

## La stima del ritardo troposferico tramite l'utilizzo di stazioni permanenti GNSS low-cost e software open-source: quali prestazioni?

Paolo Dabove<sup>1,2</sup>[0009-0007-9107-4185] e Milad Bagheri<sup>1</sup>[0009-0007-9107-4185]

<sup>1</sup> DIATI – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino, [paolo.dabove@polito.it](mailto:paolo.dabove@polito.it), [milad.bagheri@polito.it](mailto:milad.bagheri@polito.it)

<sup>2</sup> Associazione GFOSS.it APS

**Abstract.** Come noto in letteratura, i segnali GNSS (Global Navigation Satellite System) subiscono ritardi quando attraversano l'atmosfera a causa sia della presenza di elettroni liberi nella ionosfera sia della densità dell'aria nella parte non ionizzata dell'atmosfera, nota come troposfera. La tecnica denominata Precise Point Positioning (PPP) permette, tramite il soddisfacimento di opportune condizioni, sia un posizionamento estremamente accurato oltre che la stima del ritardo troposferico zenitale (ZTD). La stima ZTD è utile per varie applicazioni, tra cui la modellazione climatica e la determinazione del vapore acqueo precipitabile in atmosfera. Le attuali risoluzioni delle reti GNSS non sono del tutto sufficienti per poter permettere analisi accurate di quest'ultimo parametro e sarebbero necessarie risoluzioni ben più spinte, che richiedono però installazioni di ricevitori con densità elevate, andando ad aumentare sensibilmente i costi.

La rete Centipede-RTK è un'opzione a basso costo per aumentare la risoluzione spaziale del monitoraggio troposferico. Questo studio, che rientra all'interno del progetto PRIN 2022 dal titolo PAIN AND GAIN, vuole analizzare se le reti GNSS a basso costo possano fornire una valida alternativa per lo studio e la stima dello ZTD senza compromettere la qualità o la precisione dei risultati. Questo studio confronta le prestazioni della rete Centipede-RTK a basso costo nel calcolo del ritardo troposferico Zenith (ZTD) con quelle della rete permanente EUREF esistente (EPN), utilizzando due pacchetti software alternativi, RTKLIB versione demo5 e CSRS-PPP versione 3, al fine di garantire robustezza e indipendenza dei risultati dal software utilizzato per il processamento. Quanto ottenuto ha permesso di capire che le stime ZTD di entrambe le reti sono quasi identiche quando elaborate dal software CSRS-PPP, con la massima differenza che risulta essere inferiore a 3.5 cm, confermando che reti come Centipede-RTK potrebbero essere un'opzione affidabile per lo studio, l'analisi ed il monitoraggio delle condizioni atmosferiche con reti NRTK dense. Inoltre, questo studio ha rivelato che la rete Centipede-RTK, se elaborata utilizzando CSRS-PPP, fornisce stime ZTD molto simili e coerenti con i valori ottenuti dalla rete EUREF, considerati come riferimento. Questi risultati suggeriscono che le reti GNSS a basso costo, come quella Centipede-RTK, sono utili per aumentare la densità della conoscenza del ritardo troposferico zenitale, migliorando così la

risoluzione spaziale del monitoraggio troposferico e arricchendo potenzialmente le capacità di modellazione climatica e di previsione meteorologica, aprendo la strada a una più ampia applicazione e ricerca nella meteorologia GNSS. Una versione più compatta di tale lavoro è stata pubblicata, in lingua inglese, sulla rivista *Remote Sensing* dagli stessi autori [1].

Questo studio è stato condotto nell'ambito del progetto «PAIN AND GAIN— Positioning and INtelligent Alarms supported by a New Dense GNSS Affordable Infrastructure», progetto numero 2022P8C7ZA – finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU nell'ambito del Bando PRIN 2022 (D.D. 104 del 02/02/2022, Ministero dell'Università e della Ricerca). I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli del Ministero, che non può essere ritenuto responsabile per essi.

### **Riferimenti bibliografici**

1. Dabove, P., & Bagheri, M. (2024). Enhancing Atmospheric Monitoring Capabilities: A Comparison of Low-and High-Cost GNSS Networks for Tropospheric Estimations. *Remote Sensing*, 16(12), 2223.