

ALLEGATO 4

STUDIO DI DISPERSIONE ATMOSFERICA DELLE EMISSIONI DELLA CENTRALE TERMOELETTRICA
ACEAELECTRABEL SITA A LEINÌ (TO)
GENNAIO 2006

**Studio di dispersione atmosferica delle
emissioni della Centrale termoelettrica
AceaElectrabel sita a Leinì (TO)**

Autori

G. Tinarelli, G. Brusasca, T. Pittini

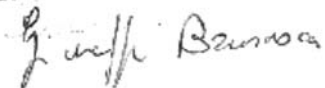
Riferimento

ARIANET R2006.02

Gennaio 2006

ARIANET S.r.l.
Il Presidente

Dott. Giuseppe Brusasca

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Giuseppe Brusasca".

Relazione ARIANET R2006.02

Autori G. Tinarelli, G. Brusasca, T. Pittini

Gennaio 2006

Committente:

AceaElectrabel

Ordine n° 2715 del 22 Novembre 2005

INDICE

1	Premessa e scopi	1
2	Dominio di Indagine	3
3	Descrizione delle simulazioni.....	6
3.1	Dati meteorologici utilizzati	6
3.2	Rosa dei venti	7
3.3	Scenario emissivo	10
4	Risultati delle simulazioni.....	11
4.1	Configurazione dei codici	11
4.2	Esempi di campi di vento.....	11
4.3	Concentrazioni al suolo	13
4.3.1	Campi di concentrazione di NOx.....	13
4.3.2	Serie temporali nei punti di misura	15
5	Conclusioni	21
6	Riferimento Normativo	22
7	Modelli matematici utilizzati.....	23
7.1	Codice MINERVE 7.0	23
7.2	Codice SurfPro 2.2	25
7.3	Codice SPRAY 3.1	25
7.4	Applicazioni dei codici	27
8	Riferimenti bibliografici.....	29

1 Premessa e scopi

La società AceaElectrabel sta realizzando una centrale a ciclo combinato alimentata a gas naturale posta nel comune di Leinì (TO).

Il piano di monitoraggio della qualità dell'aria, definito in base ad un protocollo concordato con ARPA e Regione Piemonte, richiede di individuare l'ubicazione delle cabine a valle di un'analisi della modellazione delle ricadute al suolo delle emissioni inquinanti della centrale, in modalità 'short term', basata sui dati del file meteo realizzato presso la Provincia di Torino.

Per la realizzazione di questi obiettivi, ARIANET S.r.l. ha proposto di utilizzare modelli di dispersione tridimensionali di tipo lagrangiano, i cui dettagli tecnici e riferimenti bibliografici sono esposti nei paragrafi successivi.

La dispersione degli inquinanti in atmosfera viene di norma simulata con modelli semplificati (gaussiani) che consentono di affrontare agevolmente studi su lunghi periodi temporali (tipicamente 1 anno), consentendo la quantificazione dell'impatto atmosferico dell'impianto sul territorio circostante e il calcolo degli standard di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente relativi ai diversi inquinanti.

Le simulazioni con i modelli Gaussiani forniscono, in alcune situazioni critiche, risultati poco realistici per diversi motivi:

- inadeguatezza nel trattare l'orografia e le situazioni di calme di vento;
- impossibilità nel riprodurre le situazioni di calme di vento;
- incapacità di seguire correttamente l'evoluzione temporale delle emissioni in atmosfera – fenomeni di brezza e di ricircolo di inquinante non possono essere tenuti in considerazione;
- non sono previste variazioni spaziali delle variabili meteorologiche: per esempio la direzione del trasporto degli inquinanti è una sola in tutto il dominio di calcolo.

Per affrontare studi in queste situazioni occorre disporre di modelli tridimensionali in grado di ricostruire la dinamica dell'evoluzione degli inquinanti all'interno del flusso atmosferico, come raccomandato dalle più recenti Norme UNI (ref. Norma UNI 10796, 2000 e 10964, 2001), dalle linee guida nazionali relative alla selezione dei modelli per gli studi di VIA (Bassanino et al., 1993, Anfossi et al., 1997, Desiato et al., 2000, Lollobrigida et al., 2001) e dalla letteratura specialistica (Finzi et al. 2001, Brusasca et al., 2001).

La suite modellistica ARIA Industry™, rende possibile l'esecuzione di simulazioni numeriche con metodologie di calcolo avanzate, per la ricostruzione tridimensionale del trasporto e dispersione degli inquinanti emessi; i risultati consentono di stimare i livelli d'inquinamento al suolo in tutto il dominio di interesse e la loro evoluzione temporale nelle diverse condizioni meteorologiche tipiche del sito.

Vengono utilizzati:

- un modello per la ricostruzione tridimensionale del campo di vento (**MINERVE**);
- un processore per la definizione dei parametri di turbolenza (**SurfPro**);
- un modello lagrangiano a particelle per la dispersione degli inquinanti (**SPRAY**).

La sequenza di modelli utilizzati consente di gestire in particolare le situazioni riguardanti questo studio: simulare la dispersione in atmosfera di inquinanti emessi dalla centrale in regimi di calma di vento e quantificarne l'impatto sull'orografia a sud dell'impianto.

Inoltre la modellistica tridimensionale consente l'utilizzazione completa ed adeguata del dataset meteorologico reso disponibile dalla Provincia di Torino: 1 anno di dati orari a risoluzione spaziale di 1 km su tutta la Provincia: matrici tridimensionali di vento e temperatura + matrici bidimensionali per le caratteristiche del terreno, radiazione e parametri di turbolenza consentono una realistica descrizione della dispersione degli inquinanti in atmosfera per il sito in esame.

L'obiettivo di questo studio è dunque la valutazione dell'impatto al suolo delle emissioni derivanti dalle attività della Centrale, mediante la realizzazione di una simulazione annuale, ora per ora, per gli inquinanti emessi. Per l'inquinante considerato (NO_x), nella simulazione verranno prodotte le mappe di concentrazione al suolo sul dominio selezionato e verranno calcolati i diversi parametri di legge (medie, percentili). Le informazioni ottenute saranno di supporto all'individuazione delle postazioni ottimali per la rete di monitoraggio.

2 Dominio di Indagine

Il dominio orizzontale di simulazione copre un'area di 24 x 18 km² mediante un grigliato dalle seguenti caratteristiche:

- 97 celle nella direzione x;
- 73 celle nella direzione y;
- 250 m di risoluzione orizzontale;
- coordinate UTM fuso 32 del punto SW di griglia pari a 392 Km E, 4994 Km N;

L'estensione verticale del dominio di simulazione è pari a 5000 m, con 21 livelli di calcolo.

L'area di indagine è stata estesa rispetto alle dimensioni iniziali su cui era stato condotto lo studio per la VIA, in relazione alla richiesta da parte di ARPA e Regione Piemonte, di includere i rilievi orografici posti a sud e a est dell'impianto. Le dimensioni del dominio e delle le matrici di calcolo risultano a questo punto piuttosto consistenti, ma ancora ammissibili con i tempi di calcolo necessari per una simulazione tridimensionale annuale.

La Figura 1 riporta in pianta il dominio considerato. Il territorio è generalmente pianeggiante, a parte la regione a SE del dominio occupata dalla collina torinese che raggiunge una quota oltre i 500 metri e che costituisce una barriera per i venti provenienti da quella direzione. Sono ben visibili le principali strade di comunicazione, i vari centri urbani che confinano con il comune di Leinì (in particolare Settimo, Borgaro, Caselle e Volpiano) e nella parte sud-est l'inizio dell'area metropolitana di Torino.

Sono riportate le isolinee dei rilievi topografici da 100 a 500 metri con delta di 50 m. e sono visualizzate le postazioni, attualmente presenti sul territorio, della rete di rilevamento della qualità dell'aria della regione Piemonte: quelle più vicine alla centrale (Borgaro e Settimo), le 2 più a NE di Torino (in via Grassi e Rebaudengo) e 2 relative alla rete di controllo della centrale Edipower (Chivasso e Castagneto); inoltre è segnalata la posizione della centrale e del laboratorio mobile che sta conducendo le campagne di monitoraggio nel comune di Leinì.

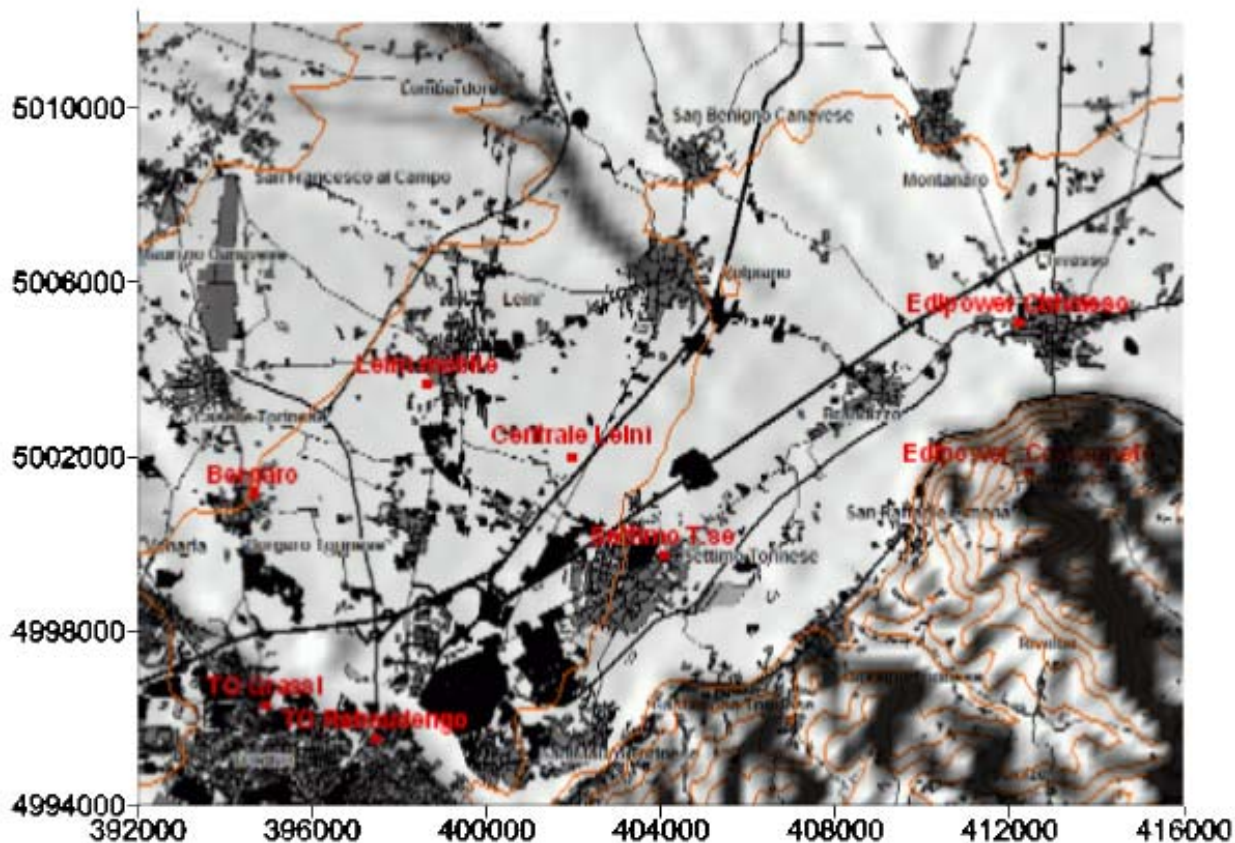


Figura 1: Dominio di calcolo, sono indicate in marrone le isolinee di livello topografico e in rosso le posizioni della Centrale, della stazione mobile e di alcune postazioni della Rete di rilevamento della qualità dell'aria della Regione Piemonte.

In Figura 2 è riportata la mappa di uso del suolo relativa al medesimo dominio descritto in precedenza, a 250 m di risoluzione orizzontale. I codici di uso del suolo sono definiti secondo una classificazione a 21 classi ricavata dalla classificazione standard internazionale CORINE a 44 classi (EEA Data Service), mediante accorpamento di alcune categorie, secondo la didascalia riportata sopra la figura.

Sono ben evidenti le aree urbane ed industriali (colore rosso), il sedime aeroportuale di Caselle (colore arancione scuro), le aree agricole (colore arancione chiaro – verde chiaro) e forestali (colore verde): il dominio risulta fortemente antropizzato.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 = Urban fabric | 11 = Coniferous forest |
| 2 = Industrial, commercial and transport units | 12 = Mixed forest |
| 3 = Airports | 13 = Natural grassland |
| 4 = Other artificial surfaces | 14 = Shrubs and heathland |
| 5 = Arable land (non-irrigated) | 15 = Beaches, dunes, and sand plains |
| 6 = Rice fields | 16 = Bare rock |
| 7 = Permanent crops | 17 = Sparsely vegetated areas |
| 8 = Pastures | 18 = Glaciers and perpetual snow |
| 9 = Heterogeneous agricultural areas | 19 = Inland wetlands |
| 10 = Broad-leaved forest | 20 = Coastal wetlands |
| | 21 = Water bodies |

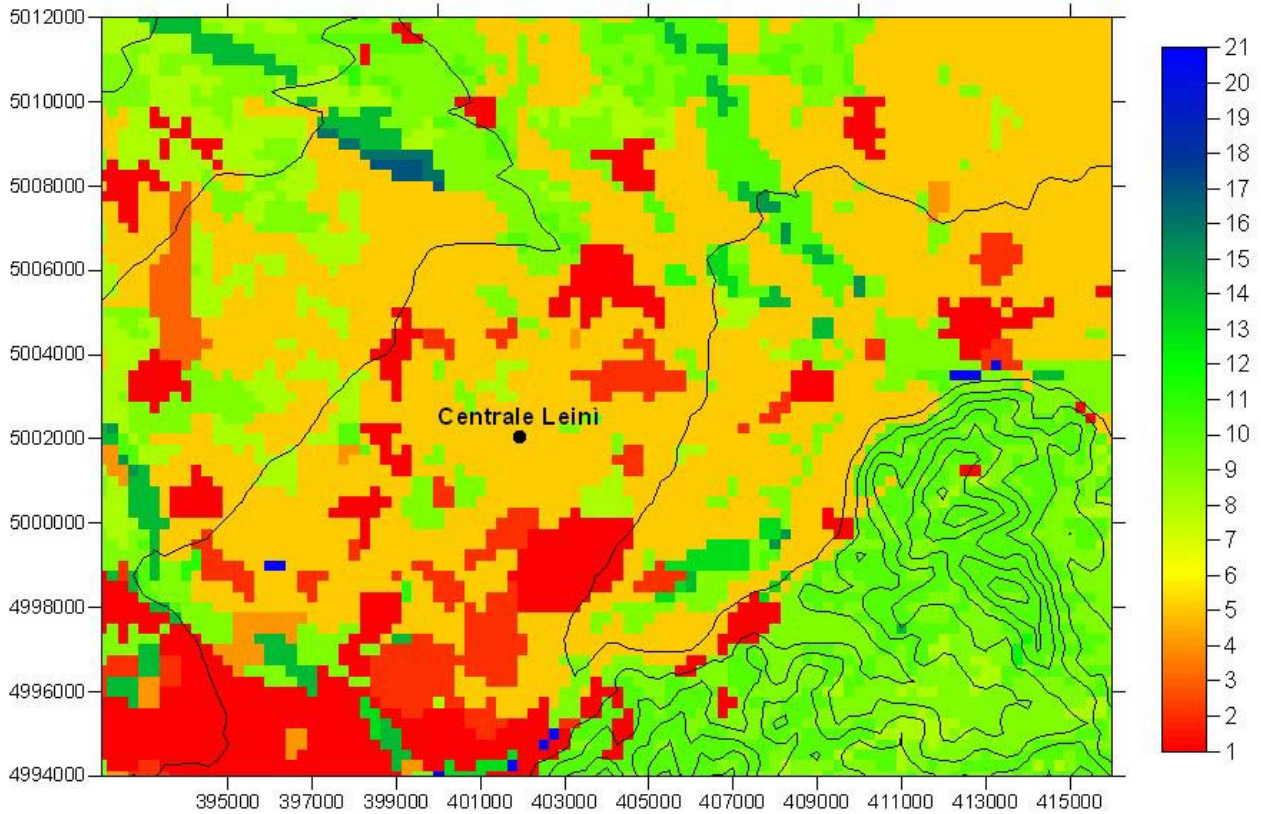


Figura 2 Mappa di uso del suolo relativa al dominio considerato

3 Descrizione delle simulazioni

3.1 Dati meteorologici utilizzati

Per la realizzazione delle simulazioni annuali, è stato utilizzato il database dei campi di vento costruito presso la Provincia di Torino (Rapporto 2003 sulla qualità dell'aria - informazioni disponibili sotto: <http://www.provincia.torino.it/ambiente/inquinamento/aria/qualita/vento>) e messo a disposizione dallo stesso Ente. Il database meteorologico è costituito da un intero anno (Giugno 1999 – Maggio 2000) di dati orari a risoluzione spaziale di 1 km su tutta la Provincia, costituiti da matrici tridimensionali di vento e temperatura e matrici bidimensionali per le caratteristiche del terreno, radiazione e parametri di turbolenza.

In Figura 3 sono indicati (in azzurro) i punti in corrispondenza dei quali sono stati estratti, dal database disponibile per l'intera Provincia, i profili di vento e temperatura a partire dai quali sono stati ricostruiti nuovi campi tridimensionali annuali di vento e temperatura adattati al dominio di interesse.

I nuovi campi tridimensionali di vento e temperatura ottenuti presentano una maggiore risoluzione spaziale (250 metri) rispetto alla risoluzione del database di partenza (1 km) e possono quindi riprodurre con maggiore dettaglio le caratteristiche orografiche del territorio.

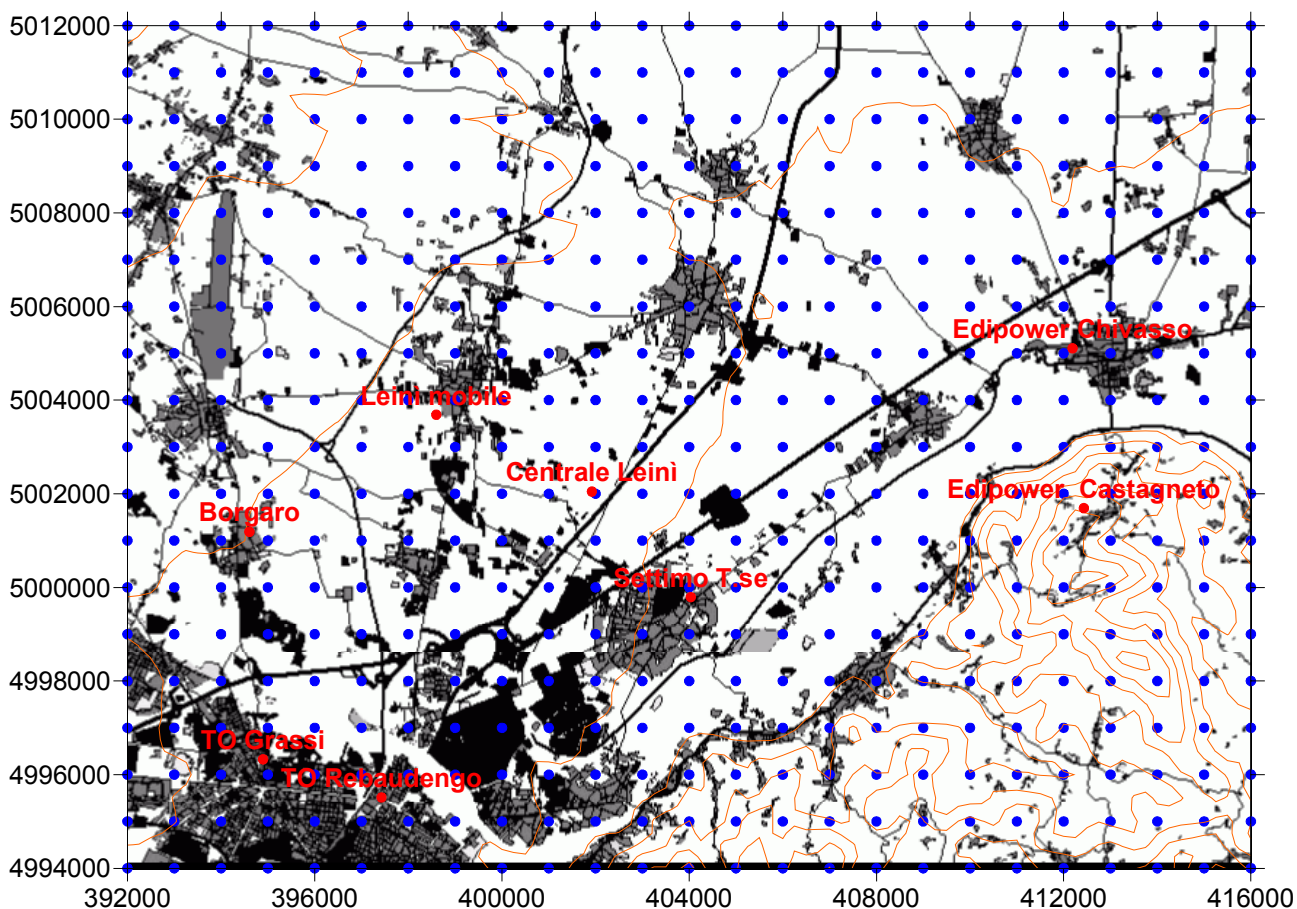


Figura 3: Dominio di calcolo: sono indicati i punti nei quali sono stati estratti profili di vento e temperatura a partire dal database annuale della Provincia di Torino.

3.2 Rosa dei venti

In Figura 4 sono rappresentate le rose dei venti ricavate dai dati di velocità e direzione del vento estratti dal dataset meteorologico della Provincia di Torino in corrispondenza del punto più vicino al sito dove è prevista la realizzazione della centrale di Leinì. Tali rose sono relative all'intero anno di dati orari a disposizione (Giugno 1999 – Maggio 2000) e sono riferite rispettivamente alla quota di 10 metri (a) ed alla quota di 200 metri (b).

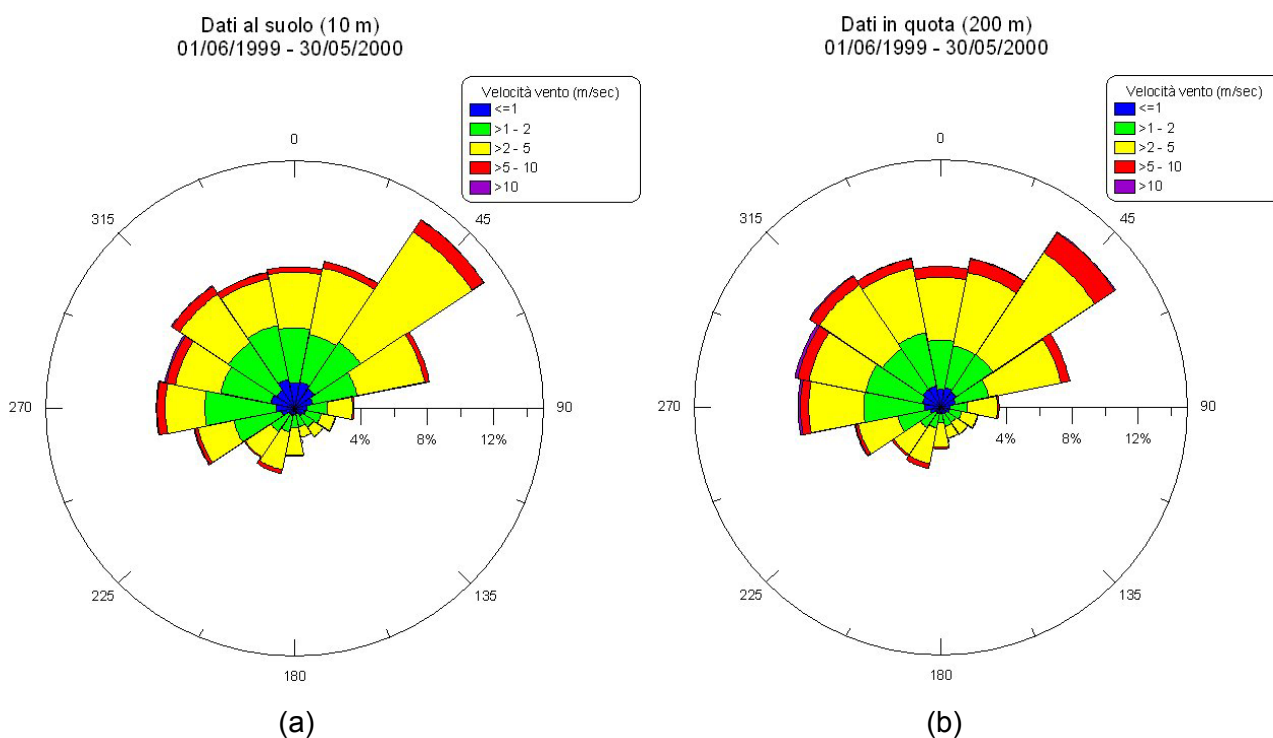


Figura 4.a-b: Rose dei venti annuali relative al punto più prossimo alla centrale di Leinì. Dati al suolo (a) e a 200 m (b), relativi all'intero periodo di disponibilità

Si nota una predominanza di venti provenienti dai quadranti settentrionali, con maggiore frequenza per la direzioni intorno ai 45°. Sono presenti inoltre in misura non trascurabile componenti da NNO, NO e O. Sono scarsamente rappresentate le direzioni da S ed in particolare quelle da SE, che risultano oscurate dalla presenza della collina. La rosa dei venti a 200m presenta frequenze più elevate per i venti di maggiore intensità ed una minore incidenza dei venti deboli, anche se non mostra differenze sostanziali relativamente alla distribuzione delle direzioni rispetto alla rosa dei venti al suolo. In Figura 5 vengono rappresentate le rose dei venti al suolo diurne e notturne relativamente al periodo annuale.

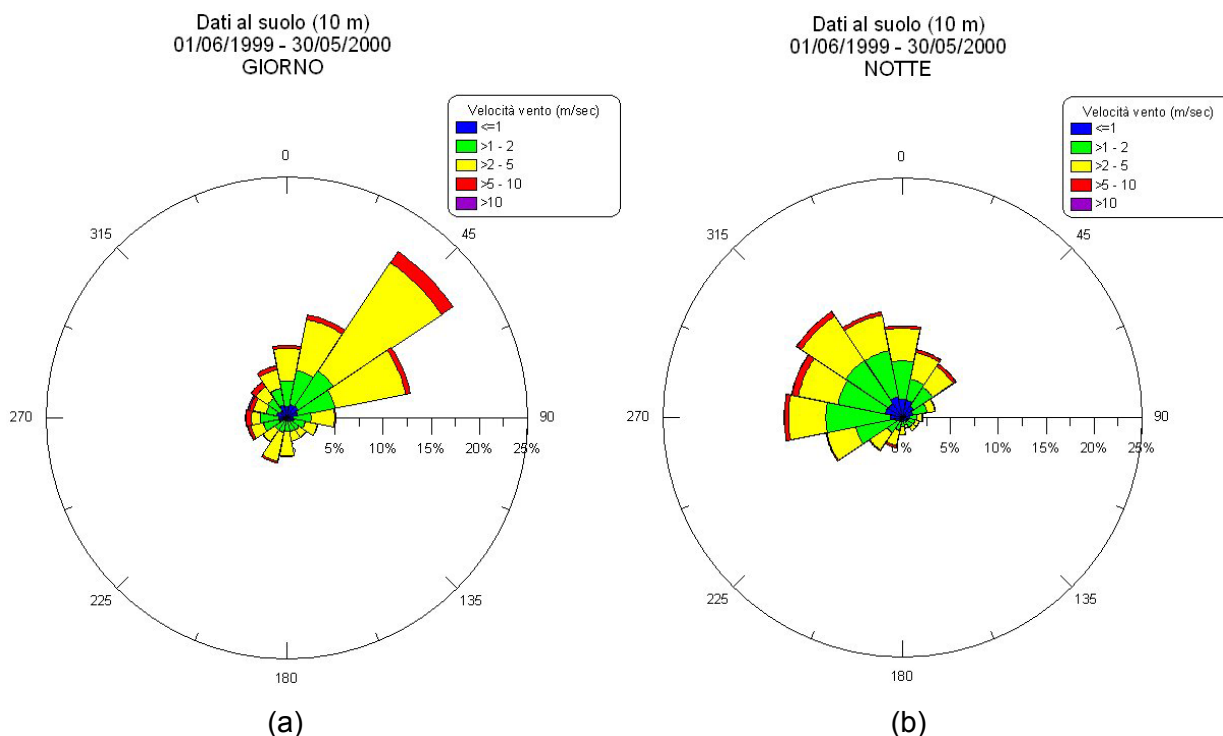


Figura 5.a-b: Rose dei venti annuali relative al punto del grigliato di calcolo più prossimo alla centrale di Leinì. Dati diurni (a) e notturni (b), relativi all'intero periodo di disponibilità

Si nota un'evidente alternanza tra la situazione diurna e quella notturna. Durante il giorno i venti soffiano prevalentemente da NE e risultano molto limitate le componenti da N e O. Durante le ore notturne si ha invece predominanza delle direzioni da O e NO, e sono presenti in percentuale non trascurabile anche direzioni da N.

Nelle Figure 6 e 7 sono rappresentate le rose dei venti al suolo rispettivamente per le stagioni autunno-inverno e primavera-estate. Durante le stagioni autunno e inverno si ha una distribuzione delle direzioni del vento abbastanza uniforme, fatte salve le direzioni da SE assenti a causa della protezione della collina. Si ha una leggera prevalenza di venti da N e da O con velocità più elevate, in particolare in inverno le componenti da O assumono rilevanza e presentano venti che superano in alcuni casi i 10 m/s, mentre le direzioni da NE sono quelle che presentano velocità più moderate, soprattutto durante l'autunno. Nei mesi più caldi le rose dei venti risultano invece maggiormente polarizzate, con una netta prevalenza di venti da NE. Sono invece sostanzialmente assenti le direzioni da S. La stagione con venti più intensi risulta la primavera.

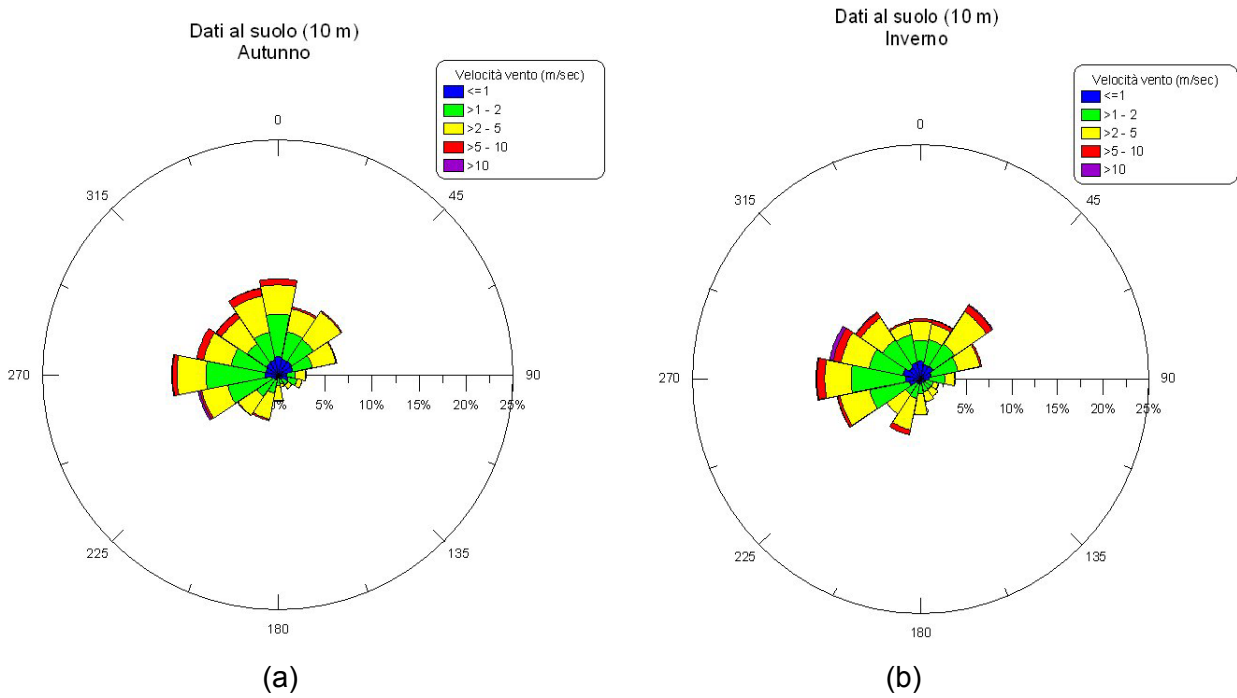


Figura 6.a-b: Rose dei venti annuali relative al punto più prossimo alla centrale di Leinì. Dati autunnali (a) ed invernali (b), relativi all'intero periodo di disponibilità

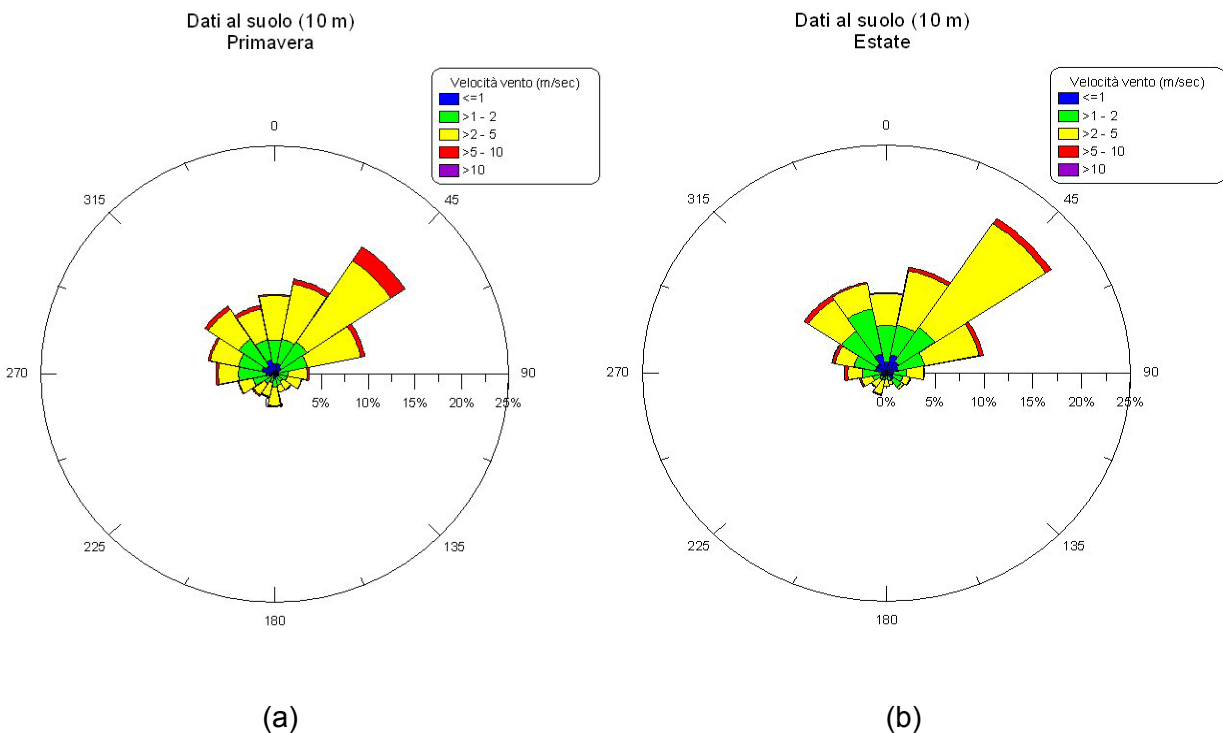


Figura 7.a-b: Rose dei venti annuali relative al punto più prossimo alla centrale di Leinì. Dati primaverili (a) ed estivi (b), relativi all'intero periodo di disponibilità

3.3 Scenario emissivo

Lo scenario emissivo prevede le emissioni da un unico camino relativo alla prevista centrale di Leinì, posizionata nel punto di coordinate UTM32 X = 401.921 km, Y= 5002.046 km.

Le caratteristiche geometriche e fisiche dell'emissione utilizzate dalle simulazioni sono sintetizzate nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 Caratteristiche fisico-geometriche ed emissioni relative alla centrale di Leinì

Altezza camino	m	55
Diametro camino	m	6.384
Temperatura fumi	°C	101.7
Velocità di uscita	m/s	21
Concentrazioni NOx	40	mg/Nm ³
Portata a pieno carico	1840000	Nm ³ /h
Rateo di emissione NOx	20.44	g/s

La portata a pieno carico è stata dedotta dal diagramma di progetto, illustrato in Figura 8

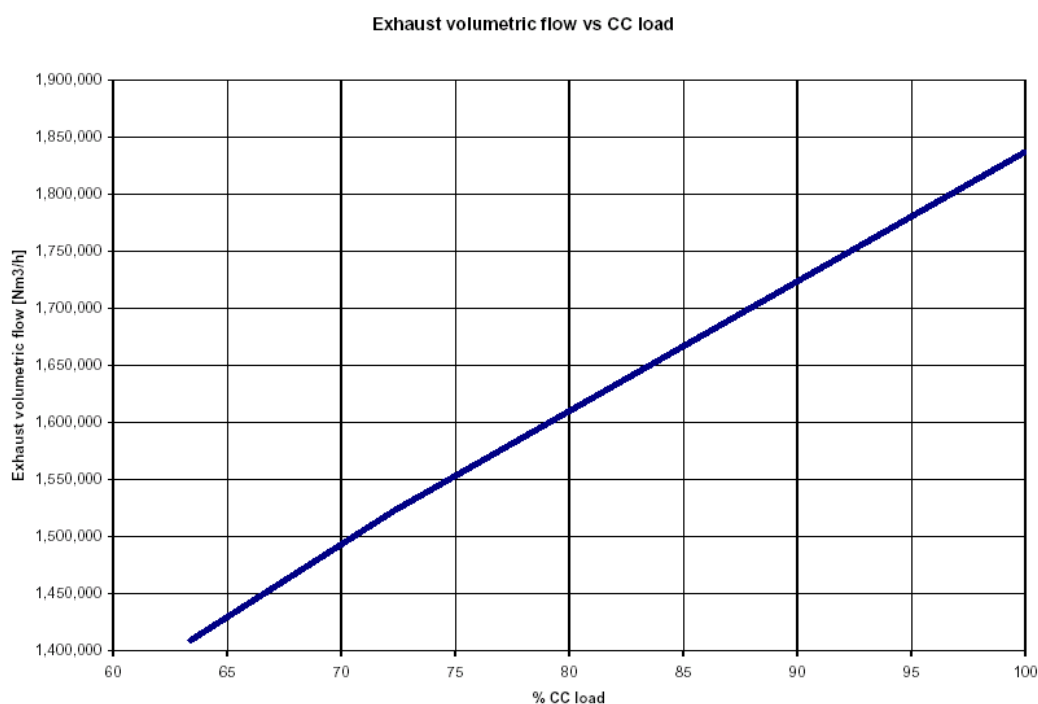


Figura 8. Diagramma carico/concentrazioni fumi all'emissione relativo alla centrale di Leinì

Il funzionamento della centrale a modello è previsto a pieno carico e con emissione pari al valore limite per tutto l'anno, tranne che nel mese di agosto, mese in cui è stata ipotizzata la fermata dell'impianto per manutenzione. Pertanto, i risultati ottenuti sono da considerarsi conservativi.

4 Risultati delle simulazioni

4.1 Configurazione dei codici

Per quanto riguarda il codice MINERVE, come già accennato nel capitolo 3 esso viene utilizzato per riportare ad una scala più dettagliata i dati disponibili attraverso il database annuale della Provincia di Torino. A partire da una risoluzione orizzontale spaziale di 1 km vengono ricostruiti a frequenza oraria i campi di vento e temperatura a passo 250m, mediante un'operazione di downscaling che tiene conto sia dell'orografia che della rugosità del suolo forniti in input al modello a questa risoluzione. Lungo la verticale il grigliato scelto è a passo variabile, con 21 livelli più fitti in prossimità del suolo, con il primo livello sopra il terreno a circa 10 m ed il top del dominio di calcolo posto a 5000 m sopra il livello del mare. La ricostruzione modellistica dei campi di vento a griglia più fine non è una semplice interpolazione dei valori iniziali, ma adatta i flussi ad un'orografia più risolta mantenendo il principio di conservazione della massa, evitando cioè di creare zone di accumulo o svuotamento fittizie non riproducenti il comportamento dell'atmosfera.

Il codice SurfPro riceve in input i campi orari di vento e temperatura prodotti da MINERVE e produce i campi delle variabili 2D di scala u_* , L , H_{mix} , w_* alla medesima risoluzione di 250m, necessari per la ricostruzione in SPRAY delle variabili che descrivono il moto turbolento random delle particelle. Vengono a questo scopo utilizzati da SurfPro i campi bidimensionali di uso del suolo secondo la classificazione CORINE ridotta, descritta nel capitolo 2, che a loro volta sono trasformati in variabili fisiche (albedo, rapporto di Bowen, rugosità superficiale) con variabilità stagionale. Vengono inoltre utilizzati i dati di radiazione solare globale misurati all'interno del dominio di calcolo, per ricostruire gli effetti legati alla copertura nuvolosa.

Il codice SPRAY riceve in input i campi di vento, temperatura e turbolenza provenienti da SurfPro e produce campi di concentrazione al suolo per la sostanza NO_x all'interno di celle della dimensione orizzontale di 250 m e verticale pari a 10 m. Per la risoluzione dell'equazione di Langevin viene utilizzato lo schema di Thomson '87, con chiusura di Gram-Charlier al 3° ordine (Tinarelli et al., 2000). La sorgente puntuale viene simulata mediante particelle virtuali, generate con frequenza di 10 s, alla quota di emissione dei camini e all'interno di un'area che riproduce la sezione dei camini stessi. Sulle sorgenti puntuali viene attivato l'algoritmo di plume rise (Anfossi et al., 1993) per tenere conto del sovrainnalzamento termico di sorgenti calde. Il quantitativo di particelle da generare è stato scelto per raggiungere un buon compromesso tra una soddisfacente qualità della simulazione e le esigenze computazionali di una simulazione su lungo periodo. Durante le situazioni di picco, circa 20000 particelle vengono trasportate e diffuse all'interno del dominio di calcolo.

La suite di codici MINERVE-SurfPro-SPRAY è stata utilizzata in una configurazione tale da ottenere simulazioni su scala climatologica annuale. Per ottenere questo risultato i modelli vengono richiamati in cascata con frequenza oraria. All'interno di ogni ora le particelle vengono campionate ogni 60 s per alimentare il campo di concentrazioni medio mentre lo stato finale viene utilizzato per inizializzare la simulazione dell'ora successiva. In questo modo la simulazione risulta essere continua durante tutto il periodo annuale. Vengono simulate complessivamente 8784 ore, a posteriori vengono eliminate le giornate simulate nel mese di agosto 1999 durante il quale si ipotizza la fermata per manutenzione dell'impianto. Rimangono quindi 8040 ore simulate che vengono utilizzate per il calcolo delle statistiche di concentrazione.

4.2 Esempi di campi di vento

I campi di vento, che costituiscono il flusso medio attraverso il quale vengono spostati i pennacchi di particelle, sono ricostruiti dal codice MINERVE a 250 m di risoluzione orizzontale con frequenza

oraria per tutto il periodo annuale. Nelle Figure 9 e 10 e sono riportati due esempi di campi in prossimità del suolo (a circa 10 m) simulati rispettivamente alle ore 09:00 e 13:00 del giorno 11/01/2000. E' presente una certa variabilità all'interno della giornata che è in grado di portare in poche ore ad una rotazione del vento anche di 180°, come evidenziato dalle figure.

Si può inoltre notare la presenza di una certa disomogeneità del campo di vento nella zona in pianura, visibile soprattutto nel caso delle ore 13:00, dovuto alla presenza di una rugosità superficiale non omogenea tenuta in conto dal codice MINERVE.

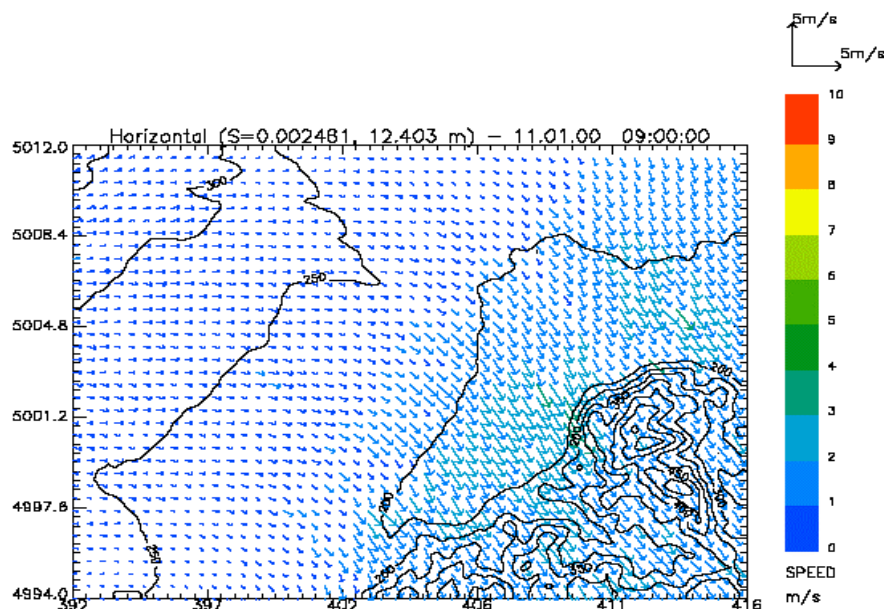


Figura 9. Campo di vento in prossimità del suolo calcolato per il giorno 11/01/2003 09:00

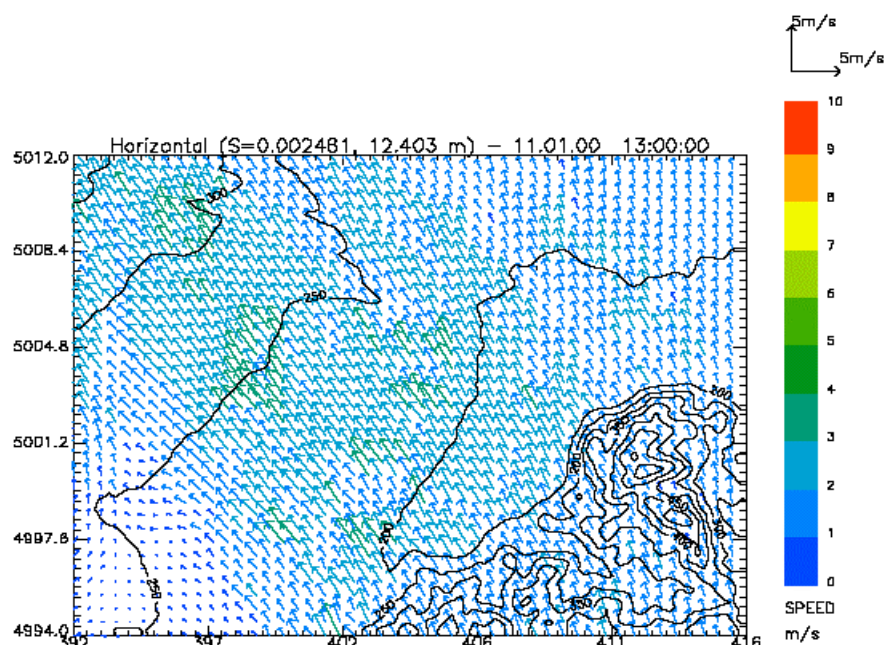


Figura 10. Campo di vento in prossimità del suolo calcolato per il giorno 11/01/2003 13:00

4.3 Concentrazioni al suolo

4.3.1 Campi di concentrazione di NOx

Sono state calcolate le concentrazioni al suolo medie annuali di NOx, le concentrazioni medie per ogni stagione ed il 99.8° percentile relativo alla distribuzione delle concentrazioni orarie annuali.

La Figura 11 riporta il campo di concentrazioni medie annuali di NOx. Il valore massimo simulato è di $0.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di molto inferiore al limite annuale imposto per l'inquinante NO₂ sia per la protezione della salute umana ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che per la protezione dell'ambiente ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Si ricorda che l'inquinante simulato è in questo caso NOx, considerato come sostanza inerte.

Si nota la presenza di due aree principali di impatto, la prima a SO dell'impianto in posizione relativamente prossima a questo, mentre la seconda sulla collina, particolarmente nelle regioni a E ed a S dell'impianto. La prima area contiene il valore massimo ed è determinata dall'incidenza delle situazioni diurne con direzione predominante dei venti intorno ai 45°: durante il giorno sono generalmente presenti condizioni convettive che rimescolano in verticale l'atmosfera, portando rapidamente al suolo i fumi caldi emessi in quota. La seconda area è determinata principalmente da situazioni notturne in cui sono frequenti i venti da N e da O: durante la notte sono prevalenti le condizioni stabili che non favoriscono il rimescolamento verticale e pertanto i fumi emessi vengono trasportati in quota senza un efficiente meccanismo di diluizione e quando incontrano i rilievi collinari si evidenziano rialzi nei livelli di concentrazione. L'isolinea gialla che rappresenta i valori superiori a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, è circoscritta comunque a limitate aree del territorio.

Max = $0.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$

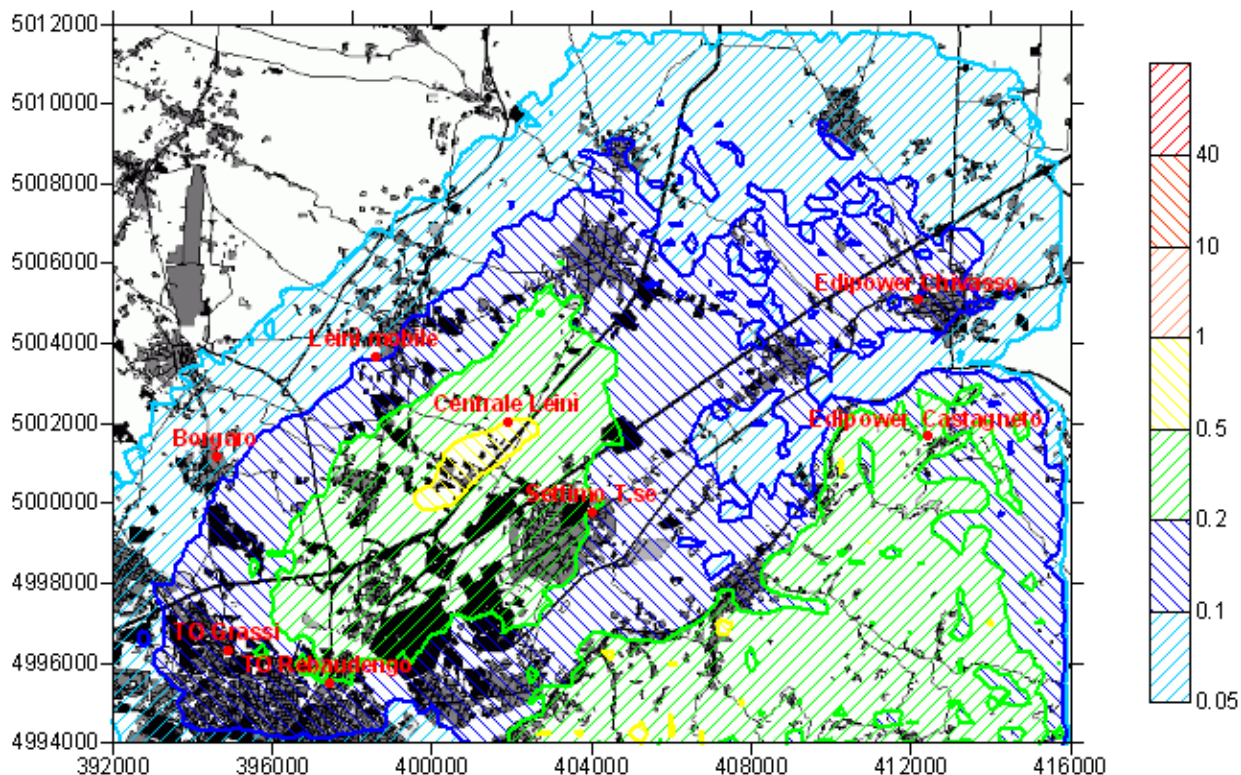


Figura 11. Isoaree di concentrazione al suolo medie annuali di NOx. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala riportata a destra

La Figura 14 riporta infine il 99.8° percentile della distribuzione dei valori orari di concentrazione al suolo: sostanzialmente si ribadiscono le considerazioni fatte per la media. Il valore massimo è di $43.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche in questo caso ben al di sotto dei limiti di legge per l' NO_2 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le zone di principale impatto con valori intorno o superiori ai $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (isolinea arancione) si ritrovano intorno all'impianto, in un raggio di circa 3 km con prevalenza a SO dello stesso e sulla collina con ampiezze molto limitate.

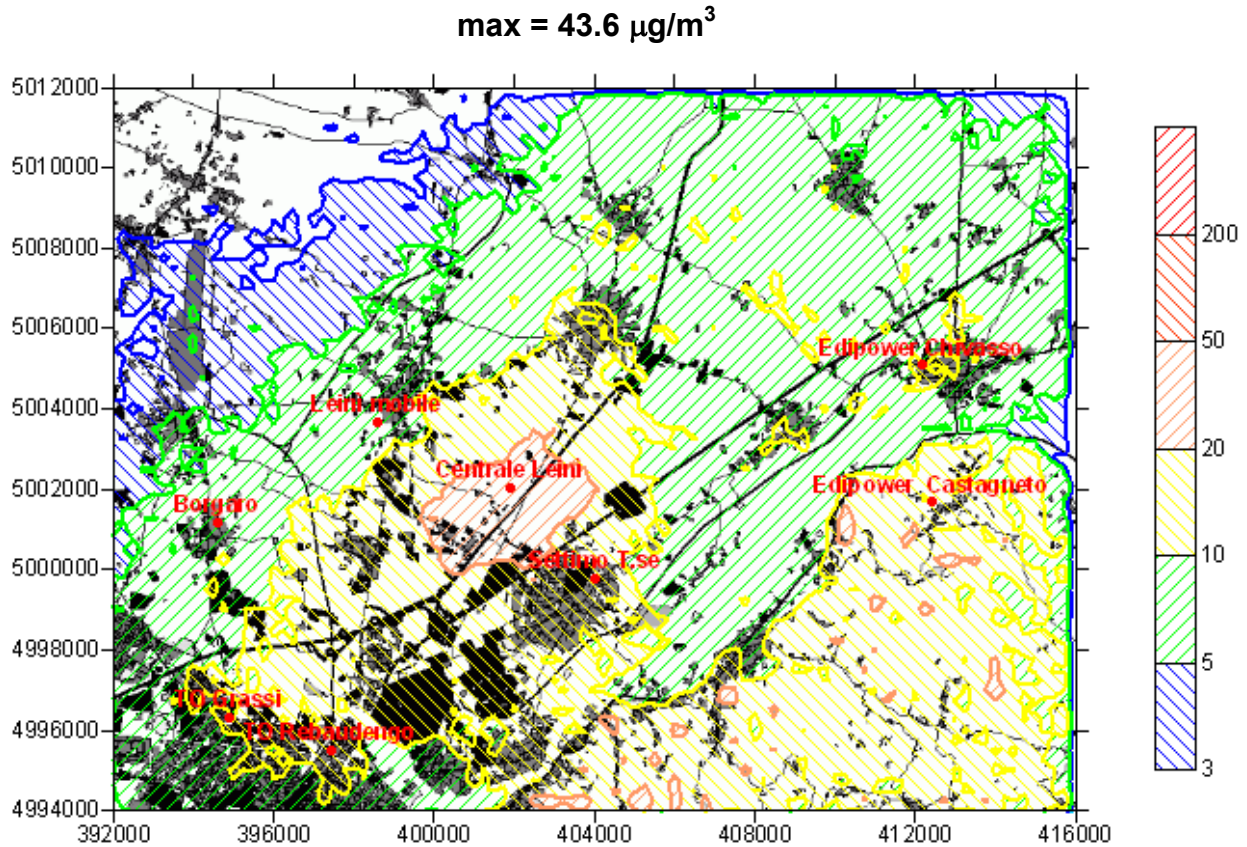


Figura 14. 99.8° percentile della distribuzione delle concentrazioni al suolo orarie di NO_x . Valori in mg/m^3 secondo la scala riportata a destra.

4.3.2 Serie temporali nei punti di misura

Sono state estratte in corrispondenza di particolari punti del dominio le concentrazioni orarie generate dal modello. I punti di estrazione sono listati in Tabella 2 ed evidenziati sul dominio in Figura 15.

Tabella 2 Lista dei punti di estrazione e relative coordinate UTM32

	X UTM32 (km)	Y UTM32 (km)
Borgaro	394.606	5001.187
Settimo Torinese	404.033	4999.792
Torino Grassi	397.426	4995.512
Torino Rebaudengo	394.896	4996.328
Edipower Chivasso	412.189	5005.106
Edipower Castagneto	412.431	5001.692
Leinì Staz. mobile	398.598	5003.687

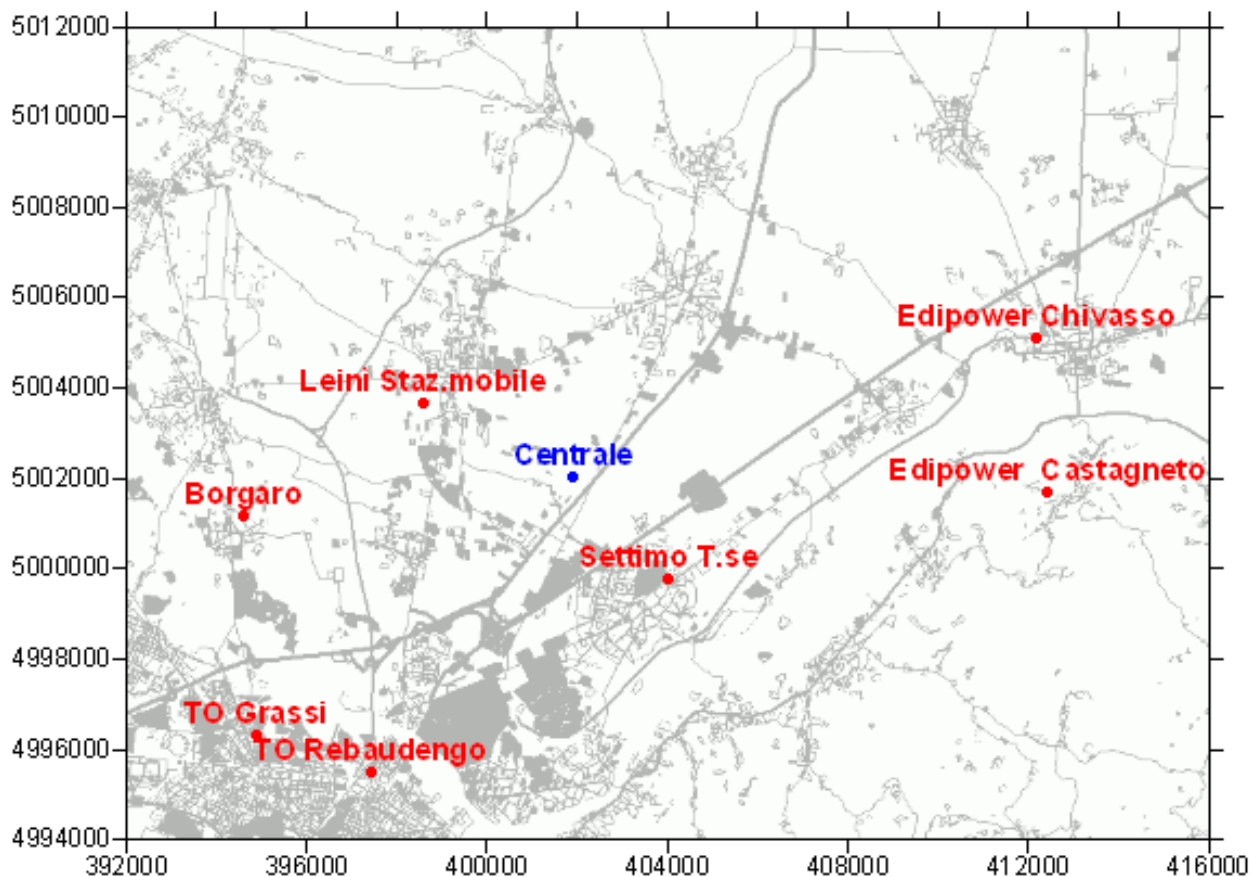


Figura 15. Visualizzazione dei punti di estrazione (in rosso) delle concentrazioni orarie simulate

In Figura 16 e 17 sono riportate le serie temporali orarie delle concentrazioni simulate rispettivamente a Borgaro e Settimo Torinese. In questi come nei grafici seguenti che riportano le serie temporali di concentrazione, la scala temporale parte dal giorno 01/06/1999 sulla sinistra e

termina il giorno 31/05/2000 sulla destra. Le stagioni autunnale ed invernale sono quindi localizzate al centro dei grafici mentre le stagioni estiva e primaverile sono localizzate agli estremi sinistro e destro. Il mese di agosto così come nei grafici successivi, risulta privo di impatto in entrambi i punti in quanto la centrale è ipotizzata spenta.

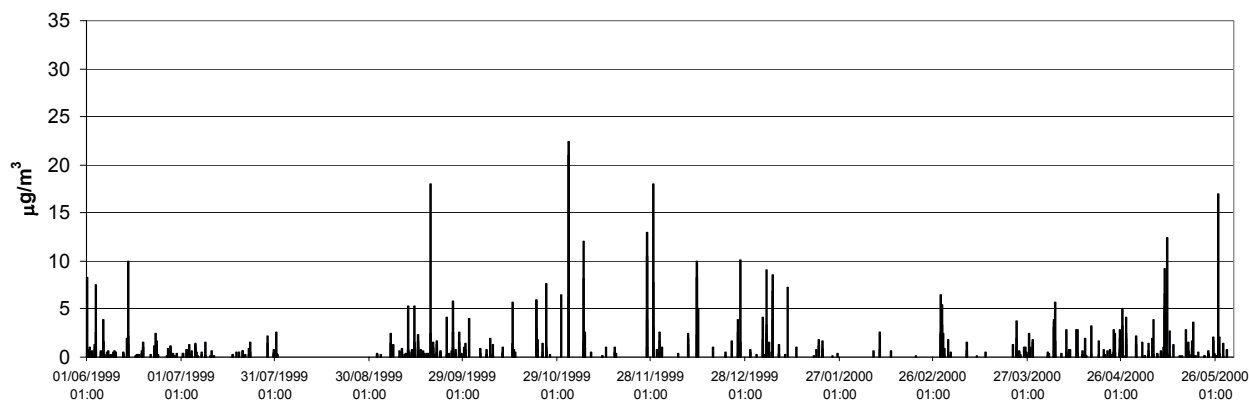


Figura 16. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx simulate a Borgaro

Se **Settimo**

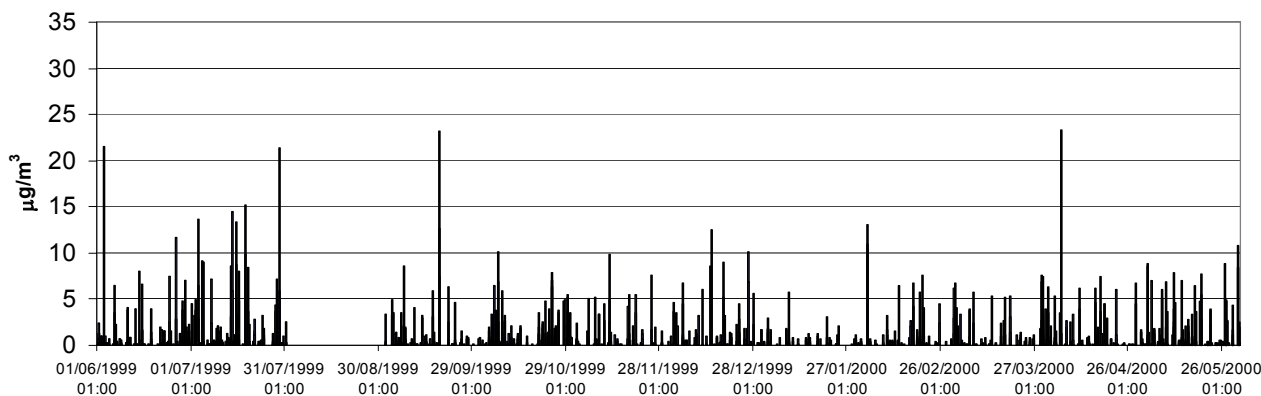


Figura 17. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Settimo Torinese

I grafici mostrano livelli di impatto piuttosto bassi, con massimi di poco superiori a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante pochi episodi isolati. In generale la stazione di Borgaro mostra concentrazioni minori rispetto a quella di Settimo Torinese. Le medie orarie con concentrazioni più elevate ($>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sono abbastanza uniformemente distribuite lungo l'anno.

In Figura 18 e 19 sono riportate le serie temporali orarie delle concentrazioni simulate rispettivamente a Torino Grassi e Torino Rebaudengo.

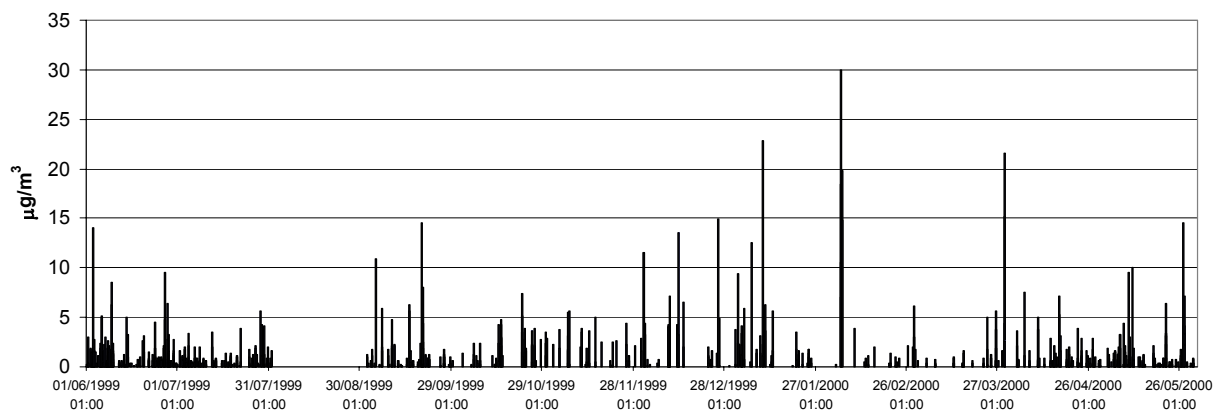


Figura 18. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Torino Grassi

Torino Rebaudengo

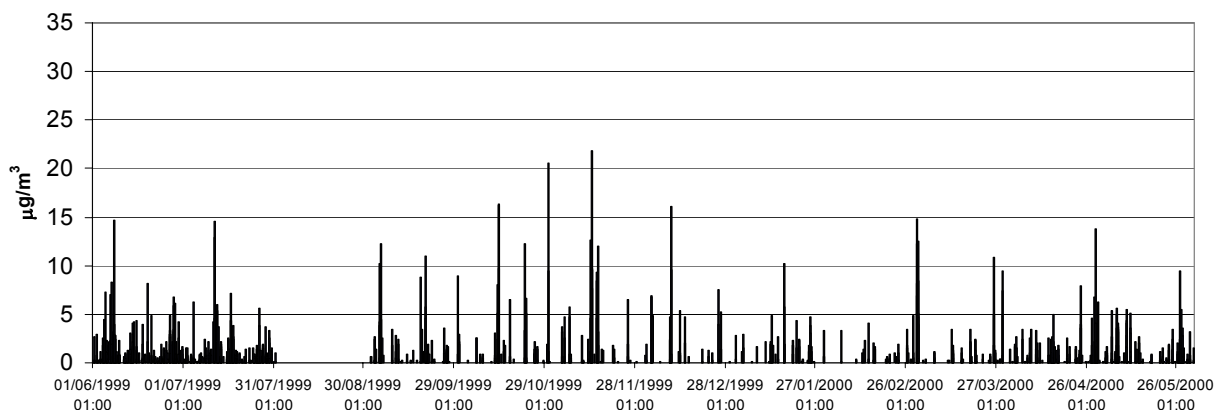


Figura 19. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Torino Rebaudengo

Anche per queste stazioni gli impatti sono relativamente modesti, con un picco di circa 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ simulato a Torino Rebaudengo durante l'inverno. Le due stazioni risultano localizzate in zona SO rispetto all'impianto e piuttosto remote. In questo caso l'impatto ha un aspetto più continuo durante i mesi estivi e primaverili, i quali contribuiscono maggiormente alla costruzione della media stagionale, mentre i mesi invernali danno un maggiore contributo sui valori estremi attraverso massimi più elevati ma temporalmente isolati.

In Figura 20 e 21 sono riportate le serie temporali orarie delle concentrazioni simulate rispettivamente a Chivasso e Castagneto.

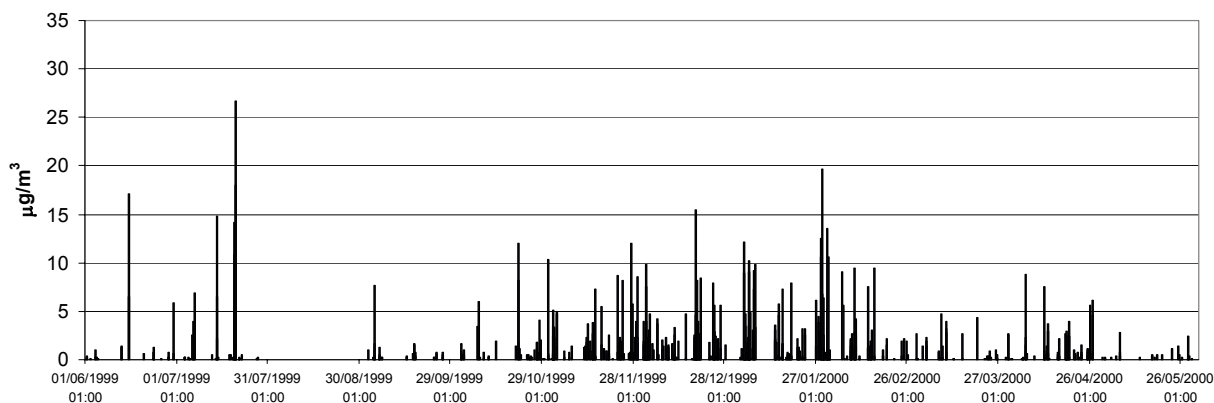


Figura 20. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Chivasso

Castagneto

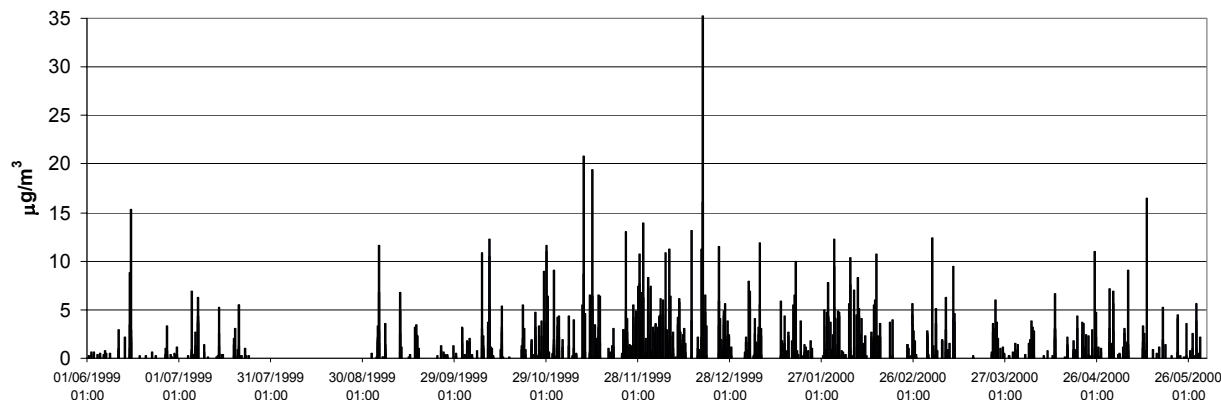


Figura 21. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Castagneto

Queste due postazioni, poste a NE e ad E dell’impianto, risentono maggiormente degli impatti durante la stagione fredda, tra i mesi di novembre 1999 e gennaio 2000, mentre risulta essere inferiore l’impatto medio durante la stagione calda. A Chivasso il picco di concentrazioni si ha a luglio 1999 di circa $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre a Castagneto, posta sulla collina, si presenta il massimo assoluto delle concentrazioni simulate sui punti scelti, con un valore leggermente oltre i $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante il mese di dicembre 1999.

In Figura 22 è riportata la serie temporale delle concentrazioni orarie di NOx al suolo nella posizione in corrispondenza del laboratorio mobile di misura, posto in prossimità dell’abitato di Leinì.

Leinì lab. mobile

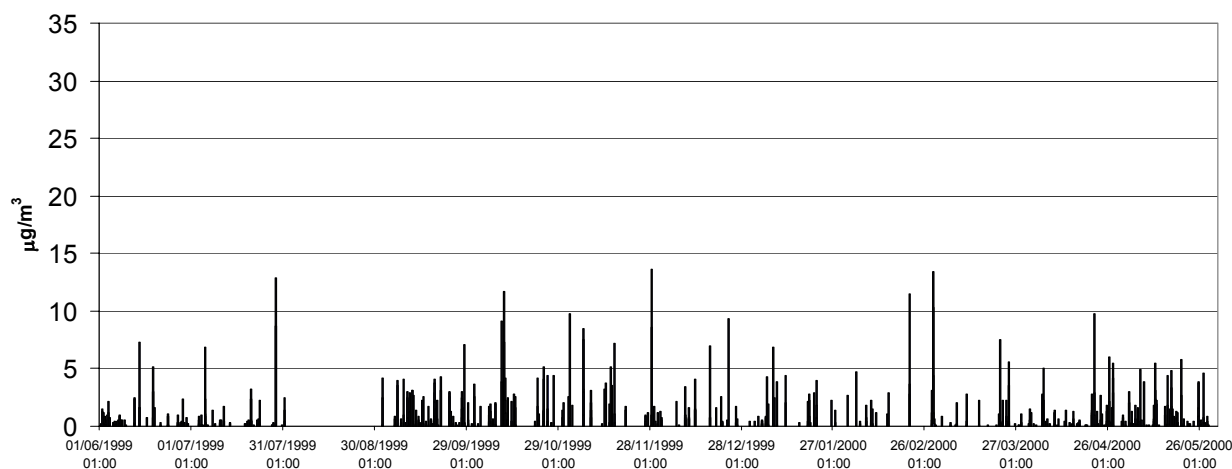


Figura 22. Serie temporale delle concentrazioni al suolo di NOx a Leinì - postazione mobile

In prossimità dell’abitato di Leinì a NO dell’impianto, i valori di concentrazione sono tra i più bassi fra quelli estratti. Si hanno picchi massimi sempre inferiori a 15 µg/m³, mentre la distribuzione temporale manifesta impatti continui soprattutto nelle stagioni intermedie, ovvero l’autunno e la primavera.

In Tabella 3, sono riassunti i risultati delle statistiche (valore medio annuale, 99.8° percentile dei valori orari e data di occorrenza di quest’ultimo) calcolate sulle serie temporali visualizzate in precedenza.

Tabella 3 valori medi annuali, 99.8° percentile (in µg/m³) e data di occorrenza del 99.8° percentile sui punti estratti

	Borgaro	Settimo	Rebaudengo	Grassi	Chivasso	Castagneto	Leinì
media annuale	0.09	0.20	0.19	0.15	0.13	0.22	0.10
99.8° perc.	8.14	10.17	10.99	10.96	9.83	11.18	7.15
data 99.8° perc.	6/11/1999 08:00	26/12/1999 13:00	19/9/1999 11:00	4/9/1999 09:00	2/12/1999 07:00	8/12/1999 00:00	16/11/1999 11:00

Per quanto riguarda le medie annuali, i valori più bassi si ritrovano nelle stazioni di Borgaro e Leinì, situate ad O della centrale, mentre il valore più elevato, che corrisponde a meno di un terzo del valore massimo assoluto sul dominio di calcolo (0.22 µg/m³ contro 0.73 µg/m³) è a Castagneto, nella regione ad E, sulla collina. Il 99.8° percentile ricalca lo stesso tipo di andamento dei valori medi, mentre le date di occorrenza di quest’ultimo mostrano un’incidenza dei valori estremi durante il periodo autunno-inverno ad esclusione delle postazioni più a S (Rebaudengo e Grassi).

5 Conclusioni

Per la definizione dell'ubicazione delle postazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria, relativa alla centrale termoelettrica a ciclo combinato in fase di realizzazione nel comune di Leinì da parte di AceaElectrabel, è stata richiesta da ARPA e Regione Piemonte una modellazione di tipo short term delle ricadute al suolo degli inquinanti che saranno emessi in atmosfera in fase di esercizio dell'impianto.

Le simulazioni sono state condotte su un dominio centrato approssimativamente sul punto di rilascio, di dimensioni 24 x 18 km² mediante un grigliato di 250 m di risoluzione orizzontale, con estensione verticale pari a 5000 m e 21 livelli di calcolo. Lo studio ha riguardato le emissioni di NOx della centrale e ha preso in considerazione 1 anno completo riferito al dataset meteorologico realizzato dalla Provincia di Torino (giugno 1999 – maggio 2000).

La disponibilità di un tale dataset (1 anno di dati orari a risoluzione spaziale di 1 km su con matrici tridimensionali di vento e temperatura e matrici bidimensionali per le caratteristiche del terreno, radiazione e parametri di turbolenza) ha consentito l'utilizzo della modellistica tridimensionale per la dispersione dei fumi in atmosfera, anche in condizioni critiche per i modelli di tipo tradizionale (simulazione della calma di vento, ricircolo e impatto sull'orografia) e tipiche del sito considerato.

La catena modellistica utilizzata da ARIANET su base annuale è composta dai seguenti codici:

- MINERVE per la ricostruzione del campo di vento sull'orografia del dominio considerato
- SurfPro per la definizione dei parametri di turbolenza in funzione dell'uso del suolo
- SPRAY (modello lagrangiano a particelle) per la dispersione degli inquinanti in atmosfera.

La simulazione annuale condotta ora per ora per gli inquinanti emessi dalla centrale hanno prodotto le mappe di concentrazione al suolo sul dominio selezionato, consentendo il calcolo dei diversi parametri di legge (medie e percentili) in ogni punto del dominio.

In base ai risultati prodotti sono risultate evidenti 2 aree di impatto principali:

1. la prima a SudOvest dell'impianto in posizione relativamente prossima a questo, nel territorio del comune di Leinì, lontano dal centro abitato e corrispondente alle aree industriali di Leinì e Settimo: l'area di ricaduta è generalmente connessa a situazioni di vento debole e turbolenza convettiva diurna;
2. la seconda sulla collina, particolarmente nelle regioni a Est ed a Sud dell'impianto: le ricadute sono connesse all'impatto con l'orografia in condizioni stabili notturne.

I valori previsti sono ampiamente al di sotto dei limiti di legge e anche nei casi di condizioni meteorologiche "critiche" per la dispersione non portano a valori di concentrazione al suolo rilevanti: i massimi assoluti di concentrazione al suolo su tutto il dominio di calcolo considerato, relativi alla media annua e al 99.8° percentile delle medie orarie, sono rispettivamente di 0.74 e 43.6 µg/m³ di NOx.

NOTA

L'output completo dei modelli (campi di concentrazione ora per ora) è disponibile su supporto informatico, per l'esame di ogni situazione simulata.

6 Riferimento Normativo

Attualmente la norma di riferimento per la qualità dell'aria è rappresentata dal Decreto Ministeriale del 2 Aprile 2002, N. 60 – “ Recepimento della Direttiva Europea 1999/30/CE concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido d'azoto, gli ossidi d'azoto, le particelle e il piombo e della Dir 2000/69/CE concernente i valori limite per il benzene e il monossido di carbonio”. In particolare per gli inquinanti trattati nella presente relazione, valgono i limiti riportati nella seguente tabella:

Inquinante	Tipo di limite	Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tempo di mediazione dati	Margine di tolleranza	Entrata in vigore
Biossido di azoto	valore limite per la protezione della salute umana	200 (da non superare più di 18 volte l'anno)	media oraria	50%	1/1/2010
	valore limite per la protezione della salute umana	40	media annuale	50%	1/1/2010
Ossidi di azoto	valore limite per la protezione degli ecosistemi	30	media annuale	nessuno	19/7/2010

Tabella 4 - Limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dal DM 60/2002.

Nella tabella successiva è riportato il variare dei limiti relativi al biossido di azoto tenendo conto del margine di tolleranza espresso nella normativa: tale valore è ridotto linearmente ogni anno, per raggiungere lo 0% al 1-1-2010 (nella relazione si fa comunque riferimento ai valori per il 2010):

anno	Concentrazione media NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	anno	ora
2000	60	300
2001	58	290
2002	56	280
2003	54	270
2004	52	260
2005	50	250
2006	48	240
2007	46	230
2008	44	220
2009	42	210
2010	40	200

Tabella 5 - Valori Limite maggiorati dei margini di tolleranza (VL+MDT) per il biossido di azoto.

Il numero dei superamenti dei valori limite può essere espresso in termini di percentile: la normativa per l' NO_2 fa riferimento a misure orarie e ad analisi statistiche calcolate su base temporale di un anno (8760 ore), quindi il non deve superare i $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 18 volte all'anno corrisponde al fatto che il 99.8° percentile (*) della distribuzione annua delle medie orarie, sia inferiore a tale valore.

(*) $[100 - (18/8760)*100] = 99.7945..$ – approssimato a 99.8

7 Modelli matematici utilizzati

7.1 Codice MINERVE 7.0

Il modello MINERVE 7.0 (Fischer et al, 1998, Aria Technologies, 2001) è un modello "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, 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*.

La fase di aggiustamento consiste nella soppressione della divergenza presente nel campo interpolato, attraverso la minimizzazione del seguente funzionale:

$$I(u, v, w, \lambda) = \int_V (u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 + \alpha(w - w_0)^2 + \lambda \nabla \cdot \underline{u} \, dV$$

con: u_0, v_0, w_0 componenti cartesiane del campo interpolato

u, v, w " " " " cartesiane del campo aggiustato

λ è il moltiplicatore di Lagrange

$\nabla \cdot \underline{u}$ è la divergenza del vettore vento $\underline{u} = (u, v, w)$

Il parametro α consente di pesare diversamente l'aggiustamento delle componenti orizzontali e verticali della velocità del vento: con $\alpha=1$ non c'è differenza nel grado di aggiustamento, mentre valori più piccoli/grandi di α fanno sì che l'aggiustamento sia operante principalmente sulla componente orizzontale/verticale del campo di vento. Inoltre, poiché da α dipende la parte di flusso che aggira l'ostacolo orografico in rapporto a quella che lo oltrepassa verticalmente, il suo valore è usato spesso per tenere conto della stabilità atmosferica sul flusso.

La componente verticale del campo di vento (w) normalmente non viene considerata durante la fase di interpolazione, in quanto non si dispone di una rete tridimensionale di misura per tale parametro, quindi si considera $w_0=0$ per ogni cella del dominio e, di fatto, w viene generata dal modello durante la fase di aggiustamento.

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.

MINERVE consente di scegliere tra diversi metodi di interpolazione: propone l'interpolazione di Cressman pesata sull'inverso del quadrato della distanza, che può essere effettuata separatamente per i diversi strati verticali (Cressman 2D) o in maniera tridimensionale (Cressman 3D), e il metodo non-isotropo di triangolazione delle misure al suolo associato ad un'interpolazione

tridimensionale delle misure in quota (profili verticali). L'interpolazione dei dati di vento viene eseguita indipendentemente per ognuna delle componenti cartesiane del vettore vento.

Più esplicitamente, il metodo Cressman 2D consiste dapprima nell'interpolare linearmente sugli strati verticali del reticolo i profili di vento, quindi nel calcolare, per ogni strato, le componenti del vento nei punti di coordinate (x,y) della maglia, secondo le equazioni:

$$U_i(x, y, k) = \frac{\sum_{n=1}^{NMSUR} [U_i(x_n, y_n) - P_n(x, y)]}{\sum_{n=1}^{NMSUR} P_n(x, y)} \quad i = 1,2$$

con: $U_1 = u_0$ e $U_2 = v_0$, componenti orizzontali del campo interpolato;

$NMSUR$, numero di stazioni dello strato:

- per il primo strato sopra il suolo ($k=2$), $NMSUR$ è il numero delle misure al suolo utilizzate;
- per gli strati sovrastanti, $NMSUR$ è pari al numero delle misure interpolate a partire dai profili considerati;

$P_n(x, y)$, peso associato alla postazione di misura ed espresso dalla funzione:

$$P_n(x, y) = \frac{1}{r_n^2}$$

dove: - $r_n = \frac{R_n}{P_h}$;

- $R_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2}$, distanza del punto maglia (x,y) dalla stazione di coordinate (x_n, y_n) ;

- P_h il parametro di portata orizzontale, calcolato automaticamente da MINERVE, in funzione della distanza tra le stazioni e del passo della maglia orizzontale.

Al termine di questa inizializzazione del campo tridimensionale, mediante una funzione esponenziale può essere eseguito un raccordo tra il campo alla superficie $U_i(x,y,2)$, relativo al primo strato della maglia, e quello in quota $U_i(x,y,k)$, riguardante i restanti strati del reticolo. Tutto ciò in modo da attenuare le discontinuità che possono insorgere per il fatto che, per il livello superficiale vengono utilizzate solo le misure delle postazioni al suolo, mentre per i livelli sovrastanti vengono usate solo le misure dei profili di vento.

Nella interpolazione di tipo Cressman 3D, il peso $P_n(x, y, z)$ è funzione della distanza tridimensionale e le componenti orizzontali di ogni cella del grigliato, $U_i(x, y, k)$, sono calcolate tenendo conto non solo della distanza in senso orizzontale ma anche della quota a cui è stata effettuata la misura. In questo modo si ha una ricostruzione più continua dei profili di ogni cella.

Se si utilizza questo criterio tuttavia, i valori interpolati al livello più basso ($k=2$) potrebbero sovrastimare i valori reali poiché il vento in quota è più intenso di quello nei bassi strati. Inoltre, sempre al livello più basso, la direzione potrebbe risultare influenzata da componenti di natura

sinottica. Per l'interpolazione sul più basso livello è spesso consigliabile usare un metodo bidimensionale, quale quello della *triangolazione di Mac-Lain*. Tale metodologia prevede, per ogni punto griglia $(x, y, 2)$, una ricerca delle tre stazioni di misura ai vertici del più piccolo triangolo che racchiude il punto stesso: il valore interpolato deriverà da una media pesata delle misure rilevate presso le tre stazioni, secondo la:

$$U_i(x, y, 2) = \frac{\sum_{n=1}^3 U_i(x_n, y_n) R_n^2(x, y)}{\sum_{n=1}^3 R_n^2(x, y)} \quad i = 1, 2$$

7.2 Codice SurfPro 2.2

Il codice SurfPro (Silibello, 2003) 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 7.0, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la radiazione solare e la nuvolosità) 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_*

Il programma tiene inoltre conto sia dell'inclinazione dei pendii rispetto a quella dei raggi solari che degli effetti d'ombra presenti a causa del mascheramento provocato da cime elevate o profondi avvallamenti. Ciò consente una più corretta riproduzione degli effetti indotti dalle complessità del terreno sulla dispersione.

7.3 Codice SPRAY 3.1

SPRAY è un modello tridimensionale per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera (Tinarelli et al, 1994) in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). E' in grado di ricostruire campi di concentrazione determinate 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). La versione 3.1 del codice (Tinarelli et al, 2001) consente la

simulazione della dispersione, della deposizione secca ed umida e dell'eventuale decadimento radioattivo di specie attive. Il moto di ogni particella viene ricostruito utilizzando le equazioni:

$$\begin{aligned}x(t + \Delta t) &= x(t) + u_x(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_x(t) = \overline{U_x}(t) + u'_x(t) \\y(t + \Delta t) &= y(t) + u_y(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_y(t) = \overline{U_y}(t) + u'_y(t) \\z(t + \Delta t) &= z(t) + u_z(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_z(t) = \overline{U_z}(t) + u'_z(t)\end{aligned}$$

dove x, y, z rappresentano le coordinate cartesiane di ogni singola particella nel dominio tridimensionale e u_x, u_y, u_z le componenti delle velocità, suddivise in parte media e fluttuazione turbolenta. La parte media, responsabile del trasporto degli inquinanti, è ottenuta dal modello MINERVE 6.0 nel sistema di riferimento *terrain-following* x,y,s , in cui la coordinata verticale s è definita come:

$$s = \frac{z - z_g}{z_{top} - z_g}$$

dove z è la coordinata geometrica verticale, z_{top} l'altezza del dominio di calcolo e $z_g(x,y)$ l'altezza dell'orografia. Le particelle interpolano linearmente il valore del vento nel punto x,y,z in cui si trovano utilizzando i valori di tali matrici. SPRAY 3.1 consente di simulare condizioni non stazionarie interpolando linearmente nel tempo il valore tra quelli di due matrici successive.

Le fluttuazioni turbolente u'_x, u'_y e u'_z , responsabili della diffusione, sono determinate risolvendo le equazioni differenziali stocastiche di Langevin:

$$u'_i(t + \Delta t) = a_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) + b_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) \Delta \xi \quad ; \quad i = x, y, z$$

dove a e b sono funzioni della posizione e della velocità di ogni particella e dipendono dalle caratteristiche della turbolenza e dallo schema risolutivo utilizzato. SPRAY 3.1 implementa gli schemi indicati da Thomson (1984, 1987).

Per pilotare una simulazione di dispersione, il modello SPRAY utilizza principalmente:

- campi tridimensionali di vento forniti dal codice MINERVE
- campi bidimensionali di turbolenza $z_0, H_{mix}, u^*, L, w^*$ forniti dal codice SurfPro

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.

7.4 Applicazioni dei codici

La suite di codici MINERVE-SurfPro-SPRAY vanta una lunga storia di applicazioni e validazioni realizzate in differenti siti e condizioni, che hanno portato il sistema nel tempo ad una sempre maggiore affidabilità. Questo fatto, insieme allo sviluppo di sistemi di calcolo sempre più potenti e veloci, ha consentito di allargare il campo di applicazioni che inizialmente, per questo tipo di modelli, erano legate a studi di breve periodo per sorgenti singole. Molto dello sviluppo iniziale si è realizzato grazie a fruttifere collaborazioni tra tecnici facenti capo alla struttura di ricerca ENEL ed istituzioni nazionali di ricerca scientifica come il CNR (Istituto di Cosmogeofisica di Torino e istituto FISBAT di Bologna poi confluiti nell'istituto ISAC), il Politecnico di Milano, l'Università di Alessandria, e di società private come ARIA Technologies di Parigi, responsabile in primis del codice MINERVE. Alcuni di questi istituti continuano ancora oggi l'attività di sviluppo di parti dei codici. Sono state inoltre aperte anche collaborazioni in ambito internazionale per lo sviluppo e l'utilizzo del codice (in Polonia, Spagna, Brasile, Francia). Il modello lagrangiano SPRAY, che costituisce l'elemento finale della catena, ha implementato al suo interno schemi di calcolo per le equazioni stocastiche sviluppati nella seconda metà degli anni ottanta (Thomson, 1984, 1987). Da allora non sono stati fatti sostanziali passi avanti in senso applicativo, pur proseguendo la ricerca su questi tipi di modelli.

Nell'anno 2000, la maggior parte dei tecnici ENEL responsabili del progetto legato al modello SPRAY ed agli altri elementi della suite sono fuorusciti per formare la società Arianet S.r.l., che attualmente mantiene e sviluppa i codici in stretta collaborazione con la società Aria Technologies di Parigi.

Il modello SPRAY si trova inoltre inserito del database Europeo MDS (Modelling Documentation System, http://air-climate.eionet.eu.int/databases/MDS/index_html) che raccoglie le informazioni sui principali modelli meteo-dispersivi disponibili in Europa.

Le prime validazioni sul modello lagrangiano a particelle sono state eseguite su terreno piatto, allo scopo di verificarne le performance attraverso il confronto con i dati di campagne sperimentali con traccianti (Brusasca et al., 1989 e 1992). In particolare sono state eseguite validazioni su dataset internazionali, sia per situazioni convettive e neutre che in casi di calma di vento e forte stabilità, che hanno consentito lo sviluppo di algoritmi ad hoc per il trattamento di queste condizioni dove altri modelli più semplici mostrano debolezze.

Le prime applicazioni del codice SPRAY in terreno complesso sono state effettuate in condizioni controllate contro i dati di galleria a vento dell'esperimento EPA (Tinarelli et al., 1994). Questo tipo di elaborazioni ha consentito una prima messa a punto del codice su terreno complesso, che ha fornito risultati notevoli riproducendo l'esperimento in maniera estremamente soddisfacente. A partire da questa validazione il codice, accoppiato ai modelli MINERVE e SurfPro, è stato utilizzato in numerosi studi. Alcuni di questi erano volti a dimostrare la maggiore qualità fornita da un modello a particelle rispetto ad approcci alternativi più semplici, come modelli gaussiani o modelli a traiettorie, in presenza di un limitato numero di sorgenti. Tra questi si possono citare i lavori di verifica dell'impatto della centrale termoelettrica di Sostanj, in Slovenia (Boznar et al., 1994) e la ricostruzione della dispersione di inquinanti in valli alpine (Anfossi et al., Desiato et al., 1998). Successivamente sono stati prodotti studi scala temporale climatologica annuale (Finardi et al., 1999, Brusasca et al. 2001), mettendo in evidenza i problemi generati dal modello gaussiano nelle situazioni di impatto con l'orografia e la più corretta descrizione da parte del modello a particelle.

La suite modellistica è stata inoltre implementata in sistemi di controllo automatico dell'inquinamento in aree industriali quali ad esempio quelle di Marghera (VE), Brindisi, Taranto (progetto SIMAGE, Nordvik e Brusasca, 2004) e Priolo (SR) (Brusasca et al, 2004), la centrale

nucleare di Krsko in Slovenia (Breznik et al, 2002) e la discarica di rifiuti tossici nocivi di Barricalla (Pacitti et al. 1997).

L'area di applicazione della suite modellistica si è inoltre allargata a situazioni complesse a scala provinciale o regionale, nelle quali è prevista l'integrazione con reti di monitoraggio ed inventari di emissioni. In questi casi il sistema modellistico è stato utilizzato sia per la ricostruzione di situazioni reali che per la realizzazione di scenari. Il quantitativo di emissioni considerate in queste applicazioni risulta notevolmente differente rispetto ai casi descritti in precedenza aumentando in misura considerevole e raggiungendo in alcuni casi il numero di alcune migliaia. Tra le diverse applicazioni di questo tipo si possono citare quelle relative ad ARPA Valle d'Aosta (Pession et al., 2005) e Piemonte (Calori et al, 2003), Provincia di Torino (Cuffini et al., 2000) e comune di Taranto (Gariazzo et al., 2005).

La suite modellistica in oggetto, è stata inoltre utilizzata per la realizzazione di scenari che consentono una valutazione di impatto di opere progettate o in funzione. Tra questi lavori si possono citare lo studio di impatto della Pedemontana Lombarda, del progettato tunnel di Mestre, la valutazione modellistica della dispersione e della ricaduta al suolo degli inquinanti emessi dal traffico veicolare lungo l'autostrada A22 per il progettato tunnel di base del Brennero e la verifica dell'impatto del transito di un diverso numero di TIR a seguito della riapertura del tunnel del Monte Bianco (Pession et al., 2005).

Riassumendo, la suite modellistica MINERVE-SurfPro-SPRAY mostra una notevole versatilità ed affidabilità, ponendosi come uno strumento adattabile a diverse situazioni complesse dove i modelli gaussiani più semplici mostrano carenze strutturali, riuscendo a fornire in questi casi migliori stime attraverso una rappresentazione dei fenomeni più naturale ed intuitiva.

8 Riferimenti bibliografici

- Aria Technologies (2001): Minerve Wind Field Models version 7.0, General Design Manual. ARIA Report, May 2001, Aria Technologies 2001.
- Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Marzorati A., Tinarelli G. (1993) "A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stochastic dispersion models", *Atmospheric Environment* 27A, 1443-1451.
- Anfossi D., Baffioni C., Brusasca G., Calori G., Caracciolo R., Cirillo M.C., Desiato F., Finzi G., (1997), "Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi - Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici", Rapporto Tecnico ANPA RTI 1/97 – AMB, successivamente trasformata in Norma UNI 10796 – Ottobre 2000.
- Bassanino M., Bertolaccini M.A., Brusasca G., Cirillo M.C., Finzi G., Fortezza F., Graziani G., Mamolini G., Marani A., Tamponi M. e Tirabassi T. (1993), "Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria", Rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità ISTISAN 93/36.
- Anfossi D., F. Desiato, G. Tinarelli, G. Brusasca, E. Ferrero, D. Sacchetti, (1998) "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models.", *Atmospheric Environment*, 32, 7, 1157-1166.
- Boznar M., Brusasca G., Cavicchioli C., Faggian P., Finardi S., Mlakar P., Morselli M.G., Sozzi R., Tinarelli G.: "Application of advanced and traditional diffusion models to an experimental campaign in complex terrain". Reprint of Second International Conference "Air Pollution 1994", 27-29 Sept 1994, Barcelona, Spain, pp. 159-166.
- Breznik B., Boznar M., Mlakar P., Tinarelli G., (2002) "Dose protection using dispersion models" 8th Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes. Sofia, 14-17 October, 409-413.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1989) "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", *Atmospheric Environment* 23, 1263-1280.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1992) "Particle model simulation of diffusion in low windspeed stable conditions", *Atmospheric Environment* 26, 707-723.
- Brusasca G., Carboni G., Finardi S., Sanavio D., Tinarelli G., Toppetti A. (2001) "Comparison of a Gaussian (ISC3) and a Lagrangian Particle Model (SPRAY) for Regulatory applications in Flat and Complex Terrain Sites Representative of Typical Italian Landscape", Proceedings of the 7th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May 28-31, 2001, 130-134.
- Brusasca G., Tinarelli G., D'Allura A., Gambadoro A., Carta R., Valastro G., Zerbo M. (2004) "Integration of measurement and modelling systems to reconstruct pollution impacts around the industrial area of Priolo (Sicily)" 13th IUAPPA World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exhibition, London, UK, 22-27 August 2004.
- Calori G., De Maria R., M. Clemente, F. Lollobrigida, S. Finardi, G. Tinarelli (2003) "Air quality integrated assessment in Turin urban area using atmospheric transport and dispersion models" 4th International Conference on Urban Air Quality Measurement, Modelling and Management. Prague, 25-27 March 2003, 214-217.

- Cuffini S., Pavone F., Anfossi D., Nanni A., Tinarelli G.: "Metodologie integrate per il controllo della qualità dell'aria in aree ad alta urbanizzazione". Proceedings of the congress "Arie di città" – Bologna 28-30 Novembre 2000.
- Desiato F., Finardi S., Brusasca G. and Morselli M.G. (1998) "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - Part I: Simulation of 3-D Flow with Diagnostic Wind Field Models", Atmospheric Environment, 32, 7, 1141-1156, 1998.
- Desiato F., Brusasca G., Deserti M., Zanini G., (2000), "I modelli nella valutazione della qualità dell'aria", relazione ANPA RTI CTN-ACE 2/2000.
- Finardi S., Tinarelli G., Nanni A., Brusasca G., G. Carboni (1999) "Evaluation of a 3D flow and pollutant dispersion modelling system to estimate climatological ground level concentrations in complex coastal sites", Sixth International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes – October 1999, Rouen, France.
- Finardi S., Tinarelli G., Nanni A., Anfossi D., Ferrero E., Trini Castelli S. (2000) In situ diagnostic or nested prognostic meteorological models to drive dispersion simulations in complex area: a comparison in a real application. Millennium NATO/CCMS Meeting, Boulder, Colorado.
- Finzi G., G. Pirovano, M. Volta – Gestione della qualità dell'aria – McGraw-Hill, 2001 – (testo+CD-ROM) (riedizione aggiornata del testo di Finzi G. e Brusasca G., 1991, La qualità dell'aria. Modelli previsionali e gestionali. Masson, Milano).
- Fisher B.E.A., Erbrink J.J., Finardi S., Jeannet P., Joffre S., Morselli M.G., Pechinger U., Seibert P., Thomson D.J. (Editors) (1998) Harmonisation of the Pre-processing of Meteorological Data for Atmospheric Dispersion Models. COST Action 710 – Final Report, EUR 18195 EN. Report of Working Group 4: "Wind flow models over complex terrain for dispersion calculations" by S. Finardi, M.G. Morselli and P. Jeannet.
- Gariazzo C., Papaleo V., A. Pelliccioni, G. Calori, P. Radice, G. Tinarelli (2005) Air Pollution Impact Assessment of a Complex Industrial-Urban Area by means of a Lagrangian Particle Model" 3rd International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global scale. Istanbul, 26-30 Sept. 2005.
- Lollobrigida F., Brusasca G., Clemente M., De Maria R., Deserti M., Desiato F., Lena F., Tinarelli G., Zanini G., (2001) "Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria", relazione ANPA RTI CTN-ACE 4/2001.
- Nordvik J.P. Brusasca G. "Applicazioni modellistiche a scala locale e regionale inserite nel progetto SIMAGE per sistemi di controllo della qualità dell'aria in tempo reale" in "I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni" - CTN-ACE Ob Specifico 09.02: Elaborazione di linee guida per la selezione e l'uso dei modelli Tk 09.02.03a: Linee guida per la scelta e l'uso dei modelli Rapporto 2004, 40-42.
- Norma UNI 10796 – Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi – "Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici" – Ottobre 2000.
- Norma UNI 10964 – Studi di impatto ambientale "Guida alla selezione dei modelli matematici per la previsione di impatto sulla qualità dell'aria" – Settembre 2001. Pacitti, M. P. Mensio, G. Brusasca, G. Tinarelli, G. Genon, F. Marchese, G. Nobile, G. Malvasi: "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997", 16-18 September, Bologna, Italy. Air Pollution V, modelling, monitoring and management, 517-526, Computational Mechanics Publications.

- Pession G., Zublena M., Agnesod G., Brusisca G., Calori G., Nanni A., Finardi S., Silibello C., Tinarelli G. (2005) "Use of 3D atmospheric dispersion modelling for air quality management in a very complex terrain alpine region (Valle d'Aosta)" 10th Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Sissi (Crete) 17-21 October 2005.
- Provincia di Torino (2003) "Uno sguardo all'aria" Relazione annuale sui dati rilevati dalla rete provinciale di monitoraggio della qualità dell'aria, Capitolo: "Costruzione di una base dati meteorologici sulla Provincia di Torino con l'ausilio di modellistica numerica" pp 115141.
- Silibello C. (2003) "SURFPRO (SURface-atmosphere interFace PROCessor) User's guide", Rapporto ARIANET R2003.14
- Thomson D.J. (1984) "Random walk modelling of diffusion in inhomogeneous turbulence", Q. J. R. Meteorol. Soc. 110, 1107-1120.
- Thomson D.J. (1987) "Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows". J. Fluid Mech., 180, 529-556.
- Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F., (1994) "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill", Journal of Applied Meteorology, 33, N. 6, 744-756.
- Tinarelli G., D.Anfossi, M. Bider, E.Ferrero, S. Trini Castelli: "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies". Air Pollution Modelling and its Applications XIII, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 499-507.
- Tinarelli G. (2001): SPRAY 3.0, General description and User's Guide, Rapporto ARIANET R2001.11.