sistemi per la produzione, accumulo ed efficienza energetica, 2) Sviluppo di sistemi informatici ed elettronici per la gestione dell'energia.

All'interno della prima attività sono valutati i sistemi di generazione di energia, sia elettrica che termica, per l'impiego in applicazioni civili di tipo sia residenziale che terziario al fine di proporre metodi innovativi per conseguire avanzamenti in termini scientifici ed economici unitamente a tecnologie in grado di essere integrate tra loro per renderle idonee all'uso finale ottimizzando l'efficienza globale ed il risparmio energetico. Nell'ambito di questa attività sono studiati i sistemi di accumulo di energia necessari per la realizzazione e l'ottimizzazione di sistemi di gestione energetica degli edifici. Le tecniche di accumulo di energia costituiscono un importante elemento al fine di mettere a punto strategie energetiche basate su scenari differenti che prevedono l'interazione sia di tecnologie che di sistemi avanzati di information and communication technology (ICT) in modo da monitorare e controllare la produzione energetica da parte dei sistemi autonomi (tipo fotovoltaico, eolico, ecc.) stabilendo, in funzione dei carichi e delle fasce orarie, per esempio se risulta vantaggioso immettere in rete l'energia prodotta o accumularla per impiegarla successivamente. Nella seconda attività, l'oggetto di studio è la gestione ed il controllo diffusione di edifici e di unità abitative nelle quali coesisteranno in futuro sistemi passivi per l'utilizzo dell'energia con sistemi per la produzione e l'accumulo dell'energia nelle diverse forme (termica, elettrica, meccanica). In questo contesto l'edificio tradizionale assume, cioè, una nuova connotazione, in cui coesistono tecnologie tradizionali e tecnologie innovative (in particolare quelle proprie dell'ICT), diventando un vero e proprio "sistema edificio".

SVILUPPO DI CODIFICHE PER LA MITIGAZIONE DEGLI ERRORI NEI COLLEGAMENTI IN FREE SPACE OPTICS

Le comunicazioni ottiche in spazio libero (Free Space Optics) sono una valida alternativa alle fibre ottiche in termini di prestazioni in larghezza di banda e velocità di trasmissione. Tali sistemi presentano purtroppo alcuni fattori limitativi tra cui problemi di *burst errors* durante le comunicazioni causati dalla turbolenza ottica del mezzo. Nei nostri laboratori abbiamo sviluppato dei modelli teorici capaci di simulare collegamenti ottici turbolenti di diversa tipologia (terrestri e satellitari) ed, inoltre, implementato delle codifiche rateless (LT, Raptor e RaptorQ) adatte per la mitigazione dei detti



burst errors studiandone le loro prestazioni per mezzo dei modelli di canale da noi sviluppati. Il lavoro di ricerca descritto è stato interamente finanziato dalla European Space Agency (ESA) impegnata da diversi anni nel progresso dei sistemi FSO particolarmente importanti per l'evoluzione delle comunicazioni in ambito satellitare.

Ci prefiggiamo di verificare le prestazioni delle codifiche rateless, ottenute tramite sessioni simulative, con un link ottico terrestre tra il DEIM e l'Osservatorio Regionale, di applicare le dette codifiche ad un sistema FSO satellitare (Satellite-to-Ground ed Inter-Satellite) tramite l'esistente collaborazione con l'ESA, di estendere il modello teorico a tutte le tipologie di collegamenti ottici, di sviluppare un sistema hardware FSO completamente trasparente che tramite l'ausilio delle codifiche rateless possa essere impiegato anche in abito urbano al fine di rendere disponibili collegamenti ad alta velocità senza la necessità di realizzare opere civili (si pensi ai centri storici delle città).

TECNICHE AVANZATE DI CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE E PROGETTO ASSISTITO DA CALCOLATORE DI DISPOSITIVI E CIRCUITI NONLINEARI PER MICROONDE

Lo sviluppo esplosivo del mercato delle Telecomunicazioni ed il conseguente rapido progresso delle tecnologie dei circuiti HMIC ed MMIC che ne costituiscono la base hardware, unito all'aumento progressivo delle frequenze operative anche dei circuiti digitali (si pensi al "clock" delle CPU, che hanno ormai raggiunto ed oltrepassato i 3GHz) hanno fatto ormai uscire il settore dell'Elettronica delle Microonde dalla nicchia culturale e di mercato originariamente legata al campo delle applicazioni militari e per lo spazio, spostandolo in quello – estremamente più vasto – del mercato "consumer".

Per tale motivo alle tecniche progettuali odierne si richiede prestazioni un tempo non necessarie, sia in termini di efficienza progettuale che di accuratezza nella predizione delle prestazioni effettive del circuito (integrato, tipicamente), in analogia a quanto avvenuto già da tempo nel caso della progettazione digitale VLSI, ad alta complessità ma ancora a "bassa" frequenza, così da garantire sia tempi di sviluppo e di immissione sul mercato brevi che un'elevata resa produttiva e quindi – complessivamente – un basso costo.

In contrapposizione a tale esigenza va però riconosciuto come ancora molti degli aspetti di modellizzazione e simulazione, e quindi – per conseguenza – di progetto, dei dispositivi e dei circuiti per Microonde, sia per la natura distribuita dei modelli e per la complessità dei fenomeni nonlineari coinvolti, restano ancora non del tutto codificati e quindi tuttora argomento di un'intensa attività di ricerca e sviluppo.

In tale filone di ricerca, agganciandosi all'esperienza ed alle competenze sviluppate nel settore dai richiedenti in decenni di attività scientifica già svolta, si inquadra la proposta formativa e di ricerca in oggetto. Come condensato nel titolo, l'obiettivo è quello di focalizzare le attività dei dottorandi interessati a svolgere il loro tirocinio in tale ambito su due filoni paralleli ma sinergici e con un comune denominatore: la modellistica sperimentale e le tecniche di simulazione ad alta efficienza computazionale, eventualmente basate su un approccio di tipo comportamentale, seguendo una strada assai promettente e già battuta con successo in anni precedenti sia in ambito locale che nazionale ed internazionale, ma che richiede ancora una mole di ricerca e studio non trascurabile prima di poter divenire uno strumento di dominio comune, rimpiazzando i metodi tradizionali che attualmente vengono ancora utilizzati, seppur insoddisfacenti sotto numerosi aspetti.

Più precisamente, una volta raggiunti gli obiettivi formativi essenziali di base, l'attività di ricerca verrà orientata al miglioramento della configurazione hardware e dei software di gestione automatizzata e correzione degli errori sistematici di misura dei banchi di caratterizzazione sperimentale, a piccolo e grande segnale, già operativi presso il Laboratorio di Elettronica delle Microonde (LEM) del DEIM, integrandoli con i software di identificazione dei modelli nonlineari associati ai dispositivi attivi per microonde oggetto dell'indagine e sviluppati ed integrati nei software di simulazione circuitale nonlineare/distribuita i cui algoritmi originali sono anch'essi oggetto di ricerca e sviluppo simultaneo e coordinato rispetto alle risultanze sperimentali acquisite.

Coerentemente con gli obiettivi di ricerca sopra esposti si sviluppa il piano formativo da svolgere preliminarmente.

Esso si articola su due piani: uno teorico ed uno sperimentale. Entrambi servono, innanzitutto, allo scopo di incrementare il livello delle conoscenze dei – numerosi – argomenti connessi all'Elettronica delle Microonde, studiati nell'ambito della Laurea di Vecchio Ordinamento o Magistrale in Ingegneria Elettronica.

Più precisamente verranno approfonditi i temi della strumentazione e delle misure su componenti lineari e nonlineari per microonde, della modellistica convenzionale e comportamentale di dispositivi e sottosistemi elettronici, delle tecniche di simulazione assistita da calcolatore di tipo elettromagnetico e circuitale nonlineare nel dominio del tempo, della frequenza e dell'evoluzione complesso dinamico, della teoria della stabilità nei circuiti nonlineari e delle tecniche numeriche e statistiche utilizzate per la progettazione statistica, l'ottimizzazione circuitale e della resa.



APPLICAZIONI DI OTTICA QUANTISTICA E DI CRITTOGRAFIA QUANTISTICA

Realizzare coppie di fotoni entangled in maniera efficiente, con un apparato piccolo e che richieda poca energia, è un obiettivo molto importante, sia da un punto di vista strettamente scientifico che da un punto di vista applicativo. All'interno dell'INRS-EMT è stata già sviluppata una microcavità ottica circolare costituita da una guida d'onda creata con un materiale a risposta non lineare, che costituisce un'ottima sorgente di fotoni entangled. Il fatto che la cavità sia realizzata con una guida d'onda la rende estremamente compatta e stabile, tanto da essere integrabile, con parametri compatibili con gli standard CMOS. La cavità è progettata in modo che i suoi modi ottici coincidano con i canali trasmissione della griglia di lunghezze d'onda standardizzata dalla unione internazionale delle telecomunicazioni (ITU), e centrata attorno a 1550 nm. Una caratteristica molto importante è che l'emissione di fotoni entangled avviene allo stesso tempo su tutti questi canali, creando un multiplexing di fotoni entangled. Al momento il gruppo lavora a diversi esperimenti di caratterizzazione dell'entanglement, che proseguiranno nell'ambito del Dottorato.

Un'altra importante applicazione della stessa sorgente è il suo uso come sorgente di singoli fotoni. Il processo di emissione non-lineare (del terzo ordine) genera in ogni evento una coppia di fotoni, su due lunghezze d'onda predefinite. Quindi la rivelazione di un fotone su una di queste lunghezze d'onda è una indicazione (heralding) dell'emissione di un singolo fotone avvenuta sull'altra lunghezza d'onda. Nel campo della crittografia quantistica (quantum key distribution) tale sorgente di singoli fotoni è altamente richiesta, in quanto la sua efficacia nell'evitare la presenza di più di un fotone in una singola emissione è molto superiore rispetto al tipo di sorgente solitamente utilizzato in questo campo, costituito da semplici impulsi laser attenuati fino a contenere in media meno di un singolo fotone. Anche per questa applicazione, i punti di forza della sorgente sono la sua piccola richiesta energetica, la sua robustezza (sia ottica che meccanica) e soprattutto la sua integrabilità, che verranno investigate nel corso della ricerca.

KET for smart communities

GENERAZIONE DI TERAHERTZ CON INTERAZIONI PARAMETRICHE OTTICHE

La ricerca proposta ai dottorandi ha l'obiettivo di elaborare modelli e strumenti per analizzare il comportamento di sorgenti innovative di radiazione elettromagnetica nella banda spettrale dei Terahertz, sfruttando le interazioni in ottica non lineare guidata.

Il fenomeno fisico di base nel modello d'interazione è quello della risposta ottica non lineare quadratica, responsabile tanto dei processi di generazione di seconda armonica o di generazione parametrica sfruttati nelle sorgenti ultraviolette e nel vicino infrarosso, quanto del processo di generazione della frequenza differenza che permette la generazione di Terahertz a partire da coppie di sorgenti laser di lunghezza d'onda molto vicine.

A questo vanno poi associate le problematiche legate alla struttura che consente il confinamento della radiazione ottica su lunghezze molto superiori rispetto alla sua lunghezza d'onda, rendendo così possibili delle elevate efficienze di conversione.

Per finire, con simili configurazioni è spesso necessario sovrapporre delle modulazioni spaziali periodiche o aperiodiche per compensare gli effetti legati alla diversa velocità di fase delle onde interagenti, ovvero considerare l'effetto di sorgenti ad impulsi ultracorti.

Ne deriva quindi una notevole complessità dell'analisi, e diventa indispensabile il ricorso a sofisticati strumenti di calcolo numerico. Tali risultati sono indispensabili per la progettazione di esperimenti incentrati sull'uso delle sorgenti laser pulsate adoperate per questa ricerca. L'attività sperimentale viene attualmente condotta nell'ambito di collaborazioni internazionali.

NANOANTENNE METALLICHE PER LA RIVELAZIONE MOLECOLARE ULTRASENSIBILE

Le nanoantenne ottiche sono strutture metalliche (cilindri, sfere, rods, etc.) di dimensioni nanometriche (1 – 500 nm) che permettono di amplificare i campi elettromagnetici di diversi ordini di grandezza e di confinarli su regioni nanometriche (hot spots). L'amplificazione è dovuta all'eccitazione risonante di risonanze plasmoniche localizzate alla superficie (LSPR), cioè eccitazioni collettive del plasma di elettroni liberi nei metalli. Le nanoantenne vengono impiegate nello sviluppo di tecniche spettroscopiche vibrazionali ultrasensibili quali la Spettroscopia Raman Surface (e tip-) enhanced (SERS / TERS) e la spettroscopia IR surface enhanced (SEIRA o SEIRS) e nella loro applicazione per la realizzazione di sensori molecolari capaci di rivelare poche o, in condizioni appropriate, singole molecole.

L'obiettivo di questo corso sarà quello di sviluppare sensori molecolari basati sulla spettroscopia SERS/TERS e SEIRA



con capacità di rivelare molecole a concentrazioni più basse di quanto i normali sensori possano fare (femtomol, fino ad atto molare o singola molecola a seconda della specifica applicazione). Le ricerche saranno orientate verso tre campi specifici: **nanomedicina** (rivelazione selettiva di biomolecole grazie alla funzionalizzazione delle nanoantenne), **sicurezza** (rivelazione di molecole di tracce di esplosivi), **beni culturali** (caratterizzazione di pigmenti, inchiostri in piccolissime quantità, con possibilità di analisi in situ). Si impiegheranno strategie innovative capaci di operare in liquido, intrappolando e/o aggregando otticamente nanoantenne ottiche, grazie all'accoppiamento con apparati di Pinzette ottiche (Optical Tweezers), o realizzando sensori capaci di combinare le spettroscopie Raman e IR sullo stesso substrato, o impiegando nanopunte metalliche per la spettroscopia in-situ su scala nanometrica.

Il dottorando acquisirà competenze nell'ambito della plasmonica, della fabbricazione e delle proprietà ottiche delle nanostrutture metalliche, nello sviluppo e nell'impiego di tecniche spettroscopiche convenzionali (IR, UUVIS, Raman) e plasmon enhanced (SERS, TERS, SEIRS), della realizzazione di sensori ottici.

Le ricerche si inquadreranno negli obiettivi del progetto europeo COST Nanospectroscopy e dei distretti regionali "Micro e Nanosistemi" e "Beni culturali".

PROGETTAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI MICRO-BIOSENSORI PER APPLICAZIONI MEDICALI E/O AMBIENTALI

L'importanza dei sensori nella vita quotidiana sta crescendo esponenzialmente, forzando la comunità scientifica ad un maggiore impegno nello studio di piattaforme versatili, che possano essere utilizzate per svariate applicazioni e che possano essere prodotte in massa a costi contenuti. Dispositivi basati su silicio, che siano compatibili con la tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), sono tra i migliori candidati ad ottemperare a tutti i suddetti requisiti. La progettazione di un sensore prevede due momenti fondamentali: la definizione del meccanismo di trasduzione e la progettazione dell'elemento sensibile ed entrambi dipendono in maniera determinante dal tipo di misura da effettuare.

L'attività di ricerca consiste nella progettazione e caratterizzazione di microbiosensori basati su sistemi di trasduzione ottica, utilizzando dispositivi innovativi quali i Silicon Photomultipliers e sistemi di trasduzione elettrica, utilizzando dispositivi fabbricati con tecnologia CMOS.

Le applicazioni sono molteplici:

- In campo biomedicale si misura l'avvenuto riconoscimento biochimico, ad es. ibridazione di DNA complementari, reazioni enzimatiche, riconoscimento antigene-anticorpo, ecc..
- In campo ambientale possono essere utilizzati per la misura della contaminazione delle acque, problema molto sentito sia a livello regionale che europeo;
- Nel campo dei beni culturali, possono essere studiate le proprietà ottiche dei materiali organici e/o inorganici utilizzati per la realizzazione di superfici pittoriche o altri manufatti per studiarne lo stato di invecchiamento.

Gli obiettivi raggiunti alla fine del percorso formativo saranno:

- la conoscenza delle tecniche di progettazione e fabbricazione di dispositivi microelettronici miniaturizzati e, più in generale, l'ampliamento delle conoscenze relative ai campi dell'Ottica, dell'Elettronica e della Biofotonica;
- la capacità di caratterizzare elettricamente ed otticamente dispositivi allo stato dell'arte;
- il sapere affrontare le problematiche di progetto di un sistema reale, da sviluppare tramite la realizzazione di set-up di misura "personalizzati" per l'applicazione;
- l'esperienza derivante dalla partecipazione a convegni internazionali e da periodi di permanenza presso centri di ricerca esteri.

L'attività di ricerca si svolgerà in collaborazione con il CNR-IMM e la STMicronics di Catania.

METODI E STRUMENTAZIONE OTTICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI BIOLOGICI ED INORGANICI

Nel corso dell'ultimo decennio la OCT (Optical Coherence Tomography) è emersa come una delle più potenti tecniche non invasive per lo studio e la diagnosi di patologie a carico dei tessuti biologici, quali le malattie della pelle o dell'occhio umano. Tale tecnica consente di ricostruire l'immagine in sezione di strati di materiali diversi presenti nel campione sotto esame, biologico e non, a partire dalle proprietà ottiche (ampiezza, fase) della luce retrodiffusa dal campione stesso, grazie ad una analisi interferometrica nel dominio del tempo o della frequenza del segnale ottico.

L'attività di ricerca proposta intende affrontare le problematiche ancora aperte nel campo della OCT, quali



l'ottimizzazione della struttura ottica del sistema di misura, l'introduzione di sorgenti ottiche e fotorivelatori di ultima generazione e lo sviluppo di nuove metodologie di elaborazione dei dati misurati. Inoltre verranno esaminate applicazioni anche in campi diversi da quello prettamente medicale, quali ad esempio l'uso della OCT per lo studio di beni culturali (strati di pittura nei dipinti), per l'analisi di gemme, per la caratterizzazione dell'uniformità di spessore, della presenza di difetti interni e della rugosità superficiale in substrati di semiconduttori ad elevata gap (SiC, GaN).

Gli obiettivi raggiunti alla fine del percorso formativo saranno: un livello di conoscenza allo "stato dell'arte" sulla tecnica OCT e più in generale l'ampliamento delle conoscenze relative ai campi dell'Ottica, dell'Elettronica e della Biofotonica; la capacità di modellizzare un sistema elettro-ottico e di formulare nuove strategie per la elaborazione dei dati misurati; il sapere affrontare le problematiche di progetto di un sistema reale, da sviluppare tramite la realizzazione di uno strumento metrologico perfettamente funzionante e testato sul campo; l'esperienza derivante dalla partecipazione a convegni internazionali e da periodi di permanenza presso centri di ricerca esteri.

CARATTERIZZAZIONE ELETTRICO-OTTICA DI SILICON PHOTOMULTIPLIER E LORO APPLICAZIONI

L'attività di ricerca consiste nello studio di una nuova classe di fotorivelatori sensibili al singolo fotone, i Silicon Photomultiplier (SiPM). Questi risultano fortemente vantaggiosi in termini di rapporto segnale-rumore, consumi, costi e robustezza, rappresentando, quindi, una valida alternativa ai PMT (PhotoMultiplier Tube), nonché ad altri rivelatori a stato solido, quali gli APD (Avalanche PhotoDiode).

L'obiettivo dell'attività di ricerca consiste nella caratterizzazione elettrica ed ottica di SiPM, differenti per dimensioni, numero di celle, drogaggi e fill factor. Le campagne sperimentali sono volte alla determinazione dell'efficienza di rivelazione, del guadagno e dei fenomeni di rumore. La caratterizzazione spettrale, dall'UV sino al vicino infrarosso, è stata svolta anche con potenze ottiche sino al centinaio di femtowatt. Tutto ciò consente di individuare nuovi campi di applicazione del dispositivo.

E' in fase di realizzazione un sistema portatile NIRS (Near Infrared Spectroscopy), basato su tecnologia SiPM, per il controllo in tempo reale delle funzioni cerebrali attraverso la misurazione dei livelli di emoglobina presenti nel sangue. Altra applicazione consiste nell'utilizzare il SiPM come sensore biologico, in particolare per i test allergici e tiroidei. Entrambe le applicazioni comportano la progettazione e realizzazione del sistema embedded.

L'attività di ricerca si svolge in collaborazione con STMicroelectronics e Telecom Italia.

CRESCITA DI MATERIALI PER APPLICAZIONI FOTONICHE ED OPTOELETTRONICHE

Come è noto, negli ultimi anni la possibilità di realizzare materiali ad ampia bandgap di elevata qualità ha conquistato particolare importanza sul panorama della ricerca tecnologica. In particolare, il nitruro di gallio (GaN) e le sue leghe godono di peculiari proprietà optoelettroniche e di un'eccellente stabilità termica e chimica. La capacità del GaN, specialmente quando drogato di tipo p , di integrarsi con materiali dalle simili caratteristiche o con altri composti binari (nitruro) ha aperto un'importante finestra sulla realizzazione di dispositivi elettronici ed optoelettronici di grande interesse, come LED ad alta luminosità, diodi LASER, rivelatori UV, sensori di gas, dispositivi ad eterostruttura per alta potenza e per alta frequenza.

Più di recente, grande attenzione è cresciuta verso le strutture combinate con il GaN: materiali cristallini che mostrano proprietà reticolari analoghe si prestano ottimamente alla realizzazione di dispositivi 1D. I parametri di maglia e la bandgap dell'ossido di zinco (ZnO), ad esempio, consentono la crescita di nanostrutture ad elevato rapporto superficie-volume, così da sfruttarne i fenomeni di confinamento quantico. Inoltre, combinando un substrato di GaN di tipo p con ZnO di tipo n è possibile realizzare giunzioni che permettano di ottenere dispositivi ad emissione luminosa o anche dei biosensori.

Da parecchi anni la radiazione emessa dalle sorgenti laser è utilizzata con successo nella deposizione di materiali dielettrici e semiconduttori di elevata qualità. In particolare, la deposizione attraverso laser impulsati (PLD - Pulsed Laser Deposition) è una tecnica a basso costo che consente di ottenere film di elevata qualità cristallina e in particolari condizioni anche materiali in forma nanostrutturata.

L'attività di ricerca dei dottorandi che intraprenderanno questa tematica sarà indirizzata alla crescita e alla caratterizzazione di ZnO in forma nanostrutturata su GaN o altri substrati, facendo ricorso oltre che alla PLD, anche ad altre tecniche di deposizione come la crescita idrotermica, e focalizzando la loro attenzione sullo sviluppo di strutture ordinate. L'attività, che verrà svolta presso il *Thin Films Laboratory* (TFL) del DEIM, prevede inoltre la caratterizzazione ottica ed elettrica dei dispositivi realizzati.

Si prevede che i dottorandi che hanno scelto l'indirizzo proposto conseguano competenze specifiche ed approfondite nei



settori della fotoablazione dei materiali, dell'analisi ottica, morfologica, elettrica e spettroscopica delle nanostrutture, nonché nella progettazione e realizzazione di dispositivi elettroluminescenti. Questo è un settore della fotonica applicata di particolare interesse e attualità da parte dell'industria elettronica ed optoelettronica, nonché di enti di ricerca il cui obiettivo è sviluppare processi di interesse industriale.

FABBRICAZIONE DI LED BIANCHI IBRIDI

Lo sviluppo di sorgenti luminose LED bianche si inserisce tra quegli argomenti di ricerca più importanti nella realizzazione dei sistemi di illuminamento energeticamente efficienti. Le attuali tecnologie per la realizzazione di LED bianchi inorganici richiedono l'impiego di una sorgente blu che eccita la luminescenza di uno o più fosfori o, in alternativa, l'uso di LED RGB (contenenti una sorgente rossa, una verde ed una blu). L'obiettivo della sostituzione delle convenzionali lampade ad incandescenza con sorgenti LED si scontra principalmente con due ostacoli: i costi elevati dei dispositivi basati su terre rare (fosfori) e le prestazioni variabili dei LED RGB.

I LED bianchi ibridi sono costituiti da un diodo blu standard inorganico che agisce da sorgente luminosa di pompa per la fotoluminescenza di coloranti organici incorporati in matrici polimeriche: l'elevata efficienza di conversione tipica di tali pigmenti combina i vantaggi delle migliori caratteristiche globali di resa energetica di una LED blu inorganico con il basso costo e l'efficienza dei materiali organici impiegati.

L'obiettivo dell'attività di ricerca proposta è quello di affrontare la realizzazione di LED bianchi ibridi analizzandone le prestazioni elettriche, la resa cromatica e il tempo di vita in relazione alla preparazione dei materiali per la conversione luminosa e allo studio del processo tecnologico di deposizione dei pigmenti organici su substrati attivi.

La strumentazione presente nel *Thin Films Laboratory* (TFL) presso il DEIM consentirà al dottorando di acquisire competenze nell'ambito della caratterizzazione dei materiali organici per applicazioni optoelettroniche, nell'acquisizione dei parametri fotometrici di sorgenti luminose e nella valutazione del ciclo di vita dei LED ibridi sottoposti a diversi agenti di deterioramento.

MATERIALI E DISPOSITIVI PER DATA STORAGE

Nel corso degli ultimi anni, un nuovo tipo di dispositivi di memoria non volatile detti memristor sono stati al centro dell'attenzione a causa della loro semplicità strutturale (si tratta infatti di una struttura metallo/ossido/metallo), della loro elevata capacità di integrazione, del lungo tempo di ritenzione dei dati, della elevata velocità di funzionamento e della bassa dissipazione di potenza, tanto da essere considerati i più promettenti candidati per la prossima generazione di memorie non volatili.

Finora diversi ossidi tra cui TiO_2 e ZnO e diversi metalli, tra cui Pt e Cu, sono stati utilizzati con successo per la realizzazione di questi dispositivi, ma non si è ancora compreso chiaramente il meccanismo di funzionamento, né si è stabilito il materiale più idoneo per la fabbricazione di memristor.

L'attività di ricerca proposta riguarda sia l'aspetto più propriamente della fisica dei materiali e dei dispositivi, sia l'aspetto più applicativo in relazione alle prestazioni che questi dispositivi riescono a fornire in termini di velocità di commutazione, tempo di vita, tempo di ritenzione dei dati. A tal fine risulta importante anche uno studio in funzione delle dimensioni dei dispositivi e la messa a punto di un design opportuno per la ottimizzazione dell'area occupata in modo da massimizzare la densità di memoria.

I dottorandi impegnati in questo tema di ricerca si dovranno quindi occupare di tutti i passi necessari per la fabbricazione e la caratterizzazione dei memristor: dalla crescita e caratterizzazione dei materiali (ossidi e metalli) alla definizione delle geometrie dei dispositivi utilizzando le micro e nano tecnologie, alla caratterizzazione elettrica. I risultati sperimentali dovranno essere confrontati con appositi modelli teorici in modo da comprendere il meccanismo di funzionamento di tali dispositivi.

A completamento del percorso formativo è previsto che una parte dell'attività di ricerca venga svolta in un centro di ricerca estero.

DISPOSITIVI OPTOELETTRONICI BASATI SU SEMICONDUTTORI ORGANICI

Le attività di ricerca dei dottorandi si inseriscono nel quadro dell'attività di ricerca pluriennale maturata presso il gruppo di "Tecnologie Fotoniche" del DEIM e riguardante i materiali organici, la fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi optoelettronici organici ed il loro impiego per applicazioni innovative, come i biosensori di fluorescenza ed i microarray per DNA "sequencing". In particolare, su quest'ultima tematica di ricerca c'è, attualmente, un fortissimo interesse, dovuto al fatto che la tecnologia dei materiali organici è a bassissimo costo rispetto ad altre tecnologie concorrenti.

Preparazione e addestramento orientati alla conoscenza pratica delle microtecnologie di fabbricazione dei dispositivi



optoelettronici organici e delle metodologie di misura per la loro caratterizzazione. Sviluppo delle capacità di analisi per la soluzione di problematiche reali sui dispositivi organici e per il loro impiego in applicazioni pratiche innovative. Maturazione di un buon livello di capacità critica e di autonomia di pensiero scientifico.

Le tematiche specifiche proposte sono le seguenti:

- Sviluppo di tecniche di incapsulamento per dispositivi optoelettronici organici;
- Microarray di OLED per DNA "sequencing" e biosensori di fluorescenza;
- Realizzazione e caratterizzazione di celle solari organiche ad oligomeri o a polimeri ad alta efficienza;
- Drogaggio di conducibilità e con coloranti nei materiali organici e suo impiego in dispositivi optoelettronici.

Come completamento dell'attività di ricerca, verranno programmati periodi di permanenza all'estero dei dottorandi, presso centri di ricerca accademici o industriali al fine di consolidare le proprie competenze ed espanderle. I dottorandi verranno incoraggiati a presentare i risultati della propria attività di ricerca a conferenze e simposi nazionali ed internazionali ed a pubblicarli su riviste internazionali. Essi, inoltre, seguiranno seminari e scuole sulle tematiche inerenti i materiali ed i dispositivi organici.

NUOVE TECNOLOGIE FOTOVOLTAICHE PER SISTEMI INTELLIGENTI INTEGRATI IN EDIFICI

Il progetto si inserisce nel settore ENERGIA E RISPARMIO ENERGETICO "Sviluppo di tecnologie, prodotti e processi per le energie rinnovabili e per l'utilizzo razionale dell'energia e per l'efficienza- energetica" nell'ambito del PON "Ricerca e Competitività 2007-2013" Regioni Convergenza, coerentemente con gli APQ sottoscritti tra Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, il Ministero dello Sviluppo Economico e le Regioni della Convergenza.

La nostra attività affronta le problematiche del fotovoltaico con un approccio ampio, partendo dalla tecnologia delle celle fotovoltaiche e proponendo metodi per ottimizzare la produzione di energia dei moduli utilizzando una opportuna elettronica di supporto e controllo della energia prodotta.

Per la tecnologia delle celle fotovoltaiche verranno studiate le celle a film sottile orientata verso soluzioni che non inquinano del tutto (il silicio) o che inquinano debolmente (nel CIGS il Cd è presente solo in uno strato molto sottile ed esistono approcci per eliminarlo del tutto). L'attività sperimentale riguarderà la preparazione per via elettrochimica di diversi materiali semiconduttori sotto forma di thin films e di nanowires e la fabbricazione delle giunzioni al fine di pervenire alla realizzazione di una cella fotovoltaica a film sottile di CIGS. L'attività sarà rivolta a chiarire il meccanismo di crescita elettrochimica di film sottili e arrangiamenti regolari di materiali semiconduttori (CIGS, ZnO, ZnS, GaSO) e delle giunzioni p-n per una conversione efficiente dell'energia solare. La tecnica elettrochimica risulta interessante perché si tratta di un processo facile da gestire, prevede l'uso di apparecchiature molto semplici ed inoltre, rispetto agli altri processi di fabbricazione, è possibile operare a temperature anche uguali o vicine a quella ambiente.

L'intera sperimentazione verrà supportata da attività di modellizzazione e caratterizzazione delle celle e dalla messa a punto di metodi teorici e sperimentali necessari per la caratterizzazione macroscopica delle giunzioni fotovoltaiche a film sottile e nano-strutturati dal punto di vista elettrico.

Per la gestione intelligente dell'energia erogata dai sistemi fotovoltaici si propone una nuova architettura di campo fotovoltaico con l'impiego di pannelli innovativi e intelligenti. In particolare, il concetto di MPPT ("Maximum Power Point Tracking") verrà esteso a livello di pannello diversamente dall'approccio standard dove l'algoritmo di ricerca del punto di massima potenza viene eseguito a livello centralizzato da un unico convertitore.

FOTOVOLTAICO IBRIDO –ORGANICO DI TERZA GENERAZIONE

Le celle solari di terza generazione puntano al raggiungimento di efficienze di conversione energetica simili a quelle delle celle al silicio con costi decisamente minori. Questa nuova generazione di celle solari fotovoltaiche, note come dye-sensitized solar cells (DSSCs), o celle di Grätzel ha attratto un notevole interesse per via dei semplici processi di fabbricazione e dei bassi costi. Enormi sono le potenzialità di utilizzo di tale tecnologia in settori convenzionali, quali siti di generazione diffusa di energia, ma anche in nuovi mercati quali quello della "building integration" e "portable Energy". Le DSSCs, sviluppate per la prima volta all'inizio degli anni '90, basano il loro funzionamento su l'attività fotosensibilizzante di coloranti depositati su nanocristalli semiconduttori di biossido di titanio. La cella solare a colorante sensibilizzatore (o DSSC) nella sua configurazione più semplice è composta da quattro componenti fondamentali: il fotoanodo (1) generalmente costituito da un elettrodo trasparente di materiale conduttore, rivestito di uno strato semiconduttore di biossido di titanio (TiO₂) nanocristallino mesoporoso, sulla cui superficie sono legate chimicamente molecole di un colorante, avente la funzione di captare la radiazione solare e generare una fotocorrente; l'elettrolita (2) contenente la coppia redox I⁻/I₃⁻ (ioduro/trioduro) che serve a rigenerare il colorante dopo che questi si è ossidato in seguito al trasferimento di un elettrone verso il semiconduttore; il contro-elettrodo (3) costituito da un elettrodo conduttore sul quale è stato depositato il catalizzatore che in genere è a base di platino o carbonio, che serve a rigenerare



l'elettrolita; il sigillante (4) che è un materiale posto tra i due elettrodi per evitare la perdita di elettrolita e dare lunga durata alla cella. In breve in seguito all'assorbimento di radiazione luminosa, la cella produce tensione e corrente che scorre attraverso un carico esterno applicato agli elettrodi. Tale assorbimento di luce è reso possibile dalle molecole del colorante, mentre la separazione di carica avviene attraverso l'iniezione dell'elettrone dallo stato eccitato del colorante alla banda di conduzione del semiconduttore. Le DSSC finora realizzate sono stabili ed hanno un'efficienza che può raggiungere e superare in alcuni casi il 12% , come nel caso delle DSSC basate sui complessi metallici di porfirine; mentre nel caso di altri materiali come le perovskiti (a base di alogenuri e alkilammine) si possono raggiungere traguardi più ambiziosi superando il 16% e richiedendo minime quantità di materiale attivo.

L'obiettivo principale della specifica attività di ricerca del Dottorato sarà focalizzato nel campo della conversione dell'energia solare del fotovoltaico ibrido-organico di terza generazione e punta alla realizzazione e allo studio di celle solari (DSSCs) che impiegano materiali innovativi come coloranti sensibilizzatori, polimeri, liquidi ionici, perovskiti, nanomateriali e nanocristalli semiconduttori. L'attività di ricerca riguarda in particolare lo sviluppo e la caratterizzazione di fotoanodi basati coloranti sensibilizzatori sia artificiali (complessi di rutenio, porfirine e altri coloranti organici), naturali (estratti da specie vegetali come betalaine, antociani , clorofilla, carotenoidi ed altri) e biomimetici (e/o bioispirati) e la loro integrazione in una cella DSSC.

Il dottorando durante la sua formazione dovrà occuparsi della sintesi dei materiali, della preparazione dei componenti, dell'assemblaggio dei dispositivi fotovoltaici di terza generazione (DSSCs) e della loro caratterizzazione, mediante misure spettrofotometriche, fotoelettrochimiche, morfologiche e optoelettroniche, utilizzando le strumentazioni presenti nei laboratori coinvolti nel corso e messe a sua disposizione.

PREPARAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI SCAFFOLD POLIMERICI A POROSITÀ DIFFERENZIATA DA IMPIEGARE IN BIOREATTORI

Negli ultimi anni è stato sviluppato un sistema di produzione, insembramento e conduzione di scaffold 3D con sistemi di cellule miste (co-culture). Il sistema, concepito per l'impianto in vivo, presenta una struttura tale da consentire simultaneamente la formazione di un tessuto specifico e la vascolarizzazione del tessuto stesso. Lo scopo di questo tipo di approccio è finalizzato al superamento delle limitazioni imposte, nelle culture 3D in vitro, dallo scambio di ossigeno, nutrienti e prodotti del metabolismo. Infatti a meno che non si ricorra alla movimentazione della fase fluida durante la cultura (ad es. coltura a perfusione dello scaffold) lo spessore di cellule coltivabili è alquanto limitato (100-200 μm). Lo stesso problema viene riscontrato successivamente in vivo al momento dell'impianto se la massa cellulare generata non viene messa in condizioni di avere immediatamente uno scambio efficace con il sistema vascolare.

Per queste ragioni è stato sviluppato un sistema di co-cultura 3D: le cellule del tessuto che si vuole rigenerare sono fatte crescere in una matrice porosa in presenza di fibroblasti per la generazione di una matrice extracellulare sostitutiva. Inoltre all'interno di una struttura tubulare inglobata nella matrice porosa sono coltivate cellule deputate alla formazione di tessuto vascolare (cellule endoteliali).

Il sistema così realizzato consentirà di testare nuovi farmaci e/o molecole bioattive in condizioni che mimano quelle fisiologiche del microcircolo.

SORGENTE LASER MODE LOCKED STABILE AD ALTA FREQUENZA DI RIPETIZIONE

I laser mode locked in fibra a controllo passivo rappresentano la possibile soluzione per la sempre crescente richiesta di sorgenti con frequenze di ripetizione dell'ordine delle centinaia di GHz. Questo tipo di sorgente laser è costituita da un amplificatore ottico limitato in frequenza, un componente ottico dispersivo e un elemento ottico non lineare. Se alla cavità ottica è aggiunto un filtro risonante, la sorgente comincia ad emettere solitoni con una frequenza di ripetizione pari al free spectral range del filtro risonante: questa configurazione è nota come four wave mixing dissipativo (DFWM). I modi della cavità laser che sono permessi dal filtro ottico scambiano energia tra loro attraverso il FWM e bloccano la loro fase relativa quando i solitoni cominciano a viaggiare nella cavità. Questa configurazione ha come suo punto forte l'alta frequenza di ripetizione, ma presenta anche lo svantaggio di importanti instabilità dei modi e questo la rende scarsamente utile da un punto di vista applicativo. All'interno dell'INRS-EMT è stato sviluppato un nuovo approccio a questo tipo di sorgente impulsata, in cui l'idea centrale è quella di spostare il mezzo ottico non lineare all'interno del filtro ottico ad alta finesse. Con questo progetto, denominato four wave mixing basato su filtro (FD-FWM), si è dimostrato sperimentalmente un'alta stabilità dell'emissione impulsata. Questa attività vuole sviluppare il concetto di DFWM mediante filtro ottico costituito da una cavità risonante integrata ad anello, costituita con una guida d'onda altamente non lineare.

Curricula:

- ICT for smart communities
- KET for smart communities

Titoli di accesso (Classi di Laurea)*: LM-17 Fisica; LM-18 Informatica; LM-21 Ingegneria biomedica; LM-22 Ingegneria chimica; LM-25 Ingegneria dell'automazione; LM-26 Ingegneria della



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Scheda 5

sicurezza; LM-27 Ingegneria delle telecomunicazioni; LM-28 Ingegneria elettrica; LM-29 Ingegneria elettronica; LM-32 Ingegneria informatica; LM-40 Matematica; LM-53 Scienza e ingegneria dei materiali; LM-54 Scienze chimiche; LM-66 Sicurezza informatica; 20/S (specialistiche in fisica); 23/S (specialistiche in informatica); 26/S (specialistiche in ingegneria biomedica); 27/S (specialistiche in ingegneria chimica); 29/S (specialistiche in ingegneria dell'automazione); 30/S (specialistiche in ingegneria delle telecomunicazioni); 31/S (specialistiche in ingegneria elettrica); 32/S (specialistiche in ingegneria elettronica); 35/S (specialistiche in ingegneria informatica); 45/S (specialistiche in matematica); 61/S (specialistiche in scienza e ingegneria dei materiali); 62/S (specialistiche in scienze chimiche).

Per l'equipollenza delle CLASSI DI LAUREA DEL VECCHIO ORDINAMENTO consultare il sito del ministero: <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/universita/equipollenze-titoli>

*Per gli studenti stranieri il collegio si pronuncerà sull'equipollenza del titolo conseguito all'estero per l'accesso al corso di dottorato.

Sito web del dottorato:

<http://portale.unipa.it/dipartimenti/deim/dottorati/informationandcommunicationtechnologiesinconvensioneconcreavenspluss.r.l./obiettivi.html>

n° posti con borse di studio	n° posti con borsa riservate a soggetti laureati all'estero	n° posti senza borsa	n° posti senza borsa da riservare a soggetti laureati all'estero	Totale posti
3 borse 50% UNIPA e 50% INRS	1 borsa finanziata 50% ATENEO 50% INRS	2	0	6

Il Dottorato internazionale in **Information and Communication Technologies** è realizzato in convenzione con l'*Institut National de la Recherche Scientifique* (INRS) del Canada.

Come riportato nella convenzione "*Agreement for International Ph.D. in Information and Communication Technologies*", l'Università degli Studi di Palermo (UNIPA) e l'*Institut National de la Recherche Scientifique* (INRS) finanzieranno 4 posti con borsa in co-tutela per l'intera durata del corso di Dottorato, che sarà pari a 4 anni.

I 2 posti senza borsa non fanno parte dell'accordo di co-tutela.

I 4 studenti del percorso internazionale, previo superamento di un singolo esame finale di Dottorato, riceveranno il doppio titolo di Dottore di Ricerca in *Information and Communication Technologies* (UNIPA) e in *Sciences de l'énergie et des matériaux* (INRS).

I dottorandi del percorso internazionale svolgeranno la propria attività per 16 mesi presso UNIPA e per 32 mesi presso l'INRS, in accordo con la disciplina legale sia italiana che del Quebec.

UNIPA erogherà ad ogni studente una borsa lorda annua di € 6.819,24 per tre anni consecutivi, divisa in 36 rate mensili. La borsa sarà erogata per i tre anni, indipendentemente dalla sede in cui il dottorando svolgerà la propria attività.

Per attività di studio e ricerca all'estero, per un periodo massimo di 18 mesi anche non continuativi, il borsista ha diritto un incremento del 50% della borsa lorda, circa € 284 mensili.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Scheda 5

Per attività di studio e ricerca in Italia ma fuori dal comune di Palermo, a partire dal 2° anno, il borsista ha diritto ad un incremento del 10% della borsa lorda.

L'INRS erogherà ad ogni studente una borsa lorda di valore minimo pari a \$ 7.000,00 CDN per ogni *term* (un *term* equivale a 4 mesi) in cui lo studente si troverà all'INRS. Tale periodo sarà pari ad 8 *term* (32 mesi).

La tesi di Dottorato sarà scritta in Inglese e discussa in una delle lingue delle istituzioni partner. Lo studente dovrà anche preparare un sommario della tesi nelle lingue delle due istituzioni. La tesi di Dottorato sarà discussa in una sola delle due istituzioni, in presenza di una singola commissione composta da un numero uguale di rappresentanti delle due istituzioni.

PROCEDURA SELETTIVA

La data degli esami sarà pubblicata entro il giorno **14/07/2015** sul sito Dottorato di Ricerca:
<http://portale.unipa.it/amministrazione/area2/set15/uob18/>

Studenti italiani o stranieri su posti ordinari

- 1 - (Il colloquio su richiesta del candidato può essere svolto in lingua inglese—Art.10 punto e) del regolamento)
- 2 -(Specificare se le prove per tutti i candidati saranno svolte in lingua inglese – Art.10 punto f) del regolamento)

Le prove per tutti i candidati saranno svolte in lingua inglese



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Scheda 5

Modalità di selezione (segnare la casella corrispondente):			
Titoli e colloquio		Data colloquio	
Titoli, prova scritta e colloquio	X	Data prova scritta	Data colloquio
		07/10/2015	08/10/2015
Luogo di svolgimento della prova		Orario previsto	
Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) - Edificio 9, Secondo piano - Parco d'Orleans - Università degli Studi di PALERMO		15:00	

Soggetti laureati all'estero e stranieri in soprannumero

Modalità di selezione		
Titoli e colloquio	Data colloquio	
	08/10/2015	
Luogo di svolgimento della prova (indicare edificio, dipartimento, aula, ecc.) anche via Skype (In tal caso indicare contatto)		Orario previsto
Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) - Edificio 9, Secondo piano - Parco d'Orleans - Università degli Studi di PALERMO; Contatto Skype: alessandrobusacca		15:00

Firma Coordinatore