

CONVEGNO NAZIONALE AIRP DI RADIOPROTEZIONE

Sorgenti di radiazioni: dai modelli alle misure



Associazione Italiana
di Radioprotezione



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO

8 - 10 Novembre 2017

Lloyd's Baia Hotel

SALERNO, Amalfi Coast

ATTI DEL CONVEGNO

SEGRETARIO SCIENTIFICO

Vittorio Festa

Tel. 0815513116 - Cell. 3335667221

vittorio.festa@ingpec.eu

COMITATO SCIENTIFICO

| | |
|--------------------|---------------------------|
| Laura Anglesio | ARPA Piemonte |
| Roberto Bedogni | INFN, Frascati |
| Paolo Ferrari | ENEA, Bologna |
| Michele Guida | Università Studi Salerno |
| Piero Indovina, | Fismeco Roma |
| Rocco Marchese | ARPA Basilicata |
| Antonio Orientale | AOU R. D'Aragona (Sa) |
| Rosella Rusconi | ARPA Lombardia |
| Roberto Ropolo | AOU S. Giovanni B. (To) |
| Carlo Sabbarese | Università Studi Campania |
| Rosabianca Trevisi | INAIL Roma |

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Anna Prandstatter

Tel. +390125645328

Fax +39012564535

airp2017@airp-asso.it

www.airp-asso.it

COMITATO ORGANIZZATORE

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Paola Barbuto | ARPA Calabria |
| Simona Mancini | Università Studi Salerno |
| Immacolata Pilotti | AOU R. D'Aragona (SA) |
| Sandro Sandri | ENEA, Frascati |
| Graziella Savino | Università Studi Salerno |

E' PREVISTO L'ACCREDITAMENTO ECM





1.17

Gallo S., Iacoviello G., Marrale M., Veronese I.

Nuove frontiere per la dosimetria ESR
per fasci clinici di fotoni ed elettroni:
i composti fenolici IRGANOX® 1076

(Characterization of phenolic solid state pellets for ESR dosimetry
with radio-therapeutic photon and electron beams)

CONVEGNO
NAZIONALE AIRP
DI RADIOPROTEZIONE
Sorgenti di radiazioni:
dai modelli alle misure

Nuove frontiere per la dosimetria ESR per fasci clinici di fotoni ed elettroni: i composti fenolici IRGANOX[®] 1076

(Characterization of phenolic solid state pellets for ESR dosimetry with radio-therapeutic photon and electron beams)

Gallo S.

Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Milano e INFN sez. di Milano, via Giovanni Celoria 16, 20133 Milano (MI), salvatore.gallo@unimi.it

Iacoviello G.

Unità Operativa complessa di Fisica Medica - A.R.N.A.S. Ospedale Civico Palermo, Piazza Nicola Leotta 4, 90127 Palermo (PA), giuseppina.iacoviello@arnascivico.it

Marrale M.

Dipartimento di Fisica e Chimica e ATen Center - Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze Edificio 18, 20128 Palermo (PA), maurizio.marrale@unipa.it

Veronese I.

Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Milano e INFN sez. di Milano, via Giovanni Celoria 16, 20133 Milano (MI), ivan.veronese@unimi.it

Abstract

This work deals with the dosimetric features of a particular phenolic compound (IRGANOX 1076[®]) for dosimetry of clinical photon and electron beams by using Electron Spin Resonance (ESR) spectroscopy. After the optimization of the ESR readout parameters (namely modulation amplitude and microwave power) to maximise the signal without excessive spectrum distortions, basic dosimetric properties of laboratory-made phenolic dosimeters in pellet form, such as reproducibility, dose-response, sensitivity, linearity and dose rate dependence were investigated.

The dosimeters were tested by measuring the depth dose profile of a 6 MV photon beam. A satisfactory intra-batch reproducibility of the ESR signal of the manufactured dosimeters was obtained.

The analysis of the ESR signal as function of absorbed dose highlights that the response of this material is linear in the dose range investigated (1-13 Gy) and is independent of the beam energy.

The presence of an intrinsic background signal limits the minimum detectable dose to a value of approximately 0.7 Gy. Reliable and accurate assessment of the dose was achieved, independently of the dose rate. Such characteristics, together with the fact that IRGANOX 1076[®] is almost tissue-equivalent, and the stability of the ESR signal, make these dosimeters promising materials for ESR dosimetric applications in radiotherapy.

INTRODUZIONE

I trattamenti radioterapici delle neoplasie richiedono un'accurata dosimetria del fascio di radiazione da utilizzare: sono infatti fondamentali per il buon esito del trattamento sia il controllo della dose rilasciata all'interno del volume della massa tumorale che la valutazione della dose da radiazione potenzialmente rilasciata ai tessuti sani, nell'intorno del volume di interesse.

Tra le tecniche sperimentali utilizzate per applicazioni dosimetriche, la Risonanza Elettronica di Spin (ESR) è stata negli anni impiegata sia nel contesto della dosimetria retrospettiva (in caso di emergenza radiologica o per il controllo degli alimenti irradiati) che per la caratterizzazione di vari tipi di fasci di radiazione. Tra i vari sistemi dosimetrici trovano largo impiego i rivelatori a stato solido ESR a base di alanina che presentano diversi vantaggi come la tessuto-equivalenza, la linearità della risposta in un ampio intervallo di dose (fino a 10^5 Gy), l'elevata stabilità dei radicali liberi radio-indotti, la non distruttività della lettura del dosimetro e il basso costo dei dosimetri. Tra gli svantaggi di questo materiale annoveriamo la dipendenza di risposta dal LET e la scarsa sensibilità per dosi inferiori a 2 Gy (*Baffa et al., 2014*). Sono pertanto necessari nuovi materiali che rendano la dosimetria ESR più competitiva rispetto agli altri sistemi (*Alzimami et al., 2014*).

Lo scopo di questo lavoro è mostrare le potenzialità dosimetriche di particolari composti fenolici per la dosimetria delle radiazioni ionizzanti tramite spettroscopia ESR che abbiano i vantaggi dell'alanina e che ne superino i limiti. Questo lavoro riporta i risultati ottenuti dall'analisi tramite ESR delle proprietà dosimetriche di campioni di particolari composti fenolici (pasticche realizzate in laboratorio) esposti a fasci di fotoni ed elettroni prodotti da un acceleratore lineare (LINAC) utilizzato in ambito medico (*Gallo et al., 2017a,b*).

MATERIALI E METODOLOGIA DI INDAGINE

I dosimetri sono stati preparati presso il RadChemLab dell'Università degli Studi di Pavia utilizzando una miscela costituita per il 10% in massa da paraffina, con la funzione di legante, e per la restante parte da IRGANOX[®] 1076. Tale composto in seguito ad irraggiamento produce un fenossi-radical. Inoltre, il suo elevato peso molecolare, la bassa volatilità e la compatibilità con il materiale che funge da legante rappresentano particolari vantaggi rispetto a fenoli con peso molecolare inferiore.

Gli irraggiamenti dei composti fenolici sono stati eseguiti utilizzando due acceleratori medici lineari (LINAC), un Siemens Primus presso l'Unità Operativa Complessa di radioterapia dell'Ospedale Civico di Palermo e un Varian Trilogy TX presso il dipartimento di radioterapia dell'Ospedale Maggiore della Carità di Novara. Entrambi i LINAC sono stati calibrati seguendo le direttive pratiche IAEA TRS-398.

Tutti gli irraggiamenti sono stati eseguiti in condizioni di equilibrio di particelle cariche (CPE) utilizzando opportuni supporti di Polimetilmetacrilato (PMMA). I campioni sono stati esposti a fasci clinici di fotoni da 6 MV e di elettroni da 7, 10 e 14 MeV.

Gli spettri ESR dei campioni in esame sono stati acquisiti tramite uno spettrometro Bruker operante in banda X presso il Laboratorio di Risonanza Paramagnetica Elettronica del Advanced Technologies Network Center (*AteN Center*) di Palermo.

Per le misure ciascun campione è stato inserito all'interno di una cavità risonante tramite un tubo di quarzo e fissato tramite spessori di Teflon nella posizione di segnale più intenso.

La scelta di tutti i parametri di acquisizione è stata guidata dall'esigenza di ottenere un alto rapporto segnale-rumore senza distorcere eccessivamente lo spettro. In particolare, è stata analizzata la dipendenza dell'ampiezza del segnale ESR dall'ampiezza del campo di modulazione e dalla potenza a microonde controllando contemporaneamente lo stato di deformazione spettrale.

Sono state investigate le proprietà dosimetriche quali la riproducibilità *intra-batch*, la risposta in dose, la sensibilità, risposta al variare delle qualità del fascio, la dipendenza dal *dose rate* e la stabilità del segnale nel tempo. È stato valutato il minimo valore di dose rivelabile (MDR) e il valore critico di dose (DL) (*Gallo et al., 2017a,b*). Dopo questo sono state testate le

potenzialità di questi materiali ricostruendo il profilo di dose in profondità per il fascio da 6 MV. Alcuni dei risultati ottenuti sono mostrati nella sessione successiva.

RISULTATI SPERIMENTALI

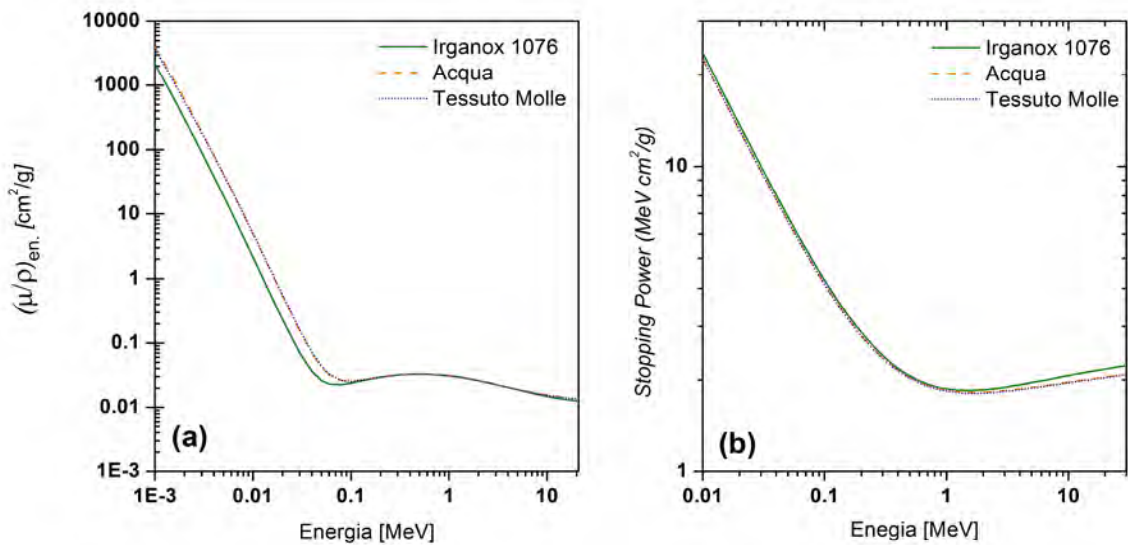


Figura 1 – (a) Andamento del coefficiente di attenuazione massico in funzione dell'energia (b) e del poter frenante in funzione dell'energia per gli IRGANOX® 1076 e per confronto con quelli dell'acqua e del tessuto molle (ICRU-44).

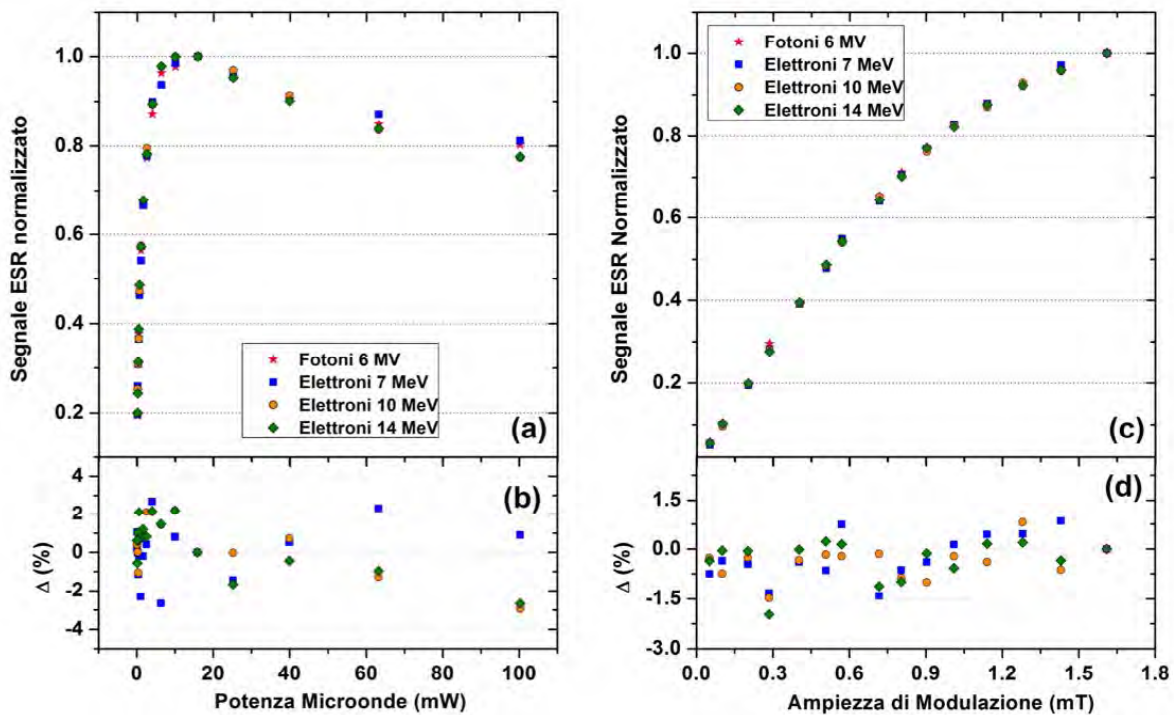


Figura 2 – (a) Andamento del segnale ESR normalizzato in funzione della potenza delle microonde inviate in cavità per i fasci in esame, (b) variazioni % con il fascio di riferimento (fotoni 6 MV), (c) andamento del segnale ESR normalizzato in funzione dell'ampiezza del campo magnetico modulante per i fasci in esame, (d) variazioni % con il fascio di riferimento (fotoni 6 MV).

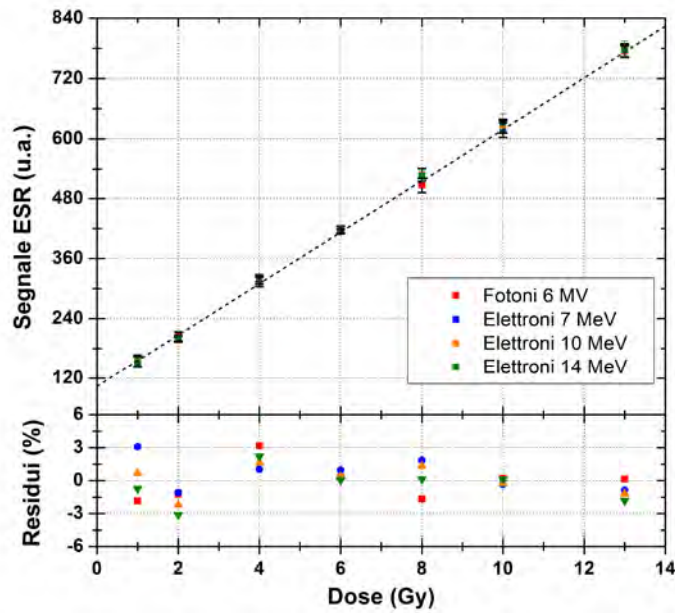


Figura 3 – Andamento lineare del segnale ESR in funzione della dose impartita per i diversi fasci radioterapici in esame e relativi residui percentuali.

Tabella 1 – Parametri della regressione lineare (Fig. 3), minimo valore di dose rivelabile (MDR) e valore critico di dose (DL)

| Fascio | Intercetta | Pendenza | MDR (Gy) | DL (Gy) |
|------------------|------------|----------|----------|---------|
| Fotoni 6 MV | 100±4 | 52.6±0.6 | 0.6 | 0.3 |
| Elettroni 7 MeV | 99±4 | 52.7±0.7 | 0.8 | 0.4 |
| Elettroni 10 MeV | 100±4 | 52.6±0.7 | 0.6 | 0.3 |
| Elettroni 14 MeV | 99±5 | 53.3±1.0 | 0.8 | 0.4 |

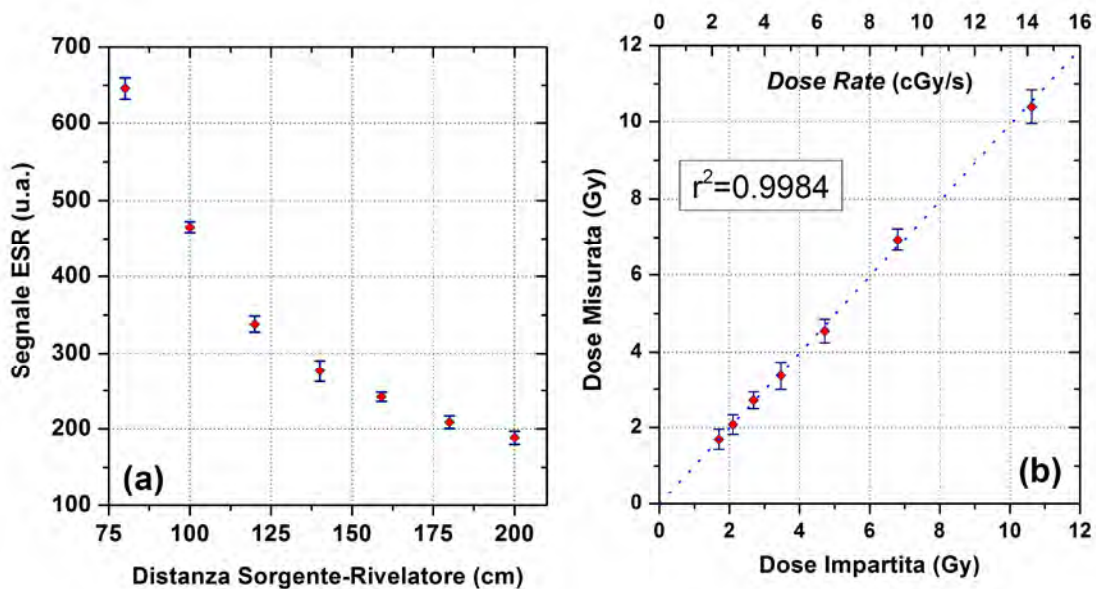


Figura 4 – (a) Andamento del segnale ESR in funzione della distanza Sorgente-Rivelatore impartendo le stesse unità monitor e (b) ricostruzione della dose impartita per verifica della non-dipendenza dal dose rate.

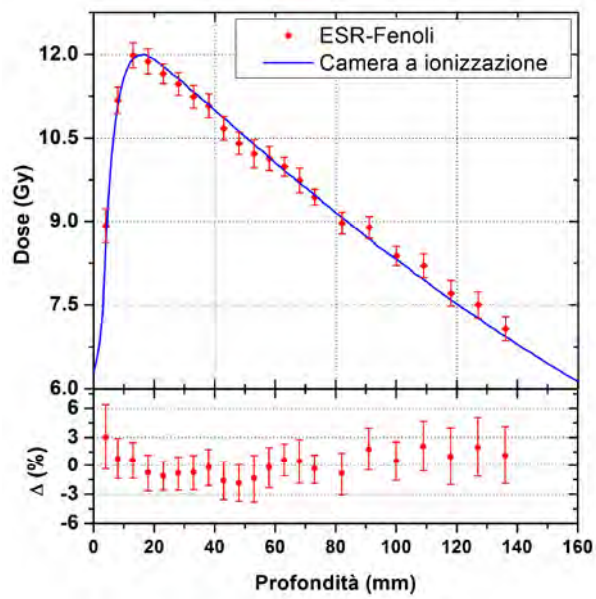


Figura 5 – Profilo di dose in profondità di un fascio da 6 MV misurato con gli Irganox[®] 1076 (punti rossi), con camera a ionizzazione (linea blu) e differenza percentuale tra le misure.

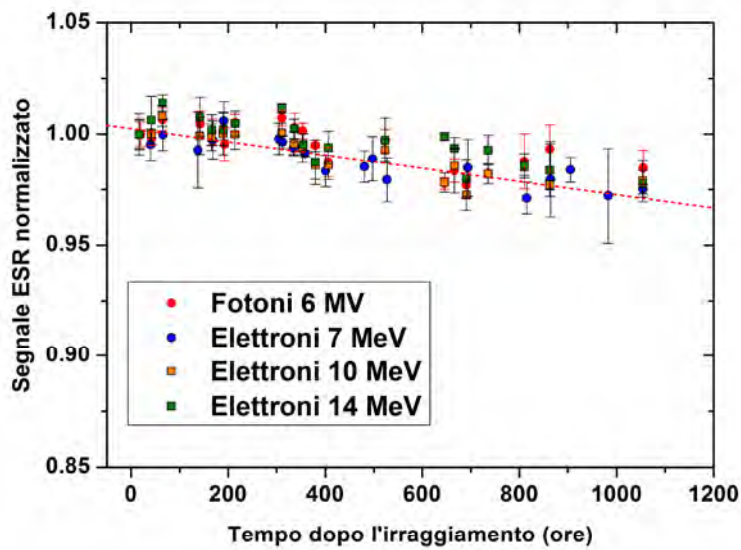


Figura 6 – Andamento nel tempo del segnale ESR per campioni dosimetri di Irganox[®] 1076 irradiati con 13 Gy utilizzando i fasci clinici in esame.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Sono state studiate la proprietà dosimetriche di particolari composti fenolici (IRGANOX® 1076) come innovativi materiali per la dosimetria tramite Risonanza Elettronica di Spin. È stata valutata l'equivalenza tissutale radiologica in termini di coefficiente di attenuazione, stopping power, densità e numero atomico efficace (Fig. 1) (maggiori dettagli sono riportati in *Gallo et al., 2017a*). È stata ottenuta una soddisfacente riproducibilità *intra-batch* del segnale ESR dei dosimetri entro il 3 %. L'ottimizzazione dei parametri di acquisizione degli spettri ESR ha permesso di massimizzare il rapporto segnale-rumore ed evitare la deformazione della forma dello spettro con la relativa perdita delle informazioni dosimetriche (Fig. 2).

Lo studio dell'ampiezza dello spettro ESR in funzione della potenza a microonde inviata in cavità per i vari dosimetri irradiati con fasci differenti ha permesso di individuare il radicale radioindotto formato e ci permette di affermare che questo è lo stesso per ogni tipo di fascio considerato (Fig. 2) (maggiori dettagli sono riportati in *Gallo et al., 2017a*).

L'analisi del segnale ESR in funzione della dose assorbita evidenzia che la risposta di questo materiale è lineare nell'intervallo di dose di interesse clinico (1-13 Gy) ed è indipendente dalla qualità del fascio (tipo ed energia) (Fig. 3) e (Tabella 1).

Sono state ottenute affidabili e accurate valutazioni della dose, indipendentemente dal rateo di dose (Fig. 4) sia variando l'output del LINAC che la distanza tra sorgente e dosimetro.

È stato trovato un buon accordo (variazione massima del 3 %) tra il profilo di dose in profondità con il fascio di fotoni da 6 MV misurato con i fenoli e la camera a ionizzazione (sistema dosimetrico di riferimento) (Fig. 5).

Questi materiali presentano anche una buona stabilità nel tempo del segnale radioindotto: perdita massima del 4% in mille ore (Fig.6).

Attualmente, l'inconveniente principale è rappresentato da un segnale di fondo non trascurabile, che limita la dose minima rilevabile ad un valore di circa 0.7 Gy. Va sottolineato che, diversamente da campioni che non presentano un segnale di fondo (come l'alanina), il segnale di fondo di questo composto fenolico, deve essere misurato prima dell'irradiazione per eliminare correttamente il suo contributo al segnale totale.

Sono in corso studi per migliorare la tecnica di produzione di questi dosimetri al fine di minimizzare la creazione di radicali nel processo di preparazione.

I risultati presentati, insieme all'equivalenza tissutale radiologica dei composti fenolici, alla stabilità del segnale ESR, alla possibilità di poter realizzare dosimetri sia in forma di pastiglie che di film sottili (*Gallo et al., 2015; Smith et al., 2017*), rendono questi dosimetri dei materiali promettenti per applicazioni dosimetriche ESR in radioterapia. Inoltre tali composti sono risultati interessanti anche in applicazioni dosimetriche in campi misti neutroni gamma (*Marralle et al. 2015; Gallo et al. 2015*).

Bibliografia

- K. Alzimami et al., *Comparative study of some new EPR dosimeters*. Radiat. Phys. Chem. (2014) doi: 10.1016/j.radphyschem.2012.12.039.
- O. Baffa O and A. Kinoshita, *Clinical applications of alanine/electron spin resonance dosimetry*. Radiation and Environmental Biophysics. (2014) doi: 10.1007/s00411-013-0509-2.
- S. Gallo S et al., *Testing and linearity calibration of films of phenol compounds exposed to thermal neutron field for EPR dosimetry*, Appl. Radiat. Isot. (2015) doi: 10.1016/j.apradiso.2015.07.043.
- S. Gallo et al., *ESR dosimeter material properties of phenols compound exposed to radiotherapeutic electron beams*. Nucl. Instrum. Met. Phys. Res., Sect. B (2017a) doi: 10.1016/j.nimb.2017.06.004.
- S. Gallo et al., *Response characterization of phenolic solid-state pellets for ESR dosimetry with radiotherapeutic photon beams*. Radiation and Environmental Biophysics (2017b) doi: 10.1007/s00411-017-0716-3.
- M. Marrale et al., *Study of the response of phenol compounds exposed to thermal neutrons beams for Electron Paramagnetic Resonance dosimetry*. Radiat. Meas. 75 (2015) doi: 10.1016/j.radmeas.2015.02.019.
- M. Marrale et al., *ESR response of phenol compounds for dosimetry of gamma photon beams*. Nucl. Instrum. Met. Phys. Res., Sect. B (2014) doi: 10.1016/j.nimb.2014.08.015.
- C. L. Smith et al., *Investigation of IRGANOX®1076 as a dosimeter for clinical X-ray, electron and proton beams and its EPR angular response*. Radiat. Phys. and Chem (2017) doi: 10.1016/j.radphyschem.2017.08.002.