

La NEVE ROSSA

Effetto cromatico o difetto di stabilità?

Mauro Valt

ARPAV-DRST-SNV

Centro Valanghe di Arabba, Arabba
mauro.valt@arpa.veneto.it

Maria Cristina Prola

ARPA Piemonte,

Dipartimento Sistemi Previsionali, Torino

Con il contributo dell'Ufficio
Meteorologico di ARPA Piemonte e del
gruppo previsori valanghe di AINEVA

La presenza di polveri di sabbia di origine sahariana nelle precipitazioni che interessano l'Europa centro meridionale è assai frequente. Queste deposizioni sono state rinvenute anche nelle carote dei ghiacciai alpini e danno un color rosso alla neve, più o meno evidente in relazione alla loro concentrazione. Questa colorazione, a prima vista, può essere anche confusa con quella data anche dall'alga unicellulare *Chlamydococcus nivalis*.

La presenza di polveri sulla superficie del manto nevoso riduce l'albedo della neve, accelerando i processi di fusione. Questo determina la formazione di strati superficiali formati prevalentemente da forme fuse che, con il successivo rigelo, si trasformano rapidamente in croste. Queste croste, una volta inglobate nel manto nevoso e in determinate condizioni, sembrano facilitare la formazione di sottili strati deboli di cristalli sfaccettati, aumentando l'instabilità del manto nevoso.

Nel presente lavoro, dopo una descrizione storica di alcuni eventi osservati nei secoli passati, vengono descritti dal punto di vista meteorologico alcuni episodi recenti di importanti deposizioni di polveri sulle Alpi meridionali e gli effetti osservati sulla stabilità del manto nevoso.



INTRODUZIONE

Siamo tutti abituati ad ammirare la neve bianca che ricopre i prati, gli alberi, le montagne delle Alpi o delle zone più remote. L'osservatore nivologico esperto, quando scava una buca nella neve, è capace di leggere ed interpretare i vari colori del bianco, da quello opaco della neve ventata o appena caduta, a quello azzurro leggero per i primi processi di crescita cinetica, all'azzurro inteso della neve bagnata. A questi colori del bianco si associano le nevi colorate con le tonalità in superficie come le nevi nere delle zone vulcaniche, quelle gialle di alcune nevi artificiali ricche di solfuri, quelle verdi dovute ad alghe microscopiche, quelle rosse vinaccia ed infine quelle ocra e rosso carminio.

Nel presente lavoro vengono prese in considerazione le nevi che sono tinte con diverse tonalità di rosso.

LE NEVI ROSSE

Giacomo Filiasi nel suo *"Delle osservazioni sopra le vicende annuali atmosferiche di Venezia e Paesi circostanti"* agli inizi dell'ottocento scriveva "... Se il vento equatoriale è procelloso e violento alle volte posta pioggia mista a polvere ed anche rossa, onde avviene che il popolo si spaventa credendo sia piovuto sangue".... E continuava "...nella notte del 7 marzo 1807 dopo una burrasca di scilocco [sic] cadde neve floscia che comparve tinta di arancio e ciò sino al piede dell'Alpi. Nello stesso giorno nel Regno di Napoli spirando violentissimo vento di ostro cadde e rossa pioggia e tinta di color tabacco"... Più avanti, parlando sempre di nevi rosse *"I Monaci di s. Bernardo osservarono che alcune volte cadono nevi rosse in quelle Alpi, ma soffiando sempre il vento tra S e SO. Scopersero nell'acqua di quelle nevi ocra di ferro ed un principio resinoso vo-*

latile derivante da qualche criptogama," e ancora *"È poi da notarsi che cadono nevi rosse nell'Appennino soffiando tepido il vento australe"*.

Questo scritto evidenzia che le nevi color rosso non sono un fenomeno recente ma che anche nella storia si trova evidenza di questo fenomeno. Oltre ad una colorazione in concomitanza di venti di "scilocco" o "procelloso e violento equatoriale", nello stesso scritto si trova anche l'indicazione di una altra natura della colorazione rossa della neve e precisamente *"Ora si sa che ai poli esistono nevi rosse, e che in esse coll'ajuto del microscopio si osservano innumerevoli fungetti del genere degli uredi"*.

Giuseppe Feruglio nel 1901 segnalò la presenza di "neve di color rosso" attribuibile a *Chlamydococcus nivalis* sul Monte Canin. Gualtiero Simonetti scrive che le nevi colorate ad opera di alghe unicellulari è un fenomeno frequente nelle Alpi orientali dovute alla presenza della citata alga verde. Questa tipologia di alga è presente anche in altre parti del mondo come in Artico e in Antartide. L'ammiraglio James K. Ross ne segnalò per primo il fenomeno nel 1818 nella Baia di Baffin a 75°N.

Si posso quindi distinguere due tipologie di neve rossa:

- quella dovuta alla presenza dell'alga verde *Chlamydococcus nivalis* (Bauer) (ora *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille)
- quella per inclusioni di sabbia.

La *Chlamydomonas nivalis* è un'alga verde che deve il suo colore rosso ad un brillante pigmento carotenoido rosso, che protegge il cloroplasto dalle intense radiazioni visibili e ultravioletta quando l'alga si trova vicino alla superficie del manto nevoso (5-25 di cm di profondità).

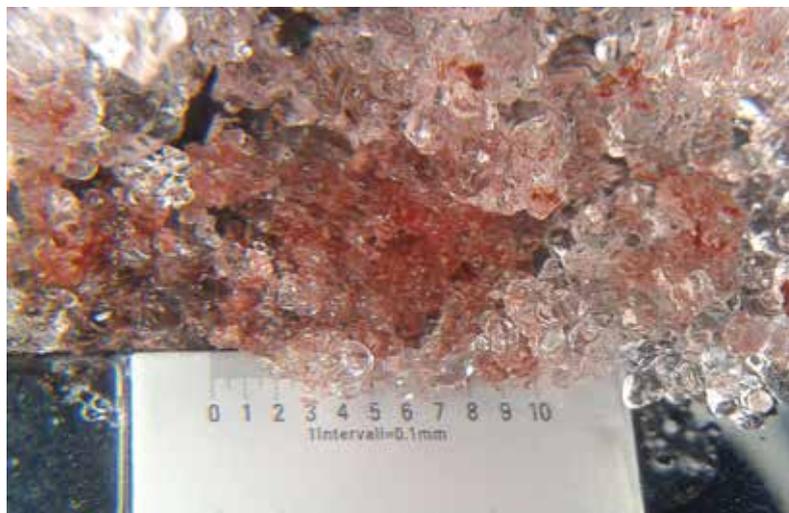
Nelle Fig. 1 è possibile osservare come si presenta la superficie del manto nevoso in presenza dell'alga in primavera mentre in Fig. 2 si può osservare come appare la neve (grani di neve fusa-MF) e l'alga all'osservazione con una lente d'ingrandimento da campagna (MF).

Con questa colorazione aumenta il suo potere di assorbimento di calore che fa-

Fig. 1 - Superficie del manto nevoso caratterizzata dalla presenza dell'alga *Chlamydomonas nivalis*. (Foto Renato Zasso).



Fig. 2 - Particolare della neve fusa (MF) in presenza dell'alga *Chlamydomonas nivalis*. (Foto Renato Zasso).



vorisce la fusione della neve attorno nella quantità che serve all'alga stessa. Le alghe a volte si accumulano in depressioni poco profonde nella neve. Il pigmento carotenoidico assorbe il calore e di conseguenza approfondisce le depressioni accelerando la fusione della neve.

Dagli studi si è scoperto che quest'alga è in grado di assorbire quantità di anidride carbonica significative. Nelle zone montuose più ricche di quest'alga si è notato che l'organismo è in grado di assorbire il 10% di anidride carbonica in più rispetto alle piante (<http://travelblog.alpinfoto.it/fenomeno-della-neve-rossa>).

L'alga ha una colorazione rossa vinaccia ed è visibile in superficie nella stagione dell'ablazione (Fig. 3) mentre la neve rossa per la presenza di polveri sahariane è osservabile durante tutta la stagione invernale sia in superficie sia nei profili stratigrafici del manto nevoso in strati sommersi nonché nelle carote di neve estratte dalle nevi annuali e dai ghiacciai. In Fig. 4 è possibile osservare il profilo del manto nevoso realizzato il 26 febbraio 2014 dopo le precipitazioni dei giorni precedenti. I due strati con deposizione di sabbia, relativi alle precipitazioni del 19 febbraio, sono ben visibili e sono stati ricoperti dalle nevicate dei giorni seguenti. Ad esempio, De Angelis e Gaudichet (1991) analizzarono i depositi di neve sahariana nella carota di ghiaccio di 70 m prelevata sul Monte Bianco riconducibile all'accumulo dei precedenti 30 anni, individuando la presenza di quarzo e caolinite. Così come Sodemann et al. (2006) hanno ricostruito la storia di due importanti eventi di trasporto di sabbia sahariana archiviata nei ghiacci alpini della Svizzera nel marzo e ottobre 2003. Oggi, diversi progetti europei hanno studiato il trasporto della sabbia sahariana verso l'Europa, il suo impatto nelle precipitazioni anche come eventi di aumento delle concentrazioni di PM10, attraverso il monitoraggio e la previsione degli eventi (<http://forecast.uoa.gr/>) o attraverso la ricostruzione degli avvenuti (<http://www.bsc.es/earth-sciences/mineral-dust-forecast-system>).



Fig. 3 - Manto nevoso caratterizzato dall'alga *Chlamydomonas nivalis*.



Fig. 4 - Situazione del manto nevoso il 26 febbraio 2014 in località Cima Pradazzo a 2200 m di quota. Le nevicate con neve contenente sabbia (19 febbraio) sono ben visibili e sono state ricoperte dalle precipitazioni dei giorni seguenti.

Oltre a questi aspetti di tipo ambientale, Wagenbach et al. (1996), nell'introduzione al suo articolo, scriveva che gli impatti a larga scala degli eventi di trasporto di neve sahariana sono:

- un significativo incremento del rischio valanghe per il disturbo alla tessitura della superficie del manto nevoso;
- una diminuzione dell'albedo della neve con un aumento dell'ablazione durante la primavera con un effetto sul bilancio di massa dei ghiacciai alpini;

- una sostanziale neutralizzazione del forte inventario acido del manto nevoso stagionale a causa dell'ingresso di polveri alcaline che forniscono anche un flusso supplementare di oligoelementi essenziali e sostanze nutritive per le aree alpine ecologicamente sensibili.
- Oltre a questi aspetti, la presenza di polveri in superficie, condiziona di molto la fusione del manto nevoso accelerandola in modo significativo.

Painter et al. (2007) hanno studiato l'im-

Fig. 5 - Analisi ECMWF dell'altezza geopotenziale a 500 hPa, rappresentativo della corrente a getto del 1 aprile 2016 alle 00UTC.

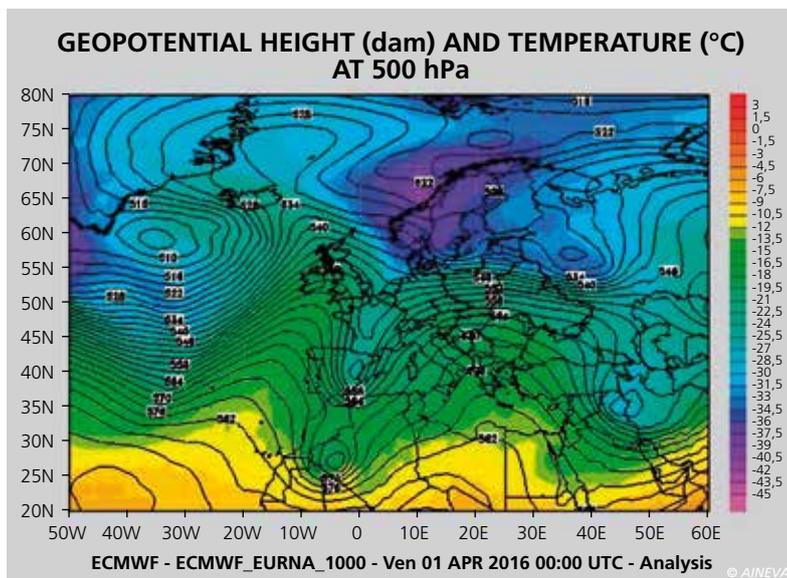


Fig. 6 - Analisi ECMWF del campo di vento a 300 hPa del 1 aprile 2016 alle 00UTC.

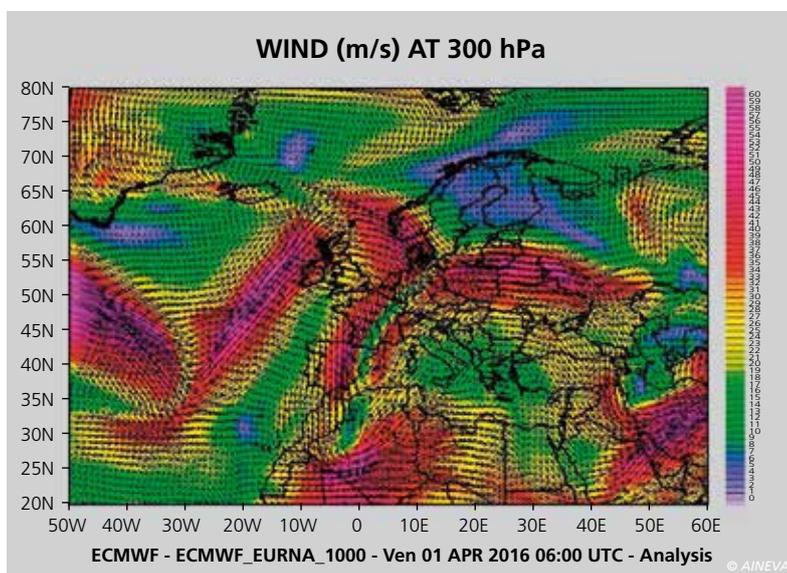
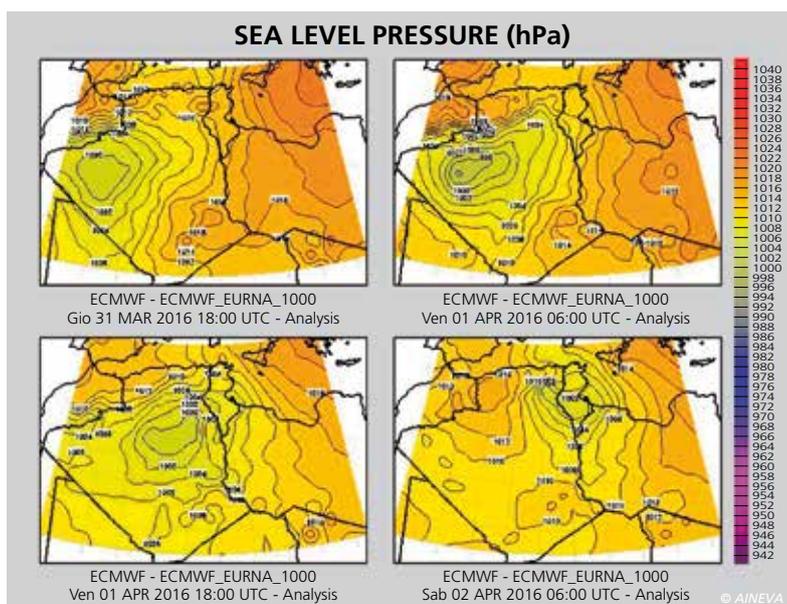


Fig. 7 - Evoluzione ogni 12 ore della pressione al livello del mare dalle 18 UTC del 31 marzo 2016 (analisi ECMWF).



patto che ha la presenza delle polveri del deserto sulla durata del manto nevoso alpino sul Colorado Plateau, l'altipiano del

Colorado,, riscontrando una riduzione da 18 a 35 giorni a causa della "forzatura" della energia ad onda corta assorbita dalle

polveri inglobate nel manto nevoso. Løseleben et al. (2006), indagando le nevi a Niwot Ridge (Colorado), hanno verificato che la radiazione ad onda corta assorbita dalle polveri ha un'azione fino a 20-30 cm di profondità dalla superficie, che si traduce in un riscaldamento della neve e ad una microscopica fusione. Inoltre hanno potuto quantificare un'ablazione maggiore nelle aree caratterizzate da polveri in 30 cm di spessore di neve, una conseguente alterazione dei flussi di acqua da fusione nel terreno e un incremento dei flussi energetici nel manto nevoso (con ripercussioni sulle simulazioni).

Questa differenza di assorbimento di energia è stata evidenziata sempre da Painter et al. (2007) misurando la risposta radiometrica di una neve "pura" e di una neve con polveri del deserto nelle lunghezze d'onda da 0.4 a 1.8 μm . L'assorbimento nella parte del visibile dell'infrarosso vicino (termico) è importante e significativo.

Toepfer et al. (2006) hanno invece approfondito gli aspetti già enunciati da Wagenbach et al. (1996) e hanno indagato l'impatto delle deposizioni di polveri desertiche sul manto nevoso e il loro impatto sull'attività valanghiva e sulla distribuzione spaziale degli eventi.

Oltre agli effetti sull'ablazione del manto nevoso, è stato evidenziato che lo strato di polvere, una volta sepolto, può fungere da piano di scivolamento per future valanghe di neve umida oppure, se lo strato diventa una crosta da fusione e rigelo, può nascondere eventuali strati deboli sepolti sotto (di FC o DH).

Dall'analisi di questi lavori, che spaziano dalle spore alle curve spettro radiometriche della neve (Valt e Salvatori, 2016) per arrivare alle valanghe, emerge che la "neve rossa" riveste un ruolo importante nell'ambiente alpino e nella sua evoluzione stagionale.

Nel presente lavoro, vengono approfondite alcune possibili interconnessioni fra le deposizioni di polveri sahariane, le trasformazioni morfostutturali della neve e l'eventuale incidenza sulla stabilità del manto nevoso.

LE NEVICATE CON DEPOSIZIONI DI POLVERI SAHARIANE SULLE ALPI MERIDIONALI

Nelle carote dei ghiacciai alpini sono stati individuati diversi episodi di deposizioni di polveri sahariane avvenuti nel passato e descritti da diversi autori. Ad esempio Sodemann et al. (2006) ha analizzato in modo approfondito le precipitazioni nel mese di marzo del 2000 con episodi di polveri provenienti dalla Mauritania (15 marzo), dall'Algeria/Mauritania/Mali il 19 marzo e dall'Algeria/Libia il 15 di ottobre.

Infatti, quasi tutti gli anni, sull'Europa meridionale ed in particolare sull'arco alpino meridionale, si verificano delle neviccate accompagnate da sabbia sahariana, che viene trasportata dalle basse latitudini verso nord da venti sciroccali. Già Prodi e Fea (1978, 1979), hanno individuato le situazioni sinottiche con associate il trasporto di sabbia sahariana che interessano il versante italiano della Alpi. La configurazione meteorologica caratteristica di questi eventi è la presenza di una profonda perturbazione di origine atlantica accompagnata da aria fredda di origine polare in quota, innestata sulle ondulazioni del flusso occidentale. L'aria fredda favorisce l'approfondimento della saccatura verso sud e, quando la perturbazione dalla Spagna entra nel Mediterraneo, la corrente a getto si trova a transitare sulle regioni del nord Africa con la parte avanzata della saccatura, dove si ha l'intensificazione del vento e la convergenza nei bassi strati, sopra la zona desertica.

Spesso questa configurazione, trovando un'area di alta pressione ad est, tende a rallentare il suo moto verso oriente e a formare un minimo chiuso sul deserto del Sahara, tipicamente a sud della catena montuosa dell'Atlante. Il minimo di pressione favorisce, insieme alla zona di forte convergenza del vento, il sollevamento della sabbia sahariana.

Anche se sono state osservati eventi a fine inverno e in autunno, gli episodi di

neviccate con intrusione di sabbia si hanno in prevalenza nel periodo primaverile, quando la dinamica della corrente a getto incomincia ad assumere una maggiore variabilità e ad amplificare l'ampiezza interessando le latitudini più basse. Poiché si tratta di perturbazioni piuttosto ampie, l'interessamento della "neve rossa" riguarda diverse zone delle Alpi, a partire da quelle occidentali per spostarsi via via su quelle più orientali. Solo la presenza di un'ampia e persistente area anticiclonica, estesa dalla Libia verso i Balcani, può impedire il movimento verso est della saccatura e limitare l'effetto

alle Alpi nordoccidentali.

Oltre alla capacità di sollevamento della sabbia, dovuta principalmente alla rapida riduzione della pressione al suolo e alla forte convergenza del vento, un elemento fondamentale per il trasporto a lunghe distanze è la quota del sollevamento e la presenza di un intenso flusso sciroccale alla quota del trasporto, tipicamente tra i 3000 e i 5000 m. L'interazione del flusso umido con i rilievi alpini favorisce successivamente i fenomeni di condensazione e precipitazione, che determinano la ricaduta al suolo anche delle particelle di polvere trasportata.

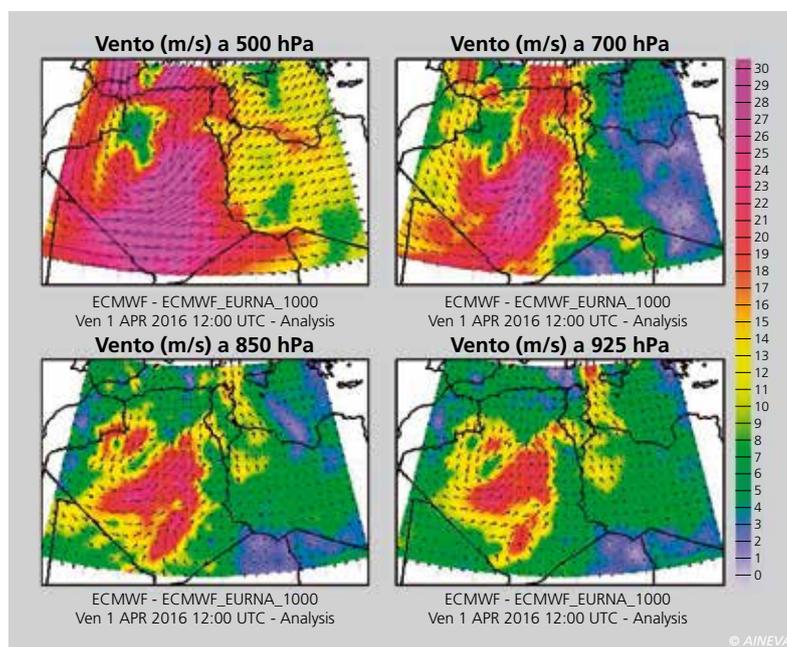


Fig. 8 - Evoluzione ogni 12 ore del vento a diversi livelli atmosferici (500, 700, 850 e 925 hPa) l'1 aprile 2016 alle ore 12 UTC (analisi ECMWF).

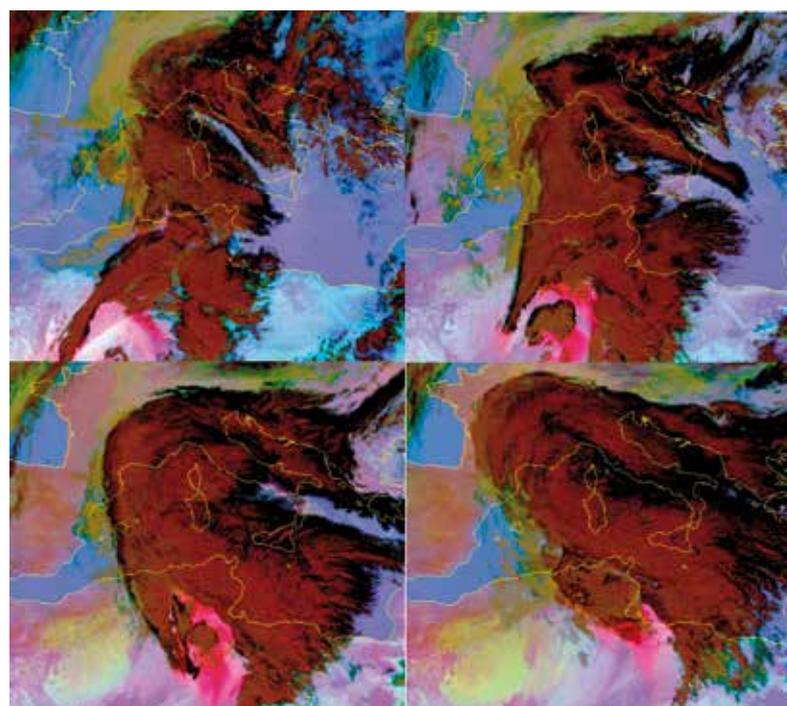


Fig. 9 - Immagini Meteosat "MSG Dust" del 01 aprile 2016 ore 12:00 e 18:00 UTC e del 02 aprile 2016 ore 00:00 e 06:00 UTC, a partire da in alto a sinistra (copyright EUMETSAT 2016). Evidenziata in magenta, la polvere in sospensione.

Fig. 10 - Traiettorie delle particelle che hanno raggiunto le Alpi occidentali il 2 aprile alle ore 00 UTC alla quota di 2000 e 3000 m nelle 72 ore precedenti (fonte NOAA Air Resources Laboratory (<http://www.ready.noaa.gov>)).

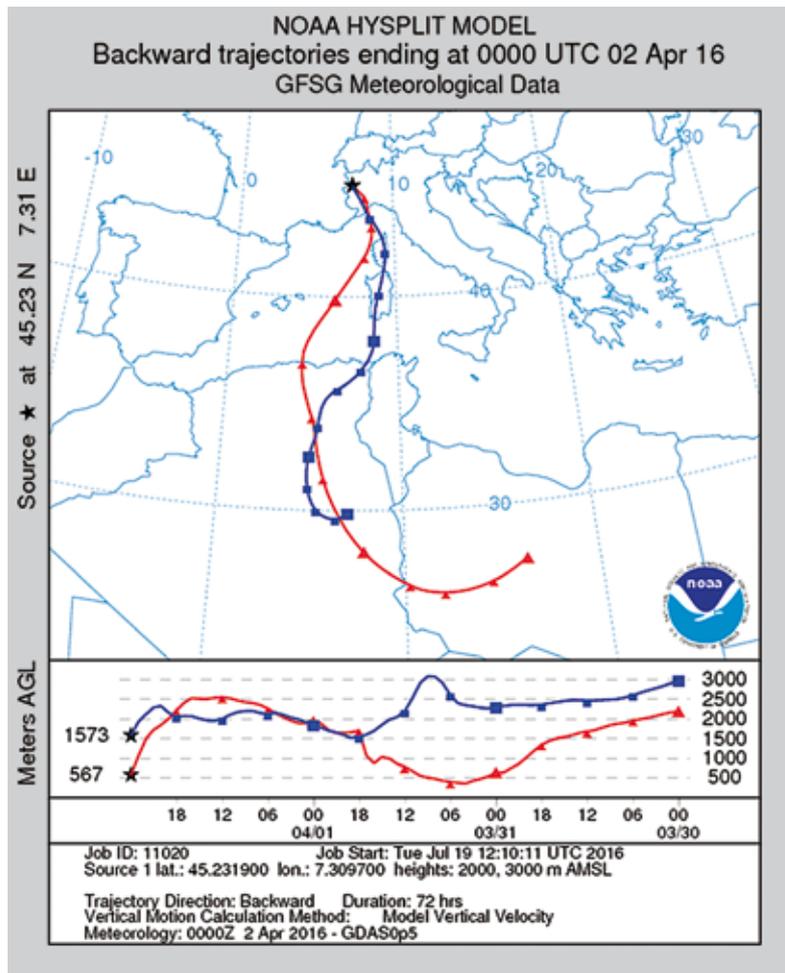
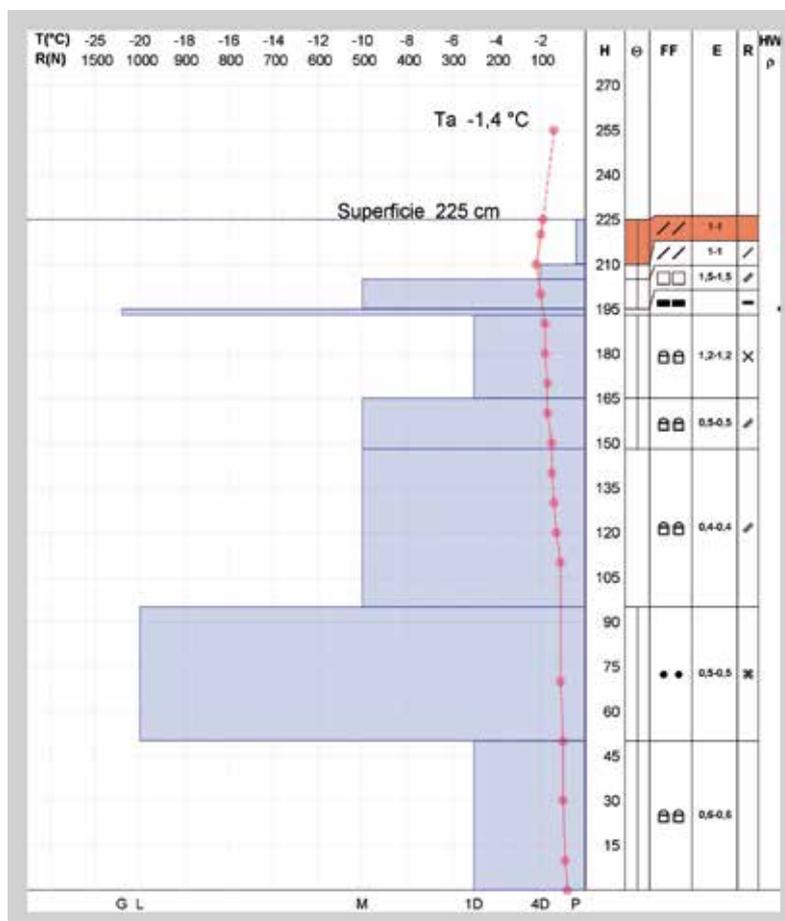


Fig. 11 - Profilo del manto nevoso realizzato il 6 aprile 2016 in località Indrem (Valle d'Aosta) a q. 3227 m. Lo strato superficiale (colorato in rosso) è caratterizzato da neve contenente sabbia sahariana.



RICERCA DEI PRINCIPALI EVENTI RECENTI

Oltre agli eventi principali di precipitazione con sabbia sahariana di cui si trova notizia nelle cronache nazionali e locali, come per gli episodi del 19-21 febbraio 2004, del 19 febbraio 2014 o del 1-5 aprile 2016, oppure in seguito ad aumenti dei valori di PM10 nelle città (<http://www.arpat.toscana.it/notizie/comunicati-stampa/2014/polvere-sahariana-nell2019aria-toscana>) (Busillo et al. 2010), per individuare gli altri episodi è stato necessario indagare negli appunti effettuati dagli osservatori nivologici durante l'esecuzione dei profili del manto nevoso e in quelli dei meteorologi che lavorano sulle Alpi.

Negli appunti dei nivologi sono di norma presenti come "note" in corrispondenza di singoli strati di neve nell'analisi stratigrafica del manto nevoso (Cagnati, 2003) mentre in quelli dei meteorologi nei riassunti giornalieri e settimanali dell'andamento climatico delle aree di competenza.

Tuttavia, oltre a questa tipologia di ritrovamento delle informazioni, un'importante rilevazione può essere effettuata con le immagini satellitari per l'analisi del trasporto in sospensione mentre, per l'analisi della deposizione sulla neve, sono in corso di studio metodologie sperimentali con le immagini MODIS (Valt e Salvatori, 2016) in singole aree campione, ma non ancora operative.

Per quanto riguarda la rilevazione della componente in sospensione, i sensori montati sui satelliti sono in grado di rilevare la radiazione elettromagnetica riflessa ed emessa dalla Terra in vari intervalli dello spettro a partire dal visibile, all'infrarosso vicino fino all'infrarosso termico. In generale la sabbia in sospensione nell'aria si nota sia nelle bande del visibile (lunghezza d'onda λ minore di 1 μ m) sia in quelle dell'infrarosso termico (λ maggiore di 4 μ m), e può essere evidenziata maggiormente mediante delle composizioni di colori che siano in grado di differenziarla dalle altre nuvole, dal terreno e dalla superficie del mare.

Le immagini del satellite geostazionario

Meteosat Second Generation (MSG) consentono anche l'evidenziazione della polvere sahariana e, grazie alla loro elevata risoluzione temporale (15 minuti), è possibile valutarne l'evoluzione. Si utilizza una composizione di tre bande nell'infrarosso con λ di 8,7 - 10,8 - 12,0 μm , denominata "MSG Dust", che sfrutta la differente emissività e temperatura delle superfici desertiche (più calde) rispetto alla sabbia in sospensione nell'aria (più fredda). In particolare, questa si presenta colorata in magenta (che poi sfuma verso il rosa più chiaro man mano che si diffonde in atmosfera), si distingue bene dal terreno e dalle superfici marine (in varie tonalità di azzurro o blu chiaro) e anche dalle nuvole (quelle alte in colori scuri, marrone o nero, quelle medie e basse in varie tonalità di giallo e verde).

Anche le immagini dei satelliti polari Metop e NASA possono allo stesso modo essere utili per rilevare la polvere desertica, in quanto ad una frequenza temporale di acquisizione molto più bassa contrappongono una risoluzione spaziale più elevata, e quindi una migliore evidenziazione del fenomeno. In questo caso la visualizzazione migliore è una composizione di colori di tre bande nella radiazione visibile denominata "Natural color" oppure "True color": in queste immagini nubi e superfici terrestri appaiono praticamente così come l'occhio umano le vedrebbe, e le nubi di sabbia in sospensione appaiono di un colore giallognolo-marroncino semitrasparente; risultano più evidenti quando scorrono sul mare. Naturalmente la presenza di corpi nuvolosi impedisce il riconoscimento della sabbia nella sua evoluzione.

Episodio inizio aprile 2016

Nell'evento del periodo 31 marzo - 02 aprile 2016 una profonda saccatura si estende dalla Gran Bretagna all'Algeria al confine con il Mali e la Mauritania e su queste zone determina la formazione di un minimo chiuso (Fig. 5). Questa configurazione è dovuta ad un'oscillazione molto stretta della corrente a getto che, come si vede in Fig. 6, scende a basse latitudini sopra la Spagna e risale dalle

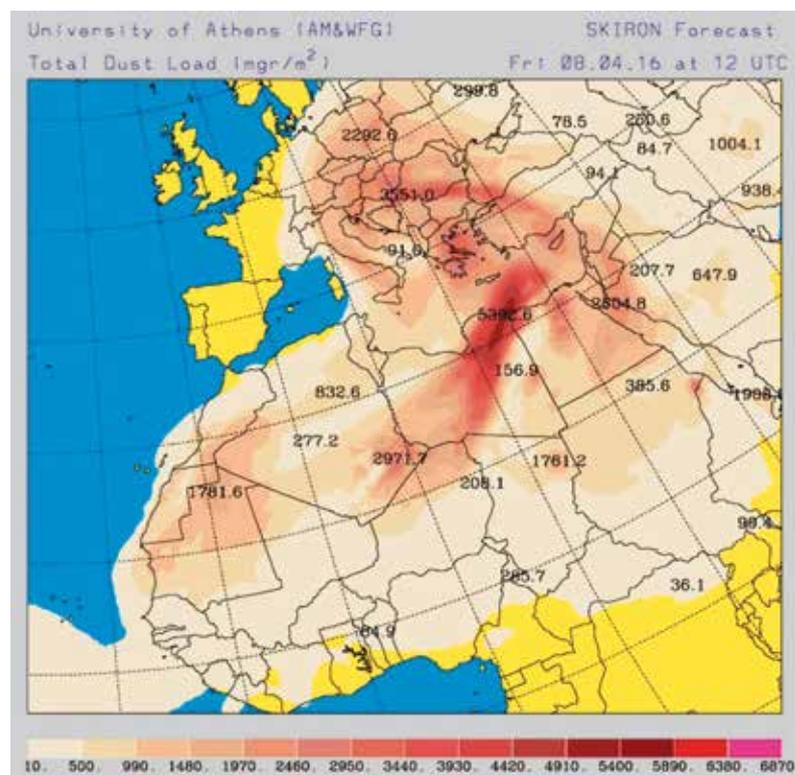


Fig. 12 - Modello di previsione del trasporto di sabbia realizzato dall'Università di Atene (<http://forecast.uoa.gr/>). Previsione per il giorno 8 aprile 2016.

	DATA	QUOTA (m s.l.m.)	LOCALITÀ	SUPERFICIE (cm ²)	RES. SOLIDO (mg)	RAPP g/m ²
1	28/04/2016	2660	C. Lupo Malinvern - Stura	241	100	4,1
2	28/04/2016	2660	C. Lupo Malinvern - Stura	227	100	4,4
3	04/05/2016	2660	C. Maladecia - Stura	113	29	2,6
4	16/05/2016	2308	Gr. Bersagliere - Varaita	198	117	5,9
5	16/05/2016	2685	C. Agnello - Varaita	85	17	2

© AINEVA

Fig. 13 - Componente solida nella neve sahariana nel cuneese primavera 2016. Rilievi: Arpa Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali; Analisi: Arpa Piemonte, Dipartimento Territoriale Piemonte Sudovest.



Fig. 14 - Particolare degli strati superficiali del manto nevoso del 21 aprile 2016. Lo strato di neve contenente sabbia sahariana, che è il piano di scivolamento di molte valanghe dei giorni precedenti è ricoperto dalle nevicate recenti.

zone desertiche dell'Algeria verso le Alpi. L'evoluzione della struttura del minimo di pressione al suolo, presente sull'Algeria dal 31 marzo 2016, è rappresentata in Fig. 7 dove si osserva un approfondimento del centro del minimo fino ai 996 hPa. Il giorno successivo, il 1° Aprile alle 12

UTC, quando il trasporto incomincia ad essere dominante, si osserva come vi sia un'azione negli strati bassi, che concorre al sollevamento, ed una alle quote più elevate assolutamente concorde nella direzione e nell'area di intensificazione, che determina il trasporto verso nord (Fig. 8).

Fig. 15 - Analisi ECMWF dell'altezza geopotenziale a 500 hPa, rappresentativo della corrente a getto del 17 febbraio 2014 alle 00UTC.

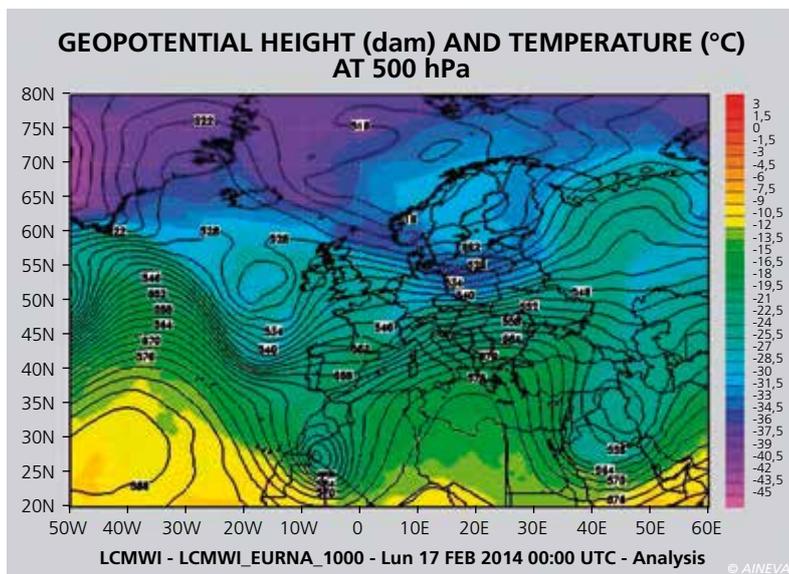


Fig. 16 - Analisi ECMWF del campo di vento a 300 hPa del 17 febbraio 2014 alle 18 UTC.

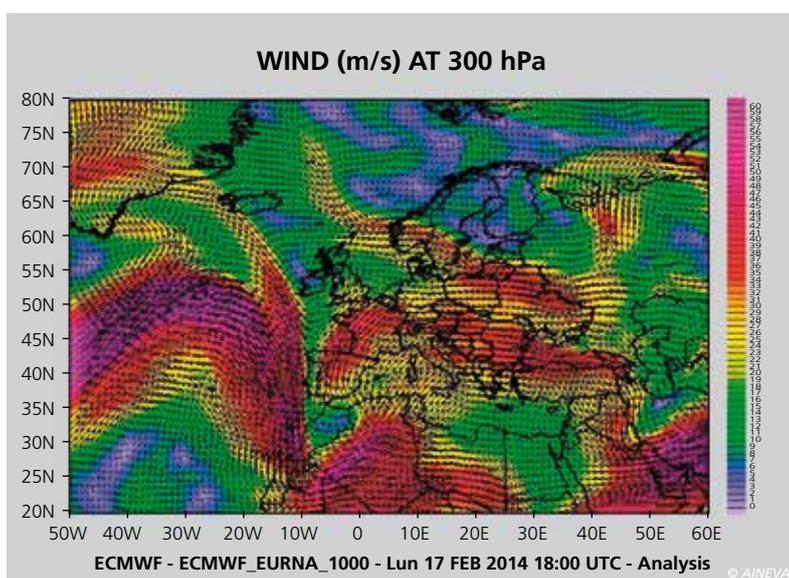
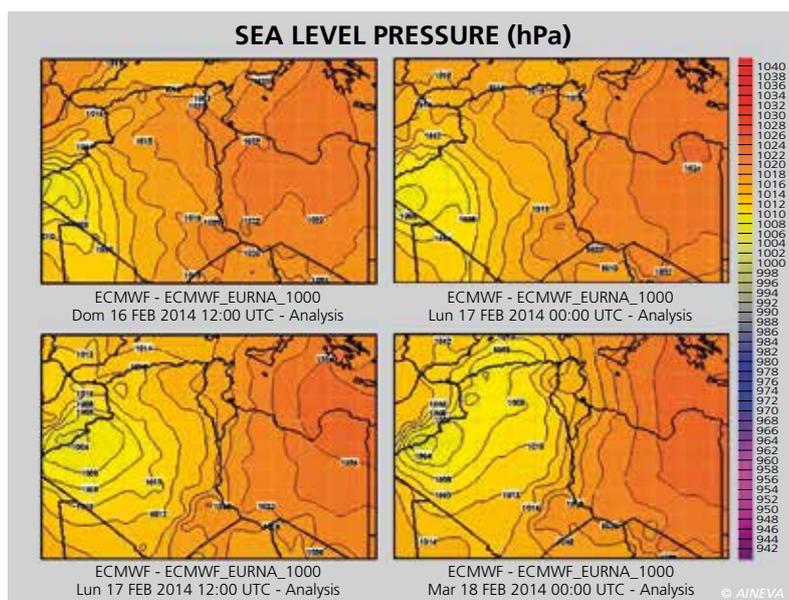


Fig. 17 - Evoluzione ogni 12 ore della pressione al livello del mare dalle 12 UTC del 16 febbraio 2014 (analisi ECMWF).



A 700 hPa, circa 3000 m di quota, il vento supera i 45 m/s nell'area di convergenza (pari a circa 160 km/h), favorendo il solle-

vamento della polvere verso strati ancora più elevati dell'atmosfera. Le immagini Meteosat (Fig. 9) mostrano

il sollevamento della polvere sahariana dovuta all'azione del minimo al suolo il giorno 1° Aprile e lo spostamento dell'area a massima concentrazione dall'Algeria verso nord-est, cioè verso la Tunisia, del giorno successivo, fino ad arrivare sul mare in corrispondenza del confine con la Libia, per poi essere successivamente trasportata dalle correnti atmosferiche verso le Alpi.

Attraverso le simulazioni modellistiche è possibile risalire alla traiettoria delle particelle che hanno interessato una determinata area in un dato momento.

La Fig. 10 mostra le traiettorie che hanno compiuto in 72 ore le particelle che hanno investito una località delle Alpi occidentali ad una quota di 2000 e 3000 m sul livello del mare, il giorno 2 aprile alle 00 UTC. Si può apprezzare come entrambe passino sulla zona di sollevamento della polvere sahariana e in particolare, la traiettoria che spiega la ricaduta della polvere a 2000 m, sia transitata sull'Algeria a livelli molto bassi il giorno 31, per risalire a quote più elevate dove è avvenuto il trasporto verso nord, e ricadere sui rilievi insieme alla precipitazione.

In Piemonte le precipitazioni nevose, iniziate sui settori settentrionali già nella giornata di mercoledì 30 marzo, hanno interessato i settori occidentali e meridionali nel corso della giornata di giovedì 31 e sono continuate, seppur con carattere intermittente, fino a martedì 5 aprile. La quota delle nevicate è rimasta generalmente alta per la stagione: nei primi fenomeni precipitativi intorno ai 1800-2000 m, con valori localmente inferiori solo nei settori alpini settentrionali, per poi attestarsi sui 2000 m dall'Ossola alla Val di Susa e risalire fino ai 2200-2300 m nei restanti settori. I quantitativi complessivi non sono stati molto significativi: 20-30 cm sull'estremo nord Piemonte e settori occidentali, 30-50 cm sulle Alpi Graie e Alpi Pennine, una decina di centimetri sulle Alpi Marittime, ma con segnalazione da tutti gli osservatori nivologici di sabbia rossa già con le precipitazioni del giorno 31 marzo. Il fenomeno della neve rossa non è stato osservato solo in Piemonte,

ma su tutto l'arco alpino. Nel bollettino del 6 aprile della Valle d'Aosta veniva riportato "Sopra 3000 m ... formando nuovi accumuli ben visibili dal colore bianco sopra alla neve del fine settimana colorata dalla sabbia"... (Fig. 11). In Lombardia, ricostruendo le dinamiche meteorologiche risultano due eventi distinti: tra il 31 marzo ed il 1° aprile con apporti di 5-15 cm di neve fresca oltre 2300 m e tra il 4 e il 5 aprile forti correnti umide da sud depositano, soprattutto nella giornata di lunedì 4 apporti complessivi di neve fresca piuttosto ridotti, 10-20 cm, sempre oltre i 2000-2200 m. Alle quote più basse la sabbia rimane piuttosto circoscritta, ove la precipitazione è sempre nevosa -oltre i 2200m- lo spessore assume un significato più importante. La circolazione depressoria carica di sabbia tinge di rosso anche l'arco alpino orientale: in Alto Adige le precipitazioni con neve sahariana si sono prolungate fino a venerdì 8 aprile e da una stima fatta dai meteorologi della Provincia di Bolzano, utilizzando un modello greco (<http://forecast.uoa.gr/>) sono state stimate ben 10.000 tonnellate di sabbia nell'aria al di sopra della loro regione (Fig. 12).

A titolo di esempio, per valutare i quantitativi rilasciati areali, sono stati eseguiti alcuni campionamenti di neve sul territorio montano del cuneese, che hanno evidenziato valori di componente solida molto elevati (Fig. 13) dai 2 g/m² campionati a 2685 m in Val Varaita ai 5,9 g/m² campionati nella stessa valle ma a quota inferiore.

Questo episodio, caratterizzato da maggiori precipitazioni sul versante occidentale delle Alpi italiane rispetto al settore orientale, dove le neviccate sono state quasi assenti ma la deposizione "secca" è avvenuta in modo importante, ha determinato la formazione di uno strato di neve che è poi risultato il piano di scivolamento di numerosi distacchi valanghivi spontanei e provocati fra il 18 e il 21 di aprile.

Sul finire della seconda decade del mese di aprile, una serie di episodi perturbati hanno determinato, un po' su tutto l'arco alpino, una serie di piogge fino in quota alternate a deboli neviccate.

Queste ultime sono andate a poggiarsi sugli strati compatti di neve con le inclusioni di sabbia e hanno innescato diverse valanghe (Fig. 14). Nel settore centro occidentale delle Alpi sono avvenuti numerosi incidenti da valanga sia sul versante italiano che nord alpino. Le vittime, fra Italia, Francia e Svizzera sono state ben 8.

Episodio di metà febbraio 2014

Aspetti peculiari si ritrovano anche in analoghi eventi delle stagioni precedenti, in particolare in quello del 2014 verificatosi tra il 18 ed il 19 di febbraio. Anche in questo caso un profondo minimo dall'Atlantico si posiziona sulle coste occidentali del nord Africa, forzando un intenso flusso da sud al suolo sulle zone desertiche dell'Algeria il giorno 17 alle 00 UTC (Fig. 15). Il minimo è evidente a tutte le quote (barotropico), essendo dovuto alla profonda ondulazione della corrente a getto (Fig. 16).

In questa occasione il centro del minimo di pressione è rimasto pressoché stazionario ma si è approfondito estendendo

l'area di bassa pressione all'intera Algeria (Fig. 17). Il flusso meridionale più intenso si è avuto, in quota, sull'Algeria, mentre la zona di convergenza al suolo al confine tra Libia, Algeria e Tunisia (Fig. 18)

La formazione di questo centro di bassa pressione ha scatenato una forte tempesta di sabbia nel deserto: il giorno 18 febbraio alle 00 UTC le particelle più sottili sono già state sollevate dalla zona di convergenza tra Algeria, Libia e Tunisia, fino ad alte quote (Fig. 19). Nelle ore successive vengono rapidamente trasportate dalle correnti da sud-ovest presenti negli strati più alti dell'atmosfera raggiungendo il nord Italia, e precipitando infine assieme alla pioggia e alla neve.

La Fig. 20 mostra la traiettorie che hanno compiuto in 72 ore le particelle che hanno investito una località delle Alpi occidentali ad una quota di 2000 e 3000 m sul livello del mare, il giorno 18 febbraio 2014 alle 12 UTC. Si può apprezzare come entrambe, provenendo da zone desertiche differenti, convergano sulla zona di ricaduta. In particolare la traiettoria a cui sono legate le

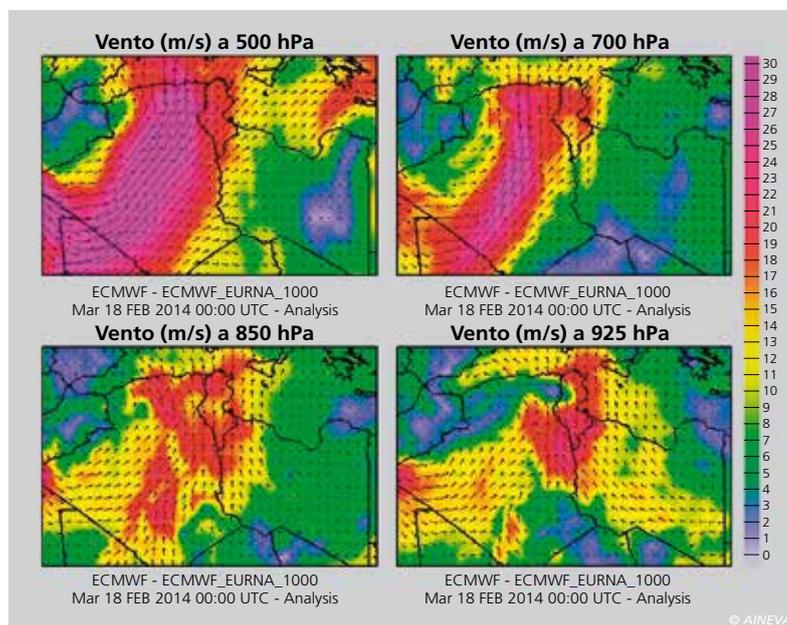


Fig. 18 - Evoluzione ogni 12 ore del vento a diversi livelli atmosferici (500, 700, 850 e 925 hPa) 18 febbraio 2014 alle ore 00 UTC (analisi ECMWF).

Fig. 19 - Immagini Meteosat "MSG Dust" del 18 febbraio 2014 ore 00:00, 03:00 e 16:00 UTC (copyright EUMETSAT 2016). In magenta è chiaramente visibile nella prima immagine la sabbia in sospensione sull'Algeria (sicuramente sollevata in precedenza dalla convergenza dei venti nella zona desertica a sud dell'Atlante denominata Grande Erg Occidentale, in cui si trovano grandi dune sabbiose), che poi viene trasportata verso nord fino sul Mediterraneo.

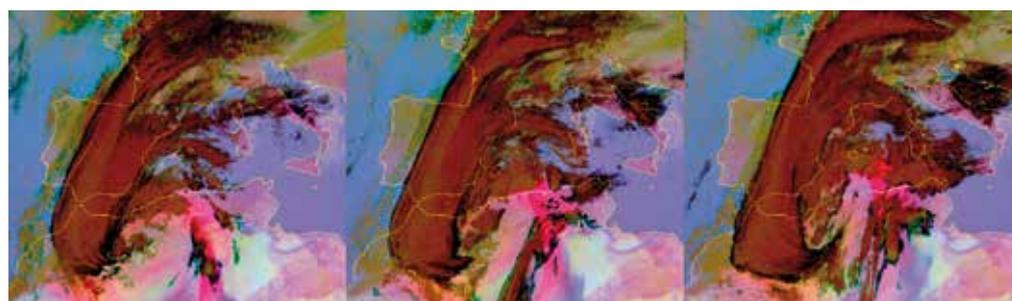


Fig. 20 - Traiettorie delle particelle che hanno raggiunto le Alpi occidentali il 18 febbraio 2014 alle ore 12 UTC alla quota di 2000 e 3000 m nelle 72 ore precedenti (fonte NOAA Air Resources Laboratory (<http://www.ready.noaa.gov>)).

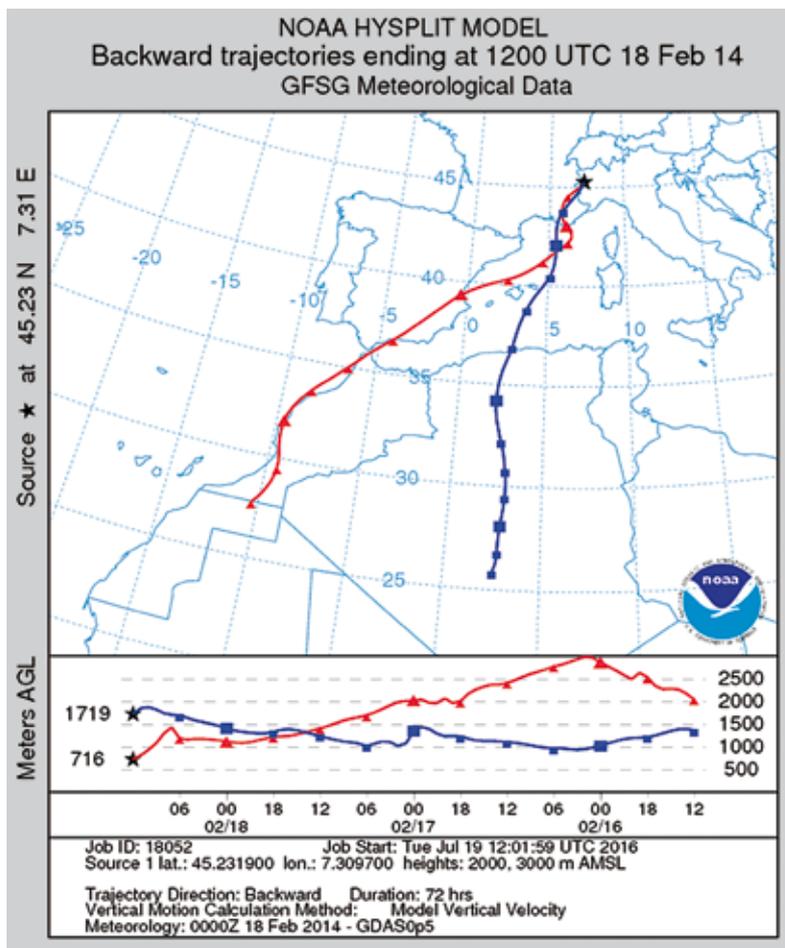
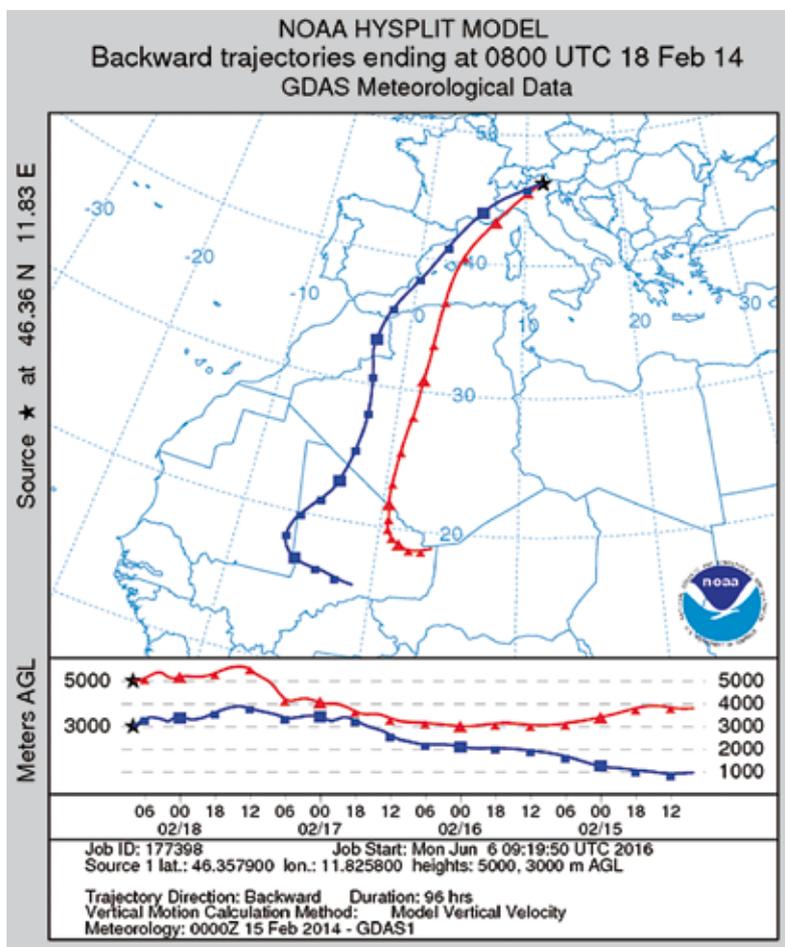


Fig. 21 - Traiettorie delle particelle che hanno raggiunto le Alpi occidentali il 18 febbraio 2014 alle ore 14 UTC alla quota di 5000 e 3000 m nelle 144 ore precedenti (fonte NOAA Air Resources Laboratory (<http://www.ready.noaa.gov>)).



particelle di sabbia deposte ad un'altezza di 2000 m circa, provengono dall'area di stazionarietà del minimo, mentre quella che descrive la traiettoria delle particelle depositate a quote più elevate, transiti sulle zone dove il flusso in quota era molto forte.

In Piemonte sono state registrate deboli nevicate intermittenti, più intense il giorno 17 nelle vallate occidentali, con punte massime di circa 20 cm. Lo zero termico si è mantenuto abbastanza stazionario ed elevato per il periodo (intorno ai 2000 m) per abbassarsi solo il 21 febbraio a 1500 m. Questo, in concomitanza con la polvere sahariana che si è depositata sul manto nevoso il giorno 19 a causa del trasporto di correnti ha determinato una sensibile riduzione dei quantitativi di neve al suolo, molto evidente sulle Alpi Cozie sud, dove il decremento ha raggiunto i 30 cm. Gli strati di neve contenenti pulviscolo giallo-rosso di origine sahariana sono stati i principali attori di una diffusa instabilità anche a distanza di 15-20 giorni. Questi strati, infatti, sono risultati la principale superficie di scivolamento causando anche incidenti da valanga (Rendiconto Nivometrico 2013-14, 2014)

Sulla montagna veneta, tra il 16 ed il 17 febbraio il passaggio del sistema frontale determina un modesto episodio pluvio-nevoso. Il limite della neve è piuttosto alto sulle Prealpi: 1600 -1800 m, mentre la pioggia si muta in neve fino sui 1100 -1300 m sulle Dolomiti. Il 18 breve e parziale miglioramento seguito da nuovo e lieve peggioramento tra il 19 ed il 20 Febbraio con neve o nevischio oltre i 1800 -2000 m per forte avvezione meridionale nella fase iniziale, la quale porta una neve di colore fra il giallo e l'arancione per il depositarsi di pulviscolo sabbioso proveniente dall'Africa. Fase di maltempo chi si accompagna anche di forti rovesci e di fenomeni temporaleschi. La retrotraiettoria elaborata a 144 ore dell'evento del 19 febbraio Fig. 21, evidenzia la provenienza delle masse d'aria nelle ore precedenti. La mappa della movimentazione delle polveri, ovvero del carico, è ancora più evidente, come poi anche quella delle deposizioni del giorno

19 febbraio. Ancor più evidente la mappa delle deposizioni umide di polveri, in cui si vede il giorno 17 di febbraio, l'origine della massa di polveri e poi le intense deposizioni del giorno 19 di febbraio 2014 (Fig. 22).

CARATTERISTICHE DELLO STRATO CON NEVE SAHARIANA

Dalla stagione invernale 2001 alla 2016, oltre agli episodi descritti nei capitoli precedenti, sono stati osservati altri eventi di cui si trova traccia nei profili stratigrafici del manto nevoso.

Sulla base dei dati raccolti in campo è stato possibile determinare alcune caratteristiche degli strati di neve contenenti le "impurità" di sabbia (Fierz et al., 2009). Per le deposizioni avvenute in autunno, gli strati rinvenuti sono verso la base del manto nevoso e spesso soggetti a trasformazioni cinetiche durante la stagione invernale (Fig. 23). Per le deposizioni primaverili, gli strati rimangono vicino alla superficie e molto spesso, anche se ricoperti da successive nevicate, con l'ablazione primaverile arrivano a comparire in superficie colorando di rosso aree anche molto estese (Fig. 24). Questa colorazione, quando copre aree molto estese e ben esposte, è anche leggermente rinvenibile nell'analisi delle immagini MODIS (Valt e Salvatori, 2016).

Analizzando i profili del manto nevoso eseguiti a breve distanza temporale dagli eventi (1-5 giorni) è stato osservato che lo strato contenente la sabbia è frequentemente formato da forme di neve fusa (MF) di variabile dimensione. In alcuni episodi lo strato di neve contenente sabbia è formato da grani MF, è stato osservato fra due strati di neve asciutta di precipitazione (PP e DF).

La presenza in superficie o a poca profondità di questi strati di neve umida è un indicatore di una temporanea condizione di riscaldamento del manto nevoso o di una precipitazione accompagnata da venti caldi o, come nel caso del 2004 e aprile 2016, da temporanee piogge fino in quota. Inoltre, e non da meno, la presenza di mi-

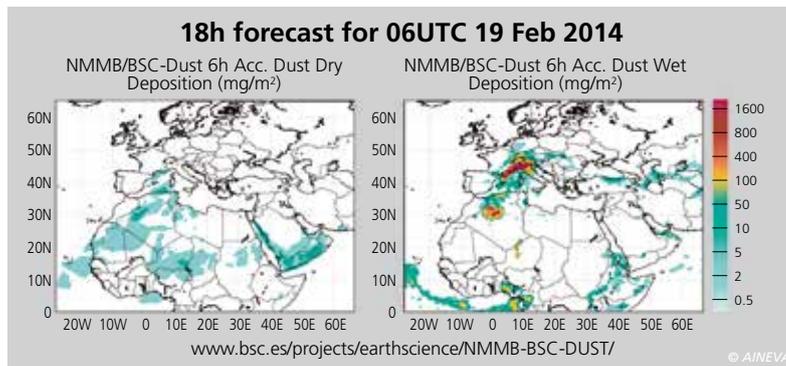


Fig. 22 - Mappa delle deposizioni (mg/m²) previste per il 19 febbraio 2014 e dell'intensità del vento a 700 hPa elaborata da www.bsc.es.

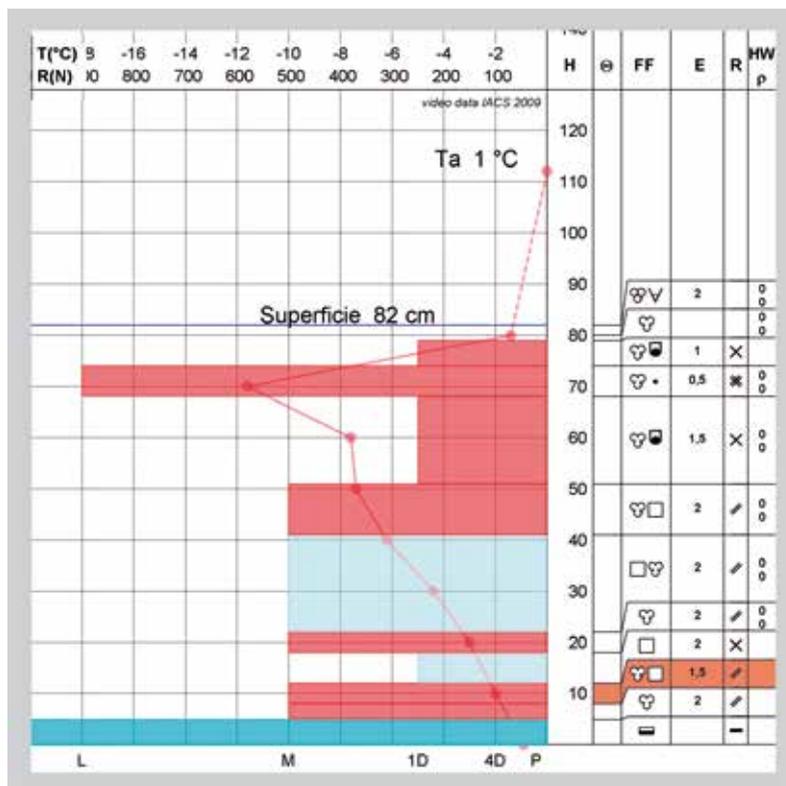


Fig. 23 - Profilo del manto nevoso realizzato il 20 febbraio 2003 in località Cima Pradazzo (Regione del Veneto) a q. 2200 m. Vicino alla base del manto nevoso è presente uno strato di neve fusa (MF) in evoluzione verso forme di cristalli sfaccettati (FC) contenente sabbia sahariana risalente alle precipitazioni dell'autunno 2002.

Fig. 24 - Situazione di metà marzo 2014 dopo le nevicate con sabbia del 19 febbraio, ricoperta dalle nevicate del 22-23 febbraio e di un lungo periodo di fusione superficiale del manto nevoso. Lungo i pendii più ripidi esposti al sole la neve "bianca" è scomparsa per sublimazione e fusione mettendo in luce la neve "rossa". Località Val Fredda (Falcade-BL), 15 marzo 2014.



