

Il remote sensing e l'agricoltura: nuovi prodotti

INTRODUZIONE

In un gran numero di ambiti applicativi, i problemi fondamentali da risolvere possono classificarsi in tre categorie: la descrizione dello stato di un sistema, lo studio per determinare le relazioni causa-effetto capaci di far evolvere questo stato in uno diverso, e infine, da questi due, la previsione dell'evoluzione del sistema. In tale contesto chiameremo *prodotto* un oggetto (dato, stima o modello) che risolve o che è utile alla risoluzione di uno dei suddetti problemi per uno dei possibili ambiti applicativi, che ad esempio nel nostro caso possono essere lo studio della malattie delle piante, l'erosione del terreno agricolo, la dinamica delle popolazioni di insetti, ecc.

Volendo lavorare alla realizzazione di un prodotto, elemento essenziale da definire è il tipo di spazialità che esso deve avere. In altri termini, bisogna riconoscere se le variabili e le funzioni delle variabili siano da definire, da misurare, da stimare o modellizzare in un solo punto oppure se la natura del problema o l'uscita attesa del prodotto siano inerentemente territoriali. Ci si accorge facilmente che un gran numero di prodotti utili negli ambiti precedentemente menzionati hanno aspetti territoriali abbastanza evidenti.

In linea di principio, un problema territoriale può essere affrontato facendo uso delle misure fornite da una rete di strumentazione al suolo che realizzino un campionamento spaziale ritenuto sufficiente a garantire il buon esito del successivo passo di interpolazione sul prodotto. Negli ultimi anni, però, si è resa disponibile una possibilità alternativa per affrontare un problema territoriale: il telerilevamento.

* *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienza dell'Atmosfera e del Clima, sezione di Roma (CNR-ISAC)*

Il telerilevamento è la scienza per mezzo della quale le caratteristiche di un oggetto possono essere identificate, misurate e analizzate senza entrare in contatto diretto con esso; tale disciplina, infatti, studia la radiazione elettromagnetica riflessa o emessa da un oggetto e gli strumenti utilizzati per rilevare e analizzare questa radiazione sono i cosiddetti sensori remoti. L'evoluzione nelle tecnologie radar e il lancio di nuovi satelliti studiati per il monitoraggio di parametri geofisici, ha reso disponibile alle comunità di ricerca e di applicazione un gran numero di nuove risorse con cui affrontare i problemi territoriali. È chiaro che i vantaggi di queste strumentazioni sono maggiormente apprezzabili sui territori di difficile accesso e sulle vaste estensioni con caratteristiche geofisiche omogenee rispetto alle capacità di risoluzione spaziale delle misure. Per le regioni del globo le quali già disponevano di dense reti di stazioni di monitoraggio al suolo, tra cui l'Italia, l'utilizzo dei dati telerilevati è giustamente ponderato, e va verificato nella sua qualità rispetto ai risultati ottenibili tramite interpolazione delle misure puntuali.

Naturalmente, tra le varie grandezze fisiche, quelle caratterizzate dalla maggiore variabilità spaziale sono destinate a beneficiare di più della disponibilità di informazioni telerilevate. Tra queste, la precipitazione e tutte le variabili da essa dipendenti (bagnatura fogliare, umidità superficiale, ecc.) meritano una particolare attenzione, anche a causa delle caratteristiche orografiche e meteorologiche del territorio nazionale.

Verranno di seguito descritti alcuni esempi non convenzionali di utilizzo di informazioni telerilevate per la generazione di prodotti. Essi saranno preceduti da una breve descrizione dei sensori, non esaustiva, ma funzionale alla comprensione del metodo, focalizzandosi, per quanto possibile, su come la multidisciplinarietà nella risoluzione dei problemi sia un bene prezioso, spesso foriero di interessanti innovazioni.

IL RADAR E I SATELLITI METEOROLOGICI

Il RADAR, acronimo della frase inglese *Radio Detection And Ranging*, nato come apparato militare capace di individuare velivoli e navi, è ormai, nella versione di radar meteorologico, uno strumento fondamentale per il telerilevamento da terra e da satellite delle nubi e delle precipitazioni. Appartiene alla categoria dei sensori *attivi* ovvero quelli che interrogano l'oggetto da osservare, inviando energia elettromagnetica, deducendone poi le proprietà attraverso l'esame delle caratteristiche del segnale retrodiffuso dall'eventuale bersaglio presente.

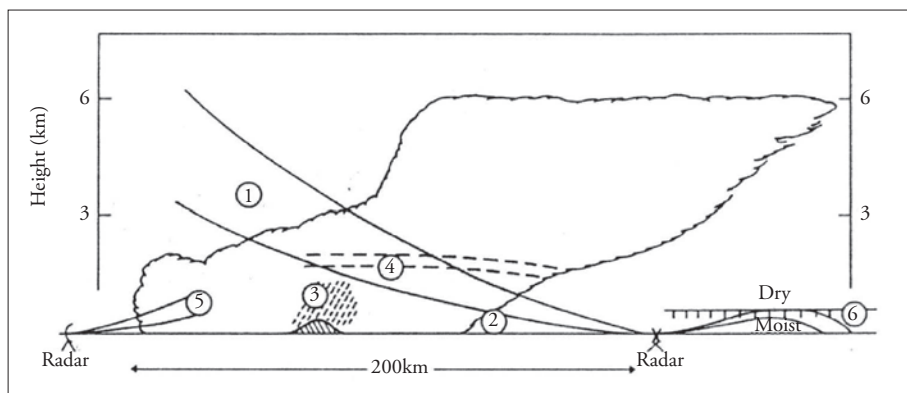


Fig. 1 Schema di cause d'errore nella stima di precipitazione tratto da C.G. Collier, Applications of Weather Radar Systems: 1) il fascio è più alto della nube a grande distanza, 2) evaporazione nei bassi strati, al di sotto del fascio 3) precipitazione orografica sui rilievi 4) bright-band 5) sottostima dell'intensità della pioggia debole (drizzle), a causa dell'assenza di gocce grandi 6) propagazione anomala

In particolare la *radarmeteorologia* (Atlas, 1990), lo studio dell'atmosfera e del tempo usando il radar come mezzo di osservazione e di misura, è ormai una delle branche principali della meteorologia fisica e della fisica delle nubi.

Una delle caratteristiche che rendono il radar meteorologico strumento interessante anche per le applicazioni agricole è la sua capacità di classificare il tipo di idrometeora (pioggia, ghiaccio), e di stimare l'intensità di precipitazione. Non entreremo nei dettagli della radarmeteorologia, la quale si è molto evoluta negli ultimi anni con i radar Doppler e polarimetrici, che permettono di confrontare le proprietà in termini di polarizzazione del segnale trasmesso e di quello ricevuto, aumentando il numero di informazioni a disposizione per stimare le caratteristiche del bersaglio meteo.

Naturalmente, la bontà dello strumento e la sua corretta calibrazione, ovvero la determinazione del fattore di proporzionalità (costante radar) tra la riflettività di un bersaglio e la potenza misurata all'uscita del ricevitore, sono condizioni necessarie ma non sufficienti per ottenere una valida stima dell'intensità di precipitazione (Bechini et al., 2002).

Si deve infatti tenere presente che, poiché il radar non effettua una misura diretta dei parametri meteorologici, è necessaria l'applicazione di opportuni algoritmi: per questa ragione si parla ad esempio di stima (e non misura!) radar della precipitazione.

Gli algoritmi includono i trattamenti di alcune cause di errore, quali ad esempio quelle illustrate in figura 1, il cui impatto varia a seconda delle ca-

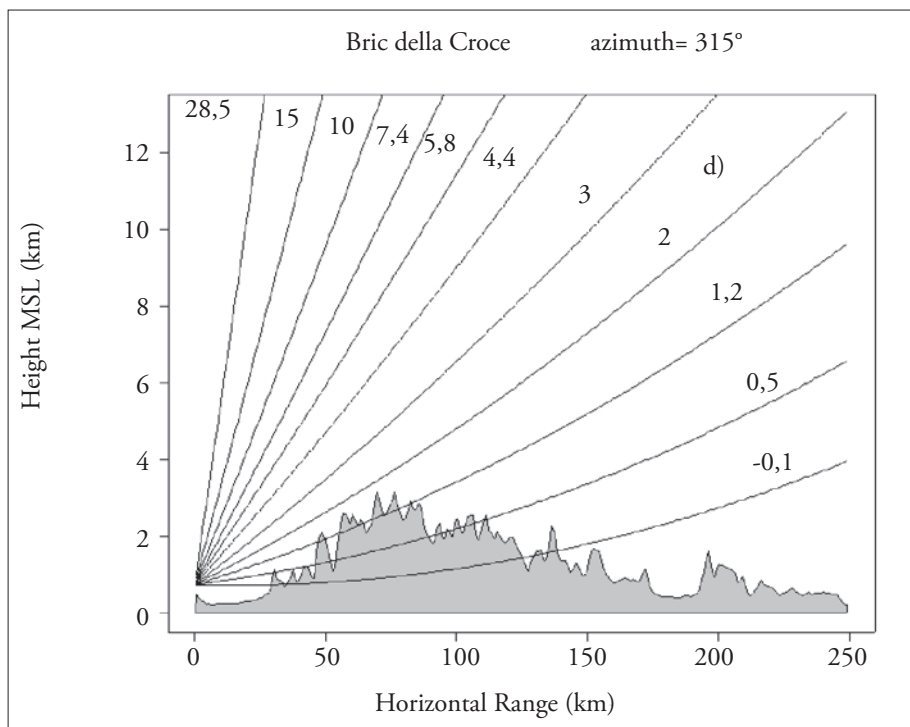


Fig. 2 La presenza di ostacoli che riempiono parzialmente o totalmente il fascio d'antenna limita la visibilità e quindi la capacità di monitoraggio del territorio. In figura una sezione a Nord-Ovest dell'influenza dell'orografia sulle osservazioni del radar di Bric della Croce (gentilmente concessa dall'ARPA Piemonte). Le prime tre elevazioni sono totalmente bloccate, la quarta lo è parzialmente. Le misure libere ottenibili sono quindi relative ad altezze eccessive per stimare direttamente la precipitazione

ratteristiche meteorologiche della regione in cui è collocato lo strumento. Particolare importanza, a causa della complessità orografica del territorio nazionale, ha il trattamento del problema del bloccaggio del fascio radar (*beam blocking*; fig. 2).

Anche a questo effetto è dovuto il ritardo, rispetto ad esempio alle nazioni del centro Europa, nel dotare il nostro territorio di una rete radar in grado di mappare le precipitazioni. Recentemente, però, la Protezione Civile ha avviato comunque l'installazione di un buon numero di nuovi radar distribuiti in maniera tale da permettere tramite "mosaicatura" la copertura del territorio nazionale. Si pensa perciò che entro un paio di anni tutta la penisola possa beneficiare di questa risorsa di cui attualmente sono dotate le sole regioni del nord.

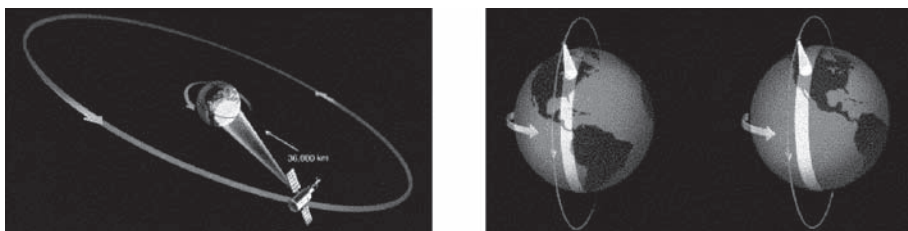


Fig. 3 A sinistra l'orbita di un satellite geostazionario, a destra quella di un satellite polare

Da questo punto di vista il monitoraggio da satellite delle precipitazioni si pone come interessante alternativa, sebbene anche l'uso del satellite presenti dei limiti che dipendono principalmente dalla minore risoluzione spaziale della griglia di misure e dalla schermatura creata dalle nubi, questo soprattutto quando non si utilizzino dati rilevati con sensori alle microonde, che invece sono capaci di penetrare l'interno della nube. Naturalmente, per il monitoraggio delle caratteristiche della superficie, il telerilevamento da satellite è invece insostituibile.

Come è noto, nell'ambito della meteorologia, ci si avvale di due tipi diversi di satellite, i satelliti geostazionari e quelli polari (fig. 3). I satelliti posti in orbita geostazionaria (sincrona) ruotano intorno alla Terra lungo la linea dell'Equatore e a una altezza di circa 36.000 km, orbita che garantisce una velocità angolare uguale a quella di rotazione della terra. Ciò permette al satellite geostazionario di restare fermo rispetto a un osservatore posto sulla terra. A causa dell'elevata altezza a cui si viene a trovare e per il suo sincronismo con la rotazione terrestre, i sensori a bordo di un satellite geostazionario possono osservare e mantenere sotto controllo costantemente una situazione meteorologica relativa a un'area vastissima, facilitando con ciò in misura notevole i meteorologi nelle loro previsioni.

L'Europa si avvale dei satelliti Meteosat, messi a punto e lanciati dall'agenzia spaziale europea (ESA), a partire dal 1977. Il Meteosat invia a terra, a intervalli regolari di circa 30 minuti, immagini digitali HRI (High Resolution Images) ad alta definizione entro le finestre del visibile, dell'infrarosso e del vapore acqueo. Tali immagini vengono ricevute dal Centro Spaziale Europeo Eumetsat di Darmstadt in Germania e immediatamente elaborate e convertite nello standard analogico APT/Wefax, poi rinviato al satellite per essere ritrasmesse, attraverso il ripetitore, a tutte le stazioni Meteo ufficiali che si trovano entro l'area ricevibile del satellite, tra cui quelle italiane. Inoltre, con il lancio del *Meteosat Second Generation* (MSG), su cui è imbarcato lo *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI), si è in parte cercato di

migliorare sia la risoluzione spazio-temporale delle immagini, che ora sono disponibili ogni 15 minuti, che la qualità dei prodotti da esse derivabili con l'introduzione di nuove frequenze e bande spettrali più adatte all'osservazione della vegetazione.

Come accennavamo, esistono satelliti che viaggiano intorno alla Terra su un'orbita più bassa, detti per l'appunto *Low Earth Orbiting* (LEO) *Satellites*, o anche "polari" o "quasi polari", per il fatto che la maggior parte di essi ad ogni orbita sorvolano le regioni polari. Tra questi, si sono rivelati estremamente efficaci negli studi agrometeorologici i satelliti TERRA e AQUA della NOAA, creati appositamente per il programma EOS (*Earth Observing System*), che ha come principale obiettivo migliorare la conoscenza sui cambiamenti globali terrestri attraverso l'osservazione continua del pianeta. I satelliti TERRA e AQUA, lanciati rispettivamente nel Dicembre 1999 e nel maggio 2002, sono il risultato di una joint venture tra l'agenzia spaziale americana NASA e quella giapponese NASDA. Entrambi volano su un'orbita eliosincrona quasi-polare, a un'altezza di circa 705 km dalla superficie. Le orbite sono scelte in maniera da garantire il passaggio approssimativamente alla stessa ora solare in ogni regione del globo: Terra circa alle 10:30 a.m. e p.m. e Aqua circa alle 01:30 a.m. e p.m. Gli orari di quest'ultimo sono particolarmente significativi in quanto rappresentano mediamente le situazioni di minima e massima temperatura nel ciclo di giornaliero. Così i due satelliti coprono l'intera superficie terrestre acquisendo i dati tramite l'utilizzo sensori sia alle microonde che all'infrarosso in 36 bande spettrali, o gruppi di lunghezze d'onda. Questi dati aiutano la comprensione delle dinamiche globali e dei processi relativi alla terra, agli oceani e agli strati più bassi dell'atmosfera. Tra i diversi sensori presenti a bordo del satellite AQUA ricordiamo:

AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*) contiene 2378 canali all'infrarosso e 4 canali nel visibile/vicino all'infrarosso, permette di ottenere profili di temperatura altamente accurati più una varietà di prodotti addizionali Terra/atmosfera.

AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit*), è un sensore di 15 canali alle microonde (frequenza 15-90 GHz) studiato soprattutto per ottenere profili di temperatura nell'alta atmosfera (specialmente nella stratosfera) e per fornire una capacità di filtraggio della nube (cloud-filtering capability) utile alle osservazioni della temperatura nella troposfera.

AMSU-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*) è un radiometro passivo alle microonde di 12 canali, 6 frequenze. Misura le temperature di brillantezza a 6.925, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, and 89.0 GHz. A tutti i canali vengono prese misure con polarizzazione verticale e orizzontale.

ACRONIMO	RISOLUZIONE TEMPORALE	RISOLUZIONE SPAZIALE	LIVELLO
Surface Reflectance (MOD09)	Giornaliero / 8 giorni	250 m / 500 m / 1 km	L2G
Land Surface Temperature (MOD11)	Giornaliero / 8 giorni	1 km / 5 km	L2G
Land Cover Type (MOD12)	16 giorni	1 km	L3
Vegetation Indices (MOD13)	16 giorni / 1 mese	500 m / 1 km / 25 km	L3
Leaf Area Index/Fraction of Photosynthetically Active Radiation (MOD17)	8 giorni	1 km	L4
Bidirectional Reflectance Distribution Function and Albedo (MOD43)	16 giorni	1 km	L3

Tab. 1 *Tabella riassuntiva sui principali prodotti MODIS-Land*

MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) uno spettro-radiometro a 36 bande che misura la radiazione nel visibile e nell'infrarosso, derivandone prodotti relativi alla vegetazione, alla tipologia della superficie, alla fluorescenza della clorofilla sugli oceani, alle proprietà delle nubi e degli aerosol, agli incendi, alla neve su terra e ai ghiacci su mare.

È stata dedicata una cura particolare alla creazione e alla distribuzione dei prodotti MODIS, cercando di facilitarne al massimo la fruizione degli utenti finali nei settori della ricerca e delle applicazioni. A tale scopo, i ricercatori della NASA, riuniti nel MODIS Team, hanno sviluppato prodotti specifici, direttamente dai dati grezzi ricevuti dai due sensori, suddividendoli secondo le diverse applicazioni. Quindi, esistono prodotti MODIS Atmosphere, Land, Ocean. Alcuni di tali prodotti possono essere subito disponibili e scaricabili tramite browser come immagini, altri necessitano di ulteriori elaborazioni da parte dell'utente. Le caratteristiche di prodotti MODIS Land (Justice et al. 1998, Lotsch, 2003, Porcù et al., 2005) utili per le applicazioni agrometeorologiche sono riunite nella tabella 1. Alcuni tentativi del loro utilizzo hanno avuto esito positivo (v. Dietrich et al., 2004).

In particolare, si è avuto modo di lavorare con i prodotti MOD11 e MOD12 (Santorelli et al., 2005). Il primo, fornisce la temperatura al suolo (LST) con un'accuratezza assoluta dichiarata di 0.2 K su mare e 1 K su terra, ricavata dalle bande spettrali 31 e 32 del MODIS, alla risoluzione spaziale di 1 km e 5 km (copertura globale della superficie terrestre). È un buon indicatore sia del bilancio energetico terrestre sia dell'effetto serra in quanto è uno dei parametri chiave nella fisica dei processi di superficie. È utile a una vasta gamma di studi climatici, idrologici e ambientali. Inoltre, può essere utilizzato in combinazione con altri prodotti MODIS (Wan et al., 2002).

Altro importante prodotto è il MODIS Land Cover Type (MOD12). Si identificano 17 categorie di copertura al suolo, seguendo i parametri del IGBP (International Geosphere Biosphere Program), che definisce 9 classi di vegetazione naturale, 3 classi di terre sfruttate, 2 di terre “a mosaico” e 3 classi di terre non vegetative (copertura di neve-ghiaccio, rocce, acqua). Il MOD12 quantifica sia le lente e progressive trasformazioni della superficie, sia i cambiamenti più rapidi. Il prodotto non si limita a comparare la stessa superficie in due momenti diversi, ma combina le analisi dei cambiamenti, effettuate vettorialmente sui dati multispettrali, con modelli dei meccanismi di sviluppo della vegetazione; ciò al fine di riconoscere il tipo di cambiamento e la sua intensità.

ESEMPI DI APPLICAZIONI

a) *Durata della bagnatura fogliare*

Un esempio di applicazione dei dati telerilevati all'agricoltura, realizzata nell'ambito del progetto MIUR 2003 “*Stime di precipitazioni da sensori remoti e modellistica per la determinazione della durata di bagnatura fogliare*”, si basa sull'uso dei dati di precipitazione telerilevati per la misura della durata della bagnatura fogliare, parametro essenziale per i modelli di previsione e prevenzione della diffusione di alcune malattie delle piante, in particolare della peronospora della vite (*Plasmopara viticola*), riguardo la quale è disponibile ormai una discreta collezione di pubblicazioni (cfr. bibliografia).

Sebbene il Friuli Venezia Giulia, regione sulla quale è stato svolto lo studio, sia coperto da una notevole rete di stazioni agrometeorologiche, la variabilità spaziale dei campi di precipitazione rende l'utilizzo del radar polarimetrico in banda C di Fossalon di Grado un'importante risorsa aggiuntiva. D'altra parte, il dato di precipitazione, sotto forma in questo caso di durata dell'evento precipitativo, è input fondamentale per modellare il bilancio di evapotraspirazione e derivare quindi il tempo di durata della bagnatura della superficie della foglia, il quale è a sua volta informazione fondamentale in ingresso per i modelli per la previsione delle malattie delle piante. Una dettagliata applicazione sul territorio deve avere quindi disponibile questo dato in ogni punto della griglia. Ad esempio, è stata mostrata nel dettaglio la differenza tra l'utilizzare l'interpolazione dei dati di precipitazione o di bagnatura fogliare della rete e l'utilizzare, invece, i dati radar (Cicogna et al., 2005).

Nelle regioni in cui non ci sia la disponibilità di un radar, o esso abbia comunque problemi che ne limitino l'affidabilità delle stime, è sempre possibile

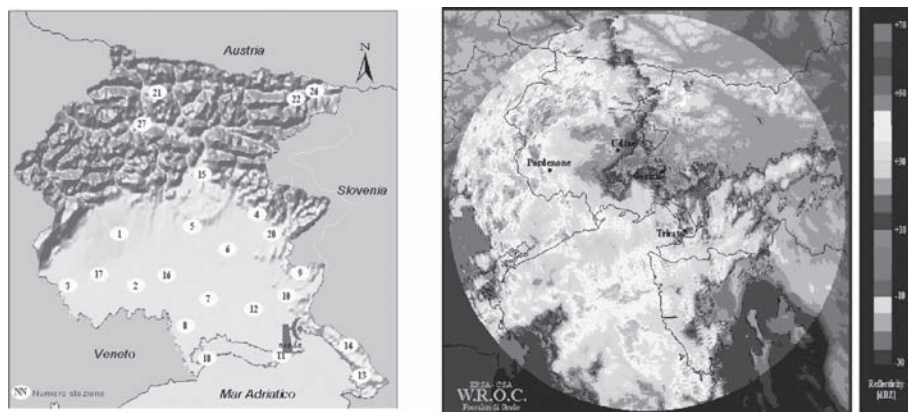


Fig. 4 A sinistra la distribuzione delle stazioni agrometeorologiche nel Friuli Venezia Giulia, a destra esempio di mappa di riflettività acquisita dal radar di Fossalon di Grado

far ricorso alle stime di precipitazione da satellite; si veda ad esempio Dietrich et al., 2005 per un review dei metodi disponibili e Porcù et al., 2005 per un applicazione comparata sulla regione Friuli.

b) *Erosione del suolo*

La capacità dei moderni radar polarimetrici di monitorare la tipologia e la distribuzione delle dimensioni delle idrometeore precipitanti è in grado di aprire nuovi orizzonti anche nello studio e nel monitoraggio di altri processi che avvengono alla superficie. A questo riguardo il MIUR ha recentemente approvato un programma di ricerca che organizza, intorno alla disponibilità di dati relativi alla dettagliata composizione della precipitazione, la rivisitazione della modellistica degli aspetti legati all'erosione, alla variazione delle proprietà fisico-chimiche del suolo, al bilancio idrico e al destino dei fertilizzanti. In questo contesto lo scopo dell'uso del telerilevamento è quello di individuare la maniera migliore di sintetizzare e distribuire l'informazione relativa all'impatto idrometeorico in maniera che essa possa essere fruita in maniera territoriale dai suddetti contesti.

Infatti, nell'*Universal Soil Loss Equation* (USLE) proposta da Wischmeier e Smith (1978) è presente il fattore di erosione della precipitazione R [$\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1}$]. R è un fattore fondamentale che dipende dalle caratteristiche delle precipitazioni. Ciò ha condotto a sviluppare numerosi modelli per quantificare l'energia sviluppata dalla pioggia. Il calcolo di tale fattore dipende

dalla distribuzione dei diametri delle gocce alle diverse intensità di pioggia e sulla relativa velocità di impatto delle gocce stesse col suolo, parametri che, in assenza di informazioni specifiche vengono derivati dalla sola intensità di precipitazione.

Nei radar dotati di doppia polarizzazione, la differenza tra le ampiezze di scattering dell'impulso elettromagnetico nei due piani di polarizzazione, orizzontale e verticale, dipende dalla forma delle gocce, che a sua volta è funzione del diametro delle gocce stesse. La possibilità di caratterizzare la distribuzione delle dimensioni delle gocce precipitative abbinata a tecniche che permettono di identificare il tipo di idrometeora (un esempio in Dietrich et al., 2000), forniscono un corredo di informazioni da cui derivare in maniera diretta l'energia associata con l'impatto delle idrometeore sul terreno invece di derivarla dalla semplice intensità di precipitazione. La possibilità di avere tutto ciò già in maniera grigliata sul territorio è senz'altro un ottimo incentivo ad approfondire l'investigazione attraverso campagne di validazione delle stime radar con i disdrometri e studi svolti in sinergia con i modellisti esperti nelle proprietà fisico-chimiche del suolo. Inoltre, non dimentichiamo che la conformazione orografica del nostro territorio e l'attuale situazione climatica pone l'Italia tra i paesi maggiormente interessati al problema del prevalere dei fattori erosivi su quelli pedogenetici. Recenti studi relativi alla penisola italiana mostrano, infatti, significativi andamenti di precipitazione negli ultimi 50 anni: da un lato, la diminuzione dei giorni piovosi annuali e dall'altro, l'aumento dei fenomeni precipitativi di maggiore intensità. In particolare, vanno salvaguardate le aree collinari fornendo strumenti di monitoraggio a supporto della pianificazione a livello locale degli interventi di protezione e contenimento. Tali informazioni, per essere fruibili dalla comunità agraria, debbono però venir tradotte e quantificate in una forma ottimale che possa essere direttamente messa in relazione con le applicazioni. Da ciò la necessità di definire in un contesto multidisciplinare gli indici più appropriati e di identificare e confrontare i più adatti metodi di misura.

c) *Soil moisture*

Per il monitoraggio da satellite delle grandezze collegate alla precipitazione due tipologie di approcci entrano in competizione. Tali approcci derivano dall'utilizzo di frequenze nella banda dell'infrarosso oppure di frequenze nella banda delle microonde. In linea di principio, le microonde hanno il vantaggio di penetrare lo strato nuvoloso permettendo le misure in ogni condizio-

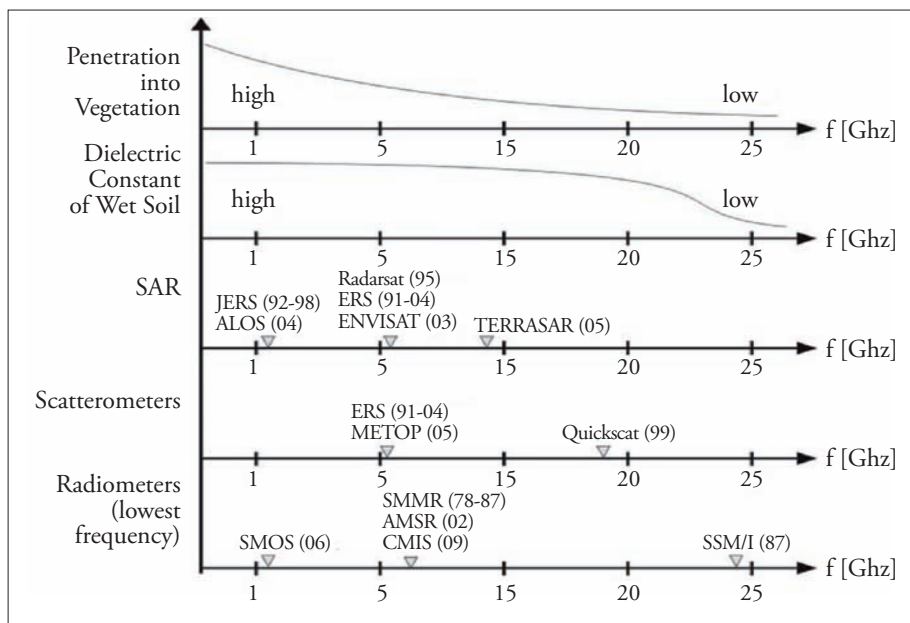


Fig. 5 Riepilogo degli strumenti alle microonde da satellite, presenti e futuri, e delle frequenze da essi utilizzate con riferimento alla penetrazione nella vegetazione e alla capacità di avvertire variazioni nella costante dielettrica dello strato superficiale

ne meteorologica. Se poi si raggiungono frequenze sufficientemente basse si riesce anche a penetrare lo strato di vegetazione superficiale riuscendo in tal modo a ottenere segnali direttamente dal suolo (fig. 5). In tale direzione si orientano diverse missioni satellitari tra le quali la collocazione in orbita del sensore SMOS, che purtroppo non ha avuto successo, ma che dovrebbe essere ritenuta tra breve.

A causa della diffrazione però, la scelta della frequenza condiziona la risoluzione spaziale al suolo ottenibile. Da orbita geostazionaria, l'infrarosso permette di risolvere celle di pochi chilometri, laddove l'utilizzo delle microonde è attualmente improponibile. D'altro canto, la scelta di imbarcare i sensori alle microonde passive su satelliti in orbita bassa limita il campionamento temporale del globo a un paio di passaggi al giorno per ogni satellite. Ecco quindi come siano le finalità dell'applicazione a orientare la scelta dei sensori da utilizzare. Per l'umidità della superficie, informazione fondamentale nel controllare lo scambio di acqua e calore tra suolo e atmosfera, attraverso l'evaporazione e la traspirazione delle piante, la tabella 2 descrive i requisiti in termine di risoluzione spazio-temporale e accuratezza richiesti dai differenti settori di applicazione.

SOIL MOISTURE		Δx (km)		RMS (g/kg)		Δt (DAYS)		δ (DAYS)	
Source	Application	Opt.	Thres.	Opt.	Thres.	Opt.	Thres.	Opt.	Thres.
WMO	Seasonal to Inter-annual Forecasts	50	500	10	50	1	7	1	7
	Global NWP	15	250	10	50	1	7	0.25	1
	Regional NWP	5	250	10	50	1	7	7	7
	Nowcasting	5	50	10	50	0.5	2	0.25	1
	Agricultural meteorology	0.1	1	10	50	1	7	1	5
	Hydrology	0.01	250	10	50	1	3	0.04	6
WCRP	Global Energy and Water Cycle Experiment	15	250	10	50	1	10	10	30
GCOS and GTOS	Terrestrial climate	25	100	missing	missing	1	5	3	5
IGBP	Biospheric Aspects of Hydro. Cycle, Global	50	200	missing	missing	10	30	30	90
	Biospheric Aspects of Hydro. Cycle, Regional	0.03	1	missing	missing	1	10	0.125	1

Tab. 2 *Requisiti di risoluzione spazio-temporale e di accuratezza richiesti da diversi organismi internazionali per differenti campi di ricerca o applicazione*

Ci si rende facilmente conto che il settore dell'agricoltura è quello che pone i requisiti più stringenti in termini di risoluzione ed è quindi impensabile, almeno allo stato attuale dell'arte, pensare di utilizzare i sensori alle microonde che invece potrebbero rivelarsi adatti per le applicazioni climatologiche globali.

Il metodo di stima dell'umidità superficiale istantanea che illustriamo brevemente (fig. 6) utilizza pertanto i dati all'infrarosso del sensore MODIS, dal momento che sono i soli a poter garantire un sufficiente campionamento spazio-temporale. Ancora una volta si sfrutta la sinergia tra dati telerilevati, stazioni al suolo e modelli. Prima di tutto occorre eliminare le zone affette da copertura nuvolosa, contraddistinte da valori molto bassi di temperatura e comunque ricavabili in maniera automatica dal prodotto MODIS *Cloud*

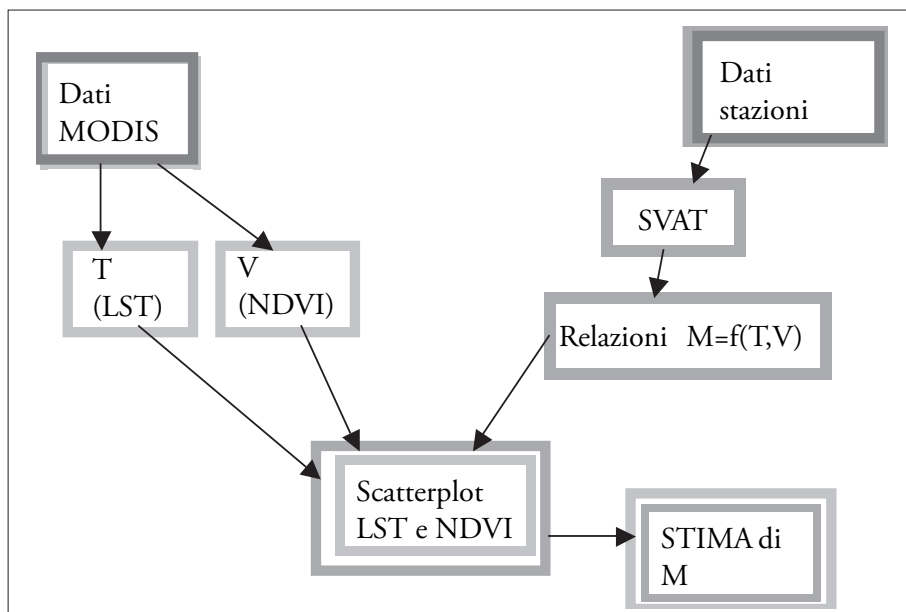


Fig. 6 Diagramma concettuale di un possibile metodo per la stima dell'umidità superficiale dai prodotti MODIS

Cover, per tali zone non sarà possibile, per il passaggio corrente, effettuare la stima di umidità superficiale dai dati satellitari. Lo scatterplot dei punti rimasti formano una nuvola nel piano formato da LST e NDVI (fig. 7, pannello a destra), che se derivata dall'osservazione di un territorio sufficientemente vasto, garantisce una variazione di umidità superficiale da 0 (warm edge) a 1 (cold edge). È però necessario in tale spazio individuare una tecnica capace di associare ad ogni punto un valore di umidità superficiale. Ciò può essere fatto generando delle isolinee (fig. 7, pannello a sinistra) per differenti valori di umidità utilizzando ad esempio il modello SVAT. A questo punto è possibile stimare dalla coppia LST, NDVI il valore di umidità per i punti non nuvolosi. L'utilizzo di una serie di passaggi consecutivi sufficientemente lunga può allora permettere la generazione di una mappa completa di umidità superficiale.

CONCLUSIONI

Senza alcuna velleità di completezza, abbiamo cercato di dare un'idea sulle potenzialità di alcuni strumenti di telerilevamento attualmente disponibili e destinati a svolgere nel prossimo futuro un ruolo di supporto sempre mag-

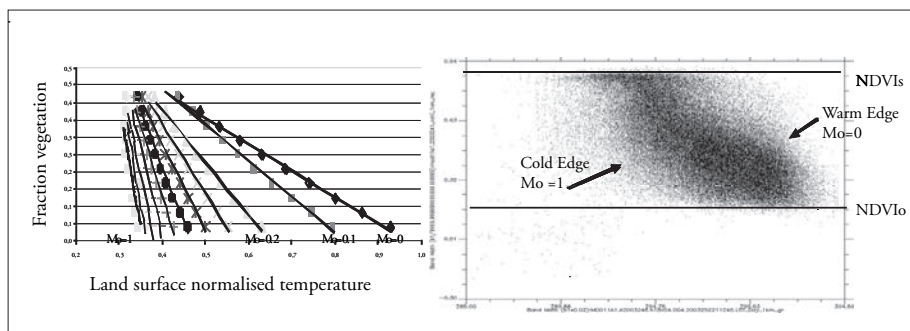


Fig. 7 Rette a costante umidità superficiale M_o derivate dal modello SVAT (a sinistra); nuvola di punti generata dai dati di temperatura e di NDVI relativi al passaggio MODIS (a destra)

giore alle ricerche e alle applicazioni agricole. L'auspicio è che ciò stimoli ulteriormente la ricerca di nuovi modi per generare nuovi prodotti (nell'accezione definita all'inizio), frutto di armoniche sinergie tra le misure puntuali, le misure telerilevate e i modelli.

ABSTRACT

The evolution of radar technologies and the launch of new satellites created for geophysical parameters monitoring, have made available to scientific community a great number of new resources for facing territorial problems. In the present work, we describe some not conventional examples of utilization of remote sensed information for the creation of products.

The first example is given by the use of the remote sensed precipitation data for the measure of the leaf wetness duration, essential parameter for the prediction models and prevention of the spread of some diseases of the plants, particularly the grapevine downy mildew (*plasmopara viticola*).

The second instance shows as the new polarimetric radar capability to observe important microphysical characteristics of hydrometeors, especially type and size drop distribution, opens new horizons in the study and monitoring of superficial processes, being able to supply contribution to the improvement of modelling of aspects connected to erosion, validation of soil's physical-hydrological properties, hydric balance and fertilizers usage.

Finally, it is shown a method for soil moisture estimation, based on the infrared sensor MODIS data, used in conjunction with SVAT model.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il MODIS User Support Group del Goddard Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DAAC) per la fornitura dei dati satellitari e il supporto

tecnico, che in alcuni casi si è rivelato estremamente risolutivo. Si ringraziano inoltre i colleghi Renzo Bechini, Andrea Cicogna e Simone Orlandini insieme ai quali si continua a lavorare in una proficua maniera interdisciplinare sugli argomenti qui descritti.

BIBLIOGRAFIA

- ATLAS D., Ed. (1990): *Radar in Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, 806 pp.
- BECHINI R., GORGUCCI E., SCARCHILLI G., DIETRICH S. (2002): *The operational weather radar of Fossalon di Grado (Gorizia, Italy): accuracy of reflectivity and differential reflectivity measurements*, «Meteorol Atmos Phys», 79, 3-4, pp. 275-284.
- DIETRICH S., ALILLA R., CICOGNA A., FABBO R., GANI M., GIOVANARDI R., ORLANDINI S., SANDRA M., SEVERINI M., MARACCHI G. (2002): *Using remotely sensed data for leaf wetness duration measurement*, Acta of EGS, Nice France, 21-26 April 2002.
- CICOGNA A., DALLA MARTA A., ALILLA R., DIETRICH S., FABBO R., GANI M., GIOVANARDI R., MARACCHI G., ORLANDINI S., SANDRA M., SEVERINI M. (2002): *Uso del parametro di bagnatura fogliare nella previsione delle malattie delle piante*, Convegno AIAM 2002 "L'Agrometeorologia nel Mediterraneo", Acireale -6-7 giugno 2002, pp. 55-66.
- ORLANDINI S., DIETRICH S. (2002): *La bagnatura fogliare: un parametro agrometeorologico fondamentale per la previsione delle malattie delle piante*, «Notiziario sulla protezione delle piante», Ed. AIPP., 15, pp. 115-121.
- CICOGNA A., DIETRICH S., GANI M., GIOVANARDI R., SANDRA M. (2002): *Stima della bagnatura fogliare attraverso misure radar in vista dell'applicazione di modelli epidemiologici territoriali*, «Notiziario sulla protezione delle piante», Ed. AIPP., 15, pp. 133-140.
- CICOGNA A., DIETRICH S., GANI M., GIOVANARDI R., SANDRA M. (2005): *Use of meteorological radar to estimate leaf wetness as data input for application of territorial epidemiological model (downy mildew – Plasmopara viticola)*, «Physics and Chemistry of the Earth», 30, pp. 201-207.
- ORLANDINI S., DIETRICH S., MAGAREY R., ZANCHI C.A. (2005): *Leaf wetness an agrometeorological variable for the forecasting of plant diseases*, in *Leaf wetness duration: analysis of the agrometeorological requirements and evaluation of new estimation methods. COST ACTIONS 718 Meteorological Applications for Agriculture*, pp. 62-68.
- CICOGNA A., DIETRICH S., GANI M., GIOVANARDI R., SANDRA M. (2005): *Estimate of leaf wetness with radar data for the application of territorial epidemiological models*, in *Leaf wetness duration: analysis of the agrometeorological requirements and evaluation of new estimation methods. COST ACTIONS 718 Meteorological Applications for Agriculture*, pp. 34-40.
- DALLA MARTA A., DE VINCENZI M., DIETRICH S., ORLANDINI S. (2005): *Neural network estimation of leaf wetness duration: application to a Plasmopara viticola infection forecasting*, «Physics and Chemistry of the Earth», 30, pp. 91-96.
- PORCÙ F., CAPACCI D., PRODI F., DIETRICH S., SANTORELLI E. (2004): *La precipitazione da satellite nello schema per la stima delle malattie delle piante a livello territoriale*, III Giornate di Studio Metodi Numerici, Statistici e Informatici nella Difesa delle Colture Agrarie e delle Foreste: Ricerca e Applicazioni, pp. 19-23.
- DIETRICH S., BECHINI R., ADAMO C., MUGNAI A., PRODI F. (2000): *Radar Calibration of physical profile-based precipitation retrieval from passive microwave sensors*, «Physics and Chemistry of the Earth», part B, 25, pp. 877-882.

- DIETRICH S., SANTORELLI E., SAVIN E. (2004): *Uso dei satelliti per il monitoraggio di parametri utili alla modellistica in agricoltura*, Atti delle III Giornate di Studio Metodi Numerici, Statistici e Informatici nella Difesa delle Colture Agrarie e delle Foreste: Ricerca e Applicazioni, pp. 10-14.
- DIETRICH S., ADAMO C., LEVIZZANI V., MUGNAI A., PORCÙ F., PRODI F. (2005): *Utilization of remotely sensed data for rainfall estimation*, in *Use and availability of meteorological information from different sources as input in agrometeorological models*. COST ACTIONS 718 Meteorological Applications for Agriculture, pp. 227-259.
- PORCÙ F., CAPACCI D., PRODI F., DIETRICH S., SANTORELLI E. (2005): *La precipitazione da satellite: un prodotto alternativo per le applicazioni agrometeorologiche di monitoraggio ambientale*, «Rivista Italiana di Agrometeorologia», 3, pp. 51-55.
- JUSTICE C. ET AL. (1998): *The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research*, «IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.», 36, pp. 1228-1249.
- LOTSCH A., TIAN Y., FRIEDL M.A., MYNENI R.B. (2003): *Land cover mapping in support of LAI/FPAR retrievals from EOS MODIS and MISR. Classification methods and sensitivities to errors*, «Int. J. Remote Sensing», 24, pp. 1997-2016.
- WAN Z., ZHANG Y., ZHANG Q., LI Z.-L. (2002): *Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data*, «Remote Sens. Environ.», 83, pp. 163-180.
- WISCHMEIER W.H. AND SMITH D.D. (1978): *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*, USDA Handbook 537, Washington, D.C.: U.S. GPO.
- SANTORELLI E., DIETRICH S. (2005): *Il telerilevamento da satellite come supporto dei sistemi informativi territoriali: il MODIS*, «Rivista Italiana di Agrometeorologia», 9, 1, pp. 72-73.