

# La nuova rete GNSS multicostellazione dell'Umbria

di Fabio Radicioni, Aurelio Stoppini



Fig. 1 – La nuova stazione permanente di Tuoro sul Trasimeno (RETU)

**La rete di stazioni permanenti GPSUMBRIA, rinnovata in tutte le sue componenti, è la prima rete GNSS in Italia e tra le prime nel mondo a fornire servizi di posizionamento su quattro costellazioni (GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU). È così possibile accedere a oltre 30 satelliti contemporaneamente e a segnali multifrequenza, con notevoli vantaggi per l'utenza specialmente nelle zone critiche per la presenza di ostruzioni. I servizi di posizionamento forniti dalla rete sono stati rivisti e ottimizzati per supportare un più ampio spettro di attività e un'utenza che si è enormemente ampliata grazie alla diffusione e alla crescita delle funzionalità dei dispositivi telefonici mobili.**

La rete GPSUMBRIA è una delle prime infrastrutture regionali di posizionamento satellitare istituite in Italia. Il suo sviluppo è iniziato nel 2004, con attività sinergica della Regione Umbria e dell'Università degli Studi di Perugia che hanno realizzato 12 stazioni permanenti GNSS, ben distribuite su tutto il territorio regionale e con una elevata densità (circa 40 km di interdistanza media) in modo da assicurare una copertura ottimale dei servizi e una ridondanza in caso di malfunzionamenti locali.

Le stazioni GNSS sono state installate per scelta su edifici pubblici, dell'Ateneo o di Comuni (previa stipula di accordi formali con la Regione), in modo da garantire l'accesso, la sorveglianza, l'alimentazione e la connessione a internet, essenziali per il funzionamento dell'infrastruttura.

Il centro di controllo della rete venne inizialmente ubicato presso il Laboratorio di Topografia dell'Università di Perugia, e successivamente presso il Centro Regionale di protezione Civile a Foligno. Per il collegamento delle stazioni al centro di controllo si sono utilizzate la rete informatica di Ateneo e la rete *ComNet* tra le pubbliche amministrazioni dell'Umbria. Le stazioni vennero dotate sin dall'inizio di ricevitori e antenne GNSS+GLONASS. L'installazione comprendeva anche, presso ogni stazione, una centralina meteo e un orologio atomico esterno.

La rete ha erogato sin dall'inizio

i suoi servizi di posizionamento, sia in post-processamento che in tempo reale, in forma gratuita, fornendo così un notevole impulso alla diffusione delle metodologie satellitari di posizionamento sul territorio regionale. L'utenza, inizialmente limitata all'ambito tecnico-topografico, si è progressivamente estesa sempre di più ad altre applicazioni quali il controllo di macchine da cantiere, l'agricoltura di precisione, il catasto strade, la navigazione di precisione, il controllo di flotte di trasporto, il monitoraggio di frane e strutture, e il rilevamento a carattere tematico per le molte discipline e attività che necessitano di georeferenziazione di dati e informazioni.

L'Università ha inoltre potuto utilizzare i dati della densa rete di stazioni per analisi di tipo scientifico quali il consolidamento locale della definizione del datum plano-altimetrico o lo studio degli effetti dei fenomeni sismici che hanno interessato l'area umbra nel periodo in oggetto. Per queste finalità scientifiche la rete è stata ampliata includendo -mediante accordi e convenzioni con enti pubblici e privati- altre stazioni delle regioni a confine con l'Umbria in modo da coprire un'area più vasta dell'Italia centrale (rete LABTOPO gestita dal Laboratorio di Topografia di UniPg, con funzionalità per il post-processamento).

Due stazioni della rete umbra (Perugia UNPG e Terni

UNTR) fanno parte della rete EPN (European Permanent Network) dell'EUREF. Le due stazioni summenzionate e quella di Orvieto UNOV sono incluse nella RDN (Rete Dinamica Nazionale) gestita dall'Istituto Geografico Militare. A circa 15 anni dalla sua prima realizzazione, la rete GPSUMBRIA è stata sottoposta a una profonda revisione per tener conto delle nuove costellazioni satellitari e segnali oggi disponibili, e per implementare nuove funzionalità destinate a tipologie di applicazioni che solo alcuni anni fa letteralmente non esistevano, rivolte non solo all'utenza tecnica ma a uno spettro vastissimo di settori produttivi e ad esigenze sociali.

**Le nuove costellazioni satellitari**

Nel corso del periodo di attività della rete, e in modo particolare negli ultimi 5-10 anni, si è assistito a una progressiva evoluzione dei sistemi satellitari GNSS. La costellazione GPS ha sempre mantenuto uno status di servizio ottimale con un progressivo miglioramento delle caratteristiche dei satelliti e dei segnali. Il GLONASS, superato un periodo di crisi durato alcuni anni è stato riportato alla piena funzionalità e numero di satelliti, anch'esso con estensione di frequenze e segnali. Il GALILEO ha lasciato anch'esso alle spalle le difficoltà iniziali ed è ormai avviato verso l'erogazione di servizi a pieno regime. Il sistema cinese BEIDOU, che inizialmente interessava prevalentemente il continente asiatico, ha avuto negli ultimi anni una evoluzione rapidissima per numero di satelliti (oggi complessivamente vicino alla quarantina se si considerano tutti i tre tipi di orbite IGSO, GEO e MEO), funzionalità e

copertura geografica estesa ben oltre l'Asia. Un ricevitore multiconstellazione è in grado oggi di accedere complessivamente a circa 120 satelliti GNSS, dei quali fino a 30-40 sono contemporaneamente visibili alle nostre latitudini. Ricordando che il numero minimo teorico di satelliti per ottenere una posizione tridimensionale è di quattro, si comprende bene anche solo da questo dato quale possa essere il miglioramento di prestazioni (accuratezza e rapidità del posizionamento) con un numero di satelliti così grande. Ai satelliti GNSS propriamente detti si affiancano quelli, di solito geostazionari, dei sistemi di augmentation SBAS, quali EGNOS (Europa), WAAS (Nord America) e analoghi. La crescita dei satelliti non è solo numerica: anche i segnali inviati sono stati costantemente arricchiti di nuove frequenze, codici e funzionalità, per cui le prestazioni oggi ottenibili sono oggi notevolmente superiori a quelle di solo una decina di anni fa.

**Nuove caratteristiche della rete**

La rete GPSUMBRIA è la prima in Italia ad aver raggiunto una piena funzionalità multiconstellazione. Grazie all'impegno congiunto dell'Università di Perugia e della Regione Umbria è stato possibile reperire fonti multiple di finanziamento che hanno permesso di realizzare un aggiornamento integrale delle attrezzature in tutte le stazioni. Per cogliere i benefici dell'evoluzione sopra descritta, si è proceduto a una revisione sia dell'hardware che del software per adeguarne le funzionalità alle nuove costellazioni, segnali, metodologie ed applicazioni. I ricevitori (Topcon NET-G5) sono in grado di acquisire le se-



Fig. 2 – La nuova configurazione della rete GPSUMBRIA.

guenti costellazioni e segnali:  
 GPS (L1, L2, L5)  
 GLONASS (G1, G2, G3)  
 GALILEO (E1, E5A, E5B, AltBOC)  
 BEIDOU (B1, B2, EDU)  
 Le antenne sono tutte di

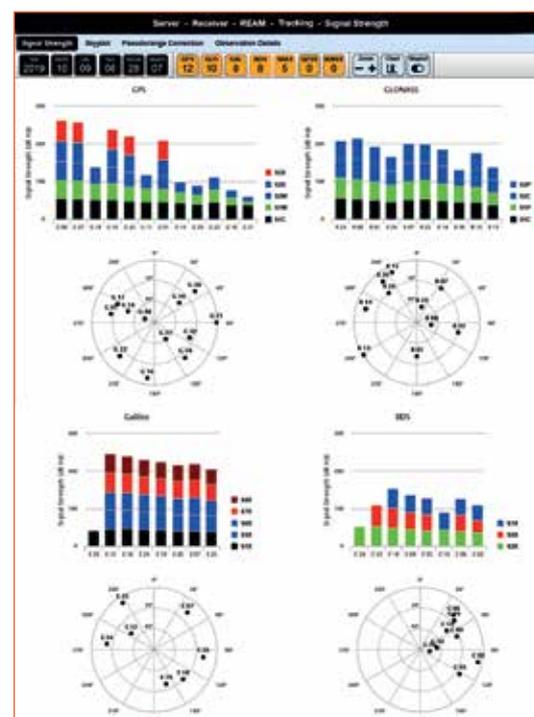


Fig. 3 – Schermata del software di rete GNSMART con indicazione delle osservazioni acquisite per ciascuna costellazione satellitare

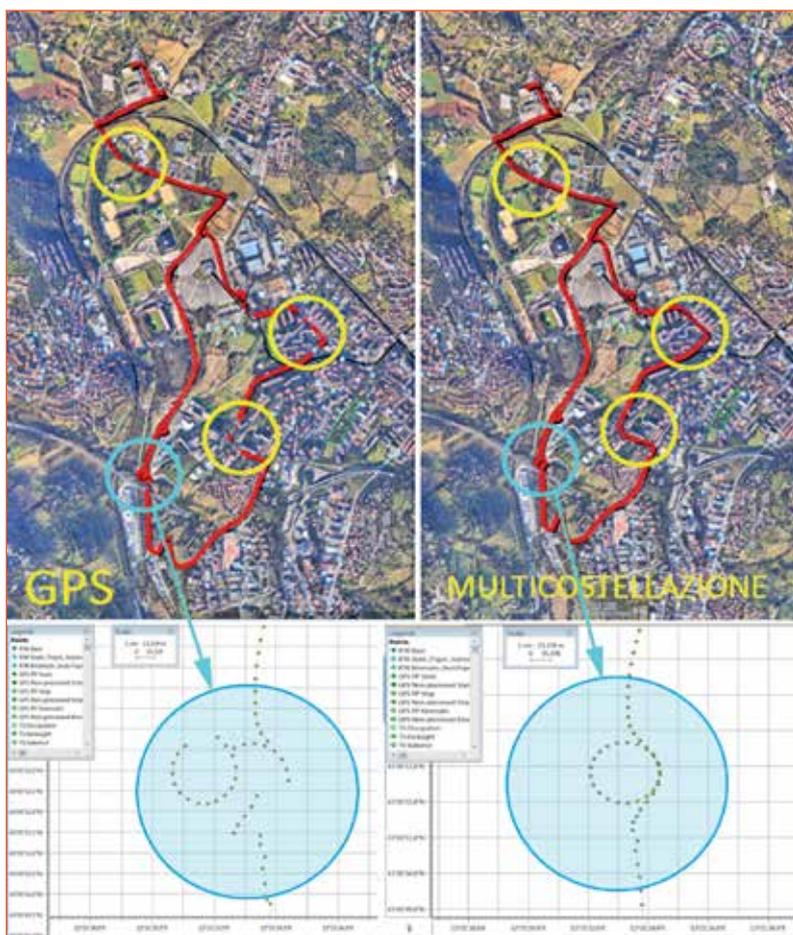


Fig. 4 – Tracciato cinematico ottenuto con il solo GPS (a sinistra) e con 4 costellazioni (a destra); in basso un particolare del tracciato in corrispondenza di una rotonda situata sotto un viadotto, dove il solo GPS ha fornito soluzioni errate presumibilmente a causa di “falsi fissaggi” delle ambiguità

tipo choke-ring (TPSCR.G5 TPSH), calibrate e compatibili con le costellazioni e segnali sopra elencati.

L’ubicazione e la distribuzione delle stazioni è stata rivista: alcune stazioni sono state spostate da un edificio a un altro per problemi che ne compromettevano il funzionamento (ad es. quella di Norcia si trovava nella sede comunale, resa inagibile dal sisma). Una stazione è stata spostata di circa 30 km (da Città di Castello a Tuoro – figura 1) per coprire meglio la porzione nord-occidentale del territorio regionale.

La nuova configurazione della rete è riportata in figura 2. La rete comprende 13 stazioni, di cui 9 al contorno della regione e 4 interne; va notato che le sta-

zioni permanenti a Perugia sono due, una principale (UNPG) e una di backup (UPG2) con materializzazione poco distante. La copertura del territorio regionale è ottimale, con una interdistanza media tra le stazioni particolarmente bassa (circa 35 km) in grado di mantenere una buona ridondanza in caso di malfunzionamenti locali.

A proposito della ridondanza della rete umbra, va evidenziato che questa caratteristica si esprime a vari livelli:

- ridondanza geometrica (bassa interdistanza tra le stazioni);
- ridondanza informatica (doppio server virtuale di calcolo in tempo reale, due programmi indipendenti

- con due chiavi hardware);
- ridondanza di connessione delle singole stazioni (in ogni stazione è connesso sia il ricevitore GNSS sia un PC server locale a scopo di backup, con due IP statici distinti).

In tutte le stazioni è stata effettuata un’accurata manutenzione e revisione di tutti i cablaggi e delle connessioni. Si è puntato a semplificare l’architettura e la manutenzione della rete per ridurre i relativi costi: in tale ottica, sono stati rimossi gli orologi atomici esterni presenti nella configurazione precedente, poiché le frequenze interne di cui sono dotati gli attuali ricevitori per stazioni permanenti hanno già una stabilità adeguata. Le centraline meteo, che avevano creato problemi di manutenzione e connessione, sono state rimosse, anche per la presenza nella regione di una efficiente rete meteorologica a sé stante. Sono state incrementate le funzionalità di controllo e intervento da remoto per limitare al minimo indispensabile gli interventi in situ.

#### Software di rete

Il software NRTK che gestisce la rete in tempo reale dal centro di controllo (Geo++® GNSMART) è stato aggiornato alla versione 2, in grado di ope-

RIEPILOGO DIFFERENZE DD-PPP (m)			
Stazioni	N	E	H ell
UNPG	-0,0005	-0,0062	-0,0030
UNTR	-0,0005	0,0021	-0,0057
REAM	-0,0030	0,0008	-0,0034
REGU	-0,0005	-0,0020	-0,0046
RENO	0,0006	0,0023	0,0023
REPI	-0,0041	0,0005	0,0030
RETO	-0,0030	0,0002	-0,0011
RETU	-0,0008	-0,0019	-0,0040
ITGT	0,0009	-0,0025	-0,0016
UNOV	-0,0027	-0,0001	0,0021
UNSG	-0,0006	-0,0023	-0,0027
REFO	0,0011	0,0035	-0,0087

Tab. 1 – Differenze di coordinate ETRF2000 nelle stazioni della rete tra la soluzione alle doppie differenze (DD) e quella in posizionamento assoluto di precisione (PPP).

rare con tutte le costellazioni, frequenze e segnali acquisiti dai nuovi ricevitori. GNSMART genera le correzioni attraverso un monitoraggio continuo di tutti i segnali GNSS ricevuti dalle stazioni permanenti, stima tutte le componenti di errore (Vettore di Stato) decorrelandole, e trasferisce via internet le correzioni GNSS in formato RTCM con il protocollo Ntrip agli utenti. La catena GNSS multicostellazione/multifrequenza/multisegnale è continua in tutte le fasi della procedura, dalle stazioni permanenti al centro di controllo e da qui agli utenti. (Wübbena et al., 2011) Gli stream di correzione erogati sono i seguenti:

RTCM 3.1: VRS - MAC - NE-AREST in modalità MSM\* (GPS-GLONASS-GALILEO-BEIDOU);

RTCM 3.0 : VRS - MAC - NE-AREST (GPS-GLONASS)

\* MSM = Multiple Signal Messages (Boriskin et al., 2012)

Ogni utente applica le correzioni ai segnali che il suo ricevitore è in grado di acquisire: ovviamente i maggiori vantaggi si conseguono dotandosi di ricevitori geodetici multicostellazione di ultima generazione.

Rispetto alla precedente configurazione della rete, il maggior numero di costellazioni satellitari, di frequenze per costellazione e di segnali per frequenza produce un considerevole aumento della mole di dati da elaborare ed archiviare, comportando un vettore di stato con dimensioni 30-50 volte più grandi di quello di 10 anni fa (figura 3). Da qui la richiesta di maggiori dimensioni computazionali al centro di controllo. Per questo, e sempre nell'ottica di ridurre la manutenzione e

favorire gli interventi da remoto rispetto a quelli in situ, il software del centro di controllo è stato installato su server virtuali che fanno capo a server fisici ridondanti e di grandi prestazioni ubicati nel Data Center della Regione Umbria (DCRU). Una caratteristica molto importante del software GNSMART è il concetto di SSR (State Space Representation). Mentre nei metodi differenziali convenzionali tutti gli errori del posizionamento GNSS vengono accumulati in un'unica correzione attribuita alle distanze ricevitore-satellite, qui le singole componenti di errore (orbite, orologi, bias troposferico-ionosferico, maree oceaniche e terrestri, ...) sono valutate e modellate separatamente con modelli matematici basati su parametri stimati in tempo reale dalle osservazioni delle stazioni che compongono la rete. Il software GNSMART consente la comunicazione simplex,

per cui il servizio può supportare un numero illimitato di utenti, con qualsiasi marca di ricevitore. È concepito anche per applicazioni del mass market (guida autonoma, droni, ...). Il servizio in tempo reale viene erogato gratuitamente e ad esso si accede tramite internet (in genere per mezzo della telefonia mobile) su un indirizzo IP con autenticazione delle credenziali (user, password) che vengono fornite previa registrazione nel portale della rete regionale (<http://www.umbriageo.regione.umbria.it/pagine/gpsumbria-001>).

Allo scopo di mantenere una ridondanza nell'erogazione dei servizi e per poter eseguire test di ricerca in parallelo al normale funzionamento dei servizi di rete, sono state realizzate due installazioni indipendenti di GNSMART con possibilità di accesso tramite IP differenti.

Anche il software di archivia-

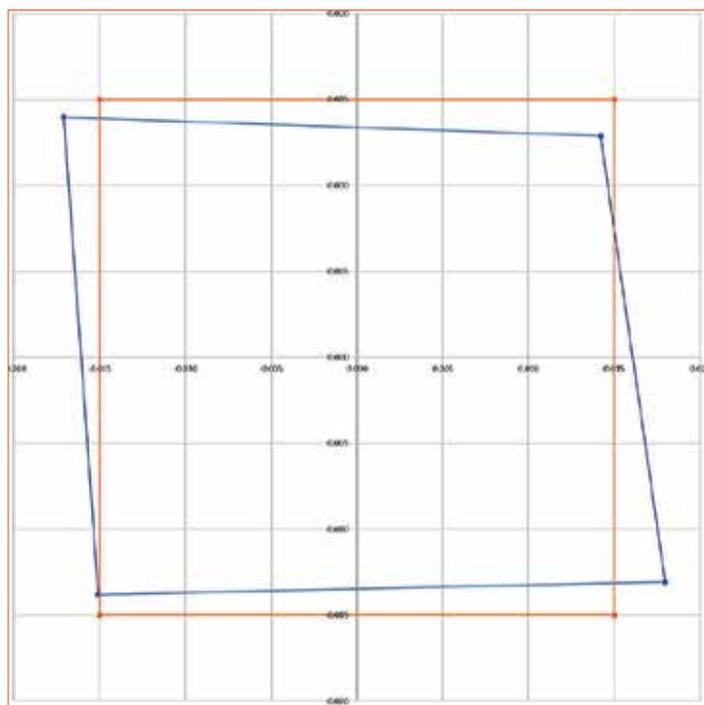


Fig. 5 – Test di monitoraggio deformazioni con movimenti impressi mediante una slitta micrometrica; valori scale in metri. Percorso nominale in colore rosso, percorso rilevato in colore blu.

zione e distribuzione di dati per postprocessamento è stato aggiornato alle funzionalità multicostellazione: vengono ora prodotti, archiviati e distribuiti files RINEX 3 a nome lungo secondo gli standard vigenti, che supportano i dati multicostellazione/multifrequenza. Mediante il software di tempo reale (GNSMART) è inoltre possibile produrre a richiesta files Virtual RINEX nelle ubicazioni ed orari richiesti.

### Georeferenziazione delle stazioni permanenti

Per un funzionamento ottimale delle procedure in tempo reale, ma anche per il postprocessamento, la posizione tridimensionale delle stazioni permanenti deve essere determinata con elevata accuratezza (pochi mm) nel datum globale. Nel caso in oggetto sono stati effettuati due calcoli indipendenti, entrambi nel datum ETRF2000:

- a) soluzione a rete di baselines DD (posizionamento relativo, doppie differenze);
- b) soluzione PPP (posizionamento assoluto di precisione).

I dati utilizzati nel calcolo sono quelli acquisiti dalle stazioni della rete nella GPS week 2035 (6-12 gennaio 2019).

Per la soluzione a) sono state determinate con il software MAGNET Tools alle doppie differenze tutte le baselines indipendenti della rete considerando l'intera settimana di acquisizione, ed è stata eseguita la compensazione della rete assumendo fisse le coordinate ETRF2000 della stazione UNPG (appartenente come già ricordato alla rete europea EPN) dalla più recente soluzione disponibile all'EUREF, all'e-

poca convenzionale 001/2010 (1 gennaio 2010) assunta attualmente dallo stesso EUREF per tutte le stazioni EPN. Le deviazioni standard ottenute sulle coordinate con la soluzione a rete di baselines sono di ordine submillimetrico, ma allo scopo di verificare l'accuratezza della georeferenziazione ottenuta si è effettuato un altro calcolo indipendente (b) con posizionamento assoluto di precisione, a partire dallo stesso set di dati (GPS week 2035). È stata elaborata una soluzione giornaliera per ogni stazione con la procedura CSRS-PPP (servizio online di Natural Resources Canada, <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/documentation.php>). Le soluzioni, fornite nel datum ITRF14, sono state convertite nel datum ETRF2000 all'epoca 001/2010 con la procedura Boucher-Altamimi disponibile all'EUREF (Altamimi 2018). Sono state quindi effettuate le medie delle soluzioni giornaliere della settimana e i valori finali ottenuti sono stati confrontati con quelli della soluzione alle doppie differenze.

Il confronto è riportato in tabella 1: le differenze tra le due soluzioni, ottenute con procedure del tutto indipendenti, sono contenute entro 6 mm in planimetria e 9 mm in altimetria (valori massimi), confermando il raggiungimento dell'accuratezza richiesta.

### Test e applicazioni

La rete GPSUMBRIA nella sua nuova configurazione è stata sottoposta a collaudo per verificare la corretta ricezione di tutte le stazioni e la rispondenza delle attrezzature alle specifiche progettuali.

Per verificare l'efficacia delle nuove funzionalità della rete sono stati eseguiti test sul terri-

torio regionale con varie metodologie di posizionamento. Una prima serie di test ha riguardato la determinazione del tracciato di un veicolo con postprocessamento cinematico. Come base si sono assunte stazioni permanenti della rete; come rover si è utilizzato un ricevitore geodetico Topcon Hiper HR multicostellazione, adottando un intervallo di campionamento di 1 secondo. L'elaborazione è stata eseguita con il software MAGNET Tools. Sono stati messi a confronto i risultati ottenuti con tutte le quattro costellazioni e quelli ottenuti con il solo GPS. In figura 4 viene mostrato a titolo di esempio un tracciato ottenuto nell'area urbana e suburbana di Perugia. Sono riportate in grafico solo le soluzioni con ambiguità fissate: si nota come con il solo GPS siano presenti numerose interruzioni nel tracciato e in alcuni casi anche serie di posizioni errate pur essendo segnalate come fixed; questi problemi sono in gran parte eliminati nella soluzione multicostellazione, che ha fornito tracciati continui e attendibili. Ulteriori test di posizionamento cinematico sono stati eseguiti con dispositivi telefonici mobili Android 7 (in grado di ricevere GPS-GLONASS-GALILEO-BEIDOU), acquisendo i dati mediante l'applicazione gratuita Geo++ RINEX Data Logger. Questa app permette di utilizzare un dispositivo telefonico mobile come ricevitore GNSS in grado di acquisire le frequenze L1/L5/E1B/E1C/E5A. Le accuratezze attualmente ottenibili non sono paragonabili a quelle di un buon ricevitore geodetico, ma sono certamente interessanti. È allo studio l'impiego di questo tipo di app per effettuare posizionamenti con accuratezza di ordine decimetrico mediante

brevi sessioni di acquisizione in statico rapido, funzionalità che può risultare utile per eseguire localizzazioni rapide più accurate di quelle ottenibili con il posizionamento assoluto.

Un altro test è stato eseguito per una prima sperimentazione -in attesa di ulteriori approfondimenti- di un sistema di monitoraggio di deformazioni in tempo reale e in continuo (HAPPY GEM-X2x, <http://www.happysurvey.ch/>), basato sulla forte ridondanza di osservazioni che si ottiene grazie a ricevitori multicostellazione. Un ricevitore geodetico (South Galaxy G1 Plus – multicostellazione a 3 frequenze) è stato posto su una slitta micrometrica alla quale è stato impresso un ciclo di spostamenti noti, seguendo un percorso di forma quadrata di 3 cm di lato. Il ricevitore è stato impostato in modalità rover ricevendo lo stream di correzioni MCM VRS RTCM 3.1 dalla rete GPSUMBRIA. La figura 5 mostra gli scostamenti tra le coordinate ottenute dal sistema ai 4 vertici del percorso e i valori nominali (spostamenti impressi alla slitta); le differenze sono contenute entro 2-3 millimetri.

Un'altra sperimentazione in corso riguarda il posizionamento in tempo reale e la guida automatica/assistita di mezzi agricoli per il Precision Farming. I vantaggi della multicostellazione sono evidenti nelle zone con ostruzioni, quali gli arboreti, i campi costeggiati da filari di alberi di alto fusto e le zone collinari.

### Considerazioni finali

L'infrastruttura di posizionamento satellitare a rete GPSUMBRIA, nella sua nuova configurazione e funzionalità:

- riveste un'importanza strategica per la Regione Um-

bria per almeno il prossimo decennio ed accresce la competitività del territorio;

- mantiene un unico e stabile sistema di riferimento per tutto il territorio regionale coerente con le disposizioni nazionali/internazionali;
- garantisce un accesso gratuito per tutti gli utenti sia in tempo reale che per post-processamento;
- è stata progettata avendo come obiettivi di accuratezza, ridondanza e continuità 24h/24 365gg/365 per le applicazioni in tempo reale professionali (agricoltura di precisione, macchine operatrici da cantiere, ...) oltre che scientifiche e tecniche;
- è rivolta alle applicazioni ed implementazioni mass market (ausili di precisione alla guida stradale, sperimentazione della guida autonoma, sicurezza in volo dei droni, posizione accurata PP con smartphone e tablet);

È stato stipulato un accordo di collaborazione tra Regione Umbria, Università di Perugia e il gestore informatico in house Umbria Digitale per lo sviluppo, la gestione e la manutenzione della rete che ne garantirà la completa funzionalità per i prossimi anni.

### BIBLIOGRAFIA

- Altamimi, Z. (2018), EUREF Technical Note 1: Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. Pubblicato da EUREF, <http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1.pdf>
- Barzaghi, R., Carrion, D., Fastellini, G., Radicioni, F., Stoppini, A. (2008), New active and passive networks for a support to geodetic activities in Umbria. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, IGMI - vol. LXVII/2008 (3) pp. 203-227.
- Boriskin, A., Kozlov, D., Zyryanov, G. (2012), The RTCM Multiple Signal Messages: A New Step in GNSS Data Standardization. Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2012), Nashville, TN, September 2012, pp. 2947-2955.
- Ciarapica, A., Ferranti, G., Radicioni, F., Stoppini, A. (2005), La rete di stazioni permanenti GPS/GNSS della Regione Umbria: verso un servizio regionale di posizionamento. Atti della IX Conferenza Nazionale ASITA - vol. I, pp.721-726.
- Radicioni, F., Stoppini, A. (2005). Applicazioni in post-processamento e in real-time su reti locali di stazioni permanenti GPS/GNSS. In Atti della IX Conferenza Nazionale ASITA - vol. II, pp.1715-1720.
- Wübbena, G., Bagge, A., Schmitz, M., (2001), Network-Based Techniques for RTK Applications. GPS Symposium, GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, November 14-16, 2001, Tokyo, Japan.

### PAROLE CHIAVE

GNSS; RETE DI STAZIONI PERMANENTI; MULTICOSTELLAZIONE; GALILEO; BEIDOU; GPSUMBRIA

### ABSTRACT

The GPSUMBRIA permanent station network (Umbria region, central Italy), renewed in all its components, is the first GNSS network in Italy and among the first in the world to provide positioning services on four constellations (GPS, GLONASS, GALILEO and BEIDOU). It is now possible to access more than 30 satellites at the same time, with considerable advantages for the users, especially in critical areas with presence of obstructions. Positioning services have also been revised and optimized to support a wider spectrum of activities and a number of users greatly expanded thanks to the diffusion and functionality improvement of the mobile devices.

### AUTORE

FABIO RADICIONI  
FABIO.RADICIONI@UNIPG.IT

AURELIO STOPPINI  
AURELIO.STOPPINI@UNIPG.IT

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA –  
DI (DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA)