



Modellistica

1 Introduzione

Presso l'area industriale di Priolo è attivo dal 2008 il sistema modellistico di controllo della qualità dell'aria chiamato SKYNET, acquisito da ARIANET S.r.l. e gestito dal consorzio industriale CIPA.

Questo sistema produce simulazioni di dispersione atmosferica delle emissioni inquinanti dai principali camini degli impianti presenti nell'area, sia in tempo reale che in modo previsionale in modo tale che il CIPA possa monitorare la situazione ambientale 24 ore al giorno e prevedere la concentrazioni degli inquinanti a livello del suolo a +24/48/72 ore a supporto della predisposizione di interventi di contenimento, utili ai fini di limitare l'esposizione della popolazione e avviare per tempo le opportune misure di mitigazione.

Lo stesso sistema è anche in grado di effettuare simulazioni storiche e di scenario scatenate su periodi del passato di una durata prefissata (per esempio l'anno) e produrre mappe e statistiche dei risultati ottenuti in modo da ottenere stime dei parametri di legge su tutto il territorio oggetto di indagine. Gli inquinanti elaborati dal sistema modellistico SKYNET sono l' NO_x e l' SO_2 .

Inquadramento geografico

Il dominio di calcolo prescelto per le simulazioni - che è poi quello adottato nel sistema SKYNET - delle dimensioni orizzontali di $30 \times 30 \text{ km}^2$ comprende il tratto di costa compreso tra Augusta e Siracusa ad est e si estende ad ovest fino ad interessare l'intero rilievo dei monti Climiti, come illustrato in Figura 1.

Il dominio si può considerare separato in direzione NordOvest-SudEst dalla linea di costa, quindi il settore est è occupato interamente dal mare mentre il settore centrale comprende sia la zona del complesso degli impianti industriali presenti sul territorio che le principali località abitative tra le quali Augusta, Siracusa, Brucoli, Melilli, Priolo il settore ovest invece è occupato dai rilievi. Da evidenziare inoltre la particolare struttura orografica che vede il versante rivolto a NordEst dei monti Climiti innalzarsi molto rapidamente alle spalle del complesso industriale, fino a superare la quota di 400m s.l.m., rappresentando una struttura che influenza fortemente le caratteristiche del flusso durante i frequenti casi di brezza.

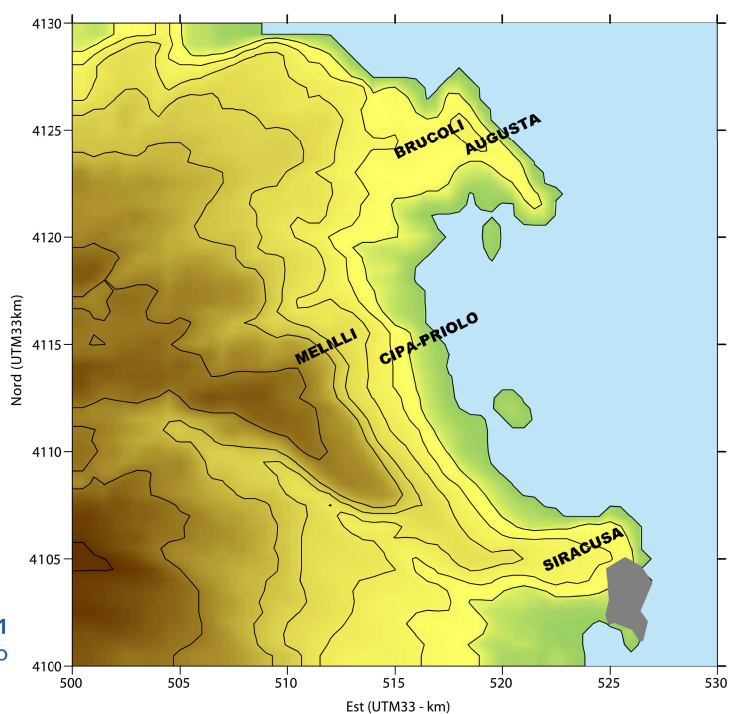


Figura 1
Area di studio

2 Caratterizzazione meteorologica del sito

Il sistema modellistico, descritto sinteticamente più avanti, produce 8761 campi meteorologici orari a partire dalle 00:00 del primo giorno di gennaio fino alle ore 24:00 dell'ultimo giorno di dicembre dell'anno di riferimento (2013); questi campi vengono direttamente utilizzati dal codice lagrangiano a particelle SPRAY per la ricostruzione della dispersione.

A titolo esemplificativo, nella figura seguente sono riportati i campi di vento in prossimità del suolo per una situazione estiva (il 10-11/7/2013), in un'ora diurna (le ore 14:00) ed in una notturna (le ore 01:00).

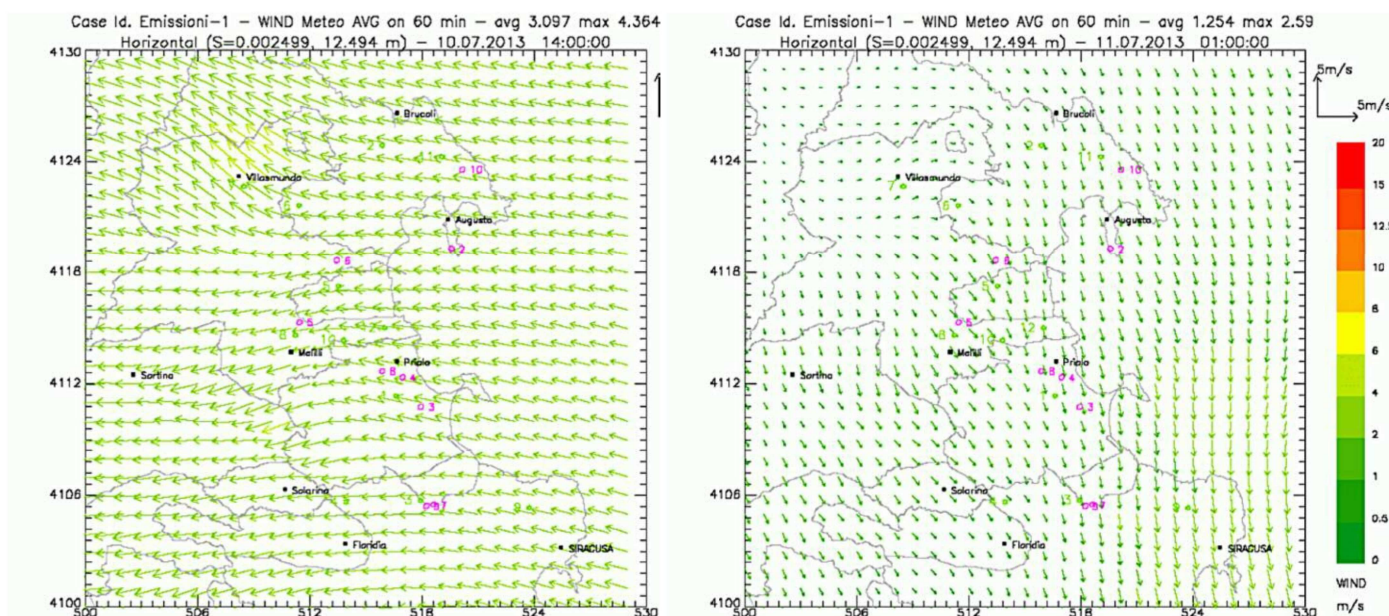


Figura 2

Campi di vento in prossimità del suolo calcolati il giorno 10/7/2013 alle ore 14:00 (a sinistra) e 11/7/2013 alle 01:00 (a destra).

Solitamente in estate, durante il giorno e in tutto il dominio i venti sono deboli-moderati, con rinforzi sulle zone più montuose a ovest, e provengono dal mare (brezza diurna). Di notte, l'intensità del vento diminuisce e tende a provenire da NO. La situazione più critica per quel che riguarda l'impatto dei fumi provenienti da camini elevati sembra essere la diurna estiva (come si vedrà più avanti questa situazione è invece infrequente in inverno), quando il vento li indirizza verso l'entroterra e l'elevata instabilità li fa pervenire al suolo molto rapidamente.

Per conoscere il destino degli inquinanti emessi nell'atmosfera, oltre alle caratteristiche del vento che domina il trasporto in direzione orizzontale, è necessario definire le caratteristiche della turbolenza atmosferica, cioè dei moti disordinati che hanno origine sia meccanica che termica e che favoriscono, in condizioni di instabilità, la dispersione anche nella direzione verticale. Nei modelli utilizzati per il presente lavoro, la turbolenza viene descritta attraverso opportune variabili fisiche dette 'di scala', che hanno il compito di riassumerne le principali caratteristiche. Tali variabili sono:

- u^* o velocità di frizione, che descrive gli effetti legati alla turbolenza di tipo 'meccanico', dovuti alla presenza di ostacoli superficiali o variazioni con la quota della velocità del vento (shear);
- H_{mix} o altezza dello strato limite, che rappresenta lo strato adiacente al suolo variabile nel tempo e nello spazio all'interno del quale avvengono i principali fenomeni turbolenti generati dall'interazione del flusso atmosferico con la superficie, e dove vengono in genere immerse le sostanze inquinanti;
- L o lunghezza di Monin-Obukhov che rappresenta un indicatore della stabilità atmosferica. Un'atmosfera stabile tende ad un minore rimescolamento e dispersione delle sostanze emesse, al contrario un'atmosfera instabile è caratterizzata da una maggiore efficienza dispersiva. Valori negativi vicini allo zero sono rappresentativi di un'atmosfera instabile in condizioni convettive diurne, valori positivi piccoli sono invece caratteristici di un'atmosfera stabile tipicamente notturna;
- w^* o velocità convettiva di scala che rappresenta una misura dell'intensità della turbolenza nelle ore più calde in presenza di forte irraggiamento solare.

Campi orari di queste variabili sono analogamente prodotti e utilizzati da SPRAY.

Per un'informazione più immediata sulle caratteristiche anemologiche del sito in cui sorge l'azienda, nella Figura 3 è rappresentata la rosa dei venti totale alla quota di 10 m dal suolo: la circolazione locale è dominata dai venti provenienti dal quadrante di NO mentre si osserva una elevata frequenza di venti assai polarizzati da est, legati alla brezza diurna estiva. Le rose dei venti mensili mostrano l'assoluta dominanza del vento da NO nei mesi freddi mentre una presenza assai rilevante di fenomeni ciclici di brezza assai polarizzati sulle direzioni est-ovest (e, in misura minore NNE-SSO) nei mesi caldi. La situazione dei mesi intermedi, non mostrata, è ovviamente intermedia e di transizione.

Il sito risulta interessato generalmente da venti di moderata intensità, con velocità media più elevata per direzioni da est e meno elevata da NNE.

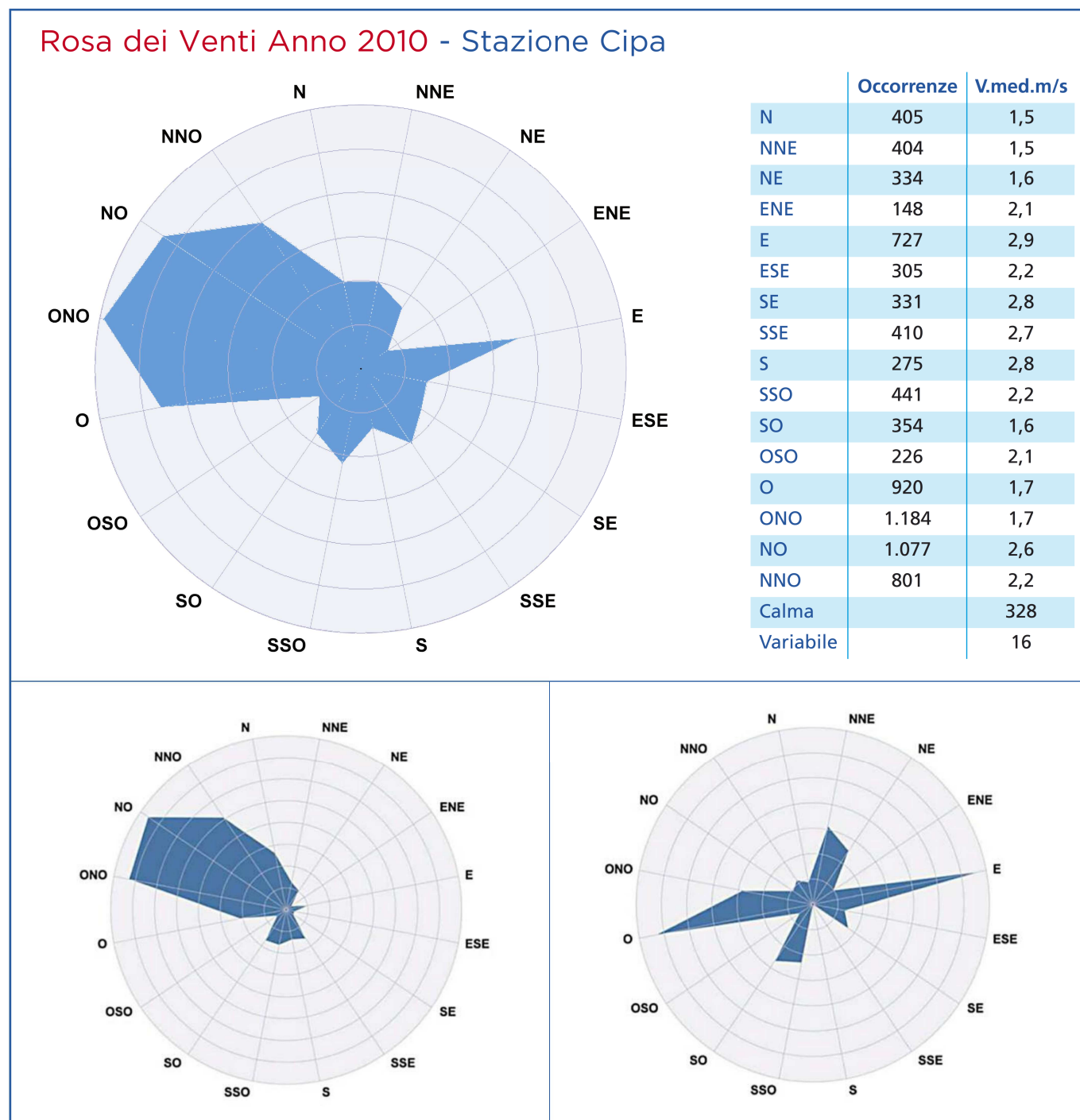


Figura 3

Rose dei venti della stazione CIPA per l'anno 2010: a sinistra, la rosa dei venti totale con le velocità medie per settore di direzione; a destra, in alto la rosa di gennaio e in basso quella di luglio (fonte: CIPA, Rapporto ambiente 2010).

Sistema Modellistico SKYNET

Il sistema SKYNET installato presso il CIPA, è un package ideato e sviluppato da ARIANET S.r.l., dedicato all'esecuzione di un'applicazione modellistica delle suite ARIA Industry™ e Regional™, entrambe basate su modelli di tipo tridimensionale, in grado di simulare in modo realistico l'inquinamento prodotto da diverse tipologie di sorgenti (puntuali, lineari e areali), sua scala locale e regionale, con i modelli lagrangiano SPRAY ed euleriano FARM.

Ha come principale obiettivo il lancio della catena di modelli che compongono una simulazione modellistica completa, dalla raccolta dei dati di input alla generazione e trasmissione degli output in formato testuale o grafico, rendendo possibile l'esecuzione automatica o quasi di un insieme di codici la cui gestione potrebbe risultare complessa ad un utente non particolarmente esperto nel settore della modellistica.

In generale costituisce un ambiente facilitato per la ripetizione delle esecuzioni per lunghi periodi e, grazie alla possibilità di modificare interattivamente l'input emissivo, permette in modo semplice la valutazione di diversi scenari.

In generale un'applicazione SKYNET è costituita da un PROGETTO, all'interno del quale si possono definire una o più CATENE operative, corrispondenti alla sequenza di moduli e modelli, necessari per effettuare una simulazione completa. Il denominatore comune di ogni progetto è il dominio geografico e la risoluzione temporale-spaziale, per cui tutte le catene in esso definite funzionano con la stessa cadenza (tipicamente oraria) e utilizzano lo stesso input territoriale (orografia e land-use).

Le catene operative, definibili in ogni progetto, si distinguono in base alla loro finalità e funzionalità e sono al massimo sei: ROUTINE, PREVISIONE, STORICO, SCENARIO, INCIDENTE e GENERICA: le prime due sono state pensate per l'utilizzo in modalità automatica, non supervisionata, mentre le altre vengono configurate per l'uso interattivo da parte dell'utente.

SKYNET, installato al CIPA come upgrade del precedente SARO, è in funzione da giugno 2008 ed è stato completato da due progetti. Il primo di questi, chiamato PRIOLO, corrisponde all'applicazione di tipo locale, dedicata al monitoraggio di tutti i camini (sorgenti puntuali) dell'area industriale, ed è utilizzata per le simulazioni di questo studio.

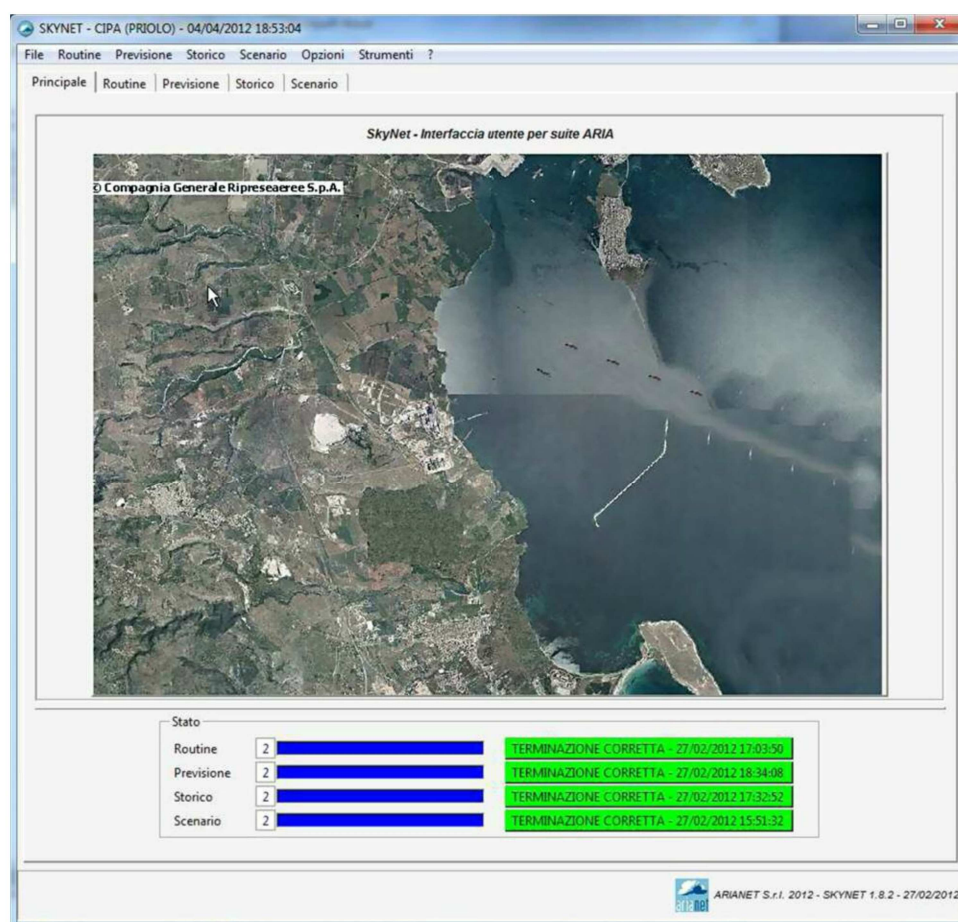


Figura 4.
SKYNET installato presso il CIPA, pagina principale del progetto PRIOLO

Nel progetto PRIOLO sono state configurate quattro catene operative, le due automatiche, ROUTINE e PREVISIONE, e 2 manuali, STORICO e SCENARIO.

Il sistema è in comunicazione con la rete di qualità dell'aria del CIPA, per l'acquisizione ogni ora dei dati meteorologici necessari al lancio delle simulazioni di ROUTINE e si connette giornalmente con ARIANET per il download delle previsioni meteorologiche a +72h utilizzate dalla catena PREVISIONE. Gli output prodotti vengono invece memorizzati localmente e archiviati per il successivo post-processing statistico e/o grafico.

Nel seguito vengono descritte brevemente le caratteristiche delle catene implementate:

ROUTINE - acquisisce dati dalla RQA del CIPA per la ricostruzione del campo meteorologico e simula in modo diagnostico la dispersione delle sorgenti ad ogni ora in cui sono resi disponibili i dati meteorologici. SODAR e RASS integrano, quando necessario, le misure al suolo. Vengono prodotte mappe complessive di inquinamento al suolo e suddivise per gruppi di impianti.

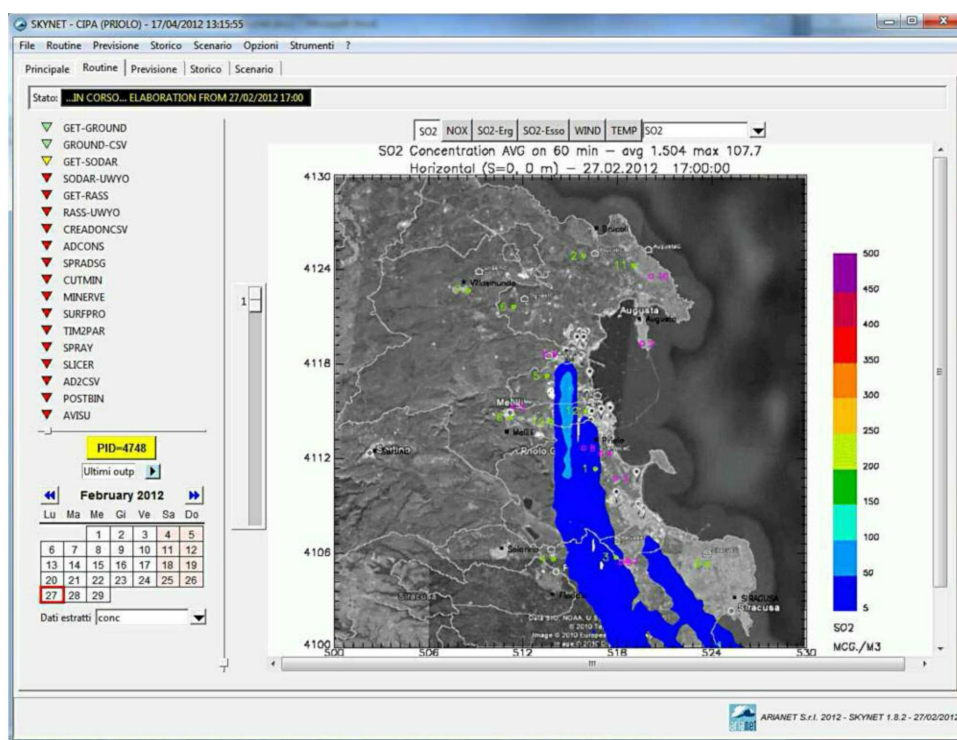


Figura 5

Pagina ROUTINE del progetto PRIOLO mostra la concentrazione al suolo totale dell'inquinante SO₂ per le ore 17:00 del 27/2/2012

FORECAST - acquisisce ogni giorno dati previsti a +72 dall'FTP-server di ARIANET, con risoluzione oraria ed effettua la previsione dell'inquinamento dovuto a tutte le sorgenti per il giorno in corso e i due successivi. Vengono prodotte mappe orarie di inquinamento al suolo complessive e suddivise per gruppi di impianti. Per ogni giornata, di simulazione viene determinata anche la mappa dei valori medi, massimi e numero di superi di un valore di soglia prestabilito. Gli output sono organizzati anche in file in formato KML per la visualizzazione con Google Earth.

STORICO - permette di effettuare le stesse simulazioni di ROUTINE, ma per un periodo di tempo a scelta (settimane, mesi) al fine di archiviare i file risultati ed effettuare statistiche di periodo.

Vengono prodotte mappe orarie e, per ogni giornata di simulazione, viene determinata anche la mappa dei valori medi, massimi e numero di superamenti di un valore di soglia.

SCENARIO - permette di effettuare le stesse simulazioni di ROUTINE, ma per un periodo di tempo a scelta (settimane, mesi) e *diverso file emissivo*, con possibilità di memorizzare i dati e confrontare i risultati di simulazioni parallele.

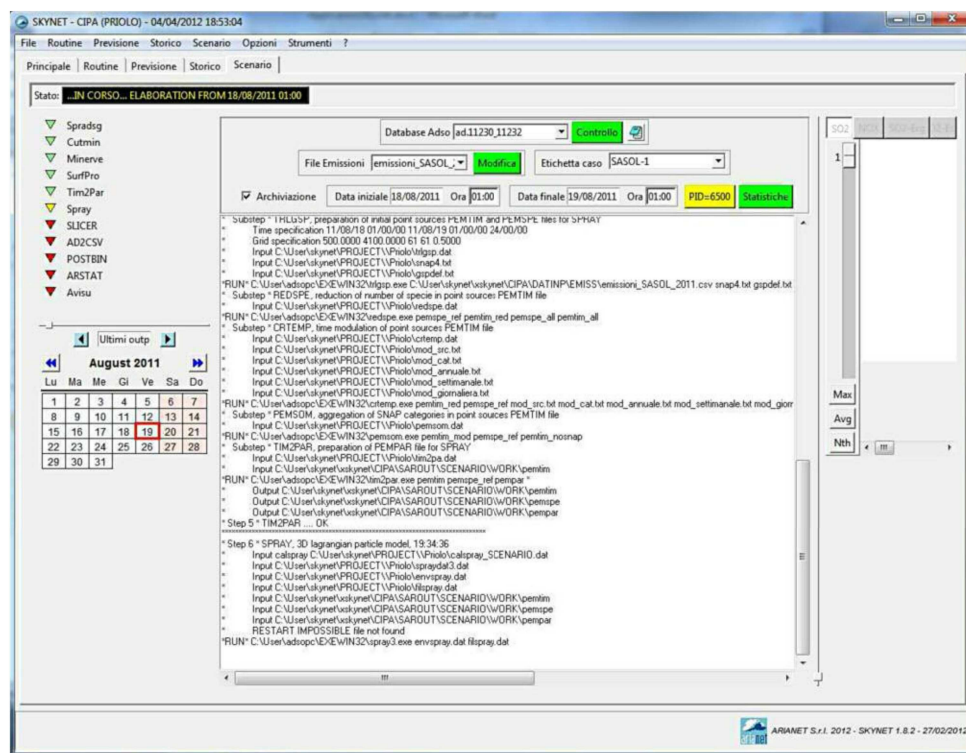


Figura 6
Pagina SCENARIO del progetto PRIOLO durante l'esecuzione della simulazione per il giorno 18/8/2011, con emissione SASOL modificata.

Modelli utilizzati

Le catene modellistiche del progetto PRIOLO ed in particolare la catena SCENARIO, sono composte essenzialmente da 3 codici modellistici: il modello meteorologico diagnostico MINERVE/Swift 7.1 per la ricostruzione dei campi di vento su terreno complesso; SurfPro 3.0 per la ricostruzione dei campi di turbolenza; il modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY 3.1 per il calcolo della dispersione atmosferica. L'insieme dei programmi citati consente di tenere conto in maniera diretta sia dell'orografia che di eventuali disomogeneità del terreno (come ad esempio la presenza di interfaccia terra-mare), simulando condizioni meteo-dispersive che presentano variazioni nelle tre dimensioni e nel tempo.

Nei prossimi paragrafi è contenuta una descrizione più dettagliata di ognuno dei codici e delle loro principali funzionalità.

2.1.1 MINERVE/Swift 7.1

Il modello MINERVE 7.1 sviluppato da EDF e ARIA Technologies S.A. (Aria Technologies, 2001, Finardi et al. 1998) è un codice "mass-consistent" di tipo diagnostico in grado di ricostruire i campi tridimensionali di vento e temperatura.

Per la ricostruzione del campo di vento, il modello opera essenzialmente in due fasi:

- nella prima effettua l'interpolazione sul dominio di calcolo tridimensionale dei dati di vento forniti in input;
- nella seconda fase, detta di analisi oggettiva, applica il principio fluidodinamico di conservazione della massa ad ogni cella del dominio e produce un campo di vento definito aggiustato.

Per costruzione, i modelli di tipo "mass-consistent" hanno la caratteristica di produrre il migliore campo di vento a divergenza nulla che minimizza lo scostamento complessivo dall'iniziale interpolazione grezza delle misure. Per questo motivo, la prima fase di interpolazione delle misure di vento riveste grande importanza nel processo di ricostruzione del campo di vento finale. Inoltre il campo interpolato che si ottiene dipende spesso dalla configurazione spaziale delle postazioni di misura, oltre che dalle quote di misura dei profili verticali.

2.1.2 SurfPro 3

Il codice SurfPro sviluppato da ARIANET S.r.l. (Silibello, 2006), è un preprocessore meteorologico in grado di ricostruire le principali variabili che descrivono la turbolenza atmosferica su terreno complesso, necessarie in input a modelli di dispersione. Il codice riceve in input i campi tridimensionali di vento e temperatura generati dal codice MINERVE/Swift 7.1, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la nuvolosità ora per ora disponibile dai campi MINNI) e la matrice di dati di uso del suolo, su un grigliato orizzontale corrispondente a quello dei dati di vento, in grado di descrivere la non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare. Utilizzando diversi schemi di parametrizzazione della turbolenza consolidati in letteratura, il codice ricostruisce campi bidimensionali delle seguenti variabili:

- altezza di rugosità z_0 ;
- altezza dello strato limite notturno o dello strato limite convettivo diurno H_{mix} ;
- velocità di frizione u^* ;
- altezza di Monin-Obukhov L ;
- velocità convettiva di scala w^* ;
- velocità di deposizione secca per specie chimiche gassose e particolato.

Il programma tiene inoltre conto dell'inclinazione dei pendii rispetto a quella dei raggi solari e degli effetti d'ombra presenti a causa dell'eventuale mascheramento provocato dall'orografia.

2.1.3 SPRAY 3.1

SPRAY 3.1 sviluppato da ARIANET S.r.l. e ARIA Technologies S.A. (Tinarelli et al., 1994, 1999, 2007) è un modello tridimensionale per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). È in grado di ricostruire campi di concentrazione determinati da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche.

L'inquinante è simulato da "particelle virtuali" il cui movimento è definito sia dal vento medio locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica.

In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni difficili da riprodurre con modelli tradizionali (calma di vento, inversione di temperatura con la quota, impatto con orografia complessa, dispersione in siti con forti discontinuità spaziali tipo terra-mare o città-campagna).

Il modello è incluso nell'elenco del MDS (Model Documentation System) di EU-EEA ed è stato recentemente citato nel rapporto EEA No 7/2013 "Air Implementation Pilot - Lessons learnt from the implementation of air quality legislation at urban level".

Per pilotare una simulazione di dispersione, SPRAY 3.1 utilizza principalmente:

- campi tridimensionali di vento e temperatura, forniti dal codice MINERVE;
- campi bidimensionali di turbolenza z_0 , H_{mix} , u^* , L , w^* forniti dal codice Surf Pro;
- dati di emissione, costituiti da una sequenza di informazioni sulla loro geometria e localizzazione spaziale, sulle quantità in massa emesse per ciascuna delle specie inquinanti prese in considerazione nella simulazione e sul numero di particelle da utilizzare. Ad ogni particella viene attribuita una massa per ogni specie, dipendente dalle caratteristiche della sorgente nel momento in cui viene emessa, simulando in questo modo condizioni non stazionarie. Il modello tiene inoltre conto dell'eventuale risalita di pennacchi caldi emessi da ciminiere di impianti industriali.

Casi di studio

Come detto nell'introduzione lo SKYNET crea modelli sulla dispersione dell'NOX ed SO₂.

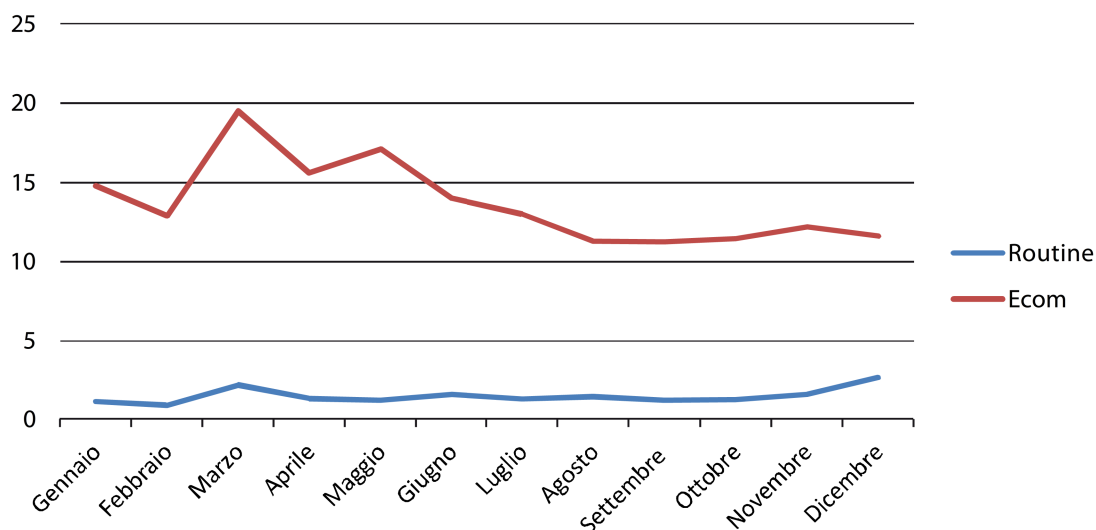


Grafico 1: Andamento mensile dell'NOX nell'anno 2012

Nel grafico 1 è rappresentato un confronto tra i valori calcolati dal sistema modellistico (BLU) e i valori misurati dalla strumentazione (ROSSO) nell'anno 2012. Come si può notare entrambe le misure hanno un andamento simile, la differenza consiste nei valori che vengono rappresentati, infatti in questo caso il modello sottostima rispetto alla strumentazione ma bisogna precisare che, in particolare nel caso dell'NOX, il valore simulato tiene conto solo delle emissioni dei camini, mentre il valore rilevato dalla strumentazione viene influenzato anche dal traffico veicolare.

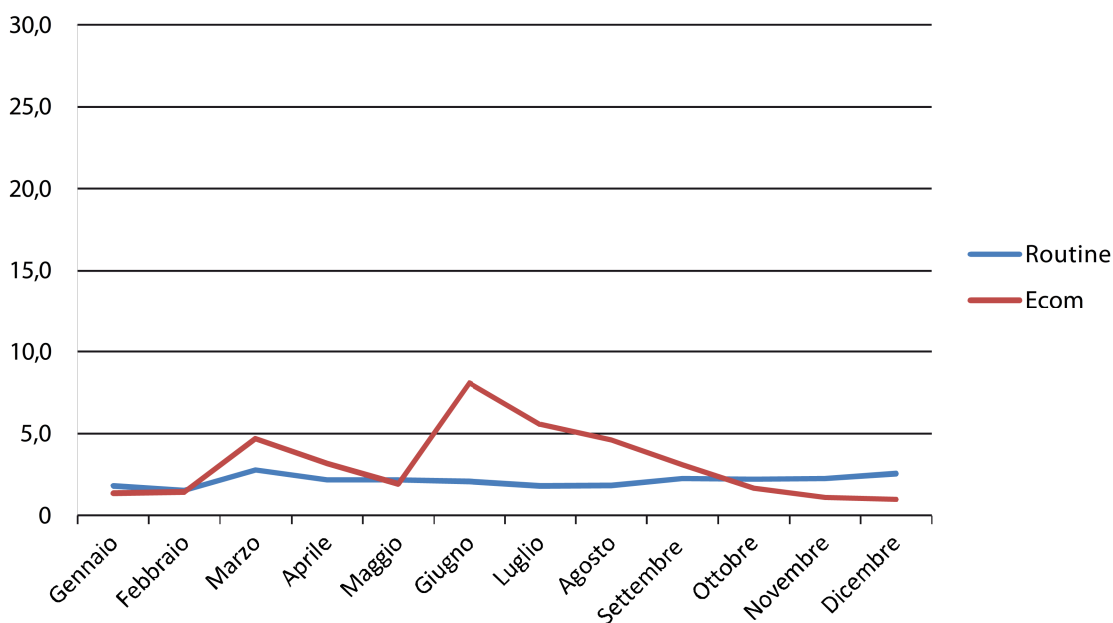


Grafico 2: Andamento mensile dell'SO₂ nell'anno 2012

Il grafico 2 riporta il confronto tra i valori di SO₂ calcolati dalla modellistica (BLU) e quelli rilevati dalla strumentazione (ROSSO) per l'anno 2012. A dimostrazione della validità del modello di simulazione adottato, si nota che il trend di misura e quello della modellistica è simile e costante.