



**Costruzione di una base dati  
meteorologici sulla Provincia di  
Torino con l'ausilio di modellistica  
numerica**

**Autore**

Sandro Finardi

**Riferimento**

ARIANET R2003.XX

giugno 2003

**ARIANET s.r.l.** via Gilino 9 - 20128 Molano - ITALY

tel. 02. 27007255 - fax 02. 25708084 - <http://www.aria-net.it>

Cap. Soc. 90.000 i.v. - R.E.A. n° 1635752 - Codice Fiscale e Partita IVA 03079010967

In collaborazione con



**AREA AMBIENTE, PARCHI, RISORSE IDRICHE E TUTELA DELLA FAUNA**  
**Servizio Qualità dell'Aria, Inquinamento Atmosferico, Acustico ed Elettromagnetico**



**ARPA Piemonte**  
**Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio**

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Articolazione del progetto.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Analisi e selezione delle osservazioni meteorologiche disponibili.....</b>	<b>4</b>
3.1	Analisi preliminare delle osservazioni.....	6
3.2	Selezione delle postazioni di superficie.....	9
<b>4</b>	<b>Costruzione della base dati annuale.....</b>	<b>10</b>
4.1	Modelli meteorologici diagnostici utilizzati.....	10
4.2	Operazioni necessarie alla costruzione della base dati annuale.....	12
<b>5</b>	<b>Casi test per la messa a punto delle simulazioni di lungo periodo.....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Verifica dei risultati ed analisi di qualità della base dati.</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Analisi delle statistiche di lungo periodo.....</b>	<b>26</b>
7.1	Analisi della struttura spaziale dei campi di vento.....	27
7.2	Analisi della variazione temporale dei campi di vento.....	31
<b>8</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>Riferimenti bibliografici.....</b>	<b>38</b>
	<b>Appendice: Descrizione dei files di output dell'estrattore.....</b>	<b>39</b>

# 1 Introduzione

Il reperimento di dati meteorologici (in particolare dati anemologici) per gli studi di impatto ambientale è sovente fonte di onerosi lavori di ricerca dati o di assunzioni poco giustificate. In molti casi questi studi utilizzano serie storiche di dati o tabelle di frequenze statistiche relative a siti lontani dalla sede dell'impianto o dell'opera di cui si deve stimare l'impatto sulla qualità dell'aria; in altri casi, in presenza di disponibilità di dati anche recenti nelle immediate vicinanze, non è sempre facile verificare la significatività delle misure (per quanto riguarda ad esempio la localizzazione degli strumenti o il corretto funzionamento dei sensori). A fronte di queste difficoltà, le elaborazioni previsionali di impatto possono essere poco credibili e generare contenziosi. Il progetto descritto in questa relazione si è posto l'obiettivo di superare il problema attraverso la costruzione di un archivio meteorologico che permetta di estrarre e distribuire serie storiche di dati che possano essere di riferimento per le diverse aree del territorio della Provincia di Torino. La soluzione scelta si basa sull'utilizzo della modellistica tridimensionale per la ricostruzione dei campi di vento, di temperatura e degli altri parametri che influenzano la dispersione degli inquinanti in atmosfera. La complessità orografica e le problematiche inerenti ai regimi di venti deboli presenti sul territorio provinciale rendono necessario l'utilizzo di modelli capaci di utilizzare al meglio le numerose informazioni fornite dalle osservazioni disponibili ed in grado di simulare alcuni degli effetti indotti dai rilievi orografici e dalla copertura superficiale del terreno. I campi di vento e temperatura sono stati ricostruiti attraverso l'applicazione del modello meteorologico diagnostico MINERVE (Aria Technologies 1995, 1999, 2001). Successivamente i campi meteorologici ottenuti dal modello sono stati utilizzati per valutare le classi di stabilità e per ricostruire i parametri di scala della turbolenza atmosferica, che possono essere utilizzati per l'applicazione di modelli di dispersione degli inquinanti in atmosfera di nuova generazione. I parametri di scala della turbolenza, l'altezza dello strato rimescolato e le classi di stabilità sono stati calcolati attraverso l'applicazione del pre-processore meteorologico SURFPRO (Arianet, 2002). I campi meteorologici ottenuti sono stati verificati attraverso il confronto con le osservazioni disponibili sul territorio in esame. E' stata inoltre sviluppata una procedura di estrazione di serie storiche dei dati di interesse, che può essere controllata attraverso un'interfaccia amichevole.

Il progetto si è articolato nelle diverse fasi di lavoro riassunte brevemente nel Capitolo 2 ed illustrate in dettaglio nei capitoli seguenti.

## 2 Articolazione del progetto

L'attività di costruzione della base dati meteorologica si è articolata nei seguenti punti, illustrati in dettaglio all'interno dei capitoli seguenti:

1. Raccolta ed analisi delle osservazioni meteorologiche disponibili sul territorio in esame: dati al suolo della rete meteorologica della Provincia di Torino, osservazioni della rete del Servizio Meteorologico della Regione Piemonte, dati sinottici e radiosondaggi del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM) e analisi meteorologiche del *European Centre for Medium range Weather Forecast* (ECMWF). Selezione delle postazioni da utilizzare nelle simulazioni modellistiche.

2. Costruzione della catena di modelli per la ricostruzione dei campi meteorologici e dei parametri di scala che definiscono lo stato dello strato limite atmosferico in termini di stabilità ed intensità della turbolenza. I modelli utilizzati sono il modello meteorologico diagnostico MINERVE, in grado di ricostruire i campi tridimensionali di vento e temperatura, ed il preprocessore meteorologico SURFPRO, in grado di valutare le caratteristiche dispersive dell'atmosfera attraverso la stima di campi bidimensionali delle seguenti variabili: lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di frizione, classe di stabilità di Pasquill e altezza dello strato rimescolato.
3. Costruzione di un Data-Base (DB) di campi di vento, temperatura e dei parametri di scala della turbolenza atmosferica sul territorio della Provincia con risoluzione di 1 km e su base oraria.
4. Costruzione di un software interattivo per l'estrazione dei dati dal DB: l'operatore potrà introdurre semplicemente le coordinate del punto e le quote di interesse per ottenere le serie storiche dei dati orari. Sarà così possibile avere, per un ipotetico impianto di cui si deve studiare l'impatto ambientale, le "misure anemometriche virtuali" nella posizione della ciminiera o alla quota di livellamento fumi. Potranno essere estratti dall'archivio anche i dati di temperatura e i parametri di dispersione.
5. Verifica di qualità del DB con tecniche di tipo sia statistico che fisico: analisi delle serie temporali e calcolo delle rose dei venti in diversi punti del grigliato, indagine sulle corretta riproduzione dei fenomeni fisici conosciuti (alternanza delle brezze di monte e valle, regimi anemologici diurni e notturni o stagionali, ecc); verifica sui punti di misura della correttezza dei valori ottenuti con il modello; esame delle zone di incerta definizione del campo anemologico.
6. Estrazione di mappe di ventosità e di potenzialità eolica del territorio provinciale: saranno calcolate le statistiche di lungo periodo delle velocità del vento e, successivamente, i parametri che permettono di valutare le potenzialità di sfruttamento dell'energia eolica; questi calcoli eseguiti su tutto il territorio in esame e per diversi livelli verticali permetteranno di individuare la presenza di siti di interesse, da sottoporre eventualmente ad un approfondimento dell'indagine (misure sperimentali ad hoc, valutazioni specifiche su più anni).

In Figura 1 è riportato uno schema descrittivo del flusso dati e delle elaborazioni realizzate nelle diverse fasi del progetto.

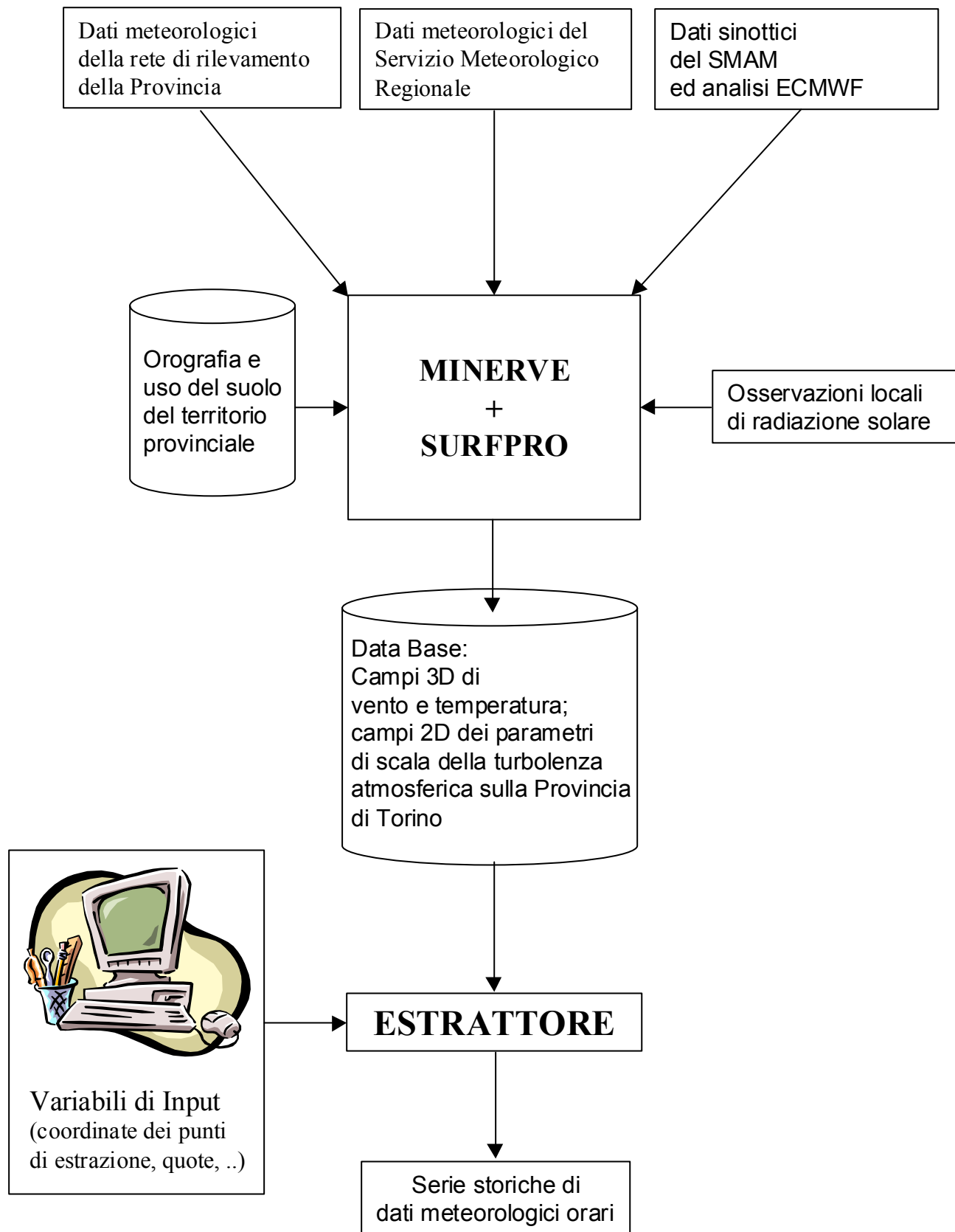


Figura 1. Schema descrittivo del procedimento di costruzione dell'archivio meteorologico e del funzionamento della procedura di estrazione

### **3 Analisi e selezione delle osservazioni meteorologiche disponibili**

La prima attività, in ordine sia cronologico che logico, ha riguardato il reperimento dei dati meteorologici, l'analisi delle caratteristiche dei set di dati disponibili e la selezione delle stazioni da utilizzare effettivamente nelle simulazioni modellistiche. Questo lavoro è stato svolto in stretta collaborazione con la Provincia di Torino e con il Servizio Meteorologico Regionale della Regione Piemonte.

Si è rilevata la presenza delle seguenti tipologie di dati meteorologici:

- a) Analisi ECMWF;
- b) Dati dell'Aeronautica Militare: SYNOP, TEMP;
- c) Osservazioni della rete meteorologica regionale (CSI, Regione Piemonte);
- d) Osservazioni della rete di qualità dell'aria della Provincia di Torino;
- e) SODAR e RASS dell'Università di Torino.

Il posizionamento geografico delle diverse informazioni meteorologiche disponibili è riportato nelle Figure 2 e 3. In Figura 2 sono illustrate le posizioni dei dati meteorologici di tipo (a-c) rispetto ai confini delle Province del Piemonte ed al dominio di calcolo prescelto per le simulazioni modellistiche. Si può osservare una buona copertura dell'area di interesse da parte delle osservazioni, si deve rilevare la mancanza di profili verticali (TEMP) all'interno del dominio di calcolo. A queste informazioni vanno aggiunti i profili di vento e temperatura forniti dalle misure di SODAR e RASS disponibili a Torino. Questi ultimi strumenti sono però in grado di sondare solo gli strati atmosferici più prossimi al terreno (500 metri circa) e, nel caso di Torino, il loro funzionamento è limitato alle ore diurne. In Figura 3 è illustrata, in maggior dettaglio, la posizione delle postazioni delle reti del Servizio Meteorologico della Regione Piemonte (c) e della Provincia di Torino (d). Sono state cerchiare le postazioni della rete regionale dotate di dati anemometrici. Si può osservare una buona copertura dell'area pianeggiante e della Val di Susa, mentre si deve rilevare la mancanza di dati di vento sulle altre regioni montuose, in particolare nell'area nord-ovest della Provincia di Torino.

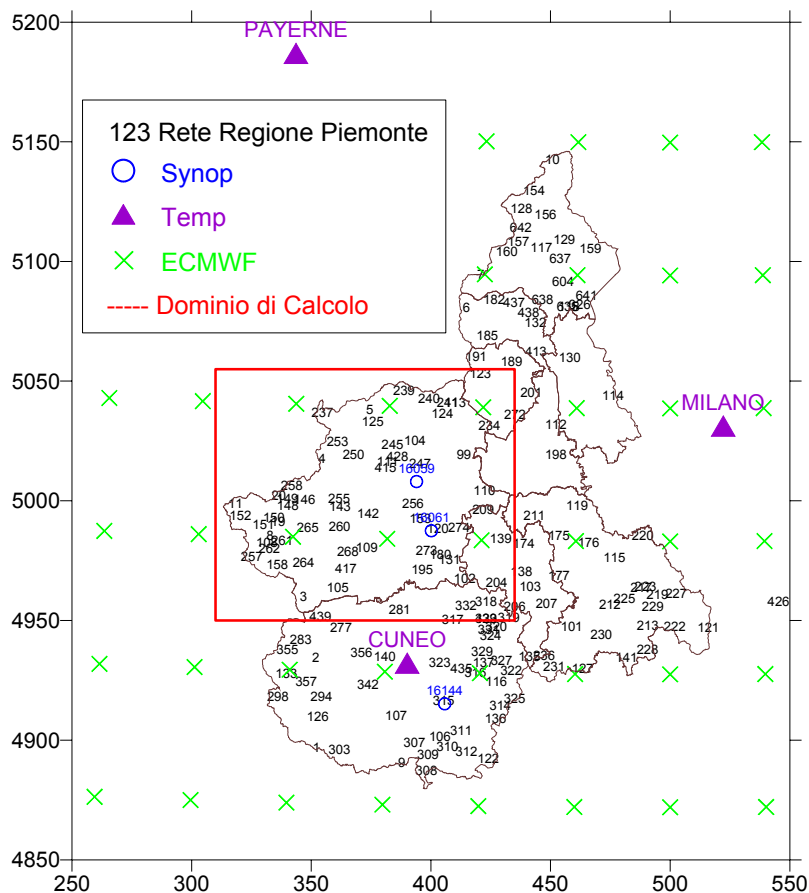


Figura 2. Posizione geografica delle informazioni meteorologiche disponibili sul territorio della Regione Piemonte

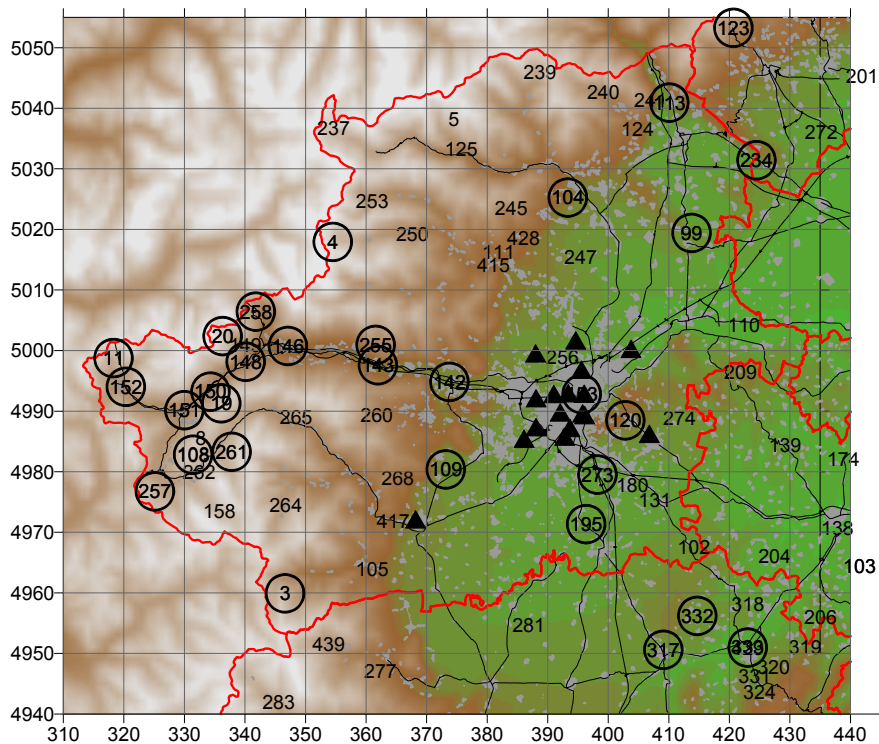


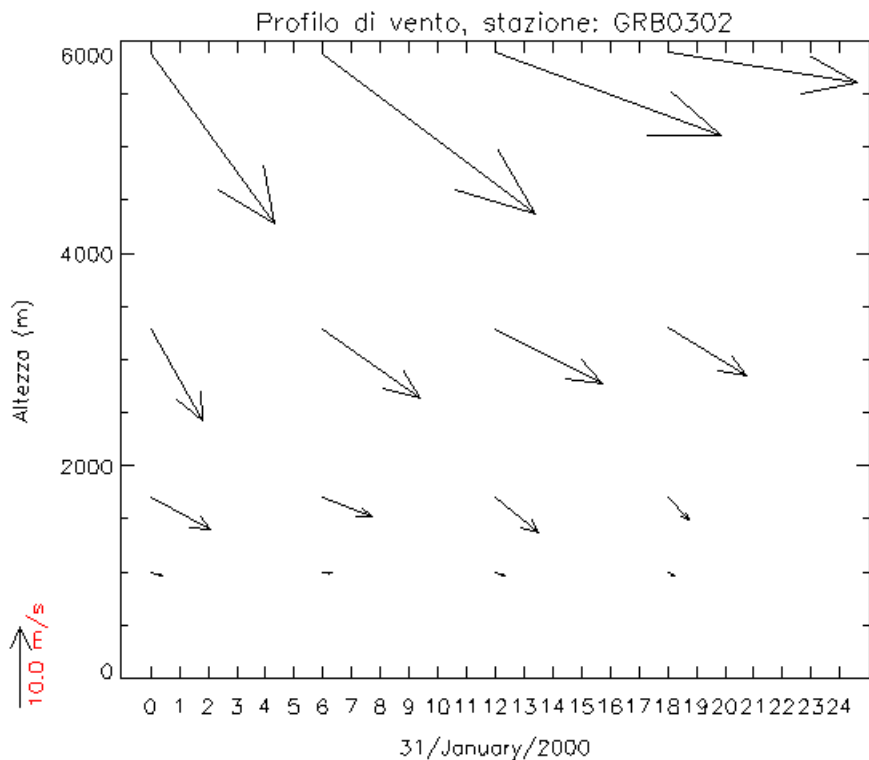
Figura 3. Posizione delle postazioni meteorologiche delle reti della Provincia di Torino (triangoli) e del Servizio Meteorologico Regionale della Regione Piemonte (numeri delle stazioni, i numeri cerchiati indicano le postazioni dotate di misure di vento).



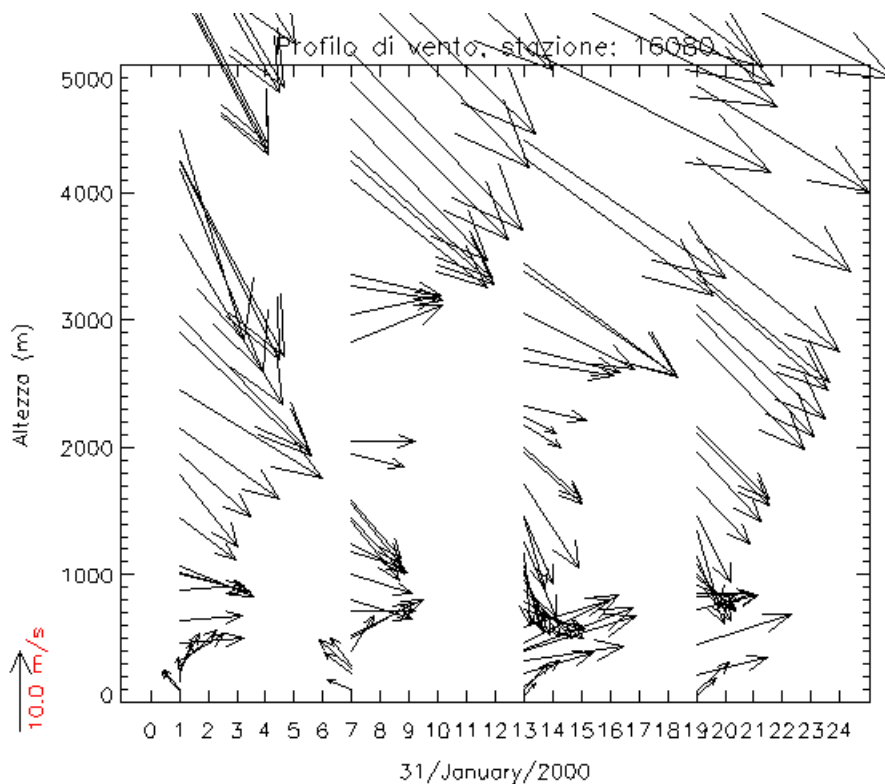
### **3.1 Analisi preliminare delle osservazioni**

A partire dalle considerazioni precedenti sulla distribuzione spaziale delle osservazioni, si è iniziato un lavoro di analisi di dettaglio delle informazioni rese disponibili da ognuna delle tipologie di misure in modo da evidenziarne le caratteristiche (frequenza temporale delle informazioni, numerosità e qualità dei dati) ed individuare il lavoro necessario per rendere queste informazioni disponibili per un utilizzo di tipo modellistico. Si sono evidenziate le seguenti considerazioni:

- a) Le analisi ECMWF contengono le informazioni relative alla circolazione negli strati superiori dell'atmosfera (al di fuori dello strato limite atmosferico) in modo conforme a quanto osservato dai radiosondaggi TEMP e, rispetto a questi ultimi offrono il vantaggio di fornire una maggior continuità e regolarità nella descrizione delle variazioni spaziali e temporali dei campi di vento (si vedano ad esempio le Figure 4 e 5).
- b) Le analisi ECMWF non descrivono in modo soddisfacente i gradienti di temperatura che caratterizzano gli strati atmosferici più prossimi al suolo (i primi 2000 metri) all'interno della Pianura Padana. In particolare non vengono normalmente rilevate le inversioni notturne basate al suolo e nemmeno le inversioni di origine sinottica (ad esempio dovute al fenomeno della subsidenza), che possono interessare i primi 1000-1500 metri dell'atmosfera e che possono favorire i fenomeni di inquinamento atmosferico. Per poter tener conto di questi fenomeni è quindi necessario basare la ricostruzione dei profili di temperatura sulle osservazioni locali. In particolare il radiosondaggio di Milano Linate è stato scelto come profilo di riferimento, a causa della numerosità e qualità delle misure fornite (si veda ad esempio la Figura 6).
- c) Fra i dati di tipo SYNOP, nonostante la frequenza trioraria e la qualità delle misure decisamente inferiore alle altre osservazioni superficiali disponibile, si è scelto di utilizzare comunque la stazione di Torino-Caselle, in quanto localizzata in un'area abbastanza scoperta dal punto di vista delle osservazioni anemologiche e dotata di osservazioni di nuvolosità.
- d) In una prima fase dell'analisi sono state prese in considerazione le misure SODAR, poiché rappresentative del profilo di vento nei bassi strati dell'atmosfera sull'area di Torino. Si è evidenziata però la necessità di "pulire" preliminarmente i dati, in quanto affetti dalla presenza di osservazioni anomale e sondaggi duplicati. Sono riportate a titolo di esempio, in Figura 7, le osservazioni SODAR relative al 31/01/2000. Le simulazioni preliminari hanno permesso di mettere in evidenza che le misure SODAR risultano rappresentative unicamente della circolazione locale, con la presenza di frequenti condizioni di calma di vento, che non permettono di descrivere le caratteristiche "medie" della circolazione atmosferica. Tali considerazioni, unite al funzionamento solo diurno dello strumento ed alla presenza di numerosi dati anomali o mancanti, hanno portato alla decisione di escludere le misure sodar dal set di dati da utilizzare per le simulazioni di lungo periodo.
- e) Si è deciso di escludere l'utilizzo dei dati RASS in quanto le osservazioni analizzate sono risultate di difficile interpretazione e poco rappresentative delle caratteristiche termiche dello strato limite atmosferico sull'area della Provincia di Torino.



**Figura 4. Profili verticali di vento forniti dalle analisi ECMWF per il giorno 31/01/2000 nel punto griglia di posizione 7.5 gradi est (longitudine) 45.0 gradi nord (latitudine).**



**Figura 5. Profili verticali di vento forniti dalle misure TEMP di Milano Linate per il giorno 31/01/2000.**

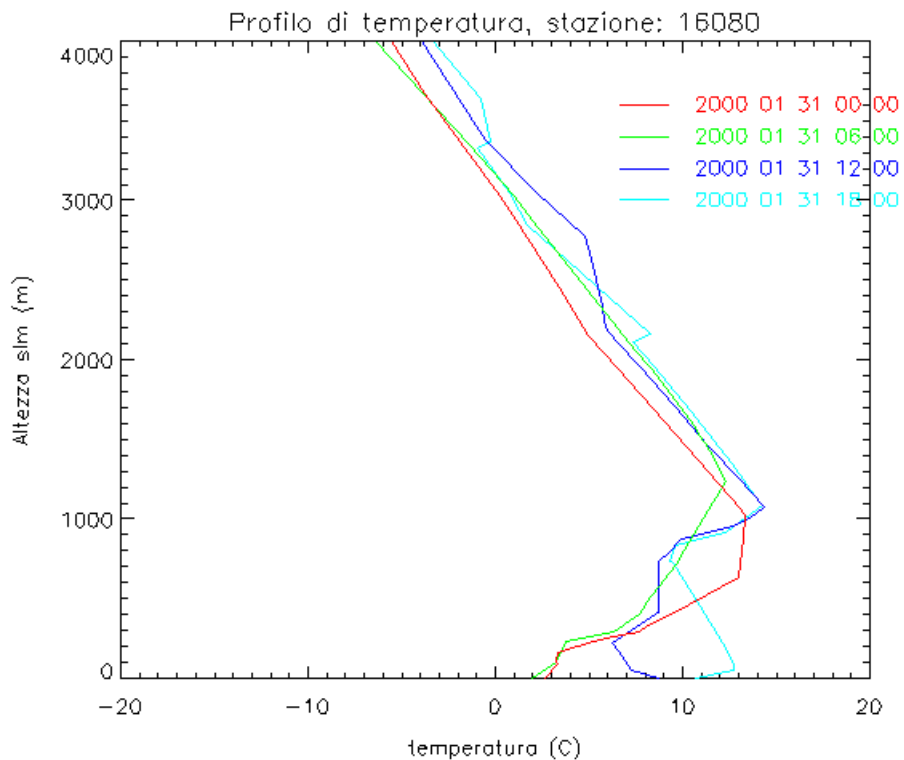


Figura 6. Profili verticali di temperatura forniti dalle misure TEMP di Milano Linate per il giorno 31/01/2000.

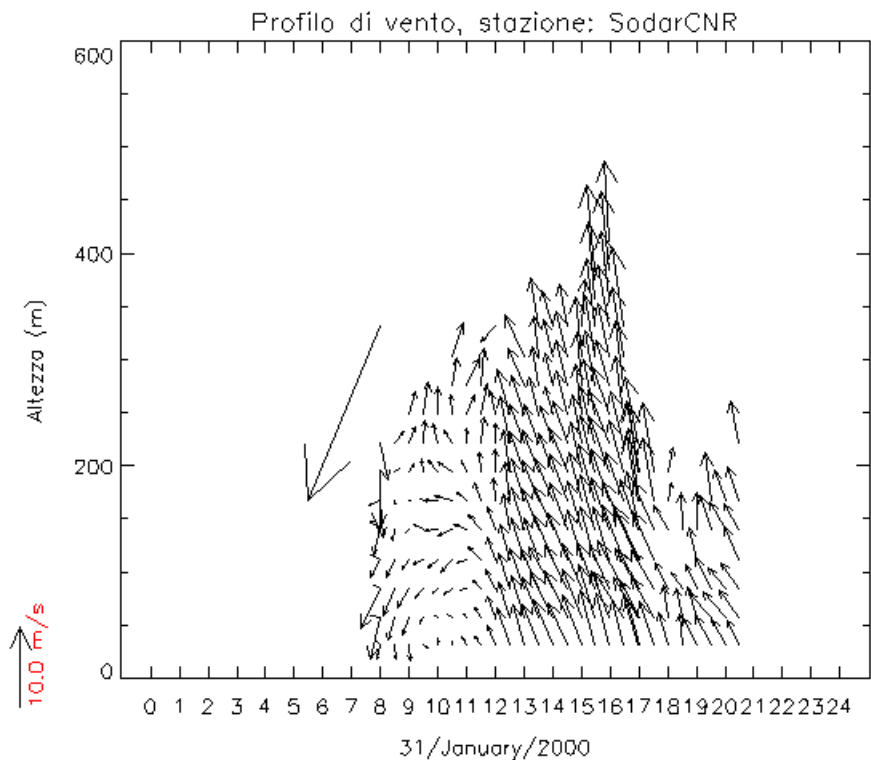


Figura 7. Profili verticali di vento forniti dalle misure SODAR dell'Università di Torino per il giorno 31/01/2000.

### **3.2 Selezione delle postazioni di superficie**

In un modello meteorologico diagnostico di tipo "mass-consistent", quale MINERVE, il primo passo per la ricostruzione del campo di vento consiste nell'interpolazione delle osservazioni disponibili sul grigliato di calcolo del modello. Risulta quindi essenziale la selezione delle postazioni da utilizzare come dati di input. Nella fase di interpolazione le osservazioni vengono spazializzate, quindi ognuna di esse viene implicitamente considerata rappresentativa della porzione di territorio ad essa circostante. La dimensione di quest'area viene a dipendere dalla distanza che separa le postazioni disponibili. L'eventuale utilizzo di osservazioni strettamente influenzate da caratteristiche orografiche locali può quindi risultare in un'eccessiva estensione spaziale di queste caratteristiche meteorologiche. D'altra parte, l'eventuale presenza di più osservazioni non congruenti in posizioni ravvicinate, può produrre campi di vento non rappresentativi per effetto dell'interpolazione di dati vettoriali contrastanti. E' quindi opportuno evitare la presenza di postazioni la cui distanza reciproca sia minore o uguale al passo di griglia del modello meteorologico.

Si è perciò proceduto ad una selezione delle postazioni basata sia sull'analisi dei dati di ogni singola stazione di misura, che dal confronto delle caratteristiche dei venti misurati da postazioni vicine o localizzate all'interno di un'area territoriale dalle caratteristiche omogenee (ad esempio la Val di Susa). Si è puntato a individuare postazioni che presentassero: elevato numero di dati mancanti, anomalie negli andamenti temporali dei venti, incongruenza rispetto alle postazioni vicine e scarsa rappresentatività spaziale delle misure.

Oltre che sull'analisi delle osservazioni, la selezione si è basata sui risultati di alcune simulazioni preliminari effettuate su periodi test, sia in condizioni estive che invernali.

Per la selezione delle postazioni della rete della Provincia di Torino si è scelto di partire dall'esperienza maturata in un precedente lavoro effettuato da ARPA Piemonte sulla stessa area geografica. L'analisi delle qualità e della rappresentatività delle misure di vento, svolta in collaborazione con il personale della Provincia di Torino e del Servizio Meteorologico Regionale, ha portato all'esclusione delle seguenti postazioni:

1. Le Selle;
2. Pietrastretta;
3. Finiere;
4. Prarotto;
5. Clot della Somma;
6. Beinasco;
7. Settimo;
8. Chieri;
9. Druento.

In Figura 8 sono riportate, a titolo di esempio, le osservazioni anemologiche selezionate come dati di input per le simulazioni, relativamente al giorno 31/01/2000 alle ore 07:00. Si può osservare la complessità della circolazione atmosferica, caratterizzata da forti variazioni dei venti sia in modulo che in direzione.

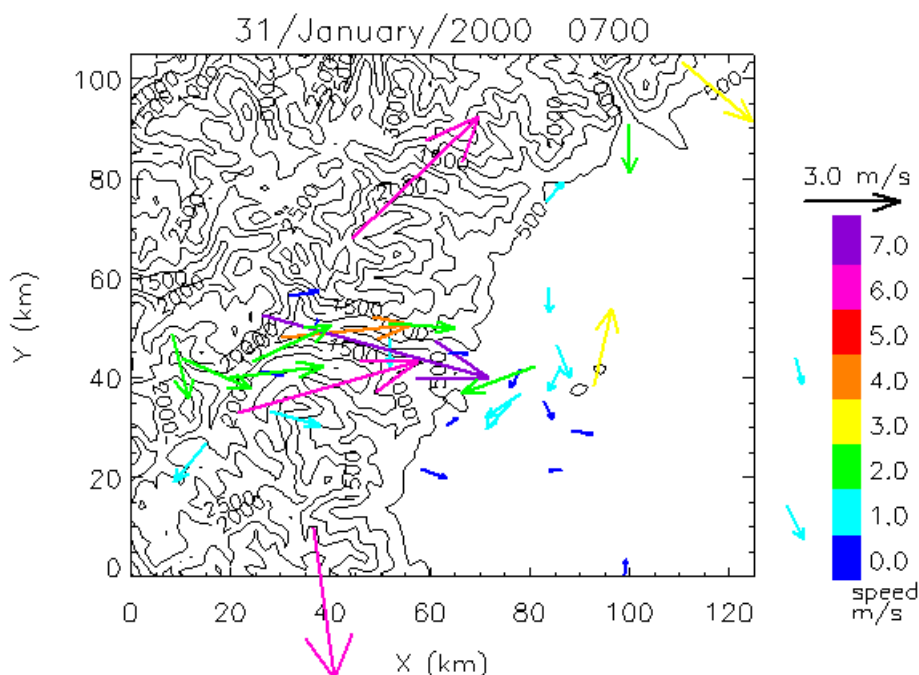


Figura 8. Venti osservati in superficie il giorno 31/01/2000, alle ore 07:00.

## 4 Costruzione della base dati annuale

### 4.1 Modelli meteorologici diagnostici utilizzati

Per la ricostruzione dei campi meteorologici tridimensionali e bidimensionali richiesti è stata costruita una catena operativa di modelli e procedure di formattazione dei dati costituita dai seguenti elementi:

- 1) **Minerve**, modello diagnostico per la ricostruzione dei campi tridimensionali di vento e temperatura;
- 2) **Surfpro**, processore meteorologico per la valutazione dei parametri di scala della turbolenza atmosferica (altezza dello strato limite planetario, lunghezza di Monin-Obukhov, classe di stabilità di Pasquill, ecc.);
- 3) **Convbin**, programma di formattazione/compressione dei dati per la costruzione dell'archivio meteorologico nel suo formato definitivo.

Il codice MINERVE riceve in input l'insieme delle informazioni meteorologiche descritte nel capitolo precedente e la descrizione delle caratteristiche di orografia e rugosità superficiale del sito. Il modello produce quindi un file di output in formato ADSO/bin (compatibile con Aria Industry) contenente i campi tridimensionali di vento (componenti cartesiane), temperatura, ed altre informazioni accessorie, per tutte le scadenze temporali interessate dalla simulazione e presenti nel file di input meteorologico.

Il codice SURFPRO legge il file di output di MINERVE, aggiunge la mappatura dell'uso del suolo e i dati di radiazione solare osservati da una postazione di riferimento, e quindi produce un file di output in formato ADSO/bin che contiene i campi tridimensionali di vento e temperatura prodotti da MINERVE, ai quali sono stati aggiunti i parametri di scala della turbolenza atmosferica, l'altezza di

rimescolamento, la classe di stabilità di Pasquill ed altre informazioni accessorie quali la radiazione solare globale e netta.

Il programma CONVBIN legge il file prodotto da SURFPRO, estrae unicamente le variabili di interesse su di un numero limitato di livelli verticali (fra la superficie e circa 2000 metri di altezza) e scrive i dati in un file in formato compresso, in modo tale da contenere il più possibile l'occupazione di spazio disco. In pratica viene scritto un file binario ad accesso diretto, comprimendo il valore delle variabili fisiche in 2 bytes.

Le variabili incluse nella base dati sono le seguenti:

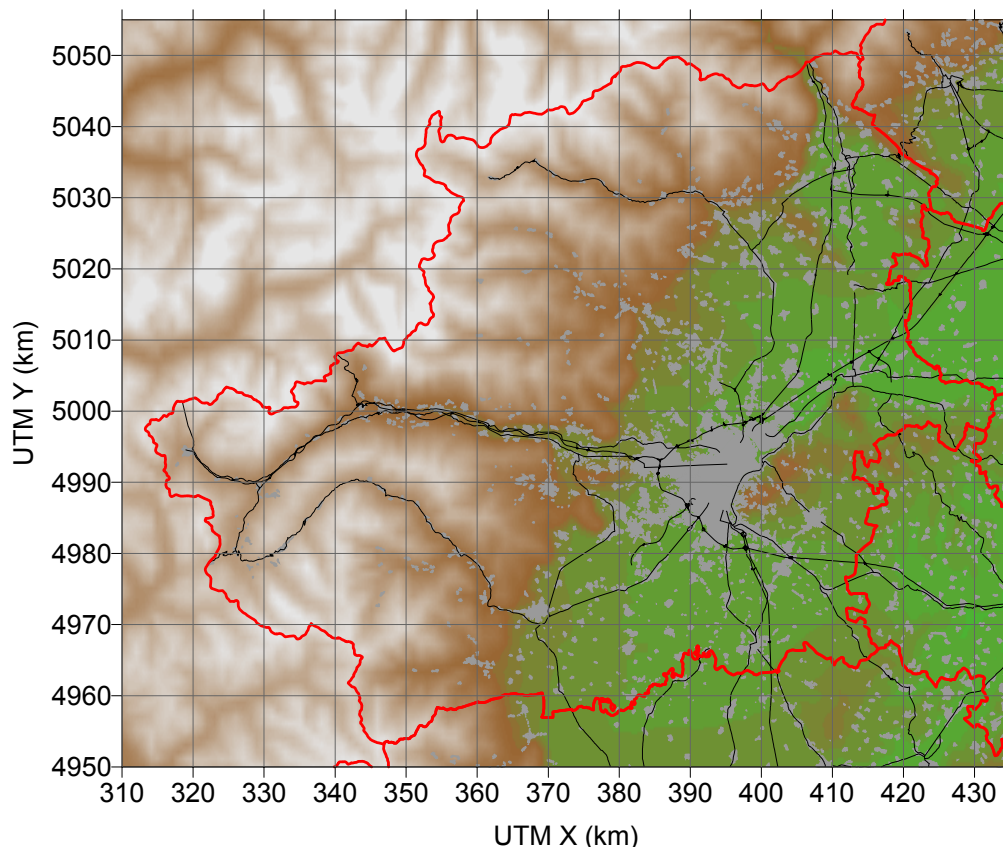
variabili tridimensionali:

1. componenti orizzontali  $u$  e  $v$  del vento (m/s);
2. temperatura dell'aria (C);

variabili bidimensionali:

1. radiazione solare globale ( $W/m^2$ ),
2. flusso di calore sensibile ( $W/m^2$ ),
3. *friction velocity* –  $u^*$  (m/s),
4. lunghezza di Monin-Obukhov (m),
5. velocità di scala convettiva –  $w^*$  (m/s),
6. altezza di rimescolamento (m),
7. classe di stabilità di Pasquill/Gifford/Turner.

La procedura di calcolo è stata sottoposta a verifica utilizzando alcune simulazioni di prova su periodi temporali limitati. Il dominio di calcolo (Figura 2 e 9) è definito da una griglia di 126x106x25 punti, con risoluzione orizzontale di 1 km ed il primo livello verticale localizzato a circa 12 m di altezza dalla superficie.



**Figura 9. Dominio di calcolo delle simulazioni modellistiche. La carta illustra i rilievi orografici, i confini provinciali, le principali arterie stradali e le aree urbanizzate.**

Le simulazioni di prova hanno riguardato un massimo di circa 12 giorni, con risoluzione temporale oraria. I periodi interessati sono stati rispettivamente il 15-25/07/1999 ed il 20-31/01/2000.

Il tempo di calcolo richiesto è stato di circa 3 ore su di un PC con processore AMD Athlon 1GHz. Il file di output prodotto da MINERVE ha assunto la dimensione di circa 3 Gbytes, il file di output di SURFPRO ha raggiunto la dimensione di circa 2 Gbytes, ed infine il file compresso è stato ridotto alla dimensione di circa 500 Mbytes.

I risultati delle simulazioni di prova hanno indotto a programmare le simulazioni definitive su periodi temporali di una decade. Periodi più lunghi avrebbero comportato infatti la produzione e l'elaborazione di files di dimensione eccessiva. I files compressi sono stati gradualmente accodati in modo da costruire l'archivio annuale nella forma di un unico file.

In appendice 1 è riportata la scheda di presentazione del processore meteorologico SURFPRO, per i dettagli tecnici e di utilizzo dei codici MINERVE e SURFPRO si rimanda ai manuali d'uso.

## ***4.2 Operazioni necessarie alla costruzione della base dati annuale***

La costruzione dell'archivio meteorologico annuale è stata effettuata attraverso la seguente procedura operativa:

- a) Costruzione di una base dati ADSO per il periodo 01/06/1999-31/08/2000. La base dati nel formato ADSO può essere acceduta attraverso il sistema modellistico Aria Industry e potrà quindi essere utilizzata anche al di fuori del progetto in considerazione, per costruire simulazioni differenti.

- b) Costruzione dei files di input meteorologici per il modello *mass consistent* MINERVE. Questa operazione è stata eseguita attraverso l'applicazione del codice SPRADSG, incluso nel sistema modellistico Aria Industry, che permette di costruire il file di input di MINERVE a partire da una base dati ADSO e da alcuni files di configurazione. I files di input di MINERVE sono stati costruiti su base decennale, generando 3 files per mese. L'insieme dei 36 files generati per l'anno meteorologico in considerazione sono stati raccolti su CDROM. In questo modo sarà possibile riprodurre, quando necessario, le simulazioni e disporre dell'insieme dei campi meteorologici calcolati su tutto il dominio di calcolo. Quest'ultima possibilità potrà essere utilizzata, ad esempio, per ottenere i dati meteorologici necessari per effettuare simulazioni di breve periodo con il modello Lagrangiano a particelle SPRAY.
- c) Preparazione dei files che descrivono l'orografia, l'uso del suolo e la rugosità superficiale. La descrizione dell'orografia è stata ottenuta attraverso l'applicazione del codice RELIEF, con il quale i dati della base dati di partenza, avente risoluzione di 250 metri, sono stati riportati alla risoluzione di calcolo (1 km) con un procedimento di filtraggio finalizzato ad eliminare oscillazioni delle quote e pendenze del terreno eccessive per la risoluzione in esame (Figura 10). L'uso del suolo è stato ottenuto a partire dal CORINE Land Cover Data Base, avente una risoluzione di partenza di 250 metri. Da questi dati è stata ottenuta la distribuzione delle classi alla risoluzione di calcolo di 1 km. La descrizione della rugosità superficiale è ricavata dall'uso del suolo selezionando la rugosità superficiale associata alla classe di copertura prevalente su aree di 1 km<sup>2</sup> (Figure 11 e 12)
- d) Costruzione dei files di configurazione dei parametri di controllo dei codici MINERVE e SURFPRO. Attraverso questi files si definiscono alcune caratteristiche generali delle simulazioni e si definiscono le modalità di calcolo attraverso la scelta fra le diverse opzioni offerte dai modelli.
- e) Costruzione dei files di Radiazione Solare, da fornire a SURFPRO per la correzione della nuvolosità locale, a partire dai valori osservati. La radiazione solare globale viene infatti inizialmente stimata in modo teorico a partire dalla posizione geografica del punto in esame, dall'influenza della topografia (pendenza del terreno ed eventuale proiezione di ombre), dal giorno dell'anno e dall'ora in esame. Questo calcolo può essere successivamente corretto sulla base di valori osservati di radiazione, per tenere conto degli eventuali effetti di riduzione della radiazione dovuti alla presenza di nubi. L'analisi delle serie temporali delle differenti postazioni presenti nell'area in esame ha condotto ad individuare la postazione di Bauducchi come stazione di riferimento per la radiazione solare.
- f) Esecuzione di alcune simulazioni preliminari per confermare le scelte operate nella definizione del set di osservazioni da utilizzare e per definire i valori da attribuire ai parametri di controllo del codice MINERVE, che determinano le modalità di calcolo del modello (Capitolo 5).
- g) Esecuzione in sequenza, su ognuno dei periodi decennali considerati, della catena di codici MINERVE+SURFPRO+CONVBIN e costruzione della base dati annuale.



## Provincia di Torino - Orografia

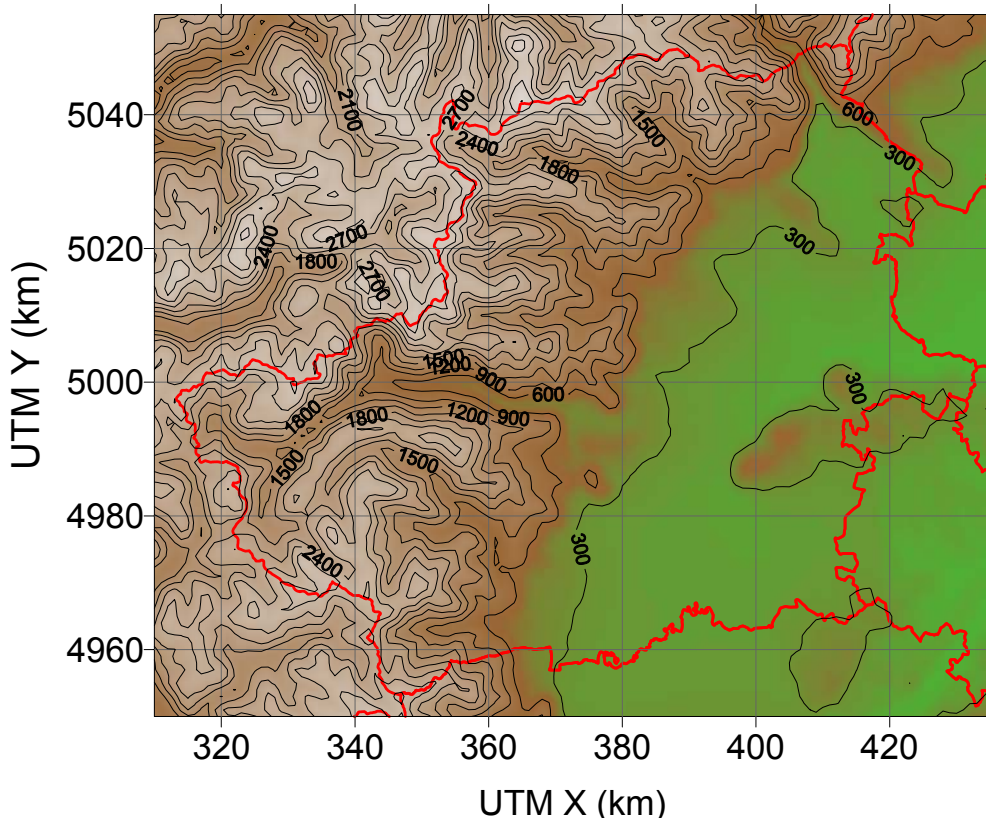


Figura 10. Descrizione dei rilievi orografici utilizzata nelle simulazioni con i modelli MINERVE e SURFPRO.

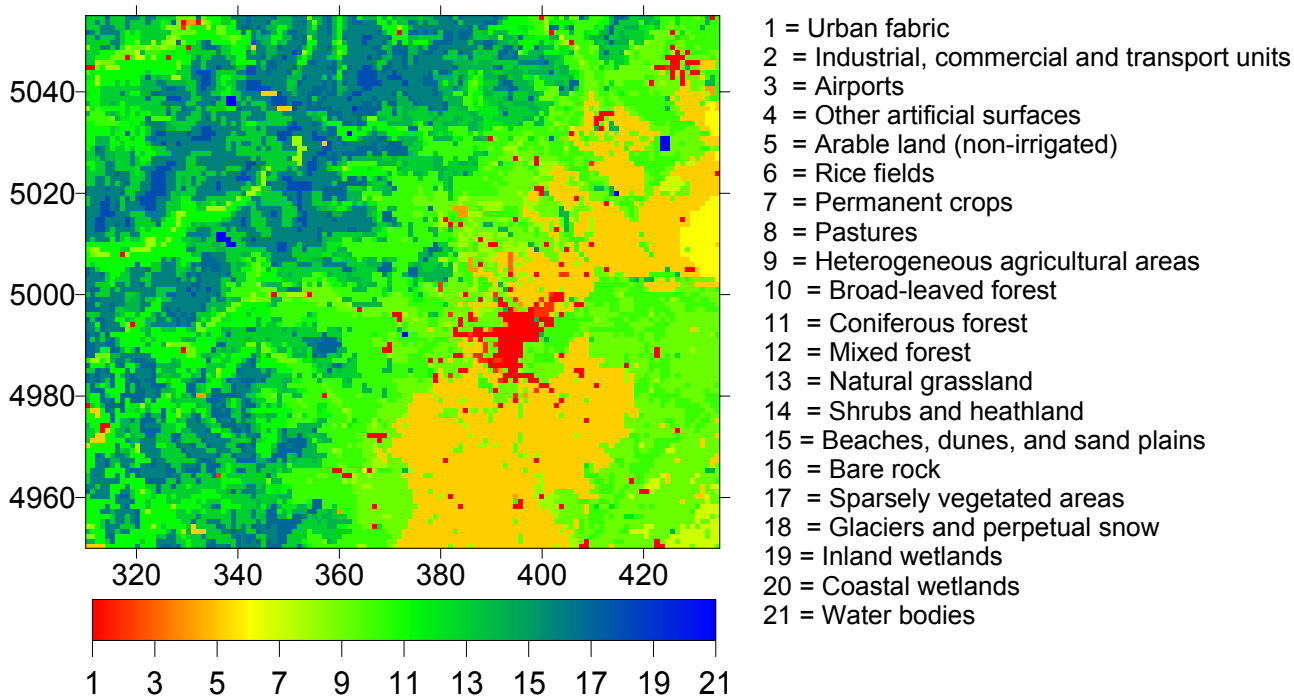


Figura 11. Uso del suolo. I valori si riferiscono alle classi CORINE, ridotte in modo da eliminare le classi ininfluenti per scopi di modellistica di dispersione degli inquinanti.

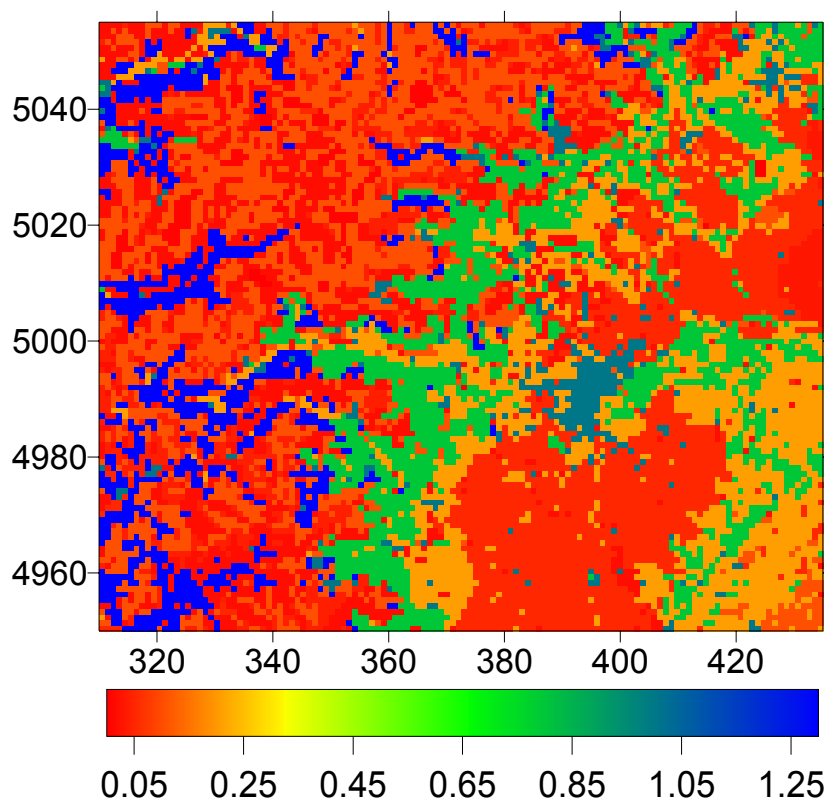


Figura 12. Rugosità superficiale. I valori riportati sono stati ottenuti dalla classe prevalente del CORINE land cover.

## 5 Casi test per la messa a punto delle simulazioni di lungo periodo

In accordo con la Provincia di Torino ed il Servizio Meteorologico Regionale della Regione Piemonte si è scelto di eseguire preliminarmente la simulazione di alcuni periodi di particolare interesse sia dal punto di vista meteorologico che della qualità dell'aria. La ricostruzione dei campi meteorologici durante questi periodi di studio sono state utilizzate sia per completare la definizione del set di osservazioni da utilizzare come dati di input per i modelli, sia per definire i valori da attribuire ai parametri di controllo del codice MINERVE, che determinano, ad esempio, la modalità di interpolazione spaziale delle osservazioni. Le seguenti condizioni meteorologiche sono state giudicate come quelle di maggior interesse per i problemi di qualità dell'aria:

1. alta pressione invernale con venti deboli e possibili episodi di inquinamento acuto per  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ;
2. föhn o venti intensi occidentali, associabili a condizioni di aria pulita;
3. alta pressione estiva con deboli circolazioni a carattere di brezza, associabile a possibili episodi di inquinamento acuto per  $\text{NO}_x$  e  $\text{O}_3$ .

Poiché le condizioni di vento teso sono normalmente caratterizzate da una relativa uniformità, o perlomeno da una debole variazione spaziale, del campo di vento, si è preferito porre l'attenzione sui casi 1) e 3) che si presentano come più critici sia dal punto di vista di una corretta ricostruzione

diagnostica dei campi meteorologici, che per quanto riguarda gli effetti di tali campi sul trasporto e sulla dispersione degli inquinanti emessi da sorgenti al suolo e da sorgenti elevate.

Per la prima delle condizioni meteorologiche presentate si è individuato il periodo 20-31/01/2000, già preso in considerazione da studi modellistica realizzati da ARPA Piemonte (De Maria et al., 2003). All'interno di questo periodo, nelle giornate comprese fra il 28 ed il 31 gennaio, sono stati registrati superamenti della soglia di attenzione per NO<sub>2</sub>, in diverse postazioni della rete di controllo della qualità dell'aria della Provincia di Torino. Durante i giorni 29 e 30 si è registrato un episodio di föhn, che ha interessato unicamente la regione alpina della provincia e non ha influenzato la circolazione sulle zone pianeggianti.

Per la terza condizione citata si è considerato il periodo 15-25/07/1999, durante il quale si sono registrati superamenti della soglia di attenzione per le concentrazioni medie orarie di O<sub>3</sub> in alcune postazioni della rete di monitoraggio della Provincia di Torino.

Sui due periodi citati sono stati ricostruiti i campi di vento applicando il codice MINERVE con tre diverse modalità di interpolazione delle osservazioni disponibili:

1. interpolazione su strati che seguono il terreno (Cressman 2D);
2. interpolazione per triangolazione delle osservazioni superficiali e successiva interpolazione tridimensionale delle osservazioni fornite dai profili verticali e dalle analisi ECMWF (Triangolazione+Cressman 3D);
3. interpolazione tridimensionale diretta di tutte le osservazioni al suolo ed in quota (Cressman 3D).

I risultati delle simulazioni sono stati quindi analizzati attraverso l'esame grafico comparato dei campi di vento superficiali, attraverso il confronto qualitativo con le osservazioni disponibili su tutto il territorio provinciale, e per mezzo di un confronto quantitativo dei venti calcolati con le osservazioni in alcune postazioni, scelte per la loro rappresentatività territoriale. Sono state utilizzate a questo scopo le postazioni di Consolata, Pino Torinese, Salbertrand, Avigliana e Baldissero, in modo da coinvolgere nel confronto aree geografiche aventi caratteristiche anemologiche differenti. Nelle Figure 13 e 14 sono illustrati a titolo di esempio i confronti fra i venti osservati nelle postazioni di Consolata e Avigliana ed i valori calcolati con i metodi di interpolazione 1) e 2) per il periodo test invernale. Ad un primo esame qualitativo delle caratteristiche generali dei campi di vento calcolati, la modalità di interpolazione tridimensionale diretta 3) si è dimostrata inadatta all'applicazione in esame a causa della densità e del posizionamento reciproco delle misure al suolo ed in quota. Questa modalità di interpolazione è stata quindi scartata e non è considerata nel confronto illustrato.

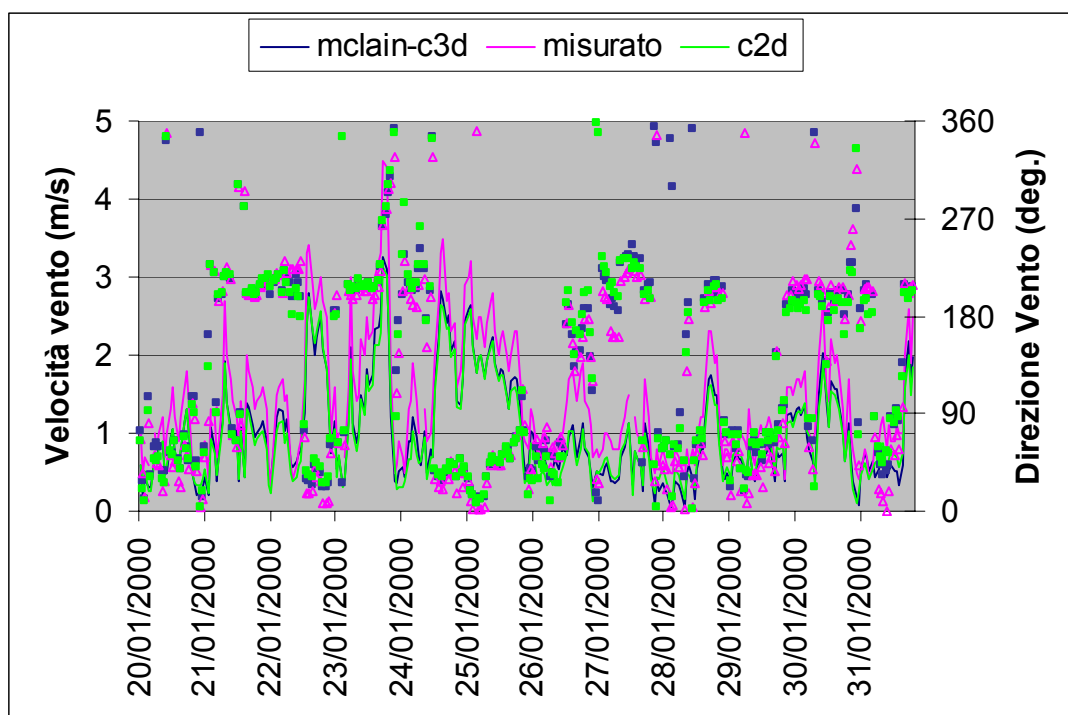


Figura 13. Confronto di velocità e direzione del vento calcolate con i valori osservati nella postazione di Consolata. Simulazione del periodo test invernale 20-31/01/2000.

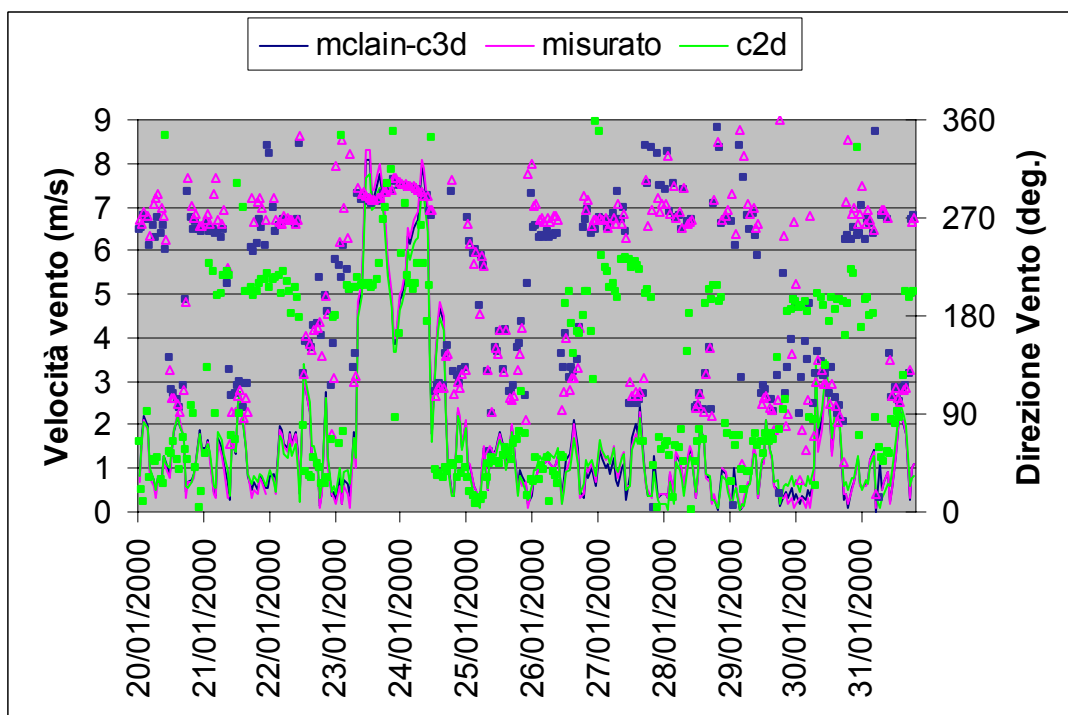


Figura 14. Confronto di velocità e direzione del vento calcolate con i valori osservati nella postazione di Avigliana. Simulazione del periodo test invernale 20-31/01/2000.

La Tabella 1 e la Tabella 2 contengono il confronto fra gli errori medi e gli errori medi normalizzati fra le simulazioni considerate e le osservazioni prescelte per il confronto. La definizione degli errori è illustrata dalle formule seguenti:

Errore medio (m/s): 
$$Err = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |v_{oi} - v_{ci}|$$

Errore medio normalizzato: 
$$Err_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^N |v_{oi} - v_{ci}|}{\sum_{i=1}^N v_{oi}}$$

dove N è il numero di dati osservati utilizzato per la verifica,  $v_{oi}$  e  $v_{ci}$  sono reciprocamente le velocità del vento osservate e calcolate durante l'ora  $i$ .

Il confronto degli errori mostra una miglior prestazione della modalità di interpolazione 2), con differenza più ridotte fra le intensità dei venti calcolati e misurati. Si osserva che l'errore medio normalizzato è risultato inferiore al 20% in tutte le postazioni tranne Consolata. Si deve però tenere presente che in questa verifica non è stata considerata il posizionamento elevato della stazione (30m), le cui misure sono state confrontate con i valori calcolati a 10 metri. In questo modo le velocità dei venti calcolati sono risultate sottostimate rispetto alle osservazioni. Il confronto relativo alla postazione di Bandissero deve essere invece considerato di limitata significatività a causa del numero molto elevato di dati mancanti che ha limitato la numerosità del campione statistico.

**Tabella 1 Confronto delle velocità dei venti calcolate con i valori osservati in alcune postazioni. Simulazione del periodo test estivo 15-25/07/1999**

Postazione	Consolata		Pino Torinese		Salbertrand		Avigliana		Baldissero	
	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d
<b>Errore medio (m/s)</b>	0.47	0.46	0.20	0.31	0.26	0.52	0.11	0.22	0.05	0.05
<b>Errore medio normalizzato</b>	0.27	0.26	0.12	0.18	0.12	0.24	0.06	0.12	0.05	0.05

**Tabella 2 Confronto delle velocità dei venti calcolate con i valori osservati in alcune postazioni. Simulazione del periodo test invernale 20-31/01/2000**

Postazione	Consolata		Pino Torinese		Salbertrand		Avigliana		Baldissero	
	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d	Mclain-c3d	C2d
<b>Errore medio (m/s)</b>	0.40	0.43	0.22	0.40	0.47	0.95	0.09	0.20	0.04	0.05
<b>Errore medio normalizzato</b>	0.28	0.30	0.13	0.23	0.17	0.34	0.06	0.12	0.04	0.05

L'analisi condotta ha portato quindi alla scelta della modalità interpolativa 2). Con questa opzione di calcolo l'aspetto generale dei campi di vento in prossimità del suolo è risultato meno spazialmente uniforme di quanto ottenuto con l'interpolazione 1). Il confronto con le osservazioni ha inoltre messo in evidenza errori medi più bassi per le intensità dei venti, una miglior riproduzione delle rose dei venti, e quindi delle direzioni più frequenti, ed un miglior confronto qualitativo con gli andamenti temporali delle singole osservazioni.

Nelle Figure 15-19 sono illustrati: le osservazioni di vento disponibili, i campi di vento, temperatura, radiazione globale e classe di stabilità relativi alle ore 13:00 del 27/01/2000.

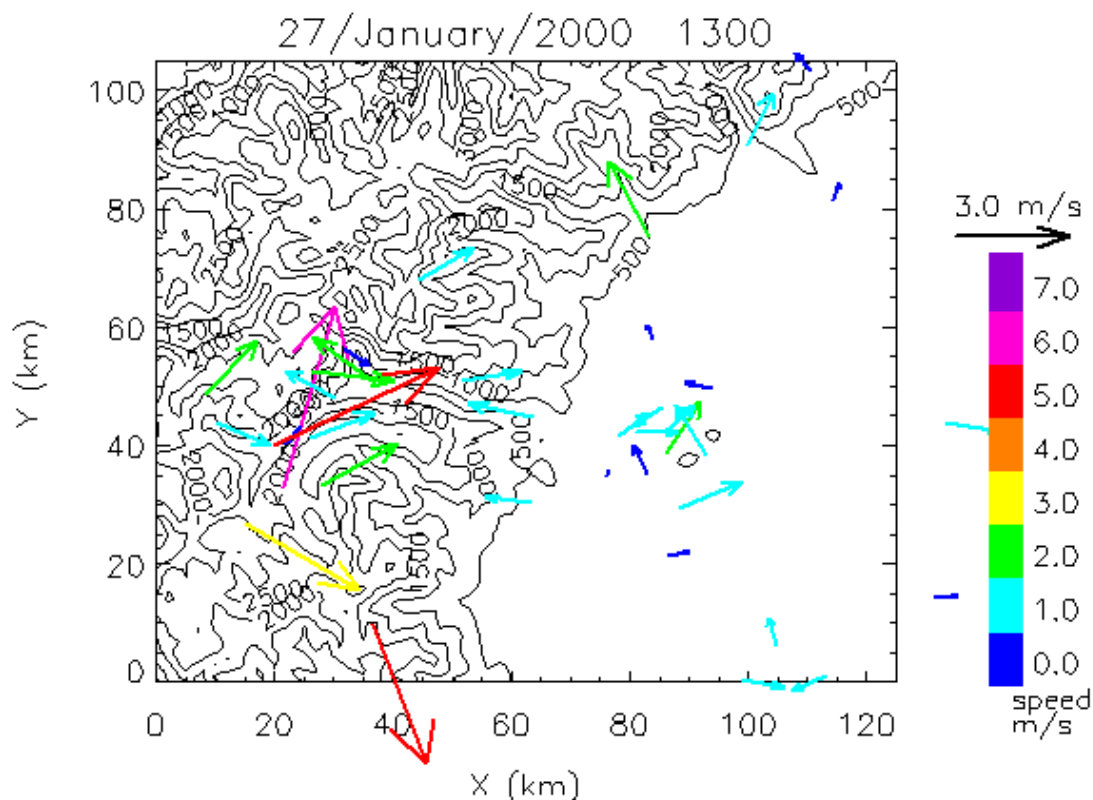


Figura 15. Osservazioni anemologiche superficiali disponibili per il giorno 27/01/2000 alle ore 13.

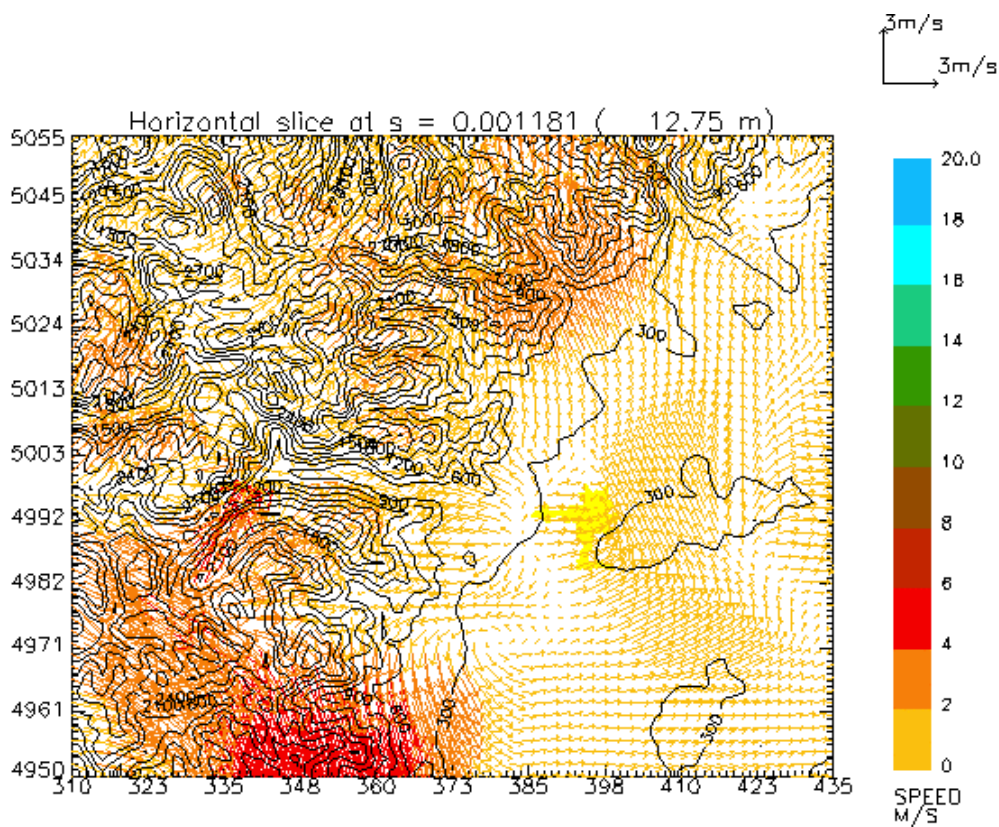


Figura 16. Campo di vento in prossimità del suolo per il giorno 27/01/2000 alle ore 13.

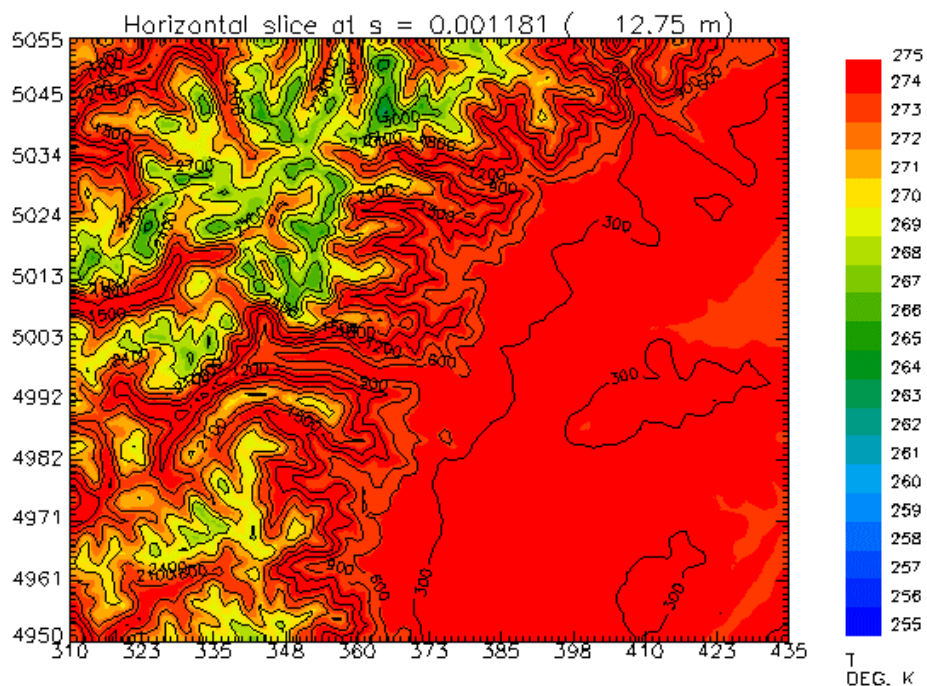


Figura 17. Campo di temperatura in prossimità del suolo per il giorno 27/01/2000 alle ore 13:00

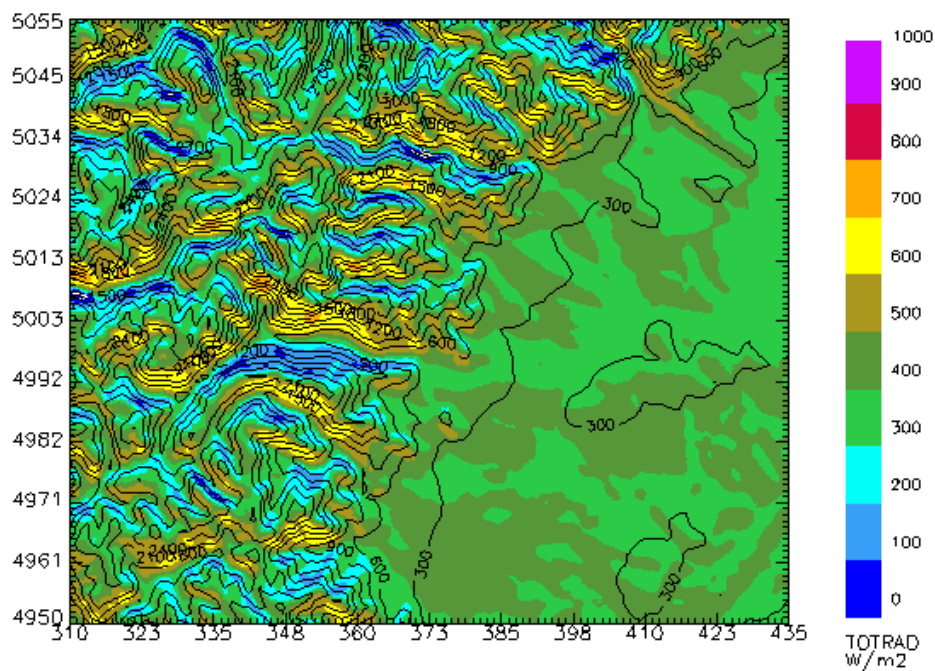


Figura 18. Campo di radiazione globale per il giorno 27/01/2000 alle ore 13:00

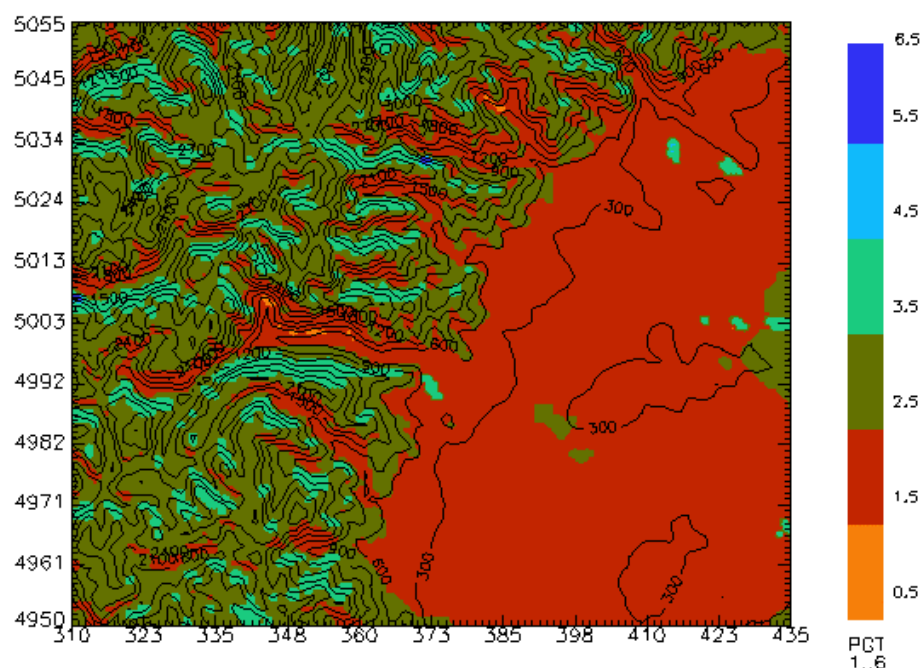


Figura 19. Campo di classi di stabilità di Pasquill per il giorno 27/01/2000 alle ore 13:00

## 6 Verifica dei risultati ed analisi di qualità della base dati

Una prima indicazione sulla qualità e sulla rappresentatività della base dati meteorologica costruita può essere fornita dalla densità di osservazioni presenti nelle diverse aree del territorio in considerazione. Come già osservato (Capitolo 3) la copertura fornita dalle osservazioni risulta piuttosto disuniforme per il vento, ci si può quindi attendere un differente grado di affidabilità della base dati in funzione della presenza di postazioni di misura nell'area circostante la posizione in esame. Un indicatore di qualità della base dati può quindi essere considerata la distanza di ogni punto della griglia di calcolo dalla postazione più vicina, rappresentata graficamente in Figura 22. Si può rilevare una copertura soddisfacente di osservazioni dell'area urbana di Torino, della Val di Susa, della zona del Sestriere, del Canavese e della zona di Pinerolo. Risultano scoperte dalle osservazioni la zona montana a nord nord-ovest della Provincia di Torino, le zone confinanti con le Province di Cuneo, Asti e Vercelli, dove la distanza media dai punti di osservazione risulta superiore ai 10 km.



## Distanza minima di ogni punto di griglia dalle osservazioni

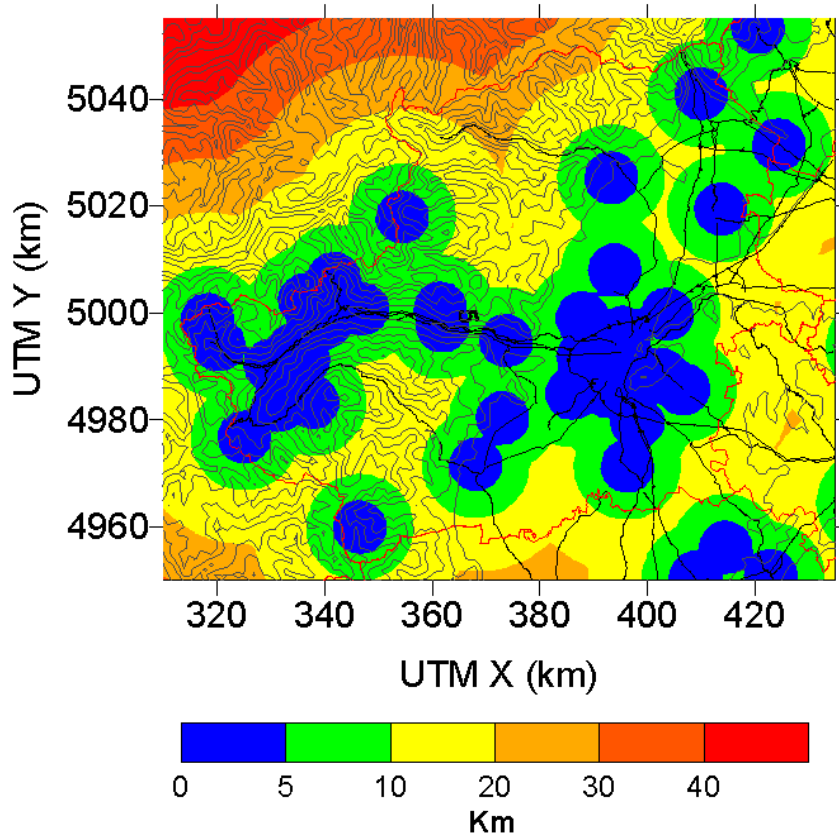


Figura 20. Distanza di ogni punto della griglia di calcolo dall'osservazione più vicina

I risultati delle simulazioni annuali sono stati sottoposti a verifica attraverso il confronto statistico con le osservazioni disponibili. Dato il numero elevato di postazioni di superficie disponibili (43) risulta impossibile presentare un'analisi ed un confronto su tutte le postazioni. Si è perciò deciso di centrare la verifica su alcune postazioni rappresentative delle differenti aree territoriali della Provincia di Torino: area urbana di Torino, zona pianeggiante, zona pedemontana, valle alpina e area orograficamente elevata. Alle postazioni già utilizzate per il confronto presentato nel Capitolo 5 si è aggiunta la postazione di Bauducchi, che è stata selezionata come postazione rappresentativa per la radiazione solare, e quindi per la nuvolosità, sulla Provincia di Torino. La verifica è stata basata sia sul calcolo di indici statistici che danno un'indicazione dell'errore medio compiuto nella ricostruzione del valore misurato per ogni singola ora dell'anno, che sul confronto fra la distribuzione in classi delle velocità del vento e delle direzioni di provenienza (rose dei venti). Agli indici statistici già introdotti nel Capitolo 5 sono stati aggiunti il BIAS ed il *Fractional Bias* (FB), definiti come:

$$BIAS = \overline{v_c} - \overline{v_o},$$

$$FB = 2(\overline{v_c} - \overline{v_o}) / (\overline{v_c} + \overline{v_o}),$$

dove  $\overline{v_c}$  e  $\overline{v_o}$  indicano i valori medi delle intensità dei venti calcolati e osservati.

Questi indici, basati sul confronto dei valori medi, danno una valutazione delle prestazioni del modello per quanto riguarda la ricostruzione delle caratteristiche di ventosità media del territorio in esame.

**Tabella 3 Confronto statistico delle velocità dei venti calcolate con i valori osservati in alcune postazioni. Simulazione annuale 01/06/1999-31/05/2000.**

Postazione	Consolata	Pino Torinese	Salbertrand	Avigliana	Bauducchi	Baldissero
<b>Errore medio (m/s)</b>	0.19	0.11	0.80	0.10	0.17	0.11
<b>BIAS (m/s)</b>	-0.08	-0.001	0.78	0.03	-0.14	0.09
<b>FB</b>	-0.06	-0.001	0.29	0.02	-0.12	0.08

I valori degli indici statistici riportati in Tabella 3 mostrano che l'errore medio è inferiore a 0.2 m/s in tutte le postazioni considerate tranne Salbertrand, dove assume il valore di 0.8 m/s. I valori di BIAS and FB confermano il quadro con valori molto contenuti in tutte le postazioni eccetto Salbertrand. Si può osservare che mentre in tutte le altre postazioni BIAS e FB assumono valori molto simili fra loro, a Salbertrand il FB è nettamente minore del BIAS. Questo dato mette in evidenza che i venti osservati in questa postazione assumono valori mediamente più elevati rispetto alle altre postazioni considerate.

In Figura 24 è illustrato il confronto fra le velocità dei venti calcolate e le misure effettuate nelle diverse postazioni in forma di istogramma per classi di velocità. Si può verificare in questo modo se la distribuzione statistica delle intensità dei venti calcolati rispecchia le osservazioni con un intervallo di confidenza accettabile. Per i dati osservati le distribuzioni illustrate sono state normalizzate a 100 utilizzando i soli dati validi.

I risultati della simulazione descrivono le osservazioni con un grado di confidenza accettabile in tutte le postazioni. Si possono notare notevoli differenze nelle distribuzioni delle intensità dei venti fra le diverse postazioni, che mettono in luce la notevole variabilità dei venti sul territorio della Provincia di Torino. La distribuzione degli eventi nelle diverse classi di velocità è riprodotta in modo corretto in tutte le postazioni considerate, con la sola parziale eccezione di Salbertrand. Le differenze evidenziate in questa postazione fra misure e calcoli sono in parte dovute alla complessità e ventosità del sito, in parte alle rilevanti differenze osservate fra postazioni vicine. Queste differenze vengono "mediate" dal modello, che riproduce una situazione intermedia, perdendo il dettaglio delle singole osservazioni. Si osservino a tal fine le rilevanti differenza fra l'istogramma di velocità del vento relativo alla postazione di Salbertrand e quello relativo alla vicina postazione di Gad (Figura 21).

In Figura 22 è illustrato il confronto fra le rose dei venti nelle diverse postazioni considerate per la verifica delle simulazioni. Il confronto è generalmente positivo, le differenze fra valori calcolati e le osservazioni si riduce infatti ad una parziale redistribuzione dei casi nei settori angolari adiacenti già coperti dalla rosa dei venti sperimentale.

Una valutazione qualitativa della riproduzione delle variazioni spaziali delle intensità dei venti è stata ottenuta dal confronto del campo di intensità media annuale del vento ottenuto dai risultati delle simulazioni con i valori misurati nelle postazioni disponibili (Figura 23). Il campo di vento calcolato si riferisce al primo livello di calcolo al disopra del terreno, posto alla quota di circa 10 metri. La descrizione delle caratteristiche anemologiche descritte dalle osservazioni si può considerare soddisfacente. Un esame attento permette di rilevare la sovrastima delle osservazioni nelle postazioni di Clot della Somma, Chieri e Druento, che sono state escluse dal set di dati utilizzati in input ai modelli in quanto considerate non rappresentative ai fini della ricostruzione modellistica dei campi meteorologici (Paragrafo 3.2).

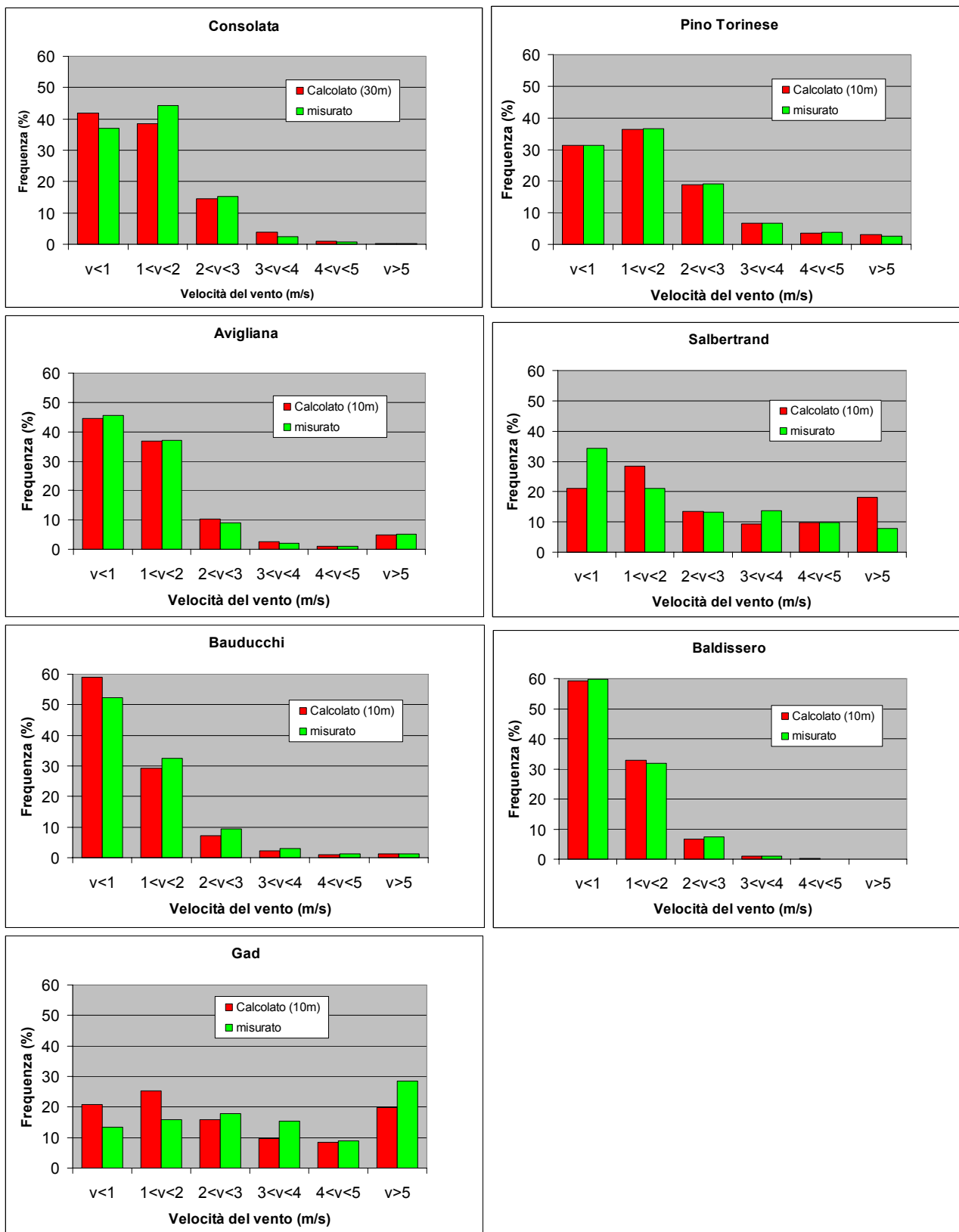


Figura 21. Confronto fra le distribuzioni delle velocità dei venti calcolate e misurate in alcune delle postazioni della rete meteorologica

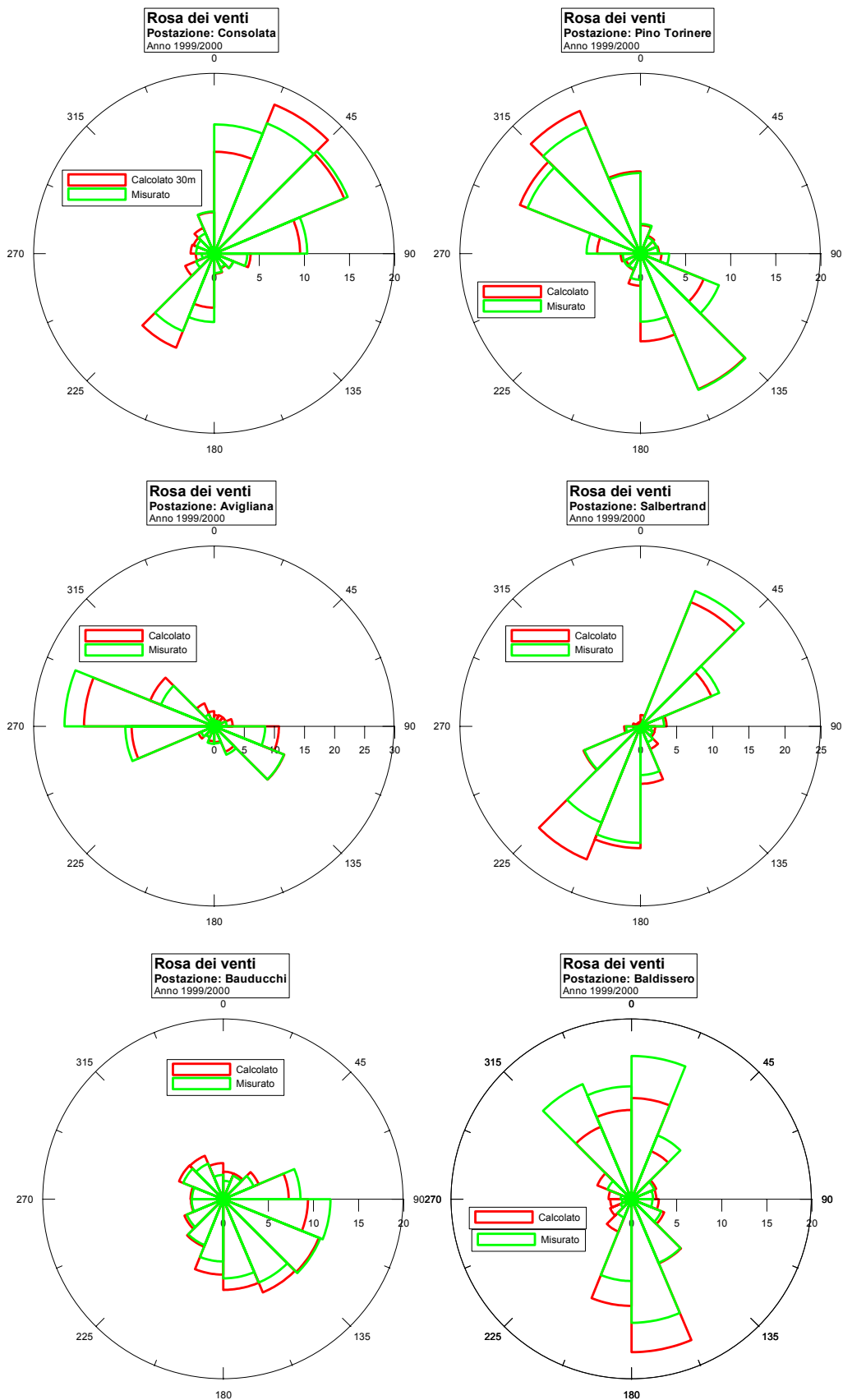


Figura 22. Confronto fra le rose dei venti calcolati e misurati in alcune delle postazioni della rete meteorologica

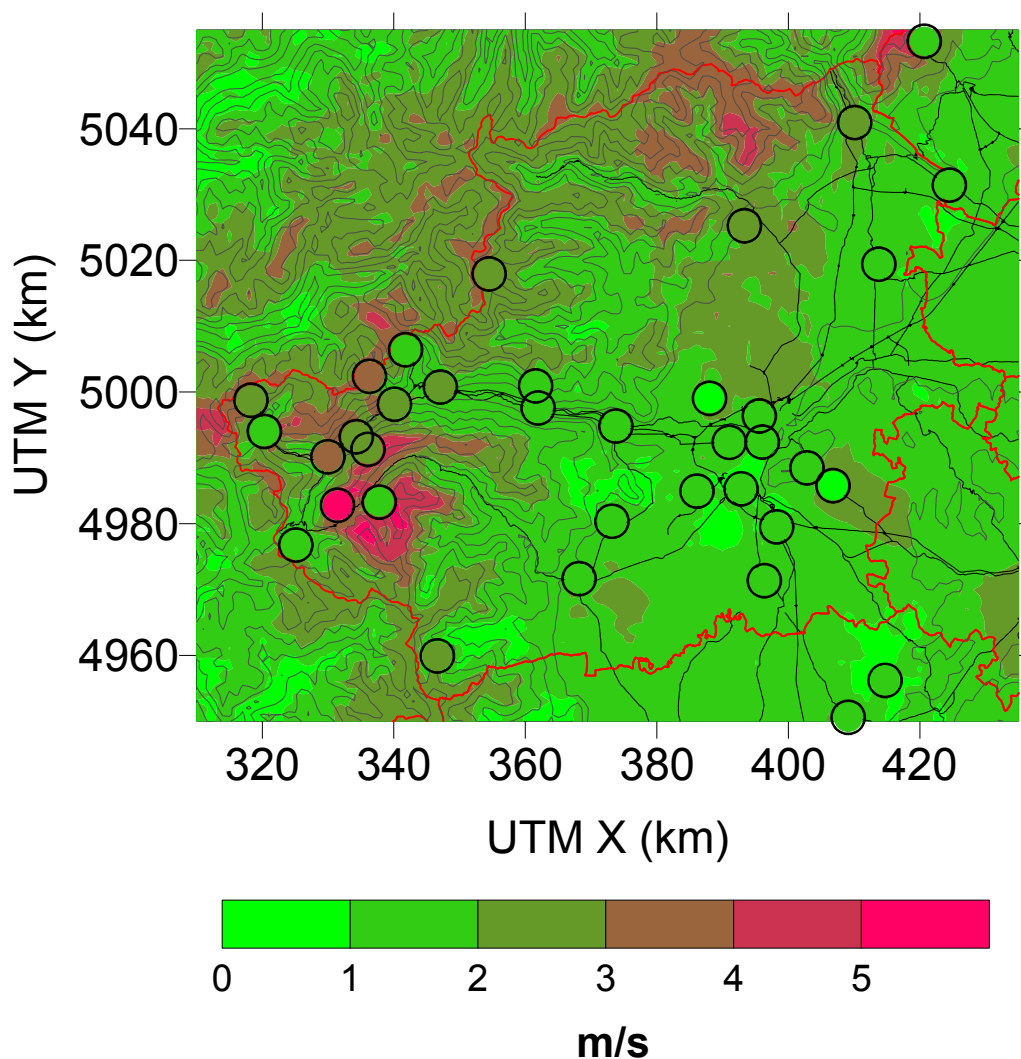


Figura 23. Confronto del valore medio annuale della velocità del vento alla quota di 10 metri con i valori osservati nelle diverse postazioni disponibili

## 7 Analisi delle statistiche di lungo periodo

La disponibilità di una base dati anemologica di lungo periodo ha permesso l'elaborazione di mappe in grado di illustrare le caratteristiche di ventosità del territorio della Provincia di Torino, dal punto di vista delle statistiche di lungo periodo. Queste informazioni, oltre ad avere interesse dal punto di vista della climatologia locale, sono rilevanti come informazioni di base per la gestione della qualità dell'aria locale. Infatti l'intensità del vento è un indice delle capacità dispersive dell'atmosfera e quindi della possibilità di diluire le concentrazioni degli inquinanti emessi dalle differenti tipologie di sorgenti presenti sul territorio. Le aree caratterizzate da venti deboli sono quindi quelle più critiche dal punto di vista della qualità dell'aria. La descrizione della ventosità del territorio costituisce inoltre l'informazione di partenza per poter valutare le potenzialità di sfruttamento dell'energia eolica.

## 7.1 Analisi della struttura spaziale dei campi di vento

Nelle Figure 24, 25 e 26, sono illustrati i campi della velocità media annuale del vento alle quote di 10, 50 e 100 metri, al disopra del terreno. Sulle figure sono riportati i confini provinciali (in rosso), le quote altimetriche (isolinee con passo 200 metri) e la rete stradale costituita dalle principali autostrade e strade statali. Si può osservare la presenza di aree con caratteristiche differenti: l'area pianeggiante a nord di Torino, dalla periferia urbana al Canavese, mostra una ventosità più elevata delle altre zone pianeggianti, con intensità medie del vento superiori a 2 m/s. Caratteristiche opposte sono evidenziate dalla zona sud della Provincia, dove le aree pianeggianti sono caratterizzate da venti molto deboli, con valori medi annuali anche inferiori ad 1 m/s. Come ci si deve aspettare le intensità dei venti mostrano un andamento crescente con le quote orografiche, unicamente le zone più elevate nelle aree delle valli di Susa, del Chisone e di Locana mostrano velocità medie del vento maggiori di 4 m/s, alla quota di 10 metri sopra il terreno. Le zone collinari mostrano intensità dei venti leggermente superiori ai valori che caratterizzano la pianura, ma rimangono comunque caratterizzate da venti di debole intensità.

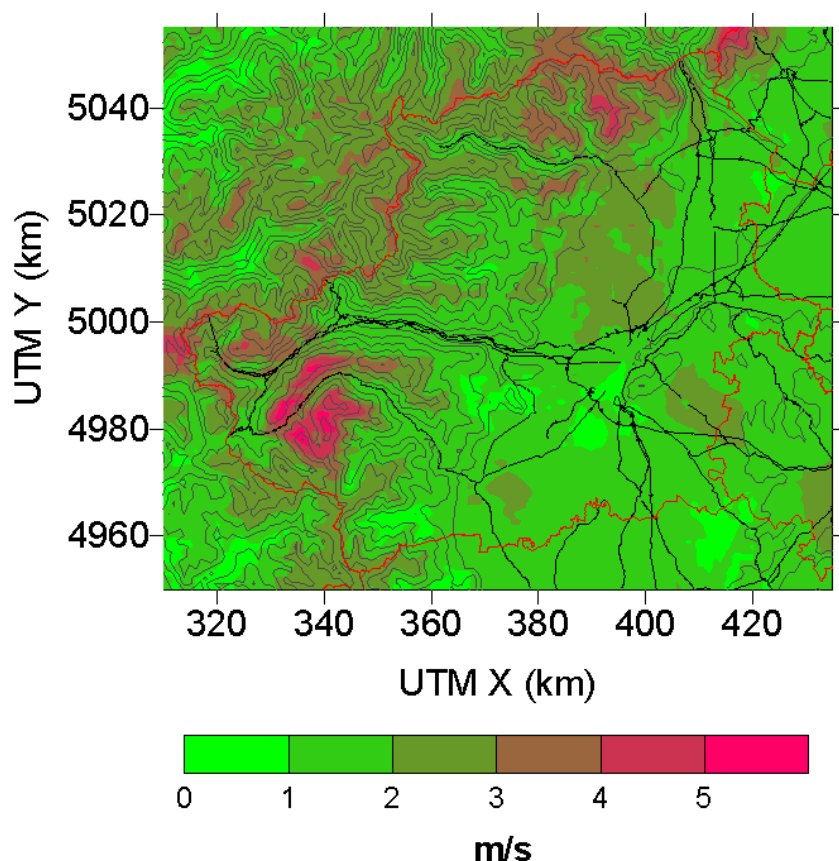


Figura 24. Velocità media annuale del vento alla quota di 10 metri.

Il confronto dei campi illustrati nelle Figure 24, 25 e 26 permette di verificare la variazione delle intensità medie dei venti con la quota al disopra del terreno. In generale si rileva una debole variazione dei venti medi con l'altezza. I dati alle quote di 50 e 100 metri confermano le caratteristiche delle differenti aree territoriali già evidenziate in precedenza. Si può rilevare che anche alla quota di 100 metri vaste porzioni del territorio della Provincia di Torino sono caratterizzate da intensità del vento inferiori a 2 m/s.

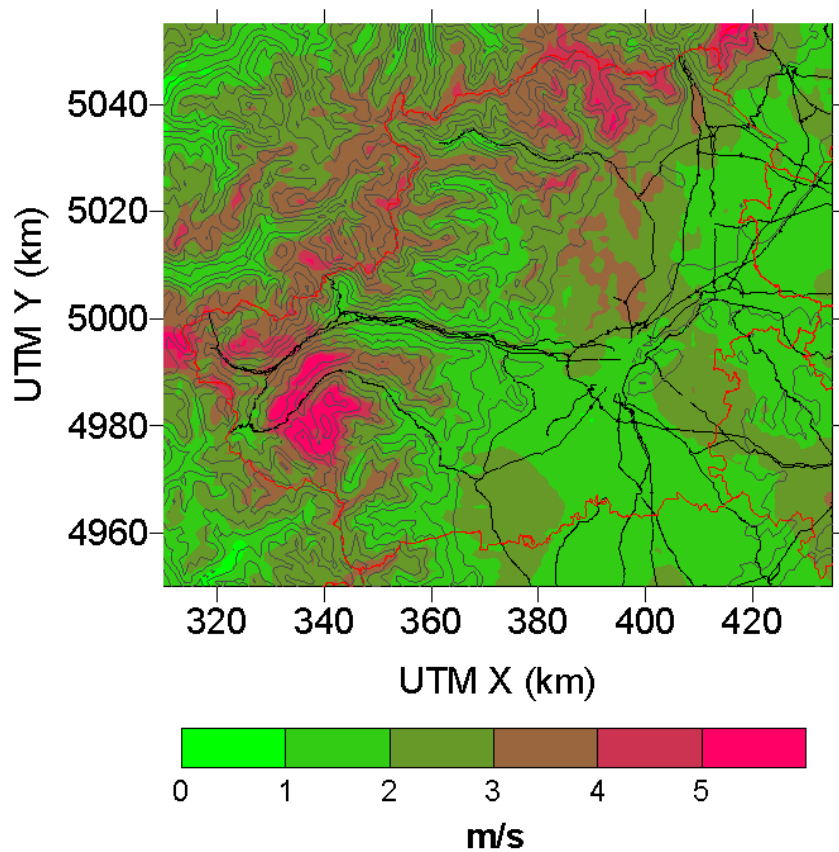


Figura 25. Velocità media annuale del vento alla quota di 50 metri.

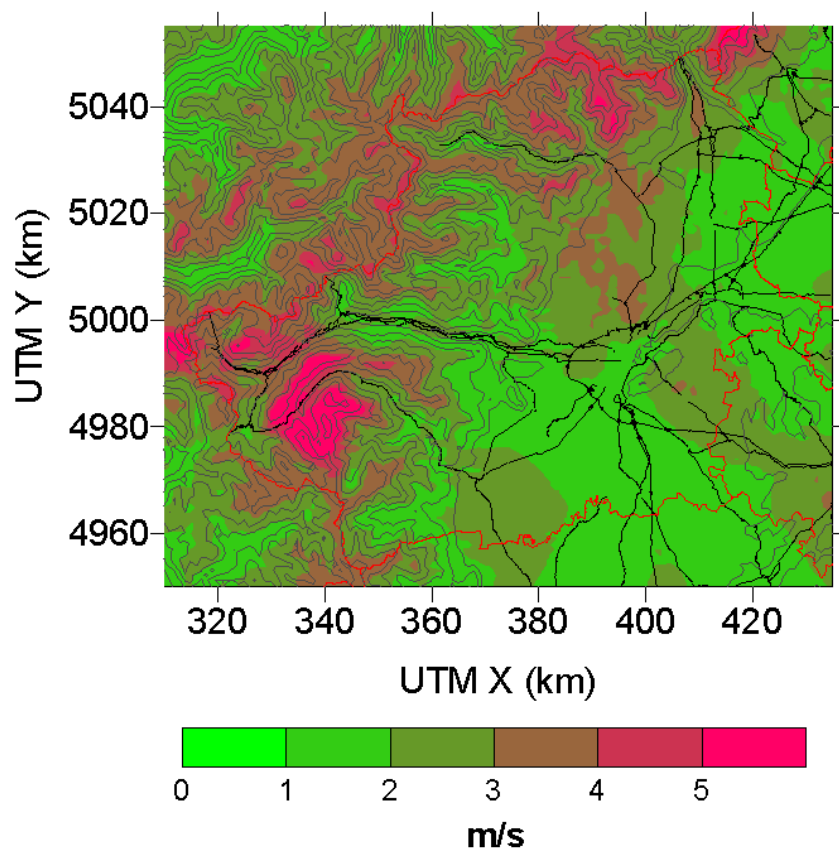


Figura 26. Velocità media annuale del vento alla quota di 100 metri.

In aggiunta a quanto illustrato per le intensità medie dei venti, nelle Figure 27 e 28 è illustrata l'incidenza percentuale, su base annuale, degli episodi di calma di vento. Come soglia di intensità del vento per la definizione delle calme di vento si è scelto il valore di 1 m/s. Tutte le zone pianeggianti sono interessate da frequenti, se non prevalenti condizioni di calma di vento. Le condizioni di calma risultano statisticamente dominanti in una vasta area di territorio localizzata a sud sud-est della città di Torino. Frequenti condizioni di calma influenzano anche la parte sud dell'area urbana torinese, le zone di fondovalle delle valli alpine ad alcune aree pedemontane. Come già evidenziato precedentemente l'area a nord di Torino e parte del Canavese mostrano invece caratteristiche di maggior ventosità. Al crescere dell'altezza sopra il terreno l'incidenza delle calme si riduce gradualmente. La frequenza di questi eventi rimane comunque statisticamente rilevante negli strati di atmosfera interessati dalle principali emissioni di inquinanti (Figura 28).

Le Figure 29 e 30 descrivono infine l'incidenza statistica dei venti di moderata intensità, superiori a 5 m/s. Tali eventi risultano di scarsa rilevanza statistica sulla pianura, le zone collinari, l'area pedemontana e il fondovalle delle valli alpine. In tutte queste aree i venti superiori a 5 m/s hanno una frequenza inferiore al 10%. Solo nel Canavese questo valore è superato alla quota di 50 m sopra il terreno. I venti di moderata intensità mostrano frequenze rilevanti (ad esempio maggiori del 30%) solo in corrispondenza di alcune aree ortograficamente elevate, quali: l'alta Val di Susa e del Chisone, le zone montane a nord e nord-ovest della Provincia, in prossimità del confine con la Francia e nell'area del Gran Paradiso.

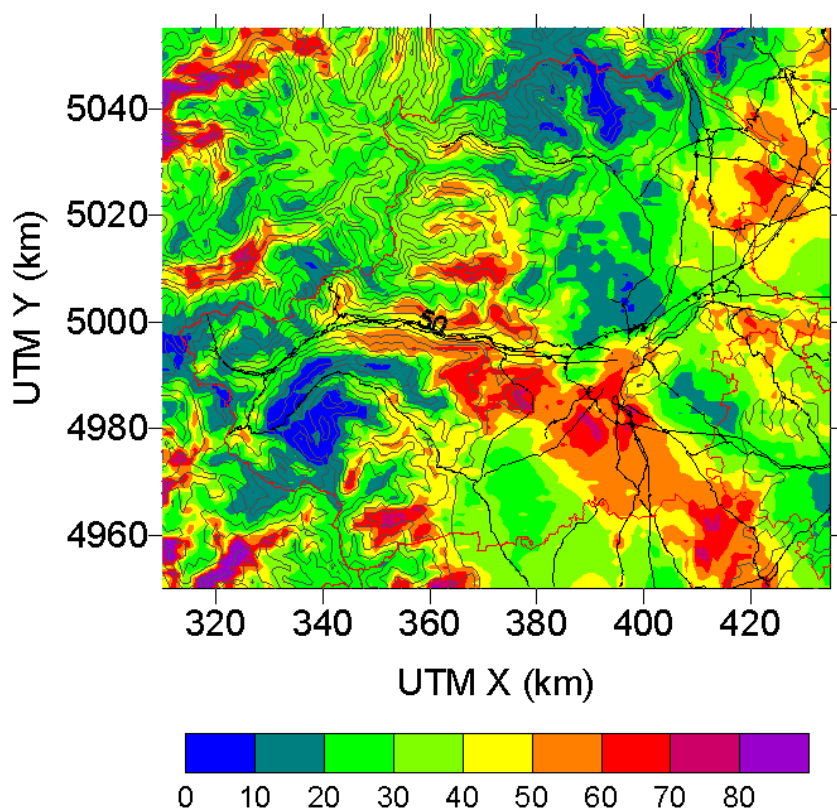


Figura 27. Frequenza percentuale annuale delle calme di vento ( $v < 1$  m/s) alla quota di 10 metri.



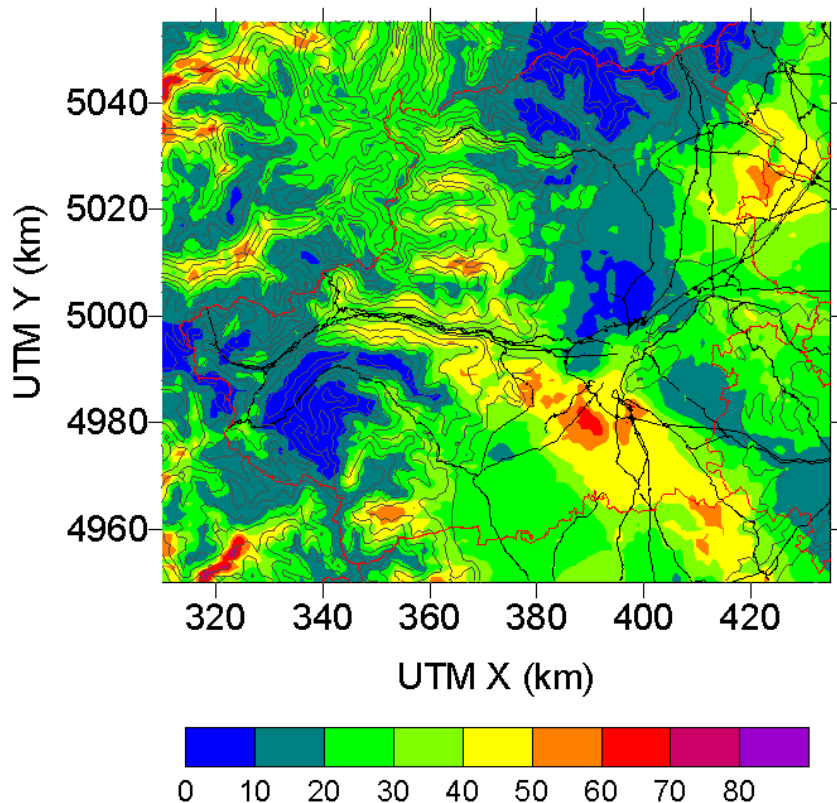


Figura 28. Frequenza percentuale annua delle calme di vento ( $v < 1$  m/s) alla quota di 50 metri.

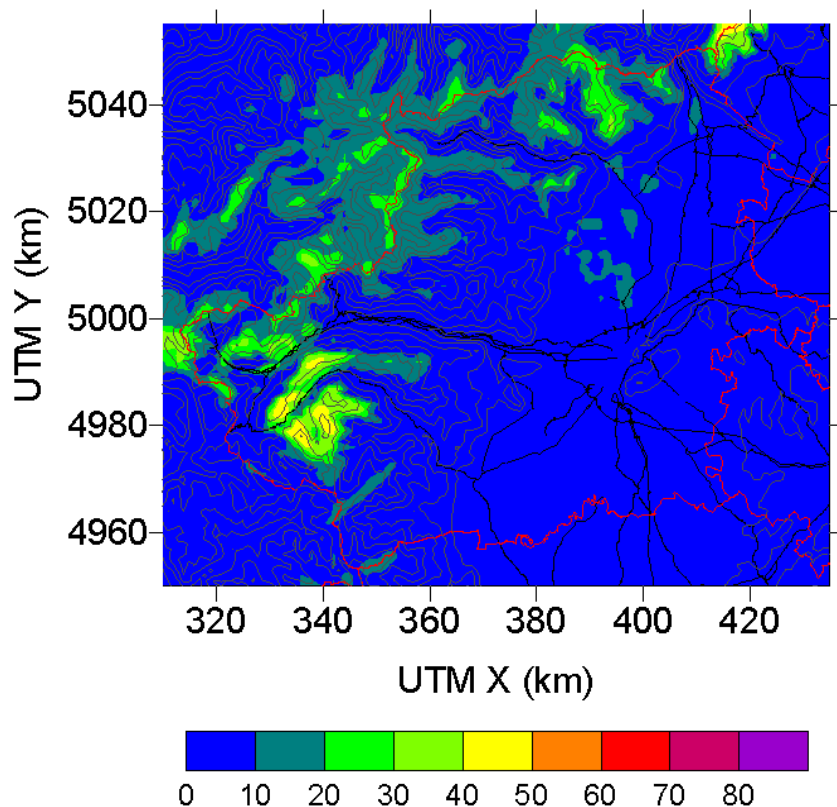


Figura 29. Frequenza percentuale annua dei venti di intensità superiore a 5 m/s, alla quota di 10 metri.

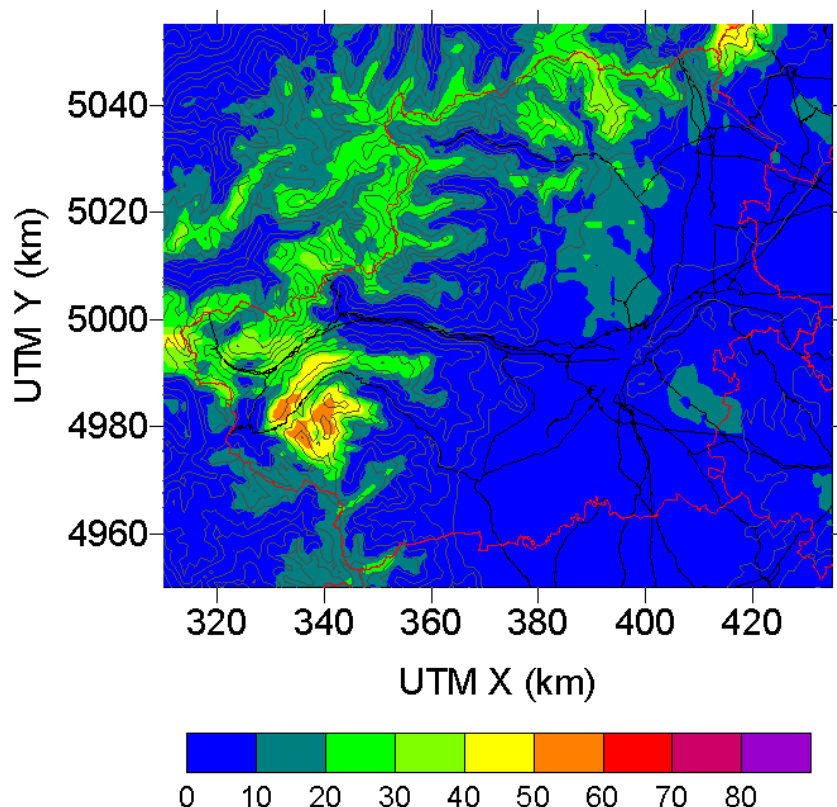


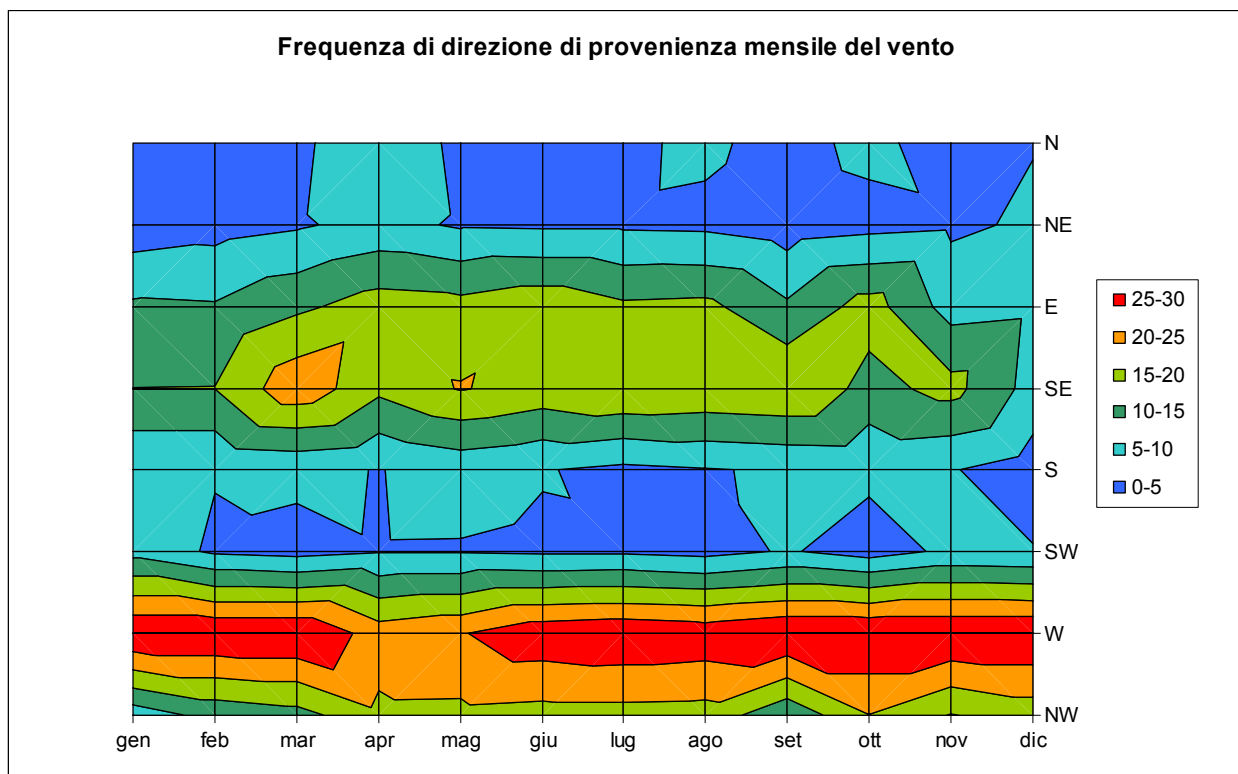
Figura 30. Frequenza percentuale annua dei venti di intensità superiore a 5 m/s, alla quota di 50 metri.

## 7.2 *Analisi della variazione temporale dei campi di vento*

Come già evidenziato dall'analisi delle osservazioni (Capitolo 3) e dal confronto dei risultati delle simulazioni modellistiche con i valori misurati in alcune postazioni (Capitolo 6), la variabilità temporale dei venti è fortemente sito dipendente, e non mostra delle caratteristiche comuni che possano essere descritte in modo sintetico su tutto il territorio regionale. Per dare una rappresentazione della variabilità nel tempo dei dati anemologici contenuti nella base dati, sono stati analizzati gli andamenti temporali dei venti in posizioni geografiche rappresentative di alcune delle aree con caratteristiche omogenee precedentemente individuate. Nel seguito sono illustrati gli andamenti dei venti ad Avigliana, Caselle e Bauducchi. Si tenga presente che i dati ai quali ci si riferisce sono quelli estratti dalla base dati in corrispondenza delle postazioni nominate. Si tratta quindi non di osservazioni ma dei risultati delle simulazioni modellistiche.

In Figura 31 è illustrata la frequenza della direzione di provenienza del vento in funzione del mese, nella posizione geografica corrispondente alla postazione di Avigliana. La frequenza è normalizzata a 100 sul singolo mese. Si osserva che la polarizzazione nella direzioni E-SE ed W-WNW della rosa dei venti, già evidenziata in Figura 22, è presente per tutto il corso dell'anno. I venti da SSE, che indicano condizioni di circolazione di brezza di valle, hanno frequenze più elevate durante le stagioni primaverile ed estiva, mentre i venti intorno W mostrano frequenze sostanzialmente costanti durante tutto il corso dell'anno, con una lieve riduzione durante la primavera. L'analisi delle intensità dei venti (Figura 32) evidenzia che i venti intorno E-SE mostrano intensità mediamente più elevate durante primavera ed estate, quando i fenomeni di brezza si sviluppano con maggior frequenza ed intensità. I venti più intensi sono invece osservati

durante l'inverno, con direzioni prevalenti da W-NW, anche se un'intensificazione delle correnti occidentali è osservabile anche per i mesi di giugno e luglio. Le calme di vento (Figura 33) sono presenti prevalentemente durante le ore serali e notturne. La durata del periodo centrale della giornata nel quale le calme hanno scarsa incidenza percentuale è funzione del periodo di insolazione. Le frequenze più elevate di calma di vento (superiori al 60%) sono osservate durante le ore serali e notturne della primavera e dell'estate, principalmente fra le 18 e le 02.



**Figura 31. Postazione di Avigliana, frequenza mensile della direzione di provenienza del vento.**

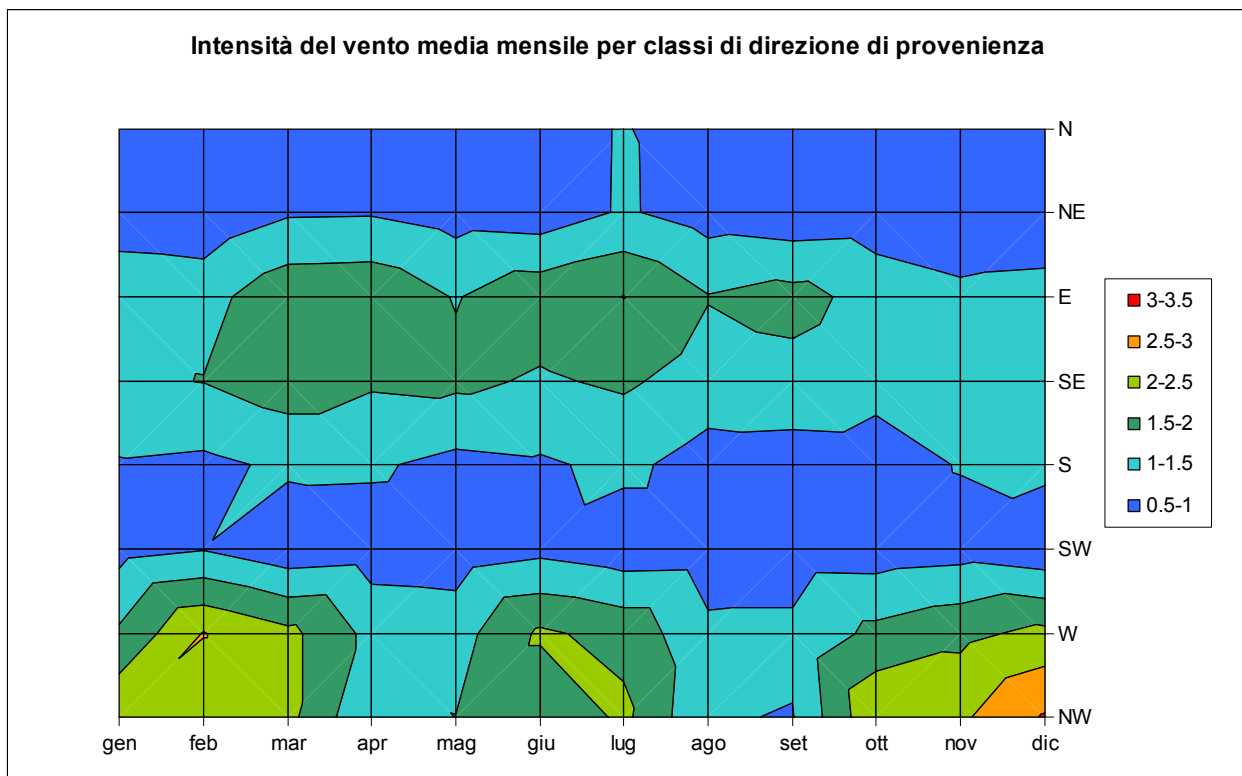


Figura 32. Postazione di Avigliana, frequenza media mensile dell'intensità del vento.

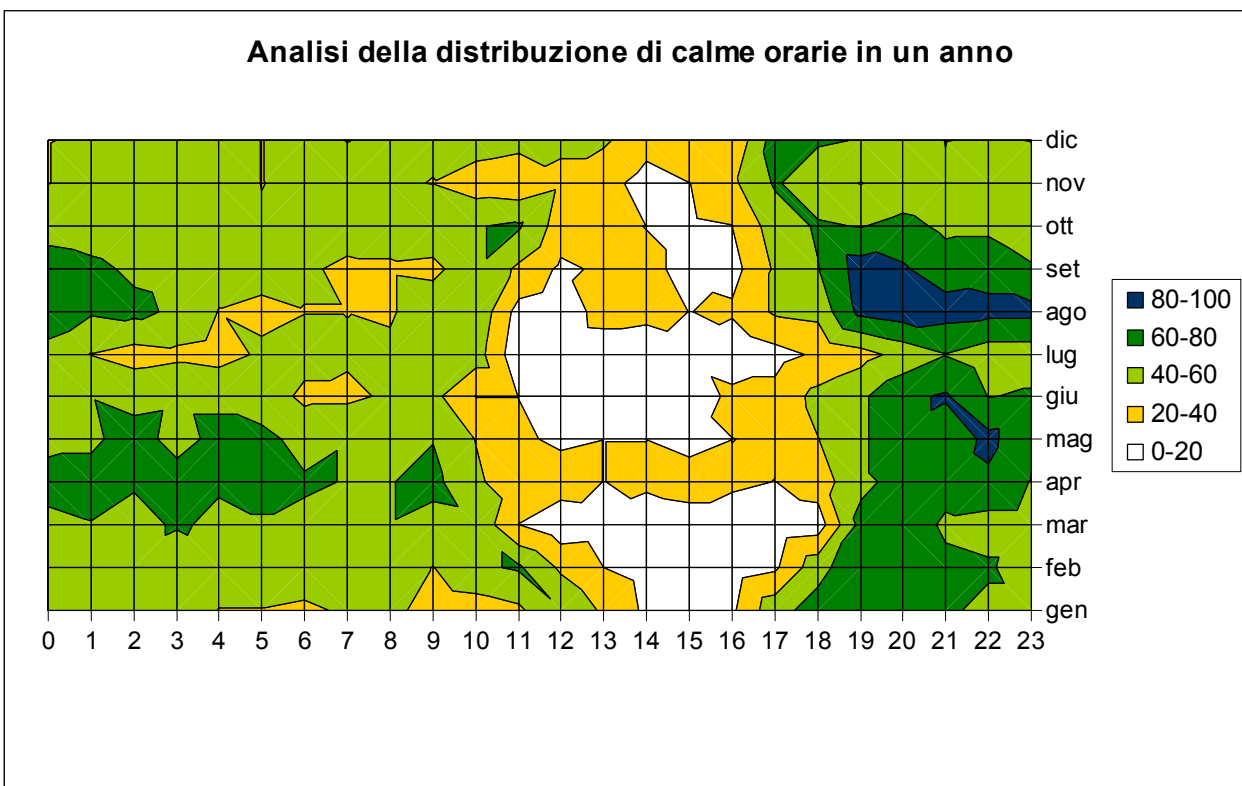


Figura 33. Postazione di Avigliana, frequenza mensile delle calme di vento.

In corrispondenza della postazione di Caselle i venti mostrano caratteristiche marcatamente stagionali. Durante la stagione estiva si osserva una spiccata prevalenza dei venti intorno NE (Figura 34), con frequenze superiori al 30% dei casi. Durante l'inverno tali frequenze scendono al

disotto del 15%, mentre si osserva una prevalenza delle correnti intorno W. I venti di maggiore intensità soffiano da NE-E-SE durante l'estate (Figura 35) e intorno NW durante l'inverno, con velocità medie di 2.5-3 m/s. Le calme di vento hanno in quest'area un'incidenza abbastanza contenuta rispetto ad altre aree della pianura piemontese (Figura 36). I valori più elevati, superiori al 40% sono osservati durante la tarda notte e la mattina, nelle stagioni estiva ed invernale.

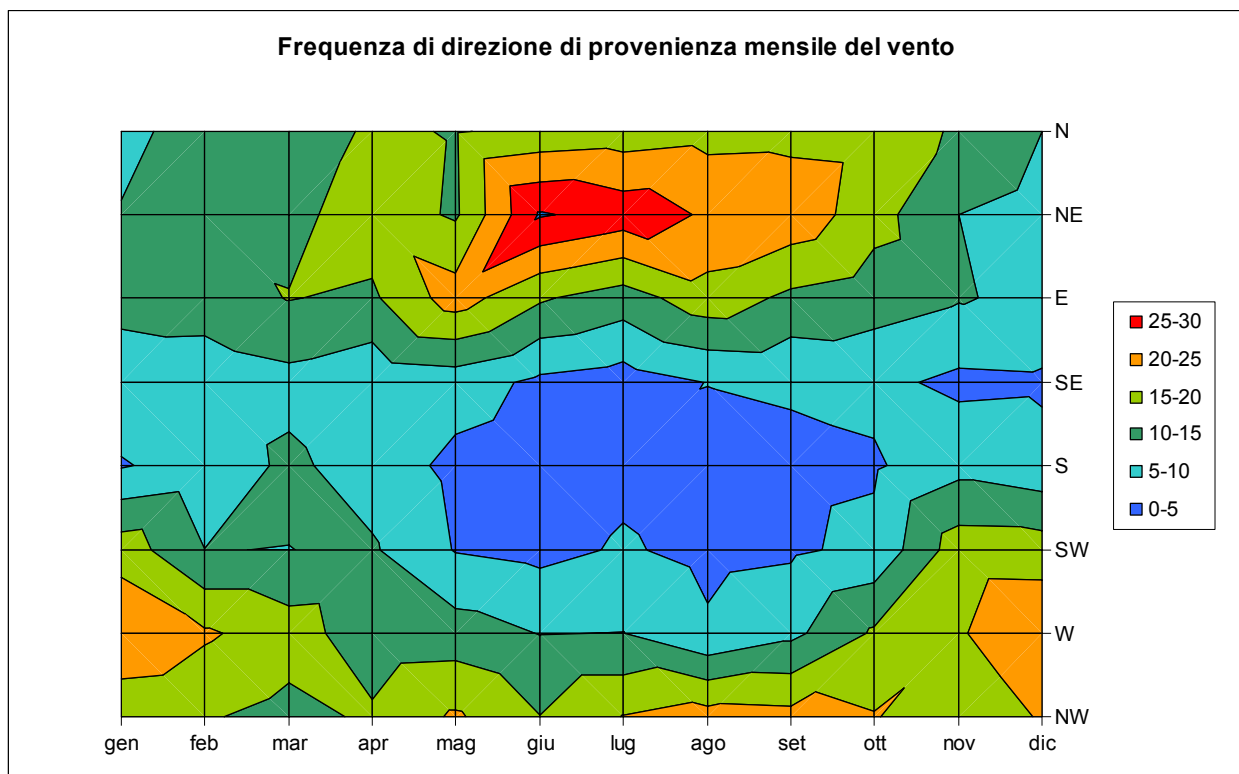
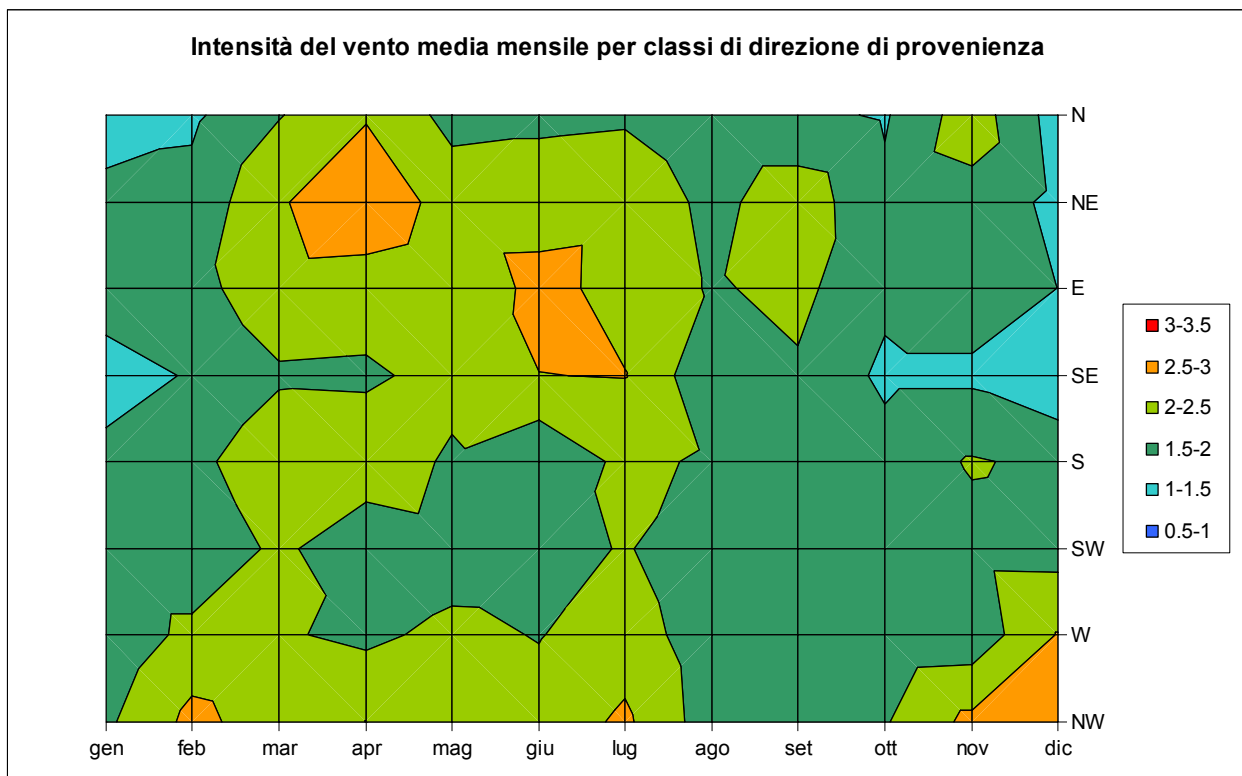
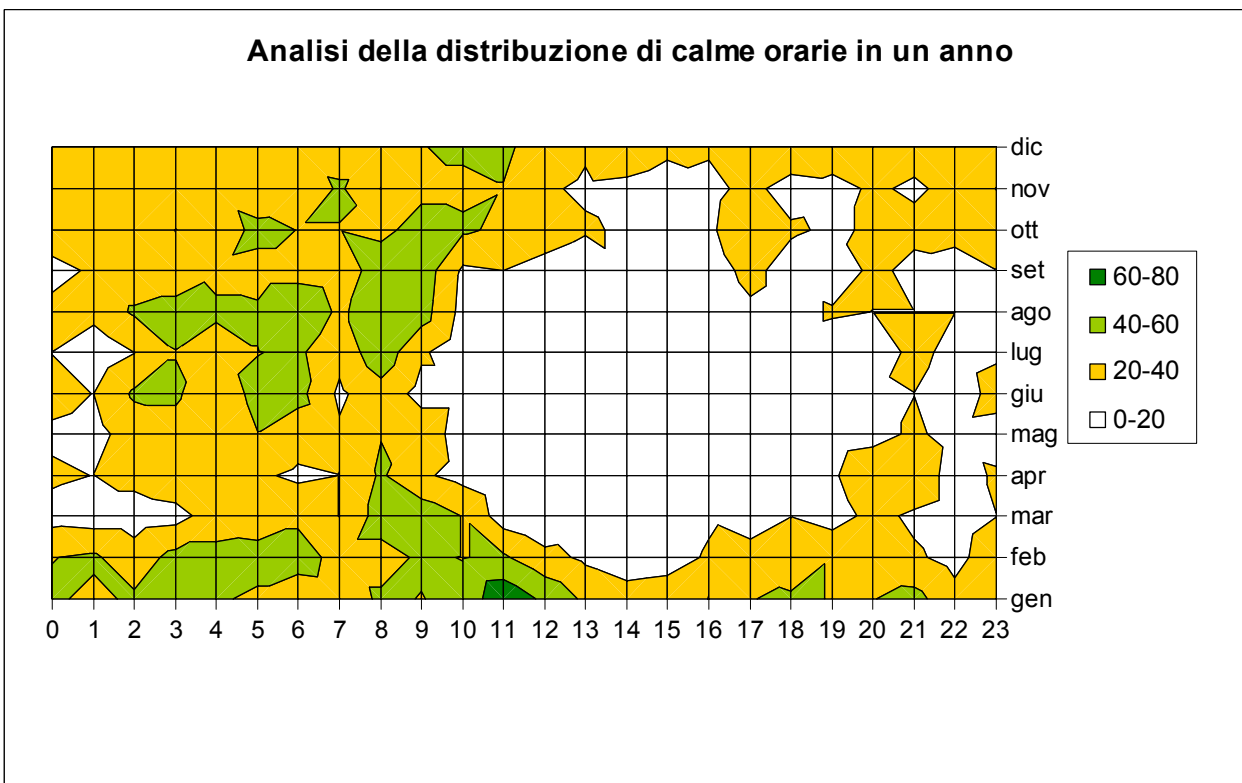


Figura 34. Postazione di Caselle, frequenza mensile della direzione di provenienza del vento.



**Figura 35. Postazione di Caselle, frequenza media mensile dell'intensità del vento.**



**Figura 36. Postazione di Caselle, frequenza mensile delle calme di vento.**

In corrispondenza della postazione di Bauducchi, rappresentativa dell'area pianeggiante a sud di Torino, le caratteristiche dei venti mostrano una variazione stagionale piuttosto scarsa. La direzione prevalente è SE durante tutto l'anno (Figura 37) con una distribuzione dei casi rimanenti fra NE e SW e frequenze molto limitate per tutte le altre direzioni (si veda anche la rosa dei venti riportata in Figura 22). Le intensità dei venti sono molto deboli durante tutto il corso dell'anno, una leggera intensificazione delle intensità è osservabile durante la primavera e l'inverno (Figura 38). I venti di maggiore intensità presenti in febbraio e dicembre, con direzioni intorno NW, sono probabilmente attribuibili all'incidenza di condizioni di föhn. Le calme di vento mostrano frequenze mediamente elevate (Figura 39), con le massime incidenze (superiori all'80%) durante le ore serali e notturne della tarda estate, dell'autunno e dell'inverno.

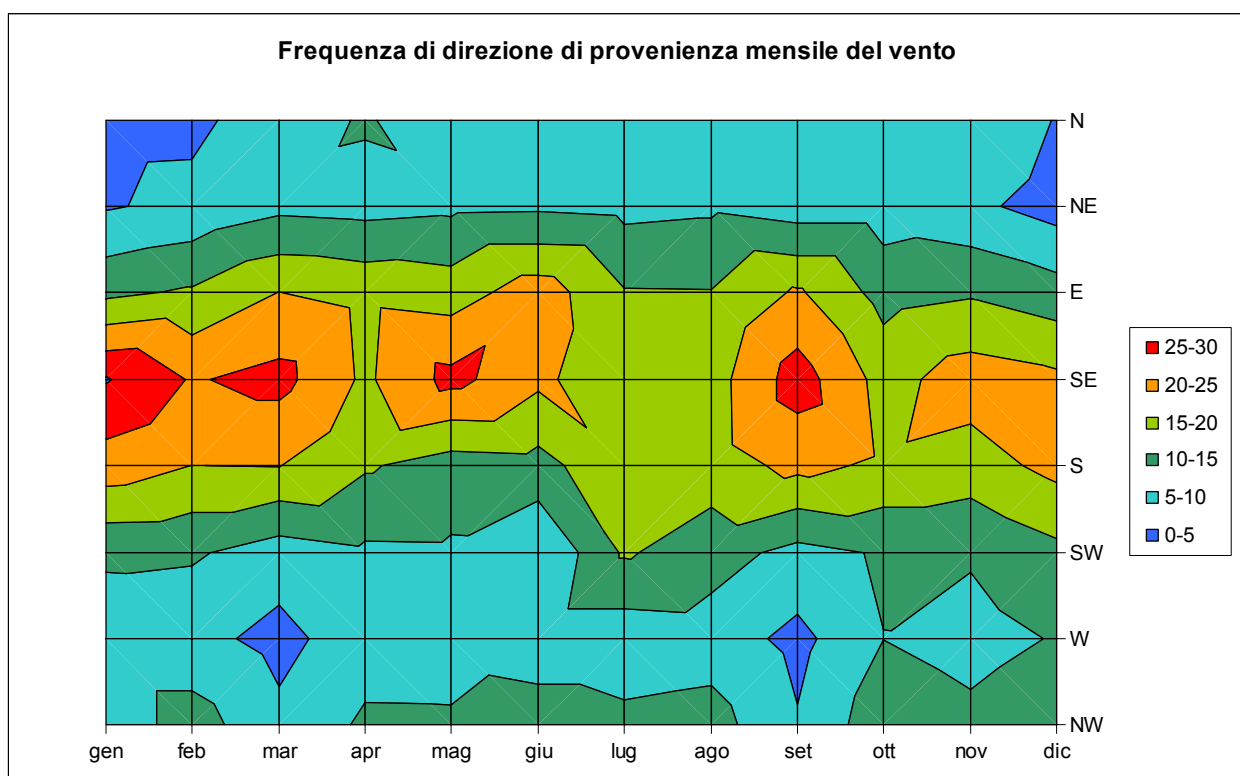


Figura 37. Postazione di Bauducchi, frequenza mensile della direzione di provenienza del vento.

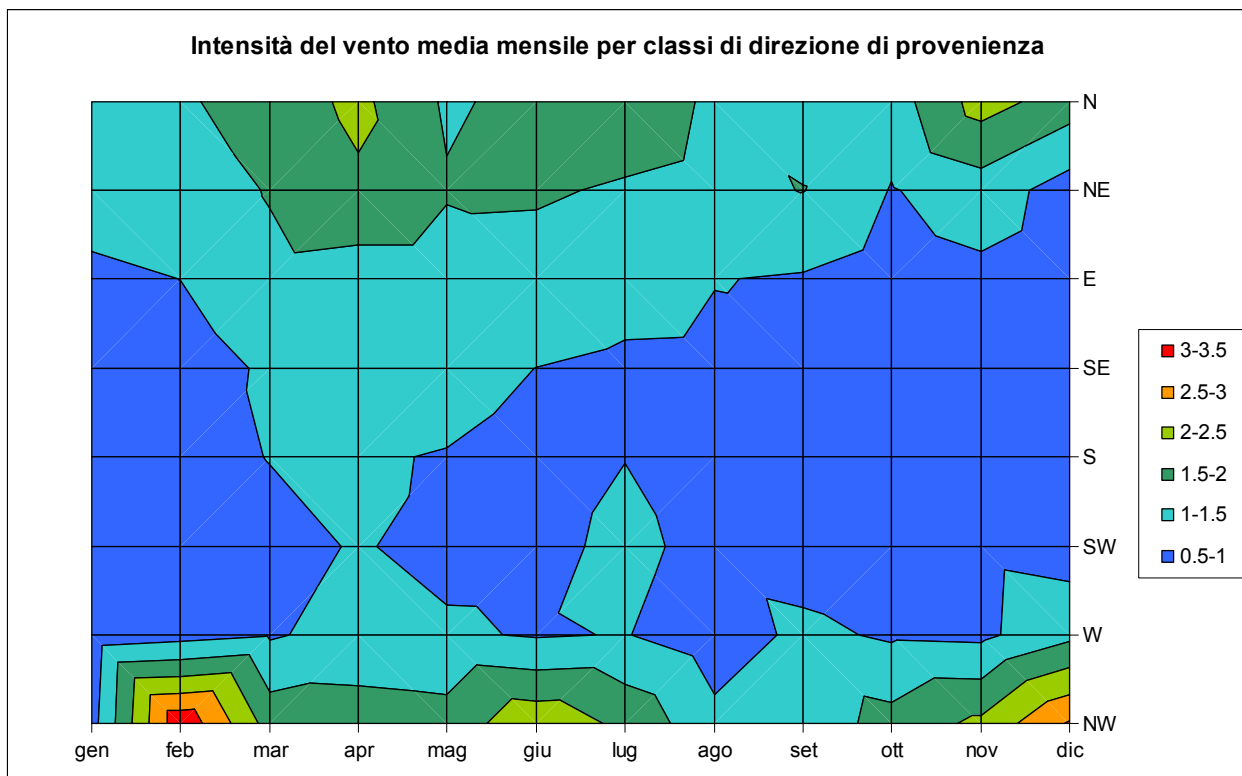


Figura 38. Postazione di Bauducchi, frequenza media mensile dell'intensità del vento.

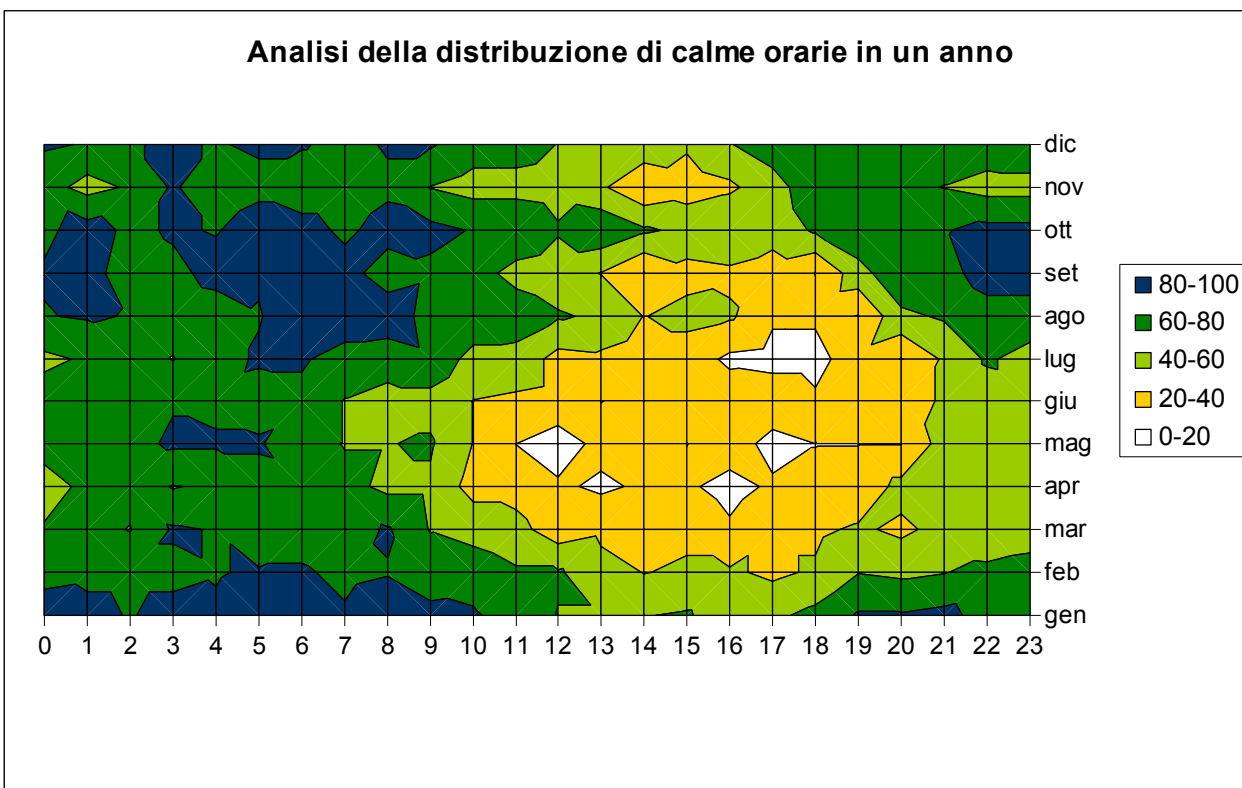


Figura 39. Postazione di Bauducchi, frequenza mensile delle calme di vento.



## 8 Conclusioni

Il progetto descritto ha permesso di realizzare una base dati meteorologica di riferimento per il supporto degli studi di qualità dell'aria sulla Provincia di Torino. L'utilizzo di modelli di dispersione degli inquinanti richiede infatti la conoscenza delle principali variabili meteorologiche e della stabilità atmosferica. Il set di dati compreso nell'archivio meteorologico consente di coprire le richieste dei modelli di dispersione più comunemente utilizzati, quali: modelli gaussiani (ad es. ISC, DIMULA o ARIA IMPACT), modelli ibridi di nuova generazione (ad es. AERMOD, HPDM o GIADA), modelli Lagrangiani a puff (ad es. CALPUFF). I dati contenuti nella base dati meteorologica sono caratterizzati da una risoluzione spaziale orizzontale di 1 km e coprono i primi 2000 metri di atmosfera, con risoluzione decrescente con l'altezza, a partire da circa 10 metri in prossimità del suolo. La base dati copre un anno completo, con risoluzione temporale di 1 ora. La provincia di Torino dispone inoltre delle informazioni necessarie per realizzare applicazioni modellistiche di maggior complessità, quali simulazioni con modelli fotochimici o modelli Lagrangiani a particelle (ad es. SPRAY). Per questo tipo di simulazioni possono essere necessarie informazioni meteorologiche più complete o su porzioni di atmosfera non completamente coperte dalla base dati. In questi casi i campi meteorologici possono essere ricostruiti semplicemente ripetendo alcune delle simulazioni effettuate con i codici MINERVE e SURFPRO per la costituzione della base dati. La Provincia di Torino dispone infatti di tutti i dati di base necessari alla riproduzione delle simulazioni.

L'analisi delle caratteristiche della base dati anemologica ed il confronto dei valori calcolati con le osservazioni hanno messo in evidenza la buona qualità della base dati ed hanno permesso di quantificare il livello di affidabilità dei campi di vento calcolati. Gli errori rilevati si possono considerare piuttosto limitati e tendenzialmente inferiori agli errori che si compiono utilizzando dati meteorologici rilevati in postazioni localizzate in aree territoriali diverse da quella in esame. La verifica condotta ha permesso inoltre di individuare le aree spaziali nelle quali il livello di affidabilità della base dati può essere considerato più basso, a causa dell'assenza di una copertura adeguata delle osservazioni meteorologiche di partenza.

## 9 Riferimenti bibliografici

- Aria Technologies (1995): Note de Principe du Modèle MINERVE 4.0, Rapporto ARIA Technologies, 95.008.
- Aria Technologies (1999): Aria Régional, Notice d'utilisation du code MINERVE Version 6.0, Rapporto ARIA Technologies 99.058.
- Aria Technologies (2001): Minerve Wind Field Model - Version 7, General Design Manual, Rapporto ARIA Technologies maggio 2001.
- Arianet (2002): SURFPRO, SURface-atmosphere interFace PROCessor User's Guide, Arianet Report, 2002.

## Appendice: Descrizione dei files di output dell'estratteore

### Estrattore: esempio di file di output

Il file riportato nel seguito corrisponde al file denominato Avigliana\_speed.dat che contiene i dati di velocità del vento estratti in corrispondenza della postazione di Avigliana alla quota di 10.6 metri.

```
lcode;   Xp;   Yp;   Zp;
101;  373.774; 4994.834; 10.600;

Date; Hour;z (agl) ;m   ; 10.600 ;
28/01/2000;12:00;SPEED ;m/s   ; 0.31647 ;
28/01/2000;13:00;SPEED ;m/s   ; 1.0664 ;
28/01/2000;14:00;SPEED ;m/s   ; 1.0469 ;
28/01/2000;15:00;SPEED ;m/s   ; 0.48586 ;
28/01/2000;16:00;SPEED ;m/s   ; 0.51535 ;
28/01/2000;17:00;SPEED ;m/s   ; 1.0376 ;
28/01/2000;18:00;SPEED ;m/s   ; 0.62951 ;
28/01/2000;19:00;SPEED ;m/s   ; 0.56735 ;
28/01/2000;20:00;SPEED ;m/s   ; 0.75028 ;
28/01/2000;21:00;SPEED ;m/s   ; 0.99904 ;
28/01/2000;22:00;SPEED ;m/s   ; 1.1262 ;
28/01/2000;23:00;SPEED ;m/s   ; 0.70213 ;
29/01/2000;00:00;SPEED ;m/s   ; 0.57333 ;
29/01/2000;01:00;SPEED ;m/s   ; 0.61040 ;
29/01/2000;02:00;SPEED ;m/s   ; 1.3839 ;
29/01/2000;03:00;SPEED ;m/s   ; 0.37911 ;
29/01/2000;04:00;SPEED ;m/s   ; 0.48740 ;
29/01/2000;05:00;SPEED ;m/s   ; 0.50525 ;
29/01/2000;06:00;SPEED ;m/s   ; 1.6354 ;
29/01/2000;07:00;SPEED ;m/s   ; 0.90934 ;
29/01/2000;08:00;SPEED ;m/s   ; 1.3958 ;
29/01/2000;09:00;SPEED ;m/s   ; 1.4002 ;
29/01/2000;10:00;SPEED ;m/s   ; 0.76172 ;
29/01/2000;11:00;SPEED ;m/s   ; 0.26323 ;
29/01/2000;12:00;SPEED ;m/s   ; 0.23603 ;
29/01/2000;13:00;SPEED ;m/s   ; 0.73518 ;
```