

ANALISI DI TRASPORTO DI DUST IN ATMOSFERA A FEBBRAIO 2021

NEL PERIODO 23-27 FEBBRAIO 2021 LE STAZIONI APPENNINICHE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA DELL'EMILIA-ROMAGNA HANNO REGISTRATO VALORI ELEVATI DI PARTICOLATO. L'ANALISI HA PERMESSO DI IPOTIZZARE CHE SI SIANO INCROCIATI DIVERSI FATTORI: L'APPORTO DI SABBIE SAHARIANE, IL CONTRIBUTO PADANO E L'ERUZIONE VULCANICA DELL'ETNA.

I valori di concentrazione di PM_{10} che vengono rilevati nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti in quota sull'Appennino si mantengono solitamente su livelli molto contenuti, proprio perché risentono scarsamente – a causa delle condizioni meteorologiche del periodo freddo – dell'influenza delle condizioni di accumulo che impattano sul bacino padano. Negli ultimi anni tuttavia si osservano sempre più frequenti episodi di trasporto di particolato da siti anche relativamente remoti, come ad esempio il trasporto di sabbia dal mar Caspio avvenuto a marzo 2020¹.

Dal punto di vista meteorologico, le giornate del 22-23 febbraio 2021 sono state caratterizzate dall'instaurarsi di una circolazione anticiclonica sull'Italia che ha determinato la stagnazione della massa d'aria presente nella pianura Padana.

La presenza nelle ore mattutine di un'inversione nello strato più prossimo al suolo e una scarsa ventilazione hanno favorito l'instaurarsi di condizioni favorevoli all'accumulo degli inquinanti con peggioramento nelle giornate successive del 24 e 25. Contemporaneamente, in quota, alla superficie isobarica di 850 hPa, erano presenti venti meridionali sul Tirreno. Successivamente l'area anticiclonica si è indebolita permettendo un migliore rimescolamento verticale dell'atmosfera e il 27 un afflusso di veloci correnti fredde di bora da est nord-est ha determinato un significativo ricambio delle masse d'aria.

L'analisi della situazione, effettuata mediante simulazioni a scala europea con il sistema modellistico² attualmente installato presso Arpae, mostra un trasporto di polveri sahariane lungo il Tirreno occidentale che ha interessato, sebbene in modo diverso, la quasi totalità della penisola italiana; l'episodio è iniziato nella giornata del 22 e si è concluso il 27 (figura 1).

FIG. 1
DUST

Concentrazioni di dust previste dal sistema modellistico per il 24 febbraio.

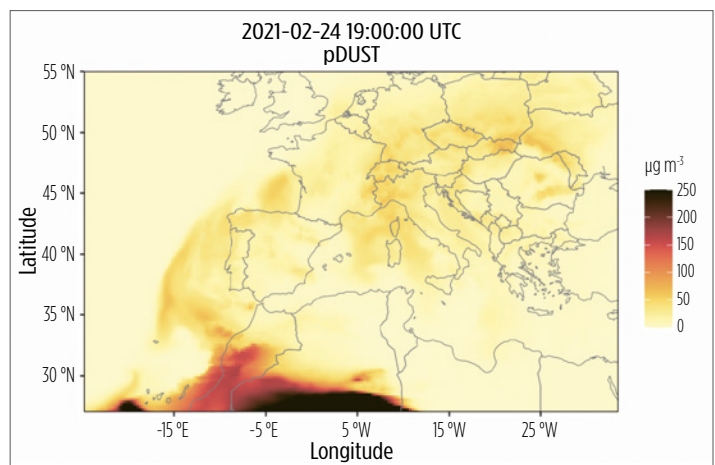
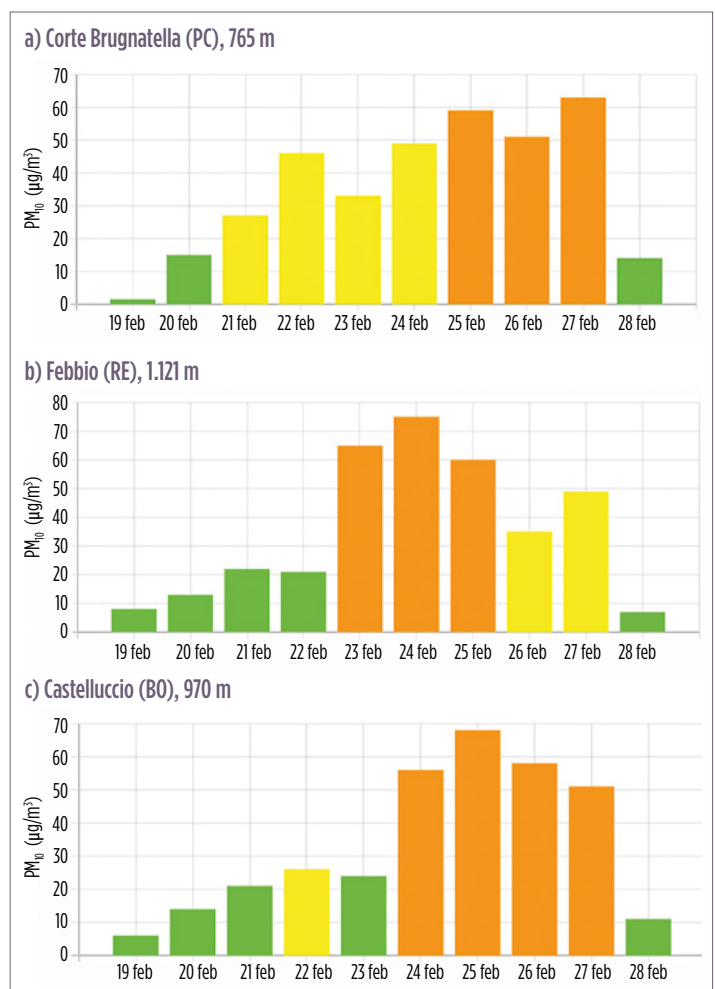


FIG. 2
 PM_{10}

Concentrazioni di PM_{10} ($\mu g/m^3$) misurate dal 19 al 28 febbraio nelle stazioni di Corte Brugnatella (a), Febbio (b) e Castelluccio (c).



I dati misurati dalle stazioni di monitoraggio (figura 2) hanno evidenziato quanto segue:

- nella giornata di martedì 23 febbraio 2021 un incremento improvviso dei valori di PM_{10} ($65 \mu g/m^3$) è stato osservato presso la stazione di Febbio (1.100 m slm), seguita nei giorni successivi in altri siti dell'Appennino. Tale episodio si è inserito in un contesto caratterizzato da condizioni di accumulo al suolo che portava, già da svariati giorni, a concentrazioni elevate in tutte le stazioni della pianura
- presso la stazione di Corte Brugnatella (PC) si sono osservati valori più elevati del consueto anche nelle due giornate precedenti del 21 e 22 febbraio
- nella giornata del 24 febbraio anche la stazione di Castelluccio, a 700 m sul livello del mare nell'appennino bolognese, ha registrato valori elevati ($56 \mu g/m^3$) insieme a Febbio ($75 \mu g/m^3$)
- nella giornata del 25 febbraio tutte e tre le stazioni in quota, Corte Brugnatella (PC), Febbio (RE) e Castelluccio (BO) hanno superato il valore limite giornaliero, mentre i siti di misura di pianura dell'Emilia-Romagna mostravano valori altissimi, prossimi ai $100 \mu g/m^3$
- nelle giornate del 26 e 27 le concentrazioni in quota si sono ridotte rispetto ai giorni precedenti, pur rimanendo elevate: la situazione è poi ritornata a valori normali il 28 febbraio.

I valori di concentrazione rilevati, così come sopra descritto, possono essere raggiunti in Appennino solo in conseguenza di meccanismi di trasporto su lunga distanza. Solitamente, quando avvengono questi trasporti, se ne osservano gli effetti anche nelle stazioni di pianura: in questo caso il *dust* trasportato si è andato a sommare al PM di origine secondaria proprio della pianura Padana, che in quei giorni era già molto elevato. Per questo motivo la caratterizzazione del PM è stata di più facile determinazione sui campioni delle stazioni in quota, perché costituito per la quasi totalità da materiale trasportato, a differenza dei campioni delle stazioni di pianura ricche di PM locale e regionale. Sebbene presso le stazioni della rete regionale dell'Emilia-Romagna la misura di concentrazione del PM_{10} sia su base giornaliera – condizione che non permette di descrivere con precisione l'evoluzione oraria del fenomeno di trasporto – nella città di Bologna, presso la stazione di via Gobetti, la presenza di un contatore ottico di particelle con risoluzione temporale sub-oraria ha reso

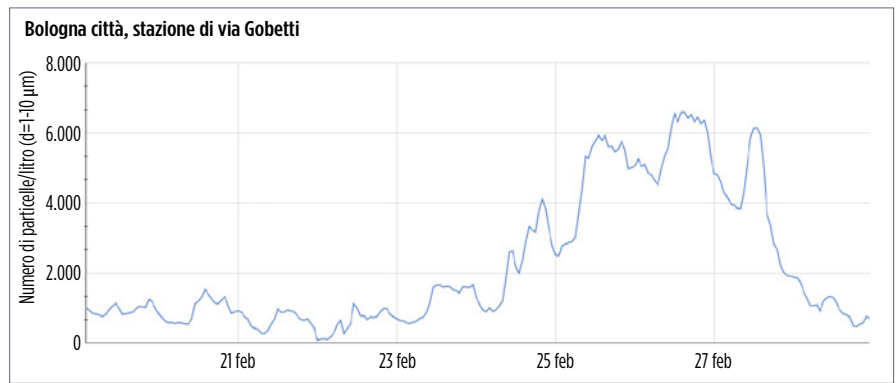


FIG. 3 PM_{10}
Scansione oraria della concentrazione di PM_{10} nella stazione di Bologna, via Gobetti.

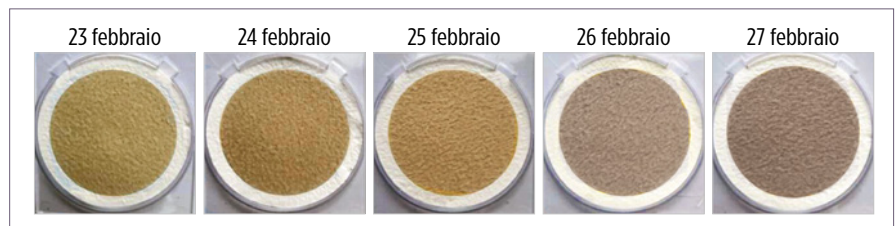
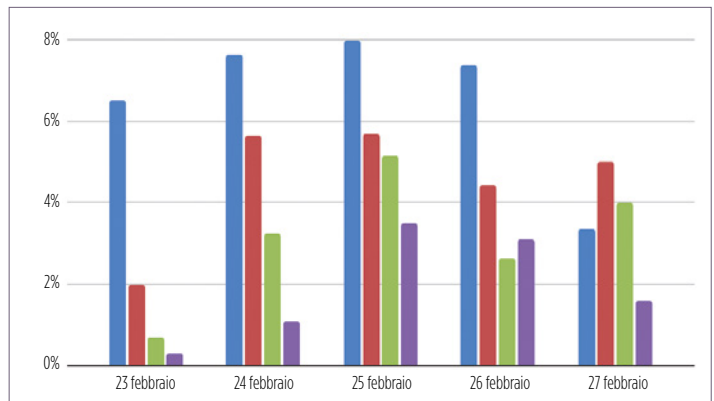


FIG. 4 COLORAZIONE DEL PARTICOLATO
Colorazione del materiale particellare raccolto presso la stazione di Febbio.

FIG. 5 ALLUMINIO

Concentrazione (%) di alluminio in 4 stazioni.

- Febbio (RE)
- Lizzano (BO)
- Modena (MO)
- Rimini (RN)



possibile un'analisi più approfondita. Dall'analisi dei dati rilevati da tale strumento, e in particolare l'evoluzione oraria delle particelle con diametro superiore a $1 \mu m$, si è potuto dimostrare come in pianura il fenomeno sia iniziato verso le 8 del mattino del 24 febbraio e si sia esaurito verso le 22 del 27 febbraio. Dai dati rilevati dalle stazioni di Febbio (RE) e Corte Brugnatella (PC) si può dedurre che in Appennino l'arrivo di *dust* trasportato sia iniziato almeno un giorno prima.

Anche la colorazione del materiale particellare raccolto presso la stazione di Febbio è stata d'aiuto per comprendere le conclusioni di cui sopra. Il colore risultava infatti essere costituito da una componente gialla – indice di presenza di sabbia – nelle giornate del 23-24-25, mentre assumeva un tono decisamente più grigiastro nei giorni 26 e 27 (figura 4). I filtri raccolti presso le stazioni di

pianura non mostravano invece la colorazione giallastra proprio perché, come detto sopra, in quelle giornate, in pianura, si evidenziavano elevati valori di PM_{10} locale e/o regionale, condizione che tende a conferire la consueta colorazione grigio scuro al materiale raccolto.

Ai fini di confermare le ipotesi formulate si è proceduto ad analizzare i metalli (Al, Fe, Pb, Cr, Ni, Zn, As, Cd, Sn, Sb, Ba, La, K, Ca, V, Mn, Mg) sui campioni raccolti nelle diverse stazioni su tutte e 5 le giornate. Nei giorni in cui si sono ipotizzati i fenomeni di trasporto dalla meso-scala, l'alluminio – che è uno dei principali componenti del materiale crostale – risulta una frazione importante della massa del PM_{10} . Inoltre, come per la concentrazione di PM_{10} , anche l'arricchimento dell'Al sul particolato mostra i suoi massimi in giorni successivi spostandosi da ovest verso est e da monte a valle (figura 5).

Come ulteriore informazione per l'analisi di quanto accaduto è importante sottolineare che in condizioni normali (ossia non in presenza di eventi di tale tipologia di trasporti a meso-scala) le concentrazioni di Fe e Al sono decisamente inferiori.

Per formulare confronti, nello scorso episodio di *Caspian dust*³, le concentrazioni rilevate a Febbio nel giorno di evento erano di 3.000 ng/m³ di alluminio e 2.000 ng/m³ di ferro, mentre in questo episodio i valori dei due elementi sono risultati doppi di concentrazione, a fronte di valori di PM₁₀ inferiori.

Infine, l'ipotesi che nelle giornate del 26-27 si sia verificato un trasporto in direzione opposta, ovvero dalla pianura all'Appennino, di particolato di origine padana è avvalorata dalle concentrazioni riscontrate di piombo: in particolar modo si osserva come il rapporto Pb/Al incrementi notevolmente, presumibilmente dal pomeriggio del 26 (figura 6).

A tal proposito può risultare di particolare interesse confrontare la composizione del particolato rilevata in questo evento con quella riscontrata nelle giornate precedenti al fenomeno di trasporto utilizzando i dati rilevati presso il sito di Via Gobetti (BO)⁴.

Negli ultimi 10 giorni di febbraio 2021 si sono registrati 3 picchi di PM₁₀: 81 µg/m³ il 18, 65 µg/m³ il 23 e 80 µg/m³ il 26. Il primo episodio ha evidenziato un picco di nitrato (NO₃⁻) che è la specie inorganica di origine secondaria che cresce maggiormente durante gli eventi di accumulo di particolato (figura 7).

In questi processi, frequenti in pianura Padana durante il periodo invernale, si registra infatti l'aumento soprattutto delle specie secondarie del PM e a essi si possono attribuire la maggior parte dei picchi di particolato.

Durante il terzo evento, il 26/2, si ha una crescita molto importante delle concentrazioni di tutti gli elementi attribuibili a un'origine crostale (Al, Si, Ti, Ca). Tale andamento suggerisce che gli alti valori di PM siano stati raggiunti in seguito a un meccanismo completamente diverso, ovvero un evento di trasporto di sabbie desertiche dal nord Africa (figura 8).

Il 23/2 non si osserva un incremento né della principale componente secondaria invernale (il nitrato), né delle specie di origine crostale (Al, Si, Ti, Ca). Si potrebbe pertanto ipotizzare l'esistenza di una terza sorgente esogena che va

FIG. 6
PIOMBO/ALLUMINIO

Rapporto piombo/alluminio in 2 stazioni.

■ Febbio (RE)
■ Lizzano (BO)

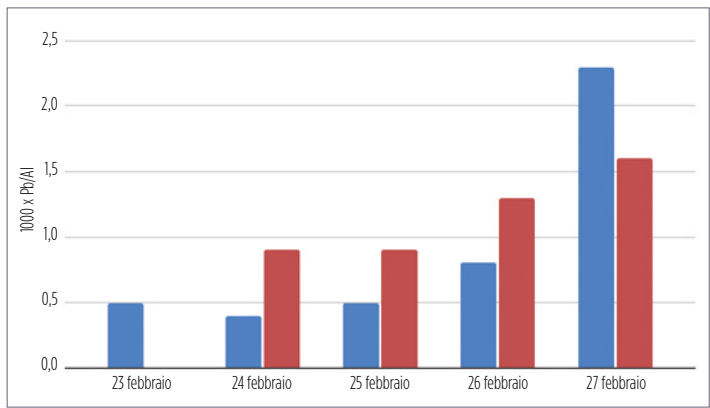


FIG. 7
PM₁₀ E IONE NITRATO

Concentrazioni di PM₁₀ e nitrato dal 17 al 28 febbraio nella stazione di Bologna, via Gobetti.

— PM₁₀
— NO₃⁻

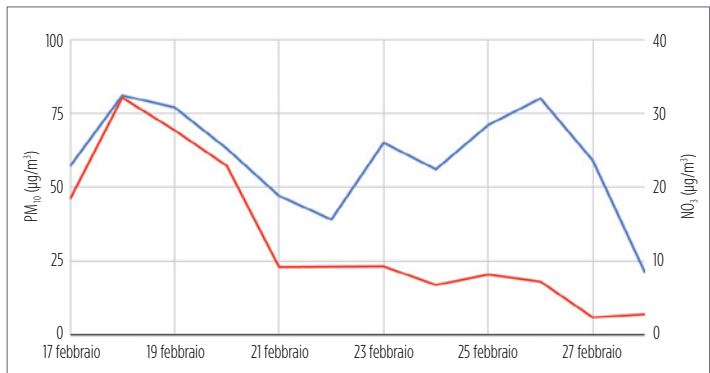
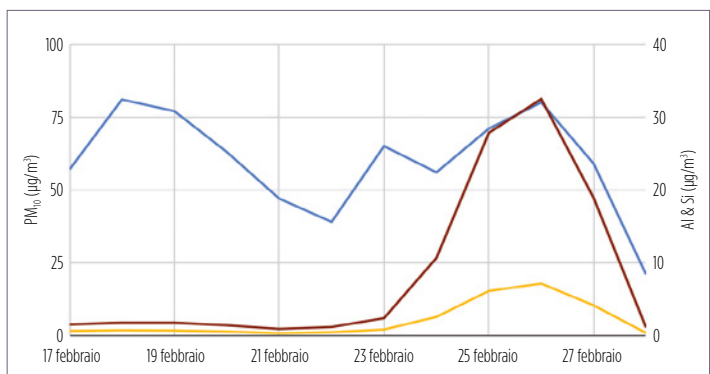


FIG. 8
PM₁₀, ALLUMINIO E SILICIO

Concentrazioni di PM₁₀, alluminio e silicio dal 17 al 28 febbraio nella stazione di Bologna, via Gobetti.

— PM₁₀
— Al
— Si



a sommarsi alle due precedentemente descritte.

Tale ipotesi potrebbe essere riconducibile al fatto che, dalla mezzanotte del 23 febbraio, l'attività eruttiva dell'Etna si è incrementata: da diverse bocche del cratere si sono infatti elevate imponenti fontane di lava, la colonna eruttiva di gas e cenere si è sollevata fino a circa 10.000 metri di quota e la parte superiore della nube si è dispersa verso nord-ovest (figura 9).

Come è noto, i vulcani sono una delle sorgenti naturali di particolato atmosferico, in quanto la loro attività può liberare in atmosfera una notevole quantità di inquinanti. Uno degli elementi maggiormente liberati è lo zolfo, che è stato identificato principalmente come solfato nelle particelle⁵ anche a notevole distanza dal punto di emissione⁶, il quale può avere origine sia primaria, essere cioè emesso direttamente dalla sorgente, sia secondaria, cioè formatosi

in atmosfera per ossidazione di SO₂, un gas fortemente prodotto dalle attività vulcaniche⁷.

Dall'analisi dei solfati nel particolato raccolto si è osservato un picco di concentrazione di solfato (SO₄²⁻), di zolfo in generale (S) e di alcuni elementi (Zn e Br) che rendono plausibile la possibile origine vulcanica di una parte del particolato raccolto nel sito di Bologna (figura 10).

Non è possibile avere certezza di questa ipotesi, ma la composizione chimica del PM₁₀ di Bologna (via Gobetti) è coerente con quanto ci si potrebbe aspettare in seguito al trasporto di materiale prodotto da attività vulcaniche.

Identificare il contributo dell'attività vulcanica nel particolato atmosferico non è semplice, sia per la non specificità delle specie emesse sia per la mancanza di rapporti specifici caratteristici tra esse. Molti elementi in tracce sono prodotti

anche da attività antropiche come l'industria o il traffico oppure si trovano nella componente crostale costantemente presente nell'aerosol. Il solfato, invece, è uno dei componenti principali del particolato presente in pianura Padana, con concentrazioni abbastanza costanti durante l'anno perché è una specie di origine secondaria caratteristica del fondo continentale.

In sintesi quindi l'episodio analizzato potrebbe essere stato causato da un insieme di fattori: un primo apporto dovuto a un trasporto sahariano a meso-scala, un secondo legato a un contributo di tipo padano e un terzo dovuto a un'eruzione vulcanica. Sebbene la complessità di tali condizioni e l'insieme delle variabili confondenti non permetta di quantificare le percentuali dei singoli contributi, dal punto di vista degli aspetti qualitativi, le diverse indagini svolte sembrano verificare le ipotesi sopra esposte.

Dimitri Bacco, Luca Torreggiani, Michele Stortini, Vanes Poluzzi, Marco Ballabeni, Davide Verna, Andrea Selvini

Arpae Emilia-Romagna

Si ringraziano Vorne Gianelle e il progetto Life Prepair per la disponibilità dei dati e il supporto.

NOTE

- ¹ *Ecoscienza*, n. 3, anno X, luglio 2020.
- ² Sistema modellistico realizzato da Arpae nell'ambito del progetto nazionale *Piattaforma tematica del Sentinel Collaborative GS per la qualità dell'aria*.
- ³ *Ecoscienza*, n. 3, anno X, luglio 2020.
- ⁴ Progetto Life Prepair, www.lifeprepare.eu.
- ⁵ Varekamp J.C., Thomas E., Germani M., Buseck R., 1986. "Particle geochemistry of volcanic plumes of Etna and Mount St. Helens", *Journal of Geochemistry Research*, 91, 12233-12248.
- ⁶ Bergametti G., Martin D., Carbonelle J., Faivre-Pierret R., Vie le Sage R., 1984, "A mesoscale study of the elemental composition of aerosols emitted from Mt. Etna Volcano", *Bulletin of Volcanology*, 47-4 (2), 1107-1114.
- ⁷ Boichu M., Faves O., Riffault V., Petit J.-E., Zhang Y., Brogniez C., Sciare J., Chiapello I., Clarisse L., Zhang S., Pujol-Sohne N., Tison E., Dalbarre H., Goloub P., 2019, "Large-scale particulate air pollution and chemical fingerprint of volcanic sulfate aerosols from the 2014-2015 Holuhraun flood lava eruption of Bárðarbunga volcano (Iceland)", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 14253-14287.



FOTO: [HTTPS://INGVULCAM.COM](https://ingvulcam.com)

1

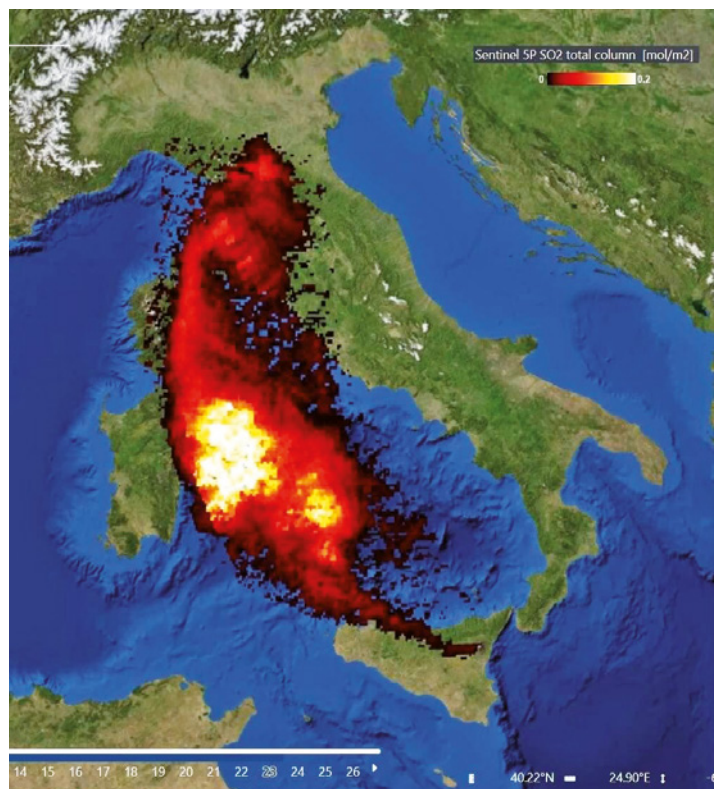


FIG. 9
ERUZIONE ETNA

Trasporto di biossido di zolfo in seguito all'eruzione dell'Etna di febbraio 2021. Immagine satellitare prodotta da Copernicus Sentinel (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>).

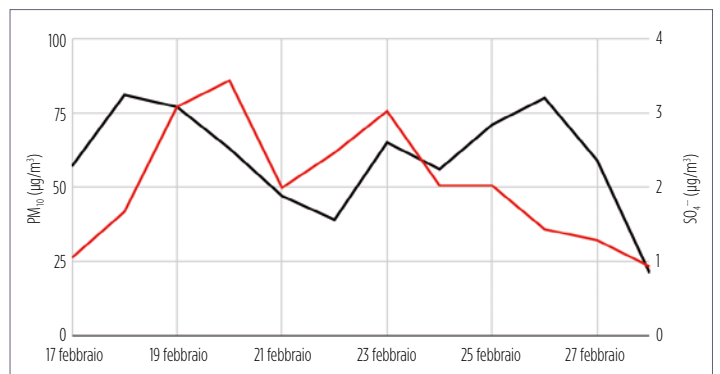


FIG. 10
PM₁₀ E IONE SOLFATO

Concentrazioni di PM₁₀ e solfato dal 17 al 28 febbraio nella stazione di Bologna, via Gobetti.

■ PM₁₀
■ SO₄⁻

1 Emissione di cenere dal cratere di sud-est dell'Etna all'alba del 23 febbraio 2021. Vista da Tremestieri Etneo.