

*Atti dell'Accademia Peloritana dei Pericolanti
Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali
Vol. LXXXV, C1A0701011 (2007)
Adunanza del 15 maggio 2006*

L'IMPOSSIBILE IPOTESI RADIATIVA NELLA FORMAZIONE DELLA SHROUD BODY IMAGE

GIOVANNI FAZIO*^[a] AND ANTONELLA ROBERTO^[b]

(Nota presentata dal Socio Ordinario Giorgio Giardina)

ABSTRACT. In this paper we studied the radiative hypothesis as the mechanism that acts at a distance in the Shroud body image formation. The comparison with the known characteristics of the above image shows good agreement for the resolution, penetration depth and $I(z)$ correlation. This does not happen for the chemical modification in the region where the image lies. Hence, we reject the radiative hypothesis.

1. Introduzione

Le prime fotografie di Secondo Pia, del maggio del 1898, segnano l'inizio della ricerca e degli studi in senso moderno della Sindone. Da allora, scienziati e tecnici hanno mostrato un interesse sempre crescente per il meccanismo di formazione della Shroud body image.

Le caratteristiche di quest'ultima (vedi Fig.1), dedotte in oltre un secolo di ricerche, si possono descrivere come segue:

- i:** l'immagine è il risultato di processi di deidratazione ed ossidazione che interessano la cellulosa in superficie [1, 2, 3];
- ii:** le distorsioni laterali potrebbero essere dovute alle modalità di avvolgimento del lenzuolo [4];
- iii:** essa può essere descritta come un negativo, in senso fotografico [5, 6];
- iv:** la degradazione della cellulosa non è uniforme [1, 2];
- v:** la distribuzione di elementi pesanti (Ca, Sr, Fe) presenti sul lino non mostra significative differenze tra l'immagine (in assenza di tracce ematiche) e le regioni del lenzuolo non interessate da essa [7];
- vi:** la profondità di lino degradato che forma l'immagine è di poche decine di micron [2, 8];
- vii:** la sua risoluzione, dedotta dai più piccoli particolari osservabili sulla Sindone (labbra, dita), è ~ 5 mm [2, 6]; tuttavia, un recente articolo propone come valore ~ 1 mm [9];

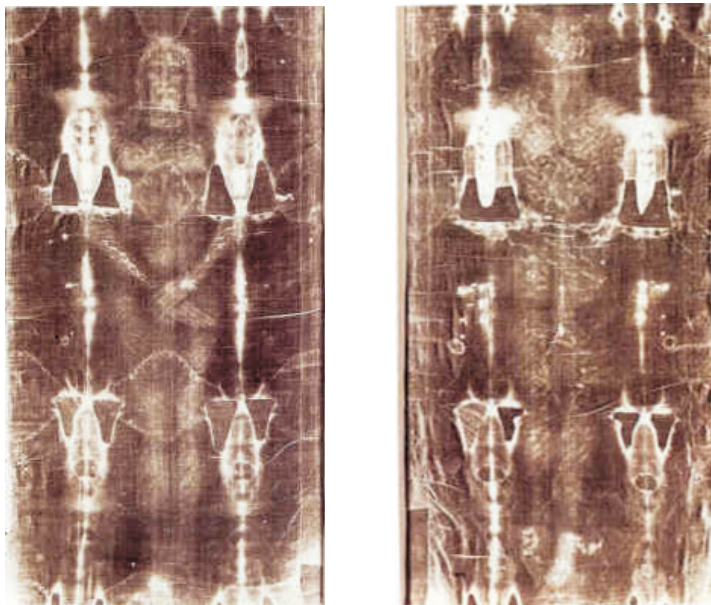


FIGURA 1. Negativo fotografico delle immagini, frontale e dorsale, sulla Sindone.

- viii:** l'intensità della Shroud body image I nella sua parte frontale è correlata alla distanza corpo - telo z stimata avvolgendo in un lenzuolo soggetti umani dalle caratteristiche anatomiche simili a quelle dell'uomo della Sindone [10];
- ix:** il meccanismo di formazione è di contatto solo in parte [11];
- x:** le repentine variazioni nell'intensità dell'immagine ai lati del volto, non sono dovute all'uso di una "mentoniera" [12] ma ad un insieme di fili di lino di diversa provenienza [2, 13];
- xi:** la body image, come G. Fanti e M. Moroni evidenziano, è, generalmente, una proiezione verticale della forma umana avvolta nella Sindone in posizione supina [11];
- xii:** la regione del Lino che separa la zona frontale da quella dorsale è priva di immagine [1, 2, 13];
- xiii:** le aree della body image e della no-body sono prive di sostanze coloranti [1, 2];
- xiv:** la conversione degli annerimenti dell'immagine in rilievo [14], mostra che quelli massimo frontali sono pressoché uguali a quelli della generalità dorsale [10].

Questa tecnica [14] è l'ideale per determinare se una immagine contiene informazioni correlate alla distanza: Jackson *et al.* hanno trovato come correlazione tra l'intensità dell'immagine e la distanza corpo-telo una linea di regressione così come riportato in Ref. [10]. Tale risultato è stato dedotto attraverso una procedura di fitting fatta misurando la densità ottica della parte frontale dell'immagine in alcuni punti i cui valori di z erano già stati stimati [2, 10, 15].

Noi pensiamo che la correlazione, prodotta dalla presenza della forma umana, possa essere rappresentata da una funzione lineare del tipo:

$$(1) \quad I(z) = I_M(1 - z/R_0)$$

con I_M valore di massima intensità che si ha nei punti di contatto (quelli con $z = 0$) e R_0 la distanza corpo-telo che fa $I(R_0) = 0$ [16].

La grandezza z , che assume un valore per ogni punto $P(x, y)$ sulla Sindone (in corrispondenza delle immagini frontale e dorsale) poiché è la misura della distanza corpo-telo, ha un campo di variabilità $0 \leq z \leq R_0$. Riteniamo inoltre, che anche per la parte dorsale della body image sia valida una funzione $I(z)$ dello stesso tipo; questo perché la parte frontale e quella dorsale dell'immagine hanno le stesse caratteristiche chimico-fisiche [13].

La degradazione della cellulosa si ha, come è noto e come accade per qualunque tessuto di lino, per semplice assorbimento di luce e/o calore. Questo trasferimento di energia, visto il basso coefficiente di assorbimento del tessuto, interessa un lenzuolo in tutta la sua profondità che, pertanto, risulterà tutto ingiallito. La Sindone ha, infatti, un ingiallimento di fondo che interessa tutto il tessuto (spesso $\sim 345 \mu m$) a cui se ne somma un altro superficiale e non uniforme (spesso alcune decine di μm) il cui risultato è la body image. Infatti, la sua intensità si può scrivere:

$$(2) \quad I_{TOT}(z) = I_B + I(z) = I_B + I_M(1 - z/R_0)$$

con I_B valore medio di fondo che si ha per degradazione naturale del tessuto e $I(z)$ dovuta alla presenza della forma umana [13].

Purtroppo, ancora oggi, il meccanismo di formazione della Shroud body image rimane ignoto per quella parte che agisce a distanza e produce la $I(z)$, nonostante i molti tentativi effettuati, da oltre un secolo, da tecnici e scienziati [1, 2, 10, 13].

Tra le tante ipotesi formulate dai "sindonologi" c'è quella radiativa che ha destato sempre un certo interesse nel variegato mondo di studiosi che ruota intorno alla Sindone. In questo articolo noi analizzeremo questo meccanismo di formazione e confronteremo i risultati con le caratteristiche salienti dell'immagine presente sul Telo di Torino: la risoluzione, la profondità, la chimica e la correlazione tra l'intensità dell'immagine e la distanza corpo-telo.

Oggi, come G.Fazio [16] ha scritto, è ragionevole pensare all'azione di due meccanismi di formazione: uno che agisce per contatto corpo-telo, l'altro che opera a distanza.

In questa nostra ipotesi, che vede un meccanismo ibrido con contatto ed azione a distanza, la risoluzione dell'immagine (caratteristica legata ai più piccoli particolari osservabili sul lenzuolo) è fornita dal primo dei due meccanismi; indipendentemente dalla scelta di quella parte che agisce a distanza.

Per quanto riguarda la profondità, consideriamo un vecchio telo di lino, già degradato naturalmente, e immaginiamo di sottoporlo all'azione di un fascio di particelle (tipo p , d , ^3He , α) con intensità $N(\text{part./cm}^2\text{sec})$ ed energia E_0 (MeV).

Queste, penetrando nella materia, generalmente, ionizzano ed eccitano. Talvolta possono essere diffuse dagli atomi del mezzo attraversato o subire reazioni nucleari, ma il contributo di questi due processi è sempre trascurabile rispetto a quelli di ionizzazione ed eccitazione. L'importante è, comunque, osservare che la ionizzazione degli elementi

costituenti il lino produce ossidazione e disidratazione e quindi, a livello macroscopico, l'ingiallimento del lenzuolo

Nei nostri calcoli, eseguiti per particelle α , useremo alcune delle tante espressioni empiriche presenti in letteratura che forniscono la $R(E)$ con ottima approssimazione; con R profondità di penetrazione ed E energia delle particelle.

R. Rogers ha osservato che l'area della body image vicino al naso presenta uno spessore massimo delle fibrille ingiallite di $\sim 0,03$ mm [11]. Inoltre, il diametro di queste è $10 \div 15 \mu\text{m}$; pertanto l'ingiallimento si estende a 2 o 3 fibrille [17]. Ora, l'uso delle relazioni $R(E)$ comporta che particelle α con una energia di ~ 6 MeV penetrano nel lino per una profondità pari a poco più di 30 micron. Infatti, nel range di $4 \leq E(\text{MeV}) \leq 15$ la relazione tra profondità di penetrazione in aria (espressa in cm) e l'energia delle α (in MeV) si può, con una approssimazione di $\sim 5\%$, scrivere come [18]:

$$(3) \quad R = (0.005 \times E + 0.285)E^{3/2}$$

Il calcolo fornisce per queste particelle di energia di ~ 6 MeV, nell'aria, una profondità dell'ordine dei cm. Successivamente, con un'altra espressione empirica (ottenuta utilizzando la relazione di Bragg-Kleeman e la formula di Bragg [18]) che permette di calcolare la profondità di penetrazione (espressa in cm) in un mezzo di peso atomico A e densità ρ_A , nota la R (in cm) [18]:

$$(4) \quad R_A = (3.2 \times 10^{-4} \times A^{1/2}) \times R/\rho_A$$

possiamo calcolare la R_{LINO} usando un valore di $A^{1/2} = \Sigma_i n_i A_i / \Sigma_i n_i A_i^{1/2}$, con n_i ed A_i , rispettivamente, frazione atomica e peso atomico dell' i -esimo elemento costituente il lino [18] e ρ_A densità dello stesso (in g/cm^3). Come risultato otteniamo, per questo tessuto, una profondità di penetrazione dell'ordine di poche decine di micron.

Relativamente al valore dell'intensità N del fascio c'è un limite superiore determinato dal fatto che, sul Lino di Torino, la body image ha seguito la formazione della blood image che, pertanto, deve rimanere inalterata [19, 13]. Più precisamente, sostanze quali albumina, emoglobina, bilirubina e siero devono essere rivelabili dopo l'irradiazione [1, 2, 6, 20].

Grazie agli esperimenti dell'ottobre del 1978, sappiamo che l'intensità dell'immagine decresce con il crescere della distanza corpo-telo; ciò non significa che all'aumentare di z l'ingiallimento delle fibrille diminuisce. Quelle che tra queste ultime sono colorate, lo sono sempre con la stessa intensità; ciò che diminuisce, con la distanza corpo-telo, è il numero delle fibrille ingiallite. Di conseguenza possiamo scrivere una espressione, simile alla (1), coinvolgendo la densità delle fibrille ingiallite σ (n° di fibrille ingiallite per unità di superficie):

$$(5) \quad \sigma(z) = \sigma_M(1 - z/R_0)$$

con σ_M ed R_0 , rispettivamente, la densità nelle aree di contatto corpo-telo ed il valore di z che rende $\sigma(z) = 0$ [21].

L'uso di particelle (tipo p, d, ^3He , α), non può produrre una chimica così come quella sulla Sindone: esse, infatti, investono tutte le fibrille del lino con una energia decrescente al crescere di z . Come risultato l'intensità I diminuisce ma non il numero delle fibrille

ingiallite. In altri termini, una espressione come la (5) non può essere scritta nel caso dell'ipotesi radiativa.

Infine, cerchiamo una espressione per la $I(z)$ considerando la forma umana avvolta nella Sindone come sorgente di particelle α emesse perpendicolarmente alla sua superficie [22].

In questo caso, l'uso di relazioni empiriche è giustificato dalle incertezze, sicuramente piccole rispetto a quelle associate ai dati sperimentali [10], che esse introducono nei calcoli. Infatti, i valori di I_{TOT} versus la distanza z , che appaiono in letteratura e da noi riportati in Fig. 2, mostrano che a piccoli scarti di z corrispondono, spesso, grandi differenze ΔI_{TOT} . In un caso, intorno a $z = 10$ mm, per un $\Delta z \sim 0.1$ mm si ha una grossolana incertezza nell'intensità dell'ordine del $30 \div 35\%$.

La relazione (3), alle nostre energie, introducendo una ulteriore approssimazione di $\sim 10\%$, si può scrivere:

$$(6) \quad R(E) = 0.285 \times E^{3/2}$$

con R espressa in cm ed E in MeV. Pertanto, le aree che distano z dalla sorgente ricevono una energia che è quella di emissione ridotta da quella spesa per ionizzare l'aria tra la sorgente stessa e il lenzuolo:

$$(7) \quad E(z) = E_0 - (z/0.285)^{2/3}$$

con $E(z) = 0$ per $R_0 = 0.285 \times E_0^{3/2}$.

Ovviamente, nei punti di contatto il lino interagisce con particelle α di energia E_0 . In ogni caso, a distanza z le fibre di lino si ingialliscono con una intensità:

$$(8) \quad I(z) = cost \times E(z).$$

In conclusione, utilizzando particelle che penetrano nel lino ingiallendone le fibrille superficiali, noi avremmo una distribuzione di chiaro-scuri con una correlazione $I(z)$ non lineare:

$$(9) \quad I(z) = I_M [1 - (z/R_0)^{2/3}]$$

con $I_M = cost \times E_0$ e $R_0^{2/3} = (0.285)^{2/3} \times E_0$.

Analizziamo, quindi, i dati presenti in letteratura (13 coppie di valori, con I_{TOT} in unità non normalizzate e z in mm [10]) con le funzioni (1) e (9) al fine di fare un confronto tra i risultati ottenuti che vengono riportati in Fig. 2.

È opportuno far notare che le particelle passando da 6 a 4 MeV percorrono in aria oltre 2 cm e che da quest'ultima energia fino a 0 la relazione profondità di penetrazione-energia è [18]:

$$(10) \quad R(E) = 0.56 \times E^{3/4}$$

che comporta una correlazione intensità-distanza diversa dalla (9) e data da:

$$(11) \quad I(z) = I_M [1 - (z/R_0)^{4/3}]$$

con $I_M = cost \times E_0$ e $R_0^{4/3} = (0.56)^{4/3} \times E_0$.

Come conseguenza, 11 dati su 13 (vedi i valori di z estratti da Ref.[10] e riportati in Fig.2) dovrebbero essere trattati con la (9) e solo 2 con la (11). Noi, nell'ipotesi radiativa, abbiamo analizzato tutti i dati sperimentali solo con la (9) avendo stimato irrisorio l'errore

che si introduce in confronto a quello intrinseco nei dati sperimentali. D'altro canto, non avrebbe senso eseguire un fit con solo due valori.

In entrambe le analisi dei dati, il calcolo fornisce i valori delle due costanti presenti nelle funzioni, di r^2 (correlation coefficient squared) e del χ^2 ridotto [23]. I valori di r^2 , che sono 0.58 e 0.49, rispettivamente per la funzione lineare e non, così come i valori del χ^2 ridotto (0.53 contro 0.55) mostrano, come è ragionevole aspettarsi, che il miglior fit si ha con la prima funzione [10]; tuttavia, dal confronto emerge che quello con la seconda è altrettanto buono.

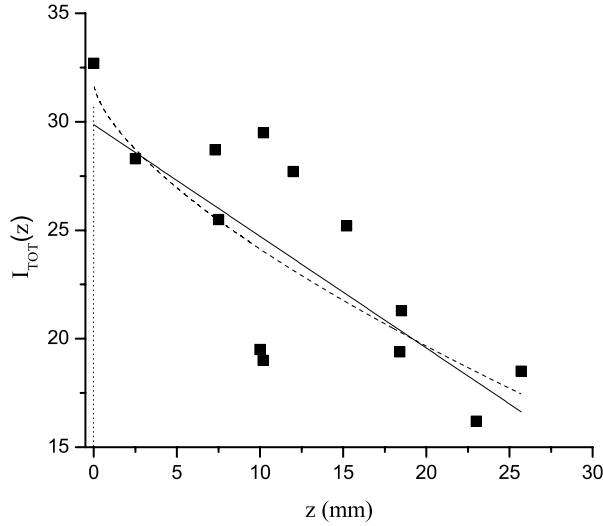


FIGURA 2. Valori sperimentali dell'intensità della Shroud body image, in unità non normalizzate, vs. la distanza corpo-telo. Le linee, continua e punteggiata, rappresentano, rispettivamente, il risultato dei fit con le funzioni (1) e (9).

La differenza tra il nostro $r^2 = 0.58$ ed il valore 0,60 trovato da Jackson *et al.* [10] si spiega con l'utilizzo da parte nostra dei valori di I_{TOT} e z ricavati dalla Fig. 3 della citata referenza.

Il confronto tra i due fit mostra, inoltre, che per $z > 10$ mm la pendenza della linea di regressione di Jackson *et al.* [10] è, in valore assoluto, maggiore di quella della funzione (9) relata al processo radiativo: $|dI/dz|_{Jackson} > |dI/dz|_{rad}$. Come conseguenza, le due funzioni intersecano la retta $I_{TOT}(z) = I_B$ in punti diversi, con $(R_0)_{rad} > (R_0)_{Jackson}$ (vedi Tab.1). Operativamente, abbiamo ottenuto il valore $(R_0)_{Jackson}$ dall'intersezione tra la correlazione (1) e la retta $I_{TOT}(z) = I_B$ con $I_B = 10.9$; la stessa retta interseca la correlazione (9) per il valore di $z = 45$ mm.

Ora, poiché le stime di distanza corpo-telo sono in linea con il valore di $R_0 = 37$ mm trovato da Jackson *et al.* [10], ne consegue che il valore di $(R_0)_{rad}$ è eccessivo. Ciò è determinato dalla insufficiente disponibilità di dati, solo due, con $z > 22$ mm che dovrebbero essere trattati con la funzione (11). Questa, proprio nella regione di nostro interesse, presenta una pendenza maggiore di quella della (9) con un conseguente valore di $(R_0)_{rad}$ che

diventa accettabile. Sarebbe, comunque, opportuno disporre di ulteriori dati sperimentali per giungere a conclusioni più attendibili [24].

TABELLA 1. Valori di r^2 , χ^2 ridotto, I_M ed R_0 ricavati, con le funzioni di correlazione (1) e (9), dai fit dei dati sperimentali

Correlazione	r^2	χ^2 ridotto	$I_M(u.n.n.)$	R_0 (mm)
(1)	0.58	0.53	29.9	37
(9)	0.49	0.55	31.8	45

L'emissione radiativa è stata analizzata come fosse quella parte del meccanismo di formazione della Shroud body image che agisce a distanza. L'altra parte di meccanismo, nella nostra visione, si manifesta per contatto. Abbiamo valutato la risoluzione dell'immagine, la profondità del lino ingiallito che la forma, le modificazioni chimiche prodotte sullo stesso da un fascio di particelle ed, infine, dedotto la correlazione tra l'intensità dell'immagine e le distanza corpo-telo.

La risoluzione dell'immagine dipende dal contatto e non dall'azione a distanza: è, quindi, in linea con quella della Shroud body image anche nell'ipotesi radiativa.

La profondità di penetrazione prodotta da particelle α da 6 MeV è di alcune decine di micron; la stessa profondità del lino ingiallito che forma l'immagine. Un analogo risultato può essere raggiunto con protoni, deutoni ed ^3He di diversa energia.

Le modificazioni chimiche prodotte, come abbiamo discusso, forniscono un risultato diverso da quello rilevabile sulla Sindone.

Infine, la correlazione tra I e z dà risultati accettabili nonostante le diversità nella chimica. Diversità che (aldilà della difficoltà di accettare l'ipotesi che una forma umana diventi sorgente di particelle) ci consente di affermare che l'ipotesi radiativa deve essere scartata se considerata come possibile meccanismo che agisce a distanza nella formazione della Shroud body image.

Gli autori ringraziano O.A.Yuminov (Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow) per aver tradotto dal russo l'articolo citato nel riferimento [3], G. Giardina (Dipartimento di Fisica dell'Università, Messina) e V. S. Olkhovsky (Institute for Nuclear Research, Kiev) per le utili discussioni relative all'interazione tra la radiazione e la materia e R. Innocenti e C. Tonin (ISMAL, CNR, Biella) per aver fornito i parametri del lino necessari al calcolo.

In questa occasione, G. F. ricorda Padre Letterio Ruggeri (Parrocchia Maria SS Incoronata, Messina) che lo ha indirizzato allo studio della Sindone.

Riferimenti bibliografici

- [1] J.H. Heller, A.D. Adler, *Canadian Society Forensic Scientific Journal* **14**, 81 (1981); J.H. Heller, *Report on the Shroud of Turin*, 144 (Houghton Mifflin C., Boston, 1983).
- [2] L.A. Schwalbe, R.N. Rogers, *Analytica Chimica Acta* **135**, 3 (1982); R.N. Rogers, *Proceedings of the 1977 United States Conference of Research on the Shroud of Turin*, 131 (K. Stevenson, Holy Shroud Guild, New York, 1977).

- [3] S.L. Yablokov, R.T. Volkogonov, *Applied Chemistry and Biochemistry*, 611, in Russian (V.L. Sharov, Novosibirsk University Press, Novosibirsk, 1988); E. Ott, H. Spurlin, M. Grafflin, *Cellulose and Cellulose Derivatives* (Wiley Interscience, New York, 1954); F. Shafizadeh, *Cellulose Chemistry and its Applications*, 266 (T.P. Nevell and S.H. Zeronian, Ellis Horwood, Chichester, England, 1985); F. Ferrero, F. Testore, G. Malucelli, C. Tonin, *Journal of the Textile Institute* **89**, 562 (1998).
- [4] W.R. Ercoline, R.C. Downs Jr., J.P. Jackson, *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society*, 576 (IEEE, New York, 1982).
- [5] I. Wilson, *The Turin Shroud* (Doubleday, New York, 1978).
- [6] S.F. Pellicori, *Applied Optics* **19**, 1913 (1980).
- [7] R.A. Morris, L.A. Schwalbe, J.R. London, *X-Ray Spectrometry* **9**, 40 (1980).
- [8] K.F. Weaver, *National Geographic* **157**, 741 (1980); A.D. Adler, *Proceedings of the 1999 Shroud of Turin International Research Conference, Richmond, VA*, 103 (D. Crispino, Effata Editrice, Torino, 2002).
- [9] G. Fazio, *Collegamento pro Sindone Internet*, Febbraio 2006 (<http://www.sindone.info>).
- [10] J.P. Jackson, E.J. Jumper, W.R. Ercoline, *Applied Optics* **23**, 2244 (1984); *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society*, 559 (IEEE, New York, 1982).
- [11] G. Fanti, M. Moroni, *Journal of Imaging Science and Technology* **46**, 142 (2002).
- [12] J.A.T. Robinson, *Proceedings of the 1977 United States Conference of Research on the Shroud of Turin*, 23 (K. Stevenson, Holy Shroud Guild, New York, 1977); P.B. Barbet, *A Doctor at Calvary* (Image Books New York, 1963).
- [13] E.J. Jumper, A.D. Adler, J.P. Jackson, S.F. Pellicori, J.H. Heller, J.R. Druzik, *Archaeological Chemistry III*, 447 (J.B. Lambert, American Chemical Society, Washington DC, 1984).
- [14] J.D. German Jr., *Proceedings of the 1977 United States Conference of Research on the Shroud of Turin*, 234 (K. Stevenson, Holy Shroud Guild, New York, 1977).
- [15] B.M. Schwartz, *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society*, 538 (IEEE, New York, 1982).
- [16] G. Fazio, *Science and Technology for Cultural Heritage* **5** (2), 107 (1996).
- [17] R.W. Mottern, J.R. London, R.A. Morris, *Material Evaluation* **38**, 39 (1980); S. Curto, *Report of the Turin Commission on the Holy Shroud*, 59 (Screenpro Films, London W1V 3HQ, 1976).
- [18] R.D. Evans, *The Atomic Nucleus* (McGraw-Hill Book Co., New York 1955); M. Fazio, *Enciclopedia della Fisica, Fisica Nucleare*, Volume II-Sezione XI, 108 (Istituto Editoriale Internazionale, Milano, 1973); H.J. Moe, S.R. Lusak, M.C. Schumaker, *Radiation Safety Technician Training Course* (Argonne National Laboratory, Chicago, 1971).
- [19] S.F. Pellicori, M.S. Evans, *Archaeology* **34** (1), 34 (1981).
- [20] V.D. Miller, S.F. Pellicori, *Journal of Biological Photography* **49**, 71 (1981); R. Bucklin, *Medicine, Science, and the Law* **10**, 14 (1970).
- [21] G. Fazio, *Sindon N. S.* **12**, 85 (1999).
- [22] G. Fanti, (<http://www.dim.unipd.it/misure/fanti/rad-skin.pdf>).
- [23] J.E. Freund, *Modern Elementary Statistics* (Prentice-Hall, New Jersey, 1952); F.N. David, *Tables of the Correlation Coefficients* (Cambridge U.P., London, 1938).
- [24] N. Johnson, F. Leone, *Statistics and Experimental Design*, Vol.1 (Wiley, New York, 1977).

[a] Giovanni Fazio
 Università degli Studi di Messina,
 Dipartimento di Fisica
 Salita Sperone 31
 98166 Messina, Italy
 * E-mail: fazio@nucleo.unime.it

[b] Antonella Roberto
 I.P.S.A.A.R.A., VV
 Largo Conservatorio
 89900 Vibo Valentia, Italy

Presented: May 15, 2006
Published on line on July 23, 2007