

## PROGRAMMA IN CORSO

### Agenzia Spaziale Italiana

Via di Villa Patrizi, 13- 00161 Roma  
Tel. 0685671 - Fax 068567406

### Richiesta di finanziamento per progetto di ricerca

Ricerca Fondamentale '99

#### PROGETTO

**Titolo del progetto:** REALIZZAZIONE DI GIUNZIONI SUPERCONDUTTIVE AD EFFETTO JOSEPHSON E  
LORO APPLICAZIONE ALLO SVILUPPO DI RIVELATORI IN REGIME DI CONTEGGIO DI FOTONI PER  
APPLICAZIONI ASTROFISICHE

**Coordinatore:** *Nome:* Marialuisa *Titolo:* dr. *Cognome:* Rastello  
(in sostituzione dell'ing. Vincenzo Lacquaniti, Coordinatore del 1° anno di progetto)

**Area tematica:** Scienze dell'Ingegneria - Elettronica

**Linea di ricerca:** Sviluppi strumentali

#### PERSONALE

Personale dedicato al progetto per il 1999

	<i>N° persone</i>	<i>Mesi</i>
<u>Ricercatori:</u>	16	63
<u>Tecnici:</u>	4	14

Gruppo di ricerca proponente (organizzato per unità operative)

<i>Nome e cognome</i>	<i>Ente</i>	<i>Qualifica</i>	<i>Funzioni</i>	<i>Tempo</i>	<i>N° altri progetti ASI</i>
Paolo Bergamini	CNR-IFC	Ricercatore	Ricerca	3	4
Giuseppe Bonelli	CNR-IFC	Ricercatore	Ricerca	4	4
Gabriele Villa	CNR-IFC	Dir. Ric.	Resp. Sottopr.	1	2
Mario Zannoni	UNI	Dottorando	Ricerca	2	3
Pierluigi Pizzolati	CNR-IFC	Collaboratore	Ricerca	4	2
Mauro Fiorini	CNR-IFC	Ass. tec.	Elettronica	2	3
Eugenio Monticone	IEN	Ricercatore	Tecnologia	4	2
Sabino Maggi	IEN	Ricercatore	Resp. Sottopr.	7	2
Raffaella Steni	IEN	Ricercatore	Tecnologia	4	2
Mauro Rajteri	IEN	Ricercatore	Misure	6	1
Marialuisa Rastello	IEN	Ricercatore	Misure	6	2
Vincenzo Lacquaniti	IEN	Ricercatore	Tecnologia	4	2
Ivo Degiovanni	UNI	Dottorando	Misure	6	1
Paolo Pisoni	IEN	Coll.Tec.	Misure	4	2
Stefania Castelletto	IEN	Ricercatore	Misure	4	1
Roberto Rocci	IEN	Coll..Tec.	Tecnologia	4	2
Piero Mazzetti	PoliTO	Prof. Ord.	Resp. Sottopr.	3	-
Anna Carbone	PoliTO	Ricercatore	Ricerca	3	-
Renato Gonnelli	PoliTO	Ricercatore	Ricerca	3	-
Andrea Morello	PoliTO	Borsista	Ricerca	3	-

#### FINANZIAMENTI E ORGANIZZAZIONE

Finanziamento del progetto per il 1999 (Mlit.)

<u>Finanziamento</u> (totale):	325
<u>Investimento:</u>	155
<u>Funzionamento:</u>	170

Previsioni di spesa per il 1999 (Mlit.)

	<i>Istituto</i>	<i>Importo</i>	<i>Descrizione</i>
<u>Investimento:</u>	IEN	60	Tecnologia
	IEN	20	Criogenia
	IEN	25	Sistemi di misura
	CNR-IFC	30	Sistemi di misura: Keythley Source – Measure unit 236
	PoliTO	20	Sistemi di misura
<u>Funzionamento:</u>	IEN	60	Materiali
	IEN	20	Collaborazioni
	IEN	20	Missioni
	CNR-IFC	45	Materiali, missioni
	PoliTO	25	Materiali, Collaborazioni

**Rendiconto schematico dei fondi già assegnati al progetto fino alla data di presentazione**  
(Voci generali per investimento e funzionamento; importi in Mlit.)

	<i>Anno</i>	<i>Importo</i>	<i>Commenti</i>
<u>Investimento:</u>	1998	(230)	Fondi non ancora pervenuti
<u>Funzionamento:</u>	1998	(100)	Fondi non ancora pervenuti

**Quadro economico relativo all'intero programma (Mlit.)**

	<i>I anno</i>	<i>II anno</i>	<i>III anno</i>	<i>IV anno</i>	<i>V anno</i>
<u>Anno:</u>	1998	1999	2000		
<u>Finanziamento (totale):</u>	330	325	250		
<u>Investimento:</u>	230	155	75		
<u>Funzionamento:</u>	100	170	175		

**Fondi di finanziamento non ASI (Mlit.)**

(CNR, MPI 40% 60%, Progetti Speciali, Contratti di altri Enti)

<i>Ente</i>	<i>Finanziamento</i>	<i>Investimento</i>	<i>Funzionamento</i>
-	-	-	-

#### **Sviluppo temporale e finanziario**

Le fasi previste nel progetto per i prossimi due anni sono le seguenti.

Secondo anno:

- modifiche al processo di fabbricazione per ottimizzare la qualità della superficie dei film;
- modifiche alle geometrie dei dispositivi con progetto di nuove maschere;
- caratterizzazione completa delle giunzioni come contatore di fotoni alla singola lunghezza d'onda ed estensione a più lunghezze d'onda, dai raggi x fino al visibile;
- studio della sensibilità spettrale e determinazione della sensibilità assoluta;
- studio del rumore di corrente in funzione della lunghezza d'onda;
- spettroscopia a larga banda al fuoco di un telescopio.

Terzo anno:

- ottimizzazione di giunzioni singole di niobio ottimizzate e loro caratterizzazione;
- perfezionamento modello della giunzione per lo studio del rumore e degli altri parametri caratteristici;
- progetto e realizzazione di maschere per matrici;
- messa in opera della tecnologia del tantalio e sviluppo primi esemplari;
- estensione dei rivelatori alle lunghezze d'onda attorno al micrometro;
- caratterizzazione delle matrici;
- spettroscopia con i rivelatori a matrice al fuoco di un telescopio.

Gestione finanziaria.

Per il secondo anno occorre come tecnologia poter disporre di una seconda camera di deposizione per ottenere elevate temperature di crescita favorendo quindi la formazione di film quasi epitassiali. Altresì occorre prevedere la fabbricazione dei nuovi set di maschere fotolitografiche per ottimizzare gli effetti di geometria. Per gli aspetti di caratterizzazione dei dispositivi occorre un analizzatore multicanale e l'elio liquido necessario per gli esperimenti sia al CNR-IFC Milano che all'IEN Torino.

Per il terzo anno occorrono i set di maschere relativi alle matrici e nel caso si affronti la tecnologia del tantalio il catodo e le geometrie adatte a questo materiale. Sono necessari materiali di consumo relativi ai processi di fotolitografia, deposizione e misura e cioè, gas, substrati, in particolare zaffiro, ed elio liquido. Inoltre la sperimentazione dei rivelatori in misure astronomiche prevede costi aggiuntivi.

#### **Attrezzature e servizi (organizzati per unità operative)**

##### **Unità IEN**

- Camera pulita di classe 100 dotata di: cappe chimiche, spinner per la deposizione del photoresist (Sulzer Electro Technique), mask-aligner per l'esposizione delle maschere (Karl Suss MJB 3), microscopio Leitz (\* 1000) dotato di telecamera ed interfaccia per l'acquisizione delle immagini.
- Camere grigie (classe 100000) in cui sono posti gli impianti di deposizione e caratterizzazione
- Sistema di deposizione per sputtering rf-magnetron (Leybold Z400), dotato di catodi di Nb, Al, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Evaporatore a sorgente termica (Leybold)
- Sistema di attacco chimico dei film in plasma reattivo (reactive-ion etching) (Leybold)
- Profilometro per misure di rugosità e spessori di film sottili (Tencor P-10)
- Sistema di misura per caratterizzazione elettrica delle giunzioni in elio liquido.
- Laser ad Argo COHERENT INNOVA 400-20 con ottiche UV e visibile
- Radiometro criogenico RADIOX per misure di potenza in regime analogico con accuratezza  $4 \times 10^{-5}$
- Sorgente campione di numero di fotoni generati per fluorescenza parametrica in cristalli non lineari
- Sistema di misura per la determinazione dell'efficienza quantica di contatori di fotoni
- Sistema di misura per lo studio della linearità in funzione del livello di segnale in ingresso
- Contatori di fotoni di tipo tradizionale (fotomoltiplicatori raffreddati) di sensibilità spettrale nota
- Elettronica per il conteggio di fotoni

##### **Unità CNR-IFC:**

###### Laboratorio di fotonica:

- banco ottico e relativa componentistica;
- componenti ottici di base;
- autocollimatore;
- laser He-Ne;
- monocromatore per il visibile-UV;
- sorgente UV ed X;
- diversi fotomoltiplicatori;
- radiometro.

###### Laboratorio di elettronica:

- strumentazione di base per elettronica analogica e digitale (alimentatori bassa ed alta tensione, oscilloscopi, generatori di funzioni e di impulsi);
- catene di amplificazione (preamplificatori ed amplificatori lineari)
- discriminatori (Leading Edge, CFD)
- convertitore tempo ampiezza (TAC).
- Analizzatori a Multicanale.

###### Laboratorio di criogenia

- pompe rotative, componentistica e strumentazione di base per vuoto
- Criostato a He<sub>3</sub>

###### Risorse di calcolo:

- Workstation per design e simulazione elettronica con CAE ViewLogic e sistema di sviluppo per FPGA Xilinx M1
- 2 workstation HP9000 con CAD
- 16 workstation Sun (sistema operativo SunOS 5.5, con oltre 6 Gb di disco, unità DAT 4mm, unità Exabyte 8 mm, unità CD-ROM e stampanti laser PostScript) dedicate al supporto generale delle attività dell'Istituto per analisi di dati astronomici. Numerosi personal computer

##### **Unità Politecnico di Torino**

- Microscopio a scansione a forza atomica (AFM)
- Sistema di misura delle caratteristiche I-V della giunzione (tunnel di quasiparticella e Josephson) tra 2 e 300 K
- Apparato sperimentale per la rilevazione e l'analisi del rumore (0-100kHz)

SCIENZA

Scientific rationale (in lingua inglese - massimo una pagina)

The objective of this research project is the realization and characterization of single and matrix detectors based on

superconducting junctions to be employed from x rays and u.v. to infrared in astronomy space missions and ground base optical observations. Three sub-projects are present, each one referring to a specific goal:

- for the IEN group, the junction technology development, mainly Nb/Al-AlO<sub>x</sub>-(Al)/Nb, but possibly also Ta-based, and the detector metrological characterization in the optical band, with the measurement of the absolute quantum efficiency;
- for the CNR-IFC research group, the employ of both single junction and matrix detectors for astrophysical observations from x rays to u.v.;
- for the Torino Politecnico, the study of structural, electrical and noise properties of the junctions.

#### General motivations.

Detectors based on Superconducting Tunneling Junctions (STJ) represent the natural step forward from detectors based on semiconductor technology in photon counting regime. From an astronomical point of view, a detector based on STJ technology excels in the following areas.

- Intrinsic spectral resolution STJ detectors have intrinsic wavelength resolution; this is particularly interesting in the visible-UV spectral range where spectral resolution is so far obtained by means of either filters or dispersive elements placed in front of the detector. Although the spectral resolution attainable by STJ detectors in this spectral range is not comparable with that achievable employing dispersive elements (at 350 nm the theoretical resolution is 20 nm for Nb Junctions), these devices promise unprecedented performances in the field of low resolution spectroscopy of faint sources. In the high energy range, the theoretical spectral resolution is about a factor 30 better than that attainable with a conventional Si detector.
- Broad spectral response STJ detectors are sensible to radiation spanning from IR to x-rays. The low energy cut-off is set by the charge generated by an incident photon being comparable to that generated by a photon coming from the thermal background surrounding the detector; typically this happens for wavelength longer than a few microns. The high energy cut-off is set by the thickness of either the superconducting layers or the substrate: for energies lower than a few hundreds of eV an incident photon can be stopped within the junction (QE=66% @ 1 KeV in 0.2 mm Nb junctions), whereas for higher energies a photon can be detected through the phonons generated in a suitable substrate and capable to generate quasiparticles in the superconductor.
- High time resolution In a STJ the generation of charge takes place on time scales of nanoseconds and its confinement time is of the order of microseconds. Hence STJ detectors could be operated as time-tagged photon counters at event rates of order 100 kHz.
- Very high quantum efficiency The quantum efficiency of the STJ detector at optical and UV wavelengths is determined by the reflection losses occurring at the substrate and superconductor /substrate surfaces: by choosing suitable materials, such as for example niobium, tantalum or hafnium which have extremely favourable optical properties, it is possible to obtain a net efficiency in excess of 55% at all wavelengths below 600 nm, reaching higher than 70% at the shortest far-UV wavelengths. This anticipated high far-UV sensitivity is of particular interest for UV space astronomy since all far-ultraviolet detectors up to now make use of photocathodes which seldom achieve quantum efficiencies higher than about 20%. Absolute quantum efficiency will be measured in the visible and IR with a newly established technique based on correlated photons, generated by parametric fluorescence in a non linear crystal. The broad band emission of the fluorescence makes available couples of correlated photons from the pump wavelength ( 351 nm typically ) up to infrared. The technique allows the number and the wavelength of the incident photons to be known with an accuracy higher than other methods shown in literature.
- Imaging capabilities It is possible to build a detector based on an array of STJs, allowing the construction of an imaging camera.



## Motivazioni e obiettivi scientifici (massimo una pagina)

L'obiettivo di questo progetto di ricerca è la realizzazione e caratterizzazione di rivelatori sia a singola giunzione superconduttiva che a schiera di elementi per l'impiego dai raggi x agli uv, fino all'infrarosso sia per missioni astronomiche spaziali che per osservazioni ottiche da terra.

Tre sottoprogetti sono coordinati, ciascuno mirato ad uno specifico obiettivo:

- per il gruppo di ricerca dello IEN lo sviluppo della tecnologia delle giunzioni, principalmente Nb/Al-AlOx-(Al)/Nb ma possibilmente anche giunzioni basate sul Tantalio e la caratterizzazione metrologica in banda ottica del rivelatore con la misura dell'efficienza quantica assoluta;
- per il gruppo di ricerca CNR-IFC l'impiego del rivelatore a giunzione singola e a matrice per osservazioni astrofisiche dai raggi x agli uv;
- per il Politecnico di Torino (POLITO) lo studio delle proprietà strutturali, elettriche e di rumore delle giunzioni.

## Motivazioni

I rivelatori basati su giunzioni superconduttrici ad effetto tunnel (STJ, Superconducting Tunnelling Junction) rappresentano sotto molti aspetti la naturale evoluzione dei rivelatori basati su tecnologia a semiconduttore per le misure in regime di conteggio di fotoni.

Da un punto di vista astronomico, le prerogative di un rivelatore STJ sono le seguenti:

- Risoluzione spettrale intrinseca I rivelatori STJ possiedono una risoluzione energetica intrinseca. Ciò è particolarmente interessante a bassa energia, dove, attualmente, l'unico modo per avere risoluzione spettrale è quello di ricorrere all'uso di filtri o di elementi dispersivi. Sebbene il potere risolutivo ottenibile in questa regione spettrale (risoluzione teorica del Nb: 20 nm a 350 nm) non sia paragonabile a quello ottenibile mediante l'uso di dispersori, i rivelatori STJ sono senza dubbio potenzialmente molto utili nel campo della spettroscopia a bassa risoluzione di oggetti deboli. Ad alta energia la risoluzione spettrale teorica è circa un fattore 30 migliore di quella ottenibile con un normale rivelatore al Si.
- Larghissima risposta spettrale I rivelatori STJ sono sensibili in tutta la banda dall'IR ai raggi X. A bassa energia il taglio avviene allorché la carica generata dall'assorbimento di un fotone diventa paragonabile a quella generata dall'interazione con i fotoni provenienti dal fondo termico dell'ambiente circostante al rivelatore; tipicamente ciò avviene per lunghezze d'onda superiori a qualche micron. Ad alta energia il taglio è invece fissato dagli spessori dei materiali utilizzati: sino a qualche centinaio di eV è infatti possibile assorbire direttamente nella giunzione i fotoni incidenti (efficienza del 66% a 1 KeV in giunzioni da 0.2  $\mu\text{m}$  di Nb), mentre per energie superiori i fotoni incidenti vengono rivelati tramite l'assorbimento in un opportuno substrato ove generano fononi in grado di rompere le quasiparticelle nel superconduttore. A questo riguardo giova ricordare che, a differenza di quanto capita nei rivelatori a semiconduttore, nel caso di rivelatori superconduttori i fononi generati dall'interazione con i fotoni incidenti non rappresentano un meccanismo di perdita in quanto contribuiscono, almeno in parte, alla creazione di quasiparticelle nel superconduttore: ottimizzando il materiale utilizzato come substrato è possibile privilegiare la creazione di fononi con energia superiore all'energia di legame delle coppie di Cooper.
- Ottima risposta temporale Il processo di generazione di carica in una giunzione superconduttrice avviene su una scala di tempi dell'ordine dei nanosecondi; il tempo di confinamento della carica generata dipende dalla geometria e dalle proprietà del superconduttore utilizzato, ma è dell'ordine dei microsecondi. E' quindi possibile realizzare rivelatori STJ che operino in regime di conteggio di fotoni (con misura del tempo d'arrivo) con tassi di conteggio fino a circa 100 kHz.
- Ottima efficienza quantica L'efficienza quantica di un rivelatore STJ è determinata, nella regione dell'ottico e dell'UV, dalle perdite per riflessione in corrispondenza della superficie del substrato e della transizione tra substrato e superconduttore. Sotto i 600nm ci si aspetta un'efficienza netta dell'ordine del 55%, mentre tale efficienza sale fino a circa il 70% nel lontano UV. Quest'ultimo dato è di particolare interesse se si pensa che i fotocatodi normalmente utilizzati nei rivelatori per quest'intervallo spettrale hanno un'efficienza quantica che difficilmente supera il 20%. La determinazione dell'efficienza quantica assoluta del rivelatore verrà effettuata usando un fascio di fotoni correlati, generati per fluorescenza parametrica in un cristallo non lineare, con un'accuratezza superiore a quella delle tecniche finora riportate in letteratura.
- Possibilità di realizzare matrici È possibile realizzare matrici bidimensionali di giunzioni STJ in modo da poter costruire rivelatori sensibili alla posizione.

Il progetto comporta la realizzazione di giunzioni Josephson del tipo Nb/Al-AlOx-(Al)/Nb con caratteristiche elettriche ottimizzate ed in particolare una corrente di subgap essenzialmente di tipo termico e di poche decine di nA o meno a  $T < 1$  K. È necessario infatti, che la popolazione di quasiparticelle originate termicamente, che costituisce il rumore termico di fondo, sia inferiore all'eccesso di quasiparticelle generato dai fotoni incidenti.

Per confinare le quasiparticelle generate vicino alla barriera, e quindi aumentare la probabilità di tunneling, è conveniente utilizzare un film superconduttore intermedio tra l'isolante ed il film assorbente, con un gap di energia più piccolo rispetto a quello dello strato illuminato. La scelta del Niobio (temperatura critica  $T_c=9.2$  K e gap di energia  $\Delta=1.55$  meV), è determinata dalla conoscenza ormai consolidata della tecnologia necessaria: essa limita il conteggio di fotoni nell'intervallo spettrale che va dai raggi x all'ultravioletto e fino a circa 500 nm. L'Alluminio, a sua volta, presenta le caratteristiche appropriate ( $T_c=1.14$  K e  $\Delta=0.172$  meV) come materiale per lo strato trappola. Poiché come detto risulta cruciale un basso ed uniforme valore della corrente di subgap è necessario da un lato studiare accuratamente la morfologia superficiale dello strato di base di niobio tramite AFM e misure elettriche anche di rumore, dall'altro sperimentare nuove tecniche per la miglior planarizzazione durante la deposizione del film stesso. Poiché le prestazioni del dispositivo dipendono sia dalla geometria che dall'area della giunzione, è prevista la progettazione di maschere litografiche per la realizzazione dei dispositivi, in modo da disporre di rivelatori caratterizzati da aree e geometrie differenti.

Il funzionamento del dispositivo deve avvenire, come già spiegato, a temperature inferiori ad 1 K. Per questo si utilizza un criostato raffreddato con He3, che consente una temperatura di esercizio di 0.30 K. È necessaria anche la presenza di un magnete per produrre il campo magnetico necessario a sopprimere la corrente Josephson e i gradini di Fiske.

L'accoppiamento della giunzione con la sorgente di luce viene effettuato mediante una fibra ottica, opportunamente allineata mediante un sistema di microposizionamento. Il conteggio di fotoni viene effettuata basandosi sulla strumentazione in gran parte già disponibile presso i laboratori IEN.

All'IFC viene curata l'applicazione in campo astrofisico del rivelatore sviluppato. Il primo prototipo è costituito da una singola giunzione STJ montata in un criostato operante a 0.3 K. In particolare, una sorgente X montata direttamente all'interno del criostato permetterà di effettuare una prima verifica della risposta dei dispositivi alla radiazione incidente e di determinare alcuni parametri caratteristici della giunzione. Un sistema a fibre ottiche permetterà poi di illuminare i dispositivi con sorgenti ottiche-UV poste all'esterno del criostato. Sarà a questo punto possibile anche un test scientifico al fuoco di un telescopio.

Il comportamento della corrente di tunneling di quasi-particella generata sia in assenza che in presenza della radiazione incidente viene studiato in funzione degli altri parametri fisici rilevanti come la temperatura, il campo magnetico e la radiazione incidente. Il dispositivo viene così caratterizzato sia nei riguardi del rumore di buio che di quello generato in presenza di luce. Lo studio del rapporto segnale/rumore in diverse condizioni operative permetterà pertanto di ottimizzare le prestazioni del dispositivo rivelatore in vista della fase successiva, consistente nel passaggio alla rilevazione digitale del flusso fotonico. È interessante notare che il rumore di corrente in presenza di luce dovrebbe rilevare la formazione di cluster di quasi-particelle per effetto di un singolo fotone anche in condizioni in cui la rilevazione digitale risulta ancora difficile a causa del rumore termico. Verrà sviluppato un modello interpretativo del rumore analogo a quello sviluppato per dispositivi fotoconduttori, con lo scopo di ottimizzare i parametri che caratterizzano la giunzione.

Dopo aver sperimentato il sistema di misura nel suo complesso, sarà possibile procedere al miglioramento delle caratteristiche del dispositivo. A questo fine si rende necessario modificare il processo di fabbricazione del dispositivo. Un possibile miglioramento è rappresentato dalla realizzazione di uno strato epitassiale di Niobio, anziché policristallino, che dovrebbe ridurre i fenomeni di diffusione. Un miglioramento dell'efficienza quantica del dispositivo può essere ottenuto riducendo le perdite per riflessione che si hanno sullo strato assorbente. Per questo occorre progettare fabbricare e caratterizzare uno strato antiriflesso a larga banda per il Niobio.

Si prevede di ottenere un ulteriore miglioramento del dispositivo utilizzando come materiale superconduttore il Tantalio invece del Niobio. Questo tipo di materiale, infatti, presenta due sostanziali vantaggi rispetto al Nb: un gap di energia più basso ( $\Delta=0.664$  meV) che determina un maggior numero di quasiparticelle create per fotone ed un tempo di ricombinazione delle quasiparticelle più lungo. Questi due aspetti permettono la rivelazione di fotoni nell'intervallo di lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso sino a 2  $\mu$ m. Inoltre, avendo il Tantalio una temperatura critica  $T_c=4.48$  K è possibile continuare a lavorare a temperature che non scendono sotto gli 0.3 K e dunque utilizzare lo stesso tipo di criostato usato con il Niobio.

Un ulteriore proseguimento dello sviluppo del dispositivo può avvenire in base alle specifiche esigenze della comunità degli astrofisici. Attraverso la progettazione di opportune maschere contenenti le configurazioni dei vari elementi si realizzeranno infine matrici di rivelatori valutando le corrette distanze tra gli elementi in modo da ricostruire le immagini.

## Detailed report on previous activities (in lingua inglese)

Since the beginning of this year, Ing. V. Lacquaniti has gained new responsibilities inside IEN that leave him no time to act as coordinator of the present project. It has therefore been decided to assign the role of coordinator of this research project to dott. M. L. Rastello, while dott. S. Maggi becomes responsible of the IEN subproject, while dott. G. Villa becomes responsible of the IFC-CNR subproject.

During 1998 the research activity on this project "Fabrication of Josephson junctions for the development of superconducting detectors in the photon-counting regime for astrophysical applications", has been mainly concentrated on (1) STJ technology, (2) coupling of the junction to the photon source, (3) experimental setup for measurements in the photon-counting regime, (4) current noise modeling in the STJ device, as reported in detail below.

1) STJ technology Several Superconducting Tunnel Junction (STJ) devices based on the well-known Nb/Al-AlO<sub>x</sub>-(Al)/Nb technology have been fabricated using either Corning glass and sapphire substrates. The device geometry has been obtained using a set of photolithographic masks designed for this project. Each sample contains three symmetrical pairs of square junctions, having areas of  $20 \times 20$ ,  $50 \times 50$  e  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ , respectively, and a large test junction of  $20 \times 400 \mu\text{m}^2$ . Each junction is connected to a central common terminal and can be independently measured. An external magnetic field parallel to the tunnel area can also be applied to each junction.

Each device has preliminarily been electrically characterized in LHe at 4.2 K at IEN. The best samples have further been measured in an He3 cryostat at 300 mK, which has been installed and setup during 1998 at IFC-CNR, Milano.

The I-V characteristics of these junctions have been obtained by using a precise current ramp and measuring the voltage drop across the junction. These I-V curves show that the fabrication of Josephson junctions with an extremely low subgap current (of the order of some nA) is a real technological challenge, possible at present only in few laboratories worldwide. A subgap current of the order of nA or less is necessary to detect, above the noise level, the charge impulse generated by the absorption of a optical/uv photon in the superconductor. On the other hand, the samples fabricated so far in our laboratory have subgap currents at 4.2 K of some  $\mu\text{A}$  and above, which is nevertheless, in our opinion, a relatively good achievement for the first project year. It has firstly been supposed that such subgap current could be related to the low surface smoothness of the tunneling barrier. However, some samples made on sapphire substrates, which allow the deposition of very smooth films, have similar values of the subgap current, implying that the effect of the substrate is negligible, at least at this subgap current level. The limited dependence of the subgap current on decreasing temperature (with a reduction of only one order of magnitude between 4.2 and 0.3 K, which is much larger than the theoretically predicted reduction) shows that the relatively high subgap current is probably related to the presence of microshorts in either the tunneling barrier or between the junction structure and the wiring film. This has led to a complete maintenance and refurbishment of the deposition equipment. Several modifications to the fabrication process have also been planned in order to avoid the presence of such microshorts, which will be incrementally be tested during the present year.

Measurements of the critical current  $I_C$  as a function of the external magnetic field  $B$  have shown that the chosen junction geometry already allows the complete suppression of the critical current at fields of the order of tens of G, without secondary lobes, a condition which is necessary for the proper operation of the device as a photon counter detector.

During 1998 a collaboration with the low-temperature detectors group of the University of Naples "Federico II" has been established, in order to study non-equilibrium phenomena in three-terminal devices as possible alternative mechanisms for photon detection.

2) Coupling of the junction to the photon source A topical aspect for the experimental study of these devices is the coupling of the junction, having areas of the order of hundreds of  $\mu\text{m}^2$ , with the photon source. The light-source positioning system, that uses an optical fiber with an inner core of  $4 \mu\text{m}$ , has been set up during last year. This system is based on a four bymorph piezoelectric structure that, when biased at  $\pm 140 \text{ V}$  moves the optical fiber of about  $20 \mu\text{m}$  on the horizontal plane, with a negligible variation of its vertical position. To scan junction having dimensions larger than  $20 \mu\text{m}$ , and also to couple the optical fiber to the different junctions fabricated on the same chip, an inertial-moving stage has also been developed. This stage is made with a piezoelectric tube with a 4-quadrant segmented external electrode. When two facing electrodes are biased with an opposite dc voltage with respect to the grounded internal electrode, the piezoelectric tube flexes along the same direction of the two external electrodes. Applying a sawtooth voltage waveform it is thus possible, by inertia, to precisely move the sample by 2 mm maximum at cryogenic temperature. The sample is fixed on a sample holder laying on three glass spheres bonded to the piezoelectric tube. The accuracy of the movement depends on the applied voltage and on its frequency. At present, at 4.2 K, a minimum step of tens of nm has been obtained. Such a setup allows a very precise control of the alignment of the junction to the optical fiber, which is fundamental for the evaluation of the detector response.

To improve the quantum efficiency of the devices, an antireflection coating has been designed to be deposited above the Nb counterelectrode of the junction irradiated by the photon source. First results show that the reflection loss can be reduced down to some percent in the visible range when SiNx multilayers are used.

3) Experimental setup for measurements in the photon-counting regime To measure signals in the photon counting regime, ( $\sim 10$ – $15 \text{ W}$  or  $10^3$ – $10^6$  photons/s), an optical bench which allows the absolute calibration of detectors working in the visible range has been setup. The measurement system is based on parametric fluorescence, a quantum effect related to second order nonlinearity in anisotropic crystals and characterized by the emission of photon pairs strongly correlated in space and time. With such a setup, it has been possible to calibrate single-photon detectors which use an active avalanche quenching. The present accuracy is estimated to be about 1%, with a possible improvement up to 0.1%. The main uncertainty factors associated

to this measurement technique have been analyzed also using a numerical simulation of the experiment and of the measuring system, thus evaluating the optimal experimental conditions leading to an higher measurement accuracy. An analysis based on a modeling of the dead-time of these detectors using non-markovian processes and queue theory is under development.

4) Current noise modeling in the STJ device The experimental setup for measuring the current noise in the STJ devices is presently under development at IEN. Since the noise current is very low, attention must be paid to the electrical connections between the junction and the measuring system. From a theoretical point of view, some general models have been developed to describe noise in multilayered heterostructures with low dimensionality, which can fit the behavior of superconducting junctions. The models take into account some possible effects related to either suppression or enhancement of noise in the junction, due to correlations among different noise sources.



## Resoconto dell'attività precedente (massimo una pagina)

L'ing. V. Lacquaniti a partire da quest'anno ha assunto nuove responsabilità all'interno dell'IEN che gli impediscono di continuare a svolgere il compito di coordinatore del presente progetto. Si è pertanto deciso di affidare il coordinamento del progetto di ricerca alla dott. M. L. Rastello. Di conseguenza il dott. S. Maggi diventa responsabile del sottoprogetto dello IEN. Inoltre il dott. G. Villa diventa responsabile del sottoprogetto dell'IFC-CNR.

L'attività svolta nel 1998 nell'ambito di questo progetto si è concentrata sui seguenti aspetti fondamentali.

1) Giunzioni STJ. Sono stati realizzati un certo numero di dispositivi STJ del tipo Nb/Al-AlOx-(Al)/Nb depositati sia su substrati di vetro Corning che di zaffiro, utilizzando un set di maschere fotolitografiche sviluppate appositamente. Ogni campione è costituito da tre coppie simmetriche di giunzioni Josephson quadrate di  $20 \times 20$ ,  $50 \times 50$  e  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ , più una giunzione di test da  $20 \times 400 \mu\text{m}^2$ . Tutte le giunzioni sono connesse ad un terminale centrale comune e sono misurabili separatamente sia in assenza che in presenza di un campo magnetico esterno.

I dispositivi sono stati caratterizzati preliminarmente alla temperatura dell'elio liquido presso lo IEN e successivamente misurati in un criostato ad He3 da 300 mK installato e messo a punto nel corso dell'anno presso l'IFC-CNR di Milano.

Le caratteristiche I-V di tali giunzioni hanno evidenziato la difficoltà esistente a produrre giunzioni con la bassissima corrente di subgap, dell'ordine di qualche nA, necessaria per non annegare nel rumore l'impulso di carica prodotto dall'interazione del fotone ottico/uv con l'elettrodo superconduttore. I campioni prodotti hanno mostrato, invece, correnti di subgap che nei casi migliori sono di qualche  $\mu\text{A}$ . Tale alto valore della corrente di perdita potrebbe essere imputato alla cattiva qualità superficiale della barriera di isolante. Tuttavia alcune deposizioni su substrati di zaffiro e la limitata variazione della corrente di subgap in funzione della temperatura, hanno messo in luce che il problema risiede piuttosto nella presenza di microshort nella barriera tunnel o fra l'elettrodo di wiring e la giunzione Josephson vera e propria. Ciò ha portato da un lato ad una revisione degli impianti di deposizione, dall'altro ad individuare alcune possibili modifiche al processo di fabbricazione da applicare progressivamente nel 1999. Le misure in campo magnetico hanno mostrato che la geometria scelta consente fin da ora una eccellente risposta delle giunzioni al campo magnetico esterno, con l'abbattimento completo della corrente critica già a campi magnetici dell'ordine della decina di G, e completa assenza di lobi secondari della curva  $I_c(B)$ , condizione necessaria per il funzionamento effettivo del dispositivo come rivelatore in regime di conteggio di fotoni.

2) Accoppiamento della giunzione con la sorgente di fotoni. Un aspetto importante e di non facile controllo nello studio di questi dispositivi è l'accoppiamento della giunzione, che ha dimensioni dell'ordine delle centinaia di  $\mu\text{m}^2$ , con la sorgente di luce. Per questo motivo è stato messo a punto il sistema di posizionamento della sorgente di luce, costituito da una fibra ottica con un core di  $4 \mu\text{m}$ . Tale sistema è basato sull'utilizzo di una struttura costituita da quattro piezoelettrici bimorfi, che sottoposti ad una tensione di  $\pm 140 \text{ V}$  consentono di avere uno spostamento nel piano orizzontale di circa  $\pm 20 \mu\text{m}$ , mantenendo uno spostamento quasi planare. Per consentire di effettuare delle scansioni su giunzioni con dimensioni superiori ai  $20 \mu\text{m}$  e per poter eventualmente effettuare misure su più giunzioni presenti nello stesso chip è stato realizzato un movimentatore del campione basato sul principio inerziale. Esso è costituito da un tubo piezoelettrico il cui elettrodo esterno è stato segmentato in 4 quadranti. Quando si applica una tensione di polarità opposta a due elettrodi contrapposti rispetto all'elettrodo interno del tubo (collegato a massa), è possibile ottenere una flessione dello stesso nella direzione individuata dai due elettrodi. Se si applica una tensione con forma d'onda a dente di sega è possibile, sfruttando il principio d'inerzia, spostare il campione che è fissato su di un portacampioni appoggiato su tre sferette di vetro solidali con il tubo piezoelettrico. Con tale sistema si riesce a spostare il campione di circa 2 mm con un passo che dipende dalla tensione applicata e dalla sua frequenza. Attualmente, a 4.2 K si sono ottenuti spostamenti minimi dell'ordine delle decine di nm. Con tale sistema è stato possibile controllare l'allineamento della giunzione con la fibra ottica, aspetto fondamentale per la valutazione della risposta del rivelatore al segnale ottico.

Per quanto riguarda il miglioramento dell'efficienza quantica del dispositivo, è stata progettata una struttura di rivestimento antiriflesso da depositare sulla superficie del controlettrodo di Nb, su cui incide il fascio di fotoni. I primi risultati hanno indicato che, utilizzando dei multistrati di SiNx, la perdita per riflessione può essere ridotta a qualche percento nell'intervallo del visibile.

3) Misura di segnali in regime di conteggio di fotoni. Nell'ambito delle misure di segnali al livello di regime di conteggio di fotoni ( $\sim 10$ – $15 \text{ W}$  e/o  $10^3$ – $10^6$  fotoni/s) è stato messo a punto un banco ottico che consente la taratura assoluta dei rivelatori operanti nel visibile. Il metodo prevede l'utilizzo della fluorescenza parametrica, fenomeno di origine quantistica associato alla non-linearità del secondo ordine in cristalli anisotropi e caratterizzato dalla simultanea emissione di coppie di fotoni fortemente correlati nello spazio e nel tempo. In particolare è stato possibile tarare rivelatori a singolo fotone, che utilizzano un circuito di spegnimento attivo della valanga. L'accuratezza raggiunta è stimata attorno al 1%, migliorabile con sforzi ulteriori fino allo 0.1%. Sono state analizzate le maggiori cause di incertezza associate alla tecnica di misura anche mediante una simulazione numerica dell'esperimento e degli strumenti di misura, individuando così le condizioni sperimentali ottimali per ridurre l'incertezza. È in corso uno studio sulla modellizzazione dei tempi morti di questi rivelatori utilizzando processi non markoviani e teoria delle code.

4) Modelli di rumore nei dispositivi STJ. Si sta procedendo all'allestimento dell'apparato sperimentale presso lo IEN. Particolare attenzione va rivolta all'accoppiamento del dispositivo con la strumentazione di misura in quanto il livello di corrente di rumore è particolarmente basso nei dispositivi STJ. Dal punto di vista teorico, sono stati sviluppati dei modelli generali per la descrizione del rumore in eterostrutture a multistrato con ridotta dimensionalità, applicabili pertanto alle giunzioni superconduttive in esame. I modelli tengono conto di possibili effetti sia di soppressione che di eccesso di rumore dovuti alle correlazioni fra le differenti sorgenti di rumore.

**Elenco delle pubblicazioni relative al progetto in oggetto (organizzato per unità operative)**

Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN) – Torino

- V.Lacquaniti, S.Maggi, E.Monticone, R.Steni, "Properties of rf sputtered Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb Josephson SNAP junctions", IEEE Trans. Appl. Superconduct. 6, 24 (1996)
- G.Sironi, G.Boella, M.Gervasi, A.Vaccari, D.Andreone, V.Lacquaniti, S.Maggi, R.Steni, U.Pisani, G.P.Bava, E.Bava, G.Bonelli, V.Natale, G.Tofani, "Development of SIS junctions for astrophysical observations", Proceedings of 30th ESLAB Symposium on Submillimetre and Far-Infrared Space Instrumentation, 219 (1996)
- D. Andreone, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, "Magnetic field behavior of vertical stacks of Josephson junctions with large idle regions", IEEE Trans. Appl. Supercond. 7, 2442 (1997)
- V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, "Analysis of the interfaces of stacked Josephson junctions by atomic force microscopy", IEEE Trans. Appl. Supercond. 7, 2419 (1997)
- S. Maggi, V. Lacquaniti, "Analysis of magnetic field patterns of single Josephson tunnel junctions with large idle regions", Journal of Low Temperature Physics, 106, 393 (1997)
- V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni A. Vaccari, "Magnetic field dependence of the critical current of single and stacked Josephson junctions with large idle regions", Il Nuovo Cimento 19, 1381 (1997)
- D. Andreone, L. Brunetti, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, "Superconductive thin film devices for microwave applications", Il Nuovo Cimento 19, 1375 (1997)
- V. Lacquaniti, E. Monticone, G. B. Picotto, "Structural and surface properties of sputtered Nb films for multilayer devices", Surface Science 377-379, 1042 (1997)
- E. Monticone, S. Maggi, R. Steni, V. Lacquaniti, M. Rajteri, M.L. Rastello, "Light irradiation of stacked Josephson junctions", Proceedings of 6th Int. Superconductive Electronic Conference, Berlin, Germany, 156 (1997)
- D. Andreone, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, "Anodization-based area reduction process of Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb Josephson junctions", Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Superconductivity, The Netherlands, 535 (1997)
- V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, "Effect of idle geometry on the magnetic field curves of Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb Josephson junctions", Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Superconductivity, The Netherlands, 543 (1997)
- V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, M. Rajteri, M.L. Rastello, R. Steni, "Experiments on Nb Josephson junctions for optical detection", Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Superconductivity, The Netherlands, 413 (1997)
- E. Monticone, V. Lacquaniti, M. Rajteri, M. L. Rastello, "Josephson tunnel junctions as highly sensitive photodetectors for radiometry", Metrologia 35 (1998)
- G. Brida, S. Castelletto, C. Novero, M. L. Rastello, "Quantum efficiency measurement of photodetectors by parametric fluorescence", Metrologia 35 (1998)
- S. Castelletto, M. L. Rastello "Luminous and photon standards by trap detectors", IEEE Trans. Instrum. Meas. 47 (1998)
- P. Mandracci, M. L. Rastello, P. Rava, F. Giuliani, F. Giorgis "Stability and quantum efficiency of a novel type of a-Si:H/a-SiC:H based UV detectors", Thin Solid Films 333, 1 (1998)
- M. Rajteri, E. Monticone, G. B. Picotto, R. Steni, M. L. Rastello, V. Lacquaniti "Characterisation of Josephson junction bolometers by a fiber coupled system", Proceedings of the International Cryogenic Engineering Conference (ICEC17), Bournemouth, Great Britain, 711, (1998)
- G. Brida, S. Castelletto, C. Novero, M. L. Rastello "Two photon metrology", Proceedings of the International Conference on Actual Problems of Measuring Technique (Measurement98), Kiev, Ukraine, 36 (1998)
- E. Monticone, M. Rajteri, S. Maggi, R. Steni, M. L. Rastello, V. Lacquaniti, G. P. Pepe, L. Parlato, G. Ammendola "Analysis

of Nb Josephson junction properties under optical irradiation", Int. J. Modern Physics B (1999), in press

V. Lacquaniti, E. Monticone, R. Steni, M. Rajteri, M. L. Rastello, L. Parlato, G. Ammendola "Niobium Josephson junction bolometers for optical detection in the VIS-IR region", IEEE Trans. Appl. Supercond. (1999), in press

G. Ammendola, G. P. Pepe, G. Peluso, A. Barone, L. Parlato, E. Esposito, E. Monticone, M. Rajteri "Non-equilibrium experiments in LTS Josephson double tunnel devices", IEEE Trans. Appl. Supercond. (1999), in press

P. Mandracci, F. Giorgis, C. F. Pirri, M. L. Rastello "Large area and high sensitivity a-Si:H/a-SiC:H-based detectors for visible and UV light", Rev. Scientific Instruments (1999), in press

#### Istituto di Fisica Cosmica (IFC-CNR) – Milano

P. Bergamini P., P. Pizzolati, M. Uslenghi, "ICCD pulse height distribution and time tagging", IFCTR Progress Report (1997)

P. Bergamini, G. Bonelli, S. D'Angelo, S. Latorre, L. Poletto, G. Sechi, E. G. Tanzi, G. Tondello, M. Uslenghi, "Performance evaluation of a photon counting intensified CCD", EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy, VIII Proc. SPIE, **3114**, 250 (1997)

M. Zannoni, P. Bergamini, G. Bonelli, P. Pizzolati "Superconducting Tunneling Junctions (STJ) sensor development at IFC" IFCTR Progress Report (1998)

P. Bergamini, G. Bonelli, E. G. Tanzi, M. Uslenghi, L. Poletto, G. Tondello "Characterization of a photon-counting ICCD prototype" EUV, X-ray, and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy IX, Proc. SPIE, **3445**, 630 (1998)

P. Bergamini, G. Bonelli, E. G. Tanzi, M. Uslenghi, L. Poletto, G. Tondello "A fast readout and processing electronics for photon counting ICCD's", submitted to Rev. Scientific Instruments (1998)

#### Politecnico, Dipartimento di Fisica – Torino

A. Carbone, P. Mazzetti "Temperature dependence of photoconductivity and noise in CdS based devices" Phys. Rev. B **51**, 13261 (1995)

A. Carbone, P. Mazzetti "Electronic properties of defect levels investigated by electronic noise in polycrystalline cadmium compounds." Solid State Phenom. **51-52**, 105 (1996)

A. Carbone, P. Mazzetti "Current Noise Spectroscopy of Deep Energy Levels in Photoconductors" J. Appl. Phys. **80**, 1559 (1996)

A. Carbone, P. Mazzetti, "Noise Gain in Single Quantum Well Infrared Photodetectors" Appl. Phys. Letters **70**, 28 (1997)

A. Carbone, P. Mazzetti "Grain-boundary effects on photocurrent fluctuations in polycrystalline photoconductors" Phys. Rev. B **57**, 2454 (1998)

R. S. Gonnelli, D. Puttero, G. A. Ummarino, V. A. Stepanov, F. Licci "Influence of a surface-depressed order parameter on the Josephson critical current in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  nonhysteretic break junctions", Phys. Rev. B **51**, 12782 (1995)

R. S. Gonnelli, D. Puttero, G. A. Ummarino "The intrinsic determinants of the critical current in SIS' and SIS high- $T_c$  Josephson junctions", Appl. Phys. Lett. **68**, 2433 (1996)

R. S. Gonnelli, G. A. Ummarino, V. A. Stepanov "Determination of the tunneling electron-phonon spectral function in high- $T_c$  superconductors with energy dependence of the normal density of states", Physica C **275**, 162 (1997)

R. S. Gonnelli, G. A. Ummarino, V. A. Stepanov "Tunneling spectroscopy in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  single crystal break-junctions: reproducible determination of the Eliashberg function and role of the breakdown of Migdal's theorem", Physica C **282-287**, 1473 (1997)

R. S. Gonnelli, G. A. Ummarino, V. A. Stepanov "Reproducible tunneling determination of the electron-phonon spectral function in optimally-doped Bi-2212 single crystal break-junctions", J. Physics and Chemistry of Solids (1998), in press

**Maria Luisa Rastello**

---

Firma del coordinatore del progetto  
(specificare statuto o incarico)

**Paolo Mastroeni**

---

Firma del responsabile amministrativo  
(specificare statuto o incarico)

Redatto il 30 aprile 1999



**Titolo del progetto:** REALIZZAZIONE DI GIUNZIONI SUPERCONDUTTIVE AD EFFETTO JOSEPHSON E LORO APPLICAZIONE ALLO SVILUPPO DI RIVELATORI IN REGIME DI CONTEGGIO DI FOTONI PER APPLICAZIONI ASTROFISICHE

**Coordinatore:** *Nome:* Marialuisa *Titolo:* dott. *Cognome:* Rastello  
(in sostituzione dell'ing. Vincenzo Lacquaniti, Coordinatore del 1° anno di progetto)

**Descrizione del prodotto - allegato tecnico (massimo una pagina)**

Lo IEN svilupperà da un lato la tecnologia completa dei rivelatori a giunzione Josephson Nb/Al-AlOx-(Al)/Nb ed i sistemi per la caratterizzazione elettrica di base di questi dispositivi, dall'altro i metodi di caratterizzazione di tali dispositivi superconduttivi come rivelatori per il conteggio di fotoni nell'intervallo di frequenze dall'ultravioletto all'infrarosso.

Durante i tre anni del progetto si prevede di realizzare, partendo dalla tecnologia dei multilayer di Nb e Al e dalle tecniche fotolitografiche già sviluppate in questo laboratorio, tre diverse generazioni di dispositivi.

La prima consisterà in dispositivi di area compresa tra  $20 \times 20$  e  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$  ed elettrodi di collegamento (wiring) di 5-10  $\mu\text{m}$ , depositati su substrati di vetro e silicio utilizzando il processo standard di fabbricazione e geometrie appositamente progettate. Per essere usate come rivelatori ad elevata risoluzione energetica le giunzioni Josephson devono avere una corrente di subgap estremamente bassa, dell'ordine del nA. Nel corso della caratterizzazione elettrica di base dei dispositivi fabbricati si valuterà pertanto principalmente il valore di tale corrente di subgap in funzione dei parametri di deposizione.

La seconda generazione consisterà in dispositivi in cui sia il substrato che la tecnologia di deposizione saranno ottimizzati, ad esempio usando substrati in zaffiro e sputtering dc, al fine di pervenire a superfici del film base di Nb il più possibile planari e prive di stress, essendo questi requisiti essenziali per minimizzare la corrente di subgap.

La generazione finale di dispositivi, che dovrà essere utilizzata come rivelatore per i raggi x e gli uv, sarà ottenuta con la tecnologia di deposizione precedentemente messa a punto applicata a giunzioni di geometria calcolata per avere un andamento ottimale della corrente critica in funzione del campo magnetico esterno, cioè con lobi secondari tendenti a zero. Questa è una condizione essenziale per l'uso pratico di questi dispositivi come rivelatori in regime di conteggio di fotoni.

Il secondo prodotto del gruppo dello IEN consisterà nella caratterizzazione dei dispositivi fabbricati come contatori di fotoni sulla singola lunghezza d'onda, attraverso la misura dell'efficienza quantica, della carica raccolta e del tempo di risposta. La sensibilità verrà ottimizzata con la realizzazione di uno strato antiriflesso che limiti le perdite sulla superficie della giunzione.

L'obiettivo principale del sottoprogetto IFC-CNR di Milano è quello di applicare i prototipi di rivelatori superconduttivi per osservazioni astrofisiche dai raggi x agli infrarossi. Lo sviluppo di capacità italiane, non solo nell'ambito dello sviluppo e nella fabbricazione dei dispositivi, ma anche in quello del loro utilizzo pratico come rivelatori per astrofisica è fondamentale affinché la comunità italiana possa avere accesso a questa tecnologia.

Il primo prototipo sarà costituito da una singola giunzione STJ montata in un criostato operante a 300 mK e permetterà sia misure di laboratorio in banda ottica, uv ed x, sia un test scientifico in banda ottica al fuoco di un telescopio. È previsto, poi, un secondo prototipo analogo al primo, ma costituito da un array di giunzioni.

Lo scopo del sottoprogetto del Politecnico di Torino è quello di caratterizzare strutturalmente le giunzioni mediante microscopia a forza atomica nonché di studiare, mediante analisi del rumore relativo alla corrente di tunneling nelle giunzioni realizzate nel progetto di base, i processi fisici che sono alla base della conduzione elettrica attraverso la barriera. Ciò dovrebbe permettere di ottimizzare i parametri relativi alla giunzione onde ottenere il miglior rapporto segnale-rumore per ciascun valore della temperatura e della lunghezza d'onda della luce incidente. Una parte del sottoprogetto sarà anche riservata alla caratterizzazione superconduttiva delle giunzioni in assenza di radiazione incidente mediante misure di conduttanza di tunnel di quasi-particella in funzione della temperatura e studio, anche teorico, delle proprietà della barriera e delle interfacce (effetto prossimità ed altri fenomeni di superficie) a partire dalle misure di conduttanza di tunnel.