

COLLANA  
STUDI CLIMATOLOGICI IN PIEMONTE  
VOLUME 5

# IL VENTO IN PIEMONTE



AREA DELLE ATTIVITÀ REGIONALI PER L'INDIRIZZO E IL COORDINAMENTO IN MATERIA DI PREVISIONE E MONITORAGGIO AMBIENTALE



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA





# IL VENTO IN PIEMONTE

Collana a cura di:

**AUGUSTO BIANCOTTI** <sup>(1)</sup>  
**STEFANO BOVO** <sup>(2)</sup>

Autori:

**SIMONA FRATIANNI** <sup>(1)</sup>  
**BARBARA CAGNAZZI** <sup>(2)</sup>  
**ROBERTO CREMONINI** <sup>(2)</sup>

Con la collaborazione di:

**FABRIZIO BOSCO** <sup>(2)</sup>  
**VALERIA GAI** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Università di Torino Dipartimento di Scienze della Terra Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino

<sup>(2)</sup> Arpa Piemonte Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale  
Corso Unione Sovietica 216, 10134 Torino



AREA DELLE ATTIVITÀ REGIONALI PER L'INDIRIZZO E IL COORDINAMENTO IN MATERIA DI PREVISIONE E MONITORAGGIO AMBIENTALE



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA

I contributi del prof. **Augusto Biancotti** e della dott.ssa **Simona Fratianni**  
(Dip. Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino)  
sono effettuati nell'ambito del Progetto di Cofinanziamento PRIN 2005:  
**“L'accelerazione degli impatti del cambiamento climatico sull'alta montagna:  
degradazione della criosfera e implicazioni ambientali”**

*Si ringraziano sentitamente **Elisa Brussolo, Enrico Castello e Elena Collino**  
per la preziosa collaborazione prestata durante le fasi di elaborazione dei risultati*

COORDINAMENTO EDITORIALE: **ARPA PIEMONTE**  
**COMUNICAZIONE ISTITUZIONALE**

FOTOGRAFIE: **ARCHIVIO ARPA PIEMONTE**

IDEAZIONE COPERTINA E IMPAGINAZIONE: **FUTURGRAFICA – Grugliasco**

**FINITO DI STAMPARE NEL MESE DI MARZO 2007 DALLA TIPOGRAFIA ALZANI ARTI GRAFICHE - PINEROLO (TO)**

*Stampato su carta riciclata al 100% che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica Ecolabel Europeo,  
prodotta da cartiere registrate secondo il sistema comunitario di ecogestione ed audit EMAS*



Blauer Engel



Ecolabel



Nordic Swan

ISBN 978-88-7479-052-4

**COPYRIGHT © 2007, ARPA PIEMONTE - VIA DELLA ROCCA, 49 - 10123 TORINO - ITALIA**

*L'Arpa Piemonte non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento.*

*La riproduzione è autorizzata citando la fonte.*

VOLUME PRESENTATO AL CONVEGNO NAZIONALE DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA (AIGEO),  
TORINO 28 – 30 MARZO 2007  
IN RICORDO DEL PROF. AUGUSTO BIANCOTTI

*“...Cetera quae sursum crescunt sursumque creantur,  
et quae concrescunt in nubibus, omnia, prorsum  
omnia, nix venti grandaeque pruinae  
et vis magna geli, magnum duramen aquarum,  
et mora quae fluvios passim refrenat aventis,  
perfacilest tamen haec reperire animoque videre  
omnia quo pacto fiant quareve creentur,  
cum bene cognoris elementis reddita quae sint...”*

“...Tutte le altre cose che in alto si accrescono, e in alto sono create,  
e che crescono dentro le nubi, tutte quante, tutte  
davvero, neve venti grandine e gelide brine,  
la possanza grande del gelo, il forte indurirsi dell’acque  
e il blocco che diffusamente trattiene i fiumi impazienti,  
è molto facile scoprire e vedere mentalmente  
in qual modo tutte queste si creino e perché siano create,  
quando tu bene avrai conosciuto ciò che ai vari elementi è assegnato...”

TRATTO DAL LIBRO SESTO DI: “DE RERUM NATURA” (LUCREZIO)

È sempre grande lo stupore di fronte ai fenomeni della Natura, forse perché così lontani dalla sfera del controllo umano, basti pensare alla spettacolarità di un’eruzione vulcanica, o alla forza distruttiva di un terremoto, o ancora, alla potenza di un uragano. Ma non occorre scomodare tali manifestazioni da scenario apocalittico per avere una dimostrazione della grandezza di Madre Natura: il semplice alternarsi delle stagioni, con i corrispondenti processi ciclici, scandisce infatti il nostro tempo, per noi brevissimo in relazione alle dinamiche che, dalla sua nascita, condizionano la struttura e l’evoluzione dell’Universo. Ogni giorno di fatto, pur vivendo in una società tecnologicamente molto avanzata, siamo condizionati dai diversi elementi naturali, tra i quali ricordiamo soprattutto quelli di carattere meteorologico. Quante volte ci si imbatte in condizioni atmosferiche assolutamente inadatte all’attuazione dei nostri programmi quotidiani, piccoli o grandi che siano e, per quanto la tecnologia venga in nostro soccorso, siamo quasi sempre costretti ad alzare bandiera bianca. Un elemento meteorologico in particolare si è costantemente presentato all’uomo in più vesti, sia benevoli, che malevoli, a seconda dell’occasione: il vento. Si tratti di ambienti già in sé ostili, o che si tratti piuttosto di siti idonei all’insediamento di popolazioni umane, ognuno di essi può essere identificato anche in base alla prevalenza di un vento, a cui spesso vengono associati nomi di divinità antiche, segno che nelle civiltà passate questa entità incontrollabile era considerata una manifestazione divina ed in quanto tale, si credeva potesse essere un mezzo mediante cui le divinità premiavano o punivano gli uomini (E. Castello, ined.). Al giorno d’oggi un atteggiamento fatalistico simile non sussiste più, tuttavia non è possibile governare il vento, al limite i progressi compiuti dalla scienza e dalla tecnologia negli ultimi secoli consentono lo studio e l’analisi delle condizioni

meteorologiche presenti e, tramite l’impiego di modelli matematici, la previsione del loro evolversi entro un breve lasso temporale.

Già nei primi anni del 1800 il grande filosofo Immanuel Kant si interrogava sulla dinamica del vento, sull’importanza della direzione dei venti e sui loro impatti. È interessante leggere queste righe del 1811 tradotte dal tedesco che provengono dal suo volume VI dedicato alla Geografia Fisica.

*“La qualità de’ venti dipende dalle regioni da dove vengono. Quelli che passano sopra grandi strisce di terra, sono ordinariamente caldi e secchi, e quelli provenienti dalla marina sono umidi, e fanno sciogliere i ghiacci. I venti del sud, presso noi, sono piuttosto caldi che umidi; i venti dell’ovest sono umidi e portano pioggia; i venti dell’est sono secchi, e quelli del nord freddi. Il freddo che ci portano sempre i venti del nord non dipende tanto dalle regioni di ghiaccio da dove vengono, quanto piuttosto dall’effetto della corrente di aria, che quivi dilatasi sempre più lungo i meridiani sino all’equatore; la corrente di aria occupa quivi uno spazio sempre più grande, e si discioglie maggiormente, laonde l’aria superiore, in ragione che la corrente va crescendo, si abbassa più rapidamente. Quest’aria superiore e sempre fredda è la cagione propria del ghiaccio che porta il vento del Nord. Moltissimo dipende ciò dalla situazione delle montagne. I venti discesi da alte montagne debbono essere sempre freschi. Quelli dell’est nell’America settentrionale devono portare pioggia. Sull’altro emisfero devono i venti del sud essere freddi, e quelli del nord essere caldi. Dalla qualità diversa che i venti prendono della terra, e dalle parti che conducono seco loro, si può facilmente congetturare, che debbano avere una grande influenza sul corpo umano. Non solamente può nuocere il freddo de’ venti di primavera e d’autunno, ma più ancora possono pregiudicarci l’evaporazioni e le particelle perniciose che conducono...”*

La ricerca si svolge ormai da anni e vede la stretta collaborazione fra l'Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale di Arpa Piemonte e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino. I risultati ottenuti finora sono pubblicati, oltre che in vari convegni internazionali e nazionali, in questa preziosa collana di volumi nati da questo lavoro in comune: Studi Climatologici in Piemonte.

L'ultimo in ordine di tempo, il V, è dedicato al vento in Piemonte, dove ancora non esistevano ricerche sistematiche in tal senso. Un'indagine su questo argomento si è resa necessaria al fine della conoscenza delle risorse e dei rischi ambientali del territorio. Oltre all'individuazione dei principali regimi anemologici con la conoscenza della direzione prevalente e l'analisi dell'intensità con il riconoscimento di brezze di monte e di valle, si sono calcolati i giorni di calma, nonché quelli di massima velocità con particolare riguardo al foehn. L'approfondimento sul foehn è da mettersi in relazione con il fatto che tale indagine presenta risvolti applicativi di forte interesse, in particolare per la corretta fruizione della risorsa neve e per la programmazione degli investimenti occorrenti per la valorizzazione della risorsa stessa.

Infatti, il vento caldo che soffia improvviso nelle vallate d'inverno influenza in modo determinante la consistenza e l'agibilità della coltre nevosa, nonché le possibilità di innevamento artificiale. Altro effetto possibile è l'aumento del

rischio di valangosità, nonché, specie sulle città, i benefici influssi sulla qualità dell'aria.

Parallelamente l'attenzione è rivolta ai cambiamenti del clima, con lo studio delle serie temopluviometriche sparse sul nostro territorio, obiettivo del prossimo volume della Collana. Sono infatti poche le aree al mondo che vantano una tale densità di rilevamenti su periodi lunghi e un tale fervore di studi, sintomo sia di una radicata vocazione all'osservazione del fenomeno naturale, sia della spinta a continuare nel solco del passato.

Al problema delle variazioni climatiche, d'estrema complessità, si applicano laboratori e scienziati di tutto il mondo.

Il *World Glacier Monitoring Service* dell'UNESCO in collaborazione con l'Organizzazione Meteorologica Mondiale raccomanda il potenziamento dei programmi di controllo sui ghiacciai e il monitoraggio delle stazioni nivometriche a più lungo periodo di osservazione. Tornando ancora una volta alle Alpi, ci spetta individuare le tendenze in atto sui nostri rilievi, creando modelli estensibili a gran parte dei sistemi orogenetici delle medie latitudini, dai Pirenei, al Massiccio Centrale Francese, ai Carpazi e alle cime balcaniche, ma anche a parte delle Montagne Rocciose.

Come dire che il cambiamento climatico può diventare occasione per sviluppare energie, collegare intenti, sperimentare vie nuove d'impiego dello spazio proprio là dove si prevede che il domani appare più critico: il possibilismo della volontà prodotto dal determinismo della natura.

? **Prof. Augusto Biancotti**

Monitorare e diffondere la conoscenza dello stato dell'ambiente costituisce uno dei compiti principali di Arpa Piemonte. Tale attività risulta componente fondamentale dello studio della variabilità climatica di medio periodo e dell'analisi degli impatti che i cambiamenti, in atto e futuri, possono determinare sull'ambiente fisico, sulle matrici ambientali, sugli ecosistemi, sulla salute.

Il presente volume, il quinto della collana 'Studi climatologici in Piemonte', risponde quindi all'esigenza di conoscere la climatologia del vento in Piemonte e di proseguire con lo studio delle diverse componenti meteorologiche, dopo l'analisi di temperatura e precipitazioni sia liquide che solide dei precedenti volumi.

In questo studio vengono quindi analizzati i dati anemologici rilevati dalle stazioni della rete meteoidrografica regionale di Arpa Piemonte, individuando caratteristiche comuni sul territorio regionale in relazione anche alle condizioni meteorologiche.

Lo studio è limitato nel tempo dalla scarsità di informazioni pregresse, in quanto le reti di monitoraggio erano nel passato primariamente finalizzate alla misura di pioggia e temperatura: nonostante ciò il periodo dal 1990 al 2004 costituisce un arco di tempo significativo per un'analisi climatica delle condizioni tipiche della regione e dei cambiamenti in atto.








La raccolta di dati contenuta nel presente lavoro, nato dalla duratura collaborazione con l'Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, al di là dello specifico contributo alla definizione climatica del Piemonte risponde alla crescente necessità di una migliore fruizione del territorio e di una pianificazione degli interventi di sfruttamento della risorsa eolica per generazione di energia elettrica, valutazione di impatto ambientale, impianti a fini turistici da risolvere in maniera compatibile con la situazione ambientale piemontese e le sue evoluzioni.

**Vincenzo Cocco**

*Direttore Generale Arpa Piemonte*





<b>1 Introduzione: il vento, l'elemento dinamico dell'aria</b>	<b>11</b>	
1.1 Le forze che governano il vento	11	
1.2 La velocità del vento	12	
1.3 Le raffiche di vento	12	
1.4 La direzione del vento	13	
1.5 Il vento verticale	14	
1.6 Gli strumenti di misura	15	
1.7 Applicazioni	16	
<b>2 Dati disponibili e stazioni analizzate</b>	<b>19</b>	
2.1 Dati disponibili	19	
2.2 Studio climatologico	21	
<b>3 Materiali e metodi</b>	<b>23</b>	
3.1 Media annuale dell'intensità del vento	23	
3.2 Calma di vento	25	
<b>4 Direzione del vento</b>	<b>27</b>	
4.1 Direzione prevalente e regime anemologico	27	
4.1.1 Andamento mensile e stagionale	28	
<b>5 Velocità del vento</b>	<b>41</b>	
5.1 Intensità media annua	41	
5.1.1 Stazioni con quota superiore ai 2000 m	41	
5.1.2 Stazioni con quota compresa tra i 1000 e i 2000 m	41	
5.1.3 Stazioni con quota compresa tra i 500 e i 1000 m	42	
5.1.4 Stazioni con quota inferiore ai 500 m	42	
5.2 Velocità media mensile	43	
5.3 Velocità del vento oraria	44	
5.4 Classi d'intensità media del vento	48	
<b>6 Massima raffica</b>	<b>51</b>	
6.1 Episodi ed effetti	51	
<b>7 Calme di vento</b>	<b>55</b>	
7.1 Frequenza di calma di vento	55	
7.2 Classificazione dei tipi di tempo meteorologico	65	



<b>8 Le brezze</b>	<b>71</b>
8.1 Brezza di monte e di valle	71
8.2 La brezza di versante	73
8.3 Il vento di ghiacciaio	75
8.4 Individuazione dei regimi di brezza	75



<b>9 Foehn</b>	<b>77</b>
9.1 Che cos'è il foehn	77
9.2 Foehn e Stau	77
9.3 I movimenti ascendenti	80
9.4 Giorni di foehn	81
9.5 Stazioni sopravvento e sottovento	90
9.5.1 Esempio di analisi di un caso di foehn	91
9.6 Tipi di tempo e foehn	92
9.7 Immagini da satellite	92
Box 1: Temperatura potenziale e temperatura pseudopotenziale	94



<b>10 Gli effetti del vento</b>	<b>95</b>
10.1 Gli effetti del vento sulla neve	95
10.2 Gli effetti del vento sul corpo umano	95
10.2.1 Benessere fisico	96



<b>APPENDICE</b>	
Mappe e bacini anemologici	101

<b>INDICE TABELLE</b>	<b>105</b>
-----------------------	------------

<b>INDICE FIGURE</b>	<b>106</b>
----------------------	------------

<b>OPERE CITATE</b>	<b>110</b>
---------------------	------------

# Introduzione: il vento, l'elemento dinamico dell'aria



Il vento, elemento attivo e dinamico dell'aria considerato originariamente per la navigazione, influisce sulle strutture tecniche e naturali, e ha valenza in numerosi campi (energia eolica, sport, salute dell'uomo...). Esso costituisce il movimento dell'aria nelle tre direzioni spaziali: non è quindi una grandezza scalare, ma vettoriale. Abitualmente in meteorologia si distinguono il vento orizzontale caratterizzato da velocità e direzione sul piano orizzontale, ed il vento verticale, caratterizzato solo da velocità, ugualmente importante, ma mediamente molto più debole del primo.

Il vento orizzontale e quello verticale hanno degli effetti ben diversi sul tempo: il primo, con la sua forza, agisce su tutti i corpi della terra, scalda o raffredda, asciuga, trasporta, distrugge o sposta intere masse d'aria e sostanze inquinanti; il secondo è responsabile della formazione e della dissoluzione delle nubi, delle precipitazioni estese e di quelle locali, come i temporali.

Di seguito si considera il vento orizzontale.

## 1.1 LE FORZE CHE GOVERNANO IL VENTO

La causa principale di ogni movimento dell'aria è il sole che scalda la terra in modo disomogeneo. La zona equatoriale riceve mediamente più energia dal sole che le zone polari, un versante esposto a sud più di quello esposto a nord. Non è solo questo,

però, che crea differenze termiche sulla terra. Anche la diversa reazione della superficie terrestre alla radiazione incidente, cioè il modo di gestire l'energia a disposizione, è determinante per la distribuzione della temperatura.

Alcune superfici riflettono gran parte della radiazione solare, come la neve fresca (80-95%), mentre altre riflettono poco. Ancora, una superficie bagnata si scalda molto meno di una asciutta. Infine, la temperatura della superficie esposta alla radiazione solare dipenderà dalla capacità del terreno di scaldarsi (la capacità termica). Le differenze termiche che così si vanno a formare vengono trasmesse all'aria che sovrasta le diverse superfici. Differenze termiche creano però differenze di densità di pressione; dove l'aria è calda vi sarà bassa pressione, dov'è fredda alta pressione.

Se la pressione dell'aria non è altro che un'espressione della forza che l'aria stessa esercita in tutte le direzioni, è ovvio che questa forza si tradurrà in vento quando vi sono differenze orizzontali di pressione. L'aria si sposterà dalla zona di alta pressione a quella di bassa pressione, fino al raggiungimento di un equilibrio. Una differenza di pressione crea quindi una forza, chiamata la forza di gradiente barico, che è direzionata appunto dalla zona di alta a quella di bassa pressione; più grande è la differenza, più grande è tale forza.

La forza di gradiente barico non è l'unica forza che agisce nell'atmosfera, ma è quella principale. Tutte le

altre forze sono secondarie in quanto agiscono soltanto quando l'aria è già in movimento. La più importante tra le forze secondarie è la forza di Coriolis (matematico francese, 1792-1843), dovuta al fatto che la terra, guardata dal polo nord, ruota in senso antiorario. Questa forza si spiega secondo il principio per cui ogni corpo in moto tende a mantenere la direzione e la velocità del suo movimento verso destra nell'emisfero boreale, nell'emisfero australe verso sinistra, all'equatore tale forza deviante non esiste. La forza di Coriolis agisce su ogni corpo in ogni istante del suo movimento, ma per avere un certo effetto sull'aria occorrono almeno 3-4 ore.

I piccoli movimenti dell'aria ed i venti locali, dunque, essendo di breve durata, non possono essere influenzati dalla forza di Coriolis.

Soltanto i movimenti a scala sinottica subiscono effettivamente questa forza (Figura 1.1).

Negli strati bassi dell'atmosfera, più esattamente nello strato limite, vi è una terza forza che si fa sentire: la forza di attrito che il suolo esercita sull'aria in movimento. L'effetto di tale forza, convogliata esattamente nella direzione opposta al movimento dell'aria, esercita un'azione di freno sul suo spostamento.

Per chi ha delle difficoltà a ricordare come soffia il vento, viene in aiuto una semplice regola, scoperta dall'olandese Buys Ballot nel 1857, che mette in relazione la direzione del vento con la distribuzione delle zone di alta e bassa pressione. Essa afferma che "un

osservatore, che volga le spalle al vento nell'emisfero boreale, ha la bassa pressione alla sinistra e l'alta pressione alla destra". Questo vale per il vento a grande scala e non per quello a scala locale.

In montagna il vento risulta influenzato dalla complessa morfologia del suolo, tanto che non corrisponde né al vento nella libera atmosfera, né a quello dello strato limite. Le montagne isolate, le catene montuose e le valli hanno sul movimento dell'aria un forte effetto dinamico dato da fenomeni quali accelerazione e decelerazione del vento, correnti ascendenti e discendenti, vortici turbolenti e incanalamento forzato. Tutto ciò è in forte relazione con il profilo verticale della temperatura: in caso d'inversione termica con ristagno di acqua fredda in fondovalle, l'aria è pressoché tranquilla in quanto le turbolenze non riescono a penetrare in profondità, pur soffiando in quota venti impetuosi.

## 1.2 LA VELOCITÀ DEL VENTO

La velocità del vento, cioè la sua intensità, viene misurata nel Sistema Internazionale (SI) in metri al secondo (m/s) o in chilometri all'ora (km/h). Una terza possibilità d'espressione è il nodo (kn) definito come un miglio marittimo (=1853 m) all'ora, con le seguenti conversioni:

$$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h} = 1.94 \text{ kn}$$

$$1 \text{ kn} = 0.51 \text{ m/s} = 1.85 \text{ km/h}$$

Nel 1805 l'ammiraglio inglese Beaufort classificò la velocità del vento sulla superficie del mare o su oggetti esposti al vento, creando una scala che porta il suo nome (Tabella 1.1). Essa contempla 12 gradi, da Beaufort 1 (fumo che sale verticalmente) fino a Beaufort 12 (danni ingentissimi), ma non è di grande utilità ad esempio per chi va in montagna, per cui furono aggiunti altri criteri alla scala di Beaufort per estendere la sua applicazione a terra.

## 1.3 LE RAFFICHE DI VENTO

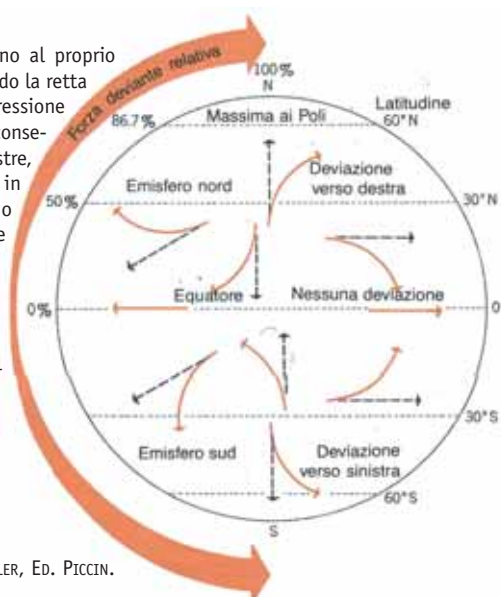
La velocità del vento è un elemento meteorologico estremamente variabile nel tempo. L'intervallo standard definito dalla O.M.M. (Organizzazione Meteorologica Mondiale) per misurare l'intensità del vento medio è dieci minuti. In tale intervallo, però, se il nostro strumento è in grado di registrare anche pic-

Figura 1.1

Se la Terra non ruotasse intorno al proprio asse, i venti spirerebbero secondo la retta che congiunge i centri di alta pressione ai centri di bassa pressione. In conseguenza della rotazione terrestre, però, tutti gli oggetti o fluidi in movimento orizzontale tendono ad essere deviati lateralmente (legge di Ferrel) dalla forza di Coriolis (D):

$$D = 2 \cdot \omega \cdot V \cdot \sin(\varphi)$$

dove  $\omega$  è la velocità angolare della Terra,  $V$  è la velocità del corpo in movimento e  $\varphi$  è la latitudine.



FONTE: "GEOGRAFIA FISICA" DI STRAHLER, ED. PICCIN.

Tabella 1.1 - Classificazione dell'intensità del vento secondo Beaufort

Classe	Velocità vento		Effetti vento nodi	Altezza probabile onde (metri) sul mare (al largo)	media	max
	Descrittivo	m/sec				
0	Calma	0 - 0,2	fino a 1	Il mare è liscio come l'olio e il fumo sale verticalmente	-	-
1	Bava di vento	0,3 - 1,5	1 - 3	Leggere increspature sulla superficie assomiglianti a squame di pesce. Ancora non si formano creste bianche di schiuma.	0,1	0,1
2	Brezza leggera	1,6 - 3,3	4 - 6	Ondine minute, ancora molto corte ma ben evidenziate. Le creste non si rompono ancora ma hanno aspetto vitreo.	0,2	0,3
3	Brezza tesa	3,4 - 5,4	7 - 10	Ondine grandi con creste che cominciano a rompersi con schiuma di aspetto vitreo. Si notano alcune "pecorelle" con la cresta bianca di schiuma.	0,6	1,0
4	Vento moderato	5,5 - 7,9	11 - 16	Onde piccole con tendenza ad allungarsi. Le pecorelle sono più frequenti.	1,0	1,5
5	Vento teso	8,0 - 10,7	17 - 21	Onde moderate dalla forma che si allunga. Le pecorelle sono abbondanti e c'è possibilità di spruzzi.	2,0	2,5
6	Vento fresco	10,8 - 13,8	22 - 27	Onde grosse (cavalloni) dalle creste imbiancate di schiuma. Gli spruzzi sono probabili.	3,0	4,0
7	Vento forte	13,9 - 17,1	28 - 33	I cavalloni si ingrossano. La schiuma formata dal rompersi delle onde viene "soffiata" in strisce nella direzione del vento.	4,0	5,5
8	Burrasca	17,2 - 20,7	34 - 40	Onde moderatamente alte. Le creste si rompono e formano spruzzi vorticosi che vengono risucchiati dal vento.	5,5	7,5
9	Burrasca forte	20,8 - 24,4	41 - 47	Onde alte con le creste che iniziano a frangere. Strisce di schiuma che si fanno più dense. Gli spruzzi possono ridurre la visibilità.	7,0	10,0
10	Tempesta	24,5 - 28,4	48 - 55	Onde molto alte sormontate da creste (marosi) molto lunghe. Le strisce di schiuma tendono a compattarsi e il mare pare tutto biancastro. I frangenti sono molto più intensi e la visibilità è ridotta.	9,0	12,5
11	Tempesta violenta	28,5 - 32,6	56 - 63	Onde enormi che potrebbero anche nascondere alla vista le navi di piccole o medie dimensioni. Il mare è tutto coperto da banchi di schiuma. Il vento nebulizza la sommità delle creste e la visibilità è ridotta.	11,5	16,0
12	Uragano	oltre 32,7	oltre 64	L'aria è piena di spruzzi e la schiuma imbianca il mare completamente. La visibilità è molto ridotta.	14,0	-

cole variazioni, possiamo misurare centinaia o migliaia di valori diversi. Più turbolento sarà il vento, più ampia sarà la variazione. Oltre ad indicare il valore medio, sarebbe allora importante dare un'informazione sulla variabilità del vento, in termini statistici, la sua varianza.

Questa necessità viene tenuta presente da alcuni bollettini meteorologici che danno indicazioni sui punti massimi, le raffiche di vento. Sono infatti quest'ultime che causano tanti danni e che mettono l'uomo in pericolo. Si sottolinea solo che nei pressi dei temporali si registrano talvolta raffiche che vanno molto oltre i valori della velocità media del vento.

## 1.4 LA DIREZIONE DEL VENTO

La seconda componente del vento orizzontale è la sua direzione, definita come la direzione di provenienza, intendendo con vento da Ovest l'aria che proviene da Ovest ed è diretta verso Est. Utilizzando la graduazione del cerchio in 360 gradi, possiamo esprimere la direzione del vento in gradi, ottenendo una descrizione più dettagliata. Comunemente un vento di 0° corrisponde ad un vento da Nord, 90° ad un vento da Est, 180° da Sud, 270° da Ovest e 360° di nuovo da Nord.

Conoscere la direzione del vento non sottoposta

all'influenza dell'orografia è un primo ed importante passo per fare una previsione del tempo. La direzione ci dice da dove provengono le masse d'aria: dai quadranti settentrionali arriva generalmente aria fredda polare, da Ovest aria mite atlantica, da Sud aria calda umida del Mediterraneo e da Est aria secca continentale. Le cose non sono però così semplici. Infatti, aria calda subtropicale può essere spostata dalla zona originale (la zona delle Azzorre per esempio) verso Nord, per arrivare alle Alpi con venti da Nord-Ovest. Viceversa, aria fredda polare (proveniente dall'Atlantico settentrionale) può penetrare nel bacino del Mediterraneo occidentale per raggiungere le Alpi da Sud-Ovest.

La direzione del vento, qualsiasi sia la natura delle masse d'aria, determina se una zona delle Alpi si trova sopravvento o sottovento. Ad esempio, le Alpi Graie, con un vento da Ovest si trovano sottovento, cioè il vento deve superare le Alpi francesi e la cresta principale per arrivare lì. Oppure, le Dolomiti con vento da Sud si trovano sopravvento, cioè rappresentano la prima barriera montuosa che il vento meridionale incontra lungo la sua strada verso Nord. Le condizioni meteorologiche possono cambiare notevolmente tra i due versanti, con conseguenze più rilevanti in quota.

### 1.5 IL VENTO VERTICALE

Il vento verticale è mediamente molto più debole di quello orizzontale, ma i fenomeni meteorologici ne sono fortemente influenzati. Movimenti verticali esistono nell'atmosfera in tutte le forme: dalle piccole turbolenze che sollevano sabbia e foglie nell'aria, alle termiche che permettono ad alianti, deltaplani e parapendii di stare tante ore in aria, fino ai movimenti verticali a grande scala che si creano quando masse d'aria di origine diversa si incontrano. In montagna, dove è già presente la componente verticale del terreno, tali movimenti sono generalmente più forti che nelle zone pianeggianti. La montagna, infatti, ostacola i movimenti orizzontali dell'aria ma favorisce quelli verticali. Nelle termiche la velocità del vento verticale è di alcuni metri al secondo, ma nei temporali sono stati misurati anche più di 30 m/s. I forti venti verticali delle termiche hanno però un'estensione orizzontale molto limitata, mediamen-

te 70-85 metri (Giuliacchi, 1993). Durante il periodo estivo il vento in montagna è fortemente determinato dalle brezze, cioè da venti a scala locale caratterizzati da un ritmo giornaliero e da direzioni preferenziali. Si distinguono, in ordine decrescente per dimensione spaziale, la circolazione pianura-montagna che investe tutta la catena montuosa, le brezze di monte e di valle che coinvolgono ogni singola valle e le brezze di versante che riguardano singolarmente ogni versante. A queste si aggiunge un altro vento a carattere locale: il vento di ghiacciaio (Kappenberger & Kerkmann, 1997).

Tutte queste brezze, escluso il vento di ghiacciaio, sono tipiche della stagione estiva e mancano quasi completamente nella stagione invernale.

Esistono due fondamentali criteri per distinguere un vento sinottico da un vento locale: il primo è la vastità dello spazio coinvolto nelle differenze termiche (1), il secondo è la durata del fenomeno (2).

1. Quando i contrasti termici coinvolgono uno spazio orizzontale più ampio dello spessore della troposfera (circa 10 km), si crea una circolazione prevalentemente orizzontale. Infatti, gradienti termici ad ampio spazio creano differenze orizzontali di pressione che, a loro volta, si traducono in vento. In questa categoria entra per esempio il contrasto termico che c'è tra la zona polare e quella subtropicale che sta all'origine dei cicloni e del vento sinottico, ma vi entra anche il contrasto termico tra terraferma e mare (che causa la brezza di mare) e quello fra pianura e montagna (che causa la circolazione pianura-montagna e la brezza di valle). Se, invece, i contrasti termici coinvolgono uno spazio relativamente limitato (inferiore ai 10 km), l'atmosfera reagisce mettendo in atto i moti convettivi, cioè venti verticali che eliminano velocemente le differenze termiche. Bolle di aria calda leggera salgono verso l'alto e particelle di aria fredda pesante scendono, fino a trovare un nuovo equilibrio con l'aria circostante. In questa categoria entrano per esempio tutte le differenze termiche che si creano tra terreni adiacenti diversi. Entra anche il sovrariscaldamento dell'aria lungo un pendio rispetto all'aria nella valle che causa i venti ascendenti sul versante (brezza di versante).



2. Il vento sinottico è dovuto ad una differenza termica che persiste nel tempo; le brezze locali sono dovute ad una differenza termica temporanea. Nel primo caso entra in gioco, oltre alla forza di gradiente, anche la forza di Coriolis ed il vento non va dalla zona di alta pressione a quella di bassa pressione, ma soffia più o meno parallelamente alle isobare. Nel caso delle brezze locali, invece, la forza di Coriolis non è così importante ed il vento va direttamente dall'alta alla bassa pressione (dalla zona più fredda a quella più calda). In montagna, a questo si aggiunge il fatto che la morfologia costringe le brezze a seguire le valli.

La causa dei venti, sia di quelli sinottici sia di quelli locali, è quindi sempre un contrasto termico e quindi di densità, ma il tipo di movimento dell'aria che si instaura, orizzontale o verticale, perpendicolare o parallelo alle isobare, dipende dall'estensione e dalla durata di questo contrasto.

I venti locali assumono un ruolo particolarmente importante in montagna. Mentre in pianura le differenze termiche sul piano orizzontale sono contenute, in montagna la diversa esposizione dei versanti e la diversa altitudine delle superfici riscaldate danno origine a contrasti termici assai maggiori. Anche l'azione dinamica delle montagne, cioè il loro porsi come ostacolo al vento sinottico, fa sì che le brezze locali diventino, almeno nelle valli, il vento principale.

## 1.6 GLI STRUMENTI DI MISURA

Le previsioni meteorologiche si realizzano grazie anche all'elaborazione dei dati registrati nelle stazioni meteorologiche, diffuse sulla superficie terrestre; queste strutture, oltre ad avere una funzione strettamente operativa, in quanto forniscono le informazioni sulle condizioni atmosferiche dell'immediato futuro, assolvono anche la mansione di archivi o banche-dati e quindi conservano la storia climatologica dell'area, permettendone lo studio successivo, dal momento che, per riuscire ad individuare la tendenza ad eventuali cambiamenti climatici, è necessario basarsi su un elevato numero di dati, relativi ad un lungo periodo.

Un iniziale tentativo di registrazione sistemica delle condizioni atmosferiche risale al XVII secolo, quan-

do, nella Firenze rinascimentale dei Medici, venne istituita la prima, rudimentale stazione meteorologica d'Italia.

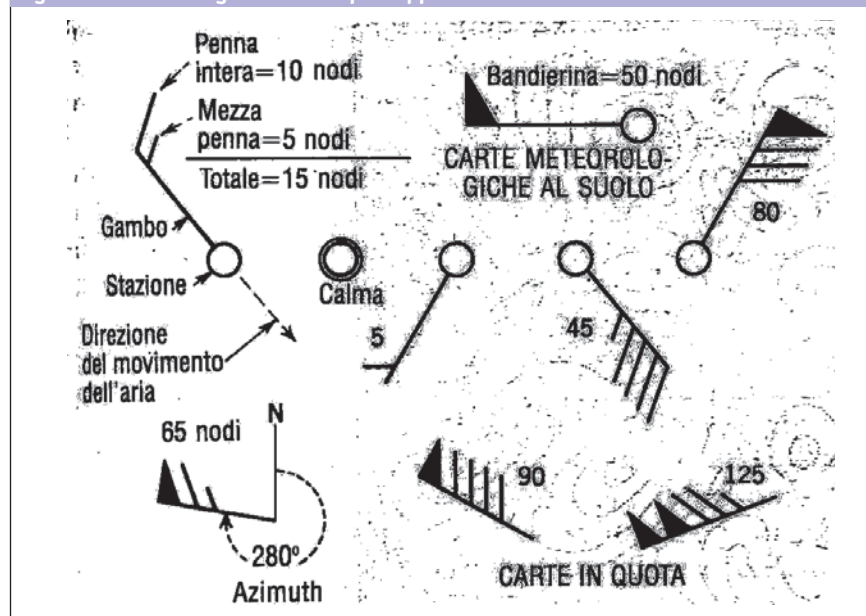
Da allora il livello di conoscenze si è elevato di pari passo alle continue innovazioni tecniche, cosicché, almeno per quanto concerne il nostro ed altri paesi economicamente avanzati, si è pervenuti alla realizzazione di una fitta rete di stazioni meteorologiche e di osservatori geofisici distribuiti sull'intero territorio nazionale. Nelle carte del tempo e nei diagrammi aerologici che riportano i dati dei radiosondaggi, la direzione e la velocità del vento vengono rappresentate mediante la simbologia riportata nella figura 1.2, in cui i trattini sulla coda della freccia indicano la velocità del vento, 50 nodi per ogni triangolo nero, 10 nodi per ogni trattino lungo, 5 nodi per ogni trattino corto. L'inclinazione e la posizione dei trattini ne indicano la direzione di provenienza.

Siccome il vento presenta sempre una certa turbolenza (impulsi, raffiche) la sua direzione e la sua velocità si possono considerare costanti solo per brevi intervalli di tempo.

Inoltre, poiché la velocità del vento nei pressi del suolo, aumenta rapidamente con l'altezza, è necessario stabilire l'altezza dello strumento di misura, che generalmente è di 10 metri dal suolo, in una stazione libera da ostacoli di ogni genere (case, alberi, colline...).

La Bibbia descrive una rosa dei venti con solo 4 dire-

Figura 1.2 - Simbologia utilizzata per rappresentare la direzione e la velocità del vento





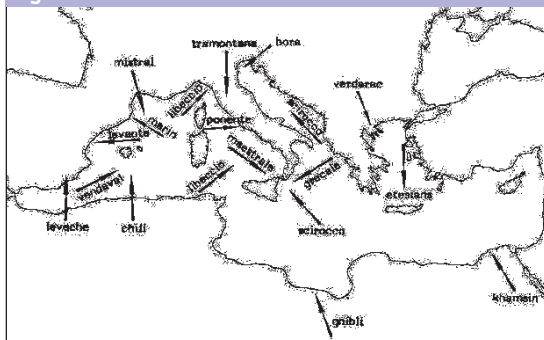
zioni principali con dei riferimenti poetici, ma si sa che già dall'antichità era in uso una rosa ad 8 direzioni, come testimonia "la torre del vento" costruita ad Atene circa 100 anni prima di Cristo. La denominazione attuale risale agli inizi del 1500. Nell'area mediterranea ad ogni direzione veniva assegnato un vento specifico, rispettivamente Tramontana (Nord), Grecale (Nord-Est), Levante (Est), Scirocco (Sud-Est), Australe (Sud), Libeccio (Sud-Ovest), Ponente (Ovest) e Maestrale (Nord-Ovest) (Figura 1.3).

**Figura 1.3**

Sulla carta sono rappresentati i nomi dei venti che soffiano sul bacino del Mediterraneo e la loro direzione.

Fonte: IL SISTEMA TERRESTRE, Ed. DE AGOSTINI.

**Figura 1.3**



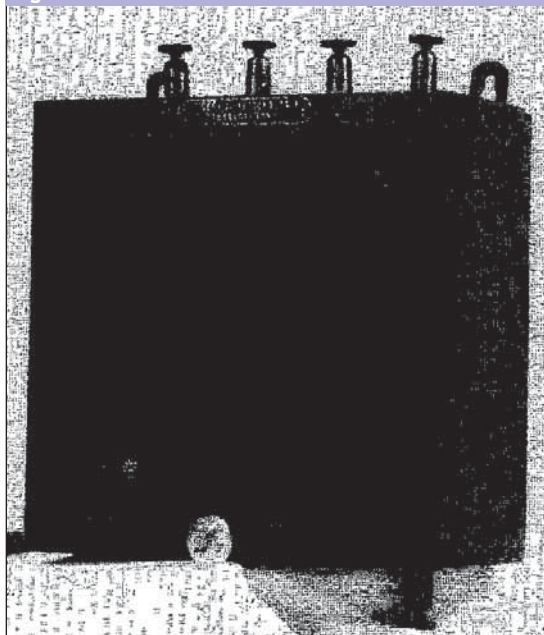
Da tempi immemorabili la direzione del vento è stata stabilita con l'aiuto di banderuole di vario genere, divenute molto popolari ed elaborate nel Medioevo. Nel 1578 viene per la prima volta applicato un congegno che ne segna la direzione su un quadrante. In Figura 1.4 è possibile osservare il ricevitore anemoscopio di Padre Secchi (Beltrano M.C., 2001). E' composto da una scatola quadrata di legno con la faccia

**Figura 1.4**

Ricevitore anemoscopio di Padre Secchi.

Fonte: BELTRANO M.C., 2001.

**Figura 1.4**



**Figura 1.5**

Rappresentazione grafica dei due strumenti più conosciuti per lo studio del vento: sulla sinistra l'anemometro, per la misurazione dell'intensità del vento e a destra l'anemoscopio, usato per la registrazione della direzione prevalente del vento.

**Figura 1.6**

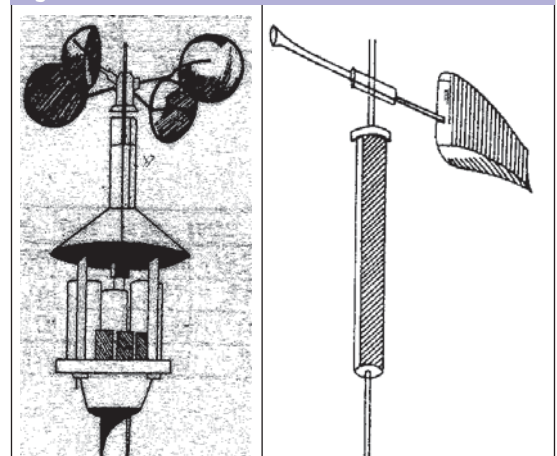
Anemometro portatile della Filotecnica Salmoiraghi.

Fonte: BELTRANO M.C., 2001.

superiore di vetro annerito e sulla quale quattro porzioni circolari e trasparenti situate ai vertici indicano i quattro punti cardinali. Si tratta di un apparato che faceva parte del meteorografo di Secchi e che fu sostituito dal prof. Tacchini nel 1879 con un indicatore più preciso che consentiva di leggere anche le direzioni intermedie di provenienza del vento.

L'anemometro a piatto è stato il primo strumento che, anche se in maniera molto approssimativa, misurava la velocità del vento. Il primo modello risale al 1450, anche se spesso lo strumento viene attribuito a Leonardo da Vinci alcuni decenni più tardi. L'anemometro a coppe (Figura 1.5), simile a quelli in uso oggi, è stato sviluppato nella seconda metà del 1800. E' stato in seguito inventato anche un anemometro portatile (Figura 1.6), un piccolo apparecchio contatore che consentiva di leggere la velocità istantanea del vento.

**Figura 1.5**



**Figura 1.6**



## 1.7 APPLICAZIONI

Le osservazioni del vento sono richieste per il monitoraggio del tempo e per le previsioni, per l'analisi climatologica dei venti locali, per osser-

vare la probabilità dei danni causati dalla forza del vento, per stimare i flussi di superficie, per calcolare l'evaporazione in campo agricolo e la dispersione di inquinanti.

Per l'osservazione del vento, l'esposizione dell'anemometro è l'aspetto più difficile da considerare. Nelle regioni montuose risulta infatti praticamente impossibile trovare una posizione in cui la velocità del vento sia rappresentativa di un'intera area per cui è facile commettere degli errori nelle stime. Quando l'anemometro risulta momentaneamente dimesso o quando non è presente, la direzione e la forza del vento possono essere stimati soggettivamente attraverso la tabella della velocità del vento grazie all'uso della scala di Beaufort (Tabella 1.1). Oltre agli strumenti più antichi e a quelli più conosciuti usati per la misurazione anemologica, ne esiste uno di recente generazione: il Wind Profiler. Si

tratta di un radar rivolto all'indagine ad elevata risoluzione dell'andamento del campo di vento con la quota, finalizzato sia al miglioramento delle azioni di sorveglianza meteorologica sia alla componente micrometeorologica a supporto della valutazione della qualità dell'aria.

Il sistema permette di migliorare la conoscenza della circolazione delle masse d'aria nei primi strati dell'atmosfera, fondamentale sia per la comprensione dei fenomeni di elevata instabilità all'origine delle precipitazioni intense sia per lo studio delle problematiche inerenti alla qualità dell'aria, in particolar modo nelle applicazioni modellistiche dei fenomeni dispersivi di inquinanti in ambiente urbano. Ad esempio l'installazione del sistema nell'area urbana torinese, associato agli strumenti di previsione di Arpa Piemonte, permette di migliorare le previsioni sulle caratteristiche dell'inquinamento urbano.

Figura 1.7



Figura 1.7

Il Radar Wind Profiler è stato installato in C.so Stati Uniti, 21 a Torino, sul tetto dell'edificio della Regione Piemonte, sede dell'Assessorato all'Agricoltura. Si basa sull'effetto Doppler ed è in grado di fornire il profilo verticale della direzione e della velocità del vento orizzontale e della velocità del vento verticale fino ad un'altitudine di 3000 metri in aria limpida.

FOTO: A. OLIVERO



# Dati disponibili e stazioni analizzate



Lo studio in oggetto permette di individuare le caratteristiche anemologiche comuni sul territorio della regione Piemonte, tramite un'analisi climatologica del vento, misurato sulla regione in relazione all'occorrenza annuale e alle condizioni meteorologiche presenti, al fine di ottenere una maggiore comprensione dei fenomeni agenti sul territorio.

## 2.1 DATI DISPONIBILI

Sono stati utilizzati i dati archiviati nella Banca Dati Meteorologica, gestita da Arpa Piemonte, acquisiti dalle stazioni della rete meteoidrografica automatica per il monitoraggio dei fenomeni meteopluviometrici. Tale rete è costituita attualmente da oltre 380 stazioni, di cui 90 dotate di anemometro, come raf-

Figura 2.1

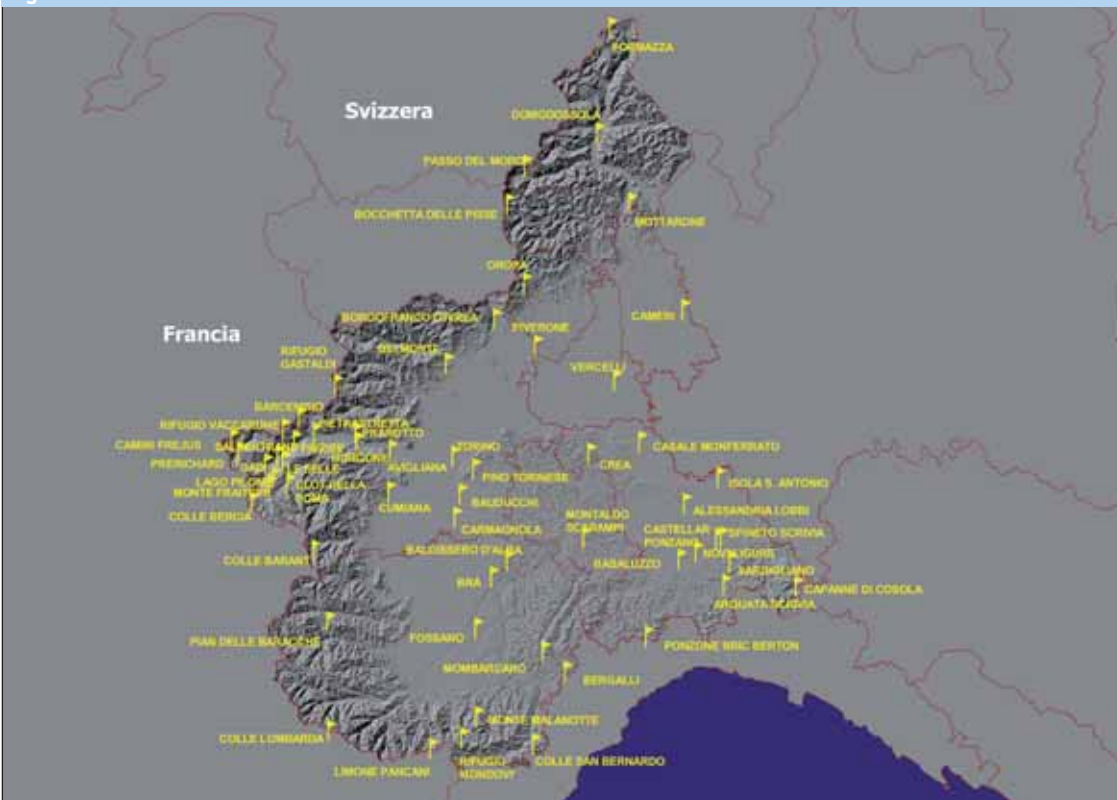


Figura 2.1

Distribuzione geografica e nominativo delle stazioni anemometriche (rappresentate da una banderuola) in Piemonte.

Tabella 2.1

Stazioni meteorologiche analizzate, comune di appartenenza, provincia di appartenenza (P), localizzazione geografica, quota (in m s.l.m.m.) e data di installazione.

Tabella 2.1

Stazione	Comune	P	UTM_X metri	UTM_Y metri	Quota metri	Data di installazione
CAPANNE DI COSOLA	Cabella Ligure	AL	515945	4947126	1550	10-mag-88
ALESSANDRIA LOBBI	Alessandria	AL	476727	4976201	90	11-mag-88
CASALE MONFERRATO	Casale Monferrato	AL	461092	4997958	118	20-mag-88
PONZONE BRIC BERTON	Ponzone	AL	463454	4929755	773	05-ott-89
ISOLA S. ANTONIO	Isola Sant'Antonio	AL	488564	4985460	77	30-giu-93
CREA	Serralunga di Crea	AL	443245	4993811	385	14-ott-97
NOVI LIGURE	Novi Ligure	AL	480884	4959362	162	24-feb-98
SPINETO SCRIVIA	Spineto Scrivia	AL	489720	4964473	187	11-mar-98
SARDIGLIANO	Sardigliano	AL	492695	4956060	228	25-mar-98
CASTELLAR PONZANO	Tortona	AL	487962	4963974	146	09-apr-98
ARQUATA SCRIVIA	Arquata Scrivia	AL	490646	4947889	325	09-apr-98
BASALUZZO	Basaluzzo	AL	474833	4956759	128	08-ott-98
MONTALDO SCARAMPI	Montaldo Scarampi	AT	441508	4964453	295	03-feb-88
OROPA	Biella	BI	420668	5053282	1162	19-mag-88
COLLE LOMBARDA	Vinadio	CN	352095	4896831	2305	24-set-87
BOVES	Boves	CN	385442	4910296	575	14-gen-88
MONTE MALANOTTE	Frabosa Sottana	CN	403783	4901595	1735	04-feb-88
COLLE SAN BERNARDO	Garessio	CN	423980	4892286	980	10-mar-88
MOMBARCARO	Mombarcaro	CN	427336	4924499	896	27-lug-88
LIMONE PANCANI	Limone Piemonte	CN	387766	4890536	2008	19-ott-88
BERGALLI	Saliceto	CN	434957	4917579	385	14-feb-90
FOSSANO	Fossano	CN	403729	4932637	403	08-apr-93
BRA	Bra	CN	409096	4950597	285	05-mag-93
ALBA TANARO Q.A.	Alba	CN	423026	4950970	172	01-gen-95
BALDISSERO D'ALBA	Baldissero d'Alba	CN	414707	4956203	265	20-apr-97
RIFUGIO MONDOVI'	Roccaforte Mondovì	CN	398757	4894142	1760	14-ott-97
CAMERI	Cameri	NO	476179	5044074	173	03-mag-88
RIFUGIO GASTALDI	Balme	TO	354502	5017939	2659	25-set-87
COLLE BARANT	Bobbio Pellice	TO	346624	4959923	2294	25-set-87
CUMIANA	Cumiana	TO	373174	4980375	327	27-gen-88
BORGOFRANCO D'IVREA	Borgofranco d'Ivrea	TO	410087	5040929	337	05-mag-88
BELMONTE	Cuorné	TO	393319	5025260	687	18-mag-88
PINO TORINESE	Pino T.se	TO	402828	4988482	608	19-mag-88
LAGO PILONE	Sauze d'Oulx	TO	332693	4985596	2280	21-ott-88
MONTE FRAITEVE	Sestriere	TO	331440	4982806	2701	18-nov-88
BUON PASTORE	Torino	TO	395608	4992819	240	22-mar-89
CAMINI FREJUS	Bardonecchia	TO	318287	4998760	1740	09-nov-90
SALBERTRAND	Salbertrand	TO	334301	4993216	1010	15-nov-90
PIETRASTRETTA	Susa	TO	347088	5000758	520	05-dic-90
PRERICHARD	Bardonecchia	TO	320334	4994017	1353	06-dic-90
GAD	Ulzio	TO	329988	4990162	1065	19-dic-90
FINIERE	Chiomonte	TO	340117	4998152	813	19-dic-90
AVIGLIANA	Avigliana	TO	373774	4994834	340	09-gen-91
BORGONE	Borgone	TO	361958	4997582	400	10-gen-91
LE SELLE	Salbertrand	TO	336091	4991300	1980	26-lug-91
CARMAGNOLA	Carmagnola	TO	396348	4971353	232	10-giu-93
BAUDUCCHI	Moncalieri	TO	398228	4979528	226	16-giu-93
PIVERONE	Piverone	TO	424479	5031426	230	23-giu-93
BARCENISIO	Venaus	TO	341798	5006429	1525	17-nov-94
RIFUGIO VACCARONE	Giaglione	TO	336309	5002391	2745	06-set-96
COLLE BERCIA	Cesana T.se	TO	325119	4976764	2200	18-ott-96
CLOT DELLA SOMA	Pragelato	TO	337795	4983288	2150	23-ott-96
PRAROTTO	Condove	TO	361575	5000935	1440	08-set-97
DOMODOSSOLA	Domodossola	VB	446156	5105927	252	04-mag-88
MOTTARONE	Stresa	VB	457689	5081238	1491	13-lug-88
FORMAZZA-PIAN DEI CAMOSCI	Formazza	VB	450779	5142603	2453	27-ott-88
PASSO DEL MORO	Macugnaga	VB	420822	5094426	2820	04-nov-88
VERCELLI	Vercelli	VC	452237	5019386	132	17-giu-93
BOCCHETTA DELLE PISSE	Alagna Valsesia	VC	414792	5081006	2410	21-ott-87



figurato nella mappa di Figura 2.1 (situazione riferita a dicembre 2004).

In tali stazioni il sensore per il vento misura la velocità media e la direzione del vento media sui dieci minuti e la raffica giornaliera come massimo valore di velocità registrato nella giornata. I dati misurati vengono poi inviati via radio, in tempo reale al Centro Funzionale, dove vengono inseriti nella Banca Dati Meteorologica.

La Banca Dati è costituita da un archivio relazionale, organizzato sotto forma di tabelle mensili, le quali contengono i dati puntuali inviati in tempo reale dalla rete di monitoraggio.

I dati vengono successivamente sottoposti ad una procedura di validazione automatica che segnala quei dati puntuali che presentano caratteristiche anomale rispetto ad alcuni criteri e attribuisce un flag di validazione per indicare l'accettabilità o meno del dato.

A partire dai dati puntuali registrati presso le stazioni meteorologiche vengono calcolati:

- il valore medio giornaliero della velocità del vento;
- il tempo di permanenza giornaliera della condizione di calma di vento;
- la direzione giornaliera prevalente del vento.

## 2.2 STUDIO CLIMATOLOGICO

Lo studio climatologico è stato effettuato sulla base di dati anemometrici ottenuti attraverso interrogazioni alla Banca Dati Meteorologica. L'analisi è stata svolta utilizzando in parte dati puntuali, in parte dati aggregati giornalieri, a seconda dello studio da svolgere, al fine di analizzare i dati a disposizione per caratterizzare il territorio piemontese dal punto di vista anemologico.

L'analisi statistica eseguita si avvale di un campione pluriennale di dati di vento raccolti dalla rete di

Figura 2.2



Figura 2.2

Foto della stazione meteorologica di Formazza-Pian dei Camosci (2453 m), dotata anche di anemometro e anemoscopio per la misurazione dell'intensità e della direzione del vento.

monitoraggio dell'Arpa Piemonte. Il periodo analizzato va dal 1990 al 2000 per quel che riguarda lo studio della direzione e dell'intensità del vento, mentre si è protratto al 2002 e al 2003 per l'analisi delle massime raffiche, per l'individuazione dei regimi di brezza, al 2004 per gli eventi di foehn e fino al 2005 per le calme di vento.

Sono state considerate le stazioni meteorologiche dotate di sensori sia per la velocità e sia per la direzione del vento con almeno due anni di attività: in totale 59 stazioni di misura (Tabella 2.1; Figura 2.2). Per alcuni dei siti esaminati, la data di installazione della strumentazione cade nel periodo interessato dall'estrazione dei dati, variando quindi il numero di giorni considerato. Per questo motivo, al fine di garantire una coerenza tra i dati e consentire il confronto dei risultati, si producono le frequenze di rilevazione degli eventi analizzati.



# Materiali e metodi



Per tutte le stazioni disponibili si sono utilizzate le metodologie standard della statistica e si è seguita la bibliografia corrente. In taluni casi, dove non si è potuta adottare una prassi standard, si è descritto di volta in volta l'approccio adottato. L'ora di riferimento usata è quella UTC, assumendo come punto di riferimento l'orario del meridiano zero, ossia il meridiano di Greenwich, (GMT = Greenwich Mean Time). Da vari anni a questa parte è consuetudine chiamarlo non più GMT bensì UTC (Tempo Universale Coordinato).

ora UTC = ora italiana meno 1 ora se vige in Italia  
l'ora solare

ora UTC = ora italiana meno 2 ore se vige in Italia  
l'ora legale

In questo capitolo si spiega il metodo adottato per lo studio della velocità del vento e della calma di vento che necessitano di un approfondimento maggiore, mentre per gli altri temi affrontati, si rimanda la spiegazione della metodologia adottata nei vari capitoli.

## 3.1 MEDIA ANNUALE DELL'INTENSITÀ DEL VENTO

Si sono analizzati i valori di velocità media giornaliera e di raffica memorizzati nella Banca Dati, sottoposti a validazione automatica e con serie storica compresa tra la data di installazione dei sensori del vento e il 2002. Sono stati quindi analizzati

i dati di tutte le stazioni installate prima del 1998, in modo da avere una serie almeno quinquennale. Inizialmente, attraverso la documentazione bibliografica, è stata svolta un'analisi sulle possibili distribuzioni teoriche relative a serie di dati anemologici, relativamente alle velocità medie.

Data la variabilità del vento normalmente si sceglie come distribuzione teorica una distribuzione a valori estremi, in particolare la distribuzione di Gumbel, che può essere scritta nella forma:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right] \quad -\infty \leq x \leq +\infty$$

dove:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi},$$

s = deviazione standard

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

Il parametro  $u$  rappresenta la moda della distribuzione. La distribuzione può essere anche scritta in funzione di  $w=(x-u)/\alpha$ .

Graficamente la distribuzione di densità di probabilità di Gumbel è illustrata nella figura 3.1.

Definita tale distribuzione come distribuzione teorica, si sono creati gli istogrammi di frequenza sui dati giornalieri, relativi alla velocità media e alla raffica, per tutte le stazioni della rete meteorologica. In particolare si è data rilevanza alle stazioni per cui



Figura 3.1

Rappresentazione grafica della distribuzione di Gumbel.

Figura 3.1

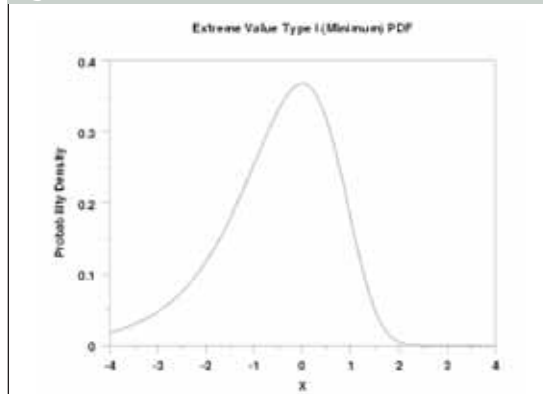


Figura 3.3

Scatterogramma relativo alla stazione di Monte Fraiteve.

zione esistente tra i dati di raffica e di media giornaliera per singola stazione, per valutare se tale relazione potesse essere correlata alla differente localizzazione delle stazioni e alla quota.

Si sono pertanto costruiti gli scatterogrammi aventi in ascissa la media ed in ordinata la raffica (Figura 3.3).

Osservando i dati relativi a stazioni posizionate oltre i 2000 m di quota si è notata la presenza di una correlazione quasi lineare tra media e raffica, come evidente nel grafico relativo alla stazione di Monte Fraiteve:

erano disponibili le serie storiche più lunghe, in quanto statisticamente più significative.

Come esempio vengono riportati i grafici di media e raffica relativi alla stazione di Susa Pietrastretta (TO), collocata su una sommità centrale posta in una confluenza di due valli, a quota 520 m nel bacino fluviale della Dora Riparia, caratterizzata da una serie storica che va dal 05/12/90 al 31/12/00 (Figura 3.2). La serie storica decennale utilizzata ha permesso di lavorare su un considerevole numero di dati e di ottenere delle distribuzioni reali confrontabili con la distribuzione teorica di Gumbel, rappresentata graficamente sui grafici in figura 3.2.

Successivamente si è cercato di individuare la rela-

Figura 3.3

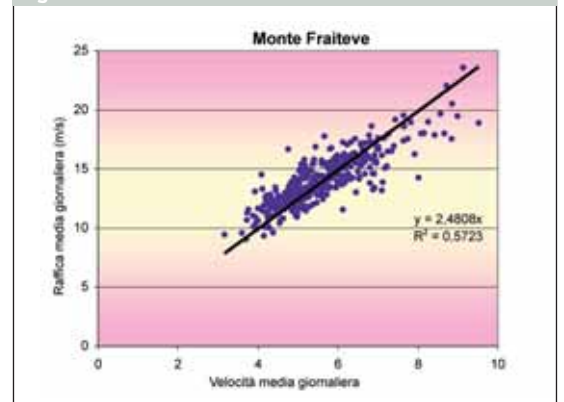
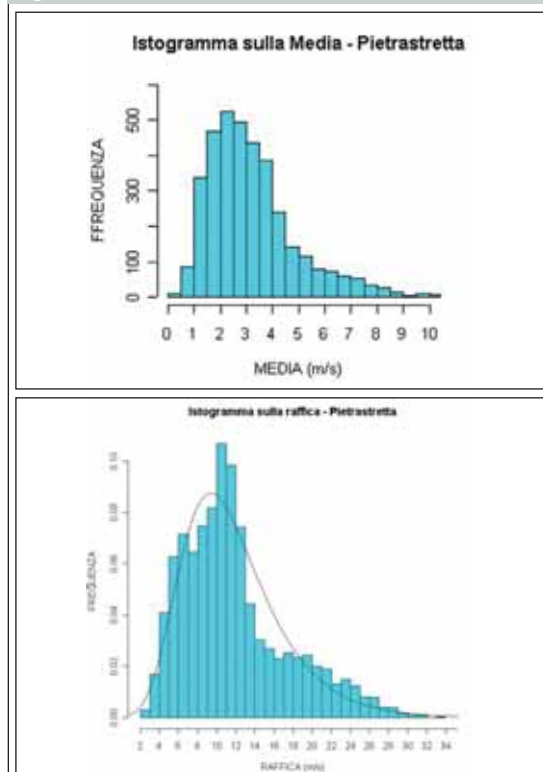


Figura 3.2

Istogramma di frequenza per la media (sopra) e la raffica (sotto) e relativo fit con curva di Gumbel per la stazione di Pietrastretta.

Figura 3.2



Tale stazione è situata in Val di Susa, nel comune di Sestriere, ad una quota di 2701 m. È caratterizzata da una serie storica che va dal 18/11/88 al 31/12/00. Per tale studio erano disponibili 3695 dati su 4423 teorici. Tale gap può essere in parte legato a problemi di funzionamento del sensore durante i periodi più freddi, a causa del congelamento dell'anemometro. Sui dati di tale stazione la correlazione ottenuta è stata di 0.57.

Sul grafico è stata costruita anche la retta di regressione lineare avente tale equazione:

$$y = 2,48 * x$$

Si è analizzato l'andamento delle stazioni al di sopra di 1800 metri e si è constatato che il coefficiente  $R^2$  trovato per Monte Fraiteve rappresenta la media di tutte le stazioni analizzate.

Un andamento molto diverso si nota invece per stazioni situate a quote molto inferiori, come nel caso di Avigliana (340 m) e Domodossola (252 m) (Figura 3.4).

Lo scatterogramma relativo ad Avigliana è stato costruito utilizzando i dati compresi tra il 09/01/91

Figura 3.4

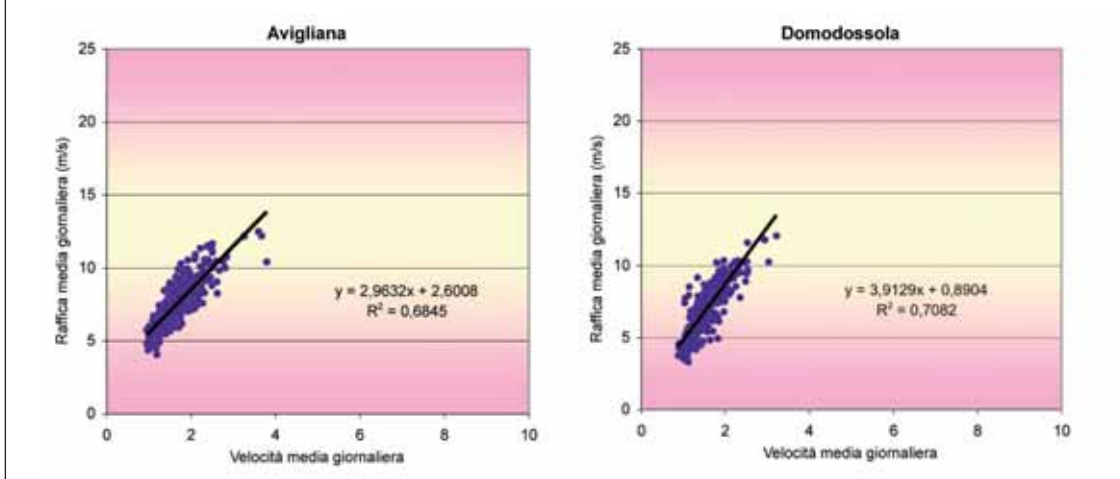


Figura 3.4

Scatterogrammi relativi alle stazioni di Avigliana (a sinistra) e Domodossola (a destra) calcolato sui dati di velocità media giornaliera e raffica giornaliera.

ed il 31/12/00, mentre per Domodossola il periodo esaminato va dal 04/05/88 al 31/12/00.

Si nota come la correlazione per le stazioni posizionate al di sotto dei 500 m sembra avere una struttura del tipo:

$$y = a(1 - e^{-bx})$$

Tali esempi suggeriscono la presenza di una dipendenza dalla quota delle relazioni tra media e raffica.

### 3.2 CALMA DI VENTO

Al fine di individuare oggettivamente le giornate con calma di vento, è stato adottato un criterio, utilizzando la Scala di Beaufort (Tabella 1.1). La finalità è individuare giornate con scarsa ventilazione nell'arco delle 24 ore: oltre ad imporre una soglia al

valore della velocità media giornaliera di intensità del vento, occorre imporre anche una soglia al valore della massima raffica giornaliera.

In riferimento alla scala di Beaufort, come soglia per la velocità media giornaliera è stata presa in considerazione la classe riportata in tabella 3.1.

Valutando le definizioni del grado 2 (brezza leggera) e del grado 3 (brezza tesa), si è ritenuto che per definire una giornata come "giorno di calma di vento", può essere accettabile che durante il suo corso si siano verificati episodi di brezza leggera, ma non episodi di brezza tesa.

I giorni di calma di vento sono quindi quelli che presentano un valore medio di velocità inferiore a 1.0 m/s ed una massima raffica inferiore a 3.4 m/s. Ove questo ultimo valore non sia disponibile, si è imposta solo la condizione sulla velocità media.

Tabella 3.1 - Stralcio della classificazione della Scala di Beaufort, gradi 0 e 1.

Grado	Termine descrittivo	Classe	Intensità			Descrizione visiva
			kn	m/s	km/h	
0	Calma	Calma	<1	0÷0.2	<1	Il fumo sale verticalmente.
1	Bava di vento		1÷3	0.3÷1.5	1÷5	La direzione del vento è visibile dal movimento del fumo ma non dalla banderuola segnamento.

Tabella 3.2 - Stralcio della classificazione della Scala di Beaufort, gradi 2 e 3.

Grado	Termine descrittivo	Classe	Intensità			Descrizione visiva
			kn	m/s	km/h	
2	Brezza leggera	Debole	4÷6	1.6÷3.3	6÷11	Si avverte il vento sulla faccia; le foglie si agitano; banderuole ordinarie in movimento.
3	Brezza tesa		7÷10	3.4÷5.4	12÷19	Foglie e ramoscelli in movimento costante; le bandiere leggere iniziano a spiegarsi.



# Direzione del vento



La rappresentazione diretta dei dati riguardanti le sole direzioni del vento è fornita numericamente dalle tabelle della frequenza ad 8 o 16 direzioni e graficamente dalle rose dei venti ad 8 o 16 settori. Le rose dei venti, pur non potendo essere interpretate in modo esattamente fisico, possiedono tuttavia una loro utilità pratica in quanto sono in grado di fornire una prima rappresentazione immediata delle condizioni del vento.

## 4.1 DIREZIONE PREVALENTE E REGIME ANEMOLOGICO

La frequenza annuale e mensile della direzione di provenienza del vento considera 8 (per i valori annui) e 16 settori di direzione (per i valori mensili) e, per ciascuna stazione, consente di identificare eventuali direzioni prevalenti legate alle caratteristiche del sito ove è ubicata la strumentazione. Osservando i risultati ottenuti per ogni stazione (Figura 4.1), viene effettuata una classificazione secondo il regime direzionale del vento (Tabella 4.1), definendolo unimodale se vi è una direzione dominante, bimodale se vi sono due direzioni prevalenti e trimodale se vi sono tre direzioni prevalenti. Le stazioni disponibili sono state quindi classificate a seconda del regime di appartenenza.

La classificazione delle zone in base ai regimi direzionali del vento è risultata la seguente:

Zona con **regime unimodale** caratterizzato dalla pre-

senza di un massimo nella frequenza di provenienza del vento, attribuibile, per i massimi più accentuati, all'incanalamento in valle e per i massimi più deboli ad un condizionamento meteorologico;

Zona con **regime bimodale** dovuto principalmente alla "canalizzazione di valle" del vento, come accade in Val di Susa, nell'Ossolano, nel Cuneese e nel Saluzzese ed occupa l'area più vasta nel Piemonte e può essere attribuito ad una "canalizzazione di regione", legata all'orografia dell'intero arco alpino occidentale;

Zone con **regime trimodale** che comprende la zona dell'alto Monferrato e le zone montuose ai confini regionali.

Si è calcolato il regime anemologico basato sull'individuazione della direzione prevalente del vento per tutte le stazioni meteorologiche per otto quadranti.

Tabella 4.1

Stazioni meteorologiche suddivise per appartenenza ad un determinato regime anemologico.

Tabella 4.1

### REGIME UNIMODALE

Vercelli, Passo del Moro, Rifugio Gastaldi, Cumiana, Borgofranco d'Ivrea, Belmonte, Rifugio Vaccarone, Oropa, Basaluzzo, Cameri, Fossano, Piverone.

### REGIME BIMODALE

Domodossola, Formazza-Pian dei Camosci, Colle Barant, Pino Torinese, Salbertrand, Pietrastretta, Prerichard, Gad, Finiere, Avigliana, Borgone, Prarotto, Colle Lombarda, Monte Malanotte, Colle San Bernardo, Mombarcaro, Limone Pancani, Bergalli, Bra Museo Craveri, Baldissero d'Alba, Rifugio Mondovì, Montaldo Scarampi, Capanne di Cosola, Alessandria, Casale Monferrato, Novi Ligure, Castellar Ponzano, Sardigliano.

### REGIME TRIMODALE

Mottarone, Monte Fraiteve, Camini Frejus, Le Selle, Bauducchi, Carmagnola, Barcenisio, Clot della Soma, Ponzone Bric Berton, Isola Sant'Antonio, Crea, Arquata Scrivia, Spineto Scrivia.

Tabella 4.2

STAZIONI	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D	I	P	E	A
Alessandria	SSW	SSW	SSW	NNE	SW	SW	N	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	SW
Arquata Scrivia	E	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	S	S	S
Avigliana	W	W	W	ESE	ESE	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Baldissero d'alba	S	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNE	NNE	S	S	S	NNE	NNE	S
Barcenisio	WSW	WNW	SE	S	SE	W	W	W	SE	SE	W	WSW	WSW	W	W	SE
Basaluzzo	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Bauducchi	SE	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	SE	SE	E	E	E
Belmonte	S	SSE	SSE	SE	SE	SE	SE	SSE	SE	SSE	SSE	SSE	SSE	SE	SE	SSE
Bergalli	WNW	WNW	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	WNW	ESE	WNW	SE	SE	SE
Borgofranco d'Ivrea	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Borgone	NW	SE	NW	E	ESE	E	E	E	ESE	SE	NW	NW	NW	ESE	E	SE
Bra Museo Craveri	SSE	SSE	SSE	SSE	S	S	S	S	S	SSE	NW	SSE	SSE	SSE	S	S
Bric Berton	N	N	N	N	N	SE	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Cameri	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Camini Frejus	NE	N	N	N	N	N	SW	SW	SW	SW	N	N	NE	N	SW	SW
Capanne di Cosola	E	WSW	W	E	E	W	W	W	WSW	WSW	WSW	W	W	W	W	WSW
Carmagnola	S	S	S	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	SSE	S	S	S	ENE	NE	S
Casale Monferrato	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	SSE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	N	NNW	NNW
Castellar Ponzano	SSE	SSE	SSE	S	S	S	S	S	S	SSE	SSE	SSE	SSE	S	S	SSE
Clot della Soma	E	E	WSW	WSW	E	WSW	WSW	E	E	N	E	E	E	WSW	WSW	E
Colle Barant	E	E	WSW	WSW	E	WSW	WSW	E	WSW	E	WSW	E	E	E	WSW	WSW
Colle Bercia	SW	W	W	SW	N	SW	NW	NNE	N	SSW	SW	W	SW	N	NW	SSW
Colle Lombarda	N	N	N	N	N	SSE	NW	SSE	SSE	SSE	SSE	N	N	N	SSE	SSE
Colle San Bernardo	NNW	NNW	NNW	SE	SE	SE	SE	NNW	SE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	SE	NNW
Crea	N	SSW	SE	NW	NE	SSW	SSW	NNE	ESE	SE	N	NNW	NNW	SSW	SSW	ESE
Cumiana	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Domodossola	NE	NE	NE	SW	NE	SW	SW	NE	NE	NE	NE	NE	NE	SW	NE	NE

Tabella 4.2

Distribuzione mensile (G = gennaio, F = febbraio, ecc.) e stagionale (I = inverno, P = primavera, E = estate, A = autunno) della direzione prevalente del vento.

ti (Tabella 4.1).

Si è inoltre calcolata la direzione prevalente di provenienza del vento in sedici quadranti a livello annuale (Figura 4.1).

**Provenienza da NORD:** Colle Lombarda, Camini Frejus, Cameri, Domodossola, Bric Berton, Vercelli, Piverone, Casale Monferrato, Colle San Bernardo, Prerichard, Le Selle, Baldissero d'Alba, Borgofranco d'Ivrea, Ponzone Bric Berton.

**Provenienza da NORD-OVEST:** Rifugio Gastaldi, Cumiana, Borgone, Oropa, Monte Fraiteve, Pietrastretta.

**Provenienza da NORD-EST:** Formazza-Pian dei Camosci, Gad, Salbertrand, Carmagnola.

**Provenienza da EST:** Colle Barant, Bauducchi, Prarotto, Sardiigliano.

**Provenienza da OVEST:** Avigliana, Montaldo Scarampi, Rifugio Vaccarone, Clot della Soma, Capanne di

Cosola, Barcenisio, Monte Malanotte.

**Provenienza da SUD-EST:** Bergalli, Mombarcaro, Pino Torinese, Novi Ligure, Belmonte.

**Provenienza da SUD-OVEST:** Finiere, Alessandria, Colle Bercia, Fossano, Mottarone, Crea.

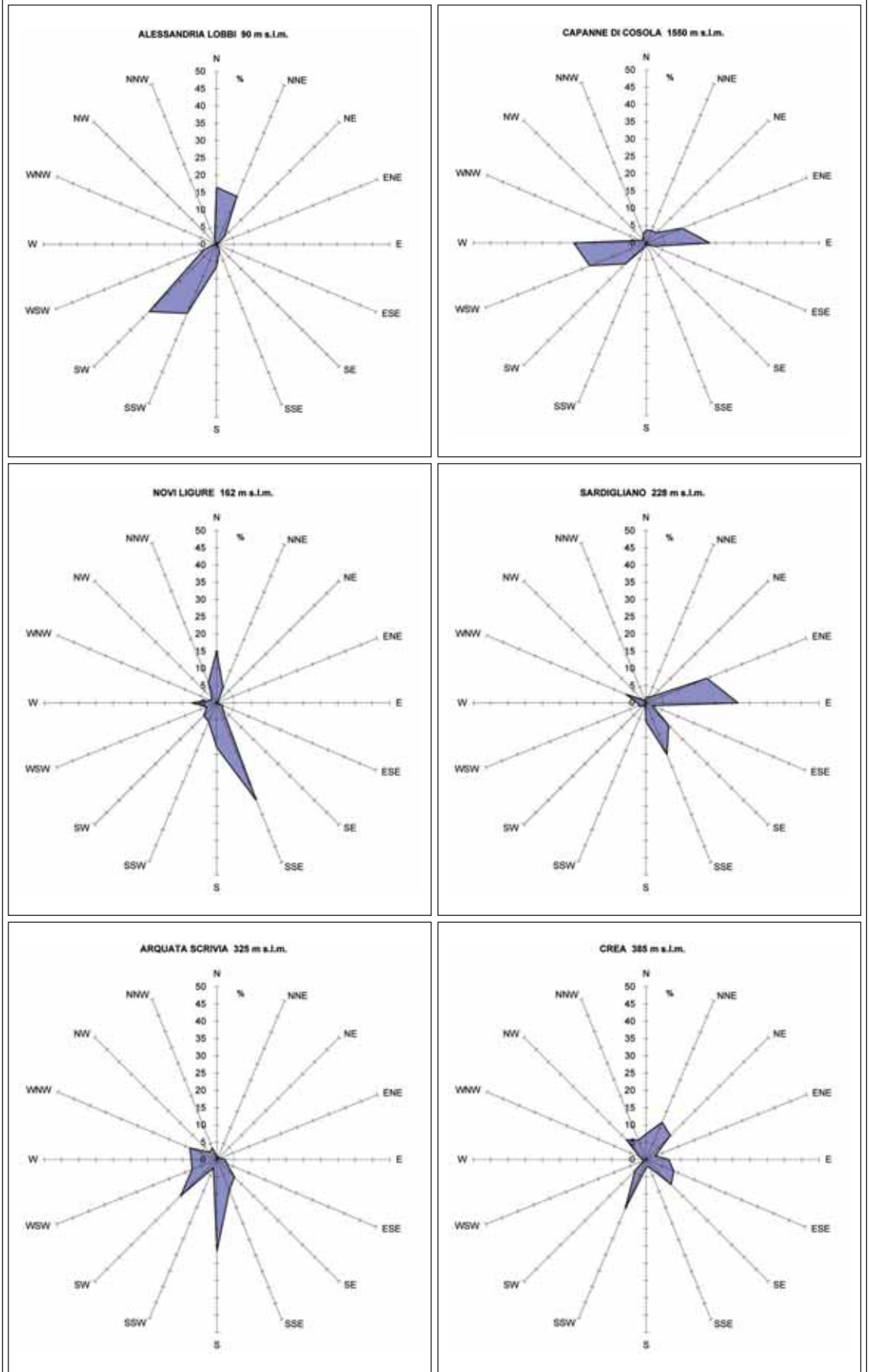
**Provenienza da SUD:** Passo del Moro, Bra-Museo, Arquata Scrivia, Basaluzzo, Spineto Scrivia, Castellar Ponzano, Limone Pancani, Rifugio Mondovì, Isola Sant'Antonio.

#### 4.1.1 Andamento mensile e stagionale

Si è inoltre individuato l'andamento medio mensile e stagionale della direzione prevalente del vento, i cui risultati sono stati riassunti in tabella 4.2. Si sono riportati come esempio i grafici relativi al regime unimodale per la stazione di Oropa, bimodale per Alessandria Lobbi e trimodale per la stazione di Monte Fraiteve (Figura 4.2).



segue Figura 4.1 - Alessandria





segue Figura 4.1 - Alessandria

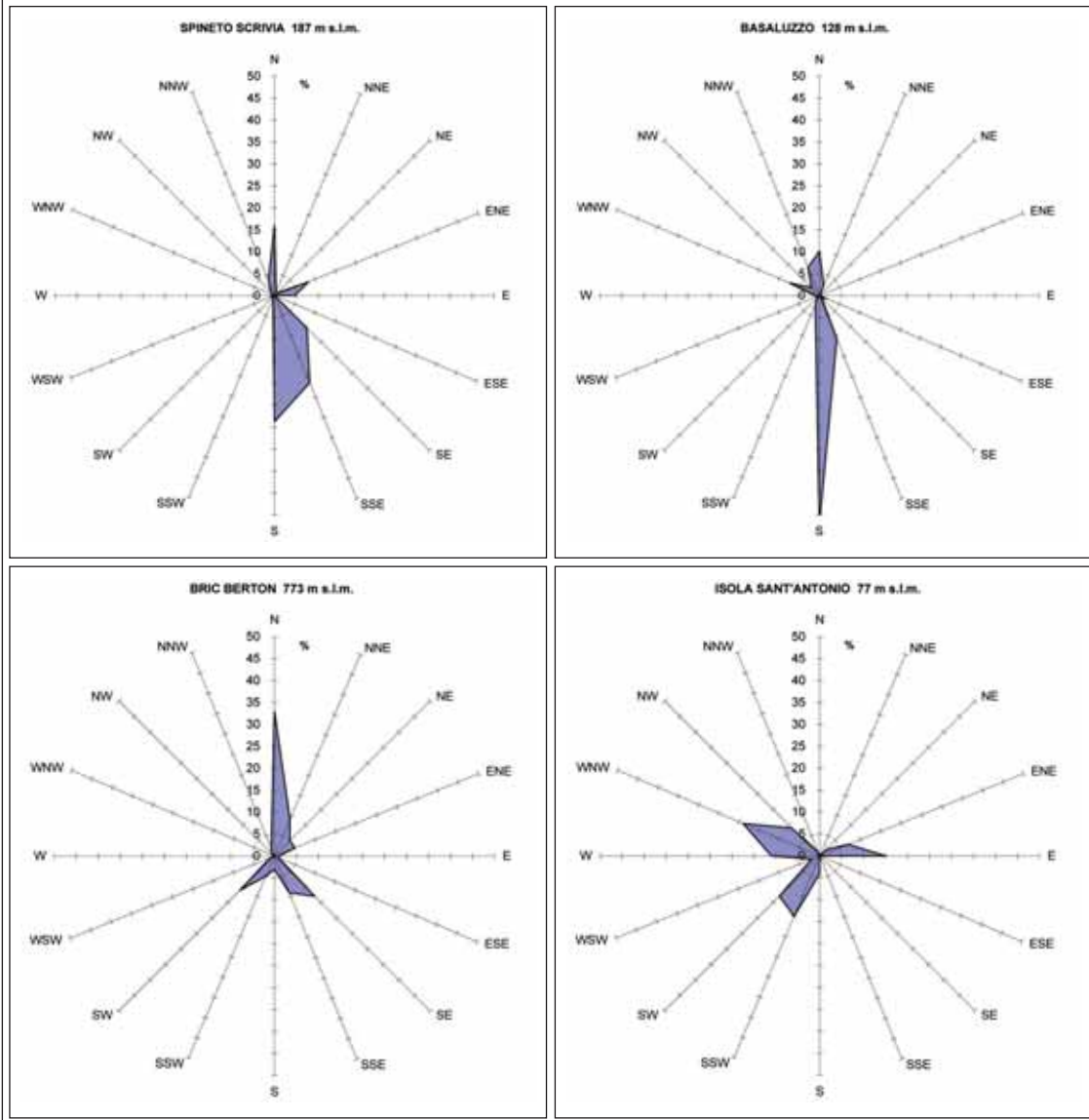


Figura 4.1 - Asti

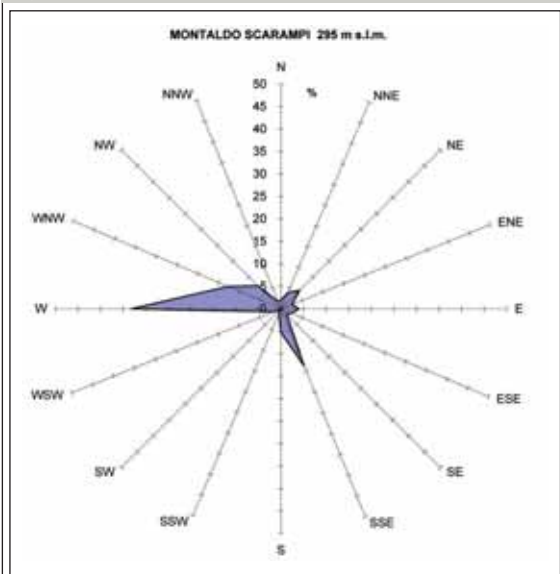




Figura 4.1 - Biella

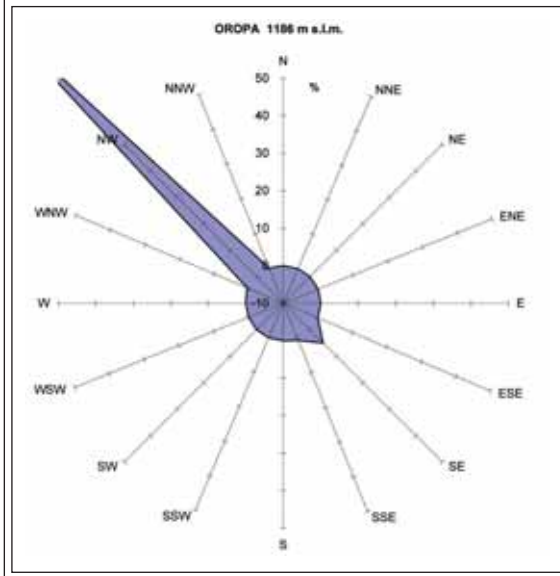
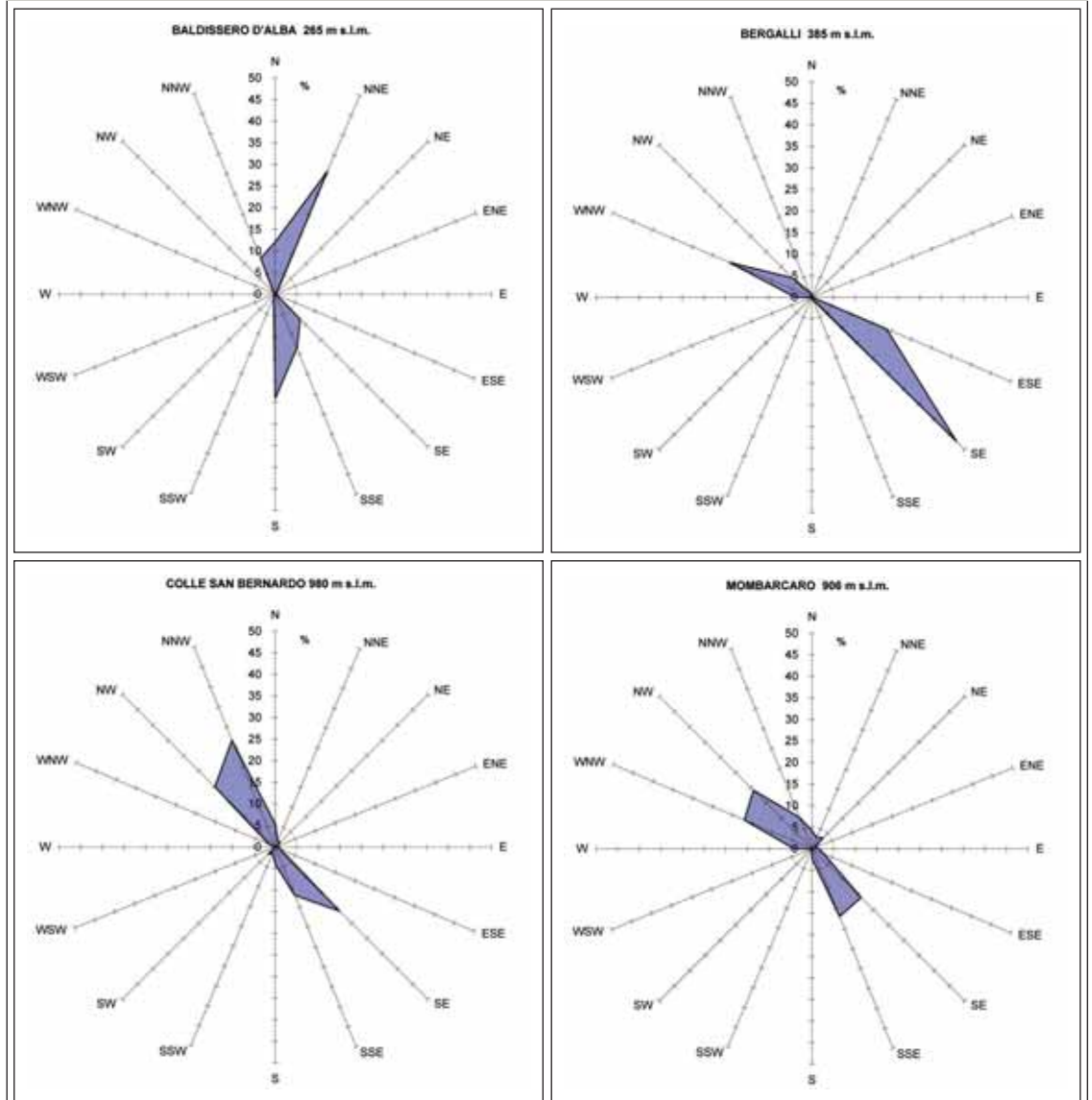


Figura 4.1 - Cuneo



segue Figura 4.1 - Cuneo

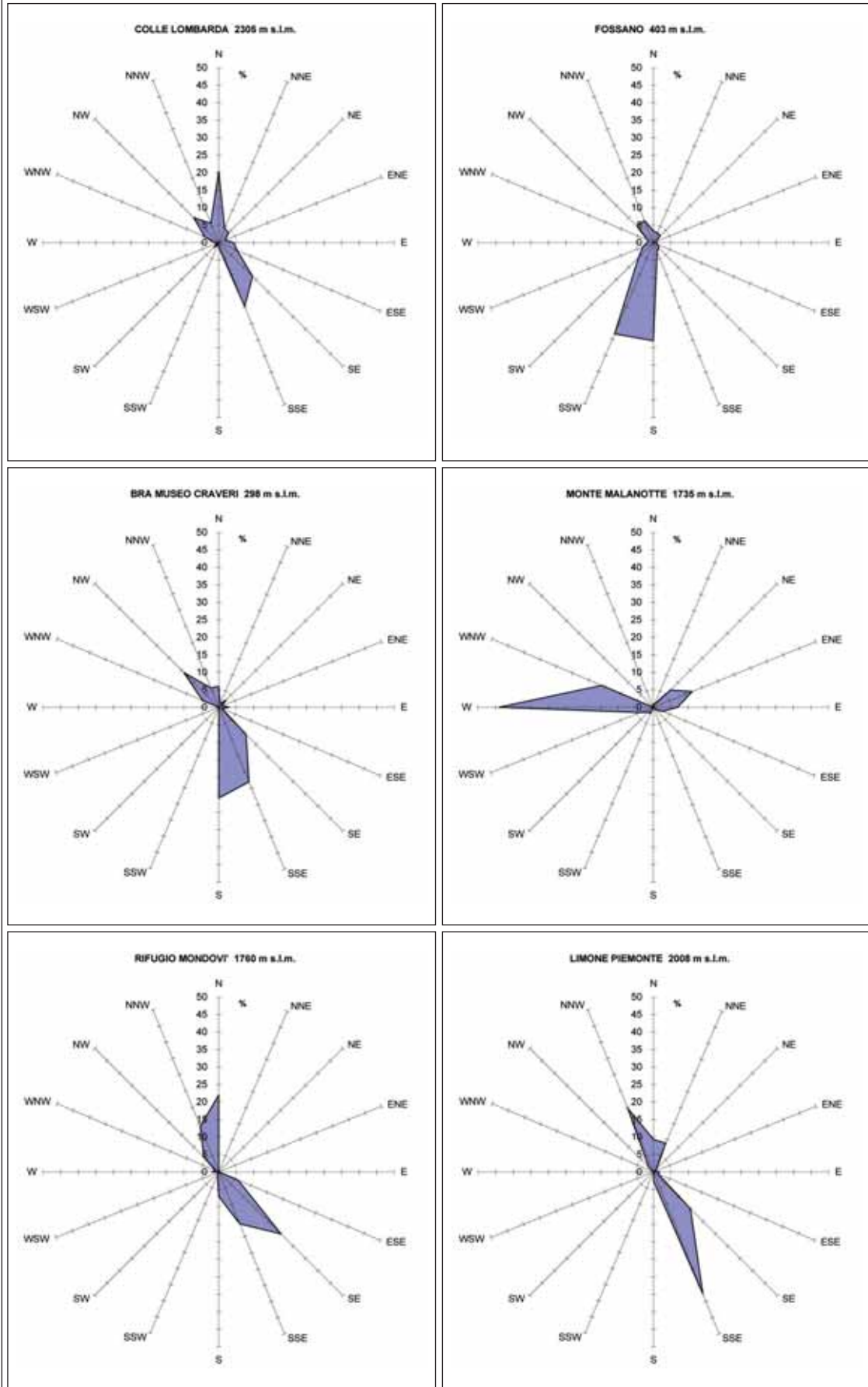


Figura 4.1 - Novara

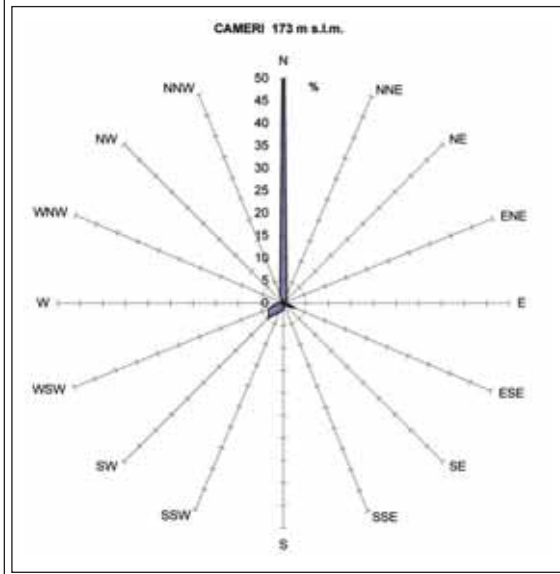
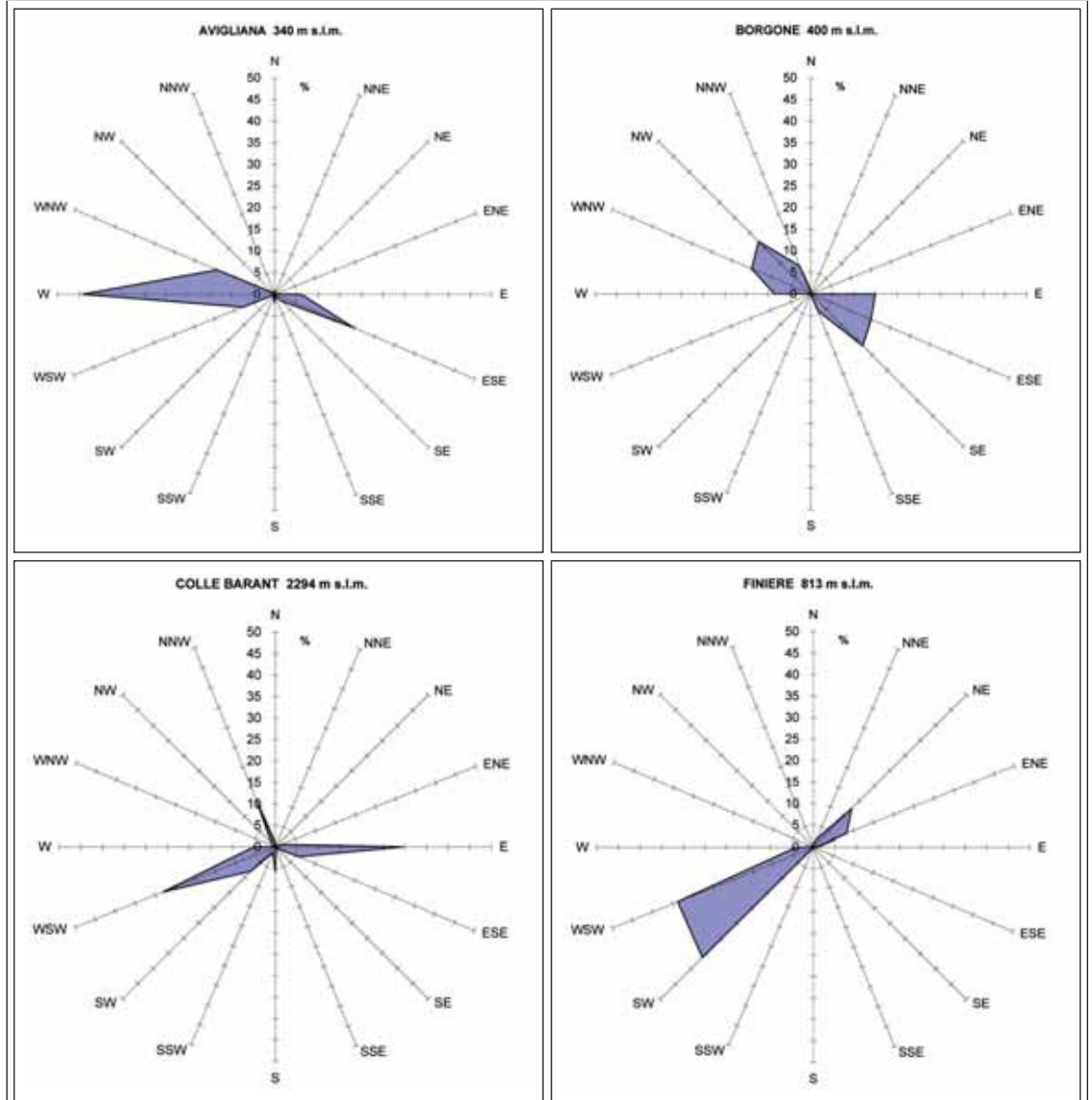
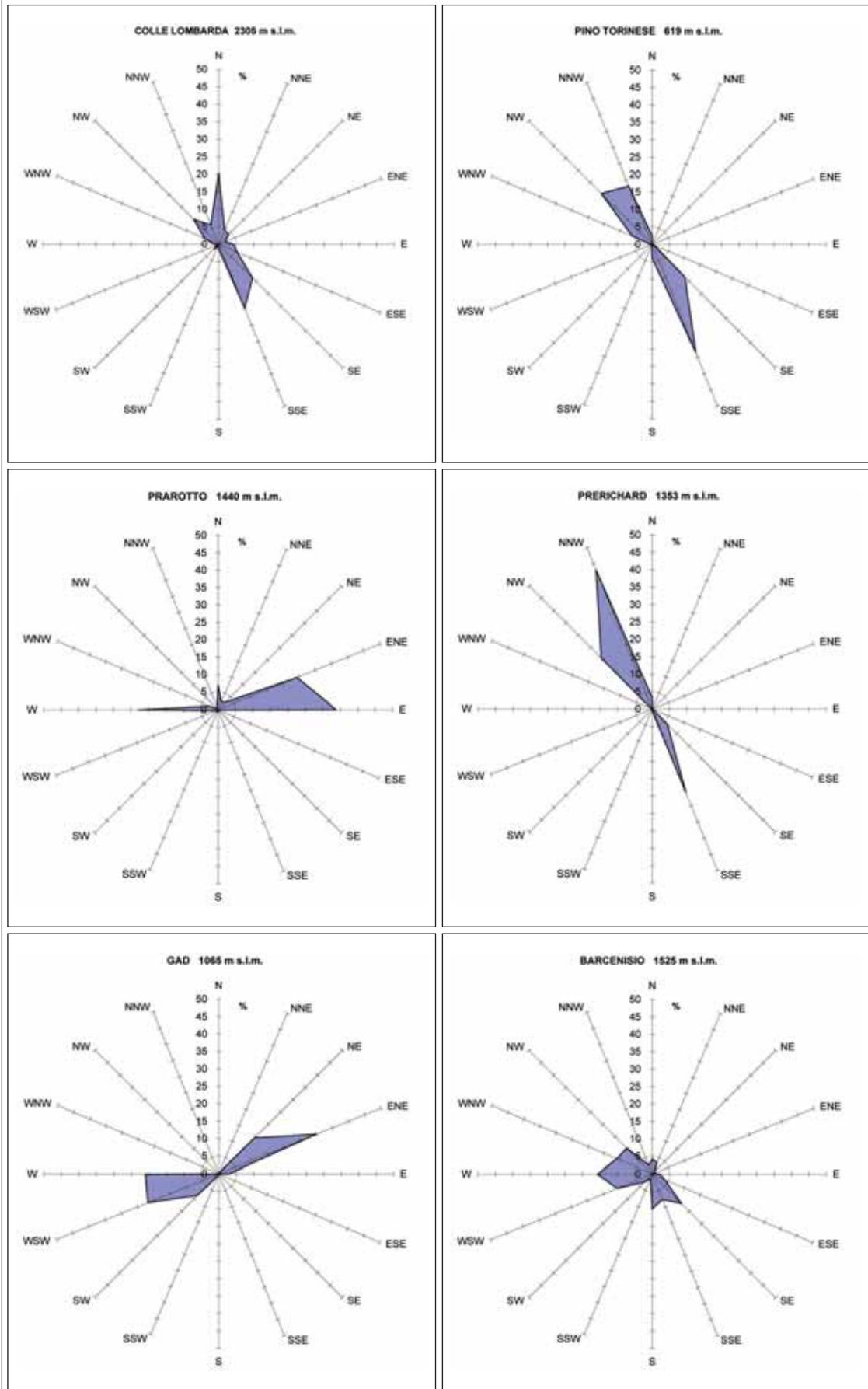


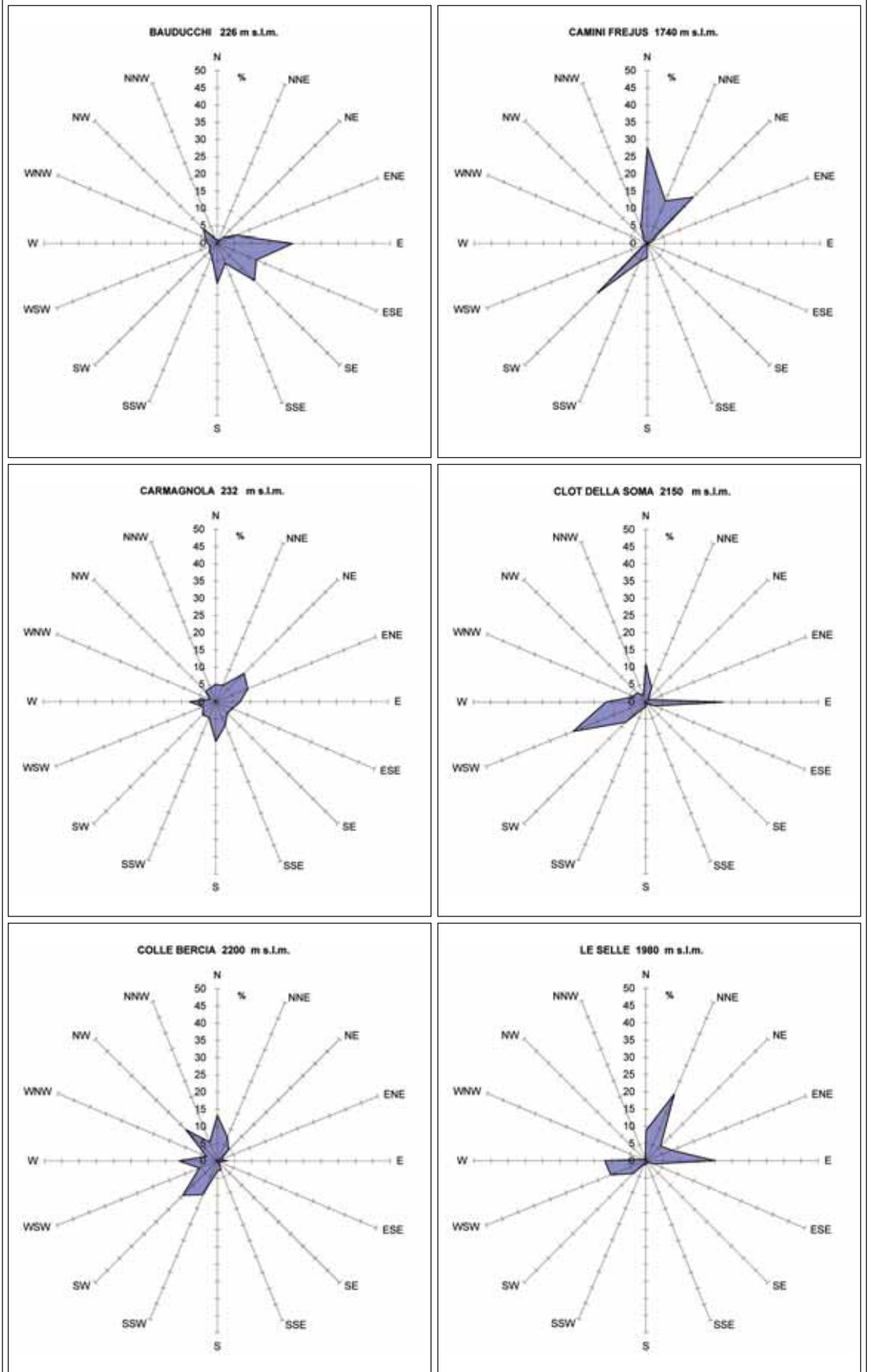
Figura 4.1 - Torino



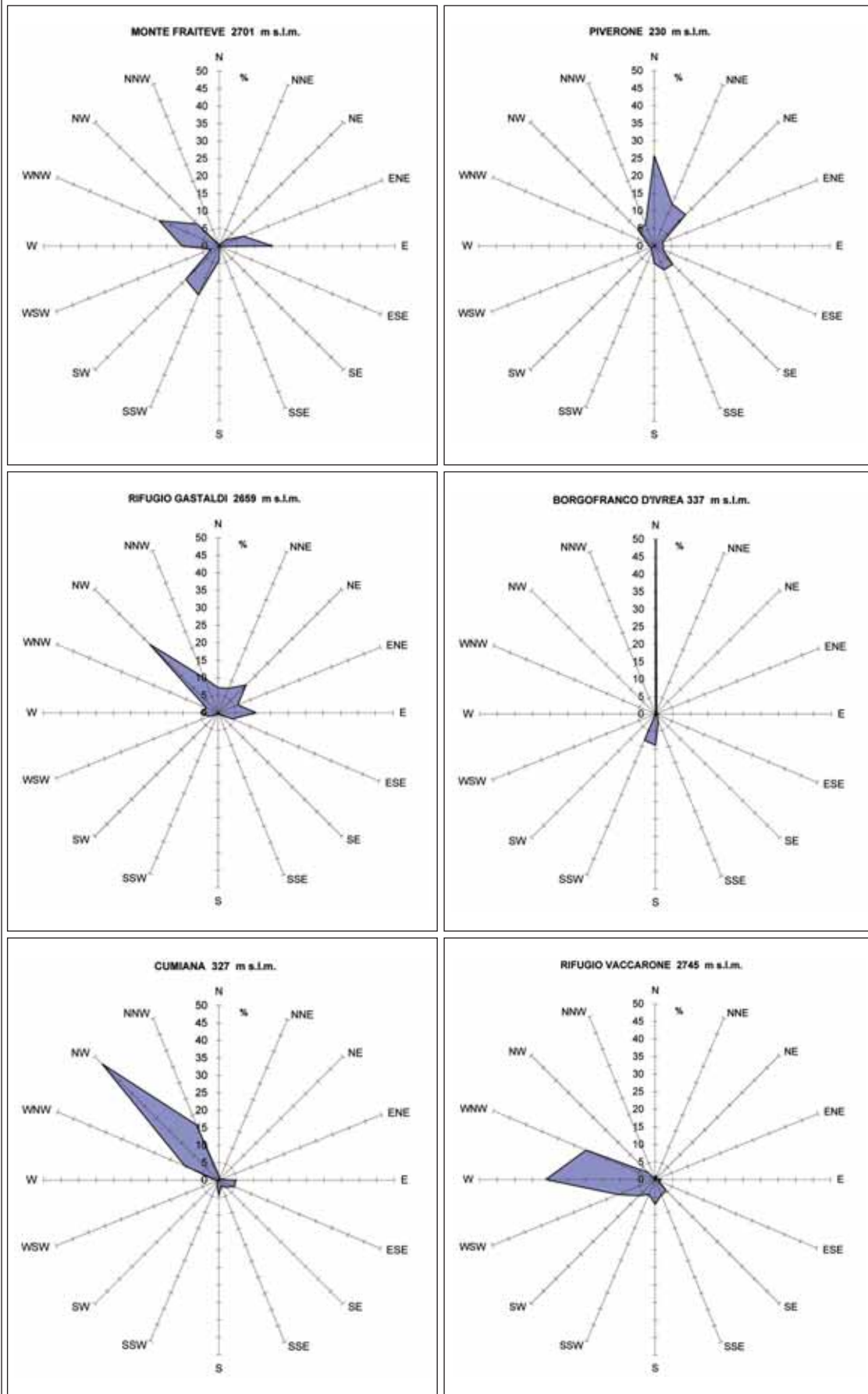
segue Figura 4.1 - Torino



segue Figura 4.1 - Torino



segue Figura 4.1 - Torino





segue Figura 4.1 - Torino

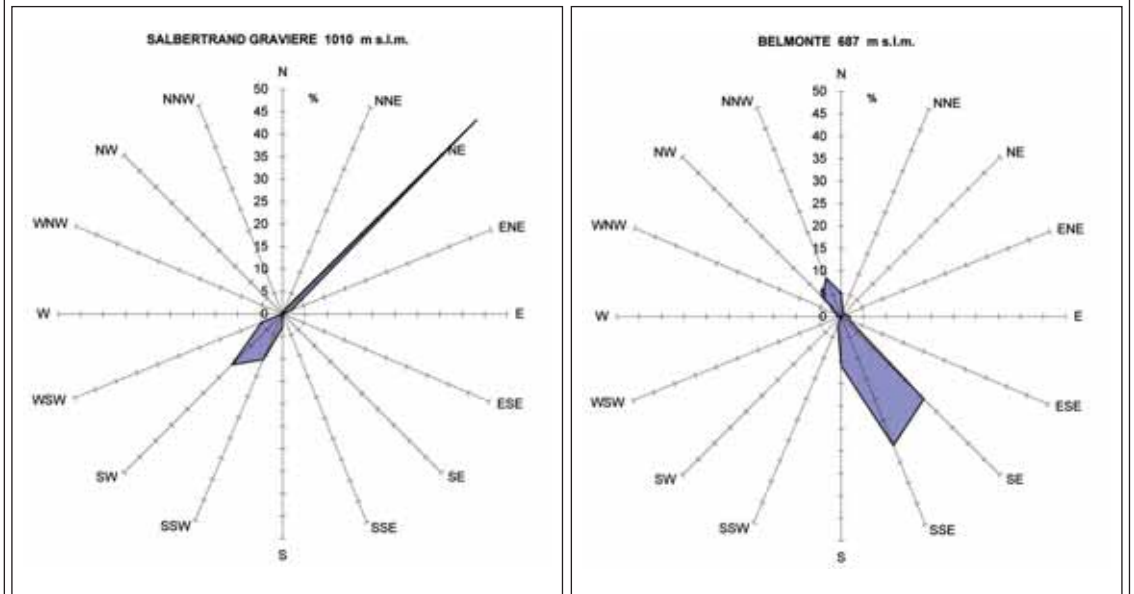


Figura 4.1 - Verbania

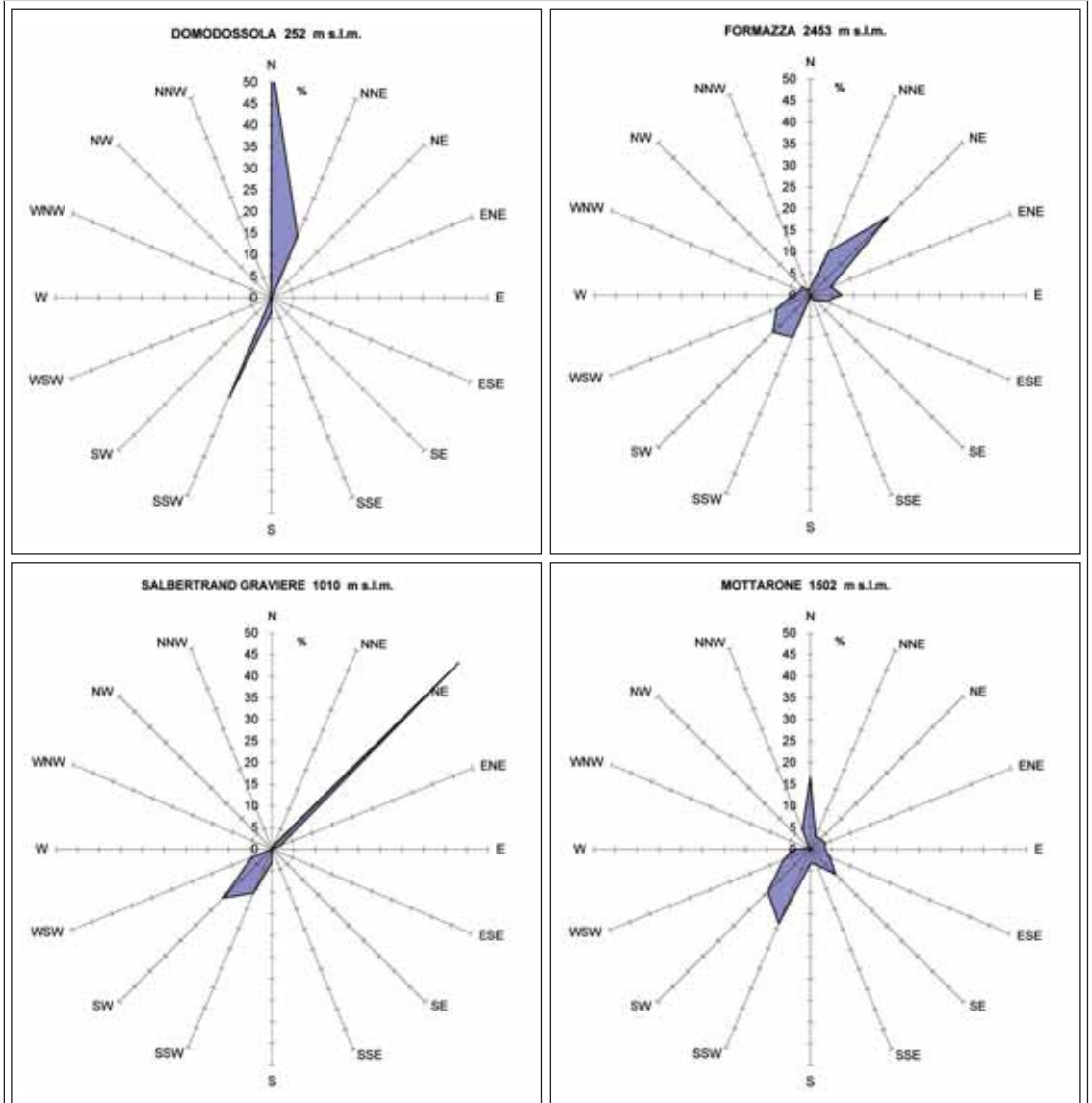


Figura 4.1 - Vercelli

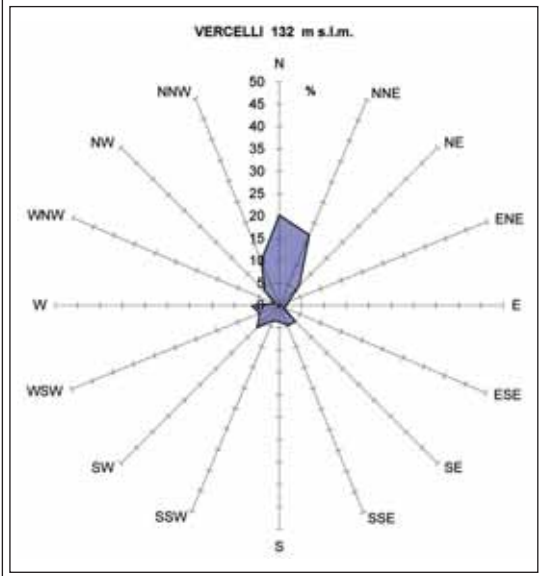


Figura 4.3



Figura 4.2

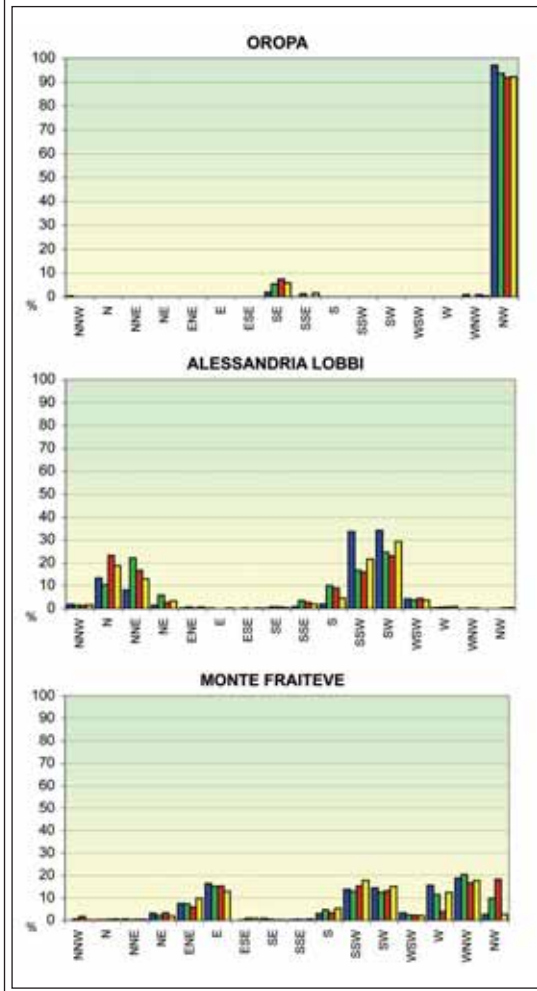


Figura 4.2

Distribuzione stagionale delle frequenze di direzione prevalente per alcune stazioni. La direzione prevalente per Oropa è la NW ed è presente con una frequenza superiore al 90% in tutte le stagioni. Alessandria Lobbi presenta un andamento bimodale con inverno in cui prevale maggiormente la direzione SW e SSW e l'estate in cui la direzione prevalente è invece il Nord. SSW, WNW ed E risultano le direzioni prevalenti per Sestriere-Monte Fraiteve.

Figura 4.3

Velocità del vento in quota: è possibile individuare la direzione del vento osservando lo spostamento della neve sulla cresta della cima innevata. FOTO S. FRATIANNI





# Velocità del vento



## 5.1 INTENSITÀ MEDIA ANNUA

Per fini più conoscitivi del territorio, si sono poi considerati l'andamento medio mensile e quello annuale per tutte le stazioni disponibili. Sono stati rappresentati grafici che esprimono l'andamento medio mensile dell'intensità media del vento, espressa in m/s. Per l'individuazione di analogie e differenze tra le varie stazioni, si sono attribuite delle classi diverse a seconda della quota di appartenenza della stazione (Tabella 5.1). Così troviamo la CLASSE A per le stazioni dell'intero territorio piemontese ubicate a una quota massima di 500 m. La CLASSE B include le stazioni comprese tra i 500 e i 1000 m; la CLASSE C quelle tra i 1000 e i 2000 m e infine la CLASSE D le stazioni situate a quote superiori a 2000 m.

### 5.1.1 Stazioni con quota superiore ai 2000 m

Analizzando le stazioni poste a quote più elevate si evidenzia un andamento molto simile per le stazioni di Colle Bercia, Formazza, Rifugio Gastaldi, Monte Fraiteve, Rifugio Vaccarone (comprese tra i 2200 e i 2750 m): si evidenziano due minimi, uno concentrato in maggio e l'altro in agosto e due massimi in dicembre e febbraio (ad eccezione di Formazza che cade in marzo). L'intensità media annua è simile per quattro delle cinque stazioni analizzate e si assesta intorno a valori di 1,5 (Colle Bercia) e di 3,1 m/s (Rifugio Vaccarone): l'unica eccezione, dovuta alla

localizzazione è rappresentata da Monte Fraiteve (Figura 5.9), dove si registrano 5,5 m/s (Figura 5.1). Andamento simile hanno anche le stazioni di Limone Pancani e Colle Lombarda con minimo concentrato in luglio e massimo in dicembre e con valori medi annui di 2,6-2,7 m/s. Passo del Moro presenta un andamento medio mensile con minimo in aprile-maggio e massimo in marzo; l'intensità media del vento è di 2,8 m/s.

Il minimo di intensità del vento si registra per Clot della Soma con 1,3 m/s dove si evidenzia un andamento particolare con minimo in novembre e massimo in maggio.

### 5.1.2 Stazioni con quota compresa tra i 1000 e i 2000 m

Anche per le stazioni posizionate a quota compresa tra i 1000 e i 2000 m si individuano dei gruppi di stazioni dotate di andamenti simili. Le stazioni di Barcenisio, Rifugio Mondovì, Camini Frejus, Prerichard e Mottarone presentano un massimo concentrato in febbraio-marzo-aprile e un minimo in ottobre e novembre (ad eccezione di Mottarone che lo presenta in agosto); l'intensità media annua del vento oscilla tra 1,4 m/s di Barcenisio e 1,9 m/s di Prerichard: Mondovì e Mottarone presentano un'intensità maggiore del vento, rispettivamente 2,3 e 3,4 m/s.

Prarotto, Gad e Salbertrand registrano un massimo in aprile-maggio (periodo primaverile-estivo) e un minimo in novembre-dicembre-gennaio (periodo

Tabella 5.1

Stazioni meteorologiche ordinate a seconda della quota di appartenenza. Per tutte, a partire dall'intensità media mensile, si è ottenuto il valore medio annuo della velocità del vento.

Tabella 5.1		
Classe A	Quota	V (m/s)
FOSSANO	403	2.18
BORGONE	400	1.91
BERGALLI	385	1.35
CREA	385	1.45
AVIGLIANA	340	1.67
BORGOFRANCO D'IVREA	337	2.51
CUMIANA	327	1.30
ARQUATA SCRIVIA	325	1.37
MONTALDO SCARAMPI	295	2.41
BRA	285	1.18
BALDISSERO D'ALBA	265	0.63
DOMODOSSOLA	252	1.56
BUON PASTORE	240	0.8
CARMAGNOLA	232	1.11
PIVERONE	230	0.99
SARDIGLIANO	228	2.30
BAUDUCCHI	226	1.36
SPINETO SCRIVIA	187	1.79
CAMERI	173	1.59
NOVI LIGURE	162	1.13
CASTELLAR PONZANO	146	1.88
VERCELLI	132	1.61
BASALUZZO	128	1.44
CASALE MONFERRATO	118	1.75
ALESSANDRIA LOBBI	90	1.99
ISOLA S. ANTONIO	77	1.89
Classe B	Quota	V (m/s)
COLLE SAN BERNARDO	980	5.63
MOMBARCARO	896	3.60
FINIERE	813	2.82
PONZONE BRIC BERTON	773	3.29
BELMONTE	687	2.13
PINO TORINESE	608	1.79
PIETRASTRETTA	520	3.27
Classe C	Quota	V (m/s)
CAMINI FREJUS	1740	1.82
MONTE MALANOTTE	1735	2.94
CAPANNE DI COSOLA	1550	5.33
BARCENISIO	1525	1.42
MOTTARONE	1491	3.40
PRAROTTO	1440	1.52
PRERICHARD	1353	1.92
OROPA	1162	1.99
GAD	1065	3.74
SALBERTRAND	1010	2.44
Classe D	Quota	V (m/s)
PASSO DEL MORO	2820	2.75
RIFUGIO VACCARONE	2745	3.11
MONTE FRAITEVE	2701	5.49
RIFUGIO GASTALDI	2659	2.51
FORMAZZA	2453	2.53
COLLE LOMBARDA	2305	2.60
COLLE BARANT	2294	2.46
COLLE BERCIA	2200	1.54
CLOT DELLA SOMA	2150	1.25
LIMONE PANCANI	2008	2.76
BOCCHETTA DELLE PISSE	2410	1.64
LE SELLE	2008	1.94

Stazioni divise per quota

**Classe A:**  
fino a 500 m

**Classe B:**  
da 500 a 1000 m

**Classe C:**  
da 1000 a 2000 m

**Classe D:**  
oltre i 2000 m

autunnale-invernale); l'intensità media del vento è diversa per le stazioni considerate: 1,5 m/s si evidenzia per Prarotto, 2,4 m/s per Salbertrand-Graviere e Gad con 3,7 m/s. Le stazioni di Monte Malanotte e Capanne di Cosola presentano un unico minimo concentrato in luglio-agosto e massimi nel periodo autunnale e invernale. L'intensità media annuale delle due stazioni menzionate è una il doppio dell'altra: infatti si registrano 2,9 m/s per Monte Malanotte e 5,3 m/s per Capanne di Cosola.

Per l'andamento mensile Oropa si distingue dalle precedenti poiché presenta un massimo invernale e due minimi in ottobre e in maggio. La velocità del vento annua è invece simile a quella della maggioranza delle stazioni esaminate: 2,0 m/s.

### 5.1.3 Stazioni con quota compresa tra i 500 e i 1000 m

Pietrastretta e Finiere, essendo due stazioni vicine geograficamente, presentano lo stesso andamento medio mensile del vento con un minimo da ottobre a gennaio e due massimi in marzo e in luglio (Tabella 5.2). Pietrastretta registra 3,3 m/s, mentre Finiere 2,9 m/s di intensità media annua.

Mombarcaro e Colle San Bernardo registrano un unico minimo in agosto e un massimo esteso ai mesi invernali. A Colle San Bernardo si manifesta una forte intensità media annua del vento: 5,6 m/s; mentre a Mombarcaro la velocità è meno intensa, ma comunque alta rispetto alla maggior parte delle stazioni piemontesi: 3,6 m/s.

Ponzone-Bric Berton, Belmonte e Pino Torinese evidenziano un andamento molto simile con un minimo tardo-estivo e un massimo in aprile. L'intensità del vento diminuisce al diminuire della quota: si registrano 3,3 m/s per Bric Berton, 2,1 m/s per Belmonte e 1,8 m/s per Pino Torinese.

### 5.1.4 Stazioni con quota inferiore ai 500 m

Le stazioni di Bra, Fossano, Baldissero d'Alba, Casale Monferrato, Cameri, Bergalli, Montaldo Scarampi, Bauducchi, Piverone, Cumiana, Carmagnola, Castellar Ponzano, Vercelli, Novi Ligure, Sardigliano, Crea, Alessandria e Borgone presentano il medesimo andamento medio mensile con minimo in ottobre, novembre e dicembre e massimo in marzo-aprile. Il mini-

mo di intensità media annua si registra con Baldisero d'Alba (0,6 m/s) e il massimo a Borgofranco d'Ivrea (2,5 m/s).

Basaluzzo, Spineto Scrivia, Arquata Scrivia e Domoossola presentano un minimo nel periodo tardo-autunnale e due massimi in aprile e luglio (Figura 5.2). La velocità del vento è moderata per le stazioni esaminate ed oscilla tra 1,4 m/s di Arquata Scrivia e 1,9 m/s di Isola Sant'Antonio. Borgofranco d'Ivrea e Avigliana presentano un andamento molto irregolare: il minimo assoluto si registra in dicembre e il massimo in aprile.

L'insieme di tutte le stazioni meteorologiche piemontesi evidenzia in generale una bassa correlazione tra quota e velocità del vento media annua.

## 5.2 VELOCITÀ MEDIA MENSILE

Descritta la dipendenza della velocità del vento media annua, sono stati elaborati i grafici per caratterizzare l'andamento medio mensile della velocità durante l'anno.

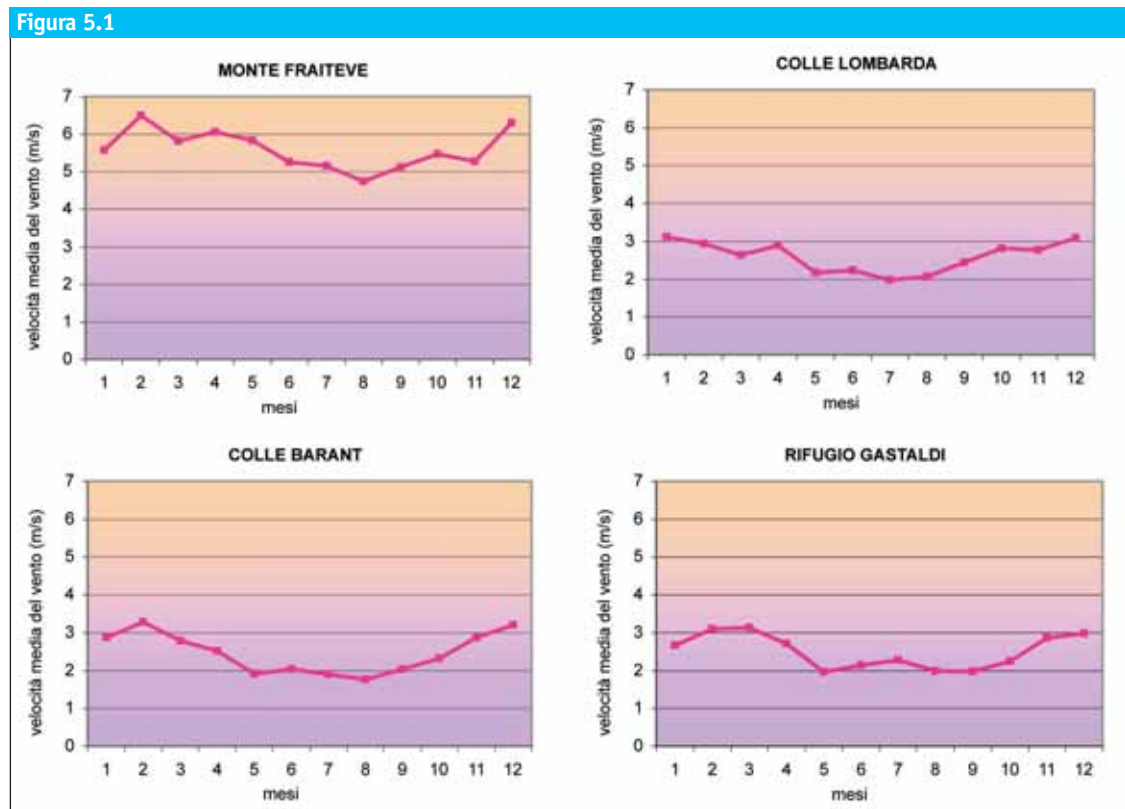
Anche in questo caso è stata effettuata una suddivisione delle stazioni in base alla quota, per individuare la presenza di andamenti tipici.

Lo studio è stato effettuato a partire dai dati di velocità media giornaliera validati, calcolando poi le medie mensili, prendendo in considerazione tutti gli anni disponibili, dall'installazione del sensore al 2000, per ciascuna stazione.

Per sintesi si riportano solo alcuni esempi, che si riferiscono ai siti meteorologici dotati delle serie più lunghe, relativi alle stazioni installate oltre i 2000 m di quota e a 500 m per paragone.

Nel grafico di figura 5.1 sono stati riportati gli andamenti annuali relativi alle stazioni di:

- Colle Lombarda, situata in alta valle, sul colle a quota 2278 m, nel bacino fluviale della Stura di Demonte, in provincia di Cuneo. La serie storica va dal 24/09/87 al 31/12/00. Relativamente a questo periodo si hanno 3825 dati validati rispetto ai 4843 teorici;
- Rifugio Gastaldi, collocata a quota 2659 m, su un ampio fondovalle nel bacino fluviale della Stura Lanzo, in provincia di Torino. La serie storica va dal 25/09/87 al 31/12/00; (3810 dati su 4842 teorici);
- Colle Barant, situata a quota 2294 m sulla spalla di un versante nel bacino fluviale del Pellice. La serie storica va dal 25/09/87 al 31/12/00; (3826 dati su 4842 teorici);



**Figura 5.1**  
Andamenti annuali della velocità del vento per alcune stazioni poste oltre i 2000 m di quota.

- Monte Fraiteve, per la quale erano disponibili 3695 dati su 4423 teorici.

Si evidenzia in tutte le stazioni la presenza di un massimo nel mese di dicembre, nonché elevati valori di velocità a febbraio. Per tutte le stazioni si nota inoltre un minimo di velocità nei mesi di maggio e di agosto, tranne nel caso di Colle Lombarda, che presenta il minimo a luglio.

Degli andamenti molto diversi si notano invece per stazioni collocate a quote inferiori (Figura 5.2).

Il grafico della figura 5.2 si riferisce alle stazioni di:

- Borgofranco d'Ivrea, collocata su una sommità centrale che si eleva a fondovalle a quota di 334 m, nel bacino fluviale della Dora Baltea, in provincia d'Ivrea. La serie storica va dal 05/05/88 al 31/12/00; (3981 dati validi su 4620 teorici);
- Cameri, collocata in piana aperta, appartenente al bacino Fluviale del Ticino, in provincia di Novara, a quota di 173 m. La serie storica va dal 03/05/88 al 31/12/00; (3895 dati validi su 4622 teorici).
- Domodossola, è situata nel bacino fluviale del Toce, in una valle aperta, a quota 252 m. La serie va dal 04/05/88 al 31/12/00.
- Casale Monferrato, collocata in campagna aperta, nel bacino fluviale del Banna a quota di 118 m, in provincia di Alessandria. La serie storica va

dal 20/05/88 al 31/12/00; (3881 dati su 4605 dati teorici).

Dai grafici si nota un andamento simile nelle stazioni di Cameri e Casale Monferrato, in cui è presente il massimo di velocità nella stagione primaverile, mentre la velocità scende rapidamente nei mesi estivi, fino ad arrivare a valori attorno ad 1,5 m/s nei mesi invernali. Il massimo di velocità nei primi mesi dell'anno si riscontra anche nelle stazioni di Borgofranco d'Ivrea e Domodossola, ma in questi due casi si evidenzia anche un massimo relativo nel mese di agosto. Entrambi inoltre presentano un minimo nel mese di ottobre.

Le piccole discordanze negli andamenti sono principalmente causate dall'influenza sulla misura degli effetti locali.

### 5.3 VELOCITÀ DEL VENTO ORARIA

A seguito delle analisi statistiche preliminari è stato effettuato uno studio per valutare l'andamento medio annuale della velocità del vento in funzione dell'ora e del mese (vedi capitolo 3).

Con i dati puntuali (rilevati ogni 10 minuti) delle stazioni della rete, memorizzati nella Banca Dati e sot-

Figura 5.2

Andamenti annuali della velocità del vento per alcune stazioni poste al di sotto di 500 m di quota.

Figura 5.2

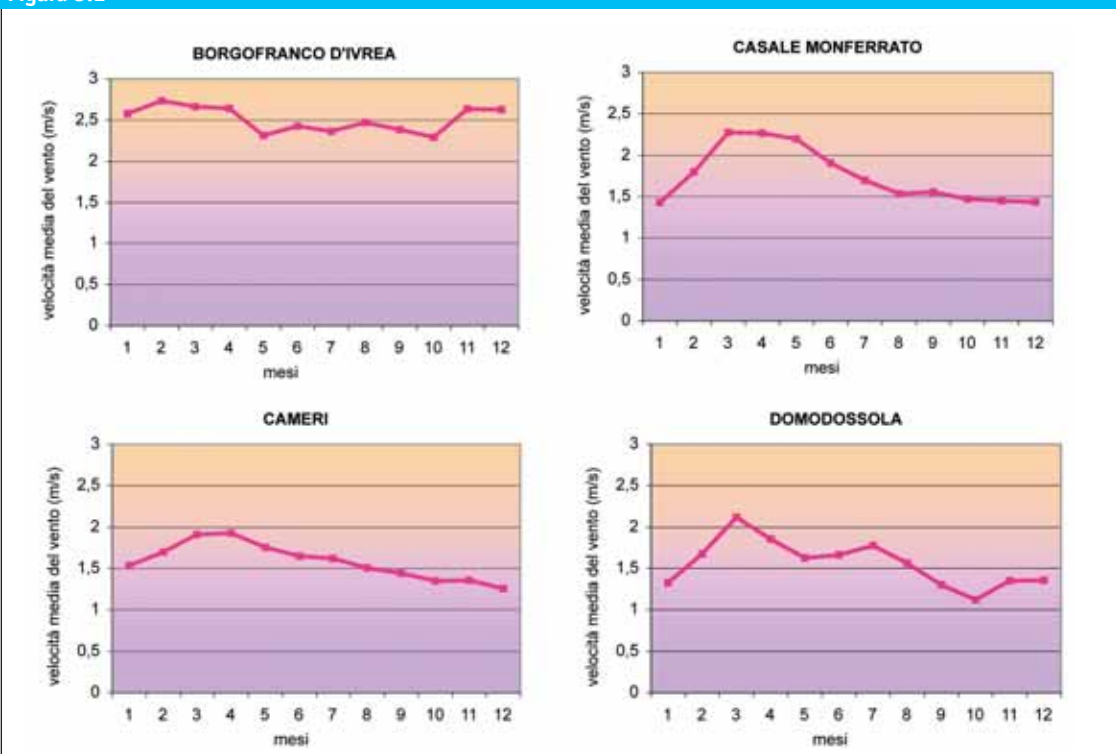


Tabella 5.2

STAZIONI	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D	I	P	E	A
Alessandria lobbi	1.9	2.0	2.5	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.6	1.7	1.9	2.0	2.4	1.9	1.6
Arquata Scrivia	1.2	1.5	1.7	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.2	1.6	1.5	1.2
Avigliana	1.5	1.9	1.9	1.9	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.7	1.8	1.7	1.5
Baldissero d'Alba	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.8	0.7	0.5
Barcenisio	1.3	1.7	1.6	1.6	1.4	1.4	1.5	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	1.4	1.3
Basaluzzo	1.1	1.4	1.8	2.0	1.6	1.7	1.8	1.5	1.4	1.0	1.1	1.0	1.2	1.8	1.6	1.1
Bauducchi	1.1	1.3	1.5	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.6	1.5	1.2
Belmonte	1.6	2.1	2.3	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	2.0	1.8	1.8	2.5	2.2	1.9
Bergalli	1.0	1.3	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.1	1.7	1.5	1.1
Bocchetta delle Pisse	1.9	1.9	1.9	1.5	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.7	1.9	1.9	1.6	1.5	1.5
Borgofranco d'Ivrea	2.6	2.7	2.7	2.6	2.3	2.4	2.4	2.5	2.4	2.3	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4
Borgone	1.5	2.0	2.5	2.5	2.2	2.1	2.1	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	2.4	2.0	1.6
Bra-Museo Craveri	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.3	1.0
Cameri	1.5	1.7	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.9	1.6	1.4
Camini Frejus	1.6	2.0	2.6	2.4	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.3	2.0	1.9	1.8	2.3	1.6	1.5
Capanne di Cosola	6.3	5.7	5.4	5.4	4.7	4.5	4.4	4.4	5.0	5.9	6.0	6.4	6.1	5.2	4.4	5.6
Carmagnola	1.0	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.3	1.1	1.0
Casale Monferrato	1.4	1.8	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	2.2	1.7	1.5
Castellar ponzano	1.4	1.8	2.3	2.5	2.1	2.3	2.6	2.0	1.9	1.3	1.3	1.2	1.5	2.3	2.3	1.5
Clot della Soma	1.2	1.5	1.4	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	1.3	1.5	1.2	1.1
Colle Barant	2.9	3.3	2.8	2.5	1.9	2.0	1.9	1.8	2.0	2.3	2.9	3.2	3.1	2.4	1.9	2.4
Colle Bercia	1.7	1.9	1.8	1.8	1.4	1.5	1.5	1.1	1.1	1.4	1.5	1.8	1.8	1.6	1.4	1.4
Colle Lombarda	3.1	2.9	2.6	2.9	2.2	2.2	2.0	2.1	2.4	2.8	2.8	3.1	3.0	2.6	2.1	2.7
Colle San Bernardo	6.6	6.3	6.2	5.9	5.2	5.0	4.9	4.6	4.8	5.6	5.9	6.4	6.4	5.8	4.8	5.4
Crea	1.2	1.5	1.8	2.0	1.7	1.6	1.7	1.3	1.4	1.0	1.0	1.1	1.2	1.8	1.6	1.2
Cumiana	1.0	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.1	1.0	0.9	1.1	1.5	1.5	1.2
Domodossola	1.3	1.7	2.1	1.9	1.6	1.7	1.8	1.6	1.3	1.1	1.3	1.4	1.5	1.9	1.7	1.3
Finiere	2.6	2.7	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	2.8	2.5	2.7	2.6	2.6	3.0	3.0	2.7
Formazza	2.7	2.8	2.9	2.6	2.1	2.3	2.4	2.3	2.3	2.2	2.7	3.0	2.8	2.6	2.3	2.4
Fossano	2.0	2.2	2.5	2.6	2.4	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.5	2.2	2.0
Gad	3.0	3.6	4.2	4.3	4.2	4.1	4.3	4.1	3.9	3.3	3.0	2.9	3.2	4.2	4.2	3.4
Graviere	2.4	2.6	2.7	2.8	2.7	2.6	2.6	2.4	2.3	2.0	2.0	2.1	2.4	2.7	2.5	2.1
Isola Sant'Antonio	1.9	1.8	2.4	2.6	2.1	2.0	2.1	1.7	1.6	1.4	1.6	1.7	1.8	2.3	1.9	1.5
Lago Pilone	1.8	2.0	1.8	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.6	1.6
Le Selle	2.1	2.4	2.2	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	2.0	2.4	2.3	1.9	1.8	1.8
Limone Pancani	3.1	3.1	2.8	3.2	2.6	2.5	2.3	2.4	2.6	2.7	2.7	3.3	3.1	2.9	2.4	2.6
Montaldo Scarampi	2.2	2.4	2.8	3.1	2.8	2.5	2.3	2.2	2.2	2.0	2.1	2.2	2.3	2.9	2.4	2.1
Monte Fraiteve	5.7	6.5	5.8	5.3	4.8	5.3	5.2	4.8	5.1	5.6	5.4	6.5	6.2	5.3	5.1	5.4
Monte Malanotte	3.2	3.3	3.0	3.0	2.7	2.6	2.5	2.5	2.7	3.0	3.4	3.4	3.3	2.9	2.6	3.0
Mottarone	3.1	3.4	3.6	3.9	3.4	3.6	3.3	3.0	3.4	3.3	3.4	3.3	3.3	3.6	3.3	3.4
Novi Ligure	0.9	1.2	1.5	1.8	1.2	1.3	1.4	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.5	1.2	0.8
Oropa	2.3	2.3	1.9	1.9	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.8	1.9	2.1	2.2	1.9	2.0	1.9
Passo del Moro	2.7	2.8	3.0	3.0	2.4	2.6	2.7	2.7	2.9	2.6	2.8	2.8	2.7	2.8	2.7	2.8
Pian delle Baracche	2.3	2.4	2.1	2.1	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1	2.4	2.4	2.0	1.9	1.9
Pietrastretta	2.7	3.4	3.9	3.7	3.5	3.5	3.8	3.5	3.2	2.7	2.6	2.7	2.9	3.7	3.6	2.8
Pino Torinese	1.7	1.9	2.1	2.2	1.9	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8	1.7	1.8	2.1	1.7	1.6
Piverone	0.8	0.8	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	1.2	1.1	0.9
Ponzone Bric Berton	3.3	3.4	3.8	3.9	3.4	3.3	3.1	2.8	3.1	3.0	3.1	3.3	3.3	3.7	3.1	3.0
Prorotto	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	1.8	1.8	1.6	1.7	1.4	1.1	1.2	1.2	1.8	1.7	1.4
Prerichard	1.7	2.0	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	2.2	2.0	1.7
Rifugio Gastaldi	2.7	3.1	3.1	2.7	2.0	2.1	2.3	2.0	2.0	2.2	2.9	3.0	2.9	2.6	2.1	2.4
Rifugio Mondovì	2.2	2.1	2.1	2.5	2.3	2.5	2.5	2.4	2.3	1.9	2.1	2.2	2.2	2.3	2.5	2.1
Rifugio Vaccarone	3.4	4.2	3.6	3.1	2.6	2.7	2.9	2.2	2.3	3.3	3.1	3.8	3.8	3.1	2.6	2.9
Sardigliano	1.7	2.3	2.7	3.2	2.6	2.7	2.9	2.4	2.5	1.9	1.4	1.3	1.8	2.8	2.7	1.9
Spineto Scrivia	1.3	1.8	2.1	2.7	1.9	2.1	2.3	1.8	1.8	1.3	1.2	1.2	1.4	2.2	2.1	1.4
Torino Buon Pastore	0.6	0.7	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	0.6
Vercelli	1.3	1.5	1.9	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.2	1.3	2.0	1.7	1.4

Tabella 5.2

Distribuzione media mensile (G = gennaio) e stagionale (I = inverno) dell'intensità del vento per tutte le stazioni esaminate espresse in m/s.



Figura 5.3

Il tipo di nube che si forma sulla cima di una montagna fornisce un'informazione indicativa sul tempo che farà. La lenticolare (Figura 9.7) è indice di peggioramento, mentre il cumulo è indice di bel tempo. A ricordo di questo principio, si riporta anche il proverbio: "Quand el piz al met el capel, lassa la ranza e ciapa el rastrel".

FOTO: S. FRATIANNI

Figura 5.3



toposti a validazione automatica sono state calcolate le medie orarie, raggruppando i dati sulla base del mese e si sono ottenuti i corrispondenti grafici. Si riportano i grafici relativi a quattordici stazioni meteorologiche dotate di serie statistica più lunga e completa, rappresentative dell'intero territorio piemontese (Figura 5.4).

La stazione di Domodossola è situata nel bacino fluviale del Toce, in una valle aperta, a quota 252 m, mentre Camini Frejus è situata in un fondovalle chiuso, ad una quota di 1740 m nel bacino fluviale della Dora Riparia. Per Domodossola si avevano a disposizione 52156 dati validati su 52560 dati teorici (6 dati ogni ora per tutti i giorni dell'anno). Nel caso di Camini Frejus i dati disponibili erano invece 47921 su 52560 teorici.

Si nota come nel caso di Domodossola durante tutto l'anno la velocità media oraria rimane inferiore ai 4,5 m/s. I valori più alti di velocità sono concentrati nelle ore più calde della giornata, nel periodo primavera-estate, mentre, indifferentemente dall'ora, nei mesi autunnali si registrano i valori di velocità più bassi. Si nota inoltre come, indipendentemente dalla stagione, i valori di velocità del vento sono inferiori a 2 m/s nelle ore più fredde della giornata.

La distribuzione dei dati ottenuta potrebbe essere anche correlata al fenomeno delle brezze. Tale supposizione ha indotto ad approfondire l'analisi dei dati a tal proposito.

A Camini Frejus si rileva un massimo concentrato nel mese di marzo (da 2,5 a 3,5 m/s) per tutto l'arco della giornata: unica eccezione è rappresentata dalle 9 alle 17 in cui l'isolinea di massima intensità coinvolge anche i mesi compresi tra gennaio ed aprile. Il minimo (1-1,5 m/s) si protrae per tutte le ore del giorno nei mesi di settembre ed ottobre.

Si nota inoltre che a Camini Frejus, analogamente a Domodossola, i valori più alti di velocità si registrano nelle ore centrali della giornata, in corrispondenza dei mesi primaverili. A differenza di Domodossola, però, la velocità media è elevata in tutto il mese di marzo, indipendentemente dall'ora della giornata. Questo andamento è legato al fenomeno del foehn, caratteristico in questo periodo dell'anno in tale località.

In accordo con Domodossola, inoltre, anche nella stazione di Camini Frejus i valori più bassi di velocità media si registrano nel periodo autunnale, indipendentemente dall'ora del giorno.

L'analisi effettuata evidenzia l'influenza sulle misure sia della quota sia della particolare locazione della stazione, avendo ottenuto risultati parzialmente differenti in stazioni poste a quote diverse e in aree spazialmente distanti.

Limone Pancani (Figura 5.4) registra un massimo di velocità del vento distribuita su tutto l'arco della giornata, ma concentrata nei mesi tardo-estivi ed autunnali. Il picco massimo di 4,5 m/s si individua nel mese di ottobre, intorno alle sei del mattino.

Colle Lombarda presenta un andamento bimodale di massima ventosità nei mesi di febbraio e ottobre (4 m/s) durante l'arco di tutta la giornata. I mesi primaverili ed estivi sono quelli che presentano il minimo di intensità (da 1 a 1,5 m/s).

Gad presenta un'elevata intensità del vento (6-7 m/s), concentrata dalle ore 10 alle 15 per tutto l'arco dell'anno anche se nei mesi di ottobre, novembre e dicembre il vento conserva una più bassa velocità (4 m/s). Il sito, sicuramente interessato da uno spiccato regime di brezza, presenta valori sempre piuttosto sostenuti di velocità (quasi sempre 3 m/s) per tutto l'anno e in tutte le ore rimanenti.

A Montaldo Scarampi il massimo di velocità si ha dalle 13 alle 00 ed è soprattutto concentrato nei mesi primaverili ed estivi. Il picco massimo, di 4 m/s si registra intorno alle ore 15 nel mese di aprile. Il picco minimo, di 1,5 m/s si evidenzia in settembre alle ore 9. Tuttavia basse velocità del vento (2 m/s) si estendono dalle 8 alle 13, con uno spostamento di orario dalle 9 alle 15 nel periodo di novembre e dicembre. Sicuramente in questo sito si verifica il fenomeno delle brezze di monte e di valle.

A Cameri la massima intensità del vento (circa 2,5

Figura 5.4

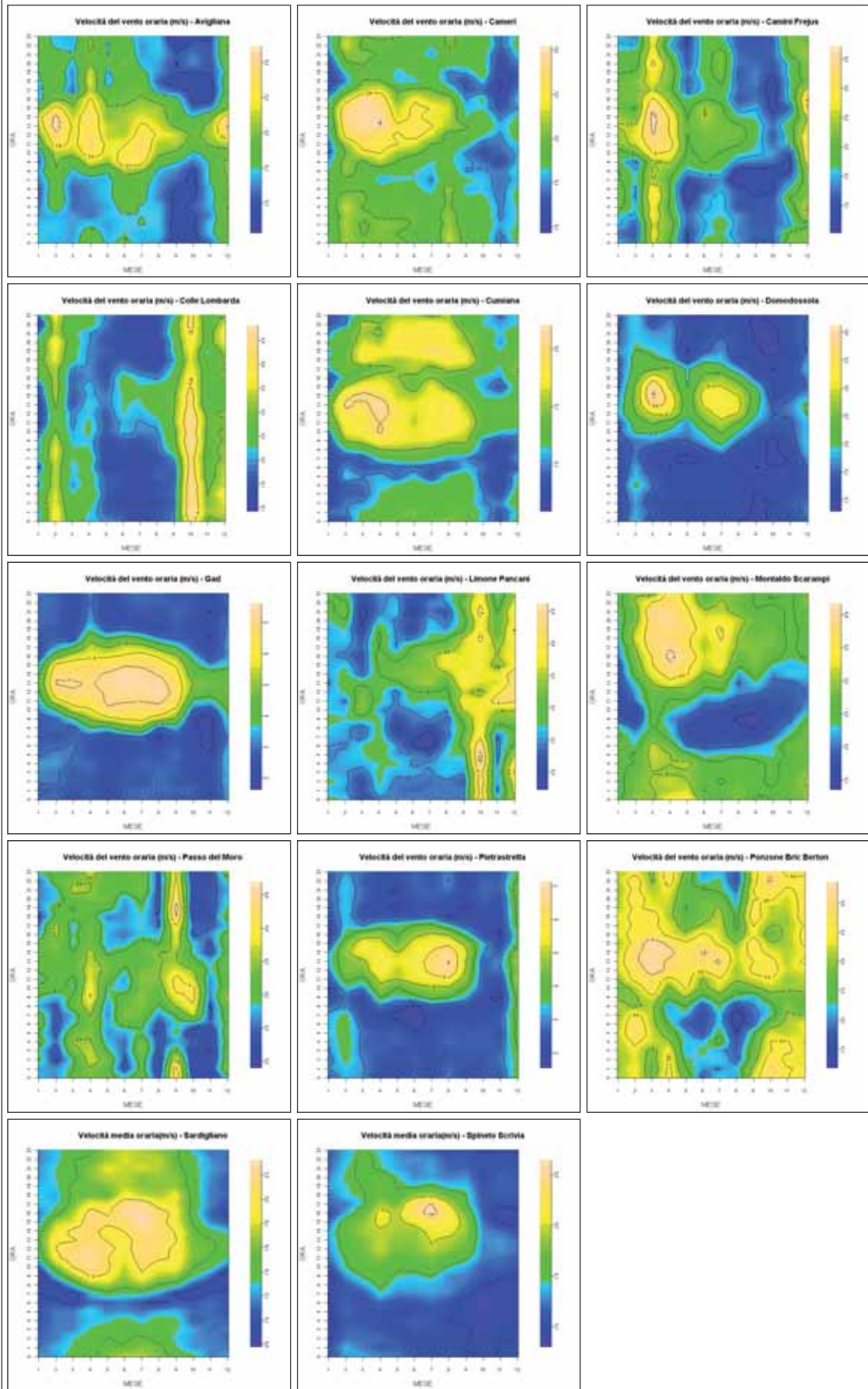


Figura 5.4

Rappresentazione, attraverso isolinee, della velocità media oraria durante "l'anno medio", in funzione dell'ora (sull'asse delle ordinate) e dei mesi (sull'asse delle ascisse).



Figura 5.5

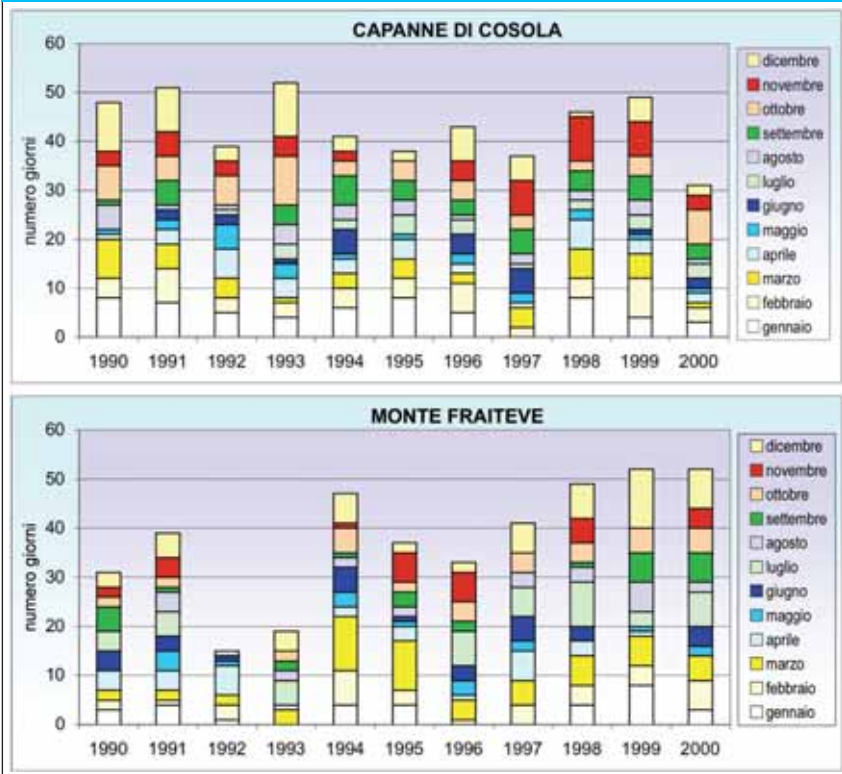


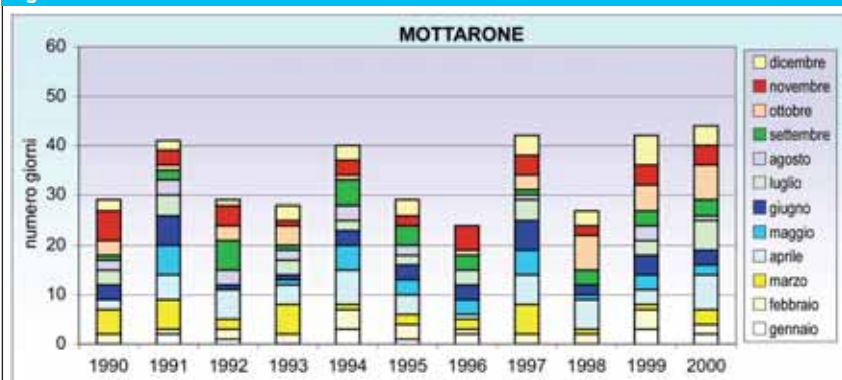
Figura 5.5

Andamento annuale e mensile del numero di giorni in cui si è manifestato vento molto forte (7.6-10 m/s) per le stazioni di Capanne di Cosola (in alto) e Monte Fraiteve (in basso).

Figura 5.6

Stazione di Mottarone presa come esempio per i numerosi giorni con vento forte, da 5.1 a 7.5 m/s.

Figura 5.6



m/s) è concentrata tra le 10 e le 17 e si manifesta nei mesi da febbraio a luglio. Il massimo principale si registra alle ore 13 in aprile. Il minimo cade in novembre dove l'intensità del vento è distribuita in modo uniforme durante tutta la giornata.

A Cumiana e a Sardigliano la velocità del vento è piuttosto bassa durante tutto l'anno. Tuttavia, il massimo (2 m/s) si estende da febbraio a settembre e dalle 9 alle 15. Per queste stazioni non si identificano regimi di brezza, come a Domodossola, infatti il massimo di velocità del vento (3,5-4 m/s) si registra tra le 12 e le 16 nei mesi da gennaio a settembre.

Ad Avigliana il massimo di intensità si concentra

dalle ore 9 alle 16 in tutti i mesi. Il picco massimo di 3 m/s si individua alle ore 13 del mese di febbraio. Ottobre è invece il mese in cui si registrano i valori più bassi di velocità del vento.

La stazione di Passo del Moro registra la velocità massima nel mese di settembre durante tutto l'arco della giornata. In aprile, settembre ed ottobre si raggiungono i 4,5 m/s nelle ore centrali del giorno (dalle ore 9 alle ore 12).

A Pietrastretta, Gad e Spineto Scrivia la rappresentazione grafica risulta molto simile con l'individuazione di una "isola" di massima velocità. In tutti i mesi, ad eccezione di dicembre per la stazione di Pietrastretta, si registra un aumento dell'intensità del vento nelle ore centrali della giornata, situazione riferibile al fenomeno delle brezze di monte e di valle. Occorre inoltre sottolineare che la velocità massima di 7 m/s è raggiunta soltanto dalle stazioni di Gad e Pietrastretta, dove l'isolinea racchiude il mese di agosto dalle 12 alle 14. Più esteso è il periodo della medesima isolina a Gad, dove comprende i mesi di febbraio, marzo alle ore 13 e da maggio ad agosto dalle ore 11 alle ore 14 circa. Ponzone Bric Berton presenta una buona intensità del vento (intorno ai 4 m/s) in tutti i mesi e comprende quasi tutte le ore della giornata, ad eccezione dei mesi di giugno, luglio ed agosto in cui nelle ore notturne e nelle prime ore del mattino si assiste ad una diminuzione della velocità del vento che oscilla intorno a 1,5-2 m/s.

## 5.4 CLASSI D'INTENSITÀ MEDIA DEL VENTO

Al fine di individuare le stazioni con la maggior presenza di giorni con vento forte, si è effettuata una distinzione arbitraria dell'intensità media giornaliera del vento in debole (da 1 a 2.5 m/s), moderata (2.6-5 m/s), forte (5.1-7.5 m/s) e molto forte (7.6-10 m/s) per tutte le stazioni meteorologiche disponibili sul territorio piemontese, nel periodo 1990-2000.

Le stazioni meteorologiche in cui si concentrano più giorni con vento molto forte per ogni anno sono Monte Fraiteve, Colle San Bernardo e Capanne di Cosola. Sono anche le tre stazioni che registrano i valori più alti di intensità media annua del vento ed oscillano tra i 5,3 m/s di Capanne di Cosola ai 5,6

m/s di Colle San Bernardo, il valore più elevato di tutte le stazioni prese in esame. Il vento che soffia tra i 7.6 e i 10 m/s è abbastanza presente sul territorio ma concentrato alle stazioni di montagna. Ad esempio si osservano un massimo di 52 giorni con vento molto forte nel 1999 e 2000 per Monte Fraiteve e lo stesso numero di giorni si registra nel 1993 per Capanne di Cosola. Pochi giorni molto ventosi si individuano in alcune annate per Monte Fraiteve (15 giorni nel 1992 e 19 giorni nel 1993), mentre per la stazione di Capanne di Cosola il minimo si registra nel 2000 con 31 giorni (Figura 5.5). È da sottolineare l'andamento di Capanne di Cosola: il numero di giorni molto ventosi diminuiscono notevolmente durante le stagioni primaverile ed estiva. Il numero di giorni con vento forte che oscilla tra i 5.1 e i 7.5 m/s sono ben presenti a Mottarone: si individua un massimo di 44 giorni nel 2000 ed un minimo di 29 giorni nel 1998 (Figura 5.6). Si evidenziano, per la presenza del maggior numero di giorni con vento moderato, Pietrastretta, Bric-Berton, Rifugio Gastaldi e Gad due stazioni ubicate a quote elevate, dove normalmente il vento risulta più intenso e due stazioni appartenenti alla Valle di Susa che, data la morfologia stessa della valle e il suo orientamento Est-Ovest, crea un vero e proprio corridoio con venti che soffiano prevalentemente nella direzione W. Il vento proveniente da Ovest è solitamente molto forte su tutte le Alpi Occidentali. A Gad (Figura 5.7) si registrano ben 260 giorni medi annui con vento che oscilla tra i 2.5 e 5 m/s: se si considera l'andamento mensile si nota una diminuzione sostanziale del numero di giorni con vento moderato nei mesi invernali (12 giorni in dicembre) ed un aumento notevole in primavera ed in estate (25 giorni in agosto), con l'instaurarsi del fenomeno delle brezze di bel tempo.

Le stazioni con più di due anni di attività dell'anemometro che presentano più giorni di vento debole da 1 a 2.5 m/s con spiccata uniformità e regolarità in tutti i mesi e per tutti gli anni disponibili sono: Avigliana, Moncalieri Bauducchi, Torino Buon Pastore (Figura 5.8), Vercelli, Domodossola, Bra, Fossano, Casale Monferrato, Crea, Carmagnola, Prarotto e Oropa e risultano i siti in cui i giorni di calma di vento sono più numerosi (cfr. capitolo 7 sulle calme di vento).

Figura 5.7

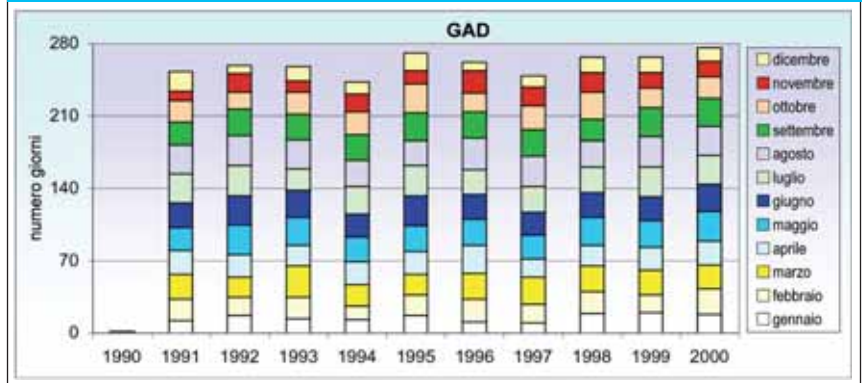


Figura 5.8



Figura 5.9



Figura 5.7

Stazione di Gad presa come esempio per i numerosi giorni con vento moderato, da 2.6 a 5 m/s.

Figura 5.8

Stazione di Torino-Buon Pastore presa come esempio per i numerosi giorni con vento debole, da 1 a 2.5 m/s.

Figura 5.9

Stazione meteorologica di Monte Fraiteve ubicata a 2701 m di quota in località turistica Sestriere.



# Massima raffica



Per tutte le stazioni disponibili nel periodo dal 1990 al 2003 è stata selezionata la massima raffica giornaliera (Tabella 6.1). Le stazioni sono state ordinate cronologicamente in base al giorno di massima raffica registrato dagli anemometri. Inoltre si è assegnato lo stesso colore alle stazioni con la massima raffica nello stesso giorno e un colore sfumato quando si verificava per più stazioni in giorni consecutivi.

L'evento più importante di massima intensità di raffica è stato registrato il 26/01/1994 per la stazione di Monte Fraiteve con 44.7 m/s. A questo episodio seguono i 44.5 m/s di Alagna - Bocchetta delle Pisse, i 44.3 m/s di Passo del Moro e i 42.3 m/s di Rifugio Gastaldi, verificatisi nello stesso giorno: il 27/02/1990.

Il 15 febbraio del 1990 i valori di massima raffica si sono registrati per le stazioni di Cumiana (30.8 m/s), Mombarcaro (27.7 m/s) e Pino Torinese (24.2 m/s).

Nel periodo dal 27 marzo al 29 marzo del 1995 si è verificato l'episodio che ha fatto registrare le raffiche più elevate per numerose stazioni: Bra, Fossano, Lago Valsoera (44.2 m/s), Cameri, Gad (29.2 m/s), Mottarone, Prerichard, Carmagnola e Formazza (36.1 m/s). Da ricordare anche l'episodio del 25, 26 e 27 dicembre 1999 che si è esteso ai siti di Barcenisio, Pian delle Baracche, Rifugio Mondovì (40 m/s), Colle Bercia e che ha colpito con maggiore intensità le regioni oltralpe.

## 6.1 EPISODI ED EFFETTI

Il 26 dicembre 1999 rimarrà per sempre impresso soprattutto in Francia e in Svizzera. Infatti, tra il 26 ed il 28 dicembre del 1999 due tempeste di eccezionale violenza attraversarono in rapida successione mezza Europa ed in particolare la Francia, da ovest verso est (Figura 6.1). La prima venne chiamata Lothar e la seconda Martin: insieme, causarono 100 morti in tutto il Paese e danni senza precedenti sia alle vaste foreste che ricoprono i territori d'Oltralpe e sia alle città ed ai villaggi che si trovavano sul loro passaggio. I risarcimenti che le assicurazioni hanno pagato per i danni subiti a causa di questi veri e propri uragani hanno toccato una cifra prima d'allora mai raggiunta in Francia per un disastro naturale, pari a 6 miliardi di euro.

Ma i danni più gravi, incalcolabili, li hanno subiti boschi e foreste, pubbliche e private: ancora oggi nel Paese sono evidentissimi i segni del passaggio delle due tempeste e gli esperti dicono che ci vorranno almeno altri 15 anni perché la situazione torni alla normalità da questo punto di vista.

In Svizzera "Lothar" ha causato la morte di 14 persone, mentre 15 persone sono perite nei boschi durante i lavori di sgombero. Lothar ha causato i danni al bosco più gravi mai registrati dalla forza del vento. In un solo giorno, l'uragano Lothar ha abbattuto un numero d'alberi pari a quello che i forestali normalmente prelevano dal bosco in due anni, per

Tabella 6.1

Individuazione del giorno in cui si è raggiunto il picco di massima raffica per tutte le stazioni disponibili, nel periodo 1990-2003.

Stazioni	Quota (in m)	Max raffica (m/s)	Data
CUMIANA	327	30.8	15/02/1990
MOMBARCARO	896	27.7	15/02/1990
PINO TORINESE	608	24.2	15/02/1990
BOCCHETTA DELLE PISSE-ALAGNA	2410	44.5	27/02/1990
PASSO DEL MORO	2820	44.3	27/02/1990
RIFUGIO GASTALDI	2659	42.3	27/02/1990
ALESSANDRIA LOBBI	90	25.9	28/06/1990
BELMONTE	687	40.9	20/12/1991
COLLE SAN BERNARDO	980	38.1	20/12/1991
AVIGLIANA	340	31.8	22/12/1991
BORGONE	400	31.6	22/12/1991
COLLE BARANT	2294	40.7	22/12/1991
FINIERE	813	27.5	22/12/1991
LE SELLE	1950	34.8	22/12/1991
PONZONE BRIC BERTON	773	33.6	29/08/1992
BORGOFRANCO D'IVREA	337	33.7	04/09/1992
CAPANNE DI COSOLA	1550	40.1	28/12/1992
MONTE FRAITEVE	2701	44.7	26/01/1994
CAMINI FREJUS	1740	32.7	28/01/1994
TORINO BUON PASTORE	240	17.3	26/06/1994
MONTE MALANOTTE	1735	42.1	31/08/1994
BRA	285	20.3	27/03/1995
FOSSANO	403	23.2	27/03/1995
LAGO VALSOERA	2365	44.2	27/03/1995
CAMERI	173	22.2	28/03/1995
GAD	1065	29.2	28/03/1995
MOTTARONE	1491	42	28/03/1995
PRERICHARD	1353	22.2	28/03/1995
CARMAGNOLA	232	19.1	29/03/1995
FORMAZZA	2453	36.1	29/03/1995
BAUDUCCHI	226	33.2	17/01/1997
DOMODOSSOLA	252	32.1	20/09/1997
CASALE MONFERRATO	118	25	08/03/1998
BERGALLI	385	19.5	04/04/1998
MONTALDO SCARAMPI	295	31.4	03/07/1998
VERCELLI	132	29.5	27/07/1998
ARQUATA SCRIVIA	325	22.6	29/10/1998
OROPA	1162	32.5	05/02/1999
PRAROTTO	1440	23.8	05/02/1999
BALDISSERO D'ALBA	265	15.5	22/02/1999
SARDIGLIANO	228	25.7	16/04/1999
BARCENISIO	1525	30.1	25/12/1999
PIAN DELLE BARACCHE	2135	31.5	26/12/1999
RIFUGIO MONDOVI	1760	40	26/12/1999
COLLE BERCIA	2200	23.5	27/12/1999
CASTELLAR PONZANO	146	21.9	18/01/2000
SALBERTRAND	1010	30.8	09/02/2000
NOVI LIGURE	162	18.3	13/04/2000
BASALUZZO	128	18.5	11/07/2000
CLOT DELLA SOMA	2150	23.1	20/09/2000
BOVES	575	17	22/03/2001
CREA	385	20.3	13/12/2001
PIETRASTRETTA	520	40.4	19/03/2002
RIFUGIO VACCARONE	2745	41.1	20/03/2002
ISOLA S. ANTONIO	77	39.2	05/08/2002
LAGO PILONE	2280	26.5	06/11/2002
LIMONE PANCANI	2008	30.1	14/11/2002
COLLE LOMBARDA	2305	39.1	15/11/2002
SPINETO SCRIVIA	187	22.7	16/11/2002
PIVERONE	230	23.7	27/07/2003



l'utilizzazione del legname. I danni maggiori alla foresta erano finora stati provocati dall'"uragano" Vivian, che il 27-28 febbraio 1990 aveva abbattuto 4,9 milioni di metri cubi di piante da legno. Anche in questo caso alcune raffiche hanno raggiunto l'Italia, oltrepassando le Alpi, ed hanno interessato, come si può vedere dalla tabella 6.1, le stazioni di confine ubicate in quota di Alagna, Passo del Moro e Rifugio Gastaldi.

Vengono analizzate anche la tempistica dei due "uragani" che in 48 ore gettarono l'intera Francia nel caos: Lothar raggiunse la Finistère (regione dell'ovest del Paese) alle 02:00 del 26 Dicembre 1999. Undici ore dopo aveva passato Strasburgo (al confine con la Germania) con venti fino a 44 m/s. Il giorno dopo, 27 Dicembre 1999, un secondo "uragano", Martin colpì un po' più a sud, spostandosi sempre dall'Atlantico verso il cuore della Nazione. I venti in questo caso raggiunsero la spaventosa velocità di 67 m/s. Metà dei dipartimenti francesi fu colpita dal disastro, ma la maggior parte dei danni e delle perdite venne registrata nella sola Lorena e nell'Acquitania. Martin ha colpito i giorni 27 e 28 il centro sud della nazione, con raffiche che hanno spirato fino a 45

m/s a Saint Saveur, fino a 43 m/s a Cape Ferret, fino a 39 m/s a Clermont Ferrand e fino a 39 m/s a Cape Cepet nei pressi di Tolone. Vento fortissimo anche in Corsica: a Ile Rousse e Bastia le raffiche hanno superato i 42 m/s (pari a 150 km/h).

Anche la Svizzera è stata coinvolta dalla tempesta. Se a Zurigo il vento ha raggiunto i 36 m/s, a La Chaux de Fonds tra il 25 ed il 28 si sono registrate raffiche di vento molto elevate, con vento medio tra i 19 e i 22 m/s.

Una conseguenza positiva, se è possibile dire così, gli uragani del dicembre del 1999 l'hanno avuta: da allora infatti, stante il profondo choc in cui sono state gettate milioni di persone, Meteo France si è dotato di un efficiente sistema di preavviso per eventi meteorologici estremi, che hanno lasciato un segno indelebile nella popolazione francese.

La statistica indica un aumento degli episodi gravi di schianto dovuto al vento e un forte incremento dei danni al bosco. La realtà assomiglia pertanto sempre più allo scenario pronosticato per la destabilizzazione del clima, in seguito ai cambiamenti climatici, senza costituire però una prova scientifica di tali cambiamenti.

Figura 6.1

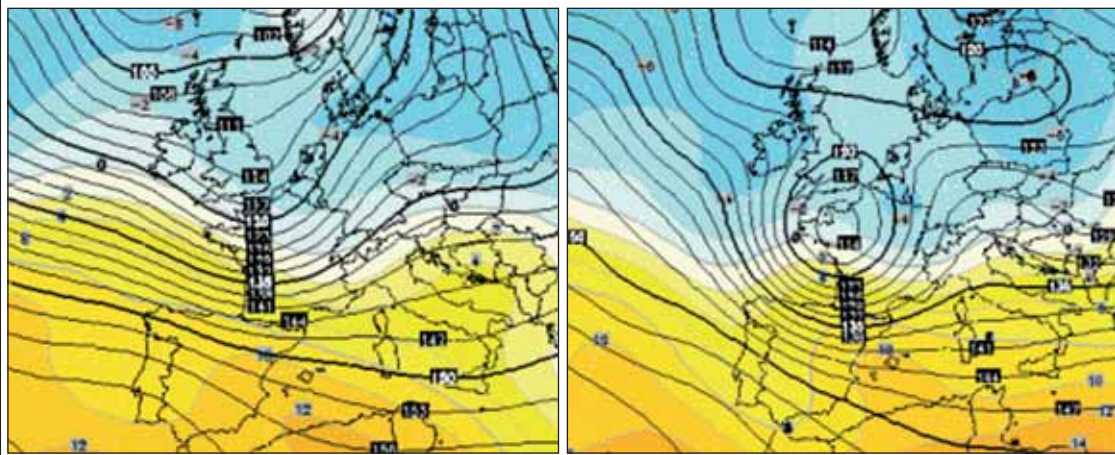


Figura 6.1

Nella prima immagine il ciclone Lothar sulla Francia il 26 dicembre 1999. Nella seconda immagine il ciclone Martin la sera del 27 dicembre 1999 avvicina le coste della Normandia.

Fonte archivio: Reanalisi Meteo Giornale.



# Calme di vento



## 7.1 FREQUENZA DI CALMA DI VENTO

Il fenomeno della calma di vento ricopre un aspetto determinante nel favorire la concentrazione di inquinanti in atmosfera, impedendo il normale rimescolamento e quindi di particolare interesse per il monitoraggio della qualità dell'aria.

Al fine di produrre un'analisi dell'andamento giornaliero dei fenomeni di calma di vento, si sono analizzate le frequenze delle calme orarie, in funzione dell'ora del giorno e del mese.

Da tale analisi viene evidenziata, come caratteristi-

ca comune a tutti i siti considerati, la concentrazione del fenomeno nelle prime ore del mattino e della sera, in accordo con la teoria della turbolenza dello strato limite planetario (Stull, 1988) ed un aumento della ricorrenza nei mesi freddi che vanno da settembre a gennaio.

In generale il fenomeno della calma risulta sporadico nei mesi primaverili ed estivi e sempre quasi assente nelle ore centrali e più calde della giornata. Le immagini (Figura 7.1) mostrano la frequenza di accadimenti di calme di vento – ovvero velocità del vento misurata nei 10 minuti inferiore a 1 m/s – in funzione del mese dell'anno (ascissa) e dell'ora UTC

Figura 7.1

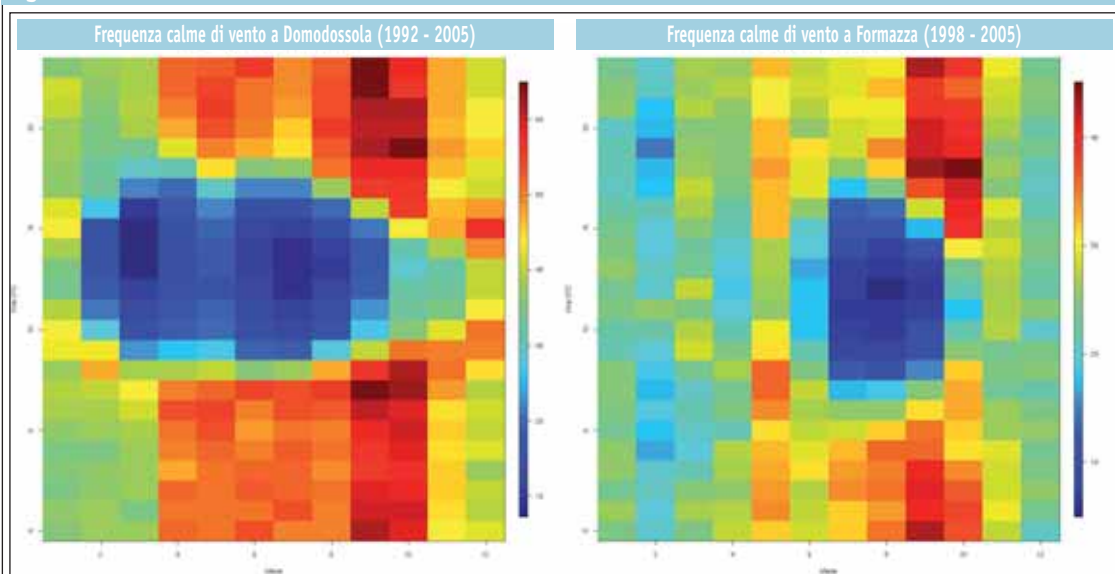
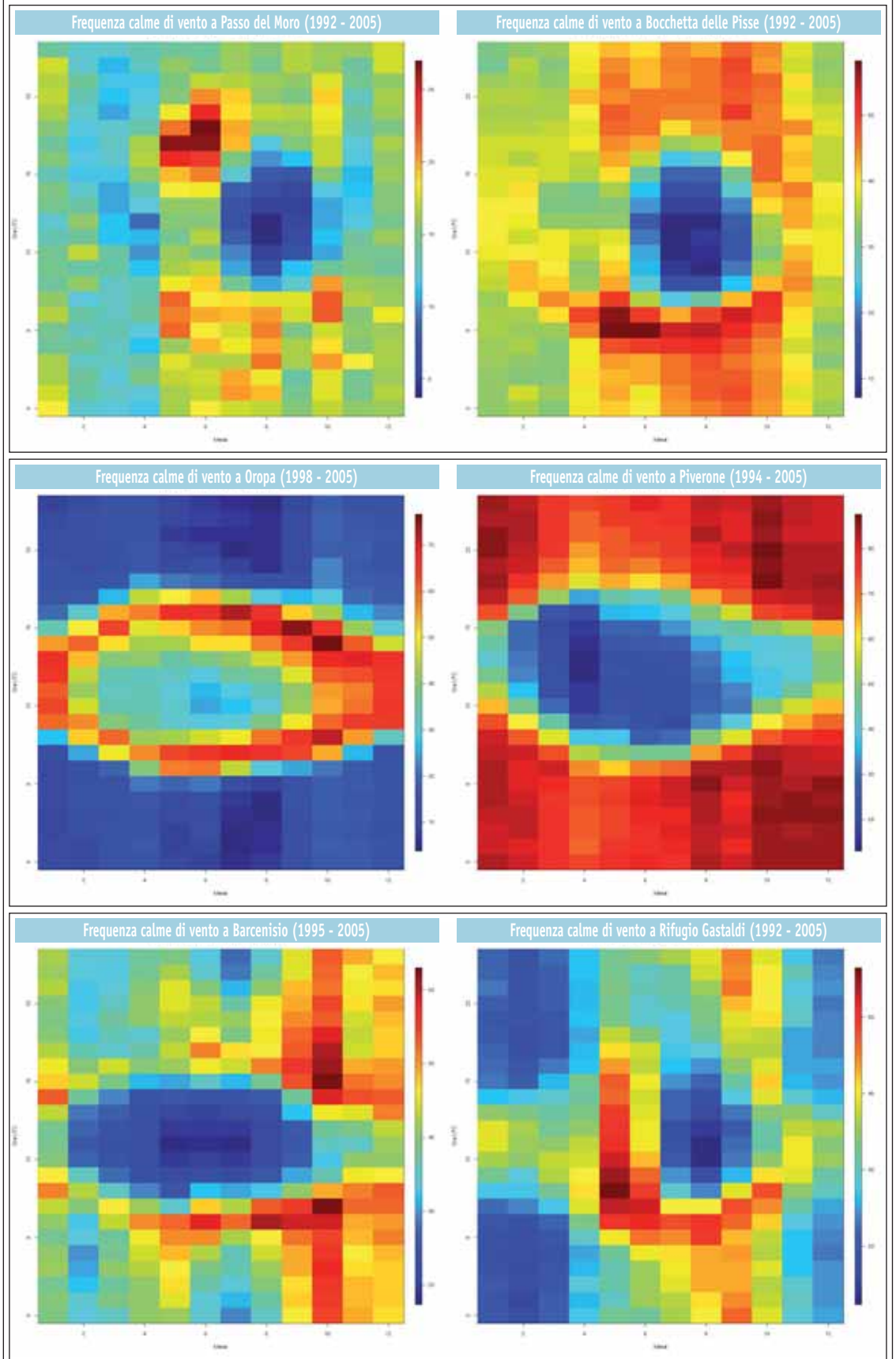


Figura 7.1

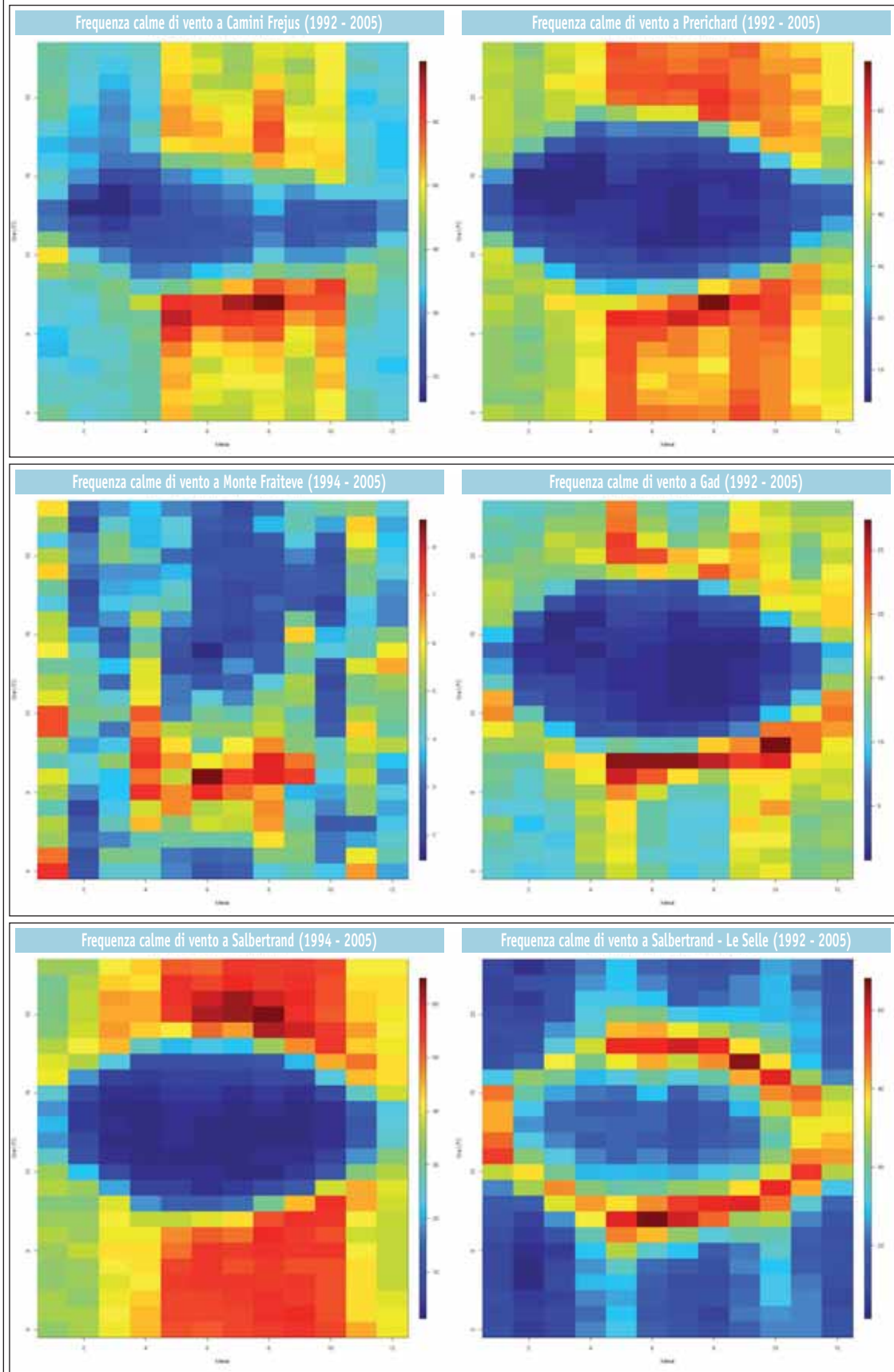
Frequenza di calme di vento in percentuale per alcune stazioni rappresentative.



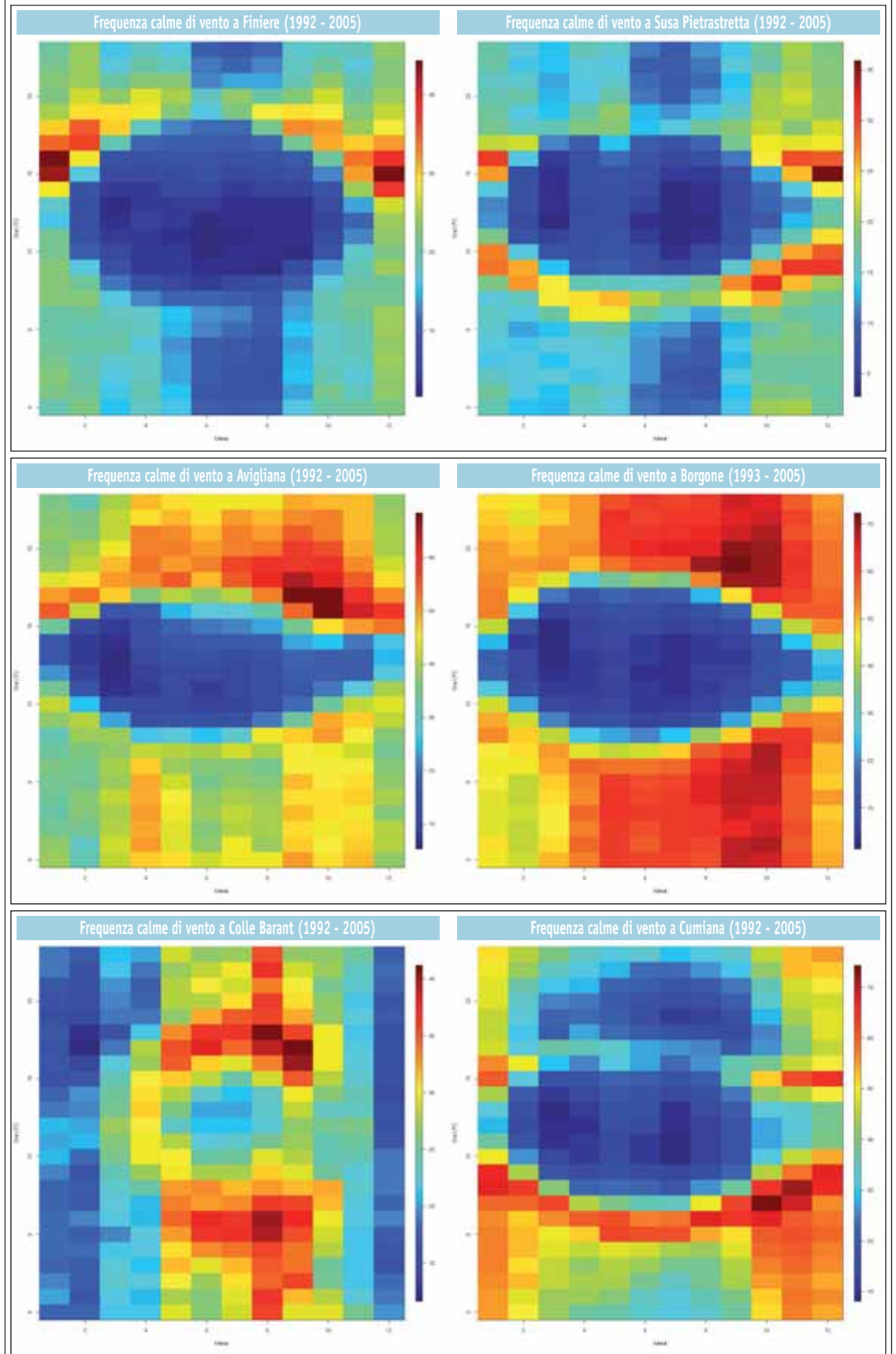
segue Figura 7.1



segue Figura 7.1

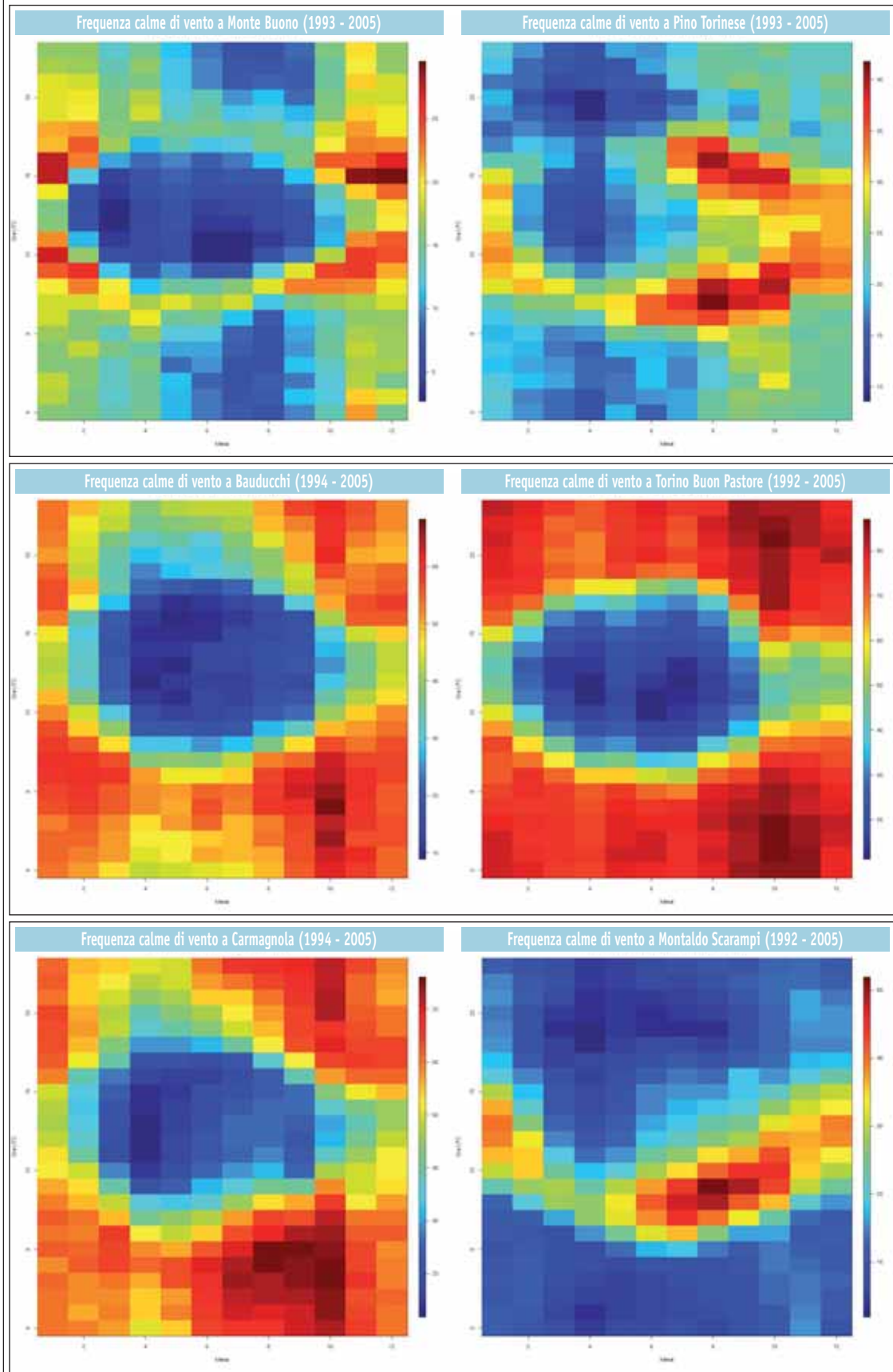


segue Figura 7.1

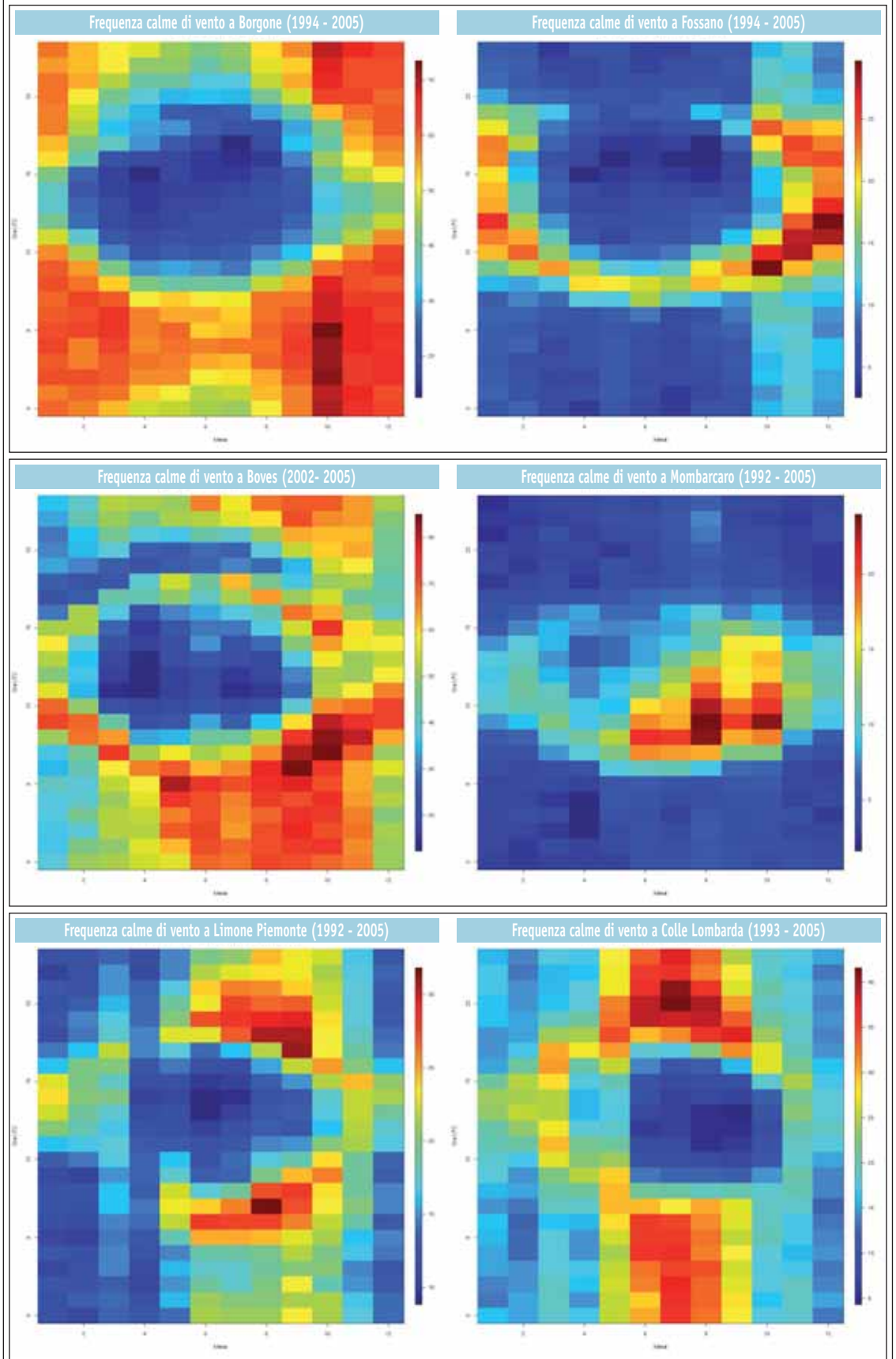




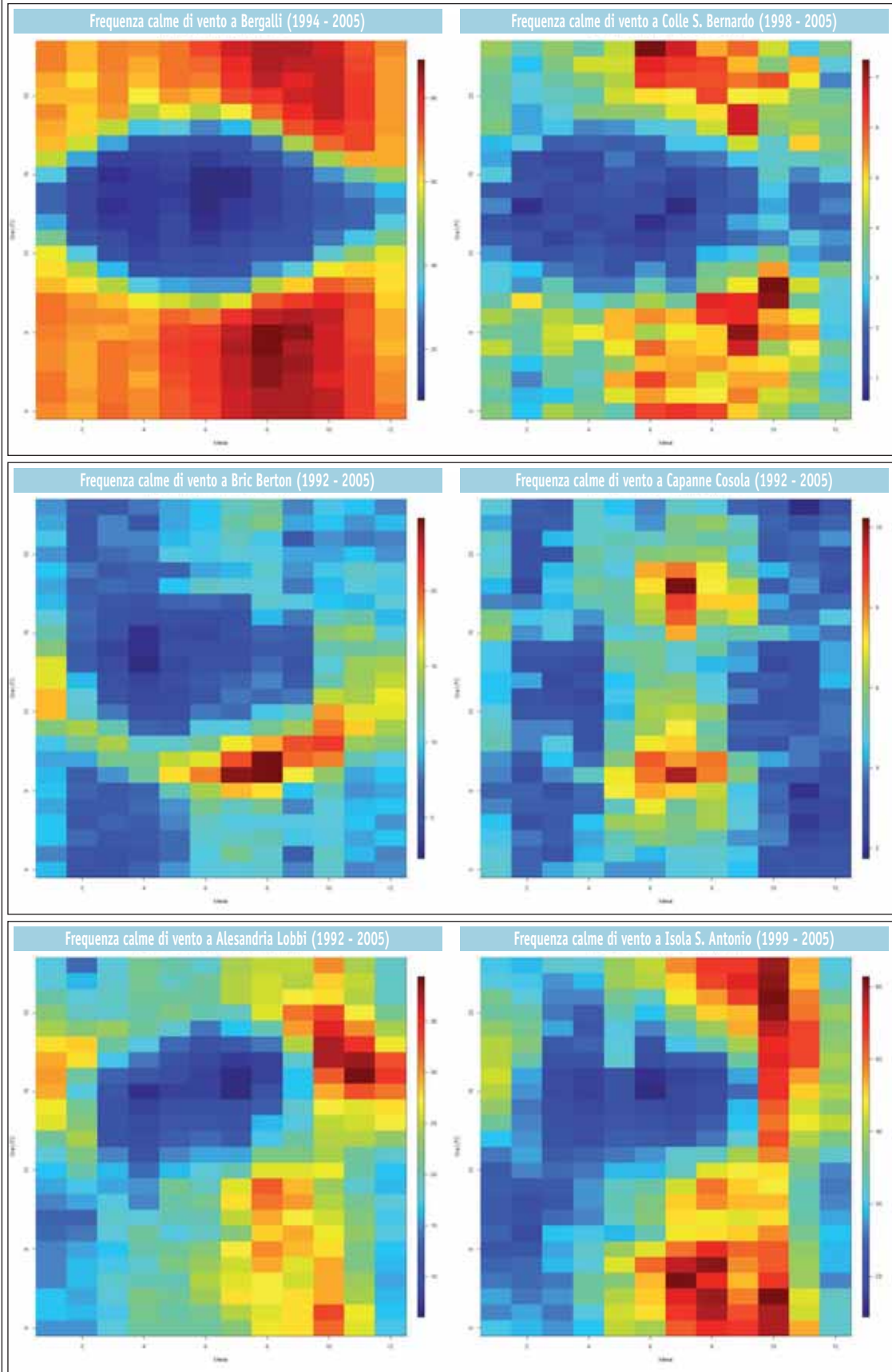
segue Figura 7.1



segue Figura 7.1



segue Figura 7.1





segue Figura 7.1

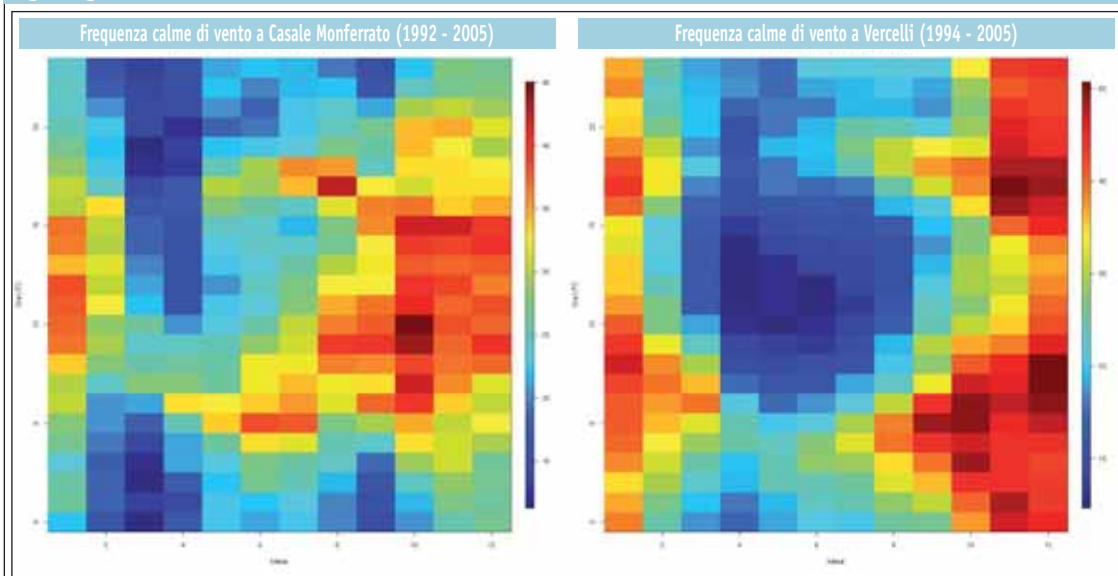


Tabella 7.1

Numero annuo di giorni di calma di vento per le stazioni analizzate con totale complessivo di tutti gli anni di analisi e valore medio annuo.

del giorno. La frequenza, espressa in valore percentuale, è rappresentata in scala di colore rapportata ai valori minimo e massimo per ogni stazione: tale rappresentazione mette in risalto l'andamento giornaliero delle calme di vento.

Tali frequenze sono state calcolate per le stazioni

anemometriche della rete meteoidrografica in telemisura con almeno 5 anni consecutivi di dati. Agosto e settembre sono i mesi nei quali generalmente sono più frequenti le calme di vento, mentre febbraio, marzo ed aprile mostrano valori minimi.

Come atteso, gli anemometri, installati su vette,

Tabella 7.1

Stazione	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Totale	Media
Carmagnola				59	88	78	74	97	77	83	68	65	689	77
Torino Buon Pastore	80	57	57	82	89	71	55	78	61	76	124	71	901	75
Novi ligure									69	75	65	86	295	74
Piverone				39	66	69	48	60	86	91	56	69	584	65
Bauducchi				36	61	53	42	60	67	52	50	53	474	53
Basaluzzo									31	54	40	66	191	48
Bra				18	30	33	51	64	50	44	63	52	405	45
Cumiana	44	49	43	35	40	39	35	44	28	37	48	35	477	40
Domodossola	35	30	20	16	34	51	38	36	43	24	84	50	461	38
Baldissero d'Alba								3	51	49	49	33	185	37
Arquata Scrivia									26	37	32	36	131	33
Vercelli				14	28	28	29	46	31	40	39	32	287	32
Castellar Ponzano									19	24	36	39	118	30
Spineto Scrivia									21	22	19	28	90	23
Camini Frejus	9	27	21	11	25	19	21	29	25	27	2	21	237	20
Bocchetta Pisse	27	33	20	28	6	14	13	7	26	21	11	12	218	18
Crea								8	13	14	22	25	82	16
Barcenisio					4	10	17	30	18	15	19	10	123	15
Borgone		4	12	9	13	13	19	28	7	8	14	13	140	13
Bergalli	6	10	1	14	10	14	13	26	16	21	10	7	148	12
Clot della Soma							5	15	14	15	14	7	70	12
Alessandria Lobbi	23	4	4	7	21	11	20	25	3	2	6	12	138	12
Prarotto								11	14	13	9	10	57	11
Cameri	15	8	11	8	9	10	11	10	4	23	26	0	135	11
Casale Monferrato	22	11	8	7	10	2	13	17	7	9	16	12	134	11
Sardigliano									7	8	12	17	44	11
Isola S. Antonio									7	5	12	19	43	11
Avigliana		8	6	6	8	9	9	11	12	7	27	9	112	10
Colle Bercia							4	12	3	10	7	8	44	7





San Bernardo non si sono mai registrati giorni con calma di vento.

La zona centrale del Piemonte, in particolare intorno alla città di Torino, presenta la maggiore frequenza di giorni con calma di vento. Il particolare assetto geomorfologico della regione fa sì che il capoluogo piemontese rimanga piuttosto protetto e "circondato" dall'arco alpino ad Ovest e a Nord e dal lieve sollevamento collinare ad Est; tale conformazione orografica tende a favorire la calma di vento, con scarso flusso e ricambio di masse d'aria e conseguente atmosfera stagnante.

Per approfondire la situazione sinottica che causa la calma di vento a Torino, sono state correlate le calme di vento giornaliere registrate per la stazio-

ne di Buon Pastore con i tipi di tempo meteorologici. L'analisi delle strutture meteorologiche tipo è stata eseguita utilizzando i criteri di Borghi-Giuliaci (1985): si è proceduto alla catalogazione della configurazione sinottica di ogni giorno di calma di vento, confrontando soggettivamente le analisi delle 12 UTC di geopotenziale al livello isobarico di 850 hPa, fornite dal bollettino meteorologico europeo del Deutschen Wetterdienstes, con l'insieme delle situazioni fondamentali semplificate (vedere BOX 7.2) Si è inoltre eseguita un'integrazione delle 17 classi originarie con quella relativa alla configurazione con codice 150 che corrisponde ad una situazione sinottica frequente, con effetti interessanti sul Piemonte.

Le classi di tempo meteo-sinottico che causano un maggior numero di calma di vento sono: 140 (21%), 90 (14%) e 150 (10%). Invece quelle associate ad un minor numero di calme di vento sono: 60, 110, 32, 20, 130, 52, 10 (Tabella 7.2).

Un primo possibile legame tra frequenza delle calme e tipo di tempo viene ipotizzato per quanto riguarda la particolare conformazione orografica della regione. Generalmente le calme con le classi 10, 51, 52 sono più diffuse nelle valli di montagna a Nord e a Sud.

L'analisi della frequenza della condizione di calma di vento giornaliera, in corrispondenza dei diversi tipi di tempo, ha come obiettivo quello di fornire informazioni che possano essere estese alla fase previsionale delle condizioni critiche per la qualità dell'aria.

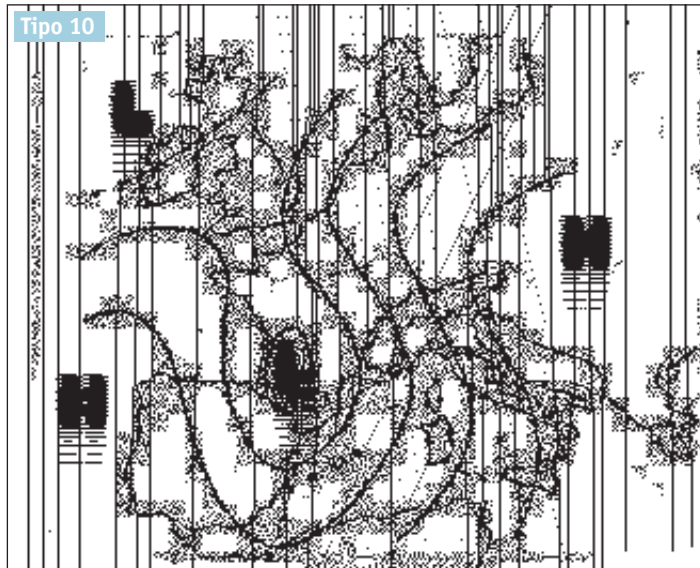
Tabella 7.2

Frequenza percentuale dei tipi di tempo registrati in presenza di calma di vento a Torino-Buon Pastore.

Tabella 7.2		
CALMA DI VENTO	Casi	Frequenza %
tipo di tempo 140	48	20,7
tipo di tempo 90	32	13,8
tipo di tempo 150	23	9,9
tipo di tempo 80	17	7,3
tipo di tempo 121	14	6,0
tipo di tempo 70	13	5,6
tipo di tempo 31	12	5,2
tipo di tempo 51	12	5,2
tipo di tempo 40	11	4,7
tipo di tempo 122	9	3,9
tipo di tempo 100	8	3,4
tipo di tempo 10	7	3,0
tipo di tempo 52	6	2,6
tipo di tempo 130	5	2,2
tipo di tempo 20	4	1,7
tipo di tempo 32	4	1,7
tipo di tempo 110	4	1,7
tipo di tempo 60	3	1,3

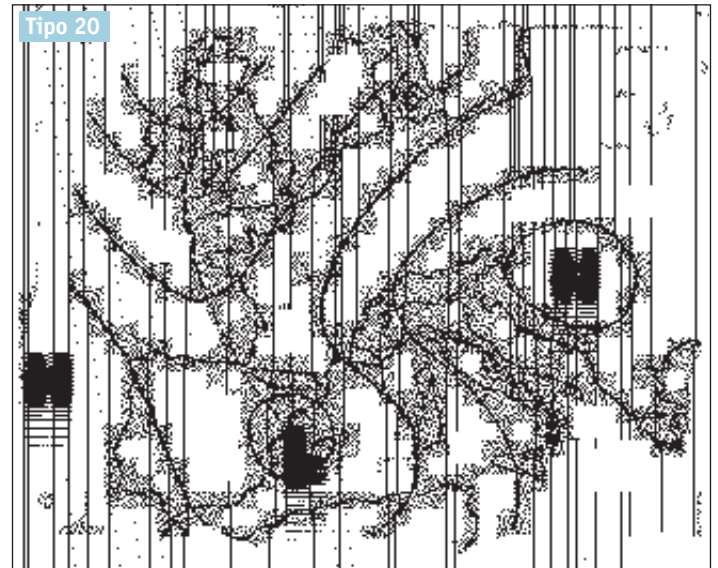
## 7.2 CLASSIFICAZIONE DEI TIPI DI TEMPO METEOROLOGICO

Tratto da "Tipi di tempo e distribuzione delle precipitazioni sulla montagna veneta" di Borghi e Giuliacci (1987)

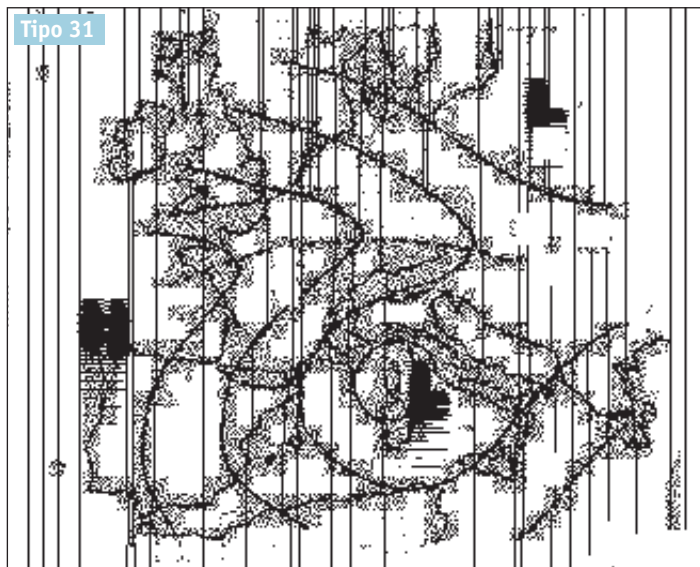


Strutture fondamentali: 1) Saccatura con asse che va dai Pirenei alle coste settentrionali dell'Africa, a cui è associata una depressione sulla Francia meridionale. 2) Alta pressione sull'Atlantico al largo del Portogallo. 3) Alta pressione sull'area danubiana.

Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonico-rettilinea, con flusso di aria umida da SudEst, che determina una situazione sfavorevole per le zone prealpine (in particolare il Verbano) a causa delle precipitazioni alimentate dal sollevamento orografico. Il sistema frontale spesso associato al minimo investe tutta la regione.

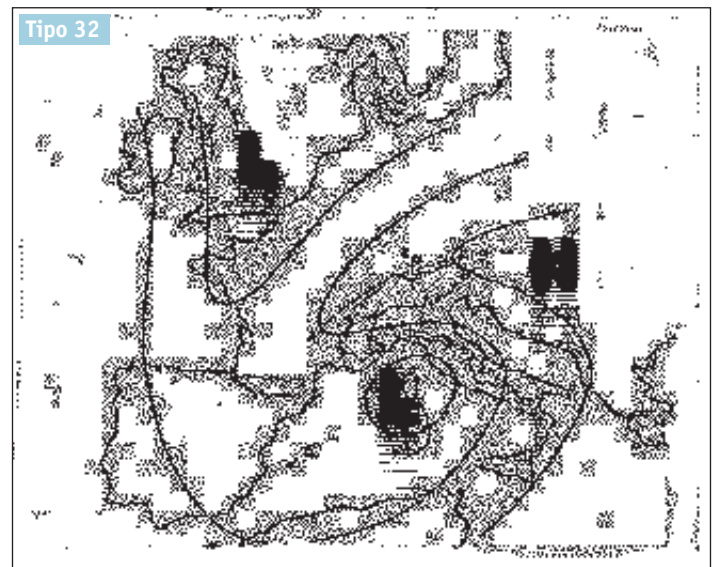


Strutture fondamentali: 1) Ampia saccatura con asse che va dalle Isole Britanniche alla Penisola Iberica, a cui è associato un minimo depressionario chiuso tra Spagna e Baleari. 2) Area di alte pressioni su Balcani e Italia. Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonico-rettilinea, con flusso umido da SudEst, che determina una situazione sfavorevole per il Piemonte Nordoccidentale a causa delle precipitazioni associate al sollevamento orografico e a fenomeni di convergenza del vento. Solo la parte calda del sistema frontale spesso associato al minimo investe attivamente la regione.



Strutture fondamentali: 1) Depressione sul Mediterraneo occidentale centrata sulla Corsica. 2) Promontorio anticiclonico con asse est-ovest esteso dall'Atlantico verso il centro Europa.

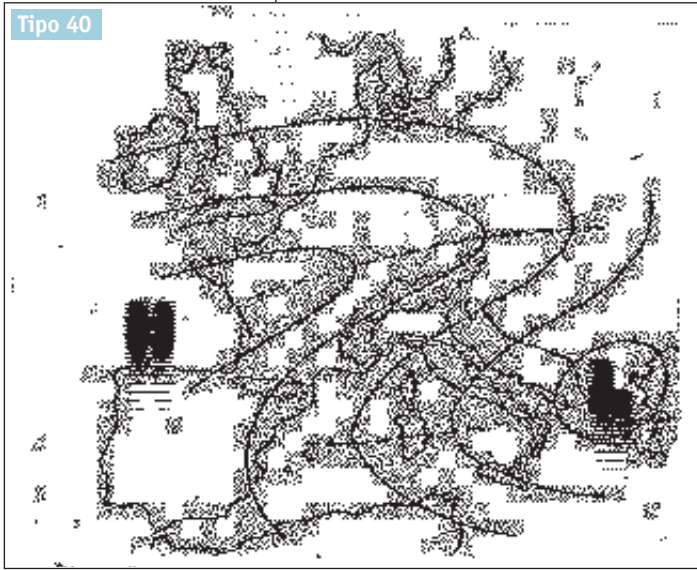
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica con flusso da Est, SudEst sul Piemonte centro meridionale, che determina una situazione sfavorevole per il Basso Piemonte, in particolare per il Cuneese, a causa delle precipitazioni che possono risultare anche molto intense trovandosi spesso in concomitanza con la parte occlusa del sistema frontale. Sulle zone alpine prevale invece una circolazione da NordEst.



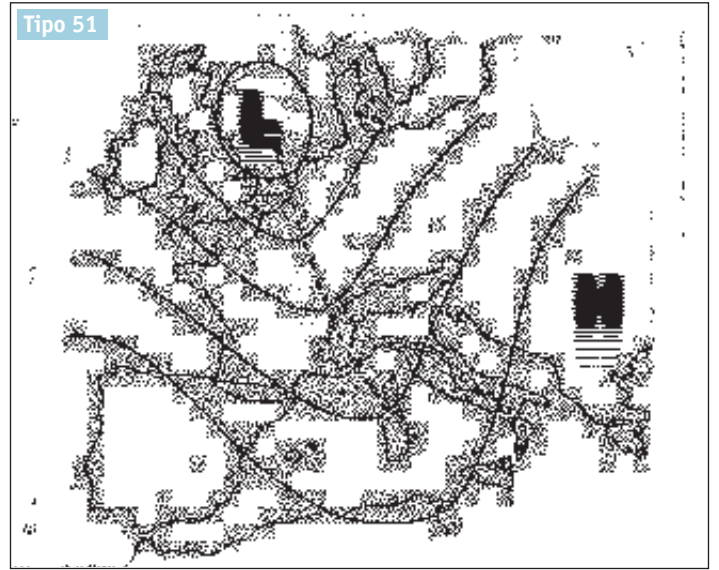
Strutture fondamentali: 1) Depressione sul Tirreno. 2) Promontorio anticiclonico con asse esteso dall'area danubiana verso l'arco alpino.

Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica sul basso Piemonte, con flusso da Est, che determina una situazione sfavorevole per il Piemonte occidentale a causa delle precipitazioni rafforzate dal sollevamento orografico. La circolazione da NordEst sulle Alpi settentrionali è spesso accompagnata da intrusioni di aria fredda continentale.



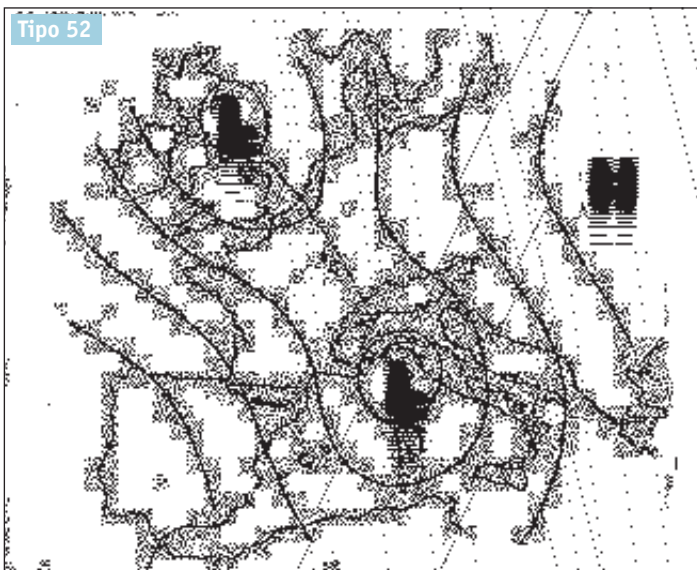


Strutture fondamentali: 1) Saccatura con asse Est-Ovest esteso dalla Grecia alle coste mediterranee della Penisola Iberica, a cui è associata una depressione sulla Grecia. 2) Promontorio anticiclonico a Nord dell'arco alpino, con asse disposto dall'Atlantico all'area danubiana. Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione rettilinea, con curvatura leggermente ciclonica; flusso da NordEst che determina l'afflusso di aria fredda e secca dall'Europa nord-orientale.

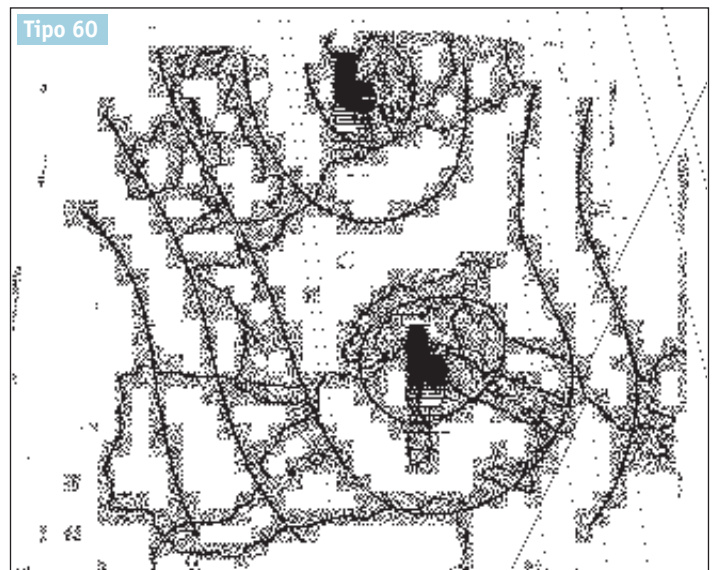


Strutture fondamentali: 1) Ampia saccatura con asse Nord-Sud disposto dalle Isole Britanniche al Mar Ligure e alla Sardegna, a cui è associata una depressione sulle Isole Britanniche. 2) Vasta area di alte pressioni ad Est della saccatura.

Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica con flusso umido da Ovest sui rilievi occidentali e da Ovest-SudOvest sul resto della regione. Configurazione caratteristica della fase del passaggio dal settore caldo a quello freddo di un sistema frontale. Precipitazioni sono probabili sul basso Piemonte, in particolare sul settore meridionale ed orientale della regione.



Strutture fondamentali: 1) Ampia saccatura con asse NordOvest-SudEst esteso dalle Isole Britanniche al mar Ligure e alla Sardegna, a cui sono associate una depressione sul mar Ligure ed una sulle Isole Britanniche. 2) Vasta area di alte pressioni ad Est della saccatura sulla Russia. Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica e flusso da SudEst, Est che determina precipitazioni sul basso Piemonte, più probabili sul settore sud-occidentale.

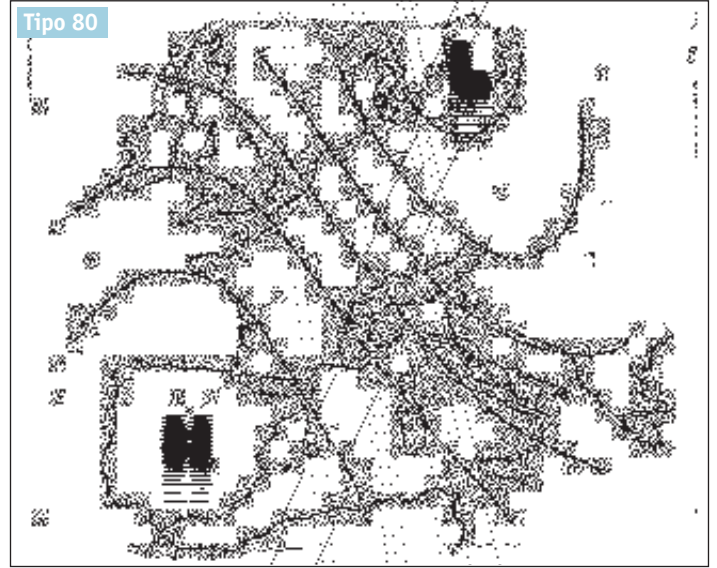


Strutture fondamentali: Ampia saccatura sull'Europa centrale, a cui sono associate una profonda depressione sull'Italia centrosettentrionale ed una sulla Danimarca.

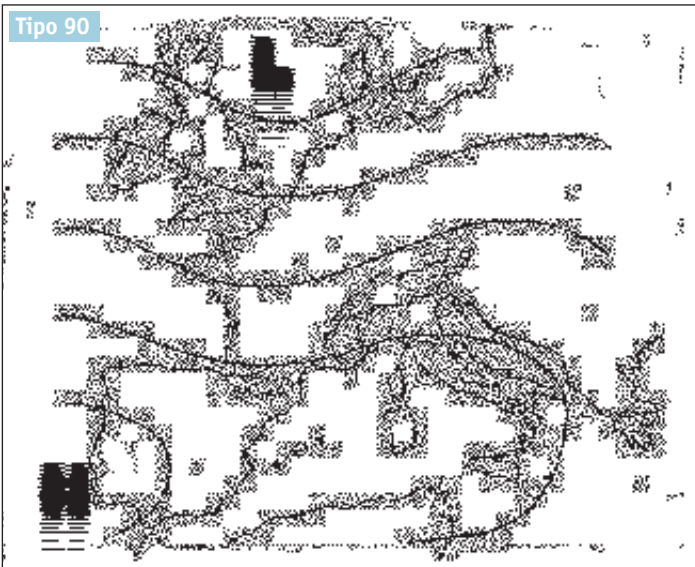
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica, con flusso debole da Est, NordEst, che determina l'afflusso di aria umida dall'Adriatico con annvolamenti e deboli precipitazioni, più probabili sul settore occidentale a causa dell'effetto orografico.



**Tipo 70**  
 Strutture fondamentali: Depressione sul mediterraneo occidentale con centro sulla Tunisia.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica, con flusso da SudEst, che apporta aria umida sul settore occidentale e sud-orientale senza determinare normalmente precipitazioni.



**Tipo 80**  
 Strutture fondamentali: 1) Depressione sulla Scandinavia. 2) Anticiclone delle Azzorre in estensione alla Penisola Iberica.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione da NordOvest anche di forte intensità. Tipica configurazione da foehn, con annuvolamenti e precipitazioni sui rilievi nord-occidentali di confine, e cielo sereno in pianura con bassa umidità relativa e spesso temperature elevate nei fondovalle interessati dal foehn.

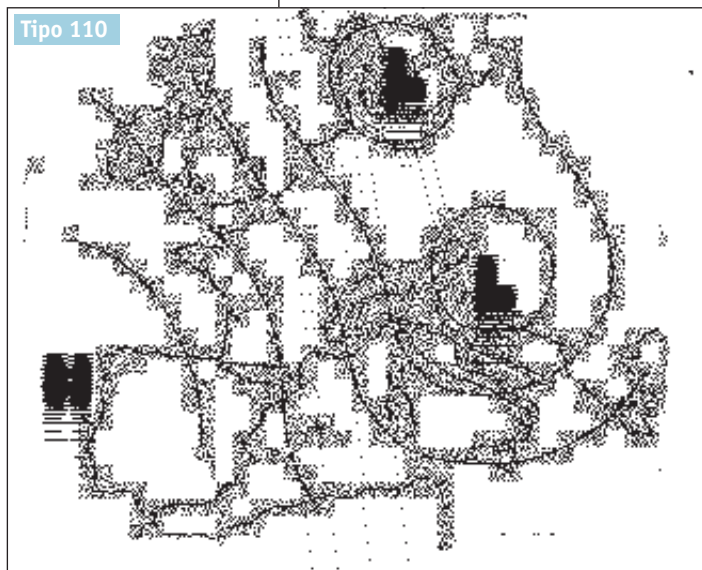


**Tipo 90**  
 Strutture fondamentali: 1) Flusso zonale a Nord delle Alpi, su cui si sviluppano ondulazioni poco ampie. 2) Campo di pressioni livellate, normalmente alte, sul Mediterraneo.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: flusso da Ovest, che comporta generalmente nuvolosità irregolare con addensamenti sui rilievi occidentali.

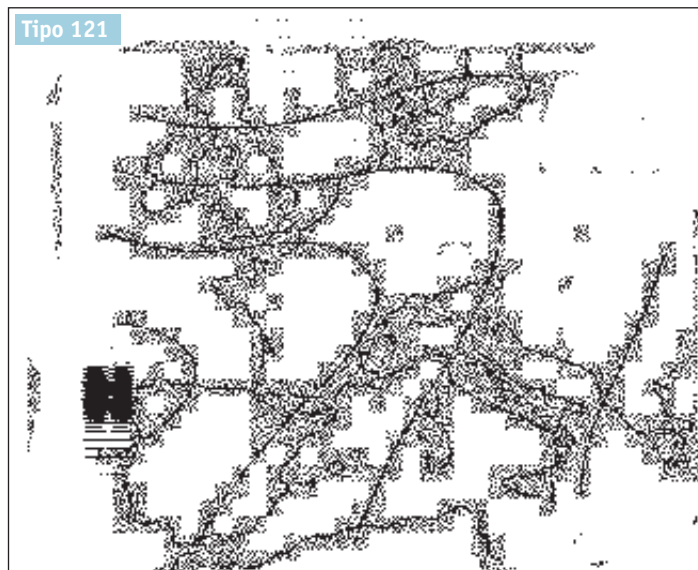


**Tipo 100**  
 Strutture fondamentali: 1) Saccatura con asse proteso dal mar Baltico verso Austria, alto Adriatico e Balcani, associata ad un centro di basse pressioni sull'area baltica. 2) Area di alta pressione sul vicino Atlantico, Penisola Iberica e coste nord-occidentali africane.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica con flusso debole da NordOvest. Configurazione spesso in seguito al transito del fronte freddo.

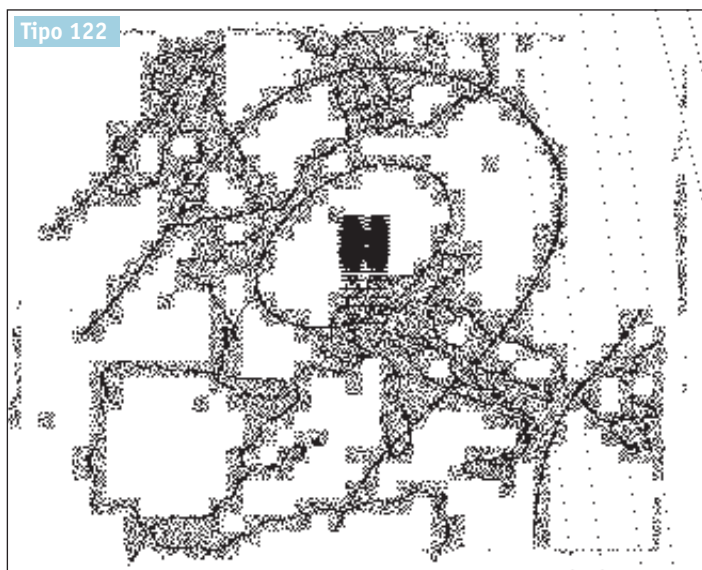




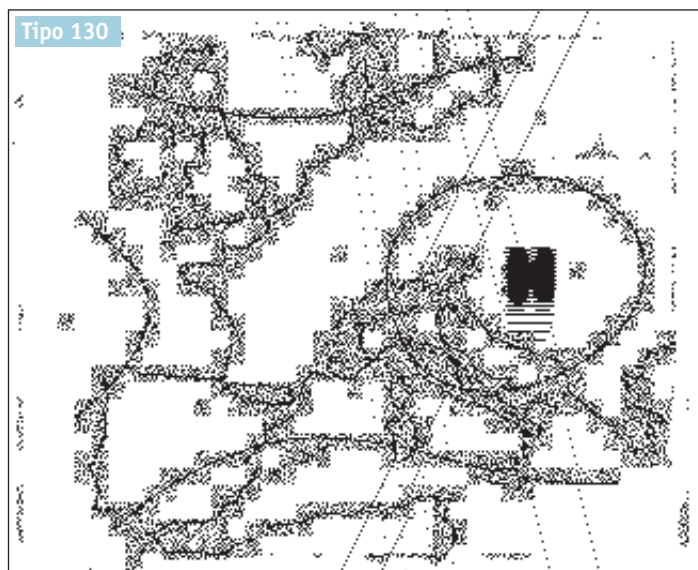
Strutture fondamentali: 1) Saccatura con asse proteso dalla Danimarca all'Italia Meridionale, associata ad una depressione su Slovenia e Croazia ed una sulla Danimarca. 2) Area di alta pressione sul vicino Atlantico, sulla Penisola Iberica e sulle coste nord-occidentali africane.  
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione ciclonica con flusso da Nord-NordOvest e condizioni di cielo sereno.



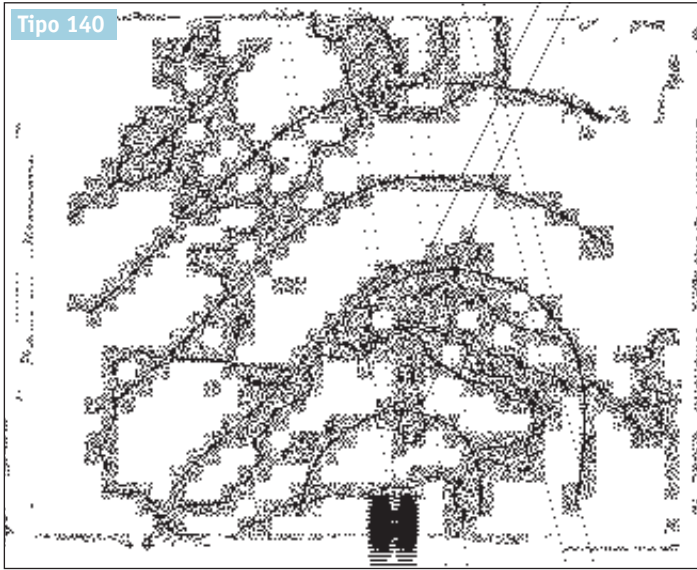
Strutture fondamentali: Promontorio di alta pressione esteso dal vicino Atlantico all'Europa con una debole circolazione da NordEst sul Mediterraneo occidentale.  
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione anticiclonica con afflusso d'aria relativamente più fredda e secca da NordEst.



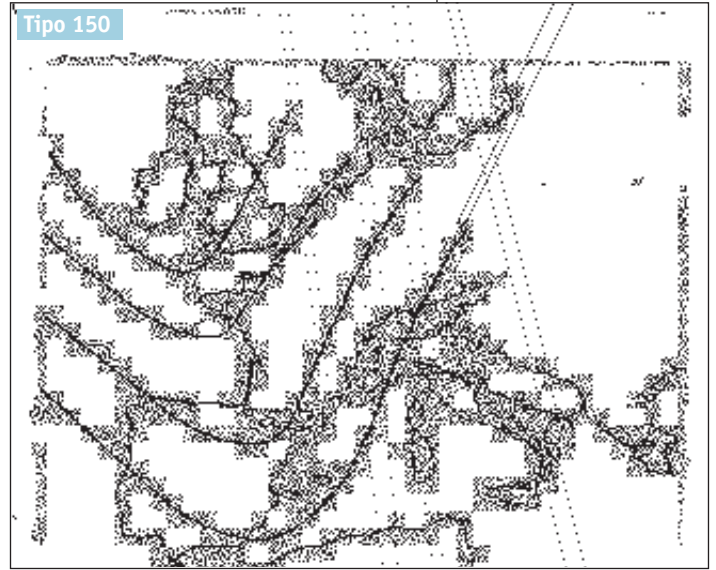
Strutture fondamentali: Anticiclone con centro sull'Europa centrale, nell'ambito di un promontorio di alte pressioni esteso dal vicino Atlantico all'area europea a Nord delle Alpi.  
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione anticiclonica, con venti calmi e possibile presenza di inversioni termiche nei mesi invernali. Flusso freddo da NordEst, più debole di quello della configurazione precedente.



Strutture fondamentali: Anticiclone con centro sulle regioni danubiane-balcaniche.  
Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione anticiclonica, con debole afflusso da SudEst di aria umida proveniente dal Tirreno.



Strutture fondamentali: Ampio anticiclone sul Mediterraneo centro-occidentale con centro sulle coste africane.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: circolazione anticiclonica, con afflusso di aria umida accompagnato da cielo nuvoloso, assenza di precipitazioni grazie alle proprietà stabilizzanti dell'anticiclone.



Strutture fondamentali: Saccatura con asse Nord-Sud proteso dalle Isole Britanniche alla Penisola Iberica.  
 Effetti meteorologici sul Piemonte: flusso intenso da SudOvest che apporta aria calda e umida. Il fronte caldo interessa la regione, accompagnato in genere da cielo nuvoloso con precipitazioni deboli ma continue.





# Le brezze



## 8.1 BREZZA DI MONTE E DI VALLE

Il vento in montagna, oltre agli effetti dinamici, subisce anche quelli termici dovuti al diverso riscaldamento del terreno. Si creano, infatti, venti a scala locale che si sovrappongono al vento a grande scala. Sono le cosiddette brezze che determinano il vento nelle valli durante quasi tutti i giorni soleggiati da marzo ad ottobre.

Le Alpi rappresentano una superficie elevata di riscaldamento (di giorno) o di raffreddamento (di notte). In una giornata di bel tempo durante l'estate, la temperatura di una località delle Alpi posta a 2000 m sarà superiore a quella misurata alla stessa quota nella libera atmosfera sulle pianure circostanti l'arco alpino. La differenza può essere anche di 5-10°C. Motivo di questa differenza è una semplice questione fisico - morfologica: il volume d'aria da riscaldare in montagna, essendo qui stretto fra i

Figura 8.1



Figura 8.1

Il volume d'aria che il sole deve scaldare nel paese di Salbertrand sito in pianura, in alta valle di Susa, è visibilmente superiore rispetto ai ripidi versanti montani che lo circondano. L'aria in montagna si scalda più velocemente rispetto alla pianura, causando una maggior escursione termica giornaliera, che provoca l'instaurarsi del fenomeno delle brezze.

FOTO: S. FRATIANNI

monti, è inferiore rispetto alla pianura (Figura 8.1). Perciò, l'atmosfera in montagna si scalda più velocemente e la temperatura raggiunge valori più elevati rispetto alla pianura (stessa quota). Si ha inoltre una maggior escursione termica giornaliera. Durante il giorno il maggior riscaldamento dell'atmosfera sulle Alpi rispetto alla pianura causa una differenza temporanea di pressione fra pianura e montagna, con bassa pressione di quest'ultima. I venti che ne risultano spirano dalla pianura verso la montagna percorrendo preferenzialmente, ma non solo, la via delle grandi valli, vento sinottico permettendo. Infatti, quest'ultimo, modificato dinamicamente dalla barriera montuosa e il vento pianura-montagna si sovrappongono, come due vettori, e il risultato dipende dalla forza di entrambi. In estate, comunque, l'intensità del vento pianura-montagna supera spesso quella del vento sinottico, per cui il primo risulta dominante. In quota il vento spira dalle alte montagne verso la pianura, dove, come in una zona di alta pressione, l'aria scende lentamente andando a chiudere la circolazione.

Questi venti 'ricircolatori' in quota, avendo tanto spazio a disposizione, sono molto più deboli di quelli diretti verso la montagna. Durante la notte la circolazione si svolge nel senso contrario: al suolo il vento spira dalla montagna verso la pianura. Di notte l'aria in montagna si raffredda maggiormente rispetto a quella in pianura; l'aria scende quindi verso la pianura, percorrendo esclusivamente la via

delle valli. Infatti, questo vento è limitato allo strato più vicino al suolo, per uno spessore di sole alcune decine di metri. Si tratta inoltre di un vento in complesso meno forte di quello che si osserva durante il giorno. Allo sbocco di alcune valli nella Pianura Padana i venti discendenti dalla montagna possono anche essere molto forti con raffiche di 14 m/s. Famoso per questo è lo sbocco della valle dell'Adige.

Le brezze di monte e di valle sono note come brezze di bel tempo. Si chiamano così in quanto la condizione necessaria per il verificarsi della brezza di valle è la differenza termica fra pianura e montagna che si crea solo in condizioni di forte irradiazione solare. Nei giorni estivi di bel tempo, da circa metà marzo fino ad ottobre, lungo l'asse della valle spira un vento con un marcato ritmo giornaliero. Di giorno spira dalla parte bassa della valle verso quella alta (brezza di valle), di notte dalla parte alta a quella bassa (brezza di monte).

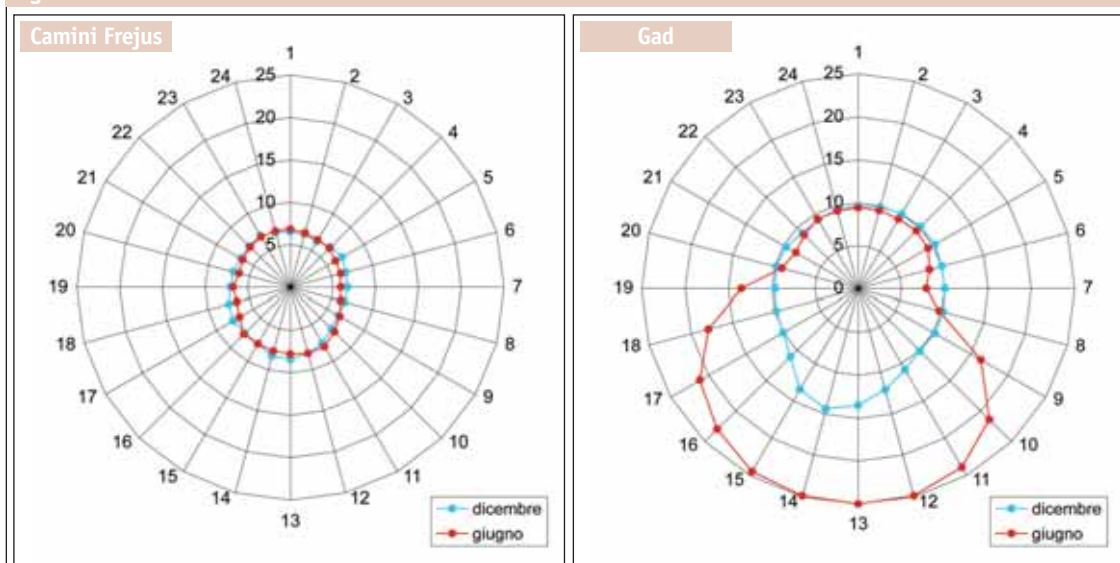
Il momento di transizione dal regime di brezza di monte a quello di brezza di valle, è un periodo di relativa calma. Questo succede, a seconda della valle, intorno alle ore 10-11 del mattino. In questa fase i versanti sono già riscaldati e su di essi si hanno delle correnti ascendenti. A mezzogiorno continuano i venti ascendenti sui versanti ed è attiva la brezza di valle. Nel pomeriggio sui versanti ormai in ombra le correnti ascendenti sono cessate. Nel tardo pomeriggio continua la brezza di valle, ma su alcu-

Figura 8.2

Confronto tra due stazioni della valle di Susa, ubicate rispettivamente nel fondovalle e sul versante: Gad e Camini Frejus. Distribuzione oraria dell'intensità media del vento espressa in km/h. Il numero 1 comprende la media della velocità del vento dalle ore 24:10 alle ore 1:00. Nel grafico si vede bene l'incidenza della brezza di bel tempo presente a Gad.

S. FRATIANNI & L. MOTTA, 2002

Figura 8.2



ni versanti si sviluppano già le prime correnti discendenti (S. Fratianni & L. Motta, 2002).

Poco dopo il tramonto un altro momento di relativa calma precede la brezza di monte: in questa fase si hanno delle correnti discendenti su tutti i versanti. Più tardi, nella notte l'aria nella valle scende e comincia a soffiare la brezza di monte. Infine, poco prima dell'alba, si osserva solo la brezza di monte (Figura 8.2).

Questo è quello che succede solitamente per le brezze in montagna. È chiaro, però, che le configurazioni morfologiche causano innumerevoli variazioni. Si noti in figura 8.2 la regolarità del fenomeno che in condizioni di bel tempo si ripete di giorno in giorno. Ecco perché si chiamano brezze di bel tempo: la condizione necessaria per il verificarsi della brezza di valle è la differenza termica fra pianura e montagna che si crea solo in condizioni di forte irradiazione solare (in estate quando c'è bel tempo). Con cielo coperto e durante l'inverno la radiazione solare che giunge al suolo è troppo debole per creare le differenze termiche necessarie. Anche un vento sinottico troppo forte, come per esempio il foehn o favonio, può impedire la formazione delle brezze, nonostante il bel tempo.

Là dove una valle si restringe o dove ci sono sbocchi di valli laterali le brezze possono essere più forti.

Inoltre l'inizio e la fine della brezza di valle non sono fissi, ma dipendono dalla struttura della valle stessa. Si può dire che in una valle piccola la brezza è più debole ed inizia e cessa prima che in una valle grande. L'intensità della brezza di valle è tipicamente di 5 m/s (1-2 m/s la brezza di monte), ma raggiunge anche più di 10 m/s, specie nei punti stretti, tanto da causare un effetto negativo sulla vegetazione del posto. La brezza di valle si dimostra più forte e più regolare della brezza di monte. Essa raggiunge il suo massimo durante le ore pomeridiane e termina verso le ore 20 con l'inizio della brezza di monte, come si può vedere in figura 8.3.

## 8.2 LA BREZZA DI VERSANTE

Anche nel caso dei venti che si sviluppano sui pendii la forza motrice è il diverso riscaldamento di zone affiancate, ma questa volta su una scala più piccola. Di giorno l'atmosfera vicino ad un versante fa presto a riscaldarsi, mentre l'aria alla stessa quota più lontana dal versante subisce solo una piccola variazione di temperatura. Così vengono a trovarsi fianco a fianco aria calda (sul pendio) e aria più fredda (alla stessa quota nella valle). L'aria calda, essendo più leggera, sale sotto forma di termiche verso

Figura 8.3

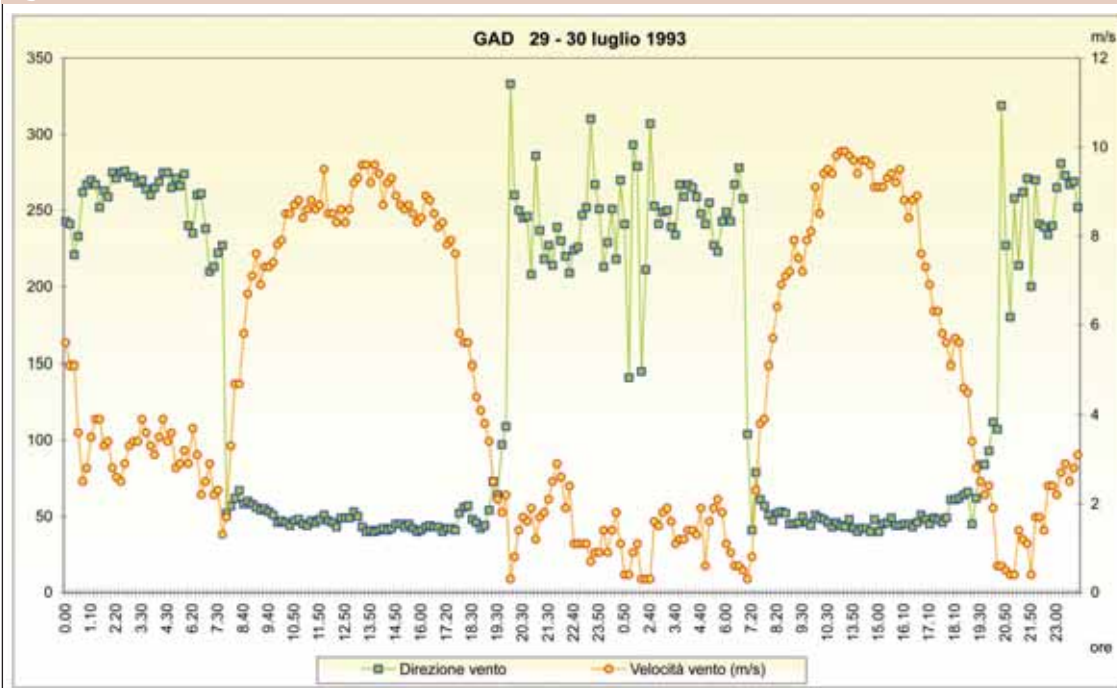


Figura 8.3

Andamento semiorario della velocità del vento (in m/s) e della sua direzione (in gradi) durante un periodo di bel tempo (29-30 luglio 1993) rilevato dalla stazione automatica di Gad posta a 1010 m di altezza, ubicata nei pressi di Ulzio (TO) in val di Susa.

l'alto e viene sostituita da aria più fredda che si trova più lontana dal versante o più in basso. Si formano quindi delle correnti ascendenti sul versante (vento anabatico) che continuano finché persiste il riscaldamento solare. Al contrario, durante la notte l'aria si raffredda vicino al pendio (per irraggiamento) e si mette in moto verso il punto più basso. Questo deflusso dell'aria viene causato dal maggior peso delle masse d'aria fredda (vento catabatico). La velocità del deflusso dipende, oltre che dall'intensità del raffreddamento dell'aria anche dalla lunghezza e dall'inclinazione del versante: più ripido è il versante, più forti sono le correnti discendenti.

Le correnti discendenti notturne e quelle ascendenti diurne costituiscono il sistema di venti locali su un pendio, chiamato "brezza di versante". Quest'ultima si forma sia sui versanti di una valle alpina, sia su ver-

santi unilaterali o su monti isolati. Le correnti ascendenti diurne sono generalmente più sviluppate di quelle discendenti notturne, sia per lo spessore verticale del fenomeno sia per la velocità dei venti.

Agli effetti delle brezze, l'orientamento del pendio ha scarsa rilevanza durante la notte, mentre di giorno diventa un fattore determinante. Va inoltre detto che le correnti ascendenti, portando l'aria caldo-umida dalla valle verso l'alto, danno spesso luogo alla formazione di nubi cumuliformi sul versante (Figura 8.4). Questa nuvolosità si dissolve nel tardo pomeriggio quando le correnti ascendenti perdono di intensità. Al centro delle valli, invece, dove durante il giorno si registra un leggero moto discendente dell'aria (velocità  $\leq 1$  m/s), si osserva decisamente meno nuvolosità. Le correnti discendenti al centro della valle fanno infatti parte del sistema

Figura 8.4

**Formazione di nubi cumuliforme sul versante.**

FOTO: M. GRIVETTI

Figura 8.4





della brezza di versante, così come le deboli correnti ascendenti nella tarda serata e nella notte.

La brezza di versante ha un orientamento perpendicolare all'asse della valle e, per questo motivo, non può essere confusa con la brezza di valle/monte che soffia parallelamente all'asse. Queste due brezze, però, sono senz'altro tra loro collegate e formano insieme un unico sistema di circolazione nelle valli montane.

### 8.3 IL VENTO DI GHIACCIAIO

Parente della brezza di versante notturna è il vento di ghiacciaio. Specialmente d'estate, quando l'aria nelle valli si riscalda fortemente, la temperatura della superficie di un ghiacciaio resta ferma a 0°C a causa dello scioglimento del ghiaccio e della neve. Lo strato d'aria immediatamente sopra la superficie si raffredda molto e scende verso la valle lungo la linea di massima pendenza, creando così il vento di ghiacciaio. Esso è quindi un vento catabatico (dal greco *katabatos* "che scende"), un deflusso di aria fredda, che continua anche quando sopra soffia la brezza ascendente di versante. Questo vento di ghiacciaio, che interessa solo lo strato d'aria direttamente a contatto con il ghiaccio, non varia mai in direzione ma solo in intensità. Il deflusso dell'aria fredda è più forte di giorno quando le differenze di temperatura sono maggiori. Non può essere definito "vento di bel tempo", perché si verifica anche con cielo coperto. Infatti, il raffreddamento dell'aria non avviene per irraggiamento ma per contatto con la superficie fredda del ghiacciaio. Ovviamente, l'intensità e la persistenza del fenomeno dipendono molto dalla dimensione del ghiacciaio: più grande è, più regolare e più forte sarà il deflusso dell'aria fredda.

### 8.4 INDIVIDUAZIONE DEI REGIMI DI BREZZA

Considerando tutti i risultati precedentemente ottenuti, sono stati identificati i regimi di brezza in alcune stazioni. Si sono infatti selezionate giornate che non presentassero mai valori di media oraria superiori a 5 m/s e che, soddisfacendo questo criterio, avessero almeno il 75% dei dati giornalieri attesi,

Figura 8.5

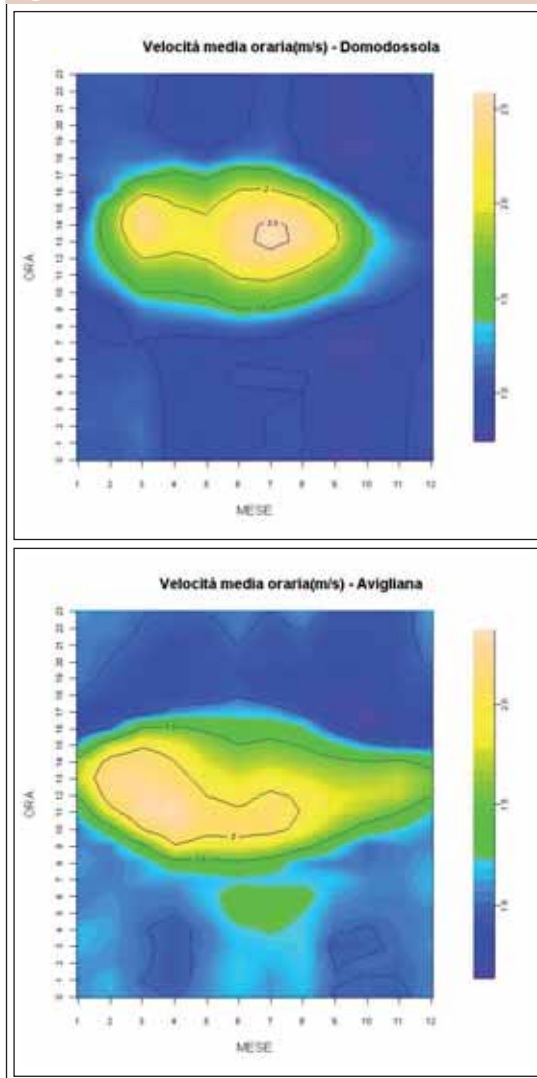


Figura 8.5

Andamento della brezza in funzione dell'ora e del mese, basato sulla serie storica di Domodossola (sopra) e di Avigliana (sotto).

poiché l'intensità di brezza è intorno ai 5 m/s (Kappemberger et Kerkmann, 1990).

Si riporta come esempio il caso di Domodossola e di Avigliana (Figura 8.5).

Nel grafico di figura 8.5 a sinistra si evidenzia chiaramente il regime di brezza di valle, con aumento generale dell'intensità del vento in corrispondenza delle ore più calde della giornata e raggiungimento del massimo nel mese di luglio. Nelle ore fredde, durante tutto l'anno, la velocità risulta inferiore ad 1 m/s. A Domodossola nei mesi di novembre, dicembre, gennaio, inoltre, non viene mai superata la velocità di 1,5 m/s.

Come si è già constatato dai grafici relativi alla velocità oraria (Figura 5.4), anche le stazioni di Gad, Pietrastretta, Cameri, Sardigliano e Spineto Scrvia, presentano un regime di brezza.





# Il foehn



## 9.1 CHE COS'È IL FOEHN

L'interazione di un flusso d'aria ed orografia determina venti locali, influenzati da differenze di temperatura o di pressione. Il *foehn* è una corrente d'aria calda discendente, che si manifesta sul versante sottovento quando una massa d'aria svalica una catena montuosa; la sua direzione, velocità e temperatura sono dipendenti dall'altezza e dalla disposizione delle catene montuose rispetto al percorso delle masse d'aria.

Vi sono differenti teorie circa l'origine della massa d'aria che genera questo vento, in base alle quali il foehn viene descritto o meno come un vento catabatico. La "teoria termodinamica" definisce il foehn come un vento catabatico caldo e secco e prevede che la massa d'aria che lo genera salga lungo il versante sopravvento della montagna fino alla cresta, raggiungendo il livello di condensazione con conseguente formazione di nubi e precipitazioni (*stau*). Nel versante sottovento l'aria scende riscaldandosi adiabaticamente per compressione e così, nella regione interessata da foehn, si ha una situazione meteorologica caratterizzata da alta temperatura e bassa umidità relativa. Un'altra teoria assume che la massa d'aria che genera il foehn provenga da un livello di circa 2000-2500 metri nel versante sopravvento e che da qui discenda lungo il versante sottovento; le precipitazioni e la formazione di nubi nel

versante sopravvento possono verificarsi, ma non è condizione discriminante per lo sviluppo del fenomeno. Secondo tale teoria il foehn, essendo un vento caldo e secco, non scende spontaneamente dalle creste delle montagne, ma necessita di una forza, determinata dal regime sinottico, che costringa meccanicamente l'aria ad entrare nelle vallate sottovento.

## 9.2 FOEHN E STAU

Il foehn è un fenomeno conosciuto fin dall'antichità; mentre al tempo degli antichi greci un vento simile che interessava le pianure era conosciuto come *Zephyrus*, il dio dei venti occidentali, per i romani il suo nome divenne *Favonius*, il vento di ponente, e fu nella cultura tedesca che il termine *Favonius* si tramutò in *Foehn*.

Il primo a tentare una spiegazione scientifica del fenomeno fu il prof. J. Von Hann nel 1866 e successivamente diversi scienziati dell'Istituto di Meteorologia di Innsbruck (Austria), fondato nel 1890, hanno portato avanti questi studi con notevoli risultati. Sin dall'inizio si è osservato che i fenomeni di foehn e stau si verificano quando una corrente d'aria è costretta a valicare una catena montuosa, cioè quando il flusso d'aria si dispone perpendicolarmente (o quasi) ad un ostacolo orografico sufficientemente esteso ed elevato. Il foehn, quindi, è un fenomeno diffuso in tutto il globo e ogni regione mon-

tuosa ha la sua espressione per questo vento. In Italia e nella Svizzera Italiana è anche noto con il termine di *favonio*, nelle Montagne Rocciose degli Stati Uniti è chiamato chinook (mangiatore di neve), nelle Ande cilene *puelche*, mentre sul loro versante argentino è chiamato *zonda*.

Il termine foehn si riferisce alla corrente d'aria discendente che si manifesta sul versante sottovento quando l'aria valica una catena montuosa, provocando in poco tempo un miglioramento della visibilità e, in generale, un aumento della temperatura. I principali fenomeni che si verificano, nella regione sottovento, durante un evento di foehn sono tre (Kuhn, 1989):

- vento forte a raffiche irregolari;
- aumento della temperatura;
- abbassamento dell'umidità relativa.

Questi tre fattori, sebbene inizialmente osservati per il foehn alpino da sud, possono essere generalizzati per tutti i tipi foehn, cioè per ogni direzione di provenienza del flusso; in realtà, l'aumento di temperatura non è sempre presente in quanto talora, con flussi da nord, si può anche osservare un abbassamento di temperatura, determinato dal giungere di masse d'aria estremamente fredde di origine polare. In relazione alla direzione della corrente che investe la catena montuosa, si distingue tra *foehn da sud*, *foehn da nord* e *foehn da ovest*. Il primo interessa i versanti svizzeri ed austriaci delle Alpi ed il cuneese (anche se in misura minore), mentre il secondo interessa quasi tutta la pianura padana fino a lambire l'Emilia Romagna; il terzo è invece tipico della parte occidentale del Piemonte (e solo raramente interessa la Lombardia) e del versante adriatico dell'Italia centrale. Anche il *foehn da est* è possibile, anche se molto raro a causa della direzione anomala della corrente rispetto alla norma che, per le medie latitudini, in genere favorisce un vento da ovest; tale vento interessa il versante tirrenico dell'Italia centrale ed il versante alpino francese. Per quanto riguarda il foehn da sud si distingue, in relazione ai livelli atmosferici interessati dal fenomeno, tra *foehn alto* e *foehn basso*. Il foehn alto interessa tutti i livelli atmosferici fino alla tropopausa, caratterizzati da una corrente prevalentemente perpendicolare alla cresta della montagna. La forza motrice per un vento è un gradiente barico e, nei

casi di foehn alto, la differenza di pressione fra i due versanti alpini è di circa 4-10 hPa, con massimi fino a 18 hPa. Il foehn basso, invece, è caratterizzato da una corrente non uniforme nella troposfera; nello strato più basso la corrente è perpendicolare alla catena, mentre sopra la cresta la direzione del vento è parallela alla catena montuosa. Il foehn basso non ha bisogno di un forte gradiente barico, bastano 2-3 hPa di differenza.

L'interazione di un flusso stazionario perpendicolare ad una catena montuosa genera *onde orografiche* o *lee waves* (Figura 9.1), sulle cui creste possono formarsi delle nubi cumuliformi medio-alte di tipo lenticolare (Figura 9.2).

Con il termine di stau viene definito un fenomeno che si osserva nel versante sopravvento, e che consiste nella salita forzata dell'aria con conseguente formazione di nubi e precipitazioni. Si osserva un'avvezione di masse d'aria umida, con correnti perpendicolari alla catena montuosa, che vengono bloccate dalla montagna. L'aria è costretta a salire e, quando raggiunge il livello di condensazione, forma le nubi, dalle quali sono possibili precipitazioni anche senza la presenza di un fronte. Lo stau è visibile nel versante sottovento con il *muro del foehn*, il bordo delle nuvole estese su questo versante (Figura 9.3). Lo stau non è una condizione necessaria per l'instaurarsi del foehn ma dipende dall'umidità della massa d'aria e dalla presenza di condizioni meteorologiche favorevoli ad una risalita dell'aria nel versante sopravvento.

In presenza di stau si assiste alla formazione di estesa nuvolosità con precipitazioni di lunga durata. Il cattivo tempo si estende a tutto il versante sopravvento comprese le pianure prealpine. Le precipitazioni sono spesso abbondanti, talvolta di tipo alluvionale. Le grosse piene del Po, i cui confluenti prin-

Figura 9.1

#### Onde orografiche e nubi lenticolari.

FONTE: IL TEMPO IN MONTAGNA, KAPPENBERGER ET KERKMANN, 1997

Figura 9.1

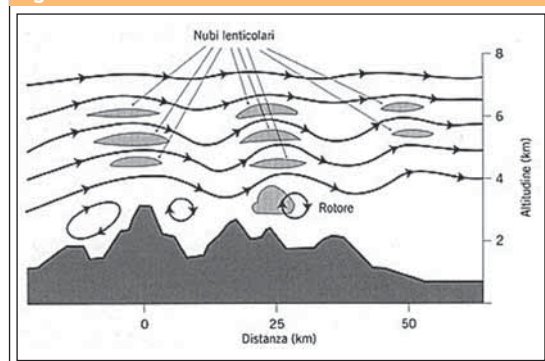


Figura 9.2



cipali provengono dalla zona alpina, si originano normalmente da situazioni di prolungato sbarramento. Non fa eccezione l'alluvione che colpì il Piemon-

te dal 2 al 6 novembre 1994.

L'autunno e la primavera si caratterizzano per la maggior frequenza di tali fenomeni, ma nemmeno

Figura 9.3



Figura 9.2

Formazione di altocumuli lenticolari, nubi orografiche a forma di lente che si formano nelle onde che si sviluppano sottovento alla cresta alpina.

FOTO: S. FRATIANNI

Figura 9.3

Una giornata di foehn a Torino, identificabile chiaramente dalla muraglia di altocumulus che stazionano sopra le Alpi.

Figura 9.4

L'espansione adiabatica causa un raffreddamento dell'aria e si ha un nuovo "gradiente termico" che può essere calcolato intorno ai 9°C ogni 1000 metri.

Fonte: [HTTP://WWW.WEBALICE.IT/BRUCITO/METEORIDATTICA.HTM](http://www.webalice.it/brucito/meteoridattica.htm)

l'estate e l'inverno ne sono esenti. Durante l'inverno, le abbondanti nevicate dovute a prolungate situazioni di sbarramento sono ad alto rischio di valanghe. Ciò è testimoniato dai dati degli ultimi decenni che mostrano chiaramente che le valanghe catastrofiche si sono verificate quasi esclusivamente in situazioni di sbarramento, quando in pochi giorni sono caduti 150 cm di neve fresca o più. Sintetizzando, si può dire che il favonio classico è un vento di caduta che deve la sua bassa umidità ed il suo tepore allo sbarramento presente sul versante opposto. Infatti, senza le precipitazioni dello sbarramento, l'aria arriverebbe sul versante sottovento con le stesse caratteristiche che aveva prima di sollevarsi, perché le goccioline formatesi durante la salita evaporerebbero durante la discesa riumidificando l'aria e consumando esattamente l'energia liberata. Le precipitazioni, invece, privano l'aria dell'umidità e le forniscono il calore liberato durante il processo di condensazione.

Il caldo del favonio dipende comunque anche dalla temperatura di partenza dell'aria, cioè dall'origine della massa d'aria. A nord delle Alpi, per esempio ad Innsbruck, il favonio è determinato da un forte flusso di correnti meridionali che apporta aria calda di origine mediterranea sulle Alpi. Durante il processo del favonio quest'aria viene ulteriormente mitigata e quando raggiunge le valli del versante nordalpino è veramente calda. In pieno inverno, quando entra il favonio, la temperatura può subire un aumento da valori intorno a 0°C fino a 15-20°C e la neve presente nelle valli può sciogliersi anche in una sola notte.

Più ci si allontana dalla cresta delle Alpi, più rari sono i giorni in cui spira il favonio. Per esempio, a nord del Passo del S. Gottardo mediamente il favonio soffia per 100 giorni all'anno a Goschenen (1000 m), ad Altdorf per 50 e raggiunge Zurigo solo 3 volte l'anno (Kappenberger et Kerkmann, 1997).

Figura 9.5

La presenza di una catena montuosa causa un ulteriore abbassamento delle temperature.

Fonte: [HTTP://WWW.WEBALICE.IT/BRUCITO/METEORIDATTICA.HTM](http://www.webalice.it/brucito/meteoridattica.htm)

Figura 9.6

Schema esemplificativo della dinamica di generazione dello stau e del foehn.

Fonte: [HTTP://WWW.MONTAGNA-PERTUTTI.IT/METE0/FOEHN\\_STAU.H TML](http://www.montagna-per tutti.it/meteo/foehn_stau.html)

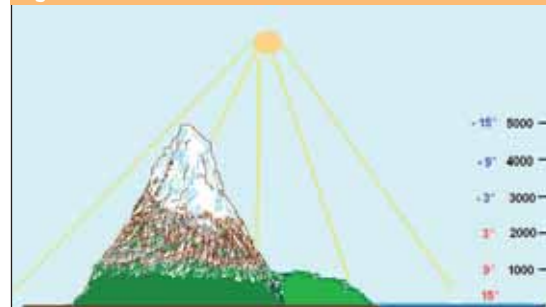
### 9.3 I MOVIMENTI ASCENDENTI

L'aria non sempre è in stato di quiete, immobile, ma può essere costretta a sollevarsi.

L'aria calda, essendo più leggera di quella fredda, tende a salire creando dei movimenti ascendenti di masse d'aria e salendo in quota trova pressioni via

via inferiori e di conseguenza l'aria si espande (espansione adiabatica, senza scambi di calore con l'esterno). L'espansione adiabatica secca causa un raffreddamento dell'aria e si ha un nuovo "gradiente termico" che può essere calcolato intorno ai 10°C ogni 1000 metri (Figura 9.4).

Figura 9.4



L'aria raffreddandosi può raggiungere la sua temperatura di rugiada e allora in questo caso si ha condensazione di vapore, con formazione di nubi. Come in tutti i passaggi di stato da gas a liquido (vapore-goccioline) si ha una restituzione di calore, l'ambiente si scalda, ma l'aria continua a salire raffreddandosi: la concomitanza dei due fenomeni riduce il gradiente termico verticale a 5°C ogni 1000 metri. L'aria può essere costretta a sollevarsi non solo per l'irraggiamento termico, ma spinta da forti venti contro una catena montuosa. Se l'aria è molto secca non si avrà condensazione di nubi, per contro in quota si avranno temperature bassissime (Figura 9.5).

Figura 9.5

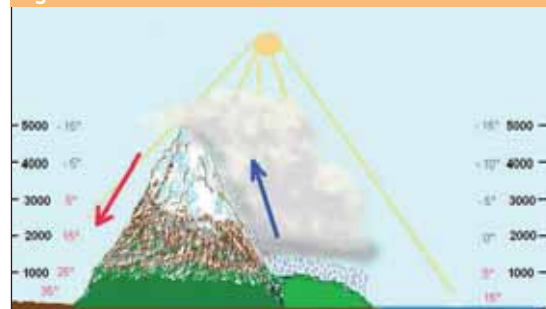
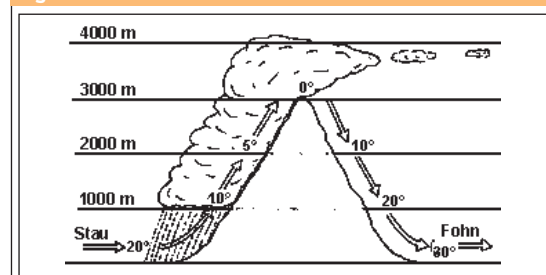


Figura 9.6





Sul lato sopravvento (Stau) si formano forti correnti ascendenti di aria; si è in una situazione equivalente a quella vista in figura 9.5; quando l'aria raggiunge la temperatura di rugiada il vapore condensa e si formano le nubi, l'umidità viene eliminata sotto forma di pioggia, tali piogge possono essere anche molto copiose e perdurano fino a quando persiste questa situazione.

Appena superato il crinale l'aria precipita verso il basso, si ha esattamente il fenomeno opposto, l'aria si riscalda per compressione adiabatica, fino a quando contiene goccioline allo stato liquido queste evaporano raffreddando l'aria: il riscaldamento si riduce a 5°C ogni 1000 metri, quando tutte le goccioline saranno evaporate diventerà di 10°C ogni 1000 metri. Ma quasi tutto il vapore contenuto nell'aria è stato eliminato sotto forma di pioggia sul lato dello stau, per cui si può ragionevolmente calcolare tutto il versante sottovento (foehn) con un gradiente termico di 10°C ogni 1000 metri.

Nell'esempio di figura 9.6 sul lato sopravvento (STAU) dalla quota di 1000 m fino a 3000 m la temperatura scende di 5°C ogni 1000 m, mentre su quello opposto (FOEHN) sale di 10°C ogni 1000 m. Ecco perché il foehn è un vento caldo e secco.

Prima dell'arrivo del foehn la situazione meteorologica solitamente è caratterizzata da un gradiente barico netto attraverso le Alpi: infatti, mentre per il giungere di aria relativamente fredda e densa la pressione atmosferica tende ad aumentare sopravvento, il versante sottovento è caratterizzato da un'inversione termica nei primi 1000 metri di quota e da una elevata umidità relativa. Sulla carta delle isobare è visibile un cuneo di alta pressione nel versante sopravvento e una zona di bassa pressione in quello sottovento, il cosiddetto "naso" del foehn (Figura 9.8).

Dopo l'arrivo del foehn, nel versante sottovento si può osservare un profilo verticale di temperatura quasi adiabatico e l'episodio di foehn ha termine quando si riequilibra il campo di pressione, o quando la corrente in quota che sostiene il foehn, perpendicolare alla cresta della montagna, si indebolisce o ruota verso una direzione non favorevole.

Figura 9.7



### 9.4 GIORNI DI FOEHN

Per conoscere il numero di giorni di foehn sono stati analizzati i bollettini meteorologici redatti giornalmente dal settore dell'Area di Previsione e Monitoraggio Ambientale di Arpa Piemonte dal 2000 al 2004. Si tratta di un'analisi innovativa, mai affrontata prima su scala regionale. Si riportano qui di seguito i giorni in cui si è registrato vento di caduta sul territorio piemontese (Tabella 9.1).

Figura 9.7

**Bardonecchia, comprensorio sciistico di Jafferau: sulle montagne adiacenti si notano i cosiddetti "pesci del favonio" (dal termine tedesco foehn-fische) che portano aria secca e limpida nelle valli.**  
FOTO: S. FRATIANNI

Figura 9.8

**Il "naso" del foehn.**

Figura 9.8

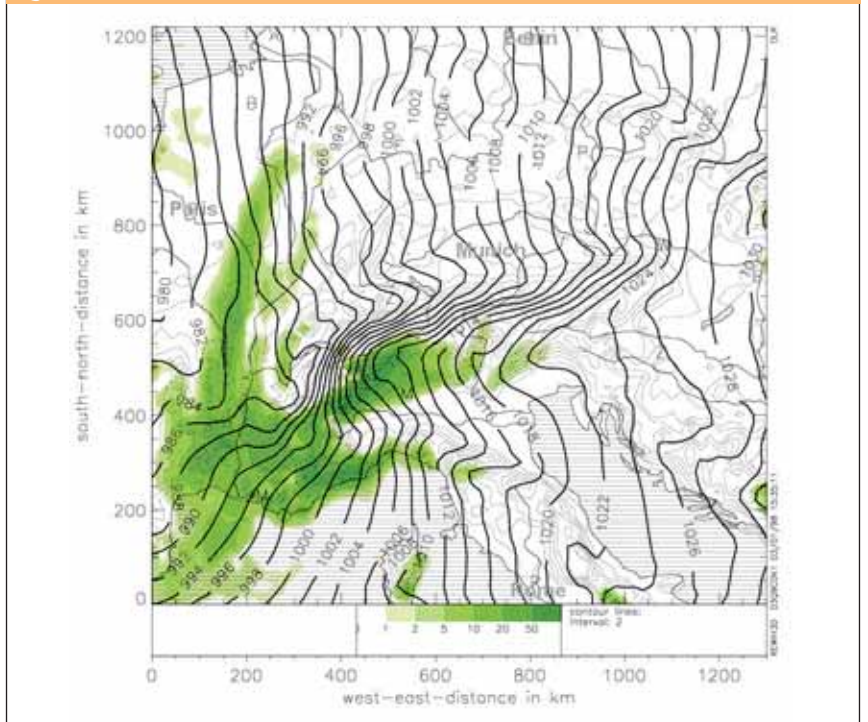




Tabella 9.1

Giorni interessati da foehn in Piemonte dal 01/01/00 al 31/12/04.

Tabella 9.1

18/01/2000	Val d'Ossola e Sesia
19/01/2000	N e W
21/01/2000	N e W
24/01/2000	NW e Val d'Ossola
29/01/2000	Pellice, Stura di Lanzo e Dora Baltea
30/01/2000	Pellice, Stura di Lanzo e Dora Baltea
02/02/2000	valli N e W
03/02/2000	Pellice, Lanzo, Dora Baltea e Riparia, Sesia
10/02/2000	N e W
12/02/2000	Val d'Ossola e Susa
16/02/2000	N e W
17/02/2000	N e W
18/02/2000	W
19/02/2000	Orco, Dora Riparia
20/02/2000	N e W
25/02/2000	Val Susa e Chisone
01/03/2000	N
02/03/2000	N e W, in pianura
04/03/2000	Pellice, Pianura Meridionale, Sesia, Toce
05/03/2000	Toce, Pellice
08/03/2000	Val susa , Valli pedemontane
09/03/2000	Toce, Pellice, Orco
10/03/2000	N e W
11/03/2000	Toce
15/03/2000	Vallate occidentali e orientali
16/03/2000	Val Susa e settore orientale
17/03/2000	Val d'Ossola
30/03/2000	Tutto il Piemonte ad ecc.Sesia, Dora Baltea
06/04/2000	Val d'Ossola
12/04/2000	W
19/04/2000	Toce, sesia, Dora Baltea
19/05/2000	N e W
22/05/2000	Dora Riparia e Pellice
29/05/2000	Pellice, Pian. Meridionale, Sesia, Toce, Orco
31/05/2000	Val Susa
15/06/2000	N e E
16/06/2000	N e E
24/06/2000	N e W
25/06/2000	debole foehn esteso alla pianura
07/07/2000	valli W
08/07/2000	foehn esteso anche alla pianura
09/07/2000	residue condizioni di foehn vallate W e N
12/07/2000	N e W
13/07/2000	N e W e pianure
14/07/2000	Val susa
15/07/2000	piane occidentali
28/07/2000	W e tutta la regione
29/07/2000	N esteso
30/07/2000	N e NW
27/08/2000	N e W
31/08/2000	W e Mottarone
02/09/2000	Val Susa
03/09/2000	N
04/09/2000	E
05/09/2000	Val d'Ossola
07/09/2000	E

## segue Tabella 9.1

16/09/2000	Val Susa
17/09/2000	N e NW, zone montane e pedemontane
21/09/2000	zone montane e pedemontane e collinari
03/10/2000	Verbano
06/10/2000	NW
07/10/2000	Ne W
18/11/2000	NW
26/11/2000	W e NW
10/12/2000	W
15/12/2000	variabile (N, W, NW)
16/12/2000	NW
27/12/2000	N e W
28/12/2000	N e W
29/12/2000	W e NW
08/01/2001	E
09/01/2001	estese alle pianure
27/01/2001	W
29/01/2001	N
30/01/2001	N
03/02/2001	W
21/02/2001	N e W
22/02/2001	N e W, appennino e pianura
23/02/2001	diffusi su tutta la regione
13/03/2001	W e pianura
14/03/2001	pianure orientali
22/03/2001	N e W, appennino e pianura
25/03/2001	biellese e Ossola
30/03/2001	N e NW
31/03/2001	N e NW
05/04/2001	estese
08/04/2001	E e vallate
12/04/2001	vallate e pianura
17/04/2001	Val Susa e vallate N
11/06/2001	episodi estesi
19/07/2001	N e W
20/07/2001	NW e pianura
10/08/2001	N
11/08/2001	N
04/09/2001	vallate N, NE
05/09/2001	NW e pianura
07/09/2001	vallate NW
08/09/2001	vallate NW
09/09/2001	zone alpine prealpine e pianura
14/09/2001	N, W e pianure
15/09/2001	residue al mattino (N e E)
16/09/2001	Val Susa e Chisone
17/09/2001	Valli di Lanzo e Ossola
25/09/2001	Val susa
01/11/2001	N e Nw
09/11/2001	W
23/11/2001	vallive al mattino ed estese in giornata
24/11/2001	N
27/11/2001	Toce
06/12/2001	vallate alpine e appenniniche
13/12/2001	Domodossola
22/12/2001	W

segue Tabella 9.1

23/12/2001	N
26/12/2001	N e pianure
27/12/2001	vallate
28/12/2001	W
30/12/2001	N e W
31/12/2001	N
19/01/2002	NW
24/01/2002	W e N
25/01/2002	W e N
26/01/2002	W
27/01/2002	Val Susa
28/01/2002	Val Susa
07/02/2002	N
10/02/2002	estese e variabili S, N
18/02/2002	N e W
19/02/2002	vallate variabili
20/02/2002	W
21/02/2002	W
22/02/2002	W
23/02/2002	W e esteso
24/02/2002	W
19/03/2002	W
20/03/2002	W, NW e pianura
21/03/2002	estesi
22/03/2002	estesi
23/03/2002	estesi
24/03/2002	val Ossola
14/04/2002	val susa
27/04/2002	vallate torinesi
24/05/2002	NW
10/06/2002	W
11/06/2002	W
28/06/2002	montagne e pianure
24/07/2002	W, N
06/08/2002	W, N
07/08/2002	valli alpine
11/08/2002	N e NW
12/08/2002	N e W
13/08/2002	deboli montane e pedemontane
10/09/2002	N
25/09/2002	N
06/10/2002	Val Susa e Ossola
12/10/2002	NW
13/10/2002	locali condizioni in esaurimento
17/10/2002	W
18/10/2002	estese zone pianeggianti
19/10/2002	Ne W
23/10/2002	W
24/10/2002	Ne W
27/10/2002	Ne W
28/10/2002	W
03/11/2002	W e zone pedemontane
04/11/2002	estese
05/11/2002	NW
06/11/2002	NW
07/11/2002	N

## segue Tabella 9.1

08/11/2002	NW
09/11/2002	NW e W
30/11/2002	Ossola
28/12/2002	Ne W
29/12/2002	tutte le vallate pedemontane
02/01/2003	W
04/01/2003	N
22/01/2003	W, SW
23/01/2003	N, NW
24/01/2003	N e fondovalle
26/01/2003	N
27/01/2003	N e W
28/01/2003	estese con raffiche in pianura
29/01/2003	W
30/01/2003	NW epianura
04/02/2003	vallate alpine
05/02/2003	estese alle pianure
06/02/2003	estese
03/03/2003	NW
13/03/2003	NW
02/04/2003	W, N
05/04/2003	N e pianure E
06/04/2003	N e pianure E
13/05/2003	estese in pianura
14/05/2003	NW e pianura
20/05/2003	vallate pedemontane e pianura
21/05/2003	esteso
22/05/2003	N
01/07/2003	NW e pianura
04/07/2003	NW
17/07/2003	W, N e pianura
29/07/2003	N
29/08/2003	W
30/08/2003	W
31/08/2003	W e pianura
01/09/2003	E
09/09/2003	N
10/09/2003	N, W
11/09/2003	Val Susa e Verbano
12/09/2003	N
03/10/2003	Val Susa
04/10/2003	Val Susa
05/10/2003	estese
06/10/2003	N, W
07/10/2003	zone pianeggianti
08/10/2003	estesi, W, N
09/10/2003	NW, N e pianura
21/10/2003	W
23/10/2003	W, NW
30/10/2003	W
29/11/2003	Vallate settentrionali
15/12/2003	Estesi alle pianure
16/12/2003	Vallate settentrionali
22/12/2003	Dal pomeriggio nelle vallate alpine
23/12/2003	Debole, esteso fin sulle prime zone pianeggianti
24/12/2003	Nella mattinata limitato al settore orientale

segue Tabella 9.1

09/01/2004	nel pomeriggio locali condizioni di foehn nelle vallate settentrionali
10/01/2004	prima parte giornata estese nelle valli occidentali e pianure adiacenti
11/01/2004	deboli condizioni nelle vallate occidentali in tarda serata
12/01/2004	locali condizioni sulle vallate occidentali
13/01/2004	vallate occidentali con iniziale estensione alle pianure adiacenti in tarda serata
14/01/2004	estesi a tutta la regione in mattinata e in serata
15/01/2004	diffuse nella prima parte della giornata
20/01/2004	locali rinforzi nelle vallate settentrionali
21/01/2004	locali sulle vallate a nord
27/01/2004	locali eventi in serata nelle vallate settentrionali ed occidentali
28/01/2004	sulle vallate settentrionali ed occidentali in serata
29/01/2004	estesi alle vallate settentrionali ed occidentali
07/02/2004	vallate occidentali in serata
08/02/2004	vallate nordoccidentali; dal pomeriggio anche sulle pianure adiacenti
09/02/2004	diffuse nelle vallate alpine nordoccidentali e nelle pianure adiacenti
11/02/2004	dal pomeriggio nelle vallate settentrionali e prime pianure adiacenti
12/02/2004	deboli sulle vallate settentrionali nel tardo pomeriggio e in serata
23/02/2004	locali deboli condizioni in serata nelle vallate settentrionali
26/02/2004	locali episodi sulle vallate alpine
07/03/2004	dalla tarda serata locali condizioni di foehn nelle vallate settentrionali
08/03/2004	locali dalla serata nelle valli alpine nordoccidentali
21/03/2004	tardo pomeriggio nelle vallate occidentali e settentrionali in estensione alle pianure
22/03/2004	al mattino nelle vallate alpine nordoccidentali in estensione alle pianure adiacenti
23/03/2004	locali condizioni sulle vallate settentrionali
24/03/2004	vallate settentrionali con interessamento pianure adiacenti
25/03/2004	residue condizioni al mattino nelle vallate settentrionali
05/04/2004	locali nelle vallate occidentali
06/04/2004	estesi fino alla pianura occidentale
07/04/2004	estesi fino alla pianura occidentale e settentrionale
24/04/2004	locale nelle vallate settentrionali in serata
06/05/2004	dal pomeriggio locali condizioni nelle vallate settentrionali ed occidentali
07/05/2004	vallate occidentali e settentrionali
08/05/2004	vallate nordoccidentali in estensione al torinese nel pomeriggio
09/05/2004	vallate nord-occidentali in esaurimento in serata
13/05/2004	locali e temporanei sulle vallate alpine
16/05/2004	locali su vallate settentrionali
02/06/2004	dal pomeriggio sulle vallate alpine nordoccidentali
03/06/2004	locali sulle vallate nord orientali
02/07/2004	deboli su vallate pedemontane a nord-ovest, in estensione alle pianure adiacenti
03/07/2004	locali su vallate pedemontane e pianure adiacenti
25/07/2004	locali fenomeni nelle vallate nordoccidentali
13/08/2004	Val Susa in estensione al torinese
20/08/2004	in nottata nel settore nordoccidentale
21/08/2004	esteso per tutto il giorno
22/08/2004	residue condizioni al mattino nelle vallate settentrionali
25/08/2004	vallate occidentali e nordoccidentali dalla tarda serata
26/08/2004	vallate nordoccidentali e settentrionali in estensione alle pianure
27/08/2004	residui sulle vallate nord-occidentali
21/09/2004	episodi isolati nelle alte vallate alpine nordoccidentali (Pietrastretta, Cime Bianche)
23/09/2004	estesi con interessamento delle pianure occidentali
24/09/2004	nelle vallate occidentali e settentrionali con interessamento delle pianure adiacenti
25/09/2004	vallate nordoccidentali e settentrionali
26/09/2004	vallate nordoccidentali e settentrionali
10/10/2004	vallate sudoccidentali (Maira, Stura)
16/10/2004	vallate occidentali
17/10/2004	locali e di breve durata, in serata, nelle vallate occidentali e nella pianura adiacente

segue Tabella 9.1

07/11/2004	vallate settentrionali e pianure del novarese
13/11/2004	vallate settentrionali e pianure orientali
14/11/2004	vallate settentrionali in estensione alle pianure adiacenti
20/11/2004	esteso a tutta la regione
21/11/2004	estesi al primo mattino su vallate settentrionali
17/12/2004	locali in tarda serata sulle vallate nordoccidentali
18/12/2004	estesi fino alla serata
30/12/2004	nella prima parte della giornata sul Verbano

Si è poi calcolato il numero di episodi di foehn (anche plurigiornalieri) che si sono manifestati durante i cinque anni considerati e il numero effettivo di giorni di foehn (Tabella 9.2). Sono stati registrati 288 giorni di foehn, una media di 58 giorni l'anno. Solitamente l'evento di foehn è caratterizzato da un solo giorno di azione del vento di caduta (16 giorni in media), seguito dagli episodi di 2, 3 e 4 giorni consecutivi.

Quindi gli episodi di foehn diminuiscono all'aumentare del numero di giorni consecutivi, ad eccezione degli eventi di sette giorni che, nei casi esaminati, si manifestano con la stessa frequenza degli eventi di 5 giorni consecutivi (4 volte).

In coda troviamo invece l'evento composto da 6 giorni di attività del vento di caduta, che nei 5 anni considerati, si è verificato una volta sola. Tale analisi conferma che il foehn raramente supera i tre giorni

Tabella 9.2

	1	2	3	4	5	6	7	Somma
2000	26	9	3	3	1	0	0	70
2001	17	9	3	1	0	0	0	48
2002	12	6	2	0	1	1	2	55
2003	13	3	4	2	1	0	1	51
2004	11	9	5	2	1	0	1	64
<b>Somma eventi</b>	79	36	17	8	4	1	4	149
<b>Somma giorni</b>	79	72	51	32	20	6	28	288
<b>Media giorni</b>	15.8	14	10	6.4	4	1.2	5.6	57.6

di azione continuativa, senza interrompere le proprie caratteristiche, in funzione della persistenza della situazione barica che lo determina (Barry, 1992). Non è infrequente che fattori locali causino al suolo alterazioni sensibili equivalenti ad una interruzione del fenomeno.

Ogni zona delle Alpi, ogni vallata, ogni pianura, ha una sua climatologia del favonio. Le valli dove il favonio entra più facilmente sono generalmente note. Infatti, la maggior parte degli eventi di foehn che si sono manifestati in Piemonte, hanno interes-

sato esclusivamente la val di Susa (in media 20 giorni all'anno), la val d'Ossola (13 giorni/anno) o entrambe le valli nello stesso giorno (26 casi nell'anno 2000). Non sempre il foehn riesce a raggiungere la pianura (25.9% in media) e spesso si tratta di fenomeni in esaurimento (Tabella 9.3).

Raramente i casi di foehn sono estesi a tutta la regione, spesso interessano soltanto determinate aree del territorio piemontese. I settori regionali generalmente più colpiti sono principalmente il Nord e l'Ovest soprattutto in inverno e in seguito il Nord-

Tabella 9.3

Aree interessate da foehn	2000	2001	2002	2003	2004	SOMMA	MEDIA
VAL SUSAS	20	12	24	17	24	97	19
VAL D'OSSOLA	16	13	6	11	18	64	13
VAL SUSAS E VAL D'OSSOLA	26	10	12	9	11	68	14
ALTRE VALLI	4	4	3	2	5	18	4
ESTESE AL PIEMONTE	4	9	10	12	6	41	8
SOMMA DEI GIORNI	70	48	55	51	64	288	58
RAGGIUNGONO LA PIANURA	11.4	31.3	12.7	37.3	42.2	26.4	25.9

Tabella 9.2

Episodi di foehn durante i 5 anni analizzati e durata in giorni (da 1 a 7 per ogni singolo evento) e calcolo del numero effettivo dei giorni.

Tabella 9.3

Numero di giorni in cui gli episodi di foehn coinvolgono le valli piemontesi e percentuale in cui riescono a raggiungere la pianura.



**Tabella 9.4**

Suddivisione dei giorni a seconda della provenienza del foehn e della stagione considerata. I = Inverno (dicembre, gennaio, febbraio), P = Primavera (marzo, aprile, maggio), E = Estate (giugno, luglio, agosto, A = Autunno (settembre, ottobre novembre).

**Tabella 9.4**

	NORD				OVEST				NORD-OVEST				EST				SUD			
	I	P	E	A	I	P	E	A	I	P	E	A	I	P	E	A	I	P	E	A
2000	15	12	10	5	16	9	9	2	4	0	1	4	0	2	2	2	0	0	0	0
2001	9	5	3	7	7	3	1	4	0	2	1	4	1	2	0	2	0	0	0	0
2002	6	1	4	8	12	3	5	9	0	2	1	5	0	0	0	0	1	0	0	0
2003	6	4	2	8	4	1	4	8	2	3	2	2	1	2	0	1	1	0	0	0
2004	10	10	2	6	8	6	1	4	3	4	7	3	0	0	1	1	0	0	0	1
Somma	46	32	21	34	47	22	20	27	9	11	12	18	2	6	3	6	2	0	0	1
Media	9	6	4	7	9	4	4	5	2	2	2	4	0	1	1	1	0	0	0	0

**Tabella 9.5**

Andamento stagionale del numero totale di giorni di foehn suddivisi per stagione e per mese.

**Tabella 9.5**

	I	P	E	A	ANNO	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D
2000	22	19	16	13	70	6	10	12	3	4	4	10	2	8	3	2	6
2001	18	10	5	15	48	5	4	6	4	0	1	2	2	10	0	5	9
2002	17	9	9	20	55	6	9	6	2	1	3	1	5	2	10	8	2
2003	18	10	7	16	51	10	3	2	3	5	0	4	3	5	10	1	5
2004	22	17	12	13	64	12	7	7	4	6	2	3	7	5	3	5	3
SUM	97	65	49	77	288	39	33	33	16	16	10	20	19	30	26	21	25
AVERAGE	19.4	13	9.8	15	57.6	8	7	7	3	3	2	4	4	6	5	4	5

**Figura 9.9**

Analisi dell'episodio di foehn verificatosi dal 3 al 8 ottobre 2003. Si sono considerati gli andamenti semi-orari dell'umidità relativa e della direzione del vento per alcune stazioni della valle di Susa.

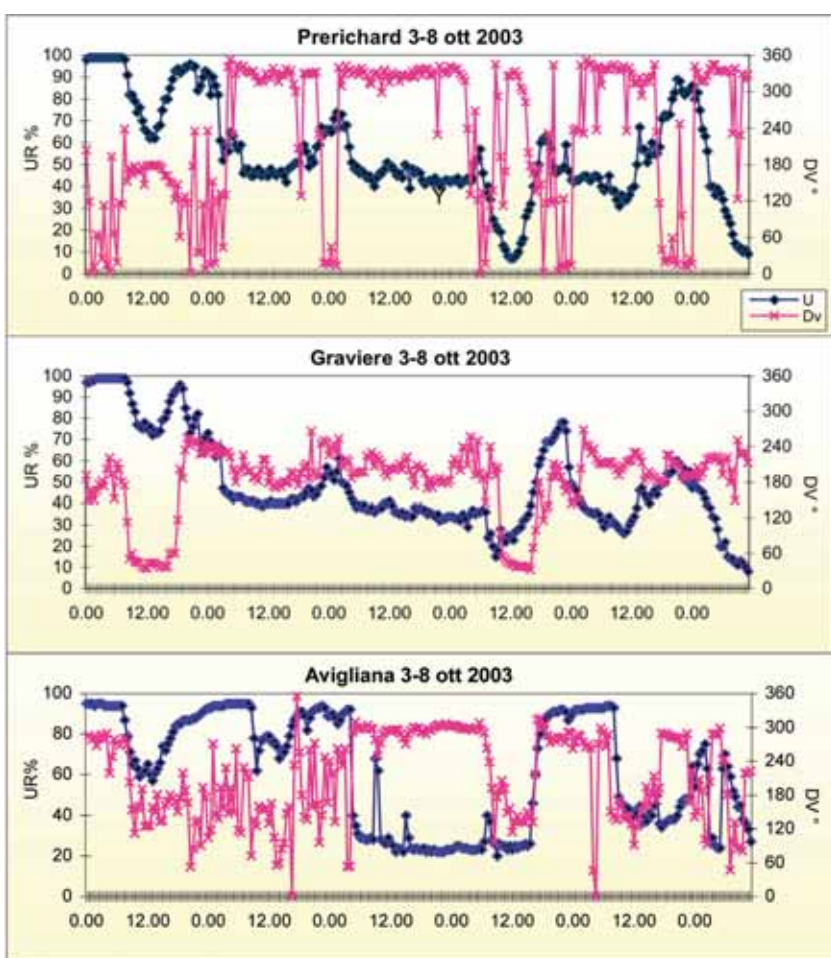
Ovest, principalmente in autunno (Tabella 9.4). Il settore Est e soprattutto il Sud manifestano sporadici eventi che, nel caso della direzione Sud, non si veri-

ficano mai nella stagione primaverile ed estiva. In generale la stagione che presenta più giorni di foehn è quella invernale (19 giorni in media), con una minima prevalenza nel mese di gennaio (8 giorni). Segue poi l'autunno (15 giorni) con il massimo concentrato in settembre (6 giorni in media) (Tabella 9.5). Il foehn da Nord ha il suo massimo in inverno e in autunno, quando si hanno avvezioni di aria di origine polare da Nord o Nord-Ovest, ma è possibile anche nelle altre stagioni. Il foehn che interessa la pianura torinese si può descrivere come un vento teso occidentale, dovuto all'orientamento ovest-est della Val di Susa; è quindi un foehn da Ovest.

Per alcuni dei maggiori episodi di foehn che hanno interessato il Piemonte, ad esempio in ottobre 2003 per sette giorni consecutivi, si è interpretata la dinamica di svolgimento dell'evento e lo sfasamento orario tra stazioni appartenenti alla stessa valle. Sono quindi stati analizzati i dati rilevati da alcune stazioni della valle Susa e, più precisamente da Ovest verso Est, Prerichard, Graviere ed Avigliana. Si è quindi effettuato un confronto tra i dati semi-orari di umidità relativa e di direzione del vento (Figura 9.9) e tra temperatura e velocità del vento (Figura 9.10). Esaminiamo nel dettaglio l'evento di foehn che ha interessato a più riprese la Val di Susa nei giorni dal 3 all'8 ottobre 2003.

A Prerichard alle ore 8.00 del 3 ottobre 2003 si assiste ad un aumento dell'intensità del vento, seguito da un aumento della temperatura e da un cam-

**Figura 9.9**



biamento della direzione del vento che da irregolare diventa costante (quadrante NNW) e che si assesta verso le 17 dello stesso giorno. Verso le 8.30 inizia a Graviere mentre ad Avigliana non si registrano variazioni significative.

Un certo interesse presenta l'ora di inizio del foehn: sebbene la sua genesi dipenda essenzialmente dalla situazione barica e relativa evoluzione, in ogni singola località entrano in gioco fattori locali (configurazione orografica, natura del soprasuolo, processi radiativi, ecc.) che possono ritardare o accelerare l'inizio del fenomeno anche in modo marcato.

Ad Avigliana l'episodio di foehn inizia alle 4.30 del 5 ottobre e si conclude il 6 ottobre verso le 7.00: il vento oscilla tra i 5 e i 9 m/s, l'umidità dell'aria si assesta al 20-30% per tutto il periodo considerato e anche la direzione di provenienza del vento si presenta stabile, a Nord/Nord-Ovest. La temperatura non subisce un aumento repentino, ma si mantiene costante per tutte le 26 ore di attività del vento di caduta intorno a valori di 12-15°C.

Un aumento dell'intensità del vento si registra anche nelle altre stazioni meteorologiche, ad eccezione di Graviere, dove non si osservano nette variazioni. A Prerichard l'ora di inizio è anticipata alle ore 2.00 del 5 ottobre. In questo episodio non si verifica uno sbalzo termico adeguato ma anzi si ravvisa un normale andamento termico giornaliero.

Quindi i parametri che risultano più attinenti a svelare la presenza del vento di caduta sono l'umidità relativa, che risulta costante per la durata dell'episodio intorno a valori di 30-40% e la direzione del vento che presenta un'uniforme direzione prevalente (in questi casi Nord, Ovest).

Una nuova ripresa del foehn si rileva a Prerichard con inizio il 7 ottobre dalle ore 1.00 alle ore 16.30: lo stesso fenomeno, con sfasamento orario di circa 5 ore, inizia ad Avigliana.

Anche valutando l'esempio proposto, si può affermare che il foehn raramente supera i tre giorni di azione continuativa, senza interrompere le proprie caratteristiche, in funzione della persistenza della situazione barica che lo determina.

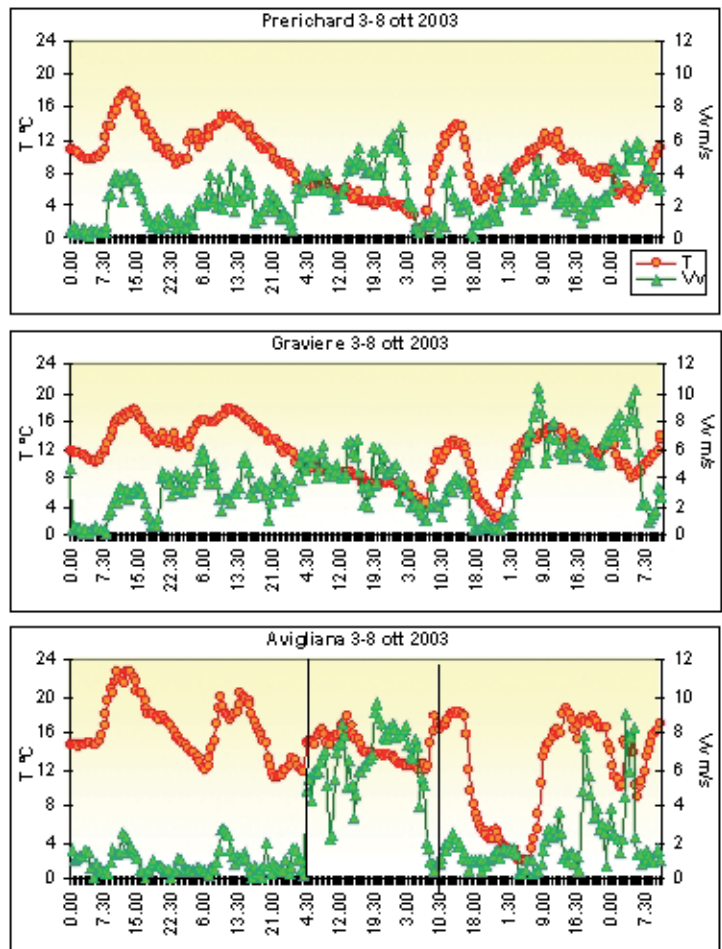
Ma non è infrequente che fattori locali causino al suolo alterazioni sensibili equivalenti ad una interruzione del fenomeno. È ovvio però che i casi di maggior durata non appartengono propriamente alla

classe dei foehn in senso stretto, ossia dei venti di discesa per superamento del rilievo (elevatesi ad un'altezza superiore al livello di condensazione del vapor acqueo), ma rientrano essenzialmente nella categoria dei foehn "liberi" o "anticiclonali", i quali sono correnti discendenti della libera atmosfera che si manifestano su vasta scala in funzione dello sviluppo di situazioni anticicloniche indipendentemente dal rilievo e che come tali dovrebbero quindi, ove possibile, venir distinte dalle altre (sarebbe anzi opportuno riservare il nome di foehn ai soli venti catabatici dovuti al rilievo nel senso predetto). Occorre sottolineare che l'aumento di temperatura può essere più o meno accentuato a seconda di diversi fattori e siccome l'intensità del vento dipende essenzialmente dalla zona (la Val di Susa, per esempio, è un'area tipicamente molto ventosa, anche in assenza di foehn), in prima analisi, il criterio migliore per diagnosticare la presenza o meno di foehn nelle valli sottovento rimane il forte effetto sull'umidità.

Figura 9.10

Analisi dell'episodio di foehn verificatosi dal 3 al 8 ottobre 2003. Si sono considerati gli andamenti semi-orari della temperatura massima e della velocità del vento per alcune stazioni della valle di Susa.

Figura 9.10



## 9.5 STAZIONI SOPRAVVENTO E SOTTOVENTO

L'analisi dei casi di foehn può essere svolta a livello puntuale (improvviso aumento della temperatura e contemporanea caduta dell'umidità relativa; vento che soffia dalle montagne; visibilità, copertura nuvolosa assente e tipica sulle montagne, come visto nel paragrafo precedente), su mesoscala, considerando il gradiente di pressione e l'aumento dell'intensità del vento (come descritto di seguito), e infine a livello sinottico, mediante l'individuazione dei tipi di tempo in presenza di foehn (paragrafo 9.6).

Al fine di studiare i casi di foehn occorre sottolineare che il riconoscimento degli episodi può avvenire tramite il criterio "puntuale" (improvviso aumento della temperatura e contemporanea caduta dell'umidità relativa; vento che soffia dalle montagne; visibilità, copertura nuvolosa assente e tipica sulle montagne); il criterio mesoscala (considerando il gradiente di pressione, aumento dell'intensità del vento); seguendo il criterio sinottico (anticiclone sull'Atlantico che si espande nell'Europa centrale, preventivamente interessata da una depressione). Il primo criterio è stato appena affrontato e il terzo si basa sull'individuazione dei tipi di tempo in presenza di foehn e sarà presentato nel paragrafo 9.6. Occorre ora approfondire il criterio mesoscala. Abbiamo già più volte ribadito che i fenomeni che

caratterizzano il foehn consistono nella presenza di vento forte e a raffiche, nell'innalzamento della temperatura e nella diminuzione brusca dell'umidità relativa, e questi sono i primi parametri che bisogna valutare per poter ipotizzare la presenza del fenomeno in una stazione sottovento.

Considerando le trasformazioni termodinamiche che avvengono durante un episodio di questo tipo, si deve distinguere tra ciò che avviene lungo il versante sottovento e quello che avviene lungo il versante sopravvento della montagna (criterio su mesoscala). Per identificare gli episodi di foehn occorsi in una stazione del versante sottovento situata a fondovalle, bisogna confrontare il valore della temperatura potenziale di questa stazione con quello di una stazione di riferimento posta nella parte superiore della montagna, rappresentativa del flusso a livello della cresta (J.M. Vergeiner et al., 2002). Si osserva foehn nella stazione a fondovalle ogni qualvolta la temperatura potenziale di questa stazione è maggiore o uguale della temperatura potenziale della stazione di riferimento sulla cresta della montagna. Per accertarsi che si tratti di foehn, dopo aver utilizzato questo criterio si deve poi verificare che vi sia allineamento del vento con l'asse della valle considerata.

Per stabilire la quota da cui perviene il flusso lungo il versante sopravvento, bisogna considerare l'intero processo termodinamico a cui va incontro la massa d'aria e, trattandosi di un processo pseudo-adiabatico, si deve analizzare il profilo della temperatura pseudo-potenziale, in cui ogni isolinea dovrebbe corrispondere ad una traiettoria che mostra il tragitto seguito dall'aria (Siebert, 1989).

Le condizioni di foehn che interessano la pianura

Figura 9.11

Stazioni al suolo prese in considerazione.

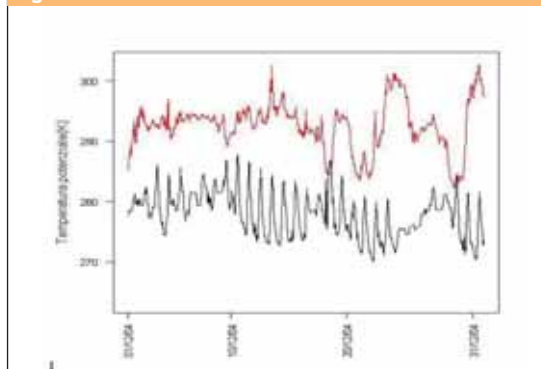
Figura 9.12

Andamento temperatura potenziale, dicembre 2004. Rosso: Monte Fraiteve, nero: Giardini Reali.

Figura 9.11



Figura 9.12





torinese sono state approfondite analizzando i dati delle stazioni meteorologiche lungo il versante sottovento, della Val di Susa, a causa del suo orientamento ovest-est, e di Torino Giardini Reali e di Torino Reiss Romoli (Figura 9.11).

Le grandezze meteorologiche di interesse misurate dalle stazioni dell'Arpa Piemonte sono la temperatura dell'aria, la direzione e la velocità del vento, l'umidità relativa e la pressione atmosferica. Avendo la necessità di conoscere la pressione atmosferica, per calcolare la temperatura potenziale e la temperatura pseudo-potenziale, in alcune stazioni il valore di questa grandezza è stato interpolato, in modo da disporre di una distribuzione abbastanza uniforme delle stazioni meteorologiche, su cui è stata svolta l'analisi sottovento, lungo la val di Susa (E. Brussolo, ined.).

### 9.5.1 Esempio di analisi di un caso di foehn

L'individuazione del case-study è stata fatta osservando come periodo di interesse il mese di dicembre 2004. Per isolare i casi di foehn che hanno raggiunto la città di Torino durante questo periodo, è stato confrontato l'andamento della temperatura potenziale della stazione di Giardini Reali con quella di Monte Fraiteve, stazione di riferimento in quota situata alla sommità della Val di Susa a 2700 metri di altitudine (Figura 9.11). Monte Fraiteve risulta indicativa del flusso a livello della cresta, mentre Giardini Reali è stata scelta come stazione rappresentativa del fondovalle di Torino perché situata più ad est rispetto alla stazione cittadina di Reiss Romoli.

I dati, relativamente alla rete al suolo della Val di Susa e della pianura torinese, sono rilevati ad intervalli regolari, ogni 30 minuti a partire dalle ore 00:00 del primo giorno del mese di dicembre, per quanto riguarda la pressione, la temperatura e l'umidità relativa; le raffiche, invece, vengono registrate ogni ora, a partire dalle ore 00:00 del primo giorno del mese di dicembre.

Dal grafico di figura 9.12 si può notare che la  $\Theta$  di Monte Fraiteve rimane sempre superiore a quella di Torino, fatta eccezione per due eventi nei quali la temperatura potenziale di Monte Fraiteve scende bruscamente fino a raggiungere quella di Torino, che invece sale lievemente. Isoliamo il primo evento, in

Figura 9.13

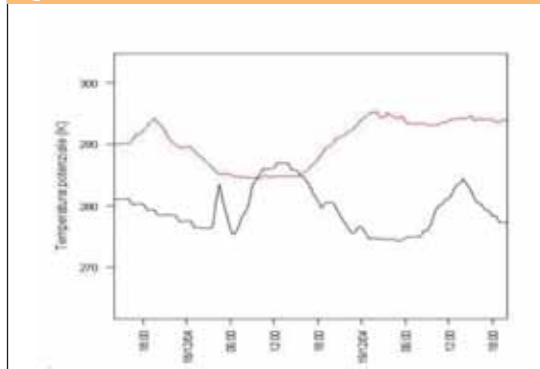


Figura 9.13

Andamento temperatura potenziale, primo evento. Rosso: Monte Fraiteve, nero: Giardini Reali.

Figura 9.14

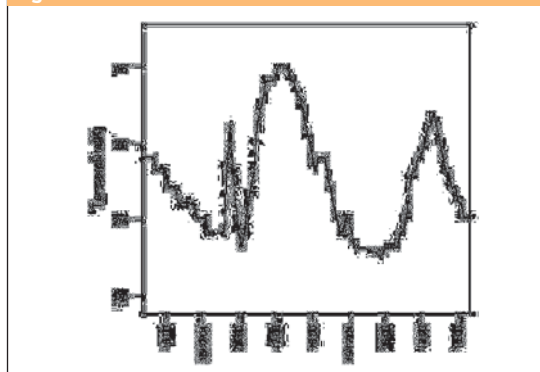


Figura 9.14

Andamento temperatura a Torino Giardini Reali.

Figura 9.15

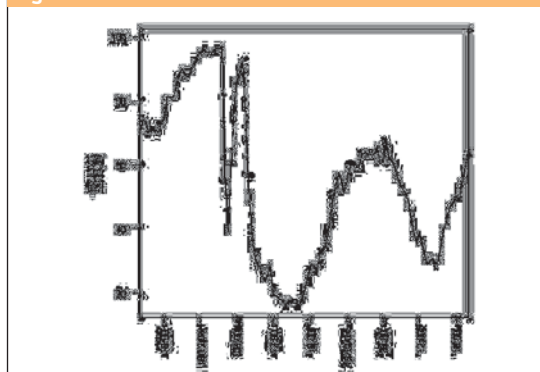


Figura 9.15

Andamento umidità relativa a Torino Giardini Reali.

Figura 9.16

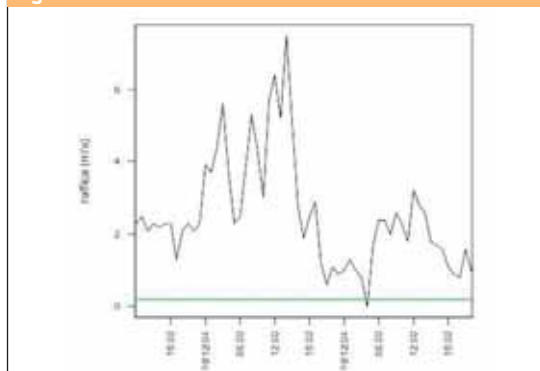


Figura 9.16

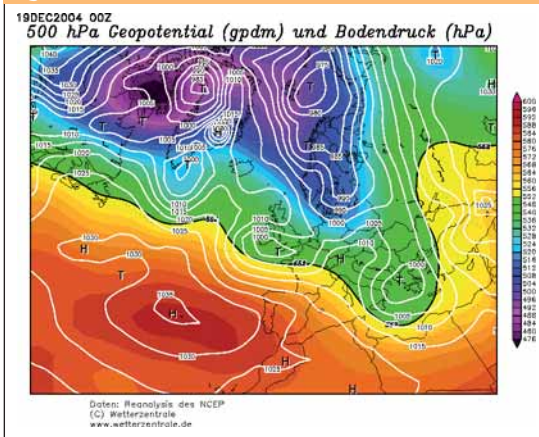
Andamento della raffica a Torino Giardini Reali.

modo da analizzarlo. Il primo superamento della  $\Theta$  di Torino rispetto a quella di Monte Fraiteve corri-

Figura 9.17

Isobare e altezza di geopotenziale a 500 hPa alle ore 12:00; a nord delle Alpi si può osservare il “naso” del foehn.

Figura 9.17



sponde al 18 dicembre 2004. Per verificare che si tratti di un effettivo episodio di foehn, bisogna accertarsi che l'andamento della temperatura, dell'umidità relativa e della velocità del vento siano compatibili con quelle caratteristiche di un evento di questo tipo, e che l'analisi meteorologica relativa a questo episodio confermi la presenza di foehn nella città di Torino.

Osservando le figure 9.13, 9.14 e 9.15, che mostrano l'andamento rispettivamente della temperatura, dell'umidità relativa e delle raffiche del vento nella stazione di Torino Giardini Reali, si può notare come, nelle ore in cui a Torino la temperatura potenziale supera o eguaglia quella di Monte Fraiteve, si assiste un aumento della temperatura (da un valore di

274 K fino a 286 K), una repentina diminuzione dell'umidità relativa (che passa da un valore prossimo al 100% fino al 20%) e una raffica massima di 7.5 m/s, particolarmente significativa se confrontata con il valor medio della velocità del vento che, relativamente al mese di dicembre, risulta pari a 0.2 m/s (Figura 9.16).

Ed il Bollettino Meteorologico della Regione Piemonte, emesso da Arpa Piemonte, in data 18 dicembre 2004, riporta: “Durante la mattina si assiste al passaggio veloce di un fronte freddo sul nord Italia, che determina condizioni favorevoli al foehn; in serata una nuova debole perturbazione atlantica si muove dalle Isole Britanniche verso la Francia. Il cielo è sereno, con addensamenti sui rilievi di confine, e la visibilità è ottima. Deboli neviccate sui rilievi alpini di confine, con zero termico: dapprima in calo fino ai 1400 m, poi di nuovo rialzo fino ai 1700 m; la quota neve è fissata intorno ai 1000 m. Le temperature massime subiscono un forte aumento, le minime sono in calo. I venti soffiano da nordovest, con raffiche molto forti in montagna e moderate in pianura; generale attenuazione in serata. Eventi di foehn estesi fino a serata” (Figura 9.17).

## 9.6 TIPI DI TEMPO E FOEHN

Ad ogni giorno di foehn si è associata la configurazione sinottica presente (il tipo di tempo), in modo da determinarne la frequenza prevalente. La classificazione dei tipi di tempo si basa sui criteri soggettivi di Borghi - Giuliaci (1985) (per ulteriori approfondimenti, si riporta al Box 1).

Il tipo di tempo 90 è maggiormente presente in Piemonte in caso di foehn (17,2% dei casi) e l'effetto meteorologico risulta un flusso da Ovest, che comporta generalmente nuvolosità irregolare con addensamenti sui rilievi occidentali. Il tipo di tempo 100, al secondo posto come frequenza (14,1%) presenta una circolazione ciclonica con correnti nordoccidentali, con annvolamenti e precipitazioni sui rilievi nordoccidentali di confine e cielo sereno a fondovalle e temperature in aumento. Circa il 73% degli episodi di foehn si verificano con 6 tipi di tempo principali: 90, 100, 80, 31, 40, 110 (Tabella 9.6).

Tabella 9.6

Individuazione dei tipi di tempo meteorologici principali che si verificano in presenza di foehn.

Tabella 9.6

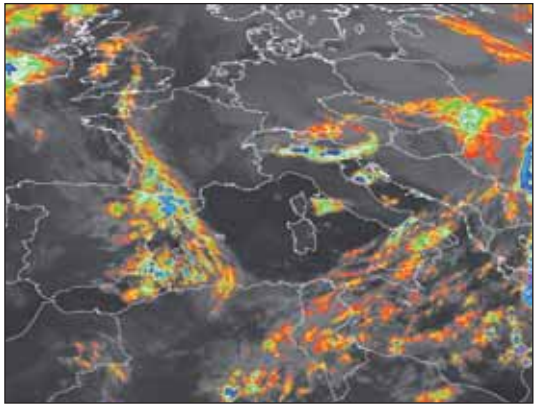
Tipo di tempo	Frequenza
90	17.2
100	14.1
80	12.7
31	11.5
40	10.1
110	9.0
51	5.1
60	4.2
52	3.7
140	2.8
121	2.3
70	2.3
150	2.0
10	1.4
20	0.6
122	0.6
32	0.3
21	0.3



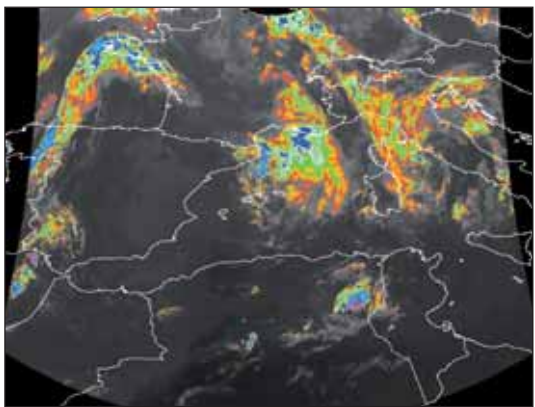
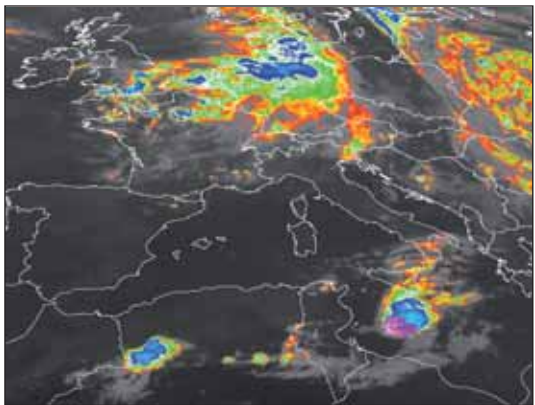
## 9.7 IMMAGINI DA SATELLITE

Di seguito come esempi vengono riportate alcune immagini da satelliti di giornate interessate da eventi di foehn:

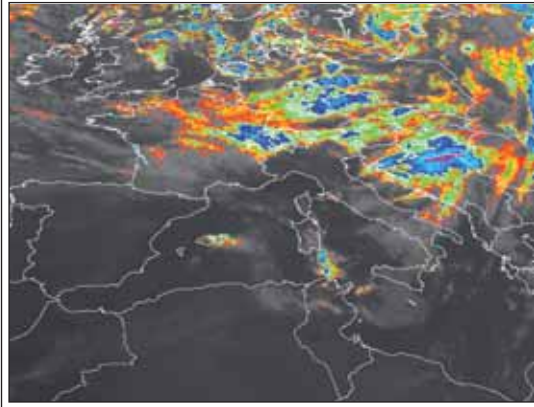
**Episodio foehn 5 novembre 2002, ore 6.00. Situazione di favonio a sud delle Alpi.**



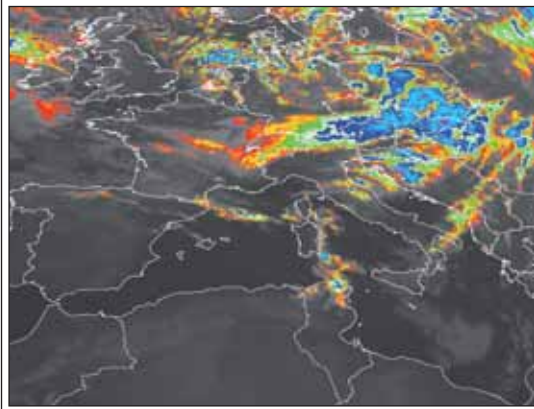
**Situazione di favonio da Nord che interessa soltanto il Piemonte e la Liguria di Ponente. 7 settembre 2001 (sopra ore 12:00 e sotto ore 18.00)**



**Episodio foehn 23 febbraio 2002, ore 18.00**



**Episodio foehn 24 febbraio 2002, ore 00.00**



### Episodi del 23 e 24 febbraio 2002

Sbarramento da nord sulle Alpi austriache. Il vortice depressionario è sulla Polonia, con il fronte freddo diretto verso l'Albania. Il fronte caldo invece con estesa nuvolosità stratiforme, ricopre il baltico e parte della Svezia. Sulla Francia è visibile la nuvolosità cumuliforme, che si forma grazie alle termiche, nella massa d'aria fredda. Appena a nord delle Alpi vi sono effetti favonici che portano ad una dissoluzione della nuvolosità. Sulla Sardegna lo stesso vento ha già ripreso dell'umidità sul mare, mostra lievi effetti di nuvolosità sulla parte occidentale.

**BOX 1****Temperatura potenziale**

Temperatura che una massa d'aria, inizialmente a pressione  $p$  e temperatura  $T$ , assumerebbe se venisse portata adiabaticamente alla pressione di 1000 hPa. È un elemento conservativo delle masse d'aria secche e il suo logaritmo è proporzionale all'entropia dell'aria. Generalmente, la T.P. aumenta con la quota.

Attraverso la formula:

$$\Theta = T ( 1000 / p_1 )^k$$

dove:

$\Theta$  = temperatura potenziale (in gradi Kelvin)

$T$  = temperatura iniziale dell'aria (in gradi Kelvin) alla pressione  $p_1$

$p_1$  = pressione iniziale

$k = R_A / C_p = 287 / 1005 = 0,286$  (arrotondabile a 0,29).

Supponiamo che la nostra particella d'aria si trovi a  $p_1 = 600$  hPa, con una temperatura  $t = -10^\circ\text{C}$ .

Convertiamo la temperatura da Celsius a Kelvin:  $T = t + 273 = -10 + 273 = 263$  K.

$\Theta = 263 (1000 / 600)^{0,29} = 304$  K.

La temperatura potenziale di una particella d'aria posta inizialmente alla pressione di 600 hPa avente una temperatura di  $-10^\circ\text{C}$  è 304 K.

**Temperatura pseudopotenziale  $\Theta_p$** 

È una grandezza conservativa sia delle masse d'aria secche (ed umide non sature) sia delle masse d'aria sature, e perciò abbastanza rappresentativa delle proprietà di un corpo d'aria omogeneo. Inoltre, è quasi-conservativa rispetto a variazioni di temperatura dovuta ad evaporazione di pioggia cadente, mentre non è conservativa per variazioni non adiabatiche di temperatura (ad esempio per radiazione) e di umidità. Nella pratica, risulta utile insieme alla temperatura potenziale per la valutazione delle condizioni di stabilità dell'atmosfera.

# Gli effetti del vento



## 10.1 GLI EFFETTI DEL VENTO SULLA NEVE

Il vento può influenzare moltissimo le condizioni di innevamento: durante la precipitazione nevosa il vento tende ad accumulare la neve sui versanti ad esso esposti, dopo la precipitazione può trasferirne una notevole parte dai versanti sopravvento a quelli sottovento formando grossi accumuli, pericolosi per chi si muove in montagna (valanghe a lastroni). Il versante sopravvento di una catena montuosa è quello direttamente esposto al vento sinottico: se quest'ultimo proviene da ovest, il versante sopravvento è quello occidentale. In tal caso il versante sottovento è quello orientale.

Secondo Cagnati e Luchetta (1990), per valutare correttamente l'attività del vento sul manto nevoso occorre tener presente che:

1. Il trasporto della neve, in caso di trasporto superficiale a debole coesione, avviene a partire da velocità di 10 km/h.

- In caso di strato superficiale compatto, formato da grani che hanno subito fusione e rigelo (croste da fusione e rigelo), il trasporto inizia da velocità intorno ai 100 km/h.

Nel primo caso, fino ai 36 km/h il trasporto della neve può essere considerato moderato, mentre è forte dai 36 ai 60 km/h e molto forte oltre i 60 km/h.

## 10.2 GLI EFFETTI DEL VENTO SUL CORPO UMANO

La sensazione di caldo o freddo non dipende esclusivamente dallo stato del soggetto e dalla temperatura dell'aria, ma anche da fattori quali la radiazione solare, l'umidità dell'aria, l'umidità della pelle e degli indumenti e, nel caso specifico, dalla velocità del vento.

Tabella 10.1

Classificazione secondo Munter (1992) della velocità del vento basata sugli effetti riconoscibili in montagna (effetti sulla neve al suolo, sul corpo umano, sugli oggetti fissi).

Fonte: IL TEMPO IN MONTAGNA, KAPPEMBERGER ET KERKMANN, 1997.

Tabella 10.1

1	<b>DEBOLE</b>	(< 18 km/h)	Un fazzoletto si muove appena, nessun effetto sulla neve, si avverte il vento sul viso.
2	<b>MODERATO</b>	(18 - 36 km/h)	Il fazzoletto si tende, la neve si solleva e forma cumuli, nessuna sensazione di fastidio.
3	<b>FORTE</b>	(36 - 60 km/h)	Il vento si fa sentire, si muove il fogliame, fremito del bosco, fischi, bastoncini da sci e cavi tesi vibrano, accumuli di neve di notevole intensità, se l'aria è molto fredda il vento è doloroso, rischio di congelamenti alle estremità già a -10°C, indispensabile usare indumenti che non fanno passare il vento.
4	<b>MOLTO FORTE</b>	(60 - 90 km/h)	E' difficile procedere contro vento, la neve sulle vette e le creste viene sollevata, i rami degli alberi vengono spezzati, possibili congelamenti a partire già da -5°C.
5	<b>FORTISSIMO</b>	(> 90 km/h)	Progressione in posizione eretta molto difficile. Occorre interrompere ogni ascensione.

In condizioni normali la temperatura del corpo si mantiene costante o presenta solo lievi variazioni. Ciò significa che se si viene a creare un equilibrio tra la situazione esterna ambientale, variabile e quella interna del nostro organismo, che ha il suo optimum a circa 37°C: la cute in tal senso gioca un ruolo fondamentale. Normalmente essa disperde più calore di quanto ne riceva dall'esterno per compensare la produzione interna di energia e mantenere la temperatura costante. Questo avviene tramite vari meccanismi: irradiazione, conduzione, convezione e l'evaporazione del sudore. Per un soggetto a riposo, vestito normalmente, una perdita di 200 Joule al secondo per un metro quadro di cute è normale e viene percepita come situazione piacevole. Se la perdita è maggiore di questo valore si sente freddo, se è minore si sente caldo. Ora, più vento c'è, maggiore è la sensazione di freddo. La cute cerca di ridurre il più possibile la dispersione di calore all'interno, ma per quanto faccia la sua temperatura è sempre maggiore rispetto a quella esterna e quindi continua la trasmissione di calore dalla pelle all'aria. Più veloce è il vento, maggiore è questa dispersione fino al raggiungimento di un punto in cui la temperatura dell'aria e della cute sono quasi simili e nonostante l'aumentare del vento, la perdita di calore non cresce ma si mantiene costante. Questo si verifica ad una velocità di circa 60 km/h; venti più forti non contribuiscono ad un ulteriore raffreddamento del corpo umano.

La figura 10.1 rappresenta graficamente il potere di raffreddamento del vento. Essa quantifica la perdita del corpo umano, non bagnato, in relazione alla velocità del vento (in ordinata) e alla temperatura (in ascissa). Le curve del grafico collegano i punti

di uguale perdita di calore. Il corpo umano ha per esempio la medesima sensazione di freddo a 10°C con 45 km/h di vento come a -30°C in assenza di vento. Le indicazioni (piacevole, fresco, freddo, ecc.) sono state rilevate sottoponendo dei volontari a diverse condizioni atmosferiche.

### 10.2.1 Benessere fisico

Esiste una forte variabilità fra gli individui in fatto di esigenze turistico-climatiche: è ben noto che da alcuni è preferita l'aria frizzante della montagna, da altri il tepore e le basse escursioni termiche del mare; talora tali preferenze sono legate anche alla fisiologia dei diversi soggetti (bassa pressione atmosferica a maggiori altitudini, alta pressione lungo le coste) (S. Fratianni, L. Motta, 2002).

Il vento favorisce l'evaporazione, e quindi determina un abbassamento della temperatura corporea. La quantità di calore prelevata al corpo nell'unità di tempo è calcolata dalla seguente formula (P.A. Siple e Ch. F. Passel, 1945):

$$K = (12,12 + 11,6 \sqrt{v - 1,16 v}) (33 - T_x)$$

dove:

$K$  = potere refrigerante del vento espresso in  $W/m^2$ ;

$T_x$  = temperatura massima in °C;

$v$  = velocità del vento in m/s al momento della temperatura massima.

Esistono condizioni di benessere quando  $K$  è compreso fra 350 e 700 W rapportato ad un metro quadro di superficie corporea. Con  $K = 1625$  la pelle esposta congela. Al di sotto del valore dei 350  $W/m^2$  inizia la sudorazione per impedire che la temperatura corporea superi i 37°C. Il disagio si accentua drasticamente con  $K = 58$ .

Tale situazione ha implicazioni sul turismo che, infatti, è favorito da temperature non eccessivamente calde o fredde, da condizioni di umidità intermedia, dall'alternanza regolare di periodi di luce solare e di ombra notturna (Figura 10.2).

L'organismo conserva il potere di eliminare le calorie superflue per evaporazione dell'acqua dagli strati superficiali della pelle tramite il fenomeno della sudorazione. L'evaporazione costituisce un basilare meccanismo di raffreddamento corporeo: il fenomeno è però condizionato dalla velocità del vento (che accresce la velocità d'evaporazione rinnovando senza

Figura 10.1

Raffreddamento del corpo umano (soggetto a riposo vestito normalmente) in relazione alla temperatura dell'aria e alla velocità del vento. Le curve collegano i punti di uguale perdita di calore espressa in Watt al metro quadro.

FONTE: IL TEMPO IN MONTAGNA, KAPPEMBERGER ET KERKMANN, 1997.

Figura 10.1

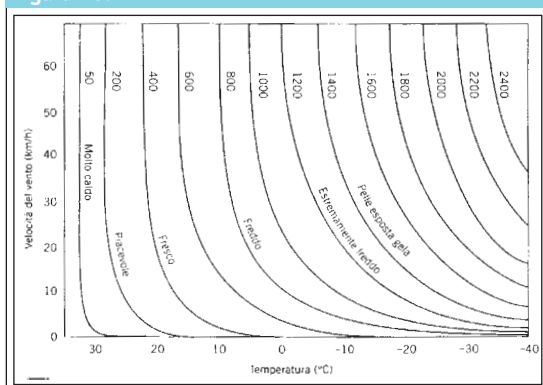


Figura 10.2



Figura 10.2

La presenza di vento forte nei comprensori sciistici limita notevolmente la pratica degli sport di tipo alpino: sci e snowboard.  
Foto M. GRIVETTI

tregua la guaina atmosferica che avvolge il corpo) e soprattutto dallo stato igrometrico. È noto che nei bassi strati dell'atmosfera è sempre contenuta una certa quantità di vapore acqueo di varia provenienza (evaporazione dal mare, dai laghi, dai corsi d'acqua, dal terreno, dalle piante). Ma più che la quantità effettiva di vapore contenuta nell'aria interessa conoscere il rapporto tra la quantità realmente presente e quella che vi potrebbe essere contenuta in condizioni di saturazione; rapporto che, risultando sempre di un valore minore dell'unità, viene espresso in centesimi e rappresenta l'umidità relativa.

La tollerabilità delle varie temperature da parte dell'uomo è più o meno connessa con il tenore dell'umidità relativa. Per questo motivo sono stati elaborati i grafici relativi ad ogni stazione considerata, mettendo in relazione l'umidità relativa e la sensazione termica espressa in  $W/m^2$  (Figura 10.2). Bisogna innanzitutto considerare che ai quattro angoli del grafico s'individuano diverse condizioni: partendo dal basso, troviamo caldo secco in prossimità dello zero e freddo secco verso i  $1600 W/m^2$ ; sopra abbiamo invece, partendo da sinistra, caldo umido fino ad

arrivare a freddo umido.

I dati giornalieri sono stati rappresentati indipendentemente e non aggregati in forma mensile. La sensazione termica è stata calcolata, per ogni giorno, usando sia la temperatura massima (di giorno) sia la minima (di notte). I grafici ottenuti sono caratterizzati da condizioni di benessere piuttosto buone, pur essendo discordanti tra loro. Bisogna considerare, come fattore limitante all'omogeneità dei risultati, l'altitudine a cui sono poste le stazioni climatiche. È di tutta evidenza che a quote più elevate si verifica un peggioramento delle condizioni atmosferiche. Sono anche da considerare fattori quali l'esposizione e il grado di protezione di ogni singola stazione.

Si sono inoltre individuate sei tipiche condizioni di sensazione termica rapportata all'umidità relativa.

– **CLASSE 1 BENESSERE** (*Numero maggiore di giorni compresi nella soglia del benessere per tutto il periodo*): comprende le stazioni di Mombarcaro, Prerichard, Prarotto, Barcenisio, Camini Frejus, Le Selle, Colle Bercia, situate tra 896 m di Mombarcaro e 2200 m di Colle Bercia. Per quest'ultime



stazioni, i limiti altitudinali sembrano non essere il fattore scatenante delle condizioni idrometriche e anemometriche riscontrate: sicuramente intervengono altri fattori climatici, quali l'esposizione e l'irraggiamento solare.

- **CLASSE 2 BENESSERE FREDDO** (*Numero maggiore di giorni compresi nella soglia del benessere e di freddo per tutto il periodo*): le stazioni interessate comprendono Capanne di Cosola, Limone Pancani, Formazza, Passo del Moro, Rifugio Mondovì, Rifugio Vaccarone, Monte Malanotte.
- **CLASSE 3 BENESSERE CALDO** (*Numero maggiore di giorni compresi nella soglia del benessere e di caldo per tutto il periodo*): qui troviamo le stazioni di Avigliana, Bauducchi, Borgofranco d'Ivrea, Borgone, Bra museo Craveri, Cameri, Casale Monferrato, Crea, Cumiana, Domodossola, Finiere, Fossano, Oropa, Montaldo Scarampi, Pino Torinese, Pietrastretta, Salbertrand.
- **CLASSE 4 CALDO UMIDO** (*Numero maggiore di giorni compresi nella soglia del benessere e di valori elevati di umidità relativa per tutto il periodo*): Le stazioni che rientrano in questa zona climatica sono 13 e corrispondono ad Alessandria, Arquata Scrivia, Baldissero d'Alba, Basaluzzo, Bergalli, Carmagnola, Castellar Ponzano, Isola Sant'Antonio, Novi Ligure, Piverone, Sardiigliano, Spineto Scrivia, Vercelli.
- **CLASSE 5 EQUILIBRATO** (*Giorni ben distribuiti per tutto il periodo*): in questa classe ricadono le stazioni di Belmonte, Gad, Bric Berton, Colle San Bernardo.
- **CLASSE 6 FREDDO** (*Numero maggiore di giorni compresi nella soglia di freddo per tutto il periodo*): troviamo la stazione di Monte Fraiteve, Mottarone.

Si sono scelte due scale per rappresentare la sensazione termica: una che arriva a  $1750 \text{ W/m}^2$  e una che raggiunge i  $2100 \text{ W/m}^2$ , redatta per visualizzare tutti i giorni disponibili nelle stazioni di Rifugio Vaccarone e Monte Fraiteve dove la sensazione termica

risulta molto fredda per quasi tutto l'arco dell'anno. Graviere, Prerichard, Gad, Finiere e Monte Fraiteve presentano un grafico piuttosto schiacciato verso l'alto e quindi con una percentuale di umidità relativa molto elevata. Soprattutto a Gad l'umidità relativa non scende quasi mai al di sotto del 30%. A Monte Fraiteve prevalgono nettamente i giorni di freddo che molte volte superano notevolmente il valore limite di  $1625 \text{ W/m}^2$ , indicante l'inizio del congelamento. Rifugio Vaccarone segue questo tipo di andamento anche se i punti del grafico sono meno addensati per il minor numero di giorni disponibili. Per contro, Finiere e Pietrastretta sono le stazioni in cui i giorni di caldo raggiungono maggiormente il valore limite di  $58 \text{ W/m}^2$  anche se registrano percentuali di umidità relativa medio-basse che rendono il caldo più facilmente sopportabile. Ad eccezione delle stazioni di Monte Fraiteve e Rifugio Vaccarone il benessere fisico è sempre garantito per almeno un terzo dell'anno (Figura 10.3).

A Camini Frejus, Le Selle, Colle Bercia i punti del grafico appaiono molto più distribuiti: anche qui il benessere fisico è garantito per circa un terzo dell'anno, ma prevalgono i giorni di freddo che, in qualche occasione (soprattutto a Camini Frejus), tendono al valore limite di  $1625 \text{ W/m}^2$ , con il 50% di umidità relativa. Clot della Soma presenta una situazione particolare in quanto i giorni, seppur pochi, sono addensati nella zona di caldo e di benessere.

Da notare inoltre la quasi perfetta simmetria bilaterale dei grafici di Gad e Le Selle, ed in misura minore, di Graviere, Camini Frejus e Colle Bercia, e al tempo stesso, l'irregolarità di Prerichard, Clot della Soma, Pietrastretta, Finiere, che tendono ad occupare la parte più calda del grafico e di Rifugio Vaccarone e Monte Fraiteve che invece ne occupano la parte più fredda.

Ad ogni modo le condizioni trovate rispettano l'ubicazione della stazione: in generale fa più caldo in prossimità dei centri abitati e meno nei luoghi isolati, più prettamente utilizzati come centri sciistici.

Figura 10.3

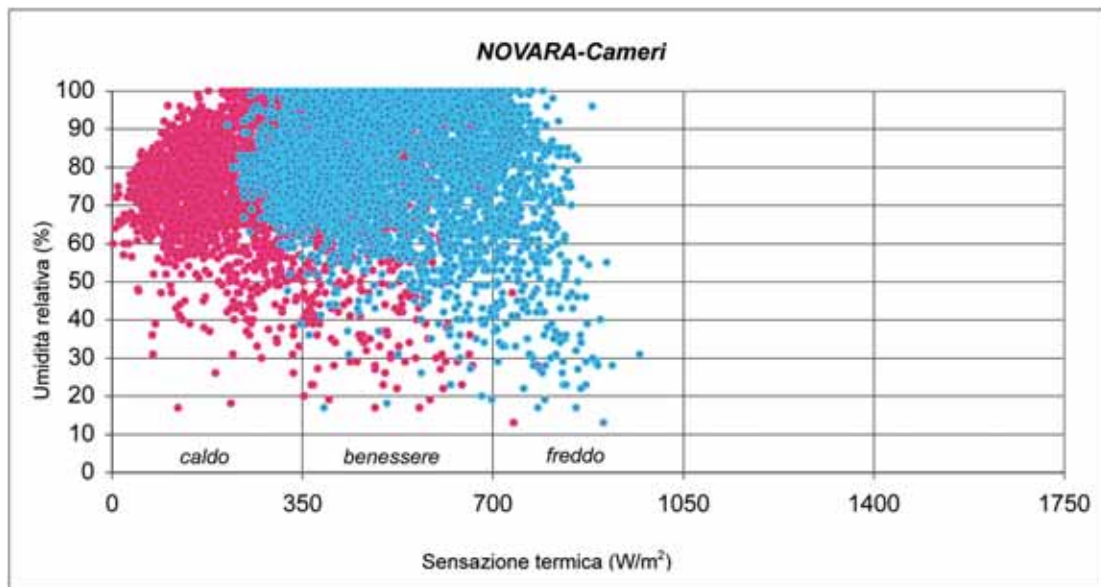
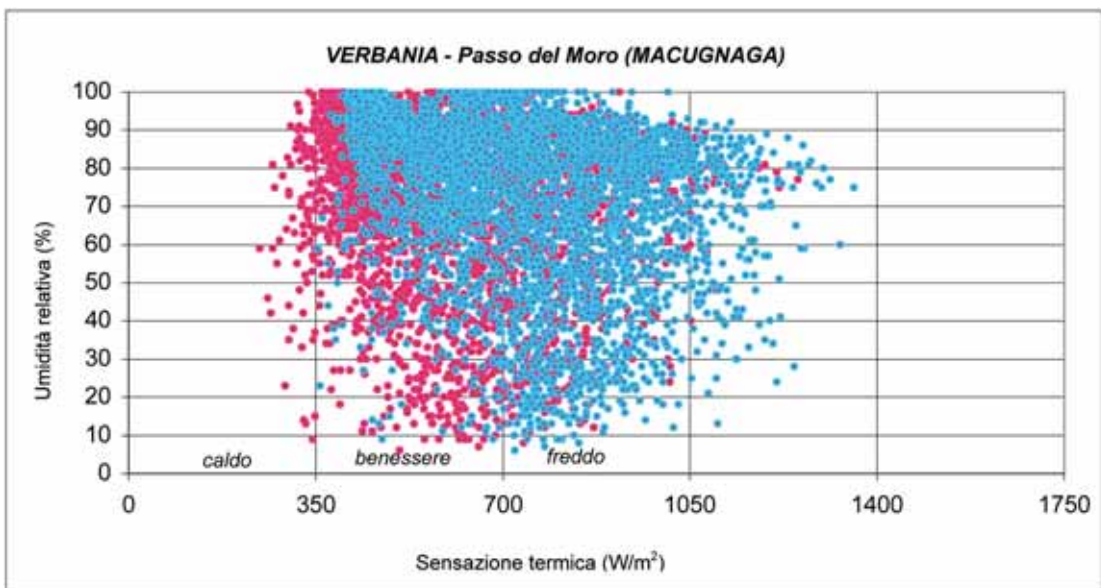
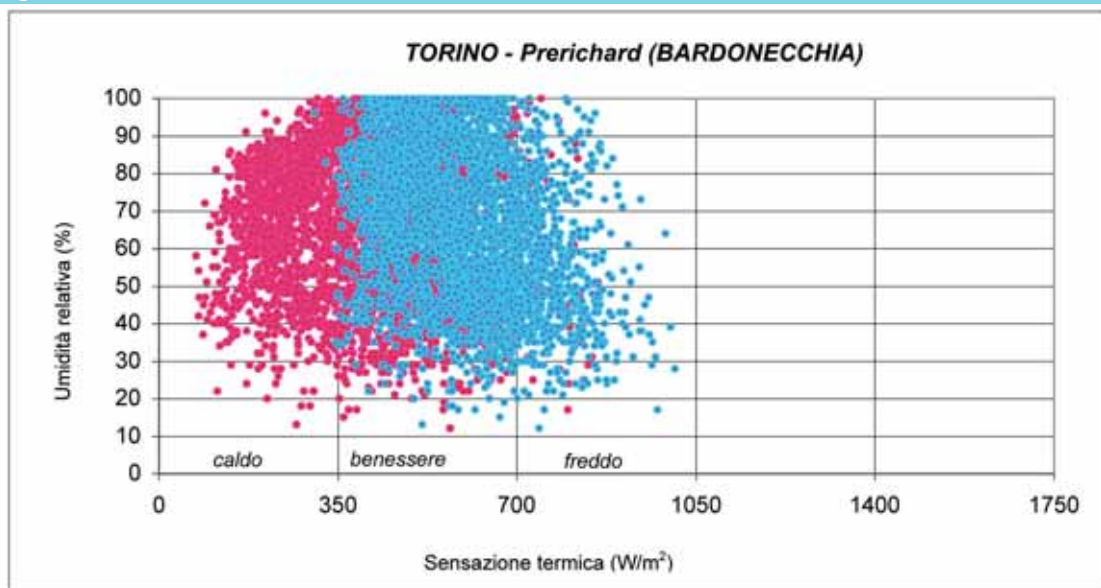
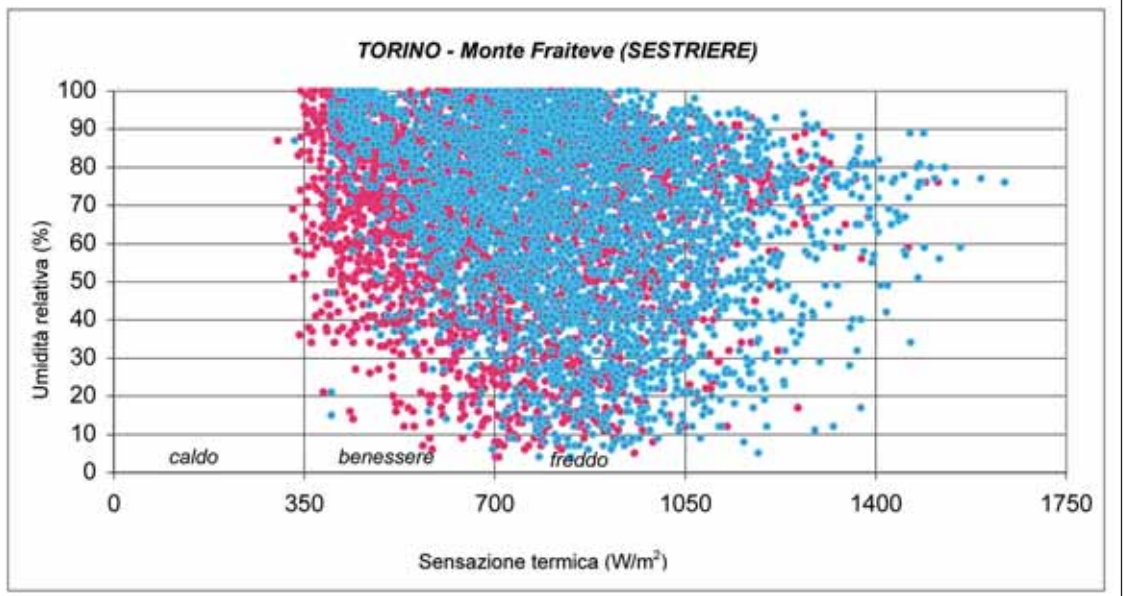
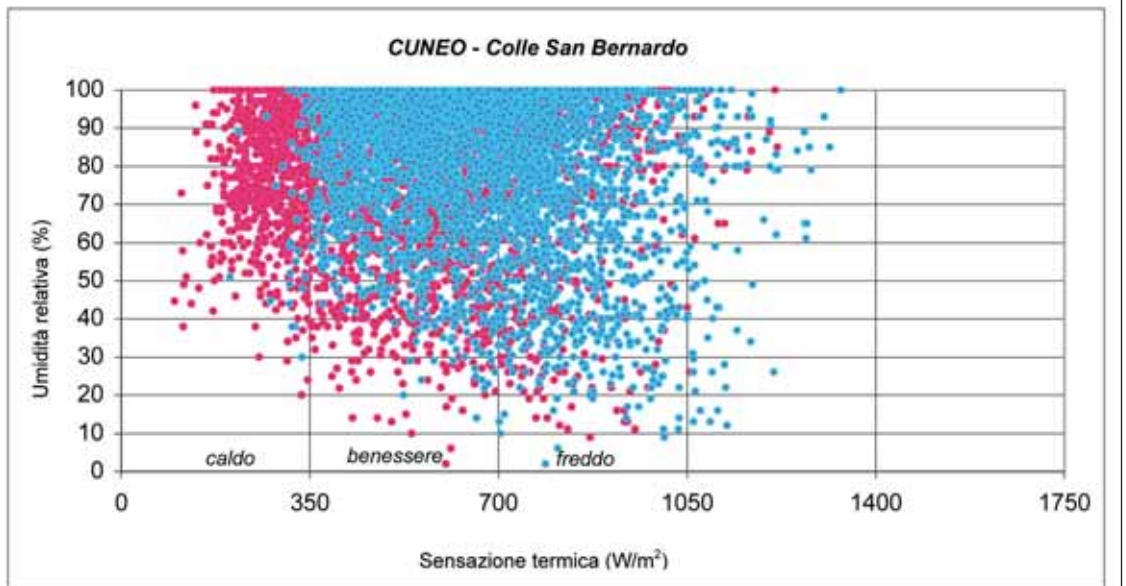
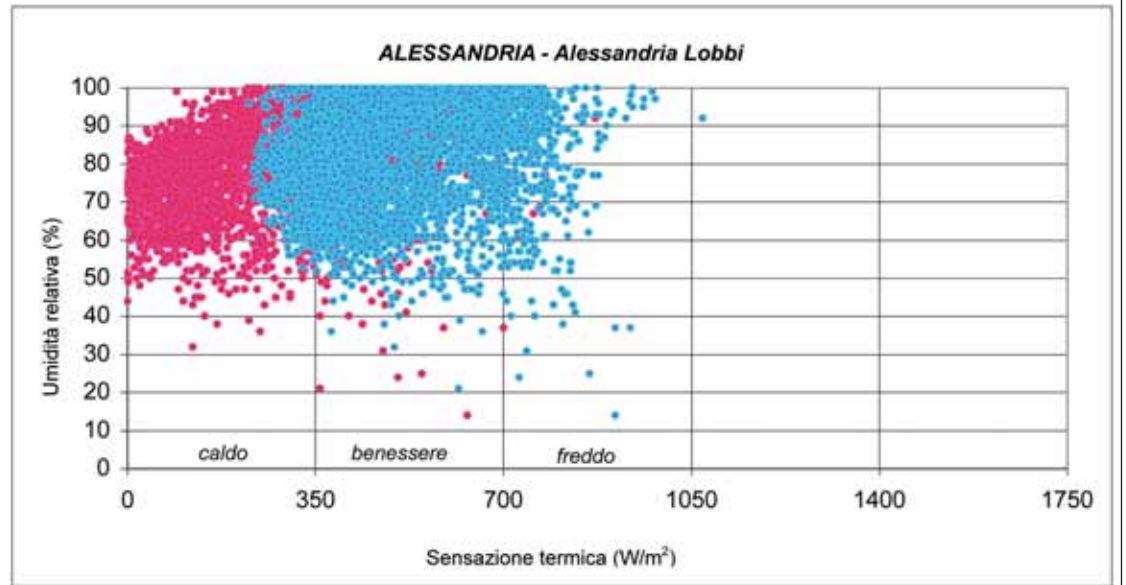


Figura 10.3

Rapporto tra umidità relativa e sensazione termica, calcolata con le temperature massime e minime. E' rappresentato un esempio per ogni classe di appartenenza.

segue Figura 10.3





# Appendice



## MAPPE ANEMOLOGICHE

Figura 11.1

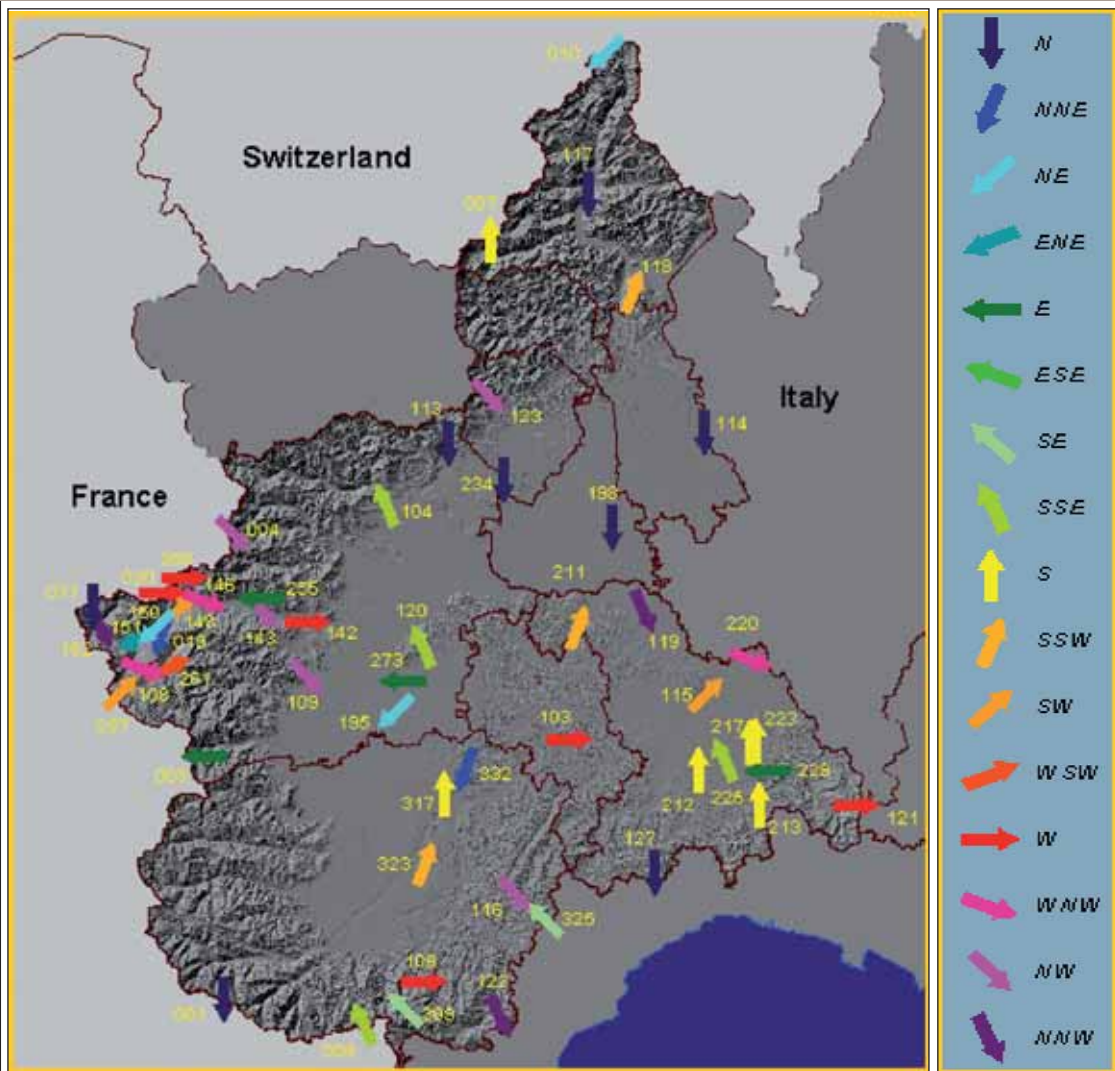
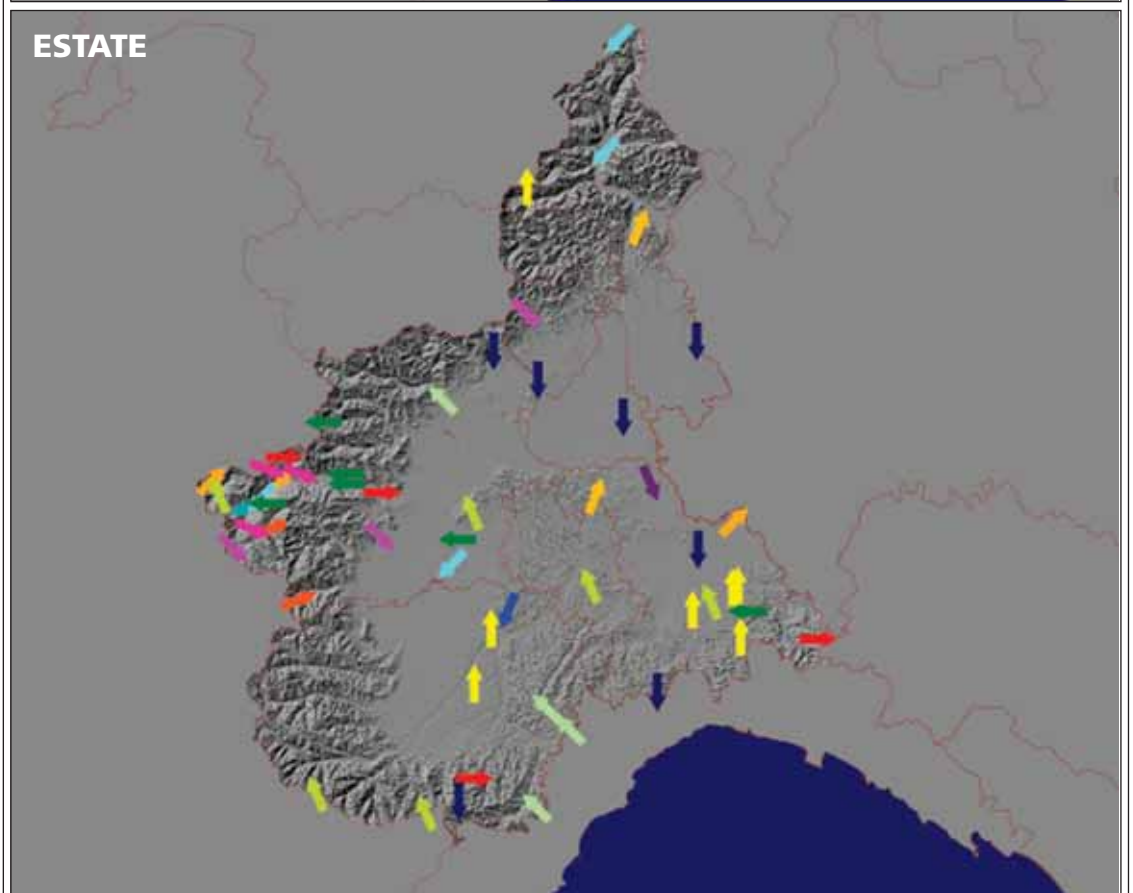
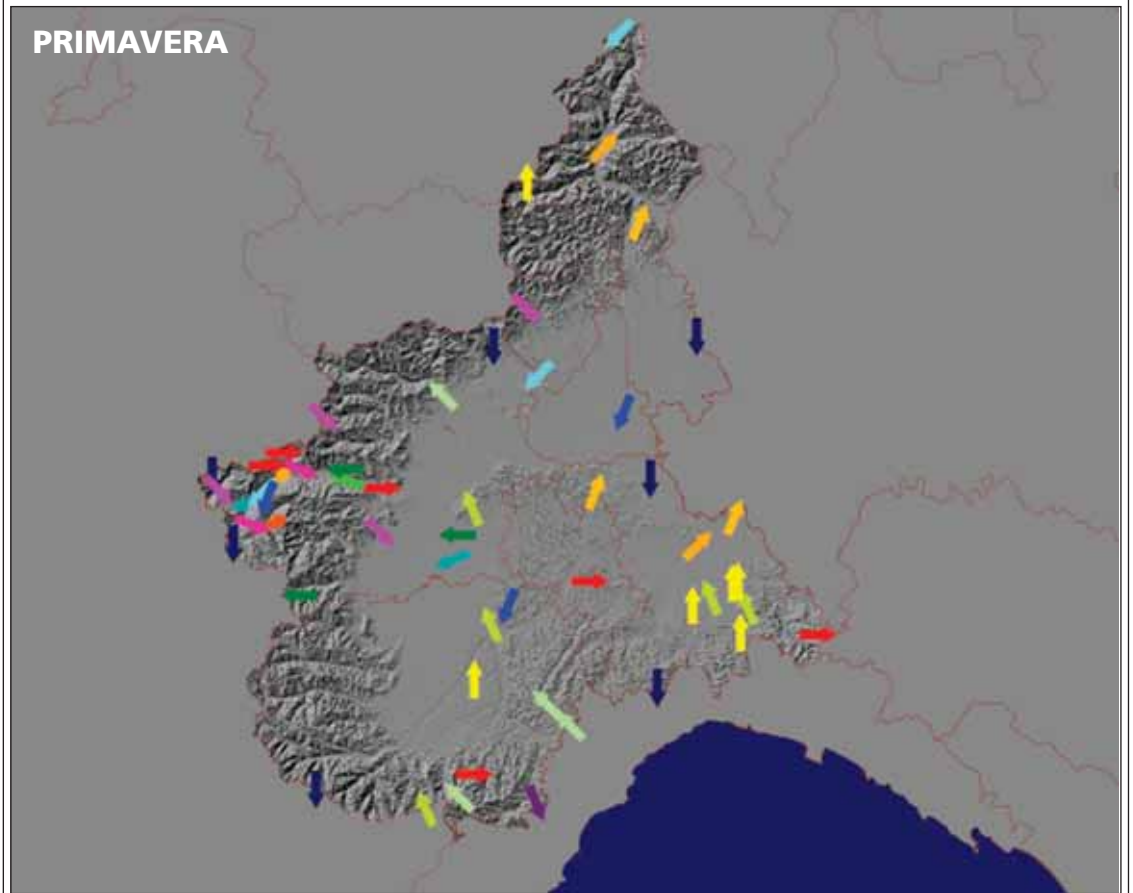


Figura 11.1

Direzione prevalente del vento annua, in autunno, primavera, estate e inverno.

segue Figura 11.1





segue Figura 11.1

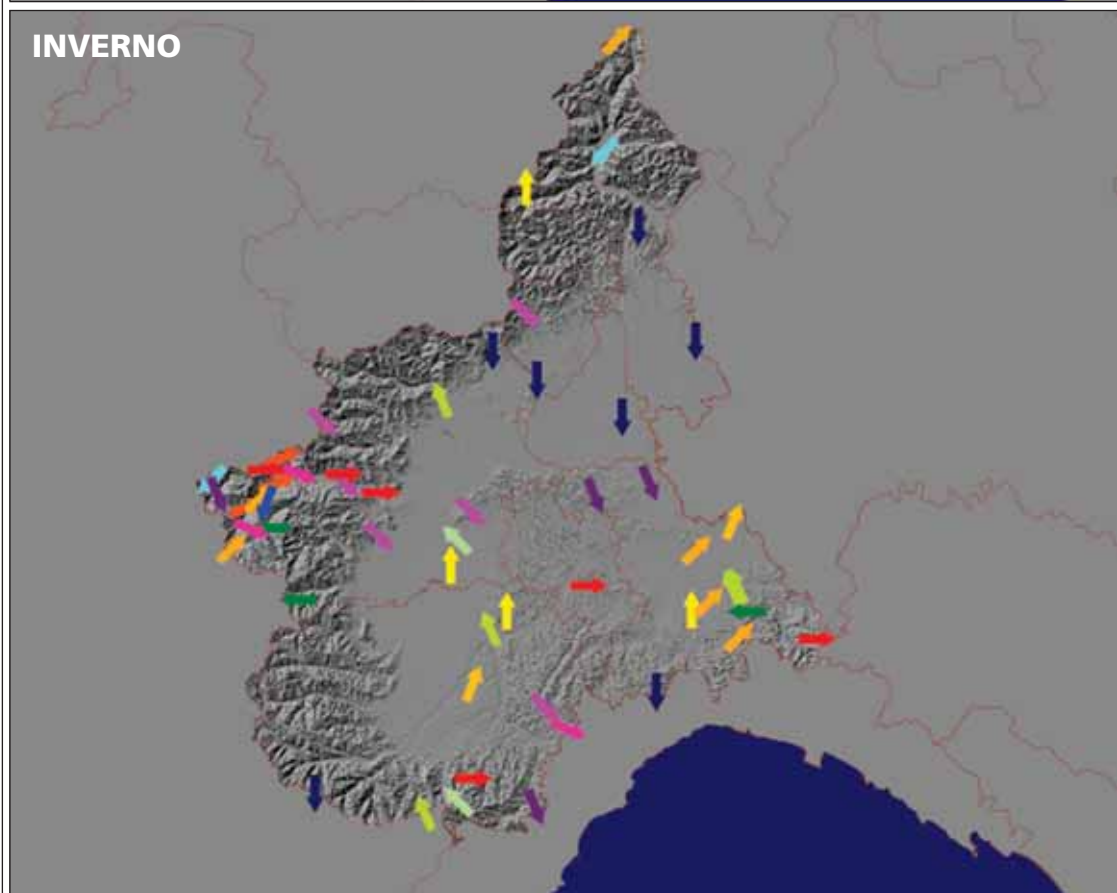
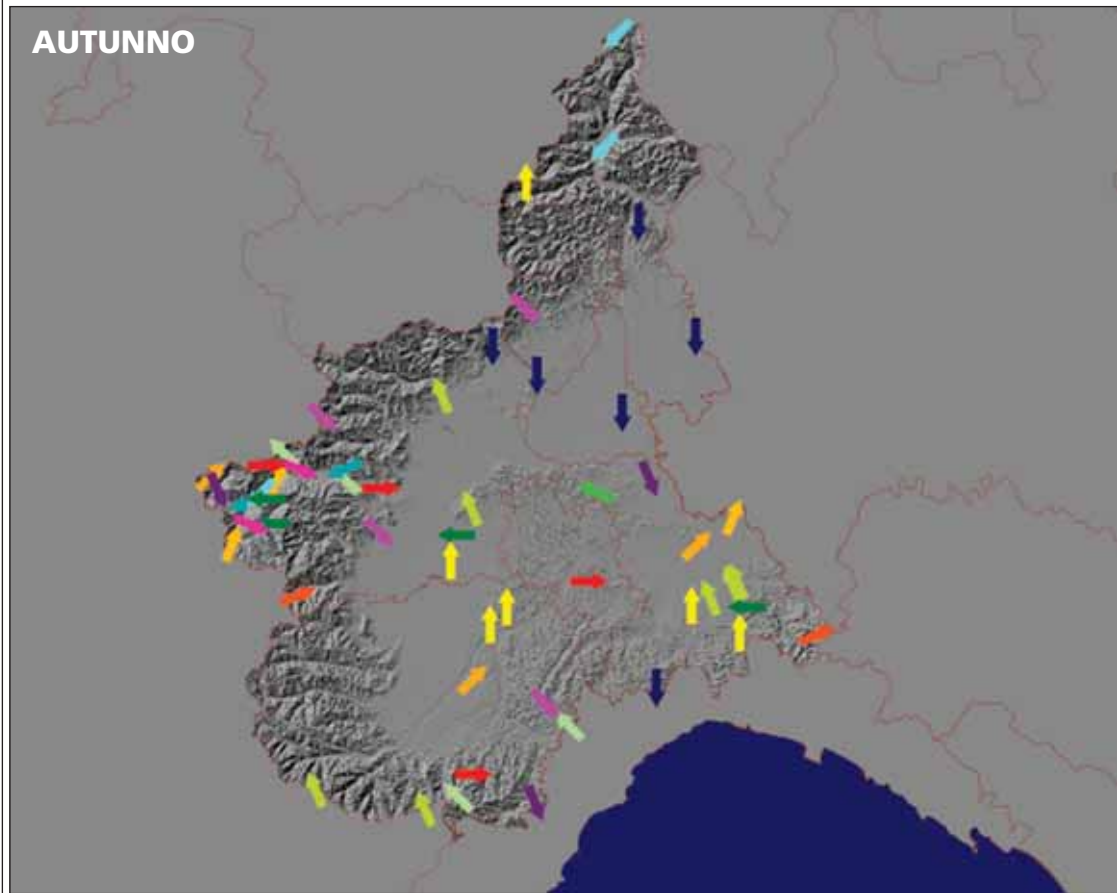


Tabella riassuntiva – Principali stazioni analizzate e codice identificativo, provincia di appartenenza (P), quota (Q), localizzazione geografica (Latitudine N, Longitudine E), anno di inizio attività di rilevamento (AI), intensità media annua del vento (in m/s), massima raffica registrata (in m/s) e giorno in cui si è verificata (RV), numero medio annuo di giorni di calma di vento (CV), direzione prevalente (DV), regime anemologico (RA) suddiviso in unimodale (U), bimodale (B), trimodale (T).

Codice	Stazioni	P	Q	LN	LE	AI	Vv	RV	CV	DV	RA
198	VERCELLI	VC	132	45.19	8.23	1993	1.6	29.5 27/07/98	32	N	U
117	DOMODOSSOLA	VB	252	46.06	8.18	1988	1.6	32.1 20/09/97	39	N	B
118	MOTTARONE	VB	1491	45.52	8.27	1988	3.4	42.0 28/03/95	1	SW	T
010	FORMAZZA	VB	2453	46.26	8.21	1988	2.5	36.1 29/03/95	2	NE	B
007	PASSO DEL MORO	VB	2820	45.59	7.58	1988	2.8	44.3 27/02/90	1	S	U
153	TORINO BUON PASTORE	TO	240	45.04	7.40	1989	0.8	17.3 26/06/94	75		
004	RIFUGIO GASTALDI	TO	2659	45.17	7.08	1987	2.5	42.3 27/02/90	6	NW	U
003	COLLE BARANT	TO	2294	44.46	7.03	1987	2.5	40.7 22/12/91	2	E	B
109	CUMIANA	TO	327	44.57	7.23	1988	1.3	30.8 15/02/90	39	NW	U
113	BORGOFRANCO D'IVREA	TO	337	45.30	7.50	1988	2.5	33.7 04/09/92	3	N	U
104	BELMONTE	TO	687	45.22	7.38	1988	2.1	40.9 20/12/91	5	SE	U
120	PINO TORINESE	TO	608	45.02	7.45	1988	1.8	24.2 15/02/90	8	SE	B
108	MONTE FRAITEVE	TO	2701	44.58	6.51	1988	5.5	44.7 26/01/94	2	NW	T
011	CAMINI FREJUS	TO	1740	45.07	6.41	1990	1.8	32.7 28/01/94	21	N	T
150	SALBERTRAND	TO	1010	45.04	6.53	1990	2.4	27.5 26/01/94	3	NE	B
146	PIETRASTRETTA	TO	520	45.08	7.03	1990	3.3	33.5 25/01/93	2	NW	B
152	PRERICHARD	TO	1353	45.04	6.43	1990	1.9	22.2 28/03/95	4	N	B
151	GAD OULX	TO	1065	45.02	6.50	1990	3.7	29.2 28/03/95	1	NE	B
148	FINIERE	TO	813	45.07	6.58	1991	2.8	27.5 22/12/91	1	SW	B
142	AVIGLIANA	TO	340	45.05	7.23	1991	1.7	31.8 22/12/91	10	W	B
143	BORGONE	TO	400	45.07	7.14	1991	1.9	31.6 22/12/91	13	NW	B
019	LE SELLE	TO	1980	45.03	6.55	1991	1.9	34.8 22/12/91	3	N	T
008	LAGO PILONE	TO	2280	45.00	6.52	1988	1.7	23.4 27/02/90	7		
195	CARMAGNOLA	TO	232	44.53	7.41	1993	1.1	19.1 29/03/95	77	NE	T
273	BAUDUCCHI	TO	226	44.57	7.42	1993	1.4	33.2 17/01/97	53	E	T
234	PIVERONE	TO	230	45.25	8.02	1993	1.0	20.8 10/08/96	65	N	U
258	BARCENISIO	TO	1525	45.11	6.59	1994	1.4	30.1 25/12/99	15	W	T
020	RIFUGIO VACCARONE	TO	2745	45.09	6.55	1996	3.1	40.9 18/02/99	2	W	U
257	COLLE BERCIA	TO	2200	44.55	6.47	1996	1.5	23.5 27/12/99	7	SW	T
261	CLOT DELLA SOMA	TO	2150	44.59	6.56	1996	1.3	23.1 20/09/00	12	W	T
255	PRAROTTO	TO	1440	45.08	7.14	1997	1.5	23.8 05/02/99	11	E	B
114	CAMERI	NO	173	45.32	8.41	1988	1.6	22.2 28/03/95	11	N	U
001	COLLE LOMBARDA	CN	2305	44.12	7.08	1987	2.6	38.8 20/09/99	1	N	B
106	MONTE MALANOTTE	CN	1735	44.15	7.47	1988	2.9	42.0 31/08/94	3	W	B
122	COLLE S. BERNARDO	CN	980	44.10	8.02	1988	5.6	38.1 20/12/91	0	N	B
116	MOMBARCARO	CN	896	44.28	8.05	1988	3.6	27.7 15/02/90	0	SE	B
009	LIMONE PANCANI	CN	2008	44.09	7.35	1988	2.8	29.0 20/09/99	1	S	B
325	BERGALLI	CN	385	44.24	8.10	1990	1.4	19.5 04/04/98	13	SE	B
323	FOSSANO	CN	403	44.32	7.47	1993	2.2	23.2 27/03/95	2	SW	U
317	BRA	CN	285	44.42	7.51	1993	1.2	20.3 27/03/95	45	S	B
332	BALDISSERO D'ALBA	CN	265	44.45	7.55	1997	0.6	15.5 22/02/99	37	N	B
309	RIFUGIO MONDOVI'	CN	1760	44.11	7.43	1997	2.3	40.0 26/12/99	1	S	B
123	OROPA	BI	1162	45.37	7.58	1988	2.0	32.5 05/02/99	2	NW	U
103	MONTALDO SCARAMPI	AT	295	44.49	8.15	1988	2.4	31.4 03/07/98	2	W	B
121	CAPANNE DI COSOLA	AL	1550	44.40	9.12	1988	5.3	40.1 28/12/92	0	W	B
115	ALESSANDRIA LOBBI	AL	90	44.56	8.42	1988	2.0	25.9 28/06/90	10	SW	B
119	CASALE MONFERRATO	AL	118	45.07	8.30	1988	1.8	25.0 08/03/98	10	N	B
127	PONZONE BRIC BERTON	AL	773	44.31	8.32	1989	3.3	33.6 29/08/92	0	N	T
220	ISOLA S. ANTONIO	AL	77	45.01	8.51	1993	1.9	21.9 16/04/99	11	S	T
211	CREA	AL	385	45.05	8.16	1997	1.5	19.8 06/07/99	16	SW	T
225	NOVI LIGURE	AL	162	44.47	8.45	1998	1.1	18.3 13/04/00	74	SE	B
223	SPINETO SCRIVIA	AL	187	44.49	8.52	1998	1.8	22.1 16/04/99	23	S	T
229	SARDIGLIANO	AL	228	44.45	8.54	1998	2.3	25.7 16/04/99	11	E	B
217	CASTELLAR PONZANO	AL	146	44.49	8.50	1998	1.9	21.9 18/01/00	30	S	B
213	ARQUATA SCRIVIA	AL	325	44.41	8.52	1998	1.4	22.6 29/10/98	33	S	T
212	BASALUZZO	AL	128	44.45	8.40	1998	1.4	18.5 11/07/00	48	S	U

## INDICE TABELLE

---

<b>Tabella 1.1</b>	– Classificazione dell'intensità del vento secondo Beaufort.	<b>13</b>
<b>Tabella 2.1</b>	– Stazioni meteorologiche analizzate, comune di appartenenza, provincia di appartenenza (P), localizzazione geografica, quota (in m s.l.m.m.) e data di installazione.	<b>20</b>
<b>Tabella 3.1</b>	– Stralcio della classificazione della Scala di Beaufort, gradi 0 e 1.	<b>25</b>
<b>Tabella 3.2</b>	– Stralcio della classificazione della Scala di Beaufort, gradi 2 e 3.	<b>25</b>
<b>Tabella 4.1</b>	– Stazioni meteorologiche suddivise per appartenenza ad un determinato regime anemologico.	<b>27</b>
<b>Tabella 4.2</b>	– Distribuzione mensile (G = gennaio, F = febbraio, ecc...) e stagionale (I = inverno, P = primavera, E = estate, A = autunno) della direzione prevalente del vento.	<b>28</b>
<b>Tabella 5.1</b>	– Stazioni meteorologiche ordinate a seconda della quota di appartenenza. Per tutte, a partire dall'intensità media mensile, si è ottenuto il valore medio annuo della velocità del vento.	<b>42</b>
<b>Tabella 5.2</b>	– Distribuzione media mensile (G= gennaio) e stagionale (I = inverno) dell'intensità del vento per tutte le stazioni esaminate espresse in m/s.	<b>45</b>
<b>Tabella 6.1</b>	– Individuazione del giorno in cui si è raggiunto il picco di massima raffica per tutte le stazioni disponibili, nel periodo 1990-2003.	<b>52</b>
<b>Tabella 7.1</b>	– Numero annuo di giorni di calma di vento per le stazioni analizzate con totale complessivo di tutti gli anni di analisi e valore medio annuo.	<b>62</b>
<b>Tabella 7.2</b>	– Frequenza percentuale dei tipi di tempo registrati in presenza di calma di vento a Torino-Buon Pastore.	<b>64</b>
<b>Tabella 9.1</b>	– Giorni interessati da foehn in Piemonte dal 01/01/2000 al 31/12/2004.	<b>82</b>
<b>Tabella 9.2</b>	– Episodi di foehn durante i 5 anni analizzati e durata in giorni (da 1 a 7 per ogni singolo evento) e calcolo del numero effettivo dei giorni.	<b>87</b>
<b>Tabella 9.3</b>	– Numero di giorni in cui gli episodi di foehn coinvolgono le valli piemontesi e percentuale in cui riescono a raggiungere la pianura.	<b>87</b>
<b>Tabella 9.4</b>	– Suddivisione dei giorni a seconda della provenienza del foehn e della stagione considerata. I = Inverno, (dicembre, gennaio, febbraio), P = Primavera (marzo, aprile, maggio), E = Estate (giugno, luglio, agosto), A = Autunno (settembre, ottobre, novembre).	<b>88</b>
<b>Tabella 9.5</b>	– Andamento stagionale del numero totale di giorni di foehn suddivisi per stagione e per mese.	<b>88</b>
<b>Tabella 9.6</b>	– Individuazione dei tipi di tempo meteorologici principali che si verificano in presenza di foehn.	<b>92</b>
<b>Tabella 10.1</b>	– Classificazione secondo Munter (1992) della velocità del vento basata sugli effetti riconoscibili in montagna (effetti sulla neve al suolo, sul corpo umano, sugli oggetti fissi). Fonte: "Il tempo in montagna", Kappemberger et Kerkmann, 1997.	<b>95</b>

**INDICE FIGURE**

---

- Figura 1.1** – Se la Terra non ruotasse intorno al proprio asse, i venti spirerebbero secondo la retta che congiunge i centri di alta pressione ai centri di bassa pressione. In conseguenza della rotazione terrestre, però, tutti gli oggetti o fluidi in movimento orizzontale tendono ad essere deviati lateralmente (legge di Ferrel) dalla forza di Coriolis (D):  $D = 2 \cdot \omega \cdot V \cdot \sin(\varphi)$  dove  $\omega$  è la velocità angolare della Terra,  $V$  è la velocità del corpo in movimento e  $\varphi$  è la latitudine. Fonte: “Geografia fisica” di Strahler, Ed. Piccin. **12**
- Figura 1.2** – Simbologia utilizzata per rappresentare la direzione e la velocità del vento **15**
- Figura 1.3** – Sulla carta sono rappresentati i nomi dei venti che soffiano sul bacino del Mediterraneo e la loro direzione. Fonte: Il sistema terrestre, Ed. De Agostini. **16**
- Figura 1.4** – Ricevitore anemoscopio di Padre Secchi. Fonte: Beltrano M.C., 2001. **16**
- Figura 1.5** – Rappresentazione grafica dei due strumenti più conosciuti per lo studio del vento: sulla sinistra l’anemometro, per la misurazione dell’intensità del vento e a destra l’anemoscopio, usato per la registrazione della direzione prevalente del vento. **16**
- Figura 1.6** – Anemometro portatile della Filotecnica Salmoiraghi. Fonte: Beltrano M.C., 2001. **16**
- Figura 1.7** – Il Radar Wind Profiler è stato installato in C.so Stati Uniti, 21 a Torino, sul tetto dell’edificio della Regione Piemonte, sede dell’Assessorato all’Agricoltura. Si basa sull’effetto Doppler ed è in grado di fornire il profilo verticale della direzione e della velocità del vento orizzontale e della velocità del vento verticale fino ad un’altitudine di 3000 metri in aria limpida (Foto A.Olivero). **17**
- Figura 2.1** – Distribuzione geografica e nominativo delle stazioni anemometriche (rappresentate da una banderuola) in Piemonte. **19**
- Figura 2.2** – Foto della stazione meteorologica di Formazza-Pian dei Camosci (2453 m), dotata anche di anemometro e anemoscopio per la misurazione dell’intensità e della direzione del vento. **21**
- Figura 3.1** – Rappresentazione grafica della distribuzione di Gumbel. **24**
- Figura 3.2** – Istogramma di frequenza per la media (A) e la raffica (B) e relativo fit con curva di Gumbel per la stazione di Pietrastretta. **24**
- Figura 3.3** – Scatterogramma relativo alla stazione di Monte Fraiteve. **24**
- Figura 3.4** – Scatterogrammi relativi alle stazioni di Avigliana (a sinistra) e Domodossola (a destra) calcolato per i dati di velocità media giornaliera e raffica giornaliera. **25**
- Figura 4.1** – Frequenza della direzione prevalente del vento per tutte le stazioni disponibili raggruppate per provincia di appartenenza. **29**
- Figura 4.2** – Distribuzione stagionale delle frequenze di direzione prevalente per alcune stazioni. La direzione prevalente per Oropa è la NW ed è presente con una frequenza superiore al 90% in tutte le stagioni. Alessandria Lobbi presenta un andamento bimodale con inverno in cui prevale maggiormente la direzione SW e SSW e l’estate in cui la direzione prevalente è invece il Nord. SSW, WNW ed E risultano le direzioni prevalenti per Sestriere-Monte Fraiteve. **39**

<b>Figura 4.3</b>	– Velocità del vento in quota: è possibile individuare la direzione del vento osservando lo spostamento della neve sulla cresta della cima innevata. (Foto S. Fratianni).	<b>39</b>
<b>Figura 5.1</b>	– Andamenti annuali della velocità del vento per alcune stazioni poste oltre i 2000 m di quota.	<b>43</b>
<b>Figura 5.2</b>	– Andamenti annuali della velocità del vento per alcune stazioni poste al di sotto di 500 m di quota.	<b>44</b>
<b>Figura 5.3</b>	– Il tipo di nube che si forma sulla cima di una montagna fornisce un'informazione indicativa sul tempo che farà. La lenticolare (Figura 9.7) è indice di peggioramento, mentre il cumulo è indice di bel tempo. A ricordo di questo principio, si riporta anche il proverbio: "Quand el piz al met el capel, lassa la ranza e ciapa el rastrel" (Foto S. Fratianni).	<b>46</b>
<b>Figura 5.4</b>	– Rappresentazione, attraverso isolinee, della velocità media oraria durante "l'anno medio", in funzione dell'ora (sull'asse delle ordinate) e dei mesi (sull'asse delle ascisse).	<b>47</b>
<b>Figura 5.5</b>	– Andamento annuale e mensile del numero di giorni in cui si è manifestato vento molto forte (7.6-10 m/s) per le stazioni di Capanne di Cosola (in alto) e Monte Fraiteve (in basso).	<b>48</b>
<b>Figura 5.6</b>	– Stazione di Mottarone presa come esempio per i numerosi giorni con vento forte, da 5.1 a 7.5 m/s.	<b>48</b>
<b>Figura 5.7</b>	– Stazione di Gad presa come esempio per i numerosi giorni con vento moderato, da 2.6 a 5 m/s.	<b>49</b>
<b>Figura 5.8</b>	– Stazione di Torino-Buon Pastore presa come esempio per i numerosi giorni con vento debole, da 1 a 2.5 m/s.	<b>49</b>
<b>Figura 5.9</b>	– Stazione meteorologica di Monte Fraiteve ubicata a 2701 m di quota in località turistica Sestriere.	<b>49</b>
<b>Figura 6.1</b>	– Nella prima immagine il ciclone Lothar sulla Francia il 26 dicembre 1999. Nella seconda immagine il ciclone Martin la sera del 27 dicembre 1999 approccia le coste della Normandia. Fonte archivio: Reanalisi Meteo Giornale.	<b>53</b>
<b>Figura 7.1</b>	– Frequenza di calme di vento in percentuale per alcune stazioni rappresentative.	<b>55</b>
<b>Figura 8.1</b>	– Il volume d'aria che il sole deve scaldare nel paese di Salbertrand sito in pianura, in alta valle di Susa, è visibilmente superiore rispetto ai ripidi versanti montani che lo circondano. L'aria in montagna si scalda più velocemente rispetto alla pianura, causando una maggior escursione termica giornaliera, che provoca l'instaurarsi del fenomeno delle brezze (Foto: S. Fratianni).	<b>71</b>
<b>Figura 8.2</b>	– Confronto tra due stazioni della valle di Susa, ubicate rispettivamente nel fondovalle e sul versante: Gad e Camini Frejus. Distribuzione oraria dell'intensità media del vento espressa in km/h. Il numero 1 comprende la media della velocità del vento dalle ore 24:10 alle ore 1:00. Nel grafico si vede bene l'incidenza della brezza di bel tempo presente a Gad (S. Fratianni & L. Motta, 2002).	<b>72</b>



<b>Figura 8.3</b>	– Andamento semiorario della velocità del vento (in m/s) e della sua direzione (in gradi) durante un periodo di bel tempo (29-30 luglio 1993) rilevato dalla stazione automatica di Gad posta a 1010 m di altezza, ubicata nei pressi di Ulzio (TO) in val di Susa.	<b>73</b>
<b>Figura 8.4</b>	– Formazione di nube cumuliforme sul versante (Foto M. Grivetti).	<b>74</b>
<b>Figura 8.5</b>	– Andamento della brezza in funzione dell'ora e del mese, basato sulla serie storica di Domodossola (sopra) e di Avigliana (sotto).	<b>75</b>
<b>Figura 9.1</b>	– Onde orografiche e nubi lenticolari (fonte: "Il tempo in montagna", Kappenberger et Kerkmann, 1997).	<b>78</b>
<b>Figura 9.2</b>	– Formazione di altocumuli lenticolari, nubi orografiche a forma di lente che si formano nelle onde che si sviluppano sottovento alla cresta alpina (Foto S. Fratianni).	<b>79</b>
<b>Figura 9.3</b>	– Il muro del foehn a Torino.	<b>79</b>
<b>Figura 9.4</b>	– L'espansione adiabatica causa un raffreddamento dell'aria e si ha un nuovo "gradiente termico" che può essere calcolato intorno ai 9°C ogni 1000 metri. Fonte: <a href="http://www.webalice.it/brucito/meteodidattica.htm">http://www.webalice.it/brucito/meteodidattica.htm</a>	<b>80</b>
<b>Figura 9.5</b>	– La presenza di una carena montuosa causa un ulteriore abbassamento delle temperature. Fonte: <a href="http://www.webalice.it/brucito/meteodidattica.htm">http://www.webalice.it/brucito/meteodidattica.htm</a>	<b>80</b>
<b>Figura 9.6</b>	– Schema esemplificativo della dinamica di generazione dello stau e del foehn. Fonte: <a href="http://www.montagnapertutti.it/meteo/foehn_stau.html">http://www.montagnapertutti.it/meteo/foehn_stau.html</a>	<b>80</b>
<b>Figura 9.7</b>	– Bardonecchia, comprensorio sciistico di Jafferau: sulle montagne adiacenti si notano i cosiddetti "pesci del favonio" (dal termine tedesco foehnfische) che portano aria secca e limpida nelle valli (Foto S. Fratianni).	<b>81</b>
<b>Figura 9.8</b>	– Il "naso" del foehn.	<b>81</b>
<b>Figura 9.9</b>	– Analisi dell'episodio di foehn verificatosi dal 3 al 8 ottobre 2003. Si sono considerati gli andamenti semi-orari dell'umidità relativa e della direzione del vento per alcune stazioni della valle di Susa.	<b>88</b>
<b>Figura 9.10</b>	– Analisi dell'episodio di foehn verificatosi dal 3 al 8 ottobre 2003. Si sono considerati gli andamenti semi-orari della temperatura massima e della velocità del vento per alcune stazioni della valle di Susa.	<b>89</b>
<b>Figura 9.11</b>	– Stazioni al suolo prese in considerazione.	<b>90</b>
<b>Figura 9.12</b>	– Andamento temperatura potenziale, dicembre 2004. Rosso: Monte Fraiteve, nero: Giardini Reali.	<b>90</b>
<b>Figura 9.13</b>	– Andamento temperatura potenziale, primo evento. Rosso: Monte Fraiteve, nero: Giardini Reali.	<b>91</b>
<b>Figura 9.14</b>	– Andamento temperatura a Torino Giardini Reali.	<b>91</b>
<b>Figura 9.15</b>	– Andamento umidità relativa a Torino Giardini Reali.	<b>91</b>
<b>Figura 9.16</b>	– Andamento della raffica a Torino Giardini Reali.	<b>91</b>

- Figura 9.17** – Isobare e altezza di geopotenziale a 500 hPa alle ore 12:00; a nord delle Alpi si può osservare il “naso” del foehn. **92**
- Figura 10.1** – Raffreddamento del corpo umano (soggetto a riposo vestito normalmente) in relazione alla temperatura dell’aria e alla velocità del vento. Le curve collegano i punti di uguale perdita di calore espressa in Watt al metro quadro. Fonte: “Il tempo in montagna”, Kappemberger et Kerkmann, 1997. **96**
- Figura 10.2** – La presenza di vento forte nei comprensori sciistici limita notevolmente la pratica degli sport di tipo alpino: sci e snowboard (Foto M. Grivetti). **97**
- Figura 10.3** – Rapporto tra umidità relativa e sensazione termica, calcolata con le temperature massime e minime. È rappresentato un esempio per ogni classe di appartenenza. **99**
- Figura 11.1** – Direzione prevalente del vento annua, in autunno, primavera, estate e inverno. **101**

**OPERE CITATE**

---

**BALSAMO G., CAGNAZZI B. E G. PAESANO, 2000**

*Studio statistico-climatologico del vento per l'individuazione dei bacini anemologici della regione Piemonte.*  
Ingegneria del vento in Italia 2000, pp.93-100.

**BARRY G.R., 1992**

*Mountain weather and climate.*  
Routledge, London, 315 pp.

**BELTRANO M.C., 2001**

*La collezione di strumenti dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria.*  
MUSIS, UCEA, 61 pp.

**BIANCOTTI A. (A CURA DI), 2003**

*Il sistema terrestre.*  
Ed. De Agostini, 566 p.

**BONELLI P., 1988**

*I venti catabatici nella Pianura Padana.*  
Le scienze, n.236, vol. XL, pp.14-21.

**BORGHI S., 1987**

*Tipi di tempo e distribuzione delle precipitazioni sulla montagna veneta.*  
Quaderni di Ricerca n.10, Regione Veneto, Dipartimento Foreste, Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica, Padova.

**BRUSSOLO E. (ined.)**

*Studio delle dinamiche atmosferiche e delle trasformazioni termodinamiche per eventi di foehn nella pianura torinese.*  
Tesi in Fisica presso l'Università degli Studi di Torino, a.a. 2004-2005

**CASSARDO C., MUSSO A., 2002**

*Climatology of foehn in Piedmont (in Italian).*  
Nimbus, n. 31-32, 40-45.

**CASTELLO E. (ined.)**

*Risultati di ricerche anemologiche a Monte Cappellino (prov. Di Genova).*  
Tesi in Scienze Naturali presso l'Università di Genova, a.a. 2002-2003.

**COLLINO E. (INED.)**

*Studio climatologico preliminare sul territorio piemontese e affiancamento nelle previsioni meteorologiche.*  
Tesi di master in meteorologia applicata presso l'Università degli studi di Bologna, Arpa Piemonte e S.M.R.  
a.a. 2003

**D'ALESSANDRO L., DAVOLI L., GIALLOMBARDO A., 1981**

*Regime anemometrico del litorale tirrenico della Calabria.*  
Rivista di Meteorologia Aeronautica, V.XLI N.2, pp.137-151.

**FRATIANNI S., MOTTA L., 2002**

*Andamento climatico dell'Alta Valle Susa negli anni 1990 - 1999.*  
Collana studi climatologici in Piemonte, Regione Piemonte e Università degli studi di Torino, 4° vol, 91 p.

**FLOCCHINI G., PASQUALE V., SCIARRONE V., 1982**

*On the Energy Wind Velocity.*

Annalen der Meteorologie, Bologna, pp.192-194.

**GIULIACCI M., 1989**

*Climatologia fisica e dinamica della Val Padana.*

ERSA Servizio Meteorologico Regionale, Bologna.

**GIULIACCI M., 1993**

*Il vento e il tempo*

Mursia Editore.

**HANN, J. VON, 1891**

*Nordföhn in Innsbruck (in German).*

Meteorologische Zeitschrift, 26, 239.

**KANT E. (2004)**

*Geografia fisica di Emanuele Kant.*

Vol. sesto, tradotto dal tedesco. Leading ed.

**KAPPENBERGER G., KERKMANN J. (1997)**

*Il tempo in montagna. Manuale di meteorologia alpina.*

Ed. Zanichelli, Bologna, 255 p.

**LATINI A., 1985**

*Analisi della distribuzione delle precipitazioni nevose sulle Alpi italiane in relazione ai tipi di tempo e alle correnti in quota.*

Rivista di Meteorologia Aeronautica anno 47° n.1, pp. 27-37.

**NATALE P., ANFOSSI D. AND CASSARDO C., 1999**

*Analysis of an anomalous case of high air pollution concentration in Turin shortly after a foehn event.*

International Journal of Environment and Pollution (UK), 11(2), 147-164.

**ROMERO-CENTENO R., ZAVALA-HILDALGO J., GALLEGOS A., O'BRIEN J.J., 2003**

*Notes and correspondence: Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal.*

Journal of climate, vol. 16, pp.2628-2639.

**SCHROTT D., VERANT W., 2002**

*Foehn in the Alps (in Italian).*

Nimbus, n. 31-32, 13-39.

**SEIBERT, P. 1990**

*South Foehn Studies Since the ALPEX Experiment.*

Meteorol. Atmos. Phys., 43, 91-103.

**SIMPSON J. E., 1995**

*Diurnal changes in the sea-breeze direction.*

J. Appl. Meteorol., 35, pp.1166-1169.

**SOLARI G., 1996**

*Wind speed statistic.*

In Lalas, D.P., and Ratto, C.F., editors, World Scientific, Singapore. Modelling of atmospheric flow fields, pp. 637-657.

**SOLARI G., PAGNINI L. C., PICCARDO G. (A CURA DI), 2001**

*Ingegneria del vento in Italia 2000.*

SGE, Padova, 603 pp.

**STRAHLER A.N., 1984**

*Geografia fisica.*

Ed. Piccin, Padova, 663 pp.

**STULL R.B., 1988**

*An introduction to boundary layer meteorology.*

Kluwer Academic Publishers, Springer, 684 pp.

**WHITEMAN, C. D., 2000**

*Mountain Meteorology Fundamentals and Application.*

Oxford University Press, 355 pp.

**WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1983**

*Guide to meteorological instruments and methods of observations.*

Secretary of the Meteorological Organization, n.8, Geneva.



**COLLANA  
STUDI CLIMATOLOGICI IN PIEMONTE**

- VOLUME 1**    **DISTRIBUZIONE REGIONALE  
DI PIOGGE E TEMPERATURE**  
*A. BIANCOTTI, G. BELLARDONE, S. BOVO, B. CAGNAZZI,  
L. GIACOMELLI, C. MARCHISIO*
- VOLUME 2**    **LE PRECIPITAZIONI NEVOSE  
SULLE ALPI PIEMONTESI**  
*A. BIANCOTTI, M. CAROTTA, L. MOTTA, E. TURRONI*
- VOLUME 3**    **SERIE CLIMATICHE  
ULTRACENTENARIE**  
*G.C. CORTEMIGLIA*
- VOLUME 4**    **ANDAMENTO CLIMATICO  
IN ALTA VAL SUSA  
NEGLI ANNI 1990 – 1999**  
*S. FRATIANNI, L. MOTTA*
- VOLUME 5**    **IL VENTO IN PIEMONTE**  
*S. FRATIANNI, B. CAGNAZZI, R. CREMONINI*