

APPLICAZIONE DI TECNICHE SATELLITARI GPS AL RILEVAMENTO PLANIMETRICO DEI SITI DI RILEVANZA ARCHEOASTRONOMICA

di

Adriano Gaspani

gaspani@brera.mi.astro.it

Riassunto

Durante l'ultimo decennio il rilievo topografico eseguito utilizzando il sistema satellitare GPS ha visto un grande sviluppo sia dal punto di vista della tecnologia dei ricevitori, sia dal punto di vista dello sviluppo del software applicativo per la riduzione dei dati, consentendo un rilevante aumento dell'accuratezza dei risultati del rilievo. In questo lavoro si propone l'applicazione delle tecniche satellitari al rilievo planimetrico dei siti archeologici di interesse astronomico e si descrivono le esperienze, largamente positive, maturate nel corso di oltre 2 anni di sperimentazione sul campo.

Abstract

During the last decade the GPS-Survey was largely improved both on the ground of the hardware of the receivers, and on the ground of the data reduction techniques, including the software tools, so the accuracy of the survey was strongly increased. In this paper the GPS-Survey was proposed as working technique in the archaeoastronomical survey of the sites. Some experiences gained during up to two years of practical application and test of the GPS-Survey were described. The results were largely positive and the conclusion is that the GPS-Survey represents a very valuable technique in the archaeoastronomical survey.

Introduzione

Durante il rilevamento di un sito archeologico di interesse archaeoastronomico e' generalmente richiesta la misura di un certo numero di angoli di azimut astronomico, cioe' l'angolo formato dalla direzione che ci interessa, rappresentata ad esempio dall'asse di una chiesa antica, oppure da una linea di monoliti allineati oppure da una griglia di scavo su uno scavo archeologico etc., con la direzione del meridiano astronomico locale. Il GPS si rivela uno strumento potentissimo, in particolare se non viene usato da solo, ma in connessione con un goniometro, (teodolite, tacheometro, squadra graduato, bussola topografica). Il ricevitore GPS, e' in grado di ottenere la posizione geografica del centro di fase della sua antenna con uno scarto di alcuni metri, con una singola misura di posizionamento; questo fornisce subito, con precisione sufficiente, la latitudine e la longitudine del luogo che saranno impiegate nei calcoli e nelle simulazioni del cielo antico durante la fase di analisi dei dati e di studio del sito. Il GPS consente di determinare la direzione del meridiano astronomico locale, oppure l'azimut astronomico di una direzione facilmente identificabile, che poi verra' usata come riferimento durante i rilievi eseguiti con il teodolite o altri goniometri. La procedura, che va sotto il nome di "determinazione di una base GPS", prevede che siano determinate con precisione le coordinate geografiche (λ_1 , φ_1 e λ_2 , φ_2) di due punti estremi posti entro il campo topografico, cioe' distanti tra loro dai 5 ai 15 Km, in cui sono posti due ricevitori operanti in simultanea oppure uno in differita operante prima in un estremo e poi nell'altro. Nel primo caso l'accuratezza raggiungibile e' maggiore in quanto entrambi i ricevitori osservano simultaneamente la stessa configurazione di satelliti. Dalle coordinate si ricava l'azimut astronomico di orientazione della base con la seguente formula:

$$A^* = \text{atan} \{ (\lambda_2 - \lambda_1) \cos(\varphi_1) / (\varphi_2 - \varphi_1) \}$$

valida entro il Campo Topografico, mentre l'errore con cui l'azimut sara' stato valutato dipendera' dagli errori "e1" ed "e2" con cui e' stata valutata la posizione dei due punti estremi posti alla distanza planimetrica "d" l'uno dall'altro e sara' stimabile (in gradi) con:

$$e(Az) \approx 28^{\circ}.7 (e1 + e2) / d$$

I due punti della base devono essere visibili l'uno dall'altro e deve essere possibile collimare l'uno facendo stazione nell'altro e viceversa con un teodolite misurando gli angoli orizzontali e successivamente riferire alla direzione della base le misure di azimut delle direzioni importanti presenti nel sito da rilevare. Appare intuitivo che piu' i due punti in cui si fa stazione con il GPS sono distanti tra loro, piu' l'azimut astronomico della base sara' accurato. E' possibile pianificare in anticipo le osservazioni in modo da sfruttare i giorni in cui la configurazione dei satelliti e' la piu' favorevole possibile e quindi la precisione della determinazione della posizione del ricevitore GPS e' piu' elevata. Se i satelliti "in vista" sono tutti concentrati pressoché sulla verticale del punto di stazione si verifica una sfavorevole situazione dal punto di vista dell'accuratezza con cui e' possibile determinare

le coordinate del punto (situazione di alta Diluizione della Precisione, in gergo "DOP"). Nel caso invece i satelliti siano ben distribuiti sulla semisfera celeste centrata nel punto di stazione allora la precisione con cui la posizione puo' essere determinata aumenta considerevolmente (bassa DOP). Questo effetto e' dovuto al processo di calcolo che compie il ricevitore quando analizza i segnali in arrivo per determinare la posizione del punto di stazione. Le previsioni della posizione dei satelliti possono essere eseguite localmente mediante l'opportuno software oppure collegandosi direttamente al sito internet del Naval Air Warfare Center - Weapons Division del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d'America, in cui e' possibile accedere alla procedura di calcolo in linea. Da tutti questi fattori risulta che e' vero che piu' la base e' lunga e piu' la sua orientazione e' accurata, ma bisogna fare attenzione in quanto affinche' tutto funzioni bene e' necessario rimanere sotto i 15 Km, limite che definisce l'estensione del Campo Topografico, area in cui la Terra puo', ai fini del calcolo, essere considerata piana. Per distanze maggiori si entra nel Campo Geodetico e allora la curvatura della Terra gioca un ruolo importante e bisogna tenerne conto nei calcoli, i quali si complicano, ma sono comunque perfettamente fattibili in modo accurato; il problema se mai e' che i due estremi della base non sono piu' visibili l'uno dall'altro e allora non sono collimabili con il teodolite. Il GPS si rivela uno strumento potentissimo, ma da non usare da solo; abbinandolo al teodolite e' possibile eseguire un controllo indipendente della bonta' dell'azimut della base misurando l'azimut astronomico del centro del Sole ad una certa ora del giorno riferito a quello della base GPS. Il calcolo dell'azimut astronomico teorico del Sole richiede alcuni calcoli di Astronomia Sferica che richiedono la determinazione dell'angolo orario dell'astro diurno. Nel calcolo entrano anche l'istante di tempo durante il quale l'azimut del centro del disco solare e' stato misurato e la longitudine geografica del punto di stazione. L'ora esatta la fornira' il GPS utilizzando il segnale di tempo trasmesso dai satelliti su ciascuno dei quali sono installati due orologi atomici, allo stesso modo della longitudine del luogo.

Alcune esperienze oggettive

Vediamo ora alcune esperienze maturate durante l'uso "*sul campo*" del sistema descritto. La combinazione tra GPS e un'altro strumento di misura ha permesso di mettere in evidenza alcuni fatti molto istruttivi dal punto di vista metodologico. Uno di questi, che merita particolare attenzione e' connesso con l'uso delle bussole nella rilevazione dei siti archeoastronomici. Nonostante la questione sia molto dibattuta tra gli addetti ai lavori, questa metodologia e' ancora troppo spesso utilizzata riponendo eccessiva fiducia nelle correzioni degli azimut magnetici usando i valori della declinazione magnetica estrapolati partendo dai dati (spesso vecchi di 10 o 20 anni) contenuti nelle tavolette dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI). Chi scrive ha misurato l'azimut astronomico di un centinaio di basi GPS di lunghezza compresa tra i 2 e 14 Km, nel territorio bergamasco e camuno. I test sono stati eseguiti applicando il metodo sopra descritto con un ricevitore GARMIN GPSIII+ (12 canali indipendenti) con un'acquisizione variabile caso per caso da 300 a 3000 determinazioni di posizione per stazione. Per ognuna delle basi e' stato misurato anche l'azimut magnetico collimando uno dei due estremi della base facendo stazione nell'altro e viceversa con 4 bussole topografiche (2 delle quali dello stesso tipo costruite dalla ditta tedesca Wilkie, una dalla francese Plastimo e una dalla finlandese Suunto). Il controllo dell'azimut GPS e' stato eseguito con un teodolite THEO 010 della Zeiss di Jena, usando i due bordi del disco solare, le coordinate del luogo e il campione di tempo forniti dal ricevitore GPS. La differenza tra l'azimut GPS e quello magnetico ci fornisce una misura oggettiva della somma tra la declinazione magnetica e le perturbazioni localmente presenti nel punto di stazione. L'analisi dei dati ha messo in evidenza alcuni fatti degni di nota. Il primo riguarda la presenza di linee ad alta tensione nelle vicinanze del punto di stazione la quale provoca una deviazione degli azimut magnetici che sono arrivate sperimentalmente a superare anche i 4 gradi, nonostante i cavi della linea fossero distanti oltre 50 metri. Questo avviene a causa dell'effetto Oersted qualora nei conduttori scorra corrente e l'entita' dell'effetto e' proporzionale alla distanza euclidea tra la bussola e i cavi. La cosa interessante e' che gli effetti, anche se di minore entita' si sentono anche superando i 100 metri di distanza dalla linea e che se il sito archeologico da rilevare e' esteso, l'entita' degli effetti perturbatori varia passando da un punto di stazione all'altro durante i rilievi. Ma questa non e' la sola fonte di perturbazioni, infatti la presenza di un'automobile nelle vicinanze modifica gli azimut magnetici, ci vogliono almeno 30 metri di distanza dagli automezzi per ridurre la perturbazione a livelli trascurabili. Anche le recinzioni metalliche, cosi' comuni nelle nostre campagne, creano problemi sotto i 10 o 15 metri di distanza, per non parlare poi delle rocce localmente presenti che possono essere ricche di materiali ferrosi. Nonostante questo quadro catastrofico le metodologie che prevedono l'uso di bussole topografiche di precisione per la rilevazione di allineamenti e orientazioni, non sono del tutto da scartare a priori. L'uso combinato della bussola topografica con il GPS permette infatti di ridurre questi problemi a limiti accettabili durante il rilievo preliminare del sito, in via speditiva. La disponibilita' di una base GPS il cui azimut astronomico e' noto permette di usare la bussola topografica come semplice goniometro usando come riferimento affidabile l'azimut della base per la correzione dei dati magnetici. Un'altra evidenza interessante e' che il metodo della correzione degli azimut magnetici per ricavare quelli astronomici usando i valori della declinazione magnetica estrapolati partendo dai vecchi dati contenuti nelle tavolette dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI), o ancora peggio nelle carte tecniche regionali (CTR), funziona localmente piu' male del previsto. Un poco meglio si va usando i dati rilevabili dalla

carta magnetica d'Italia pubblicata dall'Istituto Nazionale di Geofisica (ING) e che riporta la situazione del territorio nazionale nel 1985. Le cose migliorano un po' applicando i dati relativi alla campagna di rilievi magnetici eseguita dall'ING nel 1995, ma per ora i dati non sono ancora stati pubblicati (chi scrive ne ha usufruito grazie alla gentilezza e alla collaborazione del personale dell'ING che ha eseguito le misure). In ogni caso le situazioni magnetiche locali prevalgono fortemente sui dati medi pubblicati per la zona dove il sito si trova rischiando di invalidare completamente il lavoro di rilevamento qualora non se ne tenga adeguatamente conto.

Conclusione

In questo lavoro sono state descritte alcune esperienze maturate esplorando la possibilità di introdurre la rilevazione satellitare GPS in ambito arqueoastroonomico, i risultati ottenuti sono altamente positivi e permettono di mettere in evidenza che il ricevitore GPS occupa un posto importante nel bagaglio della strumentazione a disposizione di coloro che eseguono rilievi di siti archeologici di interesse arqueoastroonomico. Come nota conclusiva può essere conveniente accennare al fatto che la misura degli azimut arqueoastroonomici ottenuti con il teodolite o con altri strumenti a collimazione è riferita al Geoide locale, che presenta un andamento irregolare, mentre il modello geodetico usato dal sistema GPS è quello dell'elissoide WGS84, matematicamente ben definito e ufficialmente adottato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d'America, quindi in teoria gli azimut geodetici (GPS) e quelli arqueoastroonomici sono leggermente diversi. La differenza risulta però molto ridotta, abbondantemente al di sotto dell'incertezza con cui gli azimut possono essere determinati e utilizzati a scopo di studio arqueoastroonomico dei siti. Appare quindi evidente che un ricevitore capace di ricevere la sola frequenza L1 ed eseguire misure di codice C/A è perfettamente adatto alla determinazione di una base GPS di accuratezza sufficiente da essere utilizzabile per le ricerche arqueoastroonomiche. Il posizionamento assoluto è quindi affetto da errori di varia natura, ma per le applicazioni arqueoastroonomiche le coordinate geografiche servono principalmente per poter simulare l'aspetto del cielo durante il periodo di frequentazione del sito e le coordinate degli estremi della base per la valutazione dell'azimut arqueoastroonomico di una linea di riferimento utile per calibrare gli angoli orizzontali rilevati mediante il teodolite.

Bibliografia

- Andreoli R.A., 1995, **"Il Libro del GPS"**, Nistri-Lischi, Pisa.
- Caporali A., Gallo M., 2001, **"Cartografia e GPS"**, Centro del Libro, Piazzola sul Brenta, PD.
- Cina A., 2000, **"GPS, Principi, modalità e tecniche di posizionamento"** Celid, Torino.
- Crosilla F., Mussio L. (a cura di), 1991, **"Il sistema di posizionamento globale satellitare GPS"**, International Centre for Mechanical Sciences, Collana di Geodesia e Cartografia.
- Crosilla F., Mussio L. (a cura di), 1994, **"Metodi e procedure di modellizzazione e trattamento dei dati GPS"**, International Centre for Mechanical Sciences, Collana di Geodesia e Cartografia.
- Crosilla F., Mussio L. (a cura di), 2000, **"Il rilevamento topografico dinamico multisensoriale"**, International Centre for Mechanical Sciences, Collana di Geodesia e Cartografia.
- Hofmann-Wallenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001, **"GPS, Theory and Practice"**, first revised edition, Springer Verlag, Wien.
- Kumm W., 1993, **"GPS, Global Positioning System"**, Mursia.
- Leick A., 1995, **"GPS, Satellite Surveying"**, J. Wiley, New York.
- Lorenzani R., Venturi V., 1997, **"GPS, Global Positioning System"**, Hoepli, Milano.
- Nikon-Trimble, 1999, **"GPS, Guida all'uso del GPS per il rilevamento del territorio"**, Serie Ambiente & Territorio, Maggioli Editore.