

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI PRINCIPI E IMPIANTI DI INGEGNERIA CHIMICA



**TESI DI LAUREA IN
INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI
MATERIALI**

(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi Industriali)

**IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI EVENTI DI
TRASPORTO ATMOSFERICO DI AEROSOL MINERALE DAL NORD
AFRICA PRESSO LA STAZIONE ISAC-CNR DI MONTE CIMONE**

Relatore: Ing. Monica Giomo

Correlatori: Prof. Everardo Gola

Dott. Paolo Cristofanelli

Laureando: GIOVANNI ZACCARIA

ANNO ACCADEMICO 2010-2011

Riassunto

Questo studio ha l'obiettivo di identificare gli eventi di trasporto di aerosol minerale proveniente dal Nord Africa presso la stazione Isac-Cnr di Monte Cimone da agosto 2002 a dicembre 2010, e successivamente quantificarne l'impatto sulla concentrazione di aerosol atmosferico. I dati ottenuti grazie all'utilizzo di un contatore ottico di particelle (OPC) sono stati archiviati ed elaborati attraverso matrici di dati su file Excel©. L'identificazione degli eventi di trasporto di aerosol minerale è stata effettuata mediante una complessa metodologia: i giorni caratterizzati da un aumento statisticamente significativo del numero di particelle grossolane, considerante un tracciante della presenza di aerosol minerale in siti di alta quota, sono stati analizzati usando (i) retro-traiettorie tridimensionali, e (ii) simulazioni di modelli di trasporto atmosferico. Sono stati quindi identificati 200 giorni con trasporto di aerosol minerale, è stato studiato l'andamento annuale e stagionale della concentrazione delle particelle grossolane, la frequenza, l'intensità e la stagionalità degli eventi di trasporto. Si è inoltre studiato come tali eventi modifichino le caratteristiche dell'aerosol atmosferico in termini di distribuzione dimensionale e concentrazione in numero.

Indice

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 – L’aerosol minerale	3
1.1 COMPOSIZIONE.....	3
1.2 CONCENTRAZIONE E DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE.....	3
1.3 TRASPORTO DI AEROSOL MINERALE.....	6
1.4 TEMPO DI RESIDENZA IN ATMOSFERA.....	6
1.5 AEROSOL MINERALE ED EFFETTI CLIMATICI.....	7
1.5.1 Effetti radiativi diretti degli aerosol.....	9
1.5.2 Effetti radiativi indiretti degli aerosol.....	9
1.5.3 Aerosol e concentrazione dei gas troposferici.....	10
1.6 ALTRI EFFETTI DEGLI AEROSOL.....	11
1.6.1 Aerosol e visibilità.....	11
1.6.2 Aerosol e salute umana.....	11
CAPITOLO 2 – Materiali e metodi	13
2.1 SITO DI MISURA.....	13
2.2 STRUMENTAZIONE.....	16
2.3 METODOLOGIA DI IDENTIFICAZIONE.....	16
2.3.1 Aumento di particelle grossolane.....	17
2.3.2 Analisi delle traiettorie.....	17
2.3.3 Analisi di modelli di trasporto.....	18
2.4 ELABORAZIONE DATI.....	19
CAPITOLO 3 – Risultati	21
3.1 ANDAMENTO PLURIENNALE DELLA CONCENTRAZIONE DI PARTICELLE GROSSOLANE.....	21
3.2 ANALISI DEGLI EVENTI DI TRASPORTO DI AEROSOL MINERALE.....	25
3.2.1 Analisi della frequenza annuale.....	26
3.2.2 Analisi della frequenza stagionale.....	27
3.3 ANDAMENTO STAGIONALE DELLA CONCENTRAZIONE DI PARTICELLE GROSSOLANE.....	28
CONCLUSIONI	33
APPENDICE	35
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	41

Introduzione

L'aerosol atmosferico rappresenta, per le numerose implicazioni nella meteorologia, nella qualità dell'aria, e nei cambiamenti climatici, un aspetto chiave di grande attualità nella ricerca atmosferica (Jacobson, 2002). Tuttavia, nonostante i vari studi compiuti dalla comunità scientifica negli ultimi anni, una completa caratterizzazione di tale componente presenta ancora una significativa incertezza a causa della sua grande variabilità e complessità in termini di sorgenti, trasporto e trasformazione, composizione chimica, distribuzione dimensionale, distribuzione spaziale ed interazione con gli altri componenti del sistema climatico (IPCC, 2007).

L'aerosol minerale è una delle più grandi sorgenti di aerosol naturale e rappresenta, con 2150 Tg/anno, circa il 37% della totale produzione di aerosol atmosferico primario da sorgenti sia naturali sia antropiche (IPCC, 2007). Quando le condizioni climatiche sono favorevoli al sollevamento di particelle di sabbia, queste possono essere iniettate sin nella libera troposfera, ove possono venire trasportate per lunghe distanze dalla circolazione atmosferica (Bonasoni et al., 2004).

Scopo di questa tesi è l'identificazione e la caratterizzazione degli eventi di trasporto di aerosol minerale dal Nord Africa all'Italia attraverso lo studio di dati di concentrazione delle particelle grossolane e di distribuzione dimensionale di aerosol osservati *in-situ*. Le osservazioni sono state effettuate in continuo presso la stazione Isac-Cnr di Monte Cimone dal 2002 al 2010.

Il lavoro di questa tesi è strutturato in tre capitoli:

Nel Capitolo 1 si presenta la tematica di studio riguardante l'aerosol troposferico, ed in particolare l'aerosol minerale. Vengono quindi descritti gli effetti legati alla concentrazione e distribuzione dimensionale dell'aerosol, con particolare interesse per gli effetti climatici.

Nel Capitolo 2 viene presentato il sito di misura e la stazione GAW-WMO "O. Vittori" di Monte Cimone. Vengono quindi descritti la strumentazione e le procedure utilizzate per l'identificazione e l'analisi degli eventi di trasporto di aerosol minerale.

Nel Capitolo 3 vengono presentati ed analizzati i risultati ottenuti, fornendo una valutazione dell'influenza dei fenomeni di trasporto di aerosol minerale sulla distribuzione dimensionale dell'aerosol atmosferico a Monte Cimone.

Capitolo 1

L'aerosol minerale

1.1 Composizione

L'aerosol mobilizzato dai deserti è composto da una vasta gamma di minerali che si possono comunemente trovare nei suoli; la sua composizione varia quindi a seconda della regione di provenienza. Quarzo, dolomite e calcite sono i principali costituenti, sono tuttavia presenti anche halite, kaolinite, smectite e illite (Hernandez, 2011). Oltre a questi, una vasta gamma di altri minerali può essere presente, anche se generalmente in percentuale minore oppure in tracce (per esempio, gesso, montmorillonite, clorite, palygorskite, mica). Dal punto di vista della composizione chimica possono essere considerati traccianti della frazione minerale silicio, ferro, alluminio e calcio, a prescindere dalla composizione mineralogica. Gran parte della massa dell'aerosol minerale è relativamente amorfa, tuttavia la superficie delle particelle è spesso rivestita da ossidi e sali. Le particelle di polvere del deserto si formano per disgregazione meccanica di particelle più grandi della sabbia che li compone, hanno dimensioni di qualche μm e sono molto diverse le une dalle altre. Esse sono in grado di assorbire la radiazione solare ad alcune lunghezze d'onda, ma anche in grado di riflettere nello spazio una parte della radiazione solare che arriva sulla Terra. Quindi esse hanno contemporaneamente un'azione di riscaldamento e di raffreddamento dell'atmosfera. Inoltre l'aerosol minerale è in generale molto poco solubile, quindi poco efficiente nella formazione dei sistemi nuvolosi, anche se la deposizione di materiale solubile durante il trasporto può aumentare la sua capacità di agire come nuclei di condensazione.

1.2 Concentrazione e distribuzione dimensionale

La concentrazione e la distribuzione dimensionale dell'aerosol sono parametri importanti per studiare l'aerosol atmosferico ed i suoi effetti sul sistema climatico e la qualità dell'aria. Per esempio la grandezza delle particelle è un parametro fondamentale per determinarne l'interazione con la radiazione solare. Si ha infatti una maggior diffusione di quest'ultima nel caso di particelle con diametro compreso tra 0.1 e 1 μm (Dickerson et al., 1997). Lo spettro dimensionale dell'aerosol rappresenta uno strumento fondamentale per descrivere un sistema così complesso in considerazione del fatto che esso può essere associato ad una qualsiasi proprietà che varia con le dimensioni delle particelle, come la densità numerica, il volume o la

massa. Particelle di forma identica ma con differente composizione chimica avranno in generale densità e comportamento dinamico differente. L'approssimazione di particella sferica è applicabile solo per le goccioline e per particelle parzialmente solubili in particolari condizioni d'umidità relativa. Al fine quindi di avere un unico parametro per definire le dimensioni di particelle con forme e caratteristiche differenti, viene introdotto il concetto di diametro aerodinamico (D_p). Il diametro aerodinamico viene definito come il diametro di una sfera di densità di 1 g/cm^3 con la stessa velocità terminale della particella sotto l'azione della forza di gravità in aria calma, nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa.

La conoscenza dei processi che portano alla formazione di aerosol di diverse dimensioni, può essere di aiuto per l'identificazione delle sorgenti. Dalla Figura 1.1. si evince come le particelle di diametro inferiore a $1 \text{ }\mu\text{m}$ siano di origine chimico-fisica, mentre quelle con diametro maggiore di $1 \text{ }\mu\text{m}$ siano di origine meccanica.

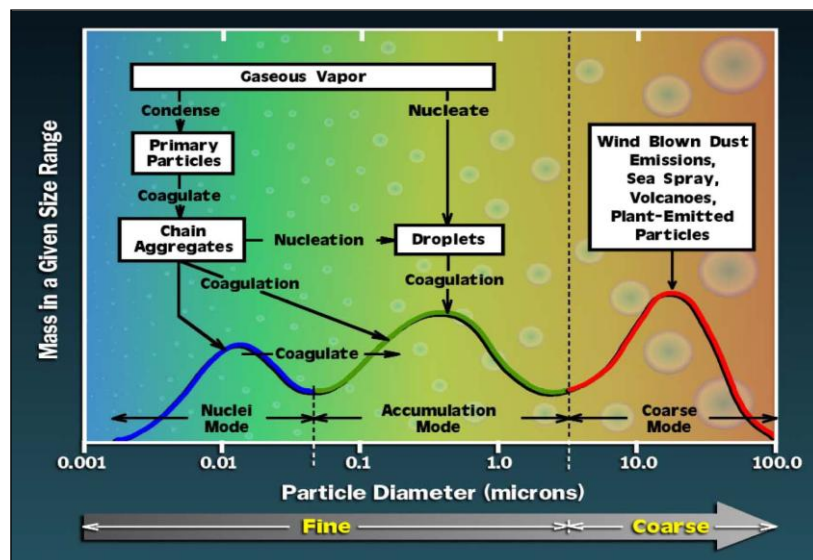


Figura 1.1. Processi di formazione e sorgenti di aerosol in funzione del diametro (fonte: ISAC)

Gli aerosol di nucleazione ($D_p < 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) sono prodotti dai processi di condensazione dei gas (in particolare H_2SO_4), e quindi la concentrazione di particelle di questo diametro è maggiore in concomitanza con eventi di formazione di particelle, come nelle vicinanze delle sorgenti di inquinamento, ma anche in concomitanza con la variazione degli equilibri chimici e fisici della massa d'aria. Recenti studi mostrano che la distribuzione dimensionale dell'aerosol minerale non dipende dalla velocità del vento durante l'immissione in atmosfera (Kok, 2011), mentre le discrepanze tra le misure ottenute in situ e le misure colonnari indicano una chiara dipendenza dall'altitudine della distribuzione dimensionale dell'aerosol minerale (Córdoba-Jabonero, 2011). La frazione di Aitken ($0.01 \text{ }\mu\text{m} < D_p < 0.1 \text{ }\mu\text{m}$) si forma

dalla crescita e coagulazione delle particelle di nucleazione. La parte di accumulazione ($0.1 \mu\text{m} < D_p < 1 \mu\text{m}$) è dovuta alla ulteriore coagulazione di particelle di Aitken, quindi un'elevata concentrazione di questa parte è caratteristica di masse d'aria in parte invecchiate, e che quindi hanno subito processi di trasporto in atmosfera. La maggiore concentrazione di particelle grossolane ($D_p > 1 \mu\text{m}$), oggetto di studio di questa tesi, è dovuta al sollevamento di sabbia, a processi industriali che producono ceneri ed al sale marino che origina dagli oceani. Il Grafico 1.1, ottenuto dalle elaborazioni riportate in questa tesi, mostra come gli eventi di trasporto di aerosol minerale modifichino notevolmente la concentrazione dello stesso, soprattutto nella frazione grossolana.

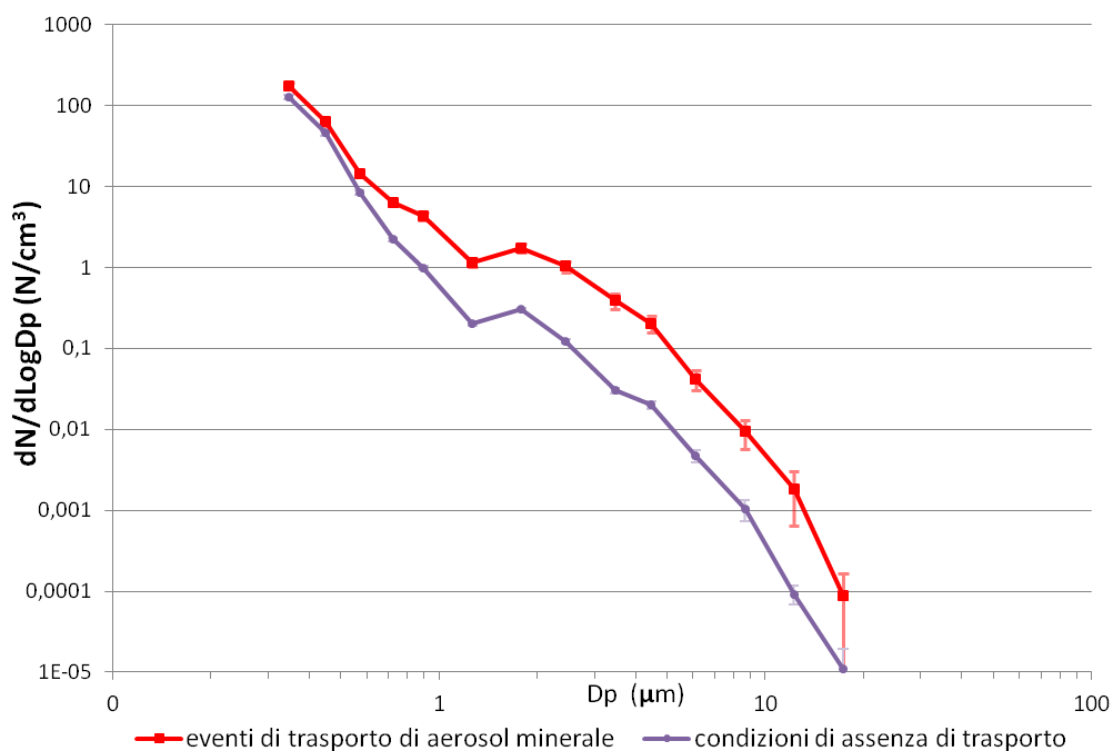


Grafico 1.1. Distribuzione dimensionale di aerosol atmosferico. i dati sono stati raccolti presso la stazione di Mt Cimone e sono stati mediati per il periodo 2002-2010. La linea rossa rappresenta la distribuzione dimensionale media durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale, la linea blu rappresenta le condizioni di assenza di trasporto.

Tale grafico descrive l'andamento del numero di particelle in funzione del diametro. L'area sottesa alla curva, che esprime graficamente il numero di particelle, è maggiore nel caso di trasporto di aerosol minerale. Questa variazione è particolarmente marcata per la parte grossolana ($D_p > 1 \mu\text{m}$) dell'aerosol atmosferico.

1.3 Trasporto di aerosol minerale

Il trasporto di particelle dalla superficie terrestre in atmosfera è causato ai movimenti delle masse d'aria. L'immissione in atmosfera è dovuta al vento ed alle turbolenze atmosferiche, che devono imprimere una forza tale da vincere l'attrito che lega la particella al suolo.

I deserti (che coprono circa un terzo delle terre emerse), sono globalmente la maggior sorgente di aerosol proveniente dalla superficie terrestre. Durante le tempeste di sabbia l'aerosol viene immesso in atmosfera con concentrazioni, secondo le stime di Ganor (1994), superiori a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ansmann et al. (2003) hanno descritto la grande estensione spaziale e la distribuzione tridimensionale del trasporto di aerosol minerale dal Nord Africa. Nonostante gran parte di queste particelle di sabbia vengano trasportate verso ovest sopra l'Oceano Atlantico fino al continente americano, un'altra parte considerevole attraversa il Mar Mediterraneo fino all'Europa meridionale, e raggiunge occasionalmente anche il centro e il nord d'Europa (Schwikowski et al., 1995; Moulin et al., 1998; Kubilay et al., 2000; Rodriguez et al., 2001). Le quantità di sabbia trasportata annualmente sull'Atlantico e sul Mediterraneo sono state stimate da Moulin (1997) rispettivamente in 350×10^6 e 70×10^6 Tg/anno. Questi risultati sono in buon accordo con quelli di Schütz (1980) e d'Almeida (1986), che stimarono rispettivamente 260 e 190×10^6 Tg/anno sull'Atlantico e 100×10^6 Tg/anno sul Mediterraneo. Le particelle di aerosol minerale possono avere concentrazioni estremamente variabili durante gli eventi di trasporto che non sono rilevati da campionamenti "short-term" (Kubilay 2000). A causa del naturale processo di sedimentazione delle particelle, che è più efficiente per le particelle di grosse dimensioni, solitamente le polveri minerali trasportate per lunghe distanze (come dal Nord Africa al Mediterraneo) hanno un diametro $< 10 \mu\text{m}$ (Prospero, 1999). Lo studio della concentrazione di aerosol in diverse stazioni evidenziano che le proprietà dell'aerosol minerale durante il trasporto a medio raggio non vengono alterate (Córdoba-Jabonero, 2011). Ulteriori studi saranno compiuti in futuro, soprattutto per caratterizzare l'evoluzione della distribuzione dimensionale dell'aerosol al momento dell'emissione e durante il trasporto (Formenti et al., 2011).

1.4 Tempo di residenza in atmosfera

In seguito alla loro emissione o formazione, le particelle di aerosol vengono trasportate dai movimenti delle masse d'aria: il tempo di residenza in atmosfera dipende soprattutto dalla massa e dalla dimensione delle particelle. Particelle con un diametro minore di $0.01 \mu\text{m}$ e maggiore di $20 \mu\text{m}$ hanno un tempo di residenza in atmosfera minore di un giorno; le prime vengono rimosse da meccanismi di diffusione e coagulazione, mentre le seconde subiscono i

processi di sedimentazione e impattano con la superficie. D'altra parte, le particelle con diametro compreso fra 0.1 μm e 1 μm hanno lunghi tempi di residenza in atmosfera, pari a centinaia di giorni nell'alta troposfera, tempo che si riduce a qualche decina di giorni a causa dei fenomeni di impatto, condensazione e di rimozione durante le precipitazioni atmosferiche. Il tempo di residenza piuttosto breve in bassa troposfera è causa della grande variabilità spazio temporale della distribuzione dell'aerosol, specialmente nelle aree vicine alle sorgenti di aerosol. Invece nell'alta troposfera, i lunghi tempi di residenza fanno sì che in questa regione ci sia un "fondo" di aerosol più uniforme (Hobbs, 2000).

1.5 Aerosol minerale ed effetti climatici

Lo studio del bilancio radiativo del pianeta è un elemento fondamentale nello studio del clima: la differenza tra i flussi radiativi in ingresso e quelli in uscita determina la quantità d'energia accumulata dal sistema terra-atmosfera, con la quale si alimentano i processi che contribuiscono, nel loro insieme, a determinare il quadro climatico del pianeta (Figura 1.2.). La temperatura media globale è un parametro termodinamico che può essere associato al bilancio radiativo: se questo è positivo, il pianeta accumula energia e la temperatura media globale tende di conseguenza ad aumentare. Non essendo una quantità costante nel tempo, il bilancio radiativo è soggetto ad oscillazioni che alterano la temperatura globale: queste perturbazioni sono indicate sinteticamente con il termine "forcing radiativo", misurato in termini di variazione di flusso radiativo (in $[\text{W}/\text{m}^2]$) e mediato su tutto il pianeta. La convenzione sul segno di questi fattori è tale che un valore negativo corrisponde ad una perdita d'energia solare in ingresso, e quindi ad un raffreddamento. Le cause di forcing radiativo possono avere origine da variazioni dell'intensità della radiazione solare, della composizione atmosferica, o delle proprietà della superficie (ad esempio, variazioni nelle proprietà di riflessione): la conoscenza del forcing radiativo è perciò fondamentale nella valutazione della stabilità climatica e delle previsioni degli eventuali scenari futuri. A differenza dei principali gas serra, le particelle di aerosol hanno tempo di residenza in troposfera più brevi (1-10 giorni), quindi hanno un'influenza sul bilancio radiativo non uniforme nello spazio e nel tempo. Inoltre l'aerosol influenza il bilancio radiativo prevalentemente durante il giorno e d'estate (Charlson, 1992). In particolare, l'effetto radiativo dell'aerosol minerale dalle sorgenti naturali e a seguito di risollevarimento legato ad attività antropiche (es. traffico, agricoltura) contribuisce, secondo le stime di Andreae (1995), per circa l'8% all'effetto totale di diffusione della radiazione solare dell'aerosol. I meccanismi con cui le particelle d'aerosol agiscono modificando il bilancio radiativo possono essere sintetizzati in un effetto diretto ed uno indiretto. L'effetto diretto rappresenta i processi d'assorbimento e diffusione della radiazione elettromagnetica d'origine solare e terrestre.

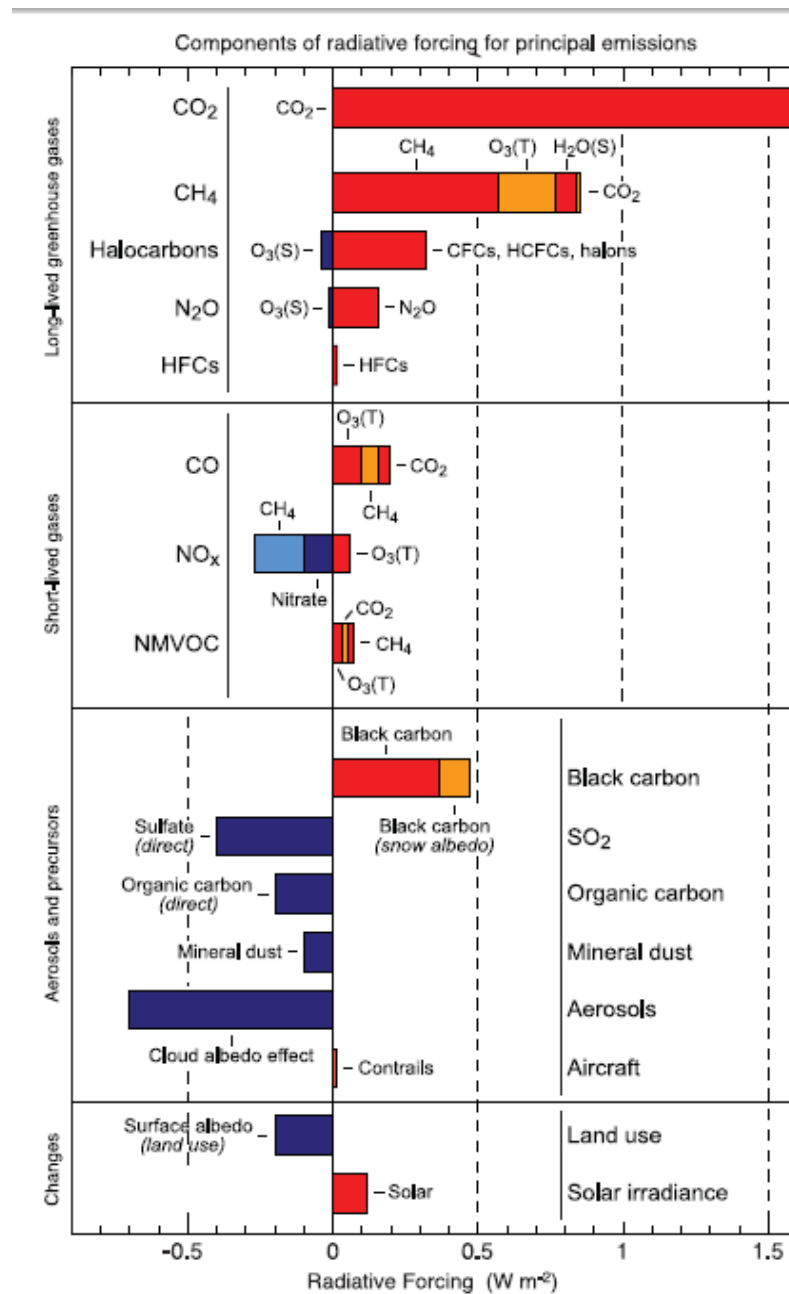


Figura 1.2. Bilancio radiativo dell'atmosfera tra il 1750 e il 2005: sono rappresentati i contributi dovuti ai principali gas serra, all'aerosol ed ai precursori dell'aerosol. (S) e (T) rappresentano i cambiamenti rispettivamente stratosferici e troposferici. (IPCC 2007)

L'effetto indiretto rappresenta due meccanismi differenti. Le particelle di aerosol, agendo come siti in reazioni chimiche eterogenee, modificano le concentrazioni di sostanze che hanno un impatto diretto sul clima (come, ad esempio, gli stessi gas serra), e agiscono inoltre come nuclei di condensazione (CCN per *cloud condensation nuclei*) nella formazione dei sistemi nuvolosi, aumentando l'albedo planetario e contribuendo indirettamente a raffreddare il pianeta. I sistemi nuvolosi, a loro volta, interagiscono con la radiazione solare e terrestre,

con modalità che dipendono da fattori legati alla struttura del sistema: concentrazione e dimensione delle goccioline, spessore della nube, quota, presenza all'interno delle nubi di CCN o di particelle particolarmente assorbenti come gli aerosol di tipo carbonaceo.

1.5.1 Effetti radiativi diretti degli aerosol

Le particelle di aerosol modificano il bilancio radiativo dell'atmosfera (Figura 1.2), assorbendo e diffondendo la radiazione solare nella banda del visibile e dell'UV, così come interagendo con la radiazione infrarossa (Dickerson et al., 1997; Lau et al., 2006). Anche le particelle di aerosol minerale di grandi dimensioni ($D_p > 3 \mu\text{m}$) hanno una grande influenza sull'impatto radiativo dovuto all'aerosol (Otto, 2011). L'effetto di assorbimento delle radiazioni infrarosse è generalmente piccolo, perché l'opacità dell'aerosol diminuisce all'aumentare della lunghezza d'onda, e perché l'aerosol è concentrato soprattutto nella bassa troposfera, dove la temperatura dell'atmosfera, che determina l'emissione, è circa la stessa di quella della superficie terrestre (Hobbs 2000). Il forcing radiativo dovuto agli effetti diretti degli aerosol dipende dalla distribuzione verticale, dalla composizione chimica e dalla distribuzione dimensionale dell'aerosol (Quajano 2000).

1.5.2 Effetti radiativi indiretti degli aerosol

Le particelle di aerosol influenzano indirettamente il clima a livello regionale e globale, modificando la presenza di nubi, la loro durata di vita e la quantità di precipitazioni (Rosenfeld et al., 2001). Come già accennato in precedenza, le particelle di aerosol minerale condizionano la formazione di nuvole grazie alla loro capacità di agire come nuclei di condensazione (CCN) e nuclei di glaciazione (IN per: *ice nuclei*): esiste infatti una relazione inversa tra numero di particelle e dimensione delle gocce d'acqua anche se solamente una parte dell'aerosol agisce come "CCN" e/o come "IN" (IPCC, 2007). Nonostante l'interazione dell'aerosol con le gocce d'acqua sia nota, l'effetto degli aerosol come nuclei di glaciazione è ancora scarsamente conosciuto (IPCC, 2007). Tuttavia, l'aerosol minerale è generalmente considerato un migliore IN rispetto alla sua capacità di essere CCN. La possibile influenza dell'aerosol minerale sulla concentrazione di "IN" è stata studiata da Chou et al. (2011) attraverso misure eseguite presso la stazione d'alta quota dello Jungfrauoch (Alpi Svizzere): tale studio suggerisce che la presenza di particelle di aerosol minerale con $D_p > 0.5 \mu\text{m}$ induce la formazione di "IN" in atmosfera. Le interazioni tra le particelle di aerosol (di origine sia naturale sia antropogenica) e le nubi sono complesse e possono non essere lineari.

La dimensione e la composizione chimica dei nuclei iniziali sono importanti nell'attivazione e nella crescita iniziale delle gocce d'acqua: in particolare sono importanti l'igroscopicità, che dipende dalla frazione di componenti idrosolubili e la presenza di ulteriori specie che modificano la tensione superficiale delle gocce (IPCC, 2007). Tuttavia la capacità di una particella di agire come CCN è determinata soprattutto dalla dimensione, piuttosto che dalla composizione (IPCC, 2007). Una diminuzione della dimensione media delle particelle, associata ad un aumento della concentrazione di gocce nelle nubi, inibisce lo sviluppo di precipitazioni, e quindi fa aumentare la durata di vita delle nubi stesse. Questo incremento del tempo di vita delle nubi e il risultante aumento della copertura nuvolosa, influenza il bilancio radiativo terrestre (Khain, 2005). Tuttavia, poiché questo effetto ha più influenza sulle nubi basse, per le quali è più importante il contributo della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (visibile ed UV), l'effetto complessivo è un ulteriore raffreddamento del sistema terra-atmosfera (Charlson, 1992). Anche se tali studi restano affetti da elevate incertezze, questo effetto è stato recentemente stimato (-0.7 W/m^2) attraverso l'uso di modelli che sono in grado di descrivere in modo più completo l'interazione tra le particelle di aerosol e le nubi (IPCC, 2007). La diminuzione di precipitazioni può allo stesso modo modificare la quantità e la distribuzione dell'acqua e del calore latente nell'atmosfera, e quindi modificare il ciclo idrologico.

1.5.3 Aerosol e concentrazione dei gas troposferici

La presenza di aerosol minerale nell'atmosfera, oltre ad influenzare direttamente il sistema climatico, influenza anche il comportamento di alcuni gas reattivi troposferici, cambiando la capacità di ossidazione dell'atmosfera (Arimoto, 2001). Infatti le particelle che diffondono le radiazioni UV nello strato limite accelerano le reazioni fotochimiche e la produzione di smog fotochimico; al contrario le particelle di aerosol dotate di una superficie esterna molto estesa, come sabbie minerali e polveri, assorbono le radiazioni UV, rallentando le reazioni fotochimiche e inibendo quindi la formazione di inquinanti secondari quali l'ozono (Dickerson et al., 1997). Inoltre l'estesa superficie delle particelle solide di sabbia rappresenta una superficie di reazione significativa sulla quale possono avvenire reazioni eterogenee (Dentener et al., 1996). Per esempio, la decomposizione dell'ozono (O_3) sulle superfici di particelle di aerosol può portare, nelle aree sorgenti di sabbia, a una riduzione del 10% della concentrazione di O_3 (Dentener et al., 1996). L'ozono è un gas reattivo fortemente ossidante e quindi un elemento chiave per la capacità ossidativa della troposfera, ma è anche un importante gas serra (il terzo gas antropogenico per effetto serra) (IPCC, 2007).

1.6 Altri effetti degli aerosol

1.6.1 Aerosol e visibilità

La concentrazione e la composizione di aerosol sono importanti anche per definire la visibilità, stimata attraverso il cosiddetto AOD (Aerosol Optical Depth) o “spessore ottico”, che rappresenta l'estinzione integrale della radiazione visibile in un certo intervallo spettrale. La non uniforme distribuzione spaziale dell'aerosol e le sue caratteristiche chimico fisiche molto variabili, causano valori di AOD molto diversi a seconda dell'area in esame. Solitamente in ambienti molto inquinati il valore di spessore ottico è elevato, come per esempio in aree urbane, oppure in zone dove sono in corso incendi di biomasse. Le particelle che contengono carbone (come i prodotti di combustione) e le particelle di aerosol minerale, contribuiscono significativamente all'assorbimento della radiazioni solare e quindi maggiormente influenzano la visibilità atmosferica.

1.6.2 Aerosol e salute umana

Numerosi studi hanno illustrato varie ipotesi riguardanti il collegamento fra aerosol e salute umana, soprattutto per ciò che riguarda l'effetto delle particelle emesse da attività umane (traffico veicolare, processi industriali e di produzione energetica), che rappresentano una componente importante dell'inquinamento dell'aria. Sono oggetto di studio soprattutto gli effetti provocati dall'aerosol sulla salute umana, in particolare sugli organi respiratori (Middleton, 2008). Particelle di differenti dimensioni hanno un impatto diverso sulla salute: le particelle con diametro $< 10 \mu\text{m}$ possono danneggiare gravemente i polmoni se inalate, mentre le particelle più grandi vengono con maggiore probabilità intrappolate dalla mucosa nasale e bronchiale ed eliminate dalle ciglia respiratorie senza causare quindi danni permanenti. È difficile valutare l'impatto degli eventi di trasporto di aerosol minerale sulla qualità dell'aria nel Sud Europa, perché gli eventi di trasporto avvengono soprattutto in estate, quando anche l'inquinamento fotochimico è più frequente e intenso. Infatti la presenza di sabbia modifica l'evoluzione degli eventi di polvere fotochimica (Dickerson, 1997). Tuttavia, recenti studi hanno evidenziato un effetto dell'aerosol minerale sulla correlazione tra frazione di PM_{10} (particolato atmosferico con $D_p < 10 \mu\text{m}$) e mortalità giornaliera. Infatti il trasporto di sabbia sollevata dai deserti del Nord Africa può portare, nelle regioni italiane e dell'Europa meridionale, al superamento del limite giornaliero di PM_{10} fissato dall'Unione Europea (Zauli et al., 2009). Quindi studiare le proprietà, la concentrazione e la distribuzione dell'aerosol minerale in tali regioni, è importante anche per meglio valutarne gli effetti sui parametri di

qualità dell'aria, favorendo l'adozione di corrette politiche per il controllo dell'inquinamento atmosferico.

Capitolo 2

Materiali e metodi

I dati elaborati sono stati raccolti in continuo presso la Stazione di ricerca “O. Vittori” di Monte Cimone (44.12N, 10.42E; 2165 m s.l.m.). Tale infrastruttura di ricerca, gestita dall’Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), è ospitata presso le strutture del vicino Osservatorio Meteorologico dell’Aeronautica Militare. Sono stati considerati 101 mesi, dall’agosto 2002, data di inizio delle osservazioni, fino a dicembre 2010.

2.1 Sito di misura

Monte Cimone, 2165 m di quota, (Figura 2.1.) è la vetta più alta dell’Appennino settentrionale. È un sito considerato rappresentativo delle condizioni di fondo della troposfera dell’Europa meridionale/bacino del Mediterraneo (Cristofanelli et al., 2007).

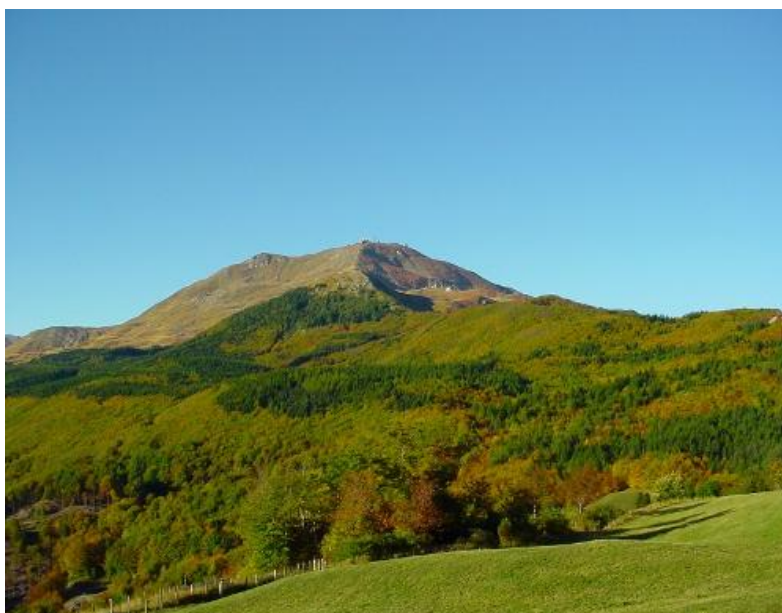


Figura 2.1. Mt Cimone, 2165 m s.l.m. (www.isac.cnr.it/cimone/)

La sua posizione è al confine fra due differenti regioni climatiche: l’Europa continentale e il bacino del Mediterraneo (Figura 2.2.), ed è quindi ideale per studiare masse d’aria differenti per origine e trasporto (Cristofanelli et al., 2007). Infatti Mt. Cimone è uno dei primi rilievi incontrati dalle masse d’aria della libera troposfera, spesso ricche di sabbia Sahariana, che

muovono verso l'Europa dal Nord Africa (Bonasoni, 2004). La Stazione si trova distante da centri abitati: i piccoli paesi sono lontani 15 km, mentre Bologna e Firenze, le grandi città più vicine, si trovano nella pianura a circa 60 km di distanza. Le aree industrializzate più vicine sono lontane più di 40 km, e la strada trafficata più vicina si trova a 7 km di distanza.



Figura 2.2. Posizione geografica di Mt Cimone, 2165m (googleearth)

Queste caratteristiche permettono di considerare Mt. Cimone un sito di misura di alta montagna ideale per lo studio dei processi che influenzano la composizione dell'atmosfera in condizioni di fondo. Le aree di alta montagna, dove lo stato dell'atmosfera viene meno intaccato dall'attività antropica, rappresentano, luoghi privilegiati per studiare l'influenza del trasporto regionale e a lungo raggio di masse d'aria inquinate sulle condizioni di fondo della libera troposfera (Marinoni, 2007), perché caratterizzati da un ambiente naturale e incontaminato. Le aree di alta montagna hanno inoltre un'elevata rappresentatività spaziale. Dal momento che l'aerosol in atmosfera non è uniformemente distribuito, le zone d'alta quota sono siti privilegiati per studiare la composizione chimico-fisica dell'atmosfera lontano dalle zone antropizzate del pianeta. Nell'ambito della ricerca in alta quota si inseriscono i progetti scientifici dell'ISAC-CNR a Monte Cimone (www.isac.cnr.it/cimone/). La condivisione a livello globale dei dati riveste notevole importanza e valorizza le ricerche effettuate dalle singole stazioni. In questo contesto operano i progetti di ricerca GAW (Global Atmosphere Watch) dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (www.wmo.pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html), e SHARE (Stations at High Altitude for Research on the Environment) di Ev-K2-CNR (www.evk2cnr.org/cms/it/share/progetto/intro), ai quali la stazione "O. Vittori" partecipa attivamente. Il programma GAW ha una scala di attività globale (Figura 2.3.) e coinvolge 80 Paesi in tutto il mondo.

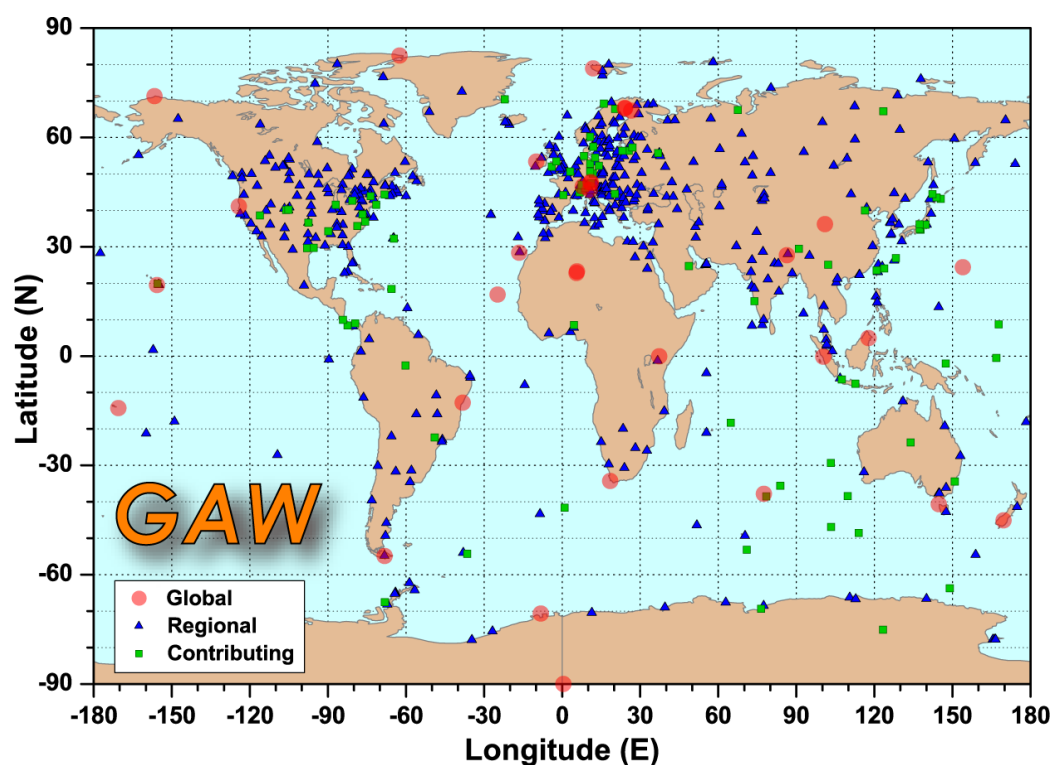


Figura 2.3. Il progetto GAW dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia, operante a Monte Cimone, ha una rete internazionale di 28 "Stazioni Globali" (colore rosso), oltre 400 "Stazioni Regionali" (colore blu) e numerose stazioni contribuenti (colore verde)

Esso, attraverso le attività osservative condotte in 28 "Stazioni Globali" (fra cui quella di Monte Cimone) ed in oltre 400 "Stazioni Regionali", fornisce e confronta dati scientifici sulla composizione chimica dell'atmosfera in tutto il mondo, studia i cambiamenti naturali e antropogenici dell'atmosfera, e aiuta a migliorare le conoscenze delle relazioni tra l'atmosfera, gli oceani e la biosfera. Ciò con lo scopo di fornire alla comunità internazionale dati certi ed affidabili sullo stato dell'atmosfera supportando così l'adozione di corrette politiche ambientali. SHARE, invece, è un progetto coordinato multidisciplinare che studia l'impatto delle attività umane sugli ambienti montani. Ciò eseguendo attività di ricerca nell'ambito delle scienze dell'atmosfera, della glaciologia, dell'idrologia, della flora, della fauna e della medicina. Particolare attenzione è diretta verso aree montane "critiche" in Europa, Asia e Africa, con gli obiettivi di studiare gli impatti dei cambiamenti climatici e suggerire efficaci strategie di adattamento, mettendo a disposizione dei governi e delle agenzie internazionali conoscenze nuove e più complete riguardanti il cambiamento climatico e le sue conseguenze a livello locale, regionale e globale.

2.2 Strumentazione

Lo strumento utilizzato per la raccolta dei dati è un contatore ottico di particelle (OPC, GRIMM modello 1.108, Figura 2.4.).



Figura 2.4. OPC, GRIMM modello 1.108 (www.grimm-aerosol.com)

Nello strumento, le particelle di aerosol sono rivelate grazie un raggio laser, che viene diffuso dalle particelle e il cui segnale viene raccolto con un angolo di 90° da uno specchio e poi trasferito ad un diodo che funge da rivelatore. Ciò permette di avere, con una frequenza temporale al minuto, la concentrazione delle particelle di aerosol su diversi intervalli dimensionali. Infatti, lo strumento è in grado di suddividere le particelle in 15 intervalli dimensionali (diametro aerodinamico compreso tra $0.3 \mu\text{m}$ e $20 \mu\text{m}$) e misurarne la quantità per ogni intervallo con una riproducibilità pari al 2%. A causa delle attività di calibrazione, manutenzione, e preventive interruzioni durante condizioni climatiche estreme, ci sono stati alcuni intervalli durante i quali lo strumento non ha raccolto dati. Nel periodo che va dal 1 agosto 2002 al 31 dicembre 2010, le misure dell'OPC sono state raccolte per l'81% dei giorni.

2.3 Metodologia di identificazione

I giorni che presentano eventi di trasporto di aerosol minerale sahariana sono stati individuati utilizzando la metodologia di identificazione descritta nei paragrafi seguenti.

2.3.1 Aumento di particelle grossolane

La proprietà principale che caratterizza in modo univoco tali eventi è un aumento del numero di particelle grossolane ($D_p > 1\mu\text{m}$), considerate un tracciante dell'aerosol minerale presente a Mt. Cimone (Van Dingenen et al., 2001). Sono stati quindi selezionati i giorni in cui il valore medio delle particelle grossolane ha mostrato valori superiori alla media dell'andamento tipico stagionale, con un intervallo di confidenza al 95%. L'andamento tipico stagionale è stato calcolato attraverso l'iterazione di una media mobile a 21 giorni. Viene in tal modo definito, per il residuo delle concentrazioni delle particelle grossolane, un valore di soglia che ha permesso di "marcare" i possibili eventi di trasporto di aerosol minerale.

2.3.2 Analisi delle traiettorie

Per meglio studiare i parametri fisici dell'aerosol, è stato esaminato il trasporto delle masse d'aria in atmosfera, e ne è stata definita la probabile provenienza analizzando le traiettorie delle masse d'aria. Queste traiettorie sono state calcolate con il modello FLEXTRA (Stohl, 1998) e utilizzando i dati meteorologici forniti dall'European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) (figura 2.5.).

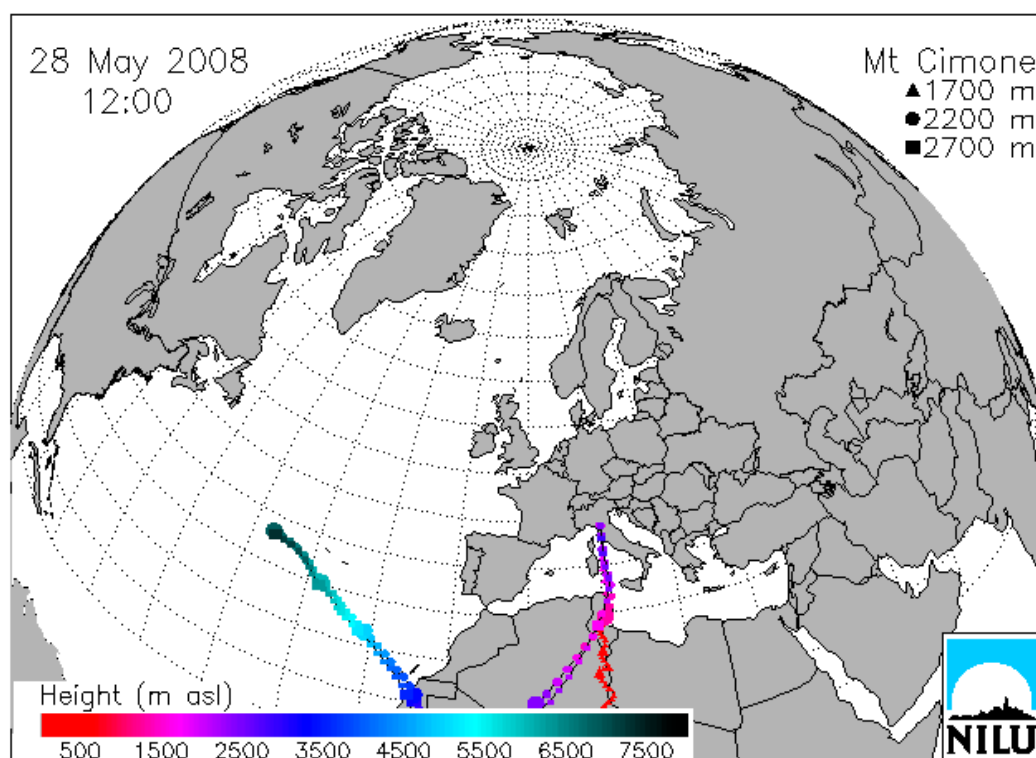


Figura 2.5. Esempio di traiettoria del 28/05/2008, giorno identificato come evento di trasporto di aerosol minerale (www.tarantula.nilu.no/trajectories/)

La valutazione delle traiettorie si basa su analisi effettuate ogni 6 ore. Questo metodo è considerato il più accurato per lo studio di fenomeni di trasporto in troposfera. L'accuratezza delle traiettorie è dell'ordine del 20% della distanza di viaggio, ma in certi casi le incertezze possono essere maggiori a seconda della situazione meteorologica. Altri errori nel tracciare la traiettoria delle masse d'aria possono essere dovuti alla differenza fra la reale topografia e il modello di topografia attorno a Mt Cimone (Bonasoni, 2004). Per evitare la possibilità di errore legata alle turbolenze nello strato limite, di cui è difficile tener conto con una singola traiettoria, sono state calcolate 3 traiettorie che arrivano a diverse altezze. Il riscontro dell'origine della massa d'aria, effettuato attraverso lo studio delle traiettorie, consente di collegare la regione di provenienza ad uno specifico evento di trasporto di aerosol minerale. In particolare, al fine di identificare gli eventi di trasporto di aerosol minerale dal Nord Africa, sono state selezionate le traiettorie provenienti dal rettangolo geografico 10°N-35°N; 15°W-30°E.

2.3.3 Analisi di modelli di trasporto

Per studiare i possibili eventi di trasporto di sabbia è stato utilizzato anche il modello NAAPS (Navy Aerosol Analysis and Prediction System), un modello di trasporto elaborato dall'NRL (Naval Research Laboratory) in grado di stimare le concentrazioni di aerosol minerale sul dominio Europeo, stabilendone altresì l'origine (Figura 2.6.).

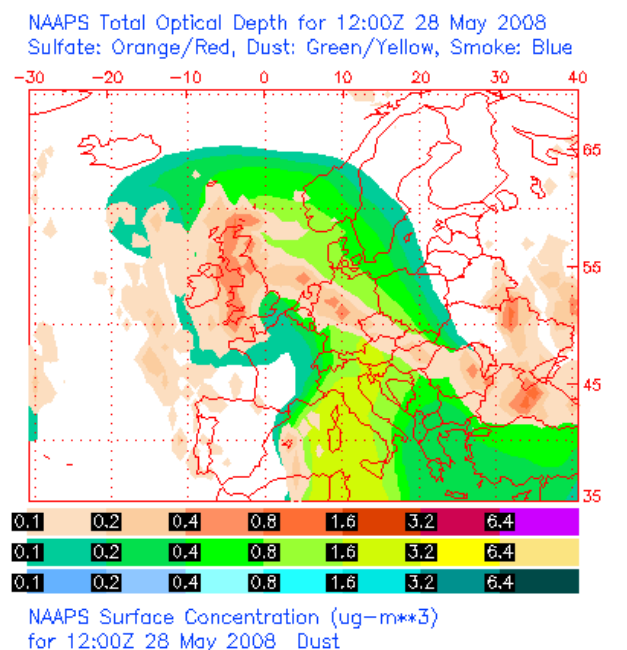


Figura 2.6. Immagine NAAPS per stimare le concentrazioni di aerosol relativa al giorno 28 maggio 2008. Tale giorno è stato identificato come evento di trasporto di aerosol minerale: è infatti ben visibile la “nube” di aerosol minerale (colore giallo-verde) che si estende dal Nord Africa verso l'Europa Meridionale. (http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/global/ops_01/europe/)

Tale modello ha fornito, per ogni giorno analizzato con una risoluzione oraria di 6 ore (alle 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC), l'evoluzione di eventuali "nubi" di aerosol minerale sul dominio dell'Europa meridionale, permettendo quindi di corroborare ulteriormente l'identificazione degli eventi.

2.4 Elaborazione dati

I dati inerenti l'andamento delle concentrazioni dell'aerosol atmosferico sono stati raccolti utilizzando, per ogni anno di misura, l'applicativo Microsoft Excel©. La Tabella 2.1, riportata in appendice per facilità di lettura, rappresenta una cartella di lavoro presa ad esempio: in ogni riga sono riportati i valori medi sui 30 minuti dei dati osservati dal contatore ottico. Nella prima colonna è riportato (i) il codice di identificazione del dato (identificativo temporale), in seguito (ii) data, (iii) anno, (iv) mese, (v) giorno, (vi) ora ed (vii-xx) i 15 canali di misura che individuano appunto la concentrazione di aerosol nei diversi intervalli dimensionali. Le ultime due colonne riportano la somma del numero di particelle fini (somma delle colonne vii-xi) e la somma del numero di particelle grossolane (somma delle colonne xii-xx).

I dati sono stati quindi ulteriormente aggregati facendo uso delle funzioni matriciali di Microsoft Excel©, per ottenere un ulteriore foglio di lavoro contenente i valori medi giornalieri della concentrazione delle particelle in funzione della distribuzione dimensionale. Sono stati quindi isolati in un altro file i dati relativi ai giorni interessati dal fenomeno di trasporto di polvere minerale, per poterne studiare le caratteristiche statistiche: per ogni canale dimensionale e per le frazioni cumulate, fine ($0.3 \mu\text{m} < D_p < 1\text{mm}$) e grossolana ($D_p \geq 1 \mu\text{m}$), sono stati calcolati i valori relativi alla media, alla mediana, ai percentili inferiori e superiori ed alla deviazione standard. Sono stati elaborati i valori in modo da ottenere tali parametri statistici anche per le quattro stagioni separatamente, utili per meglio comprendere la distribuzione e la rilevanza dei fenomeni di trasporto di sabbia durante l'anno. Al fine di questo studio ed in accordo con precedenti ricerche, si è suddiviso l'anno in stagioni: la primavera è formata dai mesi di marzo, aprile e maggio, l'estate da giugno, luglio e agosto, l'autunno da settembre, ottobre e novembre, e l'inverno da gennaio, febbraio e dicembre.

Per l'analisi dimensionale delle particelle (Grafico 1.1. riportato nel Capitolo 1, e Grafico 3.7. riportato nel Capitolo 3) è stata creata la funzione differenziale $dN/d\log(D_p)$ (dove N è la concentrazione di particelle, ossia il numero di particelle per cm^3 e D_p è il diametro aerodinamico delle particelle). Questo è un modo di rappresentare la distribuzione dimensionale che non dipende dall'ampiezza dell'intervallo di misura. I dati così elaborati e normalizzati, possono essere confrontati tra loro indipendentemente dallo strumento usato.

La scelta della scala logaritmica sull'asse delle ascisse permette di rappresentare in modo compatto il campo di variazione del diametro aerodinamico (D_p) considerato. In tale rappresentazione l'area sottesa alla curva $dN/d\log(D_p)$ è proporzionale all'integrale della concentrazione ed è quindi possibile visualizzare graficamente le differenze di concentrazione.

In accordo con le linee guida del WMO, a tutti i grafici ricavati dalla elaborazione dei dati di concentrazione è stato applicato un valore di incertezza con un livello di confidenza del 95%. Poiché il numero di misure n è elevato, la distribuzione dei campioni può essere considerata Gaussiana. L'incertezza è stata quindi calcolata con la seguente formula:

$$c = \pm k \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Con:

$k = 1.960$ (per il livello di confidenza del 95%)

σ = deviazione standard

n = numero di misure

Capitolo 3

Risultati

L'attività di monitoraggio della concentrazione dimensionale dell'aerosol atmosferico è stata avviata a Monte Cimone durante l'agosto 2002: in questo lavoro di tesi sono stati considerati i dati osservati fino a dicembre del 2010. In totale, sono disponibili 2505 giorni di osservazioni, pari all'81% dei giorni totali nel periodo di studio. Di questi, 380 giorni sono stati identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale, pari al 15% dei giorni studiati.

La mancanza di dati in 570 giorni del periodo di studio è dovuta a interruzioni preventive delle misure per salvaguardare l'integrità dello strumento in caso di condizioni meteorologiche particolarmente avverse, o ad interventi di manutenzione o calibrazione che hanno provvisoriamente sospeso la registrazione e la raccolta dei dati.

Come rilevato dalla Tabella 3.1, la percentuale di dati raccolti non è uniformemente distribuita tra le 4 stagioni: ne segue che i risultati delle elaborazioni relativi alla stagione primaverile e alla stagione estiva sono più accurati rispetto ai risultati relativi alla stagione autunnale e invernale. Infatti nella stagione invernale le avverse condizioni meteorologiche che frequentemente interessano il sito di misura hanno reso necessaria, in un numero maggiore di occasioni, l'interruzione preventiva delle misure rispetto alle altre stagioni.

Tabella 3.1. Percentuale dei giorni di effettiva raccolta dati a Mt Cimone dal 1 agosto 2002 al 31 dicembre 2010

	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
Percentuale giorni con dati disponibili	84%	92%	77%	73%

3.1 Andamento pluriennale della concentrazione di particelle grossolane

Il Grafico 3.1. riporta l'andamento delle particelle grossolane nel periodo di osservazione, evidenziando gli eventi di trasporto di aerosol minerale. In particolare il grafico riporta la concentrazione media giornaliera delle particelle grossolane ($D_p > 1 \mu\text{m}$) per ogni giorno di osservazione.

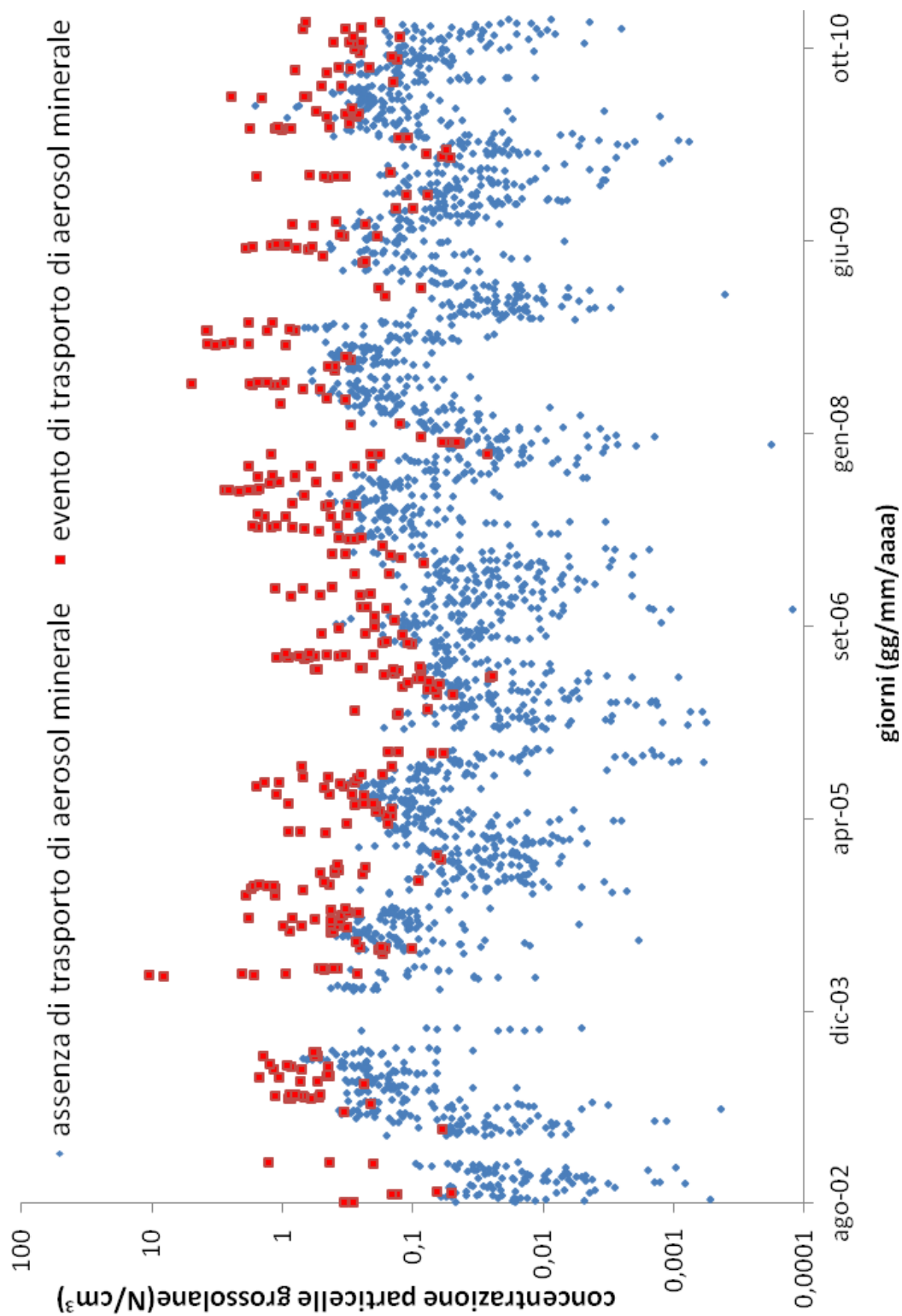


Grafico 3.1. Concentrazione media giornaliera di particelle grossolane a Monte Cimone (espressa in N/cm³) dal 1/08/2002 al 31/12/2010. I quadrati rossi indicano i giorni identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale.

Questa prima elaborazione suggerisce che il trasporto di aerosol minerale modifica in modo significativo il numero di particelle grossolane presenti a Monte Cimone. Infatti durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale dal Nord Africa, la concentrazione di particelle grossolane è 0.67 N/cm^3 , mentre in assenza di tali eventi la concentrazione media di particelle grossolane è pari a 0.10 N/cm^3 . Gli eventi di trasporto di aerosol minerale, provocano quindi un aumento del 671% nella concentrazione di particelle grossolane, mentre il numero di particelle fini aumenta del 143% rispetto alle condizioni di assenza di trasporto. Ne risulta che gli eventi di trasporto di aerosol minerale, oltre ad influenzare la frazione grossolana dell'aerosol atmosferico, come previsto hanno un effetto non trascurabile anche nel modificare la frazione fine. Tuttavia, proprio per le sue caratteristiche di "tracciante" di aerosol minerale in atmosfera, nell'ambito di tale lavoro di tesi l'attenzione sarà concentrata sugli andamenti della frazione grossolana del particolato atmosferico.

Al fine di mettere in evidenza una possibile variabilità inter-annuale, sono state quindi calcolate le concentrazioni medie delle particelle grossolane per i diversi anni di studio.

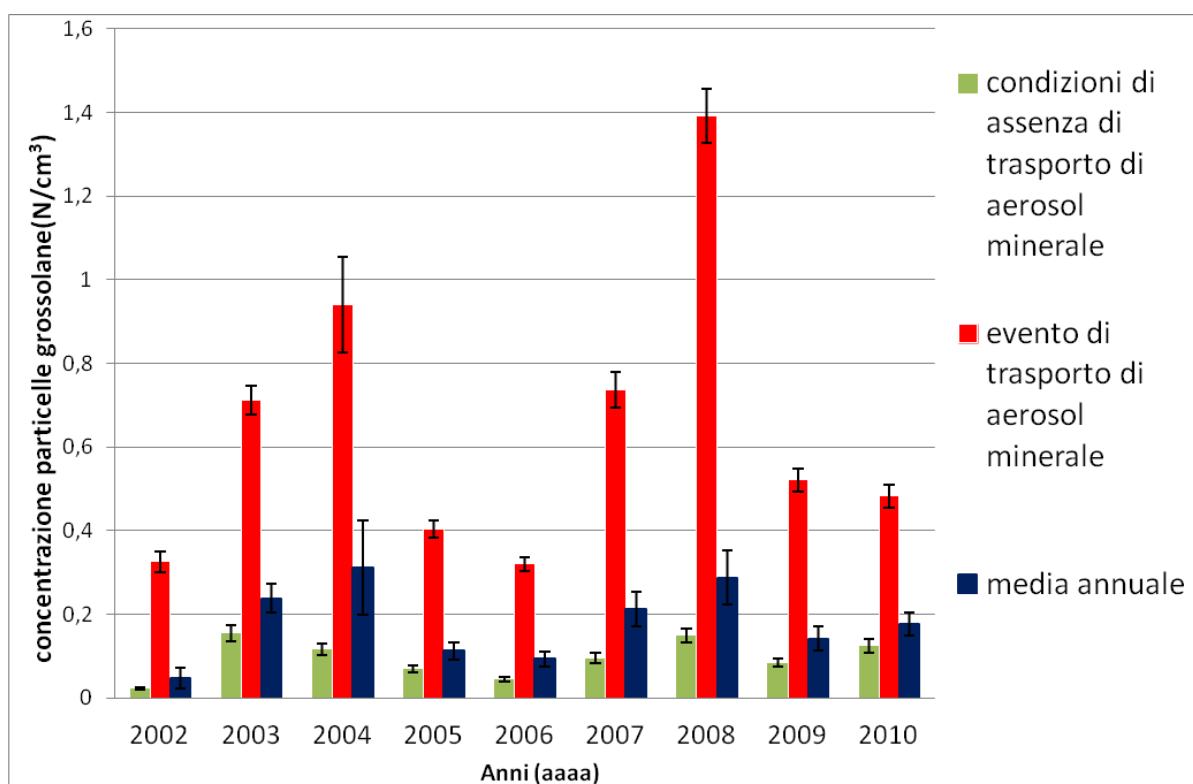


Grafico 3.2. Concentrazione media annuale di particelle grossolane. In ascissa sono rappresentati gli anni di osservazione dal 2002 al 2010. In ordinata la concentrazione media annuale (N/cm^3). Per ogni anno è stata calcolata la concentrazione media considerando solo i giorni identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale (colore rosso), la media dei giorni di assenza di trasporto di aerosol minerale (colore verde) e la media totale di tutti i giorni dell'anno (colore blu).

I risultati di tale analisi, riportati nel Grafico 3.2, hanno permesso di evidenziare come in tutti gli anni oggetto di studio la concentrazione media annuale delle particelle grossolane sia aumentata durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale sia rispetto al valore medio totale, sia rispetto al valore medio osservato durante condizioni non influenzate da tali fenomeni.

Da questa analisi si può notare una notevole variabilità interannuale, in particolare il 2008 è stato l'anno con la concentrazione media di particelle grossolane più elevata durante i 35 giorni che in quell'anno sono stati caratterizzati da trasporto di aerosol minerale. In tali giorni infatti, la concentrazione media di particelle grossolane (1.39 N/cm^3) è aumentata del 932% rispetto alle condizioni in assenza di trasporto dello stesso anno (0.15 N/cm^3). L'anno in cui gli eventi di trasporto di aerosol sono risultati meno intensi è stato il 2006, anno in cui il trasporto di aerosol minerale ha interessato 65 giorni, ma con una concentrazione media di 0.32 N/cm^3 . Il 2004 è stato l'anno con la concentrazione media annuale di particelle grossolane più elevata (0.31 N/cm^3), mentre il 2006 è stato l'anno con la concentrazione media annuale più bassa (0.09 N/cm^3). Per quanto riguarda le condizioni di assenza di trasporto di aerosol minerale, l'anno con la concentrazione più elevata è stato il 2003 (0.15 N/cm^3), nonostante gli eventi di tale anno non si siano stati particolarmente intensi, né frequenti. L'elevata concentrazione di particelle grossolane può essere correlata ad un aumento complessivo di concentrazione di aerosol nell'Europa centrale per l'anno 2003, molto probabilmente dovuto a incendi boschivi particolarmente sviluppati in Siberia (Mattis, 2003) oppure a fenomeni a scala locale/regionale di risollevarimento dovuti all'elevata aridità che ha caratterizzato l'estate 2003. L'anno con la concentrazione media più bassa è stato invece il 2006 (0.04 N/cm^3).

Le incertezze riportate nel Grafico 3.2. evidenziano una maggiore variabilità di concentrazione per gli anni 2004 e 2008, dovuta alla elevata intensità degli eventi di trasporto di aerosol minerale ed alla maggiore variabilità della concentrazione media per i diversi eventi.

In queste analisi non sono state prese in considerazione le medie annuali relative all'anno 2002, poiché le misure relative a questo anno sono disponibili solo a partire dal mese di agosto e quindi i dati a disposizione per l'anno 2002 sono quindi poco rappresentativi dell'andamento annuale, dato il forte carattere stagionale della concentrazione di particelle grossolane e del trasporto di aerosol minerale. Per fornire ulteriori dettagli circa la variabilità interannuale della concentrazione delle particelle grossolane a Monte Cimone, nella Tabella 3.2. sono riportati i valori medi giornalieri, il 25° ed il 75° percentile di concentrazione di particelle grossolane per ogni anno di analisi.

Tabella 3.2. Variabilità annuale della concentrazione di particelle grossolane. Sono riportate in (N/cm^3) la concentrazione annuale media giornaliera, la concentrazione media durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale, il valore mediano e il valore del 25° e del 75° percentile per ogni anno. Nell'ultima riga sono riportati i dati per l'intero periodo di osservazione.

Anno	Media (N/cm^3)	Media durante eventi di trasporto (N/cm^3)	Mediana (N/cm^3)	25° percentile (N/cm^3)	75° percentile (N/cm^3)
2002	0.048	0.326	0.021	0.008	0.038
2003	0.238	0.711	0.153	0.049	0.293
2004	0.311	0.941	0.134	0.046	0.272
2005	0.112	0.404	0.067	0.024	0.134
2006	0.094	0.320	0.043	0.018	0.084
2007	0.212	0.737	0.082	0.026	0.202
2008	0.288	1.391	0.134	0.043	0.277
2009	0.143	0.522	0.067	0.031	0.141
2010	0.178	0.483	0.114	0.043	0.225
totale	0.185	0.648	0.079	0.028	0.194

I dati della Tabella 3.2. evidenziano come per tutti gli anni di osservazione il valore medio giornaliero di concentrazione di particelle grossolane è pari al doppio del valore mediano. Per gli anni 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, il valore medio superiore al valore del 75° percentile conferma il peso sul valore medio di alcuni eventi nei quali il numero di particelle grossolane è stato particolarmente elevato. Il 2008 è l'anno caratterizzato dalla concentrazione media di particelle grossolane durante gli eventi di trasporto più elevata ($1.39 N/cm^3$), oltre il doppio della media totale.

Ulteriori analisi saranno si rendono necessarie in futuro al fine di meglio comprendere i processi che governano tale variabilità interannuale, ma non sono affrontate nell'ambito di questa tesi, anche perché il numero di osservazioni analizzato non è sufficiente alla definizione di un trend statistico.

3.2 Analisi degli eventi di trasporto di aerosol minerale

Dei 380 giorni identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale, alcuni sono giorni consecutivi che rappresentano un unico evento di durata superiore alle 24 ore. Al fine di meglio caratterizzare gli eventi di trasporto di aerosol minerale identificati a Monte Cimone nel periodo di analisi è stata quindi analizzata la concentrazione media oraria di particelle grossolane ed è stata identificata con più precisione la data di inizio e la durata dei fenomeni di trasporto. Unendo i giorni consecutivi con trasporto di aerosol minerale in singoli eventi, è stato possibile definire 200 eventi di trasporto di aerosol minerale: per ognuno di essi sono stati calcolati: (i) il numero progressivo dell'evento, (ii) la data di inizio dell'evento, (iii) la

durata, (iv) la concentrazione media e (v) massima di particelle grossolane, (vi) il numero delle traiettorie, (vii) il tempo di volo medio e (viii) massimo e (ix) il tempo di residenza medio sopra il box del Nord Africa (10°N-35°N; 15°W-30°E). Tutti i dati temporali sono espressi in ore. I dati della Tabella 3.3. (riportata in appendice per facilità di lettura) evidenziano una durata media per evento di 35 ore. L'evento n° 8 (iniziato il 30/04/2003) è stato il più lungo, con una durata di 315 ore. Il 25% degli eventi di intensità maggiore ha una durata media di 50 ore, mostrando come gli eventi più intensi siano associati a una durata maggiore. L'evento più intenso (n° 20) ha avuto luogo il 14/03/2004, con concentrazione media di particelle grossolane pari a 9.3 N/cm^3 e concentrazione massima pari a 23.6 N/cm^3 . Tale evento è durato 52 ore. Il tempo di volo permette di analizzare la velocità di spostamento delle masse d'aria provenienti dal Nord Africa. Per il 25% degli eventi più intensi (con concentrazione media maggiore) il tempo di volo è inferiore rispetto alla media totale (-16% il tempo di volo medio e -26% il tempo di volo massimo). I dati delle colonne (vi) e (vii) evidenziano quindi che gli eventi più intensi sono associati a tempi di volo più brevi, quindi ad un trasporto più veloce. Si noti che i tempi di volo sono dati con segno negativo perché il tempo zero è fissato all'istante in cui la massa d'aria incontra Monte Cimone. Il tempo di residenza nel box del Nord Africa è maggiore del 22% per gli eventi più intensi, evidenziando un certo "stazionamento" di tali masse d'aria sopra le aree desertiche, che ha permesso un maggior arricchimento in aerosol minerale.

3.2.1 Analisi della frequenza annuale

Il Grafico 3.3. mostra le frequenze annuali con cui sono stati osservati gli eventi di trasporto di aerosol minerale durante il periodo di studio.

Il range di variabilità della frequenza annuale fra i diversi anni è pari al 15% (minimo nel 2002: 8%; massimo nel 2004: 23%), con una media di 42 eventi per anno: la frequenza degli eventi di trasporto di aerosol minerale risulta quindi un indice molto variabile durante gli anni di osservazione, anche considerando la diversa copertura temporale dei dati raccolti. In particolare, la frequenza degli eventi calcolata per l'anno 2002 potrebbe essere sottostimata, poiché il periodo di osservazione da agosto (mese di inizio della raccolta dati) a dicembre considera solamente la tarda estate e l'autunno, mentre il 65% degli eventi di trasporto di aerosol minerale (Grafico 3.4.) è distribuito in primavera ed estate.

Senza considerare i dati relativi al 2002 si ottiene un valore medio di frequenza di 46 eventi/anno, ed un range di variabilità di 28 eventi/anno (dimezzato rispetto al range di variabilità calcolato comprendendo l'anno 2002).

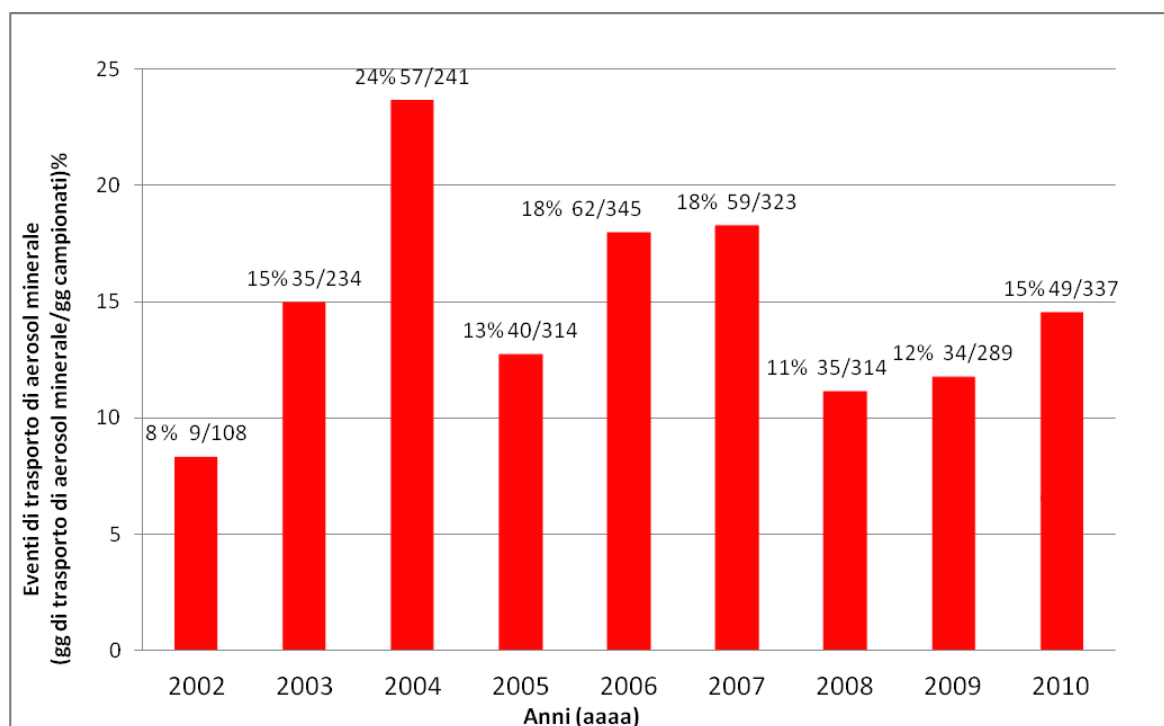


Grafico 3.3. Frequenza degli eventi di trasporto di aerosol minerale durante il periodo di osservazione. Per ogni anno i numeri sulle colonne rappresentano la frequenza di giorni identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale rispetto ai giorni con dati disponibili. Si è ritenuto opportuno separare l'anno 2002 poiché non uniforme con il periodo di osservazione continuo a causa della presenza parziale dei dati. Il dato è visualizzato in percentuale ed in frazione.

Confrontando la frequenza degli eventi con la loro intensità media (Grafico 3.2.), si nota che gli eventi di trasporto di aerosol minerale sono caratterizzati da una grande variabilità. Per esempio il 2004 è stato l'anno con la maggior frequenza di eventi di trasporto (23% dei giorni campionati), tuttavia la concentrazione di particelle grossolane media di tali eventi è inferiore a 1 N/cm^3 . Al contrario il 2008 è stato caratterizzato da eventi di trasporto meno frequenti (11%), ma molto intensi ($1,39 \text{ N/cm}^3$).

3.2.2 Analisi della frequenza stagionale

Al fine di studiare la variabilità della frequenza degli eventi di trasporto di aerosol minerale in funzione delle diverse stagioni, sono stati suddivisi i giorni identificati come eventi di trasporto di aerosol minerale per le quattro stagioni dal 2002 al 2010. Dai dati raccolti nel Grafico 3.4. si nota come gli eventi di trasporto di aerosol minerale non siano uniformemente distribuiti durante l'anno.

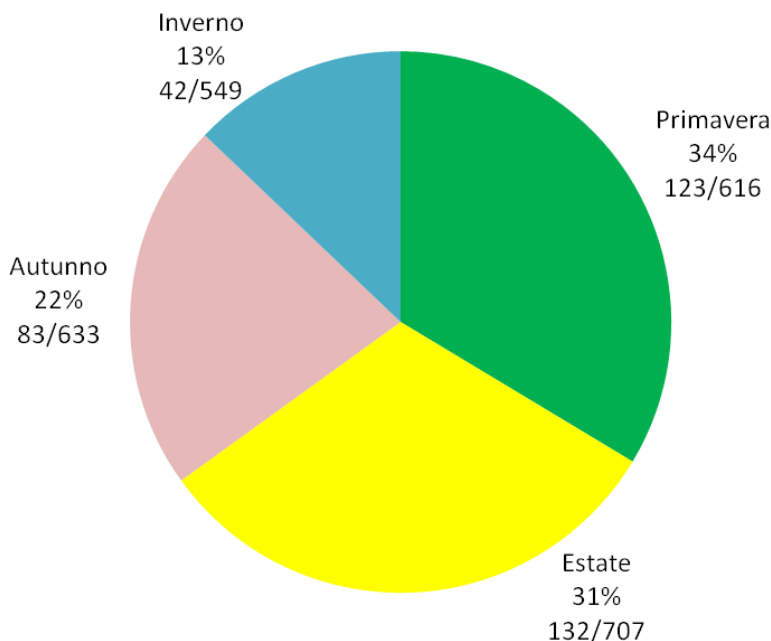


Grafico 3.4. *Frequenza stagionale degli eventi di trasporto di aerosol minerale osservati a Monte Cimone da agosto 2002 a dicembre 2010. La frequenza è espressa sia come percentuale sugli eventi totali, sia attraverso il rapporto fra giorni identificati come eventi di trasporto e giorni di osservazione.*

Le stagioni con la maggior frequenza di eventi di trasporto di aerosol minerale sono la primavera e l'estate (65%). Ciò suggerisce che i processi legati alla mobilitazione di aerosol minerale sui grandi deserti del Nord Africa, al trasporto in atmosfera ed alla ridotta influenza di precipitazioni, favoriscano durante le stagioni "calde" l'arrivo a Monte Cimone di masse d'aria ricche di aerosol minerale.

3.3 Andamento stagionale della concentrazione di particelle grossolane

Al fine di studiare l'influenza della frequenza degli eventi di trasporto di aerosol minerale sulla concentrazione di particelle grossolane è stata calcolata la concentrazione media per le 4 stagioni (Grafico 3.5.).

Dal Grafico 3.5. si nota una concentrazione media di particelle grossolane maggiore in estate ed in primavera (0.25 N/cm^3), proprio le stagioni con una frequenza maggiore di eventi di trasporto (il 65% degli eventi di trasporto di aerosol minerale si collocano in queste stagioni). Durante l'inverno la concentrazione media di particelle grossolane è decisamente inferiore a quella delle altre stagioni (31% rispetto alla media annuale).

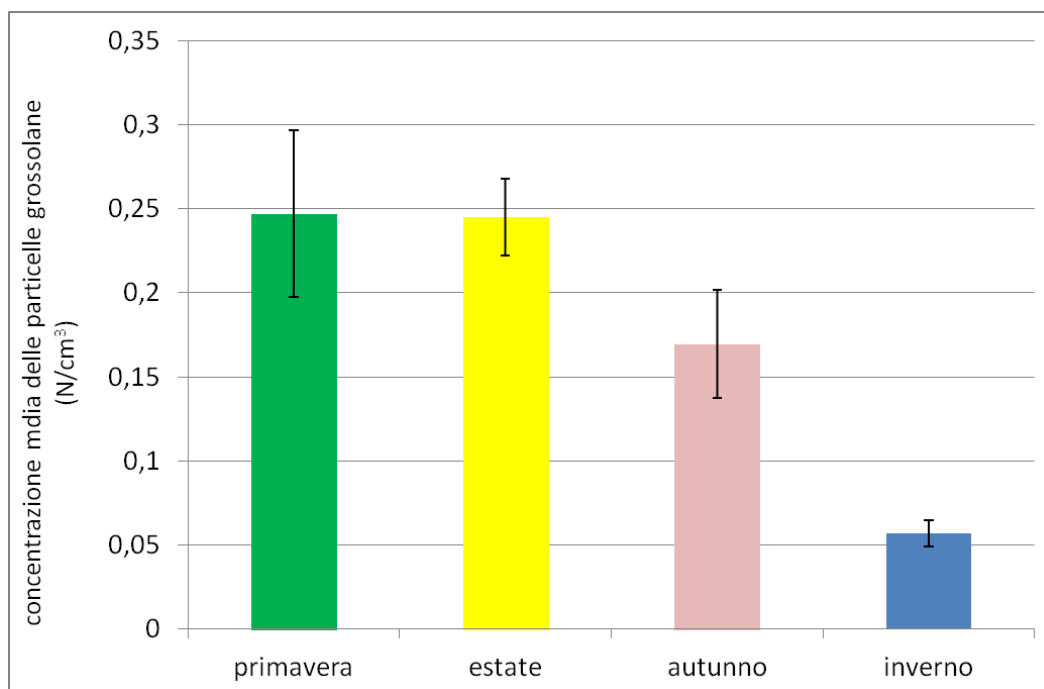


Grafico 3.5. Concentrazione media delle particelle grossolane durante le quattro stagioni (N/cm³)

È stata quindi calcolata la concentrazione media stagionale durante gli eventi di trasporto di sabbia e la concentrazione media in assenza di tali eventi (Grafico 3.6.).

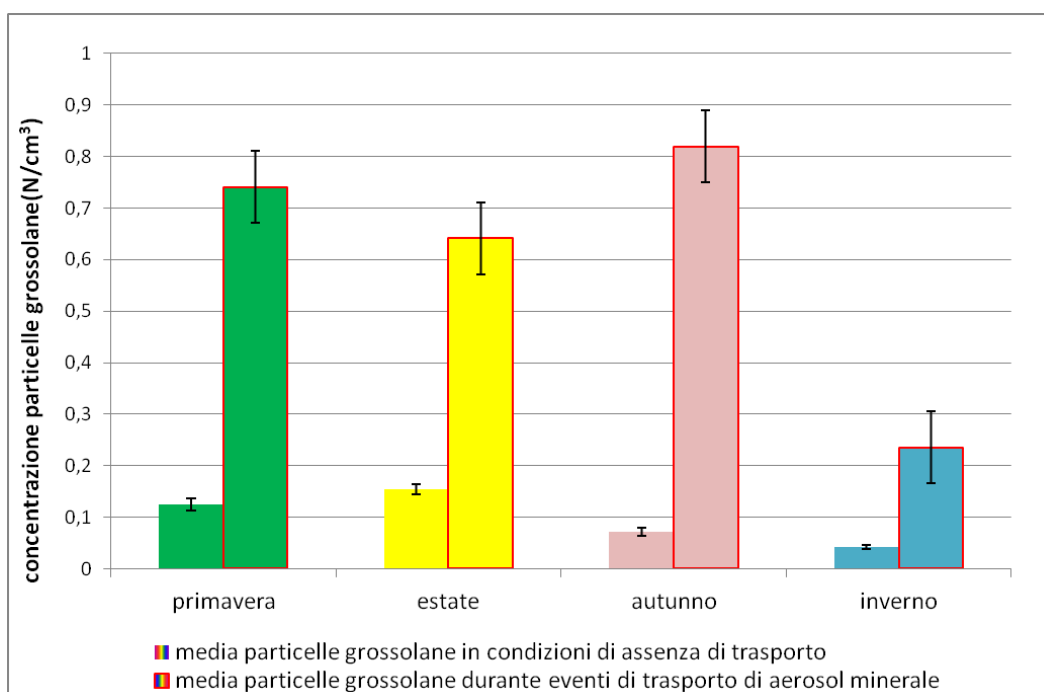


Grafico 3.6. Confronto tra la concentrazione media stagionale in assenza di trasporto di aerosol minerale e durante gli eventi di trasporto (contorno rosso). Le concentrazioni sono espresse in N/cm³.

I valori di incertezza del Grafico 3.6, come per il grafico 3.5, sono molto maggiori per la stagione primaverile, estiva ed autunnale rispetto alla stagione invernale, indicando una maggiore variabilità nell'intensità del trasporto in tali stagioni. Si nota che concentrazione di particelle grossolane durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale subisce un aumento maggiore nella stagione autunnale (1144%).

Gli eventi autunnali quindi, sebbene meno frequenti, sono più intensi (concentrazione media: 0.82 N/cm^3) rispetto a quelli delle altre stagioni e alterano maggiormente le condizioni di assenza di trasporto di aerosol minerale. La concentrazione media di particelle grossolane in assenza di trasporto durante la stagione autunnale è infatti pari al 72% della media annuale. La Tabella 3.3 riportata in appendice, mostra come la velocità di trasporto in questa stagione è paragonabile alla velocità media annuale, tuttavia per gli eventi di trasporto della stagione autunnale il tempo di residenza medio sopra il box del Nord Africa aumenta del 14%, causando un maggiore arricchimento in aerosol da parte delle masse d'aria, in accordo con i risultati riportati nel Grafico 3.6.

La forte intensità degli eventi di trasporto durante le stagioni autunnali è in accordo anche con l'elevata concentrazione di particelle grossolane durante l'anno 2008. Quest'anno vi sono stati solamente 35 giorni evento di trasporto, pari all'11% dei giorni campionati (Grafico 3.3.). Tuttavia 13 di tali giorni hanno avuto luogo nella stagione autunnale. Data l'elevata intensità degli eventi di trasporto della stagione autunnale, la percentuale maggiore di eventi collocati in questa stagione per l'anno 2008 (37%) rispetto alla media pluriennale (22%, Grafico 3.4.), rende la concentrazione media annuale per l'anno 2008 (0.29 N/cm^3) pari al 160% della media pluriennale (0.19 N/cm^3), nonostante la bassa frequenza di eventi di trasporto dell'anno in esame.

Per studiare la variabilità della distribuzione dimensionale durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale nelle quattro stagioni, sono state calcolate le distribuzioni dimensionali medie (Grafico 3.7.).

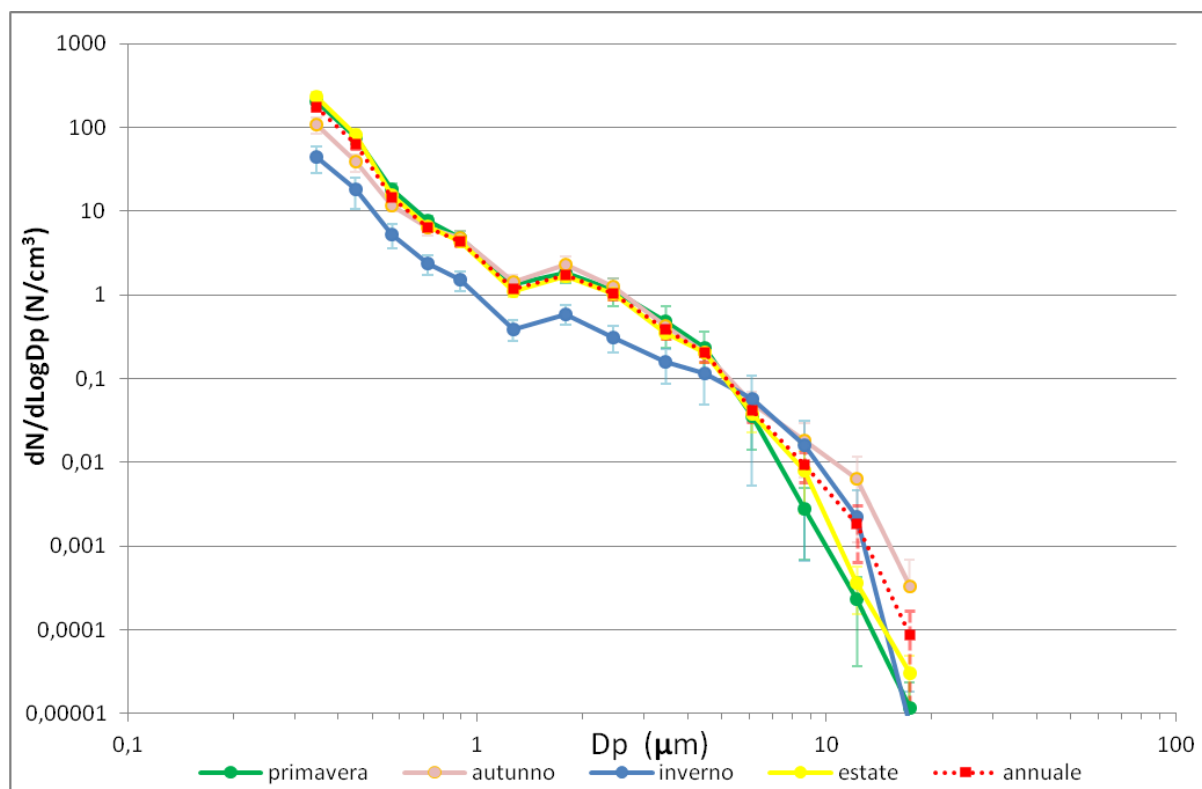


Grafico 3.7. Distribuzione dimensionale per le quattro stagioni durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale (N/cm^3). In rosso tratteggiato è segnata la distribuzione media annuale (Grafico 1.1.)

La frazione fine ($D_p < 1 \mu m$) dell'aerosol minerale mostra valori più elevati durante l'estate, mentre la frazione grossolana ($D_p > 1 \mu m$) mostra valori più elevati in autunno, in accordo con l'analisi riportata nel Grafico 3.6. Il numero di particelle medio durante l'inverno risulta sensibilmente inferiore rispetto alle altre stagioni ad eccezione che nella frazione grossolana, indicando come nonostante gli apporti di masse d'aria inquinate siano molto più rari a causa del netto disaccoppiamento tra boundary layer e libera troposfera, eventi di trasporto di aerosol minerale possano significativamente influenzare la distribuzione dimensionale dell'aerosol anche in questa stagione. I valori di incertezza del Grafico 3.7. evidenziano una variabilità maggiore per la frazione grossolana, rispetto alla frazione fine, confermando il maggiore peso degli eventi di trasporto di aerosol atmosferico sulla frazione grossolana.

Conclusioni

Con questo lavoro sono stati elaborati i dati di concentrazione e distribuzione dimensionale di aerosol raccolti in continuo presso la Stazione di ricerca "O. Vittori" di Monte Cimone (44.12N, 10.42E; 2165 m s.l.m.). Sono stati considerati 101 mesi, dall'agosto 2002, data di inizio delle osservazioni, fino a dicembre 2010. Utilizzando il programma applicativo Microsoft Excel© è stato creato un data-base che ha raccolto tali dati su base annuale e stagionale. Questo ha permesso di ottenere l'andamento pluriennale e stagionale della concentrazione di particelle grossolane e della distribuzione dimensionale dell'aerosol su un intervallo compreso da 0.3 μm a 20 μm di diametro (D_p). L'elaborazione dei dati stagionali ha permesso di rilevare una grande variabilità della concentrazione media delle particelle grossolane, più elevata in primavera ed estate (0.25 N/cm^3 , pari al 133% della concentrazione media annuale). Al contrario la concentrazione media delle particelle grossolane durante la stagione invernale risulta molto più bassa (0.06 N/cm^3), pari al 31% della concentrazione media annuale. L'identificazione degli eventi di trasporto di aerosol atmosferico ha permesso di studiare e valutare il ruolo di tali eventi nel modificare le caratteristiche dell'aerosol atmosferico. Il numero di particelle grossolane ($D_p > 1 \mu\text{m}$) durante gli eventi di trasporto di aerosol minerale infatti aumentano del 671% rispetto alle condizioni di assenza di trasporto. L'analisi stagionale della concentrazione media di particelle grossolane ha permesso di individuare gli eventi di trasporto più intensi nella stagione autunnale (1144% rispetto alle condizioni di assenza di trasporto). Questo studio ha mostrato che la frequenza di eventi di trasporto di aerosol atmosferico non è uniformemente distribuita durante le quattro stagioni; tali eventi sono infatti presenti per il 65% nella stagione primaverile ed estiva. Questo ha permesso di correlare l'aumento stagionale di concentrazione delle particelle grossolane durante queste stagioni agli eventi di trasporto di aerosol minerale. Studiare le caratteristiche fisiche dell'aerosol atmosferico gioca un ruolo chiave per il monitoraggio della qualità dell'aria e per la comprensione dei cambiamenti climatici. Ulteriori analisi saranno quindi eseguite in futuro al fine di meglio comprendere i processi che determinano la variabilità interannuale e stagionale dell'aerosol.

Appendice

CODE	DATA	ANNO	M	G	O	300	400	500	650	800	1000	1600	2000	3000	4000	5000	7500	10000	#####	fine	coars	
20070101	01/01/2007 0:15	2007	1	1	0,2	0,15	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,0042
20070101	01/01/2007 0:45	2007	1	1	0,5	0,10	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1305	0,0029
20070101	01/01/2007 1:15	2007	1	1	1,2	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1193	0,0042
20070101	01/01/2007 1:45	2007	1	1	1,5	0,14	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1865	0,0012
20070101	01/01/2007 2:15	2007	1	1	2,2	0,18	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2267	0,0024
20070101	01/01/2007 2:45	2007	1	1	2,5	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0897	0,0012
20070101	01/01/2007 3:15	2007	1	1	3,2	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0785	0,0029
20070101	01/01/2007 3:45	2007	1	1	3,5	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1455	0,0017
20070101	01/01/2007 4:15	2007	1	1	4,2	0,44	0,09	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5714	0,0071
20070101	01/01/2007 4:45	2007	1	1	4,5	0,70	0,15	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,902	0,009
20070101	01/01/2007 5:15	2007	1	1	5,2	0,87	0,19	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1205	0,012
20070101	01/01/2007 5:45	2007	1	1	5,5	0,80	0,16	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0202	0,0078
20070101	01/01/2007 6:15	2007	1	1	6,2	0,39	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,4832	0,0066
20070101	01/01/2007 6:45	2007	1	1	6,5	0,15	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1865	0,0037
20070101	01/01/2007 7:15	2007	1	1	7,2	0,21	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2808	0,0042
20070101	01/01/2007 7:45	2007	1	1	7,5	0,30	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3913	0,0029
20070101	01/01/2007 8:15	2007	1	1	8,2	0,28	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3678	0,0029
20070101	01/01/2007 8:45	2007	1	1	8,5	0,12	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1478	0,0029
20070101	01/01/2007 9:15	2007	1	1	9,2	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0615	0,0017
20070101	01/01/2007 9:45	2007	1	1	9,5	0,10	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,134	0,0088
20070101	01/01/2007 10:15	2007	1	1	10	0,09	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1288	0,0058
20070101	01/01/2007 10:45	2007	1	1	10	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,153	0,0108
20070101	01/01/2007 11:15	2007	1	1	11	0,13	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1887	0,0137
20070101	01/01/2007 11:45	2007	1	1	11	0,09	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1283	0,0066
20070101	01/01/2007 12:15	2007	1	1	12	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1584	0,0078
20070101	01/01/2007 12:45	2007	1	1	12	0,14	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,196	0,0071
20070101	01/01/2007 13:15	2007	1	1	13	0,11	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1513	0,0066
20070101	01/01/2007 13:45	2007	1	1	13	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1152	0,0029
20070101	01/01/2007 14:15	2007	1	1	14	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1077	0,0017
20070101	01/01/2007 14:45	2007	1	1	14	0,13	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1762	0,0054
20070101	01/01/2007 15:15	2007	1	1	15	0,14	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1958	0,0054
20070101	01/01/2007 15:45	2007	1	1	15	0,31	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,4149	0,0083
20070101	01/01/2007 16:15	2007	1	1	16	0,18	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2512	0,01
20070101	01/01/2007 16:45	2007	1	1	16	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1432	0,0066
20070101	01/01/2007 17:15	2007	1	1	17	0,12	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,225	0,0071
20070101	01/01/2007 17:45	2007	1	1	17	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1078	0,0037
20070101	01/01/2007 18:15	2007	1	1	18	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0797	0,0046
20070101	01/01/2007 18:45	2007	1	1	18	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0818	0,0034
20070101	01/01/2007 19:15	2007	1	1	19	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0533	0,0029

Tabella 2.1.: esempio di cartella di lavoro Excel ©

Tabella 3.3.: *Analisi degli eventi di trasporto di aerosol minerale dal Nord Africa a Monte Cimone da agosto 2002 a dicembre 2010. Nelle colonne sono riportati (i) il numero progressivo dell'evento, (ii) la data di inizio dell'evento, (iii) la durata, (iv) la concentrazione media e (v) massima di particelle grossolane (N/cm^3), (vi) il numero di traiettorie che raggiungono Monte Cimone dopo essere passate per il box del Nord Africa ($10^\circ N-35^\circ N$; $15^\circ W-30^\circ E$), (vii) il tempo di volo medio, e (viii) massimo, dal box del Nord Africa a Monte Cimone, (ix) e il tempo di residenza medio della massa d'aria nel box del Nord Africa. I tempi sono espressi in ore e le concentrazioni in N/cm^3 .*

N° evento	Inizio evento	Durata evento (ore)	concentrazione media massima di particelle grossolane (N/cm^3)		numero di traiettorie	Tempo di volo medio massimo (ore)		Tempo di residenza medio (ore)
1	03/08/2002	50	0,302	1,459	2	-51	-51	63
2	25/08/2002	47	0,142	0,411	4	-72	-63	73
3	30/08/2002	45	0,076	0,191	1	-96	-96	72
4	14/11/2002	57	0,815	6,284	10	-32	-24	51
5	11/02/2003	25	0,059	0,124	4	-144	-144	38
6	28/03/2003	19	0,460	0,618	2	-168	-168	5
7	16/04/2003	25	0,235	0,444	1	-132	-132	12
8	30/04/2003	315	0,766	3,091	40	-78	-42	73
9	06/06/2003	19	0,304	0,722	1	-156	-156	12
10	15/06/2003	43	0,715	1,344	1	-165	-165	6
11	25/06/2003	91	0,887	3,406	9	-117	-87	40
12	30/06/2003	19	0,482	0,632	3	-135	-135	41
13	15/07/2003	41	1,082	3,437	4	-39	-33	60
14	21/07/2003	16	0,569	1,011	1	-132	-132	30
15	23/07/2003	49	0,875	2,144	7	-125	-96	31
16	27/07/2003	16	1,674	2,995	1	-90	-90	81
17	18/08/2003	59	0,801	1,929	9	-63	-33	74
18	28/08/2003	23	0,594	0,866	2	-117	-117	53
19	29/08/2003	12	0,862	2,094	3	-36	-36	120
20	14/03/2004	52	9,306	23,590	9	-58	-39	62
21	19/03/2004	51	1,439	4,412	4	-144	-144	46
22	21/03/2004	7	0,682	1,570	0	N/D	N/D	N/D
23	01/04/2004	49	0,522	1,452	11	-105	-66	32
24	04/04/2004	16	0,510	0,756	3	-147	-147	25
25	11/05/2004	23	0,182	0,284	0	N/D	N/D	N/D
26	20/05/2004	81	0,179	0,336	2	-110	-99	45
27	25/05/2004	62	0,222	0,364	0	N/D	N/D	N/D
28	12/06/2004	22	0,310	0,484	0	N/D	N/D	N/D
29	05/07/2004	88	0,526	1,344	6	-83	-69	67
30	18/07/2004	33	0,311	0,561	2	-63	-63	9
31	21/07/2004	84	0,713	1,834	12	-125	-90	55
32	04/08/2004	21	0,425	0,837	0	N/D	N/D	N/D
33	09/08/2004	32	1,900	3,107	7	-107	-75	49
34	19/08/2004	27	0,498	1,279	5	-77	-72	29
35	24/08/2004	22	0,371	0,709	2	-78	-78	62
36	25/08/2004	10	0,365	0,747	1	-144	-144	24

N° evento	Inizio evento	Durata evento (ore)	concentrazione media massima di particelle grossolane (N/cm ³)		numero di traiettorie	Tempo di volo medio massimo (ore)		Tempo di residenza medio (ore)
37	03/09/2004	38	0,432	0,896	0	N/D	N/D	N/D
38	08/10/2004	35	1,463	3,200	7	-65	-63	96
39	24/10/2004	52	1,579	3,171	8	-65	-42	87
40	02/11/2004	99	1,313	2,161	18	-121	-48	61
41	14/11/2004	25	0,477	1,224	0	N/D	N/D	N/D
42	04/12/2004	6	0,876	1,295	4	-54	-54	62
43	07/12/2004	29	0,743	1,255	8	-66	-54	95
44	13/12/2004	19	0,608	0,780	8	-96	-93	62
45	20/12/2004	10	0,362	0,599	1	-129	-129	39
46	25/12/2004	7	1,438	2,546	4	-30	-30	83
47	08/01/2005	27	0,086	0,137	3	-138	-138	45
48	21/01/2005	15	0,087	0,163	0	N/D	N/D	N/D
49	22/03/2005	64	0,772	2,425	8	-109	-66	43
50	13/04/2005	7	0,251	0,488	4	-57	-57	16
51	14/04/2005	11	0,526	0,986	4	-132	-132	22
52	03/05/2005	23	0,215	0,529	2	-56	-42	62
53	13/05/2005	36	0,237	0,501	4	-84	-84	53
54	23/05/2005	7	0,298	0,486	1	-39	-39	36
55	30/05/2005	41	0,245	0,384	0	N/D	N/D	N/D
56	03/06/2005	38	0,673	1,993	1	-81	-81	57
57	24/06/2005	50	0,234	0,394	2	-98	-72	65
58	28/06/2005	60	0,691	2,412	9	-121	-93	42
59	16/07/2005	61	0,928	2,849	5	-87	-45	61
60	26/07/2005	31	0,378	0,574	0	N/D	N/D	N/D
61	28/07/2005	57	1,096	3,055	0	N/D	N/D	N/D
62	10/08/2005	54	0,592	3,101	0	N/D	N/D	N/D
63	19/08/2005	6	0,288	0,486	0	N/D	N/D	N/D
64	19/08/2005	9	0,355	0,526	0	N/D	N/D	N/D
65	08/09/2005	16	1,016	2,933	2	-48	-48	30
66	09/09/2005	9	0,277	0,879	3	-36	-36	84
67	12/10/2005	33	0,092	0,163	4	-138	-132	28
68	16/10/2005	18	0,272	0,386	5	-135	-111	34
69	23/01/2006	11	0,251	0,545	0	N/D	N/D	N/D
70	24/01/2006	16	0,196	0,316	0	N/D	N/D	N/D
71	31/01/2006	10	0,558	1,045	0	N/D	N/D	N/D
72	02/02/2006	19	0,091	0,146	0	N/D	N/D	N/D
73	12/03/2006	42	0,060	0,173	0	N/D	N/D	N/D
74	27/03/2006	7	0,112	0,304	0	N/D	N/D	N/D
75	27/03/2006	15	0,108	0,228	3	-42	-42	91
76	05/04/2006	11	0,222	0,423	2	-75	-75	92
77	10/04/2006	9	0,153	0,420	2	-51	-51	35
78	15/04/2006	25	0,137	0,403	1	-36	-36	63
79	16/04/2006	10	0,084	0,134	3	-144	-144	23
80	25/04/2006	7	0,140	0,167	0	N/D	N/D	N/D
81	25/04/2006	18	0,134	0,214	0	N/D	N/D	N/D
82	27/04/2006	6	0,070	0,096	0	N/D	N/D	N/D
83	01/05/2006	17	0,039	0,106	1	-147	-147	3

N° evento	Inizio evento	Durata evento (ore)	concentrazione media massima di particelle grossolane (N/cm ³)		numero di traiettorie	Tempo di volo medio massimo (ore)		Tempo di residenza medio (ore)
84	05/05/2006	52	0,163	0,280	0	N/D	0	N/D
85	16/05/2006	37	0,134	0,301	3	-114	-96	38
86	18/05/2006	23	1,016	2,165	1	-33	-33	111
87	20/05/2006	10	0,213	0,304	0	N/D	N/D	N/D
88	22/05/2006	22	0,368	0,584	1	-30	-30	126
89	23/05/2006	20	0,110	0,254	7	-44	-39	25
90	16/06/2006	258	0,656	2,177	34	-60	-42	91
91	27/06/2006	41	0,925	1,646	8	-57	-39	102
92	23/07/2006	32	0,104	0,136	2	-117	-105	15
93	28/07/2006	31	0,218	0,330	4	-89	-81	49
94	16/08/2006	9	0,231	0,336	2	-138	-138	81
95	19/08/2006	30	0,545	1,200	7	-30	-24	54
96	03/09/2006	19	0,434	0,741	1	-168	-168	3
97	06/09/2006	10	0,297	0,598	0	N/D	N/D	N/D
98	22/09/2006	14	0,157	0,198	0	N/D	N/D	N/D
99	27/09/2006	36	0,298	0,530	0	N/D	N/D	N/D
100	04/10/2006	10	0,284	0,438	0	N/D	N/D	N/D
101	26/10/2006	64	0,241	0,384	12	-58	-42	79
102	25/11/2006	19	1,144	2,417	4	-60	-60	41
103	28/11/2006	12	0,397	0,672	3	-96	-96	37
104	29/11/2006	8	1,229	1,919	4	-126	-126	56
105	30/11/2006	16	0,311	0,431	3	-87	-87	60
106	14/12/2006	19	0,860	3,446	3	-36	-36	139
107	15/12/2006	16	1,669	3,392	8	-38	-33	86
108	20/01/2007	42	0,279	0,515	2	-51	-42	36
109	20/02/2007	25	0,119	0,362	2	-30	-30	113
110	05/03/2007	21	0,153	0,328	1	-51	-51	33
111	11/03/2007	22	0,156	0,453	1	-117	-117	33
112	14/03/2007	68	0,355	0,729	0	N/D	N/D	N/D
113	03/04/2007	12	0,231	0,440	0	N/D	N/D	N/D
114	22/04/2007	73	0,333	0,579	0	N/D	N/D	N/D
115	14/05/2007	15	0,557	0,723	3	-63	-63	21
116	21/05/2007	141	1,227	4,476	18	-106	-48	54
117	18/06/2007	104	0,719	2,829	14	-51	-33	62
118	24/06/2007	35	1,282	2,391	4	-45	-45	91
119	17/07/2007	36	0,407	0,909	4	-60	-57	84
120	19/07/2007	55	0,396	1,181	5	-68	-51	19
121	23/07/2007	12	1,032	1,589	4	-30	-30	57
122	14/08/2007	26	0,662	1,121	2	-126	-126	74
123	25/08/2007	138	1,905	3,887	19	-96	-51	84
124	14/09/2007	44	1,263	2,875	1	-57	-57	114
125	17/09/2007	10	1,182	1,371	3	-96	-96	54
126	30/09/2007	51	1,276	3,931	7	-82	-72	61
127	04/10/2007	41	1,136	2,772	8	-89	-81	84
128	27/10/2007	31	1,306	3,332	5	-92	-57	46
129	29/10/2007	7	1,220	2,153	5	-95	-81	94
130	26/11/2007	30	0,030	0,069	0	N/D	N/D	N/D

N° evento	Inizio evento	Durata evento (ore)	concentrazione media massima di particelle grossolane (N/cm ³)		numero di traiettorie	Tempo di volo medio massimo (ore)		Tempo di residenza medio (ore)
131	28/11/2007	35	1,046	1,606	2	-19	N/D	81
132	27/12/2007	110	0,053	0,234	5	-64	N/D	58
133	12/01/2008	4	0,414	0,714	1	-78	-78	15
134	11/02/2008	31	0,282	0,616	2	-135	-135	39
135	17/02/2008	5	0,262	0,314	1	-162	-162	9
136	07/04/2008	36	0,816	5,248	1	-33	-33	6
137	16/04/2008	34	0,390	1,234	1	-63	-63	45
138	19/04/2008	10	0,431	0,541	1	-24	-24	36
139	15/05/2008	15	0,555	0,969	2	-93	-93	41
140	16/05/2008	15	0,866	1,472	4	-30	-30	117
141	25/05/2008	112	2,263	13,159	18	-70	-24	76
142	01/06/2008	83	1,210	5,882	5	-40	-27	31
143	03/07/2008	26	0,423	0,679	2	-153	-153	8
144	11/07/2008	48	0,457	1,071	3	-132	-126	41
145	01/08/2008	17	0,343	0,434	1	-129	-129	21
146	07/08/2008	32	0,365	0,803	2	-126	-111	15
147	05/09/2008	46	2,213	6,125	8	-48	-36	70
148	09/09/2008	83	3,127	8,906	12	-51	-33	80
149	13/10/2008	84	2,772	6,582	15	-112	-75	77
150	17/10/2008	24	0,907	1,045	1	-141	-141	12
151	02/11/2008	40	1,881	5,918	8	-36	-36	100
152	12/01/2009	5	0,247	0,397	4	-72	-72	99
153	31/01/2009	8	0,126	0,177	3	-114	-114	52
154	03/02/2009	3	1,281	3,621	4	-39	-39	52
155	08/04/2009	20	0,286	0,404	4	-141	-141	35
156	12/04/2009	7	0,229	0,320	3	-105	-105	51
157	27/04/2009	10	0,775	1,505	4	-27	-27	80
158	11/05/2009	27	0,627	0,853	4	-84	-84	77
159	15/05/2009	72	1,343	3,218	11	-58	-48	113
160	20/05/2009	156	0,964	1,529	21	-86	-42	82
161	16/06/2009	22	0,378	0,521	6	-96	-96	77
162	18/06/2009	34	0,338	0,484	1	-87	-87	84
163	15/07/2009	43	0,791	1,476	6	-91	-69	68
164	23/07/2009	16	0,525	0,879	4	-66	-66	99
165	26/08/2009	51	0,116	0,180	4	-72	-60	38
166	01/10/2009	16	0,113	0,154	0	-144	-129	59
167	16/11/2009	97	0,754	3,644	20	-64	-51	83
168	22/11/2009	17	0,813	1,347	3	-69	-69	92
169	29/11/2009	13	0,231	0,426	3	-30	-30	135
170	06/01/2010	13	0,092	0,189	2	-117	-117	38
171	08/01/2010	9	0,216	0,275	4	-111	-111	81
172	16/01/2010	10	0,132	0,167	1	-165	-165	6
173	25/01/2010	9	0,107	0,156	1	-132	-132	15
174	26/02/2010	10	0,238	0,339	1	-33	-33	30
175	28/02/2010	6	0,184	0,257	2	-30	-30	69
176	19/03/2010	47	1,485	5,600	8	-57	-42	93
177	22/03/2010	94	1,089	2,529	18	-73	-39	79

N° evento	Inizio evento	Durata evento (ore)	concentrazione media massima di particelle grossolane (N/cm ³)		numero di traiettorie	Tempo di volo medio massimo (ore)		Tempo di residenza medio (ore)
178	07/04/2010	20	0,386	0,538	0	N/D	N/D	N/D
179	21/04/2010	52	0,353	0,723	5	-155	-144	8
180	26/04/2010	37	0,309	0,461	1	-102	-102	69
181	28/04/2010	73	0,300	0,541	0	N/D	N/D	N/D
182	05/05/2010	11	1,257	1,710	3	-78	-78	93
183	11/05/2010	38	0,269	0,449	1	-54	-54	9
184	11/06/2010	63	1,729	4,013	9	-42	-39	56
185	15/06/2010	25	0,709	3,055	4	-96	-96	92
186	11/07/2010	26	0,613	1,082	0	N/D	0	N/D
187	22/07/2010	21	0,159	0,226	1	-54	-54	24
188	14/08/2010	12	0,843	1,471	1	-36	-36	33
189	20/08/2010	10	0,911	1,368	3	-84	-84	67
190	24/08/2010	31	0,253	0,393	2	-132	-132	48
191	27/08/2010	34	0,352	0,890	1	-45	-45	75
192	18/09/2010	29	0,145	0,466	4	-96	-96	80
193	24/09/2010	14	0,213	0,317	1	-102	-102	69
194	04/10/2010	10	0,380	0,624	4	-102	-102	41
195	15/10/2010	10	0,495	0,855	2	-105	-105	38
196	31/10/2010	80	0,341	1,790	13	-38	-21	73
197	15/11/2010	19	0,321	0,835	2	-42	-39	42
198	07/12/2010	34	0,682	4,221	6	-38	-33	31
199	09/12/2010	10	0,500	0,682	1	-60	-60	15
200	22/12/2010	31	0,615	5,050	8	-42	-36	50

Riferimenti bibliografici

Arimoto R. (2001). Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition, *Earth-Sci. Rev.*, 54, pp. 29–42

Bonasoni P., P. Cristofanelli, F. Calzolari, U. Bonafè, F. Evangelisti, A. Stohl, S. Zauli Sajani, R. Van Dingenen, T. Colombo, and Y. Balkanski (2004). Aerosol-ozone correlations during dust transport episodes. *Atmos. Chem. Phys.*, 4, pp. 1201–1215

Charlson R. J., S. E. Schwartz, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley, JR., E. Hansen, D. J. Hofmann (1992). Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols

Chou C., O. Stetzer, E. Weingartner, Z. Jurànyl, Z. A. Kanji, and U. Lohmann (2011). Ice nuclei properties within a Saharan dust event at the Jungfraujoch in the Swiss Alps. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, pp. 4725–4738

Chylek P., and J. Wong (1995). Effect of absorbing aerosols on global radiation budget. *Geophysical Research Letters*, Vol 22, No 8, pp. 929-931

Ciolfi G. (2005). Inferenza degli effetti delle polveri sahariane sui rilevamenti di PM10 e PM2.5 a Roma. *Tesi di Laurea in Fisica*, Università di Roma.

Córdoba-Jabonero C., M. Sorribas, J. L. Guerrero-Rascado, J. A. Adame¹, Y. Hernández, H. Lyamani, V. Cachorro, M. Gil, L. Alados-Arboledas, E. Cuevas, and B. de la Morena (2011). Synergetic monitoring of Saharan dust plumes and potential impact on surface: a case study of dust transport from Canary Islands to Iberian Peninsula. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, pp. 3067–3091

Cristofanelli P., J. Arduini, U. Bonafè, F. Calzolari, A. Marinoni, M. Maione, F. Roccatò, P. Bonasoni (2007). Lo studio dell'atmosfera e del clima presso la Stazione WMO_GAW "O. Vittori" di Monte Cimone (2165 m slm)

Dentener Frank J., Gregory R. Carmichael, Yang Zhang, Jos Lelieveld, and Paul J. Crutzen (1996). Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere. *Journal of Geophysical Research*, Vol 101, No. D17, pp. 22, 869-889

Dickerson R. R., S. Kondragunta, G. Stenchikov, K. L. Civerolo, B. G. Doddridge, B. N. Holben (1997). The Impact of Aerosols on Solar Ultraviolet Radiation and Photochemical Smog. *Science*, Vol 278, pp. 827-830

Formenti P., L. Schütz, Y. Balkanski, K. Desboeufs, M. Ebert, K. Kandler, A. Petzold, D. Scheuven, S. Weinbruch, and D. Zhang (2011). Recent progress in understanding physical and chemical properties of African and Asian mineral dust. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, pp. 8231–8256

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hernández J. L., J.D. Martín-Ramos, A. López-Galindo (2011). Quantitative analysis of mineral phases in atmospheric dust deposited in the south-eastern Iberian Peninsula. *Elsevier: Atmospheric Environment*, 45, pp. 3015-3024

Hobbs, P. V. (2000). *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Cambridge

Jacobson, M. Z. (2002). *Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation*. Cambridge

Khain A., D. Rosenfeld, and A. Pokrovsky (2005). Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, pp. 2639-2663

Kok J. F. (2011). Does the size distribution of mineral dust aerosols depend on the wind speed at emission? *Atmos. Chem. Phys.*, 11, pp. 10149–10156

Kubilay N., S. Nickovic, C. Moulin, F. Dulac (2000). An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 34, pp. 1293-1303

Kulmala M., A. Asmi, H. K. Lappalainen, U. Baltensperger, J.-L. Brenguier, M. C. Facchini, H.-C. Hansson, Ø. Hov, C. D. O'Dowd, U. Pöschl, A. Wiedensohler, R. Boers, O. Boucher, G. de Leeuw, H. Denier van den Gon, J. Feichter, R. Krejci, P. Laj, H. Lihavainen, U. Lohmann, G. McFiggans, T. Mentel, C. Pilinis, I. Riipinen, M. Schulz, A. Stohl, E. Swietlicki, E. Vignati, M. Amann, M. Amann, C. Alves, S. Arabas, P. Artaxo, D. C. S. Beddows, R. Bergström, J. P. Beukes, M. Bilde, J. F. Burkhardt, F. Canonaco, S. Clegg, H. Coe, S. Crumeyrolle, B. D'Anna, S. Decesari, S. Gilardoni, M. Fischer, A. M. Fjæraa, C. Fountoukis, C. George, L. Gomes, P. Halloran, T. Hamburger, R. M. Harrison, H. Herrmann, T. Hoffmann (2011) European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality

interactions (EUCAARI) – integrating aerosol research from nano to global scales. *Atmos. Chem. Phys.*, Discussions 11, pp. 17941-18160

Lau K. M., M. K. Kim, K. M. Kim (2006). Asian summer monsoon anomalies induced by aerosol direct forcing: the role of the Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, 26, pp. 855-864.

Marinoni A., P. Cristofanelli, F. Calzolari, F. Roccatò, U. Bonafè, P. Bonasoni (2007). Continuous measurements of aerosol physical parameters at the Mt. Cimone GAW Station (2165 m asl, Italy). *Elsevier Science of the Total Environment*, 391, pp. 241-251

Mattis I., A. Ansmann, U. Wandinger, and D. Müller (2003). Unexpectedly high aerosol load in the free troposphere over central Europe in spring/summer 2003. *Geophysical Research Letters*, Vol 30, No 22.

Middleton N., P. Yiallourous, S. Kleanthous, O. Kolokotroni, J. Schwartz, D. W. Dockery, P. Demokritou, and P. Koutrakis (2008). A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health*

Moulin C., C. E. Lambert, U. Dayan, V. Masson, M. Ramonet, P. Bousquet, M. Legrand, Y. J. Balkanski, W. Guelle, B. Marticorena, G. Bergametti, and F. Dulac (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, No. D11, pp. 13,137-13,144

Otto S., T. Trautmann, and M. Wendisch (2011). On realistic size equivalence and shape of spheroidal Saharan mineral dust particles applied in solar and thermal radiative transfer calculations. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, pp. 4469–4490

Poeschl U. (2006). Physical, chemical, and biological analysis (and effects) of atmospheric aerosols. In: *Measurement techniques in Atmospheric Chemistry* (Röckmann T.) Max Planck Institute for Chemistry

Prospero J. M. (2006). Saharan Dust Impacts and Climate Change. *Oceanography*, Vol. 19 No. 2.

Prospero Joseph M. (1999). Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: Implications for regional air quality. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. D13, pp. 15,917-15,927

Putaud J.-P., R. Van Dingenen, A. Dell'Acqua, F. Raes, E. Matta, S. Decesari, M. C. Facchini, and S. Fuzzi (2004). Size-segregated aerosol mass closure and chemical composition in Monte Cimone (I) during MINATROC. *Atmos. Chem. Phys.*, 4, pp. 889-902

Quijano A. L., I. N. Sokolik, and O. B. Toon (2000). Radiative heating rates and direct radiative forcing by mineral dust in cloudy atmospheric conditions. *Journal of Geophysical Research*, Vol 105, No D10, pp. 12,207-12,219

Ramanathan V., P. J. Crutzen, J. T. Kiehl, D. Rosenfeld (2001). Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. *Science*, Vol. 294, pp. 2119-2124

Rodríguez S., X. Querol, A. Alastuey, G. Kallos, O. Kakaliagou (2001) Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35, pp. 2433-2447

Rosenfeld D., Y. Rudich, and R. Lahav (2001). Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. *PNAS*

Schwikowski M., P. Seibert, U. Baltensperger, and H. W. Gaggeler (1995). A study of an outstanding Saharian dust event at the high-alpine site Jungfrauoch, Switzerland. *Atmospheric Environment*, Vol. 29, No. 15, pp. 1929-1842

Stohl A. (1998). Computation, Accuracy and Applications of Trajectories- A Review and Bibliography. *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 6, pp. 947-966

Van Dingenen R., J.-P. Putaud, S. Martins-Dos Santos, and F- Raes (2005). Physical aerosol properties and their relation to air mass origin at Monte Cimone (Italy) during the first MINATROC campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, pp. 2203–2226

Zauli, Sajani S., R. Miglio, P. Bonasoni, P. Cristofanelli, A. Marinoni, C. Sartini, C. Goldoni, G. De Girolamo, P. Lauriola (2009). Saharan dust Transport and Daily Mortality. *Epidemiology*

Siti Web

<http://www.isac.cnr.it/cimone/> (ultimo accesso: 13/11/2011)

<http://tarantula.nilu.no/trajectories/> (ultimo accesso: 9/11/2011)

http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/global/ops_01/europe/

(ultimo accesso: 9/11/2011)

http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html

(ultimo accesso: 13/11/2011)

http://www.evkc2cnr.org/cms/it/ricerca/programmi_integrati/share

(ultimo accesso: 13/11/2011)

<http://www.grimm-aerosol.com/en/> (ultimo accesso 14/09/2011)