

MONITORAGGIO DI EVENTI PRECIPITATIVI IN BANDA L: ANALISI DEL VAPORE INTEGRATO A LIVELLO PUNTUALE E BIDIMENSIONALE

P. Basili¹, S. Bonafoni¹, V. Mattioli¹, P. Ciotti², E. Fionda³

¹Dip. di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Univ. of Perugia, via Duranti 93, 06125 Perugia, Italy; fax 0755853654; tel. 0755853667, basili@diei.unipg.it;

²Dip. di Ingegneria Elettrica, Univ. of L'Aquila, 67040 Poggio di Roio, L'Aquila, Italy; fax 0862434414; tel. +0862434412, p.ciotti@ing.univaq.it

³Fondazione Ugo Bordonì, viale Europa 190 00144 Rome, Italy; Ph +39-06-54802118, fax +39-06-54804401, E-mail: ermanno@fub.it

Abstract

This paper considers the monitoring of integrated precipitable water vapour (IPWV) exploiting measurements of Global Positioning System (GPS) ground-based receivers with the purpose of analysing the behaviour of such parameter during precipitation events.

A statistical characterisation of atmospheric water vapour content retrieved by GPS at a single receiver station and the analysis of specific rainy events will be proposed to improve the knowledge of water vapour field of precipitation systems.

On the basis of such experimental assessment of IPWV retrieval by GPS in the presence of rain, maps of IPWV have been produced in the North of Italy during a flood event (October 13 to 16, 2000) exploiting the Kriging interpolator. Concerning the analysed event, Meteosat images have been considered for a qualitative analysis of the produced maps and the availability of radiosonde observations in the region of interest has allowed us to compute IPWV for a quantitative comparison.

INTRODUZIONE

In questo lavoro si vuole analizzare il comportamento del vapor d'acqua atmosferico durante eventi precipitativi attraverso l'utilizzo di una rete di ricevitori GPS posti a terra.

Impiegando tali ricevitori, operanti in banda L, il segnale elettromagnetico non risente degli effetti di attenuazione e diffusione delle particelle precipitative e quindi la stima dell'eccesso di percorso elettromagnetico totale (ZTD), ottenibile dalla elaborazione degli osservabili GPS, può essere trasformato direttamente in contenuto integrato di vapor d'acqua precipitabile (IPWV) [1,2].

Questo tipo di analisi risulta importante per conoscere e caratterizzare il campo di vapore in presenza di precipitazioni con sufficiente risoluzione temporale, essendo il vapor d'acqua un parametro atmosferico altamente variabile. Infatti le misure GPS sono fornite ogni 15 minuti e inoltre non risentono degli effetti dovuti alla pioggia, situazione che invece rende inattendibili le misure dei radiometri a microonde [3]. La produzione di valori sperimentali è stata condotta sia a livello puntuale, ossia in corrispondenza di una specifica stazione GPS, sia a livello bidimensionale, producendo mappe di vapore su una zona estesa del Nord Italia comprendente una rete di ricevitori GPS.

A livello puntuale è stata presa in considerazione la stazione GPS di Genova, in cui era disponibile anche un ricevitore pluviometrico, e sono stati individuati gli episodi di pioggia e l'intensità di precipitazione verificatisi in un periodo di circa tre anni di misure GPS (dal 1999 al 2001). Accanto a questa analisi statistica per una singola stazione, è stato selezionato

un periodo di pioggia particolarmente intensa (13-16 Ottobre 2000), a cui è seguito l'evento alluvionale verificatosi nel Nord Italia, e sono state prodotte mappe di IPWV in tale area. La attendibilità di tali mappe bidimensionali, disponibili con la stessa risoluzione temporale di 15 minuti, è stata valutata effettuando un confronto qualitativo con contemporanee immagini Meteosat nell'infrarosso e un confronto quantitativo con misure ottenute da radiosondaggi.

MISURE DI IPWV A GENOVA DURANTE EVENTI DI PIOGGIA

L'elaborazione dei dati GPS su Genova, in cui era contemporaneamente presente anche un pluviometro in grado di fornire dati ogni 30 minuti, si riferisce al periodo compreso tra il 1 gennaio 1999 al 3 ottobre 2001 ed è stata effettuata con il software GIPSY-OASIS II con risoluzione temporale di 15 minuti.

Tale procedura consente di stimare il ritardo di propagazione totale allo zenit (ZTD), somma della componente dovuta al momento di dipolo permanente del vapor d'acqua e di quella legata al momento di dipolo indotto dei gas atmosferici. Quest'ultimo contributo può essere stimato mediante modelli teorici che fanno uso di valori di pressione e temperatura al suolo [4]: è quindi possibile ottenere direttamente dalle misure GPS il contenuto di vapor d'acqua nell'atmosfera in corrispondenza della posizione del ricevitore [5,6].

Sulla base delle misure pluviometriche, è stata effettuata una classificazione degli eventi in due passi: prima, tali eventi sono stati classificati in base alla durata, poi ciascuna classe è stata ulteriormente suddivisa in base alla intensità di precipitazione. Ad ogni passo è stata analizzata l'evoluzione temporale del vapore integrato prima e durante l'evento.

Nella figura 1 sono riportati degli esempi di classificazione in base alla durata e alla intensità di precipitazione per episodi di pioggia statisticamente significativi per la città di Genova nei tre anni di dati disponibili.

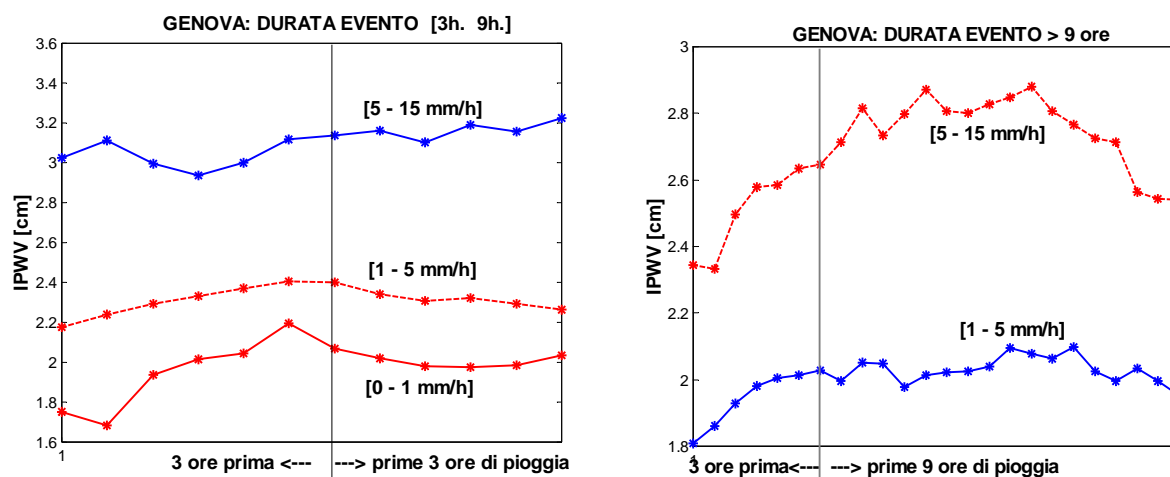


Figura 1: Genova (1 gennaio 1999 - 3 ottobre 2001). Andamento dell'IPWV medio per eventi piovosi classificati in base alla durata e alla intensità di precipitazione.

Il comportamento del vapore ha mostrato una generale crescita del livello di IPWV prima della pioggia e un sostanziale andamento costante durante l'evento, con la tendenza a decrescere rapidamente in corrispondenza della fine della precipitazione.

Analizzando poi gli eventi singolarmente, si è visto come picchi di vapore si presentino appena prima di picchi di intensità di pioggia: ciò è evidente nella figura 2, dove viene riportato un episodio significativo che conferma l'indagine effettuata a livello statistico.

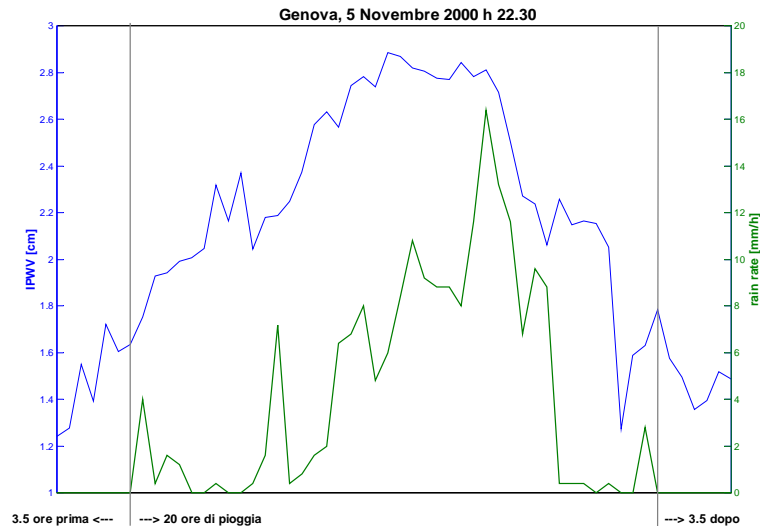


Figura 2: Genova. Andamento dell'IPWV (curva sopra) e dell'intensità di precipitazione (curva sotto) per l'evento di pioggia del 5 novembre 2000 alle ore 22.30.

MAPPE DI VAPORE NEL NORD ITALIA

La produzione di mappe di vapore nel Nord Italia, in un caso di pioggia particolarmente intensa (13-16 Ottobre 2000) a cui è seguito un evento alluvionale, è stata effettuata adottando la tecnica di interpolazione statistica di Kriging [7], a partire dalla disponibilità dei dati di ZTD forniti da una rete di circa quindici ricevitori GPS gestiti dall'ASI. La attendibilità di tali mappe bidimensionali, disponibili con elevata risoluzione temporale, è stata valutata effettuando un confronto qualitativo con contemporanee immagini Meteosat nell'infrarosso, come mostrato nella figura 3. Tale confronto qualitativo può fornire inoltre indicazioni sul numero e sulla distribuzione dei ricevitori GPS necessari ad accrescere la risoluzione spaziale della mappa. Infine è stato effettuato un confronto quantitativo dei valori di IPWV da GPS interpolati con quelli calcolati da radiosondaggi disponibili contemporaneamente in diversi siti del Nord Italia, confronto che ha confermato la validità del processo di interpolazione di Kriging nella produzione di mappe bidimensionali di parametri atmosferici, come riportato nella tabella 1.

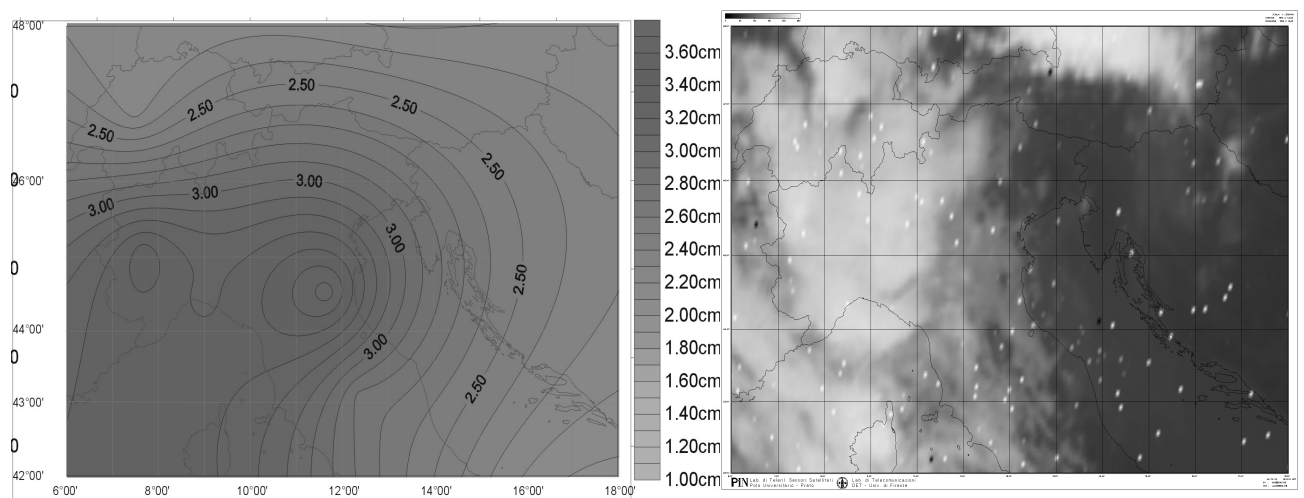


Figura 3: Nord Italia. Mappa di IPWV per l'evento del 14 Ottobre 2000 alle ore 12 e confronto con l'Immagine Meteosat IR.

Tabella 1: Nord Italia. Confronto tra valori di IPWV da GPS interpolati con quelli calcolati da radiosondaggi disponibili contemporaneamente in diversi siti compresi nella zona mappata.

12-17 OTTOBRE 2000: $IPWV_{RAOB} - IPWV_{MAPPA}$				
stazioni	N° camp	Errore RMS [cm]	Bias [cm]	Dev. st. [cm]
UDINE	17	0.309	0.085	0.306
MILANO	18	0.270	0.182	0.205
BOLOGNA	11	0.336	-0.087	0.340
ROMA	17	0.389	-0.225	0.328
CAGLIARI	21	0.276	-0.055	0.278
PAYERNE	11	0.144	-0.046	0.143
VIENNA	10	0.283	0.069	0.289
MONACO	11	0.332	-0.261	0.215

Da questa analisi bidimensionale si evince come una rete GPS più fitta potrebbe essere utile per evidenziare cambiamenti di vapore su piccola scala, e ciò porterebbe presumibilmente anche ad una riduzione dell'errore in corrispondenza delle stazioni RAOB.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il GeoDAF, gestito dall'ASI, per la disponibilità dei dati GPS e l'ing. Riccardo Ferrara per il contributo nella gestione e archiviazione dati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Bevis, S. Businger, T.A. Herring, C. Rocken, R.A. Anthes, and R. H. Ware, "GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapour using the Global Positioning System," *J. Geophys. Res.*, vol. 97, pp. 787-801, October 1992.
- [2] M. Bevis, S. Businger, S. Chiswell, T.A. Herring, R.A. Anthes, C. Rocken and R.H. Ware, "GPS meteorology: mapping zenith wet delays onto precipitable water," *Journal of Applied Meteorology*, vol. 33, pp.379-386, March 1994.
- [3] Liang Gu, L. Hengchi, L. Yan, S. Zhilai, and C. Wei, "Measurements of plentiful water vapor and cloud liquid water around precipitation area," in *Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Earth's Surface and Atmosphere*, P. Pampaloni/S Paloscia Eds., VSP Science Press, pp. 165-172, Utrecht, 2000.
- [4] J. Saastamoinen, "Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites," in *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*, vol. 15, S.W. Henriksen et al., Eds., Geophysics Monograph Series, A.G.U., Washington, D.C., 1972.
- [5] P. Basili, S. Bonafoni, R. Ferrara, P. Ciotti, E. Fionda and R. Ambrosini, "Atmospheric water vapour retrieval by means of both a GPS network and a microwave radiometer during an experimental campaign at Cagliari (Italy) in 1999", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 39, no. 11, pp. 2436-2443, November 2001
- [6] M. Bevis, S. Businger, S. Chiswell, T.A. Herring, R.A. Anthes, C. Rocken, and R.H. Ware, "GPS meteorology: mapping zenith wet delays onto precipitable water," *Journal of Applied Meteorology*, vol. 33, pp.379-386, March 1994.
- [7] E. H. Isaaks, R. M. Srivastava, *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989