

AREA STRATEGICA: MICRO–NANOELETTRONICA, SENSORISTICA, MICRO–NANOSISTEMI

a. Finalità e Obiettivi

La micro/nanoelettronica rappresenta una delle key enabling technology (KET) del Programma Europeo H2020 e risulta essenziale non solo per una serie di prodotti e servizi, ma è alla base dell'innovazione e della competitività di quasi tutti i Settori del PNR. Le attività del DSFTM in questo campo sono focalizzate su una serie di tematiche fortemente collegate alle aziende presenti sul territorio nazionale (STMicronics, Micron, LFoundry) ed europeo e a centri di ricerca europei (CEA–LETI, IMEC). Le attività del DSFTM sono mirate allo sviluppo di nuovi materiali, processi, dispositivi e tecnologie nei seguenti settori:

- dispositivi nanoelettronici su scala nanometrica con funzionalità di logica e/o memoria di nuova generazione basati su concetti emergenti, manipolazione quantistica dell'informazione e tecnologie di nanofabbricazione avanzate;
- sistemi elettronici non convenzionali verso lo sviluppo di piattaforme multifunzionali (More than Moore) e architetture computazionali innovative, quali reti neuromorfiche e computazione quantistica;
- tecnologie abilitanti per dispositivi di potenza ed alta frequenza di nuova generazione basati su materiali avanzati (SiC, GaN, GaAs, grafene, ecc.);
- dispositivi e circuiti elettronici su substrati flessibili basati sia su transistor organici (OTFTs), realizzati mediante tecnologia fully printed, che su TFT a silicio policristallino;
- dispositivi basati su materiali a dimensionalità ridotta (2D, 1D e 0D) per low-power electronics e flexible electronics e sviluppo di tecnologie di processo abilitanti per dispositivi elettronici nanoscalati.

Nel campo dei sensori e dei micro/nanosistemi le attività del DSFTM hanno un forte carattere multidisciplinare e grazie alle capacità di micro/nanofabbricazione è possibile realizzazione dispositivi per applicazioni in molti dei settori di interesse del PNR. In questo ambito il DSFTM perseguirà i seguenti obiettivi:

- sensori puntuali per aerospazio per sorveglianza ambientale, monitoraggio di processi (fiber Bragg gratings) opportunamente funzionalizzati o sensori distribuiti mediante elementi in fibra ottica, sistemi multisensoriali (nasi elettronici), integrazione di dispositivi fotonici su silicio;
- sensori e biosensori per quantum sensing a trasduzione ottica di tipo plasmonici utilizzando nuovi materiali con proprietà magneto-ottiche o con funzionalità specifiche, fino a spingersi verso la detection di singola molecola.
- sviluppo di trasduttori specifici, basati su materiali sensibili avanzati (quantum dots, nanofili, 2D, ecc.), e di tecniche di trasduzione innovative per sensori ad alte performance;
- realizzazione di sistemi multisensoriali autonomi di parametri chimici e fisici, anche su piattaforme unmanned (droni); sistemi multifunzionali e multisensoriali per: l'assistenza agli

anziani/ambient-assisted living; la sicurezza, prevenzione e tutela della salute; monitoraggio delle filiere alimentari;

- sistemi sensoriali flessibili con particolare riferimento a dispositivi indossabili, inclusi dispositivi per la generazione di energia e circuiti e dispositivi flessibili basati su materiali innovativi multifunzionali (ossidi, dicalcogenuri);
- sistemi multifunzionali per applicazioni in medicina: biosensori, sensori nanomeccanici per sistemi biologici, micro-dispensing di farmaci, sistemi di diagnosi medica (breath analysis, PET analysis, infarto del miocardio), MOEMS su fibra ottica per diagnostica medica;
- dispositivi e sotto-sistemi MEMS per telecomunicazioni a microonde ed onde millimetriche quali switch, risonatori, micro-nano antenne realizzati su Si, Al₂O₃, SiC, GaAs e GaN in forma integrata;
- tecnologie MEMS/MOEMS avanzate per sensori di deformazione risonanti, micro-harvesting energetico, di pressione, inerziali ed acustici e bolometrici ed includenti l'integrazione di materiali innovativi e 2D (grafene, MoS₂) per trasduzione di tipo piezoelettrico, termico, termoelettrico e chimico;
- micro/nanoattuatori e risonatori basati su materiali non convenzionali (phase change materials);
- dispositivi per la conversione di energia operanti mediante processi foto-termoionici, termoionici e termoelettrici e basati sullo sviluppo di materiali non convenzionali (film sottili di diamante CVD, carburi, boruri e nitruri) e di nanostrutture (nanofili);
- sensori gravimetrico-elettrochimici integrati per il dosaggio di microorganismi patogeni, biomarkers, inquinanti organici;
- modelli computazionali di intelligenza artificiale, per vision e pattern recognition nei settori della sicurezza e sorveglianza intelligente.

b. Contenuto Tecnico Scientifico

All'interno del DSFTM sono presenti competenze riconosciute a livello internazionale nel campo dei materiali, delle tecnologie e della modellistica per: dispositivi nanoelettronici e spintronici con funzionalità di logica, memoria e per sistemi di computazione avanzati basati su reti neurali, neuromorfiche e computazione quantistica; dispositivi di potenza ed alta frequenza; elettronica flessibile.

Nel campo dei sensori e dei micro/nanosistemi il DSFTM dispone delle più importanti e complete facilities tecnologiche per lo sviluppo, la caratterizzazione e la prototipizzazione di sensori chimici, fisici, biologici, sistemi multisensoriali a trasduzione ottica, elettrica, elettro-ottica, magneto-ottica. In particolare, le attività strategiche nel medio/lungo termine riguardano i seguenti campi:

- sistemi memristivi con funzionalità di memoria, logica non-volatile e per sistemi di computazione neuromorfica: memorie non volatili PCM nanoscalate, trimmable resistor basate su calcogenuri; dispositivi a commutazione resistiva RRAM basati su ossidi per memorie e come elementi funzionali in architetture neurali e neuromorfiche; giunzioni MTJ (magnetic tunnel junction);

- dispositivi basati su strutture a dimensionalità ridotta (2D, 1D, 0D) per low power electronics che integrano materiali innovativi quali silicene, stanene, dicalcogenuri di metalli di transizione, nanostrutture di silicio, nanofili di calcogenuri, isolanti topologici;
- tecniche avanzate di nanofabbricazione, basate su materiali autoassemblanti quali copolimeri a blocchi, e di drogaggio per dispositivi nanoscalati (pulsed laser annealing, monolayer doping);
- computazione quantistica: simulazione/modelling e caratterizzazione di Qubit in nanodispositivi CMOS compatibili;
- processi innovativi per dispositivi in SiC e GaN (interfacce metallo/dielettrico, drogaggio selettivo in SiC, transistori HEMT normally-off, dispositivi verticali in GaN);
- processi innovativi e componenti per alta frequenza (filtri, oscillatori, antenne, sistemi interferometrici, ecc.) basati sui metamateriali per applicazioni civili, militari ed aerospaziali;
- sviluppo di processi di crescita epitassiale di 4H-SiC spesso e di 3C-SiC su substrati di Si per dispositivi di potenza e nuove applicazioni (MEMS, fotovoltaico, rivelazione di particelle) ed integrazione di materiali 2D (quali il grafene) su semiconduttori ad ampia gap;
- sviluppo delle tecniche di printing convenzionali (gravure, inkjet, screen printing) ed innovative (di tipo piezoelettrico e piroelettrico) per la realizzazione di dispositivi fully printed;
- realizzazione e caratterizzazione di sensori su substrato flessibile integrati con elettronica di front-end basata su circuiti organici o su TFT a silicio policristallino;
- sviluppo di semiconduttori organici (porfirine, ftalocianine e oligitiofeni) per applicazioni elettroniche e fotovoltaiche;
- micro-nanosistemi multifunzionali con una forte focalizzazione sull'integrazione di materiali innovativi, inclusi materiali a ridotta dimensionalità;
- sviluppo di sensori e piattaforme optoelettroniche per harsh environments (alta temperatura, irraggiamenti intensi di neutroni e/o di radiazione ionizzante, ambienti chimicamente aggressivi, ecc.);
- sviluppo di piattaforme innovative in ottica guidata e per sensing plasmonico amplificato (SERS, TERS, TERS imaging, ecc.) ed in configurazione risonante per il biosensing e il sensing ambientale; spettrometri laser per la misura di gas in tracce;
- sviluppo di piattaforme microfluidiche ed optofluidiche basate su principi innovativi di trasduzione per sistemi LoC (lab-on-a-chip) e micro-total-analysis systems;
- sviluppo di sonde ultrasoniche MOEMS su fibra ottica per diagnostica medica non invasiva;
- biosensori per il monitoraggio di inquinanti ambientali in fase liquida e gassosa, sistemi bioelettronici smart per la depurazione e purificazione di acque reflue;
- dispositivi nanoelettronici e magnetoelettronici con funzionalità logiche e sensoristiche basati su dispositivi superconduttori (SQUID, TES), multistrati magnetici/superconduttori e ossidi funzionali;

- sensori per controllo di qualità di manufatti per la fabbrica intelligente; sviluppo di sistemi intelligenti per la salute con metodi di machine learning ed approcci terapeutici traslazionali.