

Rapporti tecnici

INGV

**Guida all'uso del forno ASC TD-48SC
per la stima della paleointensità assoluta
con il metodo Thellier-Thellier modificato**

265



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

GUIDA ALL'USO DEL FORNO ASC TD-48SC PER LA STIMA DELLA PALEOINTENSITÀ ASSOLUTA CON IL METODO THELLIER-THELLIER MODIFICATO

Anita Di Chiara

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

265

Indice

Introduzione	5
1. Il protocollo IZZI	5
1.1 I campioni per il test	6
2. La pianificazione dell'esperimento	6
2.1 Scelta dell'intensità del campo magnetico agente durante le fasi <i>in-field</i>	6
2.2 Redazione della tabella per l'esperimento	6
2.3 Preparazione dei provini	8
3. Istruzioni operative del Forno ASC TD-48SC in abbinamento al generatore di corrente	9
3.1 Regolazione del generatore di corrente per le tappe a campo magnetico agente (steps Tx.1, Tx.2)	9
3.2 Tappe di smagnetizzazione a campo magnetico nullo (steps Tx.0)	10
3.3 Le misure	11
4. La visualizzazione ed elaborazione dei dati con l'applicazione "Thellier GUI"	11
4.1 Controllo di qualità e criteri di selezione	12
5. Risultati del test e conclusioni	13
Ringraziamenti	14
Bibliografia	14

Introduzione

La stima della paleointensità assoluta del campo magnetico terrestre può essere ottenuta attraverso diverse tecniche, metodi e protocolli di misure paleomagnetiche applicate a campioni idonei di roccia. Non esiste ancora un accordo sulla scelta del metodo ottimale, e le percentuali di successo degli esperimenti sono relativamente basse (20-30%). Tra le diverse famiglie di metodi, si menziono il doppio riscaldamento di Thellier-Thellier [Königsberger 1938; Thellier and Thellier 1959], il metodo Shaw [Shaw 1974], l'impiego delle microonde [Walton et al., 1992], e l'approccio "multicampione" [Dekker e Böhlen 2006]. I metodi più diffusi sono varianti di quello Thellier-Thellier e, tra questi, ne è stata proposta una recente, di acronimo IZZI [Yu et al., 2004; Tauxe e Staudigel, 2004].

Il presente lavoro è finalizzato a fornire una guida pratica all'utilizzo del forno ASC TD-48SC (Figura 1), di cui si è dotato recentemente il Laboratorio di Paleomagnetismo dell'INGV di Roma. Il forno ASC TD-48SC ospita al suo interno un solenoide che, opportunamente alimentato, genera un campo magnetico controllato e sufficientemente stabile nel tempo da essere idoneo ad effettuare esperimenti di paleointensità assoluta secondo le varianti del metodo Thellier-Thellier.

Il protocollo IZZI, usato in questa guida, consiste nella progressiva sostituzione, tramite la procedura del doppio riscaldamento, della TRM (Thermal Remanent Magnetization) naturale del campione con una TRM impartita in laboratorio, al fine di verificare la capacità del campione di registrare fedelmente il campo magnetico agente. Il fine è duplice; da una parte ottenere una stima della paleointensità del campo magnetico terrestre, dall'altra avere la conferma che la mineralogia magnetica del campione non cambia (e quindi non sia presumibilmente cambiata in passato) durante i cicli di riscaldamento e raffreddamento a cui il campione di roccia è sottoposto. Un campione che cambia la propria mineralogia magnetica a seguito di un cambiamento termico non è idoneo a stimare la paleointensità assoluta.

In questa guida si vuole descrivere la sequenza delle operazioni da svolgere per realizzare gli esperimenti di stima della paleointensità assoluta, con alcune note sui metodi e sui programmi di elaborazione dei dati ottenuti.



Figura 1. Il forno ASC TD-48SC per la misura delle paleointensità del Laboratorio di Paleomagnetismo dell'INGV.

1. Il protocollo IZZI

Il protocollo IZZI è stato originalmente descritto e utilizzato in Yu et al. [2004], Tauxe e Staudigel [2004] e in Yu e Tauxe [2005]. Si illustra in questo paragrafo la sequenza delle operazioni da svolgere e la nomenclatura convenzionalmente impiegata in questo protocollo. Si indicano con "I" (*in-field*) le tappe durante le quali i campioni sono riscaldati a una determinata temperatura e poi raffreddati in presenza di un campo magnetico di intensità costante e diretto, nella zona del forno che ospita i campioni, parallelamente

all'asse principale del forno; con "Z" (*zero-field*) si indicano invece le tappe durante le quali i campioni sono riscaldati e poi raffreddati in assenza di campo magnetico agente.

Nel protocollo IZZI i campioni vengono dapprima riscaldati ad una temperatura stabilita e poi raffreddati sotto l'azione del campo magnetico di cui sopra per poi essere nuovamente riscaldati alla medesima temperatura e, quindi, raffreddati in campo nullo (fase I e fase Z, quindi, IZ); si passa quindi alla successiva temperatura prescelta e si inverte la successione delle operazioni, riscaldando e poi raffreddando i campioni prima a campo nullo e poi a campo magnetico costante (ZI), completando una sequenza IZZI. A conclusione di ogni sequenza IZZI, i campioni sono sottoposti a uno *step* di controllo (il cosiddetto pTRM check), in cui si riporta, in presenza di campo, la temperatura a quella iniziale del ciclo IZZI.

Per la gestione dei dati, la convenzione di laboratorio prevede che gli *step* Z vengano indicati con il valore della temperatura seguito dall'estensione ".0" (es. 100.0 è lo *step zero-field* a temperatura 100 °C), gli *step* I vengano indicati con il valore della temperatura seguito da estensione ".1" (es. 100.1 è lo *step in-field* a 100 °C) o con estensione ".2" se si tratta della tappa di controllo (es 100.2 è lo *step in-field* di controllo alla temperatura di 100 °C).

1.1 I campioni per il test

I campioni usati per il test sono lave basaltiche campionate a São Miguel, Azzore (Portogallo) [Di Chiara et al., 2012]. Sono stati scelti 14 campioni e siglati, secondo un numero progressivo, da SML01 a SML15. Tali campioni sono stati scelti come test del forno ASC perché già sottoposti ad esperimenti di paleointensità assoluta presso il laboratorio di paleomagnetismo SIO (Scripps Institution of Oceanography) di San Diego (USA), e quindi idonei a confrontarne i risultati ottenuti. I primi due provini per il test, SML01 e 02, sono stati campionati nella lava risalente a 1073 ± 90 d.C. (Flusso di Feteiras, sito Sml03 in Di Chiara et al., 2012), SML03 e 04 sono stati scelti tra quelli campionati nel flusso storico del 1652 d.C. (Flusso di Fogo, sito Sml08 in Di Chiara et al., 2012); SML05 e 06 appartengono al flusso datato 775 ± 124 d.C. (Mos, sito Sml13 in Di Chiara et al., 2012); i campioni da Sml07 fino a 10 provengono dal flusso lavico del 593 ± 236 a.C (Furna, sito Sm26 e 27 in Di Chiara et al., 2012), di particolare interesse poiché le paleointensità attese hanno valori particolarmente elevati, fino a $95.22 \pm 4.90 \mu\text{T}$ [Di Chiara et al., in preparazione]; i campioni da SML11 al 14 provengono dal flusso di lava storico risalente al 1563 d.C.(Flusso Queimado, Sml31 in Di Chiara et al., 2012).

2. La pianificazione dell'esperimento

La pianificazione dell'esperimento si articola in tre fasi: i) scelta della intensità del campo magnetico agente durante le fasi *in-field* (paragrafo 2.1); ii) redazione di una tabella per la gestione ordinata della successione di tappe dell'esperimento (paragrafo 2.2); iii) preparazione di campioni idonei (paragrafo 2.3).

2.1 Scelta dell'intensità del campo magnetico agente durante le fasi *in-field*

Il campo magnetico agente durante l'acquisizione della TRM di laboratorio deve avere intensità uguale o minore di quella media attesa per l'intervallo di tempo di formazione dei campioni analizzati, in funzione, pertanto, della latitudine supposta per il sito di campionamento alla medesima epoca. Tale valore medio si può ricavare dai modelli globali o dalle curve locali di variazione secolare del campo magnetico terrestre, qualora disponibili. Nel caso dei campioni usati in questo studio preliminare, è stato scelto un valore di campo magnetico pari a $40 \mu\text{T}$, compatibile con campioni di età compresa tra i 1000 BC e il presente, per un sito di campionamento di latitudine 38°N .

2.2 Redazione della tabella per l'esperimento

Per preparare la tabella di gestione dell'esperimento, (per esempio, Tabella 1) è necessario scaricare il pacchetto *PmagPy* (dal link <https://github.com/ltauxe/PmagPy>) e seguire le istruzioni per l'installazione, oppure il programma *chartmaker.py* (link: <https://github.com/ltauxe/PmagPy/blob/master/chartmaker.py>), entrambi sviluppati in ambiente Python dal gruppo di paleomagnetismo diretto da Lisa Tauxe, presso lo Scripps Institution of Oceanography, California. Le istruzioni che seguono sono valide per PC con sistema operativo Windows. Una volta installato il pacchetto, aprire il *command prompt* (digitando dal menu di start di Windows il comando *cmd*) e digitare *chartmaker.py* (Figura 2). Il programma permette di impostare gli intervalli e il passo di temperatura. Si suggerisce una tabella con tappe ogni 100 fino a 300, poi, ogni 50 fino

a 450 e, infine, ogni 10 fino a 600 (i valori sono espressi in °C). Per l'esperimento test sono state utilizzate tappe ogni 100 °C fino a 400 °C e, successivamente, ogni 50 °C fino a 600 °C (Tabella 1). In tabella, $T_{x.0}$ indica la tappa a temperatura x a campo nullo ("Z" in Tabella 1), $T_{x.1}$ ("I" in Tabella 1) indica la tappa a temperatura x con la simultanea applicazione del campo costante, e $T_{x.2}$ ("P" in Tabella 1) è la tappa di verifica (check) della congruenza dei dati. L'output del programma è in un file di testo dal nome "chart.txt". Si raccomanda di cancellare dal file tutti gli step ad estensione ".3", poiché non previsti in questa procedura.

```

Microsoft Windows [Versione 6.0.6002]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.

C:\Users\aldus>chartmaker.py

Welcome to the thellier-thellier experiment automatic chartmaker
Please select desired step interval and upper bound for which you want
e.g.-
50
500
10
600

a blank entry signals the end of data entry.
which would generate steps with 50 degree intervals up to 500
0 degree intervals up to 600.

chart is stored in: chart.txt

Enter desired treatment step interval: <return> to quit 50
Enter upper bound for this interval: 400
Enter desired treatment step interval: <return> to quit 10
Enter upper bound for this interval: 600
Enter desired treatment step interval: <return> to quit
output stored in: chart.txt

C:\Users\aldus>

```

Figura 2. Schermata del programma per generare una tabella di pianificazione dell'esperimento secondo il metodo IZZI.

date	run#	zone I	zone II	zone III	start	sp	cool
0.0							
Z 100.0							
I 100.1							
I 200.1							
Z 200.0							
Z 300.0							
I 300.1							
I 400.1							
Z 400.0							
Z 450.0							
P 300.2							
I 450.1							
I 500.1							
Z 500.0							
Z 550.0							

P	450.2							
I	550.1							
I	600.1							

Tabella 1. In tabella è mostrato un esempio del file di *output* del programma *chartmaker.py*, ove “Z” indica la tappa a temperatura x a campo nullo (Tx.0), “I” indica la tappa a temperatura x con la simultanea applicazione del campo costante (Tx.1), e “P” è la tappa di verifica (check) della congruenza dei dati (Tx.2). Gli ulteriori dati da eventualmente immettere durante l’esperienza sono: “run#”, indicante il numero progressivo; “zone I, II, e III” sono le T indicate dai controller; “start” è l’ora esatta di inizio della tappa Tx.y, “sp” è l’ora del raggiungimento della temperatura prescelta (set point) e “cool” è l’ora esatta dell’inizio del raffreddamento (da pre-impostare, vedi Figura 4).

2.3 Preparazione dei provini

Per preparare provini idonei all’esperienza (Figura 3) è necessario disporre dei seguenti materiali:

- 1) tubi di quarzo (prodotti dalla casa Kimble Chase, dimensioni: 12x35 mm, capacità 0.5 (misurata in fluid drams, dove 1 fl. dram = 3.7 ml) – Articolo no. 6093112, ordinabili online sul sito <http://labglass.kimble-chase.com/item/shell-vials/-n-51a-borosilicate-glass-without-closure-lab-pack/60931-12?>).
- 2) carta in microfibra di quarzo (prodotta dalla Whatman, circolari, di tipo GD/F, Articolo no. 1823-025 dal diametro di 25 mm, ordinabili online sul sito <http://www.whatman.com/GlassMicrofiberPrefilters.aspx>).
- 3) minitrapano con punta diamantata (tipo Dremel; si consiglia una punta diamantata Dremel codice 7144).
- 4) colla Kasil (Caolino in polvere e Soluzione di Silicato di Sodio, entrambi in dotazione del laboratorio).

Si proceda smagnetizzando termicamente i tubi di quarzo vuoti riscaldandoli fino a una temperatura di 600°C.

In seguito, si marchino con il minitrapano i tubi con una linea dritta, parallelamente al loro asse maggiore, indicando anche il numero identificativo di ogni campione. Dai campioni si ricavino dei piccoli frammenti (di dimensione massima circa 0.5 cm) tali da entrare nei tubi di quarzo; si comprima mezzo filtro di carta di vetro sul fondo di ogni tubo, vi si sistemi il frammento, e si riempia di colla. Successivamente, si introduca, premendolo, un filtro di carta di quarzo per fermare la colla e il campione. Si attenda una notte per permettere alla colla di asciugarsi.



Figura 3. A destra si mostrano un campione standard paleomagnetico, alcuni frammenti ricavati dal campione, i filtri di carta di quarzo e i tubi di quarzo; a sinistra si vedono i provini contenenti i frammenti di campioni fissati con i filtri, immersi di colla e asciutti, pronti per essere analizzati.

3. Istruzioni operative del Forno ASC TD-48SC in abbinamento al generatore di corrente

Il forno ASC TD-48SC (Figura 1) è schermato magneticamente, per ridurre in maniera significativa il campo magnetico presente al suo interno quando il solenoide ad esso coassiale non è alimentato. E' un forno a singola camera, all'interno della quale avvengono sia il riscaldamento che il successivo raffreddamento ad opera di una ventola temporizzata; le tre termocoppie di controllo della temperatura sono gestite da altrettanti *controllers* di marca Watlow, che garantiscono la regolazione e il mantenimento della temperatura impostata (Figura 4). Le ventole di cui il forno è dotato sono due; una rimane sempre accesa, l'altra, che serve a raffreddare i campioni, si accende automaticamente al termine del tempo di ritardo impostato con il timer; si raccomanda di spegnere il forno, mediante il commutatore *oven*, durante le fasi di raffreddamento dei campioni.

Al termine di ogni ciclo il timer deve essere *resettato* premendo il suo piccolo pulsante per tre secondi.

Poiché il raggiungimento della temperatura di riscaldamento avviene in un arco di tempo dipendente dalla temperatura impostata, si consiglia di impostare il timer della ventola su tempi sufficientemente lunghi (per esempio, 60 minuti) per poi impostare il timer della ventola a 30 minuti soltanto dopo che la temperatura desiderata è stata raggiunta; questa procedura serve a evitare che la ventola entri in azione durante il riscaldamento dei campioni.

In sequenza, queste sono le operazioni da svolgere per smagnetizzare termicamente i campioni:

- 1) Caricare i campioni nel portacampioni (con la parte aperta dei tubi rivolta verso l'entrata del forno, altrimenti la ventola ne cambia la posizione).
- 2) Collegare il cavo di alimentazione delle termocoppie al porta campioni.
- 3) Agire sul controller generale del forno accendendo la sua alimentazione elettrica (commutatore *power*) e regolando la temperatura desiderata (reostato *setpoint adjustment*), che agisce simultaneamente su tutti i controller.
- 4) Accendere il forno (commutatore *oven*) e la ventola di raffreddamento (interruttore *cooling fan*), regolando poi il timer collegato alla ventola di raffreddamento secondo i criteri descritti precedentemente.
- 5) Appena il forno ha raggiunto la temperatura impostata (solitamente, il controller più lento è quello centrale), regolare il timer al tempo corretto (es. 30 minuti), avviando in tal modo il conto alla rovescia per l'accensione della ventola di raffreddamento dei campioni.
- 6) Appena la ventola si accende, spegnere il forno (commutatore *oven*).
- 7) Quando la temperatura è vicina a quella ambiente scollegare il cavo della termocoppia e estrarre il porta campioni.

3.1 Regolazione del generatore di corrente per le tappe a campo magnetico agente (steps Tx.1, Tx.2)

L'alimentatore "BK precision" (modello 1735A), va collegato ai terminali del solenoide del forno ASC TD-48SC (Figura 4), usandolo in modalità di generatore di corrente (led rosso acceso); se il campo magnetico desiderato è 40 μT , il generatore deve erogare 0.4 A, ricordando che nel caso dell'alimentatore utilizzato, secondo il manuale di istruzioni del forno, occorre una corrente pari a 1 A per erogare un campo magnetico pari a 1 G e che (nel vuoto) $1 \text{ Oe} = 1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

Per erogare il campo magnetico è necessario accendere il generatore di corrente e regolare la corrente in maniera appropriata con le manopole "coarse" (prima regolazione grossolana) e "fine" (seconda regolazione, di precisione), facendo attenzione che il valore del campo non vari durante le operazioni di riscaldamento e raffreddamento. Eventualmente è necessario correggere il valore di corrente erogata dal generatore.

Si noti che l'equivalenza tra corrente e campo magnetico generato è stata verificata misurando con un magnetometro *fluxgate* triassiale il campo magnetico presente all'interno del forno; impostando il *range* di misurazione, con l'apposito commutatore, a 1000 (significa che il massimo valore misurabile è 999 mOe per ogni componente vettoriale), il campo richiesto di 0.4 Oe, assiale al forno, è ottenuto quando si legge 400 sull'asse x. Il valore delle altre due componenti deve essere trascurabile.



Figura 4. Vista complessiva del forno e del generatore di corrente; da sinistra, si notino il timer per la ventola, i commutatori di accensione del controller e di accensione del forno, l'interruttore della ventola e la manopola di regolazione della temperatura del forno. Sopra, si noti l'alimentatore impostato come generatore di corrente (led rosso acceso).

3.2 Tappe di smagnetizzazione a campo magnetico nullo (steps Tx.0)

Prima di procedere con la smagnetizzazione in assenza di campo, è necessario controllare che il campo magnetico all'interno del forno, a solenoide non alimentato, sia ragionevolmente basso; tale controllo si effettua utilizzando un magnetometro triassiale *fluxgate*, come spiegato nel paragrafo precedente. Se i valori misurati dal *fluxgate* non sono ritenuti sufficientemente bassi, è necessario collegare il variatore di tensione (vedi figura 5) alla bobina di smagnetizzazione fornita insieme al forno, alimentandola aumentando lentamente il valore della tensione di uscita del variac fino a leggere 15 V sullo strumento presente sul suo pannello, avendo cura di non superare tale valore.

La bobina, così alimentata, può essere inserita nel forno e passata assialmente e circolarmente in modo di smagnetizzare il forno stesso.

Una volta estratta la bobina, diminuire progressivamente la sua alimentazione prima di disconnetterla dal *variac*.

Ricontrollare con il *fluxgate* che il campo all'interno del forno, dopo quest'operazione, sia sufficientemente ridotto.



Figura 5. Variatore di tensione (*variac*) per ridurre il campo magnetico all'interno del forno dopo ogni passaggio da step Tx.1 o Tx.2, con campo magnetico agente, a Tx.0, a campo magnetico nullo.

3.3. Le misure

I tubi di quarzo contenenti i campioni, una volta rimossi dal porta campioni, possono essere misurati con il magnetometro criogenico 2G, in dotazione del Laboratorio di Paleomagnetismo INGV, seguendo la procedura standard per la smagnetizzazione termica di campioni di roccia.

L'unica differenza, rispetto alla procedura standard, è che al momento di immettere la temperatura di smagnetizzazione termica è necessario specificare se si sta misurando una tappa a campo magnetico nullo (Tx.0) o non nullo (Tx.1 o Tx.2).

4. La visualizzazione ed elaborazione dei dati con l'applicazione "Thellier GUI"

Una volta terminato il ciclo di misure, è possibile visualizzare ed elaborare i dati con l'applicazione "Thellier GUI" [Shaar e Tauxe, 2013]. Il programma permette di convertire il file .dat di output del magnetometro criogenico in un formato idoneo per la visualizzazione e interpretazione dei dati di paleointensità assoluta. Il programma è scaricabile online sia come parte del pacchetto software *PmagPy* (<https://github.com/ltauxe/PmagPy>), sia direttamente dal link <http://earthref.org/PmagPy/cookbook/>. La guida dettagliata al programma è disponibile in inglese al link <http://sorcerer.ucsd.edu/ThellierGui/>.

Il file di dati, convertito nel formato idoneo, viene aperto, elaborato e controllato mediante il programma Thellier GUI (figura 5).

All'apertura del file di misure convertito è necessario selezionare una directory (il cui nome non deve includere spazi), sulla quale vengono salvati direttamente i file di interpretazione (nella sottocartella "Thellier_Gui" creata dal programma e contenuta nella Directory selezionata).

Una volta convertiti, i dati possono essere visualizzati mediante il programma Thellier GUI, grazie a cui è possibile selezionare, attraverso un menu a tendina, il campione di cui visualizzare le misure ai vari step dell'esperimento (figura 5).

In figura 5a i dati sono visualizzati in termini di Arai plot [Nagata et al., 1963], in cui la NRM (Magnetizzazione Naturale Rimanente) residua durante l'esperimento, normalizzata per quella iniziale (NRM_0), è rappresentata in funzione della TRM (la Magnetizzazione Termica Rimanente parziale, o pTRM, acquisita durante l'esperimento). La NRM e NRM_0 sono pertanto misurate durante l'esperimento, mentre la pTRM è calcolata come differenza tra i valori di magnetizzazione misurati dopo una tappa a *zero-field* e una *in-field* alla medesima temperatura; si noti che, ad ogni *step* successivo di temperatura, la NRM diminuisce e, corrispondentemente, la pTRM aumenta. I triangoli, in fig. 5a, rappresentano invece i pTRM check precedentemente introdotti.

L'intensità del campo magnetico originale si stima moltiplicando il valore assoluto della pendenza della linea di best fit, ottenuta dall'Arai plot, per il campo magnetico applicato durante le tappe *in-field*. In figura 5b è mostrato il diagramma ortogonale o di Zijderveld [1967] relativo ai dati di smagnetizzazione delle NRM misurate durante l'esperimento. Si noti, dalle precedenti considerazioni, che un esperimento di tipo Thellier che abbia avuto successo implica un Arai plot lineare e un diagramma di Zijderveld che mostri una singola componente di magnetizzazione (linea che punta verso l'origine degli assi).

Il programma dà la possibilità sia di procedere all'interpretazione dei singoli dati manualmente (selezionando direttamente i singoli step di temperatura desiderati), sia di avviare l'interpretazione automatica (*Auto interpreter* dalla barra menu principale). Prima di procedere all'interpretazione è necessario scegliere i criteri di selezione e di qualità dei dati (paragrafo successivo) dal menu principale *Analysis*. Una volta selezionati i criteri, si può procedere alla selezione per ogni singolo campione degli step di temperatura (visualizzati nel programma nel settore a sinistra in figura 5). I parametri statistici relativi a ogni singolo campione e relativi al gruppo di campioni provenienti da uno stesso sito sono visualizzati rispettivamente al di sopra e al di sotto dei plot centrali. I parametri statistici i cui valori si attestano al disopra dei valori di soglia scelti inizialmente dall'utente sono visualizzati in verde; i valori al disotto dei valori di selezione sono visualizzati in rosso. Tutti i campioni che abbiano uno o più parametri al disotto della soglia vengono automaticamente esclusi dai risultati.

In figura 5c è visualizzata la statistica complessiva del sito (nel caso in cui ci siano più dati disponibili), in figura 5d lo stereoplot, e in figura 5e il diagramma dei momenti magnetici normalizzati su NRM_0 (in blu la NRM e in rosso la pTRM) in funzione della temperatura.

I risultati finali relativi ad ogni singolo campione o ad ogni sito possono essere visualizzati in funzione dell'età dei campioni, per tracciare una curva delle paleointensità (menu "plot" dalla barra principale), oltre che per estrarre una tabella riassuntiva dei risultati (dal menu "Table").

Un tutorial completo del programma Thellier GUI può essere scaricato dal link: http://earthref.org/PmagPy/pmagpydocs/Thellier_GUI_tutorial.pdf.

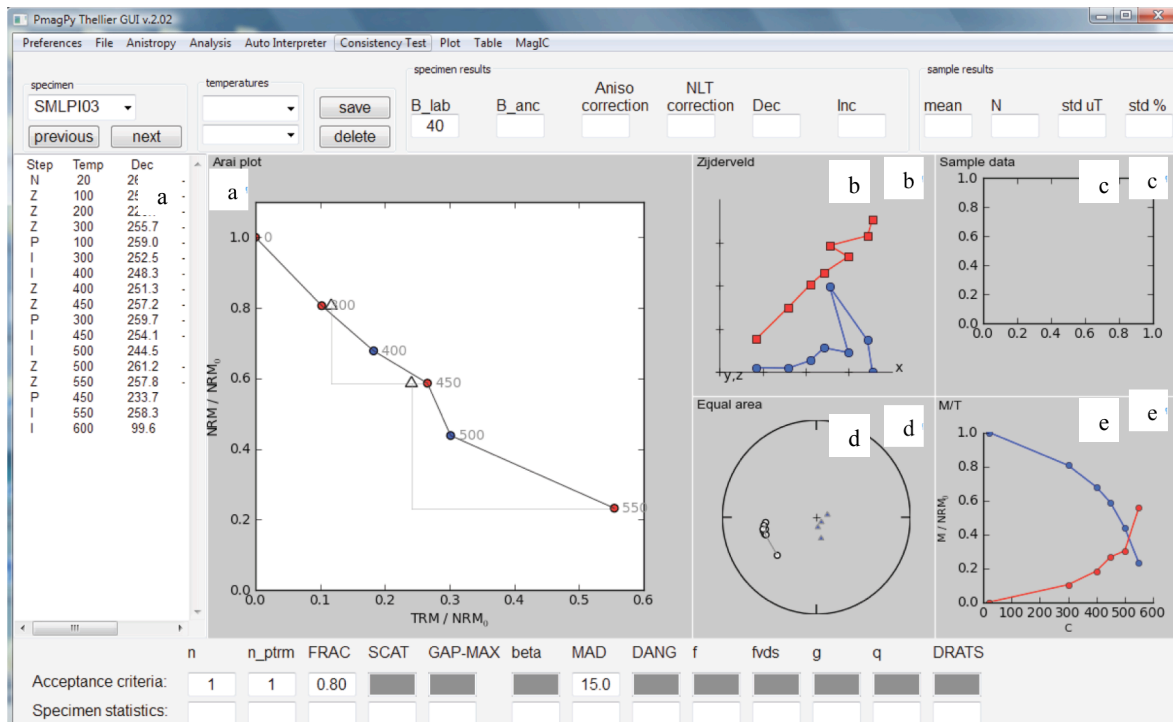


Figura 5. Screenshot della finestra di dialogo del programma Thellier_GUI. Nella barra del menu principale si possono impostare le Preferenze (Preferences), importare ed aprire un file di dati (File), fare il test di Anisotropia (Anisotropy), effettuare le analisi (Analysis), avviare lo strumento di interpretazione automatica dei dati (Auto-Interpreter), lanciare il test di autoconsistenza dei risultati (Consistency Test), rappresentare i risultati in funzione delle età (Plot), esportare la tabella dei risultati (Table) e passare alla modalità più complessa del programma (MagIC). a) Arai plot, b) diagrammi di Zijderveld, c) statistica complessiva del sito, d) Stereoplot, e) Andamento del momento magnetico normalizzato su NRM_0 in funzione della temperatura (in blu è indicato l'andamento della NRM e in rosso la pTRM).

4.1. Controllo di qualità e criteri di selezione

La scelta ed impostazione dei criteri di selezione dei campioni (o “Acceptance criteria”, dal menu Analysis) è di cruciale importanza, poiché una scelta errata dei parametri porta ad ottenere conclusioni diverse e risultati non univoci. Per minimizzare tale soggettività, Thellier GUI mette a disposizione una procedura di interpretazione automatica (“Thellier Auto Interpreter”).

Il programma Thellier GUI utilizza dei parametri statistici per descrivere e, quindi, selezionare la qualità dei dati, permettendo di stimare in maniera statisticamente significativa la paleointensità assoluta. Tali parametri sono riferibili sia a livello di singoli sotto-campioni (specimen) provenienti da uno stesso campione, sia a livello di diversi campioni (samples) provenienti da uno stesso sito.

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi:

- FRAC: Frazione della rimanenza; parametro introdotto da Shaar e Tauxe [2013]. In precedenza, si usavano f , definito da Coe et al. [1978], ma che induce ad una erronea interpretazione quando turbato da una forma concava dell'Arai plot; f_{vds} , introdotto da Tauxe e Staudigel [2004], alterato nel caso in cui il diagramma di Zijderveld abbia una forma dispersa o a zig-zag.
- SCAT: parametro di dispersione; è un operatore booleano che serve a definire se i dati siano o meno dispersi rispetto ai valori di soglia. Come valore di soglia si usa β , parametro che indica la dispersione dei dati, ovvero l'errore standard sulla stima della pendenza diviso per il valore assoluto della pendenza della linea di best fit ($|b|$) [Coe et al. 1978].

Per una panoramica completa dei parametri statistici utilizzati per definire l'affidabilità del dato si suggerisce la consultazione del libro Tauxe [2010], del link <http://earthref.org/PmagPy/cookbook/>, e http://earthref.org/PmagPy/pmagpydocs/Thellier_GUI_Paleointensity_Statistics_Definitions.pdf.

Il "Consistency test" serve a verificare la riproducibilità dei risultati usando una serie di "acceptance criteria"; in altre parole serve a verificare che i criteri scelti siano appropriati per il set di dati analizzato. Può essere avviato al termine dell'analisi manuale dei dati o dell'Auto Interpreter. Per una discussione più estesa si rimanda a Shaar e Tauxe [2013].

Per l'esperimento descritto non è possibile effettuare il Consistency test a causa del numero ridotto di campioni analizzati (sarebbe necessario un *dataset* più esteso). Sono stati utilizzati i valori standard pre-impostati dal programma ad eccezione del numero n di campioni minimo da considerare per calcolare la paleointensità, impostato a 1.

È importante sottolineare che la scelta dei parametri è soggettiva, a discrezione dell'utente, e che il criterio dovrebbe essere di impostare i parametri in modo tale da selezionare il set di dati più possibilmente rappresentativo.

5. Risultati del test e conclusioni

Tutti i campioni analizzati per il presente esperimento hanno dato un risultato attendibile e significativamente comparabile con quanto precedentemente ottenuto presso il laboratorio SIO [Di Chiara et al. in preparazione].

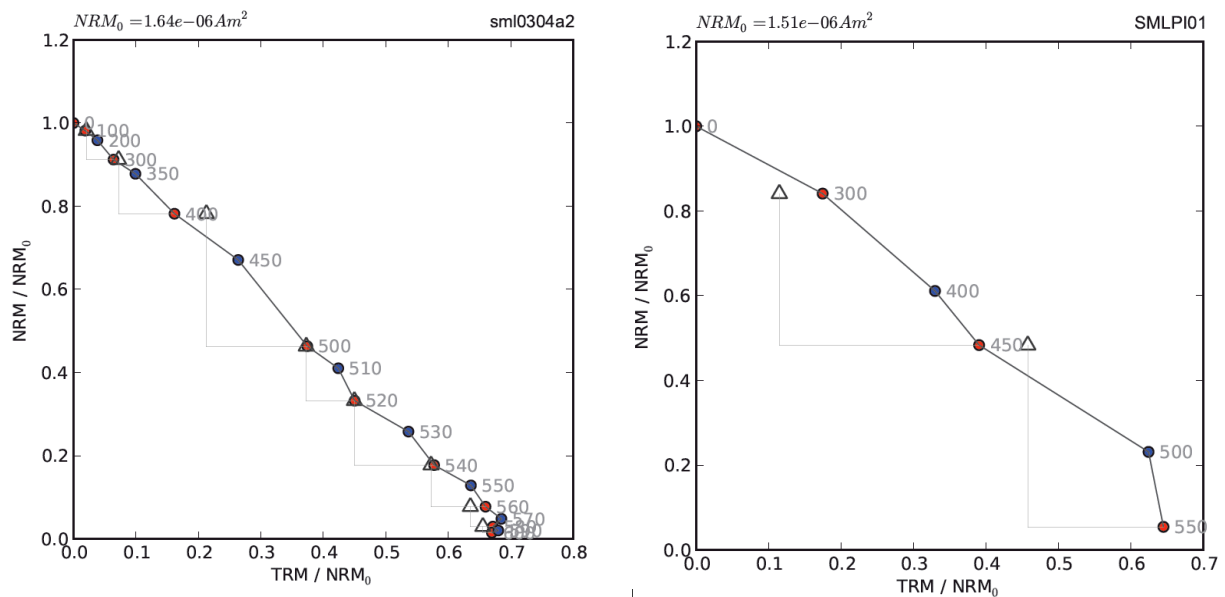


Figura 6. Confronto tra Arai plot ottenuti durante gli esperimenti realizzati presso il laboratorio di paleomagnetismo del SIO (a sinistra) e presso il laboratorio dell'INGV di Roma (a destra). Nonostante il codice di identificazione dei due campioni sia differente si tratta di due provini provenienti dalla stessa carota, la sml0304. Si noti l'analogia di andamento.

L'esperimento ha dimostrato che il forno ASC TD-48SC è adatto a ottenere stime affidabili di paleointensità assoluta. Grazie al contributo del Dr. Ron Shaar, è stato possibile convertire il file dei dati in un formato leggibile dal programma Thellier GUI, per poi poter procedere all'analisi dei dati. Da questo studio introduttivo è emerso che:

- 1) Per ottenere risultati qualitativamente migliori è necessario aumentare sensibilmente il numero degli step di temperatura (paragrafo 2.2).

- 2) Per ridurre l'effetto "zig-zag" evidente dall'osservazione degli Arai plot ottenuti (esempio in figura 6), è necessario approntare un nuovo *tray* per il magnetometro criogenico 2G, ove posizionare stabilmente i tubi di quarzo durante le fasi di misura, in maniera da limitarne i movimenti.
- 3) La migliore procedura per la misura della paleointensità assoluta è tuttora un argomento di dibattito, ed è dunque importante intendere quanto riportato nel presente Rapporto Tecnico come preliminare e da aggiornarsi.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia l'intero gruppo di Paleomagnetismo di Roma 2, e specialmente F. Speranza, L. Sagnotti per il supporto tecnico ed economico, la Prof. L. Tauxe e R. Shaar della Scripps Institution of Oceanography (La Jolla, California, USA) per aver condiviso e diffuso la loro tecnica. Per ogni dubbio sull'utilizzo del programma Thellier GUI o sulla conversione dei dati rivolgersi direttamente agli autori (rshaar@ucsd.edu). Ringrazia inoltre l'accurata revisione di A. Winkler che ha permesso di migliorare la qualità del lavoro. Si ringrazia infine C. Hernandez Moreno per le fotografie (Figura 1, 3, e 4).

Bibliografia

- Coe R.S., Grommé S., and E.A. Mankinen (1978). *Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low*. J. Geophys. Res., 83, 1740–1756.
- Dekkers M.J. and Boehnel H.N. (2006). *Reliable absolute palaeointensities independent of magnetic domain state*. Earth Planet. Sci. Lett., 248, 508–517.
- Di Chiara A., Speranza F., and Porreca M. (2012). *Paleomagnetic secular variation at the Azores during the last 3 ka*. J. Geophys. Res. – Solid Earth., 117, B07101.
- Konigsberger J. G. (1938). *Natural Residual Magnetism of eruptive rocks*. Terrestrial magnetism and atmospheric electricity, 43 (3), 299–320, doi:10.1029/TE043i003p00299.
- Nagata T., Arai Y. and Momose K. (1963). *Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years*. J. Geophys. Res., 68, 5277–5281.
- PmagPy: <http://earthref.org/PmagPy/cookbook/>
- Shaar R. and Tauxe L. (2013). *Thellier GUI: An integrated tool for analyzing paleointensity data from Thellier-type experiments*. Geoch. Geoph. Geosys., 14 (3), doi:10.1002/ggge.20062.
- Shaw J. (1974). *A new method of determining the magnitude of the palaeomagnetic field, application to five historic lavas and five archaeological samples*. Geophys. J. R. Astron. Soc., 39, 133–141.
- Tauxe L. and Staudigel H. (2004). *Strength of the geomagnetic field in the Cretaceous Normal Superchron: New data from submarine basaltic glass of the Troodos Ophiolite*. Geoch. Geoph. Geosyst., 5 (5), Q02H06. doi:10.1029/2003GC000635.
- Tauxe, L. (2010). *Essentials of Paleomagnetism*. University of California Press, Berkeley.
- Thellier E. and Thellier O. (1959). *Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans la passé historique et géologique*. Ann. Géophys., 15, 285 – 376.
- Walton D., Shaw J., Share J. and Hakes J. (1992). *Microwaved demagnetization*. J. Appl. Phys., 7(1), 1549–1551.
- Yu Y. and Tauxe L. (2005). *Testing the IZZI protocol of geomagnetic field intensity determination*. Geoch. Geoph. Geosyst., 6 (5), Q05H17, doi: 10.1029/2004GC000840.
- Yu Y., Tauxe L., and Genevey A. (2004). *Toward an optimal geomagnetic field intensity determination technique*. Geoch. Geoph. Geosyst., 5 (2), Q02H07, doi: 10.1029/2003GC000630.
- Zijderveld J. D. A. (1967). *AC demagnetization of rocks: analysis of results: Runcorn SK, Creer KM, Collinson DW (eds)*. Methods in palaeomagnetism, Elsevier, Amsterdam, 254–286.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia