

**F. ANELLO, C. BOMMARITO
F. MONTELEONE, S. PIACENTINO**

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Ufficio Territoriale di Palermo

D. SFERLAZZO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Osservatorio Climatico di Lampedusa

**S. PIACENTINO, A. DI SARRA
D. MELONI, G. PACE**

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Centro Ricerche Casaccia, Roma

**MISURE DI SPESSORE OTTICO DELL'AEROSOL
ED IRRADIANZA SOLARE CON MULTIFILTER
ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER (MFR – 7)
LUNGO LA COSTA MERIDIONALE DELLA SICILIA**

RT/2018/5/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

F. ANELLO, C. BOMMARITO
F. MONTELEONE, S. PIACENTINO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Ufficio Territoriale di Palermo

D. SFERLAZZO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Osservatorio Climatico di Lampedusa

S. PIACENTINO, A. DI SARRA
D. MELONI, G. PACE

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio
e del capitale naturale
Laboratorio di osservazione e analisi della terra e del clima
Centro Ricerche Casaccia, Roma

MISURE DI SPESSORE OTTICO DELL'AEROSOL ED IRRADIANZA SOLARE CON MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER (MFR – 7) LUNGO LA COSTA MERIDIONALE DELLA SICILIA

RT/2018/5/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

MISURE DI SPESSORE OTTICO DELL'AEROSOL ED IRRADIANZA SOLARE CON MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER (MFR – 7) LUNGO LA COSTA MERIDIONALE DELLA SICILIA

F. Anello, C. Bommarito, T. Di Iorio, A. di Sarra, D. Meloni, F. Monteleone, G. Pace
S. Piacentino, D. Sferlazzo

Riassunto

Presso la Stazione ENEA di Osservazioni Climatiche di Lampedusa (35.52°N, 12.63°E) vengono effettuate misurazioni di numerosi parametri atmosferici di interesse climatico. Le peculiari condizioni del Mediterraneo centrale, spesso interessato da fenomeni di trasporto di polveri Sahariane caratterizzati da elevati valori di spessore ottico, e influenzato da diversi altri tipi di aerosol di origine naturale (aerosol marino, emissioni vulcaniche, incendi) o antropica (emissioni da navi, inquinamento continentale o urbano) rendono Lampedusa un sito particolarmente rilevante per studi sul ruolo giocato dall'aerosol atmosferico sul bilancio della radiazione solare ed infrarossa.

Nell'ambito del progetto Bandiera RITMARE - La Ricerca Italiana per il Mare - coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca è stato installato un radiometro multifiltro a banda rotante (MFR – 7) presso la sede dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR di Capo Granitola (Campobello di Mazara- TP), latitudine 37.57° N, longitudine 12.66°E. Tali misurazioni integrano quelle effettuate a Lampedusa e permettono di avere un secondo punto di osservazioni a Nord del canale di Sicilia. Le misure effettuate a Capo Granitola, in particolare, permettono di studiare i fenomeni di trasporto delle polveri Sahariane nel Mediterraneo centrale e sulla Sicilia, e di identificare i casi di superamento della soglia di concentrazione di PM10 ad essi associati.

Parole chiave: siti osservativi marini, spessore ottico dell'aerosol, radiometro MFRSR .

Abstract

A large set of atmospheric parameters relevant for climate are measured at the ENEA Station for Climate Observations of Lampedusa (35.52° N, 12.63° E). The peculiar conditions of the central Mediterranean, often affected by transport of Saharan dust characterized by high optical thickness values, as well as by other different aerosol types of natural (marine particles, volcanic emissions, forest fires) or anthropic (ship emissions, continental industrial/urban emissions) origin, make Lampedusa a site particularly relevant to investigate the role played by aerosol on the budget of solar and infrared radiation. Within the RITMARE - The Italian Research for the Sea - Flagship Project, Coordinated by the National Research Council and funded by the Ministry of Education, University and Research, a multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) has been installed at the Institute for Coastal Marine Environment (IAMC/CNR) of the Capo Granitola Research Center (Campobello di Mazara - TP, 37.57 ° N, 12.66 ° E). These measurements are an important integration of those collected at Lampedusa, adding a new observation point North of the Sicily Channel. The new measurements made at Capo Granitola in particular allow the investigation of Saharan dust transport events in the Central Mediterranean and towards Sicily, and help identifying the associated PM air quality standard exceedances.

Keywords: marine observing sites, aerosol optical depth, MFRSR radiometer.

INDICE

1. INTRODUZIONE	7
1.1 IL PROGETTO RITMARE	7
1.2 OBIETTIVI	7
2. RADIAZIONE SOLARE E SPESSORE OTTICO DEGLI AEROSOL	9
3. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RADIOMETRO MFRSR	10
3.1 SISTEMA DI CONTROLLO E AQUISIZIONE DATI	13
4. CARATTERISTICHE DEL RADIOMETRO MFR-7	13
5. INSTALLAZIONE	14
5.1 IL SITO	14
5.2 LE INFRASTRUTTURE	15
6. CAMPAGNE DI MISURA	17
7. RISULTATI	20
8. RINGRAZIAMENTI	24
9. BIBLIOGRAFIA	24

1. INTRODUZIONE

1.1. IL PROGETTO RITMARE

RITMARE, Ricerca Italiana sul mare (<http://www.ritmare.it>) è uno dei Progetti Bandiera del Programma Nazionale della Ricerca finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca. RITMARE è il principale Progetto di Ricerca nazionale sul mare per il periodo 2012-2017. E' coordinato dal CNR e riunisce in uno sforzo integrato la comunità scientifica italiana coinvolta in attività di ricerca su temi marini e marittimi.

Questo progetto contribuisce a formare una nuova generazione di ricercatori, anche tramite il finanziamento di progetti innovativi selezionati attraverso bandi a chiamata e rafforza la presenza strategica della ricerca italiana in ambito europeo e mediterraneo. RITMARE promuove la costituzione di un forum permanente fra ricercatori, amministratori e portatori di interesse pubblici e privati, con l'obiettivo di favorire l'integrazione e il trasferimento dei risultati dell'attività di ricerca e porre così la conoscenza alla base e al servizio di strategie e scelte gestionali. Il progetto è articolato in sette sottoprogetti a sua volta suddivisi in Work package.

L'ENEA contribuisce a varie attività all'interno del Progetto RITMARE. In particolare, nell'ambito del Sottoprogetto dedicato ai sistemi osservativi (SP5), ENEA è responsabile dell'azione relativa allo sviluppo di un sistema per lo studio delle interazioni aria-mare. L'azione comprende anche attività finalizzate a studiare il ruolo del particolato atmosferico nella regolazione degli scambi aria-mare. Il particolato atmosferico costituisce un forzante molto importante in grado di modulare il bilancio energetico alla superficie, soprattutto attraverso le interazioni con la radiazione solare ed infrarossa. L'attività presentata in questo rapporto si inserisce all'interno di questo filone di ricerca ed è finalizzata a quantificare proprietà e ruolo del particolato atmosferico, ed in particolar modo delle polveri Sahariane, attraverso il Canale di Sicilia.

1.2. OBIETTIVI

Gli aerosol presenti in atmosfera contribuiscono in modo significativo a determinare l'equilibrio energetico planetario. Essi sono in grado di diffondere ed assorbire la radiazione solare ed assorbire ed emettere la radiazione terrestre; intervengono nei processi di formazione delle nubi, influenzandone proprietà microfisiche ed ottiche; partecipano a reazioni chimiche di varia natura. Le caratteristiche degli aerosol sono estremamente variabili, dipendentemente dalle sorgenti, dai processi di distribuzione e trasporto in atmosfera, dal loro tempo di residenza.

In troposfera la presenza degli aerosol è regolata essenzialmente dal ciclo dell'acqua, che ne determina una vita media dell'ordine della decina di giorni.

A causa della grande variabilità di caratteristiche e quantità, non esistono stime accurate della influenza globale prodotta dagli aerosol sul bilancio della radiazione elettromagnetica. Le stime degli effetti radiativi di vari forzanti prodotte dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) mostrano che notevoli incertezze sono legate al ruolo degli aerosol.

Vari studi mostrano che diversi tipi di aerosol prodotti da processi naturali o legati ad attività antropiche sono presenti nel Mediterraneo: aerosol marini (Kishcha et al., 2011), minerali provenienti principalmente dal Sahara (Di Iorio et al., 2009; Marconi et al., 2014; Meloni et al., 2007), prodotti nella combustione di biomassa, soprattutto in corrispondenza degli incendi estivi (Pace et al., 2005) o legati a trasporto da lunga distanza (Ancellet et al., 2016), particelle di origine biogenica (Becagli et al., 2013) o emessi dall'Etna (Sellitto et al., 2016, 2017), aerosol inquinati (Pace et al., 2006), o prodotti di emissioni dalle navi (Becagli et al., 2012, 2017). Questi diversi tipi di aerosol producono differenti effetti sul bilancio della radiazione (di Sarra et al., 2008, 2011; Di Biagio et al., 2010; Meloni et al., 2015), sui processi fotosintetici (Casasanta et al., 2011; Mailler et al., 2016), e sul clima regionale (Nabat et al., 2015).

L'obiettivo del presente studio è di ottenere misure di irradianza spettrale diretta e diffusa e di spessore ottico dell'aerosol da una posizione geografica idonea che permetta di studiare i fenomeni di trasporto verso la Sicilia e l'Italia meridionale, combinando queste osservazioni con quelle già operative presso l'Osservatorio Climatico di Lampedusa (<http://www.lampedusa.enea.it>). A questo scopo è stato installato un radiometro multi-filtro a banda rotante (MFRSR) presso la sede CNR di Capo Granitola (latitudine 37.57° N, longitudine 12.66°E, altitudine 11 m), sulla costa meridionale Siciliana, circa 230 km a Nord di Lampedusa (mappa in figura 1). Misure combinate a Lampedusa e a Capo Granitola sono realizzate anche nell'ambito di una collaborazione tra ENEA e CNR/ISAC, indirizzata a studiare i fenomeni di produzione e trasporto di inquinanti nel Mediterraneo (Cristofanelli et al., 2017). Inoltre, il Laboratorio SSPT-PROTER-OAC ha attivato da alcuni anni una piccola stazione strumentata sulle Madonie, a Piano Battaglia, finora utilizzata per misure meteorologiche e campionamenti di aria per studi sull'evoluzione dei gas ad effetto serra. La stazione delle Madonie potrebbe costituire una importante integrazione alla piccola rete di misura Siciliana dedicata agli aerosol.



Figura 1. Il Mediterraneo centrale con la localizzazione del centro di Capo Granitola, dell'Osservatorio Climatico di Lampedusa, e della stazione osservativa delle Madonie.

2. RADIAZIONE SOLARE E SPESSORE OTTICO DEGLI AEROSOL

La Terra riceve dal Sole sotto forma di radiazione elettromagnetica, integrata su tutto lo spettro, una energia di 1366 W/m^2 (costante solare). Questa è riferita alla sommità dell'atmosfera e al piano perpendicolare ai raggi solari entranti: occorre quindi considerare che questa sulla Terra colpisce una calotta emisferica, riducendosi del 75%. L'energia media giornaliera che raggiunge la terra per unità di superficie è quindi di 342 W/m^2 . La radiazione, nell'attraversare l'atmosfera, viene poi attenuata attraverso processi di diffusione ed assorbimento da parte di gas, particolato e nubi. La radianza monocromatica diretta proveniente dal Sole che raggiunge uno strumento collocato alla superficie dipende dalla geometria di osservazione (in particolare dall'angolo zenitale solare θ , che è l'angolo tra la verticale e la direzione che congiunge l'osservatore con il Sole) e dalla attenuazione dovuta a gas, particolato e nubi lungo il percorso atmosferico. Questa relazione è descritta dalla legge di Bouguer-Lambert-Beer

$$V_{\lambda} = \frac{V_{\lambda,0}}{R^2} \exp(-\tau_{\lambda} m_{\theta})$$

in cui V_{λ} è il segnale misurato alla lunghezza d'onda di osservazione λ , $V_{\lambda,0}$ è il segnale corrispondente alla radianza entrante alla sommità dell'atmosfera, m_{θ} è la massa d'aria legata al percorso della radiazione in atmosfera, τ_{λ} è lo spessore ottico atmosferico, e R è la distanza Terra-Sole espressa in unità astronomiche al momento dell'osservazione. La massa d'aria può essere espressa come $1/\cos\theta$ per valori di θ minori o uguali a 60° . Lo spessore ottico atmosferico (in assenza di nubi) può essere espresso come:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{mol,\lambda} + \tau_{gas,\lambda} + AOD_{\lambda}$$

dove i 3 termini sulla destra dell'equazione indicano rispettivamente lo spessore ottico dovuto alla diffusione da parte delle molecole dei gas presenti in atmosfera, generalmente chiamato contributo molecolare, all'assorbimento dei gas, e ai fenomeni di diffusione e di assorbimento da parte degli aerosol.

In bande in cui l'assorbimento dai gas atmosferici sia trascurabile $\tau_\lambda = \tau_{mol,\lambda} + AOD_\lambda$. Il valore di $\tau_{mol,\lambda}$ può essere calcolato con grande accuratezza dalla misura di pressione atmosferica (ad es., Hansen and Travis, 1974), e AOD_λ si può ricavare dalla relazione

$$AOD_\lambda = \frac{\ln V_{0,\lambda} - \ln R^2 - \ln V_\lambda}{m_\theta} - \tau_{mol,\lambda}$$

Una volta noto $V_{0,\lambda}$, che è definita costante di calibrazione extraterrestre dello strumento, è possibile calcolare AOD_λ . $V_{0,\lambda}$ corrisponde al segnale che lo strumento misurerebbe se fosse portato alla sommità dell'atmosfera; può essere determinato con diversi metodi in laboratorio o in campo. Il metodo più utilizzato è il cosiddetto *plot* di Langely, che sfrutta mezze giornate caratterizzate da valori bassi e costanti di τ_λ e da assenza di nubi per ottenere una determinazione di $V_{0,\lambda}$ per estrapolazione a massa d'aria nulla dei valori misurati al suolo (Harrison e Michalsky, 1994; di Sarra et al., 2015).

Per effettuare il *plot* di Langley occorre che i dati considerati siano in numero sufficiente per eseguire un fit e tutti relativi a condizioni di cielo sereno (privo di nubi); inoltre occorre che gli aerosol siano presenti in maniera minima o comunque costante, poiché anche la loro variazione giornaliera è in grado di portare errori nella regressione lineare. La presenza di ingenti quantitativi di aerosol ha effetti caratteristici sulla radiazione al suolo: essi producono un incremento della radiazione diffusa e una riduzione della diretta; inoltre solitamente anche la globale ha una attenuazione consistente. Questi effetti vengono anche prodotti dalle nubi, ma le caratteristiche temporali delle variazioni prodotte sono diverse: l'aerosol mantiene il suo spessore ottico per tempi maggiori rispetto alle nubi, che presentano una estrema disomogeneità.

Come si vede dalle equazioni precedenti, per la misura di AOD non è necessaria una calibrazione assoluta del fotometro.

3. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RADIOMETRO MFRSR

I radiometri tipo MFRSR (Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer; Harrison et al., 1994), prodotto dalla ditta Yankee Environmental Systems Inc., misurano in diversi intervalli spettrali un valore di tensione proporzionale all'irradianza spettrale incidente. Lo strumento MFR-7 ha 6 canali con larghezza di banda a mezza altezza di circa 10 nm centrati attorno a 415, 500, 615, 670, 870 e 940 nm, ed un canale a larga banda (circa 300-1000 nm). Per ogni canale si misura: l'integrale della radianza su tutto il campo visivo dello strumento (un cono di 160°) chiamata radiazione globale; l'integrale della radianza su tutto il campo visivo meno quella porzione che comprende il sole, chiamata radiazione diffusa. L'integrale della radianza

sull'angolo solido occupato dal sole, chiamata radiazione diretta, viene calcolata sottraendo la diffusa dalla globale. Per ottenere queste grandezze lo strumento effettua una sequenza di misure variando la posizione di una banda metallica che viene fatta ruotare attorno ad un asse che passa per il diffusore del radiometro, come mostrato in figura 2.

La radiazione totale è misurata con la banda posta al di fuori del campo visivo dello strumento, la diffusa viene misurata posizionando la banda in maniera tale da oscurare il sole.

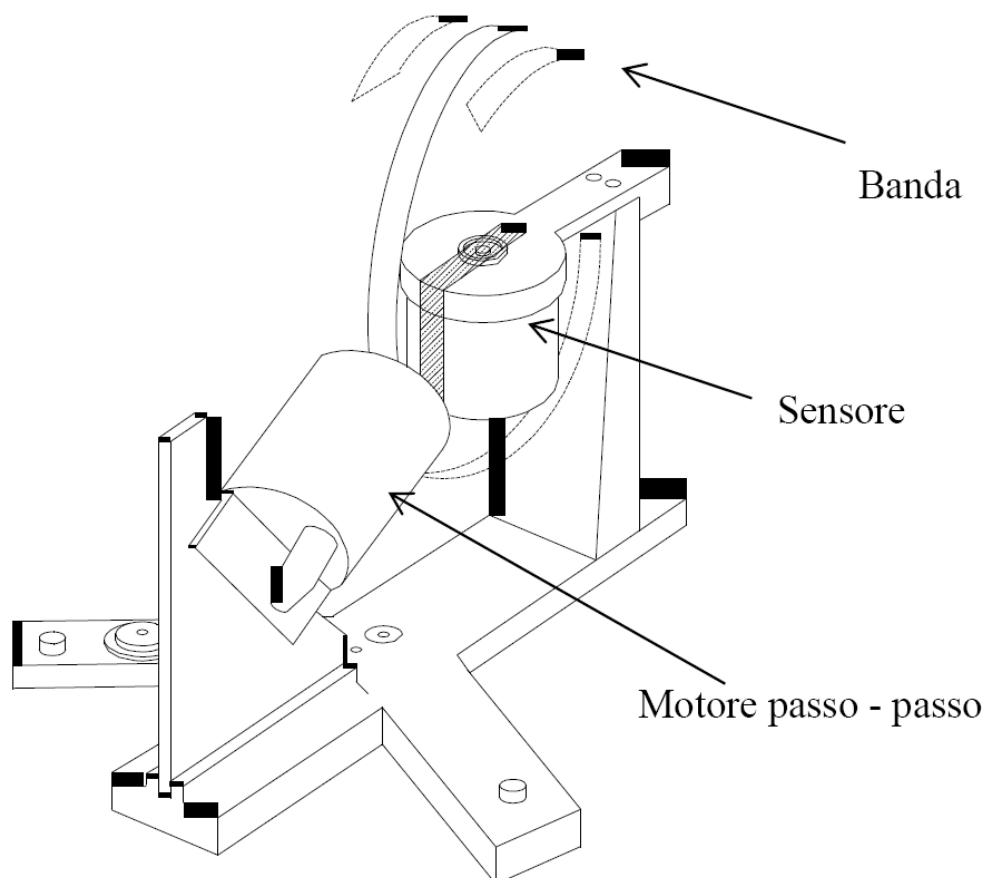


Figura 2. Radiometro MFRSR

La radiazione diretta viene utilizzata per le stime degli spessori ottici; il suo valore al suolo (o la tensione corrispondente misurata), noto con il relativo valore alla sommità dell'atmosfera (o la tensione che lo strumento misurerebbe al di sopra dell'atmosfera), permette di risalire allo spessore ottico di estinzione dell'atmosfera utilizzando la legge di Bouguer-Lambert-Beer, come discusso nella sezione 2.

In presenza di nubi d'acqua liquida o solida frapposte tra lo strumento ed il sole, lo spessore ottico totale di estinzione della nube è dominante, oltre ad essere estremamente variabile nel tempo, e i dati relativi a queste condizioni meteorologiche non sono utilizzabili.

Come detto, nelle misure MFRSR il segnale relativo alla componente diretta V_{λ} si ottiene per differenza tra quello relativo alla globale e quello della diffusa. Anche in questo caso, la differenza viene effettuata tra segnali misurati in unità strumentali (Volt o livelli del convertitore A/D). Lo strumento MFRSR utilizza lo

stesso sistema ottico ed elettronico per la misura delle componenti globale e diffusa; in questo modo gli errori sistematici dipendenti dal rivelatore sono minimizzati (Halthore et al., 2004; Meloni et al., 2006).

Dalle misure MFRSR, una volta determinato $V_{0,\lambda}$, si ottengono valori di AOD a 5 lunghezze d'onda (415, 500, 615, 670, 870 nm); con una conversione un po' più articolata (ad es. Liberti et al., 2010), dalle misure nella banda a 940 nm è possibile ricavare misure di contenuto colonnare di vapor d'acqua.

In aggiunta, il radiometro MFRSR misura irradianze globali e diffuse nelle sette bande nelle unità strumentali.

Una volta noti i valori di $V_{0,\lambda}$ sui canali a banda stretta (il metodo del *plot* di Langley non è applicabile al canale a banda larga perché la legge di Bouguer-Lamber-Beer è monocromatica) è possibile ottenere una calibrazione assoluta calcolando il rapporto R_λ :

$$R_\lambda = I_{0\lambda} / V_{0,\lambda}$$

in cui $I_{0,\lambda}$ si ottiene da misure di irradianza solare spettrale effettuate fuori dall'atmosfera (ad es., Thuillier et al., 1998) tenendo conto della risposta spettrale dei vari filtri dello strumento. Le irradianze globale e diffusa sulle 6 bande dello strumento MFRSR si ottengono moltiplicando i segnali corrispondenti per il valore di R_λ . Come discusso da Meloni et al. (2006), dalla misura del rapporto della radiazione diffusa-diretta, conoscendo i valori di AOD_λ , è possibile ottenere una stima dell'albedo di scattering singolo, ovvero della capacità assorbente dell'aerosol.

Una informazione addizionale sulle caratteristiche del particolato si può ottenere studiando la dipendenza spettrale dell'AOD. Particelle grandi producono una dipendenza spettrale neutra o piccola, particelle di piccole dimensioni producono invece una forte dipendenza. Per caratterizzare la dipendenza spettrale dell'AOD si usa l'esponente di Ångström, EA, che è definito come

$$EA = \frac{\ln(AOD_{\lambda_1}) - \ln(AOD_{\lambda_2})}{\ln(\lambda_2 / \lambda_1)}$$

EA ha valori attorno a zero per aerosol desertico, costituito da particelle grandi, e può raggiungere valori di 2-2.5 per particelle influenzate da inquinamento (Pace et al., 2006).

3.1. SISTEMA DI CONTROLLO E ACQUISIZIONE DATI

I segnali in tensione che provengono dai fotodiodi della testa, già preamplificati raggiungono un multiplexer; vengono poi convertiti in digitale con un convertitore AD ed inviati ad una CPU che controlla tutte le operazioni. Una RAM viene utilizzata per la memorizzazioni dei dati, ed una interfaccia RS232 gestisce la connessione ad un PC da dove è possibile comunicare con lo strumento tramite il software YESDAS.

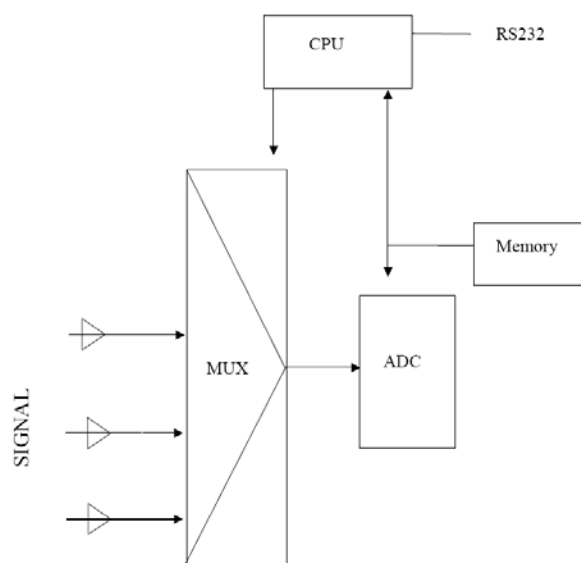


Figura 3. Schema a blocchi del sistema di controllo e acquisizione.

4. CARATTERISTICHE DEL RADIOMETRO MFR – 7

Il radiometro a banda rotante misura la radiazione globale e diffusa su sette bande centrate a differenti lunghezze d'onda. Il primo canale misura su una banda larga, mentre gli altri sei canali hanno bande di circa 10 nm di larghezza a mezza altezza. Tabella 1 mostra lunghezza d'onda e larghezza di banda dei 7 canali dello strumento utilizzato a Capo Granitola.

Canale	Lunghezza d'onda	Larghezza di banda a mezza altezza
1	Banda larga (300nm – 2800 nm)	-
2	415.6 nm	9.9 nm
3	495.7 nm	9.4 nm
4	614.6 nm	10.1 nm
5	672.8 nm	10.0 nm
6	868.7 nm	11.3 nm
7	939.6 nm	10.9 nm

Tabella 1. Bande dello strumento MFRSR.

Altre caratteristiche dello strumento sono:

- Risposta coseno dell'ottica di ingresso: 5% per angolo zenitale tra 0 e 80°, 1% con correzione.
- Intervallo di temperatura: da -30 °C a 50 °C; i fotodiodi, i filtri ed i componenti elettronici sensibili sono tenuti all'interno di un involucro a temperatura controllata.
- Alimentazione: 110/220V, 50/60Hz o 12V DC.

5. INSTALLAZIONE

5.1. IL SITO

L'IAMC-CNR di Capo Granitola si trova all'interno di una tonnara dismessa situata sulla costa sud occidentale siciliana nel comune di Campobello di Mazara (TP). Il complesso si estende su un ettaro di superficie, di cui 1100 m² per uffici e laboratori (Figura 4); il complesso è stato ristrutturato e nel Dicembre 2010 sono iniziate le attività.

L'istituto conduce progetti di ricerca nazionali ed internazionali finalizzati allo studio del funzionamento degli ecosistemi marini.

Diverse collaborazioni esistono tra IAMC-CNR ed laboratorio ENEA SSPT-PROTER-OAC: oltre al progetto RITMARE, in cui sono comprese le attività qui descritte e osservazioni effettuate presso la boa ENEA di Lampedusa, esiste una compartecipazione al Distretto Tecnologico Siciliano del Mare (DT-AMAR); inoltre, vengono effettuati congiuntamente studi sul segnale acustico di cetacei, ed altro ancora.

In tale contesto si è pensato di sfruttare la possibilità di poter fare misure di irradianza ed aerosol in un secondo punto del canale di Sicilia, a circa 230 chilometri a nord di Lampedusa.



Figura 4. Immagine aerea del centro di Capo Granitola.

5.2 LE INFRASTRUTTURE

Nel mese di luglio del 2012 ricercatori e tecnici del laboratorio OAC della sede Territoriale di Palermo hanno installato un radiometro multifiltro a banda rotante per la misura dello spessore ottico degli aerosol. E' stato individuato il tetto di un edificio con un orizzonte libero. Al tetto si accede da una finestra del sottotetto dell'edificio adiacente. Sul muretto perimetrale del terrazzo è stata ancorata, tramite barre filettate, una piastra di acciaio inox che costituisce la base per il radiometro (Figura 5).



Figura 5. Collocazione della piastra di supporto dello strumento MFRSR.

Su detta base viene posizionato il radiometro e al di sotto di essa il contenitore a tenuta stagna che contiene l'elettronica (figura 6).



Figura 6. Lo strumento MFRSR in funzione a Capo Granitola.

In una fase iniziale il PC con il software per l'acquisizione è stato collocato nel sottotetto adiacente, da dove viene fornita allo strumento anche l'alimentazione elettrica.

Nel 2013 è stato possibile installare un prefabbricato di proprietà ENEA (Figura 7) in un'area adiacente.



Figura 7. Modulo prefabbricato installato a Capo Granitola.

Si tratta di un prefabbricato di lamiera zincata coibentato di dimensioni 240x400x250 cm. Il prefabbricato viene alimentato elettricamente dal quadro generale del centro, con due linee, di cui una assistita da UPS. All'interno viene installato un sistema di caricabatteria e batterie che consente di alimentare utenze a 12 V DC fino a 35 A.

La posizione dello strumento sopra il solaio lontano dal sistema di alimentazione e dal sistema di gestione posti nel modulo prefabbricato, ha reso necessaria la realizzazione di un cavidotto per l'alimentazione ed i segnali.

In parte si è utilizzato un cavidotto interrato esistente; nell'ultimo tratto si è dovuta realizzare una tubazione aerea (Figura 8). La lunghezza totale è sui 30 m. In tale cavidotto transitano una linea a 220 V AC, collegata a prese disponibili sul tetto, una linea a 12 V DC, che serve per alimentare lo strumento, e due linee per i segnali.

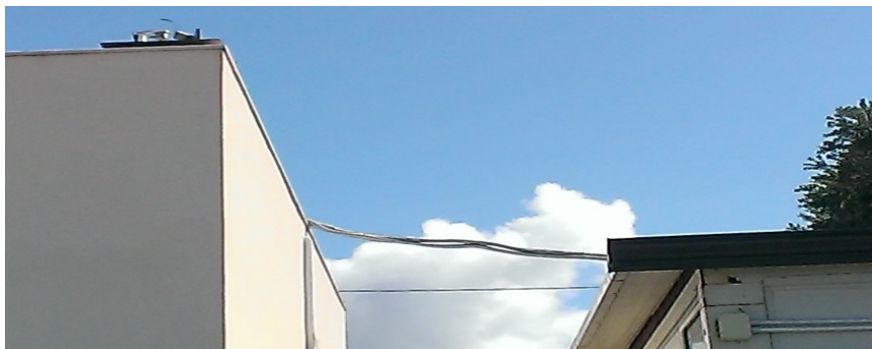


Figura 8. Collegamento aereo tra modulo prefabbricato e tetto che ospita il radiometro MFRSR.

6. CAMPAGNE DI MISURA

Nell'anno 2013 il sito ha partecipato alla campagna di misure europea (ChArMEx – The Chemistry Aerosol Mediterranean Experiment). Per l'occasione sullo stesso tetto sono stati installati alcuni strumenti aggiuntivi: un inseguitore solare con due piranometri, per la misura della radiazione solare globale e diffusa, ed un pirgeometro per la misura della radiazione IR (figura 9);



Figura 9. Inseguitore solare equipaggiato con un pirgeometro PIR (a sinistra), e due piranometri PSP per la radiazione solare globale (al centro) e diffusa (a destra).



Figura 10. Collimatore con fibra ottica accoppiato ad uno spettrometro Licor li-1800.

- due spettrometri dell'Università di Valencia, uno per la misura della radiazione diretta spettrale, con puntatore montato sull'inseguitore solare (figura 10), e l'altro per la misura della radiazione globale spettrale;
- un campionatore di PM10 (figura 11) dell'Università di Firenze.



Figura 11. Campionatore di PM 10 Tecora Skypost.

Durante la campagna ChArMEx le misure sono state effettuate parallelamente a Lampedusa e Capo Granitola. In particolare, uno degli obiettivi era di caratterizzare il particolato prodotto dal traffico navale nel Canale di Sicilia. Uno studio precedente (Becagli et al., 2012) aveva messo in evidenza la presenza di aerosol contenente traccianti chimici caratteristici della combustione di oli pesanti, come i carburanti utilizzati nelle navi o emessi dalle raffinerie. Nell'ambito di ChArMEx si intendeva identificare in modo univoco il particolato emesso dalle navi; a questo scopo sono state effettuate misure congiunte a Sud e a Nord del Canale di Sicilia, la principale area sorgente legata al traffico navale; sono state aggiunte analisi che hanno permesso di misurare alcune terre rare presenti nel particolato, e le osservazioni sono state messe in relazione al percorso delle singole navi tramite il sistema di tracciamento navale e traiettorie dinamiche delle masse d'aria basate su un modello a scala regionale ad alta risoluzione. Lo studio risultante (Becagli et al., 2017) ha messo in evidenza una influenza significativa sul PM10 da parte delle emissioni navali. Si è stimato che le emissioni da navi contribuiscono per l'11% a Lampedusa, e per il 9% a Capo Granitola al PM10 totale. Nei casi con forte impatto delle emissioni navali può raggiungere concentrazioni di $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, corrispondenti al 50% del PM10 a Lampedusa, ed al 42% a Capo Granitola.

Nell'aprile 2016 si è svolta la campagna di misure AirSeaLab (http://www.isac.cnr.it/airsealab/?q=2016_ground_campaign), organizzata da ISAC-CNR, che aveva lo scopo principale di studiare l'interazione tra il clima e l'inquinamento atmosferico costiero, con un focus particolare su aerosol, nubi e strato limite planetario, utilizzando osservazioni sia atmosferiche che marine da satellite e da diversi siti di misura, tra cui Civitavecchia, Lecce, Lamezia Terme, Capo Granitola e Lampedusa.

7. RISULTATI

La figura 12 mostra l'evoluzione dello spessore ottico a 500 nm e dell'esponente di Ångström misurati a Capo Granitola tra il 20 Marzo ed il 20 Aprile 2016, in concomitanza con la campagna di misure AirSeaLab.

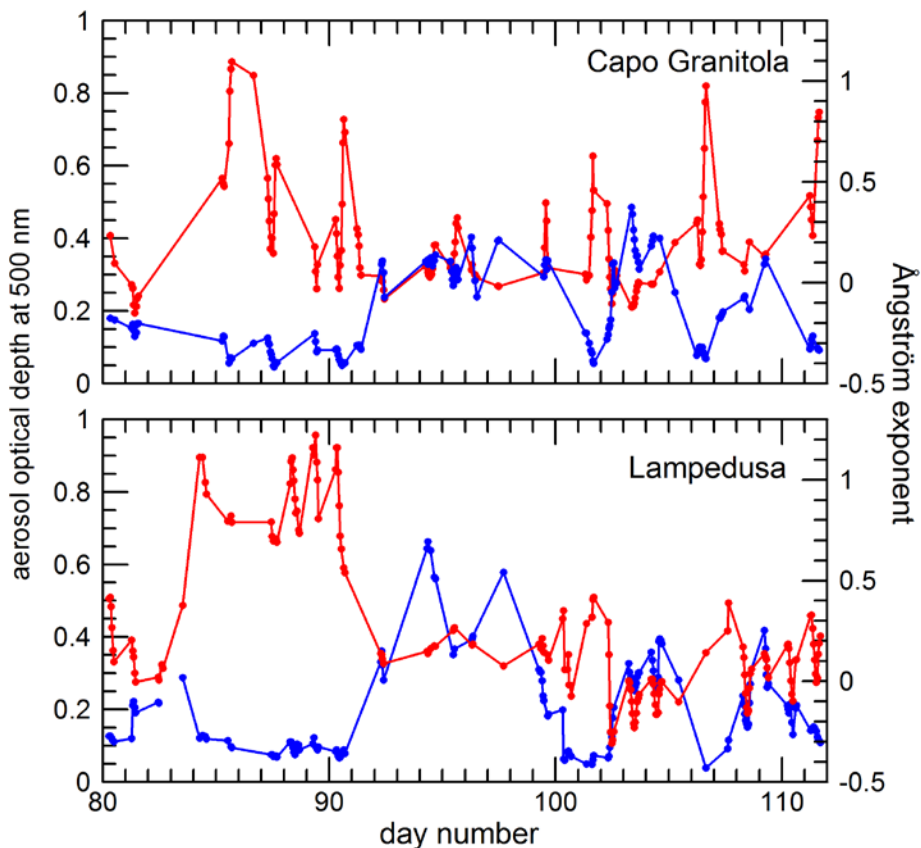
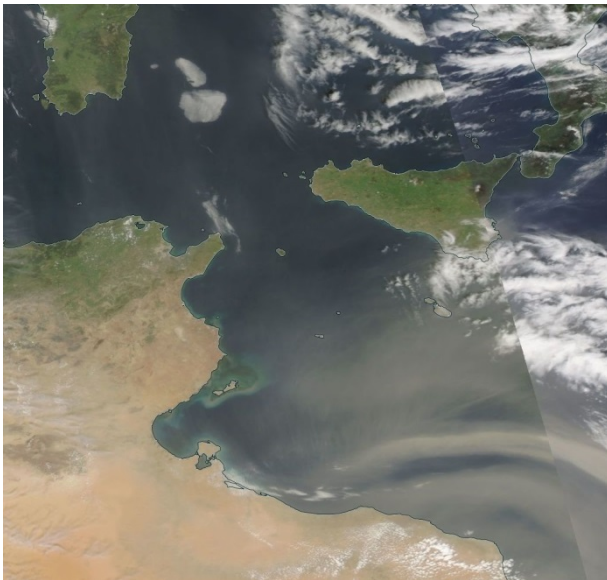


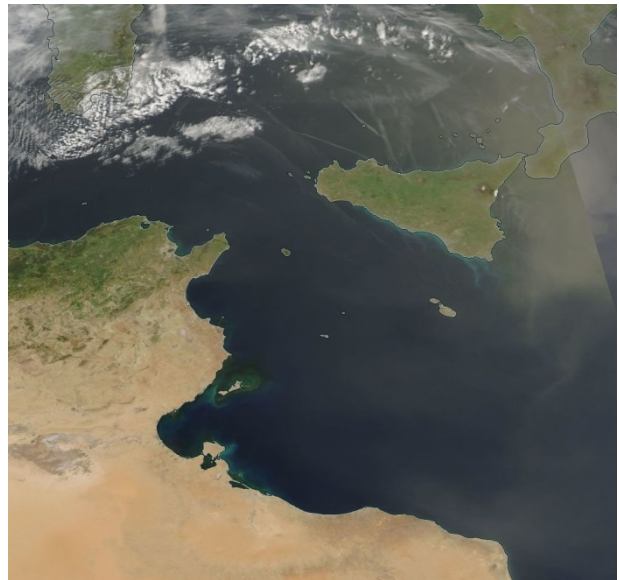
Figura 12. Misure di spessore ottico (in blu) ed esponente di Ångström (rosso) misurati tra il 20 Marzo ed il 20 Aprile 2016 a Capo Granitola e Lampedusa.

In questo periodo si possono mettere in evidenza tre eventi di trasporto di aerosol dal Sahara; il primo avviene approssimativamente tra il primo e l'8 Aprile, il secondo tra il 12 e il 15 Aprile, ed il terzo tra il 16 ed il 21 Aprile. Le variazioni di AE sono congruenti con questa attribuzione, con valori di AOD elevati associati a valori bassi di AE.

Figura 13 mostra immagini del sensore MODIS (falsi colori ottenuti combinando tre bande spettrali dello strumento) su satellite Aqua dei giorni 3 e 12 Aprile. Le immagini mostrano l'estensione degli eventi Sahariani nel Mediterraneo centrale.



3 Aprile MODIS Aqua



12 Aprile MODIS Aqua

Figura 13. Immagini MODIS del Mediterraneo centrale il 3 ed il 12 Aprile 2016.

Nel primo caso l'aerosol dal Sahara che raggiunge il Mediterraneo centrale e la Sicilia è trasportato attraverso un sistema di bassa pressione; l'aerosol investe principalmente la parte più meridionale del bacino, e presenta una forte variabilità spaziale. Queste caratteristiche sono confermate dalle misure di figura 12: a Lampedusa l'AOD raggiunge valori di 0.6, mentre a Capo Granitola arriva a circa 0.4. La variabilità nella porzione più meridionale appare più significativa rispetto alla regione più a Nord, come ben evidenziato dalle osservazioni.

La presenza di periodi nuvolosi, durante i quali non è possibile ricavare l'AOD, non permette di apprezzare possibili differenze nel tempo di arrivo e nell'evoluzione dell'evento.

La figura 14 mostra le traiettorie delle masse d'aria che arrivano a Lampedusa e a Capo Granitola il 3 Aprile. Le traiettorie sono ottenute dal modello HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLIT; Stein et al., 2015) utilizzando dati di reanalisi del National Center for Environmental Prediction (USA).

Le traiettorie confermano che l'aerosol desertico arriva su Lampedusa e Capo Granitola da Est; le masse d'aria si sono caricate di aerosol principalmente sopra la Libia e l'Algeria. La presenza di aerosol presumibilmente interessa tutte le quote considerate nelle traiettorie (tra 300 e 4000 m). Studi precedenti hanno mostrato che nel Mediterraneo l'aerosol desertico può raggiungere quote considerevoli superiori ad 8 km, grazie alla forte attività convettiva che si innesca sul deserto (Di Iorio et al., 2009).

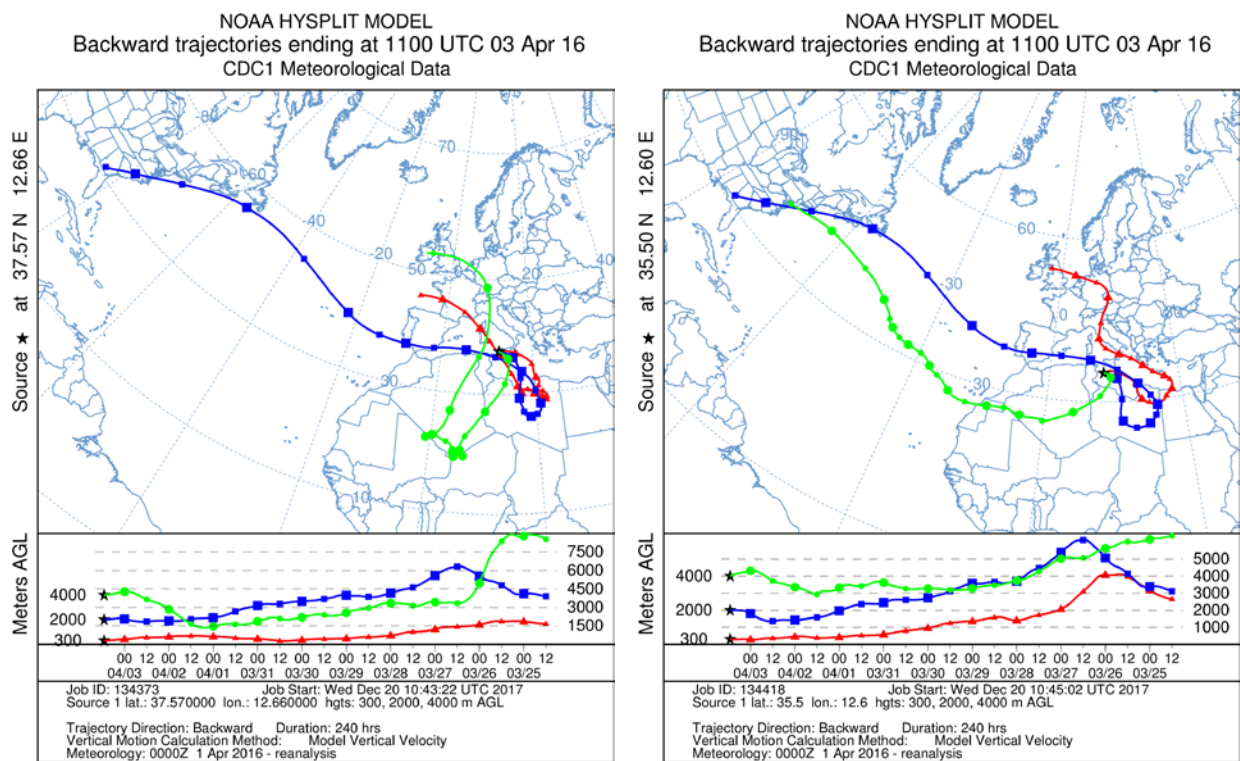


Figura 14. Traiettorie della masse d'aria che arrivano a Capo Granitola (sinistra) e Lampedusa (destra) il 3 Aprile alle 11 UTC. Sono indicate le traiettorie di 10 giorni che arrivano a 300, 2000, e 4000 m di quota sopra i due siti.

Il 12 Aprile il trasporto dal deserto avviene secondo uno schema molto differente. La circolazione, almeno in media troposfera, appare di tipo ciclonico. Le masse d'aria che raggiungono Capo Granitola sono state a contatto con la superficie desertica molto più a lungo rispetto a quelle che raggiungono Lampedusa; questo ha permesso una maggiore interazione con le aree sorgente, e presumibilmente un carico di aerosol più significativo. Nel caso di Capo Granitola, anche la traiettoria che arriva a 4 km ha interagito con lo strato limite planetario sopra il deserto, mentre quella che arriva a Lampedusa alla stessa quota difficilmente ha potuto caricarsi di aerosol minerale.

Anche l'immagine MODIS mostra una maggiore presenza di aerosol nella parte più settentrionale, anche a nord della Sicilia. I dati di AOD confermano che il carico aerosolico è maggiore nella regione più vicina alla Sicilia; in particolare il 12 Aprile l'AOD raggiunge 0.43 a Capo Granitola, mentre rimane sotto 0.4 a Lampedusa.

La disponibilità di dati in due località a diversa distanza dalla regione sorgente permette quindi di controllare e caratterizzare gli eventi di trasporto di aerosol desertico a lunga distanza. Vari studi hanno messo in evidenza che le regioni meridionali dell'Europa (Pey et al., 2013) e dell'Italia (Pederzoli et al., 2010) sono spesso influenzate da questi eventi. In molti casi l'apporto di polvere desertica porta, soprattutto in aree urbane caratterizzate da concentrazioni moderate di PM, a superamenti delle soglie di riferimento sul PM10 introdotte per la salvaguardia della salute. L'utilizzo combinato di osservazioni

nei siti di Lampedusa e Capo Granitola, unitamente all'uso di modelli dinamici di traiettorie ed immagini da satellite, permette di separare i superamenti di soglia dovuti ad eventi naturali da quelli che avvengono per l'accumulo di inquinanti.

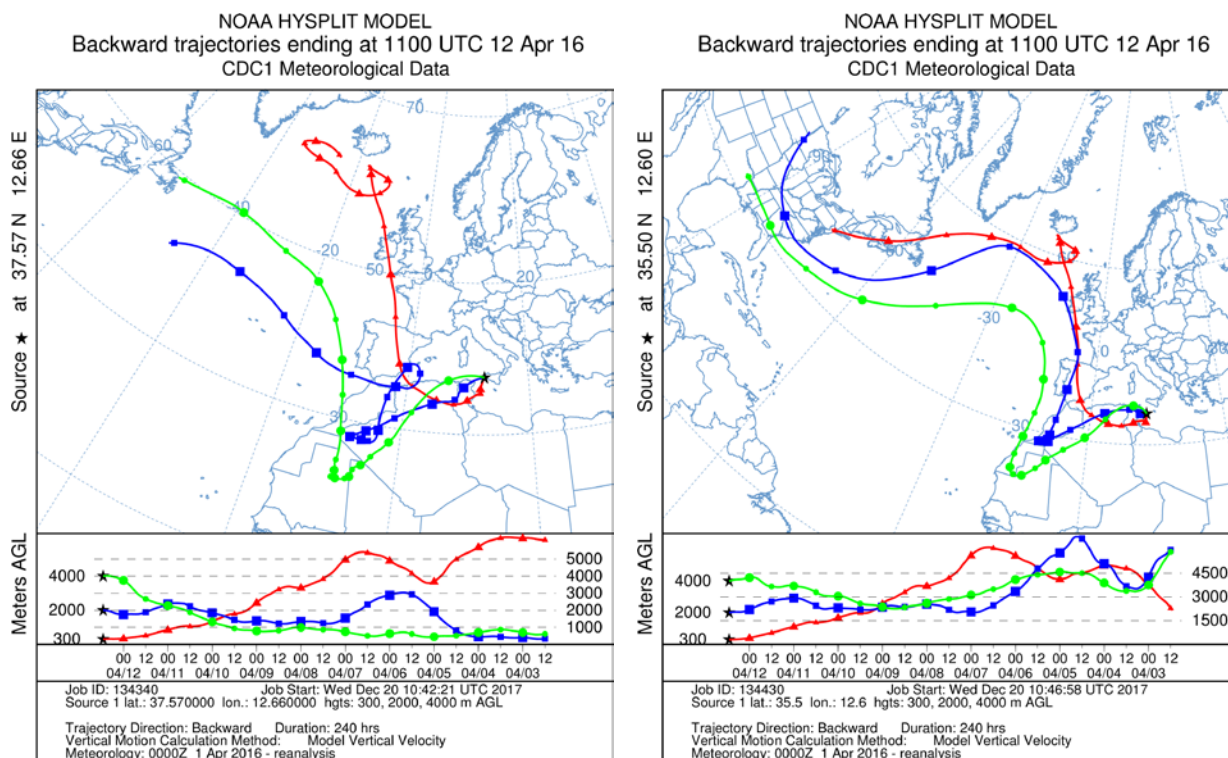


Figura 15. Traiettorie della masse d'aria che arrivano a Capo Granitola (sinistra) e Lampedusa (destra) il 12 Aprile alle 11 UTC. Sono indicate le traiettorie di 10 giorni che arrivano a 300, 2000, e 4000 m di quota sopra i due siti.

La possibilità di comprendere e quantificare questi eventi è particolarmente importante in Sicilia e nel Meridione.

8. RINGRAZIAMENTI

L'attività descritta nella presente pubblicazione è stata finanziata dal Progetto Bandiera RITMARE - La Ricerca Italiana per il Mare - Coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca nell'ambito del Programma Nazionale della Ricerca 2011-2013. Si ringraziano i contributi di NASA, che ha reso disponibili le immagini MODIS, e di NOAA, che ha permesso l'utilizzo del modello HYSPLIT. Si ringrazia il CNR/IAMC per l'ospitalità ed il supporto presso il Centro di Capo Granitola.

9. BIBLIOGRAFIA

Ancellet, G., J. Pelon, J. Totems, P. Chazette, A. Bazureau, M. Sicard, T. Di Iorio, F. Dulac, and M. Mallet (2016), Long-range transport and mixing of aerosol sources during the 2013 North American biomass burning episode: analysis of multiple lidar observations in the western Mediterranean basin, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 4725–4742.

Becagli, S., D. M. Sferlazzo, G. Pace, A. di Sarra, C. Bommarito, G. Calzolari, C. Ghedini, F. Lucarelli, D. Meloni, F. Monteleone, R. Traversi, and R. Udisti (2012), Evidence for heavy fuel oil combustion aerosols from chemical analyses at the island of Lampedusa: a possible large role of ships emissions in the Mediterranean, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 3479-3492.

Becagli, S., F. Anello, C. Bommarito, F. Cassola, G. Calzolari, T. Di Iorio, A. di Sarra, J.L. Gómez-Amo, F. Lucarelli, M. Marconi, D. Meloni, F. Monteleone, S. Nava, G. Pace, M. Severi, D. M. Sferlazzo, R. Traversi, and R. Udisti (2017), Constraining the ship contribution to the aerosol of the Central Mediterranean, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2067–2084.

Becagli, S., L. Lazzara, F. Fani, C. Marchese, R. Traversi, M. Severi, A. di Sarra, D. Sferlazzo, S. Piacentino, C. Bommarito, U. Dayan, and R. Udisti (2013), Relationship between methanesulfonate (MS-) in atmospheric particulate and remotely sensed phytoplankton activity in oligomesotrophic central Mediterranean Sea, *Atmos. Environ.*, 79, 681-688.

Casasanta, G., A. di Sarra, D. Meloni, F. Monteleone, G. Pace, S. Piacentino, and D. Sferlazzo (2011), Large aerosol effects on ozone photolysis in the Mediterranean, *Atmos. Environ.*, 45, 3937-3943.

Cristofanelli, P., M. Busetto, F. Calzolari, I. Ammoscato, D. Gullì, A. Dinoi, C. R. Calidonna, D. Contini, D. Sferlazzo, T. Di Iorio, S. Piacentino, A. Marinoni, M. Maione, and P. Bonasoni, Investigation of

reactive gases and methane variability in the coastal boundary layer of the central Mediterranean basin, *Elem. Sci. Anth.*, 5: 12, 2017. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.216>

Di Biagio, C., A. di Sarra, and D. Meloni (2010), Large atmospheric shortwave radiative forcing by Mediterranean aerosol derived from simultaneous ground-based and spaceborne observations, and dependence on the aerosol type and single scattering albedo, *J. Geophys. Res.*, 115, D10209, doi: 10.1029/2009JD012697.

Di Iorio, T., A. di Sarra, D. M. Sferlazzo, M. Cacciani, D. Meloni, F. Monteleone, D. Fuà, G. Fiocco (2009), Seasonal evolution of the tropospheric aerosol vertical profile in the central Mediterranean and role of desert dust, *J. Geophys. Res.*, 114, D02201, doi: 10.1029/2008JD010593.

di Sarra, A., D. Sferlazzo, D. Meloni, F. Anello, C. Bommarito, S. Corradini, L. De Silvestri, T. Di Iorio, F. Monteleone, G. Pace, S. Piacentino, and S. Pugnaghi (2015), Empirical correction of MFRSR aerosol optical depths for the aerosol forward scattering and development of a long-term integrated MFRSR-Cimel dataset at Lampedusa, *Appl. Opt.*, 54, 2725-2737.

di Sarra, A., C. Di Biagio, D. Meloni, F. Monteleone, G. Pace, S. Pugnaghi, and D. Sferlazzo (2011), Shortwave and longwave radiative effects of the intense Saharan dust event of 25-26 March, 2010, at Lampedusa (Mediterranean sea), *J. Geophys. Res.*, 116, D23209, doi: 10.1029/2011JD016238.

di Sarra, A., G. Pace, D. Meloni, L. De Silvestri, S. Piacentino, F. Monteleone (2008), Surface shortwave radiative forcing of different aerosol types in the central Mediterranean, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02714, doi:10.1029/2007GL032395.

Hansen, J.E., and L. D. Travis, Light scattering in planetary atmospheres, *Space Sci. Rev.*, 16, 527-610, 1974.

Halthore, R. N., M.A. Miller, L.A. Ogren, P.J. Sheridan, D.W. Slater, and T. Stoffel (2004), Further developments in closure experiments for surface diffuse irradiance under cloud-free skies at a continental site, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07111, doi:10.1029/2003GL019102.

Harrison, L., J. Michalsky and J. Berndt (1994), Automated multifilter shadow-band radiometer: an instrument for optical depth and radiation measurements, *Appl. Opt.*, 33, 5118-5125.

Harrison, L., and J. Michalsky (1994), Objective algorithms for the retrieval of optical depths from ground-based measurements, *Appl. Opt.*, 33, 5126-5132.

IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151 pp., IPCC, Geneva, Switzerland.

Kishcha, P., S. Nickovic, B. Starobinets, A. di Sarra, R. Udisti, S. Becagli, D. Sferlazzo, C. Bommarito, and P. Alpert (2011), Sea-salt aerosol forecasts compared with daily measurements at the island of Lampedusa (Central Mediterranean), *Atmos. Res.*, 100, 28-35.

Liberti, G. L., F. Centoni, G. Casasanta, A. di Sarra, D. Meloni, and D. Sferlazzo (2010), Ground-based and satellite observations of column water vapour in the central Mediterranean: spatio-temporal variability, *Proceedings of the Symposium Earth Observation and Water Cycle Science*, ESA Special Publication SP-674, 7 pp.

Mailler, S., L. Menut, A. G. di Sarra, S. Becagli, T. Di Iorio, P. Formenti, B. Bessagnet, R. Briant, J. L. Gómez-Amo, M. Mallet, G. Rea, G. Siour, D. M. Sferlazzo, R. Traversi, R. Udisti, and S. Turquety (2016), On the radiative impact of aerosols on photolysis rates: comparison of simulations and observations in the Lampedusa island during the CharMEx/ADRIMED campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 1219–1244.

Marconi, M., D.M. Sferlazzo, S. Becagli, C. Bommarito, G. Calzolari, M. Chiari, A. di Sarra, C. Ghedini, J.L. Gómez-Amo, F. Lucarelli, D. Meloni, F. Monteleone, S. Nava, G. Pace, S. Piacentino, F. Rugi, M. Severi, R. Traversi, and R. Udisti (2014), Saharan dust aerosol over the central Mediterranean Sea: PM10 chemical composition and concentration versus optical columnar measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 2039–2054.

Meloni, D., A. di Sarra, G. Biavati, J.J. DeLuisi, F. Monteleone, G. Pace, and S. Piacentino (2007), Seasonal behavior of Saharan dust events at the Mediterranean island of Lampedusa in the period 1999-2005, *Atmos. Environ.*, 41, 3041-3056.

Meloni, D., A. di Sarra, G. Pace, and F. Monteleone (2006), Optical properties of aerosols over the central Mediterranean. 2. Determination of single scattering albedo at two wavelengths for different aerosol types, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 715–727.

Meloni, D., W. Junkermann, A. di Sarra, M. Cacciani, L. De Silvestri, T. Di Iorio, V. Estellés, J. L. Gómez-Amo, G. Pace, and D. M. Sferlazzo (2015), Altitude-resolved shortwave and longwave radiative effects of desert dust in the Mediterranean during the GAMARF campaign: indications of a net daily cooling in the dust layer, *J. Geophys. Res.*, 120, 3386-3407.

Nabat, P., S. Somot, M. Mallet, M. Michou, F. Sevault, F. Driouech, D. Meloni, A. di Sarra, C. Di Biagio, P. Formenti, M. Sicard, J.-F. Léon, and M.-N. Bouin (2015), Dust aerosol radiative effects during summer 2012 simulated with a coupled regional aerosol-atmosphere-ocean model over the Mediterranean, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 3303-3326.

Pace, G., D. Meloni, and A. di Sarra, Forest fire aerosol over the Mediterranean basin during summer 2003 (2005), *J. Geophys. Res.*, 110, D21202, doi:10.1029/2005JD005986.

Pace, G., A. di Sarra, D. Meloni, S. Piacentino, and P. Chamard (2006), Optical properties of aerosols over the central Mediterranean. 1. Influence of transport and identification of different aerosol types, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 697–713.

Pederzoli, A., M. Mircea, S. Finardi, A. di Sarra, and G. Zanini, Quantification of Saharan dust contribution to PM10 concentrations over Italy in 2003-2005, *Atmos. Environ.*, 44, 4181-4190, 2010.

Pey, J., X. Querol, A. Alastuey, F. Forastiere, and M. Stafoggia, African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 1395–1410, 2013.

Sellitto, P., A. di Sarra, S. Corradini, M. Boichu, H. Herbin, P. Dubuisson, G. Sèze, D. Meloni, F. Monteleone, L. Merucci, J. Rusalem, G. Salerno, P Briole, and B. Legras (2016), Synergistic use of Lagrangian dispersion and radiative transfer modelling with satellite and surface remote sensing measurements for the investigation of volcanic plumes: the Mount Etna eruption of 25-27 October 2013, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 6841–6861.

Sellitto, P., C. Zanetel, A. di Sarra, G. Salerno, A. Tapparo, D. Meloni, G. Pace, T. Caltabiano, P. Briole, and B. Legras (2017), The impact of Mount Etna sulfur emissions on the atmospheric composition and aerosol properties in the central Mediterranean: a statistical analysis over the period 2000-2013 based on observations and Lagrangian modelling, *Atmos. Environ.*, 148, 77-88.

Stein, A. F., R.R. Draxler, G.D. Rolph, G. B.J.B. Stunder, M.D. Cohen, and F. Ngan, NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 96, 2059–2077, 2015.

Thuillier, G., M. Hersé, P. C. Simon, D. Labs, H. Mandel, and D. Gillotay (1998), Observation of the solar spectral irradiance from 200 to 870nm during the ATLAS 1 and ATLAS 2 mission by the SOLSPEC spectrometer, *Metrologia* 35, 689–695.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
marzo 2018