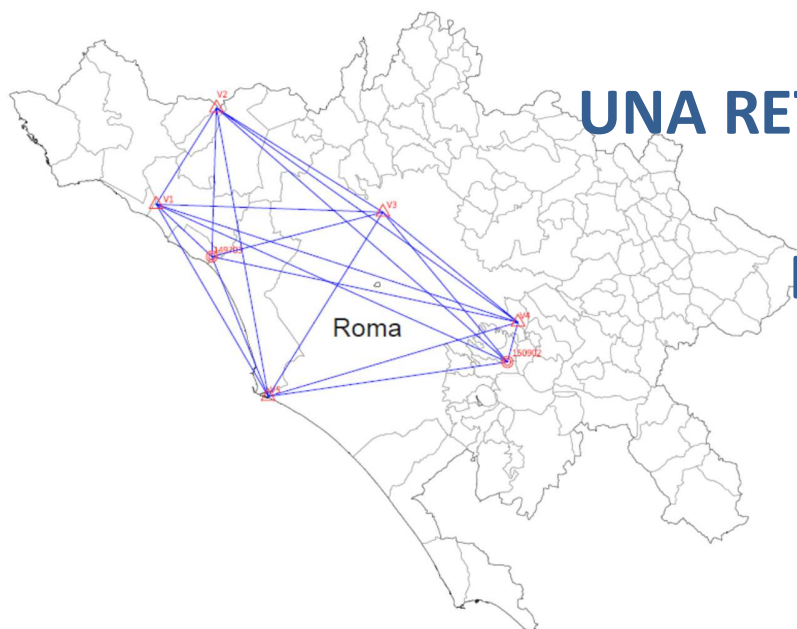




UNA RETE GEODETICA GNSS A SUPPORTO DELLA PROFESSIONE DEL GEOMETRA

Francesco Giampaolo

Premessa

La crescente diffusione delle tecniche di rilievo GNSS ha trasformato in modo profondo l'attività del Geometra, rendendo centrale il corretto inquadramento geodetico delle misure. Oggi la qualità di un rilievo non dipende esclusivamente dalla precisione strumentale, ma soprattutto dalla sua connessione a un sistema di riferimento ufficiale, stabile e condiviso.

Un sistema di riferimento geodetico è definito da un modello matematico della Terra (ellissoide), da un datum che ne stabilisce posizione e orientamento nello spazio e da un sistema di coordinate, espresso in forma cartesiana geocentrica (X, Y, Z) o geografica (φ , λ , h). Per diventare operativo, esso deve essere materializzato sul territorio attraverso una rete di punti stabili, accessibili e determinati con elevata accuratezza.

In ambito nazionale il riferimento ufficiale è l'**ETRS89** nella realizzazione **ETRF2000 – RDN2008** (D.M. 10/11/2001), che garantisce coerenza spaziale e temporale e piena compatibilità con le moderne tecniche satellitari. L'adozione di un sistema univoco assicura confrontabilità dei rilievi, stabilità delle coordinate e affidabilità delle informazioni territoriali.

Confronto coordinate tra diverse soluzioni: compensazione rete - post-processing statico (HXGN SmartNet) - NRTK Imax (HXGN SmartNet)

Per rendere pienamente “spendibili” in ambito operativo le coordinate compensate della rete, si propone una verifica esterna mediante confronto con soluzioni da post-processing statico (single point HXGN SmartNet) e soluzioni RTK in rete (NRTK) ottenute con il servizio HXGN SmartNet.

L'obiettivo non è sostituire la rete compensata, ma quantificare la coerenza e le prestazioni attese nelle modalità di lavoro tipiche del professionista.

Descrizione della Rete

Nel contesto romano e laziale è stata realizzata, in data 17/05/2025, una rete geodetica GNSS inquadrata nel sistema **ETRS89/ETRF2000 – RDN₂₀₀₈**, promossa dalla Commissione Topografia e Catasto.

La rete è composta da 7 vertici, di cui:

- 2 punti noti nella rete nazionale IGM95: **Tuscolo 150902_A** e **Marina San Nicola 149703**
- 5 punti incogniti: Furbara (V1), Oriolo Romano (V2), Giustiniana-Roma (V3), Laghetto-Roma (V4), Porto di Ostia-Roma (V5)

Sono state elaborate fino a 20 baseline con un'elevata ridondanza osservativa (45 gradi di libertà) e accuratizie dell'ordine di 0,7 ppm, tipiche di reti professionali statiche

Modalità operative

Le attività di rilievo sono state condotte secondo procedure standardizzate, con particolare attenzione a:

- centramento accurato del ricevitore sul punto materializzato;
- misura dell'altezza antenna fino all'ARP (*antenna reference point*);
- pianificazione delle sessioni in funzione della lunghezza delle baseline (fino a ~50 km);
- tempi di osservazione di circa 4 ore;
- angolo di cut-off pari a 15°;
- intervallo di campionamento di 5 secondi

Sono stati impiegati ricevitori geodetici a doppia frequenza e multi-costellazione (Leica GS14, Leica GS18, Geomax Zenith35 Pro), con controllo continuo di satelliti, stato soluzione e perdite di ciclo. I dati, scaricati e verificati, sono stati archiviati in formato RINEX per le successive elaborazioni.

Utilizzo dei file RINEX e delle orbite precise

Le osservazioni sono state registrate in formato **RINEX 3.02**, standard internazionale che garantisce interoperabilità e riproducibilità del processamento. L'elaborazione è avvenuta in post-processing mediante orbite precise (*.sp3) in sostituzione di quelle broadcast, riducendo gli errori sistematici sulla posizione dei satelliti e migliorando il fissaggio delle ambiguità di fase. Questo approccio è particolarmente efficace nelle sessioni statiche e contribuisce alla stabilità complessiva della soluzione compensata.

Risoluzione dell'ambiguità di fase

La determinazione corretta del numero intero di cicli della portante consente il passaggio da soluzioni *float* a soluzioni *fixed*, con un significativo incremento di precisione. La qualità del fissaggio dipende da:

- geometria satellitare;
- numero di epoche valide;
- riduzione degli effetti ionosferici e troposferici;
- qualità delle osservazioni.

L'applicazione di test statistici di affidabilità permette di validare le soluzioni intere e garantire coerenza alle baseline da sottoporre a compensazione.

Controllo delle chiusure e compensazione ai minimi quadrati

Prima della determinazione definitiva delle coordinate è stato eseguito il controllo delle chiusure dei triangoli (loop), verificando che la somma vettoriale delle baseline risultasse compatibile con le tolleranze previste.

Superata tale fase, la rete è stata compensata ai minimi quadrati secondo il modello funzionale:

$$A \cdot \delta x - l_0 = v$$

$$\hat{x} = x_0 + \delta x$$

A = matrice disegno

l_0 = vettori termini noti (componenti delle baseline misurate)

v = vettore dei residui

x_0 = vettore delle coordinate approssimate

δx = vettore delle incognite (variazioni di coordinate)

$\hat{x}$ = vettore delle coordinate compensate

La qualità globale è stata valutata tramite la varianza dell'unità di peso a posteriori:

$$\sigma_0^2 = (v^T \cdot P \cdot v) / (n - m)$$

La compensazione ha distribuito correttamente gli scarti osservativi, fornendo coordinate certificate e statisticamente controllate, idonee a costituire riferimento geodetico affidabile per applicazioni topografiche e catastali

Coordinate compensate Rete Gnss						
ID Punto	X WGS84	Y WGS84	Z WGS84	σ X WGS84	σ Y WGS84	σ Z WGS84
V1	4642317.6185	988702.1524	4246336.8169	0.008	0.008	0.008
V2	4630441.5108	995443.9808	4258223.3699	0.010	0.010	0.010
V3	4634743.9309	1024052.4286	4246296.2924	0.010	0.010	0.010
V4	4640985.6212	1048003.9753	4233735.1071	0.005	0.005	0.005
V5	4657884.9987	1011353.2051	4224013.6060	0.011	0.011	0.011

Tabella A – risultati delle coordinate compensate (metodo rigoroso – software Leica Infinity)

Confronto con soluzioni operative

Per rendere operative le coordinate compensate è stato eseguito un confronto con:

- post-processing statico (single point HXGN SmartNet);
- rilievi RTK in rete (NRTK – Imax HXGN SmartNet).

La soluzione statica post-processata ha fornito scarti contenuti e rappresenta un controllo forte. La NRTK costituisce invece la modalità operativa quotidiana: l'analisi delle ripetizioni consente di stimare la ripetibilità e individuare eventuali bias sistematici legati a trasformazioni di frame, modellazione delle quote o effetti di multipath.

Report Elaborazione GNSS - post-processing [Rete SmartNet]						
ID Punto	X WGS84	Y WGS84	Z WGS84	σ X WGS84	σ Y WGS84	σ Z WGS84
V1	4642317.6308	988702.1331	4246336.8128	0.006	0.004	0.006
V2	4630441.5178	995443.9716	4258223.3611	0.004	0.004	0.003
V3	4634743.9249	1024052.4349	4246296.2739	0.004	0.004	0.004
V4	4640985.5983	1048003.9965	4233735.1016	0.008	0.005	0.008
V5	4657884.9910	1011353.1979	4224013.5866	0.007	0.005	0.007

Tabella B – risultati coordinate post-processing - elaborazione single point rete HxGN Smartnet

Residui: post-processing Single Point e Rete compensata						
ID Punto	ΔX	ΔY	ΔZ	$\Delta 3D$	μ	σ
V1	0.012	-0.019	-0.004	0.023	-0.004	0.016
V2	0.007	-0.009	-0.009	0.015	-0.004	0.009
V3	-0.006	0.006	-0.018	0.020	-0.006	0.012
V4	-0.023	0.021	-0.005	0.032	-0.002	0.022
V5	-0.008	-0.007	-0.019	0.022	-0.011	0.007

Tabella C – residui, media e s.q.m.

Coordinate NRTK IMAX [Rete SmartNet]			
ID Punto	X WGS84	Y WGS84	Z WGS84
V1	4642317.6150	988702.1420	4246336.7560
V2	4630441.5338	995443.9774	4258223.3732
V3	4634743.9140	1024052.4310	4246296.2690
V4	4640985.6160	1048004.0080	4233735.1120
V5	4657884.9710	1011353.1910	4224013.5460

Tabella D – risultati coordinate Rtk (NRTK) – Imax rete HxGN Smartnet

Residui: NRTK e Rete compensata						
ID Punto	ΔX	ΔY	ΔZ	$\Delta 3D$	μ	σ
V1	-0.003	-0.010	-0.061	0.062	-0.025	0.031
V2	0.023	-0.003	0.003	0.023	0.008	0.014
V3	-0.017	0.002	-0.023	0.029	-0.013	0.013
V4	-0.005	0.033	0.005	0.033	0.011	0.020
V5	-0.028	-0.014	-0.060	0.068	-0.034	0.024

Tabella E – residui, media e s.q.m.

Conclusioni

La realizzazione della rete geodetica GNSS inquadrata nel sistema ETRS89/ETRF2000 – RDN2008 dimostra come un approccio metodologico rigoroso, basato su osservazioni statiche di qualità e compensazione ai minimi quadrati, consenta di ottenere coordinate affidabili e stabili nel tempo.

La rete compensata costituisce il riferimento “certificato” per l’inquadramento dei rilievi, mentre NRTK e post-processing rappresentano strumenti operativi il cui livello di aderenza può essere misurato e controllato rispetto alla soluzione rigorosa.

Per il Geometra, disporre di un’infrastruttura geodetica locale, coerente con il sistema ufficiale nazionale, significa operare con maggiore consapevolezza tecnica, ridurre le incertezze e garantire qualità e affidabilità ai propri elaborati professionali.