

CONFRONTO EMPIRICO TRA LE METODOLOGIE DI RILIEVO CELERIMETRICO

Fabio Zonetti ¹ Michelangelo Miranda ¹ Roberta Tozzo ²

¹e42.it Cartography website Roma, info@e42.it

² GeoCArT Geotopocartografia per la Geografia e l'Archeologia, geocart@e42.it

Abstract. Il lavoro consiste nel confrontare le misurazioni topografiche di tipo celerimetrico eseguite con strumentazione GNSS, TPS e LIVELLO DIGITALE in un'area con estensione di circa 1 km per 1 km con lo scopo di far emergere le differenze risultanti nelle coordinate calcolate con diversi metodi di acquisizione (GNSS statico e RTK), elaborazione e trasformazione nei sistemi nei sistemi UTM, Roma40 e Locale.

Parole chiave: Rilievo celerimetrico, GNSS, Sistemi di Riferimento.

1 Perché questo lavoro.

Si nota, ancora oggi, in molti tecnici che operano nel settore topografico, confusione o “addirittura” non conoscenza delle differenze caratterizzanti le varie metodologie di acquisizione ed elaborazione delle misurazioni eseguite con strumentazioni come TPS, GNSS, e LIVELLI DIGITALI.

Tale circostanza ha suggerito la scelta di un approccio empirico, che cercasse di riprodurre un ambiente di lavoro il più possibile simile a quello con cui ci si confronta quotidianamente in ambito professionale.

I dati saranno infatti acquisiti tenendo conto delle più comuni esigenze di precisione e rapidità di rilevamento ed elaborati con i più diffusi software topografici, con lo scopo di fornire delle tabelle che riepilogano le eventuali divergenze di misura e deformazioni derivanti dalle diverse scelte attuabili nell'intero flusso di lavoro. I risultati ottenuti forniranno una base comparativa utile a confrontare le potenzialità e i limiti delle diverse metodologie di acquisizione ed elaborazioni topografiche di tipo celerimetrico, orientando al meglio anche la scelta del metodo più idoneo al proprio caso.

2 Struttura del lavoro.

Sono state distinte due aree di lavoro¹, la prima con un'ampiezza di circa 1 Km per 1 Km per le analisi planimetriche, ed una seconda di circa 100 m di diametro per le analisi altimetriche.

2.1 Area 1

Sono stati materializzati 4 caposaldi² in modo da creare due baseline di circa 1 km ciascuna, una in senso NORD-SUD e un'altra in senso EST-OVEST. Un quinto caposaldo è stato posto in posizione baricentrica a cui sono state attribuite, convenzionalmente, le coordinate 0,0,0.

Le coordinate dei caposaldi sono state determinate nel Sistema Locale tramite misurazioni con TPS³ eseguendo una poligonale a centramento forzato. Il Sistema Locale così ottenuto è servito di base per il confronto con le misure GNSS⁴ eseguite sugli stessi caposaldi.

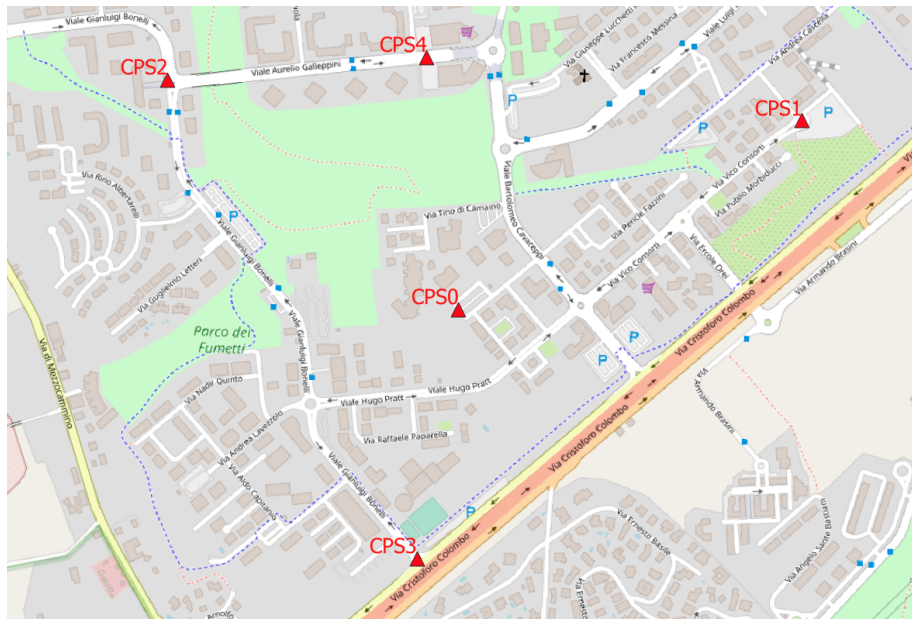


Fig. 1. Schema caposaldi su mappa di base OSM – Zona: Roma Eur Torrino-Mezzocammino.

-
- 1 Rispettivamente denominate Area 1 e Area 2.
 - 2 Chiodi survey materializzati a terra.
 - 3 Stazione Totale Leica TCRP 1202.
 - 4 Acquisizione Statico veloce e RTK (MAX, VRS).

2.2 Area 2

Nella seconda area sono stati materializzati a terra 10 chiodi con testa sferica⁵, distribuiti in modo omogeneo a copertura dell'intera area in esame.

Preliminarmente sono stati misurati tutti i dislivelli tra i caposaldi con l'uso del livello⁶ attribuendo, convenzionalmente, quota 0 al chiodo CL0.

Successivamente sono stati misurati gli stessi chiodi con strumentazione TPS e GNSS al fine di confrontare le differenze di quota risultanti tra le diverse strumentazioni.

3 Analisi dei risultati

In questo paragrafo vengono riportate le tabelle riepilogative delle analisi ottenute dalle varie metodologie di acquisizione ed elaborazione.

3.1 Area 1

Le coordinate GNSS dei caposaldi sono state determinate tramite post-elaborazione di sessioni di acquisizione della durata di 15 minuti ciascuna, con epoche di 1 secondo e dati RINEX provenienti dalle Stazioni Permanenti⁷ di primo perimetro, rispetto all'area di studio, della Rete GNSS Lazio.

Tabella 1. Coordinate GNSS dei caposaldi.

ID	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		
	EST	NORD	ELEV.
CPS0	286421,2839	4630292,9578	98,209
CPS1	287079,3806	4630655,6266	97,414
CPS2	285855,4691	4630729,3238	86,036
CPS3	286329,8590	4629821,0617	93,982
CPS4	286340,5935	4630772,8498	88,780

Le coordinate di cui sopra sono state utilizzate come base di confronto con le misurazioni successive degli stessi caposaldi, eseguite in modalità RTK-MAX⁸, RTK-VRS⁹ con rispettivi tempi di acquisizione di 1, 5 e 15 secondi per sessione.

In prima analisi, per valutare la congruenza tra i sistemi di correzione e tempi di acquisizione, è stata calcolata la deviazione standard delle coordinate ottenute.

⁵ La scelta dei chiodi a testa sferica è stata necessaria per garantire una corretta misurazione delle misure effettuate con il livello digitale.

⁶ Livello digitale Leica LS10 con stadie invar a codice a barre.

⁷ ROUN, FIUM, ARDE, VALM.

⁸ http://62.149.194.137/Spiderweb/Documents/Modalit%C3%A0_Accesso_ai_Servizi.htm

⁹ http://62.149.194.137/Spiderweb/Documents/Modalit%C3%A0_Accesso_ai_Servizi.htm

Tabella 2. Confronto Coordinate GNSS del CPS0 tra RTK e Statico.

RTK	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		DIFFERENZE RTK-STATICO	
	EST	NORD	EST	NORD
MAX 1s.	286421,273	4630292,958	-0,011	-0,000
MAX 5s.	286421,273	4630292,953	-0,011	-0,005
MAX 15s.	286421,268	4630292,953	-0,016	-0,005
VRS 1s.	286421,281	4630292,955	-0,003	-0,003
VRS 5s.	286421,280	4630292,959	-0,008	-0,002
VRS 15s.	286421,280	4630292,959	-0,004	0,001
Dev stand	0,005	0,003		

Tabella 3. Confronto Coordinate GNSS del CPS1 tra RTK e Statico.

RTK	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		DIFFERENZE RTK-STATICO	
	EST	NORD	EST	NORD
MAX 1s.	287079,383	4630655,625	0,002	-0,002
MAX 5s.	287079,379	4630655,629	-0,002	0,002
MAX 15s.	287079,380	4630655,628	-0,001	0,001
VRS 1s.	287079,368	4630655,609	-0,007	-0,020
VRS 5s.	287079,368	4630655,601	-0,013	-0,026
VRS 15s.	287079,374	4630655,607	-0,013	-0,018
Dev stand	0,006	0,012		

Tabella 4. Confronto Coordinate GNSS del CPS2 tra RTK e Statico.

RTK	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		DIFFERENZE RTK-STATICO	
	EST	NORD	EST	NORD
MAX 1s.	285855,472	4630729,321	0,003	-0,003
MAX 5s.	285855,469	4630729,321	0,000	-0,003

MAX 15s.	285855,472	4630729,322	0,003	-0,002
VRS 1s.	285855,475	4630729,324	0,006	0,000
VRS 5s.	285855,472	4630729,323	0,003	-0,001
VRS 15s.	285855,472	4630729,320	-0,003	0,004
Dev stand	<i>0,002</i>	<i>0,001</i>		

Tabella 5. Confronto Coordinate GNSS del CPS3 tra RTK e Statico.

RTK	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		DIFFERENZE RTK-STATICO	
	EST	NORD	EST	NORD
MAX 1s.	286329,859	4629821,064	0,000	0,002
MAX 5s.	286329,861	4629821,066	0,002	0,004
MAX 15s.	286329,860	4629821,062	0,001	0,000
VRS 1s.	286329,863	4629821,069	0,004	0,007
VRS 5s.	286329,860	4629821,069	0,001	0,007
VRS 15s.	286329,857	4629821,070	-0,002	0,008
Dev stand	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>		

Tabella 6. Confronto Coordinate GNSS del CPS4 tra RTK e Statico.

RTK	COORDINATE UTM 33N ETRF2000		DIFFERENZE RTK-STATICO	
	EST	NORD	EST	NORD
MAX 1s.	286340,597	4630772,858	0,004	0,008
MAX 5s.	286340,596	4630772,855	0,003	0,005
MAX 15s.	286340,594	4630772,854	0,001	0,004
VRS 1s.	286340,593	4630772,851	0,000	0,001
VRS 5s.	286340,593	4630772,851	0,000	0,001
VRS 15s.	286340,594	4630772,851	0,001	0,001
Dev stand	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>		

Il Sistema Locale TPS è stato determinato attribuendo coordinate 0,0,0, al caposaldo CPS0 e orientando rigidamente il rilievo al nord WGS84¹⁰
Mentre il Sistema Locale GNSS è stato ottenuto tramite calcolo *One Step*¹¹ ad un punto, coincidente con il CPS0, caposaldo baricentrico all'area di studio.

Tabella 7. Coordinate Caposaldi Sistema Locale TPS.

ID	COORDINATE TPS SISTEMA LOCALE	
	EST	NORD
CPS0	0	0
CPS1	646,850	382,121
CPS2	-578,475	419,264
CPS3	-77,248	-474,380
CPS4	-94,939	477,209

Tabella 8. Confronto Coordinate tra GNSS e TPS nel Sistema Locale.

ID	COORDINATE GNSS SISTEMA LOCALE		DIFFERENZE GNSS-TPS	
	EST	NORD	EST	NORD
CPS0	0	0	0	0
CPS1	646,876	382,142	0,026	0,021
CPS2	-578,510	419,190	-0,035	-0,074
CPS3	-77,243	-474,344	0,005	0,036
CPS4	-94,979	477,204	-0,040	-0,005
Dev stand			-0,032	-0,049

Per confrontare le deformazioni delle proiezioni UTM e Gauss-Boaga, le misure GNSS proiettate nei sistemi sopracitati, sono state rototraslate rigidamente nel Sistema Locale per confrontarle con le misure TPS.

¹⁰ Per ottenere un orientamento del sistema locale, è stato convenzionalmente scelto il nord derivato dal Sistema U.T.M. 33N – ETRF2000

¹¹ Metodo di calcolo per determinare i sistemi di coordinate locali nei controller Leica Geosystems.

Tabella 9. Confronto Coordinate S.L. GNSS (proiezione UTM)-TPS.

ID	COORDINATE GNSS SISTEMA LOCALE (PROIEZIONE UTM)		DIFFERENZE GNSS-TPS	
	EST	NORD	EST	NORD
CPS0	0	0	0	0
CPS1	646,971	382,194	0,122	0,074
CPS2	-578,593	419,253	-0,118	-0,011
CPS3	-77,255	-474,414	-0,007	-0,033
CPS4	-94,990	477,274	-0,051	0,064
Dev stand			-0,101	-0,053

Tabella 10. Confronto Coordinate S.L. GNSS (proiezione Gauss-Boaga)-TPS.

ID	COORDINATE GNSS SISTEMA LOCALE (PROIEZIONE G.B.)		DIFFERENZE GNSS-TPS	
	EST	NORD	EST	NORD
CPS0	0	0	0	0
CPS1	646,991	382,204	0,141	0,083
CPS2	-578,619	419,267	-0,144	0,004
CPS3	-77,252	-474,428	-0,003	-0,047
CPS4	-95,000	477,288	-0,062	0,079
Dev stand			-0,120	-0,063

Successivamente si è proceduto a confrontare le differenze sulle misure lineari delle due baseline Est-Ovest¹² e Nord-Sud¹³ tra il Sistema Locale GNSS, il Sistema Locale GNSS (in proiezione UTM), il Sistema Locale GNSS (in proiezione Gauss-Boaga) e le misure TPS.

¹² Determinata dai caposaldi CPS2 e CPS1

¹³ Determinata dai caposaldi CPS4 e CPS3

Tabella 11. Misure Baseline.

BASELINE	TPS	GNSS	GNSS (UTM)	GNSS (G.B.)
E-O	<i>1225,89</i>	<i>1225,95</i>	<i>1226,12</i>	<i>1226,17</i>
N-S	<i>951,75</i>	<i>951,71</i>	<i>951,85</i>	<i>951,88</i>

Tabella 12. Delta confronto tra le baseline GNSS nei vari sistemi e la baseline TPS

BASELINE	GNSS-TPS	GNSS (UTM)-TPS	GNSS (G.B.)-TPS
E-O	<i>0,06</i>	<i>0,23</i>	<i>0,28</i>
N-S	<i>-0,04</i>	<i>0,10</i>	<i>0,13</i>

Come ulteriore analisi è stata effettuata una prova di post-elaborazione della misura GNSS statico veloce dei caposaldi utilizzando una stazione master VRINEX¹⁴ a 30 km dall'area di studio e successivamente utilizzandone un'altra a 100 km di distanza dalla stessa.

Nella tabella seguente si riportano esclusivamente i risultati relativi al CPS0 in quanto quest'ultimo risulta esemplificativo della tendenza riscontrata negli altri caposaldi, per la stessa analisi.

I delta riportati in tabella indicano la differenza tra le misure VRINEX e quelle GNSS di cui al paragrafo 3.1

Tabella 12. Comparazione misure post-elaborazione CPS0 e relative differenze.

	CPS0 GNSS	VRINEX 30 Km	VRINEX 100 Km
E	286421,2839	286421,2814	<i>286421,1913</i>
N	4630292,9578	4630292,9561	<i>4630292,9246</i>
DIFF. E		<i>-0,003</i>	<i>-0,093</i>
DIFF. N		<i>-0,002</i>	<i>-0,033</i>

¹⁴ Sono file rinex virtuali che rappresentano le ipotetiche osservazioni di una stazione "master" virtuale, utili per elaborazioni di post-processing.

3.2 Area 2

Le misure eseguite con il livello, sono state effettuate con una livellazione dal mezzo, con misurazioni di andata e ritorno¹⁵, e utilizzate come base per il confronto con le misurazioni eseguite con le altre strumentazioni.

Per le misure TPS è stata utilizzato un prisma su palina ad altezza fissa di 1,53 m tenuta in bolla con supporto a bipede.

In fine le misure GNSS sono state eseguite con antenna posta su palina fissa di 2 m , anch'essa tenuta in bolla con supporto a bipede, ed eseguendo correzioni RTK con acquisizioni a 15 secondi per punto.

Tabella 13. Dislivelli misurati da LIVELLO, TPS, GNSS e confronto TPS-LIVELLO e GNSS-LIVELLO

ID	LIVELLO	TPS	GNSS	TPS-LIVELLO	GNSS-LIVELLO
CL1	-0,105	-0,106	-0,105	-0,001	-0,019
CL2	-0,163	-0,165	-0,163	-0,002	-0,010
CL3	-0,270	-0,272	-0,270	-0,002	0,001
CL4	-0,265	-0,267	-0,265	-0,002	0,011
CL5	-0,342	-0,344	-0,342	-0,002	0,007
CL6	-0,276	-0,277	-0,276	-0,001	0,009
CL7	-0,238	-0,242	-0,238	-0,004	0,011
CL8	-0,163	-0,165	-0,163	-0,003	0,011
CL9	-0,195	-0,197	-0,195	-0,002	0,009
CL10	-0,232	-0,233	-0,232	-0,001	-0,001
Min.				-0,004	-0,019
Max.				-0,001	0,011
Media				-0,002	0,003
Dev Stand				0,001	0,010

4 Conclusioni e sviluppi futuri

L'analisi dei risultati ha evidenziato, che nell'ambito di un'area di circa 1 km di diametro, le metodologie di acquisizione delle misure sono compatibili con le tolleranze del rilievo celerimetrico dove è non è richiesta una precisione inferiore ai 2 cm.

¹⁵ Si è provveduto a mediare le misure di andata e di ritorno dopo aver verificato che le due misure rientrassero nella tolleranza delle livellazioni di alta precisione.

La base dei caposaldi realizzata sarà utilizzata per ulteriori sessioni di misurazioni, implementando anche l'utilizzo di altre strumentazioni come GPS singola frequenza, GNSS *GIS mobile*, GNSS *mass market*, etc.

Mentre, per i risultati ottenuti dal confronto dei dislivelli, nonostante la buona accuratezza riscontrata, dobbiamo considerare che l'estensione dell'area in esame non superava i 100 m di diametro, pertanto, anche in questo caso, saranno implementate le misurazioni, ampliando l'area di studio.

Riferimenti bibliografici

1. Donatelli D., Maseroli R., Pierozzi M., Le trasformazioni tra i sistemi di riferimento utilizzati in Italia, Estratto dal Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, rivista dell' I.G.M. Anno LXI n.4 ottobre-novembre-dicembre (2002).
2. Grassi V.: Corso di Topografia applicata, una metodologia per ogni esigenza topografica. A.G.I.T. Associazione Geometri Italiani Topografi. (2006)
3. Pierozzi M., Alcune considerazioni sulla trasformazione dal sistema WGS84 ad un sistema geodetico locale, Estratto dal Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, rivista dell' I.G.M. Anno XLVIII n.1 gennaio-febbraio-marzo (1989).
4. Surace L., Ruolo e limiti delle rappresentazioni cartografiche nei sistemi informativi geografici di interesse nazionale, Estratto dal Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, rivista dell' I.G.M. Anno LXIII n.1 gennaio-febbraio-marzo (2004).
5. Unguendoli M., Quote e differenze di quota, Estratto dal Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, rivista dell' I.G.M. Anno LX n.3 luglio-agosto-settembre (2001).
6. Zonetti F., Miranda M.: Geotopocartografia dell'Appia Antica, caposaldo B della base geodetica di padre Secchi. In: Aebischer T. (a cura di) LA SCOPERTA DEL CAPOSALDO B DELLA BASE GEODETICA DI A. SECCHI LUNGO LA VIA APPIA ANTICA, 2013, pp 34-39. Edizioni Nuova Prhomos, Città di Castello (2013).
7. Zonetti F.: La migrazione dei dati geospaziali dai Sistemi di Riferimento catastali a Gauss-Boaga: Un confronto sperimentale tra gli strumenti software e le librerie proprietarie, free e open-source. In Serlorenzi M. (a cura di) ARCHEOFOSS FREE, LIBRE AND OPEN SOURCE SOFTWARE E OPEN FORMAT NEI PROCESSI DI RICERCA ARCHEOLOGICA, Atti del VII Workshop (2012), pp 157-164, All'Insegna del Giglio, Firenze, (2013).