

Analisi cartografica e GPS di punti fiduciali

Gino Dardanelli, Vincenzo Franco, Salvatore Catalano

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo
Viale delle Scienze, edificio 8, Tel. 09123896228, mail gino.dardanelli@unipa.it

Riassunto

Scopo di questo lavoro è l'analisi cartografica di punti fiduciali (P.F.), attraverso la comparazione delle coordinate di un dataset di sessanta vertici presenti nella città di Palermo. Come supporto cartografico di riferimento è stato preso la carta ufficiale del Comune di Palermo, che è in formato digitale ed è stata recentemente realizzata con metodo aerofotogrammetrico (2007).

Le coordinate dei punti fiduciali sono state confrontate con differenti supporti cartografici e web: mappe catastali georiferite (nel sistema nazionale Gauss-Boaga), mappe derivanti dagli applicativi web Google Earth e fiduciali.it.

Oltre ai confronti con i supporti cartografici dei P.F., è stata effettuata una vasta campagna di rilievi GPS/GNNS in modalita NRTK con stazionamenti fuoricentro, legati alla particolare natura dei punti rilevati (in maggioranza spigoli di fabbricati); questo metodo, ampiamente utilizzato in letteratura, ha richiesto un lavoro molto oneroso poiché è stato necessario rilevare direttamente i P.F.

L'analisi sviluppata dimostra l'adeguatezza del rilievo NRTK alla determinazione delle coordinate dei P.F., mentre i risultati provenienti dagli applicativi Google Earth e fiduciali.it sono in forte discontinuità rispetto alla Cartografia Tecnica Comunale.

Abstract

The aim of this work is the analysis of cartographic cadastral points (P.F.), with the coordinates of a data set of sixty vertices in the city of Palermo. Cartographic support reference was made the official map of the City of Palermo, which is in digital format and has recently been made with aerial photogrammetric survey method (2007).

The coordinates of vertex were compared with different web mapping: geo-referenced cadastral maps (in italian national datum, Gauss-Boaga) and maps derived from Google Earth and web applications, as Fiduciali.it.

In addition to comparisons with the map of P.F., was carried out an extensive campaign GPS surveys / GNNS-mode NRTK, linked to the particular nature of measuring points.

The analysis developed shows the adequacy of the survey NRTK to determination of the coordinates of P.F. with planimetric and altimetric accuracy, while data from Google Earth and Fiduciali.it shows a strong inconsistency with the technical map.

Introduzione e stato dell'arte

Il rilievo topografico per aggiornamento catastale è profondamente cambiato, negli ultimi anni, con l'avvento delle applicazioni informatiche per il Web e la diffusione della tecnologia satellitare GPS/GNSS.

Oggi è infatti possibile pianificare direttamente dal proprio studio le operazioni di sopralluogo di campagna, attraverso la consultazione delle banche dati dell'Agenzia del Territorio, che permettono di ottenere documenti importati come le monografie dei P.F. e le tabelle delle mutue coordinate (TAF) di ogni singolo foglio, in qualsiasi comune della Repubblica. Con questa documentazione è

quindi possibile per il tecnico ottimizzare le risorse per l'esecuzione del rilievo con il GPS e garantire un ottimo risultato dal punto di vista dell'analisi dei costi-benefici.

La diffusione delle Reti di Stazioni Permanenti GPS pubbliche e private ha permesso, inoltre, in tutto il territorio nazionale l'esecuzione dei rilievi in maniera più facile ed economica, se si pensa alla possibilità di potere operare con un solo ricevitore ed un solo operatore, con precisioni centimetriche, che erano impensabili fino a pochi anni fa per questa tipologia di rilievo.

Queste nuove modalità di esecuzione del rilievo per l'aggiornamento, che appaiono ai più scontate, sono frutto di una serie di implementazioni tecnologiche e di notevoli investimenti operati all'interno dell'Agenzia del Territorio, ma anche del notevole impegno accademico profuso dalle Università e dalle associazioni di ricerca nell'ambito del posizionamento satellitare moderno.

Numerosi studi e Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) sono stati condotti nell'ultimo decennio da parte di ricercatori appartenenti a diversi atenei nazionali; tra questi significativo è quello condotto dall'equipe di ricerca dell'*Università di Bologna*, relativamente alle nuove metodologie di rilievo dei P.F. con tecniche GPS in RTK (Barbarella et al., 2002, Gandolfi, 2003). L'impiego delle stazioni permanenti GPS nell'ambito del rilievo dei P.F. è stato anche utilizzato nei lavori condotti dall'*Università di Roma La Sapienza* (Crespi, 2004, Crespi e Reina, 2004) e in quelli del *Politecnico di Torino* che hanno messo a punto delle modalità di rilievo in ambito catastale con ricevitori palmari (Cina et al., 2008).

Imponente è il lavoro messo a punto dall'unità di ricerca di *Udine*, relativamente alla formulazione di un metodo analitico innovativo, basato sulla compensazione della rete di punti fiduciali, per effettuare l'inserimento dei rilievi di aggiornamento dai liberi professionisti all'interno della cartografia digitale (Beinat e Crosilla 2002).

Facendo riferimento ai differenti formati cartografici utilizzati, si può ricordare il confronto tra cartografia tecnica comunale e catastale, svolto nel lavoro condotto presso il *Politecnico di Milano*, con prove di georeferenziazione diretta (Bezoari e Selvini, 2005), mentre la valutazione di un forte errore sistematico nella accuratezza posizionale delle immagini Google Earth rispetto alla cartografia comunale viene riportata nella zona del Comune di Pavia, determinando le coordinate di circa 60 punti di controllo (Casella et al., 2010).

Relativamente ai servizi di *WebMapping* per ambiti catastali, è stato messo a punto recentemente un portale, www.fiduciali.it, che mette a disposizione un servizio (al momento gratuito) che consente di eseguire l'upload delle mappe vettoriali in formato CXF scaricabili dal sito dell'Agenzia del Territorio e di visualizzare le stesse mappe, convertite nel sistema di coordinate utilizzato da *GoogleMaps* e sovrapporre allo stradario e all'ortofoto (Deligios, 2010).

Infine, per le applicazioni GIS basate sulla analisi dei dati provenienti da rete di stazioni permanenti GNSS, è stato condotto dal gruppo di ricerca dell'*Università di Palermo* uno studio relativo alla realizzazione del primo *WEBGIS* che permette la fornitura di informazioni utili per le fasi preparatorie al rilievo (copertura rete telefonica, collegamento internet, monografie dei punti) o successive ad esso (download dati necessari al post processing, monografie stazioni permanenti e coordinate aggiornate), in modo da supportare ricercatori e tecnici durante le operazioni preliminari al rilievo ed al post-processing dei dati rilevati (Dardanelli et al., 2010).

Obbiettivi della sperimentazione e metodologia di rilievo

La sperimentazione condotta in questo lavoro ha come scopo quello investigare la precisione delle coordinate di un set di sessanta punti fiduciali, attraverso il confronto con vari supporti (cartografici e di web mapping), oltre ad un rilievo NRTK con strumentazione GPS/GNSS.

La mappa di riferimento per le analisi è stata assunta quella ufficiale del territorio di Palermo, che come detto è stata pubblicata recentemente ed è stata realizzata con metodo aerofotogrammetrico nel 2007.

Preliminarmente sono stati acquisiti dal sito dell'Agenzia del Territorio 80 monografie dei PF, considerando vertici appartenenti all'ambito urbano, non sempre rilevabili con la strumentazione GPS, mentre attraverso il portale *fiduciali.it* è stato possibile ricavare le coordinate (nei sistemi GB,

WGS 84 e Cassini Soldner) dei punti; infine attraverso *Google Earth*, si è verificata la posizione attraverso la conoscenza degli indirizzi e numeri civici. Nella figura 1 è rappresentata una mappa con indicati in rosso i P.F.



Figura 1 – Vista d'insieme dei P.F. utilizzati.

All'atto del sopralluogo soltanto 60 punti sono stati presi a riferimento per le successive analisi, dato che hanno presentato caratteristiche di rilevanza con il ricevitore e considerato che alcuni di essi si trovavano all'interno di veri e propri canyon urbani, con pessima ricezione satellitare e alti valori dei parametri statistici PDOP e GDOP, come mostrato in figura 2.



Figura 2 – Vista di Punti Fiduciali particolari.

Le coordinate Gauss Boaga sono state ricavate con un software cad della cartografia tecnica comunale e sono state scelte come termine di paragone per la verifica della qualità della georeferenziazione delle immagini *Google Earth*, del sito *fiduciali.it* e della mappa catastale, come è mostrato in figura 3. Per quanto riguarda le immagini provenienti da Google, è stato elevato il più possibile il rapporto di zoom e sono stati create delle *feature* puntuali in corrispondenza dei PF, salvati in un file KML (Casella et al., 2010).

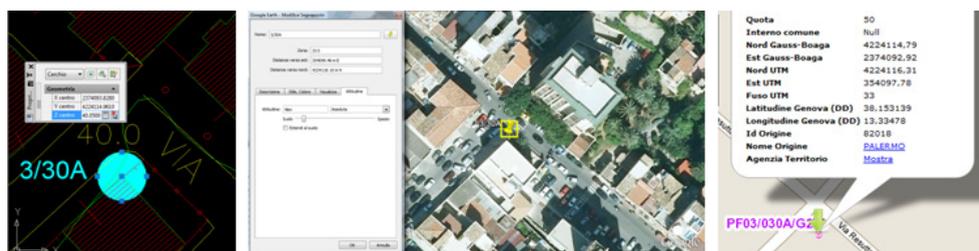


Figura 3 – Determinazione delle coordinate nei vari ambiti.

Una volta che sono state determinate le coordinate dei PF nel sistema nazionale e nel sistema WGS 84, sono state realizzate le nuove monografie (figura 4), che contengono anche la posizione dei punti rispetto alla carta tecnica comunale e Google Earth (oltre all'estratto di mappa)

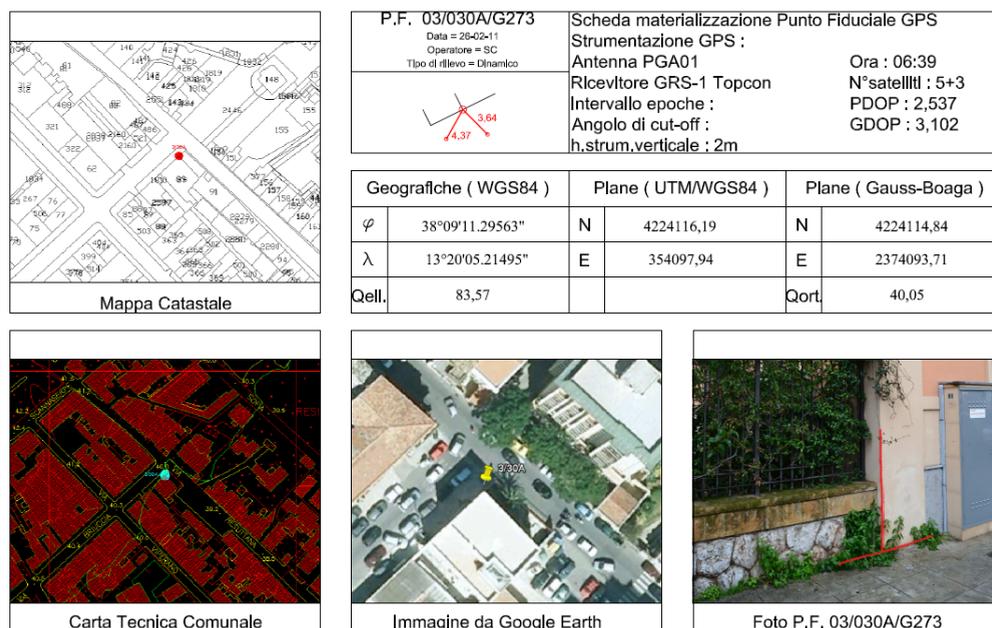


Figura 4 – Nuove monografie dei P.F. Con coordinate WGS84 e Gauss Boaga.

Le operazioni di rilievo dei PF, invece, sono state condotte con ricevitore GNSS Topcon GRS-1 con telefono cellulare, modem GSM e Bluetooth (per il collegamento al controller del ricevitore) integrato all'interno del controller, asta geodetica in carbonio con bipiede Topcon ed antenna GNSS Topcon PGA-2 con radio UHF integrata. La registrazione delle osservazioni è stata ottenuta ad ambiguità di fase fissa (*fixed*), con tempo di campionamento di 1 secondo. Essendo i PF in maggioranza spigoli di fabbricati, si è fatto ricorso a schemi di rilievo con particolare riferimento a quelli fuori-centro, che sono tradizionalmente usati in letteratura (Gandolfi, 2003). Considerata, inoltre, la particolare natura dei punti si è preferito lavorare con la doppia costellazione GPS e Glonass, che garantisce precisioni adeguate anche in ambiti urbani (Dardanelli, 2011). Le coordinate WGS84 sono state convertite con Verto3K e grigliati relativi alle zone di interesse.

Analisi dei risultati

Come detto dalla differenza tra le coordinate ricavate dai vari supporti cartografici e web rispetto alle coordiante ricavate dalla cartografia comunale si sono determinati i valori statistici riportati nella tabella 1; innanzi tutto si osserva che i migliori risultati dal punto di vista numerico si ottengono per la componente Nord rispetto a quella Est, con s.q.m. delle differenze tra le coordinate pari a ± 2.93 m, $\pm 2,28$ m, $\pm 3,93$ m e $\pm 0,74$ rispettivamente per Google Earth, mappa catastale, fiduciali.it e rilievo GPS. Risultati analoghi si ottengono per la componente Est (pari a ± 3.24 m, $\pm 3,79$ m, $\pm 4,06$ m e $\pm 0,78$), mentre per la componente altimetrica si ottengono valori pari a $\pm 3,54$ m, $\pm 5,97$ m e $0,34$, rispettivamente per Google Earth, fiduciali.it e rilievo GPS (le mappe catastali georiferite infatti con hanno valori altimetrici).

In ogni caso dall'esame delle tabelle si nota un sistematismo rispetto alla componente altimetrica di Google Earth, dato che il valore medio è pari a 9,23 m circa, mentre emerge chiaramente come il rilievo con la strumentazione GPS permette di potere mantenere valori al disotto dei limiti legati all'errore di graficismo per la mappa di riferimento.

	ΔN				ΔE				ΔQ		
	Google	Catast.	Fidu.it	GPS	Google	Catast.	Fidu.it	GPS	Google	Fidu.it	GPS
Max	6,55	6,27	9,61	2,40	10,08	11,61	6,75	1,37	18,29	13,42	1,25
Min	-6,64	-7,77	-8,40	-1,65	-10,21	-13,80	-9,76	-2,94	1,52	-12,44	-0,63
Media	-0,56	-0,56	-1,40	-0,05	0,53	-0,88	-0,67	-0,22	9,23	0,41	0,05
Dev.st	2,93	2,28	3,93	0,74	3,24	3,79	4,06	0,84	3,54	5,97	0,34

Tabella 1 – Parametrici statistici dei vari ambiti di studio.

Confrontando gli sqm calcolati dal ricevitore GNSS si osserva che i valori calcolati sono maggiori rispetto a quelli rappresentati dallo strumento, sia per la componente planimetrica che altimetrica; in ogni caso i valori della componente verticale risultano in valore assoluto più bassi rispetto a quelli orizzontali (Figura 5)

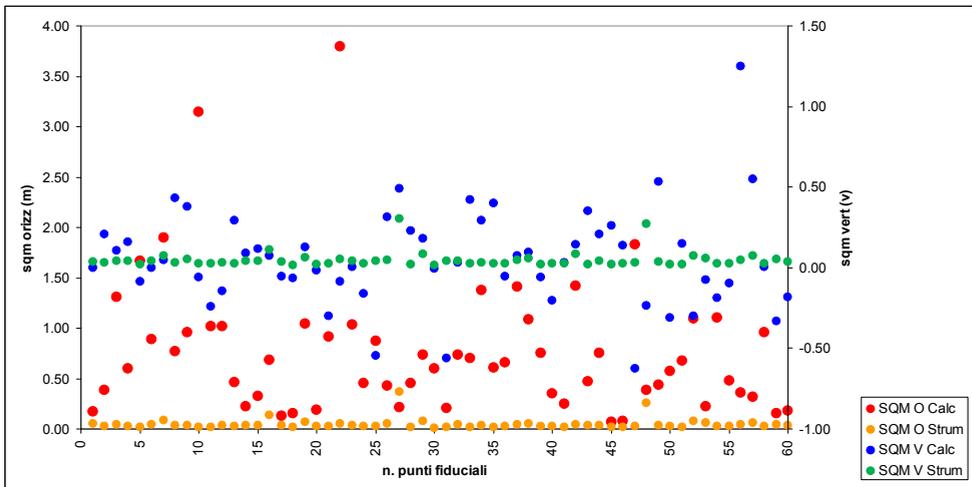


Figura 5 – Andamento degli smq orizzontali e verticali.

Analizzando poi l'andamento dei parametri statistici legati alla geometria satellitare (PDOP e GDOP) si osserva che sono sempre contenuti all'interno dei valori limite, con pochi outlier, malgrado i rilievi si siano effettuati all'interno del centro urbano (notevoli ostruzioni e ridotta visibilità), come è desumibile dalla Figura 6.

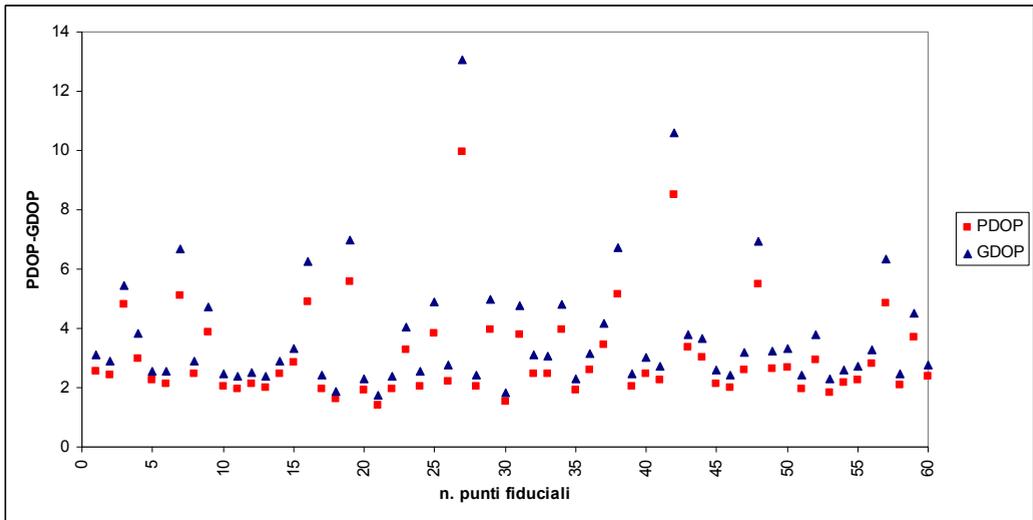


Figura 6 – Andamento PDOP e GDOP.

Dall'esame dei dati contenuti nei diagrammi a doppia scala per le componenti Nord ed Est (GPS e Catastale, asse a sx e Google e fiduciali asse a dx) di figura 7 e 8 si è osservato che i residui provenienti dal rilievo GPS hanno maggiore dispersione dei risultati all'interno dell'intervallo compreso tra $\pm 1,00$ m, sia per la componente Est che per quella Nord, mentre i valori derivanti dai residui catastali sono dispersi più casualmente intorno a valori di $\pm 2,00$ - $3,00$ m.

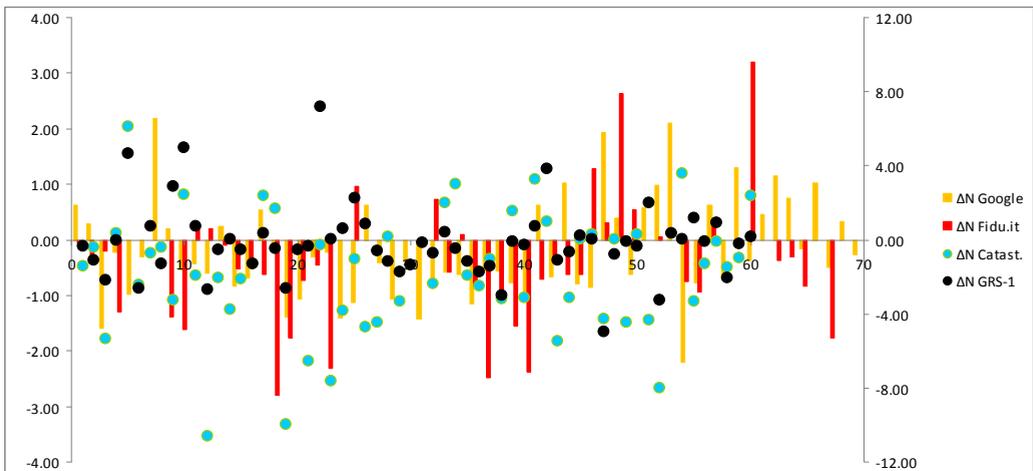


Figura 7 – Residui componente Nord.

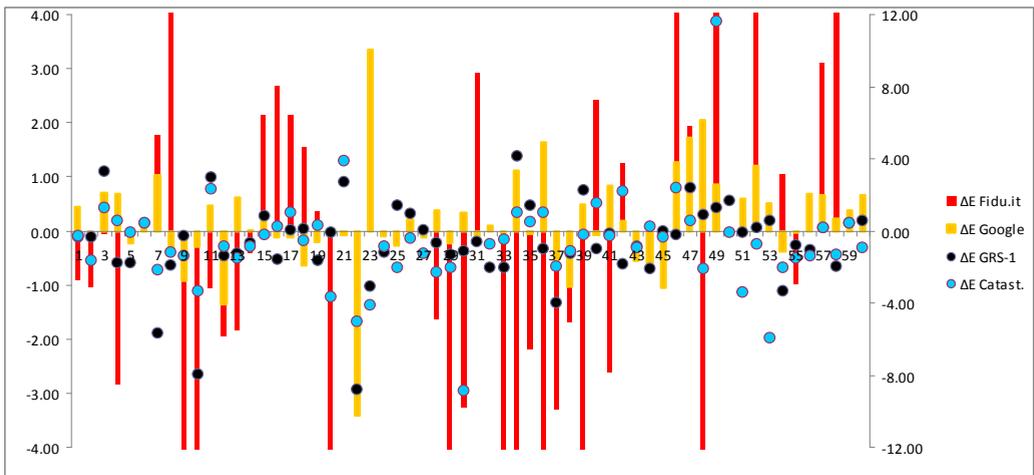


Figura 8 – Residui componente Est.

Esaminando invece i dati contenuti nel diagramma di figura 9, si è osservato, ancora una volta che i residui provenienti dal rilievo GPS hanno maggiore dispersione dei risultati all'interno dell'intervallo compreso tra $\pm 1,00$ m, mentre i valori del sito *fiduciali.it* mostrano parecchi outlier e quelli provenienti da *Google* hanno residui sempre maggiori del limiti di 5-6 metri, assolutamente incompatibili con qualsiasi uso metrico e cartografico delle mappe.

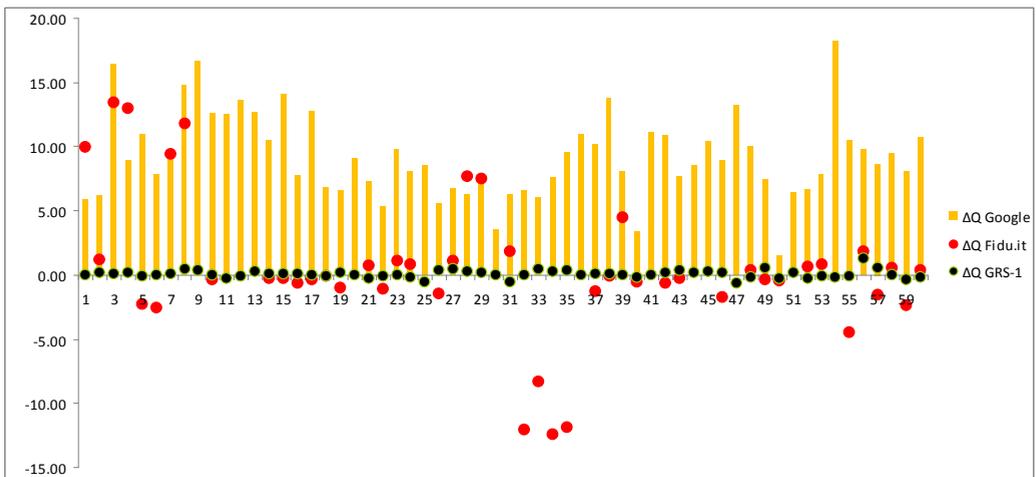


Figura 9 – Residui componente Q.

Dalle distribuzioni delle frequenze calcolate per intervalli costanti di tutte le componenti geodetiche (N, E, Q) si osserva infine che la migliore precisione è data sempre dal rilievo GPS (60% circa nelle tre componenti), mentre valori di precisione minore si ottengono per la mappa catastale (58%); i risultati derivanti dai siti web *fiduciali.it* e *Google Earth* invece mostrano valori bassi di precisione (40% e 39% rispettivamente).

Infine gli scarti sulla quota ortometrica sono molto ben uniformemente distribuiti soltanto per il rilievo condotto con il ricevitore GPS, mentre mostrano valori assolutamente non congruenti per il sito *fiduciali.it* e *Google Earth* (Figura 10).

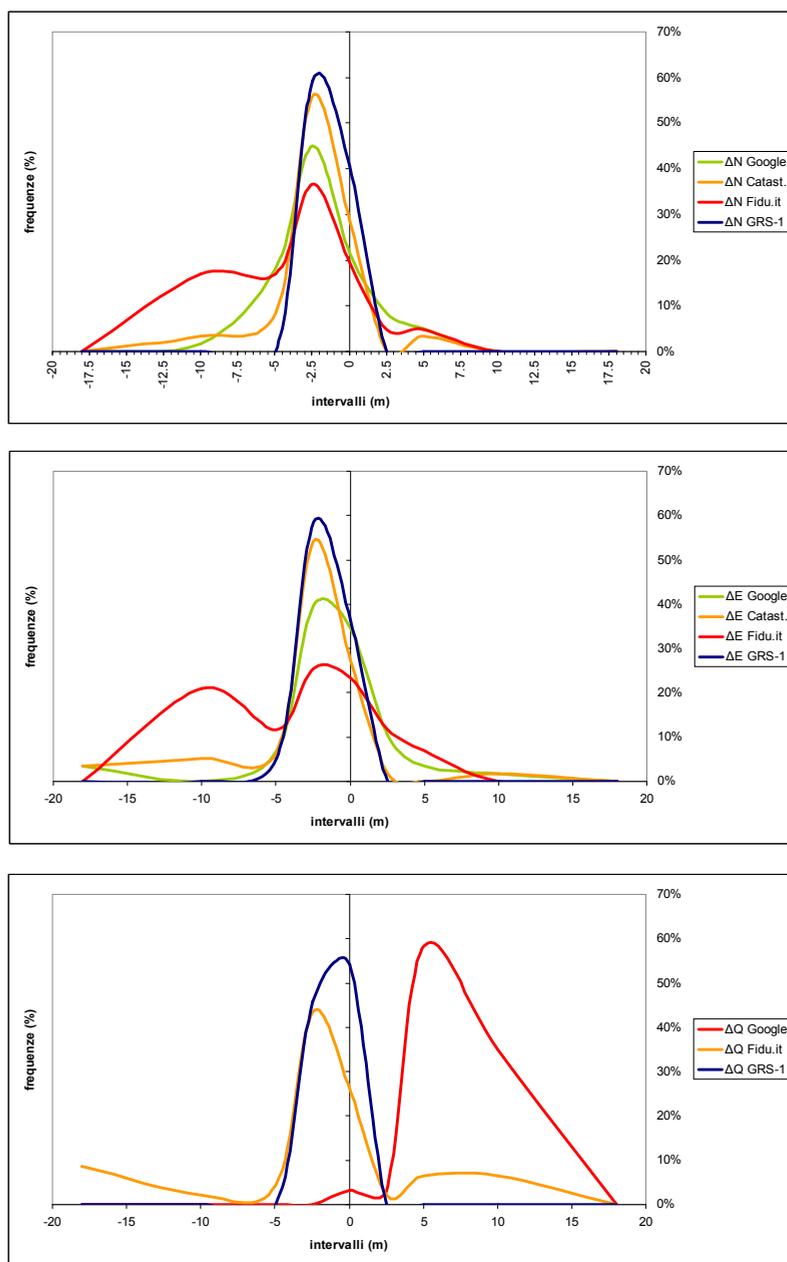


Figura 10 – Frequenze delle tre componenti geodetiche.

Conclusioni

L'analisi sviluppata in questo lavoro, attraverso il rilievo GNSS in NRTK di 60 P.F. nel territorio di Palermo e il confronto della CTC ufficiale, porta alle seguenti considerazioni conclusive.

Le determinazioni delle coordinate dei P.F. vanno prese con riferimento ad un rilievo GPS condotto in campagna con le modalità tipiche della letteratura (residui sub metrici), e appaiono compatibili

con le grandezze in gioco. Invece i dati provenienti dal sito *fiduciali.it*, *Google Earth* e dalle mappe catastali georiferite, pur fornendo informazioni utili alla individuazione degli stessi punti rispetto ai riferimenti spaziali (strade, ambiti di zona, localizzazione GIS), si dimostrano non congruenti con usi metrici e cartografici, comparati con il sistema nazionale Gauss Boaga.

Infine, i risultati derivati dal rilievo GNSS mostrano un'ottima affidabilità della rete di stazioni permanenti dell'Università di Palermo; questa infrastruttura, messa a punto dal DICA per scopi prettamente scientifici e accademici, si presta bene anche alle applicazioni tecniche come quelle catastali e la sua presenza sul territorio siciliano potrà essere presa in considerazione nell'eventualità di una rete a carattere regionale o gestita dall'Agenda del Territorio.

Bibliografia

Barbarella M., Dubbini M., Gandolfi S., Gordini C., Lenzi V., Mancini F., Zanni M., 2002, Rilievo di punti fiduciali catastali con tecnica RTK, in *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre 2002, pp. 311-317

Beinat A., Crosilla F. (2002) Una procedura per la ricomposizione conforme della cartografia catastale digitale, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 1-2003, pp. 17-33

Beinat A., Crosilla F. (2002) Una proposta innovativa per la ricomposizione cartografica del catasto, in *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre 2002

Bezoari G., Selvini A. (2005). Carte catastali e cartografia tecnica comunale: un test a confronto, in *Atti 9ª Conferenza Nazionale ASITA*, Catania, 15-18 novembre 2005

Casella V., Franzini M., Padova B., Spalla A., Bruneo M.G. (2010). L'accuratezza della georeferenziazione delle immagini Google Earth: un caso-studio sul Comune di Pavia, in *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 9-12 novembre 2010

Cina A., Manzano A., Manzano G. (2008). I ricevitori palmari in applicazioni catastali, in *Atti 12ª Conferenza Nazionale ASITA*, L'Aquila, 21-24 ottobre 2008

Crespi M. (2004). Inquadramento di mappe catastali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89 mediante rilievi GPS RTK rispetto a stazioni permanenti, in *Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 dicembre 2004

Crespi M., Reina G. (2004) Applicazioni non catastali dei punti fiduciali: proposta di una metodologia per l'inquadramento della maglia dei punti fiduciali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2004, pp. 13-22

Dardanelli G. (2011). Test di posizionamento con ricevitori ibridi GPS-Glonass, in *Atti convegno nazionale SIFET 2011*, 22-24 giugno Ancona

Dardanelli G., Ferrara A., Scianna A. (2010). Un WEBGIS Open Source a supporto dei rilievi GPS in Sicilia, in: *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 4-2010, pp. 73-85

Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008). La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati, in: *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2008, pp. 107-124

Deligios M. (2010). Visualizzare le mappe catastali su GoogleMaps, in *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 9-12 novembre 2010

Gandolfi S. (2003). Metodologie integrate GPS-RTK e/o classiche: rilievi di punti fiduciali catastali, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2003, pp. 53-77