

## APPENDICE AL QUADRO A1

Descrizione dettagliata delle tematiche di Ricerca del Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata

### Sommario

<b>Introduzione</b> .....	1
<b>Ambiente</b> .....	3
<b>Energia</b> .....	3
<b>Industria</b> .....	4
<b>Internet</b> .....	5
<b>Multimedia</b> .....	6
<b>Salute</b> .....	7
<b>Sicurezza</b> .....	8
<b>Spazio</b> .....	9

### Introduzione

In questa appendice si descrivono le tematiche di ricerca del Dipartimento, riportando anche per ognuna di esse le tecnologie abilitanti, i risultati già eventualmente raggiunti, le modalità di realizzazione degli obiettivi, le modalità per il loro monitoraggio ed infine anche le persone che lavorano ad ogni tematica con associate delle (indicative) percentuali di impegno. Prima di entrare nei dettagli delle singole linee di ricerca, per dare un quadro generale della distribuzione dell'impegno del nostro dipartimento, riportiamo di seguito tre figure che riassumono il contributo dei componenti del dipartimento alle diverse linee di ricerca. Nella figura 1 viene mostrata la distribuzione dell'impegno del corpo docente e ricercatore del nostro dipartimento per le differenti linee di ricerca. Tale grafico mette in evidenza come il nostro dipartimento abbia una distribuzione delle risorse abbastanza uniforme su tutte le linee di ricerca, eccetto che per quella di Ambiente. Nella figura 2, attraverso una mappa colorimetrica viene messo in evidenza il contributo dei singoli settori disciplinari per le differenti linee di ricerca. Si può notare come eccettuati alcuni settori per natura più focalizzati, tutti i settori disciplinari trovano applicazioni che spaziano nelle diverse aree. Infine nella figura 3 sempre attraverso una scala di colori viene rappresentata la distribuzione dell'impegno (in %) dei componenti del dipartimento nelle linee di ricerca. E' importante notare che in queste figure non sono considerati dottorandi, assegnisti di ricerca e borsisti che contribuiscono e contribuiranno in maniera significativa al raggiungimento degli obiettivi previsti in ognuna delle linee di ricerca.

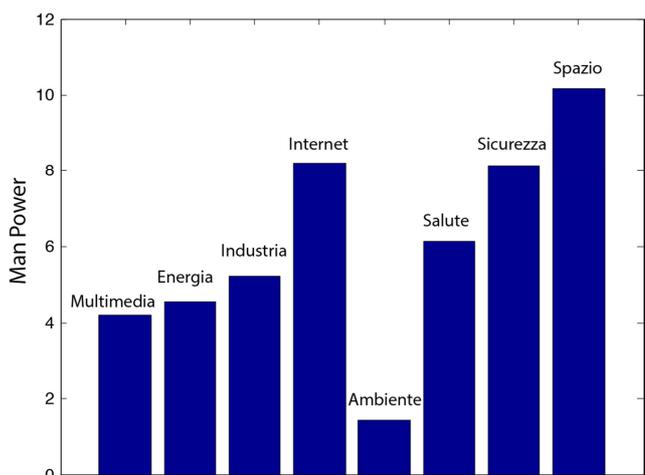


Fig. 1

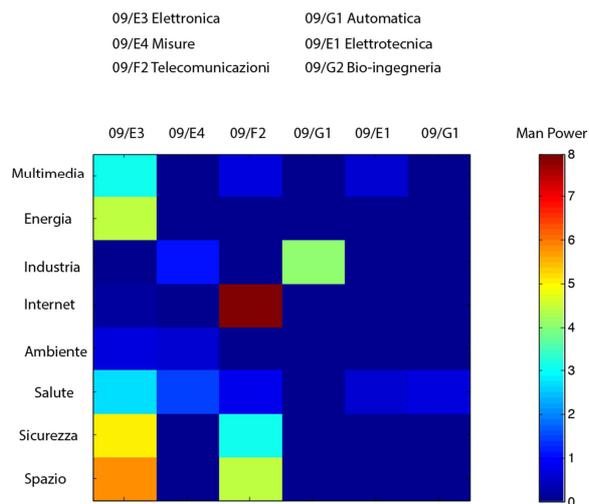


Fig. 2

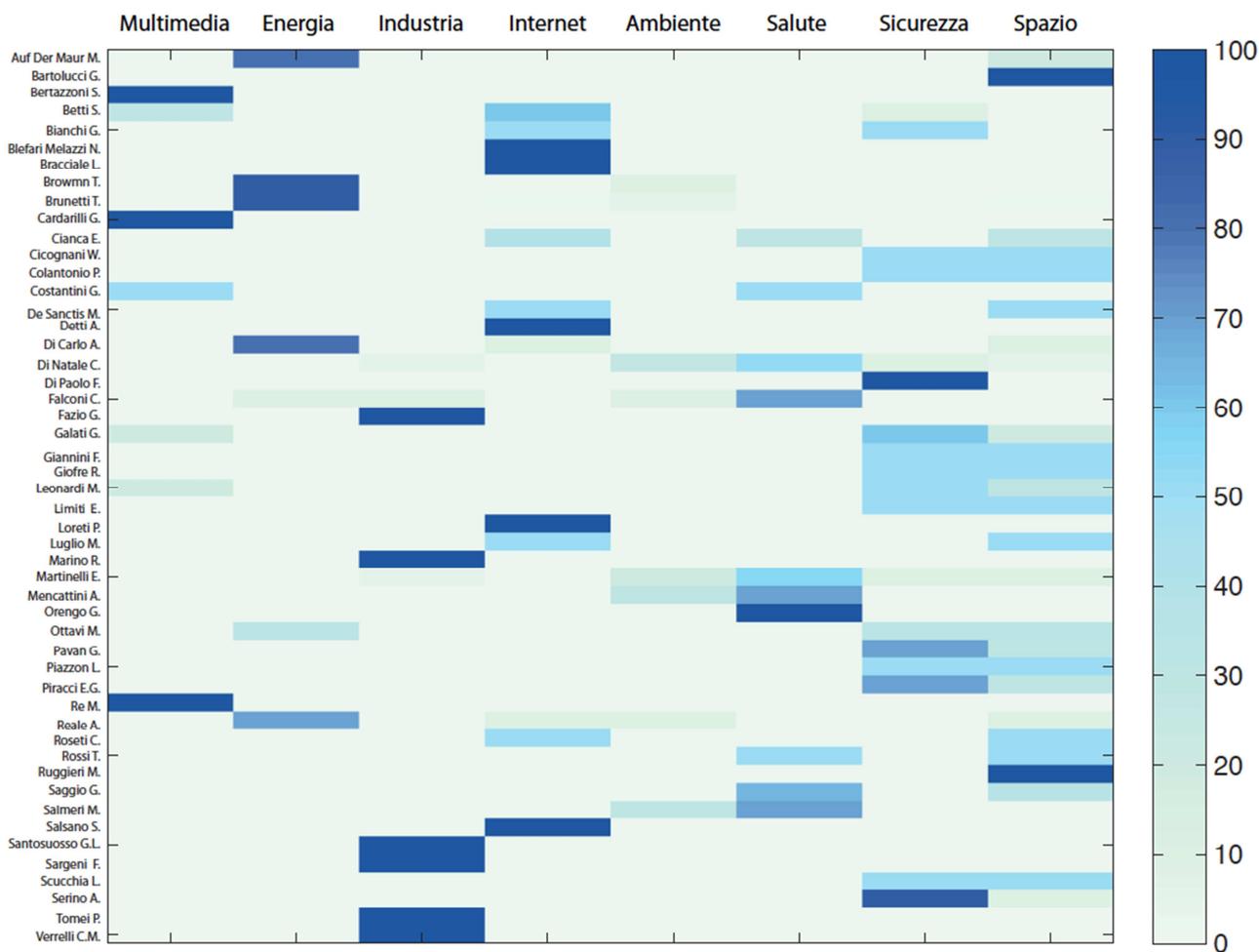


Fig.3

## **Ambiente**

Questa linea di ricerca si occupa di: 1) **Fabbricazione e caratterizzazione di piezoresistori, sensori a TFT di pressione con tecnologia al carbonio** (es. semiconduttori organici, nanotubi di carbonio) per applicazioni ambientali; 2) **Algoritmi e tecniche di pattern recognition di natura bio-inspirata per l'analisi dei dati provenienti da reti di sensori per il monitoraggio della qualità dell'aria**; 3) Sensori ed attuatori wearable basati su dispositivi nano-piezoelétrici; 4) **Sensori chimici per il controllo ambientale**: realizzazione di sensori chimici e sistemi sensoriali per il monitoraggio dell'aria e delle acque per la rivelazione di sostanze inquinanti; 5) **Image processing per il monitoraggio dello stato di conservazione delle opere d'arte**: sviluppo di sistemi di analisi computerizzata di immagini digitali di dipinti e reperti acquisite a distanza mediante laser scanner RGB per il monitoraggio dello stato di salute del patrimonio culturale italiano.

**Tecnologie Abilitanti** : 1) Progettazione molecolare, sintesi di recettori artificiali (collab. Dip. Scienze e Tecnologie Chimiche, Univ. Roma Tor Vergata), caratterizzazione film molecolari, sensori risonatori al quarzo, colorimetrici e dispositivi ad effetto di campo e a variazione di conducibilità, elettronica di interfaccia per sensori, analisi dati multivariata, gas-cromatografia e tecnologie di campionamento dell'aria e delle acque; 2) IR-UWB; Algoritmo di beamforming, tramite un sistema di antenne; Metodi di rimozione degli artefatti; 3) Laboratorio elettronico e Laboratorio di prototipazione microsistemi;

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Gli obiettivi verranno realizzati attraverso i seguenti azioni: 1) Realizzare nuovi sensori di gas di maggiore sensibilità e selettività; migliorare le tecniche di campionamento dei composti volatili; Studiare dei metodi bioispirati di processamento dei dati sensoriali; 2) Studio di tecniche di segmentazione e identificazione automatica di pattern in immagini a colori; 3) Studiare nuovi canali colorimetrici per la rappresentazione delle informazioni peculiari dell'affresco.

**Obiettivi futuri.** Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data ai seguenti argomenti: 1) Fabbricazione e caratterizzazione di piezoresistori e sensori con tecnologia al carbonio (es. polimerici, nanotubi di carbonio, grafene); 2) sviluppo delle tecniche di raccolta dei campioni gassosi e liquidi; 3) miglioramento della sensibilità e selettività dei sensori; 4) integrazione di diverse tecnologie di sensori: allo studio e all'applicazione tecniche di watershed e active alle immagini di celebri affreschi per l'identificazione automatica di depositi di calcio sulla superficie dell'affresco, al fine non solo di monitorare lo stato del dipinto ma anche per ottimizzare e guidare l'intervento del restauratore.

## **Energia**

Questa linea di ricerca si occupa di:

- **Progetto, simulazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi e sistemi elettronici per la produzione e raccolta ("Harvesting") conversione, distribuzione ed immagazzinamento di energia.** In particolare: 1) Celle e moduli fotovoltaici di nuova generazione che utilizzano materiali organici o ibridi organici/inorganici; 2) Nanogeneratori piezoelétrici e triboelétrici; 3) Sistemi elettronici per Energy harvesting elettromagnetico, meccanico, fotonico etc.; 4) Convertitori CC/CC e inverter per sistemi fotovoltaici di III generazione; 5) Sistemi per il monitoraggio dello stato di carica (SOC) e dello stato di salute (SOH) degli accumulatori elettrochimici; 6) Smart grid con particolare enfasi alla fusione tra concetti di teoria dell'informazione e termodinamica per la trasmissione di energia.
- **Progetto, simulazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi e sistemi elettronici per l'efficienza energetica, per Smart City e Smart Home.** In particolare: 1) Dispositivi LED basati su Nitruro e su materiali organici per illuminazione ad altissima efficienza; 2) Progettazione di circuiti e sistemi a bassissimo consumo di potenza e affidabili basati su paradigmi funzionali innovativi.

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:** 1) Tool di simulazione multiscala sviluppato in-house per la simulazione di dispositivi micro e nanotecnologici con particolare riferimento a: celle solari inorganiche, organiche ed ibride, dispositivi emettitori di luce (LED e Laser), dispositivi elettronici a bassa potenza; 2) Tool di simulazione in-house per la progettazione di sistemi fotovoltaici di nuova generazione integrati architettonicamente; 3) Fabbricazione sia di dispositivi optoelettronici di tipo organico o ibrido attraverso sistemi di stampa ("printed electronics") e a base di carbonio (nanotubi di carbonio e Grafene) e nanomateriali; 4) Tecnologie innovative su scala nanometrica che introducono paradigm shift nella computazione permettendo calcolo e memorizzazione con bassissimo consumo potenza come ad esempio QCA e Resistive RAM; 5) Laboratori elettronici e di prototipazione e caratterizzazione avanzata di dispositivi; 6) Fabbricazione e caratterizzazione di micro-nano-sistemi per energy harvesting.

**Numero Progetti finanziati:** Totale 15 [2 PRIN, 2 Regionali (Polo Solare Organico, GESTO), 3 Conto Terzi (PPG, Ecoflex, Selex Comm), 2 Ministeriali (Dyecells, Sequels), 6 Europei (Sinead, Go-Nexts, Destiny, Newled, Smash, Clermont IV)]

**Eventuali elementi specifici di particolare importanza :** 1) Il Dipartimento di Ing. Elettronica gestisce (resp. Prof. Aldo Di Carlo e Franco Giannini) il **Polo Solare Organico della Regione Lazio**, nato con la Legge

Regionale n.4/2006; 2) L'università degli Studi di Roma "Tor Vergata" (resp. Prof. Aldo Di Carlo) è membro dello steering committee della piattaforma **European Energy Research Alliance** (EERA) sottoprogramma fotovoltaico; 3) Il Dipartimento di Ing. Elettronica partecipa in qualità di beneficiario (resp. Prof. Aldo Di Carlo) alla **Graphene Flagship** della comunità europea. Budget della Graphene Flagship circa un miliardo di euro. 4) Sviluppo del Consorzio industria-università per l'industrializzazione della tecnologia fotovoltaica DSC per applicazioni di integrazione architettonica BIPV – **Consorzio DYEPower**, con creazione di 20 posti di lavoro ad alta tecnologia. 5) Partecipazione a un progetto di ricerca **EPSRC** "Yield and reliability enhancement techniques for novel memory devices" con obiettivo memorie resistive e memristor.

**Obiettivi futuri.** Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data attenzione ai seguenti argomenti: 1) Progetto, fabbricazione e caratterizzazione di celle solari ed emettitori di luce basati su perovskiti ibride organiche/inorganiche; 2) Studio e fabbricazione di dispositivi di accumulo Lithium-free basati su radicali organici; 3) Studio e simulazione di fotovoltaico su tessuto (indossabile) o integrabile su superfici curve; 4) Realizzare degli luminescent solar concentrators abbinati al fotovoltaico; 5) Sviluppo di tecnologie integrate per l'energia e l'efficienza energetica; 6) Modello e caratterizzazione di impianti ad isola basati su fonti rinnovabili di energia e sistemi di accumulo; 7) Dispositivi bio-ibridi per l'energia e l'efficienza energetica; 8) Realizzare dispositivi wearable alimentati da normali movimenti del corpo umano; 9) Caratterizzazione della potenza e affidabilità di sistemi basati su nanotecnologie innovative; 10) Studio di sistemi avanzati con trade-off potenza/affidabilità; 11) Studi di architetture ibride "power on chip" per produzione di energia e calcolo sullo stesso chip.

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Gli obiettivi verranno realizzati attraverso i seguenti azioni: 1) Utilizzo dei laboratori e dei CAD a disposizione del Dipartimento; 2) Introduzione di nuovi modelli di simulazione e produzione di prototipi per introdurre e validare sistemi basati su tecnologie innovative; 3) Collaborazione con il settore industriale italiano e trasferimento tecnologico di tecnologie scalabili per la produzione industriale (p.es scalabilità larga area per FV); 4) Ideazione e realizzazione di nuovi sistemi per energy harvesting in grado di convertire in modo molto efficiente energia meccanica a bassa frequenza in energia elettrica; 5) Definizione di tecniche progettazione di circuiti affidabili e ultra low power su scala nanometrica sia livello tecnologico sia a livello di sistema; 6) Collaborazione con prestigiosi centri di ricerca internazionali (Korea, USA, Svizzera).

## **Industria**

Questa linea di ricerca si occupa di:

- **analizzare, progettare e realizzare sistemi elettronici di controllo e di stima in tempo reale in applicazioni industriali** quali motori elettrici, robot, autoveicoli elettrici, reti elettriche di potenza, sistemi di illuminazione con LED, sistemi di riproduzione musicale, sospensioni attive;
- **progettare e realizzare cicloergometri e pedane mobili intelligenti** per la regolazione della frequenza cardiaca e il controllo della variabilità della frequenza cardiaca;
- **progettare, realizzare ed applicare sensori e sistemi di sensori per la misura di composti in fase vapore e in soluzione caratterizzanti i processi di trasformazione degli alimenti;**
- **realizzare wearable devices** per applicazioni industriali;
- **progettare e realizzare sistemi diagnostici, sia statistici che deterministici, dello stato di sistemi complessi in funzione dell'analisi di parametri di stato connessi a onde vibrazionali da loro emesse** e loro applicazione per il test di Trasformatori Media Tensione (MT), dei giunti MT e degli interruttori Alta Tensione;
- **realizzare nel settore ferroviario sistemi fail safe**, sistemi di analisi delle vibrazioni impresse alle rotaie al passare dei convogli, algoritmi che determinino lo stato di usura delle guarnizioni dei pantografi ferroviari;
- **analizzare nel settore ferroviario i limiti degli attuali circuiti di binario**, sviluppare nuovi sistemi per verificare la presenza di ingombri nei passaggi a livello e per la certificazione dei rotabili.

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:** 1) Tecnologie per la esecuzione di test sperimentali su motori elettrici, robot, autoveicoli elettrici, pedane mobili, impianti di illuminazione LED, sistemi di riproduzione musicale, sospensioni attive; 2) Tecnologie per la progettazione molecolare, sintesi di recettori artificiali, caratterizzazione film molecolari, sensori risonatori al quarzo, colorimetrici e dispositivi ad effetto di campo e a variazione di conducibilità, elettronica di interfaccia per sensori, analisi dati multivariata, gas-cromatografia; 3) Tecnologie per la realizzazione di wearable devices per applicazioni industriali; 4) Tecnologie per la progettazione, realizzazione e validazione di sistemi diagnostici e soluzioni applicabili nel settore ferroviario.

**Eventuali elementi specifici di particolare importanza:** 1) Lo studio di sistemi di controllo e stima per motori elettrici, robot, reti elettriche di potenza, cicloergometri e pedane mobili prevede collaborazioni teoriche

e sperimentali con altre strutture dell'Ateneo e istituzioni nazionali ed internazionali; 2) Il progetto e la realizzazione di sensori chimici e sistemi sensoriali artificiali per il controllo dei processi nell'industria alimentare prevede la collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche dell'Università di Roma Tor Vergata e con le Università di Teramo e Viterbo; 3) La realizzazione di sensori di gas per l'ottimizzazione dei processi nell'industria alimentare è stato oggetto di un finanziamento nel progetto FP7: CAFE ; 3) E' attiva una collaborazione con il Dipartimento AMSE della Sungkyunkwan University (SKKU), presso il quale dal 2013 Christian Falconi è Adjunct Professor; 5) È attivo un progetto FIRB Futuro in Ricerca 2010 (di cui Christian Falconi è coordinatore nazionale).

**Obiettivi futuri.** Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data ai seguenti argomenti:1) Progettazione di innovativi sistemi di controllo per autoveicoli elettrici; 2) Applicazione di cicloergometri e pedane mobili intelligenti a pazienti con cardiopatie o malattie di Parkinson; 3) Applicazione di tecniche di compensazione adattativa di disturbi sinusoidali a sistemi di riproduzione musicale e sospensioni attive; 4) Miglioramento della sensibilità e selettività dei sensori, integrazione di diverse tecnologie di sensori e estensioni a diverse tematiche applicative come ad esempio il controllo delle celle frigorifere; 5) Realizzazione di wearable devices per applicazioni industriali di tipo innovativo, tra i quali dispositivi alimentati da normali movimenti del corpo umano;6) Sviluppo di sistemi innovativi per applicazioni nel campo della rete ferroviaria italiana ed estera.

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Gli obiettivi verranno realizzati attraverso le seguenti azioni: 1) Sviluppare avanzate tecniche di controllo robusto, adattativo e non lineare; 2) Sviluppare avanzate tecniche di ottimizzazione e realizzazione di sensori;3) Ideare e realizzare nuovi dispositivi wearable per applicazioni industriali; 4) Approfondire le tecniche attualmente utilizzate nel settore ferroviario.

## **Internet**

Questa linea di ricerca si occupa di:

- **Architetture per l'Internet del futuro (paradigmi ICN, NFV, SDN). In particolare :**1) Progettazione e realizzazione di architetture basate sul paradigma Information Centric Networking (ICN) ICN. Progettazione e realizzazione di soluzioni ICN per servizi applicativi. Valutazione prestazionale basata su modelli analitici o su misure dei prototipi; 2) Progettazione e realizzazione di architetture basate sul paradigma Software Defined Networking (SDN). Utilizzo di SDN per il supporto di ICN. Architetture e protocolli per reti ibride IP/SDN. Ingegneria del traffico e fault protection basate sulla combinazione di SDN e Segment routing. Reti Wireless Mesh basate su SDN. Soluzioni per Network Function Virtualization (NFV) basate su SDN.
- **Internet of Things, Machine-to-machine communications. In particolare:** 1) Interoperabilità di piattaforme IoT, soluzioni cloud-based per IoT, virtualizzazione in scenari IoT; 2) Studio e progettazione dei sistemi di comunicazione acustica e ottica per applicazioni a robot sottomarini operanti in configurazione di sciame (swarm). Progettazione e implementazione di un protocollo basato su "cognitive communication" per la gestione della rete di robot mobili (UAV-Underwater Autonomous Vehicle).
- **Reti Wireless. In particolare:** 1) Applicazioni del concetto di programmabilità della rete e dei dispositivi introdotto dal paradigma SDN alle reti e ai dispositivi wireless. Proposta ed implementazione di modelli di dispositivi wireless basati su SDN in cui le tabelle di inoltro realizzano degli automi a stati finiti, estendendo gli approcci correnti basati su tabelle "stateless"; 2) Piattaforma software radio programmata per processare opportunamente il segnale trasmesso da nodi radio fissi che svolgono la funzione di trasmettitori di opportunità. I nodi radio fissi utilizzabili a tale scopo includono: access point WiFi, stazioni radio FM, stazioni base GSM/UMTS/LTE; 3) Algoritmi di data mining per il tracciamento dei movimenti e la classificazione delle attività umane tramite stima del canale radio indoor utilizzando trasmettitori di opportunità (ad esempio reti WiFi in uno scenario di Internet of Things).
- **Ottimizzazioni di protocolli e delle prestazioni di applicazioni per Internet via satellite. In particolare:** 1) Analisi di protocolli per la gestione delle risorse, dello strato di rete e di trasporto al fine della loro ottimizzazione in architetture di rete includenti una tratta satellitare. Sviluppo di nuovi protocolli e modifica di quelli esistenti per ottimizzare le prestazioni. Valutazione di prestazioni di applicazioni Internet su reti satellitari tramite ambienti di simulazione e emulazione.
- **Comunicazioni e reti ottiche. In particolare:** 1) Studio e analisi delle prestazioni dei sistemi e reti ottiche di nuova concezione con particolare riferimento ai fenomeni di non-linearità, alle tecniche di amplificazione, sia lineare che non-lineare e alle tecniche di modulazione multilivello non convenzionali, adatte alle trasmissioni in fibra ottica.
- **Strato fisico: dispositivi e sistemi optoelettronici per TLC (SOA, Laser, LED, fotorivelatori). In particolare:** 1) Simulazioni di dispositivi optoelettronici per TLC (laser, LED, celle solari, SOA), caratterizzazione avanzata di sistemi optoelettronici avanzati per TLC (sistemi 3R), fabbricazione di dispositivi optoelettronici per TLC (OPD)

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:**1) Router e Switch programmabili (SDN capable) – Sensori IOT; ReTi Wifi – Reti cellulari 3G/4G; 3) Sistemi satellitari ad elevate prestazioni (HTS); 4) Componenti e dispositivi ottici e opto elettronici.

**Obiettivi futuri.** Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data attenzione ai seguenti argomenti:

**1) Architetture per l'Internet del futuro (paradigmi ICN, NFV, SDN):** a) Dimostratore nel progetto Green ICN; b) Dimostratore nel progetto GN3plus/DREAMER su Open Source Hybrid IP/SDN networking; c) Dimostratore nel progetto OpenLab su Wireless Mesh SDN.

**2) Internet of Things, Machine-to-machine communications:** a) Realizzazione di un prototipo di sistema di comunicazione "ibrida" acustica/ottica adattabile a robot sottomarini operanti in configurazione di sciame.

**3) Reti wireless:** a) Dimostratore OpenState (SDN wireless basato su automi a stati finiti); b) Sviluppare algoritmi capaci di stimare il canale radio al fine di riconoscere in tempo reale il tipo di attività umana in uno scenario indoor; c) Studio di un modello di canale indoor che tenga conto dello scattering sia da oggetti fissi (muri e arredamento) che da elementi mobili (persone e animali); d) Realizzazione di un dimostratore hardware utilizzando una piattaforma software radio.

**4) Internet via satellite:** a) Verifica di protocolli e applicazioni satellitari (anche su architetture SDN).

**5) Comunicazioni e reti ottiche:** a) Realizzazione di un set-up sperimentale per l'analisi delle prestazioni di un sistema di comunicazioni ottiche multilivello di nuova concezione (Multilevel Stokes Parameters Shift Keying) considerando gli effetti indotti dalla birifrangenza della fibra ottica sul segnale trasmesso.

**6) Strato fisico di dispositivi e sistemi optoelettronici:** a) Fabbricazione e caratterizzazione di fotorivelatori veloci basati su perovskiti ibride organiche/inorganiche; b) Sviluppo di tool di simulazione per fotodiodi basati su materiali ibridi organici/inorganici; c) Fabbricazione di dispositivi optoelettronici per TLC basati su semiconduttori organici.

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Le tematiche di ricerca prevedono di raggiungere gli obiettivi attraverso una combinazione di metodologie analitico/teoriche, di simulazione ed emulazione. Gli aspetti sperimentali richiedono la progettazione e la realizzazione di prototipi dei dispositivi, degli apparati e dei sistemi e il loro dispiegamento in testbed. A tale scopo verranno utilizzate gli strumenti di fabbricazione del Dipartimento di Ingegneria Elettronica presenti nel Polo Solare Organico – Regione Lazio (CHOSE).

## **Multimedia**

Questa linea di ricerca si occupa del progetto, simulazione, sintesi, prototipazione, costruzione e caratterizzazione di sistemi elettronici per la elaborazione del segnale monodimensionale e multidimensionale in tempo reale a bassissimo consumo di potenza. In particolare:

- **Architetture di sistemi di telecomunicazione con diversi tagli banda/power per larghe classi di applicazioni nel settore Multimedia e DSP in senso largo.**
- **Architetture ed algoritmi avanzati per la sintesi e l'elaborazione del segnale audio per applicazioni forensi.**
- **Architetture efficienti in potenza basate su rappresentazioni numeriche non convenzionali.**
- **Metodologie e tools per sistemi riprogrammabili funzionanti in tempo reale.**
  - **Studio di paradigmi innovativi di computazione basati su parallelismo largo ed ispirati a sistemi biologici** (Spiking Neural Networks) e loro implementazione hardware.
- **Architetture di sistemi audio analogici high-end** basati sul concetto di "Analog Assisted Digital".
- **Progettazione di sistemi di test di apparati complessi per le telecomunicazioni**
- **Progettazione di sistemi di test avanzati per la produzione di apparati audio.**
- **Virtual Input Devices e loro applicazione:** interazione con ambienti virtuali (VE) 3D per permettere all'utente di interagire più attivamente con ambienti 3D.
- **Reti di sensori:** a bassa energia con sviluppo di nuovi circuiti e nuovi protocolli per il processamento a bassissima potenza e la comunicazione wireless, sviluppo di circuiti per la raccolta di energia ("Energy Harvesting") dall'ambiente.
- **Sistemi integrati di monitoraggio degli oceani con tecnologie ultrasoniche.**
- **Sviluppo e prova nuovi metodi e procedure di elaborazione del segnale radar necessari per estrarre le informazioni utili mitigando gli effetti avversi dei disturbi interni al radar** (rumore del ricevitore) **ed esterni** (interferenze ambientali , riflessioni su superfici).
- **Sistemi ed architetture hardware fault-tolerant ad elevata disponibilità** per applicazioni critiche su dispositivi ASIC e FPGA

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:** 1) Tool di progettazione assistita di sistemi RNS sviluppato in-house; 2) Metodologie matematiche per la realizzazione di parallelismo intrinseco nella rappresentazione numerica;3)Tools in-house per la riprogrammazione dinamica di dispositivi FPGA;4)Tecnologie innovative implementabili in scala nanometrica per la realizzazione di reti neurali; 5) Laboratorio elettronico e di prototipazione;6) Accesso a laboratori extra-dipartimentali.

**Obiettivi futuri.**Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data attenzione ai seguenti argomenti: 1) Progetto, fabbricazione e caratterizzazione di apparati e sistemi di telecomunicazione avanzati coinvolti nella gran parte delle applicazioni definibili multimedia (dall'audio al video, alle comunicazioni sicure); 2) Residue Number System Architectures (RNS): La ricerca in questo settore intende sviluppare strutture per la realizzazione di processori paralleli per l'elaborazione ad alta velocità e basso consumo; 3) Reti neurali Spiking: obiettivo dell'attività di ricerca è l'ottimizzazione delle strutture hardware che realizzano questo tipo di processamento e la realizzazione di reti neurali computazionalmente efficienti di grandi dimensioni; 4) Architetture riconfigurabili per il DSP: trattasi della definizione di architetture riprogrammabili in real time Hardware Link Libraries (HLL) con riutilizzo delle risorse; 5) Reti di sensori: La ricerca si occupa della realizzazione di reti wireless in cui il consumo di energia è uno dei problemi principali; 6) Progettazione Audio: Analog assisted Digital. Architetture audio che pur essendo intrinsecamente analogiche per preservare al massimo la qualità del segnale e il suo range dinamico, possano trarre vantaggio dalle tecnologie digitali; 7) Sistemi di test evoluti per la produzione audio: In questa linea di ricerca verrà studiata la realizzazione di un sistema di test di produzione che abbia la capacità di eseguire automaticamente misure su apparati che richiedano una interazione fisica relativa allo spostamento meccanico di toggle switches, commutatori rotativi, potenziometri rotativi e lineari; 8) Virtual Input Devices e loro applicazione: interazione con ambienti virtuali (VE) 3D per permettere all'utente di interagire più attivamente con ambienti 3D mediante tecniche avanzate di Signal processing a basso consumo; 9) Integrazione di sistemi Multimediali/Multisensoriali; 10) Sviluppo di algoritmi di sintesi ed elaborazione del segnale audio, sviluppo di interfacce HW/SW per il controllo di processi di sintesi, elaborazione e spazializzazione del segnale musicale; 11) Esecuzione e composizione musicale assistita dal computer; 12) Studio di nuovi algoritmi deterministici e non deterministici di sintesi ed elaborazione del segnale audio e nuove interfacce HW/SW per il controllo di processi di sintesi, elaborazione e spazializzazione del segnale musicale; 13) Sviluppo di sistemi per l'analisi e il trattamento del segnale vocale orientati ad applicazioni forensi; 14) Architetture per sistemi avanzati con trade-off potenza/affidabilità, velocità; 15) Elaborazione del segnale radar; 16) Sviluppo e prova nuovi metodi e procedure di elaborazione del segnale radar necessari per estrarre le informazioni utili mitigando gli effetti avversi dei disturbi interni al radar (rumore del ricevitore) ed esterni.

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Gli obiettivi verranno realizzati attraverso i seguenti azioni: 1) Utilizzo dei laboratori e dei CAD a disposizione del Dipartimento; 2) Introduzione di nuovi flussi di progetto e verifica per la simulazione e produzione di prototipi per introdurre e validare sistemi basati su flussi di progetto innovativi; 3) Collaborazione con il settore industriale italiano e trasferimento tecnologico di metodologie e tecnologie elettroniche scalabili per la produzione industriale; 4) Definizione di tecniche progettazione di circuiti affidabili e ultra low-power su scala nanometrica sia livello tecnologico sia a livello di sistema; 5) Collaborazione con centri di ricerca internazionali (Singapore, USA).

## **Salute**

Questa linea di ricerca si articola nelle seguenti tematiche:

- **Diagnostica medica tramite analisi dei composti volatili:** studio delle relazioni tra composti volatili e patologie (malattie oncologiche e infettive), della analisi dei composti volatili di colture cellulari e della progettazione e realizzazione di sistemi di sensori per gas e composti in soluzione (naso elettronico e lingua elettronica) e delle loro applicazioni alla diagnostica medica in vivo e in vitro.
- **Processamento delle immagini per applicazioni biomediche:** sviluppo di sistemi di analisi computerizzata di immagini digitali per la diagnosi precoce di lesioni tumorali e di asimmetrie bilaterali nelle immagini mammografiche.
- **Affective computing:** studio di tecniche di analisi del segnale vocale/mimico/gestuale per la stima dello stato emozionale e di patologie dell'apprendimento e del linguaggio.
- **Sviluppo di algoritmi per la diagnosi medica precoce ad immagini eseguita tramite onde elettromagnetiche a frequenze radio:** L'attività di ricerca è nuova, ma si avvale dell'esperienza delle persone coinvolte sulla tecniche di beamforming ed elaborazione dei dati ricevuti da un sistema di antenne, sui sistemi IR-UWB e delle competenze sull'elaborazione del segnale digitale
- **Acquisizione, analisi e trattamento di segnali biologici per diagnosi, riabilitazione e interazione con macchine ed ambiente:** Sviluppo di sistemi HW/SW per l'acquisizione, l'analisi e il trattamento di segnali biologici.
- **Sensori ed attuatori wearable** per applicazioni biomedicali basati su dispositivi nano-piezoelétrici e studio delle metodologie per la crescita dei materiali.

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:**1) Progettazione molecolare, sintesi di recettori artificiali (collab. Dip. Scienze e Tecnologie Chimiche, Univ. Roma Tor Vergata), caratterizzazione film molecolari, sensori risonatori al quarzo, colorimetrici e dispositivi ad effetto di campo e a variazione di conducibilità, elettronica di interfaccia per sensori, analisi dati multivariata, gas-cromatografia e tecniche di breath sampling; 2) IR-UWB; Algoritmo di beamforming, tramite un sistema di antenne; Metodi di rimozione

degli artefatti; 3) Laboratorio elettronico e Laboratorio di prototipazione microsistemi; Accesso a laboratori extra-dipartimentali condivisi con altri gruppi per la sintesi e la caratterizzazione di nanostrutture.

**Eventuali elementi specifici di particolare importanza sono:** 1) Su questa tematica sono state fatte due proposte SIR 2014 attualmente sotto valutazione; 2) Collaborazione con il Dipartimento AMSE della Sungkyunkwan University (SKKU), leader in Sud Corea per la scienza dei materiali; 3) dal 2013 Christian Falconi è Adjunct Professor presso la SKKU; 4) È attivo un progetto FIRB Futuro in Ricerca 2010 (Christian Falconi: coordinatore nazionale); 5) E' attivo un progetto di ricerca finanziato dalla Fondazione Veronesi (Eugenio Martinelli Principal Investigator).

**Modalità di realizzazione degli obiettivi.** Gli obiettivi verranno realizzati attraverso i seguenti azioni: 1) Realizzare nuovi sensori di gas di maggiore sensibilità e selettività; migliorare le tecniche di campionamento dei composti volatili biologici; Studiare dei metodi biospirati di processamento dei dati sensoriali; 2) Studiare nuove tecniche di estrazione delle caratteristiche morfologiche, nuove tecniche di confronto e mascheramento in coppie di immagini mammografiche non registrate; 3) Studio di diverse tecniche per la rimozione degli artefatti nei segnali di backscattering ricevuti da un sistema di antenne, basate sul filtraggio, su metodi di analisi statistica e sull'analisi spettrale; 4) Studio ed ottimizzazione di un algoritmo di beamforming per la localizzazione di alterazioni del parenchima cerebrale; 5) Ricerca fondi per la realizzazione di un prototipo; 6) Sviluppo di nuovi sensori e nuove tecniche di estrazione delle caratteristiche di segnali biologici e di nuovi algoritmi per l'analisi e il trattamento di segnali biologici; 7) Ideare e realizzare nuovi sistemi per Energy Harvesting in grado di convertire in modo molto efficiente energia meccanica a bassa frequenza in energia elettrica; 8) Ideare e realizzare nuovi dispositivi wearable per la salute; 9) Acquisire nuove risorse umane e nuove strumentazioni e/o collaborazioni con gruppi esterni.

**Obiettivi futuri.** Tra i vari obiettivi particolare attenzione verrà data attenzione ai seguenti argomenti: 1) integrazione di diverse tecnologie di sensori, estensione della ricerca a patologie infettive (tubercolosi e malaria) e alla caratterizzazione di colture di cellule staminali; 2) nuove strategie di estrazione di caratteristiche morfologiche e di relativa analisi dati per l'identificazione di segni tumorali in assenza di lesioni, quali le asimmetrie bilaterali delle coppie di mammogrammi, ossia differenze morfologiche del tessuto fibrogliandolare del seno destro e sinistro. Le tecniche sviluppate potrebbero essere applicate anche ad altri contesti di diagnostica per immagini; 3) Un sistema in grado di stimare lo stato emozionale attraverso l'analisi del segnale vocale ha implicazioni mediche forti come co-adiuvante della diagnosi di patologie dell'apparato fonatorio, uditivo, ma soprattutto di patologie a carico dell'apparato neuropsicologico/neurologico quali Alzheimer, Parkinson, Demenza, come misuratore dello stato di stress, dell'ansia, del dolore del paziente. Si prevede di sviluppare un sistema speaker-independent e adattativo che sia in grado di funzionare in uno scenario dinamico con l'aggiunta di nuovi parlatori di addestramento durante il funzionamento; 4) Sviluppo di algoritmi di elaborazione dei segnali di backscattering di un sistema radar che usi onde IR-UWB. Il fine è la rilevazione precoce della presenza e della localizzazione di versamenti di sangue nel cervello; 5) Realizzazione di sistemi per l'acquisizione, l'analisi e il trattamento di segnali biologici orientati alla diagnosi medica e alla riabilitazione. In particolare si intende sviluppare un sistema per l'analisi ed il controllo della stabilità posturale, a scopo di diagnosi e riabilitazione nei casi di patologie neurodegenerative; 6) Light harvesting indoors e integrazione in sistemi sensoriali energeticamente autosufficienti.

## **Sicurezza**

Questa linea di ricerca è coniugata dal Dipartimento essenzialmente nell'accezione anglosassone di *security* e pertanto si focalizza nello studio delle tecniche e delle tecnologie volte ad aumentare il grado di resistenza ad eventuali minacce. Numericamente coinvolge 16 professori/ricercatori di ruolo del Dipartimento a cui si aggiungono 15 dottorandi/post-doc. Il notevole coinvolgimento dei ricercatori si traduce poi nella diversificazione delle tematiche, che spaziano dal singolo dispositivo al sistema elettronico, da tecniche di codifica ai sistemi di contromisura elettronica. Nel dettaglio, si elencano di seguito, le differenti tematiche risultanti: 1) Reti e Dispositivi di Combinazione Spaziale per Alta Potenza/Efficienza per Microonde e THz, dispositivi a vuoto; 2) Sviluppo di metodologie di analisi, sintesi e sviluppo dell'elettronica di front-end per sistemi a microonde, millimetrici e sub-millimetrici, ad elevata sensibilità ed alta efficienza; 3) Sviluppo di nuove funzionalità e sottosistemi per il condizionamento del segnale in apparati per EW; 4) Sistemi e tecniche radar e di navigazione aerea e applicazioni alla sicurezza del traffico aereo e navale oltre che alla difesa del territorio e delle acque nazionali; 5) Sensori chimici e sistemi sensoriali artificiali per la sicurezza; 6) Caratterizzazione dei modelli di guasto e vulnerabilità di sistemi elettronici, sviluppo di sistemi ad alta sicurezza; 7) Codifica non-convenzionale per la protezione delle trasmissioni in fibra ottica; 8) Sistemi di monitoraggio del traffico Internet e rilevamento di intrusioni ed attacchi informatici, sia "in-network" (stream-based) che "back-end" (Security Information Event Managers); 9) Autenticazione, privacy e protezione dei dati mediante tecniche crittografiche avanzate, tecniche "lightweight", per reti di sensori ed RFID. È da evidenziare poi come le tematiche della sicurezza siano oggetto anche di trasferimento di conoscenze mediante le attività didattiche di responsabilità del Dipartimento, sia in singoli insegnamenti (Sistemi Elettronici

per la Sicurezza, Sicurezza delle reti, Vulnerabilità e difesa dei sistemi Internet), che nell'ambito dell'apposito Master di Secondo Livello (Sistemi e Tecnologie Elettroniche per la Sicurezza, la Difesa e l'Intelligence).

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:**1) Tecniche per la valutazione dell'affidabilità e della sicurezza. Metodologie di progettazione per la realizzazione di sistemi ad alta sicurezza; 2) Elaborazione, analisi, sintesi dei segnali, rivelazione e stima dei parametri, simulazione stocastica e metodi Montecarlo, trattamento dei dati radar, metodi ai minimi quadrati e a massima verosimiglianza; 3) Progettazione molecolare, sintesi di recettori artificiali (coll. Dip. Scienze e Tecnologie Chimiche, Univ Roma Tor Vergata), Caratterizzazione film molecolari, sensori risonatori al quarzo, colorimetrici e dispositivi ad effetto di campo e a variazione di conducibilità, tecnologie optoelettronica per la misura di sensori fotochimici, elettronica di interfaccia per sensori, analisi dati multivariata, tecnologie di campionamento dell'aria, gascromatografia; 4) Tecnologie a semiconduttore per la realizzazione di dispositivi e circuiti attivi a stato solido, quali Arseniuro di Gallio (GaAs), Nitruro di Gallio (GaN), Silicio-Germanio (SiGe) ed in generale composti III-V o IV. Tecnologie monolitiche metamorfiche (HEMT in GaAs con alta percentuale di Indio nel canale attivo) a bassa dimensionalità di Gate. Tecniche di caratterizzazione e modellistica per dispositivi attivi sia lineari, che non lineari e di rumore; 5) Crittografia applicata, con particolare riferimento a crittografia ellittica in termini di *i*) implementazioni efficienti per sistemi miniaturizzati e sensori, e *ii*) mappe bilineari ed estensioni funzionali per il supporto di tecniche avanzate di *identity/attribute based encryption* e condivisione controllata dei dati. Strutture dati *multi-hash* e relativi algoritmi di analisi e rilevamento anomalie per il supporto online (*stream-based*) e scalabile di operazioni di analisi e filtraggio del traffico Internet; integrazione in sonde di traffico basate su sistemi linux con I/O accelerato; implementazione di strutture *multi-hash* in Hardware (FPGA).

**Progetti finanziati (triennio 2011-2013);** Nel periodo indicato sono stati finanziati 16 progetti, sia con finanziatore pubblico in risposta a bandi competitivi, che con aziende private (6 progetti sono finanziati nell'ambito FP7 o ESA).

**Collaborazioni esterne:** I ricercatori del dipartimento collaborano, per le tematiche sopra accennate, con altri Dipartimenti dell'Ateneo (ad es. Dip. di Scienze e Tecnologie Chimiche, Dip. di Ing. Industriale ...) e con altri gruppi di ricerca Nazionali operanti nell'accademia (Univ. di Brescia, Politecnico di Torino, Univ. di Bologna, Univ. di Roma La Sapienza, Politecnico di Bari ...) e nei centri di ricerca (CNR-IREA, IFN, IMM ..., INAF). Chiaramente le tematiche trattate sono di forte interesse industriale, inducendo lo sviluppo di collaborazioni con le maggiori realtà nazionali del settore (Selex ES, Elettronica SpA, Rheinmetall Italia, Thales Alenia Space Italia, Space Software Italia, ...), e con realtà internazionali (NEC Euro Labs Heidelberg) con le quali le tematiche sopra citate sono sviluppate in parziale collaborazione. Infine, la partecipazione del Dipartimento a Progetti Europei (ESA o FP7) nel settore della sicurezza implica poi una stimolante collaborazione con team di ricerca ed aziende europee di primo livello (Thales, Airbus, NEC, Telefonica, Orange, ...).

**Obiettivi futuri.** Data la notevole diversificazione delle tematiche di ricerca afferenti a questa linea, non è facile sintetizzare una direttrice comune senza entrare nel dettaglio dello specifico tema. In ogni caso, per tutte le tematiche lo sforzo è volto da un lato alla dimostrazione sperimentale delle metodologie e delle tecniche proposte, mediante lo sviluppo di dimostratori tecnologici, e dall'altro lato all'ideazione di primitive teoriche innovative su cui sviluppare soluzioni ed applicazioni. Nel prossimo triennio si prevede di estendere la ricerca nel settore della cyber-security: dagli attuali scenari sostanzialmente legati alla rete Internet ed all'analisi del traffico, si prevede di coprire anche infrastrutture critiche ed integrazione di analisi del traffico con analisi di segnali SCADA e di monitoraggio ambientale (è stata sottomessa una proposta europea H2020 a tal proposito). Inoltre, data la crescente esigenza di estendere le applicazioni di sicurezza a nuove gamme di frequenza, sempre più elevate (millimetriche, sub-millimetriche e THz), uno sforzo tecnologico notevole vedrà coinvolti i ricercatori nel cercare di spingersi verso tale frontiera, aggiornando, compatibilmente con i finanziamenti ottenuti, le proprie capacità strumentali e di analisi. Infine, in tutti i casi si cercherà di estendere, ad altre tematiche legate alla sicurezza, le metodologie attualmente sviluppate in ambiti simili.

## Spazio

Questa linea di ricerca si occupa di: A) Sistemi di comunicazione via satellite in banda EHF; B) Prestazioni e architettura per Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring (ARAIM); C) comunicazioni in banda EHF in future reti integrate (architetture con space-based/space-integrated SDN, space Cloud); D) metodologie di analisi, sintesi e sviluppo dell'elettronica di front-end per sistemi ad alta frequenza, in un ambiente ostile e con prestazioni allo stato dell'arte; E) Sviluppo di moduli trasmettitori sia in tecnologia ibrida che monolitica allo stato dell'arte; E-bis) Caratterizzazione dei modelli di guasto dei dispositivi destinati all'elettronica di ambito satellitare, sviluppo di sistemi tolleranti ai guasti per applicazioni spaziali; F) Circuiti per il condizionamento del segnale a microonde ed onde millimetriche per payload di telecomunicazioni ed osservazione della terra; G) Sviluppo di nuovi dispositivi a semiconduttore basati su tecnologie innovative (Diamante e GaN); H) Ottimizzazioni di architetture di sistemi satellitari per telecomunicazioni multimediali; I) Dispositivi elettronici (HEMT, HBT in GaAs, InP, SiC), e nano-elettronici (Tubi a vuoto e nanotriodi operanti nel

range GHz-THz) per applicazioni spaziali; Ibis) Studio dell'effetto del accoppiamento elettro-termo-meccanico sugli sforzi meccanici in dispositivi al Nitruro di Gallio (GaN) di alta potenza e delle conseguenze sull'affidabilità attraverso simulazioni multifisica/multiscala; L) sistemi e le tecniche radar e di navigazione e le loro applicazioni spaziali per navigazione aerea e monitoraggio ambientale; M) caratterizzazione dei modelli di guasto di componenti elettronici in ambiente spaziale; N) progettazione con uso di tecniche di *fault tolerance* e *fault avoidance*; O) Dispositivi e circuiti MEMS; P) Componenti a meta materiali; Q) Sensori chimici e sistemi sensoriali artificiali per applicazioni spaziali.

**Le tecnologie abilitanti per questa linea di ricerca comprendono:** **A-C** - Ottimizzazione di architetture di strato fisico per sistemi di comunicazione satellitare operanti in EHF; Ottimizzazione di tecniche di mitigazione degli "impairment" su canali di comunicazione satellitare in banda EHF; **D-Ebis** -Tecnologie per la realizzazione di dispositivi attivi a stato solido, quali Arseniuro di Gallio (GaAs), Nitruro di Gallio (GaN), Silicio-Germanio (SiGe) ed in generale composti III-IV; Tecnologie per la realizzazione di circuiti elettronici ad alta frequenza, sia ibridi (Hybrid Integrated Circuit) che integrati (Monolithic Microwave Integrated Circuit); Tecnologie e per la caratterizzazione dei modelli di guasto e metodologie di progettazione per la realizzazione di sistemi ad alta affidabilità; **F-G** - Tecnologie a semiconduttore per la realizzazione di dispositivi e circuiti attivi a stato solido, quali Arseniuro di Gallio (GaAs), Nitruro di Gallio (GaN), Silicio-Germanio (SiGe) ed in generale composti III-V o IV; Tecnologie realizzative ibride (Hybrid Microwave Integrated Circuit) e monolitiche (MMIC, Monolithic Microwave Integrated Circuit); Tecnologie di fabbricazione di dispositivi in diamante monocristallino idrogenato (sviluppate in-house); **H** – Sistemi satellitari ad elevate prestazioni (HTS), sistemi di simulazione ed emulazione; **Ibis** -I Software di simulazione di dispositivi multifisica/multiscala (TCAD, in-house e third-party); Sistemi di caratterizzazione avanzata di dispositivi; Laboratorio di fabbricazione di dispositivi nanotecnologici (Nanotubi di carbonio, Nanowires etc.); **L**- Elaborazione, analisi, sintesi dei segnali, rivelazione e stima dei parametri, simulazione stocastica e metodi Monte Carlo, trattamento dei dati di navigazione, metodi ai minimi quadrati e a massima verosimiglianza; **M-N** Metodologie di progetto per interruttori capacitivi e sfasatori distribuiti; Caratterizzazione di interruttori resistivi; Divisori-combinatori costituiti da elementi con caratteristiche di meta materiali; **O** - Progettazione molecolare, sintesi di recettori artificiali (coll. Dip. Scienze e Tecnologie Chimiche, Univ Roma Tor Vergata), caratterizzazione film molecolari, sensori risonatori al quarzo, colorimetrici e dispositivi ad effetto di campo e a variazione di conducibilità, elettronica di interfaccia per sensori, analisi dati multivariata, elettronica space-qualified.

**Elementi di particolare importanza:** **A** il gruppo è Principal Investigator del primo programma scientifico per la realizzazione di esperimenti di comunicazione satellitare in banda Q/V (40-50 GHz); **D**- progetto FP7 Space qualification Of High-Power SSPA based on GaN technology, progettazione di un amplificatore di potenza a stato solido in tecnologia GaN-UMS qualificato per lo spazio, per l'applicazione Galileo; **E**- attività in collaborazione con Ericsson AB (Svezia) per lo sviluppo di amplificatori di potenza per applicazioni Backhaul (bande 7GHz e 15GHz); **F-G** Due progetti finanziati ESA, di cui il gruppo è il Prime Contractor, in entrambi i casi con il Prof. Ernesto Limiti quale Principal Investigator; **I** Progetto ESA GREAT<sup>2</sup> (GaN Reliability Enhancement and Technology Transfer Initiative) come supporto teorico per lo studio dell'affidabilità di HEMT.

**Obiettivi futuri.** **A-C** Prosecuzione e completamento della campagna di esperimenti di comunicazione satellitare in banda Q/V. Applicazione dei risultati della ricerca in campo commerciale (sia per comunicazioni terrestri che satellitari): realizzazione di MODEM, ottimizzazione di architetture per sistemi HTS (High Throughput) Satellite; **D-Ebis**- Sviluppo di tecniche di sintesi innovative finalizzate con le attuali tecnologie disponibili. Investigare possibili scenari operativi nel campo delle altissime frequenze (Terahertz); Caratterizzazione dei modelli di guasto di componenti elettronici in ambiente spaziale; Definizione di nuove metodologie di progettazione per *fault avoidance* e *fault tolerance*; **F-G**- Integrazione di interi front end per il condizionamento del segnale ricevuto a microonde. Individuare un flusso di processo per la fabbricazione di dispositivi in diamante di tipo FET per applicazioni ad alta affidabilità; **H**- Verifica di standard di comunicazione; **Ibis** - Ulteriore sviluppo di modelli multiscala/multifisica per la simulazione di effetti elettro-termo-meccanici, e la loro applicazione a dispositivi basati su GaN; **L**- Sviluppare dimostratori HW/SW di quanto studiato/in corso di studio realizzando e provando uno o più Software Defined Radio. **M-N** Metodologia di progetto di sfasatori distribuiti MEMS e realizzazione; Realizzazione di risonatori in guida planare con proprietà di metamateriali, con possibilità di cambiamento della frequenza di risonanza mediante attuazione di interruttori MEMS appositamente inseriti nelle strutture; **O**- Progettazione di esperimenti di monitoraggio di colture cellulare e colonie batteriche e di controllo dello stato di salute dell'equipaggio.