

UTILIZZO DELLA SMARTSTATION LEICA PER IL RILIEVO DI PUNTI NON STAZIONABILI

Maurizio BARBARELLA, Stefano GANDOLFI

DISTART – Topografia – Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna –
Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna, tel. 051-2093106, fax. 051-6448073,
e-mail: (maurizio.barbarella@mail.ing.unibo.it, stefano.gandolfi@mail.ing.unibo.it)

Abstract

Recently a new topographic instrument appeared in the market, it consist in a GPS combined to a Total-Station (theodolite and EDM). This new instruments provide also some defined procedure based principally in the side shot approach. In this work the authors have performed some simulations in order to evidence the dependence of the final accuracy from the survey geometry. The results will be shown in term of standard ellipses.

Introduzione

I sistemi GNSS hanno reso molto veloce il rilievo di punti sui quali si possono eseguire misure dirette,utilizzando anche le ormai consolidate tecniche di Real Time Kinematic da singola stazione (RTK) o da rete di stazioni permanenti (NRTK) che consentono precisioni centimetriche sempre sufficienti per rilievi di tipo tecnico. Tuttavia esiste una classe di punti (spigoli di edifici o punti in aree ad alta urbanizzazione) dove tali rilievi non sono eseguibili in modo diretto e dove tecniche GNSS e tecniche classiche si devono inevitabilmente integrare.

Attualmente si stanno proponendo sul mercato strumenti che integrano una stazione totale ad un GPS di tipo geodetico nei quali è presente un unico software in grado di gestire contemporaneamente entrambi gli aspetti.

Primo esempio sul mercato è stata la SmartStation di Leica Geosystem che presenta una combinazione di un ricevitore modello Leica System 1200 ad una stazione totale Leica TPS1200.

Tale strumentazione nasce principalmente per soddisfare esigenze in ambito tecnico dove le precisioni richieste sono generalmente nell'ordine decimetrico.

Al fine di utilizzare a pieno le potenzialità dei nuovi strumenti, le case produttrici hanno anche implementato nel software del ricevitore opportune procedure che consentono l'utilizzo combinato di GNSS e stazione totale. Tali procedure, nella strumentazione utilizzata, sono sostanzialmente varianti allo schema classico del rilievo per polari e si basano su sistemi isodeterminati (senza dunque sovrabbondanza di osservazioni).

Tali peculiarità permettono, in linea di principio, di ridurre errori di stazionamento (dovuti nel rilievo classico all'utilizzo sequenziale di strumenti differenti, GPS e stazioni totali, sullo stesso punto) e di rendere più rapida l'esecuzione dei rilievi. L'utilizzo di reti di stazioni permanenti GNSS per il posizionamento in tempo reale consente poi all'utente di operare in autonomia aumentando ulteriormente la produttività.

Scopo del lavoro è quello di valutare le precisioni raggiungibili dal sistema in differenti schemi geometrici di rilievo. A tal fine sono state condotte alcune simulazioni di propagazione della varianza in ambiente Matlab.

Geometria di rilievo e schema di calcolo.

Considerando uno schema di calcolo per polari (fig. 1), siano A e B i punti di stazione la cui posizione sia da rilevare mediante rilievo RTK (o NRTK), α l'angolo azimutale misurato, e d_{ap} la distanza misurata (già ridotta alla superficie di riferimento), allora il calcolo della posizione del punto P è ottenibile direttamente dalle formule [1].

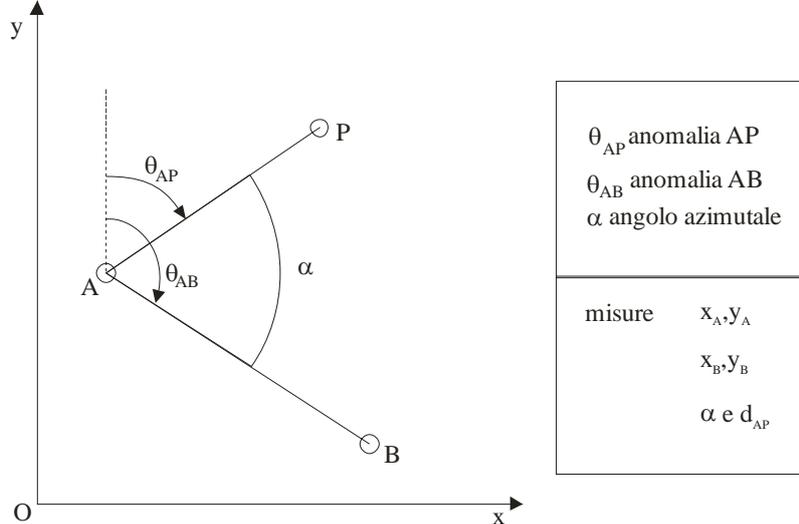


Figura 1 - Schema di rilievo per polari

$$\begin{cases} x_p = x_A + d_{AP} \sin\left(\arctan\left(\frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}\right) - \alpha\right) = x(x_A, y_A, x_B, y_B, \alpha, d_{AP}) \\ y_p = y_A + d_{AP} \cos\left(\arctan\left(\frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}\right) - \alpha\right) = y(x_A, y_A, x_B, y_B, \alpha, d_{AP}) \end{cases} \quad [1]$$

Calcolo della precisione associata al rilievo

Considerando dunque Σ_{ll} la matrice di varianza/covarianza delle osservazioni data dalla [2], dove si sono assunte le misure decorrelate tra loro, e la matrice Jacobiana (J) [3] associata alle [1], allora la matrice di varianza/covarianza associata alla soluzione (Σ_{x_p}) è data dalla nota formula [4].

$$\Sigma_{ll} = \begin{pmatrix} \sigma_{x_a}^2 & \sigma_{x_a y_a} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{y_a x_a} & \sigma_{y_a}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{x_b}^2 & \sigma_{x_b y_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y_b x_b} & \sigma_{y_b}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{d_{ap}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\alpha}^2 \end{pmatrix} \quad [2]$$

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial x_p}{\partial x_a} & \frac{\partial x_p}{\partial y_a} & \frac{\partial x_p}{\partial x_b} & \frac{\partial x_p}{\partial y_b} & \frac{\partial x_p}{\partial d_{ap}} & \frac{\partial x_p}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial y_p}{\partial x_a} & \frac{\partial y_p}{\partial y_a} & \frac{\partial y_p}{\partial x_b} & \frac{\partial y_p}{\partial y_b} & \frac{\partial y_p}{\partial d_{ap}} & \frac{\partial y_p}{\partial \alpha} \end{pmatrix} \quad [3]$$

Non si riportano per brevità le espressioni esplicite delle componenti dello Jacobiano e della matrice di varianza covarianza delle coordinate.

$$\Sigma_{\underline{x}_p} = \begin{pmatrix} \sigma_{x_p}^2 & \sigma_{x_p y_p} \\ \sigma_{y_p x_p} & \sigma_{y_p}^2 \end{pmatrix} = J \cdot \Sigma_{ll} \cdot J^T \quad [4]$$

Dalla matrice di varianza/covarianza è poi possibile calcolare semiassi maggiori e minori (a e b) e angolo di orientamento (ξ) dell'ellisse d'errore associata dalle note formule [5]. Tali dimensioni si riferiscono dunque ad un di intervallo di confidenza pari al 39.4%.

$$a^2 = \frac{\sigma_{x_p}^2 + \sigma_{y_p}^2 + \sqrt{(\sigma_{x_p}^2 - \sigma_{y_p}^2)^2 + 4\sigma_{x_p y_p}^2}}{2};$$

$$b^2 = \frac{\sigma_{x_p}^2 + \sigma_{y_p}^2 - \sqrt{(\sigma_{x_p}^2 - \sigma_{y_p}^2)^2 + 4\sigma_{x_p y_p}^2}}{2}; \quad [5]$$

$$\tan(2\xi) = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}$$

Indeterminazioni associate alle misure

Al fine di condurre una simulazione sulle precisioni ottenibili al variare dei possibili parametri, è stato necessario imporre una indeterminazione da associare alle misure. Considerando le modalità di rilievo e la classe strumentale si è ritenuto di porre a 2 centimetri l'errore quadratico medio su ogni componente dei rilievi eseguiti in modalità RTK (supponendo trascurabile la covarianza tra componenti). Per quanto concerne le misure di distanza, considerando di non utilizzare prismi si è posto come errore quadratico medio una precisione pari a 5mm+1mm/km, mentre per l'indeterminazione sull'angolo azimutale si è posto un errore quadratico medio pari a 15^{cc}.

Tali valori sono ottimistici e prescindono ad esempio da errori di posizionamento della mira sul punto P, o della scarsa definizione dell'oggetto rilevato senza prismi, o di eventuali maggiori errori del rilevamento RTK: sono comunque assunti in quanto corrispondono alle precisioni intrinseche strumentali.

Simulazioni eseguite

Fissate le precisioni delle misure ipotizzate, la precisione delle coordinate del punto da determinare vengono a dipendere dallo schema geometrico realizzato dai tre punti. Sostanzialmente i parametri geometrici che possono definire la configurazione sono l'anomalia θ_{AB} , l'angolo α e le distanze d_{AP} e d_{AB} . Sono state eseguite alcune serie di simulazioni durante le quali viene fatto variare un parametro tenendo costanti gli altri, e valutando il risultato in termini di ellisse d'errore standard.

E' possibile individuare quali siano i parametri che possono influenzare maggiormente la precisione finale del rilievo a parità di errori quadratici medi ipotizzati per le misure.

Alcune simulazioni che non vengono presentate in termini numerici hanno confermato come non ci sia nessuna variazione ne in termini di dimensione ne in termini di orientamento relativo dell'ellisse variando l'anomalia θ_{AB} e mantenendo costante sia l'angolo azimutale α che le distanze d_{AB} e d_{AP} .

Si è dunque ritenuto di svolgere 2 serie di simulazioni:

- 1) calcolo della variazione dell'ellisse d'errore al variare della distanza d_{AB} e dell'angolo azimutale α , mantenendo costante la distanza d_{AP} e l'anomalia θ_{AB} .
- 2) calcolo della variazione dell'ellisse d'errore al variare delle distanze d_{AB} e d_{AP} , mantenendo costante l'angolo azimutale α e l'anomalia θ_{AB} .

Prima simulazione: calcolo della variazione dell'ellisse d'errore al variare della distanza d_{AB} e dell'angolo azimutale α , mantenendo costante la distanza d_{AP} e l'anomalia θ_{AP} .

Come anticipato nel titolo del paragrafo, in questa simulazione si è tenuta costante l'anomalia θ_{AB} posta pari a 1° e, fissata una distanza d_{AP} , pari a 50m, sono state fatte variare le distanze del punto di stazione A dal punto di orientamento B e l'angolo azimutale α .

La distanza d_{AB} è stata fatta variare da 30m a 200m con un passo pari a 5m, e l'angolo azimutale α è stato fatto variare da 5° a 355° calcolando l'ellisse d'errore associata al punto per ogni combinazione possibile delle due grandezze.

In Figura 2 vengono mostrate, oltre allo schema geometrico assunto con A e P tenuti in posizione costante, i risultati più significativi, mostrando in particolare i risultati in funzione dell'angolo azimutale α (Fig. 2 c).

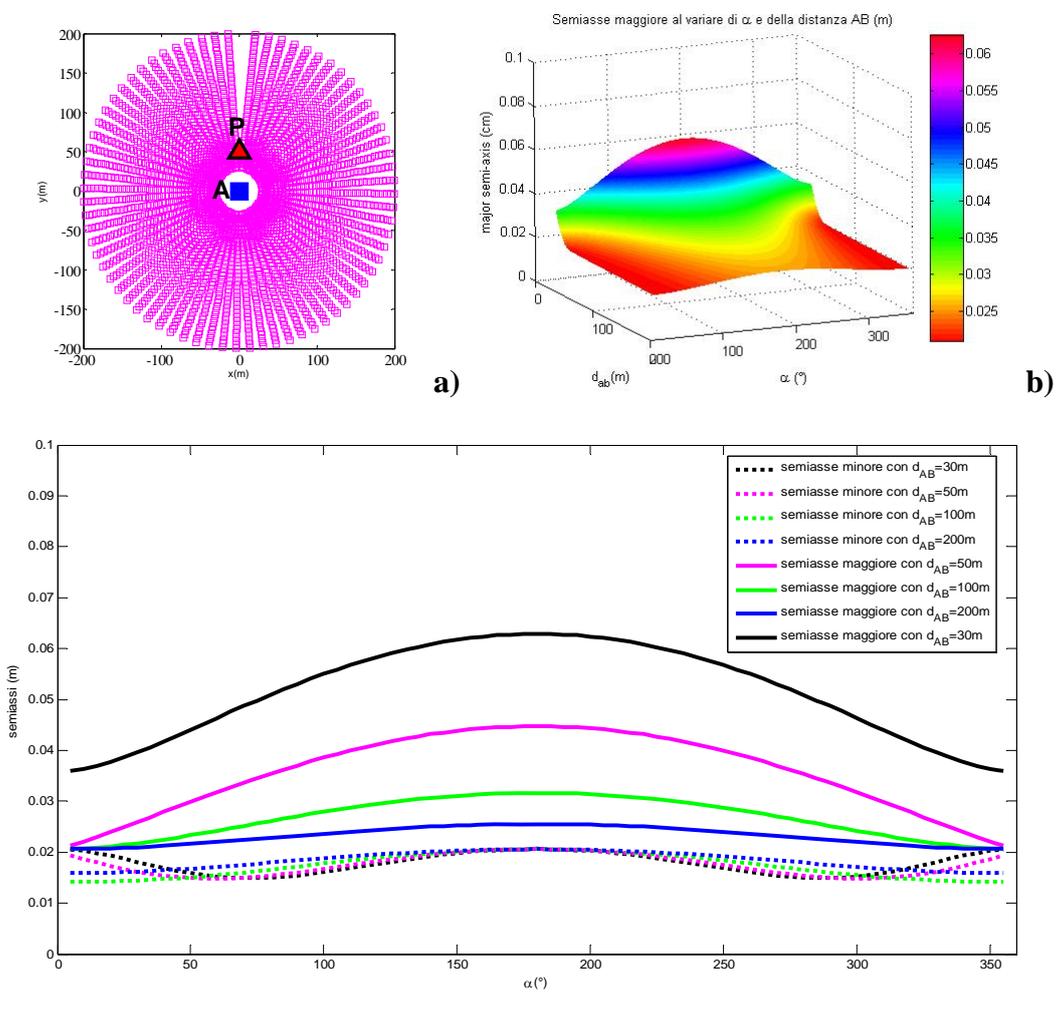


Figura 2 – Risultati della prima simulazione

Dalla figura 2 b) e c) si può osservare come per distanze d_{AB} superiori alla distanza d_{AP} impostata come parametro fisso, la variazione del semiasse maggiore cambia relativamente poco al variare dell'angolo azimutale α . Quando invece la distanza tra i punti utilizzati per l'orientamento è inferiore alla distanza tra il punto di stazione ed il punto da collimare, la variazione del semiasse maggiore diventa più significativa anche se comunque contenuta. I semiasse minori rimangono sostanzialmente dello stesso ordine di grandezza in qualsiasi configurazione, come dimostrano le linee tratteggiate della figura 2 c) che riporta andamento dei semiasse maggiori e minori al variare dell'angolo α (in ascisse ed espresso in gradi) per alcune distanze ($d_{AB} = 30, 50, 100, 200m$).

Seconda simulazione: calcolo della variazione dell'ellisse d'errore al variare delle distanze d_{AB} e d_{AP} , mantenendo costante l'angolo azimutale α e l'anomalia θ_{AB} .

Come anticipato nel titolo del paragrafo, in questa simulazione si è mantenuta costante l'anomalia θ_{AB} posta pari a 50° e, fissato un angolo azimutale α sono state variate le distanze del punto di stazione A dal punto di orientamento B e dai punti di collimazione P.

In particolare, al fine di dimostrare una sostanziale indipendenza dall'angolo azimutale, sono stati condotti due simulazioni separate per $\alpha=50^\circ$ e 100° .

Le distanze d_{AB} e d_{AP} sono variate da 10m a 300m con un passo pari a 5m, calcolando l'ellisse d'errore associata al punto per ogni combinazione possibile delle due distanze.

In Figura 3 vengono mostrate, oltre ai due schemi geometrici assunti (figura 3 a e b), i principali risultati ottenuti, mostrando in particolare i risultati in funzione del rapporto d_{AB}/d_{AP} .

Tale scelta deriva dall'analisi dei valori risultanti dalla simulazione che evidenzia un comportamento dell'ellisse d'errore dipendente prevalentemente dal rapporto sopra indicato.

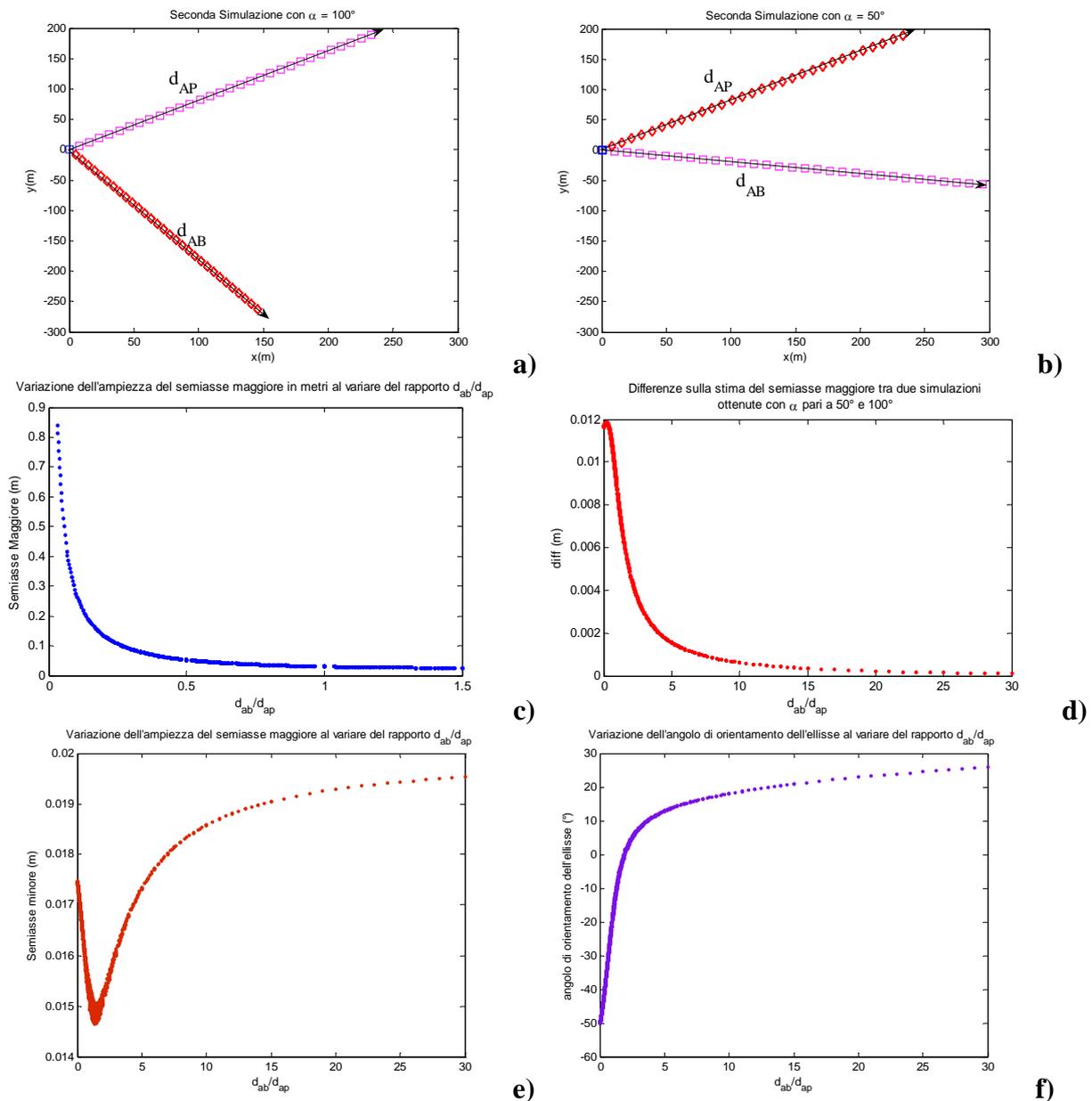


Figura 3 – Risultati della seconda simulazione espressi in funzione del rapporto d_{AB}/d_{AP}

Il grafico di figura 3 c) indica un notevole incremento dell'asse maggiore quando d_{AB}/d_{AP} diviene inferiore all'unità. Parimenti il grafico di figura 3 f) indica come l'orientamento dell'ellisse d'errore cambi significativamente sempre nell'intorno del valore dell'ascissa indicato precedente e passi da un orientamento con semiasse maggiore quasi ortogonale alla direzione d_{AP} quando d_{AB}/d_{AP} è molto piccolo ad un orientamento lungo la direzione d_{AP} quando d_{AB}/d_{AP} diventa sempre più grande. Il grafico 3 d) invece mostra le variazioni dell'ampiezza dell'ellisse d'errore quando si assume un angolo azimutale differente ed evidenzia come esse siano decisamente contenute e generalmente trascurabili.

Tale comportamento dell'ellisse d'errore trova giustificazione anche intuitiva in quanto la distanza tra i punti A e B e la loro precisione sono responsabili anche dell'indeterminazione sull'anomalia θ_{AB} e dunque sulla anomalia θ_{AP} (anche se per essa deve essere considerata anche l'incertezza su α). Tale indeterminazione si propaga sulle coordinate del punto P tanto più quanto è grande la distanza d_{AP} . Ne deriva che, nel caso citato, la componente peggio determinata è lungo la ortogonale la direzione θ_{AP} . Quando invece la distanza d_{AB} diventa superiore alla distanza d_{AP} allora si ha l'errore sull'anomalia AP si ripercuote relativamente poco sulle coordinate di dunque l'incertezza massima si ha lungo la direzione AB.

Conclusioni.

Le simulazioni eseguite mostrano come la dimensione e l'orientamento dell'ellisse d'errore associata ad un rilievo per polari con l'utilizzo di stazioni integrate GPS-Total Station possano subire significative variazioni al variare della geometria di rilievo adottata. In particolare il parametro che maggiormente influenza la precisione finale del rilievo è il rapporto tra la distanza del punto di orientamento e la distanza del punto da collimare dal punto di stazione. Quando infatti il punto utilizzato per l'orientamento risulta essere molto più vicino al punto di stazione di quanto non sia il punto da collimare l'ellisse d'errore può avere dimensioni anche molto superiori a quelle accettabili (quantificabili per rilievi tecnici in circa 10cm). In questi casi la componente peggio determinata risulta essere lungo la direzione ortogonale la direzione di collimazione. Le variazioni in termini di dimensione ed orientamento dell'ellisse d'errore al variare dell'angolo azimutale risultano essere più contenute anche se in alcuni casi si può anche arrivare a raddoppiare l'ampiezza del semiasse maggiore.

I risultati mostrati sono relativi ad un intervallo di confidenza pari al 39.4% e dunque se si utilizzasse un intervallo più cautelativo, allora i valori riportati dovrebbero essere opportunamente corretti con fattori moltiplicativi (ad esempio al 90% di intervallo di confidenza il valore relativo ai semiasse dovrebbe essere il valore ottenuto moltiplicato per un coefficiente 2.146). Tale considerazione porta dunque a sottolineare come non sia secondaria la geometria adottata per il rilievo e che eventuali geometrie non usuali, dettate da condizioni operative difficoltose, possano portare ad errori molto superiori a quelle accettabili. Tale risultato, qualitativamente prevedibile è stato in questa nota quantificato.

Bibliografia

BARBARELLA M., DUBBINI M., GANDOLFI S., GORDINI C., LENZI V., MANCINI F., ZANNI M., **2002**, Rilievo di punti fiduciali catastali con tecnica RTK, *Atti 6^a Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, 5-8 novembre 2002*, 311-317.

BARBARELLA M., GANDOLFI S., **2003**, GPS-RTK coupled with classical measurements for survey of fiducial cadastral points: consideration and results, *Proceedings of the VII International Geodetic Meeting Poland - Italy, Bressanone, Italy 22-24 May 2003*, 135-144

GANDOLFI S., **2003**, Metodologie integrate GPS-RTK e/o classiche: rilievi di punti fiduciali catastali, *Bollettino SIFET*, 2003, 4, 53-77.