

## Telerilevamento della copertura nevosa negli inverni 2000-2005 tramite MODIS-TERRA

Andrea Spisni ([aspisni@arpa.emr.it](mailto:aspisni@arpa.emr.it)) e Vittorio Marletto ([marletto@arpa.emr.it](mailto:marletto@arpa.emr.it))

Laboratorio di Telerilevamento; Area Agrometeorologia e territorio; Servizio Idrometeorologico (SIM), ARPA-EMR  
(<http://www.arpa.emr.it/sim>)

L'individuazione della copertura nevosa, la sua stima quantitativa ed i tempi di scioglimento sono molto importanti per studi di dissesto idrogeologico e previsione frane, per la ricarica delle falde d'acqua dolce, per dare indicazioni sul disagio ambientale ed agricolo, per studi sulle relazioni con le superfici forestali e per fini turistici.

Il presente lavoro ha analizzato una serie temporale di immagini MODIS-TERRA, prodotto MOD10A1 livello L3, elaborate dal National Snow and Ice Data Center statunitense (<http://nsidc.org/daac/modis/index.html>) per l'individuazione della copertura nevosa al suolo. Il periodo considerato copre tutti gli anni di attività del satellite TERRA e quindi sono stati considerati i mesi compresi tra ottobre e giugno degli anni 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004 e 2004-2005. Per ogni mese, in funzione delle condizioni meteo migliori, sono state scelte una o due immagini MODIS, sensore iperspettrale montato sul satellite Terra.

I dati e prodotti MODIS sono disponibili gratuitamente alla NASA dopo varie procedure di elaborazione e validazione dei risultati. La risoluzione spaziale delle immagini utilizzate è di 463 m, quindi ogni pixel copre un'area di 21 ha circa.

I dati di nuvolosità e neve sono stati analizzati a livello regionale, provinciale e comunale. In questo articolo viene considerato un percorso (Tabella 1) che parte da Bologna e segue la SS 64 Porrettana fino al bivio per la SS 324 verso Sestola e poi prosegue sulla SS 12 Abetone-Brennero attraverso Pavullo fino a Modena per un totale di 180 km. Lungo il percorso si passa da quote medie di pianura a circa 1200 m (Grafico 1 e Grafico 2). Nel Grafico 3 si riportano le date analizzate e la distribuzione complessiva a livello regionale.

Le immagini dell'annata 2000-2001 (Grafico 4, Grafico 5) presentano una bassa copertura nuvolosa soprattutto nei mesi tra dicembre e marzo. In questo periodo si assiste all'incremento della copertura nevosa a partire dal 23 dicembre, con coperture superiori all'80% in gennaio e febbraio nei comuni di Riolunato, Lama Mocogno e Pievepelago. Il 24 marzo 2001, il crinale presentava nuvolosità inferiore al 15% ed era libero da neve.

Anche la serie temporale per l'annata 2001-2002 (Grafico 6, Grafico 7) si presenta, nei mesi tra dicembre e febbraio, con copertura nuvolosa minore del 20%. Tra inizio gennaio e fine febbraio si assiste ad un drastico calo del manto nevoso che passa, per il comune di Sestola, dal 60% a meno del 10%. Questa fluttuazione è stata registrata per tutti i comuni di crinale ed è legata alla presenza di correnti calde che hanno portato allo scioglimento della neve. Fine febbraio risulta il periodo più nevoso.

Alla data del 4 marzo, l'appennino bolognese-modenese si presenta con una copertura nevosa minore del 20%.

Un andamento simile viene registrato per l'annata 2002-2003 (Grafico 8, Grafico 9). La copertura nuvolosa si presenta bassa e la neve fa la sua comparsa verso la metà di dicembre.

A Lama Mocogno si registra un picco il 24 febbraio con copertura all'80% e nubi minori del 10%. Nello stesso comune, il 25 marzo, con assenza di nubi, la neve è completamente sciolta.

Andamento simile avviene anche a Sestola, che però a fine marzo mantiene una copertura del 5%.

Durante l'inverno la copertura si mantiene pressoché costante e non subisce fluttuazioni come l'inverno precedente.

L'annata 2003-2004 presenta un cambiamento di tendenza (Grafico 10, Grafico 11). In presenza di nuvolosità inferiori al 15%, si nota che la neve sul crinale mantiene una copertura del 30% a fine marzo. I principali picchi nevosi sono registrati tra metà dicembre e fine gennaio con successiva oscillazione come nel 2001-2002.

Le scene dell'inverno 2004-2005 (Grafico 12, Grafico 13) si presentano con nubi inferiori al 20%, la neve viene registrata già il 20 novembre a Fanano sul 20% della superficie comunale.

La scena di marzo ha forte nuvolosità, quindi il dato non è significativo, però l'immagine di inizio aprile indica la presenza di neve sul 5-10% del crinale emiliano, quindi maggiore rispetto agli inverni precedenti.

Analizzando le immagini L1B è possibile vedere la reale copertura del suolo al momento dell'acquisizione, ad esempio nella Figura 1 si mostra l'immagine del 13 dicembre 2004 che si presenta completamente serena ed in cui si vede l'area agricola di pianura con le sue parcellizzazioni, allo stesso tempo è possibile constatare che la neve è presente solo sulle cime più alte del crinale tosco-emiliano-romagnolo. Nella Figura 2 del 7 gennaio 2005 è possibile vedere una fitta coltre di nebbia in pianura e la neve sul crinale.

Nel Grafico 14 è mostrata la distribuzione della copertura nevosa nel comune di Sestola durante le annate, in cui sono visibili le variazioni di copertura tra gennaio e fine febbraio nel 2002 e 2004.

Nel Grafico 15 si mostra il transetto della copertura nevosa per una data particolarmente serena e con abbondante presenza di neve, mentre nella Figura 4 si presenta la visione del dato MODIS MOD10A1 alla stessa data.

Da questa prima indagine è emerso che un limite della procedura è individuabile nella frequente copertura nuvolosa riscontrata nel periodo tra dicembre e marzo. In questi mesi infatti è molto difficile trovare giornate con poche nuvole, quindi tra una data e l'altra può intercorrere anche più di un mese. Spesso capita che la pianura o l'area appenninica siano alternativamente nuvolose. Al fine di facilitare la ricerca bisognerebbe operare su aree più ristrette e utilizzare i dati meteo per individuare le giornate migliori. Per questo lavoro, la ricerca delle date è stata effettuata tramite la consultazione di banche dati di immagini MODIS a risoluzione 1 km.

Le immagini NASA sono spesso realizzate con mosaici giornalieri composti da due passaggi, il primo tra le 11.00 e 13.00 ed il secondo verso le 20.00 fino a notte. Il prodotto validato è reso disponibile con un ritardo temporale di 48-72 ore. Questi tempi possono essere ridotti nel caso si opti di scaricare il dato di livello L1B. In questo caso il prodotto può essere direttamente scaricato da un sito ftp della NASA ([http://daac.gsfc.nasa.gov/daac-bin/MODIS/Data\\_order.pl?PRINT=1](http://daac.gsfc.nasa.gov/daac-bin/MODIS/Data_order.pl?PRINT=1)) con un ritardo di 12-18 ore. Le immagini L1B (MOD02) a risoluzione di 250-500-1000 m e prodotti derivati sono gratuite e distribuite unicamente via ftp. Il livello L1B richiede una serie di operazioni aggiuntive che vanno dalle correzioni dell'allineamento dei pixel (effetto bow-tie), alla georeferenziazione e alla successiva individuazione del manto nevoso. La classificazione può essere eseguita o tramite una formula di rapporto tra bande o utilizzando un algoritmo di classificazione, basato su un archivio di firme spettrali della neve. Altra possibile tecnica è la fotointerpretazione delle immagini stesse. A questo punto il dato può essere analizzato in ambiente GIS.

MODIS rappresenta una buona soluzione per studiare la copertura nevosa in quanto acquisisce ogni giorno, con risoluzione ottimale di circa 500 m e dispone di una buona risoluzione spettrale. La qualità delle acquisizioni, anche se non sempre perfetta, non pregiudica l'individuazione della neve che è facilmente riconoscibile grazie alla banda a 1600 nm. Viste le difficoltà di registrare e reperire informazioni sulla copertura nevosa, le immagini MODIS si dimostrano un buon strumento per tale monitoraggio anche se non riesce a stimare lo spessore.

Come ricordato sopra, i dati L1B sono in parte disponibili anche con risoluzione di 250 m per le bande del rosso e del vicino infrarosso. Le restanti bande possono essere ricampionate a tale risoluzione ed essere utilizzate nelle analisi successive. Evidentemente l'ordine dei dati a 250 e 500 m porta a raddoppiare le dimensioni dei file da scaricare ed i successivi tempi di elaborazione e disponibilità di spazio per l'archiviazione.

Analizzando i dati emerge che a livello regionale si ha avuto un picco di copertura nevosa al 37% il 30 gennaio 2004 in cui tutta la parte appenninica regionale e parte della pianura bolognese risultavano coperte da neve (Figura 3, Figura 4, Figura 5). Si nota anche che gennaio e febbraio sono stati i mesi a maggior copertura nevosa.

Lungo il percorso analizzato, i sei comuni di crinale (Fanano, Sestola, Montecreto, Riolunato, Pievepelago e Lama Mocogno), Montecreto, Riolunato e Lama Mocogno) sono risultati quelli maggiormente interessati da ampie coperture nevose.

Questo primo approccio ai dati MODIS di neve vuole essere uno stimolo allo sviluppo di applicazioni interdisciplinari nei campi dell'ingegneria ambientale e nelle scienze agronomiche e forestali. Un esempio di applicazione integrata ancora in corso, basata anche su dati MODIS è il Programma INTERREG III A Transfrontaliero Adriatico di monitoraggio delle mucillagini ([www.requisite.it](http://www.requisite.it)).

## Tabelle

| <b>COMUNI</b>        | <b>Area KM2</b> | <b>Quote medie (m)</b> |
|----------------------|-----------------|------------------------|
| BOLOGNA              | 140.70          | 82.24                  |
| CASALECCHIO DI RENO  | 17.57           | 115.30                 |
| SASSO MARCONI        | 96.90           | 255.59                 |
| MARZABOTTO           | 74.47           | 327.95                 |
| VERGATO              | 60.01           | 465.51                 |
| GAGGIO MONTANO       | 58.77           | 621.66                 |
| LIZZANO IN BELVEDERE | 85.93           | 984.93                 |
| FANANO               | 89.87           | 1,075.13               |
| SESTOLA              | 52.48           | 827.29                 |
| MONTECRETO           | 31.17           | 843.99                 |
| RIOLUNATO            | 45.41           | 1,152.51               |
| PIEVEPELAGO          | 76.27           | 1,264.54               |
| LAMA MOCOIGNO        | 63.73           | 924.34                 |
| PAVULLO              | 144.38          | 587.81                 |
| SERRAMAZZONI         | 93.43           | 551.46                 |
| MARANELLO            | 32.72           | 203.86                 |
| FORMIGINE            | 47.04           | 78.09                  |
| CASTELNUOVO RANGONE  | 22.63           | 66.28                  |
| MODENA               | 183.54          | 39.06                  |

**Tabella 1. Superfici e quote medie comunali**

Grafici

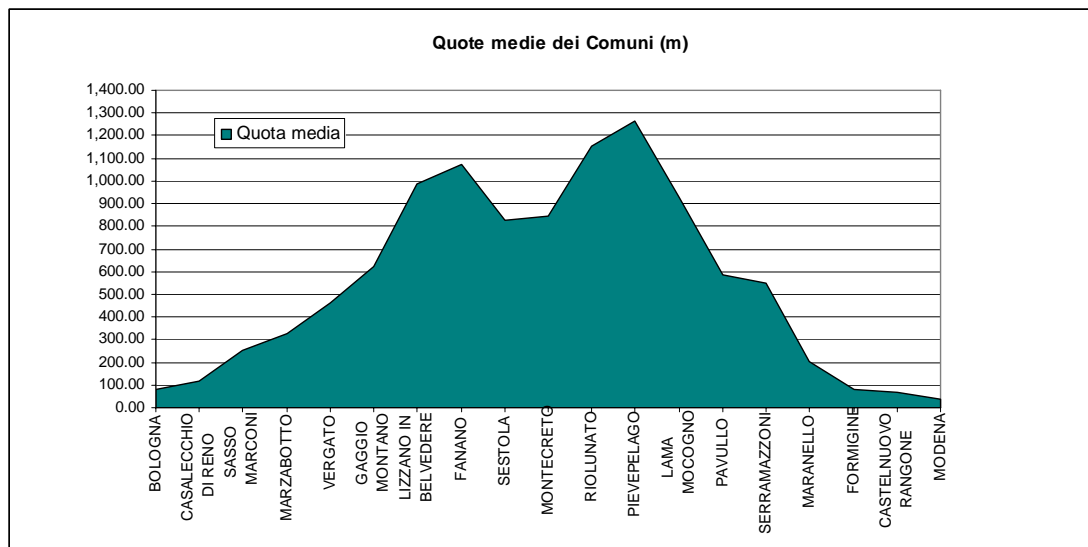


Grafico 1. Distribuzione delle quote medie per i Comuni interessati



Grafico 2. Distribuzione delle quote lungo il percorso stradale

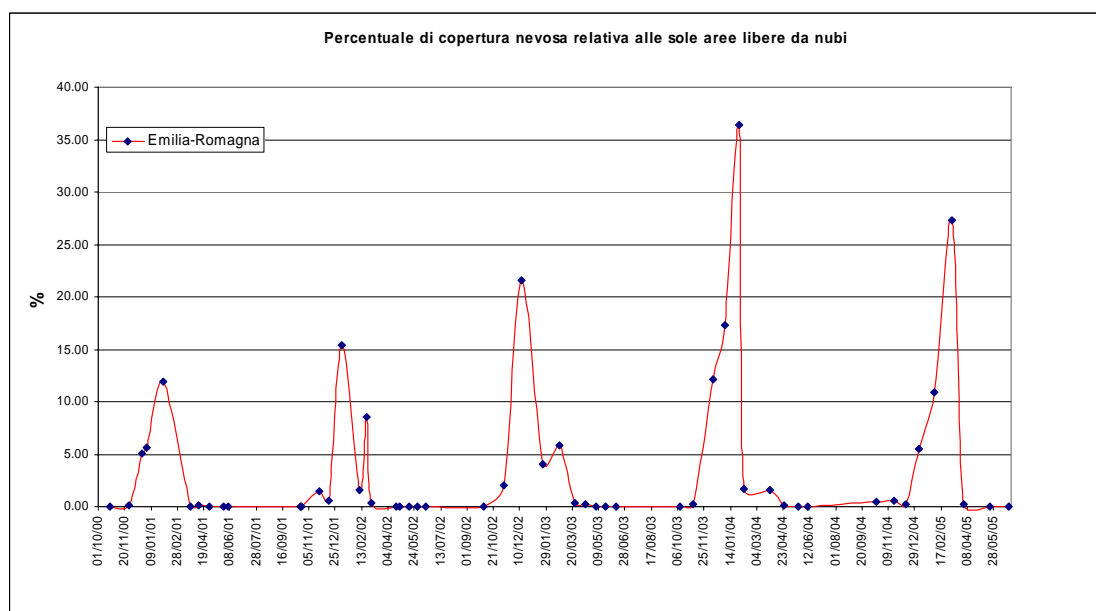
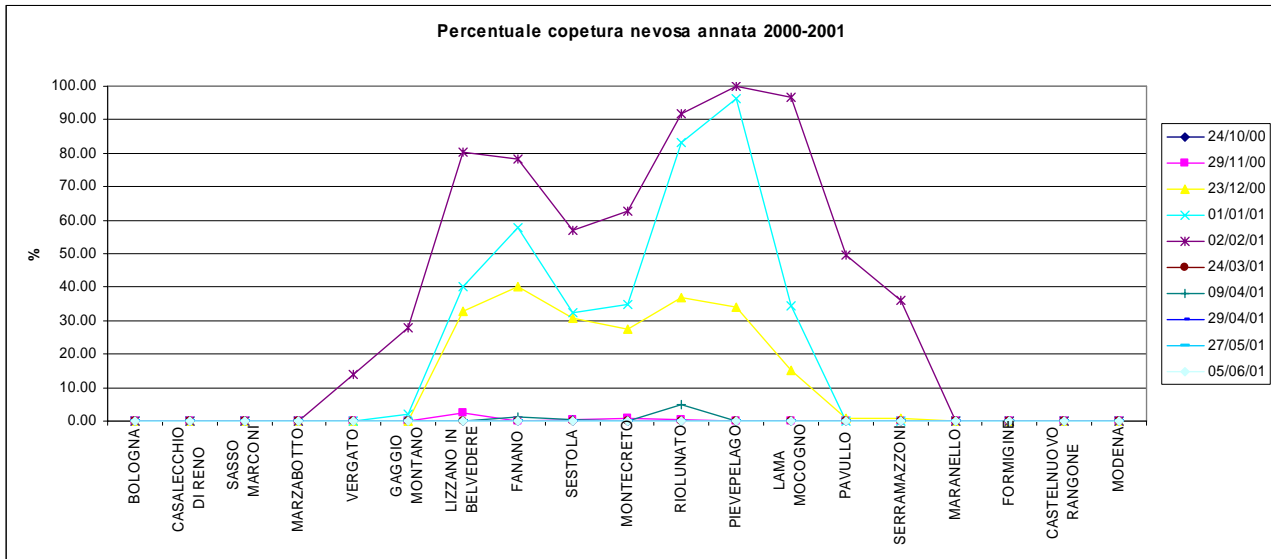
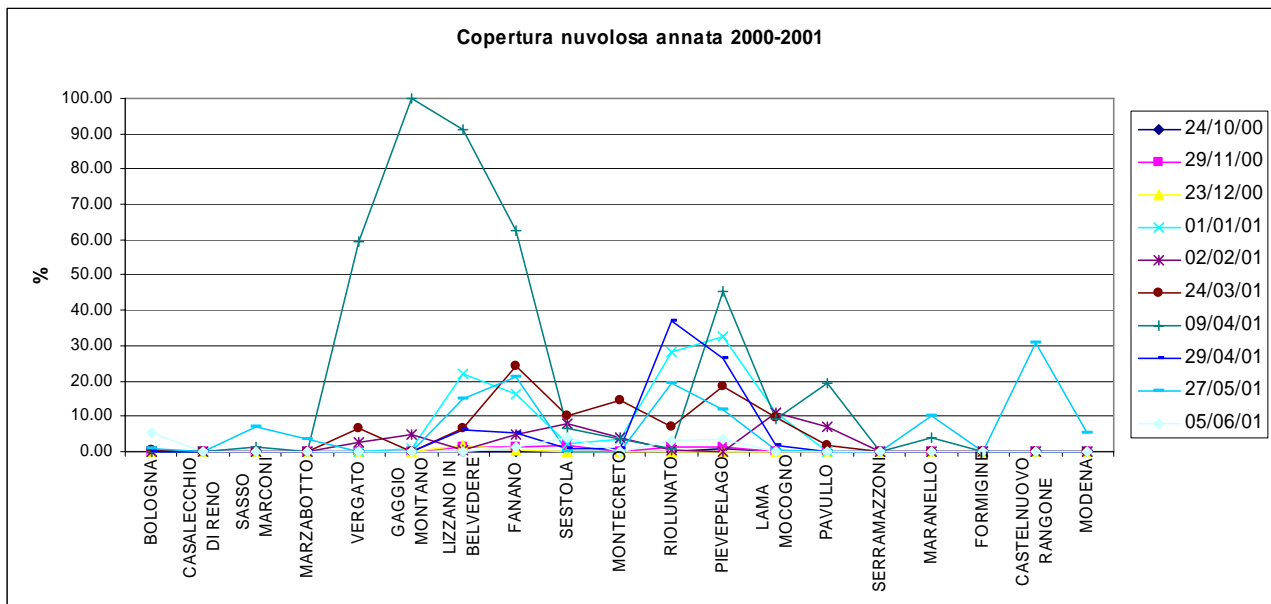


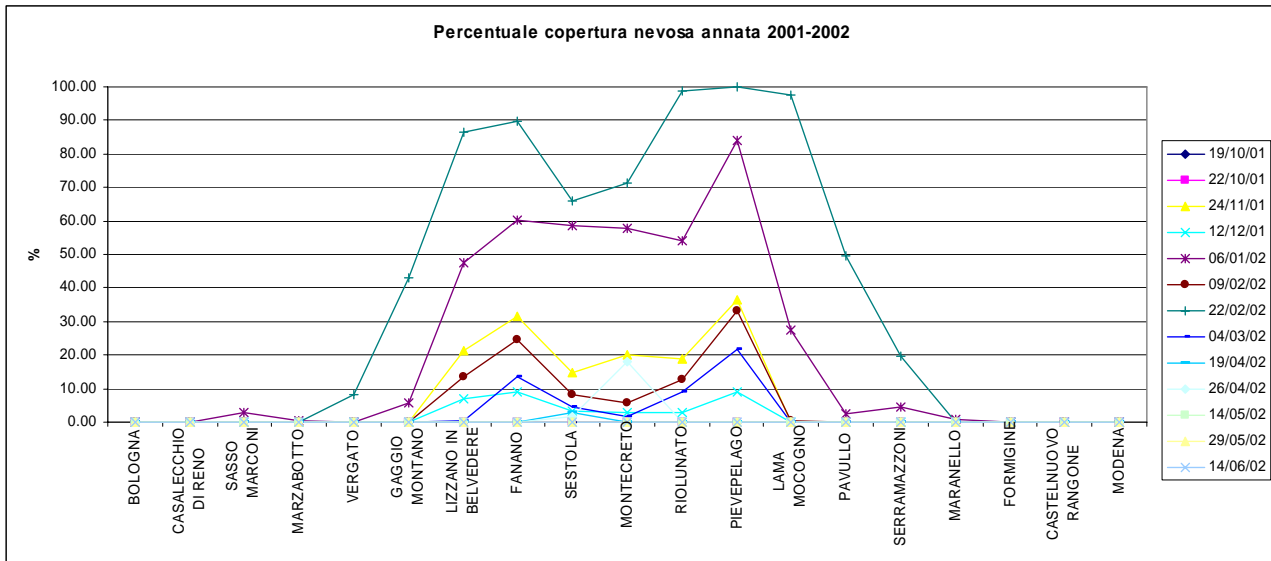
Grafico 3. Distribuzione della copertura nevosa in Emilia-Romagna durante le date selezionate



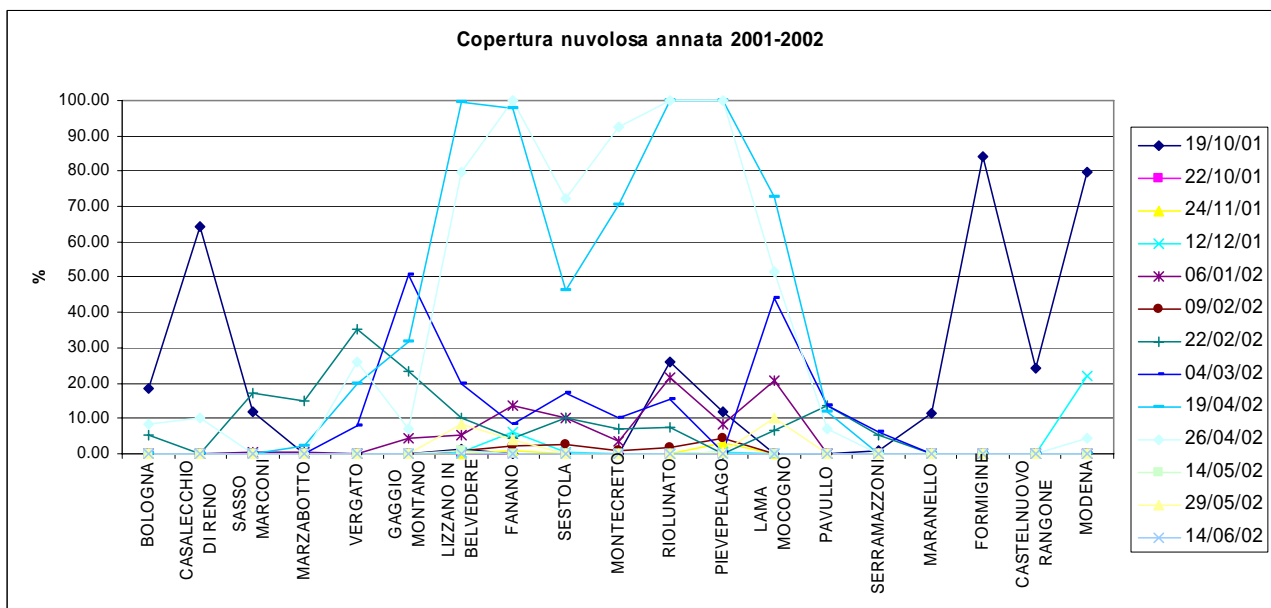
**Grafico 4. Percentuale della copertura nevosa relativa alle sole aree comunali libere da nubi, annata 2000-2001**



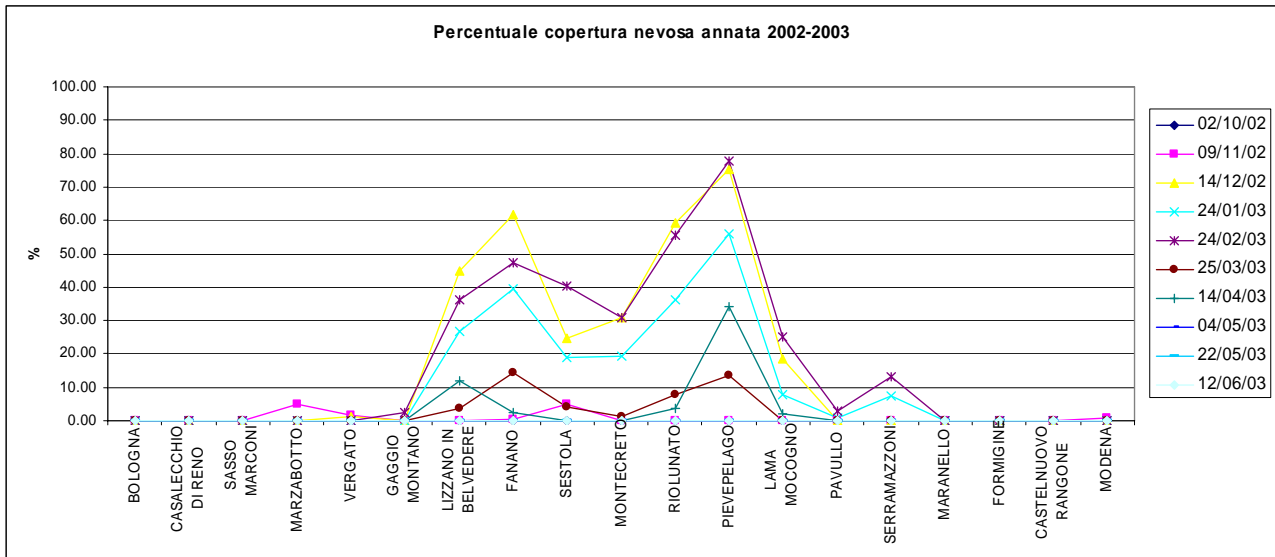
**Grafico 5. Percentuale della copertura nuvolosa comunale, annata 2000-2001**



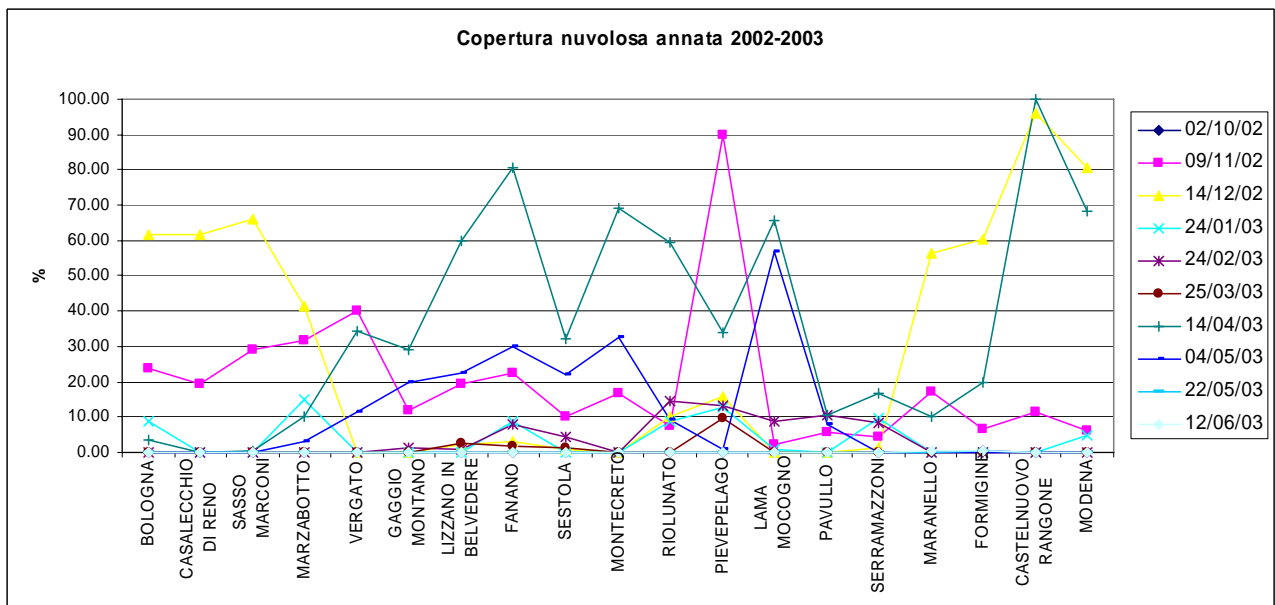
**Grafico 6. Percentuale della copertura nevosa relativa alle sole aree comunali libere da nubi, annata 2001-2002**



**Grafico 7. Percentuale della copertura nuvolosa comunale, annata 2001-2002**



**Grafico 8. Percentuale della copertura nevosa relativa alle sole aree comunali libere da nubi, annata 2002-2003**



**Grafico 9. Percentuale della copertura nuvolosa comunale, annata 2002-2003**

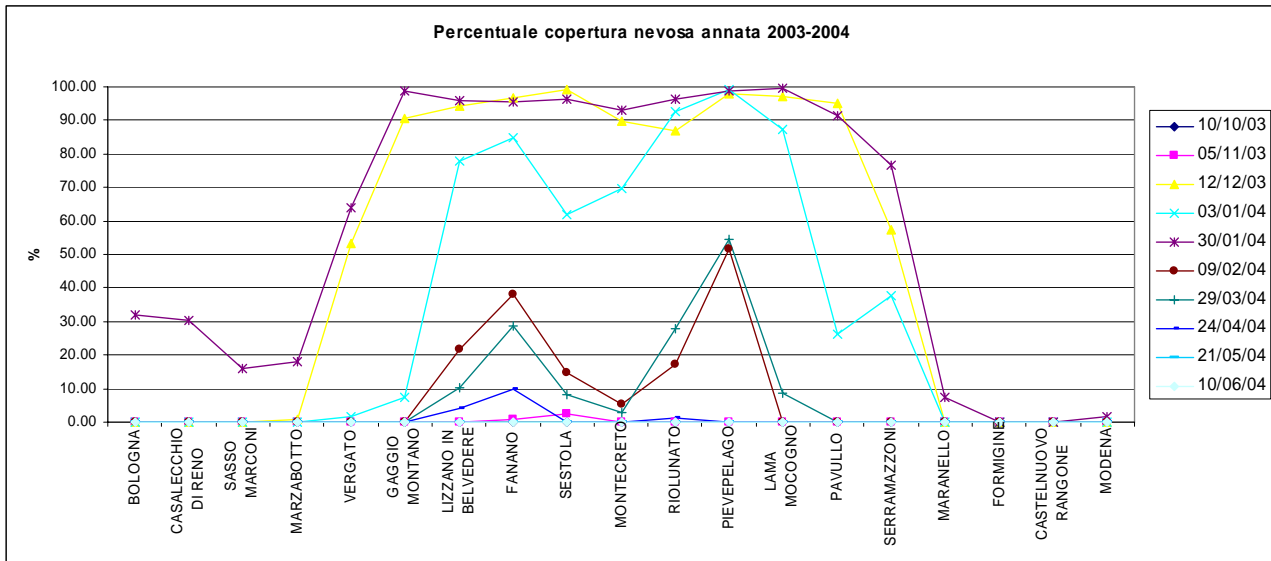


Grafico 10. Percentuale della copertura nevosa relativa alle sole aree comunali libere da nubi, annata 2003-2004

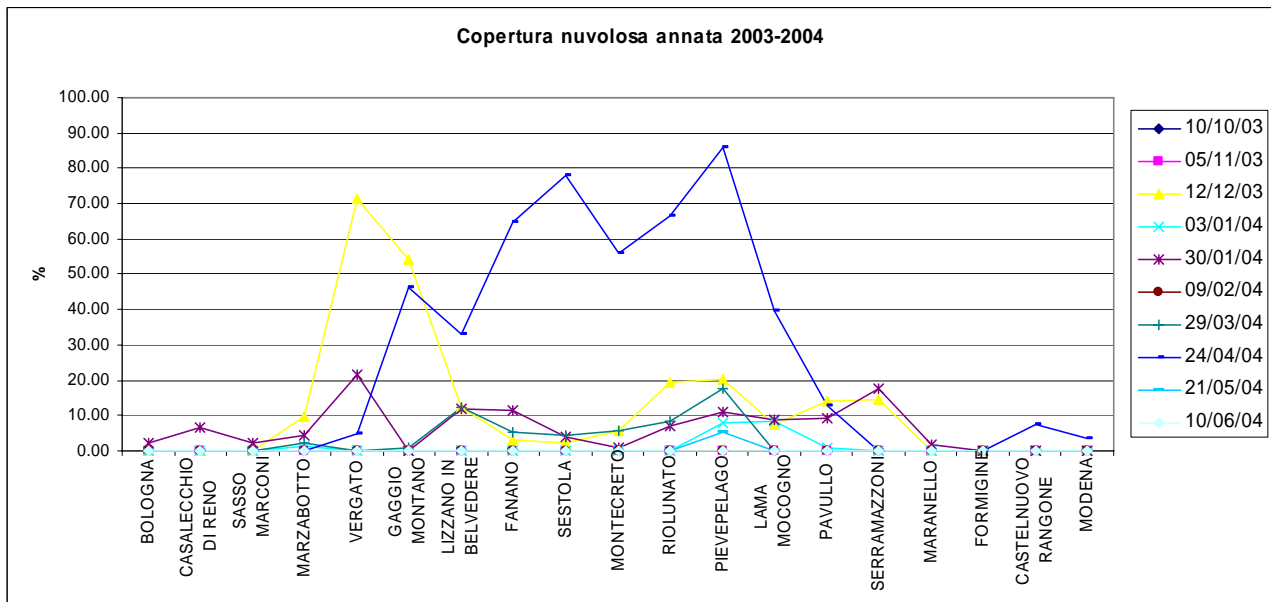


Grafico 11. Percentuale della copertura nuvolosa comunale, annata 2003-2004



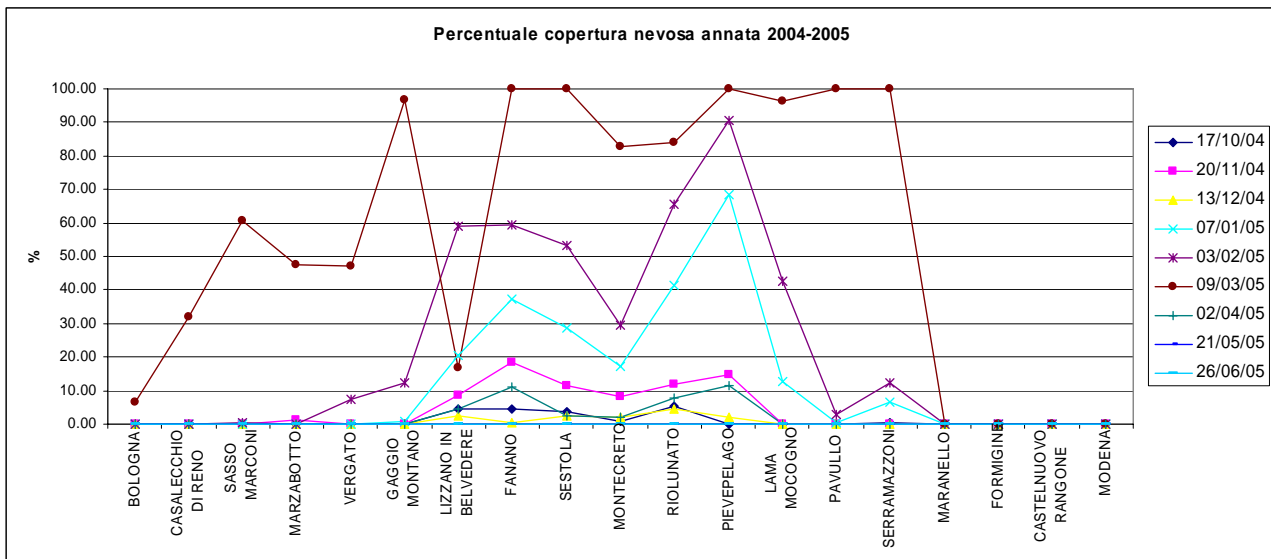


Grafico 12. Percentuale della copertura nevosa relativa alle sole aree comunali libere da nubi, annata 2004-2005

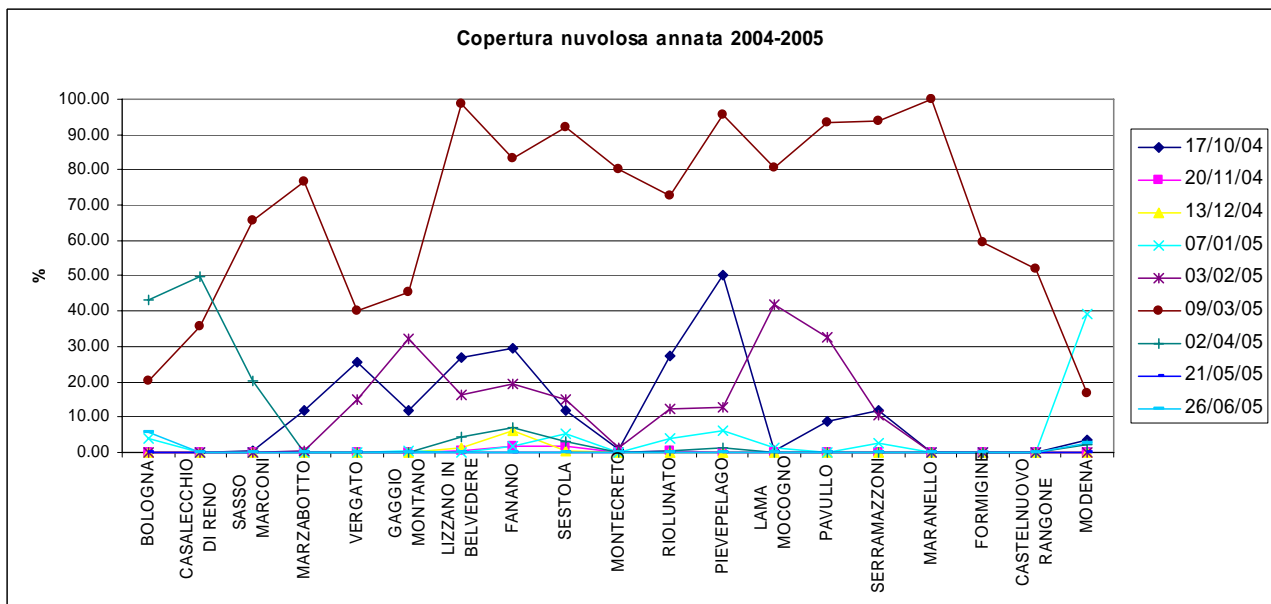


Grafico 13. Percentuale della copertura nuvolosa comunale, annata 2004-2005

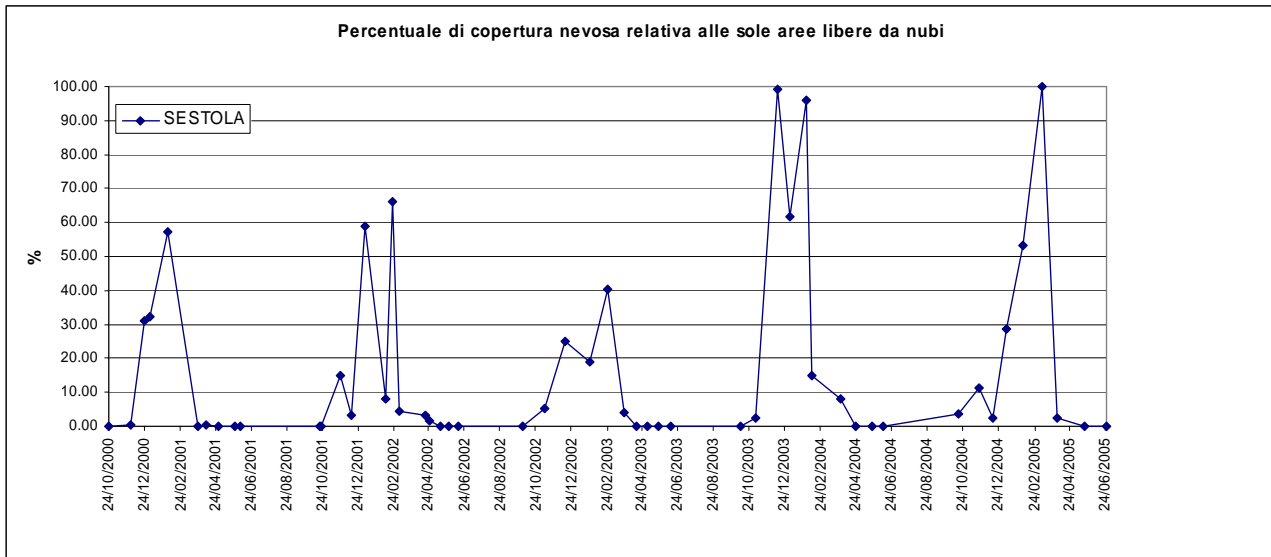


Grafico 14. Distribuzione della copertura nevosa a Sestola

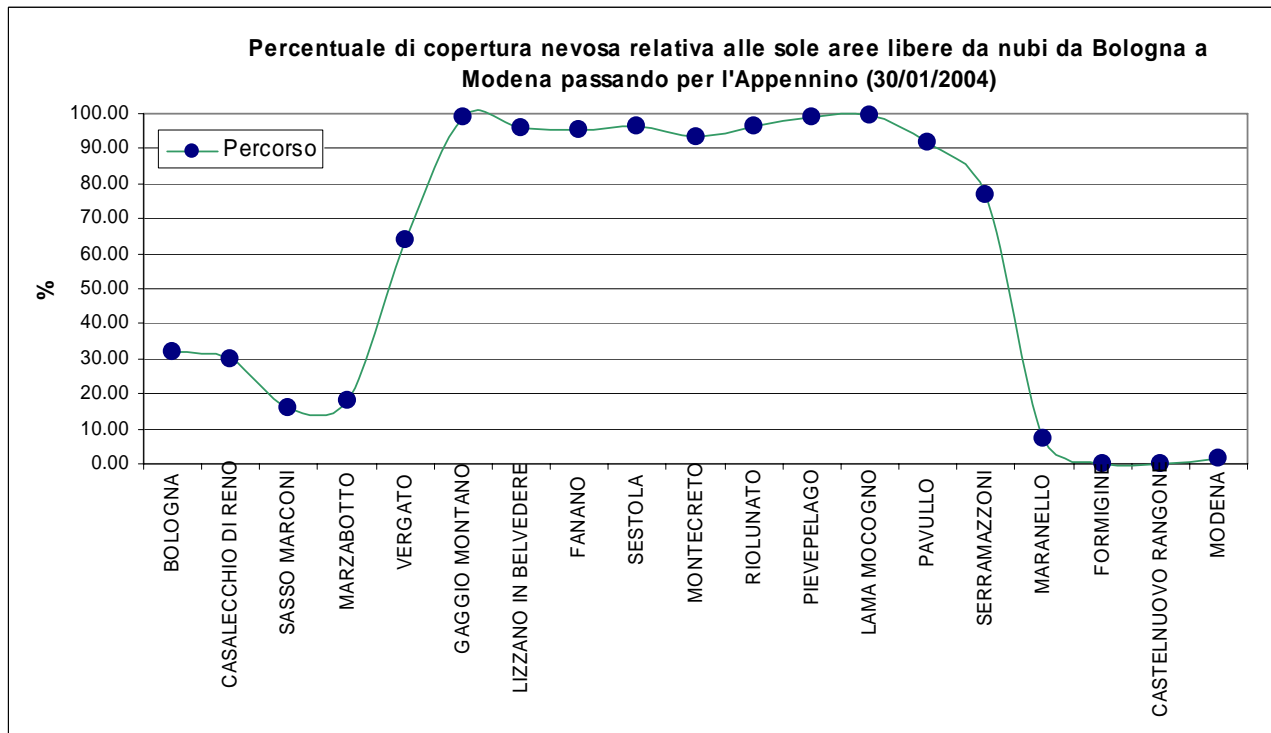
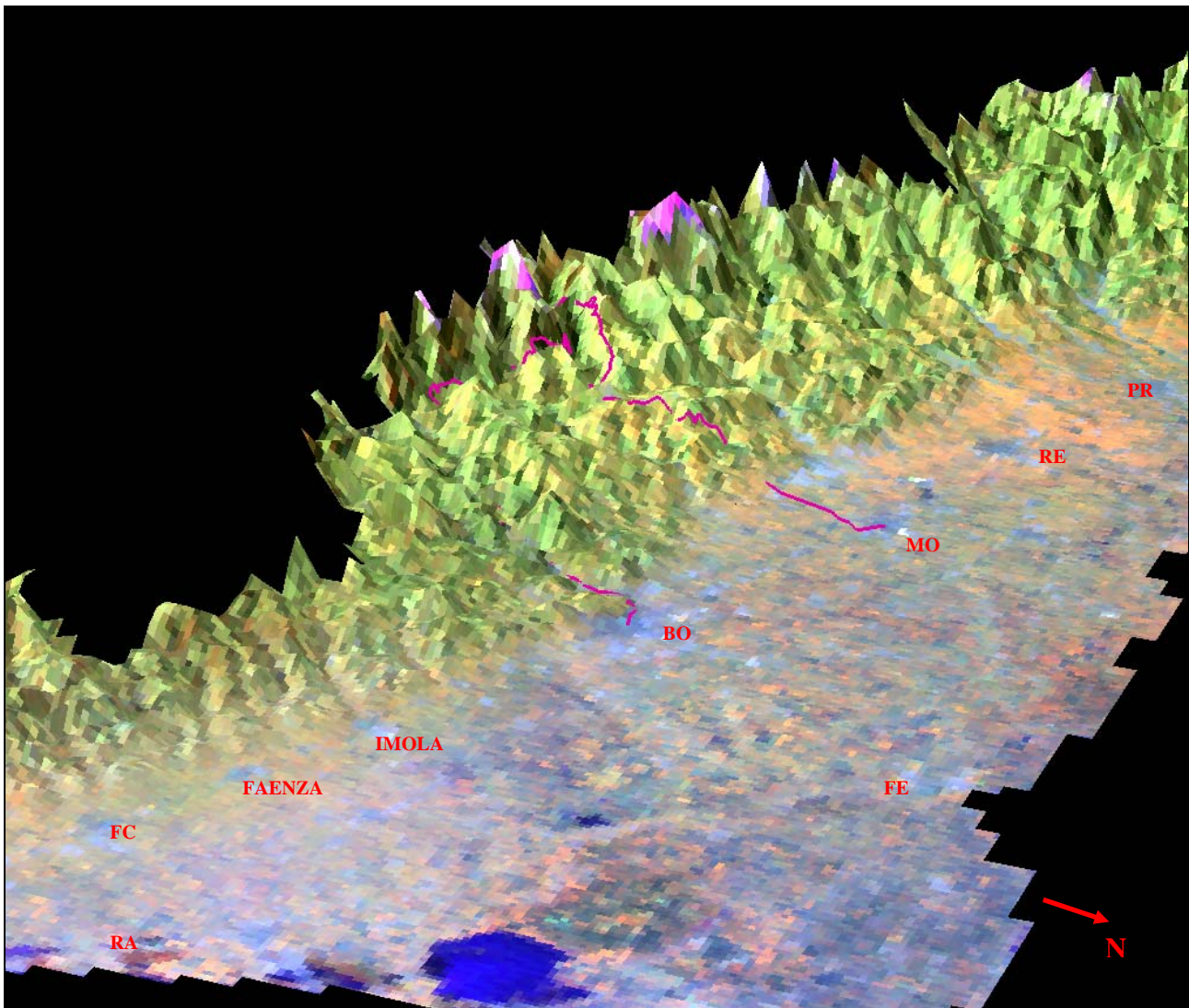


Grafico 15. Copertura nevosa lungo il percorso il 30/01/2004

## Immagini



**Figura 1. Immagine MODIS L1B del 13/12/2004 ( $R_{858}G_{1650}B_{655}$ ) sovrapposta a DEM a 100 m in cui il colore arancio in pianura rappresenta delle aree agricole con colture poliennali (medica e altri prati) ed invernali (cereali autunno vernini), mentre le aree blu sono o suolo urbano o suolo nudo (suoli aratri, cave, altro). La grande area blu prossima alla costa è il bacino di Comacchio. In montagna il verde rappresenta aree a vigneto, frutteti, campi aratri, boschi di latifoglie e cespuglieti caducifoglie, mentre le tonalità dell'arancio-verde rappresentano aree con vegetazione fotosinteticamente attiva (seminativi autunno-vernini, prati, boschi di conifere, cespuglieti a ginepro) o mista, ad esempio boschi di latifoglie e conifere o sistemi arbustivi complessi. Sul crinale si notano le cime innevate del Corno alle Scale, del Cimone e del Cusna che appaiono in viola. La linea viola rappresenta il percorso analizzato nel presente lavoro, mentre le aree nere sono collocate all'esterno dei limiti amministrativi regionali**

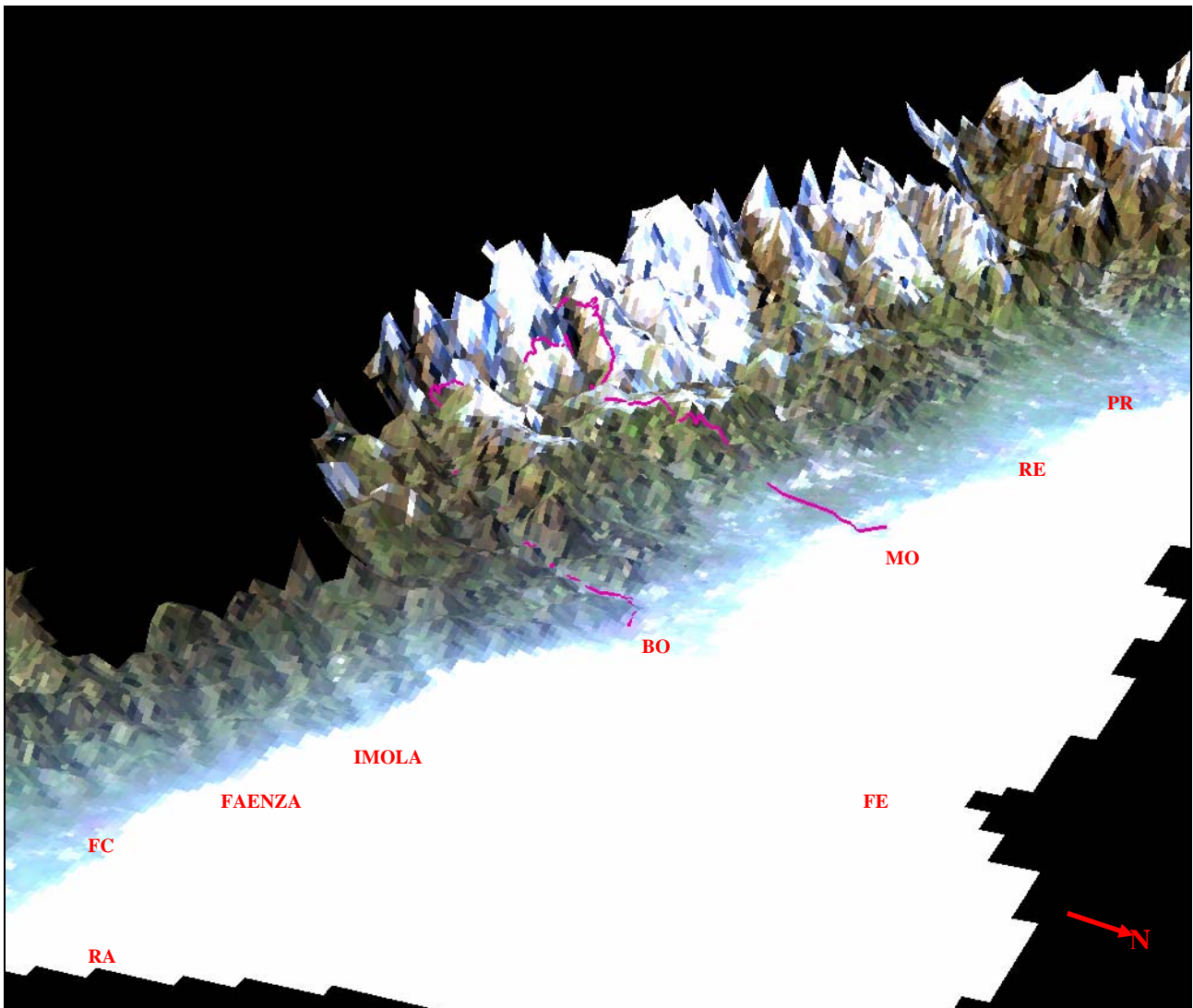


Figura 2. Immagine MODIS L1B del 07/01/2005 ( $R_{655}G_{555}B_{469}$ ) sovrapposta a DEM a 100 m in cui è visibile la nebbia in pianura (bianca) e la neve sul crinale (bianca). In montagna il marrone rappresenta aree a vigneto, frutteti, campi aratri, boschi di latifoglie e cespuglieti caducifoglie, mentre le tonalità del marrone-verde rappresentano aree con vegetazione fotosinteticamente attiva (seminativi autunno-vernini, prati, boschi di conifere, cespuglieti a ginepro) o mista, ad esempio boschi di latifoglie e conifere o sistemi arbustivi complessi. La linea viola rappresenta il percorso analizzato nel presente lavoro, mentre le aree nere sono collocate all'esterno dei limiti amministrativi regionali. Tra la nebbia ed il crinale è visibile una fascia di foschia che interessa l'area collinare tipica delle giornate soleggiate invernali

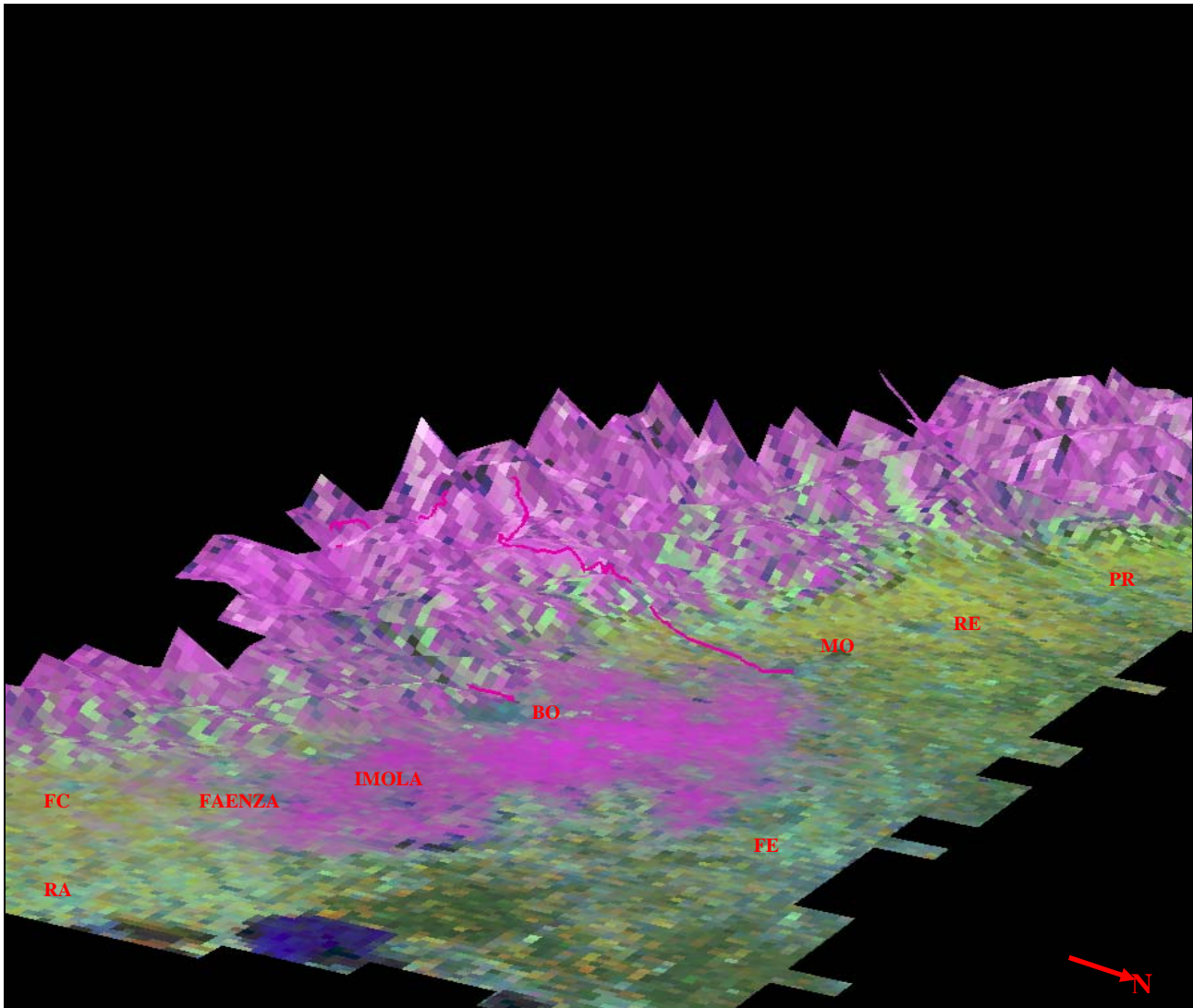


Figura 3. Immagine MODIS L1B del 30/01/2004 ( $R_{858}G_{1650}B_{655}$ ) sovrapposta a DEM a 100 m in cui il color Magenta rappresenta la copertura nevosa, il colore arancio in pianura rappresenta delle aree agricole con colture poliennali (medica e altri prati) ed invernali (cereali autunno vernini), mentre le aree blu sono o suolo urbano o suolo nudo (suoli aratri, cave, altro). La grande area blu prossima alla costa è il bacino di Comacchio.

In montagna il verde rappresenta aree a vigneto, frutteti, campi aratri, boschi di latifoglie e cespuglieti caducifoglie, mentre le tonalità dell'arancio-verde rappresentano aree con vegetazione fotosinteticamente attiva (seminativi autunno-vernini, prati, boschi di conifere, cespuglieti a ginepro) o mista, ad esempio boschi di latifoglie e conifere o sistemi arbustivi complessi. La linea viola rappresenta il percorso analizzato nel presente lavoro, mentre le aree nere sono collocate all'esterno dei limiti amministrativi regionali

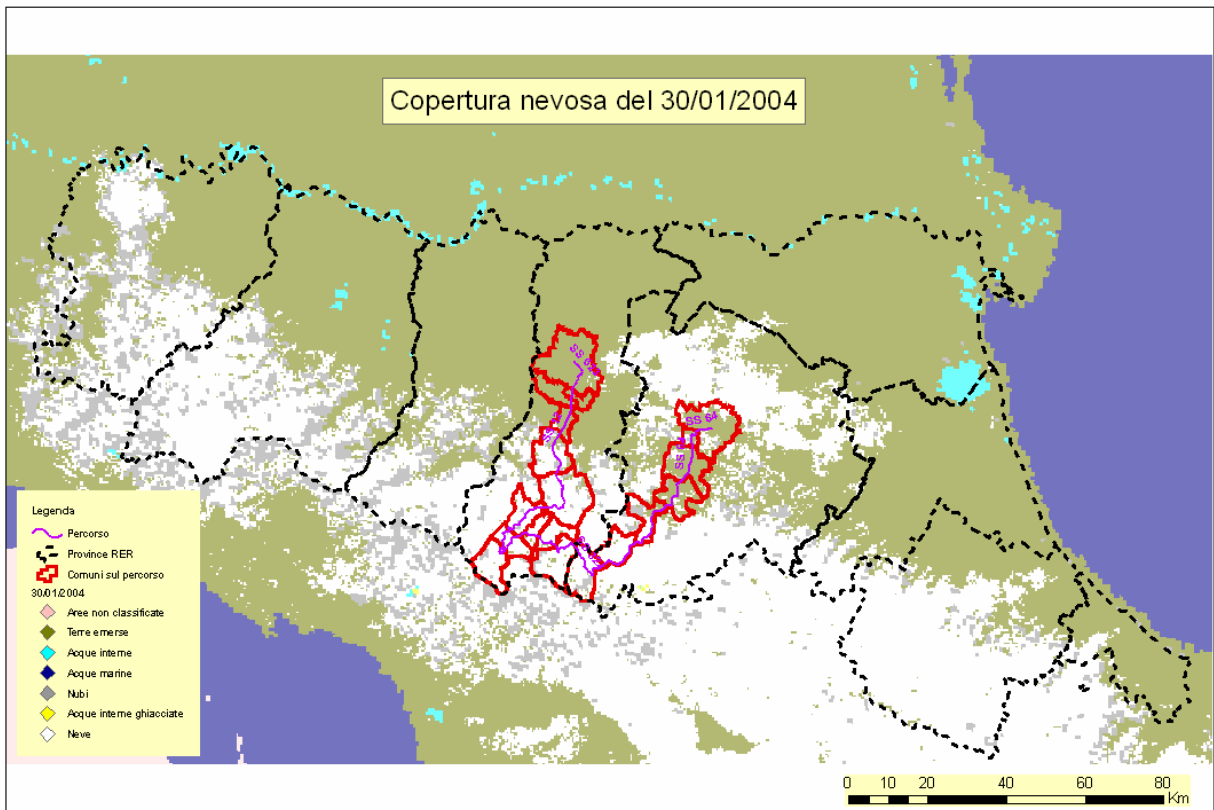


Figura 4. MODIS MOD10A1, copertura nevosa, visione sinottica della Regione il 30/01/2004

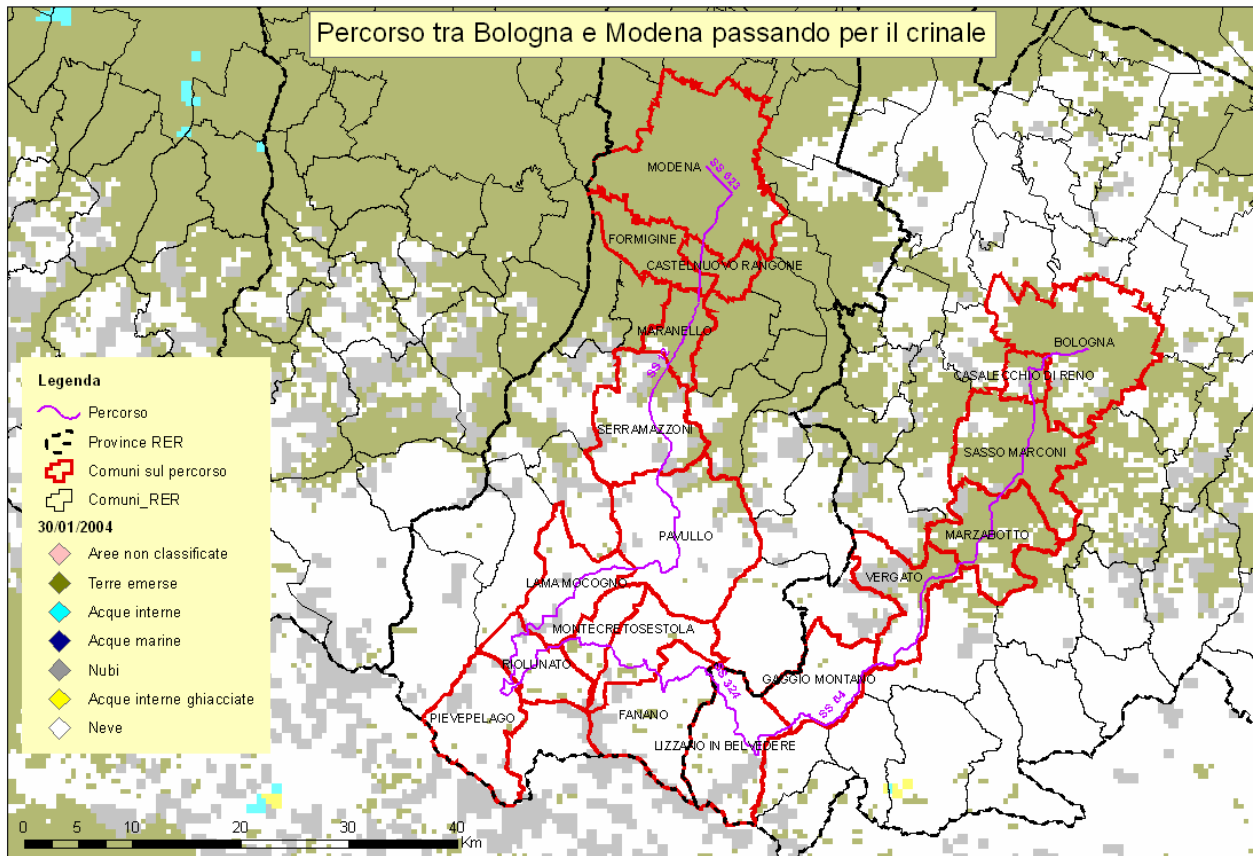


Figura 5. MODIS MOD10A1, copertura nevosa, visione sinottica del percorso il 30/01/2004