

## **Analisi di rilievi NRTK condotti con differenti reti di stazioni permanenti in Sicilia**

Gino Dardanelli, Vincenzo Franco, Alessandro Chiappone

Dipartimento di Rappresentazione, Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo  
tel. 09123896228 - e-mail: gino.dardanelli@unipa.it

### **Riassunto**

In questo studio, tuttora in corso di approfondimento e di investigazione, viene svolta un'analisi comparata sulle correzioni differenziali ottenute da reti di stazioni permanenti differenti, ma operanti sullo stesso territorio, quello siciliano.

Infatti dopo la rapida diffusione delle tecnologie informatiche, in Sicilia negli ultimi anni, si è assistito ad una proliferazione di stazioni permanenti GPS, da parte di enti pubblici e società private.

In particolare nel territorio regionale siciliano sono presenti ben cinque reti di stazioni con differenti ubicazioni, strumentazioni utilizzate, software di gestione e sistemi di riferimento geodetico; oltre quella gestita e coordinata dalla Facoltà di Ingegneria dell'*Università di Palermo*, si è presa ad oggetto di studio sia quella coordinata dall'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)* di Catania che quella commerciale della *CGT-Trimble*.

La sperimentazione è stata condotta su un set di 20 punti di coordinate note, dei quali molti della rete catastale GPS e altri appartenenti alla rete di raffittimento della regione Siciliana. Sono state valutate, oltre alla tipologia di correzione ottenuta (VRS, FKP, MAX, Nea), anche la ripetibilità dei risultati dei rilievi.

### **Abstract**

In this work, a comparative analysis is performed on differential corrections obtained from different networks of permanent stations, operating on Sicily. After the rapid development of information technology in Sicily in recent years have witnessed a proliferation of permanent GPS stations, by public and private companies. Particularly in the Sicilian region are five station networks with multiple locations, equipment used, software and geodetic reference systems, as well as managed and coordinated by the Faculty of Engineering, University of Palermo was taken to an object of study that coordinated by INGV Catania and those of commercial networks of Trimble company.

The experiment was conducted on a set of 20 points of known coordinates, many of which register the GPS network and other members of the local network. Were assessed, in addition to the type of correction achieved (VRS, FKP, MAX, Nea), also the repeatability of the results of surveys.

### **Introduzione e stato dell'arte**

La Sicilia è terra ricca di grandi tradizioni artistiche, culturali, scientifiche e da alcuni anni, anche di reti di Stazioni Permanenti (SP) GNSS. Fino a qualche anno fa, la presenza di queste infrastrutture satellitari era limitata esclusivamente a quelle finalizzate al monitoraggio e al controllo del territorio. In particolare, erano state messe a punto due reti gestite rispettivamente dall'*INGV* e dall'*Agenzia di Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT)*. La rete integrata dell'*INGV* denominata RING era dislocata nelle aree regionali sismogeneticamente più rilevanti come quelle della Sicilia orientale (Selvaggi et al., 2006); la rete dell'*APAT* denominata invece GPS SIORNET era stata ubicata in un ambito più circoscritto alla faglia di Acicatena e di S. Tecla-Linera in provincia di Catania (Bonci et alii, 2006). Tutte e due le reti acquisivano dati soltanto per il posizionamento in modalità statica tramite elaborazione in post-processamento.

La situazione attuale delle reti di stazioni permanenti GNSS per il tempo reale, invece, nella nostra regione è in continua evoluzione: cronologicamente, dal 2007 è presente una rete privata gestita

dalla C.G.T. di Palermo, chiamata *VRS Sicilia*, con strumentazione Trimble, costituita da 18 SP, inquadrata nel datum ETRF89, gestita da software *GPSNET*, che offre come stream disponibili VRS e Near (<http://www.vrssicilia.it/index.html>).

Nel 2008 è stata messa a punto la rete di stazioni pubblica GNSS progettata e realizzata dai ricercatori del Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo, con strumentazione Topcon, in collaborazione con Geotop Ancona, nell'ambito del progetto di ricerca nazionale PRIN2005 (Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza), costituita da 9 SP, inquadrata nel datum IGS05, gestita da software *Geo++*, stream disponibili VRS, FKP, Nea (Dardanelli et al., 2008), (<http://www.dirap.unipa.it>).

La Geotop, successivamente alla collaborazione con l'Università e nell'ambito della propria attività commerciale, ha provveduto all'ampliamento della rete installando altre stazioni nella Sicilia Orientale; ad oggi la situazione della rete è costituita da 17 SP, inquadrata nel datum IGS05, gestita da software *Geo++*, stream disponibili VRS, Nea, (<http://www.geotop.it>).

Dal 2009 anche l'INGV ha sviluppato una rete di stazioni permanenti per il tempo reale pubblica chiamata *Sicili@net*, che si appoggia alla Rete GPS gestita dalla Sezione di Catania dell'Istituto. Questa rete, costituita da 26 SP, con strumentazione Leica, è inquadrata nel datum RDN, gestita dal software Leica *GPS Spider Net* e offre come streams disponibili Max ed IMax, VRS, FKP e Nea, (<http://193.206.223.39:5099/spiderweb/frmIndex.aspx>).

Infine nel territorio siciliano è presente anche *SmartNet ItalPoS* gestita direttamente da Leica Geosystem, costituita da 14 SP, di cui alcune della stessa rete INGV (<http://smartnet.leica-geosystems.it/SpiderWeb/frmIndex.aspx>).

### Modalità operative e strumentazione impiegata

Per quanto riguarda le modalità operative utilizzate, lo studio è stato limitato territorialmente all'area metropolitana della città di Palermo; in questo modo è risultato agevole ripetere i rilievi in NRTK, sia nelle diverse ore del giorno che in giorni differenti.

Come set di punti campione sono stati presi a riferimento 20 vertici, impiegati dal Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo negli anni scorsi per operazioni di collaudo di rilievi aerofotogrammetrici; alcuni di questi vertici, rilevati in modalità statica, tempi di acquisizione pari ad un'ora per punto e intervalli di campionamento di 15 secondi, non sono stati utilizzati perché sono stati demoliti o si trovavano ad accessibilità limitata, per la presenza di alberi cresciuti negli anni. Complessivamente lo studio è stato limitato quindi a 14 vertici, di cui 1 della rete IGM95, 3 della rete di raffittimento regionale VTR e 10 delle reti primarie e secondarie GPS dell'Agenzia del Territorio (Figura1).

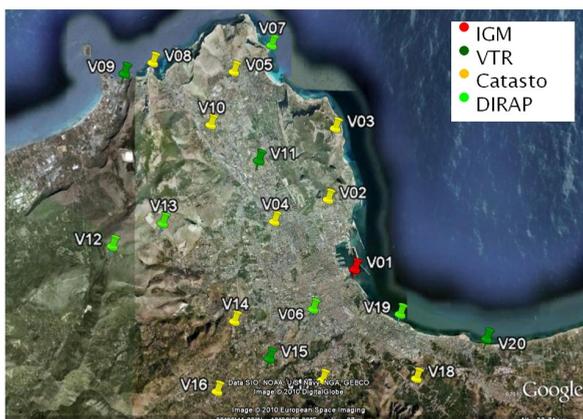


Figura 1 – Area test.

Le operazioni di rilievo 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.

Come già ampiamente sperimentato negli ultimi anni, le coordinate ottenute con il rilievo statico sono state assunte prive di errore e utilizzate come termine di paragone per le misure in tempo reale (Fastellini et al., 2007, Dardanelli et al., 2009), mentre per l'esecuzione delle misure in modalità NRTK, si è tenuto in considerazione il protocollo sperimentale messo a punto nel *Libro Bianco* (Biagi et al., 2006), modificando il tempo di registrazione delle prove, che è stato ottenuto come media di almeno 60 secondi di acquisizione in continuo, dall'accensione del ricevitore e collegamento con il centro di calcolo.

La registrazione delle osservazioni è stata ottenuta sia ad ambiguità di fase fissata (*fixed*) che non fissata (*float*, o *standalone*), numerando progressivamente i punti acquisiti. Alla fine dell'acquisizione sono stati considerati soltanto i valori *fixed* e determinati i valori medi a 60 secondi delle coordinate e degli s.q.m. indicati dagli strumenti.

Complessivamente sono state eseguite 560 sessioni di misura NRTK, cioè 8 sessioni indipendenti per ciascuno dei 14 punti, ripetute 5 volte.

### Analisi dei risultati

Come sviluppato in altri lavori, il nostro scopo è quello di valutare l'affidabilità, la precisione delle misure e la loro ripetibilità nel corso delle prove (Dardanelli et al., 2009).

Prima di passare all'analisi dei rilievi svolti, è doveroso sottolineare che i risultati ottenuti non hanno la pretesa di fornire un giudizio critico sulle infrastrutture di rete GNSS testate, anche perché le prove, seppur elevate, sono limitate ad un arco temporale di un mese; in nessun modo si intende fare una classifica tra reti differenti o tra streams di calcolo!

Una prima considerazione riguardo l'affidabilità delle verifiche svolte può essere ricavata dalla figura 2, in cui si mostra la valutazione delle percentuali di prove valide, cioè quelle per le quali si è riusciti a ricevere il fissaggio dell'ambiguità di fase dai software di gestione delle reti di stazioni permanenti a cui ci si è appoggiati (CGT-Trimble, INGV-Leica, UNIPA-Topcon), con i differenti streams.

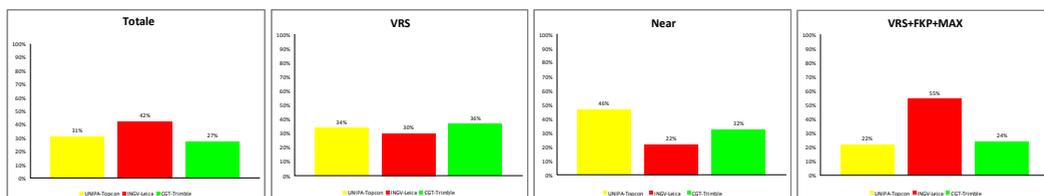


Figura 2 – Diagrammi delle prove valide delle reti.

Complessivamente, cioè per tutti gli streams si nota una maggiore disponibilità delle correzioni differenziali offerte dalla rete INGV-Leica; per VRS, i risultati sono dello stesso ordine di grandezza tra loro, con un migliore risultato offerto dalla rete CGT-Trimble.

Relativamente alla correzione dalla stazione più vicina, quella Nearest, si osserva quale migliore risultato quello offerto da parte della rete UNIPA-Topcon, anche se apprezzabile è comunque il risultato di INGV-Leica e CGT-Trimble. Ragionando invece sulla combinazione delle soluzioni di rete (VRS+FKP+MAX) si nota come sia nettamente preponderante il contributo della rete INGV-Leica, che offre due correzioni differenziali in più rispetto alle altre due reti (figura 2).

Considerando le prove con esito positivo, sono state valutate le percentuali di soluzioni fixed in relazione ai tempi di inizializzazione; la valutazione è stata eseguita considerando il tempo trascorso dal momento della connessione del ricevitore al server del centro di controllo di ciascuna

rete fino al momento della determinazione della soluzione fixed. La valutazione è stata condotta suddividendo i tempi di inizializzazione in quattro classi di quindici secondi consecutivi, fino al limite del tempo di prova (60 secondi per ogni acquisizione) rispetto alle percentuali di tutte le soluzioni fixed (figura 3).

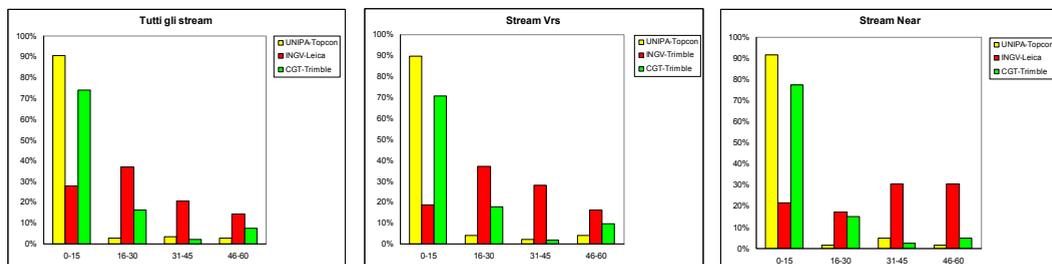


Figura 3 – Diagrammi degli intervalli di tempo di fissaggio.

Dall’analisi di questi diagrammi si evidenziano risultati eccellenti della rete UNIPA-Topcon per velocità nel fissaggio della ambiguità di fase (pari al 90% delle prove, nel primo intervallo), ottimi per quella CGT-Trimble (sempre superiori al 70%, nel primo intervallo), mentre una distribuzione più bilanciata si nota riguardo ai tempi della rete INGV-Leica. Ad ogni modo, si ricorda che le acquisizioni sono state effettuate soltanto per 1 minuto, dalla connessione con il relativo centro di controllo.

Lo studio dell’accuratezza è stato condotto confrontando le coordinate rilevate in modalità statica rispetto a quelle determinate in modalità NRTK. La scelta di utilizzare le coordinate dei vertici calcolate con il rilievo statico consente di effettuare le verifiche nello stesso sistema di riferimento materializzato dalle reti di stazioni permanenti (RDN, IGS05).

Il confronto è stato eseguito separatamente per le modalità VRS, Nea, FKP, MAX di cui gli ultimi due propri solo della rete INGV-Leica. Di seguito si riportano nella tabella 1 il confronto fra le coordinate rilevate in NRTK con quelle rilevate in modalità statica suddivise per le modalità di correzione differenziale:

	NEAREST			VRS			VRS+FKP+MAX		
	N (m)	E (m)	Q (m)	N (m)	E (m)	Q (m)	N (m)	E (m)	Q (m)
min	-0,124	-0,100	-0,201	-0,040	-0,102	-0,183	-0,040	-0,010	-0,183
max	0,056	0,064	0,136	0,065	0,051	0,140	0,073	0,054	0,097
media	-0,003	-0,019	-0,009	0,009	-0,016	-0,002	0,017	0,001	-0,015
dev. St.	0,032	0,041	0,062	0,020	0,040	0,052	0,020	0,039	0,050

Tabella 1 – Valori statistici delle differenti modalità di calcolo.

Dall’esame dei dati della tabella si osserva che le modalità di calcolo sono dello stesso ordine di grandezza, centimetrico, per tutte le componenti geodetiche. Risultati migliori si ottengono con la correzione VRS+FKP+MAX rispetto alla sola VRS e alla Nearest, anche se tutte sono dello stesso ordine di grandezza.

Sono state effettuate anche prove inerenti la ripetibilità, intesa come grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura. Lo studio sulla ripetibilità è stato effettuato considerando dapprima gli schemi in cui si è avuto il fissaggio della posizione (*fixed*) con riferimento alle sessioni di rilievo effettuate. Questo ha così permesso un confronto omogeneo dei dati alla luce anche del fatto che alcuni streams dei vertici rilevati mancano di correzione. Dall’analisi dei dati si desume

che nell'8% si sono effettuate 5 ripetizioni, nel 27% 4 ripetizioni, nel 29% 3 ripetizioni, mentre nel 26% soltanto 2 ripetizioni, nel 7% è stato possibile effettuare una sola ripetizione ed infine nel 3% non è stato possibile effettuare alcuna ripetizione sui punti .

Lo studio sulla ripetibilità è stato condotto scartando le soluzioni a cui erano associate meno di tre ripetizioni e considerando dunque le soluzioni superiori (figura 4).

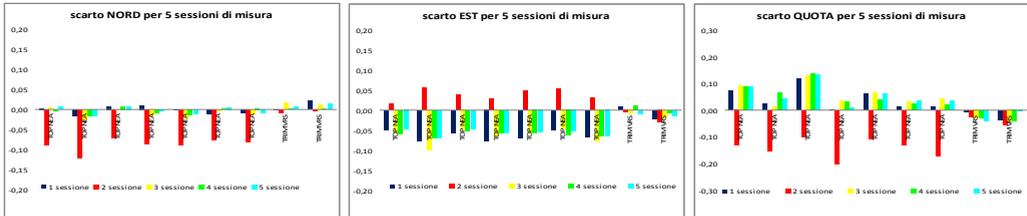


Figura 4 – Diagrammi ripetibilità Nord, Est, Quota (5 ripetizioni).

Come si deduce dai grafici la maggior parte dei valori ottenuti appartengono principalmente alla rete UNIPA-Topcon (due valori soltanto della rete CGT-Trimble). Si nota come la distribuzione degli scarti su tutte e tre le coordinate sia ben bilanciata e centrometrica ad esclusione dei valori di scarto appartenenti alla 2 sessione di misura, che presentano dei picchi anomali. I migliori risultati in termini numerici sono quelli relativi alla rete CGT-Trimble.

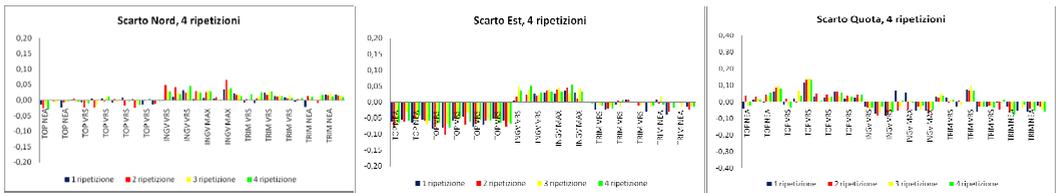


Figura 5 – Diagrammi ripetibilità Nord, Est, Quota (4 ripetizioni).

Nella figura 5 la distribuzione dei valori di scarto nelle 4 ripetizioni assume un andamento abbastanza bilanciato su tutte e tre le coordinate. I migliori risultati in questo caso appartengono alla rete UNIPA-Topcon, relativamente alla coordinata nord. Per la coordinata est, la rete che ha avuto un migliore comportamento è stata la CGT-Trimble. Sull'andamento degli errori sulla quota i risultati più apprezzabili derivano dalle reti INGV-Leica e CGT-Trimble. Inoltre si vuole sottolineare che la maggior parte dei dati in cui è stato possibile ripetere le misurazioni per 4 volte appartengono sempre alle reti UNIPA-Topcon (12 su 30) e CGT-Trimble (11 su 30).

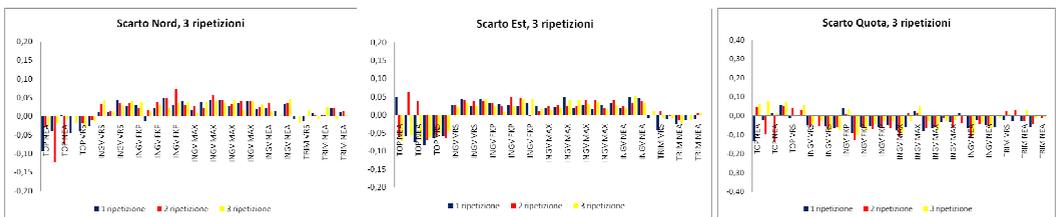


Figura 6 – Diagrammi ripetibilità Nord, Est, Quota (3 ripetizioni).

Infine in figura 6 si osserva che il maggior numero dei dati che hanno offerto solo tre ripetizioni appartengono alla rete INGV-Leica in tutte e tre le componenti geodetiche, ma i migliori risultati sono quelli ottenuti con la rete di CGT-Trimble. Si fa presente inoltre che lo studio è stato effettuato anche considerando la ripetibilità su singolo vertice e selezionando sempre le acquisizioni per rete e stream.

### **Conclusioni**

A margine di questo studio, si evidenzia come le prove valide sono state pari al 61% sul totale delle misure effettuate e i risultati hanno dato nel caso positivo, una maggiore disponibilità della rete INGV-Leica, mentre le reti UNIPA-Topcon e CGT-Trimble hanno fornito risultati dello stesso ordine di grandezza; per i singoli streams si sono ottenuti risultati differenti (VRS-CGT-Trimble, Nea-UNIPA-Topcon, VRS+FKP+MAX-INGV-Leica). In merito al tempo di fissaggio si sono ottenuti risultati che hanno confermato degli ottimi tempi per la rete UNIPA-Topcon e per la rete CGT-Trimble. Tempi di fissaggio più lunghi si sono registrati invece per la rete INGV-Leica. Lo studio dell'accuratezza ha confermato per tutte le reti scarti centimetrici sulle coordinate N, E, Q, indipendente dalla rete e dallo stream adottato. Migliori risultati sono quelli offerti dallo schema VRS+FKP+MAX. Per quanto riguarda la ripetibilità, tutte le reti hanno dimostrato buoni risultati, indipendentemente dal numero di ripetizioni ottenute, considerato che il lavoro svolto rappresenta il primo test per la verifica delle reti di stazioni permanenti disponibili in Sicilia. Si auspica infatti che le campagne di misura possano essere estese a tutto il territorio siciliano, con la collaborazione delle società che gestiscono le reti rilevando un campione maggiore di punti distribuiti uniformemente. È auspicabile inoltre, un servizio di posizionamento regionale disponibile per tutti gli utenti in modo gratuito che metta a contatto le esperienze di tutti gli enti (pubblici e privati, Università, INGV, Leica, Trimble, Topcon) e che comprenda le SP in RDN che fanno parte delle singole reti.

### **Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare il geom. Vito Terzo e l'ing. Gianni Giordano per la paziente assistenza nelle fasi di rilievo NRTK. Inoltre desiderano ringraziare i geom. Leonardo Alestra e Michele Gagliano per l'uso della rete *VRS Sicilia* CGT-Trimble, il geom. Paolo Centanni per l'utilizzo della rete Geotop, il Dott. Mario Mattia, responsabile della sezione INGV di Catania, per l'uso della rete *Sicili@net*.

### **Bibliografia**

- Dardanelli G., Franco V. (2009). Determinazione della precisione e della ripetibilità in rilievi NRTK, in *Atti 13<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bari* ISBN: 978-88-903132-2-6
- 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
- Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2007). Test di accuratezza e ripetibilità di lunga durata su posizionamenti NRTK e NetworkDGPS, in *Atti 11<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Torino* 6 – 9 novembre
- Bonci L., Calcaterra S., Gambino P., Merli K., Bella D., Filetti G. (2006), La rete di monitoraggio GPS permanente lungo le faglie di S. Tecla-linera e Acicatena (Ct), in *Atti 10<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano* 14 - 17 novembre 2006.
- Biagi L., Sansò F. (2006). *Un libro bianco su i servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*, Geomatics Workbooks, Volume 7, Ludovico Biagi, Fernando Sansò Editori, pp. 1-33, 55-81, 109-121, Italy
- Selvaggi G. et alii (2006), La "Rete Integrata Nazionale GPS" (RING) dell'INGV: una infrastruttura aperta per la ricerca scientifica, in *Atti 10<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano* 14 - 17 novembre 2006.