

ELABORAZIONE DIFFERENZIALE *POST-PROCESSING* DI MISURE PSEUDO-RANGE CON RICEVITORE GPS PALMARE

di Tullio Aebischer

Esperienza didattica in un sito archeologico per il posizionamento con ricevitori palmari a basso costo e software gratuito. Attività utile per la misura di percorsi e aree di particolare interesse sia scientifico che per la sorveglianza. Le misure sul terreno sono state elaborate in modalità simile al classico post-processing differenziale.

Il presente lavoro descrive l'esperienza didattica sul terreno svolta nella mattinata del 6 febbraio 2011 nell'area archeologica di *Crustumerium* (Parco della Marcigliana, Roma) come fase conclusiva del corso sull'utilizzo del GPS in ambito archeologico (rilevamento e disegno cartografico) svolto per i membri del Gruppo Archeologico DLF di Roma (www.gruppoarcheodlfroma.it/hp.html).

La zona ha andamento collinare con coperture boschive a macchia e ampie zone a prato o seminativo, e ondulazione orografica non molto pronunciata senza pareti rocciose di grande superficie. Presenza di linee di alta tensione per la vicinanza di una centrale elettrica. Il baricentro della zona delle misure ha coordinate: 12.548064°E / 42.020319°N (12°32'53.0"E / 42°01'13.2"N) (*datum* WGS84). La risoluzione delle misure nella zona di esercitazione è di 0.000001° in longitudine, pari a 0.08 m, e di 0.000001° in latitudine, pari a 0.11 m, utilizzando la formula di Vincenty (www.movable-type.co.uk/scripts/latlong-vincenty.html). L'estensione dell'area è di poco inferiore al chilometro di raggio, centrato nel baricentro, per cui si può ritenere che i calcoli e le misure siano stati svolti nell'approssimazione del campo topografico.

Le misure sono state eseguite con due ricevitori palmari tipo GARMIN® GPS MAP 76CSx con antenna esterna SIRF STAR III®. Per migliorare la ricezione del segnale eliminando l'interferenza del misuratore, si è posizionata l'antenna esterna del ricevitore mobile su un'asta alta 2 m, immediatamente sopra un piatto metallico circolare orizzontale per eliminare possibili segnali di rimbalzo dal terreno.

L'esperienza didattica ha voluto anche verificare la possibilità e la bontà di applicare a misure di codice e monofrequenza (*pseudorange*) le tecniche differenziali di *post-processing* nel caso non fosse possibile utilizzare in tempo reale una stazione permanente istituzionale nelle vicinanze. Poiché il tipo di ricevitore palmare GPS utilizzato non permette lo scarico dei dati in formato RINEX, si è posizionato, come stazione fissa temporanea di coordinate note desunte da Googleearth® (punto denominato GR), un altro ricevitore palmare GPS dello stesso tipo sul tetto di un copertura di uno scavo avviando la misura della traccia (statica) con un campionamento ogni secondo. Si è verificata all'inizio la sincronizzazione degli orologi dei due ricevitori.

Le coordinate note del punto GR sono: 12.549335°E / 42.015772°N. Il punto GR distava ca. 510 m dal baricentro (direzione SSW) della zona di misura e in posizione elevata con ostacoli lungo l'orizzonte al di sotto dei 15°.



Figura 1 - Rosa di misure (8259, campionamento 1s) della stazione fissa temporanea in GR. Il rettangolo indica il perimetro della copertura dello scavo e il pallino bianco il punto vero (sfondo Googleearth®).

In fig. 1 si può osservare la rosa delle 8259 misure che elaborate statisticamente, in prima approssimazione, con una distribuzione gaussiana hanno dato come valor medio stimato il punto (12.549369 ± 0.000005)°E / (42.015750 ± 0.000008)°N distante dal punto vero GR -0.000034° in longitudine e -0.000022° in latitudine pari, rispettivamente e in valore assoluto, a 2.74 m e 2.37 m e con una distanza radiale pari a 3.62 m. Il raggio del cerchio con il 95.4% (2σ) delle misure è risultato di 1.46 m dimostrando che le misure nella stazione fissa temporanea sono risultate particolarmente accurate per il tipo di ricevitore e più precise delle informazioni in letteratura (5-10 m).

TECNICA DIFFERENZIALE *POST-PROCESSING*: CONCETTI GENERALI

L'utilizzo di due ricevitori palmari ha lo scopo di misurare lo stesso segnale della costellazione di satelliti nello stesso istante in due luoghi diversi, in uno in maniera statica e nell'altro in maniera dinamica. Ciò permette di correggere le misure ignote del ricevitore in movimento con la misura nel punto GR della quale si conosce l'errore della precisione visto che se ne conoscono le coordinate vere.

Tale tipo di operazione correttiva può eliminare gli errori causati dalla configurazione della costellazione, dai ritar-



Figura 2 - Primo tratto della T1 misurata (linea blu) e corretta (linea rossa) con uno spostamento medio globale di ca. 4 m verso NW. Il segmento giallo indica una lunghezza di 10 m (sfondo Googleearth®).

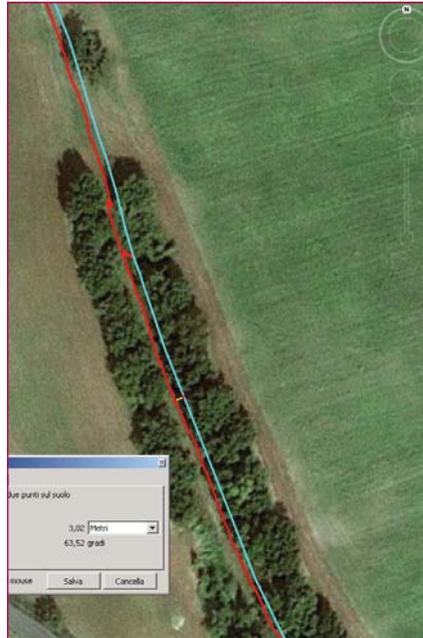


Figura 3 - Tratto della traccia T1 (linea blu) lungo un vallone (lunghezza ca. 230 m, profondità rispetto al terreno circostante ca. 7 m) con vegetazione ai due lati. La correzione (linea rossa) è sovrapponibile al sentiero centrale con uno spostamento globale medio di ca. 3 m verso WSW (sfondo Googleearth®).



Figura 4 - Zona della traccia T2 chiusa misurata (linea blu) (il tratto con la doppia traccia avanti/dietro presso il pallino verde non si deve considerare poiché il ricevitore era stato acceso in anticipo) e quella corretta (linea rossa). Lo spostamento medio globale è stato di ca. 4 m verso NW. Nel tratto presso il pallino bianco la correzione ha lasciato un errore probabilmente causato dall'orografia (conca) con ostacolo verso sud e quindi con segnale più disturbato. Il segmento giallo indica una lunghezza di 10 m (sfondo Googleearth®).

di troposferici e ionosferici, dalle effemeridi non esatte e dall'errore di clock. Gli errori che non si possono correggere sono quelli dipendenti dalla presenza lungo le tracce di ostacoli (*multipath*) o di vegetazione boschiva di alto fusto o di interferenza del misuratore o di perdita del segnale.

Per avere la massima sicurezza che le misure dei due ricevitori fossero sovrapponibili dal punto di vista temporale nel maggior numero di punti possibile, entrambe le tracce T1 (dinamica) e T2 (statica) sono state eseguite con un campionamento temporale di 1s.

PIANIFICAZIONE DELLE MISURE

Per verificare la qualità delle misure che si sarebbero eseguite il giorno seguente, si sono stimati i parametri xDOP con il programma PLANNING® vers. 2.9 (www.trimble.com/planningsoftware_ts.asp).

Come effemeridi predittive (almanacco) si sono utilizzate quelle nel formato YUMA della settimana GPS 598 al secondo 147456 scaricate dal sito <http://celestrak.com/GPS/almanac/Yuma/>.

La situazione prevista per la giornata del 6 febbraio dalle ore 09h45m alle 12h45m (ora locale) dava una visibilità dai 9 ai 13 satelliti GPS e di 3 satelliti WAAS (con 15° di *cut-off*). Il dato è stato confermato dalla saturazione dei 12 canali del ricevitore e dall'indicazione della correzione differenziale WAAS.

Per quanto riguarda gli xDOP, si sono presi in considerazione il GDOP e l'HDOP. Quest'ultimo perché l'esercitazione di *post-processing* ha preso in considerazione solo lo studio della posizione planimetrica non avendo in zona un caposaldo sicuro di riferimento per la livellazione (due punti fiduciali in zona erano troppo lontani e in proprietà private).

Il GDOP era mediamente pari a 3.75 dalle 09h45m alle 10h20m, 2.4 fino alle 11h00m, da 3.5 a 4.6 fino alle 11h40m e 2.7 in media fino alle 12h30m.

L'HDOP è stato pari a 1.5 fino alle 10h20m con un picco a 1.6 alle 10h12m, 1.0 fino alle 11h00m con un picco a 1.2 alle 10h40m e un minimo di 0.96 intorno alle 10h51m, 1.1-1.0 fino alle 11h40m.

LE TRACCE MISURATE E CORRETTE

Con il programma GPSBABEL® vers. 1.4.1 (www.gpsbabel.org/download.html) si sono scaricate dal ricevitore fisso in GR la traccia di riferimento e dal ricevitore mobile le tracce T1 e T2 in formato *kml* per poterle disegnare in Googleearth® e in formato *txt* per poterle elaborare con il foglio elettronico EXCEL®.

L'analisi delle misure, eseguite tra le 09h49m00s e le 11h27m59s (ora locale) ha preso in considerazione due tracce con le seguenti caratteristiche:

T1: traccia aperta da 12.548537°E / 42.013701°N a 12.546476°E / 42.025027°N, percorsa da sud verso nord e lunga ca. 1570 m; campionamento 1s;

T2: traccia chiusa di forma quasi ellittica molto allungata: estremo SW: 12.544976°E / 42.023419°N; estremo NE: 12.546846°E / 42.026141°N; lunghezza ca. 805 m; campionamento 1s.

Con la scelta del punto GR, la T1 vi dista 151 m (min) e 1065 m (max); mentre la T2 919 m (min) e 1167 m (max).

L'elaborazione di correzione *post-processing* delle due tracce è consistita nel far corrispondere temporalmente i campionamenti (longitudine, latitudine) di T1 ($\lambda_1(t)$, $\varphi_1(t)$) e T2 ($\lambda_2(t)$, $\varphi_2(t)$) con quelli di GR ($\lambda_{GR}(t)$, $\varphi_{GR}(t)$). In questo modo, conoscendo le coordinate vere di GR (λ_{GR} , φ_{GR}) si è calcolata la correzione (positiva o negativa) nel punto GR sia in longitudine che in latitudine ($\Delta\lambda_{GR}(t)$, $\Delta\varphi_{GR}(t)$). Tale correzione è stata applicata successivamente al dato simultaneo delle tracce T1 o T2 avendolo prima moltiplicato per HDOP del momento approssimato al minuto (*hd(t)*). Le formula di correzione algebrica delle coordinate delle misure di T1, ma ugualmente per T2, saranno:

$$\begin{aligned}\lambda_{1C}(t) &= \lambda_1(t) + \Delta\lambda_{GR}(t) \text{hd}(t) \\ \varphi_{1C}(t) &= \varphi_1(t) + \Delta\varphi_{GR}(t) \text{hd}(t)\end{aligned}$$

Una volta corrette, le due tracce sono state convertite in formato *kml* per essere visualizzate in *Googleearth*®.

Dei dati in GR si sono perse solo 4 misure su più di 8200, mentre per le tracce vi sono state 2 perdite su 3440 campionamenti per T1 e nessuna sui 769 campionamenti per T2 dimostrando una buona affidabilità dei ricevitori.

La correzione delle tracce ha inciso anche sulle loro lunghezze. La T1 è passata da ca. 805 m a ca. 800 m con una diminuzione dello 0.5%; la T2 è passata da ca. 1570 m a ca. 1610 m con un aumento del 2.5% (In T2 bisogna eliminare i due tratti avanti/dietro che si trovano al centro lungo il lato a NW poiché non facenti parte dell'esercitazione).

Ma il risultato più interessante lo si è avuto nello spostamento delle tracce come si può osservare in alcuni punti notevoli. In fig. 2 sono rappresentate la T1 misurata (linea blu) e quella corretta (linea rossa) che è stata spostata di ca. 4 m riportandola sulla strada sterrata. L'entità e la bontà della correzione sono evidenziate nelle figg. 2 e 3 per T1 e nella fig. 4 per T2.

Lo spostamento delle tracce, indipendentemente dalla direzione, è stato mediamente di 4.05 ± 0.56 m per T1 e 4.10 ± 0.40 m per T2.

CONCLUSIONI

I dati misurati, calcolati e riportati permettono di affermare che:

- 1) la mattinata del 6 febbraio si è dimostrata un buon momento, anche meteorologicamente, per effettuare le misure vista la grande accuratezza delle misure in GR e l'entità dell'errore nella precisione inferiore a quello

riportato dalla manualistica del ricevitore;

- 2) la tecnica del *post-processing* adottata ha permesso di arrivare, dove non vi erano altre fonti di errore non correggibili, a una precisione submetrica/1 m delle tracce in campo aperto e di 2 m per i tratti in copertura vegetale. Infatti, come si può vedere nelle figg. 1 e 2, la traccia non corretta (blu) è stata spostata (corretta, rossa) sulla strada dove effettivamente sono transitati i misuratori;
- 3) la forma della traccia misurata e corretta sono praticamente uguali (bassa percentuale di variazione) ciò che rende, in particolare, la misura di aree, in prima approssimazione, valida anche senza correzione;
- 4) non si sono apprezzate evidenti interferenze per la presenza delle linee di alta tensione elettrica;
- 5) il breve tracciato in bosco presso il termine della T1 deve essere confermato da una misurazione con rotella metrica mancando punti di riferimento del terreno visibili dalla foto satellitare.

ABSTRACT

Experience on the ground in an archaeological site with low cost handheld receivers and free software for measuring paths and / or areas of particular interest for both scientific and surveillance. Development of measures by gps differential post-processing mode.

PAROLE CHIAVE

Archeologia, GPS, post-processing, pseudorange.

AUTORE

TULLIO AEBISCHER
TULLIOA5@YAHOO.IT
CONSULENTE CARTOGRAFICO

Vibrometria laser-Doppler a scansione

Verifica della tenuta di rivestimenti incollati o ad aggancio meccanico

Riprese termografiche

Controlli su rivestimenti per il rilievo di distacchi, fessurazioni, presenza di umidità

Rilievi per l'efficienza energetica

Analisi di affreschi, mosaici, intonaci e pavimentazioni

Georadar

Localizzazione di strutture murarie sepolte

Determinazione della geometria e stratigrafia di componenti edilizi

Ricerca di sottoservizi, sezioni stradali, verifica presenza di cavità

Prove su strutture in calcestruzzo per il rilievo delle armature

Misure di trasmittanza termica

Monitoraggio ambientale con reti wireless (WSN)

Indagini soniche e ultrasoniche

Prove sclerometriche

Prove pacometriche per il rilievo delle armature

Prove di carbonatazione

Partecipazione in Progetti Europei

Analisi modale operativa

Servizi diagnostici per l'Edilizia, i Beni Culturali e le Strutture Civili

Artemis srl

c/o Università Politecnica delle Marche - via Brecce Bianche 60131 Ancona (IT)

Tel.: 071-2204442 Fax: 071 2204801 Cell.: 342-3352713 E-mail: info@artemis-srl.it Web: www.artemis-srl.it

