

# LA PRECIPITAZIONE DA SATELLITE: UN PRODOTTO ALTERNATIVO PER LE APPLICAZIONI AGROMETEOROLOGICHE DI MONITORAGGIO TERRITORIALE

## PRECIPITATION ESTIMATION FROM SATELLITE: AN ALTERNATIVE PRODUCT FOR AGROMETEOROLOGICAL APPLICATIONS

Federico Porcù<sup>1</sup>, Davide Capacci<sup>1</sup>, Franco Prodi<sup>1,2</sup>, Stefano Dietrich<sup>3</sup> e Elena Santorelli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>: Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara via Paradiso 12 - 44100 Ferrara

<sup>2</sup>: ISAC - C.N.R. Sede di Bologna, via Gobetti 101, - 40129 Bologna

<sup>3</sup>: ISAC - C.N.R. Sede di Roma, via Fosso del Cavaliere 100, - 00133 Roma

\* Corresponding author: Tel. +39-532-974 364, fax +39-532-974 210 e-mail: [porcu@fe.infn.it](mailto:porcu@fe.infn.it)

*Ricevuto 3 aprile 2005, accettato 7 dicembre 2005*

### Riassunto

La piena operatività del sensore SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager) in orbita sul METEOSAT-8 (Meteosat Second Generation, MSG) ha aperto nuove possibilità per il monitoraggio della precipitazione dallo spazio. Molte tecniche sono allo studio per sfruttare pienamente il nuovo dataset disponibile rivolgendosi a differenti classi di possibili utilizzatori, ciascuna con particolari specifiche richieste per il prodotto di stima di precipitazione da satellite. Le applicazioni per l'agrometeorologia spaziano dalla previsione di intense precipitazioni distruttive (grandine) al continuo monitoraggio anche di leggere precipitazioni. In particolare, la stima dei tempi di bagnatura fogliare richiede di poter monitorare anche livelli di precipitazione bassi, comparabili con la rugiada, che di solito non sono rilevanti per le altre applicazioni delle mappe di precipitazione da satellite, ma che hanno notevole impatto sullo stato della superficie fogliare.

Per un evento di precipitazione che ha interessato il Friuli nel maggio del 2004 si sono elaborati i dati del radar di Fossalon di Grado e del sensore SEVIRI ottenendo mappe di precipitazione attraverso uno schema a rete neurale. Il confronto tra le mappe radar e satellite viene qui effettuato al fine di fornire un'alternativa alla disponibilità di stima ad alta risoluzione spazio-temporale prodotta dai radar polarimetrici laddove essi non siano disponibili o sufficientemente accurati. I risultati ottenuti nella classificazione pioggia-non pioggia possono essere considerati accettabili (ETS 30% circa) rendendo tale tecnica utilizzabile da sola o in sinergia con le misure radar.

**Parole chiave:** telerilevamento, precipitazione, bagnatura fogliare.

### Abstract

*The launch of SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager), operational since February 2004, on board the European geosynchronous satellite METEOSAT-8 (Meteosat Second Generation, MSG) opens new perspectives for precipitation monitoring from space. Several techniques are under development to fully exploit the new dataset now available, towards different classes of users with different precipitation requirements. The applications for agrometeorology span from the heavy precipitation (hail) forecasting to the time continuous monitoring of light rainfall. In particular, the estimation of the leaf wetness duration requires a rainfall product reliable also for very low rainrates, of the same order of dew formation amount, usually not crucial for other applications, but greatly impacting the leaf wetness.*

*For one precipitating event occurred in Friuli on the 9 May 2004, the radar data of Fossalon and of the sensor SEVIRI are processed in order to obtain precipitation maps by mean of a neural network scheme. The comparison between radar and satellite rainfall maps aims at providing an alternative data source to the high spatial and temporal radar maps, when those are not available or considered not reliable. Results in rain-no rain classification at pixel level show acceptable ETS values (about 30%) making this satellite-based technique usable stand alone or in synergy with radar measurements.*

**Key words:** remote sensing, rainfall, leaf wetness.

### Introduzione

La precipitazione è una delle variabili principali che si rientrano in un numero molto elevato di applicazioni relative ai campi più disparati, sia delle scienze geofisiche ed ambientali, sia delle discipline che si occupano del monitoraggio e della gestione del territorio. La sua misura, tuttavia, è estremamente problematica a molte

delle scale spazio temporali di interesse: infatti la breve scala di decorrelazione spazio-temporale del fenomeno pone problemi di campionamento tali da rendere spesso i dati disponibili scarsamente significativi (Rubel, 1996).

L'unico strumento che effettivamente misura la precipitazione al suolo è il pluviometro, che raccoglie le gocce di pioggia che cadono sull'area utile, di solito corrispondente a qualche decina di centimetri quadrati. Al fine di campionare la precipitazione sull'area di interesse, viene in genere creata una rete di strumenti ritenuta sufficiente a generare, tramite tecniche di interpolazione, una mappa spazialmente continua. Troppo spesso, però, la distanza tra i pluviometri delle reti operative risulta superiore alla lunghezza di decorrelazione tipica dei fenomeni di precipitazione alle nostre latitudini, all'incirca 10 km (Bacchi *et al.*, 1996). Inoltre, diversi fattori possono danneggiare la misura del singolo strumento (soprattutto considerando che esso in genere è gestito in maniera automatica e non riceve costante manutenzione): la presenza di vento, l'occlusione parziale o totale dell'imbuto raccogliatore, le eventuali schermature dovute a strutture circostanti.

Negli ultimi anni però la presenza sul territorio dei radar meteorologici polarimetrici ha reso disponibili mappe spazialmente continue di precipitazione con maglie di dimensioni inferiori al chilometro quadrato, ad intervalli di tempo dell'ordine della decina di minuti. Anche il dato radar, tuttavia, soffre di notevoli limitazioni, e l'attendibilità delle misure, dipendendo da vari fattori, può essere estremamente variabile. Soprattutto il radar singolo, non in rete cioè con altri strumenti che possano calibrarlo e correggerlo, è soggetto ad errori di svariata natura. Inoltre, vi è il problema del monitoraggio di aree montane, in cui il volume riflettente scandito dal fascio radar può trovarsi a diversi chilometri da terra (Borga e Tonelli, 2000).

In tale scenario si inserisce la stima della precipitazione dallo spazio. Sebbene l'osservazione satellitare offra un dato indipendente dalla fisiografia del suolo, e quindi non soggetto alle limitazioni di radar e pluviometri, tuttavia il dato stesso è, in genere, debolmente correlato (dal punto di vista fisico) alla effettiva precipitazione al suolo, soprattutto nel caso si utilizzino dati acquisiti da sensori nel visibile-infrarosso. Vista, però, l'enorme potenzialità in termini di monitoraggio del territorio della stima di precipitazione da satellite, la comunità scientifica internazionale persegue lo sviluppo di tecniche che consentano la stima della precipitazione al suolo a partire dalla radiazione emessa dalla sommità delle nubi, che giunge al sensore in orbita.

Gli approcci classici, sviluppati dagli anni '70, si basano prevalentemente su tecniche statistiche, che stabiliscono relazioni regressive tra proprietà radiative e morfologiche delle nubi e la precipitazione al suolo (Kidder e Vonder Haar, 1996). I più recenti sviluppi, invece, sfruttano le possibilità di retrieval di grandezze fisiche in relazione diretta con la precipitazione, che i sensori dell'ultima generazione consentono di ottenere (Levizzani, 2003).

Risulta conveniente, in questo panorama diversificato di strumenti e metodi per la misura della precipitazione, valutare accuratamente quale sia la soluzione più adatta, nel momento in cui si pianifica un servizio, all'interno del quale la fruizione di dati di precipitazione debba soddisfare specifici requisiti di costi, accuratezza, copertura, continuità etc. Un recente interessante esempio ri-

guarda il monitoraggio e la previsione delle infezioni da *Plasmopara viticola* (Cicogna *et al.*, 2005).

In tale contesto, il dato di precipitazione è funzionale alla stima della durata della bagnatura fogliare, variabile fondamentale nella modellistica previsionale, in quanto la presenza di una pellicola d'acqua sulle foglie, in concomitanza di particolari condizioni meteorologiche, alimenta lo sviluppo dei patogeni fungiformi. Si comprende come, in tale contesto, più dell'accuratezza della misura quantitativa della precipitazione, sia fondamentale l'esatta descrizione spazio-temporale dell'informazione pioggia-non pioggia; tale spazializzazione del dato, però, non è assicurata dalle reti pluviometriche. Inoltre, la soglia pioggia-non pioggia deve essere posta ai valori minimi che generino la bagnatura fogliare, qualche decimo di mm/h, valori che possono far preferire la stima da satellite all'infrarosso e a quella del radar al suolo che, a tali livelli, accusa i problemi legati al basso rapporto segnale-rumore.

Ecco allora che, nei metodi puntuali per la stima della durata di bagnatura fogliare (Dalla Marta *et al.*, 2005) può essere ipotizzato l'uso di dati di precipitazione da satellite, affinché si renda tale prodotto adatto al monitoraggio di un vasto territorio.

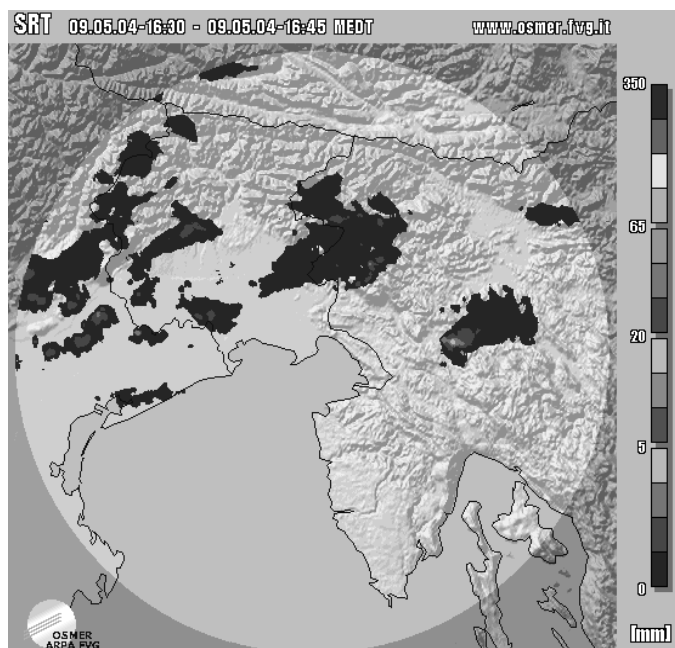
Per questa ed altre applicazioni simili, si propone in questo lavoro una tecnica basata sull'utilizzo dei dati del sensore SEVIRI, ospitato a bordo del nuovo satellite meteorologico europeo MSG (operativo dal febbraio 2004), il quale sarà uno strumento fondamentale per la stima operativa da satellite nei prossimi anni

### Dati ed algoritmi

Per questo studio pilota, è stato scelto un evento di precipitazione intensa occorso sul Friuli Venezia Giulia il giorno 9 maggio 2004 dalle ore 6.00 UTC alle ore 17.45 UTC. Il radar meteorologico di Fossalon di Grado (Becchini *et al.*, 2003) dell'Osservatorio Meteorologico Regionale del Friuli Venezia Giulia (OSMER-FVG), fornisce mappe di precipitazione al suolo ad intervalli di 15 minuti e ad una risoluzione spaziale di 500 metri. In figura 1 è riportata la mappa di precipitazione radar relativa ad un istante di osservazione, ottenuta utilizzando, pixel per pixel, l'elevazione radar più bassa non affetta da orografia.

I dati del sensore SEVIRI sono anch'essi disponibili ogni 15 minuti e consistono in misurazioni di radianza in 11 bande spettrali dal visibile all'infrarosso termico, con una risoluzione spaziale di circa 3x4 chilometri. Le mappe radar sono state proiettate sulla griglia spaziale del SEVIRI: la figura 2 mostra l'effetto della proiezione e rappresenta la mappa di figura 1 sulla griglia satellitare. Il data set di lavoro consiste in 48 mappe radar in coincidenza spaziale e temporale (entro due minuti) con 48 set di immagini satellitari nei diversi canali. Questo tipo di data set in cui ad ogni pixel satellitare è associato un valore di precipitazione noto a priori è denominato "supervised".

L'algoritmo di classificazione in classi di pioggia e no-pioggia è basato sulle reti neurali artificiali, e dunque su un approccio puramente statistico. La procedura completa è stata sviluppata in collaborazione col servizio



**Fig. 1** - Mappa di precipitazione dal radar di Fossalon di Grado per il giorno 09-05-2004 alle ore 16:45 UTC

**Fig. 1** – Precipitation map from the Fossalon di Grado radar on 09/05/2004 at 16:45 UTC

meteorologico inglese (Met Office) utilizzando i dati provenienti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), montato a bordo dei satelliti polari Aqua e Terra (nei canali simili a quelli del SEVIRI) e validato sulle Isole Britanniche, per situazioni meteorologiche invernali (Capacci e Conway, 2005). La procedura prevede due fasi: la fase di addestramento delle rete neurale (training) e la fase di controllo delle performances (testing). Partendo dalle 48 osservazioni disponibili, è stato costruito un insieme di circa 105.000 pixels (con un rapporto tra pixels di no pioggia e pixels di pioggia di circa 9) che è stato suddiviso in modo random in due sottoinsiemi: uno utilizzato per la fase di addestramento (training data set) e l'altro utilizzato per la fase di controllo (testing data set).

La rete neurale è formata da nodi di ingresso, attraverso i quali si acquisiscono i dati satellitari nei vari canali, nodi nascosti ed un nodo di uscita. I nodi sono connessi tra loro da valori numerici denominati "pesi". Nella fase di training, la rete neurale viene addestrata sul training data set, ed algoritmi basati sulla minimizzazione della funzione errore (Bishop, 1995) aggiustano i pesi delle rete neurale, in modo da riprodurre al meglio la classificazione pioggia-non pioggia nota a priori (dal radar) ed inserita nel nodo di uscita. Una volta determinati i pesi, la rete neurale viene applicata al testing data set. In questo caso il nodo di uscita fornisce la classificazione pioggia-non pioggia, che può essere confrontata con la classificazione pioggia-non pioggia del radar.

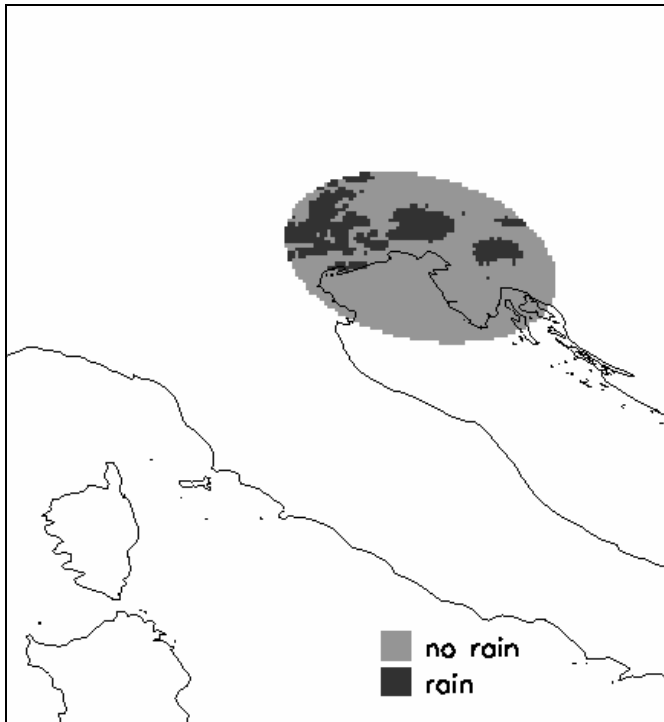
Precedenti studi (Capacci and Conway, 2005) suggeriscono l'utilizzo di soli sei nodi di ingresso in cui inserire le radianze di sei canali SEVIRI (0.6, 1.6, 3.9, 8.5, 10, 11  $\mu$ m). Le prestazioni del classificatore pioggia-non

pioggia così ottenuto sono valutate tramite il parametro ETS (Equitable Threat Score), che si ricava confrontando mappa stimata (da satellite) e mappa di "verità" (da radar). L'ETS è il rapporto tra il numero di pixels correttamente assegnati come precipitanti, ed il numero dei pixels in cui in almeno una delle mappe si è trovata precipitazione, dopo aver sottratto sia al denominatore che al numeratore il numero di pixels correttamente assegnati come precipitanti da una procedura random (Ebert e McBride, 2000). Tale indice varia da 1 a valori negativi, maggiori di -1 (il valore minimo ottenuto dipende dal rapporto tra pixels di pioggia e non pioggia): i valori positivi indicano una stima migliore di quella ottenuta con una procedura casuale, e per ETS=1 si ha perfetta classificazione.

Tali valori vengono qui moltiplicati per 100 allo scopo di ottenere valori numerici percentuali. Visto l'obiettivo ultimo del lavoro, cioè produrre mappe di precipitazione per la stima del tempo di bagnatura fogliare, è stata scelta una soglia di precipitazione piuttosto bassa, prendendo come riferimento valori tipici della rugiada, assegnando precipitazione quando la misura del radar supera i 0,1 mm/h. Altri parametri di interesse per la valutazione dell'algoritmo sono la Probability of Detection (POD) che corrisponde al numero di pixels correttamente assegnati come precipitanti diviso il numero totale di pixels precipitanti, ed il False Alarm Ratio (FAR), dato dal rapporto tra pixels erroneamente assegnati come precipitanti e quelli assegnati precipitanti dalla tecnica. La procedura precedentemente sviluppata e validata sulle Isole Britanniche, viene per la prima volta qui applicata ai dati SEVIRI in area mediterranea.

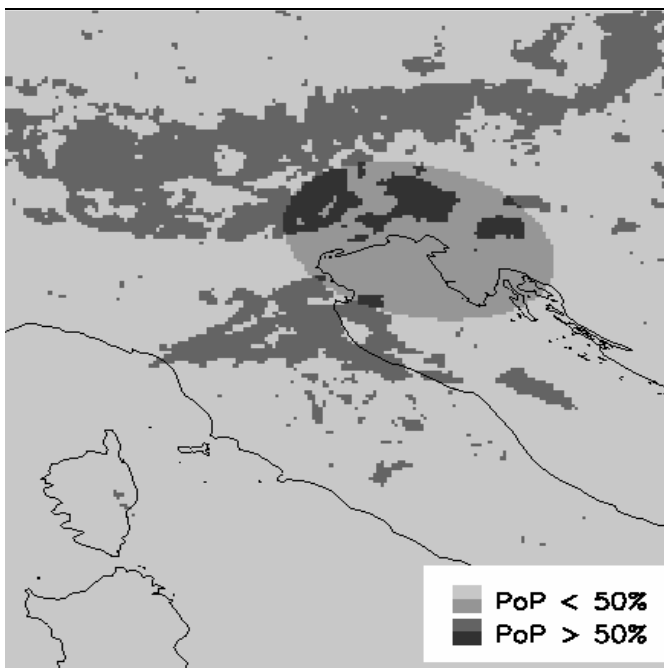
## Risultati

Il classificatore a reti neurali è stato determinato utilizzando metà dei pixels del data set disponibile: circa 50.000 pixels. L'algoritmo ottenuto è stato poi applicato e controllato sulla restante parte di punti, in modo che il dataset usato per costruire la correlazione fosse completamente separato da quello usato per il test. La classificazione dei pixels avviene tramite il valore numerico dell'output della rete neurale che è denominato Probabilità di Precipitazione (PoP) ed assume valori tra 0 ed 1. In particolare, si assumono come precipitanti i pixels per i quali il valore di PoP è maggiore di 0.5. Considerando la classificazione pioggia-non pioggia del radar come verità, è allora possibile calcolare il parametro ETS. Il valore di tale parametro per la classificazione ottenuta è attorno al 30% sui circa 50.000 punti di test. Per esplicitare tale risultato riportiamo la classificazione ottenuta: il totale dei pixels per il testing è: 52.785 con un rapporto no-pioggia/pioggia di circa 9. Dopo aver determinato ed applicato sul testing dataset la rete neurale, si costruisce la tabella di contingenza riportata in tabella 1, in cui sono anche riportati i valori di ETS, FAR e POD. Allo scopo di una valutazione visiva del tipo di performance ottenibile, in figura 3 si riporta il risultato dell'applicazione dell'algoritmo all'istante delle figure 1 e 2. Si nota una sostanziale somiglianza delle aree di precipitazione identificate dai due sensori, all'interno del dominio di copertura radar. In termini statistici tale confronto produce un valore di ETS di cir-



**Fig. 2** - Mappa di precipitazione binaria radar ridotta alla risoluzione del satellite per il giorno 09-05-2004 alle ore 16:45 UTC.

*Fig.2 – Radar rain/no rain map projected onto the satellite grid for the 09/05/2004 at 16:45 UTC*



**Fig. 3** - Mappa binaria di precipitazione da satellite ottenuta con la tecnica alle reti neurali per il giorno 09-05-2004 alle ore 16:45 UTC

*Fig. 3 – Satellite rain/no rain map for the 09/05/2004 at 16:45*

**Tab. 1** - Tabella di contingenza per tutto l'evento del 9 maggio 2004, con i relativi valori di POD, FAR e ETS

*Tab. 1 – Contingency table for the considered 09/05/2004 event*

		SEVIRI ANN	
		non pioggia	pioggia
radar	non pioggia	45144	2378
	pioggia	2609	2654
		ETS=30.15	
		FAR=47.26	
		POD=50.43	

ca 26%. Inoltre si hanno i seguenti valori per gli altri indicatori considerati: POD=56,6% e FAR=52,7%. Risulta anche immediatamente chiaro come l'osservazione satellitare fornisca una mappa di precipitazione indipendente dal dominio radar, su cui è stata fatta la calibrazione/validazione della tecnica.

### Conclusioni

Obiettivo di questo lavoro è presentare una alternativa agli strumenti convenzionali di stima della precipitazione al suolo per applicazioni agrometeorologiche, sfruttando il nuovo sensore geostazionario europeo SEVIRI. Rispetto al radar, il sensore SEVIRI offre la possibilità di un algoritmo capace di estendere il dominio di stima di precipitazione oltre il dominio di definizione come illustrato in figura 3. Rispetto invece al sensore sul Meteosat di prima generazione, il sensore SEVIRI offre una miglior risoluzione spaziale, temporale e spettrale. Questo lavoro si è concentrato su quest'ultima caratteristica, stabilendo il tipo di prestazione (in termini di ETS) che ci si può aspettare da un set di canali e quali di essi sono più sensibili alla precipitazione. La prestazione ottenuta per un data set di un solo giorno (che comprende aree sia nuvolose sia serene) è attorno ad un ETS del 30%. Il POD ed il FAR risultano notevolmente insoddisfacenti in termini assoluti. Tuttavia, va rimarcato che per questo evento il rapporto tra pixels piovosi e pixels non piovosi è relativamente alto: l'algoritmo applicato ad un sottoinsieme di pixels con un rapporto pari ad 1, fornisce POD=85% e FAR=25%. Va evidenziato, comunque, che finora pochi studi analoghi al presente sono stati pubblicati su tecniche multispettrali per la classificazione in classi di pioggia e non pioggia, vista la recente disponibilità di dati: ad esempio Ba & Gruber (2001) hanno ottenuto come migliori valori POD=79% e FAR=24%, utilizzando un database molto più completo di quello disponibile per questo lavoro.

Lo sviluppo in corso dell'algoritmo (che denominiamo "universale") da applicare sull'area geografica considerata, prevede l'utilizzo di un data set molto più ampio (stagionale anziché giornaliero) e l'introduzione di caratteristiche di variazioni temporali come input per la rete neurale. Così costruito, l'algoritmo risulterà indipendente dalla disponibilità di dati radar.

Un secondo algoritmo (anch'esso in sviluppo e che denominiamo "puntuale") può essere invece aggiornato continuamente tramite calibrazione su una immagine radar relativa all'istante appena precedente il tempo corrente. Da questo ci si aspetta prestazioni molto migliori. Di contro, tale classificatore è strettamente dipendente dalla disponibilità di misurazione radar.

In una situazione operativa volta alle applicazioni agrometeorologiche di monitoraggio ambientale, che sono l'oggetto del presente lavoro, quindi, si propone di sviluppare un algoritmo "puntuale" che produca una stima di precipitazione corrispettiva alla stima radar, e di utilizzare l'algoritmo "universale" nei casi di malfunzionamento del radar. Tale stima, quindi, si inserirebbe nel sistema ARMET (Cicogna et al, 2005), affiancando la stima radar nelle aree dove essa è disponibile e rimpiazzandola nelle aree non coperte dal radar stesso.

### Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto "Simulazione della durata della bagnatura fogliare per l'applicazione di modellistica agrometeorologica" finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica (PRIN 2003). Si ringrazia l'OSMER-FVG per la fornitura delle mappe di precipitazione radar e dei dati da stazione meteorologica. I suggerimenti di due anonimi revisori hanno giovato alla chiarezza dell'esposizione ed alla fruibilità del lavoro.

### Bibliografia

- Ba, M.B. and A. Gruber, 2001: GOES multispectral rainfall algorithm (GMSRA), *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1500-1514.
- Bishop C. M. (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Clarendon Press, 482 pp.
- Bacchi B., R. Ranzi e M. Borgia, 1996. *Statistical characterization of spatial patterns of rainfall cells in extratropical cyclones*. *J. Geoph. Res.*, 101: 26277-26286.
- Bechini R., E. Gorgucci, G. Scarchilli, and S. Dietrich: *The operational weather radar of Fossalon di Grado (Gorizia, Italy): accuracy of reflectivity and differential reflectivity measurements*, *Meteorol Atmos Phys* 79 (2002) 3-4, 275-284.
- Borga, M. e F. Tonelli, 2000. *Adjustment of radar-dependent bias in radar rainfall estimates*. *Phys. Chem. Earth (B)*, 10-12:909-914.
- Capacci D. and B. Conway, 2005. *Estimation of Probability of Precipitation from MODIS visible and infrared imagery with artificial neural networks*. *Met. Appl.*, in press.
- Cicogna A., S. Dietrich, M. Gani, R. Giovanardi, M. Sandra, 2005: *Use of meteorological radar to estimate leaf wetness as data input for application of territorial epidemiological model (downy mildew - Plasmodium viticola)*. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005) 201-207
- Dalla Marta A., M. De Vincenzi, S. Dietrich, S. Orlandini, 2005: *Neural network estimation of leaf wetness duration: application to a Plasmodium viticola infection forecasting*. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005), 91-96.
- Ebert, E.E. and J.L. McBride, 2000. *Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors*. *J. Hydrology*, 239, 179-202.
- Levizzani V., 2003. *Satellite rainfall estimations: new perspectives for meteorology and climate from the EURAINSAT project*. *Annals of Geophysics*, 46: 363-372.
- Kidder S. Q. e T. H. Vonder Haar, 1997. *Satellite meteorology: an introduction*. Academic Press, San Diego.
- Rubel, F., 1996. *Scale dependent statistical precipitation analysis*. *Proc. of the Int. Conf. on Water Resour. & Environ. Res.*, 29-31 ottobre 1996, Kyoto, 317-324