

AGENZIA SPAZIALE ITALIANA
 Via di Villa Patrizi, 13 - 00161 ROMA
 Tel. 06-8567424 Fax 06-8567267
 E-MAIL: area_ricerca@asirom.rm.asi.it

RISERVATO ALL'ASI

(9.h)

RICHIESTA DI FINANZIAMENTO PER PROGETTO DI RICERCA (1*)

RICERCA FONDAMENTALE '97

TITOLO PROGETTO:

Rivelatore superconduttivo di singolo fotone in banda ottica

CAMPO DI RICERCA (5*) Scienze dell'ingegneria

RESPONSABILE SCIENTIFICO E COORDINATORE Maria Luisa Rastello

Istituzione o
Unita' di Ricerca

Istituto Elettrotecnico Nazionale
Galileo Ferraris

Citta'
Torino

Sottoprogetti coordinati

Responsabile di sottoprogetto

Istituzione o Unita' di Ricerca

Prof. Piero Mazzetti

Dipartimento di Fisica - Politecnico di Torino

Collaborazioni internazionali (4*) :

Personale dedicato all' intero progetto per l' anno di riferimento		Finanziamento dell' intero progetto per l' anno di riferimento	
PERSONALE	TOTALE MESI	INVESTIMENTO	90 ML
Ricercatori	18	Ricercatori	59
Tecnici	1	Tecnici	6
		FUNZIONAMENTO	50 ML
		TOTALE	140 ML



UNITA' CHE COLLABORANO ALLA RICERCA (6*) (17*)

(un foglio per ogni Unità di Ricerca)

RESPONSABILE SCIENTIFICO DEL PROGETTO O SOTTOPROGETTO

Maria Luisa Rastello

TITOLO PROGETTO

Rivelatore superconduttivo di singolo fotone in banda ottica

Per ricerca coordinata indicare:

TITOLO SOTTOPROG.**ISTITUZIONE o (3*)
Unita' di Ricerca**Istituto Elettrotecnico Nazionale *Galileo Ferraris***DIRETTORE ISTITUZ.
o Unità di Ricerca**

Dott. P. A. Mastroeni

Sigla Istituzione

I.E.N.

INDIRIZZO COMPLETO DELL' Istituzione o Unità di Ricerca:

Via - Num corso Massimo D'Azeglio, 42

TEL + 39 11 39191

Città / CAP 10125 Torino

FAX + 39 11 6507611

E-MAIL

DENOMINAZIONE UFFICIALE DELL'ENTE (2*):Istituto Elettrotecnico Nazionale *Galileo Ferraris*

SIGLA ENTE (10*) I.E.N.

cod. fisc. ENTE

01090320019

RETTORE O PRESIDENTE Prof. Sigfrido Leschiutta**INDIRIZZO COMPLETO DELL'ENTE:**

Via - Num corso Massimo D'Azeglio, 42

TEL + 39 11 39191

Città/CAP 10125 Torino

FAX + 39 11 6507611

Domande di finanziamento all'ASI

SI' NO

Finanziamento del Responsabile Scientifico	
INVESTIMENTO	70 ML
FUNZIONAMENTO	25 ML
TOTALE	95 ML

PERSONALE	TOTALE MESI
Ricercatori 10	Ricercatori 39
Tecnici 1	Tecnici 6

*Maria Luisa Rastello*Firma Respons. Scientif. del Progetto o
sottogetto

(Specificare statuto o incarico)

Il Direttore generale
*Dott. P. A. Mastroeni*Firma Respons. Amministrativo del Progetto o
sottogetto

(Specificare statuto o incarico)

UNITA' CHE COLLABORANO ALLA RICERCA (6*) (17*)
 (un foglio per ogni Unita' di Ricerca)

RESPONSABILE SCIENTIFICO DEL SOTTOPROGETTO

Piero Mazzetti

TITOLO PROGETTO

Rivelatore superconduttivo di singolo fotone in banda ottica

Per ricerca coordinata indicare:

TITOLO SOTTOPROG. Caratterizzazione strutturale delle giunzioni e analisi del rumore del dispositivo in varie condizioni operative.

ISTITUZIONE o Unita' di Ricerca (3*)

Dipartimento di Fisica-Politecnico di Torino

DIRETTORE ISTITUZ. o Unita' di Ricerca

Prof. Riccardo D'Auria

Sigla Istituzione

POLITO

INDIRIZZO COMPLETO DELL' Istituzione o Unita' di Ricerca:

Via - Num corso Duca degli Abruzzi 24

TEL + 39 11 5647342

Citta' / CAP 10129 Torino

FAX + 39 11 5647399

E-MAIL mazzetti@polito.it

DENOMINAZIONE UFFICIALE DELL'ENTE (2*):

Politecnico di Torino

SIGLA ENTE (10*) UNI

cod. fisc. ENTE

00518460019

RETTORE O PRESIDENTE Prof. Rodolfo Zich

INDIRIZZO COMPLETO DELL'ENTE:

Via - Num corso Duca degli Abruzzi 24

TEL

Citta'/CAP 10129 Torino

FAX

Domande di finanziamento all'ASI

SI

NO

Finanziamento del Responsabile Scientifico	
INVESTIMENTO	20 ML
FUNZIONAMENTO	25 ML
TOTALE	45 ML

PERSONALE	TOTALE MESI
Ricercatori 8	Ricercatori 20
Tecnici -	Tecnici -

Mazzetti
 Firma Respons. Scientif. del Progetto o
 sottoprogetto
 (Specificare statuto o incarico)

Riccardo D'Auria
 Firma Respons. Amministrativo del Progetto o
 sottoprogetto
 (Specificare statuto o incarico)

MOTIVAZIONI ED OBIETTIVI SCIENTIFICI

(fino a 5 pagine)

Negli ultimi anni si è registrato un interesse crescente per i rivelatori in grado di misurare segnali in regime di conteggio di fotoni, in campi che vanno dall'astronomia al remote imaging. La tecnica di conteggio permette, infatti, una migliore sensibilità ed una maggiore velocità della misura, discriminando singole particelle emesse per effetto di un irraggiamento continuo e di livello molto basso ($\sim 10^{-15}$ W). Inoltre la rivelazione del singolo fotone permette di lavorare con statistiche ben definite.

Attualmente in astronomia sono usati in modo diffuso i rivelatori CCD che offrono vantaggi quali l'elevata efficienza quantica, la buona linearità, e la bassa corrente di buio, ma non permettono misure in regime di conteggio. Al contrario, i contatori di fotoni disponibili sul mercato non sono competitivi per quanto riguarda linearità, efficienza e rumore. Entrambe le classi di rivelatori, però, non sono in grado di discriminare in lunghezza d'onda i fotoni in ingresso e richiedono quindi l'uso di monocromatori o filtri.

Tra i dispositivi più promettenti per superare le limitazioni dei rivelatori disponibili sul mercato vi sono senz'altro i rivelatori superconduttori ad effetto tunnel, o giunzioni Josephson. Tali dispositivi sono costituiti da due film di metallo superconduttore separati da un sottile strato di materiale isolante. A temperature inferiori a quella critica, i fotoni incidenti su uno dei film superconduttori determinano la rottura delle coppie di Cooper, generando un eccesso di quasiparticelle che è possibile rivelare per effetto tunnel mediante l'applicazione di una tensione ai capi della giunzione.

In un primo tempo l'interesse è stato rivolto all'utilizzo della giunzione come contatore di fotoni nel campo dei raggi X. Recentemente, però, è stata dimostrata la fattibilità del suo utilizzo anche nel campo dell'ultravioletto e del visibile [1].

Il principale vantaggio di questo rivelatore è quello di avere un gap di energia che è dell'ordine dei meV. Ciò implica che, nella banda ottica, il singolo fotone incidente libera uno sciame di portatori di carica liberi (quasiparticelle), il cui numero è proporzionale all'energia del fotone. Questa proprietà rende il dispositivo un contatore di fotoni intrinsecamente sensibile alla lunghezza d'onda, caratteristica unica nel panorama dei rivelatori attualmente disponibili in laboratorio. Inoltre il basso valore del gap di energia garantisce il funzionamento del rivelatore per un intervallo estremamente ampio della radiazione incidente, intervallo che si estende dai raggi X all'infrarosso.

L'efficienza quantica del dispositivo è dell'ordine del 50% ed è limitata principalmente dalle riflessioni sulla superficie. La linearità della risposta in funzione dell'energia del fotone è buona ed è determinata dai meccanismi di autoricombinazione delle quasiparticelle. La sensibilità, dell'ordine di 10^4 elettroni/eV, dipende dalle dimensioni del dispositivo. I tempi di risposta sono dell'ordine del μ s.

Il rivelatore superconduttivo ad effetto tunnel offre significativi vantaggi rispetto ai comuni rivelatori CCD a semiconduttore. Innanzitutto, nei semiconduttori convenzionali l'energia di eccitazione è confrontabile con quella dei fotoni della banda ottica e quindi non è possibile la rivelazione del singolo fotone. La giunzione Josephson non presenta le limitazioni di efficienza quantica nelle regioni dell'ultravioletto e dell'infrarosso proprie dei CCD ed inoltre, essendo intrinsecamente sensibile all'energia del fotone, permette la realizzazione di dispositivi a matrice che forniscano, oltre all'informazione spaziale, anche la distribuzione energetica del segnale. E' dunque di grande interesse poter caratterizzare questi dispositivi in modo esaustivo e curarne la realizzazione in modo da massimizzarne l'efficienza.

Il progetto qui proposto ha come obiettivo la realizzazione e la caratterizzazione di un contatore di fotoni ottenuto da una giunzione superconduttiva ad effetto tunnel funzionante alla temperatura di circa 400 mK, per l'impiego a frequenze dall'ultravioletto all'infrarosso. In particolare si intendono realizzare giunzioni ad elevata efficienza quantica e mirate alla massimizzazione della risoluzione spettrale.

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. L'emissione a banda larga della sorgente permette di disporre di coppie di fotoni correlati in un intervallo spettrale che va dalla lunghezza d'onda di pompa del cristallo (tipicamente 351 nm) all'infrarosso. La presenza di coppie di fotoni coincidenti risolte spazialmente nel cono di emissione della fluorescenza permette di conoscere il numero e la lunghezza d'onda dei fotoni in ingresso alla giunzione, con un'accuratezza superiore a quella delle tecniche finora riportate in letteratura.

[1] A. Peacock, P. Verhoeve, N. Rando, A. van Dordrecht, B. G. Taylor, C. Erd, M. A. C. Perryman, R. Venn, J. Howlett, D. J. Goldie, J. Lumley and M. Wallis, Nature 381 135 (1996).

DESCRIZIONE TECNICA E STATO DI AVANZAMENTO DEL PROGETTO

(fino a 5 pagine)

Il progetto qui proposto ha come argomento la realizzazione e la caratterizzazione di un contatore di fotoni basato su giunzioni superconduttrive ad effetto tunnel per l'impiego a frequenze dall'ultravioletto all'infrarosso.

A questo scopo per poter rivelare la quantità di carica generata dai fotoni incidenti è necessario realizzare delle giunzioni che abbiano delle bassissime correnti di perdita. Questa caratteristica è legata principalmente alle proprietà della barriera isolante della giunzione. Risulta quindi necessario poter valutare e controllare le caratteristiche di tale strato.

Un'altro aspetto importante riguarda la temperatura di funzionamento. È necessario, infatti, che la popolazione di quasiparticelle originate termicamente, che costituisce il rumore termico di fondo, sia inferiore rispetto all'eccesso di quasiparticelle generato dai fotoni incidenti. Questo viene ottenuto lavorando a temperature che sono circa 1/10 della temperatura critica.

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, che per funzionare da "trappola" deve avere un gap di energia più piccolo rispetto a quello dello strato illuminato.

Inizialmente si prevede la realizzazione di giunzioni tunnel Nb/Al/AlO_x/Al/Nb. 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 per questo tipo di giunzione e del suo comportamento sotto illuminamento a 4.2 K. Queste conoscenze permettono di ridurre i tempi di implementazione del progetto e di ottenere i primi risultati in tempi ridotti, anche se, a causa del relativo alto valore del gap del Nb, questa scelta limita il conteggio di fotoni nell'intervallo spettrale che va dall'ultravioletto a circa 500 nm. L'utilizzo dell'Alluminio come materiale per lo strato "trappola" è la conseguenza del fatto che esso viene normalmente utilizzato per realizzare lo strato isolante e presenta le caratteristiche appropriate ($T_c=1.14$ K e $\Delta=0.172$ meV) funzionare da "trappola". La temperatura di funzionamento di questo tipo di giunzione, per le ragioni sopra esposte, deve essere inferiore ad 1 K.

Le prestazioni del dispositivo dipendono sia dalla geometria che dall'area della giunzione, si prevede quindi la progettazione di maschere litografiche per la realizzazione dei dispositivi, in modo da disporre di rivelatori caratterizzati da aree e geometrie differenti. Le giunzioni Nb/Al/AlOx/Al/Nb verranno fabbricate per sputtering con basse correnti di subgap ed alta trasparenza della barriera su substrati di vetro e silicio. Se ne studierà quindi la morfologia e la struttura in funzione dei parametri di processo dei vari strati, in particolare delle interfacce. Per questo studio risulta particolarmente rilevante la possibilità di utilizzare un microscopio a scansione a forze atomiche (AFM) che consentirà l'analisi a temperatura ambiente della morfologia degli strati superconduttori ed isolanti che costituiscono la giunzione fino alla risoluzione nanometrica, nonché lo studio della regolarità e della omogeneità delle interfacce. Seguirà poi lo studio della corrente critica in funzione del campo magnetico e degli altri parametri elettrici.

Il funzionamento del dispositivo deve avvenire, come già spiegato, a temperature inferiori ad 1 K. Per questo è necessario l'utilizzo di un criostato raffreddato con He³ che consente una temperatura di esercizio di 0.30 K e la possibilità di controllare stabilmente la temperatura fino a 300 K. È richiesta 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 verrà effettuato mediante una fibra ottica, che dovrà essere opportunamente allineata mediante un sistema di microposizionamento. La misurazione verrà effettuata basandosi sulla strumentazione per il conteggio di fotoni già disponibile presso i laboratori IEN.

In una prima fase di sperimentazione verrà studiato il comportamento della corrente di tunneling di quasi-particella generata sia in assenza (Unità di ricerca I.E.N. e POLITO) che in presenza della radiazione incidente (Unità I.E.N.) in funzione degli altri parametri fisici rilevanti come la temperatura, il campo magnetico e la radiazione incidente. Il dispositivo potrà così venire 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. E' 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. La forma dello spettro di potenza del rumore e' infatti legata alle caratteristiche del cluster e puo' essere interpretata sulla base di un'espressione generale dello spettro sviluppata in un ambito diverso (A.Carbone, P.Mazzetti Phys.Rev.B, 49, 1994, 6903).

L'analisi e l'interpretazione del rumore, nonchè la caratterizzazione strutturale mediante AFM e quella superconduttriva in assenza di illuminamento verranno effettuate nell'ambito di un sottoprogetto i cui estremi sono riportati negli allegati. Verrà sviluppato un modello interpretativo del rumore analogo a quello sviluppato per dispositivi fotoconduttori sopra citato, 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 e l'utilizzo di un substrato come lo zaffiro che migliora la trasmissione nell'UV. Un significativo miglioramento dell'efficienza quantica del dispositivo può essere ottenuto riducendo le perdite per riflessione che si hanno sullo strato assorbente. Per questo occorre progettare e fabricare 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 Tantalo 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 riconbinazione 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 μm . Inoltre, avendo il Tantalo 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.

Questo progetto è di nuova attuazione ed è la prima richiesta che viene effettuata in sede ASI. Tuttavia si dispone di una buona esperienza nella caratterizzazione di rivelatori in conteggio di fotoni, dove si utilizzano tecniche avanzatissime per la determinazione dell'efficienza quantica. Inoltre si è studiata la messa a punto di una sorgente campione di numero di fotoni, eccitando la fluorescenza parametrica in cristalli nonlineari. Per quanto concerne poi la caratterizzazione di dispositivi superconduttori, è già stato studiato il comportamento in condizioni di illuminazione controllata di giunzioni Josephson di Niobio a 4.2 K.

Presso l'Unità POLITO esistono da anni competenze specifiche relative allo studio ed all'analisi del rumore in materiali semiconduttori, fotoconduttori e superconduttori ad alta T_c , nonchè relative alla spettroscopia tunnel di quasiparticella e di coppia (Josephson) in superconduttori ad alta T_c e alla microscopia STM e AFM in materiali metallici ed isolanti.

CONSISTENZA DEL GRUPPO DI RICERCA PROPONENTE (8*)
 (un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

Cognome e Nome	Ente (10*)	Qualifica (7*)	Funzioni (11*)	Tempo (12*)	Progetti ASI (15*)
Monticone Eugenio	IPU	Ricercatore	misure superconduttività	4	2
Maggi Sabino	IPU	Ricercatore	tecnologia giunzioni	25	2
Steni Raffaella	IPU	Ricercatore	tecnologia giunzioni	4	2
Rajteri Mauro	IPU	Borsista	misure superconduttività	8	-
→ Brida Giorgio	IPU	Ricercatore	misure ottiche	4	1
Rastello Maria Luisa	IPU	Ricercatore	misure ottiche	6	1
→ Lacquaniti Vincenzo	IPU	Ricercatore	misure superconduttività tecnologia	4	2
→ Mandracci Pietro	IPU	Borsista	misure ottiche	4	-
Pisoni Paolo	IPU	Tecnico	misure ottiche	6	-
→ Novero Carlo	IPU	Ricercatore	misure ottiche	2	1
Castelletto Stefania	IPU	Ricercatrice Dottoranda	misure ottiche	46	-
Rocca Fabrizio	IPU	Tecnico	tecnologia	4	
				457	

CONSISTENZA DEL GRUPPO DI RICERCA PROPONENTE (8*)
 (un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Mazzetti Piero

Cognome e Nome	Ente (10*)	Qualifica (7*)	Funzioni (11*)	Tempo (12*)	Progetti ASI (15*)
Mazzetti Piero	UNI	Prof.Ord.	analisi rumore	3	-
Gonnelli Renato	UNI	Ricercatore	caratt. giunzioni, AFM	2	-
Carbone Anna	UNI	Post-Doc	analisi rumore	3	-
Ummarino Giovanni	UNI	Post-Doc	caratt. giunzioni, modelli	2	-
Bravi Carlo	UNI	Dottorando	caratt. giunzioni,	3	-
Puttero Davide	UNI	Borsista	caratt. giunzioni, AFM	3	-
Consiglio Roberto	UNI	Tesista	caratt. giunzioni, AFM	3	-
Morello Andrea	UNI	Tesista	caratt. giunzioni	3	-
				20	

ATTREZZATURE E SERVIZI DISPONIBILI (8*)

(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

- Laser ad Argo COHERENT INNOVA 400-20 con ottiche UV e visibile.
- Radiometro criogenico RADIOX per misure di potenza in regime analogico con accuratezza $4 \cdot 10^{-5}$.
- 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
- Camera pulita di classe 100 dotata di: cappe chimiche, spinner per la deposizione del photoresist, mask-aligner per l'esposizione delle maschere e microscopio ottico (x 1000).
- Sistema di deposizione per sputtering rf-magnetron, dotato di catodi di Nb, Al, Ta₂O₅.
- Sistema di reactive-ion etching.
- Evaporatore a sorgente termica.

ATTREZZATURE E SERVIZI DISPONIBILI (8*)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Mazzetti Piero

- 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)

**SVILUPPO TEMPORALE, PIANO DI GESTIONE DELLA RICERCA
e
SVILUPPO FINANZIARIO FINO AL COMPLETAMENTO DEL
PROGETTO**

Il progetto mira alla realizzazione e caratterizzazione di rivelatori superconduttori ad effetto tunnel per l'impiego alle frequenze dall'ultravioletto all'infrarosso. Esso viene attuato principalmente presso il Galileo Ferraris di Torino e si svolgerà secondo il seguente piano temporale.

La fase numero 1 del progetto prevede la realizzazione di giunzioni tunnel al Niobio per misurare fotoni nell'intervallo spettrale che va dall'ultravioletto a 550 nm. Questa fase si articola su due anni come segue:

I anno:

- progettazione e realizzazione di maschere per dispositivi con differenti aree e geometrie, fabbricazioni di giunzioni Nb/Al/AlOx/Al/Nb per sputtering con basse correnti di subgap e alta trasparenza della barriera su substrati di vetro e silicio.
- studio morfologico e strutturale in funzione dei parametri di processo dei vari strati ed in particolare delle interfacce anche mediante microscopia a scansione a forze atomiche.
- studio della corrente critica e della conduttanza di tunnel di quasi-particella in funzione del campo magnetico e di altri parametri elettrici (I.E.N. e POLITO);
- messa in opera del sistema di misura a 400 mK, basato sull'utilizzo di un criostato raffreddato a He³.
- realizzazione dell'accoppiamento ottico della sorgente di luce con la giunzione mediante fibra ottica e sistema di controllo del posizionamento relativo;
- caratterizzazione del sistema di misura nel suo complesso;
- rilevazione ed analisi del rumore di corrente in presenza di luce ed al buio delle giunzioni sopracitate in dipendenza dalla corrente, dal campo magnetico e dalla temperatura. Confronto dello spettro di potenza del rumore con quello previsto sulla base di modelli a barriera (POLITO).

II anno:

- ottimizzazione del prototipo che comprende:
 - i) sviluppo della crescita epitassiale del Nb su zaffiro per migliorare le proprietà elettriche dello strato di base della giunzione e caratterizzazione morfologica e strutturale dei film epitassiali;

- ii) progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di uno strato antiriflesso nel visibile che permetta di incrementare l'efficienza quantica del rivelatore;
- caratterizzazione della giunzione come contatore di fotoni sulla singola lunghezza d'onda, attraverso la misura dell'efficienza, della carica raccolta e del tempo di risposta.
- studio delle proprietà di non-equilibrio del dispositivo mirato al miglioramento delle sue proprietà;
- studio della sensibilità spettrale con caratterizzazione a più lunghezze d'onda
- determinazione della sensibilità assoluta
- studio del rumore di corrente in dipendenza della lunghezza d'onda della luce incidente. Lo spettro di potenza del rumore dovrebbe essere in grado di rivelare le caratteristiche del cluster di quasi-particelle prodotto. Sulla base dei risultati sperimentali si cercherà comunque un'interpretazione del rumore con lo scopo di chiarire i meccanismi di fotoconduzione in tali giunzioni.

La seconda fase della ricerca ha come obiettivo la caratterizzazione di giunzioni al Tantalo ed è anch'essa articolata su due anni.

III anno:

- perfezionamento del modello della giunzione e confronto dei risultati sperimentali sul Niobio con le previsioni teoriche
- progettazione della giunzione a Tantalo
- messa a punto del sistema di deposizione
- realizzazione di giunzioni Ta/Al/AlO_x/Al/Ta;
- caratterizzazione morfologica ed elettrica della giunzione e caratterizzazione del sistema di misura
- estensione dello studio del rumore descritto in precedenza al nuovo tipo di giunzioni a base di Tantalo

IV anno:

- ottimizzazione e perfezionamento del prototipo al tantalio
- caratterizzazione come contatore di fotoni
- determinazione dell'efficienza quantica mediante sorgente di numero di fotoni noto a 702 nm

Gestione finanziaria

Per il progetto nel suo complesso è essenziale disporre sin dal primo anno del sistema di misura a 400 mK, basato su un criostato raffreddato a He³, senza il quale non è possibile osservare il comportamento in conteggio di fotoni. In seguito sarà necessario dotarsi di un analizzatore multicanale adeguato alle necessità di misura.

Per quanto riguarda la realizzazione dei prototipi, la tecnologia richiesta per la fabbricazione dei dispositivi basati sul Niobio è presente presso le unità operative del progetto. Nei i primi due anni occorrerà disporre dei materiali di funzionamento legati ai procedimenti realizzativi: gas, reagenti chimici, substrati ed elio liquido per le prime prove. Sono inoltre da prevedere i costi relative alle maschere per dispositivi con differenti aree e geometrie. Per ottenere la qualità dei film componibili proverebbero dolore l'impermeabilizzazione
In una filatura de... Inoltre per l'effettuare ultime incisioni perché una forza turbolenta
potrebbe risalire a quelle strutturali adattate

La realizzazione dei dispositivi al Tantalio richiede invece lo sviluppo di tecnologia adeguata: i costi ad essa relativi sono inseriti nella seconda fase del progetto. Le spese di funzionamento citate per il primo biennio si ritengono estese anche per il secondo.

RESOCONTO ATTIVITA' SCIENTIFICA NEL BIENNIO PRECEDENTE

ELENCO PUBBLICAZIONI NEL TRIENNIO PRECEDENTE (8*)

(Autori, titolo, riferimento bibliografico)

(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

S. CASTELLETTO, A. GODONE, C. NOVERO, M.L. RASTELLO: *Biphoton fields for quantum efficiency measurements.* Metrologia, Vol. 32, no 6, pp. 501-504, 1996

M.L. RASTELLO, A. PREMOLI, G. BONICATTO: *Regularized broadband filter method for spectral responsivity measurements.* IEEE Trans. on Instrumentation and Measurements, Vol. 45, no. 1, pp. 22-29, 1996

M.L. RASTELLO, A. PREMOLI: *Global design of antireflection coatings.* Proc. SPIE Symposium on Developments in Optical Component Coatings. I. Reid (ed.), Vol. 2776, pp. 10-18, SPIE - The International Society for Optical Engineering

S. CASTELLETTO, M.L. RASTELLO: *Luminous and photon standards by trap detectors.* to appear on IEEE trans. on Instrumentation and Measurements, 1997

S. CASTELLETTO, M.L. RASTELLO: *Photon flux measurements by regularized solution of a system of integral equations.* Proceed. International Euroconference Advanced Mathematical Tools in Metrology, settembre 1996

S. CASTELLETTO, M.L. RASTELLO: *Determination of Planck's constant by photon techniques.* Proceed. International Physics School "Metrology and Fundamental Physical Constants"

G. BORSA, S. CASTELLETTO, A. GODONE, C. NOVERO, M.L. RASTELLO: *Measurement of second-order optical nonlinear coefficient from the absolute radiant power of parametric fluorescence,* to appear on Optical Review , 1997

V. LACQUANITI, S. MAGGI, E. MONTICONE, R. STENI, *Thickness dependence of electrical and structural properties of Nb thin films,* Phys. Stat. Sol. (a) 151 (1995) 335-344

V. LACQUANITI, S. MAGGI, E. MONTICONE, R. STENI, *Properties of rf sputtered Nb/Al-AlOx/Nb Josephson SNAP junctions,* IEEE Trans. Appl. Superconduct. 6 (1996) 24-31.

D. ANDREONE, V. LACQUANITI, S. MAGGI, E. MONTICONE, R. STENI, *Magnetic Field Behavior of Vertical Stacks of Josephson Junctions with Large Idle Regions,* to appear on IEEE Transactions on Appl. Supercond.

V. LACQUANITI, S. MAGGI, E. MONTICONE, AND R. STENI, *Analysis of the Interfaces of Stacked Josephson Junctions by Atomic Force Microscopy,* to appear on IEEE Transactions on Appl. Supercond.

S. MAGGI, *Step width enhancement in a pulse-driven Josephson junction,* Journ. of Appl. Phys., 79 (1996) 7860-3

E. MONTICONE, S. MAGGI, R. STENI, V. LACQUANITI, M. RAJTERI AND M.L. RASTELLO, *Light Irradiation of Stacked Josephson Junctions,* to appear on Proceed. ISEC (1997)

V. LACQUANITI, S. MAGGI, R. STENI, E. MONTICONE, M. RAJTERI AND M.L. RASTELLO, *Experiments on Nb Josephson Junctions for Optical Detection,* to appear on Proceed. EUCAS (1997)

RESOCONTO ATTIVITA' SCIENTIFICA NEL BIENNIO PRECEDENTE

ELENCO PUBBLICAZIONI NEL TRIENNIO PRECEDENTE (8*)

(Autori, titolo, riferimento bibliografico)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Piero Mazzetti

- A.CARBONE and P.MAZZETTI
Temperature dependence of photoconductivity and noise in CdS based devices
Phys. Rev. B, **51**, (1995) 13261
- A.CARBONE and P.MAZZETTI
Electronic properties of defect levels investigated by electronic noise in polycrystalline cadmium compounds.
Solid State Phenom., **51-52**, (1996) 105
- A.CARBONE and P.MAZZETTI
Current Noise Spectroscopy of Deep Energy Levels in Photoconductors
J.Appl.Phys., **80**, (1996) 1559
- A.CARBONE and P.MAZZETTI
Noise Gain in Single Quantum Well Infrared Photodetectors.
Appl. Phys. Letters ,**70**, (1997) 28
- R.S. GONNELLI, D. PUTTERO, G.A. UMMARINO, V.A. STEPANOV and F. LICCI
Influence of a surface-depressed order parameter on the Josephson critical current in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ nonhysteretic break junctions, Phys. Rev. B **51**, 12782, 1995.
- R.S. GONNELLI, D. PUTTERO, G.A. UMMARINO and V.A. STEPANOV
Temperature dependence of the Josephson critical current in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ break junctions, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, **5**, 2539, 1995.
- R.S. GONNELLI, D. PUTTERO and G.A. UMMARINO
The intrinsic determinants of the critical current in SIS' and SIS high-Tc Josephson junctions, Appl.Phys. Lett., **68** (17), 2433, 1996.
- R.S. GONNELLI, G.A. UMMARINO and V.A. STEPANOV
Determination of the tunneling electron-phonon spectral function in high-Tc superconductors with energy dependence of the normal density of states, Physica C, **275**, 162, 1997.
- R.S. GONNELLI , G.A. UMMARINO and V.A. STEPANOV
Tunneling spectroscopy in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ single cristal break-junctions: reproducible determination of the Eliashberg function and role of the breakdown of Migdal's Theore
Physica C, 1997, in press.

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DEL PROGETTO (8*) (16*)

Dovra' contenere la descrizione sintetica degli obiettivi e dei risultati attesi
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

Il progetto mira alla realizzazione e caratterizzazione di rivelatori superconduttori di singolo fotone per l'impiego a frequenze dall'ultravioletto all'infrarosso.

Il primo obiettivo è la realizzazione di giunzioni Nb/Al/AlOx/Al/Nb per il conteggio di fotonî nell'intervallo spettrale che va dall'ultravioletto a 550 nm. Per questi dispositivi si realizzeranno le maschere con differenti aree e geometrie, e si fabbricheranno le giunzioni per sputtering, con basse correnti di subgap e alta trasparenza della barriera, su substrati di vetro e silicio. I dispositivi ottenuti verranno poi caratterizzati come contatori di fotonî 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.

Il secondo prodotto è la realizzazione e la caratterizzazione di giunzioni Ta/Al/AlOx/Al/Ta, che permettono la rivelazione di fotonî nell'intervallo di lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso sino a 2 μm . Si dovrà, in questo caso mettere a punto il sistema di deposizione e se ne determinerà l'efficienza quantica mediante un metodo originale basato sulla realizzazione di una sorgente di numero di fotonî noto a 702 nm.

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DEL PROGETTO (8*) (16*)

Dovra' contenere la descrizione sintetica degli obiettivi e dei risultati attesi
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Piero Mazzetti

Lo scopo di questo sottoprogetto e' quello di caratterizzare strutturalmente le giunzioni mediante microscopia a forza atomica nonche' 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. Cio' 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.

PREVISIONE DI SPESA PER L'ANNO 1997 (8*)
 (Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

	Importo (ML)
Investimento (13*)	
Sistema di raffreddamento a 400 mK, con criostato a He ³	70 ML
	Tot. INV.
	70 ML
Funzionamento gas, reagenti chimici, substrati ed elio liquido maschere per dispositivi	12 ML 8 ML
MATERIALI E SERVIZI	20 ML
COLLABORAZIONI	_____
SPESE DI CALCOLO	_____
CONTRATTI INDUSTRIALI	_____
MISSIONI	5 ML _____
	Tot. FUNZ.
	25 ML
TOTALE	95 ML

PREVISIONE DI SPESA PER L'ANNO 1997 (8*)
 (Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Piero Mazzetti

	Importo (ML)
Investimento (13*) (Allegare offerte ove possibile)	
Oscilloscopio digitale veloce	20
	Tot. INV.
	20
Funzionamento (Allegare elenco motivato e costi singoli)	
MATERIALI E SERVIZI	5
COLLABORAZIONI	15
SPESE DI CALCOLO	
CONTRATTI INDUSTRIALI	
MISSIONI	5
	Tot. FUNZ.
	25
TOTALE	45

FINANZIAMENTI ASI
Quadro economico relativo all'intero programma
(in ML)

ANNO	I ANNO	II ANNO	III ANNO	IV ANNO	V ANNO
<u>INVESTIMENTO</u>	90 ML	60 ML	40 ML	20 ML	
<u>FUNZIONAMENTO</u>					
Materiali e servizi	25 ML	25 ML	40 ML	50 ML	
Collaborazioni	15 ML	15 ML	15 ML	15 ML	
Spese di calcolo					
Contratti industriali					
Missioni	10 ML	10 ML	10 ML	5 ML	
TOTALE	50 ML	50 ML	65 ML	70 ML	
<u>TOTALE</u>	140 ML	110 ML	105 ML	90 ML	

TRADUZIONE IN INGLESE DELLE MOTIVAZIONI ED OBIETTIVI SCIENTIFICI

(fino a 5 pagine)

Photon counters are now on the spot for applications ranging from astronomy to remote imaging, as photon counting is more sensitive and faster than traditional approaches for the detection of very low signals ($\sim 10^{-15}$ W). Further, unlike other detection schemes, the statistics and the errors of single-photon detection are well defined.

CCD detectors are widely used in astronomy at the moment, because of their high quantum efficiency, good linearity and low dark current, but they are not suitable for photon counting. On the contrary, photocounters on the market cannot compete as to linearity, efficiency ad noise. Last but not least, both types of detectors are not sensitive to the wavelength of the incoming photons, thus requiring monochromators or filters.

Superconducting tunnel junctions, or Josephson junctions, have been proved very promising to overcome these limitations. They are constituted by two films of a superconducting metal with an insulating thin film in-between. At temperatures below the critical one, photons incident on the superconducting film break Cooper pairs, thus generating a quasiparticle stream detectable by tunnel effect when a voltage is applied to the junction. At the beginning, tunnel junctions have been considered as photon counters for X rays only, but recently they have been proved useful in the UV and visible region, too [1].

The main advantage is an energy gap of some meV, so that an optical photon generates a number of quasiparticles proportional to the photon energy. This property makes this photon counter unique as intrinsically sensitive to the wavelength: no other detector shows this capability at the moment. Moreover, the low energy gap allows the junction to detect photon over a wide spectral band, from infrared to X rays.

The quantum efficiency is very high (~ 50 %) and limited by reflections from the front surface only. Linearity is good and dominated by the recombination mechanisms of quasiparticles. The sensitivity is about 10^4 electrons/eV, depending on the size of the detector. Response time is some μ s.

Superconductive tunnel junctions show significative advantages with respect to common semiconductive devices like CCDs. First, conventional semiconductors cannot detect single photons as their excitation energy is comparable with the energy of optical photons. Further, tunnel junctions have no limitation in quantum efficiency for UV or IR signals whereas CCDs are severely limited. Last, junctions are intrinsically sensitive to the photon wavelength, thus allowing matrix devices to monitor not only the spatial information but also the spectral distribution of the signal.

These are the reasons why scientists are well interested to realise and characterise these new devices, in order to maximise their performances.

The aim of the here proposed project is the realisation and characterisation of superconductive tunnel junctions at 400 mK as photocounters in the wavelength range from ultraviolet to infrared. In details, tunnel junction will be realised with high quantum efficiency and enhanced spectral resolution.

- Absolute quantum efficiency will be measured 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.

- [1] A. Peacock, P. Verhoeve, N. Rando, A. van Dordrecht, B. G. Taylor, C. Erd, M. A. C. Perryman, R. Venn, J. Howlett, D. J. Goldie, J. Lumley and M. Wallis, Nature 381 135 (1996).

FONDI DI FINANZIAMENTO NON ASI (8*)

(CNR, MPI 40% 60% , Progetti Speciali, Contratti di altri Enti) (14*)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Maria Luisa Rastello

I fondi richiesti inerenti il tema specifico non gravano su fondi di finanziamento diversi da quello in oggetto. così come i temi attinenti l'area scientifica di questo progetto non interessano altri accordi di collaborazione.

I firmatari assicurano che tutte le informazioni fornite nell'intera domanda corrispondono a verita'

Fatto a : Torino

il: 25 giugno 1997

Maria Luisa Rastello

Firma Responsabile Scientifico

(Specificare statuto o incarico)

Il Direttore generale

P. A. Mastroeni

Firma Responsabile Amministrativo

(dott. P. A. Mastroeni)

(Specificare statuto o incarico)

FONDI DI FINANZIAMENTO NON ASI (8*)

(CNR, MPI 40% 60% , Progetti Speciali, Contratti di altri Enti) (14*)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Piero Mazzetti

I fondi richiesti inerenti il tema specifico non gravano su fondi di finanziamento diversi da quello in oggetto. così come i temi attinenti l'area scientifica di questo progetto non interessano altri accordi di collaborazione.

I firmatari assicurano che tutte le informazioni fornite nell'intera domanda corrispondono a verita'

Fatto a : Torino il: 25 giugno 1997

V Mazzetti

Firma Responsabile Scientifico

(Specificare statuto o incarico)

M. Serafini

Firma Responsabile Amministrativo

(Specificare statuto o incarico)