

SCHEMA di SINTESI (Abstract) Progetto Premiale

Articolo 5 DM n. 949 del 19/12/2012

| | |
|---------------------------------------|--|
| Titolo progetto: | Nanotecnologie su materiali avanzati con tecniche FIB |
| Ambito di Intervento: | ICT E DISPOSITIVI SENSORIALI; AREONAUTICA E SPAZIO PHYSICAL SCIENCE AND ENGINEERING (PE) |
| Struttura di riferimento: | CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR) |
| Coordinatore di progetto: | Dott. Carlo Ferdeghini |
| Responsabile scientifico | Prof. Giampiero Pepe |
| Altri EPR coinvolti: | INFN, IIT |
| Altri Organismi e soggetti coinvolti: | Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli |
| Descrizione breve progetto: | <p>Il progetto riguarda l'acquisizione di un litografo a fascio ionico (FIB) per il potenziamento delle linee di nano fabbricazione per le varie sedi di CNR SPIN.</p> <p>La sintesi di nuovi materiali, ed in particolare di nano-materiali con struttura e morfologia ben definita, ha significativamente contribuito, negli ultimi anni, a rilevanti progressi scientifici nelle fisica dei materiali. Il sempre più diffuso interesse nelle comunità scientifica verso i nanomateriali e le nanostrutture deriva in larga misura dalla possibilità che tali sistemi offrono di esplorare nuove proprietà fisiche della materia in un regime mesoscopico, con conseguenze notevoli in termini sia di fisica fondamentale che possibilità applicative.</p> <p>L'acquisizione di un nuovo litografo a fascio ionico potenzierà le linee di nano fabbricazione di SPIN che già è internazionalmente riconosciuto per le sue attività sui materiali innovativi..</p> <p>La facility di nano fabbricazione accoppiata con impianti di litografia</p> |

| | |
|---|--|
| | ottica, verrà asservito a sistemi di deposizione di film sottile, rimozione selettiva per RIE, ion milling, microscopia (a forza atomica e a scansione elettronica). Verrà dedicata alla fabbricazione di dispositivi e componenti che impiegano la vasta classe di materiali (superconduttori, ossidi, organici, etc.) sviluppati all'interno di SPIN e tra le molteplici collaborazioni che l'Istituto stesso sviluppa. |
| Obiettivi del progetto: | Gli obiettivi del progetto sono: <ol style="list-style-type: none"> 1) potenziamento della nano fabbricazione per SPIN che ha notevoli capacità di sviluppo di materiali e dispositivi; 2) razionalizzazione delle risorse all'interno dell'Istituto e nel confronto tra Istituto e realtà territoriali. |
| Linea di intervento ai sensi dell'art. 3: | Linea 3 |
| Criteri di valutazione | |
| Sviluppo delle competenze: | Il progetto valorizza le competenze di un'ampia comunità di ricerca del CNR e rafforza le collaborazioni con alcune Università tradizionalmente legate all'Istituto. Le ricerche proposte hanno un elevato tasso di multidisciplinarietà perché coinvolgono fisici, chimici e scienziati dei materiali. La formazione di un polo di eccellenza sulla nanostrutturazione di materiali innovativi permetterà di massimizzare gli investimenti realizzati, offrendo una continuità nella presenza dei ricercatori del CNR sullo scenario internazionale nel lungo termine, che permetta una incisiva partecipazione alle sfide di Horizon 2020. |
| Grado di coinvolgimento di soggetti pubblici e privati: | La facility è di grande interesse per le collaborazioni in corso con le sezioni dell'INFN di Napoli (sull'elettronica organica) e Genova (sui rivelatori) e con la sezione di Napoli dell'IIT. A livello internazionale permetterà una più stretta collaborazione con le Università ed i centri di ricerca internazionali citati in narrativa (Helsinki University of Technology (TKK), University of Twente, University of |

| | |
|--|---|
| <p>Attrazione degli investimenti, impatto socio-economico e sostenibilità economica finanziaria:</p> | <p>Geneva, Chalmers University of Technology, Osaka University, CNRS/Thales, Cambridge University etc.)</p> <p>Il progetto si propone anche come centro attrattore per gli interventi delle fondazioni, dei poli di innovazione, e distretti tecnologici dei territori liguri e campani. Le tecnologie che si svilupperanno saranno di sicuro interesse per l'industria High-Tech. Un ruolo importante sarà anche quello di formare giovani con curricula di interesse per tali industrie. In questo campo SPIN vanta un grande successo nell'alimentare l'industria High-Tech del territorio (in particolare le industrie operanti nel campo della superconduttività) con giovani formati presso le sue strutture</p> <p>Sul piano Europeo, il progetto consentirà al CNR di giocare un ruolo chiave nello sviluppo di alcune delle cosiddette Tecnologie abilitanti (Key enabling technologies) e giocare quindi un incisivo ruolo nelle future call di Horizon 2020. La provata capacità del Team di ricerca nel reperire fondi esterni dovrebbe assicurare sulla sostenibilità finanziaria futura del progetto.</p> |
| <p>Team di programma/progetto e <i>governance</i> (con dimostrazione dei profili coinvolti e dei giovani):</p> | <p>I partecipanti hanno una lunga e comprovata esperienza a livello internazionale sulle tematiche di interesse del progetto.</p> <p>Nella squadra sono comprese otto ricercatrici, circa un terzo del numero totale dei ricercatori. I loro nomi, nell'elenco, sono evidenziati con la sottolineatura; molte di loro, come risulta nelle tabelle del progetto, sono responsabili di WPs e Tasks); l'età media della squadra è molto bassa (quasi tutti i ricercatori CNR hanno un'età inferiore ai 40 anni) e, nella squadra, è presente un ricercatore under 35 (in corsivo).</p> <p>Nell'elenco sono citati solamente i ricercatori CNR e gli associati, ma parteciperanno al progetto moltissimi giovani post doc e studenti di dottorato (circa 10 sulle varie tematiche).</p> <p>Il progetto è diviso in 4 work packages, ognuno dei quali diviso in diverse tasks. WP1 è dedicato all'allestimento della facility, WP2, WP3,</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>WP4, riguardano invece le attività più propriamente scientifiche del progetto.</p> <p>Elenco dei partecipanti con le loro principali expertise:</p> <p><u>Nadia Martucciello</u> Ricercatore CNR Superconduttività e fotolitografia Antonio Cassinese associato materiali organici Daniele Marré associato nuovi materiali, nanotecnologie, films <u>Ilaria Pallecchi</u> Ricercatore CNR Dispositivi magnetici <u>Cristina Bernini</u> Tecnologo CNR microscopia SEM e litografia Fabio Miletto Ricercatore CNR elettronica degli ossidi e interfacce Filippo Giubileo Ricercatore CNR ossidi funzionali Marco Salluzzo Ricercatore CNR superconduttività e ossidi funzionali Antonio Vecchione Ricercatore CNR ossidi funzionali <u>Carmela Aruta</u> Ricercatore CNR ossidi magnetici Salvatore Amoruso Associato materiali magnetici Luca Pellegrino Ricercatore CNR nanotecnologie, dispositivi microelettromeccanici Renato Buzio Ricercatore CNR microscopia a scansione, proprietà tribologiche Fabio Chiarella Ricercatore CNR ossidi funzionali Emilio Bellingeri Ricercatore CNR elettronica degli ossidi, dispositivi superconduttori Antonio Siri Associato nuovi materiali, elettronica degli ossidi <u>Carla Cirillo</u> Ricercatore CNR sistemi ibridi Sergio Pagano Associato Superconduttività debole e nanotecnologie Francesco Tafuri associato Dispositivi superconduttori, nanofili <u>Rosalba Fittipaldi</u> Ricercatore CNR materiali ossidi e microscopia sem Giampiero Pepe associato Dispositivi superconduttori e nanotecnologie <u>Marina Putti</u> associato Materiali superconduttori Massimo Valentino Tecnologo CNR Realizzazione di nanodispositivi Procolo Lucignano Ricercatore CNR Aspetti quantistici ed effetto Josephson Alessandro Braggio Ricercatore CNR Aspetti quantistici Carlo Ferdeghini Ricercatore CNR Nuovi materiali e superconduttività</p> |
| <p>Valore economico stimato e dimostrazione dei costi futuri di gestione e manutenzione occorrenti per la vita utile del programma/progetto ed evidenziazione della</p> | <p>Il valore complessivo del progetto è di €1.290.000,00 sulle due annualità di cui vengono richiesti €600.000,00 sul FOE che rappresentano il valore economico stimato dell'apparecchiatura (600 k€). Nella tabella sono rappresentati anche i costi del personale a tempo indeterminato (350k), determinato e in formazione (130k). Il cofinanziamento del secondo anno verrà realizzato con i progetti citati e con il fondo ordinario di SPIN, oltre che con i progetti che si riusciranno</p> |

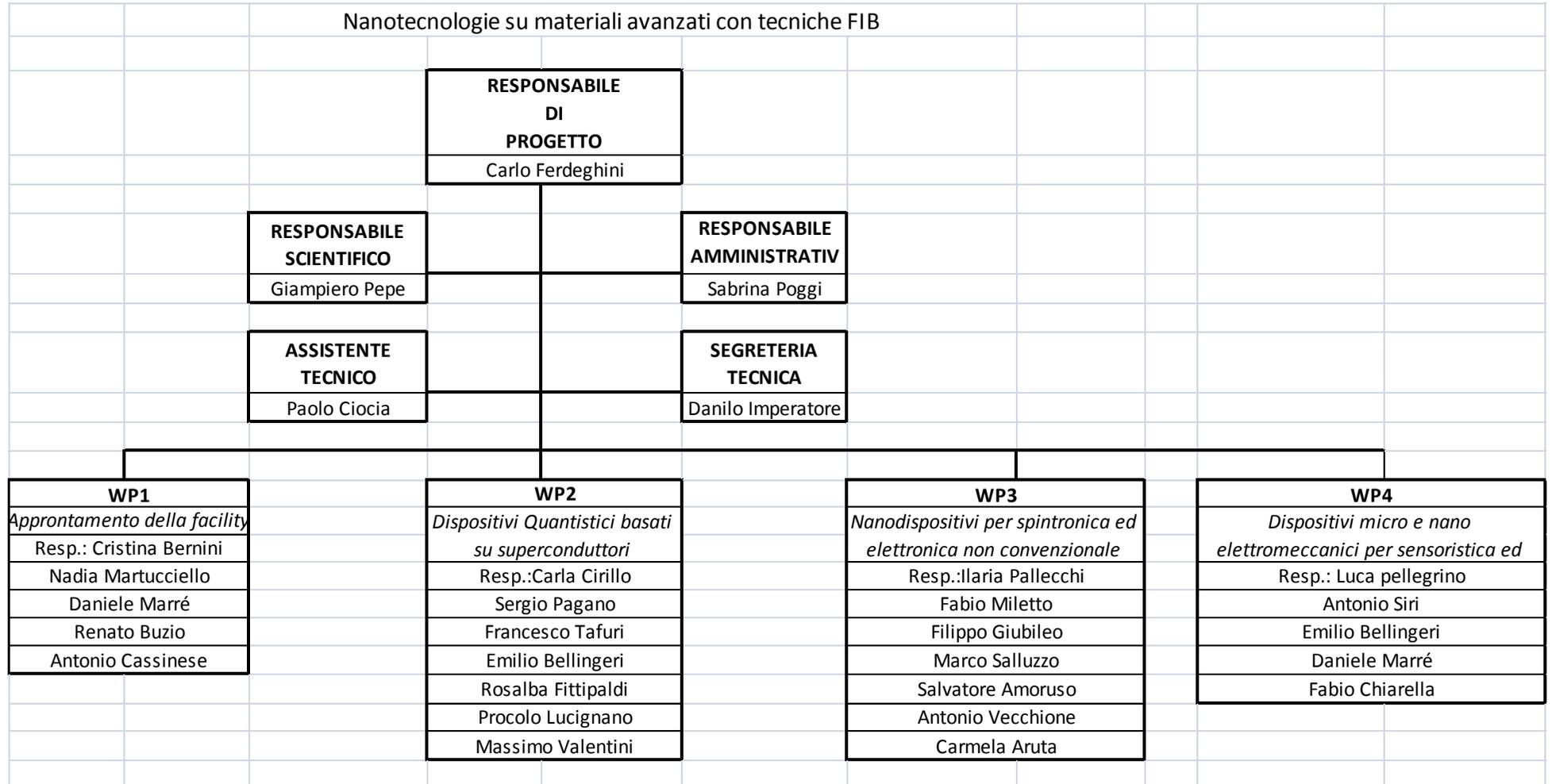
| | |
|--|--|
| <p>previsione di copertura e dell'eventuale autofinanziamento:</p> | <p>ad attrarre (in totale 380k, comprensivo dei costi del personale TD e in formazione). Il valore della facility di nano litografia sarà in realtà molto più elevato perché si aggiungono tutte le apparecchiature che costituiscono la filiera della micro e nano litografia disponibile presso le sedi degli Istituti SPIN</p> <p>I costi diretti associati all'apparecchiatura sono stimabili nel 2-3 % annuo del costo iniziale, e comprendono la manutenzione ordinaria e sostituzione degli elementi soggetti ad usura. I costi complessivi dei sistemi di micro e nanolitografia saranno sostenuti dall'Istituto SPIN, anche con lo sperabile contributo delle Università, ed attraverso attività in conto terzi che si potranno sviluppare con la disponibilità della facility FIB.</p> |
| <p>Potenziali ulteriori coperture finanziarie:</p> | <p>Il progetto può essere cofinanziato dai progetti già acquisiti elencati in narrativa e può essere, in parte, sostenuto dai fondi interni di SPIN. La presenza della facility operativa, come detto, permetterà il reperimento di nuovi progetti che potranno cofinanziare l'iniziativa sul medio/lungo periodo.</p> |
| <p>Status del progetto:</p> | <p>Nuovo</p> |
| <p>Durata del progetto:</p> | <p>24 mesi</p> |
| <p>Parole chiave proposte:</p> | <p>Litografia elettronica; micro e nano fabbricazione; nanoelettronica; nanotecnologie; dispositivi elettronici e MEMS</p> |



STIMA dei COSTI del PROGETTO

| Macro voci di spesa | Ammontare previsto | Fonte FOE 7% | Cofin. Altre fonti di copertura | percentuale |
|--|---------------------------|-------------------------|--|--------------------|
| Personale | € 440.000,00 | € 0,00 | € 130.000,00 | 13,27% |
| <i>Strutturato (ricercatori, tecnologi, tecnici, amministrativi)</i> | € 350.000,00 | € 0,00 | € 0,00 | 0,00% |
| <i>Tempo determinato</i> | € 50.000,00 | € 0,00 | € 50.000,00 | 5,10% |
| <i>Non Strutturato (borsisti, assegnisti, etc..)</i> | € 80.000,00 | € 0,00 | € 80.000,00 | 8,16% |
| Prestazione di terzi | € 0,00 | € 0,00 | € 0,00 | 0,00% |
| Materiali | € 120.000,00 | € 0,00 | € 120.000,00 | 12,24% |
| Attrezzature | € 600.000,00 | € 600.000,00 | € 0,00 | 61,22% |
| Infrastrutture | € 0,00 | € 0,00 | € 0,00 | 0,00% |
| Spese generali | € 130.000,00 | € 0,00 | € 130.000,00 | 13,27% |
| Altre tipologie | | € 0,00 | | 0,00% |
| <i>Missioni e pubblicazioni</i> | € 30.000,00 | € 0,00 | € 30.000,00 | 3,06% |
| Totale | € 1.290.000,00 | € 600.000,00 | € 380.000,00 | 100,00% |

ORGANIZZAZIONE/TEAM DI PROGETTO



1. Titolo

Nanotecnologie su materiali avanzati con tecniche FIB

2. Ambito di intervento del bando

ICT E DISPOSITIVI SENSORIALI; AREONAUTICA E SPAZIO;
PHYSICAL SCIENCE AND ENGINEERING (PE)

3. Riferimento

Carlo Ferdeghini (SPIN)

Dipartimenti partecipanti:

Dipartimento Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia, DSFTM

4. Istituti coinvolti

SPIN - Istituto Superconduttori, Materiali Innovativi e Dispositivi

Sono potenzialmente interessati:

L'Istituto di Cibernetica "Eduardo Caianiello" ICIB

IMM - Istituto per la Microelettronica e Microsistemi

5. Breve Descrizione

PREMESSA

Il progetto dell'Istituto SPIN del Dipartimento Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia, riguarda l'acquisizione di un litografo a fascio ionico (FIB) per potenziamento delle linee di nano fabbricazione per le varie sedi di CNR SPIN.

La sintesi di nuovi materiali, ed in particolare di nano-materiali con struttura e morfologia ben definita, ha significativamente contribuito, negli ultimi anni, a rilevanti progressi scientifici nella fisica dei materiali. Il sempre più diffuso interesse nelle comunità scientifica verso i nanomateriali e le nanostrutture deriva in larga misura dalla possibilità che tali sistemi offrono di esplorare nuove proprietà fisiche della materia in un regime mesoscopico, con conseguenze notevoli in termini sia di fisica fondamentale che possibilità applicative.

In particolare nuovi materiali funzionali quali composti di metalli di transizione (superconduttori, ferromagneti, ferroelettrici....) esibiscono complesse proprietà fisiche fortemente dipendenti da parametri esterni (campi elettrici o magnetici, pressione, temperatura) caratteristica estremamente promettente per lo sviluppo di dispositivi innovativi multifunzionali.

L'acquisizione di un litografo a fascio ionico permetterà lo sviluppo di nano dispositivi innovativi con importanti ricadute sia in ambito applicativo sia per l'avanzamento delle conoscenze fondamentali sui materiali multifunzionali.

Il sistema FIB in oggetto è basato su due colonne, una elettronica SEM e una ionica FIB e permette le seguenti operazioni:

Milling: il milling è la più potente caratteristica del focused ion beam. Il milling dà la possibilità di manipolare il campione oltre che in modo planare, anche nella terza dimensione e creare così le più diverse strutture nelle tre dimensioni.

Deposizione: una tecnica addizionale può convertire il fascio elettronico in un sistema per la deposizione permettendo di aggiungere materiale, invece che rimuoverlo.

Creazione di lamelle per il TEM: una importantissima caratteristica è la possibilità, derivante dal sistema di milling, di creare sottilissime lamelle che siano trasparenti per i fasci elettronici e così diventando

campioni adatti per le analisi con il microscopio elettronico a trasmissione.

La facility di nano fabbricazione verrà installata in ambiente localmente depolverizzato (classe 100/1000) dove sussistono anche impianti di litografia ottica, ed asservito ad impianti di deposizione di film sottili, rimozione selettiva per RIE, ion milling, microscopia (a forza atomica e a scansione elettronica). Essa verrà dedicata alla fabbricazione di dispositivi e componenti che impiegano la vasta classe di materiali (superconduttori, ossidi, organici, et.) sviluppati all'interno di SPIN e tra le molteplici collaborazioni che l'Istituto stesso sviluppa.

La facility sarà gestita come una macchina in rete, a disposizione delle varie UOS di SPIN (Genova, Napoli, Salerno, L'Aquila e Roma) oltre che degli Istituti interessati.

Gli Istituti coinvolti nel programma dispongono di competenze e di esperienza consolidata nella sintesi di nuovi materiali, nell'indagine strutturale, elettronica e magnetica sia con metodi sperimentali che teorici, nella caratterizzazione di proprietà di trasporto, meccaniche, chimiche, strutturali (etc...), nei processi di fabbricazione e di sistemi funzionali, nella progettazione e realizzazione di dispositivi.

Risultati di eccellenza sono stati ottenuti dai ricercatori coinvolti nel progetto in ambiti di ricerca riconducibili alle nuove tipologie di sensori magnetici e superconduttivi.

OBIETTIVI

Le competenze di SPIN nella sintesi di nuovi materiali multifunzionali e nel design e nella realizzazione di devices innovative sono internazionalmente riconosciute. La disponibilità di un Focused Ion Beam permetterà una rapida realizzazione di nano strutture e materiali nano strutturati che è una competenza chiave per un Istituto di Ricerca che vuole operare nel campo dei materiali innovativi.

Questa infrastruttura sarà intensivamente utilizzata per fabbricare nuovi dispositivi avanzati, come detectors e sensori, che beneficeranno grandemente delle ricerche sui nuovi materiali. Sarà anche una infrastruttura chiave abilitante per la ricerca sulle proprietà dei materiali innovative e per esperimenti di fisica fondamentale.

Gli obiettivi principali che la nuova facility di nano litografia permetterà di raggiungere, possono essere così sommarizzati:

- sensori avanzati di singolo fotone basati su ibridi superconduttore/ferro magnetico.
- devices organici nanometrici basati su single molecole.
- realizzazione di dispositivi superconduttori e magnetici nanolitografati.
- realizzazione di dispositivi superconduttivi nanostrutturati basati sui nuovi materiali superconduttori (MgB2 e iron-based) per la rivelazione di fotoni singoli.
- realizzazione di giunzioni Josephson nanometriche e nanobridge.
- realizzazioni di nanostrutture basate su materiali innovativi (interfacce funzionali, grafene, ecc.).
- nano-patterning di giunzioni con superconduttori ad alta temperatura critica (HTS), patterning di nanofili HTS e superconduttori tradizionali; preparazione di substrati per deposizioni selettive su scale nanometriche;
- preparazione e definizione di mesh superconduttive per successive deposizioni di nanofili e flakes di isolanti topologici e graphene per giunzioni ibride (anche con uso di materiali organici);
- nano-patterning di "single crystal" di isolanti topologici, quali BiSe, BiTe, BiSeTe, e di superconduttori quali BiSCCO
- realizzazione di dispositivi e sensori micro e nano elettromeccanici basati su ossidi di metalli di transizione (bolometri, sensori di gas, attuatori, sensori di campo magnetico, memorie)
- realizzazione di nano dispositivi per spintronica: valvole di spin, dispositivi Spin transfer torque, transistor di spin
- realizzazione di dispositivi quantistici basati su ossidi di metalli di transizione per applicazione in elettronica: array di nanodots, nanowires, single electron transistors.

6. Collaborazioni con Istituzioni esterne

Il progetto appare strettamente interconnesso ad una vasta serie di iniziative che vedono CNR-SPIN al centro di un esteso network di collaborazioni con soggetti pubblici e privati sia del nostro paese che esteri.

A livello nazionale CNR SPIN collabora con molte istituzioni che si occupano di sviluppo di nuovi materiali e sensori sia esse Università (in particolare: Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli), altri Enti di Ricerca (INFN, IIT) ed industrie (STMicroelectronics, Magnaghi, Novaetech, etc..) di differente dimensione e ben articolate nel territorio nazionale. Sono altresì importanti le collaborazioni e le commesse di ricerca radicate sul territorio con enti locali come Regioni e loro Distretti e Poli Tecnologici che operano in ambito materiali ed applicazioni di essi.

La reputazione dei ricercatori coinvolti è ben testimoniata dalla partecipazione ad un gran numero di progetti di ricerca internazionali, in cui i ricercatori di CNR hanno ruoli di coordinamento o di leadership.

Segue un elenco di tali progetti:

FP7-REGPOT2010- "MAMA: unlocking research potential for multifunctional advanced materials and nanoscale phenomena", Grant Agreement No. 264098 (2010-2013) .

FP7-STREP 2008- Macroscopic Interference Devices for Atomic and Solid-State Systems, Grant agreement No. 214025 (2008-2011)

Progetto FP7 ENIAC-JU "Nanoelectronics for an Energy Efficient Electrical Car (E3car)" 2009-2012

FP7 MAGDRIVE "Magnetic superconductor Cryogenic Non-harmonic Drive –MAGDRIVE" 2011-2014

FP7 IRONSEA "Establishing the basic science and technology for Iron-based superconducting electronics applications" 2011-2014

TERASUPER "Superconducting Proximity Josephson Detectors for THz vision and Imaging", Finanziamento Ministero Italiano della Difesa (2011-2014)

PRIN 2009: Dispositivi ad effetto di campo basati su nanofili e superconduttori ad alta temperatura critica

FUTURO IN RICERCA "Nanostrutture ibride superconduttore-semiconduttore: applicazioni nanoelettroniche, proprietà topologiche, correlazione e disordine. Codice: RBFR1236VV_001" (partenza 2013)

- FP6-STREP NMP3-CT-2006-033191 NANOXIDE –"Novel Nanoscale Devices based on Functional Oxide Interfaces " 2006-2009
- FP7 NMP 2008 SMALL-2 OXIDES " Engineering exotic phenomena at oxide interfaces, 2009-2012
- PRIN 2008 Two dimensional electron gases at functional oxide interfaces
- PRIN 2010 Interfacce di ossidi: nuove proprietà emergenti, multifunzionalità e dispositivi per l'elettronica e l'energia

Tale vasta rete di collaborazioni nazionali ed internazionali fa sì che questa macchina richiesta possa essere messa a sistema con la vasta rete di laboratori nazionali ed internazionali operanti sull'argomento.

Tale rete è stata negli anni creata da tutta questa attività in generale ed, in particolare, dal primo di questi progetti (capacities) che ha creato un vero e proprio network europeo sull'argomento che ha visto SPIN come punto centrale.

7. Articolazione del progetto

Il progetto, che, come detto, è centrato sull'acquisizione, messa in opera e messa in rete di una facility per la nano litografia, si articola in un singolo pacchetto di lavoro **WP1**, suddiviso in tre tasks dedicato all'approntamento della facility affiancato da tre pacchetti più scientifici **WP2, WP3 e WP4**:

WP1. approntamento della facility

La necessità di una macchina di questo tipo in area campana e ligure è molto sentita per permettere alle realtà operanti su questi territori, all'avanguardia nelle applicazioni di nanotecnologie, la possibilità di averne l'accesso. Attualmente i richiedenti (ed i colleghi degli altri istituti interessati) sono costretti a collaborazioni non sempre semplici da gestire, anche con istituzioni estere. L'organizzazione di SPIN che opera, seppure de localizzato su più UOS in strettissima sinergia e con la messa in comune delle macchine di interesse generale, garantirà un accesso facile a tutti gli utilizzatori. Certamente la possibilità di costruire nano strutture con i materiali innovativi sintetizzati dal laboratorio stesso permetterà la realizzazione di dispositivi quantistici basati su superconduttori innovativi di nanodispositivi per spintronica ed elettronica non convenzionale e di dispositivi micro e nano elettromeccanici. Tutto questi dispositivi hanno un grande interesse per applicazioni in crittografia quantistica, astronomia, ottica quantistica, telecomunicazioni a lunga distanza su fibra ottica, biologia molecolare, elettronica, sensoristica in generale ed energetica. Il WP1 è dedicato all'approntamento della facility e si articola in:

Task 1.1- Individuazione delle caratteristiche della macchina e suo ordine e preparazione del sito per l'installazione

Verranno individuate le caratteristiche più importanti per indire il bando di gara; in particolare sarà curata la possibilità di interfacciamento con le facility esistenti di SPIN (es. EDS). Verrà scritto un capitolato per far partire il bando di gara.

Verrà individuato la migliore sistemazione della macchina fra i vari laboratori di SPIN che possono ospitarla. Verranno in ogni caso studiate le modalità per rendere l'accesso il più ampio e facile a tutti gli utenti. Verrà emesso l'ordine per l'acquisto.

Task 1.2 -Installazione e collaudo del focused ion beam

Verrà acquisito il FIB, installato e testato. Questo dovrebbe diventare operativo alla fine del decimo mese del progetto.

| Elenco tasks | Istituto guida (responsabile) | Altri istituti | Risultati attesi | Tempi di realizzazione (mesi/uomo) | Elementi e criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti |
|--------------|-------------------------------|----------------|---|------------------------------------|---|
| WP1- T1 | | | | | |
| T1 | <i>Nadia Martucciello</i> | | <ul style="list-style-type: none"> Individuazione delle caratteristiche del Focused Ion Beam per la scrittura delle specifiche per la gara Preparazione delle gara per la fornitura Individuazione del sito e preparazione dei servizi per l'installazione | 10 | Definizione delle specifiche Approntamento della gara Esistenza del laboratorio allestito |
| WP1-T2 | | | | | |
| T2 | <i>Cristina Bernini</i> | | <ul style="list-style-type: none"> Installazione e collaudo del focused ion beam e interfaccia con la strumentazione esistente. | 10 | Verifica dell'operatività della macchina. |

| WP1 | | approntamento della facility: responsabile Cristina Bernini |
|--|--|--|
| Altri organismi e soggetti coinvolti: | Università: Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli), altri Enti di Ricerca: INFN, IIT industrie: STMicroelectronics, Magnaghi, Novaetech | |
| Interesse dei risultati per l'avanzamento della conoscenza e eventuali potenzialità applicative | La necessità di una macchina di questo tipo in area campana e ligure è molto sentita per permettere alle realtà operanti su questi territori, all'avanguardia nelle applicazioni di nanotecnologie, la possibilità di averne l'accesso. Attualmente i richiedenti (ed i colleghi degli altri istituti interessati) sono costretti a collaborazioni non sempre semplici da gestire, anche con istituzioni estere. L'organizzazione di SPIN che opera, seppure de localizzato su più UOS in strettissima sinergia e con la messa in comune delle macchine di interesse generale, garantirà un accesso facile a tutti gli utilizzatori. Certamente la possibilità di costruire nano strutture con i materiali innovativi sintetizzati dal laboratorio stesso permetterà la realizzazione di dispositivi quantistici basati su superconduttori innovativi di nanodispositivi per spintronica ed elettronica non convenzionale e di dispositivi micro e nano elettromeccanici. Tutto questi dispositivi hanno un grande interesse per applicazioni in crittografia quantistica, astronomia, ottica quantistica, telecomunicazioni a lunga distanza su fibra ottica, biologia molecolare, elettronica, sensoristica in generale ed energetica. | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|-----------|--------------------|---------------|-----------|--|
| Attività già svolte propedeutiche alla realizzazione dell'attività | <p>I ricercatori proponenti hanno una solida reputazione internazionale nel campo dei materiali innovativi e superconduttori e sono responsabili di vari progetti nazionali ed internazionali. Nel campo della superconduttività il proponente, CF, sarà il chairman del prossimo congresso EUCAS che sarà organizzato da SPIN, a Genova. Eucas rappresenta il più importante congresso internazionale sulla superconduttività applicata in generale e su quella sensoristica, in particolare. La fitta rete di rapporti internazionali fa sì che questa macchina richiesta possa essere messa a sistema con la vasta rete di laboratori sulle nanotecnologie e sui materiali innovativi che è stato negli anni creato da tutta questa la attività citata al punto 4 ed, in particolare, dal grosso progetto "MAMA: unlocking research potential for multifunctional advanced materials and nanoscale phenomena", (capacities, coordinato da SPIN) che ha creato un vero e network europeo di una decina di prestigiosissime università ed enti di ricerca sull'argomento che ha visto SPIN come punto centrale. Questa base importante di posizionamento internazionale garantisce un solido background per l'impresa.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 1) Sviluppo delle competenze | <p>L'attività del WP è facilmente verificabile in termine di sviluppo delle competenze con l'avvenuta scelta installazione, collaudo e messa in opera del sistema focused ion beam.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 2) Grado di coinvolgimento di soggetti pubblici e privati | <p>Come detto la macchina è di interesse di alcuni istituti del CNR e di alcuni Enti (IIT, INFN, etc). Durante il WP il coinvolgimento di soggetti privati appare difficile fin a che non si sarà raggiunta l'operatività della macchina. Il coinvolgimento di privati sarà possibile nell'ambito degli altri WPs del progetto.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 3) Attrazione degli investimenti, impatto socio-economico e sostenibilità economica finanziaria | <p>Il WP, il primo, in ordine temporale del progetto, sarà la base per l'attrattività degli investimenti istituzionali e privati. Risorse finanziarie a cofinanziamento proverranno dai progetti citati al successivo punto 4. Per certo la disponibilità della tecnologia renderà più incisivo l'opera di found rising dei proponenti nei confronti dei soggetti istituzionali (Ministeri, EU, Regioni) locali (fondazioni bancarie) e industriali.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4) Potenziali ulteriori coperture finanziarie: | <p>Segue l'elenco di tutte le fonti di finanziamento su temi che traggono un grande vantaggio dall'esistenza di un FIB. Naturalmente questi progetti saranno, insieme con i fondi interni e con le nuove risorse acquisibili la fonte per il finanziamento dei WPs successivi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • FP7-REGPOT2010- "MAMA: unlocking research potential for multifunctional advanced materials and nanoscale phenomena", Grant Agreement No. 264098 (2010-2013) . • FP7-STREP 2008- Macroscopic Interference Devices for Atomic and Solid-State Systems, Grant agreement No. 214025 (2008-2011) • Progetto FP7 ENIAC-JU "Nanoelectronics for an Energy Efficient Electrical Car (E3car)" 2009-2012 • FP7 MAGDRIVE "Magnetic superconductor Cryogenic Non-harmonic Drive –MAGDRIVE" 2011-2014 • FP7 IRONSEA "Establishing the basic science and technology for Iron-based superconducting electronics applications" 2011-2014 • TERASUPER "Superconducting Proximity Josephson Detectors for THz vision and Imaging", Finanziamento Ministero Italiano della Difesa (2011-2014) • PRIN 2009: Dispositivi ad effetto di campo basati su nanofili e superconduttori ad alta temperatura critica • FUTURO IN RICERCA "Nanostrutture ibride superconduttore-semiconduttore: applicazioni nanoelettroniche, proprietà topologiche, correlazione e disordine. Codice: RBF1236VV_001" (partenza 2013) • FP6-STREP NMP3-CT-2006-033191 NANOXIDE –"Novel Nanoscale Devices based on Functional Oxide Interfaces " 2006-2009 • FP7 NMP 2008 SMALL-2 OXIDES " Engineering exotic phenomena at oxide interfaces, 2009-2012 • PRIN 2008 Two dimensional electron gases at functional oxide interfaces • PRIN 2010 Interfacce di ossidi: nuove proprietà emergenti, multifunzionalità e dispositivi per l'elettronica e l'energia | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5) Team | <p><i>Il Team è composto da ricercatori di SPIN delle varie UOS:</i></p> <table border="0"> <tr> <td>Cristina Bernini</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>microscopia SEM</td> </tr> <tr> <td>Renato Buzio</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>microscopie AFM e STM</td> </tr> <tr> <td>Nadia Martucciello</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>Superconduttività e fotolitografia</td> </tr> <tr> <td>Antonio Cassinese</td> <td>associato</td> <td>materiali organici</td> </tr> <tr> <td>Daniele Marré</td> <td>associato</td> <td>nuovi materiali, nanotecnologie, films</td> </tr> </table> | Cristina Bernini | Ricercatore CNR | microscopia SEM | Renato Buzio | Ricercatore CNR | microscopie AFM e STM | Nadia Martucciello | Ricercatore CNR | Superconduttività e fotolitografia | Antonio Cassinese | associato | materiali organici | Daniele Marré | associato | nuovi materiali, nanotecnologie, films |
| Cristina Bernini | Ricercatore CNR | microscopia SEM | | | | | | | | | | | | | | |
| Renato Buzio | Ricercatore CNR | microscopie AFM e STM | | | | | | | | | | | | | | |
| Nadia Martucciello | Ricercatore CNR | Superconduttività e fotolitografia | | | | | | | | | | | | | | |
| Antonio Cassinese | associato | materiali organici | | | | | | | | | | | | | | |
| Daniele Marré | associato | nuovi materiali, nanotecnologie, films | | | | | | | | | | | | | | |

WP2. Dispositivi Quantistici basati su superconduttori

Le recenti ricerche basate sulla superconduttività hanno chiaramente dimostrato che nuovi fenomeni e proprietà fisiche che nascono in presenza di una scala nanometrica, come lo stato FFLO, le riflessioni di Andreev, etc. possono essere considerate come base per lo sviluppo di nuovi dispositivi e sistemi nano-elettronici. Le spiegazioni di questi processi in nano strutture superconduttive e sui nuovi dispositivi che su di essi si basano richiedono idee e modelli teorici più complessi, unitamente a tecnologie sempre più spinte per la loro realizzazione. L'uso di un fascio ionico focalizzato (FIB) permette la fabbricazione di strutture su scala nanometrica che utilizzino anche nuovi materiali dalle proprietà non convenzionali in termini di parametro d'ordine superconduttivo e/o nuovi dispositivi in cui il ruolo della fase quantistica, caratteristica dello stato superconduttivo, offre la possibilità di controllare la supercorrente Josephson nell'elettronica quantistica emergente.

Il WP2 si esplicita nei seguenti Task:

Task 2.1.- Realizzazioni di dispositivi superconduttivi nanolitografati con FIB e basati su superconduttori di recente scoperta.

I nuovi materiali superconduttori, ed in particolar modo MgB_2 e iron-based, hanno proprietà fisiche di sicuro interesse per la realizzazione di sensoristica avanzata, quali alta T_c , tempi di interazione elettrone-elettrone ed elettrone-fonone molto bassi, ecc. Essi sono pertanto candidati ideali per la realizzazione di dispositivi capaci di esplorare i limiti quantistici dell'interazione radiazione materia. In particolare si potrebbero realizzare rivelatori di fotoni singoli nella regione spettrale IR, dove i dispositivi semiconduttori sono molto carenti, con importanti ricadute applicative nelle crittografia quantistica, astronomia, ottica quantistica, telecomunicazioni a lunga distanza su fibra ottica, biologia molecolare. Una problematica comune dei nuovi materiali superconduttori è la loro complessità strutturale e reattività verso agenti ossidanti presenti nell'atmosfera, cose che ne rende molto difficoltosa la manipolazione per la realizzazione delle strutture geometriche necessarie al loro utilizzo come sensori quantistici. La tecnica FIB è particolarmente indicata per la realizzazione di dispositivi superconduttori rivelatori di fotoni singoli IR basati su nanostrisce e nanopatterns opportunamente progettati per ottimizzare l'accoppiamento ottico con la radiazione incidente e quindi l'efficienza quantistica del rivelatore. I materiali da utilizzare saranno film sottili di MgB_2 e di iron-based superconductors, realizzati attraverso partnership nazionali e internazionali. Si prevede di realizzare anche nanostrutture e altre strutture ad accoppiamento debole Josephson, per esplorarne le proprietà nel regime mesoscopico su scale di qualche decina di nm.

Task 2.2- Realizzazione di nanofili, nano giunzioni Josephson ed ibride con materiali superconduttori non convenzionali

La tecnologia a fascio ionico focalizzato viene utilizzata all'interno di questo progetto per la realizzazione di nanofili e nano giunzioni per lo studio sia di aspetti fondamentali che applicativi, come lo studio di nuove idee per lo sviluppo di una nano elettronica ibrida. Il FIB risponde appieno a questo tipo di esigenze soprattutto quando sono in gioco i nuovi materiali: si tratta di una tecnologia molto flessibile nella definizione anche su cristalli singoli e film sottili a livello nanometrico dando la possibilità di anticipare i risultati che possono derivare da nano litografie più tradizionali (i.e. da fascio elettronico) che però richiedono più tempo. La definizione di geometrie mediante FIB per la realizzazione di fili e giunzioni a bordi di grano (GB) impiegando ossidi superconduttivi sembra essere particolarmente indicata. Nelle giunzioni bi-epitassiali GB essa può essere utilizzata per fabbricare giunzioni su una singola facet (103) di film sottili di YBCO. Inoltre, il patterning di dispositivi come SQUIDS a nanodots superconduttivi è anche possibile utilizzando la tecnologia FIB, così come meshes superconduttive in grado di contattare nanofili semiconduttivi, grafene e isolanti topologici, in vista di una elettronica ibrida avanzata. Tra le ricerche più di frontiera che una simile tecnologia può consentire, la fabbricazione di strutture 3D su cristalli singoli è sicuramente tra le più intriganti: all'interno di questo progetto ci si propone di realizzare nano strutture utilizzando materiali tipo BiSCCO ed isolanti topologici (BiSe, BiTe, BiSeTe). Su una scala temporale più estesa sarà estremamente importante per l'Istituto SPIN acquisire una presenza scientifica su queste ricerche.

| Elenco tasks | Istituto guida (responsabile) | Altri istituti | Risultati attesi | Tempi di realizzazione (mesi/uomo) | Elementi e criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti |
|--------------|-------------------------------|----------------|------------------|------------------------------------|---|
| WP2- T1 | | | | | |

| | | | | | |
|--------|--------------------------|--|--|----|--|
| T2.1.1 | <i>Carla Cirillo</i> | | - Realizzazione di rivelatori superconduttori di fotoni singoli basati su nanostrisce di MgB ₂ - Realizzazione di rivelatori superconduttori di fotoni singoli con materiali non convenzionali | 3 | Deposizione di campioni /etero strutture mediante tecniche di deposizione varie |
| T2.1.2 | <i>Massimo Valentino</i> | | Realizzazione di dispositivi nanometrici in geometria planare e 3D con il FIB | 9 | Realizzazione di contatti superconduttivi del tipo SNS e SFS e loro caratterizzazione in termini di proprietà di trasporto |
| WP2 T2 | | | | 6 | |
| T2.2.1 | <i>Massimo Valentino</i> | | - Realizzazione di nanofili, giunzioni ed ibridi di tipo Josephson con materiali non convenzionali | 12 | Risultati sperimentali, test e misure |
| T2.2.2 | <i>Procolo Lucignano</i> | | Modelli teorici sull'accoppiamento e sulle proprietà di fase della supercorrente Josephson | 12 | Modelli teorici sulle nano strutture quantistiche realizzate |

| WP2 | Dispositivi Quantistici basati su superconduttori: responsabile Carla Cirillo |
|--|---|
| Altri organismi e soggetti coinvolti: | Università: Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli), altri Enti di Ricerca: INFN, IIT |
| Interesse dei risultati per l'avanzamento della conoscenza e eventuali potenzialità applicative | Lo sviluppo di nano dispositivi elettronici basati su superconduttori permette di esplorare nuovi effetti legati al trasporto di carica in giunzioni Josephson mesoscopiche dove la presenza di un parametro d'ordine non convenzionale e/o di una differenza di fase controllabile attraverso la natura fisica dell'accoppiamento debole tra gli elettrodi superconduttivi può avere enormi implicazioni sul controllo della supercorrente Josephson. Tali sviluppi possono esser molto interessanti nell'ambito della elettronica quantistica, e della quantum information in generale dove l'elettronica superconduttiva è in grado di garantire alti elementi di coerenza nel trasporto elettronico. |
| Attività già svolte propedeutiche alla realizzazione dell'attività | I ricercatori coinvolti nella ricerca hanno una solida reputazione internazionale nel campo dei materiali innovativi e superconduttori e sono responsabili di vari progetti nazionali ed internazionali. Tra questi val la pena di citare FP7 IRONSEA "Establishing the basic science and technology for Iron-based superconducting electronics applications", dedicato allo sviluppo di applicazioni elettroniche dei superconduttori iron-based e il progetto "MAMA: unlocking research potential for multifunctional advanced materials and nanoscale phenomena", (capacities, coordinato da SPIN) che ha creato un vero e network europeo con prestigiose università ed enti di ricerca. Questa base importante di posizionamento internazionale garantisce un solido background per lo sviluppo delle attività proposte. |
| Criteri di valutazione 1) Sviluppo delle competenze | Lo sviluppo di dispositivi superconduttivi su scala nanometrica rappresenta un traguardo scientifico importante ed una tecnologia abilitante verso applicazioni avanzate. |
| Criteri di valutazione 2) Grado di coinvolgimento di soggetti pubblici e privati | La dimostrazione delle prestazioni ottenibili dai dispositivi sviluppati sarà utilizzata per il coinvolgimento di alti enti di ricerca ed istituti di ricerca (IIT, INFN, ASI) quali possibili utilizzatori per fini applicativi dei dispositivi sviluppati. |
| Criteri di valutazione 3) Attrazione degli investimenti, impatto socio- | I risultati scientifici ottenibili nell'ambito del WP saranno una base per la realizzazione di progetti su scala nazionale, europea ed internazionale in cui le competenze sviluppate saranno elemento qualificante per la partecipazione alle proposte. I costi di sviluppo saranno sostenuti |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|--|--------------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|---|----------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| economico e sostenibilità economica finanziaria | in parte da progetti esistenti, ed in seguito da nuovi progetti attivabili grazie alle competenze acquisite. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4) Potenziali ulteriori coperture finanziarie: | <p>Segue l'elenco di tutte le fonti di finanziamento su temi che traggono un grande vantaggio dall'esistenza di un FIB. Naturalmente questi progetti saranno, insieme con i fondi interni e con le nuove risorse acquisibili la fonte per il finanziamento dei WPs successivi.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● FP7-REGPOT2010- "MAMA: unlocking research potential for multifunctional advanced materials and nanoscale phenomena", Grant Agreement No. 264098 (2010-2013) . ● FP7-STREP 2008- Macroscopic Interference Devices for Atomic and Solid-State Systems, Grant agreement No. 214025 (2008-2011) ● Progetto FP7 ENIAC-JU "Nanoelectronics for an Energy Efficient Electrical Car (E3car)" 2009-2012 ● FP7 MAGDRIVE "Magnetic superconductor Cryogenic Non-harmonic Drive –MAGDRIVE" 2011-2014 ● FP7 IRONSEA "Establishing the basic science and technology for Iron-based superconducting electronics applications" 2011-2014 ● TERASUPER "Superconducting Proximity Josephson Detectors for THz vision and Imaging", Finanziamento Ministero Italiano della Difesa (2011-2014) ● PRIN 2009: Dispositivi ad effetto di campo basati su nanofili e superconduttori ad alta temperatura critica ● FUTURO IN RICERCA "Nanostrutture ibride superconduttore-semiconduttore: applicazioni nanoelettroniche, proprietà topologiche, correlazione e disordine. Codice: RBF1236VV_001" (partenza 2013) ● FP6-STREP NMP3-CT-2006-033191 NANOXIDE –"Novel Nanoscale Devices based on Functional Oxide Interfaces " 2006-2009 ● FP7 NMP 2008 SMALL-2 OXIDES " Engineering exotic phenomena at oxide interfaces, 2009-2012 ● PRIN 2008 Two dimensional electron gases at functional oxide interfaces ● PRIN 2010 Interfacce di ossidi: nuove proprietà emergenti, multifunzionalità e dispositivi per l'elettronica e l'energia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5) Team | <p><i>Il Team è composto da ricercatori di SPIN delle varie UOS:</i></p> <table border="0"> <tr> <td>Carla Cirillo</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>nanostrutture superconduttive</td> </tr> <tr> <td>Rosalba Fittipaldi</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>microscopia SEM</td> </tr> <tr> <td>Emilio Bellingeri</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>nuovi materiali superconduttori</td> </tr> <tr> <td>Massimo Valentino</td> <td>Tecnologo CNR</td> <td>Realizzazione di nanodispositivi</td> </tr> <tr> <td>Procolo Lucignano</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>Aspetti quantistici ed effetto Josephson</td> </tr> <tr> <td>Alessandro Braggio</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>Aspetti quantistici</td> </tr> <tr> <td>Sergio Pagano</td> <td>associato UNISA</td> <td>rivelatori con nanofili superconduttori</td> </tr> <tr> <td>Giampiero Pepe</td> <td>associato UNINA</td> <td>Josephson-based nanotechnology</td> </tr> <tr> <td>Francesco Tafuri</td> <td>associato UNINA</td> <td>strutture Josephson nanometriche</td> </tr> </table> | Carla Cirillo | Ricercatore CNR | nanostrutture superconduttive | Rosalba Fittipaldi | Ricercatore CNR | microscopia SEM | Emilio Bellingeri | Ricercatore CNR | nuovi materiali superconduttori | Massimo Valentino | Tecnologo CNR | Realizzazione di nanodispositivi | Procolo Lucignano | Ricercatore CNR | Aspetti quantistici ed effetto Josephson | Alessandro Braggio | Ricercatore CNR | Aspetti quantistici | Sergio Pagano | associato UNISA | rivelatori con nanofili superconduttori | Giampiero Pepe | associato UNINA | Josephson-based nanotechnology | Francesco Tafuri | associato UNINA | strutture Josephson nanometriche |
| Carla Cirillo | Ricercatore CNR | nanostrutture superconduttive | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rosalba Fittipaldi | Ricercatore CNR | microscopia SEM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Emilio Bellingeri | Ricercatore CNR | nuovi materiali superconduttori | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Massimo Valentino | Tecnologo CNR | Realizzazione di nanodispositivi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procolo Lucignano | Ricercatore CNR | Aspetti quantistici ed effetto Josephson | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alessandro Braggio | Ricercatore CNR | Aspetti quantistici | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sergio Pagano | associato UNISA | rivelatori con nanofili superconduttori | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Giampiero Pepe | associato UNINA | Josephson-based nanotechnology | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Francesco Tafuri | associato UNINA | strutture Josephson nanometriche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

WP 3 Nanodispositivi per spintronica e elettronica non convenzionale

Per superare i limiti dell'elettronica convenzionale basata sul silicio e garantire l'incremento delle prestazioni dei dispositivi nel prossimo futuro, è necessario prevedere l'utilizzo di vettori di informazione diversi dalla carica elettrica (spin, luce,..) o l'introduzione di materiali multifunzionali che affianchino il silicio e in prospettiva lo sostituiscono. Tra i materiali sotto studio in questo ambito, i composti dei metalli di transizione presentano i seguenti vantaggi:

- ampio spettro di proprietà fisiche (superconduttività, ferromagnetismo, ferroelettricità,..)
- isostrutturalità ovvero possibilità di crescita epitassiale di layer con diversa funzionalità
- lunghezze caratteristiche nanometriche o subnanometriche, ovvero possibilità di riduzione di scala su dimensioni nanometriche senza snaturarne le proprietà.

L'istituto SPIN è attivo da anni nella ricerca su composti dei metalli di transizione con un focus preminente sulla possibilità di realizzare dispositivi non convenzionali basati su trasporto di spin o su effetti quantistici. Nel WP5 saranno sviluppati i seguenti filoni di ricerca:

TASK 3.1 Nanodispositivi non convenzionali per l'elettronica

I recenti progressi nella deposizione di etero strutture di composti di metalli di transizione ha permesso la scoperta di fenomeni di interfaccia che ampliano il già ricco panorama di proprietà fisiche di questi composti. In particolare, all'interfaccia tra materiali isolanti (SrTiO₃ e LaAlO₃) o semiconduttori (ZnO e derivati) sono stati scoperti gas elettronici bidimensionali ad elevata mobilità. Partendo da tali sistemi e sfruttando le potenzialità di geometrizzazione fornite dal FIB saranno sviluppati una serie di dispositivi elettronici in cui le proprietà di trasporto siano manipolate da campi esterni. Si partirà dalla realizzazione di transistor ad effetto di campo nanometrici, di sistemi mesoscopici quali nanofili e array di nanodots, per finire a dispositivi quantistici quali Single electron transistors.

Obiettivi della task sono lo studio del trasporto elettronico in sistemi mesoscopici basati su composti di metalli di transizione e la loro validazione in vista di applicazioni in elettronica.

TASK 3.2 Nanodispositivi per spintronica

In questa task saranno studiati fenomeni di trasporto di spin in etero strutture di composti di metalli di transizione e la realizzazione di dispositivi basati sul trasporto e la manipolazione dello spin. La possibilità offerta dai composti dei metalli di transizione di impiegare diversi materiali cristallini isostrutturali sia come elettrodi ferromagnetici sia come elementi non magnetici garantisce la fabbricazione di interfacce di alta qualità minimizzando le perdite di polarizzazione. Infatti i processi di depolarizzazione di spin all'interfaccia tra un semiconduttore ed un elettrodo ferromagnetico possono essere influenzati da vari meccanismi di interfaccia come disordine e trappole, mismatch di conducibilità, simmetria della funzione d'onda degli elettroni, allineamento delle bande, i cui ruoli sono stati compresi solo di recente e solo parzialmente.

In questa task sarà studiata la dinamica dello spin in condizioni di non equilibrio in diversi sistemi semiconduttori quali ZnO, SrTiO₃ e in interfacce basate su questi materiali.

Grazie alle capacità di geometrizzazione su scala nanometrica acquisite con la litografia FIB saranno realizzati e caratterizzati dispositivi per spintronica quali valvole di spin, transistor di spin e dispositivi tipo spin transfer torque.

Da un punto di vista applicativo, l'obiettivo è provare fattibilità e prestazioni dei vari dispositivi non convenzionali.

| Elenco tasks | Istituto guida (responsabile) | Altri istituti | Risultati attesi | Tempi di realizzazione (mesi/uomo) | Elementi e criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti |
|--------------|-------------------------------|----------------|--|------------------------------------|--|
| WP3- T1 | | | | | |
| T3.1.1 | Marco Salluzzo | | <ul style="list-style-type: none"> Individuazione e crescita dei semiconduttori più adatti alla realizzazione dei dispositivi mesoscopici | 3 | Deposizione di campioni /etero strutture con mobilità elettronica superiore a 10 cm ² /Vs |
| T3.1.2 | Cristina Bernini | | <ul style="list-style-type: none"> Realizzazione di dispositivi ad effetto di campo e di sistemi mesoscopici quali nanofili e nanodots | 9 | Realizzazione di transistor con rapporto ON/OFF maggiore di 1000 |
| T3.1.3 | Ilaria Pallecchi | | <ul style="list-style-type: none"> Realizzazione e caratterizzazione di un single electron transistor | 12 | Risultati sperimentali, test e misure |
| WP3 T2 | | | | 6 | |
| T3.2.1 | Filippo Giubileo | | <ul style="list-style-type: none"> Misura della lunghezza di diffusione di spin in vari semiconduttori | 12 | Risultati sperimentali, test e misure |
| T3.2.2 | Carmela Aruta | | <ul style="list-style-type: none"> Realizzazione di valvole di spin | 3 | Risultati sperimentali, test e misure |
| T3.2.3 | Ilaria Pallecchi | | <ul style="list-style-type: none"> Realizzazione di transistor di spin | 9 | Risultati sperimentali, test e misure |

| WP3 | Nanodispositivi per spintronica e elettronica non convenzionale responsabile: Ilaria Pallecchi |
|---------------------------------------|---|
| Altri organismi e soggetti coinvolti: | Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------|------------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------|---------------------|
| Interesse dei risultati per l'avanzamento della conoscenza e eventuali potenzialità applicative | Lo sviluppo di nano dispositivi elettronici basati su composti di metalli di transizione può avere importanti ricadute applicative e fondamentali. Da un punto di vista applicativo l'introduzione di materiali multifunzionali e di vettori alternativi di trasporto di informazione può permettere il superamento dei limiti dell'elettronica convenzionale. Da un punto di vista fondamentale la comprensione di meccanismi di trasporto di carica e spin alla nanoscala può permettere il design di nuovi materiali con proprietà predeterminate. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Attività già svolte propedeutiche alla realizzazione dell'attività | Le tematiche attengono strettamente alle linee di ricerca condotte a SPIN e sono testimoniate dalle numerose pubblicazioni ad alto IF, prototipi, brevetti e progetti europei. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 1) Sviluppo delle competenze | Sviluppo nelle competenze di nano litografia applicate dispositivi elettronici innovativi Sviluppo della capacità di deposizione di interfacce funzionali Sviluppo delle tecniche di realizzazione e caratterizzazione di dispositivi ad effetto di campo, per spintronica e quantistici | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 2) Grado di coinvolgimento di soggetti pubblici e privati | L'attività di ricerca proposta è di frontiera e vede l'interesse per lo più di multinazionali nel settore dell'elettronica (STM, IBM) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Criteri di valutazione 3) Attrazione degli investimenti, impatto socio-economico e sostenibilità economica finanziaria | Possibili investimenti nel campo della dispositivi innovativa per l'elettronica non convenzionale possono essere previsti da Enti Regionali, Nazionali e soprattutto dalla comunità Europea. Come impatto sociale si evidenzia la formazione di personale specializzato da trasferire in aziende del settore. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4) Potenziali ulteriori coperture finanziarie: | Progetto PRIN 2010-2011 "" contributo SPIN 255.300 Euro Progetto europeo FET-OPEN SuperFET (in valutazione) contributo SPIN 450.000 Euro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5) Team | <i>Il Team è composto da ricercatori di SPIN delle varie UOS:</i> <table border="0"> <tr> <td>Ilaria Pallecchi</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>Dispositivi magnetici</td> </tr> <tr> <td>Cristina Bernini</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>microscopia SEM e litografia</td> </tr> <tr> <td>Fabio Miletto</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>elettronica degli ossidi e interfacce</td> </tr> <tr> <td>Filippo Giubileo</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>ossidi funzionali</td> </tr> <tr> <td>Marco Salluzzo</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>superconduttività e ossidi funzionali</td> </tr> <tr> <td>Antonio Vecchione</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>ossidi funzionali</td> </tr> <tr> <td>Carmela Aruta</td> <td>Ricercatore CNR</td> <td>ossidi magnetici</td> </tr> <tr> <td>Salvatore Amoruso</td> <td>Associato</td> <td>materiali magnetici</td> </tr> </table> | Ilaria Pallecchi | Ricercatore CNR | Dispositivi magnetici | Cristina Bernini | Ricercatore CNR | microscopia SEM e litografia | Fabio Miletto | Ricercatore CNR | elettronica degli ossidi e interfacce | Filippo Giubileo | Ricercatore CNR | ossidi funzionali | Marco Salluzzo | Ricercatore CNR | superconduttività e ossidi funzionali | Antonio Vecchione | Ricercatore CNR | ossidi funzionali | Carmela Aruta | Ricercatore CNR | ossidi magnetici | Salvatore Amoruso | Associato | materiali magnetici |
| Ilaria Pallecchi | Ricercatore CNR | Dispositivi magnetici | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cristina Bernini | Ricercatore CNR | microscopia SEM e litografia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabio Miletto | Ricercatore CNR | elettronica degli ossidi e interfacce | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Filippo Giubileo | Ricercatore CNR | ossidi funzionali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Marco Salluzzo | Ricercatore CNR | superconduttività e ossidi funzionali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Antonio Vecchione | Ricercatore CNR | ossidi funzionali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carmela Aruta | Ricercatore CNR | ossidi magnetici | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salvatore Amoruso | Associato | materiali magnetici | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

WP4 dispositivi micro e nanoelettromeccanici per applicazioni in sensoristica ed energetica

L'unione delle tecniche di fabbricazione e di detezione proprie dei sistemi microelettromeccanici tradizionali in silicio con le proprietà multifunzionali dei materiali ad alta correlazione elettronica, quali gli ossidi dei metalli di transizione (OMT), apre nuove prospettive nell'ambito della sensoristica e dell'energetica alla microscala. In particolare, la fabbricazione di strutture sospese con OMT consente di deformare, mettere in oscillazione e isolare termicamente piccole porzioni di eterostrutture funzionali, permettendo un utilizzo originale in dispositivi innovativi o ad alte prestazioni come riportato in seguito.

Task 4.1 Energy harvesting

La produzione energetica sulla micro/nanoscala è di notevole interesse nell'ambito dei dispositivi autoalimentati per applicazioni in diversi settori strategici quali network di sensori per ambiente o telecomunicazioni. La conversione di energia vibrazionale in energia elettrica è un approccio di attuale interesse che viene affrontato utilizzando materiali piezoelettrici messi in vibrazione dal rumore ambientale. Gli ossidi ferroelettrici quali il BaTiO₃ e il PZT presentano elevati coefficienti piezoelettrici ($d_{33} = 85$ pC/N per BaTiO₃, 268 pC/N per il PZT) che hanno valore massimo nel caso di film epitassiali o cristalli singoli. Verranno studiate nuove geometrie e composizioni in grado di amplificare al meglio le vibrazioni attraverso l'uso di micro e nanocantilevers basati su ossidi piezoelettrici di diverse composizioni ed eterostrutture in grado di amplificare il coefficiente piezoelettrico attraverso accoppiamenti elastici d'interfaccia. La strutturazione di film di elevata qualità cristallina in strutture meccaniche risonanti verrà effettuata combinando tecniche di nanofabbricazione convenzionali e processi chimici di erosione selettiva.

Task 4.2 bolometri

Il basso accoppiamento termico delle strutture sospese consente di trasformare al meglio l'energia incidente sotto forma di radiazione elettromagnetica in un innalzamento localizzato di temperatura. La brusca variazione delle proprietà fisiche degli OMT nei pressi delle loro transizioni di fase permette di sviluppare sensori ad elevata sensibilità. Ad esempio, le manganiti (i.e. $(La,Sr)MnO_3$) e gli ossidi di Vanadio (i.e. VO_2) hanno una elevata variazione relativa di resistenza TCR ($TCR=1/R(dR/dT)$) attorno alla temperatura ambientale e possono essere impiegati per lo sviluppo di bolometri infrarossi non raffreddati che operano a temperatura ambiente. Inizialmente verranno realizzate strutture sospese con questi materiali sotto forma di film sottili ad elevata cristallinità. Le strutture (microponti) saranno fabbricate combinando microlitografia e nanolitografia. In particolare verranno realizzate strutture nanostrutturate/nanolayerate in grado di amplificare l'assorbimento infrarosso rispetto ai materiali di partenza. La precisa nanostrutturazione planare dei dispositivi con i materiali sopra citati consente inoltre di realizzare metamateriali risonanti al THz in grado di esibire effetti di memoria termica e magnetica grazie alle isteresi riscontrate in molti sistemi correlati. Saranno inoltre investigati sensori infrarossi di nuova concezione in grado di trasdurre l'aumento locale di temperatura di porzioni di materiale sospese in variazioni della loro frequenza di risonanza, permettendo una lettura non elettrica dello stato del materiale.

Task 4.3 Sensori di gas

Le strutture sospese con OMT presentano numerosi vantaggi per la fabbricazione di sensori di gas. Generalmente gli ossidi conduttivi permettono di raggiungere temperature elevate senza riscontrare ossidazione come nei dispositivi in silicio e con alte resistenze meccaniche. La particolare sensibilità degli OMT alla stechiometria dell'ossigeno consente di sviluppare sensori d'ossigeno in grado di lavorare a temperature elevate. Realizzeremo microponti sospesi e cantilever in cui le variazioni della stechiometria d'ossigeno dovute allo scambio superficie/ambiente saranno lette sia resistivamente (microponti) che attraverso letture delle frequenze di oscillazione (cantilever). Saranno studiate geometrie nanostrutturate in grado di massimizzare lo scambio solido/gas. Le strutture sospese consentono di mantenere elevate temperature in regioni localizzate (amplificando quindi la cinetica di scambio) sfruttando efficientemente l'effetto Joule tramite piccole correnti di polarizzazione.

| Elenco tasks | Istituto guida (responsabile) | Altri istituti | Risultati attesi | Tempi di realizzazione (mesi/uomo) | Elementi e criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti |
|--------------|-------------------------------|----------------|---|------------------------------------|--|
| WP4 T1 | | | | | |
| T4.1 | Luca Pellegrino | | <ul style="list-style-type: none"> Crescita di film ad alto coefficiente piezoelettrico Fabbricazione e caratterizzazione di microcantilevers con un film piezoelettrico epitassiale, prove di resistenza meccanica Sviluppo di cantilever con eterostrutture complesse ad alto rendimento piezoelettrico Modellizzazione multifisica degli accoppiamenti elettromeccanici in geometrie ottimizzate | 24 | Realizzazione di prototipi; Brevetti pubblicazioni contenenti i risultati raggiunti. |
| WP4 T2 | | | | | |
| T4.2 | Fabio Chiarella | | <ul style="list-style-type: none"> Fabbricazione e caratterizzazione elettrica di bolometri con microponti a base di film singoli di manganite e di ossido di vanadio, misure del rapporto segnale/rumore nei bolometri di tipo resistivo Realizzazione di una struttura micromeccanica innovativa e sua caratterizzazione come bolometro a detezione meccanica Fabbricazione e caratterizzazione di | 18 | pubblicazioni; prototipi; brevetti; trasferimento tecnologico, interesse di aziende a sviluppare prototipi commerciali |

| | | | | | |
|--------|--------------|--|--|----|---|
| | | | metamateriali con strutture sospese a base di VO ₂ e manganiti | | |
| WP4 T3 | | | | | |
| T4.3 | Renato Buzio | | <ul style="list-style-type: none"> • Sensore di ossigeno resistivo con ossidi conduttori di metalli di transizione, caratterizzazione elettrica ed energetica. • Sviluppo di un prototipo di dispositivo a lettura meccanica tramite strutture risonanti ad amplificato scambio gas/solido | 18 | Brevetti; pubblicazioni; sviluppo di prototipi; contatti con industrie. |

| WP4 | Dispositivi micro e nanoelettromeccanici per applicazioni in sensoristica ed energetica. Responsabile: Luca Pellegrino |
|---|---|
| Altri organismi e soggetti coinvolti: | Università di Genova, Università di Napoli "Federico II", Università di Salerno, Università de l'Aquila, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma 2 "Tor Vergata", Seconda Università degli Studi di Napoli, università di Twente, università di Osaka |
| Interesse dei risultati per l'avanzamento della conoscenza e eventuali potenzialità applicative | <ul style="list-style-type: none"> • Le potenzialità degli ossidi dei metalli di transizione sotto forma di film sottile epitassiale non sono ancora sfruttate appieno, soprattutto nel caso di eterostrutture funzionali con accoppiamenti alle interfacce. La fabbricazione di strutture microelettromeccaniche con questa classe di materiali è sviluppata solo embrionalmente e principalmente con film di bassa qualità strutturale. • La correlazione tra deformazione meccanica e proprietà fisiche è di notevole interesse teorico ed applicativo e lo sviluppo di sistemi meccanici con film sottili di caratteristiche simili al bulk consente di indirizzare questa tematica al meglio. • La sensoristica infrarosso tramite sensori non raffreddati è di largo interesse applicativo ed attualmente limitata in gran parte dalla qualità cristallina dei materiali impiegati. Lo studio di strutture cristalline ad alta sensibilità alla radiazione attorno a temperatura ambiente rappresenta una possibile via di sviluppo di sensori in campi dove gli alti costi di produzione di strutture di elevata qualità è giustificato da prestazioni uniche in termini di sensibilità e resistenza ad ambienti corrosivi. • Lo sviluppo di sensori al THz è uno delle tematiche di frontiera nella fisica dei dispositivi allo stato solido. L'uso di materiali ad elevata correlazione elettronica, la possibilità di variarne lo stato fisico tramite deformazione o aumenti locali di temperatura e la loro strutturazione sulla microscala apre un nuovo approccio alla creazione di prototipi di dispositivi. |
| Attività già svolte propedeutiche alla realizzazione dell'attività | Nel corso di questi anni, SPIN ha lavorato con diverse tecniche di micro e nanofabbricazione di dispositivi a film sottile, pubblicando e brevettando diverse tipologie di dispositivi con ossidi funzionali. In particolare, il laboratorio è stato leader nella fabbricazione di nanostrutture tramite microscopia a scansione (AFM) e ha recentemente sviluppato protocolli brevettati nella fabbricazione di strutture 3D microelettromeccaniche a base di ossidi funzionali cristallini. Il laboratorio ha pubblicato 2 lavori su riviste ad alto IF in merito all'uso degli ossidi dei metalli di transizione come elementi di dispositivi micromeccanici e sospesi. I risultati di questa linea innovativa di ricerca hanno permesso di instaurare collaborazioni con laboratori europei e giapponesi con lo scambio di campioni e know-how. SPIN ha inoltre documentata esperienza nella caratterizzazione delle proprietà di trasporto di nanostrutture e recentemente ha sviluppato strumentazione e tecniche per la caratterizzazione meccanica di microstrutture sospese risonanti |
| Criteri di valutazione 1) Sviluppo delle competenze | Sviluppo di competenze nella realizzazione di attuatori e sensori di tipo MEMS Sviluppo di competenze nel recupero di energia elettromagnetica dispersa. |
| Criteri di valutazione 2) Grado di coinvolgimento di soggetti pubblici e privati | Ricerca di frontiera con importanti collegamenti di soggetti pubblici italiani e stranieri. Coinvolgimento di soggetti privati in via di definizione |
| Criteri di valutazione 3) Attrazione degli investimenti, impatto socio-economico e sostenibilità economica finanziaria | La realizzazione di dispositivi microelettromeccanici innovativi ha un grande impatto socio-economico nei campi della sicurezza (detector infrarossi, sensori di gas) e nel risparmio energetico (Energy harvesting). In questi campi si possono attirare investimenti di carattere pubblico (progetti europei) e privato (industrie del settore e PMI). |
| 4) Potenziali ulteriori coperture finanziarie: | <i>progetto PRIN 2012 in fase di presentazione, contributo SPIN 125.000 Euro</i> <i>progetto MAE Italia-Giappone in fase di valutazione</i> |
| 5) Team | <i>Il Team è composto da ricercatori di SPIN delle varie UOS:</i> |

| | | | |
|--|-------------------|-----------------|--|
| | Luca Pellegrino | Ricercatore CNR | nanotecnologie, dispositivi microelettromeccanici |
| | Renato Buzio | Ricercatore CNR | microscopia a scansione, proprietà meccaniche e tribologiche |
| | Fabio Chiarella | Ricercatore CNR | ossidi funzionali |
| | Emilio Bellingeri | Ricercatore CNR | elettronica degli ossidi, dispositivi superconduttori |
| | Antonio Siri | Associato | nuovi materiali, elettronica degli ossidi |
| | Daniele Marré | associato | nuovi materiali, nanotecnologie, films |
| | | | |