

G. RIGHINI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione
degli impatti antropici e dei rischi naturali
Centro Ricerche Bologna

**L. VITALI, L. CIANCARELLA, G. CREMONA,
M. D'ISIDORO, E. PETRALIA**

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione
degli impatti antropici e dei rischi naturali
Laboratorio Inquinamento Atmosferico
Centro Ricerche Bologna

ANALISI DI BACKTRAJECTORIES A SUPPORTO DELL'INTERPRETAZIONE DI DATI DI MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELL'ARIA

Un'applicazione di M-TraCE nell'ambito
del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE

RT/2018/18/ENEA



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

G. RIGHINI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione
degli impatti antropici e dei rischi naturali
Centro Ricerche Bologna

L. VITALI, L. CIANCARELLA, G. CREMONA,
M. D'ISIDORO, E. PETRALIA

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione
degli impatti antropici e dei rischi naturali
Laboratorio Inquinamento Atmosferico
Centro Ricerche Bologna

ANALISI DI BACKTRAJECTORIES A SUPPORTO DELL'INTERPRETAZIONE DI DATI DI MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELL'ARIA

Un'applicazione di M-TraCE nell'ambito
del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE

RT/2018/18/ENEA



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

RINGRAZIAMENTI

Il presente studio è stato svolto nell'ambito della Convenzione di Ricerca tra I.Z.S.M. (Istituto Zoo-profilattico Sperimentale del Mezzogiorno) ed ENEA SSPT (Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali), nel contesto delle azioni del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE (<http://www.campaniatrasparente.it/>).

I campi meteorologici utilizzati nel presente studio sono stati prodotti da ENEA, nell'ambito del progetto MINNI, finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Le risorse computazionali per le simulazioni meteorologiche e per il calcolo e l'elaborazione statistiche delle backward trajectories, insieme al relativo supporto tecnico, sono stati forniti dall'infrastruttura per il Calcolo ad Alte Prestazioni CRESCO/ENEAGRID e dal suo staff (Ponti et al. 2014).

L'infrastruttura CRESCO/ENEAGRID è finanziata da ENEA e da programmi di ricerca italiani ed europei (vedi <http://www.cresco.enea.it/> per informazioni).

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.

ANALISI DI BACKTRAJECTORIES A SUPPORTO DELL'INTERPRETAZIONE DI DATI DI MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELL'ARIA

Un'applicazione di M-TraCE nell'ambito del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE

G. Righini, L. Vitali, L. Ciancarella, G. Cremona, M. D'isidoro, E. Petralia

Riassunto

Lo studio della provenienza delle masse d'aria, ossia la ricostruzione delle traiettorie in arrivo (backward trajectories) in un punto di interesse, è utilizzato a supporto di molte tipologie di studi di qualità dell'aria e alcuni modelli sono disponibili in letteratura per il calcolo delle backward trajectories al livello globale. Il laboratorio di inquinamento atmosferico di ENEA ha recentemente sviluppato M-TraCE (MINNI module for Trajectories Calculation and statistical Elaboration), un nuovo tool per il calcolo e l'elaborazione statistica di backward trajectories sul dominio italiano predisposto per l'accesso diretto alla base dati meteorologica italiana, prodotta nell'ambito del progetto MINNI.

Con lo scopo di mostrarne le potenzialità e la replicabilità in contesti diversi, è illustrata in questo rapporto una metodologia di applicazione del tool M-TraCE a supporto dell'interpretazione dei dati di monitoraggio integrato della qualità dell'aria: a titolo di esempio, sono riportati i risultati ottenuti su un sito di monitoraggio in territorio campano localizzato nel comune di Acerra. È stata realizzata la caratterizzazione climatologica della circolazione prevalente nel sito in esame calcolando un ampio campione di traiettorie relative a cinque diverse annualità (1999, 2003, 2005, 2007, 2010), disponibili nella base dati MINNI a risoluzione spaziale di 4 km. Per supportare l'interpretazione dei dati di monitoraggio raccolti negli anni 2016 e 2017, sono stati calcolati anche i campi meteorologici relativi a quei periodi e su questi sono state calcolate ed elaborate le backward trajectories per l'analisi della circolazione specifica. Successivamente, a partire da un approccio già presente in letteratura, è stata proposta una nuova metodologia per l'identificazione dell'area di influenza di un sito basata sul calcolo di un indicatore spaziale sintetico.

L'esempio illustrato dimostra in maniera esauriente le principali caratteristiche e la potenzialità della metodologia sviluppata, che costituisce un valido supporto per l'analisi della variabilità spaziale, l'identificazione dei punti più critici e l'interpretazione di dati sperimentali di una determinata area di studio.

Parole chiave: inquinamento atmosferico, reti di monitoraggio, area di influenza, backward trajectories.

Abstract

The analyses of the provenance of air masses, namely backward trajectories calculations, are commonly used to support air quality studies and several models are available in literature. The ENEA air quality laboratory has recently developed M-TraCE (MINNI module for Trajectories Calculation and statistical Elaboration), a new tool for the calculation and statistical elaboration of backward trajectories over the Italian territory, with direct access to the MINNI meteorological database. In this report a methodology for the application of M-TraCE tool to support the interpretation of experimental air quality data is illustrated, aiming at demonstrating its potentiality and portability. As an example, the results of M-TraCE application to a monitoring site located near Acerra, Campania Region, are described; indeed, the Acerra site is of valuable interest to evaluate the exposition of the population to atmospheric pollution and the impacts on agricultural ecosystems.

The characterization of the climatological circulation was carried out considering the years 1999, 2003, 2005, 2007, 2010 available in the MINNI meteorological database at spatial resolution of 4 km; moreover, in order to support the interpretation of experimental data collected in the years 2016 and 2017, meteorological fields and backward trajectories concerning those years were also computed. Then, by extending a scientific approach referenced in literature, a new methodology is proposed for the evaluation of the site region of influence, based on the computation of a synthetic spatial index. The illustrated example comprehensively shows the potentiality of the applied methodology, which represents a valuable tool for the analysis of spatial variability, the identification of critical sites and the interpretation of experimental data in the framework of air pollution concerns.

Keywords: air pollution, monitoring networks, region of influence, backward trajectories.

INDICE

1 INTRODUZIONE	7
2 METODOLOGIA E DATI DI INGRESSO	10
2.1 Modello M-TraCE	10
2.1.1 Calcolo delle traiettorie	10
2.1.2 Elaborazione statistica delle traiettorie	11
2.1.3 Stima dell'area di influenza	11
2.2 Database MINNI e suo ampliamento	12
2.2.1 Database meteorologico MINNI	12
2.2.2 Calcolo dei campi meteorologici relativi alle campagne di misura	14
3 RISULTATI	16
3.1 Scelta del sito di Acerra	16
3.2 Analisi climatologica dell'area di influenza	17
3.2.1 Calcolo delle traiettorie ed elaborazione statistica	17
3.2.2 Area di influenza media del sito di Acerra	20
3.2.3 Effetto della variabilità meteorologica sull'area di influenza del sito di Acerra	24
3.3 Analisi delle aree di influenza relative alle campagne sperimentali	25
3.3.1 Calcolo delle traiettorie per i periodi delle campagne sperimentali	25
3.3.2 Aree di influenza per i periodi delle campagne sperimentali	26
4 CONCLUSIONI	32
5 BIBLIOGRAFIA	33

1 INTRODUZIONE

Il Progetto CAMPANIA TRASPARENTE (<http://www.campaniatrasparente.it/>) è un'azione di sistema, studio, conoscenza e monitoraggio del territorio della Regione Campania, finalizzato a valorizzare e a preservare la qualità dell'ambiente e delle produzioni alimentari. In particolare, il Piano di Monitoraggio Integrato, effettuato nell'ambito del Progetto, ha avuto come obiettivo principale quello di fornire una dettagliata caratterizzazione delle diverse matrici ambientali del territorio campano e un'indicazione dell'esposizione umana e animale a potenziali fonti di contaminazione.

La Convenzione di Ricerca tra I.Z.S.M. (Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno) ed ENEA SSPT (Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali) si è collocata nel contesto delle azioni che, all'interno del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE, erano finalizzate alla caratterizzazione della matrice Aria. In particolare una delle azioni svolte ha avuto come oggetto l'elaborazione e l'analisi di *backward trajectories*, a supporto dell'interpretazione dei dati di monitoraggio integrato della qualità dell'aria, realizzato tramite reti di campionatori passivi distribuiti su tutto il territorio campano.

Lo studio della provenienza delle masse d'aria, ossia la ricostruzione delle traiettorie in arrivo (*backward trajectories*) in un punto di interesse, è ampiamente diffuso in letteratura, a supporto di svariate analisi (Perez et al., 2015). Frequentemente le *backward trajectories* sono utilizzate per l'interpretazione di misure sperimentali, ad esempio per formulare o confermare ipotesi sulle possibili sorgenti emissive responsabili dei dati di concentrazione misurati. In particolare esse possono essere usate a supporto di analisi per l'identificazione del contributo di sorgenti naturali, come gli incendi (Pace et al., 2005; Bourcier et al., 2010), i vulcani (Schäfer et al., 2010; Chai et al., 2017) o il trasporto di sabbie sahariane (Meloni et al., 2007; Hussein et al., 2011; Escudero et al., 2011; Calastrini et al., 2012; Ciardini et al., 2012; Valenzuela et al., 2012; Remoundaki et al., 2013).

Nei diversi casi sopracitati, l'utilizzo delle *backward trajectories* spazia dalla semplice ricostruzione di traiettorie che aiutino ad interpretare un singolo specifico evento, alla caratterizzazione della circolazione dominante in un sito, basata sull'analisi statistica di un numero sufficientemente ampio di traiettorie, tale da rappresentare un buon campione statistico, descrittivo della meteorologia media tipica del sito in esame. A partire dalla caratterizzazione dei regimi di flusso prevalenti è inoltre possibile identificare una sorta di regione di influenza del sito, definita come l'area attorno al sito in esame le cui emissioni forniscono un contributo sostanziale alle concentrazioni ivi misurate.

In letteratura si possono trovare vari approcci per l'analisi statistica delle traiettorie: analisi di *cluster* o di settore, calcolo dei tempi di residenza, analisi della *Potential Source Contribution Function* (PSCF, Ashbaugh et al., 1985), calcolo della *Residence Time Weighted Concentration* (RTWC, Stohl, 1996), etc...

I metodi per l'analisi statistica delle traiettorie più frequentemente utilizzati sono descritti ad esempio in Scheifinger and Kaiser (2007), mentre in Fleming et al. (2012) è presentata una rassegna di diversi studi

finalizzati a correlare le variazioni della composizione chimica dell'atmosfera a variazioni della circolazione sinottica.

Diversi modelli sono disponibili in letteratura per il calcolo delle *backward trajectories*. Uno dei più comunemente utilizzati è il modello ibrido Lagrangiano HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model, <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>; Draxler and Hess, 1998; Draxler and Rolph, 2015; Stein et al., 2015; Rolph et al., 2017), sviluppato dalla NOAA. Trattandosi di un *software open source*, oltre ad essere supportato e aggiornato dalla NOAA, gode anche di successivi sviluppi da parte degli utilizzatori. Anche FLEXTRA (Stohl et al., 1995), sviluppato dal NILU, è utilizzato da un'ampia comunità scientifica in svariati campi di applicazione (<http://transport.nilu.no/flexpart/flexpart-and-flexextra-users>). Più recente è METEX (Zeng et al., 2008), sviluppato enfatizzandone la flessibilità e la semplicità di uso.

L'ampia diffusione di questi modelli trova un'importante motivazione anche nel fatto che sono predisposti per l'interfaccia con basi dati meteorologiche, disponibili *in real time* su scala globale. In alcuni casi, invece, nell'ambito di studi specifici su domini limitati, è preferibile poter disporre di campi meteorologici a più alta risoluzione spaziale. In questa linea Hernandez-Ceballos et al. (2014) hanno investigato come, a parità di modello utilizzato (HYSPLIT), l'aumento della risoluzione spazio-temporale dei dati meteorologici utilizzati in ingresso modifichi i risultati. Lo studio mostra, in particolare, il miglioramento delle prestazioni associato al passaggio dai campi GDAS (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), a 1° (circa 100 km) di risoluzione, a quelli elaborati con WRF-ARW (Skamarock et al., 2005) a 27, 9 e 3 km di risoluzione.

È in questa logica che ENEA ha recentemente sviluppato M-TraCE (MINNI module for Trajectories Calculation and statistical Elaboration; Pace et al., 2015; Vitali et al., 2017), un nuovo *tool* per il calcolo e l'elaborazione statistica di *backward trajectories* sul dominio italiano. Per poter descrivere al meglio i regimi di circolazione sul territorio italiano, caratterizzato prevalentemente da orografia complessa, è di fondamentale importanza poter accedere a dati meteorologici ad alta risoluzione spaziale. Il nuovo *tool* è stato pensato per l'accesso diretto alla base dati meteorologica, a risoluzione spaziale di 4km, prodotta nell'ambito del progetto MINNI (Mircea et al., 2014; D'Isidoro et al., 2013).

Per gli scopi del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE, ossia per il calcolo e l'analisi di *backward trajectories*, a supporto e ad interpretazione dei dati di monitoraggio integrato della qualità dell'aria sul territorio campano, si è pertanto potuto contare della disponibilità del *tool* M-TraCE e della base dati meteorologica di MINNI a cui esso accede.

Nel capitolo 2 del presente Rapporto Tecnico verrà fornita una breve descrizione del *tool* M-TraCE, della base dati meteorologica di MINNI e dell'ampliamento della stessa, ad includere, per le finalità del progetto CAMPANIA TRASPARENTE, i campi meteorologici relativi alle annualità 2016 e 2017, durante le quali sono state realizzate le campagne di monitoraggio integrato della qualità dell'aria. Nel capitolo 3, al fine di mostrare le potenzialità dell'approccio proposto, verranno presentati, a titolo di esempio per uno dei siti di monitoraggio, i risultati di tutte le analisi svolte sia in termini di caratterizzazione climatologica del sito in esame che in termini di identificazione delle peculiarità che tale sito ha sperimentato durante ciascuna delle

campagne sperimentali. Si è scelto a tale scopo il sito di Acerra perché risponde ad un criterio di interesse e di urgenza per valutare l'esposizione della popolazione e l'impatto su ecosistemi agricoli dell'inquinamento dovuto ad azioni antropiche. Presenta inoltre caratteristiche territoriali rappresentative di gran parte della Regione Campania ed è sede di diverse campagne sperimentali con raccolta di molti dati di monitoraggio significativi.

2 METODOLOGIA E DATI DI INGRESSO

Le analisi descritte nel presente studio hanno avuto come scopo principale quello di offrire uno strumento di aiuto all'interpretazione dei dati di monitoraggio di qualità dell'aria misurati, nell'ambito del progetto Campania Trasparente, dalle reti di campionatori passivi. In particolare, è stata effettuata, per tutti i siti di interesse, una caratterizzazione della circolazione dominante, attraverso lo studio della provenienza delle masse d'aria, ossia ricostruendo le traiettorie in arrivo (backward trajectories) nei punti in esame ed elaborandone opportune sintesi statistiche. A tale scopo, per poter usufruire di dati meteorologici ad alta risoluzione spaziale, si è utilizzato, per il calcolo delle traiettorie, il software M-TraCE, recentemente sviluppato da ENEA e finalizzato al calcolo di backward trajectories, ad alta risoluzione spaziale, sul territorio italiano. Per la caratterizzazione climatologica della circolazione prevalente nei siti in esame è stato calcolato un ampio campione di traiettorie relative a cinque diverse annualità (1999, 2003, 2005, 2007, 2010), disponibili nella base dati MINNI. Per supportare più direttamente l'interpretazione dei dati di monitoraggio sono stati inoltre calcolati i campi meteorologici relativi agli anni 2016 e 2017, durante i quali sono state condotte le campagne sperimentali. Le backward trajectories sono state quindi calcolate ed elaborate, coerentemente alle misure, anche per ciascuno dei periodi di analisi così da poter studiare le specificità che ne hanno caratterizzato la circolazione prevalente.

2.1 Modello M-TraCE

M-TraCE è un software sviluppato da ENEA per il calcolo e l'elaborazione statistica di backward trajectories, ad alta risoluzione spaziale, sul territorio italiano.

Esso consente:

l'accesso ai campi tridimensionali di vento ad alta risoluzione disponibili nella base dati MINNI;

il calcolo delle backward trajectories con possibilità di utilizzare procedure automatiche per l'elaborazione di un ampio campione di traiettorie;

l'elaborazione statistica di un campione statisticamente rappresentativo di traiettorie.

In particolare, per consentire un rapido accesso alla base dati MINNI, evitando onerosi trasferimenti di dati, tutte le procedure sono state sviluppate nell'ambiente della GRID-ENEA CRESCO (<http://www.cresco.enea.it>; Ponti et al., 2014), dove la base dati risiede, e possono pertanto usufruire delle risorse computazionali rese disponibili dalla GRID stessa.

2.1.1 Calcolo delle traiettorie

Il calcolo delle traiettorie in M-TraCE è ispirato a quanto formulato dal modello HYSPLIT. In particolare, per il calcolo degli spostamenti delle masse d'aria, si è utilizzato il metodo di Pettersen (1954), uno schema di integrazione numerica basato su semplici steps euleriani discreti: la nuova posizione della massa d'aria $\vec{P}(t - \Delta t)$ è calcolata dalla posizione precedente $\vec{P}(t)$, assumendo accelerazione costante e usando come

vettore di velocità la media tra la velocità nella posizione precedente $\vec{P}(t)$ e quella nella posizione di first-guess $\vec{P}'(t - \Delta t)$. Si ottiene pertanto:

$$\vec{P}(t - \Delta t) = \vec{P}(t) - 0.5 \times [\vec{v}(\vec{P}, t) + \vec{v}(\vec{P}', t - \Delta t)] \times \Delta t \quad (1)$$

dove la posizione di *first-guess* è calcolata a partire dalla posizione iniziale da:

$$\vec{P}'(t - \Delta t) = \vec{P}(t) - \vec{v}(\vec{P}, t) \times \Delta t \quad (2)$$

Il sistema di riferimento per il calcolo delle traiettorie è lo stesso su cui vengono forniti in input i campi meteorologici. In particolare il moto verticale è descritto in un sistema di coordinate terrain following, su livelli verticali a spaziatura variabile con la quota.

2.1.2 Elaborazione statistica delle traiettorie

Il modulo statistico di M-TraCE consente di elaborare, a partire da un ampio campione di traiettorie, diverse sintesi statistiche, utili per una descrizione anemologica completa del sito di interesse. In particolare vengono fornite, sulla stessa griglia di calcolo (e alla stessa risoluzione temporale) dei campi di vento utilizzati per il calcolo delle traiettorie, le seguenti informazioni bidimensionali, integrate o mediate sulla verticale:

- ~ Il CONTEGGIO DEI PASSAGGI delle traiettorie (in termini ASSOLUTI e PERCENTUALI) per identificare i regimi prevalenti di circolazione;
- ~ Il TEMPO DI RESIDENZA delle masse d'aria, per tener conto sia della frequenza dei passaggi sia del tempo effettivamente trascorso dalla massa d'aria in ciascuna cella di calcolo;
- ~ Il TEMPO MEDIO DI TRASPORTO delle masse d'aria in arrivo presso un sito, che consente, tra l'altro, la definizione, in accordo con Spangl et al. (2007), dell'area massima di rappresentatività spaziale, in relazione alla scala temporale delle reazioni che avvengono in atmosfera;
- ~ Informazioni sulla quota delle masse d'aria (QUOTA MEDIA, MASSIMA, MINIMA) per non perdere l'informazione della quota, nelle analisi bidimensionali descritte sopra.

A queste analisi bidimensionali se ne aggiunge una tridimensionale: il CONTEGGIO ASSOLUTO DEI PASSAGGI IN CIASCUNA DELLE CELLE DI CALCOLO DELLA GRIGLIA 3D, su cui sono definiti i campi di vento utilizzati per l'analisi.

2.1.3 Stima dell'area di influenza

A partire dalle matrici di alcune sintesi statistiche (tempo di residenza, tempo medio di trasporto e quota media delle masse d'aria), un apposito modulo di M-TraCE è dedicato al calcolo della matrice di un INDICE SINTETICO DI INFLUENZA. Il calcolo si ispira all'approccio di Van Pinxteren et al. (2010), ma riguarda la sola matrice dei pesi e si basa sulle sintesi statistiche di un gruppo di traiettorie, invece che sulle informazioni statistiche di singola traiettoria. In particolare, l'indice sintetico di influenza è calcolato, per ogni cella (m,n) della griglia di calcolo, dalla relazione:

$$W_{mn} = \frac{R_{mn}}{R_{max}} \times \frac{T_{max} - T_{mn}}{T_{max}} \quad (3)$$

R_{mn} e T_{mn} sono rispettivamente il tempo di residenza (accumulato) e il tempo di trasporto (medio) relativi alla cella (m,n) ;

$Rmax$ e $Tmax$ sono i corrispondenti valori massimi nel dominio di calcolo.

È prevista inoltre, come ipotesi di avanzamento della metodologia proposta da van Pinxteren, la possibilità di tenere conto, nell'analisi statistica delle traiettorie, anche della quota delle masse d'aria: l'influenza delle sorgenti interessate dal passaggio delle masse d'aria sarà tanto maggiore quanto più la quota della traiettoria è confrontabile con la quota di emissione della sorgente. In questo caso il calcolo dell'indice sintetico di influenza è definito, per ogni cella (m,n) della griglia di calcolo, dalla relazione:

$$w_{mn} = \frac{R_{mn}}{Rmax} \times \frac{Tmax - T_{mn}}{Tmax} \times \max\left(\frac{\Delta hmax_k - \Delta h_{mnk}}{\Delta hmax_k}; 0\right) \quad (4)$$

R_{mn} , T_{mn} , $Rmax$ e $Tmax$ sono definiti come nella (3);

$$\Delta h_{mnk} = |h_{mn} - href_k|$$

h_{mn} e $href_k$ sono rispettivamente la quota media delle traiettorie che attraversano la cella (m,n) e la tipica quota di emissione della k -esima tipologia di sorgenti che si intenda analizzare (es. $href_k = 0$ per sorgenti al suolo; $href_k = 200$ per sorgenti in quota);

$\Delta hmax_k$ è la massima differenza consentita tra la quota media delle traiettorie e la quota di riferimento.

Il prodotto finale di questa procedura, sia che si usi la relazione (3) sia che si usi la (4), è un indicatore spaziale, descrittivo di quanto l'area attorno ad un sito influenzi il sito stesso. Tale indicatore è adimensionale e ha valori compresi tra 0 (influenza nulla) e 1 (massima influenza). E' possibile definire opportune soglie per identificare aree ad alta influenza o ad influenza non trascurabile. Nell'ambito del presente studio si è definito come area ad alta influenza quella definita dalla relazione $w_{mn} \geq 0.1$ e area ad influenza non trascurabile quella definita da $w_{mn} \geq 0.01$.

2.2 Database MINNI e suo ampliamento

Per il calcolo delle traiettorie, M-TraCE si avvale dei campi di vento della base dati meteorologica prodotta e aggiornata nell'ambito del progetto MINNI. Tale base dati mette a disposizione, per diverse annualità (allo stato attuale 1999, 2003, 2005, 2007, 2010 e 2015), i campi meteorologici e di qualità dell'aria con passo temporale orario e alla risoluzione spaziale di 4 km.

Per le finalità del progetto Campania Trasparente, la base dati meteorologica è stata ampliata con la produzione dei campi meteorologici relativi alle annualità 2016 e 2017, durante le quali sono state realizzate le campagne di Monitoraggio Integrato della qualità dell'aria.

2.2.1 Database meteorologico MINNI

I campi di vento utilizzati in input a M-TraCE sono forniti dalla base dati meteorologica del progetto MINNI, sviluppato da ENEA con un finanziamento del MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del

Territorio e del Mare). Il progetto ha consentito da un lato il supporto alle politiche di qualità dell'aria, sia a livello nazionale (D'Elia et al., 2009) che di negoziazione internazionale (D'Elia et al., 2013), dall'altro lo sviluppo di un valido e aggiornato strumento di ricerca (Mircea et al., 2011; Mircea et al., 2014; Adani et al., 2015). Uno dei risultati del progetto è stata la creazione di una base dati meteorologica e di qualità dell'aria che è stata utilizzata anche oltre le finalità del progetto stesso, per supportare analisi sia a scala nazionale che regionale. Ad esempio, per quanto riguarda i dati meteorologici, i campi di intensità del vento sono stati utilizzati, in collaborazione con il Joint Research Centre (JRC), per un'analisi del potenziale eolico su scala nazionale e della sua complementarità con il potenziale solare (Monforti et al., 2014).

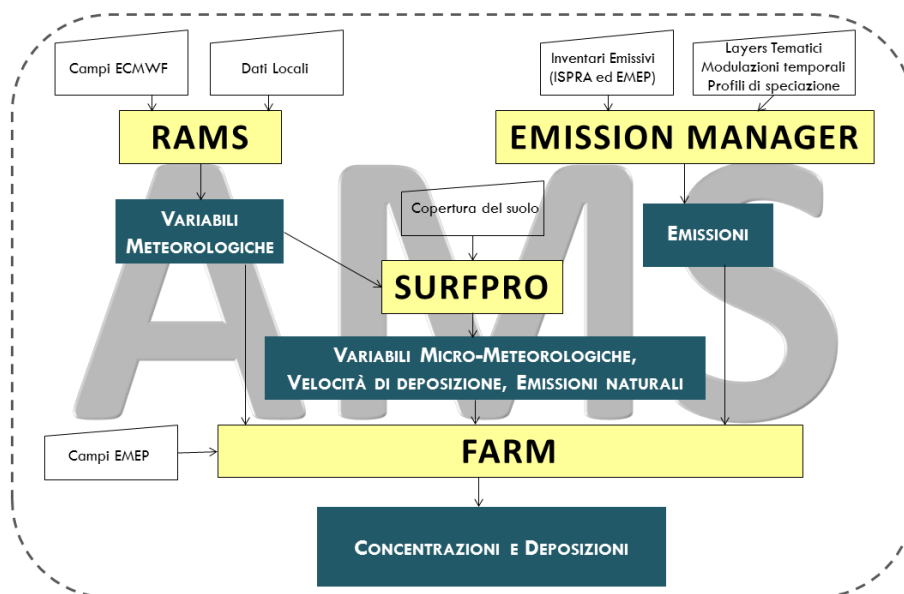


FIGURA 1. RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL SISTEMA MODELLISTICO DI MINNI.

Nell'ambito del Sistema Modellistico di MINNI (Figura 1), i campi meteorologici vengono prodotti utilizzando il modello prognostico non-idrostatico RAMS (Regional Atmospheric Modelling System), sviluppato dall'Università del Colorado e basato su un sistema di coordinate verticali *terrain following* (Cotton et al., 2003). Tali caratteristiche, insieme alla possibilità di effettuare simulazioni con domini innestati (in modalità *two-way nesting*), rendono il modello adatto anche per simulazioni ad alta risoluzione spaziale. Le simulazioni vengono effettuate in modalità di *nudging* ossia assimilando, durante l'esecuzione, opportuni campi di re-analisi attraverso un termine di forzante che viene aggiunto alle equazioni della dinamica e che spinge il modello a seguire più fedelmente le osservazioni meteorologiche. I campi di re-analisi per l'assimilazione vengono prodotti a partire dai dati misurati della rete WMO (*World Meteorological Organization*) e dai campi di re-analisi prodotti, a più bassa risoluzione, da ECMWF (*European Centre For Medium-Range Weather Forecast*).

I dati meteorologici simulati sono oggetto di una sistematica validazione, tramite confronto con le osservazioni disponibili da diverse fonti (Vitali et al., 2010; D'Isidoro et al., 2013). In particolare i campi vengono validati in via preliminare tramite il confronto con le statistiche meteorologiche delle postazioni distribuite da ISPRA attraverso il sistema SCIA (Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati Climatici di Interesse Ambientale, <http://www.scia.sinanet.apat.it>; Desiato et al., 2011) e, per un'analisi più approfondita, attraverso il confronto statistico con i dati meteorologici orari forniti dalle reti regionali.

In conclusione M-TraCE può contare sull'accesso ad una base dati, ad alta risoluzione spaziale e temporale, costantemente aggiornata e validata. Il suo utilizzo per il calcolo delle traiettorie rappresenta un'ulteriore valorizzazione della disponibilità della base dati MINNI.

2.2.2 Calcolo dei campi meteorologici relativi alle campagne di misura

Per le finalità del progetto Campania Trasparente, per poter calcolare le traiettorie relative agli effettivi periodi di svolgimento delle campagne di monitoraggio (dalla primavera 2016 alla primavera 2017), è stato necessario produrre i campi meteorologici relativi alle due annualità di interesse, sempre a risoluzione spaziale di 4 km.

Per l'intera annualità 2016 e parte della 2017 (fino a giugno compreso) sono stati quindi calcolati, utilizzando il modello meteorologico RAMS del Sistema Modellistico di MINNI, i campi orari di:

- ~ Temperatura dell'aria
- ~ Pressione
- ~ Umidità relativa
- ~ Componenti della velocità del vento
- ~ Precipitazione cumulata oraria
- ~ Temperatura del mare
- ~ Divergenza del vento
- ~ Geopotenziale

A titolo di esempio, in Figura 2 è presentata la mappa della media annuale della velocità del vento al suolo per l'anno 2016.

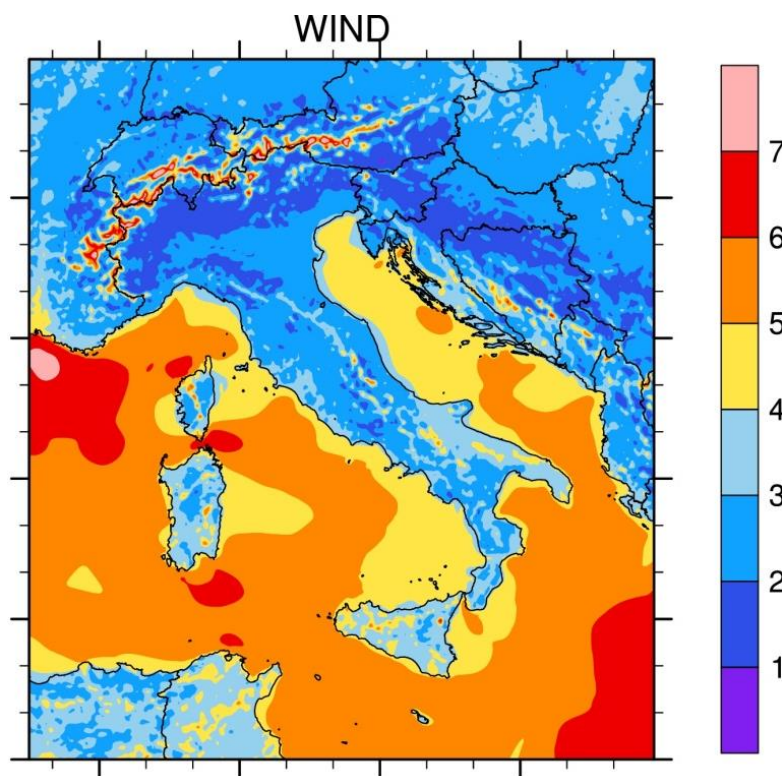


FIGURA 2. VELOCITÀ MEDIA DEL VENTO (m/s) AL SUOLO PER L'ANNO 2016.

3 RISULTATI

Al fine di mostrare le potenzialità dell'approccio discusso al capitolo 2, vengono di seguito presentati, a titolo di esempio, i risultati di tutte le analisi svolte per uno dei siti di monitoraggio, il sito di Acerra. Dopo una breve caratterizzazione del sito e una sintesi delle ragioni che ne hanno portato alla scelta (paragrafo 3.1), vengono presentati i risultati ottenuti, sia in termini di caratterizzazione climatologica del sito in esame (paragrafo 3.2), sia in termini di identificazione delle peculiarità meteorologiche che tale sito ha sperimentato durante ciascuna delle campagne sperimentali (paragrafo 3.3). Tutti i dati prodotti sono stati strutturati in un database vettoriale e gestiti in ambiente GIS (*Geographic Information Systems*), utilizzando il software ArcGIS® 10.3.

3.1 Scelta del sito di Acerra

Il sito di Acerra, si trova a Nord-Est di Napoli all'interno di una vasta area pianeggiante e dista circa 15 km dalla costa campana (Figura 3); dal punto di vista territoriale, presenta delle caratteristiche comuni ad altri siti della Regione Campania senza presentare specificità troppo marcate o situazioni esclusive.

La Piana di Acerra si trova al contorno del distretto vulcanico vesuviano e fa parte di un vasto sistema territoriale rurale che ha nelle sue aree urbane una notevole densità abitativa (circa 1000 abitanti per kmq); la piana si caratterizza per un ordinamento prevalentemente orticolo con più del 50% della superficie dedicato a seminativi, grazie ad una notevole fertilità del suolo dovuta alla diffusione di formazioni piroclastiche e alla presenza di acque sotterranee. Negli ultimi anni l'agricoltura ha subito però un ridimensionamento a causa dei problemi legati all'inquinamento: la Piana di Acerra comprende infatti la zona della "Terra dei Fuochi" classificata ad alto indice di pressione ambientale a livello nazionale ed europeo, concentrando alcune delle maggiori problematiche di inquinamento riscontrate negli ultimi anni su tutte le componenti ambientali.

Tale sito è stato dunque scelto in questo rapporto per illustrare la metodologia di studio perché risponde ad un criterio di interesse e di urgenza per valutare l'esposizione della popolazione e l'impatto su ecosistemi agricoli dell'inquinamento dovuto ad azioni antropiche. Inoltre, il tool M-TraCE può essere utilizzato per la valutazione di alcune peculiarità che tale sito ha riportato durante le campagne sperimentali; infatti, rappresentando un caso critico di particolare interesse, nel sito di Acerra sono già state svolte e sono programmate molte misure sperimentali di vario tipo da parte di diversi attori istituzionali, rendendo possibile la raccolta di una cospicua base dati di informazioni ambientali disponibile per analisi e confronti.

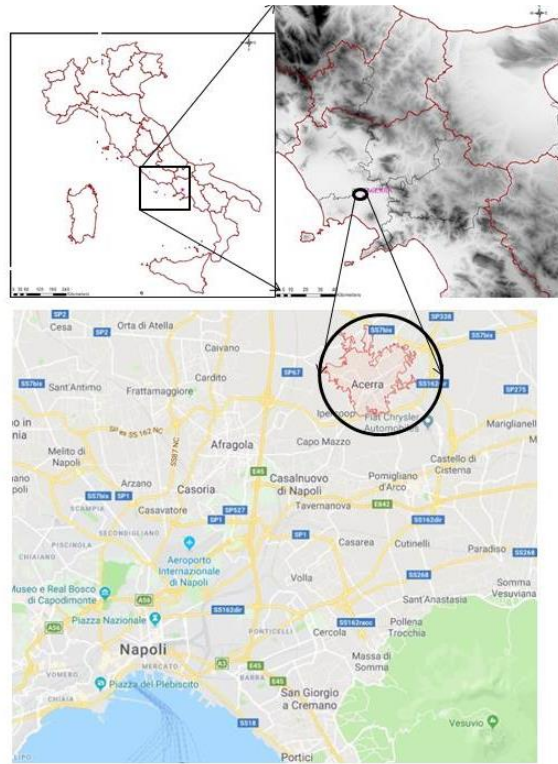


FIGURA 3. LOCALIZZAZIONE DEL SITO DI ACERRA.

3.2 Analisi climatologica dell'area di influenza

3.2.1 Calcolo delle traiettorie ed elaborazione statistica

Applicando il modello M-TraCE descritto nel paragrafo 2.1 e utilizzando i campi meteorologici della base dati MINNI, sono state calcolate le traiettorie in arrivo ad Acerra, ogni sei ore (alle ore zero, sei, dodici, diciotto) per tutti i giorni dell'anno solare, su cinque anni (1999, 2003, 2005, 2007, 2010). Complessivamente, sono state dunque calcolate 7200 traiettorie che rappresentano un ampio campione statistico, utile e sufficiente per la successiva elaborazione che consente la caratterizzazione anemologica media del sito. In Figura 4 sono mostrati due esempi di singole traiettorie calcolate.

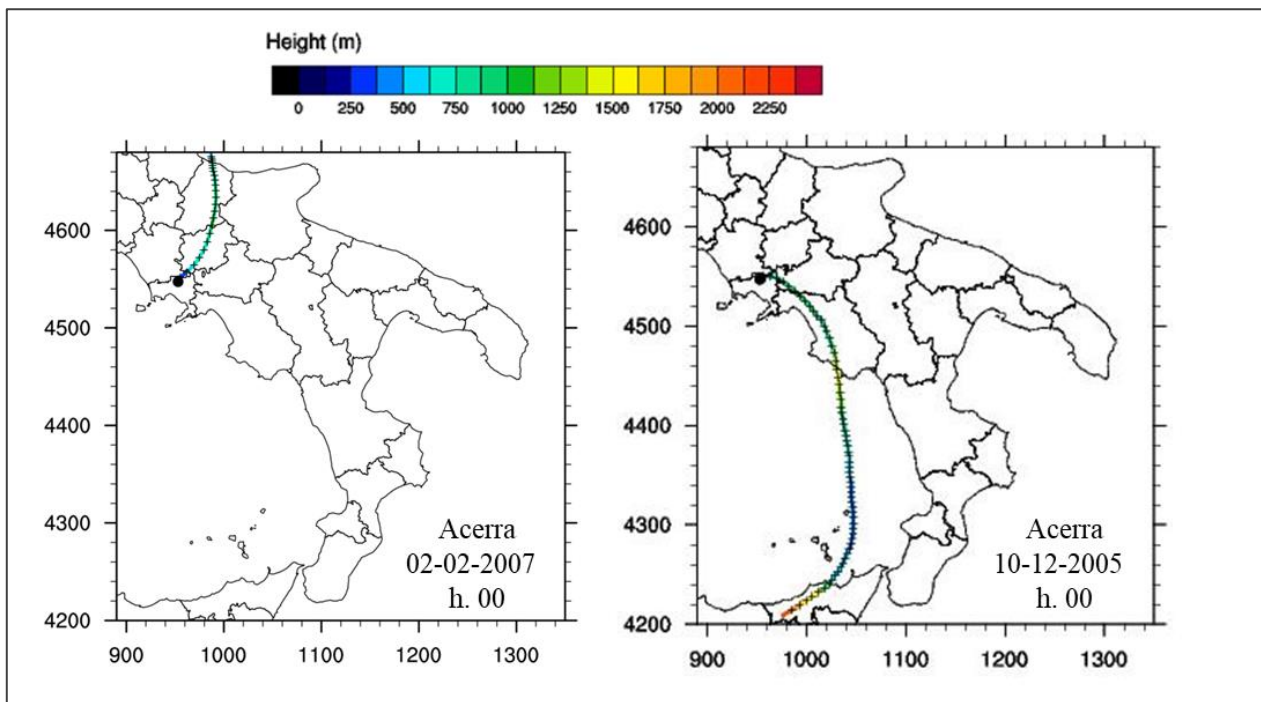


FIGURA 4. ESEMPI DI TRAIETTORIE CALCOLATE.

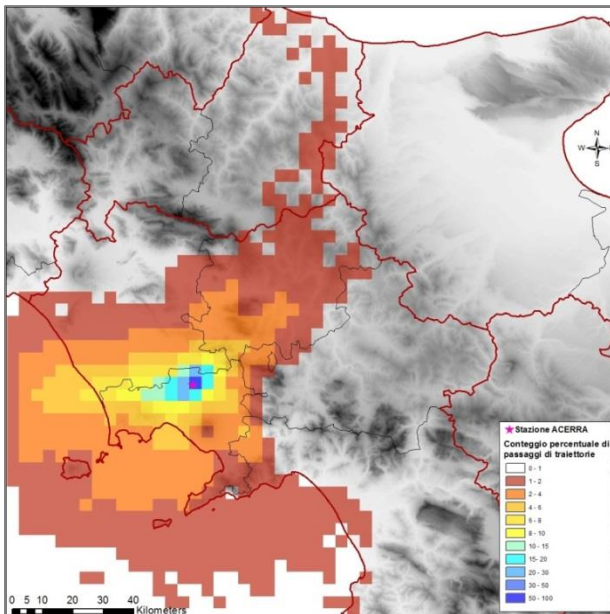
In Figura 5 vengono riportati i risultati ottenuti per tre delle sintesi statistiche calcolate: il conteggio percentuale dei passaggi di traiettorie, il tempo medio di trasporto e la quota media delle masse d'aria che attraversano ciascuna cella. Ognuna di queste sintesi è utile per quantificare l'influenza sul sito di interesse delle fonti emissive localizzate in ciascuna cella del dominio.

Il conteggio percentuale dei passaggi di traiettorie è descrittivo del regime prevalente di flusso delle masse d'aria. Frequenti passaggi di traiettorie in una cella sono indicativi di una probabile influenza delle fonti emissive ivi localizzate.

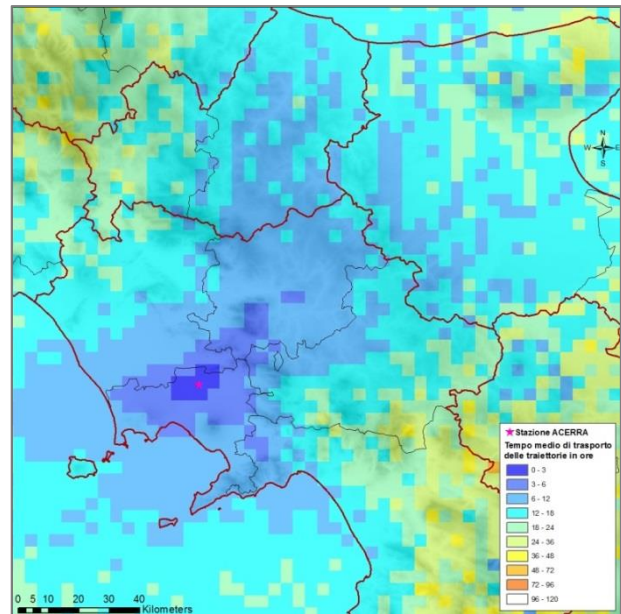
Il tempo medio di trasporto quantifica mediamente il tempo impiegato dalle masse d'aria di passaggio per ciascuna cella per raggiungere il sito di interesse. A parità di distanza, tale sintesi statistica è indicativa della velocità media di trasporto delle masse d'aria. È prevedibile una maggiore influenza delle fonti emissive localizzate nelle celle caratterizzate da bassi valori del tempo di trasporto.

E' infine importante non trascurare la quota media delle masse d'aria di passaggio per ciascuna cella. A parità di frequenza di passaggi delle traiettorie, l'influenza delle fonti emissive, localizzate in una cella, sarà tanto maggiore quanto più, mediamente, le quote delle traiettorie di passaggio sono confrontabili con la quota di emissione delle sorgenti presenti in quella cella.

Conteggio percentuale di passaggi di traiettorie



Tempo medio di trasporto delle traiettorie



Quota media delle traiettorie

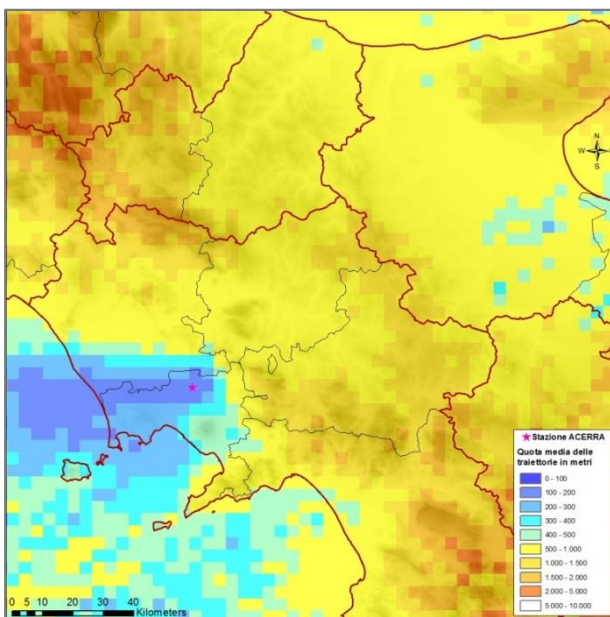


FIGURA 5. SINTESI STATISTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA MEDIA DEL SITO DI ACERRA.

I risultati riportati in Figura 5 mostrano che il sito di Acerra è caratterizzato da un regime prevalente di flusso chiaramente influenzato dall'orografia e dall'interfaccia terra mare. Globalmente gli arrivi da mare sono più frequenti degli arrivi da terra e caratterizzati da un bacino di raccolta più ampio. Il tempo di trasporto è mediamente più basso per le traiettorie in arrivo lungo l'asse Nord-Est/Sud-Ovest (asse perpendicolare alla costa del Golfo di Napoli) in entrambe le direzioni. Un'evidente anisotropia emerge dall'analisi delle quote medie delle masse d'aria in arrivo nel sito: i valori più bassi si riscontrano per traiettorie in arrivo dal

quadrante Sud-Ovest, mentre gli altri tre quadranti sono caratterizzati prevalentemente da passaggi a quote superiori, al di sopra di 500 m.

3.2.2 Area di influenza media del sito di Acerra

Allo scopo di definire l'area di influenza media del sito di Acerra, l'analisi statistica delle oltre 7000 traiettorie è stata sintetizzata in un unico INDICE DI INFLUENZA (Van Pinxteren et al., 2010) secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.3. Tale indice è un indicatore sintetico di quanto l'area attorno ad un sito influenzi il sito stesso. Il suo calcolo si basa su alcuni degli indicatori statistici prodotti da M-TraCE: in ciascuna cella della griglia di calcolo il valore dell'indice aumenta all'aumentare del tempo di residenza (cumulato) delle masse d'aria in quella cella, diminuisce all'aumentare del tempo (medio) di trasporto e, se calcolato secondo l'equazione (4), è tanto maggiore quanto più la quota (media) della traiettorie di passaggio per quella cella è confrontabile con la quota di emissione delle sorgenti di interesse. Il risultato, adimensionale, ha valori compresi tra 0 (influenza nulla) e 1 (massima influenza) e, definendo opportune soglie, è possibile identificare aree ad alta influenza o ad influenza non trascurabile.

Nell'ambito del presente studio l'indicatore sintetico è stato calcolato secondo l'equazione (4), ossia tenendo conto anche dell'influenza della quota delle traiettorie, e ipotizzando due diverse quote di riferimento, $h_{ref_1} = 0$ e $h_{ref_2} = 200$, per studiare rispettivamente l'influenza di sorgenti al suolo e in quota. In entrambi i casi è stato posto $\Delta h_{max_k} = 500$.

Per quanto riguarda la determinazione delle aree ad alta influenza e ad influenza non trascurabile, esse sono state definite, a partire dalla matrice w_{mn} dell'indice sintetico, imponendo rispettivamente le condizioni $w_{mn} \geq 0.1$ e $w_{mn} \geq 0.01$. In Figura 6 è presentato come, a partire dalle sopradette condizioni, dalla matrice w_{mn} dell'indice sintetico calcolato per l'influenza di sorgenti al suolo ($h_{ref_1} = 0$), siano state identificate le aree ad alta influenza e ad influenza non trascurabile.

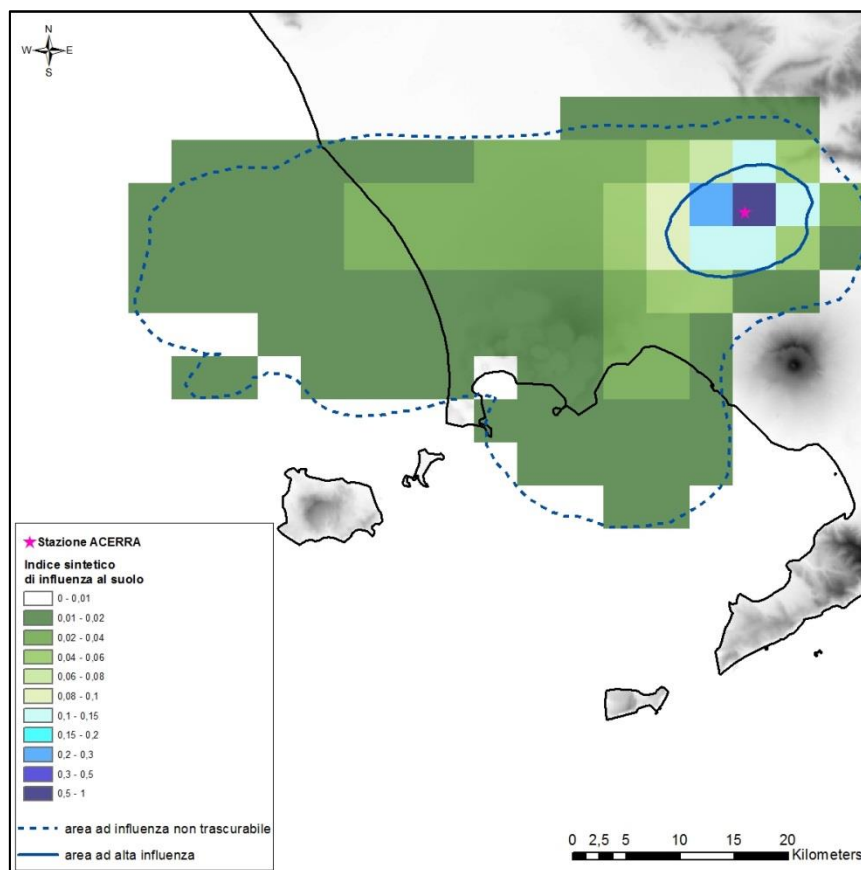
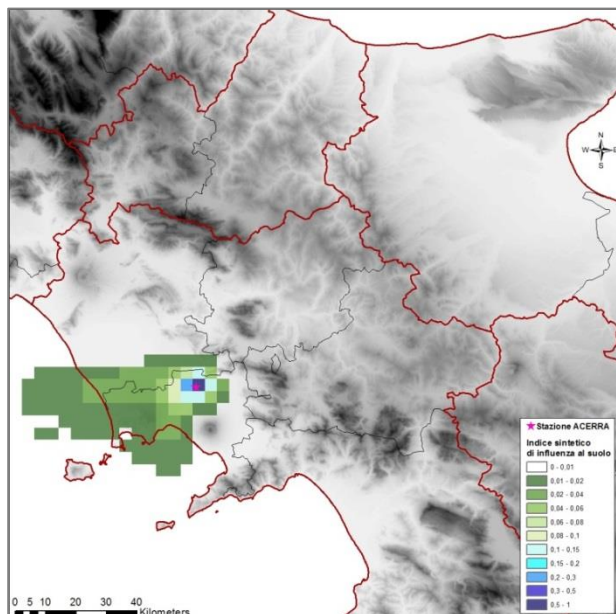


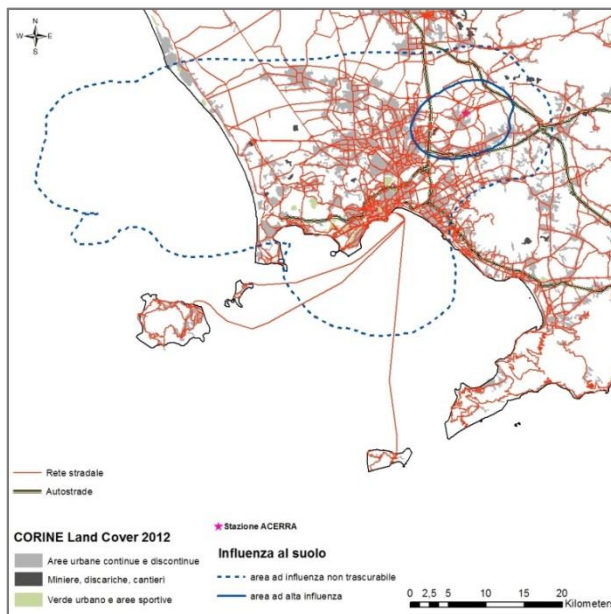
FIGURA 6. INDICE SINTETICO DI INFLUENZA AD SUOLO PER IL SITO DI ACERRA E DEFINIZIONE DELLE AREE AD ALTA INFLUENZA E AD INFLUENZA NON TRASCURABILE

In Figura 7 e Figura 8, i risultati relativi al calcolo dell'indice sintetico di influenza, rispettivamente al suolo e in quota, vengono riportati insieme ad una più dettagliata visualizzazione delle relative aree ad alta influenza e ad influenza non trascurabile. Esse sono state visualizzate nel loro contesto emissivo per valutare l'eventuale localizzazione nelle aree ad alta influenza, o comunque ad influenza non trascurabile, delle principali sorgenti emissive. Più precisamente l'area di influenza al suolo (Figura 7) è stata studiata sovrapponendola ad informazioni tematiche relative alla localizzazione delle principali arterie stradali e autostradali (<https://www.openstreetmap.org/>) e alla distribuzione dei maggiori centri urbani, delle aree adibite a miniere, discariche e cantieri, e delle aree a vocazione agricola e naturale (fonte CORINE Land Cover 2012, nel seguito CLC2012; Heymann et al., 1994; <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view>). L'area di influenza in quota (Figura 8) è stata invece sovrapposta alla distribuzione che il CLC2012 fornisce per le aree industriali, commerciali, portuali e aeroportuali. È stata inoltre visualizzata la localizzazione delle principali sorgenti puntuali (generazione elettrica, industria, porti, termovalorizzatori), fornite da ISPRA a partire dai registri ufficiali delle emissioni (INES, E-PRTR, Emission Trading, LCP). I valori delle emissioni degli inquinanti di interesse, oggetto delle campagne sperimentali del progetto CAMPANIA TRASPARENTE (Ammoniaca, NH₃; Composti Organici Volatili, VOC; Diossine; Idrocarburi Policiclici Aromatici, IPA), sono stati classificati, sulla base dell'intero *range* di valori dell'inventario nazionale, in quattro classi: Classe 1=valori bassi; Classe 2: valori medio bassi; Classe 3: valori medio alti; Classe 4: valori alti.

Indice sintetico di influenza al SUOLO



Area di influenza al SUOLO e contesto emissivo



Area di influenza al SUOLO e contesto emissivo

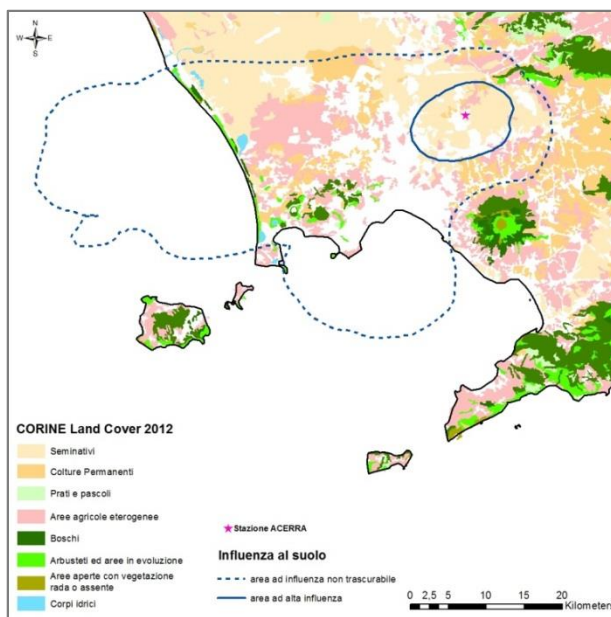
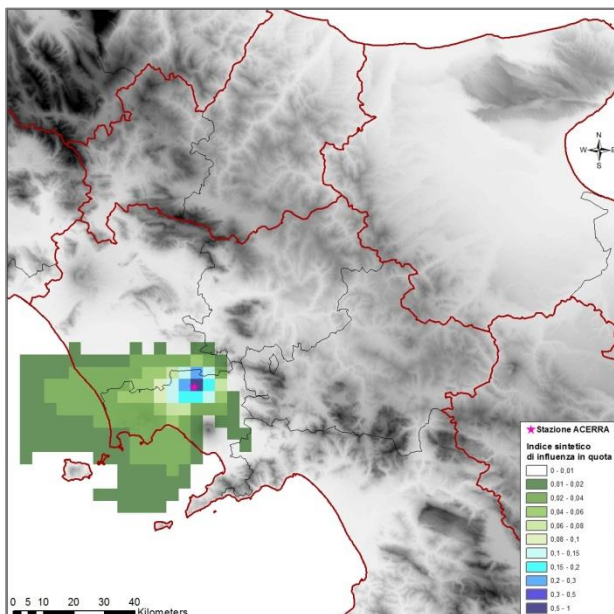


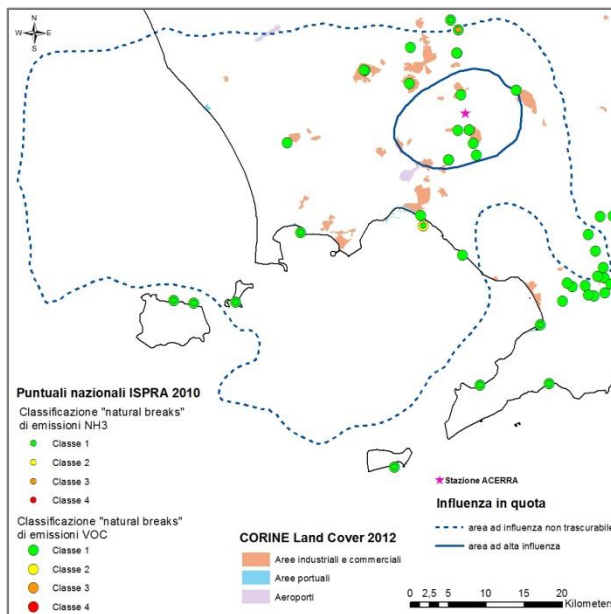
FIGURA 7. INDICE SINTETICO E AREA DI INFLUENZA AL SUOLO DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATA NEL CONTESTO EMISSIVO ANTROPICO (IN ALTO A DESTRA) E NATURALE (IN BASSO A DESTRA).

La Figura 7 identifica, per il sito di Acerra, un'area di influenza (per sorgenti al suolo) collocata prevalentemente nel settore che va da Ovest a Sud. In particolare la zona a più alta influenza è caratterizzata, oltre che dalla presenza delle aree urbanizzate di Acerra e dei comuni limitrofi, da un territorio essenzialmente a vocazione agricola, con prevalenza di seminativi. Tre tratti autostradali la attraversano: l'autostrada del Sole, la Caserta-Salerno e la Napoli-Canosa. L'area ad influenza non trascurabile si estende oltre la costa e comprende anche porzioni di mare. Sulla terraferma è caratterizzata da aree prevalentemente agricole a Ovest, mentre a Sud comprende l'area urbanizzata di Napoli, con la sua fitta rete stradale.

Indice sintetico di influenza in QUOTA



Area di influenza in QUOTA e contesto emissivo



Area di influenza in QUOTA e contesto emissivo

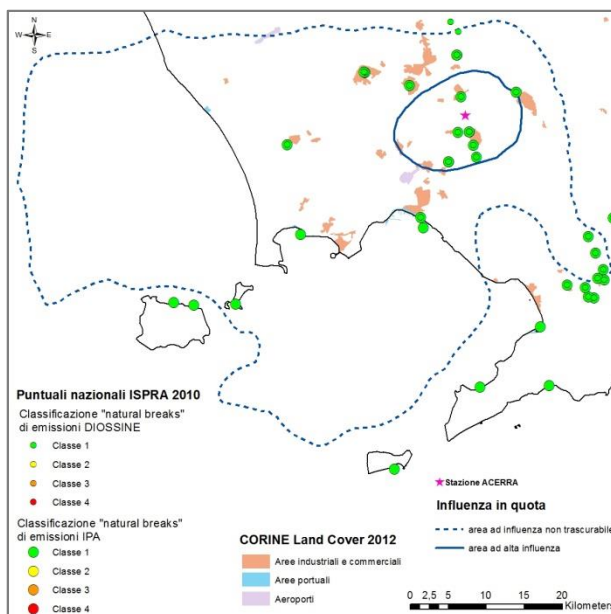


FIGURA 8. INDICE SINTETICO E AREA DI INFLUENZA IN QUOTA DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATA NEL CONTESTO EMISSIVO.

In Figura 8, la mappa dell'indice sintetico, calcolato per le sorgenti in quota, presenta una certa simmetria nell'immediato intorno del sito di Acerra. Ma allontanandosi dal sito la distribuzione dei valori prende forma asimmetrica e determina un'area di influenza che interessa prevalentemente il settore che va da Ovest a Sud. In particolare l'area a più alta influenza è caratterizzata dalla presenza di alcune aree industriali, con sorgenti puntuali ad emissioni non nulle, anche se relativamente basse, di VOC, Diossine ed IPA. Nell'area ad influenza non trascurabile sono presenti anche alcune sorgenti puntuali con emissioni non nulle di Ammoniaca (NH₃). Si tratta di un cementificio, collocato a Nord e caratterizzato da emissioni di NH₃ medio

alte, e di alcuni porti (Napoli, Pozzuoli e Procida), caratterizzati però da emissioni molto basse. Tra questi il porto di Napoli è caratterizzato anche da emissioni non trascurabili di VOC.

L'analisi comparata di Figura 7 e Figura 8 mostra che l'area di influenza in quota è più ampia di quella al suolo, e, in entrambi i casi, l'area ad alta influenza presenta una forma più regolare e simmetrica rispetto all'area ad influenza non trascurabile.

3.2.3 Effetto della variabilità meteorologica sull'area di influenza del sito di Acerra

La disponibilità di un ampio campione di traiettorie ha consentito, come si è descritto sopra, la caratterizzazione anemologica media del sito in esame e la relativa definizione della sua area di influenza media. A partire dallo stesso campione di traiettorie, elaborandone statisticamente dei sotto-campioni, è stato inoltre possibile effettuare anche uno studio della variabilità meteorologica dell'area di influenza identificata.

In particolare è stata studiata la VARIABILITÀ METEOROLOGICA STAGIONALE, elaborando separatamente i due sotto-campioni contenenti rispettivamente le traiettorie in arrivo nelle sole stagioni invernali ed estive, di tutti e cinque gli anni meteorologici a disposizione.

Analogamente la VARIABILITÀ METEOROLOGICA GIORNALIERA è stata studiata elaborando separatamente le sole traiettorie in arrivo alle ore zero e alle ore dodici, di tutti i giorni di tutti gli anni meteorologici analizzati.

L'effetto della variabilità meteorologica stagionale e giornaliera è presentato rispettivamente in Figura 9 e Figura 10, relativamente all'area di influenza al suolo.

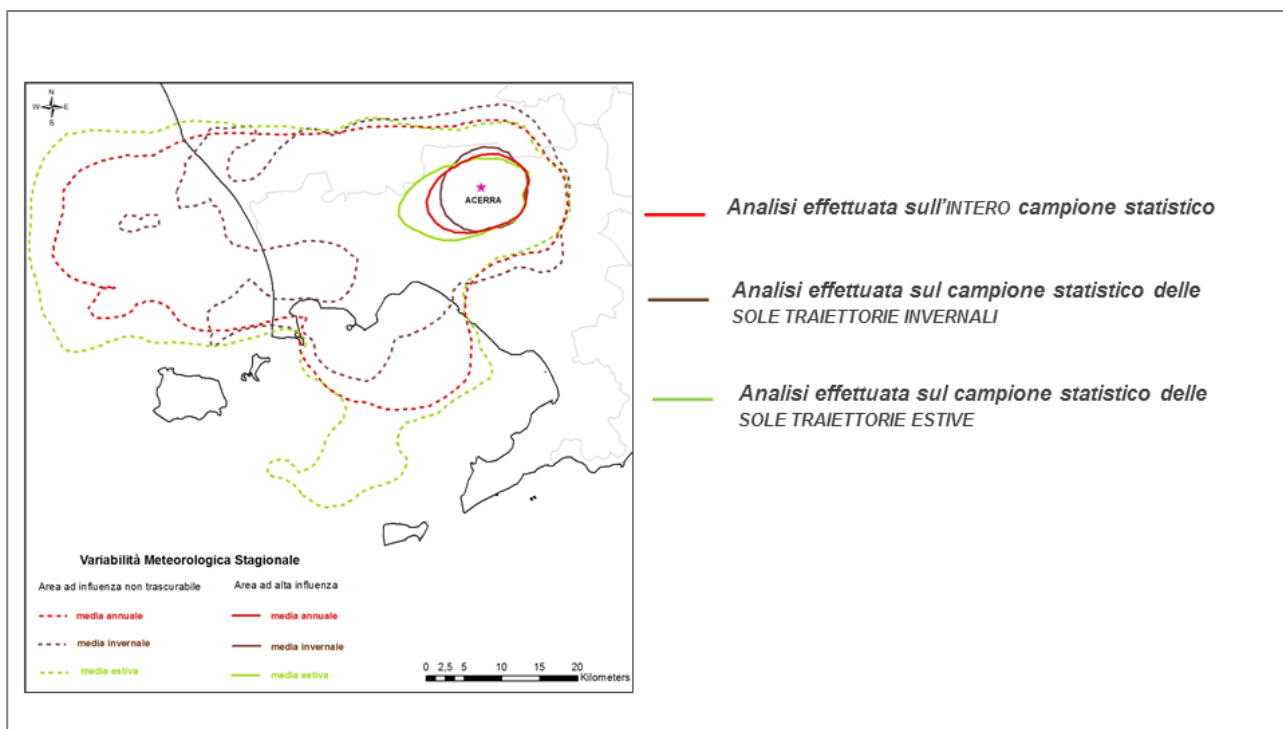


FIGURA 9. ANALISI DELLA VARIABILITÀ METEOROLOGICA STAGIONALE DELL'AREA DI INFLUENZA AL SUOLO DEL SITO DI ACERRA.

L'analisi della variabilità meteorologica stagionale mostra, in Figura 9, un'area di influenza più estesa nella stagione estiva rispetto alla stagione invernale, specie per quanto riguarda l'estensione di tali aree verso il mare. Per quanto riguarda l'area ad alta influenza, si osserva, per la stagione invernale, una certa isotropia, mentre, per la stagione estiva, tale area è allungata in direzione Ovest, verso la costa.

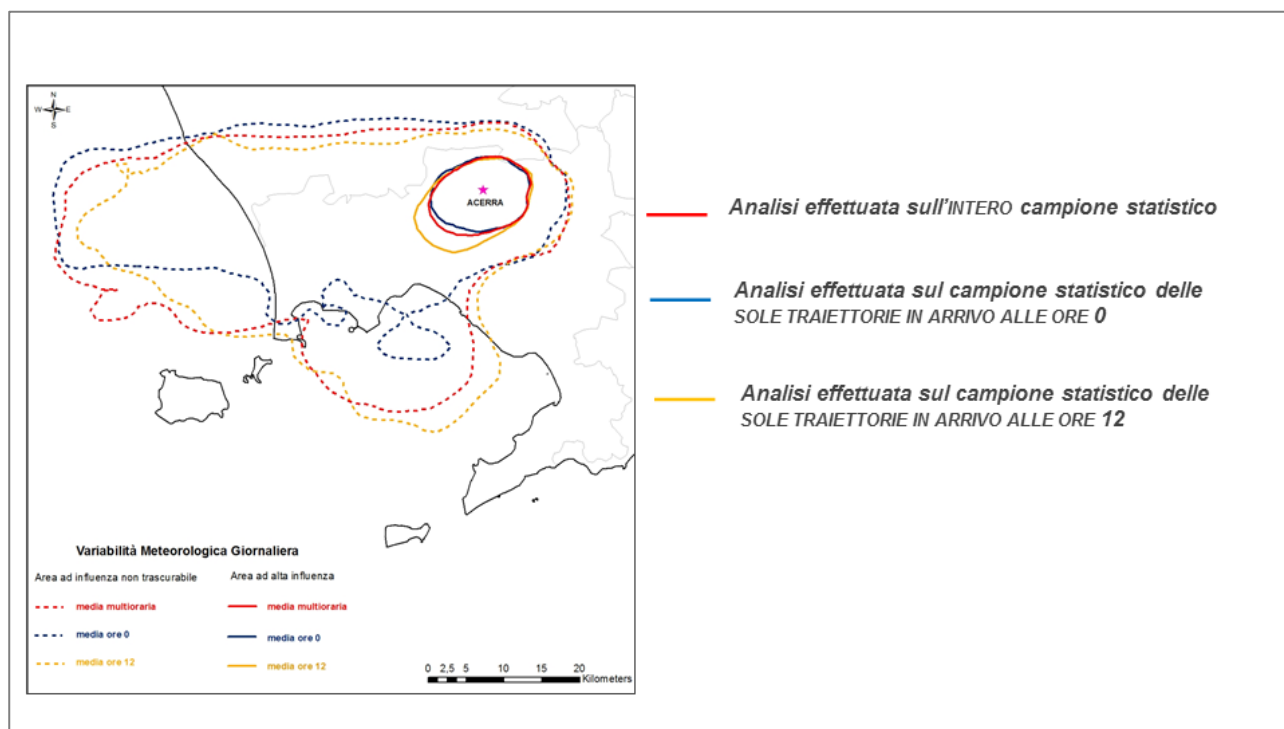


FIGURA 10. ANALISI DELLA VARIABILITÀ METEOROLOGICA GIORNALIERA DELL'AREA DI INFLUENZA AL SUOLO DEL SITO DI ACERRA.

In Figura 10 è mostrato l'effetto della variabilità meteorologica giornaliera che si presenta di minore entità rispetto a quella stagionale, soprattutto per quanto riguarda l'estensione delle aree di influenza nell'entroterra. Qualche differenza in più si osserva sul mare, in particolare sul Golfo di Napoli, dove l'area di influenza presenta a mezzanotte un'estensione ridotta rispetto a mezzogiorno.

3.3 Analisi delle aree di influenza relative alle campagne sperimentali

Per poter supportare più direttamente l'interpretazione dei dati di monitoraggio, rilevati nel sito di interesse, l'analisi con M-TraCE (calcolo delle traiettorie, successiva elaborazione statistica, e infine identificazione dell'area di influenza) è stata effettuata, coerentemente alle misure, anche per ciascuno dei periodi delle campagne sperimentali (stagionali), che sono state svolte nell'ambito del piano di monitoraggio del Progetto CAMPANIA TRASPARENTE durante gli anni 2016-2017.

3.3.1 Calcolo delle traiettorie per i periodi delle campagne sperimentali

In Tabella 1 sono riportate le date di inizio e di fine dei periodi stagionali di monitoraggio sperimentale, per la caratterizzazione della matrice Aria nell'ambito del progetto CAMPANIA TRASPARENTE. Nella stessa

tabella è riportato, per ciascun periodo di monitoraggio, anche il numero di traiettorie calcolate ed elaborate statisticamente con M-TraCE. Per poter contare su un campione statistico il più ampio possibile, le traiettorie, a differenza di quanto effettuato per l'analisi climatologica, sono state calcolate ogni ora, invece che ogni sei ore, per tutti i giorni di ciascun periodo di monitoraggio.

Per il calcolo delle traiettorie sono stati utilizzati i campi meteorologici relativi alle annualità 2016 e 2017 che, non essendo ancora disponibili nella base dati MINNI, sono stati appositamente elaborati per le finalità del progetto CAMPANIA TRASPARENTE, così come descritto al paragrafo 2.2.2 del presente Rapporto.

primavera 2016		estate 2016		autunno 2016		inverno 2016/2017	
periodo	# traiettorie	periodo	# traiettorie	periodo	# traiettorie	periodo	# traiettorie
21/03 - 21/06	2232	22/06 - 22/09	2232	23/09 - 21/12	2160	22/12 - 20/03	2016

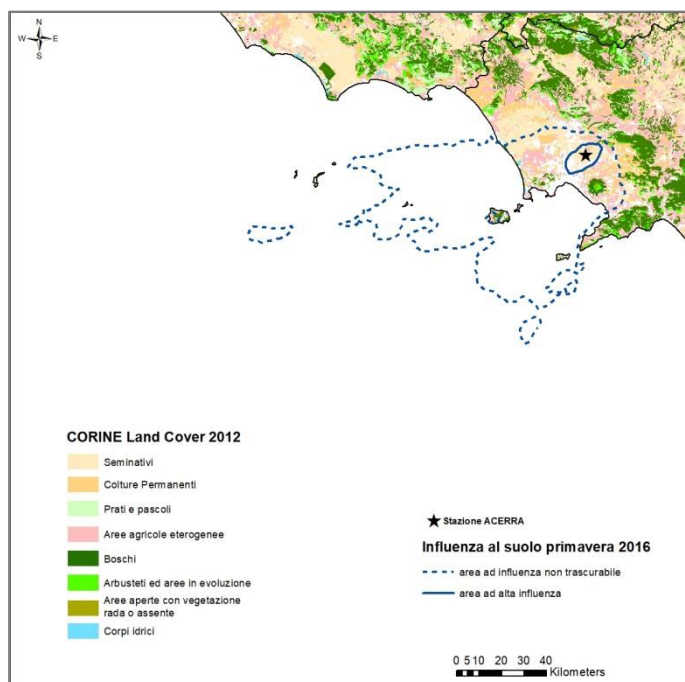
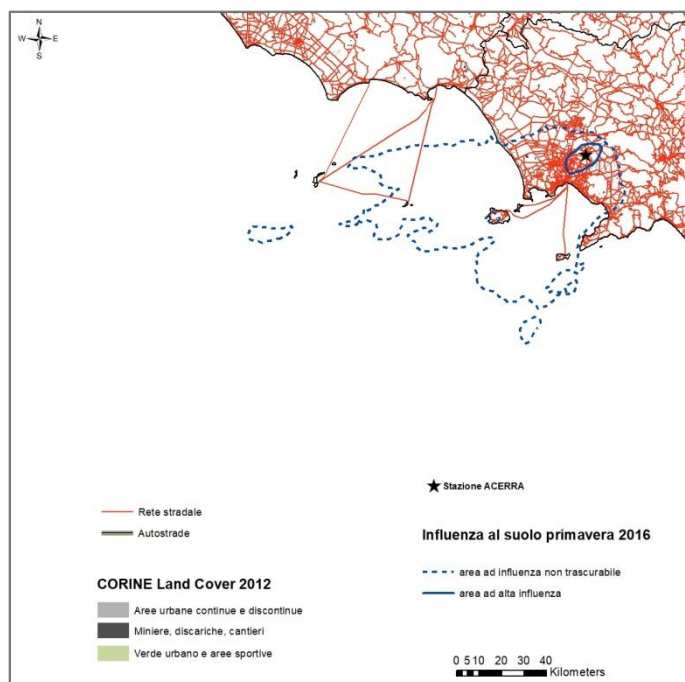
TABELLA 1. PERIODI DI MONITORAGGIO DELLE CAMPAGNE SPERIMENTALI STAGIONALI, CONDOTTE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA MATRICE ARIA NELL'AMBITO DEL PROGETTO CAMPANIA TRASPARENTE.

3.3.2 Aree di influenza per i periodi delle campagne sperimentali

Le traiettorie, calcolate per ognuna delle campagne di monitoraggio elencate in Tabella 1, sono state elaborate ottenendo, per ciascun periodo, tutti gli indicatori statistici descritti al paragrafo 2.1.2. A partire da tali indicatori è stata quindi calcolata la matrice dell'INDICE DI INFLUENZA (Van Pinxteren et al., 2010), secondo quanto esposto nel paragrafo 2.1.3 e adottando le stesse scelte già proposte al paragrafo 3.2.2 per la corrispondente analisi climatologica media. Sui valori di tale indice, che rappresenta, come già si è detto, una valutazione quantitativa sintetica di quanto l'area attorno ad un sito influenzi il sito stesso, sono state definite le aree di influenza specifiche.

Di tali aree vengono fornite di seguito, da Figura 11 a Figura 14, le corrispondenti elaborazioni grafiche, per ciascun periodo di monitoraggio. Come già effettuato per l'analisi climatologica, presentata in Figura 7 e Figura 8, le aree di influenza sono state visualizzate nel loro contesto emissivo, per l'identificazione di eventuali sorgenti, al suolo o in quota, che si possa ritenere abbiano fornito un contributo sostanziale alle concentrazioni misurate nel sito durante il corrispondente periodo di monitoraggio. Più precisamente nello studio dell'area di influenza al suolo se ne è valutata l'intersezione con le principali arterie stradali e autostradali, i maggiori centri urbani, le aree adibite a miniere, discariche e cantieri, e quelle a vocazione agricola e naturale. L'area di influenza in quota è stata invece sovrapposta alla distribuzione delle aree industriali, commerciali, portuali e aereoportuali, e più in dettaglio alla localizzazione delle principali sorgenti puntuali (generazione elettrica, industria, porti, termovalorizzatori), classificate, come in Figura 8, in base ai valori delle emissioni degli inquinanti di interesse (Ammoniaca, NH₃; Composti Organici Volatili, VOC; Diossine; Idrocarburi Policiclici Aromatici, IPA).

Area di influenza al suolo e contesto emissivo



Area di influenza in quota e contesto emissivo

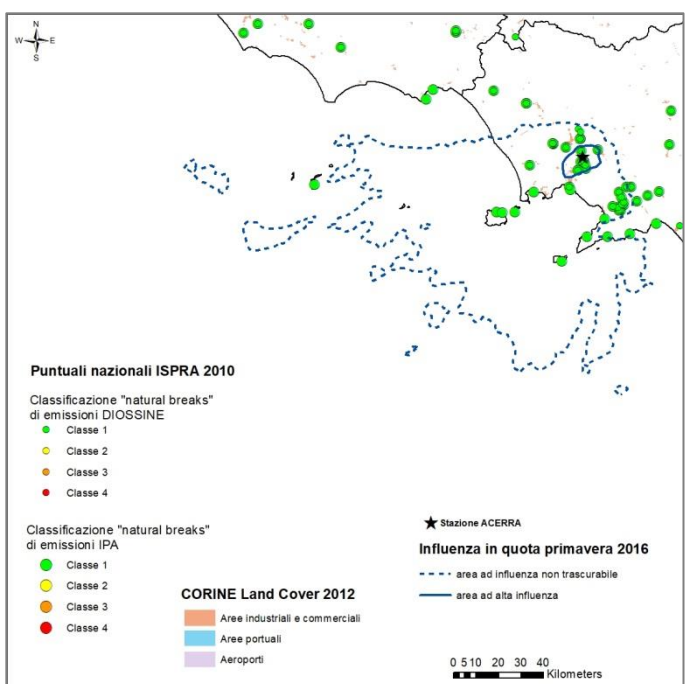
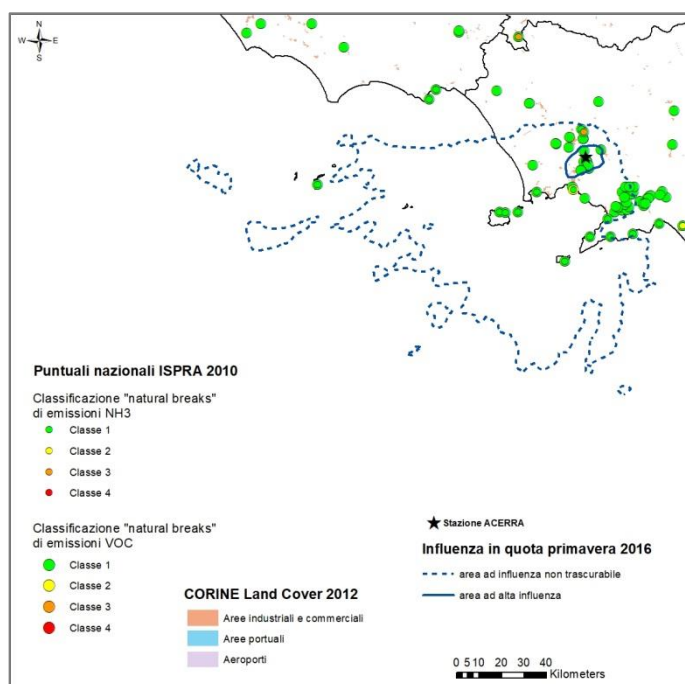
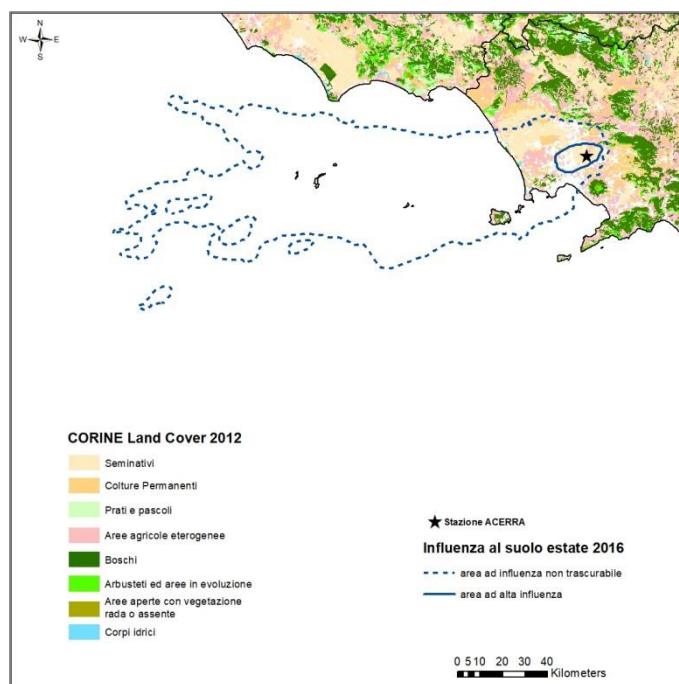
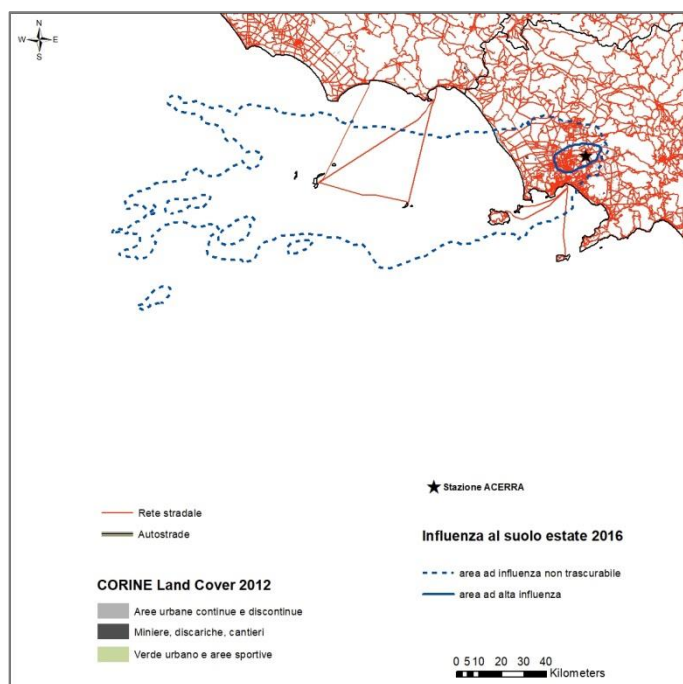


FIGURA 11. AREE DI INFLUENZA AL SUOLO (IN ALTO) E IN QUOTA (IN BASSO) DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATE NEL CONTESTO EMISSIVO. PERIODO DI RIFERIMENTO: PRIMAVERA 2016.

Area di influenza al suolo e contesto emissivo



Area di influenza in quota e contesto emissivo

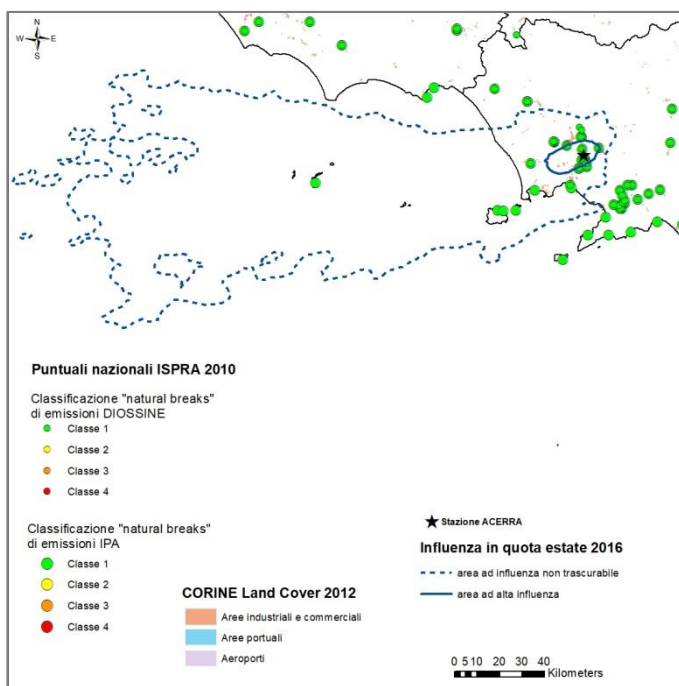
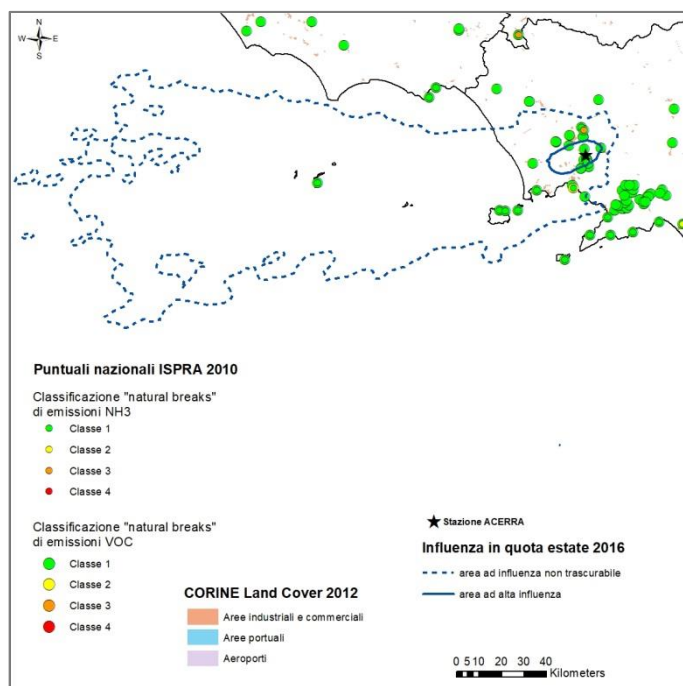
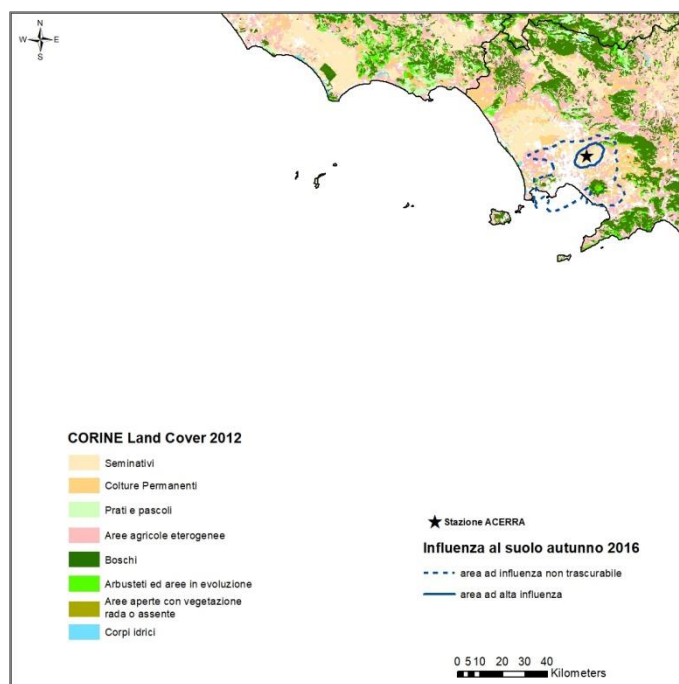
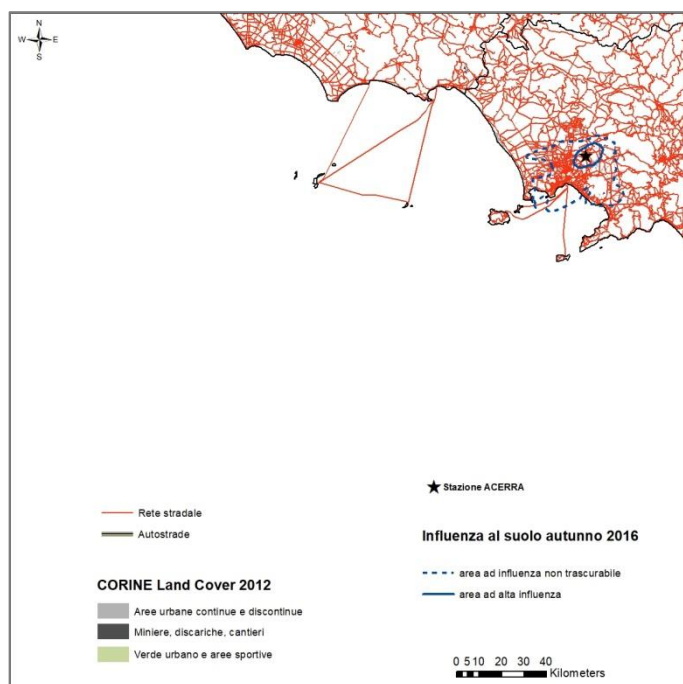


FIGURA 12. AREE DI INFLUENZA AL SUOLO (IN ALTO) E IN QUOTA (IN BASSO) DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATE NEL CONTESTO EMISSIVO. PERIODO DI RIFERIMENTO: ESTATE 2016.

Area di influenza al suolo e contesto emissivo



Area di influenza in quota e contesto emissivo

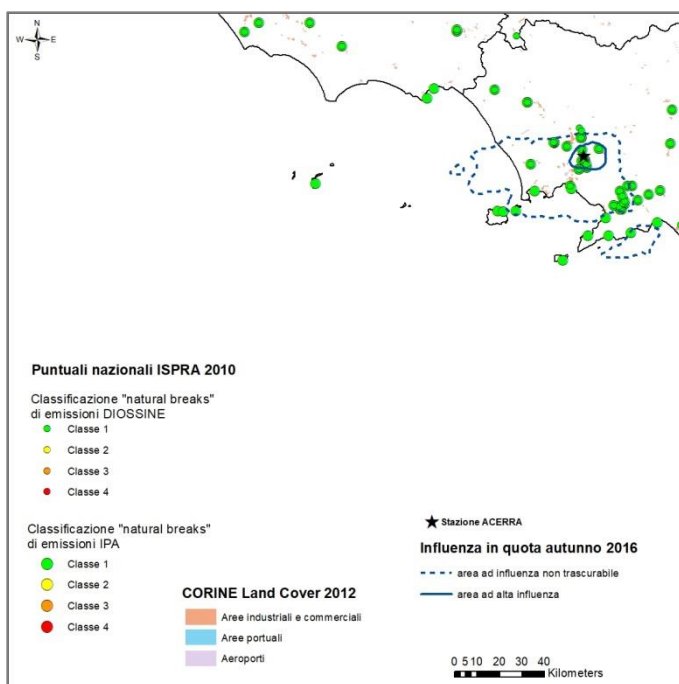
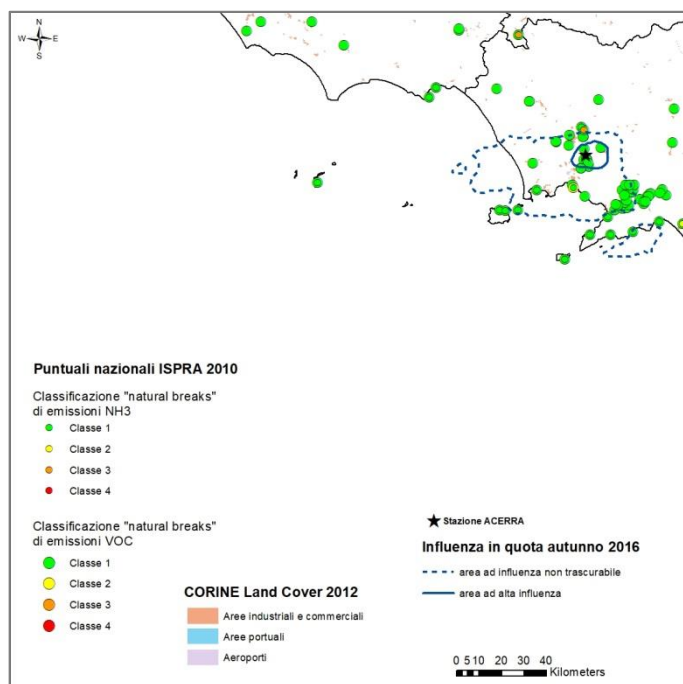
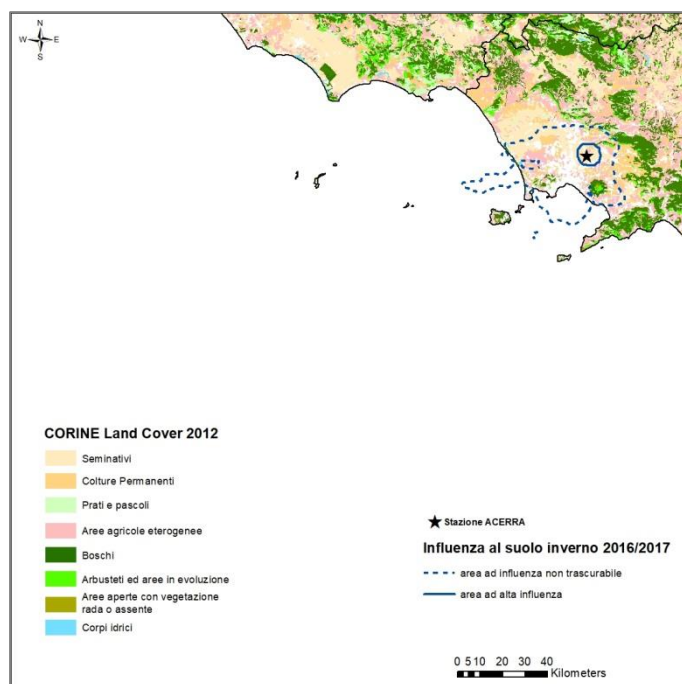
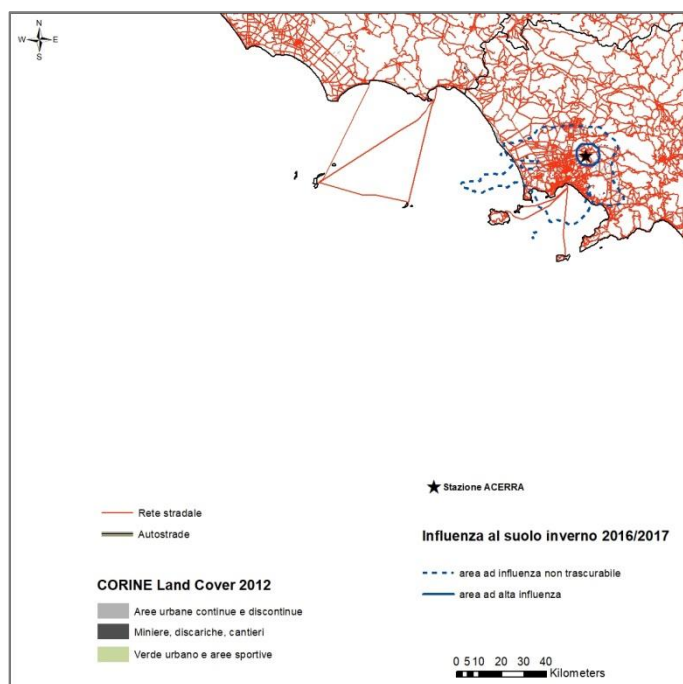


FIGURA 13. AREE DI INFLUENZA AL SUOLO (IN ALTO) E IN QUOTA (IN BASSO) DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATE NEL CONTESTO EMISSIVO. PERIODO DI RIFERIMENTO: AUTUNNO 2016.

Area di influenza al suolo e contesto emissivo



Area di influenza in quota e contesto emissivo

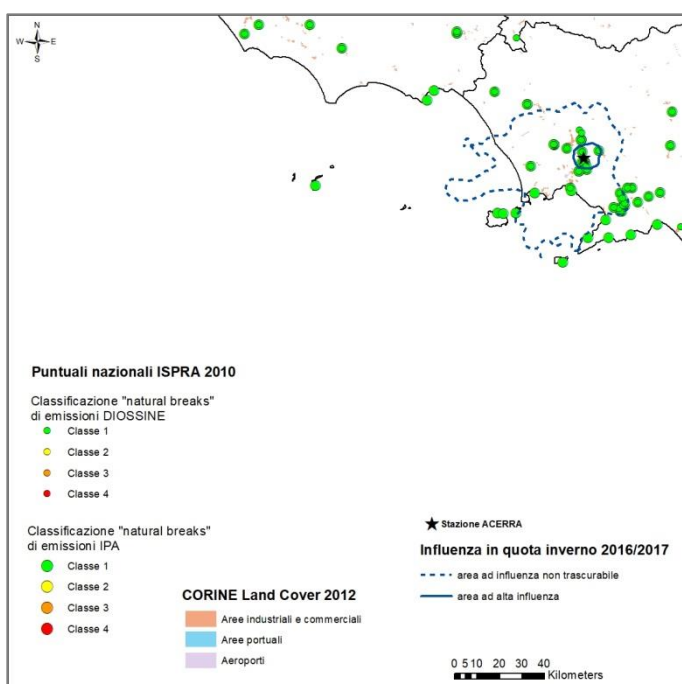
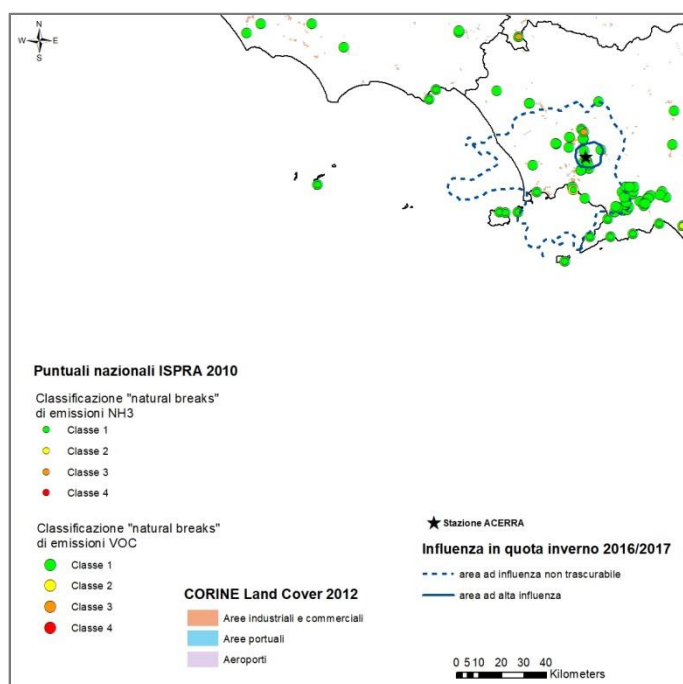


FIGURA 14. AREE DI INFLUENZA AL SUOLO (IN ALTO) E IN QUOTA (IN BASSO) DEL SITO DI ACERRA, VISUALIZZATE NEL CONTESTO EMISSIVO. PERIODO DI RIFERIMENTO: INVERNO 2016/2017.

Dall'analisi delle Figure precedenti emerge che le aree d'influenza del sito di Acerra presentano un'alta variabilità stagionale e nelle stagioni più calde - primavera (Figura 11) ed estate (Figura 12) - si osserva in generale una loro maggiore estensione. In particolare, le aree ad influenza non trascurabile sono

caratterizzate da una marcata anisotropia e uno sviluppo prevalente sul mare: in estate è presente la maggiore estensione con netta direzione prevalente di sviluppo a Ovest del sito, perpendicolarmente alla linea di costa, mentre l'area ad influenza non trascurabile primaverile è meno estesa di quella estiva al largo delle coste; essa presenta anche un settore di sviluppo a Sud del sito, che, per quanto riguarda l'analisi in quota, arriva a comprendere, oltre il Golfo di Napoli, anche la zona settentrionale del Golfo di Salerno. Nei periodi autunnale (Figura 13) ed invernale (Figura 14) si osserva una minore estensione delle aree di influenza, sia in termini assoluti, sia, in particolare, per quanto riguarda lo sviluppo sul mare, che è solo lambito.

Nell'analisi climatologica media del sito di Acerra (Figura 7 e Figura 8) erano già presenti alcune caratteristiche qui osservate: maggiore estensione e anisotropia delle aree ad influenza non trascurabile, soprattutto nella stagione estiva, con direzione prevalente verso ovest; simmetria più rilevante nei periodi più freddi; maggiore estensione delle aree di influenza in quota rispetto alle corrispondenti al suolo.

Per quanto riguarda l'analisi del contesto emissivo al suolo, le aree ad alta influenza si trovano, per tutte e quattro le stagioni, soltanto sulla terraferma; esse si estendono nelle aree urbanizzate di Acerra e dei comuni limitrofi, intersecano in parte anche un territorio a vocazione essenzialmente agricola, e comprendono tre tratti autostradali: l'autostrada del Sole, la Caserta-Salerno e la Napoli-Canosa. Le aree ad influenza non trascurabile si estendono anche sul mare, in misura prevalente per le stagioni primaverile ed estiva, includendo inoltre l'area di Napoli e il relativo porto.

Per quanto riguarda l'analisi del contesto emissivo in quota, diverse sorgenti puntuali sono presenti, in tutte le stagioni, nelle aree di influenza del sito. In particolare nell'area a più alta influenza sono presenti alcune sorgenti puntuali ad emissioni non nulle, anche se relativamente basse, di VOC, Diossine ed IPA. Nell'area ad influenza non trascurabile sono presenti anche alcune sorgenti puntuali con emissioni di Ammoniaca (NH_3): un cementificio, a Nord del sito, con emissioni di NH_3 medio alte, e alcuni porti (Napoli, Pozzuoli e Procida), caratterizzati da emissioni molto basse. Tra questi il porto di Napoli è caratterizzato anche da emissioni non trascurabili di VOC.

4 CONCLUSIONI

Nel presente Rapporto Tecnico sono state descritte e discusse alcune delle attività svolte da ENEA nell'ambito del progetto CAMPANIA TRASPARENTE. Tali attività, finalizzate a supportare l'interpretazione dei dati di misura della matrice Aria, hanno fornito, per alcuni siti di interesse della rete di monitoraggio, la caratterizzazione della circolazione dominante, attraverso lo studio della provenienza delle masse d'aria. Più in dettaglio, per ciascun sito, è stata identificata la corrispondente area di influenza, intesa come l'area le cui emissioni si può ritenere forniscano un contributo sostanziale alle concentrazioni misurate nel sito di analisi. Le aree di influenza sono state calcolate sia su base climatologica, mediando su cinque diverse annualità, sia in riferimento agli effettivi periodi delle campagne sperimentali stagionali, che si sono svolte dalla primavera 2016 alla primavera 2017. La caratterizzazione climatologica ha fornito le caratteristiche medie dei siti in esame e lo studio, su un numeroso campione statistico, della variabilità meteorologica tipica, su base sia stagionale che giornaliera. Le analisi mirate sui periodi di monitoraggio hanno consentito l'identificazione delle peculiarità che i siti hanno sperimentato durante ciascuna delle campagne sperimentali, potendo così fornire un supporto diretto e temporalmente coerente all'interpretazione dei dati misurati.

Per uno dei punti di monitoraggio, il sito di Acerra, in questo rapporto sono stati presentati in dettaglio i risultati di tutte le analisi effettuate. Questo ha permesso di mostrare le potenzialità dell'approccio proposto ed in particolare la possibilità di effettuare, dato un sito di interesse, le seguenti analisi:

- dato un periodo temporale di riferimento, visualizzazione e discussione delle aree di influenza nel loro contesto emissivo, per l'identificazione di eventuali sorgenti, al suolo o in quota, che si possa ritenere abbiano fornito un contributo sostanziale alle concentrazioni misurate nel sito durante il corrispondente periodo di monitoraggio;
- studio della variabilità temporale (stagionale e/o giornaliera);
- studio della coerenza dei periodi stagionali scelti con quanto emerso dall'analisi della variabilità stagionale tipica;
- per ciascun periodo temporale di riferimento, studio della variabilità delle aree di influenza nel passaggio dall'analisi al suolo a quella in quota.

La ricca base dati prodotta, che comprende, per altri siti di campionamento, le stesse analisi qui mostrate per il sito di Acerra, ha consentito anche lo studio della variabilità spaziale e l'identificazione dei punti più critici nell'area monitorata. Ha fornito pertanto un valido strumento di supporto, disponibile in ambiente GIS, per l'interpretazione dei dati di monitoraggio raccolti nell'ambito del Progetto.

La discussione di tali ulteriori analisi esula però gli scopi del presente Rapporto Tecnico la cui finalità principale è stata quella di presentare una metodologia di indagine e di mostrarne, su un caso studio, le potenzialità e, in particolare, la replicabilità in contesti diversi.

5 BIBLIOGRAFIA

- Adani, M., Mircea, M., D'Isidoro, M., Costa, M.P., Silibello, C., 2015. Heavy Metal Modelling Study over Italy: Effects of Grid Resolution, Lateral Boundary Conditions and Foreign Emissions on Air Concentrations. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226:46 <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2324-7>.
- Ashbaugh, L.L, Malm, W.C., Sadeh, W.Z., 1985. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at grand canyon national park. *Atmospheric Environment*, 19, 1263-1270.
- Bourcier, L., Sellegri, K., Masson, O., Zangrando, R., Barbante, C., Gambaro, A., Pichon, J.M., Boulon, J., Laj, P., 2010. Experimental evidence of biomass burning as a source of atmospheric ¹³⁷Cs, puy de Do[^]me (1465 m a.s.l.), France. *Atmospheric Environment*, 44, 2280–2286. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.017>
- Calatrini, F., Guarnieri, F., Becagli, S., Busillo, C., Chiari, M., Dayan, U., Lucarelli, F., Nava, S., Pasqui, M., Traversi, R., Udisti, R., Zipoli, G., 2012. Desert dust outbreaks over Mediterranean basin: a modeling, observational, and synoptic analysis approach. *Advances in Meteorology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2012/246874>
- Chai, T., Crawford, A., Stunder, B., Pavolonis, M.J., Draxler, R, Stein, A., 2017. Improving volcanic ash predictions with the HYSPLIT dispersion model by assimilating MODIS satellite retrievals. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 2865-2879, <http://dx.doi.org/10.5194/acp-17-2865-2017>.
- Ciardini, V., Di Iorio, T., Di Liberto, L., Tirelli, C., Casasanta, G., Di Sarra, A., Fiocco, G., Fua`, D., Cacciani, M., 2012. Seasonal variability of tropospheric aerosols in Rome. *Atmospheric Research*, 118, 205–214, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.026>.
- Cotton, W.R., Pielke Sr., R.A., Walko, R.L., Liston, G.E., Tremback, C.J., Jiang, H., McAnelly, R.L., Harrington, J.Y., Nicholls, M.E., Carrio, G.G., McFadden, J.P., 2003. RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 5-29, ISSN 0177-7971, <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-001-0584-9>.
- D'Elia, I., Bencardino, M., Ciancarella, L., Contaldi, M., Vialetto, G., 2009. Technical and Non-Technical Measures for air pollution emission reduction: The integrated assessment of the regional Air Quality Management Plans through the Italian national model. *Atmospheric Environment*, 43, 6182-6189, ISSN 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.003>.
- D'Elia, I., Peschi, E., 2013. Lo scenario emissivo nazionale nella negoziazione internazionale. Rapporto Tecnico RT/2013/10/ENEA, ENEA, ISSN 0393-3016, <http://openarchive.enea.it/handle/10840/4505>.
- Desiato, F., Fioravanti, G., Frascchetti, P., Perconti, W., Toreti, A., 2011. Climate indicators for Italy: calculation and dissemination. *Advances in Science and Research*, 6, 147-150, <http://dx.doi.org/10.5194/asr-6-147-2011>.
- D'Isidoro, M., Mircea, M., Vitali, L., Cionni, I., Briganti, G., Cappelletti, A., Finardi, S., Pace, G., Ciancarella, L., Cremona, G., Piersanti, A., Righini, G., Zanini, G., 2013. Study of the impact of low vs. high resolution meteorology on air quality simulations using the MINNI model over Italy. *NATO SPS C Environmental Security*, 137, 587–592, http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5577-2_99.
- Draxler, R.R., Hess, G.D., 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295–308.
- Draxler, R.R., Rolph, G.D., 2015. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring.

- Escudero, M., Stein, A.F., Draxler, R.R., Querol, X., Alastuey, A., Castillo, S., Avila, A., 2011. Source apportionment for African dust outbreaks over the Western Mediterranean using the HYSPLIT model. *Atmospheric Research*, 99, 3–4, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.002>.
- Fleming, Z.L., Monks, P.S., Manning, A.J., 2012. Review: untangling the influence of air-mass history in interpreting observed atmospheric composition. *Atmospheric Research*, 104–105, 1–39, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.09.009>.
- Hernandez-Ceballos, M.A., Skjøth, C.A., Garcia-Mozo, H., Bolivar, J.P., Galan, C., 2014. Improvement in the accuracy of back trajectories using WRF to identify pollen sources in southern Iberian Peninsula. *International Journal of Biometeorology*, 58, 2031–2043, <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0804-x>.
- Heymann, Y., Steenmans, Ch., Croissille, G., Bossard, M., 1994. CORINE Land Cover. Technical Guide. EUR12585 Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Hussein, T., Al-Ruz, R.A., Petäjä, T., Junninen, H., Arafah, D.E., Hämeri, K., Kulmala, M., 2011. Local air pollution versus short-range transported dust episodes: a comparative study for submicron particle number concentration. *Aerosol Air Quality Research*, 11(2), 109–119, <http://dx.doi.org/10.4209/aaqr.2010.08.0066>.
- Meloni, D., Di Sarra, A., Biavati, G., De Luisi, J.J., Monteleone, F., Pace, G., Piacentino, S., Sferlazzo, D.M., 2007. Seasonal behavior of Saharan dust events at the Mediterranean island of Lampedusa in the period 1999–2005. *Atmospheric Environment*, 41, 3041–3056, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.001>.
- Mircea, M., Zanini, G., Briganti, G., Cappelletti, A., Pederzoli, A., Vitali, L., Pace, G., Marri, P., Silibello, C., Finardi, S., Calori G., 2011. Modelling Air Quality over Italy with MINNI Atmospheric Modelling System: from regional to local scale. In: Steyn DG and Trini Castelli S, editors. *Air Pollution Modeling and its Application XXI*, 491–498, ISSN 1874-6519, http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1359-8_82.
- Mircea, M., Ciancarella, L., Briganti, G., Calori, G., Cappelletti, A., Cionni, I., Costa, M., Cremona, G., D'Isidoro, M., Finardi, S., Pace, G., Piersanti, A., Righini, G., Silibello, C., Vitali, L., Zanini, G., 2014. Assessment of the AMS-MINNI system capabilities to predict air quality over Italy for the calendar year 2005. *Atmospheric Environment*, 84, 178–188, ISSN 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.006>.
- Monforti, F., Huld, T., Bódis, K., Vitali, L., D'Isidoro, M., Lacal-Arántegui, R., 2014. Assessing complementarity of wind and solar resources for energy production in Italy. A Monte Carlo approach. *Renewable Energy*, 63, 576–586, ISSN 0960-1481, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.028>.
- Pace, G., Meloni, D., Di Sarra, A., 2005. Forest fire aerosol over the Mediterranean basin during summer 2003. *Journal of Geophysical Research*, 110, D21202, <http://dx.doi.org/10.1029/2005JD005986>.
- Pace, G., Junkermann, W., Vitali, L., di Sarra, A., Meloni, D., Cacciani, M., Cremona, G., Iannarelli, A., Zanini, G., 2015. On the complexity of the boundary layer structure and aerosol vertical distribution in the coastal Mediterranean regions: a case study. *Tellus B*, 67, 27721, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v67.27721>.
- Perez, I.A., Artuso, F., Mahmud, M., Kulshrestha, U., Sanchez, M.L., Garcia, M.A., 2015. Applications of air mass trajectories. *Advances in Meteorology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/284213>.
- Petterssen, S., 1954. *Weather analysis and forecasting*. McGraw-Hill Book Company, New York, pp 221–223.
- Ponti, G., Palombi, F., Abate, D., Ambrosino, F., Aprea, G., Bastianelli, T., Beone, F., Bertini, R., Bracco, G., Caporicci, M., Calosso, B., Chinnici, M., Colavincenzo, A., Cucurullo, A., D'Angelo, P., De Rosa, M., De Michele, P., Funel, A., Furini, G., Giammattei, D., Giusepponi, S., Guadagni, R., Guarneri, G., Italiano, A., Magagnino, S., Mariano, A., Mencuccini, G., Mercuri, C., Migliori, S., Ornelli, P., Pecoraro, S.,

- Perozziello, A., Pierattini, S., Podda, S., Poggi, F., Quintiliani, A., Rocchi, A., Scio, C., Simoni, F., Vita, A., 2014. The role of medium size facilities in the HPC ecosystem: the case of the new CRESCO4 cluster integrated in the ENEAGRID infrastructure. In: Proceedings of the 2014 international conference on high performance computing and simulation, HPCS 2014, art. no. 6903807, pp 1030–1033.
- Remoundaki, E., Papayannis, A., Kassomenos, P., Mantas, E., Kokkalis, P., Tsezo, M., 2013. Influence of saharan dust transport events on PM_{2.5} concentrations and composition over Athens. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224, 1373, <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-012-1373-4>.
- Rolph, G., Stein, A., Stunder, B., 2017. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95, 210-228, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>.
- Schäfer, K., Birmili, W., Cyrus, J., Emeis, S., Forkel, R., Gilge, S., Münkelf, C., Pitz, M., Ries, L., Suppan, P., 2010. Temporal and spatial structure of a volcanic ash cloud—ground-based remote sensing and numerical modeling. In: Proceedings of SPIE 7832, Lidar Technologies, techniques, and measurements for atmospheric remote sensing VI, 78320R (October 26, 2010), <http://dx.doi.org/10.1117/12.870763>
- Scheifinger, H., Kaiser, A., 2007. Validation of trajectory statistical methods. *Atmospheric Environment*, 41, 8846–8856, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.08.034>.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G., 2005. A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech Notes-468 + STR.
- Spangl, W., Schneider, J., Moosmann, L., Nagl, C., 2007. Representativeness and classification of air quality monitoring stations—final report. Umweltbundesamt report, Umweltbundesamt, Vienna.
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F., 2015. NOAA’s HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, 2059–2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
- Stohl, A., Wotawa, G., Seibert, P., Kromp-Kolb, H., 1995. Interpolation errors in wind fields as a function of spatial and temporal resolution and their impact on different types of kinematic trajectories. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2149–2165, [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1995\)034<2149:IEIWFA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1995)034<2149:IEIWFA>2.0.CO;2).
- Stohl, A., 1996. Trajectory statistics—a new method to establish source–receptor relationships of air pollutants and its application to the transport of particulate sulfate in Europe. *Atmospheric Environment*, 30, 579-587.
- Valenzuela, A., Olmo, F.J., Lyamani, H., Antón, M., Quirantes, A., Alados-Arboledas, L., 2012. Classification of aerosol radiative properties during African desert dust intrusions over southeastern Spain by sector origins and cluster analysis. *Journal of Geophysical Research*, 117, D06214, <http://dx.doi.org/10.1029/2011JD016885>.
- Van Pinxteren, D., Brüggemann, E., Gnauk, T., Müller, K., Thiel, C., Herrmann, H., 2010. A GIS based approach to back trajectory analysis for the source apportionment of aerosol constituents and its first application. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 67, 1, 1-28, <http://dx.doi.org/10.1007/s10874-011-9199-9>.
- Vitali, L., Finardi, S., Pace, G., Piersanti, A., Zanini, G., 2010. Validation of simulated atmospheric fields for air quality purposes in Italy. Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 609-613.
- Vitali, L., Righini, G., Piersanti, A., Cremona, G., Pace, G., Ciancarella, L., 2017. M-TraCE: a new tool for high resolution computation and statistical elaboration of backward trajectories on the Italian domain. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129 (6), 629–643, <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-016-0491-8>.

Zeng, J., Matsunaga, T., Mukai, H., 2008. METEX—a flexible tool for air trajectory calculation. *Environmental Modelling & Software*, 25(4), 607–608, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.10.015>.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

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