

EEE Internal Note

The content of this note is intended for EEE internal use and distribution only

27/06/2016

Procedura di misura dell'orientamento del telescopio rispetto al Nord geografico

S. Grazi, M. N. Mazziotta, L. Perasso, F. Pilo

Abstract

Nell'ambito del Progetto Extreme Energy Events (EEE), l'analisi congiunta di dati da più telescopi richiede l'utilizzo di un sistema di coordinate comune. Occorre quindi conoscere con esattezza l'orientamento di ciascun telescopio rispetto al Nord geografico. In questa nota riportiamo una procedura di misura che possa essere eseguita da gruppi di studenti partecipanti al progetto, e che assicuri una precisione finale inferiore ai 2°.

1 Introduzione

Per effettuare comparazioni tra le prestazioni di telescopi differenti, così come effettuare alcuni tipi di studi basati sull'analisi dei dati raccolti (la ricerca di coincidenze a due o più telescopi, lo studio delle distribuzioni delle direzioni di arrivo dei raggi cosmici secondari), è necessario applicare una trasformazione di coordinate dal sistema di riferimento topocentrico, solidale al rivelatore, ad un sistema geocentrico, comune a tutte le stazioni. Questo richiede una misura precisa sia delle coordinate geografiche (latitudine, longitudine ed altezza) di ciascun telescopio sia del suo orientamento rispetto al Nord geografico. La prima misura è ottenuta con sufficiente precisione utilizzando il sistema GPS di cui sono equipaggiate le stazioni. La seconda misura richiede un'accuratezza migliore di un grado e può essere effettuata con molteplici metodi, impiegando strumenti anche molto precisi e costosi.

Scopo di questa nota è illustrare una procedura di misura dell'orientamento del telescopio rispetto al Nord geografico che possa essere eseguita dagli studenti delle scuole partecipanti al progetto e, utilizzando pochi strumenti facilmente reperibili, permetta di ottenere la precisione richiesta.

2 Come utilizzare questa nota

La presente nota è così suddivisa:

- nel paragrafo 3 è inserita la definizione dell'angolo di orientamento del telescopio, cioè è descritto in dettaglio come individuare il vettore cui riferirsi per calcolare la distanza angolare rispetto al nord geografico;
- nel paragrafo 4 sono illustrati in dettaglio i metodi con cui misurare l'orientamento del telescopio rispetto al nord geografico;
- nel paragrafo 5 sono descritte le procedure di misura dell'orientamento rispetto al nord magnetico e le correzioni necessarie da applicare per riferire la misura al nord geografico.

Si consiglia di procedere come segue:

1. assicurarsi che tutte e tre le MRPC del telescopio siano perfettamente allineate l'una sopra l'altra ed in bolla;
2. individuare il vettore di riferimento del telescopio, seguendo la procedura descritta nel paragrafo 3, e tracciare la direzione su una delle MRPC (utilizzando ad esempio un foglio di carta millimetrata fissata sulla superficie superiore di una camera);
3. effettuare le misure descritte nel paragrafo 4 e nel paragrafo 5, seguendo i passi descritti nelle sezioni intitolate: "Istruzioni dettagliate per effettuare la misura" e registrando tutti i dati nelle tabelle riportate in Appendice B;
4. nel computer di acquisizione dati del telescopio, creare una sotto-cartella denominata "daq_config" all'interno della cartella normalmente utilizzata per lo scambio dati con il CNAF. Salvare quindi solo la parte di questo documento che contiene le tabelle, in formato "Word", denominandola con il seguente schema: refAngle_stationID_yyyymmdd.doc(x) dove il campo "stationID" è l'identificativo della stazione mentre il campo "yyymmdd" indica l'anno, il mese ed il giorno della registrazione delle misure;
5. avvertire il proprio referente EEE che è stata compiuta una nuova campagna di misure dell'orientamento del telescopio e valutare se sia necessario o meno l'aggiornamento del campo "Angle" utilizzato nel programma di acquisizione dati.

3 Definizione dell'angolo di orientamento del telescopio

Durante la fase di installazione di ogni telescopio, è definito quale tra i due lati corti delle MRPC costituisca il lato destro ed il lato sinistro dell'apparato (Figura 1.a); questa informazione è facilmente ricavabile tramite ad esempio etichettatura sulla struttura di supporto.

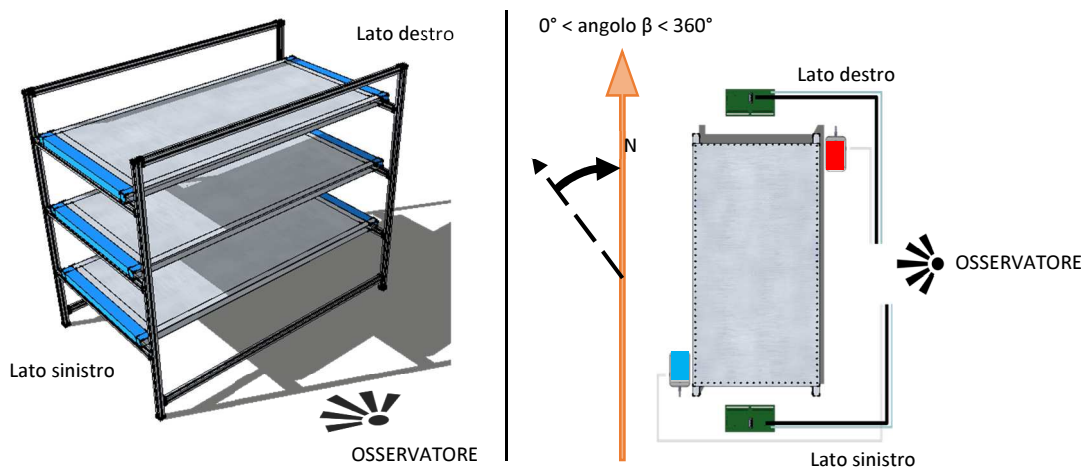


Figura 1 - a) Identificazione del lato sinistro e del lato destro del telescopio fatta durante la fase di installazione. b) Vettore di riferimento per la misura della distanza angolare (β) tra il telescopio ed il Nord geografico.

Nel caso in cui tali riferimenti fossero andati persi è sempre possibile dedurli in base al modello di schede di front-end utilizzate per raccogliere i segnali dalle strip sui lati corti di ciascuna MRPC: il telescopio è infatti equipaggiato con due tipi di schede, la EDA-00947-V1a e la EDA-00651-V3a¹ e nella schermata "Station" del programma di acquisizione dati (Figura 2) è riportato come questi due tipi di schede siano state installate rispetto al telescopio; poiché su ogni scheda è serigrafato il nome identificativo del modello, con un rapido controllo è possibile identificare lato sinistro e destro del rivelatore.



Figura 2 La schermata del programma di acquisizione da cui è possibile dedurre la posizione della sinistra e della destra del telescopio.

Individuata sinistra e destra del telescopio, il vettore cui riferirsi per misurare la distanza angolare (β) rispetto al Nord geografico è quello parallelo al lato lungo delle camere con verso di percorrenza da sinistra a destra (Figura 1.b). L'angolo β deve essere misurato in senso orario partendo dalla direzione del Nord.

¹ che differiscono unicamente per l'orientamento del connettore dati per i cavi AMPHENOL a 24 canali.

4 Misura dell'orientamento del telescopio

Di seguito sono illustrati alcuni semplici metodi di misura utili a stimare l'orientamento del telescopio rispetto al Nord geografico. Qualora non sia possibile stimare l'angolo utilizzando il "Metodo dell'ombra proiettata" descritto nel paragrafo 0, eseguire i passi contenuti nei paragrafi 4.2 e 4.3.

4.1 Metodo dell'ombra proiettata

Il Nord Geografico, è posto ad una distanza angolare pari a 180° rispetto alla posizione del Sole quando questo è al suo massimo di altezza sull'orizzonte; questo accade al mezzogiorno "solare" (vedi Figura 3 - a), che non corrisponde necessariamente al mezzogiorno dell'ora locale. Nelle altre ore (vedi Figura 3 - b), il piano che passa dal Sole e dall'osservatore sulla terra, forma un angolo diverso con il piano meridiano del luogo di osservazione (che passa dal Nord Geografico). Tale angolo, misurato da Nord verso Est è noto come azimut del Sole.

Poiché il valore di azimut del Sole, per una data ora e coordinata locale, è ricavabile con buona precisione utilizzando anche dati on-line, sfruttando la direzione di un'ombra proiettata da un'asta piantata perpendicolarmente al terreno, è sempre possibile in qualsiasi ora del giorno determinare la posizione del Nord geografico. Individuato il Nord è poi facilmente misurabile l'angolo formato con il vettore di riferimento del telescopio.

Il metodo di misurazione di seguito descritto richiede che il Sole, attraverso le finestre della stanza in cui è installato il telescopio, possa illuminare almeno per alcuni attimi una delle MRPC.

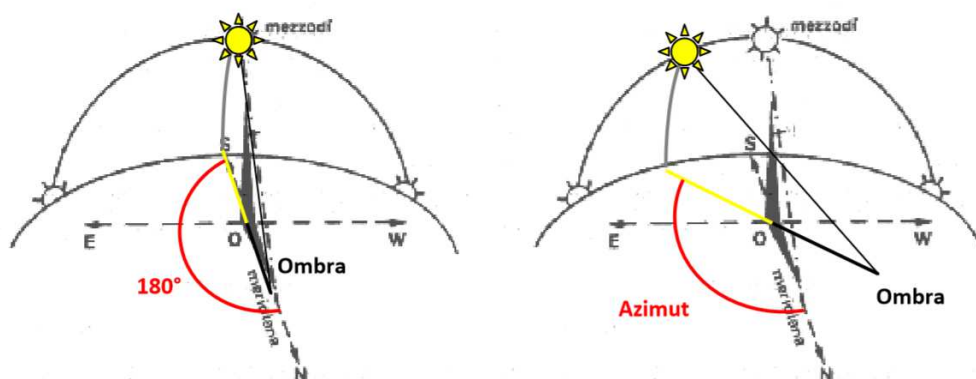


Figura 3 - a) Immagine schematica della posizione del Sole al mezzogiorno solare. b) Immagine schematica che rappresenta l'azimut del Sole.

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

La misura può essere effettuata quando almeno una delle tre MRPC del telescopio è ben illuminata dal sole ed è assolutamente necessario che l'apparato sia perfettamente in bolla. Per la misura che proponiamo servono alcuni strumenti facilmente reperibili:

- un spillo (o una piccola asta) per generare un'ombra;
- una superficie orizzontale su cui tracciare l'ombra che sia un foglio di carta con una matita o semplicemente la copertura piana del luogo dove facciamo la misura con un gessetto;
- una riga ed una squadra;
- un goniometro a 360° ;
- un orologio di buona precisione, meglio se radio-controllato.

Si inizia disponendo un foglio di carta millimetrata ben steso sopra la faccia superiore della MRPC esposta al sole; si posiziona poi il goniometro sul foglio con al centro lo spillo ben perpendicolare alla superficie di appoggio (vedi Figura 4).

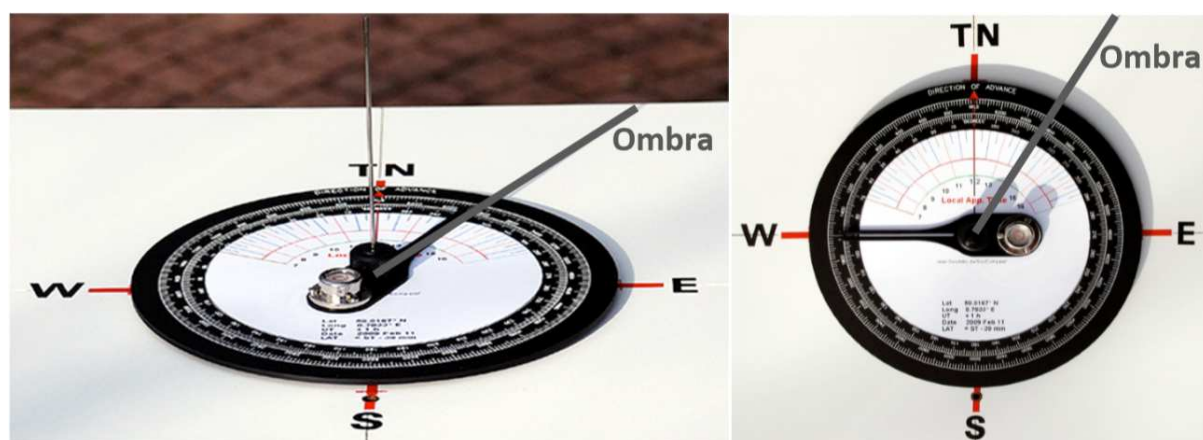


Figura 4 Ombra proiettata da uno spillo sulla superficie di una MRPC.

Si procede quindi segnando all'esterno del goniometro la posizione dell'ombra lasciata dallo spillo e la sua direzione opposta a 180° , cioè la direzione del sole. Memorizzata l'ora alla quale è stata fatta la rivelazione e note le coordinate geografiche del telescopio, si determina l'azimut del Sole sfruttando ad esempio uno dei numerosi archivi disponibili on-line come descritto in Appendice A.

A questo punto, se la scala del goniometro è crescente in senso orario, si mette il valore dell'angolo di azimut in direzione del Sole e così facendo il punto a 0° coinciderà con la direzione del Nord geografico. Se invece la scala del goniometro è crescente in senso antiorario, si mette il punto 0° in direzione del Sole ed il valore di angolo pari all'azimut indicherà il Nord.

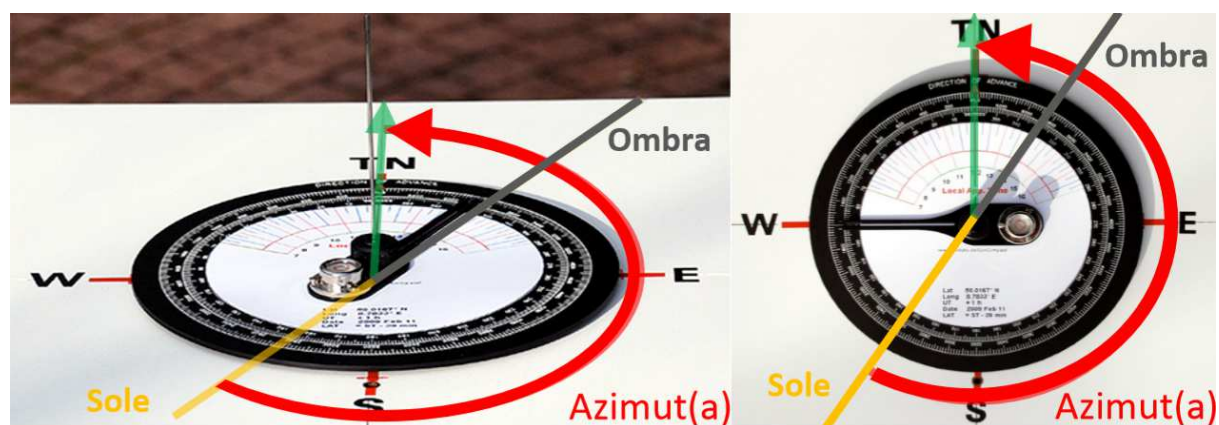


Figura 5 Direzione del Nord geografico ricavata sottraendo alla direzione del Sole il suo angolo di azimut.

Si traccia quindi sul foglio la retta che indica la direzione del Nord unendo i punti a 0 e 180° . Aiutandosi ad esempio con una squadra allineata ad un lato corto della MRPC, si traccia sempre sul foglio la direzione del vettore di riferimento del telescopio ed infine con il goniometro si misura l'angolo tra le due rette disegnate: la misura presa da Nord verso Est corrisponderà all'angolo β .

Se non fosse possibile effettuare questa misura sulla superficie di una MRPC, è possibile utilizzare un'altra superficie di appoggio posta magari nelle vicinanze e ben illuminata dal Sole; in questo caso sarà però necessario riportare la direzione individuata al telescopio stesso mantenendo una precisione che sia dell'ordine di pochi decimi di grado.

Stima degli errori

La misura presenta molteplici fonti di errore. Innanzitutto avremo un errore sui valori di azimut riportati nell'archivio online. Questo errore è noto e pari a $\pm 0.01^\circ$. La seconda fonte di errore è dovuta alla misura stessa. Possiamo stimare il valore dell'angolo con una precisione che al più è data dalla precisione dello strumento usato (goniometro). In genere i goniometri hanno passi di 1° o $0,5^\circ$. L'ultima fonte di errore è legata alle operazioni necessarie a riportare la direzione di riferimento dal telescopio ad un'eventuale superficie di appoggio.

4.2 Misura dell'angolo tra il telescopio ed una parete esterna

I metodi di misura illustrati nel paragrafo seguente si basano sulla conoscenza dell'orientamento (β') del telescopio rispetto alla faccia esterna di una parete dell'edificio scolastico in cui è installato l'apparecchio. L'angolo β' è misurato in senso orario partendo dal vettore perpendicolare alla faccia esterna della parete.

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

Nello schema di *Figura 6* è riportato un esempio di misura di β' per la stazione GROS-01. Il rivelatore in questione è posizionato con il lato corto perpendicolare al muro perimetrale della scuola che si affaccia su Via Scopetani. Mantenendosi paralleli al lato lungo di una MRPC, con un distanziometro laser sono state determinate le distanze $L1$ e $L2$ tra gli spigoli del telaio di alluminio del rivelatore e la faccia interna della parete. Noto W , cioè la larghezza di una MRPC, la distanza angolare β' può essere calcolata utilizzando la seguente equazione:

$$\beta' = -\arctan\left(\frac{L2 - L1}{W}\right)$$

Stima degli errori

Nel caso in cui $L1$, $L2$ e W siano conosciuti con una precisione pari a 1 mm, l'errore sulla misura dell'angolo β' sarà inferiore al decimo di grado. La misurazione così effettuata avrà quindi una precisione che sarà principalmente dettata dall'assunzione che le due facce del muro perimetrale siano parallele: una tolleranza sullo spessore dell'intonaco di solo 1 cm si traduce in un errore sulla misura dell'angolo β' di circa mezzo grado, il che potrebbe impedire di raggiungere la precisione richiesta sulla misura di orientamento del telescopio. Ovunque sia possibile è quindi sempre preferibile riferire la misura delle distanze $L1$ e $L2$ direttamente alla superficie esterna della parete.

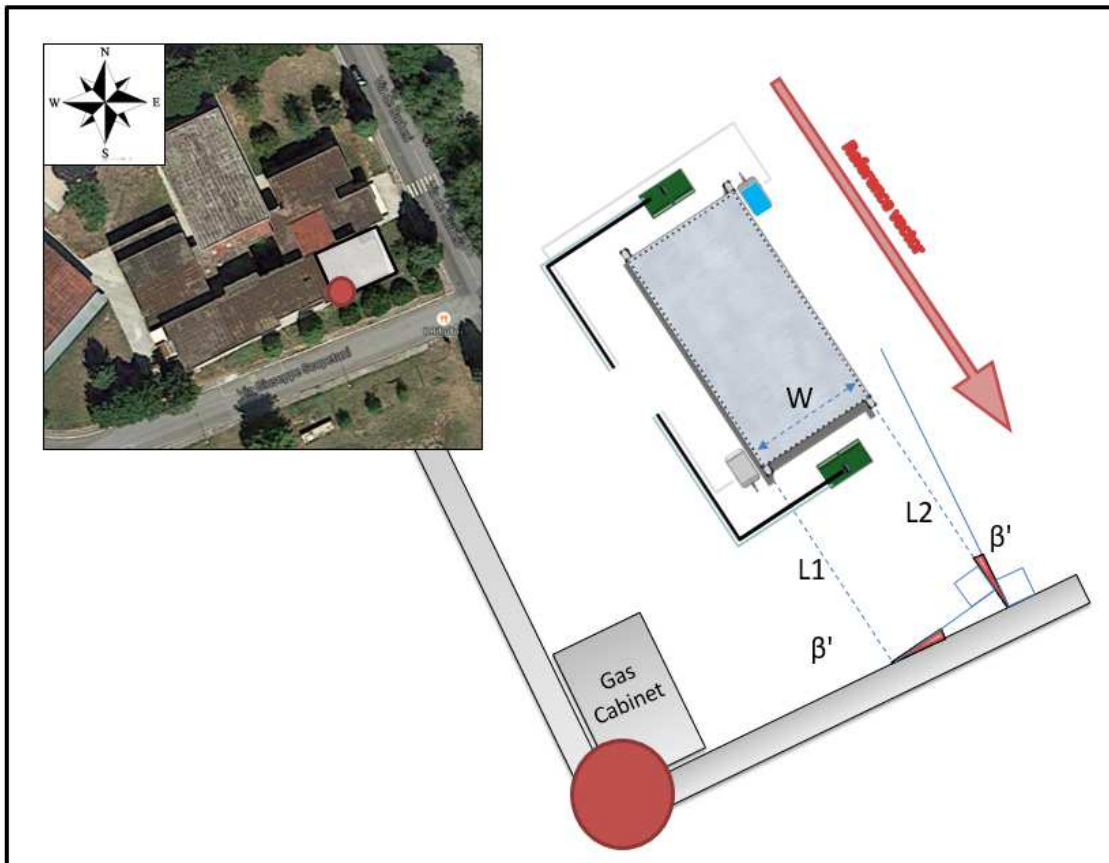


Figura 6 Misura dell'orientamento del telescopio rispetto ad una parete esterna. Rilevazioni fatte per la stazione GROS-01.

4.3 Misura dell'azimut di una parete

Qualora il telescopio non sia mai illuminato dal Sole (come avviene per esempio se tutte le finestre sono rivolte verso Nord), il suo orientamento è determinabile a partire dalla misura dell'azimut di una parete perimetrale della stanza in cui è installato l'apparato. Tutto questo richiede che sia stato accuratamente misurato l'angolo tra il vettore di riferimento del telescopio e la parete, sfruttando il metodo descritto nel paragrafo 4.2.

L'azimut (o la declinazione) di una parete, nella definizione comune adottata in gnomonica, misura l'angolo che l'asse perpendicolare alla parete forma con il meridiano locale. Quest'angolo è anche lo stesso che il piano della parete forma con l'asse est - ovest. Una parete orientata a sud ha un azimut di 0° , mentre una parete a grande declinazione, orientata ad esempio a nord-ovest, ha un azimut compreso tra 90° e 180° (vedi Figura 7 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**a).

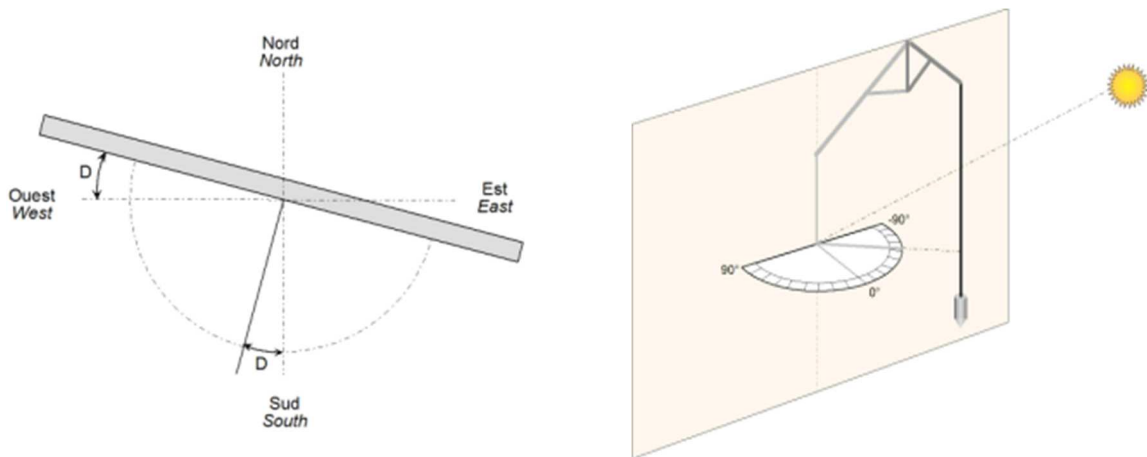


Figura 7- a) L'azimut di una parete. b) Misura dell'azimut di una parete.

4.3.1 Orientazione mediante filo a piombo e goniometro

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

Strumentazione necessaria:

- un filo a piombo;
- un goniometro a 180°;
- una squadra;
- una livella;
- un orologio di buona precisione, meglio se radio-controllato.

Come prima cosa occorre fissare il goniometro esattamente orizzontale col suo diametro contro la parete; per far questo è opportuno utilizzare una livella per verificare che il goniometro sia in bolla sia nella direzione perpendicolare che in quella parallela alla parete. Muovere quindi il filo a piombo fino a che la sua ombra passi per il centro del goniometro. Annotare il valore dell'angolo (L) individuato sul goniometro dall'ombra del filo; l'angolo deve essere misurato in senso orario partendo dalla direzione perpendicolare alla parete.

Determinare le coordinate geografiche del muro, in un punto qualsiasi non troppo distante dal telescopio; le coordinate geografiche si possono misurare con l'ausilio di un GPS oppure tramite programmi cartografici on-line come Google Maps. Note l'ora in cui è stata effettuata la misura e le coordinate del muro, determinare l'azimut del Sole (A) sfruttando uno dei numerosi archivi disponibili on-line come descritto in Appendice A. Ricavare quindi la declinazione della parete (D), sottraendo il valore dell'angolo letto sul goniometro all'azimut del Sole:

$$D = (A - 180^\circ) - L$$

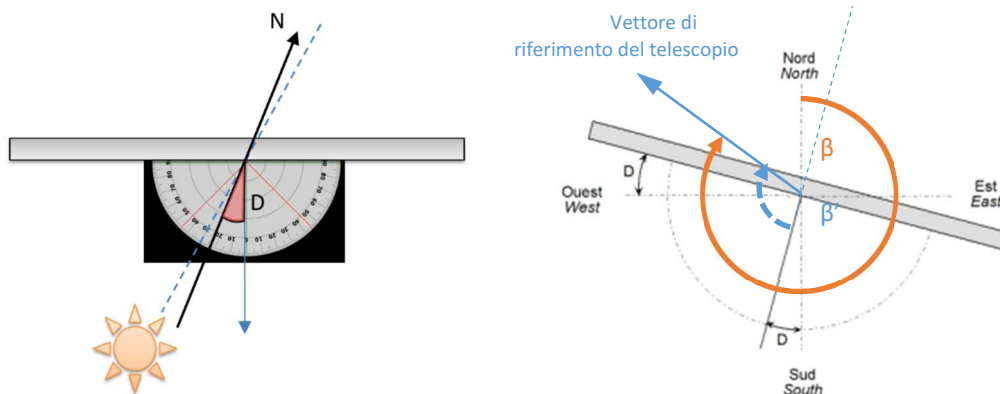


Figura 8 - a) Esempio di misura dell'azimut della parete esterna. Rivelazioni effettuate per la stazione VIAR-01. Alle 12:43 del 5-02-2016 è stato misurato un angolo L pari a -32° ; dato l'azimut del Sole A di 182° , l'azimut della parete risulta essere pari a -23° . b) Misura dell'angolo di orientamento del telescopio noto l'azimut D di una parete.

Nel caso in cui l'orientamento (β') del telescopio rispetto alla parete sia stato misurato seguendo le convenzioni utilizzate nel paragrafo 4.2, noto l'azimut D della parete, l'angolo β è dato da:

$$\beta = 180 - (D + \beta')$$

Stima degli errori

Oltre alla precisione del goniometro utilizzato (di solito con passi di $0,5 - 1^\circ$), fonti di errore aggiuntive sono:

- goniometro non perfettamente in bolla. Ripetendo più volte la misura, in diversi momenti del giorno, l'errore legato all'imprecisione con cui è allineato il goniometro dovrebbe ridursi;
- parete non perfettamente rettilinea tra il punto in cui misuriamo l'azimut e quello in cui ne confrontiamo la direzione con quella del telescopio. È opportuno ridurre al massimo la distanza tra questi due punti.

4.3.2 Metodo della sparizione dell'ombra del Sole

Se durante la giornata la luce del Sole assume una direzione radente alla parete di riferimento, è possibile calcolarne l'orientamento conoscendone le coordinate geografiche, latitudine e longitudine, e l'istante di tempo in cui l'ombra del Sole proiettata dal muro compare o scompare.

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

Strumentazione necessaria:

- un orologio di buona precisione, meglio se radio-controllato.

Monitorare la proiezione a terra dell'ombra della parete e registrare l'istante in cui compare o scompare (a seconda dell'orientamento della parete). Determinare le coordinate geografiche del muro, in un punto qualsiasi non troppo distante dal telescopio; si possono misurare con l'ausilio di un GPS oppure tramite strumenti cartografici on-line come Google Maps. Se l'antenna del GPS del computer è posta sulla parete di riferimento allora si può usare direttamente la posizione del sistema di acquisizione di EEE.

Memorizzata l'ora alla quale è stata fatta la rivelazione e note le coordinate geografiche del muro, si determina l'azimut del Sole (A) sfruttando uno dei numerosi archivi disponibili on-line come descritto in Appendice A. Calcolare l'azimut della parete (D) utilizzando la seguente espressione:

$$\begin{aligned} \text{se } A > 180^\circ \quad D &= (A - 180) - 90 \\ \text{se } A < 180^\circ \quad D &= A - 90 \end{aligned}$$

Come nel paragrafo 4.3.1, noto l'azimut D della parete e l'angolo di orientazione del telescopio rispetto alla parete β' , l'angolo β è dato da:

$$\beta = 180 - (D + \beta')$$

Stima degli errori

La precisione di questo metodo può essere anche di qualche decimo di grado.

4.3.3 Orientazione con le posizioni di due punti lungo il muro

È possibile orientare la parete di riferimento tramite le coordinate geografiche, latitudine e longitudine, di due punti del muro stesso.

In generale la posizione geografica è determinata da due angoli latitudine (φ) e longitudine (λ). La latitudine è la distanza angolare del punto dall'equatore e la longitudine è la distanza angolare di un punto dal meridiano di riferimento convenzionalmente fissato a Greenwich (Prime Meridian), nei pressi di Londra. Il sistema ECEF (acronimo di Earth-Centered Earth-Fixed), è un sistema di coordinate cartesiane geocentrico. Il punto (0,0,0) denota il centro della terra (da cui il nome "Earth-Centered") ed il sistema ruota in maniera solidale con la Terra. Il piano X-Y è coincidente con il piano equatoriale, ed i versori degli assi X e Y puntano le direzioni di longitudine 0° e 90° ; l'asse Z ortogonale a questo piano punta nella direzione del Polo Nord. L'asse X passa dal meridiano di riferimento. Considerato il piano tangente alla Terra passante da una data posizione è possibile individuare tre direzioni East, North e Up come mostrate in Figura 8.

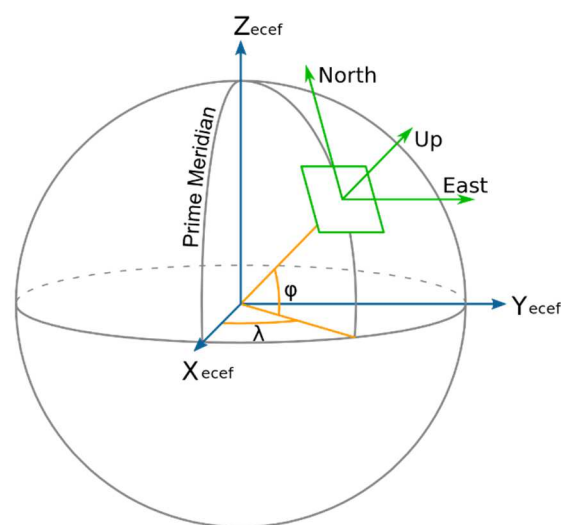


Figura 8 Il sistema di coordinate geocentrico ECEF.

I versori della direzione \vec{u} individuata dagli angoli φ e λ sono:

$$u^x = \cos \varphi \cos \lambda; u^y = \cos \varphi \sin \lambda; u^z = \sin \varphi$$

Considerati due punti P1 e P2 si ha rispettivamente:

$$\begin{aligned} u_1^x &= \cos \varphi_1 \cos \lambda_1; u_1^y = \cos \varphi_1 \sin \lambda_1; u_1^z = \sin \varphi_1 \\ u_2^x &= \cos \varphi_2 \cos \lambda_2; u_2^y = \cos \varphi_2 \sin \lambda_2; u_2^z = \sin \varphi_2 \end{aligned}$$

Il vettore differenza $\vec{d} = \vec{u}_1 - \vec{u}_2$ ha versori

$$u_d^x = \frac{u_1^x - u_2^x}{|\vec{d}|}; u_d^y = \frac{u_1^y - u_2^y}{|\vec{d}|}; u_d^z = \frac{u_1^z - u_2^z}{|\vec{d}|}$$

Quindi la tangente dell'azimut A è data da:

$$\tan A = \frac{\vec{u}_d \cdot \vec{u}_e}{\vec{u}_d \cdot \vec{u}_n}$$

dove \vec{u}_e e \vec{u}_n sono i versori delle direzioni Est e Nord (vedere figura) del punto P1 (quello più a nord, cioè quello che tra P1 e P2 ha la latitudine maggiore):

$$\begin{aligned} u_n^x &= -\sin \varphi_1 \cos \lambda_1; u_n^y = -\sin \varphi_1 \sin \lambda_1; u_n^z = \cos \varphi_1 \\ u_e^x &= -\sin \lambda_1; u_e^y = \cos \lambda_1; u_e^z = 0 \end{aligned}$$

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

Le coordinate geografiche dei due punti P1 e P2 lungo la parete (spigoli opposti) si possono misurare direttamente con l'ausilio di un GPS (di cui sono ad esempio solitamente equipaggiati gli smartphone) oppure tramite strumenti cartografici on-line come Google Maps.

Stima degli errori

Tutte le formule mostrate valgono nell'approssimazione di terra sferica; le correzioni tipiche utilizzando il modello ellissoidale sono inferiori al decimo di grado. La precisione di questo metodo può essere anche di qualche decimo di grado.

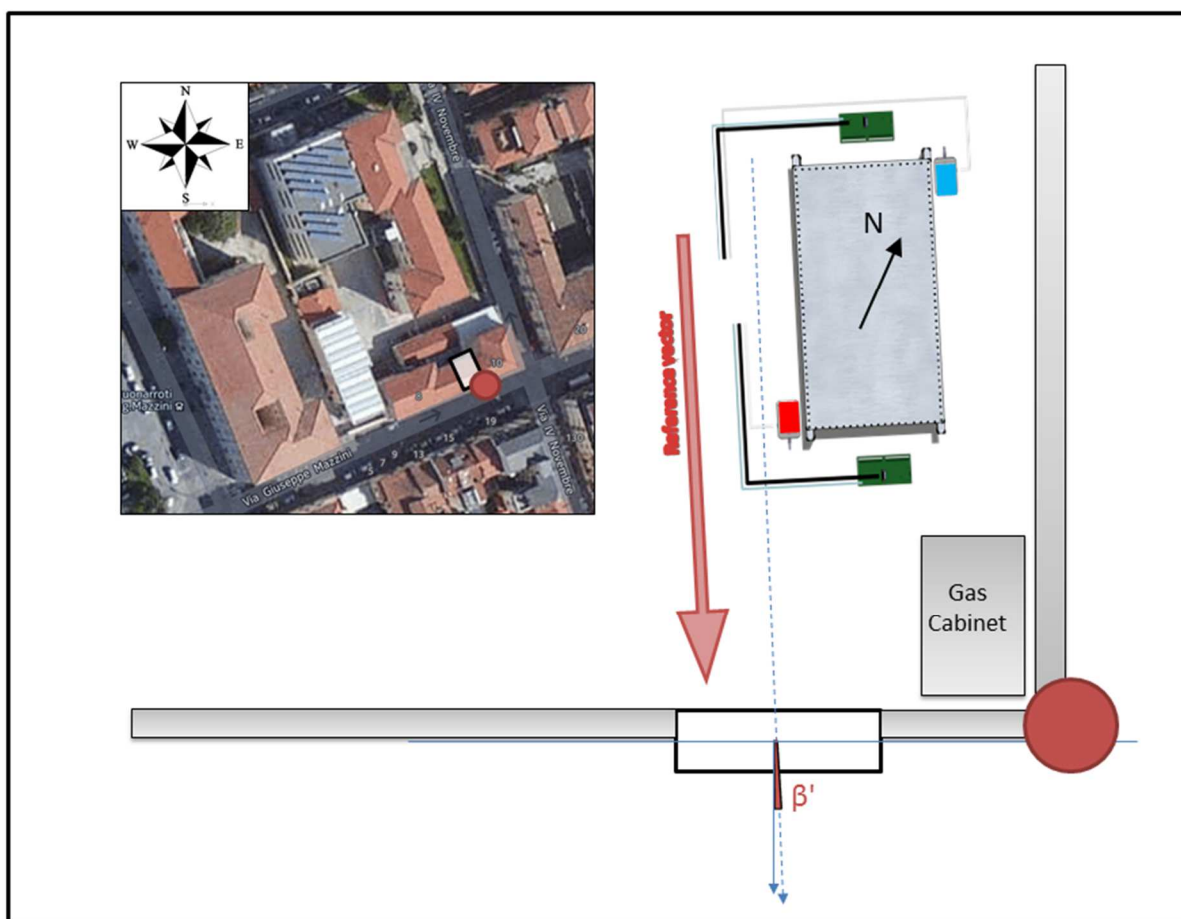


Figura 9 Misura dell'angolo di orientamento del telescopio noto l'azimut di una parete. Rilevazioni effettuate presso la stazione VIAR-01. È stato misurato un angolo β' pari a -2° ; essendo l'azimut della parete D pari a -23° , è stato possibile stimare l'angolo di orientamento del telescopio rispetto al Nord geografico in 165° .

5 Misura dell'orientamento del telescopio basandosi sulla posizione del Nord magnetico

La misura dell'orientamento del telescopio può essere effettuata anche partendo dalla direzione del Nord magnetico. Tale misura dovrà essere successivamente corretta per la "declinazione magnetica" del luogo in cui è posizionato il telescopio, cioè per la distanza angolare tra Nord Geografico e Nord Magnetico.

5.1 Misura dell'orientamento del telescopio basandosi sulla posizione del Nord magnetico

Istruzioni dettagliate per effettuare la misura

Strumentazione necessaria:

- una bussola da carteggio con risoluzione massima di 2° del tipo mostrato nella figura a fianco; è fortemente sconsigliato l'utilizzo di bussole digitali come quelle integrate in smartphone o cellulari che non raggiungono la precisione richiesta per effettuare la misura;
- una squadra;
- un orologio.

Fissare un foglio di carta millimetrata sulla faccia superiore di una delle tre MRPC, dopo aver verificato che tutte e tre le camere siano in bolla ed allineate con la maggior precisione possibile l'una sopra l'altra. Utilizzando come riferimento il profilato a "U", che costituisce il lato lungo del telaio rettangolare in alluminio della MRPC, tracciare sul foglio la direzione di riferimento del telescopio.

Appoggiare la bussola sul foglio ed allinearne il bordo lungo della base al vettore di riferimento. Ruotare la corona della bussola in modo che lo 0 della scala coincida con la direzione del nord. Effettuare quindi la rilevazione dell'azimut magnetico, cioè dell'angolo misurato a partire dalla direzione del nord e crescente in senso orario, effettuando la lettura in corrispondenza dell'indice di puntamento della bussola (parallelo al bordo della base trasparente).

Utilizzando la tabella relativa a questo paragrafo riportata in Appendice B, riportare il valore dell'azimut, l'ora e la data in cui è stata effettuata la rivelazione nonché modello, costruttore e risoluzione secondo specifiche della bussola utilizzata.

5.2 Calcolo della declinazione magnetica

L'ago della bussola punta in direzione del polo nord magnetico che non coincide con il polo nord geografico, ovvero il punto dove passa l'asse di rotazione terrestre. La posizione del polo nord magnetico non è costante nel tempo ed il suo spostamento negli anni fa sì che l'errore che si commette prendendo come riferimento il nord magnetico anziché il nord geografico vari anch'esso nel tempo. L'angolo compreso fra la direzione del nord geografico e la direzione del nord magnetico è detto "declinazione magnetica" ed è diverso da luogo a luogo. Nei punti posti lungo il meridiano che passa per i poli magnetico e geografico sarà nullo, negli altri punti avrà un valore positivo o negativo a seconda che il nord magnetico sia ad est del nord geografico o viceversa.

I valori di declinazione magnetica possono essere trovati da apposite carte o facendo ricerche in internet. Ad esempio è possibile ricavarne il valore aggiornato in base alla località dal sito del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, l'agenzia federale statunitense che si interessa di meteorologia) all'indirizzo <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/?model=igrf#declination>: si inseriscono, nella maschera mostrata in Figura 10, le coordinate geografiche del telescopio e la data in cui è stata registrata la misura e si preme quindi il pulsante "calculate" posto nella parte bassa della pagina. La stazione di AREZ-01 (lat: 43.5°, long: 11,9°) avrà per il giorno 20 maggio 2016 una declinazione magnetica pari a 3.89° W con una variazione annua di 0.15° E; risultando il nord magnetico spostato verso ovest rispetto a quello geografico, otterremo il valore dell'angolo di

orientamento del telescopio sottraendo all'angolo misurato con la bussola il valore della declinazione magnetica.

The image shows a web form titled "Calculate Declination" with a yellow background. It contains several input fields and radio buttons. The "Latitude:" field has "S" entered and radio buttons for "S" and "N", with "N" selected. The "Longitude:" field is empty and has radio buttons for "W" and "E", with "W" selected. The "Model:" field has radio buttons for "WMM (2014-2019)" and "IGRF (1590-2019)", with "IGRF (1590-2019)" selected. The "Date:" field has three dropdown menus for "Year" (2016), "Month" (5), and "Day" (16). The "Result format:" field has radio buttons for "HTML", "XML", "CSV", and "PDF", with "HTML" selected. A blue "Calculate" button is at the bottom.

Figura 10 Sito internet del servizio fornito dal NOAA per la determinazione della declinazione magnetica noti posizione e data in cui è stata effettuata una misurazione

6 Bibliografia

- [1] L. Perasso e F. Pilo, «Il sistema di riferimento solidale al telescopio,» Centro Fermi, Nota interna, Roma, 2016 – IN FASE DI COMPLETAMENTO

Appendice A Un archivio on-line per la determinazione dell'azimut del Sole

L'angolo di azimut del Sole (che chiameremo A) si trova tabulato per ogni coordinata geografica e ora locale. Dei vari archivi presenti in internet uno dei migliori è quello contenuto nel sito <http://www.sunearthtools.com>.

Andando sul sito su citato è possibile prima di tutto inserire i dati riguardanti la posizione del telescopio nell'apposita casella "cerca" indicando la località o l'indirizzo desiderato oppure cliccando col pulsante sinistro direttamente sul punto desiderato sulla mappa (Figura 11). Una volta scelta la località, bisogna cliccare su "view Sun path on map". Così facendo apparirà un cerchio intorno al punto desiderato che indicherà il percorso del Sole nell'arco della giornata selezionata (Figura 12) e la sua posizione all'ora selezionata.

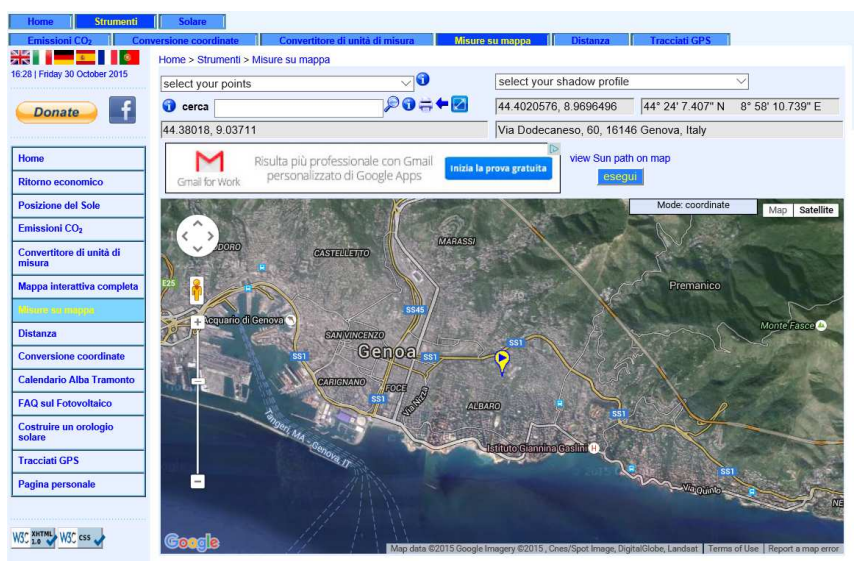


Figura 11 Archivio dati per l'azimut del Sole. Nella schermata iniziale è possibile indicare la posizione del telescopio (nell'esempio è riportata la posizione del dipartimento di Fisica dell'Università di Genova).

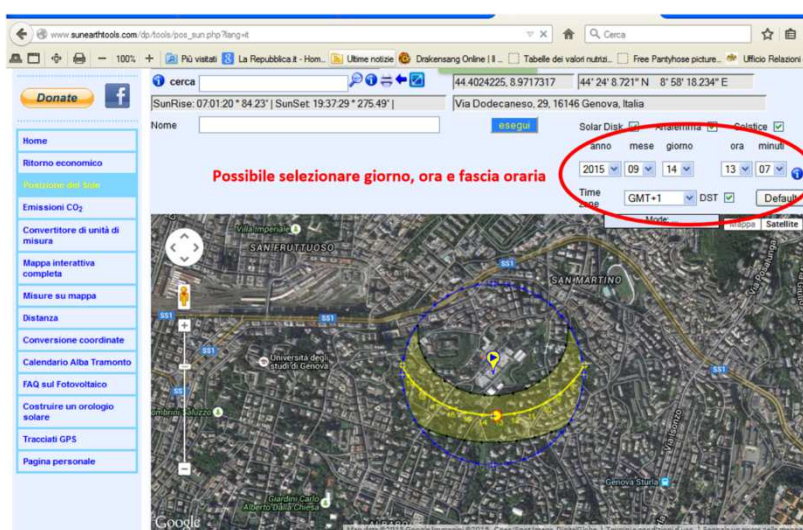



Figura 12 Percorso del sole rispetto alla posizione selezionata.

Scorrendo la pagina verso il basso, sono riportati vari grafici ed alcune tabelle con molti dettagli riguardo al percorso del Sole per la località selezionata. In particolare le due tabelle mostrate in

Figura 13 riportano i dati relativi all'elevazione e all'azimut del Sole all'ora indicata ed i valori di elevazione ed azimut solare nell'arco dell'intera giornata per il luogo ed il giorno indicati.

posizione del sole	Elevazione	Azimut	latitudine	longitudine
14/09/2015 13:07 GMT1	47.72°	197.66°	44.4020576° N	8.9696496° E
Crepuscolo	Alba	Tramonto	Azimut Alba	Azimut Tramonto
Crepuscolo -0.833°	06:01:21	18:37:30	84.23°	275.49°
Crepuscolo Civile -6°	05:32:03	19:06:38	79.05°	280.63°
Crepuscolo Nautico -12°	04:57:23	19:41:12	72.73°	286.91°
Crepuscolo Astronomico -18°	04:21:25	20:16:59	65.81°	293.76°
luce del giorno	hh:mm:ss	diff. dd:1	diff. dd:1	Mezzogiorno
14/09/2015	12:36:09	-00:03:02	00:03:02	12:19:25

Step (minute):  [download Excel table](#)

Data	14/09/2015 GMT1	
coordinate	44.4020576, 8.9696496	
località		
ora	Elevazione	Azimut
06:01:21	-0.833°	84.23°
6:30:00	4.27°	89.24°
7:00:00	9.62°	94.52°
7:30:00	14.93°	99.93°
8:00:00	20.15°	105.56°
8:30:00	25.22°	111.53°
9:00:00	30.08°	117.96°
9:30:00	34.65°	125°
10:00:00	38.81°	132.77°
10:30:00	42.46°	141.4°
11:00:00	45.44°	150.95°
11:30:00	47.6°	161.38°
12:00:00	48.8°	172.47°

Figura 13 Tabelle con i dati del sole. Nella prima i valori di elevazione ed azimut all'ora indicata. Nella seconda i valori di elevazione ed azimut durante la giornata.

Appendice B Tabelle di registrazione dati

Procedura di misura riportata nel paragrafo 0 -

1)

Data e ora (YYYYMMDD - hh:mm:ss)	Coordinate geografiche (lat [°], long [°])	Azimut del Sole - A [°]	Angolo β [°]	Superficie di appoggio (Sì/NO)	Risoluzione del goniometro [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti

2) Procedura di misura riportata nel paragrafo 4.2 - Misura dell'angolo tra il telescopio ed una parete esterna

L1 [mm]	L2 [mm]	W [mm]	Angolo β' [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti

3) Procedura di misura riportata nel paragrafo 4.3.1 - Orientazione mediante filo a piombo e goniometro

Angolo L [°]	Data e ora (YYYYMMDD - hh:mm:ss)	Coordinate geografiche (lat [°], long [°])	Azimut del Sole - A [°]	Azimut della parete - D [°]	Angolo β [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti

4) Procedura di misura riportata nel paragrafo Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. - Orientazione mediante filo a piombo e goniometro

Data e ora (YYYYMMDD - hh:mm:ss)	Coordinate geografiche (lat [°], long [°])	Azimut del Sole - A [°]	Azimut della parete - D [°]	Angolo β [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti

5) Procedura di misura riportata nel paragrafo 4.3.3 - Orientazione con le posizioni di due punti lungo il muro

Coordinate geografiche del punto 1 (lat [°], long [°])	Coordinate geografiche del punto 2 (lat [°], long [°])	Azimut della parete - D [°]	Angolo β [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti

6) Procedura di misura riportata nel paragrafo 5.1 - Misura dell'orientamento del telescopio basandosi sulla posizione del Nord magnetico

Angolo rispetto al Nord magnetico [°]	Data e ora (YYYYMMDD - hh:mm:ss)	Marca e modello della bussola	Risoluzione [°] e precisione della bussola [°]	Angolo β [°]	Errore complessivo stimato [°]	Commenti