

# ASSIMILAZIONE DATI DI MISURE GPS A TERRA E RADIOMETRICHE DA SATELLITE PER LA PRODUZIONE DI MAPPE DI VAPOR D'ACQUA ATMOSFERICO

**P. Basili, S. Bonafoni, V. Mattioli**

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Univ. di Perugia,  
via Duranti 93 06125 Perugia  
[basili@diei.unipg.it](mailto:basili@diei.unipg.it), [bonafoni@diei.unipg.it](mailto:bonafoni@diei.unipg.it), [mattioli@diei.unipg.it](mailto:mattioli@diei.unipg.it)

**P. Ciotti, F.S. Marzano**

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Univ. dell'Aquila,  
67040 Poggio di Roio, L'Aquila  
[p.ciotti@ing.univaq.it](mailto:p.ciotti@ing.univaq.it), [marzano@ing.univaq.it](mailto:marzano@ing.univaq.it)

**N. Pierdicca, L. Pulvirenti, G. d'Auria**

Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Univ. di Roma "La Sapienza",  
via Eudossiana 18, 00184 Roma  
[nazzareno.pierdicca@uniroma1.it](mailto:nazzareno.pierdicca@uniroma1.it), [pulvirenti@die.uniroma1.it](mailto:pulvirenti@die.uniroma1.it), [dauria@die.uniroma1.it](mailto:dauria@die.uniroma1.it)

## Abstract

*This paper concerns the remote sensing of atmospheric integrated precipitable water vapour (IPWV) using a Global Positioning System network and the Special Sensor Microwave Imager Radiometer in the Mediterranean area. A preliminary attempt to develop a Data Fusion method of the IPWV retrieval from the two different instruments is proposed. A qualitative comparison of IPWV maps from such integration technique with Meteosat images (IR and water vapour channel) is reported, and a quantitative assessment between IPWV derived from radiosonde observations and from mapped values has been performed.*

## INTRODUZIONE

Con lo sviluppo degli strumenti e delle tecniche di telerilevamento a microonde ha assunto un rilievo notevole la capacità di combinare le misure ottenute dai differenti sensori disponibili (e più in generale da sorgenti di diversa natura). L'idea alla base delle tecniche di Data Fusion è di integrare i dati di più strumenti per migliorare le stime e determinare le caratteristiche dell'ambiente osservato con ricchezza di informazioni, difficilmente ottenibili con l'impiego di un singolo sensore.

Negli ultimi anni, accanto a tecniche più consolidate sia da terra sia da satellite, ai fini del telerilevamento dell'atmosfera si è affermato l'impiego del Global Positioning System (GPS) per la stima del contenuto integrato di vapor d'acqua atmosferico IPWV (Integrated Precipitable Water Vapour).

L'analisi del contenuto di vapore nell'atmosfera si è rivelata importante in vari settori: nel campo delle telecomunicazioni spaziali (per la valutazione degli effetti dell'atmosfera nella propagazione dei segnali a microonde nei collegamenti radio), nello sviluppo di modelli di previsione meteorologica e nello studio e monitoraggio delle variazioni del clima e della composizione atmosferica.

L'IPWV da satellite viene calcolato applicando opportuni algoritmi di inversione alle misure di temperature di brillanza  $T_B$  effettuate da radiometri a microonde, mentre da GPS può essere ottenuto a partire dalla stima del ritardo di propagazione ZTD (Zenith Total Delay) subito dal segnale GPS nel passaggio attraverso l'atmosfera.

In questo lavoro si vuole operare un primo tentativo per la combinazione fra le misure fornite dalla rete italiana di ricevitori GPS e dal radiometro Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) a bordo delle piattaforme satellitari DMSP.

In generale la combinazione di dati ottenuti da più strumenti comporta la presenza di difficoltà rispetto all'impiego di un singolo sensore legate alle differenti caratteristiche in termini di risoluzione spaziale e temporale degli strumenti impiegati. In particolare per le due tecniche utilizzate, le serie temporali da GPS possono essere calcolate ogni quindici minuti, ma si riferiscono alle posizioni specifiche dei ricevitori, mentre le immagini SSM/I da satellite sono relative a una zona estesa (con risoluzione dell'ordine delle decine di chilometri) ma sono disponibili solo in corrispondenza dei passaggi del satellite. Attualmente inoltre i ricevitori GPS disponibili si trovano su terra mentre le stime da satellite risultano attendibili solo su mare.

In questo studio viene proposto di integrare, in ingresso al processo geostatistico di interpolazione di Kriging, i valori di vapor d'acqua su terra ottenuti dai dati GPS con i valori ottenuti su mare dalle misure SSM/I da satellite, per la produzione di mappe bidimensionali di IPWV.

Le mappe risultanti sono in grado di identificare la distribuzione e le variazioni del vapore in una regione estesa, come ad esempio l'Italia e l'area del Mediterraneo, in cui sono presenti ampie superfici di terra e mare.

## STIMA DEL CONTENUTO DI VAPORE IPWV DA MISURE GPS

Le misure GPS forniscono la stima allo zenit del ritardo di propagazione del segnale radio in corrispondenza del ricevitore GPS.

Lo ZTD è somma della componente dovuta al momento di dipolo permanente del vapor d'acqua (ZWD) e di quella legata al momento di dipolo indotto dei gas atmosferici (ZHD):

$$ZTD = ZWD + ZHD \quad (1)$$

quest'ultimo contributo può essere stimato mediante modelli teorici [1] che fanno uso del valore della pressione atmosferica al suolo: sottraendo quindi lo ZHD al valore totale si ottiene la componente ZWD (che risulta invece difficile da modellare data la variabilità del parametro). Da questa, applicando il coefficiente di conversione  $\pi$  [2], è possibile ottenere la stima del contenuto di vapor d'acqua nell'atmosfera nella posizione del ricevitore GPS.

$$IPWV = \pi ZWD \quad (2)$$

Il parametro  $\pi$  è funzione di varie costanti fisiche e della temperatura media  $T_m$  dell'atmosfera, che può essere calcolata dalla relazione:

$$T_m = m T_s + c \text{ [K]} \quad m = 0.7162 \quad c = 71.7054 \quad (3)$$

dove  $T_s$  è il valore della temperatura atmosferica alla superficie mentre i coefficienti  $c$  ed  $m$  sono stati ottenuti per regressione lineare su un dataset di radiosondaggi italiani.

In questo lavoro sono stati utilizzati i dati dell'archivio della rete GPS GeoDAF relativi a 10 ricevitori GPS per cui si avevano a disposizione dati superficiali di temperatura e pressione misurati alle ore sinottiche da stazioni meteorologiche collocate.

## STIMA DEL CONTENUTO DI VAPORE IPWV DA MISURE SSM/I

Sfruttando la disponibilità di canali nella banda di assorbimento del vapor d'acqua e nelle finestre atmosferiche e tenendo in considerazione la relazione lineare che, in assenza di scattering, esiste fra i valori di opacità atmosferica e i valori integrati di vapor d'acqua, è possibile ottenere le stime di IPWV dalle misure di temperatura di brillantezza alle differenti frequenze e polarizzazioni del radiometro SSM/I.

In questo lavoro è stato utilizzato l'algoritmo seguente, proposto da Gerard e Eymard [3]:

$$IPWV = 236.552 - 14.419 \ln(280 - T_{19v}) - 24.667 \ln(280 - T_{19h}) - 26.995 \ln(280 - T_{22v}) - 8.057 \ln(280 - T_{37v}) + 24.339 \ln(280 - T_{37h}) \quad (4)$$

In questo modo viene fornita direttamente un'immagine dell'IPWV nella swath del sensore. In particolare sono state utilizzate le immagini raccolte dal sensore SSM/I a bordo delle due piattaforme F13 e F14 in corrispondenza delle ore sinottiche, per un totale di una o due immagini giornaliere.

## APPROCCIO DI DATA FUSION

Risultati preliminari ottenuti in precedenti confronti [4,5] hanno mostrato un buon accordo fra le stime ottenute con tecniche diverse dagli strumenti GPS e SSM/I, tale da suggerire un tentativo di Data Fusion, cioè di combinazione dei due tipi di dati. In questo lavoro si propone di integrare i valori di vapor d'acqua su terra ottenuti in corrispondenza dei ricevitori GPS, con i valori ottenuti su mare dalle misure da satellite.

Più in dettaglio, i valori di IPWV dalle misure GPS e dalle acquisizioni SSM/I sono stati utilizzati come dataset di ingresso di una procedura geostatistica di interpolazione, il metodo di Kriging [6,7], in grado di produrre campioni equispaziati a partire da una griglia non regolare di osservazioni note. In questo lavoro la risoluzione scelta per la griglia è di 20 km in latitudine e longitudine.

Le mappe di vapore sono state prodotte in corrispondenza dei passaggi SSM/I temporalmente più vicini alle ore sinottiche, per i mesi di Gennaio, Aprile, Luglio e Settembre, per un insieme complessivo di 45 mappe. I giorni selezionati sono rappresentativi della variabilità stagionale del vapor d'acqua e di differenti condizioni meteorologiche, escludendo situazioni con presenza di fenomeni precipitativi.

Per evidenziare l'attendibilità dei risultati ottenuti, è stato eseguito un confronto qualitativo in cui sono state affiancate alle mappe di IPWV le corrispondenti immagini del satellite Meteosat per il canale IR e quello del vapor d'acqua (quando disponibile).

La distribuzione spaziale di vapore integrato così ottenuta per l'area del Mediterraneo è risultata in buon accordo con la situazione meteorologica mostrata contemporaneamente dal satellite Meteosat, come evidenziato in fig.1 relativa a osservazioni effettuate il 17 luglio 2001, alle ore 6:00 GMT.

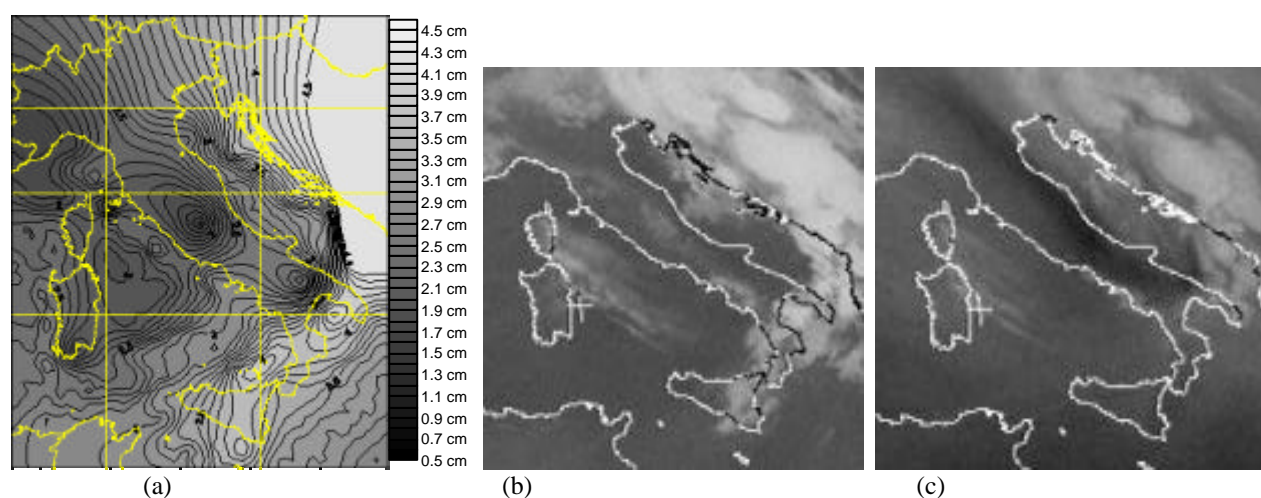


Fig. 1.a Data fusion di IPWV da 10 stazioni GPS su terra e dei valori IPWV\_SSM/I su mare, per il 17 Luglio 2001 alle 6:00 GMT. La mappa di IPWV è confrontata con le corrispondenti immagini Meteosat IR (Fig.1.b) e nel canale del vapor d'acqua (Fig. 1.c).

Si può osservare come la presenza di valori elevati di IPWV identifichi il fronte nuvoloso nelle corrispondenti immagini Meteosat. Un'analisi a livello quantitativo, invece, è stata effettuata comparando i valori di IPWV delle mappe con le stime ottenute dai radiosondaggi delle stazioni

italiane disponibili in corrispondenza dei passaggi del satellite. I risultati del confronto sono riportati in fig. 2.a insieme ai valori di bias e deviazione standard, mentre la posizione delle stazioni di radiosondaggio e dei ricevitori GPS è evidenziata in fig. 2.b.

La presenza di un bias piccolo ma non trascurabile è da imputare principalmente a un imperfetto screening di alcuni pixel SSM/I contaminati dalle zone di costa, migliorabile incrementando i flag di costa disponibili nei dati SSM/I.

Un ulteriore miglioramento dell'interpolazione può essere ottenuto utilizzando tecniche di Kriging più sofisticate (ad esempio, Universal Kriging [7]).

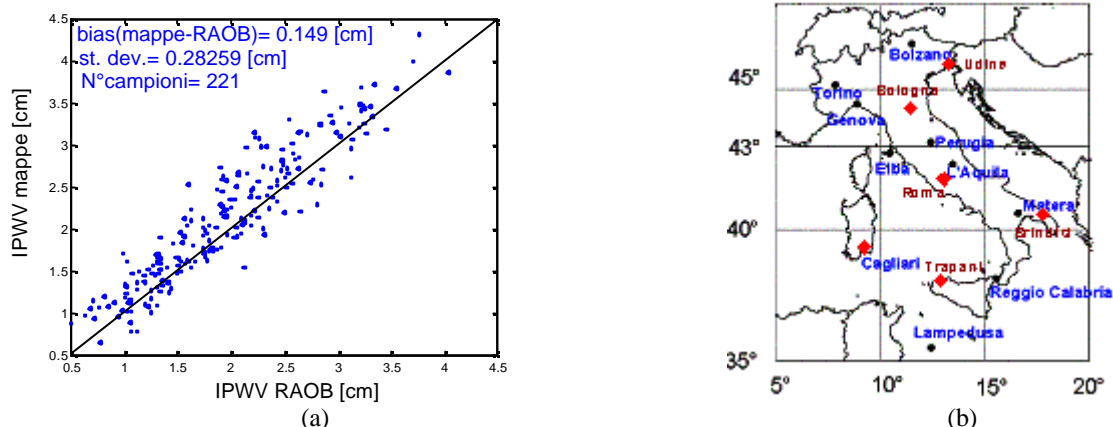


Fig. 2.a Scatterplot dei valori di IPWV ottenuti dalle mappe rispetto ai corrispondenti valori calcolati dai dati di radiosondaggio per i giorni selezionati. Fig. 2.b Posizione geografica delle stazioni RAOB e dei ricevitori GPS.

## RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il GeoDAF (ASI) per la disponibilità dei dati GPS, il sig. Fernando Consalvi della FUB per la reperibilità dei dati meteorologici e l'ing. Riccardo Ferrara per il suo contributo nella gestione ed archiviazione dati.

## Bibliografia

- [1] J. Saastamoinen, "Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites", in the Use of Artificial Satellites for Geodesy. *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 15, pp. 247- 251, 1972.
- [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] E. Gerard, L. Eymard, "Remote Sensing of integrated cloud liquid water: Development of algorithms and quality control", *Radio Science*, vol. 33, pp. 433-447, March-April 1998.
- [4] P. Basili, S. Bonafoni, V. Mattioli, P. Ciotti, F.S. Marzano, G. d'Auria, N. Pierdicca, and L. Pulvirenti "Comparison of water vapour measurements by GPS receivers and microwave radiometers and possible integration approach", *Specialist Conference on Microwave Remote Sensing 2001*, pp. 132-133, Boulder, Colorado, USA, 5-9 November, 2001.
- [5] P. Basili, S. Bonafoni, V. Mattioli, P. Ciotti, F.S. Marzano, G. d'Auria, N. Pierdicca and L. Pulvirenti, "Mapping of precipitable water vapour by integrating measurements of ground-based GPS receivers and satellite-based microwave radiometers", *Proc. of IGARSS 2002*, Toronto, Canada, 24-28 June, 2002.
- [6] D. G. Krige, "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand," *J. of Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, vol. 52, pp. 119-139, 1951.
- [7] N. A. C. Cressie, *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley & Sons, 1993.