

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5

Struttura
MILANO

Ricercatore
responsabile locale: Carlo Fiorini

e-mail: carlo.fiorini@polimi.it

Rappresentante Nazionale: Carlo Fiorini

Struttura di appartenenza: MILANO

Posizione nell'I.N.F.N.: Ricercatore

e-mail: carlo.fiorini@polimi.it

PROGRAMMA DI RICERCA

A) INFORMAZIONI GENERALI

Linea di ricerca	Sviluppo di una nuova gamma camera per oncologia basata sull'uso di una matrice integrata di Rivelatori a Deriva a Semiconduttore
Laboratorio ove si raccolgono i dati	Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione
Acceleratore usato	
Fascio (sigla e caratteristiche)	
Processo fisico studiato	
Apparato strumentale utilizzato	Strumentazione CAD per simulazione e disegno di dispositivi e circuiti elettronici. Strumentazione da laboratorio per caratterizzazione di rivelatori e circuiti elettronici.
Sezioni partecipanti all'esperimento	Milano
Istituzioni esterne all'Ente partecipanti	Max Planck Institut (Monaco, Germania), Brookhaven National Laboratory (USA), TESRE (CNR Bologna), IFCTR (CNR, Milano), UCSD (Universita' della California, San Diego).
Durata esperimento	3 anni

B) S C A L A D E I T E M P I : piano di svolgimento

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
2002	Nel corso del I anno dell'esperimento, l'attivita' prevista riguardera': 1) lo studio dell'architettura della Gamma Camera, 2) il disegno e la realizzazione della matrice integrata di SDD e di alcune strutture di test per la tecnologia, 3) la progettazione di un primo prototipo di circuito integrato per la lettura dei segnali.
2003	Nel II anno si prevede: 1) la sperimentazione della prima matrice prodotta, 2) il disegno e la realizzazione della versione definitiva del rivelatore, 3) il disegno, la realizzazione ed il test del prototipo definitivo dell'elettronica integrata, 4) la realizzazione della ceramica del rivelatore e del supporto del sistema di rivelazione, 5) la progettazione e realizzazione dell'elettronica di acquisizione
2004	Nel III anno si prevede: 1) l'assemblaggio completo della Gamma Camera, 2) la sua sperimentazione in laboratorio con l'elettronica di acquisizione, 3) la sperimentazione sul campo in misure di caratterizzazione (eventuali test clinici)

Struttura
MILANO

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5
Resp. loc.:	Carlo Fiorini

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2002

In kEuro

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
							Parziali	Totale Compet.	
Viaggi e missioni	Interno	Collaborazioni, riunioni INFN					2,0	2,0	
	Estero	Collaborazioni con MPI (Germania) e UCSD (USA)					9,0	9,0	
Materiale Consumo	Contributo spese di realizzazione dei rivelatori					50,0	65,0		
	Realizzazione primo prototipo di circuito integrato					10,0			
	Componenti, circuiti elettronici per test					5,0			
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	Sun workstation					6,0	10,5		
	Generatore di funzioni d'onda					2,0			
	Due alimentatori stabilizzati					2,5			
Costruzione Apparati									
Totale							86,5		
Note:									

Struttura
MILANO

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5
Resp. loc.:	Carlo Fiorini

ALLEGATO MODELLO EN 2

a) Materiale inventariabile

- Unità di calcolo SUN workstation. Tale unità si rende necessaria essenzialmente per tre scopi: 1) simulazioni tramite codici Monte Carlo per lo studio teorico della Gamma Camera, 2) disegno del layout della matrice di rivelatori, 3) progettazione e disegno dei circuiti integrati front-end. Il costo previsto per una Sun workstation 'ultra 10' è di 6 K euro.
 - Generatore di funzioni d'onda per il test dell'elettronica (HP 33120A). Il costo previsto è di 2 K euro.
 - Due alimentatori stabilizzati per il test dell'elettronica (ELIND). Il costo previsto è di 2.5 K euro.

b) Materiale di consumo

- Contributo per le spese di realizzazione dei rivelatori presso il Max Planck Institut. Si prevede la realizzazione di alcune strutture di test dei nuovi processi tecnologici (implementazione strati anti-riflesso, doppia metallizzazione). Inoltre, è prevista la produzione di due matrici integrate di SDD con JFET integrato, di circa 2*2 cm² di area ciascuno. Il costo previsto è di 50 K euro.
 - Realizzazione del primo prototipo di circuito integrato per la lettura dei segnali. E' previsto un run con la tecnologia 1µm/5V JFET/CMOS del Fraunhofer-Institut di Duisburg (Germania). Il costo previsto è di 10 K euro.
 - Componenti, circuiti stampati, scheda di acquisizione per il test dell'elettronica integrata. Il costo previsto è di 5 K euro.

c) Missioni estere

Sono previste: due missioni a Monaco di Baviera per due persone (costo stimato per la singola missione 1 K euro) per un totale di 4 K euro, una missione per due persone negli Stati Uniti (Università della California, San Diego) (costo stimato per la singola missione 2.5 K euro) per un totale di 5 K euro. La spesa totale prevista è pertanto di 9 K euro.

d) Missioni italiane

Collaborazioni con gruppi di ricerca di Bologna, riunioni INFN. Stimate circa 7 missioni con un costo medio di 0.3 K euro per missione, per un totale di 2 K euro.

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5

Struttura
MILANO

PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO****In kEuro**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2002	2,0	9,0	65,0				10,5		86,5
2003	2,0	9,0	95,0				14,5		120,5
2004	1,0	9,0	25,0				5,0		40,0
TOTALI	5,0	27,0	185,0				30,0		247,0

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Mod. EN. 3

(a cura del responsabile locale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5

Struttura
MILANO

PREVISIONE DI SPESA**Piano finanziario globale di spesa****In kEuro**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2002	2,0	9,0	65,0				10,5		86,5
2003	2,0	9,0	95,0				14,5		120,5
2004	1,0	9,0	25,0				5,0		40,0
TOTALI	5,0	27,0	185,0				30,0		247,0

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5

Struttura
MILANO

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

Si veda l'allegato n°1 (drago1.pdf)

Nuovo Esperimento	Gruppo
DRAGO	5

Struttura
MILANO

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

Struttura
MILANO

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp. loc.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)

SERVIZI TECNICI			Annotazioni:
	Denominazione	mesi-uomo	

LAUREANDI e DOTTORANDI operanti nel gruppo a giugno 2001		
Cognome e Nome	Associazione	Titolo della Tesi
Perego Luca Tesi di: <u>laurea</u> in Ing. elettronica Relatore/Tutore A. Longoni	☐ SI	Sviluppo di una nuova architettura a correnti commutate per circuiti VLSI per spettroscopia Keywords
Ravelli Francesco Tesi di: <u>laurea</u> in Ing. elettronica Relatore/Tutore A. Longoni	☐ SI	Sviluppo di un circuito integrato per applicazioni spettroscopiche ad altissimi tassi di conteggio Keywords
Ravandoni Stefania Tesi di: <u>laurea</u> in Ing. elettronica Relatore/Tutore A. Longoni	☐ SI	Applicazioni di uno spettrometro portatile ad alta risoluzione Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords
Tesi di: _____ in _____ Relatore/Tutore	☐ SI	 Keywords

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp. loc.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

LAUREATI e DOTTORI di RICERCA che hanno conseguito il titolo tra luglio 2000 e giugno 2001

Cognome e Nome	Ass. INFN	Titolo conseguito		Relatore	Sbocco occupazionale (*)
Colzani Alberto	☐ SI	laurea	in	Ing. elettronica	
Titolo della tesi: Titolo della tesi: Caratterizzazione sperimentale di un circuito integrato a molti canali, composto da filtro formatore, rivelatore di picco e multiplexer, per spettroscopia X e Gamma					Industria elettronica TI
Keywords	Circuiti VLSI	Spettroscopia gamma			Altro
Buzzetti Siro	☐ SI	laurea	in	Ing. elettronica	
Titolo della tesi: Titolo della tesi: Spettroscopia X con matrici di rivelatori: sviluppo di un sistema di acquisizione e filtraggio dei segnali					borsa
Keywords	Circuiti elettronici	Spettroscopia X			Altro
Delzanno Alessandro	☐ SI	laurea	in	Ing. elettronica	
Titolo della tesi: Titolo della tesi: Imaging basato su matrici bidimensionali di rivelatori a semiconduttore accoppiati ad un singolo cristallo scintillatore					Industria elettronica TI
Keywords	Scintillatori	Spettroscopia gamma			Altro
	☐ SI		in		
Titolo della tesi:					
Keywords					Altro
	☐ SI		in		
Titolo della tesi:					
Keywords					Altro
	☐ SI		in		
Titolo della tesi:					
Keywords					Altro
	☐ SI		in		
Titolo della tesi:					
Keywords					Altro
	☐ SI		in		
Titolo della tesi:					
Keywords					Altro

KEYWORDS

Keywords attività locale (a cura del responsabile locale)

Gamma Camera

Rivelatori a semiconduttore

Medicina Nucleare

Keywords attività complessiva dell'esperimento (a cura del responsabile nazionale)

Gamma Camera

Rivelatori a semiconduttore

Medicina Nucleare

(*) TD = tempo determinato

TI = tempo indeterminato

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp. loc.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

SVILUPPO DI STRUMENTAZIONE INNOVATIVA e ricadute su altri gruppi, sul sistema industriale e su altre discipline

Sviluppo nel campo dei rivelatori delle tecniche nucleari

Ricaduta ☒ potenziale ☐ già riscontrata in ambito: biomedico di gruppo 5 INFNBreve descrizione
dello sviluppo e
relativa ricaduta:

La nuova Gamma Camera proposta potrà migliorare le tecniche diagnostiche ed operatorie in oncologia grazie a superiori prestazioni in termini di risoluzione, sensibilità, compattezza e facilità d'uso.

Sviluppo nel campo

Ricaduta ☐ potenziale ☐ già riscontrata in ambito:Breve descrizione
dello sviluppo e
relativa ricaduta:

Sviluppo nel campo

Ricaduta ☐ potenziale ☐ già riscontrata in ambito:Breve descrizione
dello sviluppo e
relativa ricaduta:

INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)

Percentuale del budget
(app+ inv+cons)
utilizzata per acquisto
di beni high tech: _____ %

DENOMINAZIONE	PAESE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo
campo:			☐ commessa ☐ sviluppo

commessa = acquisto di beni ad alta tecnologia

sviluppo = se l'INFN partecipa allo sviluppo dei beni acquistati

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp. Naz.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

Relatore	Tipo di presentazione	Tipo di Conferenza	Denominazione della Conferenza o dell'istituzione	Località Data
Titolo della presentazione o del seminario				
C.Fiorini	relazione su invito	conferenza internazionale	SPIE, Hard X-ray, Gamma-ray, and Neutron	
Gamma detectors for spectroscopy and imaging based on scintillators coupled to semiconductor detectors"				San Diego (USA) 31 luglio 2000
C. Fiorini	comunicazione	conferenza internazionale	2000 IEEE Nuclear Science Symposium and	
C. Fiorini, A. Longoni, F. Perotti, C. Labanti, E. Rossi, P. Lechner, and L. Strüder, " Detectors for High Resolution Gamma-ray Imaging Based on a Single Csl(Tl) Scintillator Coupled to an Array of Silicon Drift Detectors",				Lyon, France Ottobre 15-20, 2000
C. Fiorini	poster	conferenza internazionale	2000 IEEE Nuclear Science Symposium and	
C. Fiorini, A. Longoni, A. Bjeoumikhov, "A New Detection System with Polycapillary Conic Collimator for High-Localized Analysis of X-ray Fluorescence Emission"				Lyon, France Ottobre 15-20, 2000
C. Fiorini	comunicazione	conferenza internazionale	1st Topical Symposium on "Functional Breast	
C. Fiorini, A. Longoni, "Gamma-ray imaging detectors based on silicon drift detectors arrays coupled to a single scintillator",				Roma 20 Aprile, 2001

Percentuale di presentazioni INFN su presentazioni complessive della collaborazione: **size=1 %**

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp. Naz.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

MILESTONES 2001 (concordate con i referee)		livello raggiunto alla data prevista in %
Data prevista per il completamento	Descrizione	
		%
		%
		%
		%
		%
		%
		%
		%
		%
		%
		%
Commento al conseguimento delle milestones		
MILESTONES PROPOSTE PER IL 2002		
Data completamento	Descrizione	
	per i milestones si veda l'allegato "drago1.pdf"	

Codice	Esperimento	Gruppo
	DRAGO	5
Resp.Naz.:		Carlo Fiorini

Struttura
MILANO

REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento
Rosso Valeria	
Russo Paolo	

LEADERSHIPS INFN NEL PROGETTO

(solo per collaborazioni internazionali o inter Enti)

Cognome e Nome	Struttura	Funzioni svolte

Percentuale posizioni di leadership INFN su numero totale posizioni _____ %

Percentuale budget INFN su budget totale _____ % Percentuale partecipanti INFN su partecipanti totali _____ %

COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

Esperimenti in competizione

Comitati internaz. che vagliano
l'esperimento:**Elenco delle pubblicazioni più significative nel periodo luglio 2000
giugno 2001**

Nome primo autore	Titolo della pubblicazione	Numero	Pagine	Data
Rivista				
C.Fiorini	"Gamma detectors for spectroscopy and imaging based on scintillators coupled to semiconductor detectors", invited paper, Proc. SPIE, Hard X-ray, Gamma-ray, and Neutron Detector Physics II"	4141	97-110	2000
C. Fiorini	" First Prototype of a Gamma-Camera Based on a Single CsI(Tl) Scintillator Coupled to a Silicon Drift Detector Array ", IEEE Trans. on Nucl. Sci.		1928-1932	December 2000
C.Fiorini	A Monte Carlo Optical Code for the Study of Gamma Cameras Based on a Scintillator Read out by a Silicon Photodetector Array", IEEE Trans. on Nucl. Sci		1911-1917	October 2000
C. Fiorini	"Sub-millimeter resolution in 1D position measurements of g photons by using a CsI(Tl) scintillator coupled to a linear array of Silicon Drift Detectors", Review of Scientific Instruments	71	2979-2983	August 2000
C. Fiorini	"Single-side biasing of Silicon Drift Detectors with homogeneous light entrance window", IEEE Trans. on Nucl. Sci	47	1691-1695	August 2000

DRAGO

5

Carlo Fiorini

MILANO

nuovo

STR.	ESPERIM.	Missioni interno	Inviti ospiti stran.	Missioni estero	Mater. di Cons.	Spes Sem	Tras. e Fac.	Pub. Scien.	Spese Calc	Aff. e Manut. App.	Mater. invent.	Costruz. apparati	TOTALE
MILANO	Personale												
	Ricercatori		7,0	Tecnologi			Tecnici			Servizi mesi uomo			
	FTE		2,8	FTE			FTE						
	Rapporti (FTE/numero) Ricercatori 0,40 Ricercatori+Tecnologi 0,40												
	DRAGO	2		9	65						10.5		86.5
	di cui sj												
	Totali	2		9	65						10.5		86.5
	di cui sj												
	Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi) 30,89												
TOTALI													
Totali		2		9	65						10.5		86.5
di cui sj													
Confronto con il modello EC4													
Mod. EC4 dati													
Totali-Dati EC4		2,0		9,0	65,0						10,5		86,5
Personale													
Ricercatori		7,0	Tecnologi			Tecnici			Servizi mesi uomo				
FTE		2,8	FTE			FTE							
Rapporti (FTE/numero) Ricercatori 0,40 Ricercatori+Tecnologi 0,40													
Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi) 30,89													

Allegato n°1

Esperimento DRAGO INFN Gr.V

(DRift-detectors-Array based Gamma camera for Oncology)

Sviluppo di una nuova gamma camera per oncologia basata sull'uso di una matrice integrata di Rivelatori a Deriva a Semiconduttore

A) Motivazioni dell'esperimento

a) Il problema diagnostico

L'uso di Gamma Camere compatte per la localizzazione dei traccianti radioattivi concentrati nei tessuti sta acquisendo un sempre maggiore interesse nella diagnostica e chirurgia dei tumori. Lo sviluppo di dispositivi per imaging gamma dotati di migliore risoluzione spaziale, sensibilità nonché di ridotte dimensioni ed ingombro rispetto alle Gamma Camere convenzionali, è alla base di un possibile miglioramento delle prestazioni fornite dalle attuali tecniche diagnostiche.

In particolare, molto interesse è stato dimostrato recentemente allo sviluppo di nuove sonde gamma per uso intra-operatorio. Queste sonde possono essere utilizzate, ad esempio, nell'analisi dei linfonodi presenti nella regione ascellare prima o durante la rimozione del tumore alla mammella. L'interessamento o meno di tali linfonodi può consentire di determinare il grado di sviluppo del tumore nonché può fornire informazioni utili per il successivo trattamento della patologia. Di particolare utilità risulta a tale proposito il concetto del linfonodo sentinella, il primo linfonodo che drena le cellule tumorali nel loro processo di diffusione nella rete linfonodale. L'identificazione e rimozione di questo linfonodo da parte del chirurgo, e la conseguente biopsia dello stesso, consente di ottenere informazioni sul grado di diffusione del tumore e, in caso questo non risulti attaccato, evita di procedere con la svuotamento degli altri linfonodi dalla zona ascellare.

La scintigrafia viene effettuata marcando con un tracciante radioattivo opportune particelle colloidali, le quali vengono iniettate nel paziente per via intradermica o sottocutanea, o direttamente nel tumore. Successivamente, le zone del tessuto in cui queste particelle si sono concentrate possono essere localizzate tramite una sonda che analizza la radiazione emessa (raggi gamma di energia pari a 140 keV se viene utilizzata la marcatura con ^{99m}Tc). Una sonda convenzionale è generalmente composta da uno o più rivelatori per raggi gamma che producono un impulso per ogni fotone rivelato, con un tasso di conteggio che cresce o diminuisce a seconda che la sonda si avvicini o allontani da una zona a maggiore concentrazione del tracciante.

La possibilità di acquisire direttamente un'immagine della distribuzione delle zone di emissione gamma potrebbe facilitare notevolmente il processo di localizzazione delle zone di concentrazione del tracciante, con tempi di monitoraggio molto più brevi. Ad esempio, questa possibilità consentirebbe di identificare linfonodi non distinguibili con un metodo basato semplicemente sull'analisi della variazione dei conteggi da un punto in cui si è posizionata la sonda ad un altro. In particolare, le principali fonti di ambiguità non facilmente superabili con l'uso delle sonde convenzionali riguardano: l'identificazione di linfonodi presenti nelle immediate

vicinanze del punto di iniezione, l'individuazione di diversi linfonodi presenti nella stessa zona, la distinzione tra il linfonodo di interesse e zone del tessuto ancora interessate dalla diffusione dei traccianti. Inoltre, una più precisa localizzazione del linfonodo nella zona di interesse consentirebbe di ridurre, se non eliminare, la portata dell'intervento chirurgico di rimozione (ad esempio semplicemente tramite l'uso di un ago aspirato, eventualmente marcato anch'esso con il radioisotopo per poterlo guidare visivamente verso il linfonodo).

In conclusione, lo sviluppo di nuova Gamma Camera di elevate prestazioni e di ingombro ridotto contribuirebbe a migliorare le prestazioni nelle tecniche della Medicina Nucleare applicate alla diagnostica e chirurgia dei tumori. In particolare, la loro implementazione in sonde intra-operatorie consentirebbe a tali dispositivi di essere dotati di capacità di "imaging" che espanderebbe notevolmente la loro applicazione nella chirurgia oncologica. Queste conclusioni sono emerse anche nel corso dei lavori del primo convegno internazionale su "Functional Breast Imaging with Advanced Detectors", tenuto a Roma dal 18 al 21 aprile 2001.

Dispositivi di questo tipo avranno una notevole applicazione non solo nella diagnostica del tumore alla mammella, ma anche in altri campi della diagnosi e chirurgia dei tumori come, ad esempio, per patologie che interessano l'intestino.

b) I rivelatori

Rivelatori di raggi gamma attualmente sviluppati per applicazioni in Medicina Nucleare sono basati su due diversi tipi di conversione del raggio gamma: rivelatori a conversione diretta del tipo CdTe, CdZnTe (CZT) e GaAs, rivelatori a conversione indiretta basati su scintillatori CsI(Tl) accoppiati a fotodiodi.

Materiali quali CdTe, CZT e GaAs sono alto Z e quindi dotati di un'elevata efficienza per la rivelazione di raggi gamma. Rivelatori basati su questi materiali possono fornire una buona risoluzione energetica (molto importante per la rivelazione dello scattering Compton prodotto nel corpo dai raggi gamma emessi dai traccianti) e sono adatti alla realizzazione di sistemi per imaging basati su matrici di pixels. Allo stato attuale dello sviluppo tecnologico di questi materiali, i dispositivi di spessore utile per una efficiente rivelazione sono caratterizzati dalla presenza nello spettro di una coda a bassa energia del picco di interesse, dovuta ai ben noti problemi di collezione della carica di segnale. Per le stesse ragioni, la capacità tecnologica di realizzare matrici di rivelatori in grado di coprire aree attive di qualche centimetro quadrato per acquisizioni di immagini gamma non sembra aver raggiunto ancora un grado di maturità consolidato, anche se una notevole attività di ricerca e sviluppo nel settore è attualmente in corso.

Rivelatori basati su CsI(Tl) accoppiati a fotodiodi (PD) sono stati recentemente utilizzati in gamma camere per Medicina Nucleare e per sonde intra-operatorie. L'uso di uno scintillatore CsI(Tl) di spessore superiore ai 5 mm consente di ottenere un'efficienza superiore al 90% a 140 keV. Per la rivelazione della luce di scintillazione, rispetto ai più convenzionali tubi fotomoltiplicatori (PMT), i PD offrono i seguenti vantaggi: un'efficienza quantica maggiore (oltre 80% contro il 20% dei PMT), una maggiore compattezza e l'utilizzo di basse tensioni di polarizzazione (questi ultimi aspetti fondamentali per la realizzazione di sonde intra-operatorie). Purtroppo il rumore elettronico dei PD rappresenta un parametro limitante delle prestazioni ottenibili con tali fotorivelatori. Questo parametro può essere notevolmente ridotto con l'utilizzo di Rivelatori a Deriva a Semiconduttore (SDD) i quali sono dotati di una bassa capacità di uscita, indipendente dall'area attiva del

dispositivo. Tali rivelatori, finora non ancora impiegati nella realizzazione di rivelatori di immagine gamma per Medicina Nucleare, possono fornire i vantaggi tipici di un PD nella rivelazione della luce di scintillazione, offrendo nel contempo migliori prestazioni grazie al ridotto rumore elettronico.

c) Scopo dell'esperimento proposto

Scopo dell'esperimento DRAGO è quello di sviluppare una nuova Gamma Camera compatta da utilizzarsi nella diagnostica e nella chirurgia dei tumori, basata sull'uso di una matrice integrata di Rivelatori a Deriva a Semiconduttore. L'utilizzo di matrici di SDD, il cui positivo impiego nella rivelazione gamma con scintillatori è stato ampiamente dimostrato nell'esperimento SCIDRA (di cui si riassumono di seguito i risultati più significativi), consentirà di realizzare un rivelatore di immagini caratterizzato da:

- 1) un'estrema compattezza e facilità di posizionamento ($\Rightarrow$ migliore risoluzione e sensibilità, maggiore insensibilità al background),
- 2) un'elevata uniformità di prestazioni delle singole unità e una notevole riduzione delle zone morte, grazie all'integrazione dell'intera matrice su uno stesso wafer,
- 3) una risoluzione di posizione inferiore al millimetro unita ad una risoluzione energetica adeguata per la reiezione dello scattering.

Le elevate capacità di imaging del rivelatore consentiranno di raggiungere un'elevata capacità di identificazione di zone di accumulo del tracciante, anche molto prossime tra loro, non ancora ottenuta con le Gamma Camere attuali. L'ingombro ridotto sarà anche garantito dall'impiego di un'elettronica integrata per la lettura dei segnali provenienti dai rivelatori. La Gamma Camera realizzata sarà sufficientemente versatile da consentirne l'impiego sia come elemento singolo (ad esempio in sonde intraoperatorie) che come elemento base in sistemi più complessi basati sulla rivelazione del singolo fotone (SPEM, SPECT). La possibilità di un impiego anche per misure di fotoni in coincidenza (PET) verrà valutata nel corso del progetto.

d) Competenze del gruppo proponente

Il Gruppo proponente questa ricerca vanta ampia esperienza nello sviluppo di rivelatori di radiazione e dell'elettronica associata. In particolare, alcuni dei proponenti hanno partecipato allo sviluppo dei rivelatori a deriva a semiconduttore fino dai giorni immediatamente successivi alla concezione originale di questo tipo di dispositivo, e più recentemente allo sviluppo di nuove applicazioni degli stessi in spettroscopia X e gamma. Il Gruppo V dell'INFN ha fortemente contribuito allo sviluppo di questo tipo di rivelatori finanziando fino dalle origini le ricerche in merito svolte da proponenti del presente progetto. Le attività di ricerca sono state svolte nell'ambito di una stabile collaborazione internazionale comprendente, in particolare, il Brookhaven National Laboratory e il Max Planck Institut di Monaco di Baviera.

Il Gruppo proponente ha già lavorato allo sviluppo di rivelatori per raggi gamma basati su rivelatori a deriva a semiconduttore e risultati positivi in tal senso sono stati ottenuti nell'esperimento SCIDRA finanziato dall'INFN. Negli ultimi anni, inoltre, il Gruppo proponente ha costantemente collaborato con il Max Planck Institut di Monaco nello sviluppo e caratterizzazione delle prime matrici integrate di rivelatori SDD con JFET integrato.

Infine, la pluriennale esperienza maturata nella progettazione dell'elettronica di acquisizione e filtraggio dei segnali provenienti dai rivelatori è stata completata

negli ultimi anni da un'attività specificatamente dedicata alla progettazione di circuiti integrati a basso rumore e bassa dissipazione di potenza per la lettura dei segnali provenienti da Rivelatori a Deriva a Semiconduttore a molti elementi.

B) Risultati significativi raggiunti nel corso dell'esperimento SCIDRA dell'INFN

Obiettivo dell'esperimento SCIDRA, iniziato nel 1998 e in conclusione nel 2001 (3 anni + 1 anno di prolungamento) è stato lo studio e la realizzazione di rivelatori per spettroscopia e imaging X e γ ottenuti attraverso l'accoppiamento di cristalli scintillatori con matrici di rivelatori a deriva a semiconduttore (SDD). Grazie al basso valore di rumore elettronico offerto dagli SDD, rispetto a fotodiodi al silicio convenzionali di pari area e spessore, i rivelatori ottenuti dall'accoppiamento scintillatore-SDD sono caratterizzati da un'elevata risoluzione spaziale, da un'elevata risoluzione energetica e da una bassa soglia di rivelazione. Ciò ne rende particolarmente interessante l'impiego in diverse applicazioni nel settore dell'astrofisica e della medicina nucleare.

Nel corso della ricerca è stato studiato inizialmente un singolo rivelatore basato su un cristallo scintillatore CsI(Tl) accoppiato con un SDD (7 mm²) con JFET integrato. A temperatura ambiente e' stata misurata una risoluzione energetica di 7.49 % a 122 keV e 4.34% a 662 keV, i migliori valori mai ottenuti con questo tipo di cristallo. Inoltre, con lo stesso prototipo e' stata misurata una soglia di rivelazione rispettivamente di circa 10 keV a 20°C e 3 keV a 0°C.

Successivamente e' stato sviluppato un primo rivelatore di posizione 1-D basato su un array lineare di 6 SDD con JFET integrato (5mm² di area per ogni unità), accoppiato ad un singolo cristallo scintillatore CsI(Tl). La determinazione della posizione d'interazione avviene tramite la misura del baricentro della carica raccolta dai singoli elementi. Con questo rivelatore è stata misurata una risoluzione spaziale pari di 0.45 mm FWHM utilizzando un collimatore di 0.3 mm di diametro ed una sorgente di ⁵⁷Co (fotoni gamma di 122 keV). La risoluzione energetica è dell'ordine di 16 % FWHM.

In seguito è stato sviluppato un primo prototipo di rivelatore gamma per misure di energia e di posizione in due dimensioni basato su di un array monolitico bidimensionale di 7 rivelatori a deriva a semiconduttore (ciascuno di area attiva pari a 5 mm²) accoppiato ad un singolo cristallo scintillatore di CsI(Tl) (1.4 mm di spessore). Con il rivelatore posto ad una temperatura di circa 0°C, è stata misurata una risoluzione spaziale pari a 0.6 mm FWHM utilizzando un collimatore di 0.3 mm di diametro ed una sorgente di ⁵⁷Co. La risoluzione energetica misurata è stata ancora di 16 % FWHM a 122 keV. Alcune prime immagini gamma sono state ottenute irraggiando il rivelatore attraverso una lamina di piombo (2 mm di spessore) su cui è stato inciso un disegno di test. L'immagine di test, seppure distorta per effetti di bordo legati alle piccole dimensioni del dispositivo, è stata riprodotta in maniera soddisfacente in tutti i suoi dettagli (< 1 mm).

La sperimentazione svolta su questo primo rivelatore monolitico, sebbene costituito da poche unità (area attiva pari a 35mm²), è risultata fondamentale in vista dello sviluppo e del test del rivelatore a 19 elementi, caratterizzato da una maggiore area attiva totale (ca. 1 cm²). Questo rivelatore, disponibile da marzo 2001, è attualmente in fase di sperimentazione ed la sua caratterizzazione concluderà l'esperimento SCIDRA.

Parallelamente allo sviluppo di rivelatori basati su matrici monolitiche di SDDs, sono stati disegnati e realizzati rivelatori SDD di grande area attiva. Un rivelatore di 30 mm² di area attiva, accoppiato con uno scintillatore CsI(Tl) ha permesso di ottenere a 0°C una risoluzione energetica pari a 8.4 % FWHM a 122 keV e una soglia di 10 keV. Un SDD di 1 cm² di area è attualmente in fase di sperimentazione.

Nel corso dell'esperimento SCIDRA è stata sviluppata un'opportuna elettronica di lettura, che permette l'acquisizione fino a 19 canali in parallelo. Essa è costituita da una sezione di "front-end" analogico (preamplificatore, shaper, discriminatore, multiplexer) realizzata in tecnologia ibrida, e da una sezione digitale di "back-end" (ADC, FIFO, logica di controllo) opportunamente interfacciata al calcolatore per l'istogrammazione dei dati (MCA di energia, MCA di posizione).

I risultati finora ottenuti nell'esperimento SCIDRA sono stati riportati nelle principali pubblicazioni qui di seguito indicate:

C.Fiorini, A.Longoni, F.Perotti, C.Labanti, P.Lechner and L.Strüder, "Gamma Ray Spectroscopy with CsI(Tl) Scintillator coupled to Silicon Drift Chamber, *IEEE Trans.Nucl.Sci.*, Vol. 44, No. 6, 2553, December 1997.

C.Fiorini, A.Longoni, F.Perotti, C.Labanti, P.Lechner and L.Strüder, "First experimental results of a new gamma-ray detector based on a Silicon Drift Chamber coupled to a Scintillator", *Nucl. Instr. and Meth.*, A 401, 395-399, 1998.

C.Fiorini, F.Perotti, C.Labanti, "Performances of a Silicon Drift Chamber as fast scintillator photodetector for γ -ray spectroscopy", *IEEE Trans.Nucl.Sci.*, Vol. 45, No. 3, 483, June 1998.

C. Fiorini, F. Perotti, C. Labanti, A. Longoni, E. Rossi, "Position and Energy Resolution of a new Gamma-ray Detector based on a single CsI(Tl) Scintillator coupled to a Silicon Drift Chamber Array", *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, Vol. 46, n° 4, 858-864, 1999.

C. Fiorini, A. Longoni, F. Perotti, " New detectors for gamma-ray Spectroscopy and Imaging, based on Scintillators coupled to Silicon Drift Detectors", *Nucl. Instr. and Meth.*, A 454, 241-246, 2000.

C. Fiorini, F. Perotti, C. Labanti, "Sub-millimeter resolution in 1D position measurements of γ photons by using a CsI(Tl) scintillator coupled to a linear array of Silicon Drift Detectors", *Review of Scientific Instruments*, Vol. 71, N. 8, pp.2979-2983, August 2000.

C.Fiorini, "A Monte Carlo Optical Code for the Study of Gamma Cameras Based on a Scintillator Read out by a Silicon Photodetector Array", *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, October, pp. 1911-1917, 2000.

C. Fiorini, A. Longoni, F. Perotti, C. Labanti, E. Rossi, P.Lechner and L.Strüder " First Prototype of a Gamma-Camera Based on a Single CsI(Tl) Scintillator Coupled to a Silicon Drift Detector Array ", *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, pp. 1928-1932, December 2000.

C.Fiorini, "Gamma detectors for spectroscopy and imaging based on scintillators coupled to semiconductor detectors", *invited paper, Proc. SPIE, Hard X-ray, Gamma-ray, and Neutron Detector Physics II*, Vol. 4141, p. 97-110, 2000.

C) Attività prevista nel corso del primo anno dell'esperimento (2002)

Nel corso del I anno dell'esperimento, l'attività prevista riguarderà: 1) lo studio dell'architettura della Gamma Camera, 2) il disegno e la realizzazione della matrice integrata di SDD nonché di alcune strutture di test per la tecnologia, 3) la progettazione di un primo prototipo di circuito integrato per la lettura dei segnali.

1) studio teorico della struttura della Gamma Camera

Verrà svolto uno studio teorico finalizzato a definire la struttura della Gamma Camera per un suo utilizzo in diverse applicazioni di imaging medicale con traccianti radioattivi. Lo studio, effettuato anche attraverso un simulatore Monte Carlo sviluppato nel precedente progetto SCIDRA, riguarderà la scelta del tipo e della struttura degli scintillatori e dei collimatori, e nella definizione dell'area e della forma ottimali dei singoli elementi della matrice integrata di SDD per la lettura degli scintillatori.

Per quanto riguarda gli scintillatori, verranno studiati sistemi basati sia su scintillatori come CsI(Tl) dotati di un'elevata emissione di luce ma che necessitano dell'uso di un elevato tempo di formatura, non ottimale per le prestazioni di rumore degli SDD, sia sistemi basati su scintillatori veloci, più compatibili con i tempi di formatura brevi, ottimali per gli SDD, ma caratterizzati da un'inferiore resa di luce. Verranno inoltre prese in considerazione le seguenti strutture: scintillatori singoli accoppiati ognuno ad un singolo SDD, un singolo scintillatore accoppiato alla matrice di SDD (schema Anger Camera convenzionale), soluzioni intermedie basate su scintillatori segmentati nella zona superiore ed con un unico diffusore della luce nella zona a contatto con la matrice.

2) disegno e realizzazione della matrice integrata di SDD

In base allo studio teorico indicato al punto precedente, verrà definito il disegno ottimale della matrice integrata di SDD da utilizzarsi. La scelta della forma e dell'area attiva di ogni singola unità, e conseguentemente del numero totale di unità necessarie a coprire l'area attiva totale del rivelatore (che sarà dell'ordine dei $2 \times 2 \text{ cm}^2$), sarà determinata dal compromesso tra diversi parametri quali la risoluzione di posizione, la risoluzione energetica ottenibili ed il numero di canali di elettronica necessari per la lettura dei segnali dai rivelatori. Ogni singolo SDD avrà un JFET, primo stadio dell'elettronica di preamplificazione, integrato in prossimità dell'anodo. Sebbene, infatti, tale scelta si sia mostrata non fondamentale nel raggiungere le migliori prestazioni nella rivelazione gamma con questi rivelatori, essa pur tuttavia rimane estremamente efficace nella minimizzazione del cross-talk tra i diversi canali e consente inoltre una semplice connessione di ogni unità con il relativo canale elettronico, aspetto importante per sistemi a molti elementi. La matrice di SDD verrà raffreddata con un piccolo stadio Peltier al fine di operare a temperature comprese tra -10° e 0° e così ridurre notevolmente il contributo del rumore elettronico legato alla corrente di buio del rivelatore. Questo aspetto è fondamentale per un'impiego del rivelatore a elevati tempi di formatura (per un uso con il CsI(Tl)) dove la componente di rumore parallelo dovuta alla corrente di buio è dominante.

Al fine di massimizzare l'efficienza della matrice di SDD e portarla a valori superiori a 80% (finora solo intorno al 70%), occorrerà implementare nella tecnologia di produzione dei rivelatori la possibilità di ottenere opportuni strati anti-riflesso.

Le matrici di SDD verranno realizzate presso il Laboratorio di Semiconduttori del Max Planck Institut di Monaco di Baviera. E' prevista la produzione di alcune strutture per il test di nuovi processi della tecnologia (strati antiriflesso, doppia metallizzazione per i contatti elettrici).

3) elettronica integrata per la lettura dei segnali

Per la lettura dei segnali provenienti dalle diverse unità del rivelatore si renderà necessaria la realizzazione di un'elettronica integrata a molti canali. I circuiti di front-end (preamplificatore, shaper e multiplexer) verranno integrati su un unico chip che verrà disposto nella testa della Gamma Camera nelle vicinanze della matrice di SDD. La parte rimanente dell'elettronica, per la polarizzazione del rivelatore e per l'acquisizione e la visualizzazione delle immagini, che si avvarrà dell'utilizzo di circuiti anche basati su microprocessore, sarà esterna e verrà collegata alla testa della Gamma Camera tramite un cavo schermato a multifili. Lo sviluppo dell'elettronica di acquisizione partirà nel corso del II anno.

Nel corso del primo anno si prevede lo studio dell'architettura generale del chip integrato, la realizzazione ed il test di un primo prototipo del circuito. Il circuito dovrà essere dotato di un preamplificatore di tensione a basso rumore da accoppiarsi con il JFET integrato sul rivelatore (operante in configurazione Source Follower) e di uno stadio formatore configurato in maniera tale da poter essere utilizzato almeno con due diversi tempi di formatura (un tempo breve, es. 1 μ s, un tempo lungo, es. 4 μ s), a seconda del tipo di scintillatore impiegato nella sistema di rivelazione. Ogni chip conterrà un elevato numero di canali le cui uscite analogiche verranno opportunamente campionate su una comune uscita dal chip tramite un multiplexer analogico. Un sistema di discriminatori a soglia ed una logica di controllo gestiranno il funzionamento del multiplexer. La logica di acquisizione dei canali sarà configurata in maniera da fornire in uscita i segnali, provenienti da diversi canali, relativi ad un medesimo evento ionizzante nel rivelatore gamma.

Milestones I anno

3 mesi	termine studio teorico e definizione della struttura complessiva del sistema
6 mesi	disegno del primo prototipo di matrice di SDD
12 mesi	realizzazione del primo prototipo di matrice di SDD, sperimentazione di eventuali strutture di test per la tecnologia (se disponibili dal costruttore), realizzazione e test del primo prototipo del chip di readout

D) Attività prevista per gli anni successivi (2003-2004)

II anno (2003)

Nella prima parte del II anno, l'attività sarà dedicata prevalentemente alla sperimentazione della prima matrice di SDD prodotta. La sperimentazione sarà effettuata sia sul solo rivelatore (caratterizzazione elettrica e spettroscopica tramite diretto irraggiamento con raggi X) che sullo stesso accoppiato ad uno o più

scintillatori. Per l'acquisizione dei segnali provenienti dalla matrice, verrà utilizzata l'elettronica di acquisizione a molti canali realizzata in tecnologia ibrida nel corso dell'esperimento SCIDRA.

Durante il test della matrice accoppiata a scintillatori, verranno sperimentate diversi tipi di collimatori. Verranno considerate griglie di collimatori paralleli (parallel-hole collimators) con diverse forme dei fori (sezione esagonale, quadrata o cilindrica) e diversi valori di larghezza dei setti e dimensione dei fori. Collimatori in Tungsteno con larghezza di cella inferiore a 0.4 mm sono, ad esempio, prodotti dalla Thermo Electron Tecomet (www.tecomet.com).

A seguito della sperimentazione del primo prototipo del rivelatore, verrà disegnato e prodotto il prototipo definitivo della matrice SDD.

Durante il secondo anno, una volta noto il layout definitivo del rivelatore, verranno disegnate e prodotte le ceramiche di supporto per la matrice SDD e per il chip di readout e verranno studiate le problematiche di connessione della matrice tramite bondings. Inoltre, verrà progettata la struttura del modulo complessivo che dovrà contenere le ceramiche del rivelatore e dell'elettronica, lo stadio Peltier per il raffreddamento del rivelatore, il connettore per fornire all'esterno i segnali all'unità di acquisizione.

Sulla base dei risultati ottenuti dalla sperimentazione del primo prototipo, verrà disegnato, prodotto e testato il chip definitivo per l'elettronica di lettura dei segnali dal rivelatore.

Infine verrà progettata e realizzata in tecnologia ibrida l'elettronica di acquisizione. Questo modulo elettronico sarà basato su un sistema di campionamento e conversione dei segnali provenienti dal multiplexer integrato, su una logica che gestisca il trasferimento dei dati su PC, e su un efficiente algoritmo di calcolo delle grandezze di interesse (posizione di interazione, energia totale dell'evento) e una successiva visualizzazione sullo schermo della distribuzione delle posizioni di interazione a seguito dell'interazione di più eventi (mappa delle concentrazioni di tracciante).

Milestones II anno

6 mesi	sperimentazione della prima matrice prodotta disegno definitivo del rivelatore
12 mesi	realizzazione della matrice definitiva di SDD realizzazione della ceramica del rivelatore e del supporto del sistema di rivelazione disegno definitivo, realizzazione e test del prototipo definitivo dell'elettronica integrata progettazione e realizzazione dell'elettronica di acquisizione

III anno (2004)

Il terzo ed ultimo anno dell'esperimento sarà dedicato all'assemblaggio e collegamento dei componenti sviluppati negli anni precedenti in un unico modulo e nel test della Gamma Camera così realizzata.

Si procederà innanzitutto con la selezione (tramite probe station) della matrice SDD precedentemente realizzata destinata ad essere montata nel modulo definitivo.

Successivamente il rivelatore verrà incollato sulla ceramica la quale verrà fissata sullo stadio di raffreddamento Peltier. Il rivelatore verrà collegato al chip di elettronica montato su un diverso supporto. Sulla faccia di ingresso del rivelatore verrà effettuato l'accoppiamento ottico con lo scintillatore (o la matrice di scintillatori) e con il collimatore. I componenti così assemblati verranno chiusi all'interno del modulo di rivelazione in atmosfera inerte e isolati dall'esterno.

Precedentemente verrà disegnato e realizzato il sistema meccanico contenente il modulo di rivelazione che sarà opportunamente progettato per rendere possibile l'utilizzo della Gamma Camera in alcune applicazioni diagnostiche che ne permettano la verifica delle effettive prestazioni.

Il sistema elettronico di acquisizione realizzato nell'anno precedente verrà sperimentato e successivamente utilizzato in un test definitivo con la Gamma Camera. Infine, è prevista una sperimentazione sul campo dello strumento così realizzato, in condizioni di misura tipiche (eventuali test clinici) per la valutazione delle prestazioni offerte in termini di risoluzione spaziale, energetica e sensibilità nonché per valutarne anche la versatilità e la facilità d'impiego.

Milestones III anno

6 mesi	assemblaggio del sistema di rivelazione e dell'elettronica di front-end, realizzazione dell'involucro meccanico dello strumento definitivo sperimentazione dell'elettronica di acquisizione
12 mesi	assemblaggio completo della Gamma Camera sperimentazione con l'elettronica di acquisizione sperimentazione sul campo in misure di caratterizzazione (eventuali test clinici)

Rischi relativi al corretto svolgimento del progetto

Si ritiene che il rischio principale per un regolare svolgimento dell'esperimento nelle modalità e nei tempi sopra indicati sia connesso alla possibilità da parte dei Laboratori del Max Planck Institut di realizzare i dispositivi nei tempi indicati (realizzazione di un primo prototipo al termine del primo anno e realizzazione di un secondo prototipo al termine del secondo anno). Infatti la fonderia del Max Planck Institut è tipicamente una struttura di ricerca caratterizzata da bassi tassi di produzione. La coda dei progetti in corso, nonché la sperimentazione di nuove tecnologie realizzative (il MPI ha trasferito nel corso del 2000 i propri laboratori in un nuovo sito, introducendo un notevole rinnovamento nelle proprie tecnologie di produzione) potrebbe ritardare i tempi realizzativi del progetto di nostro interesse. Inoltre, poichè tale Laboratorio in buona parte si autofinanzia, potrebbe essere data la precedenza a qualche progetto economicamente più remunerativo. Non essendo probabilmente ipotizzabile, da parte dell'INFN, un finanziamento autonomo e completo della realizzazione dei rivelatori richiesti per questo progetto, sarà necessario un co-partecipazione del Laboratorio stesso del Max Planck Institut alla ricerca al fine che il nostro sia solo un contributo parziale alle spese realizzative (come del resto è sempre avvenuto in nostri precedenti progetti). Il progetto qui proposto è stato già presentato ai responsabili del Laboratorio Semiconduttori del MPI. L'attesa di una convergenza positiva dei citati fattori potrebbe tuttavia provocare

ritardi al progetto INFN (come già avvenuto in passato). In tal caso sarà cura dei proponenti segnalare la situazione ai responsabili INFN.

Riteniamo comunque che, muovendosi con congruo anticipo già nel corso del 2001, un inserimento utile nei programmi di produzione del MPI possa essere trovato e conseguentemente i rischi di ritardi qui accennati possano essere limitati.

Collaborazioni

Si prevede una collaborazione per lo studio preliminare della Gamma Camera per applicazioni in Medicina Nucleare e per la sua sperimentazione con il gruppo del Dr. Craig Levin dell'UCSD (Università della California, San Diego). Inoltre verrà mantenuta la collaborazione già attiva negli anni scorsi su queste attività specifiche con l'Istituto di Fisica Cosmica del CNR di Milano e con il TESRE-CNR di Bologna. Per la sperimentazione in misure diagnostiche, è prevista la collaborazione con il Prof. Giovanni Lucignani dell'Istituto di Scienze Radiologiche dell'Università degli Studi di Milano.

Stima dei costi totali per i tre anni

Si prevedono le seguenti voci di spesa principali:

- Rivelatori (Max Planck Institut di Monaco):	
- sperimentazione della tecnologia (strati antiriflesso, doppia metallizzazione)	
- contributo alla realizzazione di matrici di SDD per la Gamma Camera (area ca. 4 cm ²)	100 K euro
- Strumentazione di laboratorio	30 K euro
- Scintillatori, collimatori	15 K euro
- Ceramiche, lavorazioni, sviluppo della struttura meccanica della Gamma Camera	25 K euro
- Sviluppo dell'elettronica integrata	30 K euro
- Sviluppo elettronica ibrida di acquisizione	15 K euro
- Missioni estere	27 K euro
- Missioni Italia	5 K euro
TOTALE (tre anni)	247 K euro

Elenco Partecipanti alla ricerca e percentuali di tempo dedicate

C. Fiorini	Ricercatore (Coordinatore)	40 %
A. Longoni	Professore Ordinario	40 %
V. Varoli	Professore Associato	40 %
A. Fazzi	Ricercatore	30 %
A. Gianoncelli	Dottoranda	50 %
F. Perotti	Ricercatore (CNR)	50 %
G. Lucignani	Professore Str. (Uni-Mi)	30 %

Responsabile della ricerca

Ing. Carlo Fiorini

Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Nucleare, CESNEF

tel. 02/23996147 fax. 02/2367604 e.mail carlo.fiorini@polimi.it

Note al piano finanziario di spesa per il 2002

a) Materiale inventariabile

- Unità di calcolo SUN workstation. Tale unità si rende necessaria essenzialmente per tre scopi: 1) simulazioni tramite codici Monte Carlo per lo studio e la definizione della struttura della Gamma Camera, 2) disegno del layout dei Rivelatori a Deriva a Semiconduttore da utilizzarsi nell'applicazione specifica, 3) progettazione e disegno dei circuiti integrati front-end.

Il costo previsto per una Sun workstation "ultra 10" è di 6 K euro.

- Generatore di funzioni d'onda per il test dell'elettronica di readout (HP 33120A).

Il costo previsto è di 2 K euro.

- Due alimentatori stabilizzati per il test dell'elettronica (ELIND).

Il costo previsto è di 2.5 K euro.

b) Materiale di consumo

- Contributo per le spese di realizzazione dei rivelatori presso il Max Planck Institut. Si prevede la realizzazione di alcune strutture di test dei nuovi processi tecnologici (implementazione strati anti-riflesso, doppia metallizzazione per facilitare le connessioni elettriche). Inoltre, è prevista la produzione di due matrici integrate di SDD con JFET integrato, di circa $2 \times 2 \text{ cm}^2$ di area ciascuno.

Il costo previsto è di 50 K euro.

- Realizzazione del primo prototipo di circuito integrato per la lettura dei segnali. E' previsto un run di produzione con la tecnologia $1 \mu\text{m}/5\text{V}$ JFET/CMOS del Fraunhofer-Institut di Duisburg (Germania).

Il costo previsto è di 10 K euro.

- Componenti, circuiti stampati, scheda di acquisizione per il test dell'elettronica integrata.

Il costo previsto è di 5 K euro.

c) Missioni estere

Sono previste: due missioni a Monaco di Baviera per due persone (costo stimato per la singola missione 1 K euro) per un totale di 4 K euro, una missione per due persone negli Stati Uniti (Università della California, San Diego) (costo stimato per la singola missione 2.5 K euro) per un totale di 5 K euro.

La spesa totale prevista è pertanto di 9 K euro.

d) Missioni italiane

Collaborazioni con gruppi di ricerca di Bologna, riunioni INFN. Stimate circa 7 missioni con un costo medio di 0.3 K euro per missione, per un totale di 2 K euro.

Spesa totale prevista per il primo anno: 86.5 K euro