

# EVOLUZIONE DELLA **SUPERFICIE INNEVATA** IN EMILIA-ROMAGNA TRAMITE DATI **MODIS L1B** L'attività svolta durante gli inverni 2005-2006 e 2006-2007

**Andrea Spisni**

Laboratorio di Telerilevamento  
Area Agrometeorologia e Territorio  
aspisni@arpa.emr.it

**Paolo Mezzasalma**

Sala operativa meteorologica  
Area Sala Operativa Meteorologia e  
Climatologia

**Fausto Tomei**

Ricerca e sviluppo  
Area Agrometeorologia e Territorio

**Servizio Idrometeorologico**

**Arpa Emilia-Romagna**

<http://www.arpa.emr.it/sim>  
V.le Silvani 6, Bologna 40122,  
tel 0516497561, fax 0516497501

Il presente articolo descrive l'attività svolta dal Laboratorio di telerilevamento (Arpa Emilia-Romagna) nel monitoraggio dell'estensione del manto nevoso tramite analisi di dati telerilevati dal sensore Modis (MOD02 - L1B) montato sui satelliti Terra e Aqua. L'individuazione si basa sul calcolo dell'indice Ndsi (Normalized difference snow index) e sulla applicazione di due alberi decisionali che discriminano sia la neve che le nubi. Le date dei bollettini sono scelte in base alla vicinanza temporale con eventi nevosi e alle condizioni meteo migliori. I bollettini prodotti vengono caricati in internet sotto la pagina del telerilevamento del sito di Arpa. Dal sito è possibile scaricare il bollettino in formato pdf e l'immagine Modis corrispondente a falsi colori in formato jpg con relativo file di georeferenziazione per caricamento in ambiente Gis.

La neve, se presente, appare in colore rosso-arancio, colore che può talvolta interessare anche formazioni nuvolose multistrato, caratterizzate da temperature molto basse o ombreggiamento. Il servizio è risultato un sistema affidabile di stima dell'estensione della neve in quanto ben discriminata dalla presenza di bande spettrali ottimali e un utile supporto per la stesura dei bollettini del rischio frane elaborati dal centro funzionale della Protezione Civile della Regione Emilia-Romagna. In generale, se pur non siano stati compiuti rilievi per stimare la percentuale di errore, si può sostenere che l'algoritmo tende in parte a sottostimare l'estensione dell'innevamento in caso di neve bagnata, di ombreggiamenti e in aree forestali chiuse. Sulle aree di pianura invece la percentuale di sottostima viene drasticamente ridotta, soprattutto quando la neve è fresca o compatta.



## ELABORAZIONI DI IMMAGINI MODIS PER LA CLASSIFICAZIONE DEL MANTO NEVOSO

Bellingheri ARPA Lombardia

Il monitoraggio della superficie innevata può essere compiuto grazie al sensore multispettrale MODIS montato sui satelliti polari NASA Terra (orbita discendente) e Aqua (orbita ascendente), operativi dall'anno 2000. I due satelliti passano tutti i giorni sia alla mattina (Terra) che nel primo pomeriggio (Aqua). Questi frequenti passaggi si presentano ottimali per lo studio della distribuzione della neve sul territorio, anche se sono influenzati dalla presenza di nubi. Infatti, dopo un evento nevoso bisogna attendere una giornata serena per poter analizzare lo stato di innevamento della superficie terrestre. Il sensore acquisisce in diverse bande spettrali (tabella sotto riportata) con differente risoluzione spaziale; i canali più utili al fine dell'individuazione della neve (e, ad esempio, per ridurre il rischio di confusione con le nubi) hanno risoluzione a terra di 500 m, quindi ogni pixel copre circa un'area di 25 ettari.

Esistono naturalmente altre tipologie di satelliti e sensori potenzialmente utili per applicazioni nivologiche, ma il sensore MODIS rappresenta attualmente il migliore compromesso fra risoluzione geometrica, disponibilità e frequenza dei dati e ampiezza delle scene riprese, in particolare per applicazioni a scala regionale.

Le immagini da elaborare sono distribuite dalla NASA tramite servizi di ricerca web e download tramite ftp. Per elaborare le immagini possono essere utilizzati i dati MOD02 (L1B) e MOD09 (L2G). La differenza sostanziale tra i due dati consiste nel fatto che il livello di processamento dei dati L1B riporta i valori di riflettanza al sensore, mentre al livello L2G viene applicata la correzione atmosferica BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) che restituisce i valori stimati di riflettanza alla superficie proiettati nelle coordinate sinusoidali. Siccome i dati L2G derivano dagli L1B, i primi vengono distribuiti qualche giorno dopo rispetto agli L1B.

Differenti tecniche di classificazione possono essere applicate ai dati di ingresso, basate su alberi decisionali o su classificazioni automatiche. Tali classificazioni consentono di ottenere mappe multitemporali di innevamento a scala regionale, utili per una serie di applicazioni sia territoriale che ambientale e utilizzabili anche come indicatore meteo-climatico.

Parte dei 36 canali acquisiti dal sensore MODIS utilizzati nel monitoraggio della neve a 250 e 500 m di risoluzione geometrica.

Bande	Lunghezza d'onda centrale ( $\mu\text{m}$ )	Larghezza della banda ( $\mu\text{m}$ )	Risoluzione spaziale (m)
1	0.645	0.620 - 0.670	250
2	0.8585	0.841 - 0.876	250
3	0.469	0.459 - 0.479	500
4	0.555	0.545 - 0.565	500
5	1.240	1.230 - 1.250	500
6	1.640	1.628 - 1.652	500
7	2.130	2.105 - 2.155	500

## INTRODUZIONE

Dall'inverno 2005-2006 il Laboratorio di telerilevamento, con sede al Servizio Idrometeorologico di ARPA Emilia-Romagna, ha reso operativo il servizio di individuazione dell'estensione del manto nevoso tramite analisi di dati telerilevati dal sensore Modis. Le date per l'analisi sono scelte in base alla vicinanza temporale con eventi nevosi e alle condizioni meteo migliori. Il sito gestito dal Jrc di Ispra (1) rappresenta un buon strumento per la scelta delle acquisizioni L1B con condizioni meteo ottimali, mentre le immagini L1B sono direttamente scaricate tramite ftp su server della Nasa in tempo quasi reale (2). I bollettini prodotti sono disponibili sul sito dell'Arpa (3). Dal sito è possibile scaricare il bollettino in formato .pdf e l'immagine Modis a falsi colori utilizzata per la classificazione in formato .jpg con relativo file di georeferenziazione per caricamento in ambiente Gis. Nella combinazione delle bande 1-6-7, la neve, se presente, appare in colore rosso-arancio, colore che può talvolta interessare anche formazioni nuvolose multistrato, caratterizzate da temperature molto basse o ombreggiamento.

## DATI UTILIZZATI

Il lavoro presentato segue lo studio preliminare compiuto per la valutazione dei dati MOD10A1 (livello di elaborazione L3) e MOD02 (livello di elaborazione L1B) (Spisni e Marletto 2005), i quali rappresentano il primo i dati già elaborati sull'estensione della neve e ghiaccio ed il secondo i dati di riflettanza al sensore.

La metodologia è basata sugli studi compiuti dalla Nasa per la definizione dell'algoritmo di individuazione della neve da dati



Modis (Hall K. D. et al., 2001) e derivato dall'esperienza maturata sui dati Landsat (Riggs G.A. et al., 2004). I dati MOD02 misurano la riflettanza all'atmosfera e sono espressi in percentuale. In media è possibile ottenere le scene da elaborare in 12-48 ore dall'acquisizione, contro le 168 ore dei MOD10A1. Quindi i MOD02, anche se richiedono trasformazioni preliminari, rappresentano uno strumento di monitoraggio in tempo quasi reale, soprattutto in caso di giornate molto fredde in cui non si registrano forti scioglimenti. L'individuazione della neve deve essere preceduta dalla correzione geometrica e proiezione delle immagini in coordinate UTM, datum WGS 1984, fuso 32, fila T, con risoluzione spaziale di 500 m (25 ha a pixel) e 7 bande. Questa prima fase permette di eseguire anche la correzione dell'effetto cravattino (bow-tie) a cui sono soggette le aree di bordo della ripresa. Questa distorsione è visibile come il non allineamento delle linee di acquisizione, che può essere corretta tramite la costruzione della geometria dell'immagine. A questo punto l'immagine, di circa 1200 x 1200 km, viene tagliata sull'area dell'Emilia-Romagna per le successive elaborazioni.

## ELABORAZIONI DEI DATI

A livello spettrale la neve è facilmente individuabile grazie alle caratteristiche di bassa riflettanza nella banda del medio infrarosso, a 1,6 µm. La procedura per identificare il manto nevoso consiste in due fasi:

1. Calcolo dell'indice Normalized Difference Snow Index [Ndsi =  $(b4-b6)/(b4+b6)$ ];
2. Applicazione di albero decisionale basato su NDSI e sulle bande 2 e 4.

L'indice NDSI è particolarmente sensibile alla presenza di neve, poiché sfrutta i valori di bassa riflettanza della banda 6 rispetto alla banda 4.

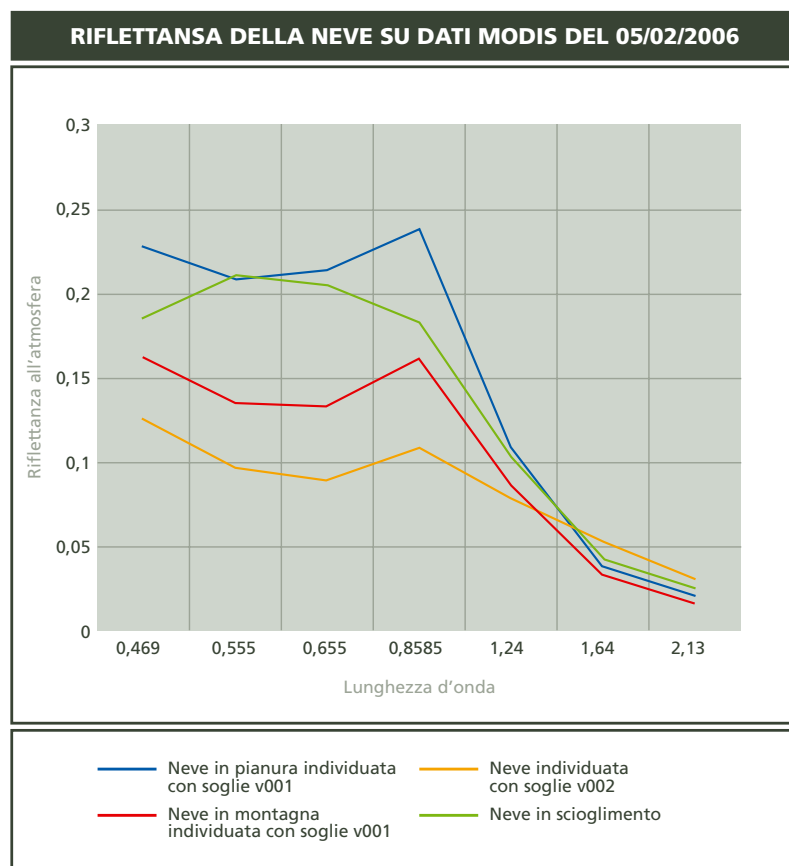
Siccome le soglie da applicare all'albero decisionale riportate in bibliografia, ed indicate nella tabella di Fig. 1 come v000, sono definite a scala globale e tendono a sottostimare la copertura nevosa alle latitudini e quote emilia-romagnole, si è cercato di modificarle in relazione alla realtà locale in funzione delle condizioni del manto nevoso. Da questo sono state individuate le soglie v001, efficaci in condizioni di basse temperature, e le soglie v002 in grado di classificare la neve anche in parziale scioglimento. Le v002 presentano però una percentuale più elevata di false classificazioni nelle zone di pianura interessate da suoli nudi particolarmente umidi. Queste false assegnazioni devono essere successivamente corrette manualmente in quanto non è

possibile porre dei sistemi di controllo automatici.

Nel grafico di Fig. 2 si mostrano le firme spettrali di differenti tipi di neve raccolte in data 05-02-2006. La linea blu rappresenta la firma spettrale di neve ben compatta in pianura, mentre la linea rossa rappresenta lo stesso tipo di neve in montagna. La curva rossa è più

Soglie utilizzate negli alberi decisionali per la classificazione della neve	
Neve	Soglia (≥)
v000	
NDSI	0.4
B2	0.1
B4	0.1
v001	
NDSI	0.4
B2	0.05
B4	0.05
v002	
NDSI	0.2
B2	0.05
B4	0.05

Fig. 1  
Fig. 2



**Soglie utilizzate negli alberi decisionali per la classificazione delle nubi**

Neve	Soglia ( $\geq$ )
B1	0.4
B2	0.1
B3	0.1
B4	B4
B5	0
B6	0.05

Fig. 3

Fig. 4

bassa perché influenzata da zone d'ombra dovute alla morfologia. Questi due risultati sono stati ottenuti applicando le soglie della versione v001. La linea magenta, calcolata con le soglie v002, rappresenta neve in condizioni più bagnate rispetto alle precedenti, mentre la linea verde, calcolata come differenza tra v002 e v001, rappresenta una potenziale firma spettrale della neve a maggiore scioglimento.

Allo stesso tempo vengono individuate le nubi utilizzando un albero decisionale basato sui valori di riflettanza delle bande 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Viste le notevoli difficoltà presenti nell'individuazione delle nubi, si è provveduto anche in questo caso a calcolare delle soglie locali (tabella di Fig. 3). I pixel che soddisfano i criteri sopra riportati sono così stati classificati come neve e nubi.

I dati elaborati di neve e nubi vengono successivamente caricati in ambiente GIS ed estratti per fasce altimetriche provinciali, in base al modello digitale del terreno a 100 m di risoluzione geometrica:

- (-10)-150 mslm;
- 150-300 mslm;
- 300-600 mslm;
- 600-1000 mslm;
- >1000 mslm.

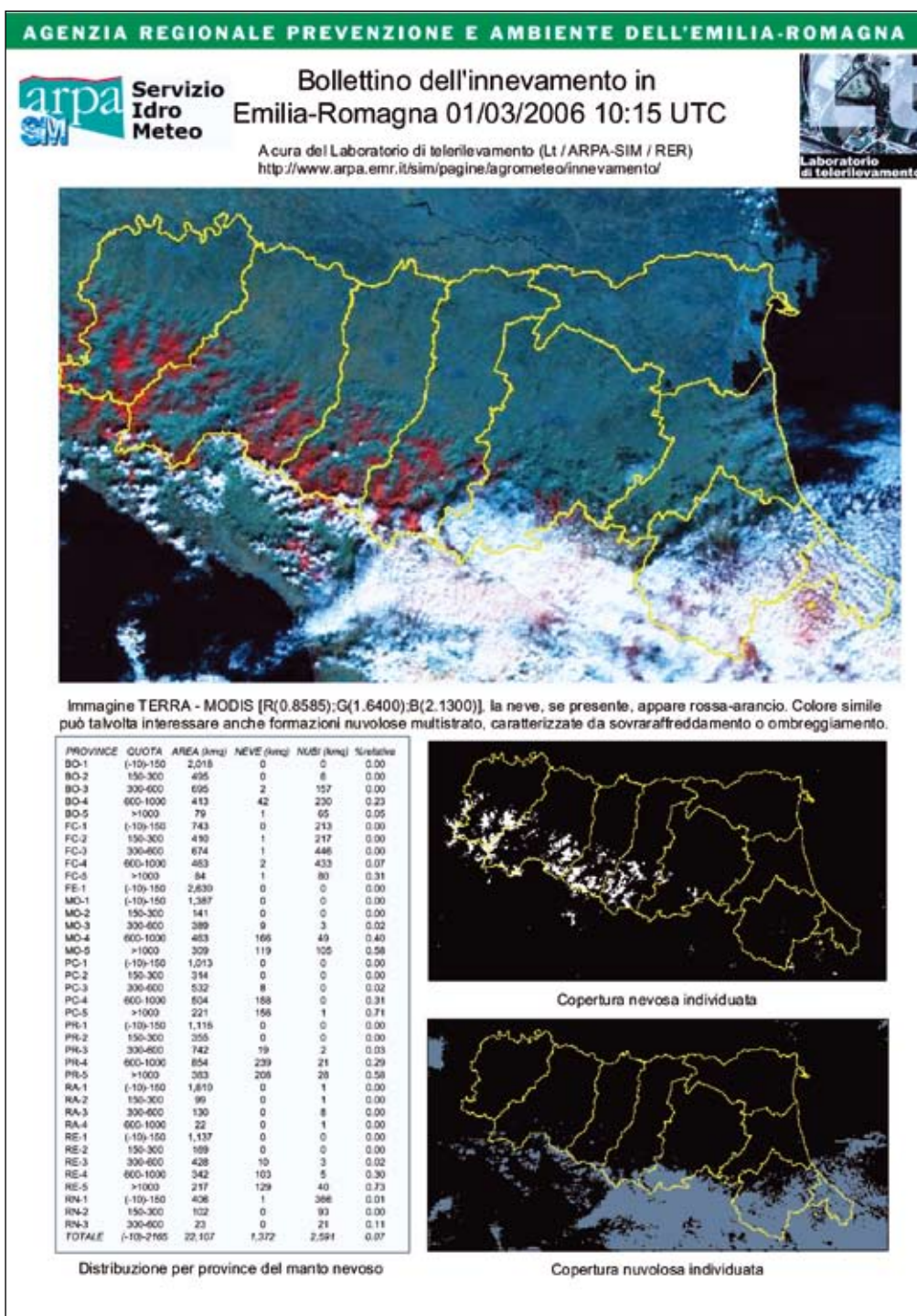
A questo punto vengono calcolate le superfici a neve e nubi per le varie zone in km<sup>2</sup> e successivamente si procede alla conversione dei dati sopra citati in percentuale di copertura nevosa al netto delle nubi, sottraendo ad ogni area altimetrica la copertura nevosa e calcolando la percentuale di neve sulle aree libere da nubi. Il dato così espresso permette di confrontare le varie date in termini relativi.

**ANALISI DEI DATI**

**Inverno 2005-2006**

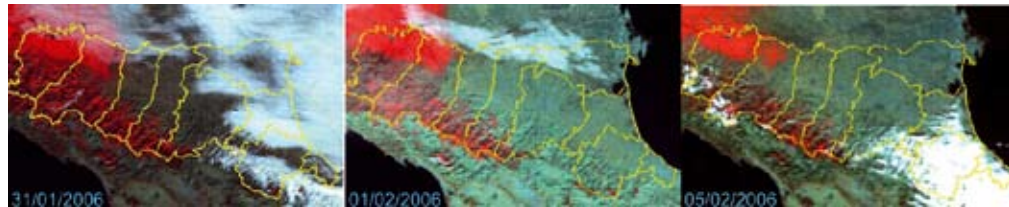
Nella stagione sono stati prodotti un totale di 33 bollettini (un esempio è riportato in Fig. 4), che coprono il periodo da fine novembre 2005 a inizio giugno 2006. Tra i mesi di febbraio e marzo il servizio ftp ha presentato delle difficoltà dovute a problemi ai server della Nasa che gestiscono la distribuzione, successivamente la situazione si è normalizzata.

Le nevicate della stagione sono state classificate in 14 fenomeni



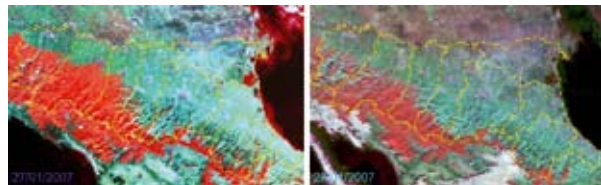
nevosi, intesi come una o più giornate in cui si ha avuto caduta di neve. L'individuazione di questi gruppi è stata fatta incrociando le nevicate registrate dalla sala operativa delle previsioni meteo del Servizio e le immagini Modis classificate.

Il primo episodio si è avuto durante la terza decade di novembre, quando un intenso afflusso d'aria fredda provoca nevicate estese tra il 22 ed il 23 sull'Appennino, in particolare sul settore romagnolo, e localmente sulla pianura sottostante tra Forlì e Faenza. Un seguente afflusso di aria umida e temperata, scorrendo sul cuscino freddo, provoca precipitazioni nevose anche sulla pianura emiliana, mentre l'aria calda in quota determina la trasformazione in pioggia delle precipitazioni sull'Appennino romagnolo, dove si avrà un repentino scioglimento della neve al suolo. Sull'Appennino emiliano si ha una caduta consistente di pioggia che gela o "gelicidio". Successivamente la neve si ripresenterà in maniera diffusa fino alla quota della bassa collina nella notte tra i giorni 8 e 9, e tra il 27 ed il 28 dicembre quando, in quest'ultimo caso, arriva anche in pianura, sebbene con accumuli modesti. Degno di nota l'evento esteso di gelicidio sulla pianura durante la notte del 31 dicembre. Il mese di gennaio 2006 è stato dominato dalla persistenza di correnti settentrionali che hanno provocato temperature costantemente molto inferiori alla media. In questo modo si crearono le condizioni adatte per un'intensa nevicata, solo che si fossero aggiunti altri ingredienti indispensabili. Tali condizioni furono verificate il 25 e 26 gennaio, allorché una profonda saccatura di bassa pressione determinò un'intensa risposta di aria calda e umida sciroccale



che, scorrendo sull'aria più fredda al suolo, provocò una delle nevicate più intense degli ultimi decenni sulle regioni nord occidentali dell'Italia. In questo modo le provincie di Piacenza e Parma sono state le più interessate dalle precipitazioni nevose, dove si sono raggiunti finanche i 50 cm di neve fresca al suolo sulle zone di pianura. La quantità di neve caduta sulla parte restante del territorio regionale diminuiva velocemente precedendo verso levante tanto che, ad esempio, la città di Bologna non ha visto nessun accumulo significativo se non nel suo quartiere più occidentale di Borgo Panigale. Nel mese di febbraio hanno prevalso nuovamente correnti fredde e secche, salvo poi proprio alla fine, quando il 28 nevicata in Romagna anche in pianura, dove gli accumuli sono intorno ai 3 cm. Altre deboli nevicate si hanno sull'Appennino nei giorni seguenti fino a quota collinare; si giunge, così, arrivare alla nevicata del 12 marzo quando si registrano accumuli consistenti sui rilievi, in particolare sul settore centrale, e scarsi o nulli in pianura.

Dal confronto delle analisi compiute sui dati Modis si registra che la neve caduta a fine novembre ha iniziato subito a sciogliersi e nel periodo natalizio è rimasta solo sulle fasce montane, specialmente modenesi. Successivamente le nevicate del 27-28/12 hanno fatto registrare un forte aumento della copertura relativa, arrivata al 44%, con copertura nuvolosa consistente sul settore sud orientale, presumibilmente interessato da neve solo sull'area



delle foreste casentinesi. Nel periodo successivo la neve tende a rimanere stabile grazie alle basse temperature fino al 10/01. Da questo momento inizia una serie di giornate serene, caratterizzate da temperature più calde, che portano ad un nuovo scioglimento (10% di copertura relativa). La nevicata del 26/01 porta neve sul settore occidentale. Il bollettino del 31/01 individua come innevata tutta la provincia di Piacenza e 2/3 di quella di Parma, mentre nella giornata successiva, la neve si presenta drasticamente ridotta del 40% su Piacenza e di 1/3 su Parma, con una riduzione netta di circa 2.000 km<sup>2</sup> (Immagine di Fig. 5). Questi due bollettini sono molto interessanti poiché mostrano come in meno di 24 h, in periodo invernale, si possa assistere a forte scioglimento su vaste superfici. I bollettini successivi mostrano come la neve tenda a sciogliersi sulla fascia collinare regionale, mentre rimanga più stabile sulla pianura piacentina e crinale toscano-emiliano.

Guardando le portate del Po a Ponte Lagoscuro, si nota come nello stesso periodo temporale si assiste ad un picco di portata intorno al 05/02, presumibilmente dovuto allo scioglimento della neve.

Nelle date a seguire non viene più registrata neve in pianura e sulla parte montana lo scioglimento inizia da oriente. In data

Fig. 5 (in alto) - Innevamento sul periodo 31/01-05/02/2006.

Fig. 6 - Giornate del 27-28/01 a seguito della nevicata intensa del 26/01/2007. Si può notare come la neve sulla parte di pianura in una giornata si sia completamente sciolta.



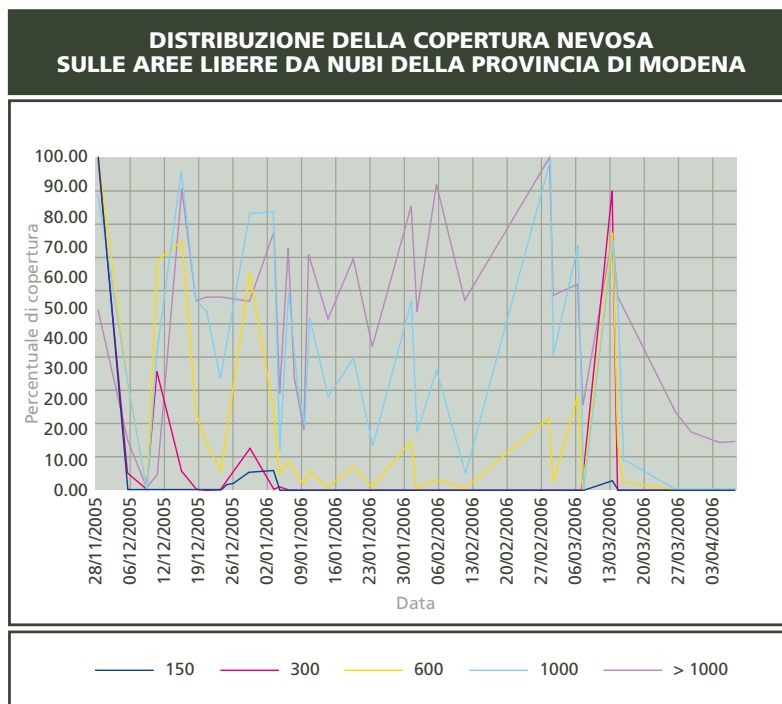


Fig. 7

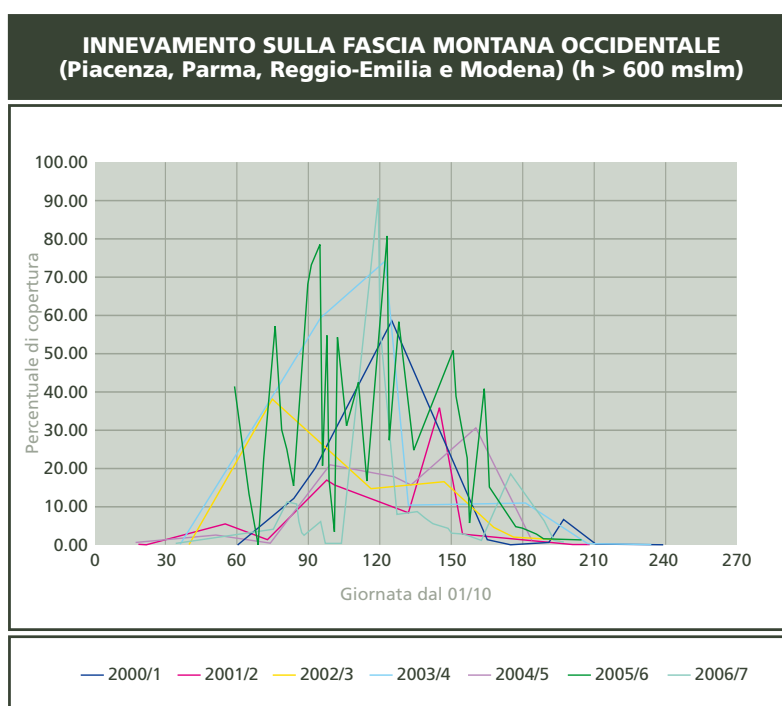


Fig. 8

12/03 una forte nevicata interessa la zona del modenese e reggiano, registrata nel bollettino del 13/03. Quest'ultima nevicata si mantiene fino al 15/03, quando ormai a occidente la neve non è più presente e a oriente rimane sulle fasce altimetriche più elevate. Dal 26/03 al 23/04 la neve rimane solo sulla zona di crinale nelle province Parma, Reggio Emilia e Modena. Si sottolinea che durante il monitoraggio dell'annata considerata,

i dati della provincia di Ferrara tendono ad essere sovrastimati a causa di false classificazioni di aree d'acqua dolce. Queste classificazioni errate sono più marcate con l'applicazione delle soglie v002 rispetto a v001. Il fenomeno è maggiormente evidente a fine stagione, quando si ha neve in fase di scioglimento. Questa sovrastima tende invece a scomparire nel momento che vengono applicate le soglie globali di identificazione (v000).

Questo andamento è giustificato dal fatto che in condizioni umide la neve assume una risposta spettrale più prossima all'acqua (grafico di Fig 2) e le soglie definite in v000 mirano a separare in modo più marcato la neve dall'acqua.

### Inverno 2006- 2007

Visto che l'annata è stata caratterizzata da poche nevicate localizzate principalmente sui rilievi tra Parma e Bologna e temperature elevate, per la discriminazione sono state utilizzate le soglie definite come v002 e successivamente si è proceduto ad una correzione a video delle false classificazioni presenti nelle aree costiere e umide di pianura.

Dall'incrocio tra segnalazioni della sala operativa meteorologica del Servizio e dalle immagini Modis sono state individuati 9 fenomeni nevosi, intesi come una o più giornate in cui si è avuto caduta di neve e cielo nuvoloso, distribuiti tra novembre e marzo, con maggior frequenza tra metà gennaio e fine marzo.

Dal punto di vista meteorologico la stagione fredda 2006-07 è stata fortemente anomala. In particolare sull'Italia settentrionale la situazione è stata dominata dalla stabilità atmosferica che ha portato precipitazioni nel complesso scarse. Durante i periodi umidi le correnti prevalenti che provenivano dai quadranti occidentali erano, dunque, temperate tanto da mantenere i valori delle temperature su livelli molto superiori a quelli attesi nel periodo. Per questo motivo la quota del livello dello zero termico si è presentata in media ad altezze superiori alle cime dell'Appennino settentrionale.

Ad inizio novembre si ha un'intensa irruzione di aria fredda, senza precipitazioni, subito sostituita da tempo stabile e caldo che si protrarrà fino al 21 dicembre,

quando una goccia fredda porta la neve sui rilievi; gli accumuli maggiori si avranno sul settore romagnolo. Gli ultimi giorni dell'anno saranno più freddi del normale. Gennaio 2007, nella sua costante stabilità anticiclonica, rappresenta una delle anomalie più significative della storia recente: secco e caldo fino ad oltre il 20. Tra il 23 ed il 26 l'aria umida torna sulla penisola, questa volta con temperature più basse, provocando nevicate abbondanti sull'Appennino emiliano e, molto più scarse, su di una limitata zona di pianura pedemontana tra le provincie di Parma e Reggio. A febbraio la regione è interessata da un regime atlantico che favorisce le precipitazioni lungo il crinale appenninico ma, date le alte temperature, anche l'assenza di neve alle alte quote. Un intenso afflusso di aria fredda tra il 19 e 20 marzo porta un po' di neve sulla pianura emiliana, con leggeri accumuli ancora una volta tra Parma e Reggio. Le precipitazioni frequenti nei giorni successivi si traducono in nevicate abbondanti sui rilievi emiliani. La neve di fine marzo è rimasta presente sul crinale fino alla terza decade di aprile. Il 26/01 e 20/03 sono stati gli unici giorni in cui ha nevicato in pianura. Nell'immagine di Fig. 6 si mostrano le due acquisizioni Modis del 27-28/01 a seguito della nevicata più consistente dell'anno (26/01) e si nota come a causa delle temperature, la copertura nevosa di pianura è perdurata per solo una giornata. Nel grafico di Fig. 7 è riportata la distribuzione del manto nevoso sulla fascia montana occidentale (quote > 600 mslm) delle provincie di Piacenza, Parma, Reggio-Emilia e Modena. La serie temporale copre gli anni 2000-2007 per un totale di 103 date. In generale, questa zona è quel-

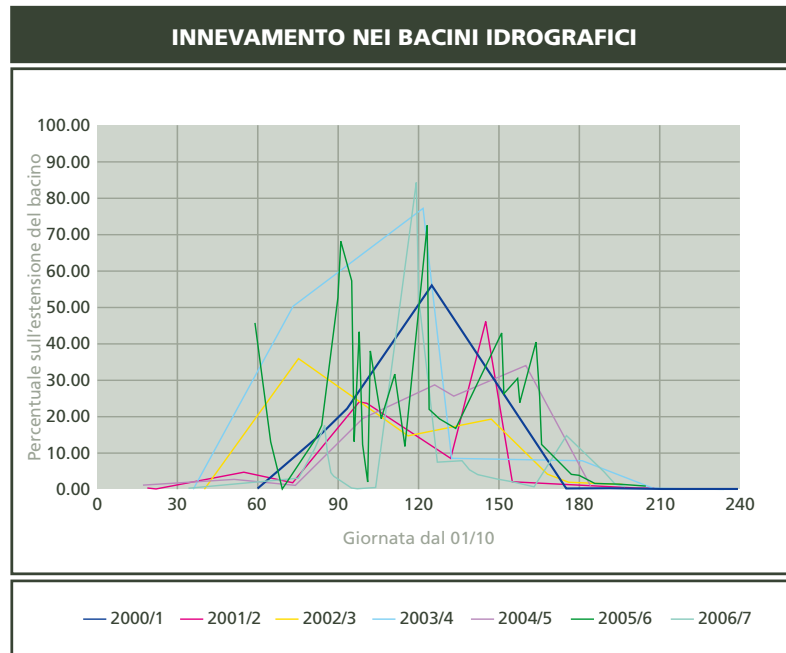


Fig. 9

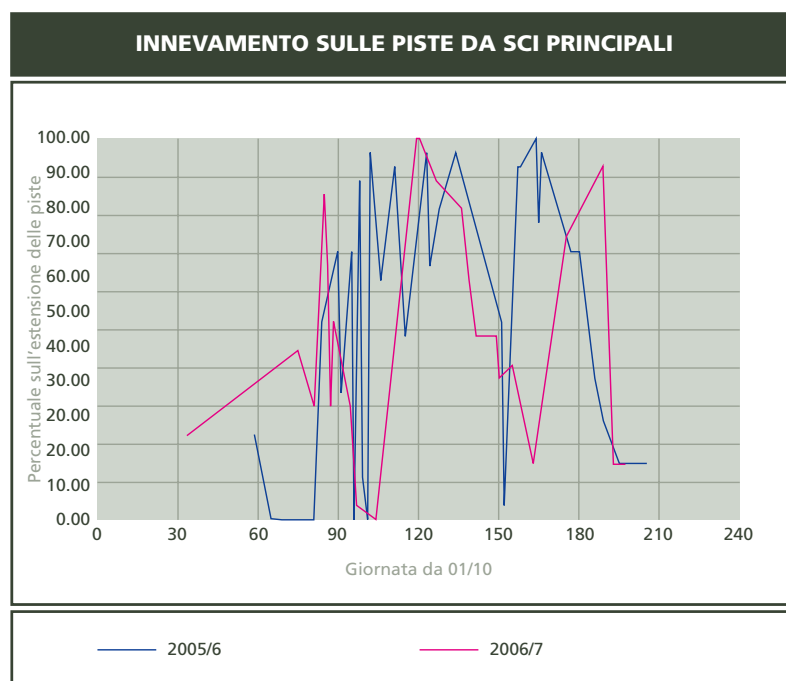


Fig. 10

la più interessata dagli eventi nevosi, sia come frequenza che intensità e persistenza. L'ultima annata è stata la meno innevata soprattutto fino a fine 2006. La copertura nevosa più consistente si è registrata a fine gennaio, raggiungendo il 25% della superficie totale, mentre durante natale si sono registrate coperture del 10% e a fine marzo del 18%. Sulla fascia montana orientale ha nevicato poco, come l'anno precedente. Sempre sulla stessa zona, le nevicate nel periodo natalizio sono state più persistenti

che ad occidente.

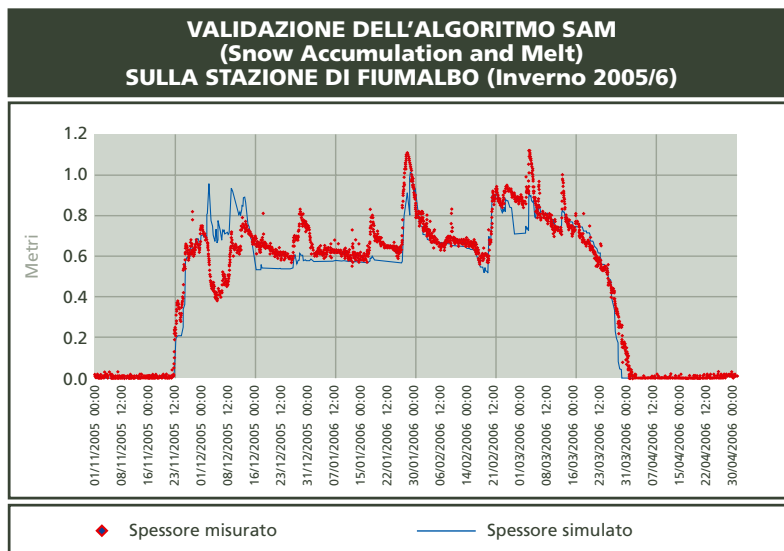
Per l'annata in oggetto sono stati eseguiti due approfondimenti: sui bacini idrografici di pertinenza dei bacini idrici produttivi e sulle piste da sci.

**Sperimentazione del monitoraggio dell'innevamento dei bacini idrografici di pertinenza dei bacini idrici produttivi**

Per l'individuazione dei bacini idrografici che alimentano i bacini idrici produttivi a fini energetici e di potabilizzazione si sono utilizzati i dati dell'uso del



Fig. 11



suolo regionale (Regione Emilia-Romagna, 2006) e specificamente la classe 5122.

Con questo strato vettoriale è stato successivamente possibile selezionare i confini idrografici e utilizzarli per l'estrazione dei dati sulla presenza di neve durante le giornate analizzate. La superficie complessiva dell'area di analisi è di circa 850 km<sup>2</sup>. Un affinamento dei risultati potrebbe essere compiuto attraverso la migliore definizione dei confini di bacino realmente afferenti agli invasi artificiali.

Nel grafico di Fig. 8 si mostrano i dati di riferimento per le stagioni invernali 2000/1-2006/7, per un totale di 99 date analizzate.

Si può notare come la neve sia stata meno presente durante l'ultimo anno. Soprattutto il periodo fine dicembre e inizio gennaio e tra febbraio e marzo hanno fatto registrare scarsa copertura nevosa rispetto alle annate precedenti. Allo stesso tempo si è registrato un picco di copertura nevosa a inizio febbraio, che risulta essere il più elevato della serie attualmente disponibili.

Evidentemente la riduzione della presenza di neve può avere effetti sulla destinazione produttiva dei bacini artificiali ed ulteriori approfondimenti sarebbero da compiere a livello idrologico.

### **Sperimentazione del monitoraggio dell'innevamento delle piste da sci regionali**

Le piste da sci sono state estratte dai dati di uso del suolo regionale (Regione Emilia-Romagna, 2006). Questo tipo di uso del suolo rientra nella classe 1422 che rappresenta tutte le aree verdi a finalità sportiva. Per questo è stato necessario provvedere alla eliminazione dei poligoni non necessari, basandosi su dati altimetrici e di pendenza. Successivamente è stata applicata una soglia per eliminare le superfici minori di 0.25 km<sup>2</sup>, corrispondenti alla superficie di un singolo pixel acquisito da Modis. In totale si sono ottenuti circa 7 km<sup>2</sup> distribuiti sui rilievi occidentali, nelle province di Parma, Reggio Emilia, Modena e Bologna.

Nel grafico di Fig. 9 si mostrano i dati di riferimento per la stagione invernale 2005-2006 e 2006-2007. Dal confronto, i periodi di gennaio e marzo sono stati quelli che hanno fatto registrare la media più bassa, mentre a febbraio e aprile si sono registrate buone coperture. Al contrario durante i mesi di novembre e dicembre si sono individuate coperture maggiori rispetto all'annata precedente.

Nell'analisi si è rilevato il forte limite dovuto alla risoluzione geometrica delle immagini rispetto alle dimensioni delle piste che risultano troppo piccole ed in alcuni casi in zone ombreggiate. Questi due aspetti rendono difficilmente applicabile la metodologia di monitoraggio alla realtà locale.

Modello per il calcolo dell'accumulo e scioglimento della neve  
Visto la carenza di dati nivologici, all'interno del software in uso presso la sala operativa agrometeorologia di Arpa è stato implementato un modello di calcolo dell'accumulo e scioglimento della neve (snow accumulation and melt: Sam) sviluppato da E. Brooks e J. Boll (2007).

Il modello utilizza dati meteorologici orari spazializzati di temperatura dell'aria, precipitazione, umidità relativa, vento e radiazione solare. Le prime quattro grandezze sono misurate dalla rete ARPA-SIM con una adeguata rappresentatività spaziale, e vengono interpolate mediante algoritmi geostatistici classici modificati da G. Antolini e F. Tomei (2006) per migliorarne il rapporto con l'orografia del territorio.

Al contrario il numero di stazioni in grado di misurare l'irradianza globale è assai limitato, pertanto si è provveduto a sviluppare anche un modello di stima di radiazione potenziale e reale (globale, diretta e diffusa) mediante gli algoritmi del modulo r.sun del software GIS Grass. Il calcolo della trasmittività atmosferica e della radiazione reale è basato sul modello di Bristow e Campbell (1985).

Lo scioglimento nevoso è simulato attraverso un bilancio energetico superficiale applicato ad un singolo strato di manto nevoso, e produce valori orari di equivalente in acqua della

neve (snow water equivalent: Swe) e temperatura superficiale del manto nevoso. Il modello è carente per quanto riguarda il calcolo dell'accumulo della neve per effetto del vento (snowdrift), che si ritiene necessario aggiungere prossimamente. Un problema che si è evidenziato è la presenza di numerose stazioni di rilevamento con pluviometri non riscaldati che forniscono quindi dati non correttamente allineati nel tempo.

Malgrado i difetti evidenziati sopra, i primi risultati di validazione del modello sul territorio dell'Emilia-Romagna sono soddisfacenti e fanno ritenere che i dati di Swe così calcolati potranno essere inseriti nel bollettino dell'innevamento. Nel grafico di Fig. 10 si mostra la validazione eseguita sulla stazione di Fiumalbo durante l'inverno 2005/6.

## CONCLUSIONI

Il sensore Modis si dimostra un ottimo strumento per il monitoraggio regionale giornaliero del manto nevoso, in quanto dispone di bande di acquisizione ben calibrate per applicazioni ambientali. Il limite principale è riscontrabile in caso di forte presenza nuvolosa che impedisce la discriminazione del suolo, fenomeno che può essere frequente durante la stagione invernale alle latitudini emiliano-romagnole. In questo lavoro sono state utilizzate scene Modis già calibrate radiometricamente scaricabili via ftp dai server della Nasa, distribuite in tempo quasi reale e che richiedono elaborazioni successive ben implementate in alcuni software di analisi.

Se pur non siano stati compiuti rilievi per stimare la percentuale di errore di individuazione, si può sostenere che l'algoritmo tende in parte a sottostimare l'estensione della neve in zone

montane quando sussistono condizioni di neve bagnata, ombreggiamento e presenza di aree forestali chiuse. Sulle aree di pianura e di crinale, quando la neve è fresca o compatta, la percentuale di sottostima appare drasticamente ridotta, mentre per le aree di crinale, grazie alle temperature più basse, la neve mantiene per periodi più lunghi uno stato compattato che facilita la discriminazione anche a distanza di vari giorni dall'evento nevoso.

Come considerazione generale, supportata anche dalle analisi preliminari compiute per gli anni 2000-2005 sui dati di neve elaborati da Nsidc (Spisni e Marletto, 2005), la neve tende a sciogliersi in tempi relativamente brevi, soprattutto in presenza di venti caldi. Questo comportamento è visibile nel grafico di Fig. 11, in cui le fluttuazioni nel periodo gennaio-febbraio 2006, non sono dovute a nubi, ma a neviccate seguite da rapido scioglimento e successiva nevicata. Questa tendenza ha come seguito implicazioni idrogeologiche di grande rilievo in quanto si possono registrare delle correlazioni tra scioglimento, ondate di piena e rischio di frane. Per ulteriori dettagli sulla distribuzione della neve nelle varie province si rimanda alla pubblicazione disponibile su internet (Spisni e Marletto, 2006).

Il bollettino della neve prodotto da Arpa rappresenta una importante fonte di dati elaborata da satellite, con costi molto contenuti di gestione in una regione non alpina, caratterizzata da un manto nevoso poco stabile e soggetto a rapidi scioglimenti, che non dispone su larga scala del personale e dei servizi di monitoraggio e rilevazione delle caratteristiche fisiche della neve.

Attualmente si stanno dedi-

cando risorse all'ampliamento dell'archivio storico sul periodo 2000-attuale, in modo da disporre almeno di 1-2 acquisizioni a mese in ottime condizioni di cielo sereno, durante l'arco temporale di ottobre-aprile. Per ora sono disponibili 103 date già elaborate su un totale di 151 individuate come acquisizioni ottimali.

La possibilità di integrare il calcolo dell'equivalente in acqua della neve permetterà di fornire una informazione di estremo interesse per il monitoraggio dell'acqua in regione.

## Bibliografia

- Antolini G., Tomei F., 2006. PRAGA – programma per l'analisi e gestione di dati agrometeorologici. Atti convegno AIAM, Torino.
- Bristow K.L., Campbell G.S., 1985. An equation for separating daily solar irradiation into direct and diffuse components. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35, 123-131.
- Brooks E., Boll J., Mc Daniel P. A., 2007, Distributed and integrated response of a geographic information system-based hydrologic model in the eastern Palouse region, Idaho, *Hydrological processes*, 21, 110-122.
- Hall K. D. et al., 2001, Algorithm Theoretical Basis Document (Atbd) for the Modis Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms, <http://Modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/atbd.html>
- Regione Emilia-Romagna, 2006, Uso del suolo 2003 versione 11/2005, [http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/ERMES/Canali/territorio/cartografia\\_regionale/uso\\_copertura\\_suolo.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/ERMES/Canali/territorio/cartografia_regionale/uso_copertura_suolo.htm)
- Riggs G.A. et al., 2004, Snow and Cloud Discrimination Factors in the Modis Snow Algorithm, *Proceedings of the Igrass, Anchorage, Alaska*,
- Spisni A., 2007, Evoluzione della superficie innevata in Emilia-Romagna durante l'inverno 2006-2007 tramite dati Modis L1B, Rapporto interno, [http://www.Arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=811&idlivello=64](http://www.Arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=811&idlivello=64)
- Spisni A., Marletto V., 2005, Telerilevamento della copertura nevosa negli inverni 2000-2005 tramite Modis-Terra, Rapporto interno, [http://www.Arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=519&idlivello=64](http://www.Arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=519&idlivello=64)
- Spisni A., Marletto V., 2006, Andamento della copertura nevosa e Ndvi per la stagione invernale 2005-2006, Rapporto interno, [http://www.Arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=523&idlivello=64](http://www.Arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=523&idlivello=64)

## Riferimenti Internet

1. Modis Rapid Response System: [http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?AERONET\\_Ispra/2006001&altdates](http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?AERONET_Ispra/2006001&altdates)
2. Nasa: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>
3. Bollettino Arpa-Sim: <http://www.Arpa.emr.it/sim/?telerilevamento/innevamento>