



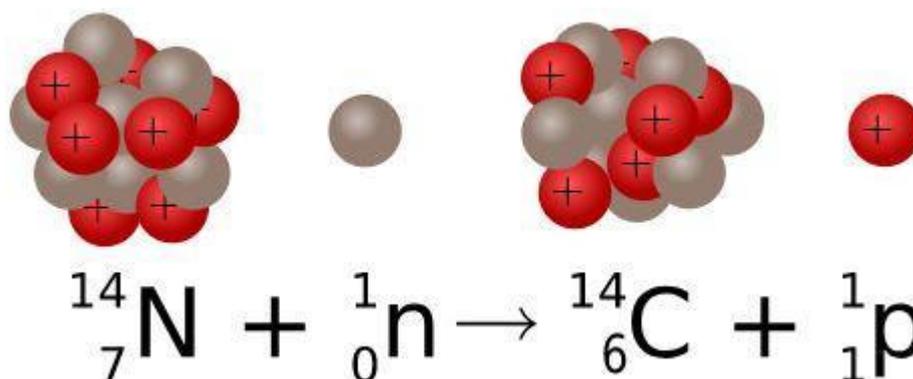
## QUALCHE RAGIONAMENTO SCIENTIFICO ELEMENTARE SULLA DATAZIONE DELLA SINDONE DI TORINO TRAMITE $^{14}\text{C}$

Paolo Di Lazzaro

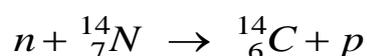
Che cosa è il  $^{14}\text{C}$  e come si genera

Tutti i pianeti del Sistema Solare, inclusa la Terra, sono sottoposti ad un bombardamento di radiazione e di particelle emesse dal Sole, il cosiddetto 'vento solare', o 'raggi cosmici'. Per nostra fortuna, il campo magnetico terrestre devia la traiettoria di gran parte delle particelle del vento solare, impedendo il loro arrivo sulla superficie terrestre. La vita sulla Terra come noi la conosciamo oggi sarebbe impossibile senza l'effetto di schermatura del campo magnetico, perché l'irraggiamento continuo di protoni, elettroni, particelle alfa aventi energie di diverse migliaia di elettronvolt causerebbe danni irreversibili al DNA delle specie viventi.

Tuttavia, alcune particelle del vento solare riescono ad attraversare lo schermo magnetico terrestre, e interagiscono con le molecole di aria negli strati alti dell'atmosfera. I principali costituenti dell'atmosfera sono azoto - N (78%) e ossigeno - O (21%). Quindi un neutrone (ad esempio prodotto da un urto tra una particella cosmica e l'atmosfera) ha una maggiore probabilità di "incontrare" un atomo di azoto piuttosto che di ossigeno, e se il neutrone ha l'energia "giusta", allora interagisce con il nucleo di azoto. Quello che a volte accade in questa interazione è che il neutrone entra nel nucleo dell'atomo di azoto ed espelle un protone dello stesso nucleo. Di conseguenza, l'atomo di azoto si trova ad avere 6 protoni (invece dei 7 originali) e 8 neutroni. In pratica, l'atomo di azoto è diventato carbonio (il cui nucleo normalmente ha 6 protoni e 6 neutroni) ma si tratta di un carbonio anomalo, con due neutroni in più del solito, e perciò instabile, che tende a decadere per tornare nella situazione originale.



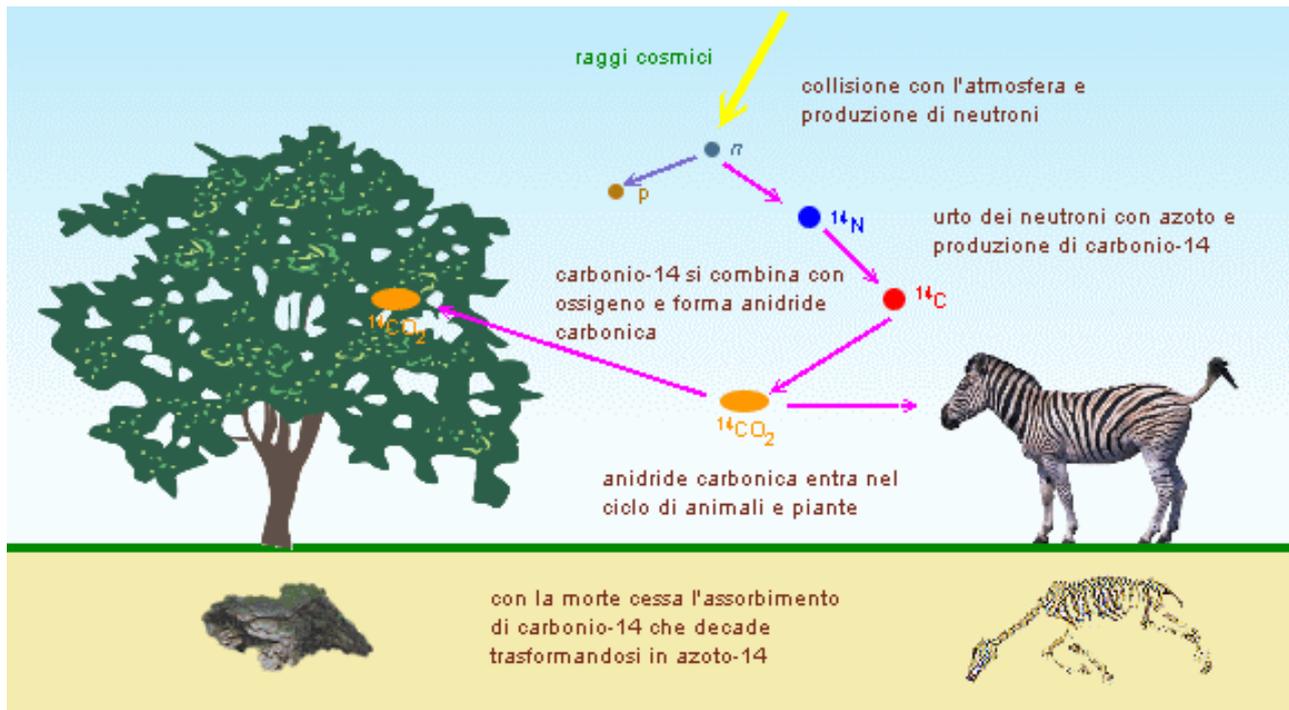
Gli scienziati apprezzano la sintesi, quindi hanno sviluppato un formalismo per cui tutta la descrizione precedente si può riassumere in una sola riga come



dove n sta per neutrone, p per protone, N per azoto e C per carbonio. Il numero 14 in alto è la somma di protoni + neutroni, il numero 7 (e 6) in basso è il numero di protoni. A sinistra della freccia c'è la situazione iniziale, a destra della freccia la situazione finale.

Gli isotopi  $^{14}\text{C}$  conservano la stessa struttura elettronica del normale carbonio  $^{12}\text{C}$  (12 = 6 protoni + 6 neutroni) e quindi nelle reazioni chimiche il  $^{14}\text{C}$  si comporta come il  $^{12}\text{C}$ , incluso il legame con l'ossigeno che crea molecole di anidride carbonica  $\text{CO}_2$ .

L'anidride carbonica con  $^{14}\text{C}$  si propaga nell'atmosfera, si scioglie nei mari, viene assorbita dalle piante tramite fotosintesi, entra nella catena alimentare quando le piante vengono mangiate dagli animali erbivori, fino ad arrivare agli animali carnivori che si cibano di animali erbivori e agli onnivori che si cibano di piante e di animali. Di conseguenza, ciascun animale o pianta possiede nel proprio organismo atomi di  $^{14}\text{C}$ .



*Ciclo del  $^{14}\text{C}$  dalla produzione alla distribuzione e infine al decadimento.*

Quanti? Pochissimi, in percentuale. Approssimativamente, ci sono tre atomi di  $^{14}\text{C}$  ogni due-mila miliardi di atomi di carbonio normale  $^{12}\text{C}$ .

Il conteggio degli atomi residui di  $^{14}\text{C}$  e l'età del campione

L'isotopo  $^{14}\text{C}$  è instabile e radioattivo. Poiché è instabile, il  $^{14}\text{C}$  alla fine ritornerà (decadrà) di nuovo a  $^{14}\text{N}$ , l'isotopo di azoto più abbondante e stabile. Poiché il bombardamento dei raggi cosmici è grosso modo costante, nell'atmosfera terrestre il rapporto tra  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  resta sempre ad un livello quasi costante. Una volta che le piante o gli animali muoiono, tuttavia, smettono di assorbire  $^{14}\text{C}$  che, nei loro tessuti biologici, comincerà gradualmente a decadere, facendo sì che diminuisca progressivamente. Questo processo di decadimento è molto lento, perché bisogna attendere 5.730 anni affinché il numero di atomi di  $^{14}\text{C}$  si riduca alla metà di quello originale. Ma siccome la quantità di  $^{12}\text{C}$  non cambia nel tempo, il rapporto

$^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  può essere utilizzato per determinare quanto tempo è trascorso da quando un dato campione di origine vegetale o animale ha smesso di scambiare carbonio: più vecchio è il campione, meno  $^{14}\text{C}$  ci sarà e quindi più basso sarà il rapporto  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ .

In un certo senso, usiamo il  $^{14}\text{C}$  come fosse una clessidra atomica.

Purtroppo, calcolare l'età tramite  $^{14}\text{C}$  non è semplice. Il primo problema è contare quanti atomi di  $^{14}\text{C}$  e di  $^{12}\text{C}$  sono rimasti nel campione. Il conteggio è effettuato tramite la complessa tecnologia AMS (Accelerator Mass Spectroscopy, spettrometro di massa con acceleratore)



Spettrometro di massa con acceleratore (AMS) di recente costruzione presso il Lawrence Livermore National Laboratories (USA) <http://bioams.llnl.gov/equipment.php>

Il conteggio di  $^{14}\text{C}$  e di  $^{12}\text{C}$  è solitamente affidabile, se le misure sono fatte per bene e l'AMS è tarato correttamente.

Il secondo problema è trasformare il conteggio di atomi in una data di decesso dell'organismo. Bisogna usare curve di calibrazione empiriche e complessi calcoli matematici e statistici per ottenere la relazione tra numero di atomi  $^{14}\text{C}$  residui e l'età del campione. In questi procedimenti l'incertezza aumenta perché abbiamo bisogno di assumere come 'sicure' alcune ipotesi che non sono sempre controllabili. A titolo di esempio, elenchiamo 6 problemi che possono introdurre incertezze nella correlazione tra età del campione e quantità residua di  $^{14}\text{C}$ .

- a) Le quantità di  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  nell'atmosfera non sono costanti, ma subiscono notevoli variazioni sia geografiche sia nel tempo. Basti pensare agli esperimenti con bombe nucleari effettuati da diverse nazioni negli anni tra il 1955 e il 1990 che hanno portato al momentaneo raddoppio della quantità di  $^{14}\text{C}$  nell'atmosfera dell'emisfero boreale e all'aumento di un fattore 1,5 nell'emisfero australe. Oppure alle grandi eruzioni vulcaniche, antiche e recenti, che hanno aumentato la quantità di  $^{12}\text{C}$  su scala locale e a volte globale. Se

ignorassimo queste fluttuazioni, nel primo caso il calcolo porterebbe ad un'età minore rispetto a quella vera, mentre nel secondo caso, essendo diminuito il rapporto tra  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  assorbito, l'età risulterebbe maggiore di quella vera. Inoltre, anche la produzione di raggi cosmici da parte del Sole varia in modo imprevedibile e di conseguenza cambia la produzione di  $^{14}\text{C}$  nell'atmosfera. Se non bastasse, nei periodi superiori al millennio il campo magnetico terrestre si sposta e varia di intensità: di conseguenza cambia l'effetto di schermatura del vento solare e quindi di quantità di  $^{14}\text{C}$  creata nell'atmosfera. Tutte queste variazioni nei secoli (alcune quantificabili, altre no) costringono gli scienziati ad effettuare diverse 'normalizzazioni matematiche' per migliorare l'affidabilità del calcolo dell'età, ma non tutte le variazioni del rapporto tra  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  sono conosciute e di conseguenza il calcolo dell'età è soggetto ad errori che non si possono stimare facilmente.

- b) La fotosintesi è il principale processo che trasporta il  $^{14}\text{C}$  dall'atmosfera agli organismi viventi, anche tramite catena alimentare. Ebbene, nella fotosintesi l'assorbimento di  $^{12}\text{C}$  e di  $^{14}\text{C}$  non è identico, per cui nelle piante il loro rapporto è diverso da quello nell'atmosfera. E di conseguenza sarà diverso anche negli animali che si cibano di vegetali. Per gli organismi marini il problema è simile, perché il  $^{14}\text{C}$  e il  $^{12}\text{C}$  si disciolgono nell'acqua in misura leggermente diversa.
- c) Qualsiasi aggiunta di carbonio al campione, sia per cause naturali (ad esempio, digestione batterica) sia artificiali (ad esempio, sporcizia e materiale estraneo che si lega chimicamente in modo stabile con le molecole del campione) produce una contaminazione che altera il rapporto originario tra  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$ .
- d) Ogni misura comporta un errore, che determina la precisione del risultato ottenuto. L'errore può essere di natura sistematica (ad esempio uno strumento mal funzionante, o non tarato in modo corretto) oppure casuale (da errore umano) o di entrambi i tipi. Se ad esempio prendiamo un righello per misurare la lunghezza di un tavolo e ripetiamo la misura dieci volte, otterremo dieci risultati diversi, vicini tra loro ma che possono differire di alcuni millimetri. Questo errore è di tipo casuale (errore umano). Non è possibile sapere la lunghezza esatta, ma i metodi statistici possono aiutarci a calcolare il valore della lunghezza del tavolo più probabile. Attenzione, la lunghezza "più probabile", non la lunghezza "vera". La media dei risultati di qualsiasi misura fornisce il valore più probabile, ma il risultato esatto non si conoscerà mai. Nel caso della misura del  $^{14}\text{C}$ , la statistica elabora i dati provenienti dalle misure AMS su diversi campioncini in cui viene suddiviso il campione analizzato e fornisce la quantità di  $^{14}\text{C}$  e di  $^{12}\text{C}$  più probabile. Il metodo è efficace solo se i campioncini sono omogenei, ovvero se provengono dallo stesso campione e se le contaminazioni sono state interamente rimosse. Non sempre è possibile sapere se i campioncini sono omogenei, ma quando la statistica dei risultati non è soddisfacente il problema si risolve ripetendo la misura su un altro campione dello stesso reperto. Purtroppo, nel caso della Sindone non è stato possibile ripetere la datazione.
- e) Le tecniche di misura del  $^{14}\text{C}$  hanno bisogno di confrontare i risultati con campioni moderni di riferimento allo scopo di compensare l'errore sistematico della strumentazione sul conteggio del  $^{14}\text{C}$ . In pratica, i risultati di conteggio su un campione di età ignota sono rettificati in base ai risultati della stessa misura effettuata su un campione di riferimento di cui si conosce a priori la quantità di  $^{14}\text{C}$ , anche in questo caso con un margine di errore.

- f) Non tutti i materiali organici sono adatti per ottenere una misura accurata dell'età tramite conteggio del  $^{14}\text{C}$ . È ovvio che un materiale solido e relativamente "impermeabile" come un osso sarà meno soggetto a contaminazioni di un materiale soffice e assorbente come un tessuto. Infatti, le operazioni di pulizia preliminare del campione eliminano gran parte, se non tutte le contaminazioni che non si legano chimicamente al campione, ma non possono eliminare molecole estranee che si sono legate chimicamente al campione diventando parte integrante del campione stesso, andando quindi a portare un contributo di  $^{14}\text{C}$  e di  $^{12}\text{C}$  relativo al momento in cui si instaura il legame chimico. Ovviamente, un tessuto non ha parti interne vergini e si lega chimicamente a molecole estranee molto più facilmente di un materiale che non è mai stato in contatto con l'ambiente esterno.

Negli ultimi 30 anni la tecnologia AMS usata per valutare l'età di un campione tramite conteggio del  $^{14}\text{C}$  ha fatto passi da gigante, permettendo di ridurre gli errori introdotti dai 6 problemi sopra elencati. Tuttavia, i problemi illustrati ai punti c) ed f) sono difficili da risolvere ancora oggi. Ad esempio, Beta Analytic, una delle ditte più rinomate per la datazione tramite  $^{14}\text{C}$ , è molto prudente riguardo l'affidabilità della datazione dei tessuti, riconoscendo che i campioni tessili necessitano di maggiori precauzioni rispetto agli altri materiali. In particolare, nel suo sito web [www.radiocarbon.com/italiano/datare-i-tessuti-con-l-AMS.htm](http://www.radiocarbon.com/italiano/datare-i-tessuti-con-l-AMS.htm) Beta Analytic dichiara:

- 1) La datazione di tessuti si effettua solo nell'ambito di una ricerca multidisciplinare.
- 2) I campioni di tessuto ben conservati, con una buona struttura e non trattati con materiali conservanti generano risultati precisi. I campioni prelevati da un tessuto trattato con additivi o conservanti generano un'età radiocarbonica falsa.
- 3) Il laboratorio non esegue la datazione di tessuti o altri oggetti di valore elevato o inestimabile, a meno che il pagamento e l'invio del campione siano effettuati da un ente statale, da un museo o da un altro istituto riconosciuto che stia studiando i materiali all'interno di un processo di ricerca multidisciplinare.
- 4) È possibile inviare il materiale tramite un archeologo professionista, che dichiari che il campione è adatto per la datazione al radiocarbonio.

Il punto 1) richiama la necessità di confrontare il risultato della datazione  $^{14}\text{C}$  del tessuto con altri indizi e dati che derivano da una ricerca multidisciplinare. In altri termini, la datazione  $^{14}\text{C}$  è solo uno degli elementi da considerare per stabilire l'età più probabile di un tessuto.

Il punto 2) mette in evidenza che il conteggio  $^{14}\text{C}$  di un tessuto trattato in passato con additivi e conservanti genera un'età falsa. Questo punto è particolarmente importante nel caso del tessuto della Sindone di Torino, essendoci riscontri che in passato la Sindone è stata in contatto con materiali conservanti e antitarma.

Il punto 3) ribadisce che un processo di ricerca multidisciplinare è indispensabile per arrivare alla datazione corretta di un tessuto.

Il punto 4) ravvisa l'opportunità che la figura professionalmente qualificata di archeologo dichiari se, in base alle conoscenze e alla storia del reperto tessile, lo si giudica adatto ad essere datato tramite  $^{14}\text{C}$ . In altri termini, non tutti i tessuti possono essere correttamente datati tramite  $^{14}\text{C}$ , vedi il punto 2) e il punto f).

Il calcolo dell'età corrispondente al conteggio del  $^{14}\text{C}$  della Sindone

Le considerazioni sopra esposte, oggi largamente condivise dalla comunità scientifica, erano meno evidenti nel lontano 1988, quando una porzione di tessuto fu prelevata dall'angolo della Sindone di Torino, e suddiviso in quattro lembi consegnati a tre diversi laboratori (Tucson due lembi, Zurigo e Oxford un lembo ciascuno) per la misura del  $^{14}\text{C}$  residuo tramite AMS. Ricordiamo che questa misura è distruttiva, perché bisogna bruciare i campioni per ottenere il conteggio degli atomi di  $^{14}\text{C}$  e di  $^{12}\text{C}$ .

Dopo aver condotto il più ampio esame scientifico multidisciplinare della Sindone nel 1978, un team di scienziati sotto gli auspici del progetto di ricerca sulla Sindone di Torino (STuRP) ha pubblicato i principali risultati in 30 articoli. Il risultato più importante delle analisi STuRP è che il colore seppia, spesso 0,2 micrometri, dell'immagine corporea è stato prodotto da un processo correlato all'ossidazione, alla disidratazione e alla coniugazione della struttura cellulosica delle microfibrille del lino stesso. È molto poco probabile che l'immagine sia stata dipinta; è difficile creare un'immagine che corrisponda alle complesse caratteristiche chimico-fisiche dell'immagine a livello microscopico e la sua peculiare superficialità. Secondo il rapporto finale dello STuRP "l'immagine della Sindone è quella di una vera forma umana di un uomo flagellato e crocifisso".

Nel 1984, STuRP propose un ampio programma per riesaminare la Sindone, per ottenere una comprensione più profonda della formazione dell'immagine, l'età del tessuto e per trovare le migliori condizioni per la sua conservazione a lungo termine.

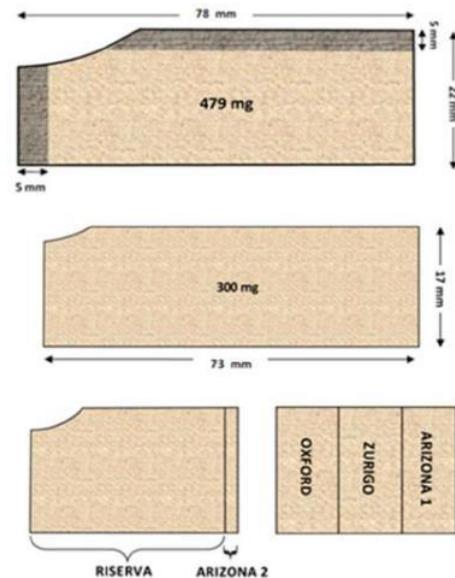
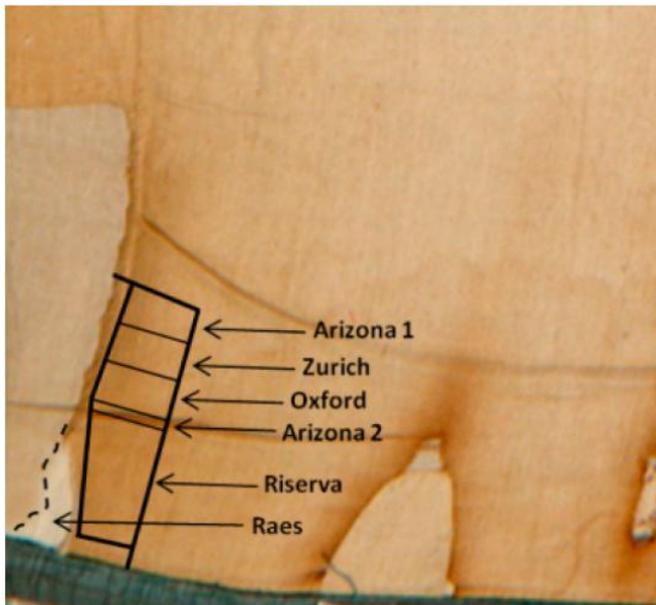
Su 26 test proposti, la Pontificia Accademia delle Scienze suggerì che la Santa Sede ne accettasse solo uno, il test al radiocarbonio. Nel 1986, il "Protocollo del workshop di Torino" stabilì che sette istituti fossero scelti per eseguire l'analisi mediante due tecniche di datazione del  $^{14}\text{C}$ , vale a dire il conteggio proporzionale e l'AMS.

La misurazione del radiocarbonio è distruttiva, poiché il campione da datare viene bruciato. Questo è il motivo principale per cui questo protocollo fu modificato per ridurre la quantità di tessuto da sacrificare. Solo il metodo AMS sarebbe stato utilizzato e sarebbero stati selezionati solo tre laboratori: il Laboratorio di Archeologia e Storia dell'Arte dell'Università di Oxford; il Dipartimento di Fisica dell'Università dell'Arizona e l'Institute für Mittelenergiephysik di Zurigo. Il British Museum è stato scelto come consulente per la corretta esecuzione del campionamento e della datazione. Nell'ultima riunione, tenutasi al British Museum il 22 gennaio 1988, ogni laboratorio chiese 40 mg di tessuto come peso minimo necessario per avere misurazioni affidabili.

I cambiamenti nel protocollo causarono polemiche. Il direttore del Rochester Laboratory, uno dei quattro non selezionati, scrisse una lettera in sette punti a Nature criticando il nuovo protocollo. Il primo punto dice:

*"Il coinvolgimento di sette laboratori è stato ridotto a tre. Ciò elimina la possibilità di rilevare un errore commesso nelle misurazioni da uno o più dei tre laboratori. Come sa Tite, tali errori non sono infrequenti".*

Questa preoccupazione negli anni '80 era più che ragionevole perché, in alcuni casi, era necessaria una combinazione di almeno due tecniche per ottenere il massimo livello di affidabilità. Infatti, i risultati dei confronti internazionali del radiocarbonio hanno mostrato che l'accuratezza e l'affidabilità dell'AMS alla fine degli anni '80 erano notevolmente inferiori ri-

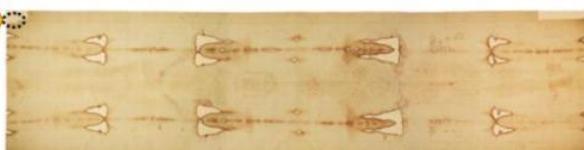


petto ai livelli odierni.

Nonostante le preoccupazioni di cui sopra, il 21 aprile 1988, la Sindone fu separata dal suo tessuto di supporto lungo il bordo inferiore sinistro dell'immagine frontale e una striscia (~ 8 cm x 2 cm) venne tagliata dal bordo del panno, vicino al luogo di un precedente prelievo effettuato da G. Raes dell'Istituto di tecnologia tessile di Ghent nel 1973.

Il sito unico fu scelto per ridurre al minimo l'impatto visivo del taglio del tessuto. Tuttavia, l'uso di un singolo campione, supponendolo rappresentativo dell'intero tessuto, non rispetta le normali procedure di campionamento.

La striscia fu divisa in quattro parti: una, "Riserva", trattenuta dall'Arcivescovo di Torino e tre per la datazione. Poiché il sottocampione destinato all'Arizona era di circa 13 mg più piccolo degli altri (39,6 mg Arizona contro 52 mg Oxford e 52,8 mg Zurigo), fu aggiunto un secondo campione da 14,1 mg tagliato dalla "Riserva".



I risultati furono annunciati in due conferenze stampa tenutesi il 13 ottobre 1988 a Torino e Londra, e i dettagli tecnici furono pubblicati quattro mesi dopo da Nature nel febbraio 1989. I tre anni datati con radiocarbonio, convenzionalmente rapportati a prima del presente (BP) —dove "presente" si riferisce al 1 ° gennaio 1950 d.C. — erano:

Arizona =  $646 \pm 31$ ; Zurigo =  $676 \pm 24$ ; Oxford =  $750 \pm 30$ . Il  $\pm$  indica l'intervallo di confidenza calcolato per l'età radiocarbonica.

Da tener presente che nel 1988 l'incertezza e gli errori erano calcolati utilizzando un metodo oggi non più utilizzato dai metrologi.

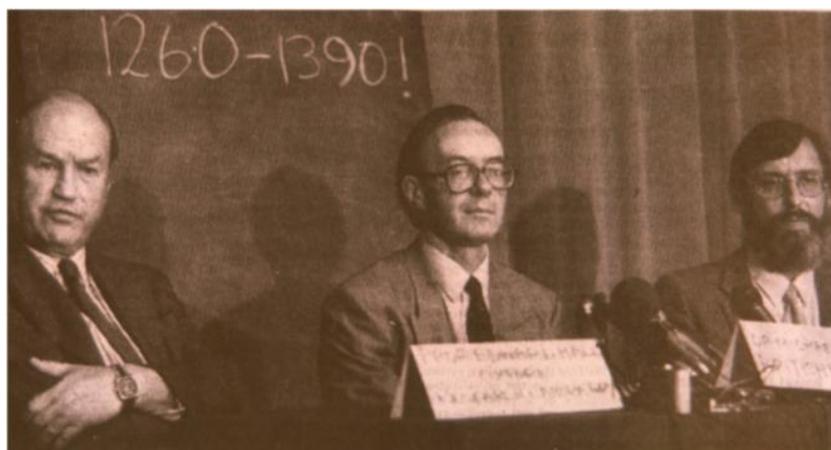
Dopo la calibrazione, gli anni Prima del Presente furono tradotti in età di calendario corrente, ottenendo un doppio intervallo: 1262–1312 d.C. e 1353–1384 d.C. Unendo le due curve di probabilità, si ottiene 1262-1384 d.C., che, arrotondato al decennio, fornisce l'età campionata compresa tra 1260 e 1390 d.C., con un livello di confidenza del 95%. I dati grezzi utilizzati per le singole datazioni non vennero pubblicati.

Alcuni studiosi tentarono allora di valutare l'attendibilità dei risultati della datazione della Sindone, arrivando ad ipotizzare possibili fattori di distorsione.

La prova sperimentale di una cattiva scelta del sito di campionamento fu evidenziata dalle analisi chimiche mediante spettroscopia a infrarossi a trasformata di Fourier (FTIR) di fibre fra quelle rifilate dal campione di radiocarbonio. L'FTIR identifica la struttura chimica di una molecola attraverso il suo spettro di assorbimento infrarosso, che è una sorta di impronta digitale in grado di identificare le molecole. Le fibre analizzate avevano uno spettro FTIR leggermente diverso rispetto alle fibre senza immagine prelevate dallo STuRP dalle altre parti della Sindone.

I dati FTIR del campione selezionato per la radiodatazione mostrano caratteristiche fisiche sia delle zone di macchia d'acqua che di bruciatura del tessuto. Di conseguenza, gli spettri FTIR mostrano che l'area selezionata per il campionamento del radiocarbonio è atipica e non è rappresentativa del resto della Sindone.

Comunque il risultato finale, fu annunciato nella conferenza stampa dei tre Laboratori il 13 Ottobre 1988, di cui alla foto seguente.



Da sinistra a destra: Prof. Edward Hall, Dr. Michael Tite, Dr. Robert Hedges presentano i risultati della datazione della Sindone nella conferenza stampa del 13 Ottobre 1988 presso il British Museum, Londra.

Alcuni dettagli delle misure sono riportati in un articolo pubblicato sulla prestigiosa rivista scientifica Nature nel Febbraio 1989. Nelle conclusioni dell'articolo, gli autori scrivono «*These results therefore provide conclusive evidence that the linen on the Shroud of Turin*

*is mediaeval*» che si può tradurre come: «*Questi risultati perciò forniscono la prova definitiva che il lino della Sindone di Torino è medioevale*».

La prima volta in cui lessi l'articolo, confesso di aver provato un senso di disagio per queste parole, inusuali in un articolo scientifico. Infatti, nel commentare i propri risultati uno scienziato serio non usa mai sinonimi di 'sicuro' o 'definitivo'. Tutti i risultati e le evidenze sperimentali vanno accettati 'fino a prova contraria'. Nei secoli, la Scienza è progredita mettendo in discussione i risultati acquisiti in precedenza, trovandone di nuovi che spesso completano, e in alcuni casi smentiscono, i risultati anteriori.

Questa mancanza di coscienza dei limiti propri della misura che traspare dalle parole conclusive dell'articolo di Nature è imbarazzante oggi, avendo una maggiore conoscenza delle problematiche relative al rapporto tra il conteggio del  $^{14}\text{C}$  e l'età di campioni tessili che abbiamo elencate in precedenza. Ma in realtà le conclusioni dell'articolo apparivano imprudenti anche all'epoca della pubblicazione, perché i numeri sull'elaborazione statistica dei dati erano carenti, e perché i tre Laboratori si sono sempre rifiutati di fornire l'esatta distribuzione spaziale dei dati grezzi, mostrando una scarsa deontologia professionale: si tratta dell'unico caso a mia conoscenza in cui l'autore di un articolo si rifiuta di fornire i dati che permettono ad altri scienziati di ripetere il calcolo e verificare se è stato fatto correttamente. Ogni scienziato sa che un articolo serve proprio a rendere pubblico un risultato di calcolo e/o di un esperimento fornendo i dati che permettano a chiunque di controllare lo stesso risultato. Questo è l'ABC della Ricerca, che il mio docente del corso di Fisica Generale, il grande Edoardo Amaldi, paragonava ad una corsa a staffetta dove ogni scienziato procede e arriva ad un certo punto, per lasciare il testimone al collega che porta avanti la conoscenza su un certo argomento. Se io "corro", ottengo dei risultati, ma se non li comunico, non passo il "testimone" e la mia "corsa" è sterile.

In ogni caso, la maggioranza della comunità scientifica prese per buona la misura di datazione  $^{14}\text{C}$  del 1988 e di conseguenza decadde l'interesse scientifico per la Sindone, considerata un prodotto artistico medioevale.

A parte i lavori pubblicati dagli studiosi Remi Van Haelst e Bryan Walsh che misero in evidenza le carenze dell'analisi statistica dell'articolo di Nature e la necessità di ripetere la misura a causa della disomogeneità dei dati, tutto tace per 22 anni, finché nel Maggio 2010 Marco Riani, Statistico e Professore del corso di Tecniche di Ricerca e di Elaborazione dei Dati presso l'Università di Parma, presenta per la prima volta al workshop IWSAI Frascati i risultati di un complesso calcolo statistico cosiddetto 'robusto' che analizza i dati pubblicati su Nature relativi all'età media di ciascun lembo in cui è stato suddiviso il tessuto ritagliato dalla Sindone.

Non essendo spiegato come i laboratori abbiano suddiviso i singoli campioni ricevuti, il prof RIANI ha applicato metodi di analisi statistica robusta alle 387.072 (96 Arizona x 24 Oxford x 168 Zurigo) possibili configurazioni delle posizioni relative dei 12 sottocampioni ufficiali in cui i tre laboratori avrebbero potuto aver suddiviso i campioni, ciascuno dei quali era stato datato separatamente.

I metodi statistici di Riani permettono di trovare la posizione più probabile di ciascuno dei pezzettini datati e i risultati forniscono due importanti informazioni:

- La prima risultanza, particolarmente interessante, è che l'analisi statistica robusta fornisce risultati coerenti solo distribuendo i dati su tre dei quattro lembi consegnati ai Laboratori per le misure. Questo significa che solo tre lembi di lino furono datati nel 1988, e uno dei due lembi dati al Laboratorio di Tucson non venne datato. Al termine della presentazione di Riani, rammento lo sconcerto degli astanti, perché fino a quel momento si dava per certo che tutti i lembi fossero stati datati, coerentemente con quanto scritto nell'articolo pubblicato su Nature. Qualcuno arrivò a dubitare della correttezza dei calcoli di Riani, ritenendo assurdo il risultato che un lembo non fosse stato datato. Tra l'altro, usando solo uno dei due lembi a disposizione, il laboratorio di Tucson aveva datato una quantità di materiale inferiore al peso minimo per ottenere una datazione affidabile con la tecnologia AMS dell'epoca.

Ricordo che nel rapporto finale dell'analisi del 1988 è dichiarato che il laboratorio dell'Arizona ha datato quattro sottocampioni; il laboratorio di Oxford ha diviso il suo pezzo in tre parti e Zurigo in cinque parti.

Invece, i numeri suggerivano che il più piccolo dei due campioni di Sindone dati al laboratorio di Arizona non fosse stato datato.



Pochi mesi dopo, nel Dicembre 2010, il Prof. Timothy Jull, responsabile del Laboratorio di Tucson in Arizona che aveva effettuato le misure  $^{14}\text{C}$  sulla Sindone, pubblicò un articolo in cui mostrava per la prima volta la foto di un pezzetto della Sindone ricevuto dal suo Laboratorio 22 anni prima e mai usato. Successivamente, il laboratorio di Tucson ammise che il più piccolo dei due lembi ricevuti non è mai stato datato.

## A robust statistical analysis of the 1988 Turin Shroud radiocarbon dating results

G. Fanti<sup>1</sup>, F. Crosilla<sup>2</sup>, M. Riani<sup>3</sup>, A.C. Atkinson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering University of Padua, Italy, giulio.fanti@unipd.it.

<sup>2</sup>Department of Geo-Resources and Territory, University of Udine, Italy fabio.crosilla@uniud.it.

<sup>3</sup>Department of Economics, University of Parma, Italy, mriani@unipr.it

<sup>4</sup>Department of Statistics, London School of Economics, London WC2A 2AE, UK,  
a.c.atkinson@lse.ac.uk.

### Abstract

Using the 12 published results from the 1988 radiocarbon dating of the TS (Turin Shroud), a robust statistical analysis has been performed in order to test the conclusion by Damon et al. (1998) that the TS is mediaeval. The 12 datings, furnished by the three laboratories, show a lack of homogeneity. We used the partial information about the location of the single measurements to check whether they contain a systematic spatial effect. This paper summarizes the results obtained by Riani et al. (2010), showing that robust methods of statistical analysis can throw new light on the dating of the TS.

RADIOCARBON, Vol 52, Nr 4, 2010, p 1521–1527

© 2010 by the Arizona Board of Regents on behalf of the University of Arizona

## INVESTIGATING A DATED PIECE OF THE SHROUD OF TURIN

Rachel A Freer-Waters

Arizona State Museum, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA.

A J Timothy Jull

NSF Arizona AMS Laboratory, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA; Also: Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA. Corresponding author. Email: jull@email.arizona.edu.

**ABSTRACT.** We present a photomicrographic investigation of a sample of the Shroud of Turin, split from one used in the radiocarbon dating study of 1988 at Arizona. In contrast to other reports on less-documented material, we find no evidence to contradict the idea that the sample studied was taken from the main part of the shroud, as reported by Damon et al. (1989). We also find no evidence for either coatings or dyes, and only minor contaminants.

## INTRODUCTION

## Regression analysis with partially labelled regressors: carbon dating of the Shroud of Turin

Marco Riani · Anthony C. Atkinson · Giulio Fanti ·  
Fabio Crosilla

Received: 16 September 2011 / Accepted: 1 April 2012 / Published online: 27 April 2012  
© Springer Science+Business Media, LLC 2012

**Abstract** The twelve results from the 1988 radio carbon dating of the Shroud of Turin show surprising heterogeneity. We try to explain this lack of homogeneity by regression on spatial coordinates. However, although the locations of the samples sent to the three laboratories involved are known, the locations of the 12 subsamples within these samples are not. We consider all 387,072 plausible spatial allocations and analyse the resulting distributions of statistics. Plots of robust regression residuals from the forward search indicate that some sets of allocations are implausible. We establish the existence of a trend in the results and suggest how better experimental design would have enabled stronger conclusions to have been drawn from this multi-centre experiment.

### 1 Introduction

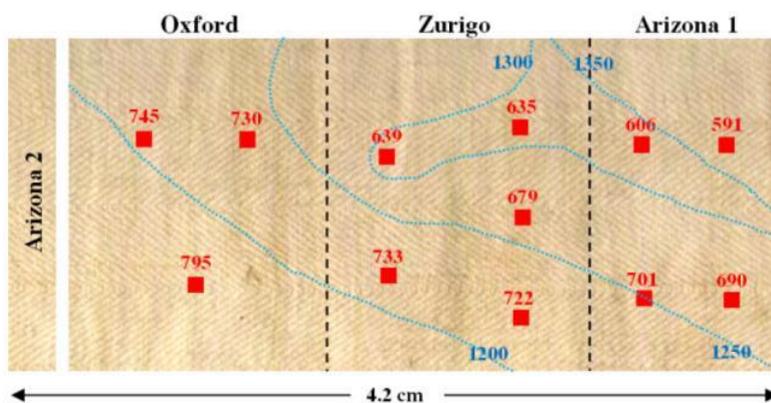
The results of a radiocarbon dating of the Turin Shroud (TS) were published by Damon et al. (1989). Four samples of fabric were cut from a corner of the cloth and sent to three laboratories, the University of Arizona receiving two samples. Statistical analysis of the twelve resulting readings of radiocarbon age shows a surprising lack of homogeneity which was not present in control readings from three other fabrics chosen to span possible ages and sources for the TS. We use regression on spatial coordinates to model this lack of homogeneity. However, the spatial coordinates of the twelve samples are not precisely known. We consider all 387,072 plausible spatial allocations and analyse the resulting distri-

*Dall'alto in basso, le prime pagine di: 1) articolo di Riani negli Atti del convegno IWSAI in cui mostrò i calcoli statistici che permettono sia di scoprire che uno dei due lembi dati al Laboratorio di Tucson non è mai stato datato, sia di ricostruire la posizione di ciasc uno dei pezzettini datati, scoprendo che c'è una variazione monotona dell'età dei pezzettini adiacenti*

*. 2) Articolo di Jull pubblicato 7 mesi dopo la presentazione di Riani in cui mostra per la prima volta la foto di un lembo della Sindone ricevuto dal suo Laboratorio 22 anni prima e mai usato. In una sorta di comicità involontaria, nell'introduzione Jull scrive: 'Un'immagine vale più di mille parole'. Appunto! 3) Articolo di Riani et al. pubblicato in una rivista specializzata in Statistica, in cui si ribadisce la validità dei risultati ottenuti.*

Come si legge nella figura precedente, nella prima riga dell'introduzione Jull scrive: '*Une image vaut mieux que mille mots (proverb)*'. Su questo, dobbiamo dargli ragione: la pubblicazione della foto del pezzetto della Sindone non datato, tenuta segreta per 22 anni dimostra meglio di mille parole la mancanza di trasparenza del Laboratorio di Tucson e indirettamente degli altri due Laboratori che hanno condiviso con Tucson la decisione di non fornire i dati grezzi della misura di datazione, forse proprio per evitare dubbi e critiche sia sulla disomogeneità dei risultati sia sulla mancata datazione di uno dei lembi. È il caso di sottolineare che i risultati di Riani e coautori sono un notevole esempio di 'potenza del calcolo statistico'. Si tratta di un trionfo della capacità rivelatrice della matematica, da portare ad esempio agli studenti di materie scientifiche.

- la seconda è l'esistenza di una variazione spaziale monotona dell'età dei pezzetti di lino. In pratica, l'età cambia costantemente a mano a mano che ci si sposta da un pezzettino all'altro adiacente. Si tratta di un fatto anomalo, perché di solito i valori delle età dei pezzetti adiacenti oscillano, in alto e in basso, intorno ad un valor medio che rappresenta l'età più probabile. Viceversa, la diminuzione costante dell'età dei pezzetti adiacenti suggerisce la presenza di una contaminazione che può aver falsato i risultati. Evidentemente, la pulizia preliminare dei pezzetti di lino analizzati non è stata in grado di rimuovere in modo omogeneo le sostanze contaminanti, oppure il lembo datato conteneva rammendi e aggiunte di tessuto.



*L'età di ciascun sottocampione dipende dalla sua posizione. A titolo esplicativo, il disegno rappresenta una delle 387.072 configurazioni delle 12 datazioni ufficiali in anni BP della tabella 1 (in rosso) che ha prodotto modelli di regressione coerenti, senza valori anomali. Le curve oblique (azzurre) rappresentano le isocrone in anni calendariali, distanti 50 anni.*

Nel 2017, a seguito della notifica ufficiale di una Richiesta di Libertà di Informazione al British Museum, alcuni studiosi hanno potuto finalmente vedere i dati grezzi. Le osservazioni sull'affidabilità dei risultati della datazione dagli studi statistici sui dati ufficiali, hanno sollevato diversi dubbi, in quanto i test statistici non confermano il livello di confidenza del 95% compreso tra 1260 e 1390 d.C. ed evidenziano differenze statisticamente significative fra i dati riportati dai laboratori sia nei valori medi che nei termini di errore.

Questa analisi hanno portato alle seguenti conclusioni:

I dati pubblicati sono eterogenei e vi è un gradiente spaziale lineare delle 12 età dei sottosistemi. Cioè, l'età di un pezzo sul bordo superiore è sistematicamente inferiore a quella del pezzo adiacente. In altre parole, l'età cambia costantemente mentre ci si muove da un pezzo a un altro adiacente. Questo è un fatto anomalo perché solitamente i valori delle età dei pezzi adiacenti oscillano, su e giù, intorno ad un valore medio che rappresenta la stima più probabile. Conseguentemente, la datazione del sottocampione non può essere considerata come misurazioni ripetute di una singola quantità sconosciuta. Pertanto, il presupposto di fondo alla base della datazione al radiocarbonio non è stato soddisfatto.

Da ricordare che ogni laboratorio ha anche datato in parallelo, tre campioni di controllo, vale a dire un tessuto di lino proveniente da una tomba nubiana (XI-XII secolo d.C.), una mummia egizia di Tebe (110 a.C.-75 d.C.) e fili di un piovale da Var, Francia (1290– 1310 d.C.). Nessuno dei campioni di controllo ha dato risultati controversi, nel senso che indipendentemente dalla struttura dell'errore che si assume per i tre laboratori i campioni di controllo mostrano:

Nessuna evidenza di differenze nelle varianze tra i tre laboratori.

Nessuna prova di una differenza di media tra i tre laboratori.

Al contrario, l'applicazione delle stesse prove al campione della Sindone rivela:

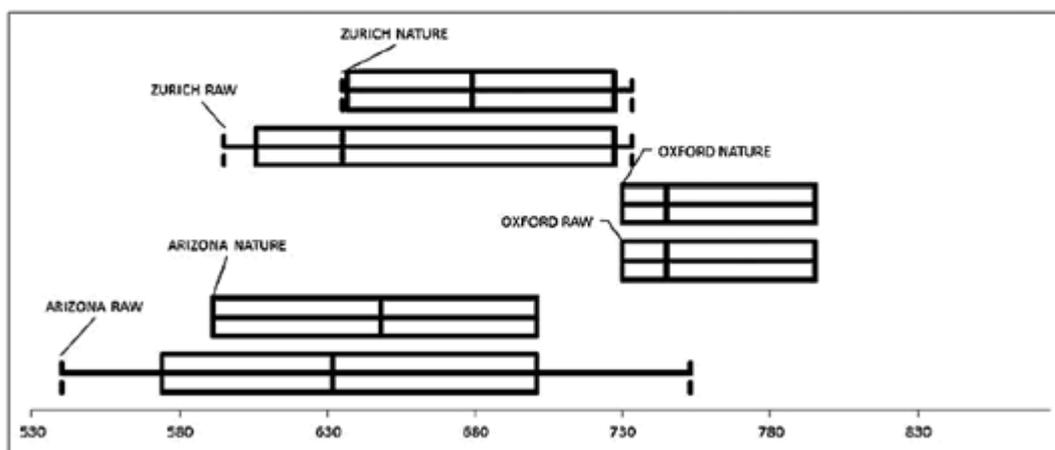
Nessuna evidenza di differenze nelle varianze tra i tre laboratori.

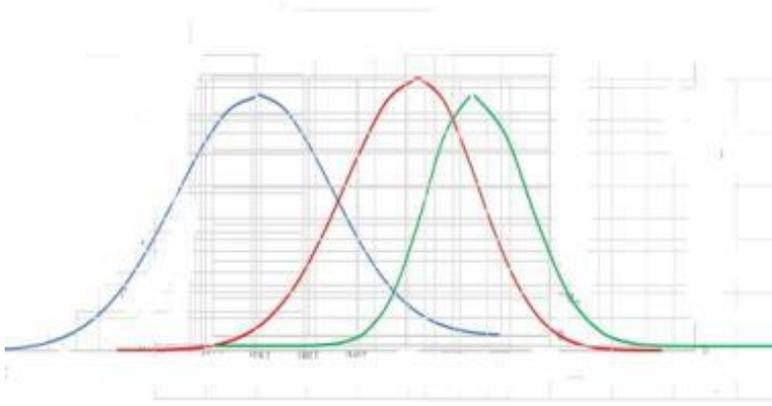
Prova di una differenza di media tra i tre laboratori.

Queste analisi rivelano un'eterogeneità interlaboratorio delle medie e un anomalo gradiente spaziale sistematico delle età che rendono errato combinare i risultati dei tre laboratori in un'unica stima complessiva dell'età.

La conclusione sostanziale degli studi statistici è che i campioni misurati non sono omogenei e le medie non sono compatibili tra loro, in quanto la combinazione dei risultati in un'età unica con un intervallo di confidenza univoco non è significativa in presenza di un trend lineare significativo.

### *Radiocarbon dating of the Turin Shroud*





*media dei valori di tre laboratori, in forma gaussiana per caratterizzare l'ampiezza della distribuzione.*

Riassumendo: poiché i 12 sottocampioni ufficiali sono stati prelevati dallo stesso pezzo di stoffa, le età determinate dal test del radiocarbonio avrebbero dovuto essere basate su errori uguali, ma non lo erano. Poiché la datazione dei tre campioni di controllo ha confermato che l'AMS ha funzionato correttamente per i detti campioni di controllo, un ipotetico “effetto laboratorio” per la datazione della Sindone è da escludere perché le differenze nelle medie dei campioni di controllo non sono significative tra i laboratori.

Attenzione, la presenza di un andamento spaziale non dimostra che la Sindone sia medievale o non sia medievale, ma chiarisce semplicemente cosa si può affermare con questa analisi e cosa non. In altre parole, al fine di evitare malintesi, non si afferma che i risultati del radiocarbonio siano errati e non è nostro scopo cercare di spostare l'intervallo di tempo dell'età. Qui ci limitiamo a precisare che, in generale, i risultati provenienti da diverse fonti possono essere legittimamente combinati insieme anche se c'è una diversa accuratezza tra i diversi protocolli, ma non se i risultati prodotti dipendono da diverse caratteristiche sistematiche (come la posizione di prelievo dei campioni base).

## **Conclusioni?**

Non siamo alla conclusione: forse abbiamo appena iniziato a capire cosa è accaduto nella misura di radio-datazione della Sindone. Tuttavia, pur non essendo in grado di trarre conclusioni, possiamo evidenziare alcune considerazioni.

- ✓ Abbiamo sottolineato che la misura di quanti atomi di  $^{14}\text{C}$  sono ancora presenti in un campione è solitamente affidabile, se il complesso apparato AMS è ben tarato e il personale addetto alla misura è addestrato a minimizzare gli errori casuali e sistematici. Viceversa, la relazione diretta tra numero di atomi  $^{14}\text{C}$  residui e l'età del campione è stabilita da una calibrazione e una serie di calcoli matematici e statistici che risentono di alcune ipotesi a priori la cui affidabilità non è sempre controllabile. In particolare, abbiamo commentato 6 possibili sorgenti di incertezze che possono falsare la correlazione tra età del campione e quantità residua di  $^{14}\text{C}$ .
- ✓ Abbiamo illustrato le varie ragioni per cui datare tramite  $^{14}\text{C}$  un tessuto di cui non si conoscono le condizioni in cui è stato conservato e manipolato comporta un elevato rischio di ottenere una età sbagliata. Queste ragioni, oggi condivise dalla comunità scientifica, non erano note nel 1988, quando la Sindone fu data.

- ✓ Abbiamo commentato alcune carenze nei calcoli della datazione della Sindone effettuata nel 1988, ed evidenziato un approccio contrario alla corretta etica scientifica nella mancata divulgazione dei dati grezzi della misura.
- ✓ Abbiamo mostrato un uso 'potente' della matematica statistica che ha permesso sia di evidenziare una probabile contaminazione dei campioni della Sindone usati per la datazione, sia di svelare che uno dei lembi dati ai Laboratori non fu mai datato.

Questo ultimo fatto è stato tenuto segreto per 22 anni e rivela un comportamento non trasparente e censurabile di almeno uno dei Laboratori (Tucson) che hanno partecipato alla misura del 1988. Inoltre, grazie a questa scoperta sappiamo che i risultati del laboratorio di Tucson sono da scartare perché la quantità di lino datata era inferiore al peso minimo (40 mg di tessuto) richiesto dagli stessi laboratori per ottenere una datazione affidabile con la tecnologia AMS dell'epoca. In un articolo intitolato "A Ray of Light on the Shroud of Turin", che può essere letto nel sito [Academia.edu](http://Academia.edu), abbiamo mostrato come le misure scientifiche effettuate sulla Sindone di Torino nel loro insieme forniscono diversi indizi, ma nessuna prova assoluta, nel senso di 'scientificamente certa'. Infatti, allo stato attuale non sappiamo come si è formata l'immagine corporea sulla Sindone, perché nessun esperimento è riuscito a riprodurre le caratteristiche chimico-fisiche dell'immagine a livello microscopico. Inoltre, non sappiamo l'età del lino della Sindone, perché la misura tramite conteggio di  $^{14}\text{C}$  del 1988 presenta alcune carenze, e recenti calcoli statistici suggeriscono la mancata rimozione dei contaminanti oppure la presenza di rammendi che possono aver compromesso l'omogeneità dei campioni analizzati e quindi falsato il calcolo dell'età. La Sindone rimane perciò "una sfida alla nostra intelligenza". Una sfida perduta in partenza fino a quando non saranno autorizzate nuove indagini scientifiche, le quali, grazie al miglioramento della strumentazione, saranno più affidabili di quelle effettuate nel lontano 1978 (studio dell'immagine) e 1988 (misura  $^{14}\text{C}$  e calcolo dell'età del lino). È il caso di sottolineare che per effettuare una nuova datazione tramite  $^{14}\text{C}$  non è necessario prelevare fili dal telo della Sindone: sarebbe sufficiente, infatti, utilizzare le porzioni di tessuto carbonizzato rimosse dal telo sindonico durante il restauro del 2002.