

PROGETTO PATOS 3 Report finale

MARZO 2021



PROGETTO PATOS 3 - Report finale

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Francesca Guarnieri

Per la sintesi climatica si ringraziano Giulio Betti e Gianni Messeri



Indice

Int	troduzione	4
1.	Sintesi delle condizioni climatiche - aprile 2019 marzo 2020	5
2.	Il contributo dello spray marino al PM10: i risultati del sistema SPARTA	13
3.	Individuazione degli episodi di intrusioni di polvere desertica e di trasporto di s	oray
	marino	23
4.	Analisi della componente antropica e naturale del PM10	32
Co	nclusioni	48



Introduzione

Il Progetto PATOS, promosso dalla Regione Toscana, in collaborazione con ARPAT, Università di Firenze, INFN e Consorzio LaMMA, ha previsto, a partire dal 2005, numerose campagne di misura, in siti di diversa tipologia, per fornire elementi conoscitivi sulla composizione e l'origine del PM10 e del PM2.5. Il particolato viene analizzato applicando diverse tecniche analitiche, la cromatografia ionica, l'analisi termo-ottica, la tecnica PIXE: si ottiene così una dettagliata composizione del PM, che permette di studiare i composti organici, il carbonio elementale, i nitrati, i solfati l'ammonio, la componente naturale (sale marino e polvere desertica).

Nel progetto PATOS3 sono state svolte campagne di misura nel periodo aprile 2019 – marzo 2020. Le quattro linee di ricerca prevedono approfondimenti su quattro aree critiche per l'inquinamento atmosferico nel territorio Toscano: sono prese in esame tre aree interne, Capannori-Lucca, Figline-Firenze, Osmannoro-Firenze (campagna di misure antecedente) e una zona costiera, Viareggio-Lucca. La quarta linea di ricerca relativa all'area costiera consiste nel valutare il contributo dello spray marino al PM10, in modo da stabilire in quali casi i superamenti del valore limite siano attribuibili a questa sorgente. Inoltre, prosegue lo studio del contributo dovuto alla polvere desertica, significativo durante alcuni episodi di trasporto.

Il ruolo del Consorzio LaMMA nell'ambito del progetto PATOS è stato quello di fornire supporto alle campagne di misura, attraverso la caratterizzazione meteorologica e l'individuazione dei parametri meteo che influenzano i processi di formazione e trasporto del PM. In particolare, nell'ambito di PATOS3, è stato messo a punto un sistema di allerta sulle intrusioni di polvere desertica, basato su previsioni a 96 ore, in modo da permettere di effettuare campionamenti quotidiani, anziché a giorni alterni, nei giorni interessati dal trasporto long-range. Per quanto riguarda il contributo marino al PM10 nell'area costiera (Viareggio), sono stati individuati gli episodi caratterizzati da forte vento di Maestrale e da mareggiate, in modo da scegliere i campioni di PM10 (fonte ARPAT) da sottoporre alle analisi per la determinazione della composizione, in particolare dello spray marino.

La disponibilità di un ampio data-set di dati sperimentali rappresenta, inoltre, una importante risorsa per la verifica e la validazione dei risultati ottenuti dal sistema modellistico SPARTA per la stima dei principali inquinanti antropici e di origine naturale.

Questo lavoro è costituito da quattro sezioni: la prima è relativa ad una analisi climatica del periodo, la seconda riguarda la valutazione delle prestazioni del sistema SPARTA per la stima dell'aerosol marino, la terza riguarda l'individuazione degli episodi di intrusioni di polvere sahariana e di trasporto di spray marino durante la campagna di misure di PATOS3, la quarta infine è relativa alla validazione dei risultati del sistema SPARTA attraverso il confronto con il dataset di misure ottenuto dall'Università di Firenze mediante l'analisi composizionale del particolato, nel periodo aprile 2019–marzo 2020.



1. Sintesi delle condizioni climatiche - aprile 2019 marzo 2020

Semestre caldo: aprile – settembre 2019

TEMPERATURE:

Il mese di aprile è risultato termicamente in media (+0,2 °C), mentre il mese di maggio è risultato il più freddo dal 1991 (-2,3 °C). A maggio l'anomalia negativa è stata causata dall'alternanza di ingressi d'aria fredda e secca di origine balcanica con temporanee rimonte anticicloniche e da frequenti irruzioni d'aria umida e instabile di origine artica marittima e nord atlantica. Il continuo afflusso di correnti fredde e instabili ha prodotto non soltanto anomalie fortemente negative, in particolare nei valori massimi (Fig. 1), ma anche precipitazioni anomale (anche nevose a bassa quota).



Fig. 1 - Anomalia T Max maggio; periodo di riferimento 1995-2014.

Si sono registrate marcate anomalie positive nel trimestre estivo, in particolare a giugno, tra i più caldi dell'intera serie storica 1981-2010 (+2,1 °C). Giugno è stato caratterizzato dalla prevalenza di strutture anticicloniche di matrice afro-mediterranea associate a forte compressione adiabatica e a intensi flussi di calore (Fig. 2). Tra il 25 giugno e il 5 luglio si è verificata un'ondata di calore molto intensa che ha portato i termometri prossimi ai 40 °C (a Firenze Peretola il 27/06 la temperatura massima ha raggiunto i 39 °C). Le anomalie positive nei mesi successivi sono state inferiori, luglio +1,0 °C, agosto +1,2 °C, settembre +1,2 °C. Da segnalare anche i valori rilevati tra il 22 e il 26 luglio, coincidenti con una seconda, seppur breve, ondata di calore: un picco di 40,2 °C è stato registrato a Peretola, in data 25 luglio.



Fig. 2 -Anomalia termica di giugno; periodo di riferimento 1995-2014.





Fig. 3 - Andamento termico nel mese di giugno 2019.

PRECIPITAZIONI:

Anche se il 2019 è risultato più piovoso del normale con un surplus del 20%, la distribuzione delle precipitazioni è stata estremamente variabile, con mesi molto secchi alternati a mesi estremamente piovosi, in particolare maggio e luglio, che hanno registrano numerosi passaggi perturbati. I mesi di giugno e agosto invece sono stati caratterizzati da scarse precipitazioni (giugno -90%, agosto -60%); per quanto riguarda giugno si tratta del mese più secco dal 1955 (Fig. 4), con durature fasi anticicloniche.



Fig. 4 - Anomalia pluviometrica a giugno: periodo di riferimento 1995-2014.

Semestre freddo: ottobre 2019 – marzo 2020

In linea con l'andamento dei mesi precedenti, anche ottobre, novembre e dicembre sono stati più caldi della media. In particolare, si sono registrate marcate anomalie positive a ottobre (+1,3 °C), con scostamenti particolarmente significativi a novembre (+2,1 °C) e a dicembre (+2,1 °C), che sono stati tra i più caldi dell'intera serie storica. A novembre e dicembre le forti anomalie termiche sono attribuibili ad un afflusso di correnti miti, umide ed instabili di origine atlantica e mediterranea e alla pressoché totale assenza di ingressi d'aria fredda (Fig. 5).





Fig. 5 - Anomalie termiche di dicembre (sx) e novembre (dx); periodo di riferimento 1995-2014.

Anche il mese di gennaio 2020 è risultato più caldo rispetto alla media climatologica calcolata sul trentennio 1981-2010. Le maggiori anomalie positive sono state osservate per i valori massimi giornalieri, superiori di circa 2 °C rispetto alla media; più contenente le anomalie positive per quanto riguarda invece i valori minimi giornalieri, cha hanno fatto registrare scarti negativi dalle medie attorno a 1 °C. Nel mese sono occorse due tipi di circolazione, la prima caratterizzata da promontorio anticiclonico con flusso settentrionale, osservata ben 19 giorni su 31, che favorisce temperature minime sotto la media e massime sopra la media, con elevata escursione termica giornaliera. La seconda, per 5 giorni nella terza decade del mese, caratterizzata da flusso occidentale atlantico mite ed umido, è associata a temperature decisamente superiori a quelle tipiche del periodo.

Il mese di febbraio è risultato decisamente più caldo rispetto alla normale climatica calcolata sul trentennio 1981-2010, tanto da risultare il quinto febbraio più caldo dal 1955. Le maggiori anomalie positive sono state osservate per i valori massimi giornalieri, che sono risultati superiori di circa 3-4 °C rispetto alla media; più contenente le anomalie positive per quanto riguarda invece i valori minimi giornalieri, cha hanno fatto registrare scarti positivi dalle medie inferiori a 2 °C.

Il mese di Marzo in media non ha mostrato particolari anomalie e le temperature sono risultate in linea con quelle tipiche del mese calcolate sul trentennio 1980- 2010. In particolare, nel corso della prima e della seconda decade le temperature sono risultate allineate con quelle tipiche del mese, o leggermente superiori alla media. Al contrario, la terza decade di marzo ha fatto registrare temperature inferiori alle medie del periodo; la regione è stata interessata dal giorno 22 dall'afflusso di aria molto fredda di origine polare, che ha portato le temperature su valori ben inferiori alla media climatologica. Le anomalie negative più marcate sono state osservate in montagna per i valori massimi giornalieri, mentre per quanto riguarda le minime le anomalie sono risultate meno marcate, soprattutto sulle pianure costiere. Le gelate mattutine nelle vallate e pianure interne sono state sporadiche, sebbene il giorno 24 sono risultate diffuse e con valori localmente inferiori a 5 gradi sotto zero.

PRECIPITAZIONI:

Mentre nel mese di ottobre le precipitazioni sono state scarse, il mese di novembre è risultato essere il più piovoso dell'intera serie storica 1995-2014 (Fig. 6) ed è stato caratterizzato da un numero superiore alla norma di passaggi perturbati.

Il bimestre novembre-dicembre può essere suddiviso in due parti: i primi 20 giorni di novembre, caratterizzati da un'estrema instabilità atmosferica e frequenti precipitazioni; l'ultima decade di novembre e il mese di dicembre, contraddistinti dall'alternanza tra fasi anticicloniche, coincidenti con condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti, e parentesi molto perturbate responsabili di repentini abbattimenti di questi.





Fig. 6 - Anomalia pluviometrica a novembre rispetto alla media 1995-2014.

Le piogge osservate nel mese di Gennaio 2020 sono risultate inferiori alla norma (trentennio 1981-2010): nelle prime due decadi del mese le piogge sono state assenti, ad eccezione del 17 e 18 gennaio, mentre nella terza decade la regione è stata interessata da un flusso di correnti miti e umide sud occidentali che hanno favorito precipitazioni, localmente anche abbondanti.

Nel mese di febbraio l'andamento delle precipitazioni osservate appare eterogeneo: sulle zone centrali e soprattutto su quelle meridionali le precipitazioni sono risultate molto scarse e decisamente inferiori a quelle che solitamente si registrano nel periodo, mentre sulle zone settentrionali della regione (province di Massa, Lucca, Pistoia e Prato) le precipitazioni sono risultate frequenti con cumulati in linea con le medie climatologiche (o anche superiori, in particolare sulle Apuane).

Le piogge osservate nel mese di Marzo sono risultate complessivamente in linea con le medie del mese, o localmente superiori in particolare in montagna e in alta collina. I i maggiori cumulati mensili, anche superiori a 250 mm, si sono registrati sulle Apuane e sull'Appennino settentrionale, ma anomalie positive di pioggia sono state osservate anche sul Monte Amiata e sulle Metallifere. Le precipitazioni sono risultate concentrate prevalentemente nei primi giorni del mese, mentre a partire dal giorno 8 le piogge sono state assenti o molto scarse, in corrispondenza di una circolazione anticiclonica che tipicamente favorisce precipitazioni inferiori alle medie su tutta la regione.

Episodi di polvere desertica: aprile 2019 – marzo 2020

Nel periodo in esame, aprile 2019 – marzo 2020, si sono alternate intense fasi anticicloniche con inconsueti periodi perturbati. Particolarmente significative sono le anomalie di circolazione in quota di maggio, giugno e novembre 2019 (Fig. 7).





. Fig. 7 - Mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb a giugno (sx) e novembre (dx).



Fig. 8 - Immagine satellitare canale visibile delle ore 7.00 UTC del 25 aprile 2019 (sx). altezza geopotenziale e temperature alla quota isobarica di 500 hPa (dx).

La notevole dinamicità meteorologica ha avuto conseguenze nelle variazioni della concentrazione degli inquinanti di origine antropica e negli ingressi di polvere desertica associati ad avvezioni calde. Il primo importante ingresso di polvere desertica si è verificato in data **25 aprile** (Fig. 8). Osservando l'immagine satellitare si può notare la polvere che dal deserto algerino e tunisino si spinge fin sulle regioni centro meridionali e sulla Toscana. Questo episodio è stato causato dal lento avvicinamento di una profonda saccatura nord atlantica cui si associano intensi venti meridionali.

Sempre nel trimestre estivo, si registrano alcuni episodi di dust sahariano, i più significativi dei quali occorsi in data **11 e 15 giugno** (Fig. 9). Anche in questo caso responsabili del richiamo di polvere desertica, due profonde saccature nord atlantiche cui si associava un sostenuto flusso di correnti meridionali.





Fig. 9 - Satellite visibile del 11 giugno (sx) e del 15 giugno (dx).



Fig. 10 - Satellite visibile del 20 dicembre 2019; nuvolosità associata a polvere desertica.

Da segnalare un importante evento di trasporto di polvere desertica unito a PM10 di origine antropica in data **20 dicembre** (Fig. 10), seguito da un repentino abbattimento di tutte le polveri. In questo caso la saccatura nord atlantica, seppur molto profonda, si è spostata rapidamente verso est causando precipitazioni diffuse e molto abbondanti su tutta la regione tra il 21 e il 22 dicembre. (Fig. 11).





Fig. 11 - precipitazioni totali cumulate nelle giornate del 21 e del 22 dicembre 2019.

Nel fine settimana **28 -29 marzo 2020** gran parte della penisola Italiana è stata interessata da un anomalo innalzamento dei valori di concentrazione di PM10, situazione inattesa in considerazione della riduzione delle emissioni antropiche conseguente alle misure messe in atto per contrastare l'epidemia da COVID-19. Anche in Toscana, nelle giornate del 28 e del 29 marzo sono state misurati dalle stazioni di monitoraggio della rete regionale valori molto elevati di PM10, attribuiti prevalentemente a polvere di origine desertica, quindi a trasporto long-range. Tuttavia, la circolazione atmosferica di questo periodo non è stata favorevole al trasporto di polvere sahariana fino alla nostra penisola. L'ipotesi più accreditata è che l'anomalo aumento del PM10 sia legato alle polveri provenienti dalle aree desertiche prossime all'area del Mar Caspio o da aree desertiche ancora più orientali.

Un'analisi della situazione meteo evidenzia che nella terza decade di marzo il vortice polare ha subito un forte indebolimento, cosa praticamente mai avvenuta nel corso dell'intero inverno 2019-2020. Sin dal 20 marzo un vasto campo di alta pressione si è consolidato sull'Europa settentrionale con massimi di oltre 1035 hPa sulla Penisola Scandinava e fortemente esteso lungo i paralleli fino a raggiungere la Siberia. Nei giorni successivi quest'alta pressione si è andata ulteriormente consolidando richiamando verso la nostra penisola masse d'aria estremamente fredde e secche di origine continentale (Fig.13 sx). A partire dal 23 marzo il massimo barico si è abbassato in latitudine richiamando comunque sulla nostra penisola ancora aria molto fredda continentale sospinta da venti molto forti da nord est evidenziati anche dal marcato gradiente barico. Anche nei giorni successivi la configurazione a grande scala si è mostrata scarsamente evolutiva con sostenuto afflusso di aria fredda proveniente dall'Europa dell'Est (Fig.12). La circolazione a scala sinottica è mutata in maniera apprezzabile a partire dal 28 marzo con una generale attenuazione del gradiente barico (differenza di pressione tra due zone contigue) nelle aree ad est della penisola italiana (Fig.13 dx). In corrispondenza dell'attenuazione del gradiente barico e della conseguente riduzione dell'intensità del vento superficiale, si è riscontrato l'anomalo innalzamento dei livelli di concentrazione di PM10 (<u>http://www.lamma.rete.toscana.it/news/picco-di-pm10-cosa-e-dovuto</u>).





Fig. 12. Pressione media giornaliera sul livello del mare (hPa) relativa 26 marzo 2020 (GFS)



Fig. 13 - Pressione sul livello del mare (hPa)relativa alle 00 UTC del 22 marzo 2020 (ECMWF) (sx). Pressione sul livello del mare (hPa) relativa alle 00 UTC del 29 marzo 2020 (ECMWF) (dx).



2. Il contributo dello spray marino al PM10: i risultati del sistema SPARTA

L'aerosol di origine naturale, come ad esempio la polvere desertica e lo spray marino, possono provocare un aumento dei valori di concentrazione del PM10, e in alcuni casi contribuire al superamento dei valori limite previsti dalla normativa. E' importante identificare questi contributi, che in alcune aree possono avere un impatto non trascurabile.

La quantificazione del contributo al PM10 dovuto a sorgenti naturali rappresenta un obiettivo che può essere ottenuto attraverso l'uso di modelli numerici, come ad esempio il sistema modellistico SPARTA (<u>http://www.lamma.rete.toscana.it/camx-info-sul-modello-previsionale</u>), che permette di simulare i principali componenti del particolato, sia di origine antropica che naturale. SPARTA è stato recentemente aggiornato, sia per quanto riguarda il modello meteo WRF-ARW (versione 4.1), sia per quanto riguarda il modello chimico CAMX (versione 6.5): in particolare è stata implementata la più recente versione del modulo per la stima dell'aerosol marino (oceanic.v4.2), che permette una migliore e più dettagliata definizione di questo contributo soprattutto nelle aree costiere, tenendo conto dell'impatto della surf-zone nella formazione dello spray marino.



Fig. 14 – Schema del sistema di modelli SPARTA.

Modulo per la stima dell'aerosol marino

Il modulo per la stima dell'aerosol marino oceanic.v4.2 (<u>http://www.camx.com/getmedia/bc24b0ef-fbc1-42c9-9486-0112ef606f86/oceanic-08oct19.tgz</u>) è capace di calcolare le emissioni, variabili nel tempo e nello spazio, non solo di aerosol di sale marino (NA, PCL e PSO4), ma anche di aerosol di sodio, cloruro e solfato, cloro e bromo in fase gassosa associati al sale marino, alo-metani gassosi e dimetil solfuro (DMS). Una volta stimate, queste emissioni vengono integrate nei file di emissione preesistenti pronti per CAMx, in modo da avere gli input completi per la run. In questa applicazione, sono state stimate esclusivamente le emissioni di sale marino, con dimensioni variabili da sub-micrometriche a oltre 100 micron. Tali emissioni si originano dalla rottura delle onde che, inglobando aria nell'acqua, creano bolle successivamente trasportate dalla turbolenza e dalle circolazioni di Langmuir; sulla superficie del mare la pellicola interfacciale delle bolle si rompe rilasciando nell'aria sale marino, sottoforma di aerosol. Con velocità del vento superiori a 9 m/s vengono prodotte goccioline di grandi dimensioni con raggi maggiori di 4 µm.

La produzione di sale marino viene calcolata a un'umidità relativa dell'80%, che è tipica dei 10 metri sopra la superficie dell'acqua poiché, essendo il sale igroscopico, le dimensioni di un aerosol di sale marino cambiano con l'umidità relativa dell'ambiente, crescendo all'aumentare dell'umidità e restringendosi in aria più secca. La dimensione di tali particelle è circa il doppio di quella dell'aerosol secco (Fitzgerald 1975). Nella loro parametrizzazione modellistica, vengono fatte diverse ipotesi, le principali:

1. la dimensione dell'aerosol viene descritta attraverso una singola quantità quale il raggio a una data umidità relativa (80%);

2. tutti gli aerosol di sale marino si suppongono avere la stessa composizione relativa delle sostanze disciolte e le proprietà come la densità e l'indice di rifrazione sono considerate indipendenti dalla dimensione delle particelle;



3. le goccioline hanno un nucleo insolubile di puro cloruro di sodio (NaCl);

4. la massa di particelle secche emesse viene calcolata dal flusso integrato sulla dimensione dell'aerosol assumendo una geometria sferica delle particelle e una densità dell'aerosol secco di 2200 kg/m3 (Grini et al. 2002).

Il tool stima i flussi di aerosol marini sia nel mare aperto, sia dalle onde che si infrangono nella "surf zone".

La zona della frangenza o surf zone (m) è definita come quella parte di mare dove frangono le onde. Questa zona è confinata tra la costa e il punto di frangenza. Il suo confine è variabile e dipende dalle caratteristiche fisiche della batimetria e dall'altezza d'onda.

Il flusso di sale marino sul mare aperto utilizza parametrizzazioni sviluppate da Gong (2003), Sofiev et al. (2011) o Ovadnevaite et al. (2014). Il flusso di aerosol della "surf zone" può essere calcolato utilizzando la parametrizzazione di DeLeeuw et al.(2000) o l'approccio in mare aperto Gong (2003). Quest'ultimo è l'approccio predefinito ed è consigliato in quanto porta a un'emissione più realistica del flusso che è meno influenzato dalla velocità del vento.

Per calcolare le emissioni della "surf zone", è necessario specificare la larghezza e la lunghezza della linea costiera in ciascuna cella della griglia. La lunghezza della costa può essere impostata in due modi: uno pari alla lunghezza della cella, oppure è possibile fornire un file che riporta le lunghezze reali della costa in modo più dettagliato. La larghezza della "surf zone" può essere specificata per ciascuna cella della griglia costiera all'interno di un ulteriore file che definisce la distribuzione spaziale delle celle della griglia coperte dal mare (10, 20, 50 e 100 m).

Campagna di misure gennaio – dicembre 2014

Per valutare la capacità del sistema modellistico SPARTA di stimare correttamente la componente marina, viene utilizzato un ampio data-set di misure, ottenute nell'ambito del Progetto PATOS. Nel corso di numerose campagne di misura, il particolato è stato campionato su base giornaliera a giorni alterni, per periodi più brevi su base oraria, in siti di diversa tipologia, permettendo di ottenere informazioni sulla composizione chimica del PM, e quindi anche sulla componente legata allo spray marino.



Fig. 15 - Metodologie analitiche utilizzate nel progetto PATOS: PIXE, cromatografia ionica, analisi termo-ottica, ICP-AES.

In prima battuta sono stati presi in esame i dati ottenuti nella campagna di misure svolta nel 2014, nei siti di Livorno La Pira (costiero) e di Montale (nell'entroterra); per i dati di vento sono state considerate le stazioni meteo Comma (Livorno) e La Ferruccia (nei pressi della stazione di Montale).

Per valutare le prestazioni della nuova configurazione di SPARTA rispetto a quelle della precedente configurazione, sono state ripetute le run modellistiche per alcuni mesi del 2014, con le seguenti caratteristiche: (1) per febbraio, giugno e luglio – nuova versione WRF, nuova versione CAMx con modulo OCEANIC e (2) solo per febbraio – nuova versione WRF, nuova versione CAMx senza modulo OCEANIC.

I risultati ottenuti con la nuova configurazione (con e senza il modulo OCEANIC) e con la vecchia configurazione sono stati confrontati con i dati misurati di spray marino e di velocità del vento. In tabella 1 sono riportati i coefficienti di correlazione (CORR) e il fractional bias (FB) per i parametri oggetto di valutazione, relativi alle varie configurazioni.



	SPARTA			FEBBRAIO			FEBBRAIO/GIUGNO/LUGLIO			0		
	VERSIONE VERSIONE MODULO		PARAMETRO	LIVORNO		MONTALE		LIVORNO		MONTALE		
	WRF	CAMx	ATTIVO		CORR	FB	CORR	FB	CORR	FB	CORR	FB
WRF old	WRF-ARW v3.9			VEL.VENTO	0.16	-0.15	0.29	0.23	0.36	-0.18	0.51	0.39
WRF new	WRF-ARW v4.1			VEL.VENTO	0.65	0.17	0.55	0.38	0.67	0.19	0.70	0.42
CAMx old		CAMx v5.4	-	SPRAY MARINO	0.70	-1.07	0.70	-0.56	0.76	-1.07	0.75	-0.52
CAMx new		CAMX v6.5	OCEANIC v4.2	SPRAY MARINO	0.74	-0.74	0.41	0.05	0.76	-0.65	0.54	0.10
CAMx new no oceanic		CAMX v6.5	-	SPRAY MARINO	0.69	-0.83	0.40	0.02				

Tab. 1 – Coefficienti di correlazione e fractional bias per i risultati delle diverse configurazioni e i dati misurati (velocità del vento, concentrazione di spray marino), presso Livorno e Montale, nel mese di febbraio e per i mesi febbraio giugno e luglio.

Per quanto riguarda il vento, in entrambe le stazioni le stime ottenute con WRF nella vecchia configurazione mostrano valori del coefficiente di correlazione nettamente inferiori rispetto ai risultati ottenuti con la nuova configurazione; i valori di FB con la nuova configurazione indicano una sovrastima, minore a Livorno (stazione meteo Comma) rispetto a Montale (stazione meteo La Ferruccia). Nei grafici sono riportati gli andamenti orari dei dati misurati e delle stime di velocità del vento, con la nuova configurazione, per i mesi giugno e luglio: nel caso di Montale la correlazione nei soli mesi estivi (0.74) è maggiore rispetto al mese invernale (0.55), in quanto il modello riproduce correttamente il regime di brezza prevalente in questa stagione.



Fig. 16 – Confronto stime ottenute da WRF-new (linea rossa) e misure (linea blu) della velocità media oraria a Livorno (stazione COMMA) e presso Montale (stazione La Ferruccia), nei mesi giugno e luglio 2014.

Il campione relativo alle misure della concentrazione di sale marino utilizzato per il confronto con le stime modellistiche è molto esiguo, trattandosi di misure effettuate ogni due giorni. Nel mese di febbraio, si può confrontare la vecchia configurazione, la nuova e la nuova in assenza del modulo OCEANIC. Per quanto riguarda la stazione di Livorno, con la nuova configurazione si hanno risultati migliori, sia come correlazione che come FB, con una riduzione della sottostima; in assenza del modulo OCEANIC i risultati sono peggiori. Montale, invece, pur mostrando un buon indice FB nella nuova configurazione, ha un indice di correlazione peggiore; la variazione introdotta dal modulo OCEANIC è molto limitata, confermando che l'effetto di aumento del sale marino è significativo solo in prossimità della costa. Considerando i tre mesi, Livorno mostra lo stesso indice di correlazione tra la nuova e la vecchia versione e una sottostima inferiore con la nuova configurazione. Nella stazione Montale anche considerando i mesi estivi si hanno indici di correlazione inferiori con la nuova e nuova en sottostima inferiore con la nuova configurazione. Nella stazione Montale anche considerando i mesi estivi si hanno indici di correlazione inferiori con la nuova configurazione, ma un FB migliore.

I grafici a barre mostrano i risultati ottenuti nei tre mesi con la nuova configurazione, confrontati con le misure: in generale gli episodi più importanti sono individuati dal modello, anche se sono spesso sottostimati a Livorno, mentre a Montale a volte sono sottostimati, a volte sovrastimati.





Fig. 17 – Confronto stime (rosso) e misure (blu) della concentrazione media giornaliera di spray marino a Livorno (sopra) e a Montale (sotto), nei mesi febbraio, giugno e luglio 2014.

Per completare il confronto, sono riportate le mappe della concentrazione media nel mese di febbraio, con la vecchia configurazione, con la nuova e con la nuova in assenza del modulo OCEANIC. Con la nuova configurazione (mappa centrale) si ha un sensibile aumento della concentrazione rispetto alla vecchia (mappa a sinistra), mentre la mappa a destra (nuova configurazione in assenza del modulo OCEANIC) mostra una lieve diminuzione di concentrazione rispetto alla mappa centrale.



Fig. 18 – Concentrazione media mensile di spray marino con la vecchia configurazione (sinistra), nuova (centro), nuova senza modulo spray (destra).

In sintesi, questi primi confronti mostrano che le stime di sale marino ottenute con la nuova configurazione del sistema modellistico sono più attendibili rispetto a quanto ottenuto precedentemente. Il miglioramento è probabilmente attribuibile all'aggiornamento del modello meteo WRF, mentre l'introduzione del modulo specifico per la stima dello spray marino sembra influenzare la concentrazione di questa componente prevalentemente sulla costa.



Campagna di misure PATOS3 - aprile 2019 – marzo 2020

Il sistema modellistico aggiornato è stato applicato al periodo aprile 2019 – marzo2020, in concomitanza con la disponibilità delle misure in situ. Le mappe della concentrazione media mensile permettono di visualizzare la distribuzione spaziale dello spray marino sul territorio regionale (Fig.19-20). A partire da aprile, la concentrazione di sale marino va diminuendo, limitandosi alle aree costiere, fino a luglio e agosto, in cui le mappe mostrano valori molto bassi. Da settembre i valori di concentrazione prendono a risalire: in particolare da novembre a febbraio si hanno i valori più alti, in relazione a una maggiore frequenza di episodi di forte vento dai quadranti occidentali, soprattutto da nord ovest (Maestrale).



Fig. 19 – Concentrazione media mensile di spray marino da aprile 2019 a settembre 2019.



Fig. 20 – Concentrazione media mensile di spray marino da ottobre 2019 a marzo 2020.



I dati sperimentali di spray marino ottenuti nell'ambito di PATOS3, relativi ai siti di Capannori e Figline sono stati confrontati con le stime prodotte da SPARTA. Nei due siti sono stati svolti campionamenti a giorni alterni, mentre in alcuni periodi in cui erano stati previste intrusioni di polvere desertica, le misure sono state effettuate su base giornaliera in continuo. Nelle stazioni di Capannori e Figline non sono presenti anemometri, quindi per la valutazione delle stime di vento è stata utilizzata la stazione di Livorno (Comma), in continuità con la validazione dei mesi febbraio giugno luglio 2014.

		Livorno		Сара	nnori	Figline		
		CORR	FB	CORR	FB	CORR	FB	
	2019-2020	0.88	0.14	\	\	\	\	
	estate	0.84	0.09	\	\	\	\	
wrf	inverno	0.88	0.17	\	\	\	\	
	2019-2020	\	١	0.85	0.82	0.78	1.01	
	estate	\	\	0.80	1.01	0.63	1.28	
camx	inverno	\	\	0.86	0.70	0.82	0.87	

Tab. 2 – Coefficienti di correlazione e fractional bias per le stime di vento presso Livorno, le stime di concentrazione di spray marino a Capannori e Figline e per i dati misurati (rispettivamente velocità del vento e concentrazione di spray marino), su base annuale e stagionale (aprile-2019 – marzo 2020).



Fig. 21 – Velocità media giornaliera del vento, da aprile 2019 a marzo 2020, Livorno (Comma). Stime WRF (linea rossa), misure (linea blu).



Fig. 22 – Rose dei venti basate su base giornaliera, da aprile 2019 a marzo 2020, Livorno (Comma). Stime WRF (destra), misure (sinistra).



I risultati ottenuti considerando la velocità media giornaliera del vento sono molto buoni, con coefficienti di correlazione di 0.88 in inverno e nell'anno, 0.84 in estate: anche i valori di FB sono buoni, indicando una leggera sovrastima (Tab. 2). Il grafico della velocità media giornaliera conferma il buon accordo stime-misure (Fig. 21). Per quanto riguarda la direzione del vento, le rose dei dati misurati e stimati evidenziano che il modello individua correttamente il vento proveniente da est, mentre mostra una prevalenza del vento proveniente da ovest rispetto alla direzione nord-ovest, prevalente nei dati misurati (Fig. 22).

Come già detto, il campione di dati per il confronto stime-misure è costituito da dati di concentrazione media giornaliera campionati a giorni alterni (in continuo per alcuni periodi): in totale i dati analizzati sono 195 per la stazione di Capannori, 205 per la stazione di Figline.

I valori di correlazione per Capannori sono molto buoni su base annua (0.85) e in inverno (0.86), leggermente inferiori nel semestre caldo (0.80): i valori di FB evidenziano una sovrastima, maggiore in estate. Anche la stazione di Figline mostra risultati discreti in termini di correlazione, migliori in inverno: anche in questo caso il modello sovrastima sempre e in misura maggiore d'estate (Tab. 2).

Anche i grafici, come i coefficienti di correlazione e FB, evidenziano un buon accordo, soprattutto nel periodo invernale caratterizzato da episodi più intensi. Il modello riproduce meglio gli episodi con valori di concentrazione più alti, mentre tende a sovrastimare in corrispondenza di valori misurati bassi (periodo estivo) (Fig. 23). Per completare l'analisi, per ciascun sito sono riportati le rose dei venti e i polar-plot.





Fig. 23 – – Confronto stime (rosso) e misure (blu) della concentrazione media giornaliera di spray marino a Capannori (sopra) e a Figline (sotto), nel periodo aprile 2019-marzo 2020.





Fig. 24 – Polar-plot su base giornaliera, da aprile 2019 a marzo 2020, stime di spray marino (destra), misure di spray marino (sinistra). Sito Capannori.

I polar-plot mettono in relazione la direzione e la velocità del vento con i valori di concentrazione del sale marino: la scala di colori indica i valori di concentrazione, i cerchi concentrici la velocità del vento, la direzione è espressa in gradi, analogamente alla rosa dei venti. Le coppie di polar-plot riportati nelle figure mostrano i valori di concentrazione di sale marino stimati nella figura a sinistra, i valori di concentrazione misurati nella figura di destra, entrambi in relazione al vento stimato, per il sito di Capannori (Fig. 24) e di Figline (Fig.25).

Si può notare la notevole similitudine delle coppie di polar-plot, indice di una buona capacità del modello di riprodurre il fenomeno in esame. Nel caso di Capannori i valori di concentrazione più alti si verificano in corrispondenza di venti forti provenienti da ovest. Nel caso di Figline invece le direzioni del vento che si associano a concentrazioni di sale marino più significative sono nord-ovest e sud est, lungo l'asse della vallata in cui si trova Figline.



Fig. 25 – Polar-plot su base giornaliera, da aprile 2019 a marzo 2020, stime di spray marino (destra), misure di spray marino (sinistra). Sito Figline.



Per effettuare il confronto stime-misure è stato utilizzato un campione ridotto, relativo a dati mediati su base giornaliera e corrispondenti alle misure, campionate a giorni alterni. Per completare le analisi, di seguito sono riportate le rose dei venti e i polar-plot relativi alle stime orarie (figure a sinistra) e su base giornaliera (figure a destra) del campione di dati completo, relativo al periodo in esame. Confrontando i polar-plot delle stime medie giornaliere del campione completo e del campione ridotto si trova una sostanziale corrispondenza, indice del fatto che il campione ridotto è rappresentativo del periodo in esame. Confrontando invece le rose dei venti e i polar-plot su base oraria e su base giornaliera, si possono notare alcune differenze nella direzione di provenienza dei valori più alti di concentrazione. In effetti le rose dei venti su base oraria e su base giornaliera sono simili, ma non identiche, in quanto le direzioni prevalenti individuate nei grafici orari restano significative anche nei grafici giornalieri, mentre le direzioni con meno valori tendono a ridursi: ad esempio, nel caso di Capannori, la direzione sud-ovest su base oraria si riduce moltissimo, andando ad aumentare il settore ovest, su base giornaliera. Di conseguenza, nei polar-plot i dati di concentrazione più alta provenienti da sud-ovest su base oraria sono attribuiti al settore ovest su base giornaliera. Questa differenza tra i polar-plot su base oraria e su base oraria e su base giornaliera. Questa differenza tra i polar-plot su base oraria e su base oraria si riduce nel grafici più alta provenienti da sud-ovest su base oraria sono attribuiti al settore ovest su base giornaliera. Questa differenza tra i polar-plot su base oraria e su

Per quanto riguarda Figline, a livello orario le concentrazioni di sale marino più alte derivano da ovest, mentre le concentrazioni da sud- est sono decisamente inferiori e corrispondenti a venti di debole intensità. Nel plot su base giornaliera invece la direzione di provenienza è nord-ovest e le concentrazioni da sud-est sono più evidenti.



Fig. 26 – Rose dei venti e polar-plot su base oraria (sinistra), su base giornaliera (sinistra). Sito Capannori (sopra), Figline (sotto).

Di seguito sono riportati anche le rose dei venti e i polar-plot corrispondenti a Viareggio e Livorno, considerando stime di vento e di concentrazione su base oraria e su base giornaliera. In questi due casi non c'è una variazione della direzione di provenienza dei valori di concentrazione più alti nei plot orari e giornalieri; i valori di concentrazione più alti provengono da sud-ovest, ovest per Viareggio, da ovest, nord-ovest per Livorno.





Fig. 27 – Rose dei venti e polar-plot su base oraria (sinistra), su base giornaliera (sinistra). Sito Viareggio (sopra), Livorno (sotto).



3. Individuazione degli episodi di intrusioni di polvere desertica e di trasporto di spray marino

Il Consorzio LaMMA nel progetto PATOS3 ha fornito supporto alle campagne di misura, attraverso la caratterizzazione meteorologica e l'individuazione degli episodi favorevoli alla formazione e al trasporto di spray marino, in modo da scegliere alcuni campioni di PM10 della stazione di Viareggio da sottoporre alle analisi per la determinazione della composizione chimica. Inoltre è stato messo a punto un sistema per prevedere l'ingresso di polvere desertica per il giorno stesso e i tre successivi, per consentire di effettuare campionamenti giornalieri invece di campionamenti a giorni alterni.

Individuazione degli episodi di spray marino

La definizione dei giorni con alta concentrazione di spray marino è basata sull'analisi di dati relativi alla precedente campagna di misura del 2014, in cui la componente marina è stata rilevata nei campioni prelevati nelle stazioni di Livorno La Pira e di Montale. I dati di vento utilizzati sono quelli relativi alla stazione meteo del COMMA di Livorno e alla stazione meteo La Ferruccia, nei pressi di Montale.

Nella seguente tabella sono riportati i coefficienti di correlazione tra i dati di velocità media giornaliera del vento (sia misurati che stimati da WRF) e i dati di concentrazione di spray marino (sia misurati che stimati da CAMx) per il periodo febbraio, giugno, luglio 2014. Si nota che il vento misurato a Livorno è molto correlato non solo con le misure di spray marino della stazione di La Pira, ma anche con quelle della stazione di Montale; al contrario, la concentrazione di sale marino di Montale non è correlata con il vento misurato a La Ferruccia. Quindi sembra che anche l'aerosol marino misurato nelle aree interne sia in stretta correlazione con il vento misurato sulla costa, mentre non si riscontra alcuna correlazione rispetto al vento locale. La seguente tabella, oltre a evidenziare la correlazione tra vento misurato a Livorno e misure e stime di spray marino sia a Livorno che a Montale, evidenzia anche la buona correlazione tra misure di concentrazione nei due sti (0.94). Anche questo dato evidenzia che il fenomeno del trasporto di spray marino coinvolge non solo la costa ma anche aree interne, come del resto confermato dai risultati modellistici. In effetti, anche l'analisi dei risultati delle simulazioni con il sistema modellistico SPARTA ha evidenziato che gli episodi importanti di spray marino coinvolgono contemporaneamente tutta l'area regionale, anche se con diversi livelli di concentrazione (Fig. 19-20).

		Livo	orno	Montale		
febbraio g	giugno luglio	Sea obs.	Sea camx	Sea obs.	Sea camx	
	VV obs.	0.80	0.58	0.56	0.45	
Livorno	VV wrf	0.59	0.65	0.36	0.61	
	VV obs.	0.18	0.19	0.10	0.23	
Montale	VV wrf	0.10	0.15	0.04	0.20	
	Sea obs.	1.00	0.76	0.86	0.55	
Livorno	Sea camx	0.76	1.00	0.71	0.94	
	Sea obs.	0.86	0.71	1.00	0.54	
Montale	Sea camx	0.55	0.94	0.54	1.00	

Tab. 3 – Coefficienti di correlazione tra valori di velocità del vento (VV) misurati (obs.) e stimati (wrf) rispetto a valori di concentrazione di spray marino (sea) misurati (obs.) e stimati (camx), presso Livorno e Montale; coefficienti di correlazione tra valori di concentrazione di spray marino (sea) misurati (obs.) e stimati (camx). Periodo: febbraio giugno e luglio 2014.

Di seguito (Fig. 28) sono riportati i grafici relativi al periodo gennaio – agosto 2014 in cui sono presenti sia le misure di spray marino, sia le misure di vento di Livorno. Anche in questo modo si evidenzia la correlazione tra vento forte sulla costa e picchi di spray marino, sia a Livorno (correlazione 0.74) che a Montale (correlazione 0.67).





Fig. 28 – Concentrazione media giornaliera di spray marino misurata nei siti di Livorno e Montale, velocità media giornaliera misurata nella stazione di Livorno, gennaio – agosto 2014.

loa ohs

VV LL obs.

soglia

Si è quindi ipotizzato di individuare le condizioni meteo favorevoli alla produzione e al trasporto di spray marino utilizzando i dati di vento misurati nella stazione meteo di Livorno. La soglia proposta prevede VV> 4 m/s e DV proveniente dai settori occidentali (SW, W, NW; da 202,5 deg a 337,5 deg,). Con questa ipotesi, su 138 campioni prelevati a Livorno 13 corrispondono a giornate di vento sopra soglia: il valore medio della concentrazione di spray marino in questi giorni è pari a 7.6 μ g/m3, mentre il valor medio dell'intero periodo è 1.9 μ g/m3. Analogamente per Montale, i giorni in corrispondenza del vento sopra soglia sono 12 su un totale di 157, il valor medio di concentrazione è 3.1 μ g/m3 con vento sopra soglia, 0.7 μ g/m3 come media del periodo (Tab. 4).

	1 gennaio 33	Lagosto 2014
	sea Livorno obs.	sea Montale obs.
n valori	138	157
media (µg/m3)	1.9	0.7
n valori VV>soglia	13	12
media VV>soglia	7.6	3.1
correlazione con VV	0.80	0.58

Tab. 4 – Numero dei campioni totali, concentrazione media, campioni sopra soglia e relativo valore di concentrazione media, presso Livorno e Montale, nel periodo gennaio-agosto 2014.

In sintesi, il vento misurato a Livorno è molto correlato con le misure di spray marino sia di Livorno che di Montale. L'aerosol marino, anche nelle aree interne, è quindi in stretta correlazione con il vento misurato sulla costa; inoltre nell'entroterra non si riscontra alcuna correlazione tra misure di spray marino e vento locale. Si



è quindi ipotizzato di individuare le condizioni meteo favorevoli alla produzione e al trasporto di spray marino utilizzando i dati di vento misurati nella stazione meteo di Livorno, che, sulla base della soglia proposta, ha permesso effettivamente di individuare gli episodi di interesse.

Campagna di misure PATOS3 - aprile 2019 – marzo 2020

Per l'individuazione dei giorni con meteo favorevole alla formazione e trasporto dello spray marino durante la campagna di misure PATOS 2019-2020 sono stati utilizzati quindi i dati della stazione di Livorno e la soglia scelta sulla base dell'analisi del 2014. Di seguito sono riportati i giorni indicati come "spray marino", dal laprile 2019 al 31 marzo 2020.

PATOS3 - 1 aprile 2	PATOS3 - 1 aprile 2019 31 marzo 2020							
04/04/2019 spray marino	17/11/2019 spray marino							
05/04/2019 spray marino	27/11/2019 spray marino							
08/04/2019 spray marino	28/11/2019 spray marino							
26/04/2019 spray marino	29/11/2019 spray marino							
27/04/2019 spray marino	09/12/2019 spray marino							
28/04/2019 spray marino	14/12/2019 spray marino							
09/05/2019 spray marino	20/12/2019 spray marino							
10/05/2019 spray marino	21/12/2019 spray marino							
19/05/2019 spray marino	22/12/2019 spray marino							
20/05/2019 spray marino	24/12/2019 spray marino							
08/07/2019 spray marino	28/01/2020 spray marino							
28/07/2019 spray marino	29/01/2020 spray marino							
29/07/2019 spray marino	04/02/2020 spray marino							
13/08/2019 spray marino	10/02/2020 spray marino							
08/09/2019 spray marino	11/02/2020 spray marino							
09/09/2019 spray marino	12/02/2020 spray marino							
25/09/2019 spray marino	14/02/2020 spray marino							
02/10/2019 spray marino	26/02/2020 spray marino							
10/10/2019 spray marino	27/02/2020 spray marino							
16/10/2019 spray marino	01/03/2020 spray marino							
03/11/2019 spray marino	02/03/2020 spray marino							
04/11/2019 spray marino	03/03/2020 spray marino							
05/11/2019 spray marino	06/03/2020 spray marino							
06/11/2019 spray marino								

Tab. 5 – Elenco dei giorni con condizioni meteo favorevoli alla produzione e trasporto di spray marino, dal 1aprile 2019 al 31 marzo 2020.

Per valutare il metodo proposto e la scelta della soglia, sono stati analizzati i risultati ottenuti dal sistema modellistico SPARTA, in particolare la stima del sale marino presso Viareggio, Livorno, Capannori, Figline: è stato calcolato l'indice di correlazione con la velocità media giornaliera misurata presso la stazione meteo di Livorno, il numero di giorni sopra soglia, la corrispondente concentrazione media e quella relativa all'intero periodo (Tab.5), per le stime e per i dati misurati (per i siti di Capannori e Figline). Di seguito sono riportati i grafici della concentrazione media giornaliera di spray marino con la velocità del vento misurata nella stazione meteo di Livorno. Per Capannori e Figline sono riportati anche i grafici delle misure di spray marino e del vento misurato a Livorno, come pure i coefficienti di correlazione e i valori medi in Tab. 6.



		PATOS3 - 1 aprile 2019 31 marzo 2020							
	sea Capannori obs.	sea Figline obs.	sea Viareggio camx	sea Livorno camx	sea Capannori camx	sea Figline camx			
n valori	199	329	355	355	355	355			
media (µg/m3)	0.9	0.6	2.5	2.8	2.4	2.0			
n valori VV>soglia	24	27	47	47	47	47			
media VV>soglia	3.8	2.2	7.0	8.0	6.6	5.6			
correlazione con VV	0.68	0.72	0.60	0.69	0.62	0.64			

Tab. 6 – Numero dei campioni totali, concentrazione media di spray marino, campioni sopra soglia e relativo valore di concentrazione media, presso Capannori, Figline, Viareggio, Livorno; coefficiente di correlazione tra la velocità del vento misurata a Livorno e la concentrazione misurata e stimata, nel periodo aprile 2019 – marzo 2020.

Come si può notare dai grafici (Fig. 29-30) e dalla tabella 6, le stime di concentrazione e la velocità del vento misurato a Livorno sono molto correlate (da 0.69 di Livorno a 0.60 di Viareggio); anche i dati misurati mostrano indici di correlazione alti, 0.68 a Capannori, 0.72 a Figline. I giorni favorevoli allo spray marino sono poco più del 10% del campione e il corrispondente valore di concentrazione medio stimato è decisamente più alto del valore relativo a tutto il periodo (8 μ g/m3 rispetto a 2.8 μ g/m3 a Livorno; 7 μ g/m3 rispetto a 2.5 μ g/m3 a Viareggio); analogamente, anche i dati misurati mostrano risultati simili, con valori medi di concentrazione in corrispondenza del vento sopra soglia molto superiori rispetto ai valori medi di tutto il periodo (Fig. 31).



Fig. 29 – Concentrazione media giornaliera di spray marino stimata nei siti di Viareggio, Livorno, velocità media giornaliera misurata nella stazione di Livorno.





Fig. 30 – Concentrazione media giornaliera di spray marino stimata nei siti di Capannori, Figline, velocità media giornaliera misurata nella stazione di Livorno.



Fig. 31 – Concentrazione media giornaliera di spray marino misurata nei siti di Capannori, Figline, velocità media giornaliera misurata nella stazione di Livorno.

In sintesi, per l'individuazione dei giorni favorevoli alla formazione e al trasporto di spray marino è possibile fare riferimento alla stazione meteo di Livorno, dal momento che il fenomeno in esame ha effetti significativi non solo sulla costa in prossimità della stazione, ma anche nelle aree interne. Sulla base dei dati di vento rilevati nel periodo di interesse e della scelta di valori soglia è stato possibile individuare giorni in cui il contributo dello spray marino al PM10 dovrebbe essere significativo anche nella centralina di Viareggio, in modo da permettere una scelta oculata dei filtri da sottoporre ad analisi per la determinazione della composizione chimica.



Individuazione degli episodi di polvere desertica

E' stato messo a punto un sistema per prevedere l'ingresso di polvere desertica per il giorno stesso e i tre successivi (96 ore). Si tratta di previsioni ottenute dal modello CHIMERE, estratte in corrispondenza di alcune stazioni ARPAT (Bassi, Figline, Capannori, Viareggio, Casastabbi, Montecerboli). Sono state scelte soglie di allerta e di preallerta, sulla base di uno studio sulle stime dei modelli CAMx e CHIMERE nel biennio 2017-2018. Nel caso in cui siano superate le soglie, viene inviata una mail con le previsioni per le successive 96 ore, in modo da permettere di effettuare un campionamento quotidiano. Il sistema è entrato in funzione da aprile 2019. Di seguito i giorni con previsione "alert dust" dal 1 aprile 2019 al 31 marzo 2020 (Tab. 7).

PATOS3 - 1 aprile 2019 31 marzo 2020							
20190422	alert dust	20190808	alert dust				
20190423	alert dust	20190812	alert dust				
20190424	alert dust	20190813	alert dust				
20190425	alert dust	20190918	alert dust				
20190426	alert dust	20191024	alert dust				
20190527	alert dust	20191025	alert dust				
20190528	alert dust	20191029	alert dust				
20190529	alert dust	20191206	alert dust				
20190607	alert dust	20191207	alert dust				
20190610	alert dust	20191219	alert dust				
20190612	alert dust	20191220	alert dust				
20190614	alert dust	20200123	alert dust				
20190615	alert dust	20200124	alert dust				
20190616	alert dust	20200125	alert dust				
20190622	alert dust	20200126	alert dust				
20190623	alert dust	20200127	alert dust				
20190628	alert dust	20200204	alert dust				
20190707	alert dust	20200327	alert dust				
20190709	alert dust	20200328	alert dust				
20190710	alert dust	20200329	alert dust				
20190802	alert dust	20200330	alert dust				
20190807	alert dust						

Tab. 7 – Elenco dei giorni con condizioni meteo favorevoli al trasporto di polvere desertica, dal 1aprile 2019 al 31 marzo 2020.

Anche in questo caso si valuta il metodo proposto per l'individuazione degli episodi di trasporto di polvere desertica, considerando le stime modellistiche nei siti di Viareggio, Livorno, Capannori, Figline: nella tabella seguente sono riportati il numero di giorni sopra soglia (alert), la corrispondente concentrazione media e quella relativa all'intero periodo, anche per i dati misurati a Capannori e Figline (Tab.8). Gli episodi di trasporto segnalati sono poco più del 10% del campione; il valore di concentrazione media durante gli episodi è molto maggiore rispetto alla media di tutto il periodo, in tutte le stazioni, sia per le stime che per le misure.



	PATOS3 - 1 aprile 2019 31 marzo 2020							
	soli dust Capannori	soil dust Figline o	dust Viareggio cam	dust Livorno camx	dust Capannori cam	dust Figline cam		
n valori	199	211	364	364	364	364		
media (µg/m3)	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0	2.1		
n valori alert	26	22	43	43	43	43		
media alert	6.7	6.2	11.7	10.6	10.0	10.9		

Tab. 8 – Numero dei campioni totali, concentrazione media di dust, campioni sopra soglia (alert) e relativo valore di concentrazione media, presso Capannori, Figline, Viareggio, Livorno, nel periodo aprile 2019 – marzo 2020.

Le analisi chimico-fisiche dei campioni relativi ai siti di Capannori e Figline hanno permesso di ottenere la concentrazione dei principali componenti del PM10, incluso il contributo crostale, che è stato confrontato con le stime modellistiche relative alla polvere desertica. In questo caso, il confronto stime-misure non corrisponde del tutto, in quanto nel contributo crostale ottenuto dalle misure è incluso anche una componente di polvere locale, e non soltanto il contributo desertico. Nella Fig. 32 sono riportati i grafici della concentrazione media giornaliera nel periodo aprile 2019 – marzo 2020 nei due siti di campionamento Capannori e Figline, mentre in tabella 8 sono riportati i coefficienti di correlazione e fractional bias tra stime e misure, per tutto il periodo, per il semestre caldo (aprile-settembre) e per il semestre freddo (ottobre-marzo).

	Сара	nnori	Figline			
CORR FI		FB	CORR	FB		
2019-2020	0.68	-0.23	0.76	-0.19		
estate	0.77	0.06	0.77	0.05		
inverno	0.53	-0.97	0.13	-1.05		

Tab. 9 – Coefficienti di correlazione e fractional bias per i dati misurati di concentrazione di contributo crostale e le stime di polvere desertica a Capannori e Figline, su base annuale e stagionale (aprile-2019 – marzo 2020).

I coefficienti sono buoni a livello annuo; a livello stagionale sono migliori in estate, in presenza di episodi di trasporto più importanti e decisamente inferiori in inverno, quando gli episodi sono generalmente inferiori. Nel periodo invernale Capannori ha un valore migliore rispetto a Figline (che ha un valore molto basso) per la presenza del picco di polvere desertica di fine marzo, periodo in cui non sono presenti i dati misurati di Figline.

Il confronto grafico stime-misure (Fig.32) mostra che gli episodi di intrusioni di polvere desertica sono individuati, anche se sono generalmente sovrastimati nel periodo estivo e sottostimati in inverno.

I polar-plot delle stime di concentrazione in funzione del vento aiutano a caratterizzazione gli episodi di dust o spray marino, individuando le direzioni di provenienza, al variare della stagione: Capannori e Figline (Fig. 40 e Fig. 43 rispettivamente) sono riportati nella terza sezione, mentre di seguito sono riportati i polar-plot relativi ai siti di Livorno e Viareggio.







Fig. 32 – Concentrazione media giornaliera nel periodo aprile 2019 marzo 2020 di polvere desertica (stima) e contributo crostale (misure), nei siti Capannori e Figline.



Fig. 33 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di dust (sopra) e spray marino (sotto) in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Viareggio.





Fig. 34 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di dust (sopra) e spray marino (sotto) in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Livorno.



4. Analisi della componente antropica e naturale del PM10

In questa quarta sezione viene discussa la validazione delle stime modellistiche del sistema SPARTA attraverso il confronto con il dataset di misure ottenuto dall'Università di Firenze mediante l'analisi composizionale del particolato. Le componenti del particolato PM10 che vengono prese in esame, oltre alla componente naturale dust e spray marino già analizzate nelle precedenti sezioni, sono i composti organici (indicati con la sigla POM, che comprende sia i composti organici primari che secondari), il carbonio elementale (EC), i nitrati, i solfati e l'ammonio.

Il campionamento nel periodo aprile 2019–marzo 2020 è stato effettuato su base giornaliera a giorni alterni, salvo durante gli episodi di intrusioni desertiche previsti, in cui sono stati effettuati campionamenti quotidiani, come descritto nella precedente sezione. In totale, i campioni analizzati e confrontati con le stime da modello sono stati pari a 195 per il sito di Capannori (dal 1/04/19 al 30/03/20) e 205 per il sito di Figline (dal 1/04/19 al 22/03/20).

		(APANNOR	RI 🛛	FIGLINE			
aprile 2019 - marzo 2020		anno	estate	inverno	anno	estate	inverno	
	CORR.	0.76	0.67	0.75	0.69	0.71	0.73	
	FB	-0.33	-0.24	-0.39	-0.29	-0.25	-0.35	
	media obs.	28.79	19.43	41.16	19.82	16.55	23.95	
PM10	media mod.	20.58	15.27	27.59	14.72	12.90	17.01	
	CORR.	0.48	0.36	0.62	0.34	0.10	0.57	
	FB	0.32	0.39	0.14	0.47	0.51	0.35	
	media obs.	1.97	2.36	1.46	1.49	1.89	1.00	
solfati	media mod.	2.72	3.51	1.68	2.42	3.18	1.46	
	CORR.	0.79	0.68	0.74	0.74	0.64	0.68	
	FB	0.68	0.66	0.69	0.89	0.78	0.91	
	media obs.	1.74	1.07	2.63	1.03	0.64	1.51	
nitrati	media mod.	3.54	2.12	5.43	2.69	1.46	4.24	
	CORR.	0.37	0.39	0.51	0.16	0.11	0.53	
	FB	0.88	0.59	1.24	0.71	0.36	1.20	
	media obs.	0.46	0.56	0.33	0.43	0.58	0.24	
ammonio	media mod.	1.19	1.03	1.40	0.90	0.84	0.99	
	CORR.	0.86	0.50	0.78	0.84	0.33	0.79	
	FB	-1.18	-1.34	-1.12	-1.32	-1.36	-1.32	
	media obs.	15.72	7.54	26.52	10.37	6.49	15.33	
POM	media mod.	4.03	1.50	7.41	2.12	1.23	3.23	
	CORR.	0.70	0.44	0.60	0.83	0.44	0.76	
	FB	0.09	0.32	-0.01	0.02	0.11	0.07	
	media obs.	1.12	0.52	1.93	0.76	0.48	1.13	
EC	media mod.	1.23	0.71	1.92	0.78	0.53	1.09	
	CORR.	0.85	0.80	0.86	0.78	0.63	0.82	
	FB	0.82	1.01	0.70	1.01	1.28	0.87	
	media obs.	0.96	0.54	1.51	0.60	0.26	1.03	
SEA	media mod.	2.31	1.67	3.15	1.88	1.31	2.60	
	CORR.	0.68	0.77	0.15	0.76	0.77	0.13	
	FB	-0.23	0.06	-1.11	-0.19	0.05	-1.05	
	media obs.	3.17	3.50	2.72	2.68	3.36	1.83	
DUST	media mod.	2.51	3.73	0.89	2.22	3.56	0.55	

Tab. 10 – Coefficienti di correlazione e fractional bias stime-misure, concentrazione media di stime (mod.) e misure (obs.), per l'intero anno, per il periodo estivo (aprile-settembre), per il periodo invernale (ottobre-marzo), per PM10, solfati, nitrati, ammonio, POM, EC, spray marino (SEA), dust.



Per valutare le prestazioni del sistema di modelli, sono stati elaborati e riportati in tabella alcuni indicatori statistici, in particolare l'indice di correlazione (CORR) e il fractional bias (FB), il valore di concentrazione media delle stime (mod.) e delle misure (obs.), per l'intero anno, per il periodo estivo (aprile-settembre), per il periodo invernale (ottobre-marzo); gli inquinanti considerati sono PM10, solfati, nitrati, ammonio, POM, EC, spray marino (SEA), dust (Tab. 10).

Sono stati elaborati gli istogrammi che contrappongono stime e misure di PM10 e di tutti i componenti, nei siti di Capannori e Figline: nelle precedenti sezioni, nelle figure 23 e 32 sono riportati i grafici relativi rispettivamente allo spray marino e al dust, mentre in figura 35 sono riportati i composti inorganici, i solfati, i nitrati e l'ammonio e infine in figura 36 il PM10, i composti organici e il carbonio elementare.

Per quanto riguarda il PM10, in entrambi i siti, sia dagli indici statistici che dai grafici si riscontra una buona correlazione stime-misure (maggiore di 0.70) e una sottostima dell'ordine del 30% a livello annuo, più marcata nel periodo invernale soprattutto a Capannori. Il PM10 non è costituito solo dalla somma dei componenti riportati in tabella, ma anche da una frazione residuale: questa frazione nel PM10 stimato corrisponde alla componente primaria non organica di origine antropica, sia fine che grossolana (in seguito PRM), mentre nei dati misurati questa corrisponde ad un residuo non identificato. La frazione residuale ha quindi un diverso significato come stima modellistica o come misura, di conseguenza per questa frazione non viene effettuato nessun confronto stime-misure.

Solfati – Questa componente è maggiore nel periodo estivo, derivando in buona parte dal trasporto long-range: la correlazione stime-misure è discreta in inverno, con FB che indica una piccola sovrastima, mentre in estate la correlazione è decisamente inferiore e anche FB indica una significativa sovrastima, in entrambi i siti. Dai grafici (Fig. 34) si può notare che nei 15 giorni che vanno dal 12 al 26 luglio (campionamento quotidiano) le stime modellistiche in entrambi i siti evidenziano un picco che non è invece registrato dalle misure; inoltre negli stessi giorni si evidenzia un analogo picco anche nelle stime di ammonio, anch'esso non presente nei dati misurati. Dal momento che questo episodio riguarda due siti distanti, Capannori e Figline, si può ipotizzare che si tratti di un contributo trasportato, derivante forse dalle condizioni al contorno. Escludendo questo episodio, l'indice di correlazione e FB estivi si allineerebbero ai valori invernali, confermando la discreta capacità del modello nel riprodurre questa componente, come ottenuto nelle precedenti campagne di misura (https://www.regione.toscana.it/documents/10180/320308/Progetto%20regionale%20PATOS/058dbb3b-0356-4121-b3dd-9c1d9012696b). Da notare, nel sito di Capannori un valore di concentrazione di solfati molto alto, soprattutto nel dato misurato, il giorno 28 marzo, in corrispondenza del significativo evento di trasporto desertico di origine non sahariana, ma derivante zone desertiche prossime all'area del Mar Caspio o da aree desertiche ancora più orientali. E' possibile che la polvere desertica, trasportata attraverso aree inquinate dell'Europa dell'est, abbia favorito il trasporto di solfati prodotti in quelle aree.

Nitrati – Questa componente è maggiore nel periodo invernale, come si nota dai grafici (Fig. 34): il modello riproduce correttamente l'andamento stagionale, con valori di correlazione dell'ordine del 0.70 o maggiori (Capannori 0.79 annuo – Figline 0.74 annuo), sebbene sia presente una significativa sovrastima (Capannori 0.68 FB annuo - Figline 0.89 FB annuo).

Ammonio – Come i solfati, anche questa componente del particolato è maggiore nel semestre caldo rispetto al semestre freddo: il modello viceversa stima valori più alti in inverno, e di conseguenza l'indice di correlazione annuo non è buono, in particolare per Figline. Nel periodo invernale, invece l'indice di correlazione è migliore, dell'ordine di 0.50, sebbene FB indichi una marcata sovrastima. In estate gli indicatori statistici non sono buoni, inoltre, come per i solfati, il modello individua un picco di concentrazione non presente nelle misure: anche in questo caso, eliminando questo episodio, gli indicatori statistici migliorerebbero sensibilmente.





Fig. 35 – Confronto stime (blu) e misure (rosso) della concentrazione media giornaliera di solfati, nitrati e ammonio, nel periodo aprile 2019 marzo 2020, nei siti Capannori e Figline.





Fig. 36 – Confronto stime (blu) e misure (rosso) della concentrazione media giornaliera di PM10, POM, EC, nel periodo aprile 2019 marzo 2020, nei siti Capannori e Figline.



I composti organici (POM) e il carbonio elementale (EC) sono presenti in quantità maggiore nel periodo invernale, come confermato dalle stime modellistiche e da precedenti studi. Gli indici statistici indicano un ottimo accordo in termini di correlazione a livello annuo, sia per Capannori sia per Figline: per POM i valori sono rispettivamente 0.86 e 0.83, per EC 0.70 e 0.83, mentre su base stagionale sono decisamente migliori i valori invernali rispetto agli estivi. Considerando il FB, a fronte di una leggera sovrastima per EC (0.09 Capannori e 0.02 Figline su base annua), per quanto riguarda i composti organici POM il modello sottostima in modo molto significativo, con valori dell'ordine di -1.18; -1. 32 su base annua, ancora peggiori in inverno. Per sottolineare questo aspetto, gli istogrammi della concentrazione di POM sono riportati con due scale diverse per stime e misure: si può notare un buon accordo a conferma dell'indice di correlazione, a fronte però di un fattore 4 o 5 di differenza tra la scala delle stime rispetto a quella delle misure, rispettivamente a Capannori e a Figline (Fig. 35).

Per quanto riguarda la componente naturale, già trattata nei precedenti capitoli (Fig. 23 e 32), si riportano per completezza alcune considerazioni sugli indici statistici. Lo spray marino (SEA) è ben riprodotto dal modello, con un indice di correlazione dell'ordine di 0.80 o superiore, mentre FB indica una significativa sovrastima, soprattutto in estate: i valori più alti si registrano in inverno, in corrispondenza di forti venti dai quadranti occidentali. Il contributo crostale misurato non corrisponde esattamente alla polvere desertica stimata, in quanto è presente anche una componente di polvere locale. Ad ogni modo, l'accordo stime-misure è buono nel periodo estivo, in cui si verifica il numero maggiore di intrusioni desertiche, con indici di correlazione dell'ordine del 0.77 e FB molto basso. Nel periodo invernale, in presenza di pochi episodi, gli indici statistici non sono buoni: gli episodi sono generalmente individuati ma sottostimati.

Per completare il confronto, nelle seguenti figure sono riportati i polar-plot su base giornaliera di PM10, EC, POM per stime (sopra) e misure (sotto), e analogamente per solfati, nitrati, ammonio, nel sito di Capannori (Fig. 37) e nel sito di Figline (Fig. 38), per l'intero periodo della campagna di misure.

Capannori - Per quanto riguarda il PM10, i valori più alti si riscontrano in corrispondenza di calma di vento o venti di debole intensità, in condizioni di ristagno in cui danno il maggior contributo le sorgenti locali. Il modello individua correttamente anche il contributo proveniente da ovest, con venti moderati o forti, ma a differenza dei dati misurati, non evidenzia il contributo da sud-sudest.

Per quanto riguarda il carbonio elementare, il modello individua solo il contributo locale a fronte di calma o di venti deboli, mentre le misure individuano anche un contributo dal quadrante sud-est a fronte di venti moderati. Analogamente, anche per il POM il modello evidenzia solo il contributo locale con condizioni di ristagno, mentre le misure indicano anche un contributo da sud-sudest.

Considerando i solfati si nota che i polar-plot ottenuti da stime e da misure sono molto simili: il contributo maggiore proviene da ovest in corrispondenza di venti moderati, e può quindi derivare da sorgenti distanti.

I nitrati, come il PM10, hanno valori di concentrazione maggiori in corrispondenza di venti deboli o calma: le misure evidenziano anche un contributo minore non locale, proveniente dalle direzioni sud-sudest e ovest con venti moderati-forti, mentre con il modello questi contributi sono meno evidenti.

Per quanto riguarda l'ammonio, il polar-plot relativo alle misure mostra una concentrazione distribuita su tutte le direzioni di provenienza, con venti da deboli a forti, indicando una presenza distribuita sul territorio, mentre il modello indica una prevalenza del contributo locale con venti deboli e, in misura minore, dalla direzione sud-sudest.





Fig. 37 – Polar-plot su base giornaliera di PM10, solfati, nitrati, ammonio: stime (sopra), misure (sotto), da aprile 2019 a marzo 2020, nel sito di Capannori.





Fig. 38 – Polar-plot su base giornaliera di PM10, solfati, nitrati, ammonio: stime (sopra), misure (sotto), da aprile 2019 a marzo 2020, nel sito di Figline.



Figline – I polar-plot relativi al PM10 sono abbastanza simili, tuttavia il grafico ottenuto dalle misure indica un contributo molto esteso, con la sola esclusione della direzione nord-nordovest con venti moderati o forti, e valori più alti in corrispondenza di venti deboli o calma. Il modello evidenzia una distribuzione estesa, ma individua il contributo più alto proveniente dalla direzione nord-ovest con venti moderati, attribuendo quindi un ruolo importante al contributo trasportato rispetto al contributo locale.

Anche per il carbonio elementale e il POM I polar-plot relativi ai dati misurati sono molto simili a quello del PM10, con concentrazioni alte molto distribuite, con la sola eccezione dei dati in corrispondenza di venti forti dal quadrante nordoccidentale. Il modello per EC e POM indica invece valori di convcentrazione alti in corrispondenza di venti deboli o calme, quindi di un contributo locale, più significativo in corrispondenza di condizioni di ristagno.

Per quanto riguarda i solfati, i grafici ottenuti dalle stime e dalle misure sono simili, individuano un contributo dai quadranti occidentali (da sud-sudovest a nord-ovest).

I polar-plot relativi ai nitrati sono invece molto diversi, con un contributo maggiore derivante da sud-est con venti forti (sorgente distante) per quanto riguarda le misure; il grafico ottenuto sulla base delle stime modellistiche invece individua due contributi prevalenti, uno proveniente da sud-est con venti moderati, l'altro da nord-ovest sempre con venti moderati.

Anche i grafici relativi all'ammonio sono molto diversi: le misure individuano le stesse direzioni di provenienza dei solfati (possibile sorgente comune), mentre il modello individua le concentrazioni maggiori incorrispondeza di venti deboli o calme (prevalenti sorgenti locali).

Stime modellistiche su base oraria - campione completo

Per effettuare il confronto stime-misure è stato utilizzato un campione ridotto, mediato su base giornaliera e in corrispondenza dei capionamenti effettuati perlopiù a giorni alterni. Utilizzando invece un campione più ampio, le stime modellistiche su base oraria per l'intero periodo, è stato possibile elaborare sia i grafici con la percentuale dei componenti del PM10, sia i polar-plot su base annua e su base stagionale per la componente inorganica, per i composti organici POM (separati tra organici primari POA e secondari SOA), per lo spray marino, per il dust, per la componente residuale PRM, oltre al PM10 e al PM2.5.

Per valutare il "peso" di ciascuna componente del PM10 di seguito sono riportati i grafici con le percentuali dei componenti analizzati, su base annua e su base stagionale, per i due siti in esame.

Si nota immediatamente che la ripartizione percentuale nei due siti è molto simile, sia a livello annuale che stagionale. I composti inorganici, rispettivamente per Capannori e per Figline, su base annua sono oltre un terzo del totale, 35% e 40% rispettivamente, con un deciso incremento in estate (45% e 44%) e una riduzione in inverno (30% e 37%): le variazioni sono attribuibili ai solfati, che triplicano dall'inverno all'estate, mentre ammonio e nitrati restano circa costanti. Anche la componente naturale (polvere desertica e spray marino) è maggiore in estate (32% e 35%) rispetto all'inverno (15% e 21%). In questo caso la variazione è da attribuire al dust, mentre lo spray resta circa costante: su base annua le percentuali sono 22% e 27%. La componente carboniosa (EC, POA, SOA) è molto maggiore in inverno (33% e 25%) rispetto all'estate (16% e 14%), con valori annui pari a 26% e 20%: la variazione maggiore è attribuibile al POA, mentre EC e SOA variano poco. Infine la componente primaria non organica di origine antropica (PRM) è rispettivamente a Capannori e a Figline 17% e 13% su base annua: si evidenzia un marcato aumento in inverno (22% e 17%) rispetto all'estate (7% e 7%).





Fig. 39 – Percentuale dei componenti del particolato PM10 stimato, nel periodo aprile2019-marzo2020 (anno), aprile2019-settembre2019 (estate), ottobre2019-marzo2020 (inverno), nel sito di Capannori (sopra) e di Figline (sotto).

I polar-plot, per ciascun sito, sono organizzati in tre blocchi formati ciascuno da 4 componenti, su base annua, per il periodo estivo e invernale: il primo blocco è costituito da PM10, PM2.5, dust e spray marino (Fig. 40, Fig. 43), il secondo blocco da carbonio elementale (PEC), composti organici primari (POA), composti organici secondari (SOA), composti organici sia primari che secondari (POM) (Fig. 41, Fig. 44), il terzo blocco da nitrati, solfati, ammonio e PRM (Fig. 42, Fig. 45).

Per entrambi i siti PM10 e PM2.5 differiscono principalmente per la componente naturale (presente solo nella frazione >2.5 μ m), in particolare per il contributo del dust nel periodo estivo. Il contributo desertico nel sito di Capannori proviene in estate da est in corrispondenza di venti deboli, da nord-est con venti forti in inverno; per Figline in estate la direzione di provenienza del dust è sud, sud-est, mente in inverno è est. Per quanto riguarda lo spray marino, per Capannori la provenienza e ovest-sud-ovest con venti forti in inverno, ovest-sud-ovest e sud con venti moderati o forti in estate. Per Figline la direzione di provenienza dello spray marino è ovest in inverno, sud in estate con venti moderati o forti.





Fig. 40 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di PM10, PM2.5, dust e spray marino in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Capannori.





Fig. 41 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di carbonio elementare (pec), composti organici primari (poa), composti organici secondari (soa), composti organici sia primari che secondari (pom) in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Capannori.





Fig. 42 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di nitrati, solfati, ammonio e PRM in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Capannori.

Fig. 43 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di PM10, PM2.5, dust e spray marino in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Figline.

Fig. 44 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di carbonio elementare (pec), composti organici primari (poa), composti organici secondari (soa), composti organici sia primari che secondari (pom) in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Figline.

Fig. 45 – Polar-plot di concentrazione oraria stimata di nitrati, solfati, ammonio e prm (frazione residuale) in funzione del vento, su base annua, nel periodo estivo e invernale, nel sito di Figline.

I grafici dei composti organici POM e dei composti organici primari POA sono molto simili, dato lo scarso contributo dei composti organici secondari SOA. Per Capannori in inverno i composti organici e il carbonio elementale PEC sono presenti in alte concentrazioni con venti deboli o calma, derivando da sorgenti locali. In estate PEC e soprattutto POA hanno una distribuzione più ampia, con provenienza da ovest e nord ovest, con venti da deboli a moderati e da est-sud-est con venti deboli. Anche nel sito di Figline in inverno i composti organici e PEC sono molto localizzati lungo la direttrice nod-ovest sud-est della vallata; in estate la distribuzione è molto ampia, con valori più alti in corrispondenza della parte centrale del plot (calma venti deboli o moderati) per PEC, mentre i composti organici mostrano concentrazioni alte anche in corrispondenza di venti forti meridionali (POA) o dal quadrante sud-occidentale (SOA).

I composti inorganici, come anche il PRM, nei due siti mostrano una notevole variabilità stagionale. A Capannori i nitrati in inverno sono molto localizzati, con valori più alti in corrispondenza di venti deboli da est-sud-est, mentre in estate le maggiori concentrazioni derivano dal quadrante sudoccidentale con venti moderati. I solfati in estate mostrano una concentrazione distribuita lungo l'asse est ovest: in particolare le concentrazioni più alte provengono da ovest in corrispondenza di venti da deboli fino a molto intensi. In inverno invece valori più alti corrispondono a venti intensi da nord-est o deboli moderati da est-sud-est. L'ammonio mostra una distribuzione simile a quella dei solfati, ma le concentrazioni maggiori sono molto localizzate, in corrispondenza di venti deboli da est-sud-est. La concentrazione maggiore di PRM si verifica in inverno, in corrispondenza di venti forti provenienti da nord-est; in estate i valori sono molto più bassi e la distribuzione si allarga dalla parte centrale del plot, in corrispondenza di calme di vento o di venti da deboli a moderati. Figline – Per quanto riguarda i solfati, in estate la distribuzione è molto estesa, con valori alti in corrispondenza di venti forti da sud-sud-ovest e da est e di venti moderati da nord-ovest e nord-nord-est: in inverno la concentrazione maggiore si ha in corrispondenza di venti moderati da nord-est e lungo la direzione nod-ovest. I nitrati in inverno sono concentrati lungo l'asse della vallata (nod-ovest sud-est), in estate più diffusi, con concentrazioni più alte in corrispondenza di venti deboli da sud-ovest, venti moderati da ovest e venti forti dai quadranti meridionali. L'ammonio in inverno è concentrato lungo l'asse della vallata e in direzione nord-est in corrispondenza di venti moderati: in estate la distribuzione è ampia nella parte centrale del plot, ma la concentrazione più alta proviene da sud-sud-est in corrispondenza di venti forti. La componente PRM in inverno mostra tre nuclei di concentrazione, due corrispondenti alle direzioni sud-sud-est con venti forti e sud-est con venti deboli e nord-ovest con venti moderati. In estate la concentrazione più alta corrisponde alla direzione nord-ovest con venti deboli.

In sintesi, dal confronto con i dati misurati, le componenti del particolato che mostrano un accordo migliore sono lo spray marino e la polvere desertica che, derivando dal trasporto long-range, non dipendono dall'inventario regionale. Per quanto riguarda la componente inorganica e il PEC l'accordo con le misure è buono considerando le serie storiche e gli indicatori statistici, meno buono considerando le direzioni di provenienza (ad eccezione dei solfati che invece hanno polar-plot stime-misure molto simili). Considerando i composti organici, pur avendo indice di correlazione molto buono, il modello sottostima molto, indicando una carenza proprio nell'input emissivo.

L'analisi dei polar-plot evidenzia una stretta dipendenza della concentrazione dalle sorgenti emissive, che nel caso delle stime da modello dipendono strettamente dall'inventario delle emissioni IRSE, ormai datato in quanto corrispondente all'anno di riferimento 2010. Attualmente l'inventario regionale è in fase di aggiornamento e sarà presto disponibile una nuova versione, aggiornata al 2017: appena possibile la simulazione del periodo in esame sarà elaborata sulla base dei questi dati emissivi aggiornati, che probabilmente daranno risultati più aderenti alla situazione odierna. E' auspicabile che con l'aggiornamento dell'inventario delle emissioni molte di queste lacune siano sanate.

Conclusioni

Il ruolo del Consorzio LaMMA nell'ambito del progetto PATOS3 ha riguardato la caratterizzazione meteorologica a supporto delle campagne di misura, con particolare attenzione all'individuazione degli episodi favorevoli alla formazione e al trasporto di spray marino e alle intrusioni di polvere desertica. A questo proposito, è stato messo a punto un sistema per prevedere l'ingresso di polvere desertica per il giorno stesso e i tre successivi, per consentire di effettuare campionamenti continui invece di campionamenti a giorni alterni.

Una parte del lavoro ha riguardato la valutazione delle prestazioni della nuova configurazione del sistema SPARTA per la stima dello spray marino e l'individuazione delle condizioni meteo favorevoli al trasporto di questa componente sul territorio regionale. Infine l'ultima parte dello studio è stata dedicate alla validazione dei risultati del sistema SPARTA attraverso il confronto con il dataset di misure ottenuto dall'Università di Firenze mediante l'analisi composizionale del particolato sia naturale che antropico.

Il report è articolato in quattro parti: analisi climatica del periodo aprile 2019–marzo 2020, valutazione delle prestazioni di SPARTA nella stima dello spray marino, individuazione delle intrusioni desertiche e degli episodi di trasporto di aerosol marino, validazione delle stime modellistiche (SPARTA) delle componenti naturali e antropiche attraverso il confronto con le misure composizionali del PM10 (UNIFI).

Valutazione delle prestazioni di SPARTA nella stima dello spray marino

Considerando il dataset di misure ottenuto nelle campagne promosse dal progetto PATOS, in particolare relativo ad alcuni mesi dell'anno 2014, è stata svolta una valutazione delle prestazioni del sistema di modelli SPARTA aggiornato, con l'implementazione di uno specifico modulo per la stima dello spay marino, rispetto alla vecchia configurazione. Il confronto stime-misure mostra che le stime di spay marino ottenute con la configurazione aggiornata sono più attendibili rispetto a quanto ottenuto con la vecchia release. Il miglioramento è probabilmente attribuibile all'aggiornamento del modello meteo WRF, mentre l'introduzione del modulo specifico per la stima dello spray marino sembra influenzare la concentrazione di questa componente prevalentemente sulla costa.

Un confronto stime-misure più ampio è stato possibile utilizzando i dati della campagna di PATOS 3 (aprile 2019-marzo 2020), nei siti di Capannori e Figline: gli indicatori statistici, come i grafici delle serie storiche, evidenziano un buon accordo, soprattutto nel periodo invernale caratterizzato da episodi più intensi. Il modello riproduce meglio gli episodi con valori di concentrazione più alti, mentre tende a sovrastimare nel periodo estivo, in corrispondenza di valori misurati bassi. Per completare l'analisi sono stati utilizzati i polar-plot, che mettono in relazione la direzione e la velocità del vento con i valori di concentrazione, stimati o misurati. Le coppie di polar-plot che riportano i valori di concentrazione di spay marino stimati e misurati mostrano una notevole similitudine, indice di una buona capacità del modello di riprodurre il fenomeno in esame.

Individuazione degli episodi di trasporto di aerosol marino

L'individuazione degli episodi caratterizzati da alta concentrazione di spray marino è basata sull'analisi di dati relativi alla campagna di misura dell'anno 2014, in cui la componente marina è stata rilevata nei campioni prelevati nelle stazioni di Livorno La Pira e di Montale e i dati di vento utilizzati sono relativi alla stazione meteo del COMMA di Livorno e alla stazione meteo La Ferruccia, nei pressi di Montale. L'analisi dei dati ha evidenziato che l'aerosol marino, anche nelle aree interne, è in stretta correlazione con il vento misurato sulla costa; inoltre nell'entroterra non si riscontra alcuna correlazione tra misure di spray marino e vento locale. Si è quindi ipotizzato di individuare le condizioni meteo favorevoli alla produzione e al trasporto di spray marino utilizzando i dati di vento misurati nella stazione meteo di Livorno, in base ad una soglia scelta analizzando il dataset 2014 (VV> 4 m/s e DV proveniente dai settori occidentali).

Per valutare il metodo proposto, sono stati analizzati i risultati ottenuti durante la campagna di misura di PATOS3 dal sistema modellistico SPARTA, nei siti di Capannori, Figline, Viareggio, Livorno: per Capannori e Figline sono state analizzate anche le misure. I giorni favorevoli allo spray marino sono poco più del 10% del campione e il corrispondente valore di concentrazione medio stimato è decisamente più alto del valore relativo a tutto il periodo; analogamente, anche i dati misurati mostrano risultati simili. Il metodo proposto sembra in grado di individuare i giorni in cui il contributo dello spray marino al PM10 è significativo sul territorio regionale e quindi anche in corrispondenza del sito di Viareggio: in questo modo è possibile effettuare una scelta oculata dei filtri da sottoporre ad analisi per la determinazione della composizione chimica.

Individuazione delle intrusioni desertiche

Per la campagna di misure prevista per PATOS3 è stato messo a punto un sistema per prevedere l'ingresso di polvere desertica per il giorno stesso e i tre successivi; il sistema è entrato in funzione da aprile 2019. Si tratta di previsioni ottenute dal modello CHIMERE, in corrispondenza di alcune stazioni ARPAT. Le soglie di allerta e di preallerta sono state individuate sulla base di uno studio sulle stime dei modelli CAMx e CHIMERE nel biennio 2017-2018. Nel caso in cui siano superate le soglie, viene inviata una mail con le previsioni per le successive 96 ore, in modo da permettere di effettuare un campionamento quotidiano. Per la valutazione del metodo proposto sono state considerate le stime modellistiche ottenute da SPARTA nel periodo aprile 2019-marzo 2020, nei siti di Livorno, Viareggio, Capannori, Figline: per gli ultimi due siti sono state considerate anche le misure. Gli episodi di trasporto segnalati sono poco più del 10% del campione; il valore di concentrazione media durante gli episodi è molto maggiore rispetto alla media di tutto il periodo, in tutte le stazioni, sia per le stime che per le misure, confermando che il metodo proposto si è dimostrato efficace nell'individuare le intrusioni desertiche.

Validazione delle stime modellistiche delle componenti naturali e antropiche attraverso il confronto con le misure composizionali del PM10

In ultimo, è stata effettuata la validazione delle stime modellistiche del sistema SPARTA attraverso il confronto con il dataset di misure ottenuto dall'Università di Firenze mediante l'analisi composizionale del particolato, nel periodo aprile 2019-marzo 2020. Le componenti del particolato PM10 che vengono prese in esame sono la componente naturale (polvere desertica e spray marino), i composti organici, il carbonio elementale, i composti inorganici (nitrati, solfati e ammonio).

Le componenti del particolato che mostrano un accordo migliore, sia come indicatori statistici che come direzione di provenienza, sono lo spray marino e la polvere desertica, che derivano dal trasporto long-range. Per quanto riguarda la componente inorganica e il carbonio elementare, l'accordo con le misure è buono considerando le serie storiche e gli indicatori statistici, meno buono considerando le direzioni di provenienza, ad eccezione dei solfati che invece hanno polar-plot stime-misure molto simili. I composti organici, pur avendo indici di correlazione molto buoni, evidenziano una notevole sottostima del modello, probabilmente imputabile ad una carenza nell'input emissivo. In generale, l'analisi dei polar-plot evidenzia una stretta dipendenza della concentrazione dalle sorgenti emissive, che per le stime modellistiche dipendono strettamente dall'inventario delle emissioni IRSE, ormai datato (anno di riferimento 2010). Attualmente l'inventario regionale è in fase di aggiornamento e sarà presto disponibile una nuova versione, aggiornata al 2017: appena possibile la simulazione del periodo in esame sarà elaborata sulla base dei dati emissivi aggiornati ed è quindi auspicabile sanare molte lacune in modo da ottenere risultati più aderenti alla situazione attuale.