

## Monitoraggio di eventi meteorici intensi a partire da dati GNSS a supporto di allerte meteo

Ilaria Ferrando, Bianca Federici, Domenico Sguerso

DICCA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale, Università degli Studi di Genova,  
via Montallegro 1 - 16145 Genova, 010 3532421, [ilaria.ferrando@edu.unige.it](mailto:ilaria.ferrando@edu.unige.it)

### Riassunto

Come noto, l'analisi del segnale GNSS (*Global Navigation Satellite System*) può fornire un utile contributo al monitoraggio atmosferico e all'interpretazione di eventi meteorici intensi, sia a posteriori sia in *near real-time*. Gli autori hanno ideato una procedura per la realizzazione di mappe di vapore acqueo potenzialmente precipitabile (*Precipitable Water Vapour*, PWV) a partire da reti di stazioni permanenti GNSS e stazioni meteorologiche esistenti, su area vasta e orograficamente complessa. Tali mappe, ricavate per istanti temporali successivi, rendono possibile il monitoraggio dell'evoluzione spazio-temporale del contenuto di vapore acqueo in atmosfera.

### Abstract

As widely known, GNSS (Global Navigation Satellite System) signal's analysis can contribute to atmospheric monitoring and to interpret severe meteorological events, both a posteriori and in near real-time. The authors have conceived a procedure to produce Precipitable Water Vapour (PWV) maps, in wide and orographically complex area, starting from existing GNSS permanent stations networks and meteorological stations. These maps allow monitoring the temporal and spatial evolution of water vapour in atmosphere.

L'applicazione tipica del GNSS (Global Navigation Satellite System) è il calcolo della posizione di un ricevitore per ottenerne le coordinate. È risaputo che la posizione così ottenuta risente di svariati effetti, dovuti ad esempio agli orologi dei satelliti o del ricevitore, *multipath*, effemeridi, che possono essere notevolmente ridotti o eliminati con opportune accortezze. L'attraversamento dell'atmosfera, in particolare della ionosfera, strato dell'alta atmosfera caratterizzato da ioni ed elettroni liberi, e della troposfera, strato che contiene la quasi totalità del vapore acqueo e dove si forma la maggior parte dei fenomeni meteorologici, è certamente uno tra gli aspetti che influenzano maggiormente la propagazione del segnale GNSS e, di conseguenza, la precisione del posizionamento.

Nei ricevitori doppia frequenza il *bias* ionosferico è tipicamente eliminato mediante combinazione di fasi, la cosiddetta *iono-free combination*, mentre il *bias* troposferico non è modellabile mediante alcuna combinazione. L'effetto troposferico produce un ritardo per ogni osservazione satellite-ricevitore che può essere messo in relazione con il ritardo troposferico zenitale (*Zenith Total Delay*, ZTD) attraverso una opportuna funzione, detta *mapping function*. La stima di ZTD da un lato può migliorare la precisione del posizionamento e dall'altro può risultare utile per lo studio di eventi meteorici particolarmente intensi. Ottenuto dalla compensazione di reti di Stazioni Permanenti GNSS, ZTD può essere scomposto in due componenti:

- idrostatica (*Zenith Hydrostatic Delay*, ZHD), dovuta al mix di gas secchi in atmosfera, è facilmente modellabile con relazioni che coinvolgono pressione, latitudine e quota della SP;
- umida (*Zenith Wet Delay*, ZWD), dovuta al vapore acqueo, è di difficile modellazione, vista l'elevata variabilità spazio-temporale della distribuzione del vapore acqueo stesso; può pertanto essere ottenuto per differenza tra ZTD e ZHD.

La componente umida ZWD è strettamente correlata al contenuto di acqua potenzialmente precipitabile (*Precipitable Water Vapour*, PWV) mediante relazioni che coinvolgono la temperatura.

Le osservazioni GNSS possono essere condotte in qualsiasi condizione meteorologica; ciò rende possibile un monitoraggio atmosferico in continuo, anche durante eventi intensi.

In questo contesto, gli autori hanno ideato una procedura GIS e un modello fisico semplificato per la realizzazione di mappe 2D di PWV ad alta risoluzione spaziale e temporale, su aree vaste e orograficamente complesse, a partire da osservazioni locali GNSS e misure puntuali di pressione (P) e temperatura (T) derivanti da stazioni esistenti. Se differenziate nel tempo tali mappe permettono di valutare l'evoluzione spazio-temporale del contenuto di acqua potenzialmente precipitabile  $\Delta$ PWV. La procedura proposta può essere applicata sia per lo studio a posteriori di eventi accaduti sia per il monitoraggio in *near real-time*.

La forza e originalità della procedura risiedono nell'impiego di infrastrutture esistenti, nel modello fisico semplificato introdotto che permette di mantenere l'indipendenza da modelli meteorologici, nella possibilità di adattarsi a differenti configurazioni delle reti e nella capacità di produrre mappe 2D di  $\Delta$ PWV ad elevata risoluzione spazio-temporale, pur partendo da dati sparsi.

È stato condotto un ampio e completo studio dei diversi interpolatori applicati ai dati puntuali di ZTD, P e T da accoppiare al modello fisico semplificato, che permettono di ottenere la distribuzione spaziale di PWV. Il confronto tra i differenti interpolatori è stato effettuato con particolare attenzione all'individuazione del più adatto per una implementazione veloce ed automatica, in risposta all'esigenza di realizzare una procedura in *near real-time*, a supporto della valutazione delle allerte meteorologiche.

Per valutare l'affidabilità dell'interpolatore ottimale, le mappe interpolate così prodotte sono state validate tramite confronto con i relativi campi derivanti da re-analisi meteorologica, mostrando leggere differenze che non influenzano l'interpretazione del fenomeno nel suo complesso.

È stata quindi analizzata l'evoluzione spazio-temporale di PWV nel corso di diversi eventi meteorici intensi avvenuti sul territorio ligure, al fine di riuscire a cogliere delle caratteristiche che possano essere interpretate come precursori di piogge, da utilizzarsi in sistemi decisionali a supporto delle allerte meteorologiche. Dall'esperienza degli autori, maturata attraverso l'analisi sia di serie storiche 1D sia di evoluzioni 2D di PWV, è emerso che, se da un lato la sua evoluzione temporale può fornire informazioni rilevanti per il monitoraggio del contenuto di vapore acqueo, dall'altro la sola informazione quantitativa non è esaustiva per valutare l'occorrenza di eventi meteorici intensi. Come noto i meccanismi di innesco delle piogge non sono legati solamente al quantitativo di vapore acqueo in atmosfera, motivo per cui il superamento di una soglia si è rivelato un parametro non sufficiente per la descrizione esaustiva di questo tipo di fenomeno, particolarmente intenso e localizzato nel tempo e nello spazio. A partire da un suggerimento del Prof. T. Tsuda, che qui si ringrazia, gli autori hanno ideato un parametro denominato *Heterogeneity Index* (HI) che, in funzione della variabilità spaziale di PWV, è in grado di evidenziare zone e momenti particolarmente critici per eventi meteorologici intensi.

Gli sviluppi futuri prevedono l'applicazione sistematica della procedura a differenti casi studio, con l'obiettivo di analizzarne le performance anche da un punto di vista statistico. Si intende inoltre applicare la procedura in *near real-time*, come contributo a supporto delle allerte meteorologiche, Dal momento che la procedura è indipendente da modelli meteorologici, i dati da essa derivanti potrebbero essere utilizzati come osservazione da integrarsi nei modelli numerici previsionali (*Numerical Weather Prediction*, NWP) o come confronto con essi, per meglio comprendere i fenomeni meteorologici.