

Nuovo Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

**Rappresentante Nazionale:** Salvadori Paolo

Struttura di appartenenza: Perugia

Posizione nell'I.N.F.N.: Inc.di Ricerca

Ricercatore responsabile locale: Salvadori Paolo

## PROGRAMMA DI RICERCA

### A) INFORMAZIONI GENERALI

<b>Linea di ricerca</b>	Dosimetria Neutronica
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	LENA, Univ.Pavia - Univ.Perugia - Univ.Palermo LNL, LNS
<b>Acceleratore usato</b>	TRIGA MARK II , Pavia - LINAC per Radioterapia ARNAS, Palermo- LINAC Saturno e Primus , Perugia
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	Colonna termica $\phi_{Th} = 10^{13} - 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Fotoni 18 MV - elettroni 21 MeV - protoni 7-70 MeV
<b>Processo fisico studiato</b>	$^{10}\text{B} (n,\alpha) ^7\text{Li}$ - $^6\text{Li} (n,\alpha)^3\text{H}$ - Scattering n-p Scattering n-p su monomeri e polimeri
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	TLD - SSNTD - Microscopio a forza atomica e a lettura tridimensionale
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	Perugia - Catania
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	LENA , Univ.Pavia Servizio di Fisica Sanitaria , ARNAS Palermo Regione dell'Umbria
<b>Durata esperimento</b>	2 Anni

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

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
2001	Realizzazione sistemi dosimetrici e prime misure
2002	Completamento misure e messa a punto definitiva dei sistemi dosimetrici

**Struttura**
**PERUGIA**
**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO**
**2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	Missioni a Palermo e a Pavia					2	2	
	Estero								
Materiale Consumo	Rivelatori					3	3		
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiat.									
Materiale Inventariabile									
Costruzione Apparati									
<b>Totale</b>							<b>5</b>		
Note:									

Nuovo Esperimento	Gruppo
Dosine	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

**ALLEGATO MODELLO EN 2**

Il gruppo dispone, in sede , di tutta la strumentazione necessaria , grazie ai finanziamenti avuti sia dall'INFN per precedenti esperimenti, sia dal cofinanziamento Murst-Univ. di Perugia per un programma nazionale di caratterizzazione dosimetrica in chiusura nel 2000. Le richieste attuali all'INFN si limitano, quindi, a finanziamenti per missioni a Pavia, dove i dosimetri verranno esposti al reattore TRIGAMARK II , e a Palermo per la necessaria collaborazione con quel gruppo oltre che l'acquisto di TLD e di SSNTD. Alcune altre spese (postali, cancelleria,..) dovranno gravare sulle dotazioni di gruppo.

Nuovo Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

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

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	2		3						<b>5</b>
2002	2		1						<b>3</b>
<b>TOTALI</b>	<b>4</b>		<b>4</b>						<b>8</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:  
 La previsione di spesa e l'attività prevista sono congrue con le disponibilità di personale e di attrezzature.  
 Si sottolinea che l'esperimento chiede una minima utilizzazione dei servizi tecnici.

**Mod. EN. 3**

(a cura del responsabile locale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

## PREVISIONE DI SPESA

### Piano finanziario globale di spesa

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	7	5	7						<b>19</b>
2002	6		3						<b>9</b>
<b>TOTALI</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>10</b>						<b>28</b>

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

## **PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO**

V.ALLEGATO N. 1

Nuovo Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

**PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO**





Codice	Esperimento	Gruppo
	Dosine	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

### REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento

### MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001

Data completamento	Descrizione
Giugno 2001	Realizzazione dosimetro ESR a stato solido arricchito con <sup>10</sup> B
Dicembre 2001	Analisi spettri ESR in dosimetri irradiati con neutroni. Analisi tridimensionale tracce in SSNTD

### COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

Si tratta di complessi dosimetrici di nuova concezione e pertanto "unici" nel loro genere.

### LEADERSHIPS NEL PROGETTO

Cognome e Nome	Funzioni svolte
Salvadori Paolo	Coordinatore Nazionale e locale (Perugia)
Bartolotta Antonio	Coordinatore locale (Palermo)

Esperimento	Gruppo
DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>PERUGIA</b>

**ALLEGATO 1**

## PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

## DOSINE

(Dosimetria neutronica in radioterapia e in radioprotezione)

## 1. Premessa

I neutroni, così come i fotoni, sono indirettamente ionizzanti, e pertanto la dose assorbita nel mezzo irradiato con un fascio di neutroni dipende dalla fluensa delle particelle cariche secondarie direttamente ionizzanti prodotte dalla interazione dei neutroni con i nuclei del mezzo; tale fluensa, e le caratteristiche energetiche delle particelle cariche, dipendono dalla fluensa e dalla energia dei neutroni, poiché da essa dipende in particolare la probabilità di interazione neutroni-mezzo. A differenza della radiazione elettromagnetica, le cui interazioni con il mezzo attraversato danno luogo sostanzialmente a elettroni e fotoni, i meccanismi di interazione neutroni-mezzo producono, oltre a fotoni di diversa energia, una grande varietà di nuclei di rinculo e di particelle cariche subatomiche, che depositano la loro energia nel mezzo in modi diversi.

La dosimetria dei neutroni presenta, dunque, maggiori problemi della dosimetria della radiazione elettromagnetica, in particolare perché:

- la probabilità di interazione dei neutroni con la materia dipende, molto più rispetto ai fotoni, dal numero atomico del materiale attraversato e dall'energia dei neutroni; l'equivalenza fra il materiale dosimetrico e il mezzo nel quale si vuole determinare la dose assorbita deve essere, dunque, molto più stretta (in particolare per quanto riguarda il contenuto di idrogeno);
- anche nella ipotesi di un fascio primario di soli neutroni, nel mezzo si è sempre in presenza di un campo di radiazione misto  $n, \gamma$ . E' dunque necessario, sia in radioterapia con neutroni, sia in radioprotezione, disporre di un sistema dosimetrico in grado di discriminare e misurare separatamente i diversi contributi alla dose dovuti ai due tipi di radiazione (fotoni e neutroni), in considerazione anche della loro diversa Efficacia Biologica Relativa (RBE).

Scopo del progetto DOSINE per il quale si richiede il finanziamento è di svolgere attività di ricerca sulla dosimetria per fasci di neutroni, e di sviluppare e mettere a punto nuovi sistemi dosimetrici a stato solido da impiegare a tale scopo.

## 2. Ricerca e sviluppo di dosimetri a stato solido per fasci di neutroni impiegati in radioterapia

Per gli scopi della radioterapia un dosimetro per neutroni deve avere caratteristiche specifiche, e, in particolare, tessuto equivalenza, dimensioni dell'ordine del  $\text{mm}^3$ , incertezza complessiva nelle misure di dose contenuta entro 3%, capacità di determinare sperimentalmente i contributi alla dose assorbita dovuti ai neutroni e ai fotoni gamma che li accompagnano.

Nell'ambito dell'esperimento DOGANE relativo alla Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) è già stato realizzato un sistema dosimetrico con le caratteristiche richiamate, attraverso l'accoppiamento di dosimetri a termoluminescenza (TLD) di  $^6\text{LiF}$  e di  $\text{BeO}$ . Tale sistema dosimetrico si è mostrato efficace (1) in un ampio intervallo di dose gamma equivalente (da  $40 \text{ mJ kg}^{-1}$  a  $30 \text{ J kg}^{-1}$  per neutroni, da  $10 \text{ mJ kg}^{-1}$  a  $20 \text{ J kg}^{-1}$  per fotoni gamma) con un'incertezza dell'ordine del 5%, e quindi leggermente superiore al valore richiesto del 3%, ma che è sembrata al momento adeguata, tenuto conto che la BNCT in Italia è ancora in una fase sperimentale iniziale. Tuttavia è importante nel prossimo futuro riuscire a raggiungere un'incertezza minore, ed è questo uno degli scopi che ci si prefigge con l'esperimento qui proposto, anche tramite lo sviluppo di un altro sistema dosimetrico a stato solido, basato sulla risonanza di spin elettronico (ESR)<sup>(2)</sup>, in collaborazione con il gruppo di ricerca in Fisica Medica dell'Università di Palermo, che possiede già esperienze in tale settore, utilizzando come rivelatore alanina o tartrato d'ammonio<sup>(3,4)</sup>. I dosimetri a stato solido realizzati sono in forma di cilindri di diametro 4.8 mm e spessore 1.0 mm, con massa volumica  $1.28 \text{ g cm}^{-3}$  e rapporto (Z/A) efficace 0.535 e quindi con proprietà simili al tessuto. L'incertezza complessiva nelle misure di dose assorbita per fasci di fotoni ed elettroni è compresa tra 3.5% e 5% nell'intervallo (2 - 50) Gy.

I dosimetri ESR sono poco sensibili ai neutroni termici impiegati nella BNCT in quanto l'energia in gioco non è sufficiente per rompere legami covalenti, e il numero di radicali liberi prodotti è molto basso, tale da non permettere la rivelazione di un segnale ESR di un dosimetro irradiato con neutroni. Un metodo per superare questo inconveniente è quello di legare all'alanina una molecola con atomi il cui nucleo abbia un'alta sezione d'urto per cattura di neutroni, come l'acido borico arricchito con  $^{10}\text{B}$ <sup>(5)</sup>: infatti, quando la miscela alanina-acido borico è irradiata con neutroni, le particelle cariche prodotte a seguito dell'interazione con il nucleo di  $^{10}\text{B}$ , collidendo con la molecola di alanina, inducono la formazione di radicali liberi. Per ottenere un'elevata probabilità di interazione tra queste e l'alanina, è necessario che l'alanina e l'acido borico facciano parte di un'unica entità chimica, cosa che si può ottenere preparando un addotto alanina-acido borico. Si ottiene così un dosimetro sensibile sia ai neutroni che naturalmente ai fotoni; per ricavare il contributo di dose dovuto solamente ai neutroni è necessario avere anche una misura della dose dovuta ai fotoni, cosa che può essere ottenuta irradiando contemporaneamente dosimetri ad alanina "convenzionali" e il sistema dosimetrico a termoluminescenza messo a punto dal gruppo di Perugia.

Nell'ambito del progetto verrà ottimizzata la procedura di preparazione dell'addotto, a partire dalla seguente ricetta: quantità equimolari di alanina e acido borico vengono dissolti in una soluzione acquosa di  $\text{NH}_4\text{OH}$  a pH 12; la soluzione viene agitata e portata ad una temperatura di circa  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  fino a saturazione. Per allontanare completamente il solvente, tale soluzione viene posta in stufa a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  per circa 30 minuti. Il solido ottenuto, contenente l'addotto alanina-acido borico, viene purificato dalle frazioni di alanina e acido borico non reagiti per cristallizzazione da etanolo:  $\text{H}_2\text{O} = 80/20$ .

Si intende inoltre verificare la possibilità di realizzare anche dosimetri "tartrato d'ammonio - acido borico", in considerazione delle migliori prestazioni che i dosimetri a tartarato d'ammonio hanno mostrato rispetto a quelli con alanina per la dosimetria di fotoni ed elettroni.

L'esperimento verrà svolto anche con la collaborazione dei Laboratori Nazionale del Sud di Catania.

### 3. Ricerca e sviluppo di dosimetri a stato solido per neutroni in radioprotezione

Anche se l'incertezza di misura accettabile per un dosimetro per neutroni da utilizzare in radioprotezione è superiore a quella indispensabile in radioterapia (20% vs 3%), assai più stringenti sono in radioprotezione le richieste per quanto riguarda la sensibilità alle basse dosi e la necessità di valutare l'energia dei neutroni.

In radioprotezione, infatti, le dosi assorbite da misurare sono di diversi ordini di grandezza inferiori a quelle della radioterapia (dell'ordine del milligray). Inoltre, più che la dose assorbita, la grandezza di interesse in radioprotezione è la dose efficace E, definita come

$$E = \sum w_T \sum w_R D_{RT}$$

in cui  $D_{RT}$  è la dose assorbita nell'organo T per la radiazione di tipo R,  $w_R$  è il peso relativo della radiazione R e  $w_T$  è il peso che ha l'organo T, nel complesso degli organi irradiati, nel determinare il detrimento complessivo. È noto che i pesi  $w_R$  variano notevolmente con l'energia dei neutroni (1 - 20) ed è quindi indispensabile determinare con sufficiente accuratezza le diverse componenti in energia dei neutroni (termici, epidermici, veloci) eventualmente presenti (in radioterapia, invece, l'energia dei neutroni impiegati è sostanzialmente nota in partenza e non è quindi richiesto al dosimetro di valutarla).

Ci si propone di realizzare un sistema dosimetrico in grado di rispondere anche a neutroni veloci, di interesse sia in campo ambientale (es. voli supersonici), sia in campo medico; in quest'ultimo settore, in particolare, è da ricordare che gli acceleratori lineari per elettroni di energia superiore a 10 MeV possono produrre fotoneutroni, nella regione della risonanza gigante, la cui energia dipende dai materiali con cui il fascio primario interagisce; anche se la distribuzione in energia dei neutroni non è ben nota, tuttavia si sa che accanto ad alti flussi ( $10^{12} \text{ s}^{-1}$  sull'intero angolo solido) di neutroni veloci si hanno neutroni termici, a seguito della moderazione di neutroni veloci nei materiali di basso numero atomico presenti e nel paziente stesso.

Nell'esperimento proposto si intende mettere a punto un sistema dosimetrico che, oltre ai TLD, utilizzi anche un rivelatore di tracce (SSNTD) quale il CR-39; la recente disponibilità di un microscopio a forza atomica ad analisi tridimensionale (acquistato con i fondi di cofinanziamento MURST-Università di Perugia) consentirà un'analisi fine delle tracce prodotte nel CR-39 dai protoni di rinculo dei neutroni: si potrà così determinare con accuratezza l'energia dei protoni e da questa risalire a quella dei neutroni. In questo modo verrà portata a completamento la ricerca iniziata con l'esperimento MAKRON<sup>(6)</sup>.

Per quanto riguarda la dosimetria ESR, ci si propone di studiare la possibilità di aumentarne in modo significativo la sensibilità e la minima dose rivelabile (attualmente intorno al gray), tramite additivi chimici che consentano la stabilizzazione dei radicali liberi prodotti dalla radiazione nella molecola sensibile (alanina o tartrato d'ammonio).

### 4. Considerazioni finali

In conclusione, con l'esperimento proposto si intendono realizzare, nell'arco di due anni, sistemi dosimetrici a stato solido per campi misti neutroni - gamma da utilizzare, rispettivamente, in radioterapia e in radioprotezione.

Le persone coinvolte nell'esperimento hanno le competenze necessarie per la buona riuscita della collaborazione. Anche la strumentazione disponibile, sia nelle sedi di Palermo che di Perugia (grazie anche ai precedenti finanziamenti INFN e MURST), sia presso il LENA di Pavia e il LNS dell'INFN, è adeguata allo scopo.

Le richieste finanziarie all'INFN sono limitate, pertanto, a spese di missione e per acquisto di materiale di consumo (TLD, prodotti per i dosimetri ESR, ...).

### BIBLIOGRAFIA

- (1) M. Angelucci, R. Borio, S. Chiocchini, P. Degli Esposti, N. Forini, P. Salvadori: A multicomponent dosimetry system for neutron-gamma mixed field monitoring in BNCT. *Physica Medica* 15 (1999), 131-136.
- (2) ESR dosimetry and applications. Proceedings of the 4th International Symposium. München, Germany, 15-19 May 1995. *Appl. Radiat. Isot.* 47 (1996), 1151-1687.
- (3) A. Bartolotta, M. Brai, V. Caputo, V. De Caro, L. I. Giannola, R. Rap, G. Teri: ESR solid state dosimetry: behaviour of various amino-acids and blend preparation procedures. *Radiation Protection Dosimetry* 84 (1999), 293-296.
- (4) A. Bartolotta, M. Brai, V. De Caro, C. D'Oca, L. I. Giannola, G. Teri: ESR evaluation of stable free radicals produced by ionizing radiation in multifunctional substances. Application for absorbed dose measurements in radiotherapy. In "Nuclear and condensed matter physics", American Institute of Physics, (2000), 31-34.
- (5) Urena-Nunez et al.: An alanine-boron compound for thermal neutron fluence measurements. Part 1 Synthesis and development. *Appl. Radiat. Isot.*; 49 (1998), 1657-64.
- (6) M. Angelucci, R. Borio, R. Cherubini, N. Forini, G. Moschini, P. Salvadori: Setting up a dosimeter for neutrons detection (MAKRON Experiment), LNL-INFN (Rep.)-095/95, 250-251.

### Partecipanti all'esperimento

Palermo L. Barone Tonghi, Fisico Specialista, ARNAS Palermo  
A. Bartolotta, PA, Univ. Palermo e Sez. INFN Catania  
M. Brai, PA, Univ. Palermo e Sez. INFN Catania  
V. Caputo, Fisico Specialista, ARNAS Palermo  
C. D'Oca, Dottoranda Univ. Palermo

Pavia S. Manera, Coll. Tecn. LENA, Univ. Pavia

Perugia M. Angelucci, Coll. ARPA, Regione dell'Umbria  
R. Borio, Coord. Gen. Tecn., Univ. e Sez. INFN, Perugia  
S. Chiocchini, Coll. Tecn., Univ. e Sez. INFN, Perugia  
P. Degli Esposti, Tecn., Univ. e Sez. INFN, Perugia  
N. Forini, Funz. Tecn. Univ. e Sez. INFN, Perugia



Codice	Esperimento	Gruppo
	DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

 Ricercatore responsabile locale:  
**BARTOLOTTA Antonio**
**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
							Parziali	Totale Compet.	
Viaggi e missioni	Interno	Missioni Pavia, Perugia, Catania					5	<b>5</b>	
	Estero	Congresso Solid State Dosimetry 2001					5	<b>5</b>	
Materiale Consumo	Componenti base per la realizzazione dei dosimetri vetreria ecc.					4	<b>4</b>		
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile									
Costruzione Apparati									
<b>Totale</b>							<b>14</b>		
Note:									

Codice	Esperimento	Gruppo
	DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

## ALLEGATO MODELLO EC 2

### PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

#### DOSINE

(Dosimetria neutronica in radioterapia e in radioprotezione)

#### 1. Premessa

I neutroni, così come i fotoni, sono indirettamente ionizzanti, e pertanto la dose assorbita nel mezzo irradiato con un fascio di neutroni dipende dalla fluenza delle particelle cariche secondarie direttamente ionizzanti prodotte dalla interazione dei neutroni con i nuclei del mezzo; tale fluenza, e le caratteristiche energetiche delle particelle cariche, dipendono dalla fluenza e dalla energia dei neutroni, poiché da essa dipende in particolare la probabilità di interazione neutroni-mezzo. A differenza della radiazione elettromagnetica, le cui interazioni con il mezzo attraversato danno luogo sostanzialmente a elettroni e fotoni, i meccanismi di interazione neutroni-mezzo producono, oltre a fotoni di diversa energia, una grande varietà di nuclei di rinculo e di particelle cariche subatomiche, che depositano la loro energia nel mezzo in modi diversi.

La dosimetria dei neutroni presenta, dunque, maggiori problemi della dosimetria della radiazione elettromagnetica, in particolare perché:

a) la probabilità di interazione dei neutroni con la materia dipende, molto più rispetto ai fotoni, dal numero atomico del materiale attraversato e dall'energia dei neutroni; l'equivalenza fra il materiale dosimetrico e il mezzo nel quale si vuole determinare la dose assorbita deve essere, dunque, molto più stretta (in particolare per quanto riguarda il contenuto di idrogeno);

b) anche nella ipotesi di un fascio primario di soli neutroni, nel mezzo si è sempre in presenza di un campo di radiazione misto n,g.

E' dunque necessario, sia in radioterapia con neutroni, sia in radioprotezione, disporre di un sistema dosimetrico in grado di discriminare e misurare separatamente i diversi contributi alla dose dovuti ai due tipi di radiazione (fotoni e neutroni), in considerazione anche della loro diversa Efficacia Biologica Relativa (RBE).

Scopo del progetto DOSINE per il quale si richiede il finanziamento è di svolgere attività di ricerca sulla dosimetria per fasci di neutroni, e di sviluppare e mettere a punto nuovi sistemi dosimetrici a stato solido da impiegare a tale scopo.

#### 2. Ricerca e sviluppo di dosimetri a stato solido per fasci di neutroni impiegati in radioterapia

Per gli scopi della radioterapia un dosimetro per neutroni deve avere caratteristiche specifiche, e, in particolare, tessuto equivalenza, dimensioni dell'ordine del mm<sup>3</sup>, incertezza complessiva nelle misure di dose contenuta entro 3%, capacità di determinare sperimentalmente i contributi alla dose assorbita dovuti ai neutroni e ai fotoni gamma che li accompagnano.

Nell'ambito dell'esperimento DOGANE relativo alla Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) è già stato realizzato un sistema dosimetrico con le caratteristiche richiamate, attraverso l'accoppiamento di dosimetri a termoluminescenza (TLD) di 6LiF e di BeO. Tale sistema dosimetrico si è mostrato efficace (1) in un ampio intervallo di dose gamma equivalente (da 40 mJ kg<sup>-1</sup> a 30 J kg<sup>-1</sup> per neutroni, da 10 mJ kg<sup>-1</sup> a 20 J kg<sup>-1</sup> per fotoni gamma) con un'incertezza dell'ordine del 5%, e quindi leggermente superiore al valore richiesto del 3%, ma che è sembrata al momento adeguata, tenuto conto che la BNCT in Italia è ancora in una fase sperimentale iniziale. Tuttavia è importante nel prossimo futuro riuscire a raggiungere un'incertezza minore, ed è questo uno degli scopi che ci si prefigge con l'esperimento qui proposto, anche tramite lo sviluppo di un altro sistema dosimetrico a stato solido, basato sulla risonanza di spin elettronico (ESR) (2), in collaborazione con il gruppo di ricerca in Fisica Medica dell'Università di Palermo, che possiede già esperienze in tale settore, utilizzando come rivelatore alanina o tartrato d'ammonio (3,4). I dosimetri a stato solido realizzati sono in forma di cilindri di diametro 4.8 mm e spessore 1.0 mm, con massa volumica 1.28 g cm<sup>-3</sup> e rapporto (Z/A) efficace 0.535 e quindi con proprietà simili al tessuto. L'incertezza complessiva nelle misure di dose assorbita per fasci di fotoni ed elettroni è compresa tra 3.5% e 5% nell'intervallo (2 - 50) Gy.

I dosimetri ESR sono poco sensibili ai neutroni termici impiegati nella BNCT in quanto l'energia in gioco non è sufficiente per rompere legami covalenti, e il numero di radicali liberi prodotti è molto basso, tale da non permettere la rivelazione di un segnale ESR di un dosimetro irradiato con neutroni. Un metodo per superare questo inconveniente è quello di legare all'alanina una molecola con atomi il cui nucleo abbia un'alta sezione d'urto per cattura di neutroni, come l'acido borico arricchito con 10B (5): infatti, quando la miscela alanina-acido borico è irradiata con neutroni, le particelle cariche prodotte a seguito dell'interazione con il nucleo di 10B, collidendo con la molecola di alanina, inducono la formazione di radicali liberi. Per ottenere un'elevata probabilità di interazione tra queste e l'alanina, è necessario che l'alanina e l'acido borico facciano parte di un'unica entità chimica, cosa che si può ottenere preparando un addotto alanina-acido borico. Si ottiene così un dosimetro sensibile sia ai neutroni che naturalmente ai fotoni; per ricavare il contributo di dose dovuto solamente ai neutroni è necessario avere anche una misura della dose dovuta ai fotoni, cosa che può essere ottenuta contemporaneamente dosimetri ad alanina "convenzionali" e il sistema dosimetrico a termoluminescenza messo a punto dal gruppo di Perugia.

Nell'ambito del progetto verrà ottimizzata la procedura di preparazione dell'addotto, a partire dalla seguente ricetta: quantità equimolari di alanina e acido borico vengono dissolti in una soluzione acquosa di NH<sub>4</sub>OH a pH 12; la soluzione viene agitata e portata ad una temperatura di circa 100 °C fino a saturazione. Per allontanare completamente il solvente, tale soluzione viene posta in stufa a 50 °C per circa 30 minuti. Il solido ottenuto, contenente l'addotto alanina-acido borico, viene purificato dalle frazioni di alanina e acido borico non reagiti per cristallizzazione da etanolo:H<sub>2</sub>O = 80/20.

Si intende inoltre verificare la possibilità di realizzare anche dosimetri "tartrato d'ammonio - acido borico", in considerazione delle migliori prestazioni che i dosimetri a tartarato d'ammonio hanno mostrato rispetto a quelli con alanina per la dosimetria di fotoni ed elettroni.

L'esperimento verrà svolto anche con la collaborazione dei Laboratori Nazionale del Sud di Catania.

#### 3. Ricerca e sviluppo di dosimetri a stato solido per neutroni in radioprotezione

Anche se l'incertezza di misura accettabile per un dosimetro per neutroni da utilizzare in radioprotezione è superiore a quella indispensabile in radioterapia (20% vs 3%), assai più stringenti sono in radioprotezione le richieste per quanto riguarda la

Codice	Esperimento	Gruppo
	DOSINE	5

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

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

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	5	5	4						<b>14</b>
2002	4		2						<b>6</b>
<b>TOTALI</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>6</b>						<b>20</b>

Note:

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

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)





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	
CATANIA	Personale													
	Ricercatori		3,0	Tecnologi		2,0	Tecnici					Servizi mesi uomo		
	FTE		1,9	FTE		1,0	FTE							
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,63</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,58</b>	
	DOSINE		5		5	4								14
	di cui sj													
	Totali		5		5	4								14
di cui sj														
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>4,83</b>										
PERUGIA	Personale													
	Ricercatori		1,0	Tecnologi		4,0	Tecnici		2,0			Servizi mesi uomo		
	FTE		0,6	FTE		2,0	FTE		0,6					
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,60</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,52</b>	
	Dosine		2			3								5
	di cui sj													
	Totali		2			3								5
di cui sj														
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>1,92</b>										
<b>TOTALI</b>														
Totali		7		5	7								19	
di cui sj														
<b>Confronto con il modello EC4</b>														
Mod. EC4 dati														
Totale-Dati EC4		7,0		5,0	7,0								19,0	
<b>Personale</b>														
Ricercatori		4,0	Tecnologi		6,0	Tecnici		2,0				Servizi mesi uomo		
FTE		2,5	FTE		3,0	FTE		0,6						
<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,63</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,55</b>		
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>3,45</b>										