

Università degli studi di Trento

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

Tesi di Laurea

***Caratterizzazione meteorologico-climatica
della catena del Monte Baldo***

Relatore:

Prof. Dino Zardi

Correlatore:

Ing. Massimiliano de Franceschi

Laureando:

Michele Costa

Anno Accademico 2004/2005

*Alla mia famiglia,
grazie.*

Indice

Capitolo 1 La catena del Monte Baldo	3
1.1 <i>Posizione geografica, dimensione e nome</i>	3
1.2 <i>Geologia, tettonica e struttura della catena baldense.</i>	7
1.2.1 <i>La struttura geologica</i>	7
1.2.2 <i>L'origine geologica</i>	10
1.2.3 <i>Paleografia dell'ambiente sedimentario marino e manifestazioni vulcaniche</i>	12
1.2.4 <i>Tipi di rocce affioranti</i>	13
1.3 <i>La modellazione dell'erosione</i>	14
1.3.1 <i>Le forme erosive torrentizie</i>	14
1.3.2 <i>I fenomeni carsici</i>	15
1.3.3 <i>Liscioni glaciali e morene laterali.....</i>	15
1.3.4 <i>Le sorgenti</i>	16
1.4 <i>L'"universo" Monte Baldo</i>	18
1.4.1 <i>La scoperta e le esplorazioni.....</i>	18
1.4.2 <i>La storia.....</i>	20
1.4.3 <i>L'uomo e il Monte Baldo</i>	21
1.4.4 <i>I modi di vita tradizionali.....</i>	24
1.4.5 <i>Tempi moderni</i>	25
Capitolo 2 Il clima	29
2.1 <i>Caratterizzazione climatica del Baldo.....</i>	29
2.2 <i>Condizioni meteorologiche</i>	30
2.2.1 <i>Fattori meteorologici generali a grande scala</i>	30
2.2.2 <i>I fattori locali.....</i>	32
2.2.3 <i>Le temperature.....</i>	33
2.2.4 <i>Le precipitazioni.....</i>	34
2.2.5 <i>Fasce climatiche e vegetazione</i>	36
2.3 <i>Stato conoscitivo attuale</i>	39

Capitolo 3 Analisi dei dati delle stazioni meteorologiche esistenti.....	43
3.1 <i>Le modalità del confronto tra stazioni.....</i>	43
3.1.1.1 <i>Le stazioni meteorologiche esistenti</i>	45
3.1.1.2 <i>Localizzazione e caratteristiche delle stazioni</i>	49
3.1.2 <i>Tipologia dei dati forniti, criteri di validazione e di elaborazione</i>	60
3.2 <i>Analisi dei dati</i>	68
Capitolo 4 La campagna di misure in quota	113
4.1 <i>Motivazione ed organizzazione della campagna di misure in quota... ..</i>	113
4.2 <i>Analisi dei dati registrati nella campagna estiva.....</i>	124
4.3 <i>Confronto tra dati rilevati in quota.....</i>	180
4.4 <i>Confronto con un ambiente diverso.....</i>	211
Capitolo 5 Conclusioni e possibili sviluppi futuri	223
5.1 <i>Conclusioni.....</i>	223
5.2 <i>Sviluppi futuri.....</i>	225

Bibliografia

Appendice A	<i>Caratteristiche tecniche dei sensori installati nelle stazioni meteorologiche esistenti</i>
Appendice B	<i>Temperature registrate nelle stazioni esistenti (media mobile)</i>
Appendice C	<i>Caratteristiche del vento nelle stazioni esistenti</i>
Appendice D	<i>Caratteristiche della radiazione solare nelle stazioni esistenti</i>
Appendice E	<i>Caratteristiche delle precipitazioni nelle stazioni esistenti</i>
Appendice F	<i>Caratteristiche dei sensori della stazione temporanea</i>
Appendice G	<i>Carte del tempo (pressione al suolo e fronti)</i>

Appendice H *Profili di temperatura e umidità relativa*

Appendice I *Profili di vento (da radiosondaggi)*

Appendice L *Curve odografe giornaliere per le stazioni Punta Telegrafo,
Monte Baldo, Fiori del Baldo, Polsa (estate 2005)*

Nota:

**tutte le Appendici sono contenute nel CD rom allegato alla tesi
(in formato pdf).**

Introduzione

Il presente lavoro si propone di studiare le caratteristiche meteorologiche e climatiche della catena del Monte Baldo. Questo gruppo montuoso delle Prealpi venete presenta caratteristiche ambientali, geografiche, orografiche e naturali molto particolari e per certi versi uniche. Scopo di questa tesi è quello di indagare in maniera approfondita le grandezze fisiche ed i fenomeni atmosferici che ne determinano il clima e concorrono a creare un ambiente naturale che fin dal passato è noto per la sua particolarità.

Inizialmente si è esplorato il territorio per verificare l'esistenza di stazioni meteorologiche nella regione: è stata fatta una scelta tra quelle presenti in un ambito prossimo alla catena del Baldo, e sono stati esaminati e confrontati i dati delle reti di rilievo del Centro Sperimentale Valanghe di Arabba, dell' Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, e dell' Istituto Agrario di San Michele all' Adige.

L'analisi delle informazioni raccolte attraverso le reti di stazioni presente sul territorio ha permesso di delineare una significativa differenza tra le condizioni atmosferiche della montagna baldense e quelle delle aree circostanti. Tale diversità, peraltro non inaspettata, ha fornito lo spunto per uno studio sul campo, con una breve, ma significativa campagna di misure meteorologiche durante l'estate 2005 su una delle cime più alte della catena. I dati raccolti hanno permesso di verificare l'esistenza di fenomeni legati alle condizioni di atmosfera libera e della scala sinottica. Il confronto con le altre stazioni e con le carte meteorologiche in un'area più ampia ha messo in rilievo la significatività della campagna di misure e l'importanza dei dati raccolti.

Lo studio evidenzia anche le caratteristiche delle reti di rilevamento meteorologico presenti sul territorio, valutandone la distribuzione ed effettiva copertura del Monte Baldo, significatività delle postazioni e proponendo miglioramenti al sistema e nuove possibili soluzioni.

Nei primi due capitoli viene descritto in maniera dettagliata l'ambiente baldense, sotto diversi punti di vista, per far capire la particolarità della regione studiata; per questa esposizione, che non riporta nuovi saperi, ma propone il Monte Baldo conosciuto, si è fatto ampio riferimento ai testi "Il Monte Baldo" di Eugenio Turri (1999), e "Il Monte baldense nei suoi aspetti naturalistici e antropici" (AA.VV., 1981). Mentre nel primo capitolo l'attenzione si pone sulla posizione geografica, la geologia, l'orografia, la storia e la

antropizzazione della regione, nel secondo si riportano le conoscenze sul clima baldense e la particolare vegetazione e flora presenti.

Nel terzo capitolo viene condotta un'analisi dei dati raccolti su più anni nelle stazioni meteorologiche esistenti nel territorio del Monte Baldo e nelle vicinanze; vengono descritte le caratteristiche climatiche delle rispettive stazioni e si confrontano le grandezze fisiche tra le stazioni stesse, per osservare differenze e similitudini.

Nel quarto capitolo viene descritta la campagna di misure realizzata nelle vicinanze di Punta Telegrafo per raccogliere dati in una zona non esplorata da alcuna stazione esistente. Vengono analizzati i dati raccolti, e confrontati con quelli delle altre stazioni nel medesimo periodo. Un altro paragone viene fatto con una stazione nivometeorologica posta alla stessa quota, ma in ambiente dolomitico molto diverso. Ancora, si fa un confronto con le carte del tempo relative ai giorni della campagna di studio.

Il quinto capitolo raccoglie le conclusioni cui hanno portato le diverse fasi del lavoro e le proposte per futuri nuovi sviluppi delle conoscenze della meteorologia e dell'atmosfera sul Monte Baldo, emersi durante il periodo di studio.

Capitolo 1

La Catena del Monte Baldo

1.1 Posizione geografica, dimensione e nome

Il Monte Baldo è il rilievo montuoso più occidentale delle Prealpi venete ed è caratterizzato da una marcata individualità geografica. E' infatti delimitato ad Ovest dal Lago di Garda (Benaco), ad Est dalla Valle Lagarina (così si definisce la Valle dell'Adige nella sua parte finale, nel tratto tra Calliano e la Chiusa di Verona), a Nord dalla Valle di Loppio e a Sud dal Golfo di Garda, dalla Conca di Caprino e dall'anfiteatro morenico di Rivoli Veronese (*Figure 1.1 e 1.2*). Il lago, di cui il Baldo è lo sfondo orientale inscindibile, si manifesta nella sua morfologia di solco tettonico modellato dal glacialismo, cioè dai ghiacciai alimentati dai bacini collettori dell'area atesino-giudicariense. Questo è caratterizzato da due sezioni: quella superiore che ha le caratteristiche di un fiordo tra le montagne, e quella inferiore che si amplia verso sud formando una sorta di golfo sulla Pianura Padana, arginato dalle colline moreniche.

Il Monte Baldo, il più meridionale dei massicci prealpini italiani e il più aggettante verso la pianura, seppure ben innestato nel sistema orogenetico subalpino della catena delle Alpi, si innalza fra l'ampia superficie del più grande dei laghi subalpini, ed il profondo solco della Valle dell'Adige. E' lungo circa 36 km e largo circa 11 km e consiste in una catena principale alta sino ad oltre 2200 m s.l.m. ed estesa linearmente in direzione NNE-SSO, ed in una serie di elementi di contorno sui lati meridionale, orientale e settentrionale, sotto forma di dorsali, di piccoli altipiani, di gradinate, di terrazze naturali.



Figura 1.1. Veduta dall'alto dell'area del Monte Baldo: la catena si trova al centro, a destra del lago di Garda (immagine tratta da Google.Earth).

La catena principale, in forma di imponente bastione, è asimmetrica in quanto il versante occidentale si eleva con pendenze intorno al 40-80 % fino a superare i 2200 m s.l.m. delle vette; sul versante orientale un sistema di avvallamenti, pianori ed altopiani sospesi sopra il ripido versante della Valle dell'Adige (le creste sulla Val Lagarina raggiungono i 300-800 m s.l.m.) si raccorda, con pendenze analoghe, alle vette più alte.

Visto dal lago, il Baldo con le sue cime spesso avvolte dalle nubi fa pensare ad una imminente montagna alpina, qui l'energia del rilievo è sottolineata dai dislivelli. Visto dall'altopiano dei Lessini, il Baldo si presenta come una muraglia montuosa che fa da sipario al grande lago. Infine, visto da Sud, ed in particolare dalla fascia del Mincio, il Baldo si presenta come una montagna subconica, che si eleva al di sopra di un complesso articolato di altipiani, e che può far pensare alla sagoma di un vulcano, aspetto al quale,

forse, si deve, in parte, la tradizione popolare (non avvalorata da riscontri scientifici) che ritiene questo monte un antico vulcano.



Figura 1.2. Mappa della catena del Baldo (cartina stradale).

La Catena del Monte Baldo è formata da due settori distinti: 1) il Monte Baldo vero e proprio, da Punta S. Vigilio fino a Bocca di Navene (1430 m s.l.m.); il Monte Altissimo di Nago (2078 m s.l.m., *Figura 1.3*), da Bocca di Navene alla Sella di Loppio. Il primo non è solo il più ampio, ma comprende anche le vette più alte (*Figura 1.4*), fra le quali Punta Telegrafo (2200 m s.l.m.), Cima Valdrizza (2218 m s.l.m.) e Cima delle Pozzette (2132 m s.l.m.). Questi due settori però non corrispondono esattamente al Baldo veronese e al Baldo

trentino: il confine tra le province di Verona e Trento sale a Nord oltre Navene nel versante occidentale (con il comune di Malcesine), scende poi verso Sud per circa 10 km lungo la linea dello spartiacque della catena, e taglia ancora trasversalmente la montagna tra Cavallo di Novezza e Belluno Veronese. Il territorio trentino comprende tutto il solco della valle Aviana, sia nella sua parte più bassa, sia in quella superiore (longitudinale al monte).



Figura 1.3. Bocca di Navene (a sinistra) e l'Altissimo (a destra): veduta dal monte Vignoletto (fotografia scattata nel maggio 2005).

Nell'idea popolare il nome del monte ha proprio il significato dell'aggettivo "baldo", indicativo cioè di un monte erto, potente, fiero, ardito (come lo si vede dal veronese), per cui è stata ipotizzata anche una origine celtica. In realtà, più semplicemente si tratta di un sostantivo, di probabile derivazione dalla voce germanica *Wald*, cioè bosco, che rimanda piuttosto ad una montagna ricca di nevi, di acque, di boschi.



Figura 1.4. Il Monte Baldo (con la Cima Valdritta) e la Valle Aviana visti dal monte Vignoletto (fotografia scattata nel maggio 2005).

1.2 Geologia, tettonica e struttura della catena baldense.

La struttura descritta nel paragrafo precedente e la spiccata individualità della catena sono la diretta conseguenza della sua origine geologica e tettonica. L'orogenesi alpina ha creato grandi corrugamenti che la successiva azione erosiva degli agenti atmosferici e dei ghiacci delle ere glaciali susseguitesesi nei millenni ha modellato fino alle forme attuali. Le natura geologica e chimica delle rocce che formano la montagna può spiegare in parte la scarsità di corsi d'acqua, ed è un fattore che favorisce una vegetazione assolutamente varia e, specialmente dal punto di vista botanico, endemica.

1.2.1 La struttura geologica

La struttura geologica del Monte Baldo è molto semplice. A cominciare dalla sponda veronese del Lago di Garda e procedendo verso la Valle Lagarina, si incontra dapprima una grande piega, convessa verso l'alto (anticlinale del M. Baldo), a cui si succede una nuova piega, ma concava verso l'alto

(sinclinale di Ferrara di M. Baldo, detta anche semplicemente “sinclinale del M. Baldo”). Alla sinclinale seguiva un tempo una nuova anticlinale, seppur minore, che collegava la Catena del M. Baldo ai Monti Lessini. Poiché però in corrispondenza di essa si è sviluppata, lungo una delle più importanti fratture dell’arco alpino, la Valle Lagarina, sono rimaste di questa seconda anticlinale solo tracce evidenti nel M. Ceraiolo e nel M. Vignola, nel Baldo orientale trentino, e nei monti Pastello e Castelletto, sul bordo occidentale dei Monti Lessini.

Tutte queste pieghe, come d’altra parte la grande sinclinale del Lago di Garda, oltre ad essere parallele tra di loro secondo la direzione giudicariense NNE-SSO, sono anche asimmetriche, perché il loro asse è inclinato verso ESE. L’anticlinale del M. Baldo è talmente ripiegata verso tale direzione da dimostrare la tendenza a coricarsi sulla stessa sinclinale di Ferrara di M. Baldo e da risultare nettamente decapitata dall’erosione (*Figura 1.5*). La descritta semplicità dei ripiegamenti è particolarmente evidente nel tratto centrale della catena, mentre a settentrione, nel M. Altissimo, e nel settore settentrionale, nei Monti Creta e Belpo vi sono alcune complicazioni.

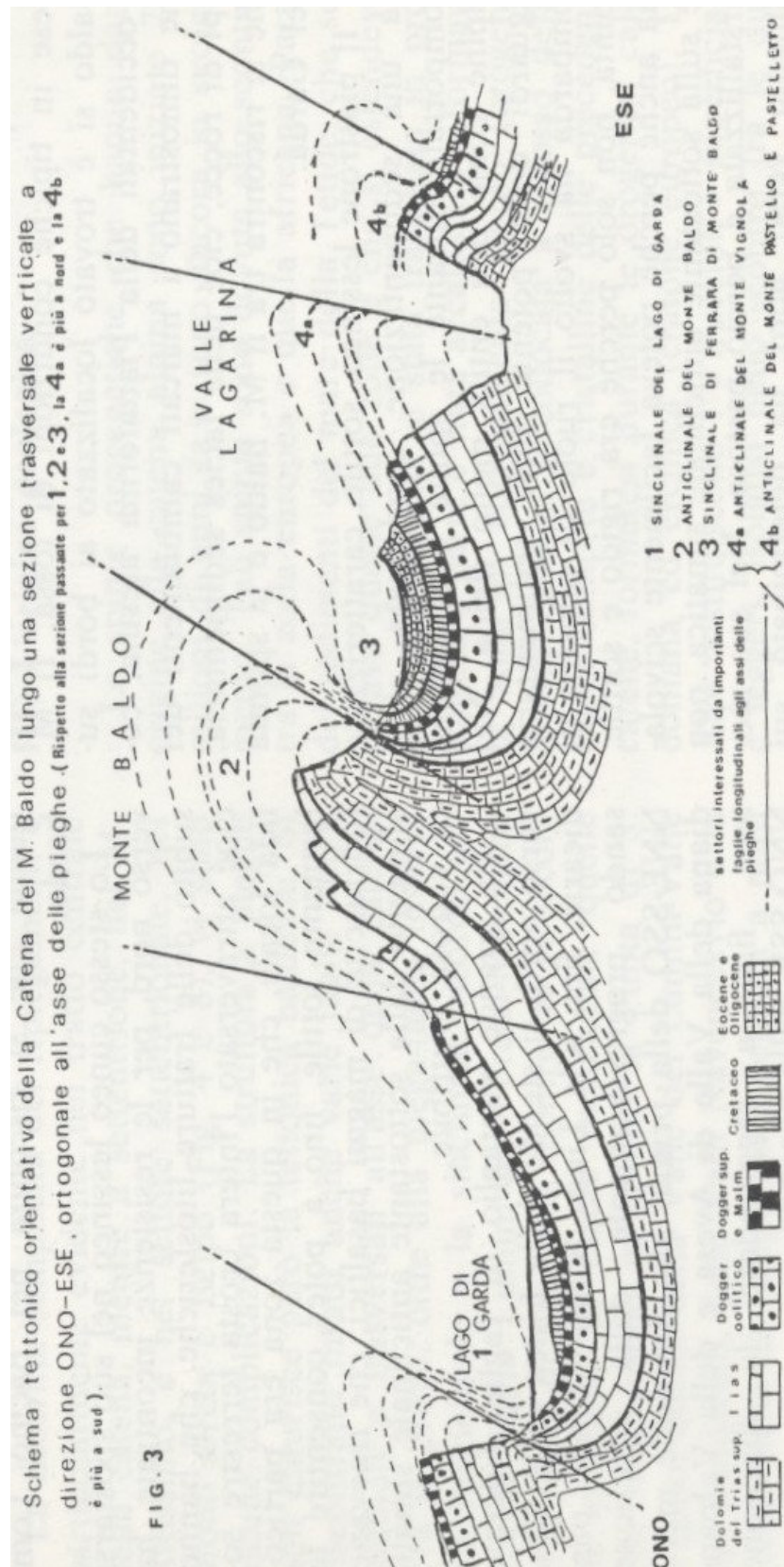


Figura 1.5. Sezione geologica del Monte Baldo in senso Est-Ovest (da "Il Monte Baldo nei suoi aspetti naturalistici e antropici", 1981).

1.2.2 L'origine geologica

Le spinte orogenetiche che hanno dato origine alla catena alpina sono iniziate 70 milioni di anni fa e sono ancora in svolgimento. Tali spinte sono dovute allo scontro tra la zolla europea e la zolla africana. Le Alpi costituiscono i “trucioli” superficiali e leggeri, isolatisi nello scontro fra le due ricordate zolle continentali.

Le spinte tangenziali che hanno corrugato gli strati sedimentari marini, che oggi costituiscono la Catena del Monte Baldo, sembra provengano dal fianco occidentale del piastrone lessino, in seguito al movimento che quest'ultimo ha potuto sviluppare verso Nord, sotto l'azione delle spinte provenienti dalla zolla africana. La presenza, ad alcune decine di chilometri dal piastrone lessino, delle due masse intrusive Adamello-Presanella e Cima d'Asta, profondamente radicate nella crosta terrestre e collocate rispettivamente la prima a Nord-Ovest del piastrone lessino e la seconda a Nord-Est, ha lasciato un ampio settore di scarsa resistenza nella zona di Trento, verso la quale il piastrone menzionato ha potuto introdursi con sufficiente efficacia, rimanendo tuttavia costretto ad assumere aspetto cuneiforme triangolare (*Figura 1.6*).

Il piastrone lessino assieme alla parte orientale del Bacino lombardo, nel loro movimento verso Nord, si sono incuneati tra le due masse ostacolo Adamello-Presanella e Cima d'Asta, subendo una fatturazione a ventaglio. Il settore orientale del Bacino lombardo, essendo costituito da un consistente spessore di sedimenti, si è comportato come molto plastico e perciò si è fittamente corrugato. Gli assi delle pieghe si sono disposti parallelamente alla Linea delle Giudicarie ed al fianco occidentale del pilastro di spinta lessino. Il M. Baldo, collocato nella zona di passaggio tra la rigida e sottile Piattaforma atesina ed il plastico Bacino lombardo, si è corrugato con singolare regolarità e vistosità. Il ventaglio di fratture nella zona del M. Baldo e dei Monti Lessini, avendo interessato un settore sedimentario rigido e sottile, ha dato origine a faglie di tipo decisamente litosferico, dalle quali sono potute perciò uscire lave basaltiche fluide, alimentate da una sottostante anticlinale magmatica (*Figura 1.7*).

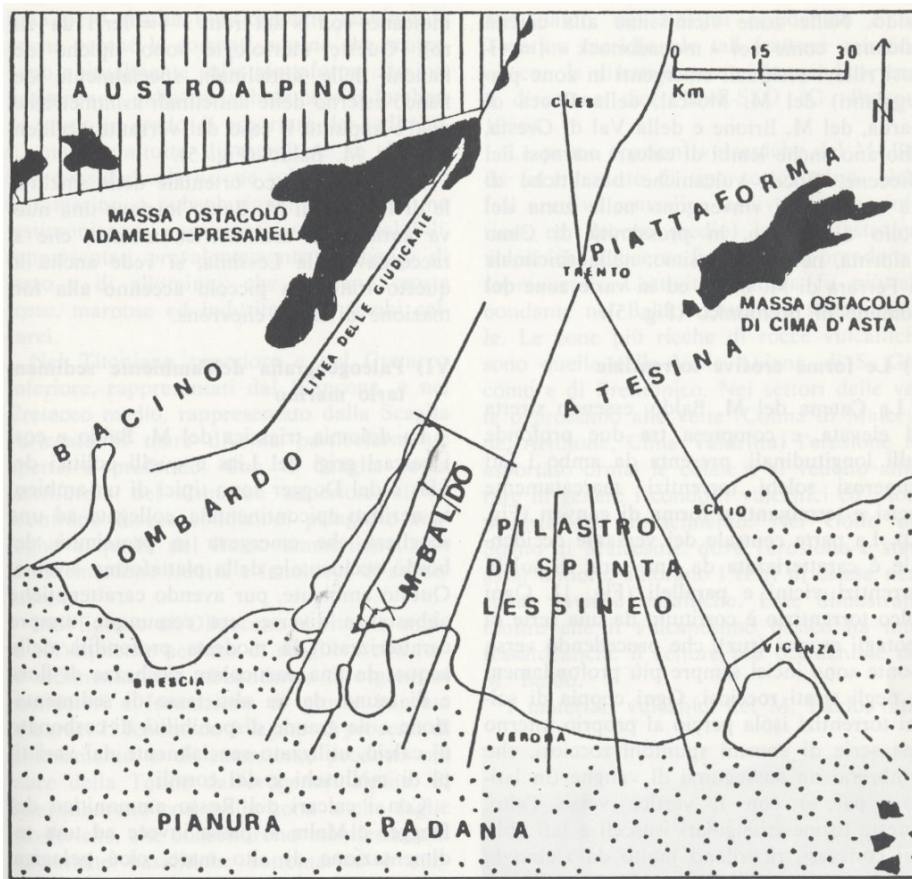


Figura 1.6. Schema tettonico delle masse che hanno originato il Baldo sottoposte alle spinte tra le zolle continentali (da "Il Monte Baldo nei suoi aspetti naturalistici e antropici", 1981).

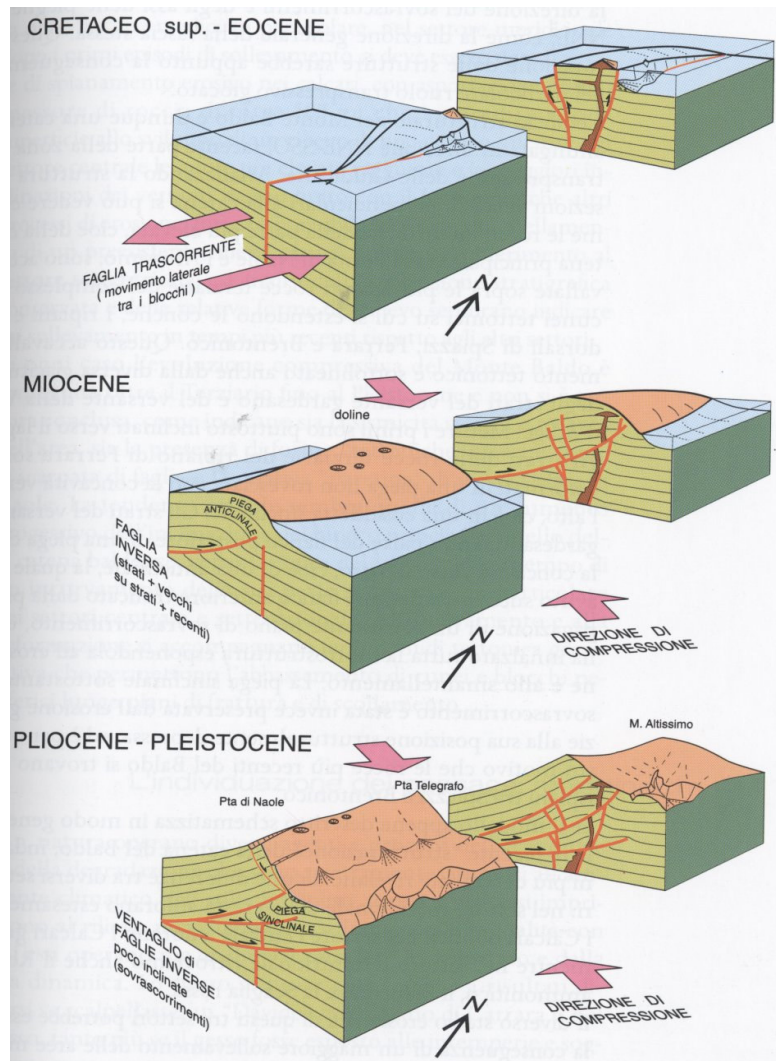


Figura 1.7. Successione dei movimenti tettonici che hanno originato il Monte Baldo (Turri, 1999).

1.2.3 Paleografia dell'ambiente sedimentario marino e manifestazioni vulcaniche

La dolomia triassica del Monte Baldo e così i calcari grigi del Lias e quelli oolitici del Lias e del Dogger sono tipici di un ambiente neritico epicontinentale, collegato ad una scogliera che emergeva in prossimità del bordo occidentale della Piattaforma atesina. Con i calcari del Rosso ammonitico del Dogger e Malm si passa invece ad una sedimentazione di alto mare, cioè pelagica, caratterizzata da scarsa sedimentazione, assenza di organismi costruttori e presenza di quelli che vivono lontani dalla costa. La sedimentazione si fa perciò più modesta.

Nel Tortoniano superiore e nel Cretaceo inferiore, rappresentati dal Biancone, e nel Cretaceo medio, rappresentato dalla Scaglia variegata, il mare diventa particolarmente aperto e profondo. Con la Scaglia rossa nastriforme del Cretaceo superiore si riscontrano invece condizioni pelagiche analoghe a quelle del Rosso ammonitico, con sedimentazione ridotta e fenomeni di subsoluzione.

Dall'Eocene all'Oligocene si ritorna ancora all'ambiente neritico di scogliera con forte sedimentazione, abbondanza di organismi costruttori e formazione di grosse bancate calcaree. Il fenomeno è legato ai processi di sollevamento e di emersione, prodotti nel mare della Tetide dall'orogenesi alpina. Si determinarono così nella zona anche faglie litosferiche, che consentirono manifestazioni vulcaniche basaltiche sottomarine e subaeree.

Il vulcanesimo del M. Baldo è di tipo basaltico. Si tratta di manifestazioni vulcaniche effusive, i cui magmi provengono da grandi profondità. Tali magmi furono eruttati, in varie fasi, a partire dal Paleocene e durarono fino all'eocene medio, interessando un intervallo di tempo complessivo di circa venti milioni di anni.

Le zone più ricche di rocce vulcaniche sono quelle della Valle Aviana, di S. Giacomo e di Brentonico, ma il vulcanesimo basico ha interessato anche il settore più occidentale del M. Baldo.

I materiali vulcanici del M. Baldo, oltre alle lave compatte comprendono tufi stratificati e rimaneggiati, rocce vulcano-clastiche e vulcano-detritiche e ialoclastiti (=colate laviche basaltiche sottomarine, di aspetto grigio, verdastro o rossastro, costituite da elementi poliedrici di vetro vulcanico, legati da cemento calcitico e da silicati del gruppo delle zeoliti).

Nonostante il M. Baldo abbia ospitato da 65 a 45 milioni di anni fa varie manifestazioni vulcaniche, non è un rilievo montuoso di origine vulcanica, come l'Etna e il Vesuvio, o la Calvarina nei Monti Lessini orientali, ma una catena di corrugamento orogenetico, costituita prevalentemente da rocce calcaree e dolomitiche, formatesi in ambiente sedimentario marino e poi sollevate e fratturate durante le fasi dell'orogenesi alpina.

1.2.4 Tipi di rocce affioranti

Nella Catena del M. Baldo affiorano rocce di tipo sedimentario marino dell'Era secondaria e terziaria, costituite da Dolomie del Trias, da calcari del Giurese, del Cretaceo dell'Eocene e dell'Oligocene. Le dolomie del Trias ed i

calcari grigi del Lias affiorano nel basso versante della Valle Lagarina, nella Valle di Loppio, nell'Altissimo occidentale e nella zona delle vette. Assai più diffusi sono i calcari oolitici del Lias e del Dogger e quelli marmorei del Rosso ammonitico. Le rocce del Cretaceo affiorano diffusamente nella sinclinale di Ferrara di M. Baldo, a Torri del Benaco, a Malcesine, nei lembi prativi della Val Trovai e Malga Brione, alla Colma di Malcesine ed in varie zone dell'Altissimo. I calcari eocenici sono presenti in vari punti del basso versante meridionale del M. Creta e M. Belpo, e, assieme a quelli oligocenici, nella sinclinale di Ferrara di M. Baldo. Rocce vulcaniche basaltiche di età terziaria si rinvencono nella zona del Golfo del Sogno, in prossimità di Cima Valdritta, nel M. Altissimo, nella sinclinale di Ferrara di M. Baldo ed in varie zone del comune di Brentonico.

1.3 La modellazione dell'erosione

1.3.1 Le forme erosive torrentizie

La Catena del M. Baldo, essendo stretta ed elevata, e compresa tra due profonde valli longitudinali, presenta da ambo i lati numerosi solchi torrentizi, marcatamente incisi e terminanti a forma di cuneo. La parte centrale del versante occidentale è caratterizzata da una serie di solchi torrentizi vicini e paralleli. Ogni solco torrentizio è costituito da una serie di ventagli erosivi (*ruz*), che procedendo verso monte sono incisi sempre più profondamente negli strati rocciosi. Ogni coppia di solchi torrentizi isola perciò al proprio interno una serie di enormi spuntoni rocciosi, che sembrano un susseguirsi di vanghe (in latino "palae") con il vertice rivolto verso l'alto. Queste morfologie sono tipiche dei fianchi delle anticlinali, specialmente del fianco esterno delle anticlinali asimmetriche, qual è appunto il caso del versante occidentale del Monte Baldo.

Poiché dal fianco orientale della sinclinale di Ferrara di Monte Baldo iniziava una nuova anticlinale, asimmetrica minore, che si raccordava alla Lessinia, si vede anche questo tratto un piccolo accenno alla formazione delle tipiche "pale".

1.3.2 I fenomeni carsici

Le rocce gessose, calcaree ed in parte anche quelle dolomitiche vanno soggette a dissoluzione chimica (=erosione carsica). Non stupisce perciò che il M. Baldo, essendo una montagna tipicamente calcarea presenti una rilevante quantità e varietà di fenomeni carsici di superficie (epigei) e di profondità (ipogei). I livelli che nel M. Baldo subiscono la dissoluzione chimica e che nello stesso tempo si prestano a conservare le morfologie carsiche sono specialmente i calcari oolitici del Lias e del Dogger, quelli marmorei del Rosso ammonitico, e quelli di scogliera dell'Eocene medio e dell'Oligocene.

Le masse nevose nei circhi glaciali e le lingue glaciali nei bassi versanti occidentale ed orientale del M. Baldo hanno lasciato estese superfici di rocce nude e levigate, sulle quali l'erosione carsica, con la dissoluzione chimica, ha prodotto varie morfologie, creando dei caratteristici paesaggi glaciocarsici.

Nei circhi glaciali e nelle alte valli glaciali che da questi si dipartono si rinvengono specialmente incisioni, solchi a doccia, solchi diaclasici e lunghi e profondi crepacci. Nel basso versante orientale, specialmente nella zona di Canale e della Chiusa di Ceraino prevalgono i solchi a meandri diaclasici, le vaschette di corrosione, i fori e le scannellature. Nel basso versante occidentale dominano i lunghissimi solchi a doccia tra loro paralleli, i solchi diaclasici, le piccole vaschette di corrosione e le incisioni.

Numerose sono le doline nella zona di Bocca Tredes Pin ed inoltre quelle della Costa Bella, delle Creste di Naole, del Dosso dei Cavalli, di Cima Sparavero e del Monte Belpo, tutte formatesi nei calcari puri e fittamente fessurati del Dogger oolitico. Numerose e sempre nello stesso tipo di calcari sono le doline lungo il solco vallivo di Lumini-Cervi-Prada, formatosi lungo un'importante disturbo tettonico. Esse in pratica corrispondono a punti particolarmente assorbenti di un autentico polje carsico a gradini, catturato lateralmente da testate di solchi vallivi.

1.3.3 Liscioni glaciali e morene laterali

Il Monte Baldo è l'unica formazione montuosa della fascia prealpina italiana, che durante le glaciazioni mindeliana, rissiana e würmiana sia stata completamente circondata dai ghiacci. Sul lato occidentale scorreva il ghiacciaio del Garda, su quello orientale il ghiacciaio atesino, a settentrione un ramo del ghiacciaio atesino trasfluiva in quello benacense attraverso la Valle di

Loppio, mentre a meridione il ghiacciaio atesino e quello benacense finivano quasi per toccarsi nella zona della Piana di Caprino (*Figura 1.13, pagina 38*).

Nella Conca di Mori, di Rovereto e nella Sella di Loppio il ghiacciaio atesino würmiano arrivava, sui fianchi vallivi, nei momenti di massima espansione, a quote intorno ai 1500 m e 1450 m s.l.m. mentre nei settori sottostanti della fossa sia benacense, che atesina, andava logicamente via via degradando fino a raggiungere gli 850 m s.l.m. a Malcesine, i 650 m s.l.m. a San Zeno di Montagna e i 400 m s.l.m. in prossimità di Punta S. Vigilio. Nella Val Lagarina raggiungeva i 1300 m s.l.m. ad Ala, i 650 m s.l.m. nella conca di Dolcé e i 350 m s.l.m. nella conca di Caprino.

Queste quote sono testimoniate non solo da un gran numero di lembi morenici laterali, ancora parzialmente presenti sui fianchi vallivi, ma anche da una grande quantità di liscioni glaciali sui quali si notano sempre una serie di striature marcate, tra loro vistosamente parallele, tracciate dai massi di fondo, trascinati dalla lingua glaciale in movimento verso valle.

1.3.4 Le sorgenti

Il Monte Baldo, essendo una catena stretta ed elevata costituita da dolomie e calcari generalmente molto permeabili, è povero di risorse idriche. Il Monte Baldo trentino, presentando calcari marnosi dell'Eocene superiore, consistenti livelli marnosi nel Cretaceo medio, conoidi detritiche, vasti affioramenti basaltici, ha una maggiore abbondanza di sorgenti a tutte le quote.

Anche la zona della sinclinale di Ferrara di Monte Baldo, per la forma a conca, per le molte conoidi detritiche ed accumuli argillosi, derivati dalla dissoluzione chimica dei calcari, per i livelli marnosi eocenici e cretacei e per l'impermeabilità dei calcari marnosi del Rosso ammonitico (ad una certa profondità), presenta una sufficiente abbondanza di acque sorgive a Novezza, Ferrara, Spiazzi, nella Valle Salve Regina, fino a Pazzon, Caprino e Pesina.

Il più arido è il versante occidentale del Monte Baldo. Si trovano tuttavia alcune piccole sorgenti di condensazione occulta nella zona delle vette, come in prossimità di Cima Valdritta, o di trattenuta idrica in corrispondenza di livelli calcarei marnosi del Lias inferiore nella zona del Circo delle Buse e del Circo del Telegrafo.

Un secondo allineamento si trova nella media montagna, generalmente dove le incisioni vallive raggiungono alcuni livelli impermeabili del Lias

superiore, come nella sorgente di Val Trovai, a Malga Piombi, Albi di Brione e Valle Beola.

Ad un terzo allineamento appartengono le sorgenti Soala a Brenzone e Tanella a Pai. L'ultimo allineamento è quello più importante e comprende le sorgenti S. Carlo, del Cal e della Madonna a Malcesine, del fiume Ari di Cassone, di punta Cottarella e Cava Magnesia, del Frastuono a Pai, di Acque Fredda a Torri del Benaco, alle quali sono collegate ovunque numerose ed importanti sorgenti sottolacustri (*Figura 1.8*).



Figura 1.8. Idrografia del Monte Baldo (Turri, 1999).

1.4 L'“universo” Monte Baldo

1.4.1 La scoperta e le esplorazioni

Il Monte Baldo è soprattutto la montagna dei veronesi. Essa appare verso Nord-Ovest come un'alta e seghettata muraglia montuosa, come espressione forte della natura (*Figura 1.9*).

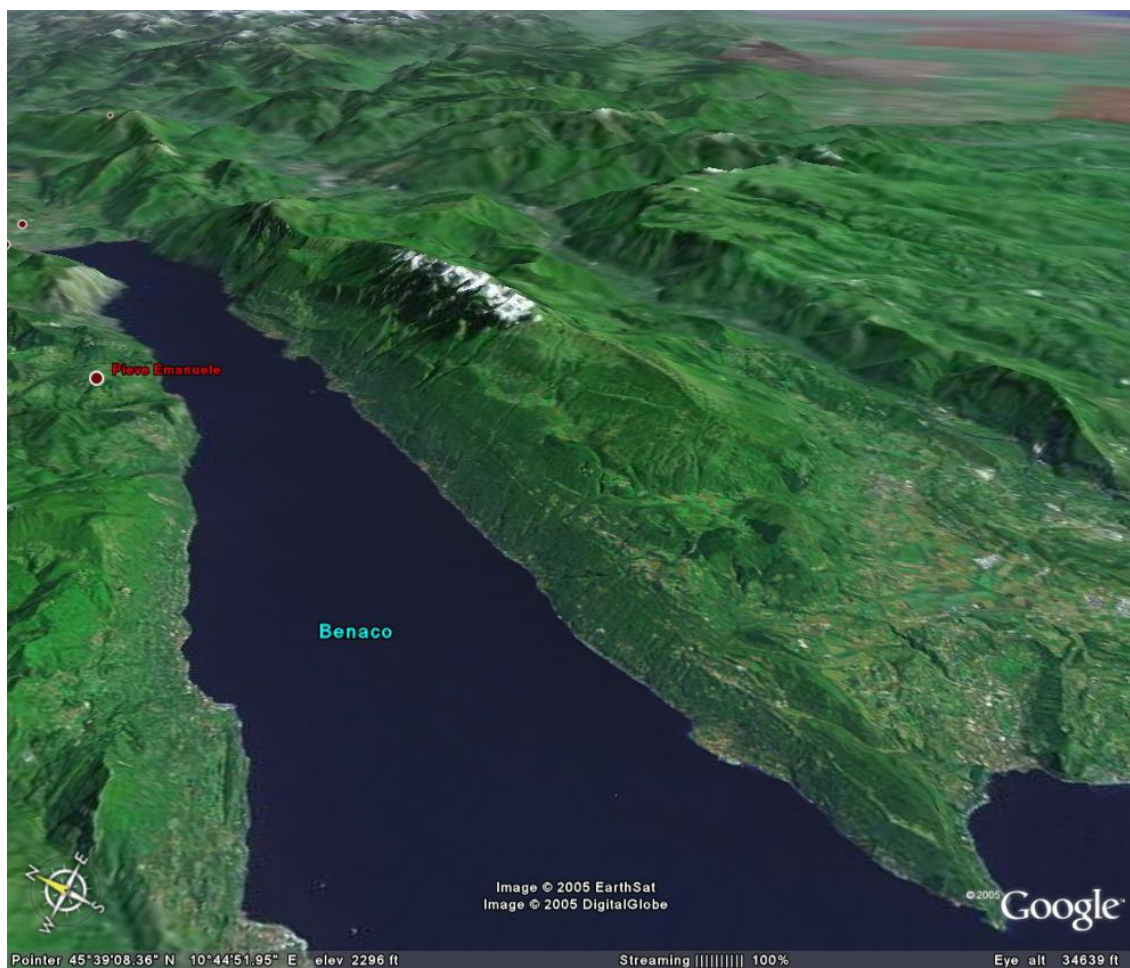


Figura 1.9. Veduta del Monte Baldo da Sud Ovest: al lago su un fianco si contrappone la Val Lagarina sull'altro versante (immagine tratta da Google.Earth).

Scoperto sin dal Medioevo quale meta di pellegrinaggi a questo luogo alto, misterioso, segreto, e perciò “religioso”, è venerato anche per la presenza di antichi eremi (S. Benigno e S. Caro).

Così il Monte Baldo è stato scoperto e mitizzato per la prima volta. Ma il mito del pellegrinaggio (che ha aperto passaggi e sentieri), si accompagnava nella sua pratica concreta alle transumanze dei pastori di pecore, che sin

dall'alto Medioevo e forse dall'età romana raggiungevano le pendici più accessibili del monte.

Al mito dei boscaioli e dei pastori se ne affiancherà poi un altro, quello delle erbe officinali e dei fiori carichi della stessa magia che accompagna la montagna stessa. E già da allora, grazie ai suoi fiori, il Monte Baldo acquisterà una fama che dura tuttora, e che via via lo inserirà nei luoghi famosi della letteratura botanica. Francesco Calzolari, botanico veronese, è il primo, nel '500, a tessere le lodi del Monte Baldo quale "giardino floristico" e ad iniziare la sua mitizzazione; dal '500 al '700 la montagna è meta fissa di studiosi e scienziati del tempo (fra i tanti si cita Giovanni Pona) e viene anche definito "Hortus Italiae".

Dopo naturalisti e botanici che cercano di conoscere il monte dal di dentro, visitandolo, esplorandolo, entrando nel suo ambiente aspro e difficile, arriva nell' 800 la celebrazione dei poeti (Stendhal, Eustace, E.H.D.Lawrence, Aleardi, De amicis), che si accontentano di rimirarlo da fuori e ne descrivono l'imponente ergersi nella cornice di colli intorno a Verona, o al di sopra delle acque del Lago di Garda. Nella seconda metà del secolo scorso, il Baldo comincia ad entrare nelle mire dell'alpinismo, disciplina in voga soprattutto nelle classi borghesi. Oltre all'evasione dalla città, in queste escursioni c'è anche la (ri)scoperta delle visioni dall'alto, dal Garda alle pianure, a Verona: il riconoscere il territorio in cui si vive dall'alto, ritrovandolo e rafforzando così un senso di appartenenza a quel mondo.

Nasce così l'attività del CAI sul Baldo, la costruzione di rifugi tra cui il Telegrafo (1882); nel frattempo cresce anche l'interesse per altri aspetti naturalistici del Baldo: il prevalente in questo periodo è la geologia, estremamente ricca e varia, che ne fa un vero e proprio "laboratorio di studio".

L'interesse per il Baldo finisce di essere di tipo escursionistico-naturalistico quando, durante la guerra 1915-18, molti soldati sono costretti a vivere la montagna "dal di dentro", sul fronte che si fissò sulle pendici settentrionali dell'Altissimo.

Oggi lo studio del Baldo impegna naturalisti e studiosi specializzati, sia botanici che zoologi, entomologi, ecologi, paleontologi, geografi, ecc.; importanti sotto questo punto di vista sono le pubblicazioni a cura del Museo di Storia Naturale di Verona, e del Museo Tridentino di Storia Naturale, a cui è anche collegata la manifestazione "Il fiore del Baldo" (cui si deve la promozione di

nuove tematiche messe a punto nei vari campi delle discipline naturalistiche) (tratto da Turri, 1999).

1.4.2 La storia

Nel paesaggio del Monte Baldo si possono riconoscere le diverse fasi dell'attività umana susseguitesi nel corso dei secoli. La sequenza inizia con lo strato preistorico, con le sue minime e labili tracce, al quale si sovrappongono le testimonianze dell'epoca romana. All'epoca medioevale risalgono le prime organizzate forme di sfruttamento della montagna, da cui essa ha derivato l'imprinting territoriale su cui si sono innestate le fasi successive, come il periodo veneto e poi l'Ottocento, che ha portato un nuovo modello di rapporto uomo-montagna. Logicamente, i segni che l'uomo ha lasciato nel tempo sono meno forti salendo di quota, e dunque ci troviamo sulle vette in un mondo poco o nulla modificato.

Molti siti archeologici con reperti dell'età del rame, del bronzo e del ferro (Ferrara di Monte Baldo deve il suo nome alla lavorazione del ferro di cui si sono trovate le antiche tracce) testimoniano la presenza dell'uomo sul Baldo fin dalla preistoria. La sua posizione sulla direttrice che porta a Nord, con la Via Claudia Augusta (una variante) che passava per la Valle dell'Adige, pose l'area baldense sotto l'influenza dell'impero romano: molti centri, come Caprino Veronese ad esempio, erano in origine dei castrum. Seguirono il dominio longobardo e quello franco, sotto il quale vi fu un'intensa civilizzazione e cristianizzazione delle popolazioni del Baldo.

Nel 1200, con l'ordinamento comunale, si ha una organizzazione territoriale ben definita, una intensa vita sociale, la formazione di comunità ed una economia vivace, basata sullo sfruttamento dei pascoli, dei boschi, e dei coltivi. Questa organizzazione comunitaria si ritrova ancor oggi, adattata, nei consorzi degli allevatori che affittano le montagne comunali.

La situazione economica e sociale peggiorò successivamente sotto il regime Scaligero: il suo carattere duro ed esoso scoraggiò le iniziative, i commerci e le attività nuove.

La Repubblica di Venezia, interessata al controllo della Valle dell'Adige e del lago di Garda, governò la zona del Baldo dal 1405 al 1796, lasciando nella società e nel paesaggio un tratto profondamente veneto. La dominazione veneziana, influenzata dalla borghesia veronese, portò una maggiore indipendenza alle popolazioni del Baldo. Le attività economiche e commerciali

fiorirono, e crebbe l'importanza dell'allevamento bovino e ovino, che condusse alla ricerca di nuovi pascoli; questo, assieme allo sfruttamento delle foreste (che si fece sempre più intenso) causò l'inizio un disboscamento che divenne irreversibile. Importante divenne anche la cerealicoltura, mentre a Nord si svilupparono attività nuove, come l'estrazione del marmo giallo di Castione e delle terre colorate di Brentonico.

Il dominio napoleonico causò il crollo del sistema di governo veneziano, ormai obsoleto, ed una riorganizzazione dei comuni, con la frammentazione del territorio in piccole proprietà; rimase comunque un senso di comunità tra le genti del Monte. Inizia in questi anni la costruzione delle principali vie di comunicazione, mentre si ha una sensibile crescita demografica, ed un conseguente maggiore sfruttamento anche dei terreni più poveri.

Inizia nell'800 il fenomeno dell'emigrazione, verso l'America, la pianura ed i paesi europei, che impoverisce il territorio baldense della risorsa umana in maniera drastica. Il forte disboscamento provocò nel secolo scorso gravi dissesti idrogeologici, e nacquero antesignane associazioni ambientaliste per la ri-forestazione del Baldo. Si arriva al periodo delle guerre mondiali: la Grande Guerra vede la costruzione di fortificazioni (Naole, Spiazzi) e della rete stradale del Monte. Nel periodo di pace inizia in piccolo il turismo, soprattutto tedesco, ed ha inizio un'opera di rimboschimento, fatta dal Corpo Forestale, che si propone di riportare alla natura un ambiente ormai profondamente degradato (tratto da Turri, 1999).

1.4.3 L'uomo e il Monte Baldo

L'imponente orografia e la posizione geografica sono i due fattori che, dal punto di vista antropico, delimitano e restringono il territorio baldense. La presenza della Valle dell'Adige da una parte e della sponda gardesana dall'altra costituisce un fattore di sottrazione geografica, nel senso che queste due importanti vie di traffico e di insediamento fungono da elementi di gravitazione a svantaggio della zona montana, la quale costituisce quasi una sorta di vuoto tra il fitto tessuto antropico che si dipana tra il lago, la pianura e la valle atesina. Ciò spiega perché non si possa parlare di una cultura montanara baldense, poiché troppo determinanti sono stati i rapporti e le influenze del mondo rurale e urbano circostante sulle popolazioni e le attività dell'area.

La territorialità del Monte Baldo è anomala. Una discriminazione netta e storicamente sempre rispettata esiste tra i due versanti maggiori, che quasi si

ignorano e parlano due lingue diverse. Dalla parte del lago, il bacino benacense superiore ha avuto sempre una unità e una sua propria rete di rapporti grazie ai quali le montagne intorno partecipavano alla vita del lago, a sua volta aperto all'esterno attraverso l'asse padano-retico. Il versante meridionale centrato su Caprino ha mantenuto sempre rapporti attraverso la via dell'Adige con la città più vicina, Verona, e la pianura. Attraverso la via atesina il resto del Monte Baldo, ha dialogato sia con il mondo veneto che con quello tirolese.

Convenzionale e d'ordine storico è il confine regionale tra Veneto e Trentino, risalente al Medioevo, che toglie unità amministrativa all'intero territorio baldense nei suoi limiti naturali. Tra il Baldo trentino ed il Baldo veronese vi è una sensibile differenza, e ciò per la diversità morfologico-territoriale delle due parti (il Baldo veronese è aspro in alto, più disteso ed accogliente in basso, il Baldo trentino è aspro in basso e più disteso e accogliente in alto), per il diverso spirito della vita trentina, il diverso modo di interpretare il rapporto con la montagna, frutto d'un ambiente e d'una cultura che non sono di certo del tutto uguali a quelli veneti. Il Baldo sta anzi al limite delle aree di incontro e scontro tra la civiltà padano-veneto-lombarda e quella alpino-germanica.

I quattro versanti del Baldo si distinguono per altrettanti diversi paesaggi: colline coltivate nel caprinense, e salendo boschi ed alpeggi, abitati di fondovalle con alle spalle dirupi boscosi sovrastati da altopiani ad Est (*Figura 1.10*); vigneti ed altopiani abitati a Nord, mentre i borghi sono lungo lago ad Ovest, e salendo le pendici della montagna si trovano oliveti e grandi foreste (*Figura 1.11*).



Figura 1.10. Vista del versante Sud orientale della catena baldense (si può vedere bene nel suo sviluppo la Val Lagarina) (immagine tratta da Google.Earth).



Figura 1.11. Vista del versante Nord occidentale della catena baldense: si possono distinguere le pendici boschive a ridosso del lago, e l'altopiano del brentonico a sinistra; in basso a sinistra la Valle di Loppio (immagine tratta da Google.Earth).

1.4.4 I modi di vita tradizionali

I modi di vita tradizionali legati allo sfruttamento della montagna sono ormai defunti, anche se parecchie abitudini non si sono perse del tutto, specialmente in certe famiglie.

Specialmente sul versante meridionale, in collina, e sulle sponde del lago, l'attività più importante era l'agricoltura: cereali, viti e ulivi e patate i prodotti principali. Più in alto si coltivavano le patate (famoso quelle di Ferrara). L'allevamento di bovini e la praticoltura erano attività proprie delle zone più in alto, e del versante a Nord. In quota vi erano gli alpeggi per bovini ed ovini (famosi erano i pecorai del Baldo), con molte malghe disseminate sul territorio. Sul versante benacense si praticava anche la pesca, e inoltre vi erano molte persone impegnate quali boscaioli e carbonai, grazie alle grandi foreste presenti (anche nel resto della montagna).

1.4.5 Tempi moderni

Alla fine del dopoguerra, negli anni '60, il processo di trasformazione che porterà al crollo del mondo montanaro nell'area baldense (ma anche in tutta la fascia prealpina).

La grande emigrazione, verso i paesi europei e verso l'asse industriale Milano-Torino, oltre che, più vicino, il veronese e la Val Lagarina, ha provocato lo spopolamento del Baldo, che si è visto così privato della manodopera nelle attività tradizionali, abbandonate. Nel 1968 nasce la Comunità Montana del Monte Baldo, con lo scopo di favorire lo sviluppo economico sia sollecitando la modernizzazione delle attività tradizionali (con crediti e agevolazioni su acquisti, ecc.), sia realizzando infrastrutture importanti (acquedotti, strade). Nel territorio trentino la Regione Autonoma ha favorito con sussidi la formazione delle cooperative di contadini e allevatori di bestiame, e notevole è stato anche il contributo a favore del turismo, che nel brentonico ha avuto importanti impulsi. Il quadro economico della zona del Monte Baldo è oggi comunque molto variato: le attività tendono ad essere sempre più diverse e complementari, per i facili rapporti che la zona montana ha instaurato con le zone circostanti ad economia industriale. Delle risorse tradizionali vive ormai un'esigua parte della popolazione.

L'agricoltura di montagna come quella di alta collina sono praticamente scomparse, mentre si è riconfermata la viticoltura collinare nella parte trentina, ma per gran parte le attività sono svolte da pensionati o coltivatori part time. L'allevamento è ancora un'attività importante, benché sia andata progressivamente decadendo e cambiando le sue pratiche tradizionali nel corso degli ultimi decenni. Ciò specialmente sul versante meridionale, mentre nella parte trentina è organizzato in maniera più efficiente, anche grazie alla presenza di consorzi. Tuttavia il numero di piccoli allevatori è diminuito a favore di aziende più grandi che praticano un allevamento razionale.

L'alpeggio è una pratica in forte decadenza, e le malghe non sono più utilizzate come un tempo; i pascoli sono destinati ai vitelli, e molte superfici pascolive sono soggette all'invasione del bosco. L'allevamento ovino, un tempo importantissimo per il Monte Baldo, è praticato ormai da pochi, rari, pastori.

Negli ultimi anni l'allevamento ha ricevuto sostegni finanziari notevoli da parte del Feoga (fondo europeo per gli aiuti comunitari) e dalla Comunità del Baldo, riorganizzandosi rispetto agli anni più difficili dei decenni scorsi.

Lo sfruttamento forestale ha perduto l'importanza di un tempo, e la richiesta di legname è limitata all'uso familiare; i boschi di conifere, d'impianto più o meno recente, consentono un modesto sfruttamento.

Esiste oggi un pendolarismo di grande rilievo numerico, che da luogo a quel movimento di andata e ritorno quotidiano dai centri di residenza, mantenuta molto spesso nel borgo montano, verso i centri di lavoro, fenomeno facilitato dalle rapide comunicazioni e, in generale, dalla relativa vicinanza degli insediamenti baldensi ai luoghi di lavoro sviluppatisi tutto intorno alla montagna. Ciò è l'aspetto più peculiare dell'economia baldense: il Brentonico nei rispetti di Mori-Rovereto, il Caprinense nei rispetti dell'area Affi-Domigliara, il versante occidentale nei rispetti della fascia lacustre ad economia turistica sono alla base di questa dinamica giornaliera di lavoro.

Nel Brentonico esiste una azienda di coloranti a Castione, sostitutiva delle locali cave dove sino a vent'anni fa lavoravano una trentina di operai, impegnati nell'estrazione del pregiato marmo "giallo", che oggi non ha più mercato. Forse l'unica forma di sfruttamento industriale della montagna è rappresentata dai piccoli impianti idroelettrici di Prà de la Stua (invaso da 1,5 milioni di metri cubi, per circa 6000 kW di potenza, di proprietà dell'ENEL) e il piccolo impianto di Ferrara (circa 2000 kW di potenza).

Nella zona di Caprino l'industria comprende una vasta gamma di settori (elettrotecnico, calzaturiero, dei mobilifici) in cui sono impegnate piccole e medie aziende (sul modello Nord-Est), e sulla traccia delle vecchie tradizioni locali ci sono imprese che lavorano i marmi, segherie.

Novità molto recente è la realizzazione di una coltura di piante officinali da parte di una ditta farmaceutica nei pressi di Albarè, in comune di Ferrara di Monte Baldo.

La risorsa nuova dell'economia baldense è rappresentata sempre più ormai dall'uso turistico, escursionistico e sportivo della montagna. Il Monte Baldo ha conosciuto, specialmente negli anni '70, uno sfruttamento edilizio a scopo turistico residenziale forte, ma si sono evitati fortunatamente grandi scempi. Esistono alle quote più alte poli sciistici: San Zeno e Novezza sul versante veronese, la Polsa, San Valentino e gli impianti di malga Dossioli, integrati anche dalla belle funivia che sale alla Bocca di Navene da Malcesine nella parte settentrionale. Problemi comuni di questi centri sono la relativa povertà di piste, e la difficoltà per l'innevamento (dovuto allo stentato approvvigionamento idrico e la non abbondanza di precipitazioni: si fa notare

in proposito la presenza di una vasca di raccolta delle acque presso gli impianti di Novezzina). Proprio questa stazione sciistica è ferma da anni e necessita di un recupero praticamente totale: serve una ricostruzione e la messa a norma delle strutture, cosa che è prevista per i prossimi anni.

Oggi vanno di moda nuove forme d'uso della montagna, in senso sportivo, vacanziero, di rapporto con la natura; gli esempi sono offerti dalla mountain bike, dal volo libero, dalla corsa in montagna, dall'osservazione naturalistica. Infine l'altra grande possibilità offerta dal Baldo: essere territorio e palestra per un avvicinamento alla natura, attraverso lo studio e la ricerca naturalistica, o la semplice osservazione delle specificità ecologiche locali. Oggi le pendici del Baldo sono frequentate da scolaresche, da studiosi e appassionati di flora, di geologia, di entomologia, ecc.

Queste forme di conoscenza sono importanti perché soltanto da una simile attività può nascere una sensibilità che mantenga alto, con la passione e il rispetto per il mito del Baldo, il suo senso funzionale.

Capitolo 2

Il clima

2.1 Caratterizzazione climatica del Baldo

Il Monte Baldo è, dal punto di vista climatico, come un museo ricco di testimonianze sui climi del passato. Esse sono rintracciabili in particolare in situazioni morfologiche e soprattutto in presenze botaniche che raccontano climi diversi da quelli di oggi, particolarmente nel Pleistocene, quando fasi glaciali, fredde, si sono alternate a fasi aride o a fasi umide, piovose, ecc. L'esplorazione naturalistica del Monte Baldo ha proprio nella scoperta di tali testimonianze una delle sue maggiori attrattive.

Oggi il Monte Baldo si colloca, climaticamente, nella fascia periferica meridionale della regione alpina, avendo caratteristiche sia del clima padano (di tipo subcontinentale) sia del clima montano (temperato fresco e temperato freddo). Ma la posizione del Baldo rispetto alle fasce climatiche principali non offre che indicazioni molto generali circa le effettive condizioni del clima della zona. A passare dalle basse pendici, specie sul lato del Garda, alle cime più elevate, il clima baldense presenta condizioni molto diverse in rapporto all'altitudine e all'esposizione: si può parlare di micro-ambienti climatici diversi, il cui quadro si diversifica ulteriormente passando dal versante collinare meridionale a quello sulla sponda gardesana della catena montuosa, atesino, a quello benacense e a quello settentrionale.

Nella sequenza delle fasi glaciali che hanno vistosamente interessato la regione alpina, ed in particolare per noi il Monte Baldo, l'ultima, indicata come glaciazione di Würm, ha lasciato le testimonianze più evidenti, anche perché essa si è verificata in tempi a noi relativamente vicini. Dallo studio dei depositi morenici würmiani è risultata l'esistenza, durante la corrispondente

glaciazione, di diverse oscillazioni climatiche: precisamente tre stadi freddi e umidi e tre interstadi freddi secchi. La scomparsa dei ghiacciai avviene nel corso di parecchi millenni, e il primo netto miglioramento termico si ebbe circa 12-10000 anni or sono, nel periodo detto “subartico antico” (Alleröd), dopo lunghi periodi freddi e piovosi alternati a periodi relativamente più mitigati. Il successivo addolcimento climatico (periodo boreale) culminò nel 7000 a.C., con l’imporsi di condizioni calde e secche. Successero poi fasi “atlantiche” umide, più o meno piovose.

Dall’età romana fino al Medioevo si impone un clima poco piovoso, tendenzialmente caldo, fattore favorevole allo sviluppo della civiltà romana. L’evoluzione del clima negli ultimi secoli è testimoniata dai naturalisti del ‘600, che parlano della presenza di nevi e piccoli lembi glaciali negli alti e profondi valloni del versante occidentale (Val Larga, Valle delle Ossa): questa persistenza di accumuli glaciali e nevosi può essere legata alla oscillazione climatica generale che alcuni studiosi chiamano “piccola età glaciale”.

Verso la fine dell’Ottocento è stata osservata sul Baldo la progressiva sparizione degli accumuli nevosi, avvenuta nel corso di pochi decenni, e che fu dovuta all’imporsi di un clima caldo, tendenzialmente secco, poco mutato sino ad oggi. Il clima appare tutt’ora mutato in certa misura, soprattutto a partire dagli anni ‘30 e ‘40, quando si avevano inverni più rigidi e nevosi; sembra in atto una progressiva mitigazione climatica testimoniata dalla progressiva riduzione dei ghiacciai. Oggi, soltanto nelle annate più nevose (1994, 1996) si possono avere persistenze nevose (piccole) nei valloni meno esposti fino all’estate.

2.2 Condizioni meteorologiche

2.2.1 Fattori meteorologici generali a grande scala

Il clima della regione baldense è legato ad un meccanismo che non è certo mutato di molto nel tempo, in quanto dovuto a condizionamenti generali e particolari della geografia fisica. E’ un meccanismo legato alla posizione del Baldo nell’arco alpino, alla sua orografia e in parte anche alla presenza del lago di Garda. I fattori generali del clima padano-alpino sono dovuti all’imporsi stagionale degli anticicloni estivo e invernale: il primo, d’origine atlantico-mediterranea, si spinge da sud verso le latitudini temperate in rapporto alla

inclinazione stagionale dell'irraggiamento solare, il secondo, suscitato dalle alte pressioni che si formano sulle superfici continentali di Nord-Est, investe con notevole stabilità la regione alpino-padana (Turri, 1999).

Questi anticicloni, che normalmente assicurano bel tempo, nelle stagioni di transizione lasciano posto alle invasioni di aria ciclonica, umida, proveniente dalle regioni atlantiche di Nord-Ovest. Le condizioni più perturbate sulle Alpi hanno luogo quando dei vortici di bassa pressione atlantici penetrano sull'Europa centrale, passando sulla Germania, le Alpi stesse o sull'Italia; tra le condizioni di tempo perturbato che possono durare più a lungo sulle Alpi vi è quella con il centro della bassa pressione sul Golfo di Genova.

Sull'arco alpino italiano il tempo perturbato con precipitazioni si manifesta in particolare con venti provenienti da settori di SudEst e SudOvest; mentre venti dagli altri quadranti portano per lo più tempo secco sul versante subalpino. Le situazioni da Sud sono quindi quelle che portano precipitazioni sul versante subalpino. L'aria che affluisce dal Mediterraneo, carica di umidità la scarica contro i rilievi alpini, dove hanno luogo condizioni di sbarramento. Con correnti da SudOvest e da Sud, le precipitazioni interessano in particolare le Alpi dal Ticino fino al Friuli: sono più toccati Veneto e Friuli, direttamente interessati dai venti meridionali. Con correnti da SudEst, se la corrente perturbata si sposta sull'Adriatico, sono maggiormente colpiti le Prealpi Venete e Friulane. Geograficamente le precipitazioni maggiori cadono laddove la corrente umida subisce il maggiore sollevamento contro i rilievi, ossia li raggiunge ad angolo retto, e dove la morfologia propone un imbuto geografico: ne è un esempio la regione delle Prealpi Venete, Carniche e Giulie, che formano un vicolo chiuso per le correnti meridionali. Se inoltre l'instabilità atmosferica è alta, cosa che avviene nel semestre estivo, o l'apporto di umidità particolarmente grande, come in autunno, quando il Mediterraneo è ancora caldo, l'intensità delle precipitazioni raggiunge il suo massimo.

Talvolta, provenendo da Nord, nel suo passaggio veloce l'aria può perdere la sua umidità sul versante alpino settentrionale, tanto che essa poi ricade sul versante alpino italiano con forza, calda, ma cristallina, (è il fenomeno del Föhn), ripulendo la Pianura Padana da nebbie e foschie.

In rapporto a questa circolazione atmosferica generale (resa complessa da molteplici fattori), il ritmo stagionale assume caratteri ben precisi, con

accentuazioni tipicamente padane delle condizioni estive, alpine di quelle invernali (Kappenberger e Kerkmann, 1997).

2.2.2 I fattori locali

I fattori locali del clima del Baldo hanno effetti apprezzabili sia per la differenziazione che suscitano rispetto alla regione alpina, sia per le diverse condizioni che determinano nello stesso ambito baldense. Il primo di tali fattori è lo scambio di aria tra zona montana e zona padana, tra le Prealpi Venete e l'Alto Adriatico. L'esposizione della montagna alla pianura (pur ridotta dal particolare orientamento meridiano della catena), determina condizioni localmente diverse nei confronti di altitudini analoghe nelle più interne regioni alpine. Ciò ha effetti sulle temperature, relativamente più elevate, e sulle precipitazioni, non solo dal punto di vista quantitativo, ma anche dal loro carattere piovoso o nevoso.

Agli scambi tra pianura e montagna, si devono i venti locali prevalenti della zona baldense, che si verificano nei periodi di tempo stabile: quello che proviene da Sud e Sud Est e si manifesta nelle ore più calde del giorno per tutto il pomeriggio (corrisponde all'Ora del Garda); quello che proviene da Nord e che spira nelle ore della mattina (corrispondente al Sover del lago e al vento che spira dalla Valle dell'Adige verso il lago investendo la pianura di Caprino e il Monte Moscal); esiste invece a Nord il Baliv (o Valiv), un vento che spira forte tra la Valle del Sarca e l'Altissimo, ricadendo sul lago e agitandone le acque (Turri, 1999).

Il Baldo, con le sue nubi sulle creste (*il Baldo col capel o che fa brutto o che fa bel*), è una sorta di bandiera che segnala subito il prevalere dei venti e quindi l'andamento del tempo, almeno in generale. La sua disposizione meridiana, il suo ergersi come una muraglia che divide naturalmente in due la rosa dei venti, fa sì che subito sia segnalata la condizione prevalente a seconda che le nubi stiano sul versante orientale o sul versante occidentale. Quando le nuvole stanno ad Ovest, come se salissero dal lago, significa aria umida da Ovest, e allora sovente il tempo si guasta; quando stanno ad Est significa aria umida dai sestanti Sud orientali, condizione primaverile ed estiva legata agli apporti a corto raggio di origine adriatica e padana che danno origine alle termiche, sfruttate dai deltaplanisti per sollevarsi in volo (Turri, 1999).

Le cellule temporalesche dagli effetti violenti si verificano nella zona baldense per infiltrazioni d'aria instabile da Ovest: il temporale peggiore arriva dal lago. Il numero annuo di temporali va da 20 a 40 passando dalla collina alle zone più elevate.

2.2.3 Le temperature

Tutte le manifestazioni atmosferiche hanno in generale esiti diversi a seconda dell'altitudine, a cominciare dalle temperature. Queste rappresentano un fattore di differenziazione notevolissimo nella zona baldense. Il contrasto è più forte soprattutto sul versante occidentale, passando dalla sponda lacustre alle cime incombenti. Ai bassi livelli la presenza del lago, vero e proprio volano termico, che ha una funzione mitigatrice ed equilibratrice non trascurabile, determina delle medie sensibilmente diverse che sul versante atesino, sarà possibile appurare queste differenze nei capitoli successivi (in cui si farà il confronto tra le caratteristiche meteorologiche in base ai dati raccolti dalle stazioni della zona). L'effetto mitigatore esercitato dalla massa d'acqua lacustre si fa sentire anche alle quote più elevate, soprattutto in corrispondenza dei valloni che incidono il versante baldense e che funzionano da camini incanalando verso l'alto l'aria calda e leggera del lago. I valori termici medi annuali sulla sponda del lago, si aggirano sui 13°, con medie di gennaio intorno ai 3° e medie di luglio intorno ai 23°. Sul lato orientale si abbassano di qualche grado i valori invernali e si elevano quelli estivi: ciò in ragione di condizioni maggiormente continentali, nella Valle dell'Adige, dove l'azione termoregolatrice del lago non si manifesta (Turri, 1999).

A livelli più elevati si può notare una certa scarsità di stazioni termometriche. A partire dagli anni '80 (1986), è stata installata una stazione nivometeorologica dal Centro Sperimentale Valanghe di Arabba presso la Colma di Malcesine, nella parte Nord del gruppo montuoso. Sono state registrate temperature medie annuali prossime ai 6°, con minime (medie di gennaio 1998) intorno ai -5,3° e massime estive (medie di luglio 1998) sui 10,4°: dunque valori sensibilmente differenti rispetto alle condizioni della pianura e di valle (Annale nivometeorologico della montagna veneta, 1998); questi aspetti verranno comunque trattati più attentamente nei capitoli successivi. Negli ultimi mesi (a partire dal dicembre 2004) è stata installata una stazione meteorologica presso il rifugio Fiori del Baldo (consultabile sul sito

internet www.fioridelbaldo.it), e si ha notizia di misure meteorologiche rilevate anche presso il rifugio Chiesa sul Monte Altissimo: non si dispone in questi casi di un database di lungo periodo, ma anche questo argomento verrà approfondito nel terzo capitolo.

A 900 metri d'altezza si hanno medie annue di circa 9°, con medie di gennaio di poco superiori ai 2° e medie di luglio inferiori ai 19°. Questi valori però mutano anche di 1-2 gradi passando dal versante meridionale a quello settentrionale per effetto della diversa esposizione e degli influssi padani da Sud. Anche a quote più elevate le medie variano in maniera apprezzabile passando dal versante meridionale a quello settentrionale, da quello orientale a quello occidentale, in rapporto alla diversa esposizione (d'inverno per esempio, il soffiare dei venti da NordEst determina un sensibile salto termico tra i due versanti che si manifesta già poco sotto i crinali).

2.2.4 Le precipitazioni

Come per le temperature, anche per le precipitazioni si hanno variazioni importanti, secondo i fattori già esposti, e ciò vale sia per la quantità delle precipitazioni, che per la loro distribuzione nell'arco annuale. Nella parte più elevata del Baldo le precipitazioni estive si sommano a quelle più generali del tempo in tutta la zona prealpina veneto-lombarda. Più in basso le precipitazioni risentono del tipico regime padano, con povertà di apporti estivi.

Sulla sponda gardesana le precipitazioni annue, rilevate dalle stazioni pluviometriche di Lazise, Malcesine e Riva nel corso di 15 anni, si aggirano sui 950-1000 mm, con massimi di piovosità nei mesi primaverili e autunnali (350-400 mm, in 3 mesi). Sul versante Sud orientale, secondo i dati di Caprino, la quantità annua è all'incirca uguale (1000 mm), però le precipitazioni estive sono qui relativamente più elevate, simili a quelle che cadono in autunno e in montagna sul versante più piovoso del Baldo (che è quello orientale). A Spiazzi, cioè a circa 900 metri di altitudine, le precipitazioni annue aumentano (1300 mm), valori simili si registrano a Brentonico, ma a soli 670 metri di quota: ciò a causa della vicinanza di questo centro all'area lessinica, dove si hanno precipitazioni complessivamente più elevate che nella zona baldense (le condizioni di sbarramento probabilmente sono più marcate in questa zona). Sul versante occidentale, al riparo dalle correnti da Sud Est, si hanno alle stesse altitudini precipitazioni minori che sul versante orientale (Turri, 1999).

Nel corso dell'anno le precipitazioni sono distribuite in circa 90-100 giorni, la piovosità massima stagionale si ha in maggio e in ottobre, la minima in gennaio-luglio.

Le precipitazioni nevose cominciano ad avere importanza sopra ai 900 metri, al di sotto di questi la persistenza della neve è sempre di brevissima durata. Negli anni con buone nevicate si può facilmente arrivare ai 150 cm di neve e l'innevamento può persistere anche per tutto maggio. Durante l'inverno 1998 l'altezza del manto nevoso aveva un valore medio di 64 cm nel mese di gennaio, mentre si è registrato un massimo di 106 cm in marzo; le ultime nevicate sono state registrate tra il 29 aprile ed il 1 maggio.

L'approvvigionamento idrico è un problema vincolante per le popolazioni del Baldo: un apposito Consorzio è stato attivato dalla Comunità del Baldo sfruttando tutte le sorgenti disponibili. Le acque della maggiore sorgente baldense, la Bergola, al centro in passato di tante attività artigiane, sono oggi destinate alla rete idrica, in cui sono immesse anche le acque delle sorgenti di Naole, Novezza e Alta Valle Aviana. Si fa presente in merito, la chiusura, o addirittura la distruzione, di tutte le fontane del Baldo veronese, per avere minori sprechi (Turri, 1999). Nel territorio baldense veronese si possono vedere numerosi piccoli laghetti (di origine carsica) o addirittura delle pozze artificiali, realizzati in un lontano passato, tanto da essere inseriti in maniera molto naturale nel paesaggio, per l'abbeveraggio delle bestie al pascolo (*Figura 1.12*). Sono anch'essi una testimonianza della difficoltà di avere disponibilità d'acqua nella parte più meridionale della catena, nonostante le precipitazioni sembrano non mancare. La scarsità d'acqua è legata più probabilmente alle caratteristiche carsiche dei suoli del Baldo.



Figura 1.12. Pozze in Val Fredda, vista verso Sud Est (fotografia scattata il 14/07/2005).

2.2.5 Fasce climatiche e vegetazione

Riguardo a temperature, piogge e precipitazioni nevose, è possibile definire alcune fasce climatiche altitudinali, che corrispondono grossomodo al succedersi in senso latitudinale delle condizioni climatiche: si passa dunque dal clima temperato caldo (con accenni di caratteristiche mediterranee), delle zone più basse, soprattutto gardesane, al clima temperato, temperato freddo o montano attorno ai 900 metri, al clima freddo, montano-alpino, con i primi accenni dell'ambiente periglaciale alle quote più elevate. Queste fasce si abbassano passando dalla parte meridionale a quella settentrionale del Baldo. Si tratta naturalmente di fasce che si spostano in alto o in basso nel tempo, secondo le variazioni cicliche del clima che si manifestano nel giro di secoli o di millenni. Dall'epoca glaciale ad oggi tali variazioni sono state fortissime; ciò ha avuto esiti importanti sulla formazione dell'ambiente vegetale.

Poche montagne della catena alpina, anche nell'ambito della cosiddetta *Insubria* (la regione climatico vegetale dei laghi prealpini), presentano su uno stesso ininterrotto versante tanta diversità di ambienti, di livelli bioclimatici, come il Monte Baldo. Si passa infatti dall'ambiente submediterraneo, a vegetazione termofila, della sponda lacustre, agli ambienti superiori che ospitano, in successione, tutte le associazioni vegetali corrispondenti agli orizzonti caratteristici della fascia prealpina. In generale si può parlare d'un ambiente collinare termofilo (sino a 500-600 m) che ospita specie sempreverdi

di macchia, come il leccio, il lauro e l'ulivo (*Lauretum*). Dove questi mancano, come al di fuori dell'ambiente lacustre, si hanno querce caducifoglie costituenti il *Quercetum*. Con specie via via meno termofile, il *Quercetum* continua verso l'alto fino ad incrociarsi con l'orizzonte submontano, dominato dall'ostrieto, con carpini e noccioli che, in certe zone, tra i 500 e i 900 metri, lasciano il posto al castagno (*Castanetum*). Si passa poi all'ambiente montano (sino a 1500 m), dove la specie dominante è il faggio (*Fagetum*) e nel quale si inserisce, a livelli diversi, o in ambienti più umidi e freschi, il bosco di abeti (*Picetum*); superiormente succede l'ambiente subalpino e alpino, dominato dagli arbusteti (rododendri, salici nani e mughì) e dalle praterie. Queste si diradano verso l'alto dove subentrano le specie rupicole e dei macereti alla base delle cime.

Si possono osservare livelli diversi quindi, che, come detto in precedenza, possono far pensare alle zonazioni latitudinali che si incontrano passando dai paesi mediterranei a quelli nordici (Turri, 1999).

La ricchezza floristica del Baldo si deve al fatto che la zona ha funzionato da area conservativa, costituendo una sorta di isola in cui sono approdate e dove sono sopravvissute specie d'origine diversa: e questa funzione della zona baldense è dovuta, nell'ambito alpino, alla sua posizione meridionale, alla varietà delle condizioni ambientali che essa poteva offrire con i suoi diversi livelli altitudinali, all'esistenza, come si è già detto, di ambienti locali che con i loro particolari caratteri microclimatici sono diventati piccole zone di rifugio. Più particolare, sono tre le cause principali che caratterizzano come area di grandi peculiarità botanica (soprattutto) il Monte Baldo.

La diversità della composizione chimica dei suoi terreni nati dallo sbriciolamento delle circostanti rocce (calcarei, dolomie, arenarie, marne, basalti, minerali ferrosi, presenza di minerali donatori di oligoelementi).

Una serie di situazioni climatiche diverse (microclimi, si veda il paragrafo 2.2.2.), con la potente influenza termoregolatrice del lago di Garda, che funziona da volano termico, accumulando ed erogando calore (nei valloni del versante gardesano si possono notare individui di leccio anche a quote di 1500 m, grazie alle correnti calde che risalgono questi "camini" dal lago).

L'esclusione, in alcune parti più alte della catena, dalle ultime glaciazioni (Günz, Mindel, Riss e Würm) (*Figura 1.13*), con la sopravvivenza di specie vegetali altrove estinte (*Veronica Bonarota*, *Figura 1.13* e *1.14*), che si sono poi adattate fino a dare vita in alcuni casi a dei veri e propri endemismi

(come il *Callianthemum kernerarum*, Figura 1.15, per fare un esempio). Si ricorda che esistono almeno 16 specie floristiche che portano l'aggettivo *baldensis* nel loro nome, ad indicare la specificità di questa zona (Pona G., 1608, Ottaviani, 1981).

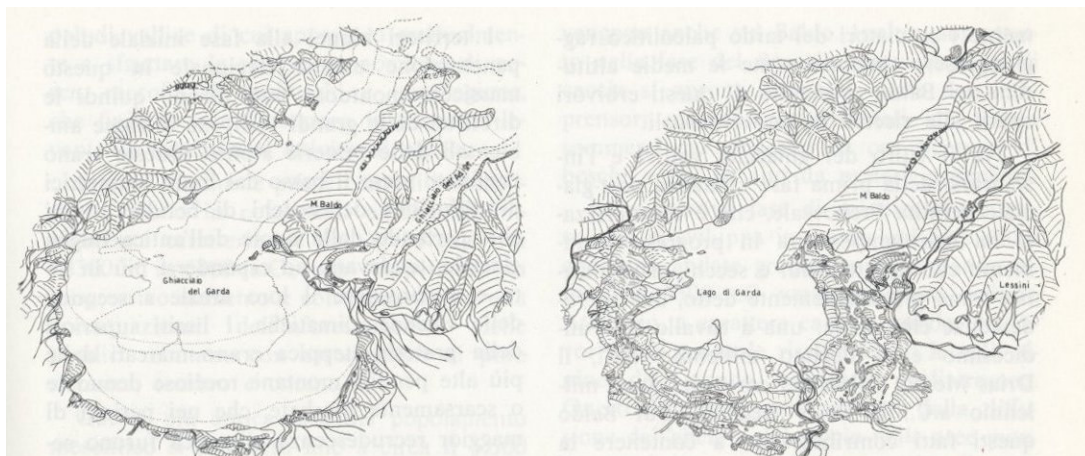


Figura 1.13. il Monte Baldo circondato dalle lingue glaciali durante l'ultima glaciazione (a sinistra) e lo stato attuale (a destra) (AA.VV., 1981).

L'assetto floristico del Monte Baldo non è comunque stabile: c'è una evoluzione continua delle condizioni ambientali sia per effetto delle variazioni climatiche, sia a causa di un mutato rapporto tra uomo e montagna (si pensi alla scomparsa dell'alpeggio, dello sfruttamento dei boschi ed ai nuovi utilizzi, come le piste da sci).



Figura 1.13. *Paeonia Baldensis*, particolare (www.enrosadira.it).



Figura 1.14. *Paeonia Baldensis*, il fiore del Baldo (www.enrosadira.it).



Figura 1.15. *Callianthemum kernerarum* (www.enrosadira.it).

2.3 Stato conoscitivo attuale

Pur essendo, come si è fin qui visto, il Monte Baldo una catena montuosa di grande interesse, ricca di peculiarità uniche, non vi è stato nel tempo un approccio scientifico che ne studiasse i vari aspetti in modo complessivo. Studi specialistici hanno approfondito le conoscenze geologiche, tettoniche, vegetazionali e botaniche, mentre i fruitori della montagna, montanari pastori e boscaioli prima, alpinisti ed escursionisti poi, sono fra quelli che hanno conosciuto il Baldo più da vicino, anzi lo hanno vissuto veramente.

Tutte le conoscenze climatiche e meteorologiche che si hanno della zona si rifanno ad una osservazione dei fenomeni che vi si manifestano, alla memoria e all'esperienza delle genti che ci vivono, o che lo hanno pure studiato a fondo, ma per altri scopi, come può fare il botanico, che descrivendo una particolare pianta, annota condizioni del tempo quali temperatura, umidità, presenza di vento, ma sempre e solo qualitativamente e soprattutto soggettivamente. Altre testimonianze possono provenire dal disegno del paesaggio: le tipiche malghe del Monte Baldo (*Figura 1.16*), caratterizzate dalla divisione nell'edificio tra *logo del fogo* e *logo del late*, parte quest'ultima in cui i formaggi venivano posti ad asciugare e maturare, sono un segnale, ancora una volta qualitativo, della circolazione del vento. Il *logo del late* ha forma semicircolare ed è esposto al vento, in modo tale da essere meglio arieggiato: si può facilmente vedere come nel territorio baldense questa curva delle malghe sia disposta verso valle, lungo le pendici del monte sul versante occidentale, mentre è orientata a monte presso il vallone di Ferrara di M.B. (malga Albarè).



Figura 1.16. Tipica malga del Monte Baldo; situata in località Albarè fa ora parte di una coltivazione di erbe officinali di una ditta farmaceutica (fotografia scattata nel maggio 2005).

Conoscenze meteo-climatiche di tipo qualitativo dunque, ma ancora prive finora un'approccio scientifico, obiettivo, allo studio condizioni atmosferiche, assolutamente particolari, esistenti sulla catena baldense. Lo stesso Turri (1999) sottolinea la mancanza di osservazioni e di dati per poter fare una analisi qualitativa ma soprattutto quantitativa dei fenomeni di questa montagna.

Fenomeni che si prospettano assolutamente di grande interesse, vista la posizione particolare della catena, la più meridionale ed allo stesso tempo la

più alta, con i suoi 2200 metri toccati da più cime, tra le Prealpi, con il maggiore lago italiano su un fianco, e la Pianura Padana e l'Adriatico di fronte; dunque direttamente esposta alle correnti da Sud, e ben protetta dall'arco alpino a Nord.

Nuove informazioni meteo-climatiche della zona, oltre ad accrescerne le conoscenze, possono risultare interessanti ed utili per coloro che vi vivono, per coloro che ne apprezzano la natura e le ricchezze ambientali, e, probabilmente anche per il mondo scientifico in generale (Tabella 1.1).

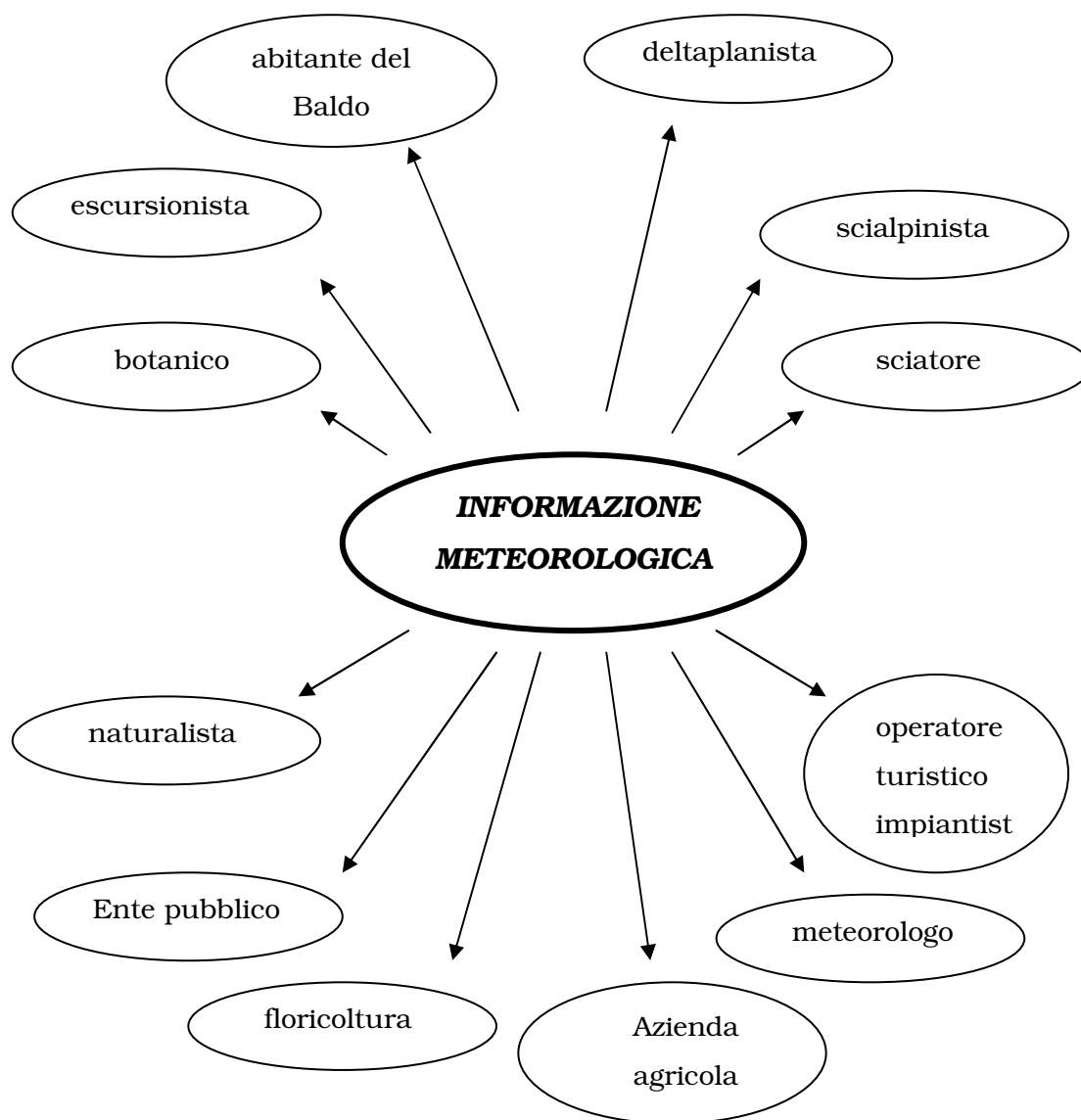


Tabella 1.1. Lo schema riassume i possibili utenti di una completa informazione meteorologica.

Capitolo 3

Analisi dei dati delle stazioni meteorologiche esistenti

3.1 Le modalità del confronto tra stazioni

Il punto di partenza per uno studio oggettivo delle caratteristiche meteo-climatiche di una regione sono i dati meteorologici relativi all'area, per poter ricostruirne gli avvenimenti ed i fenomeni atmosferici propri. Preliminare necessario è dunque una attenta indagine del territorio, alla ricerca di punti di misura, stazioni meteorologiche, termometriche e pluviometriche: questa attività ha costituito una parte considerevole nel presente lavoro. Come discusso nei capitoli precedenti, il Monte Baldo è una catena che non si può considerare, pur nella sua singolarità, dissociata dal contesto in cui è inserita: il lago di Garda, la Pianura Padana, la Val Lagarina e le montagne a Nord. Per questo nell'intorno definito per cercare le stazioni di misura sono stati inseriti anche questi elementi fisici e ambientali che in un certo senso isolano il Baldo, rendendolo particolare.

L'approccio allo studio di una catena montuosa all'interno di una zona così varia è stato quello del confronto tra le grandezze fisiche rilevate nei diversi ambienti che la costituiscono, piuttosto che una analisi diretta specificatamente ai dati "di montagna", se così si possono definire. Si è preferito mostrare le differenze (per esempio) tra le temperature del fondovalle, delle colline e della sponda benacense e quelle della cresta baldense a settentrione: risulterà interessante il paragone tra luoghi così vicini geograficamente, ma che si dimostrano molto distanti climaticamente. Allo stesso tempo si metteranno in luce le influenze sul clima di ambienti geograficamente ed orograficamente completamente differenti.

Si sono individuate diverse stazioni meteorologiche, si è valutato lo spettro temporale di misurazioni disponibile per ognuna, nonchè le variabili

rilevate ed è stata così fatta una scelta delle stazioni utilizzabili in maniera significativa per il presente studio.

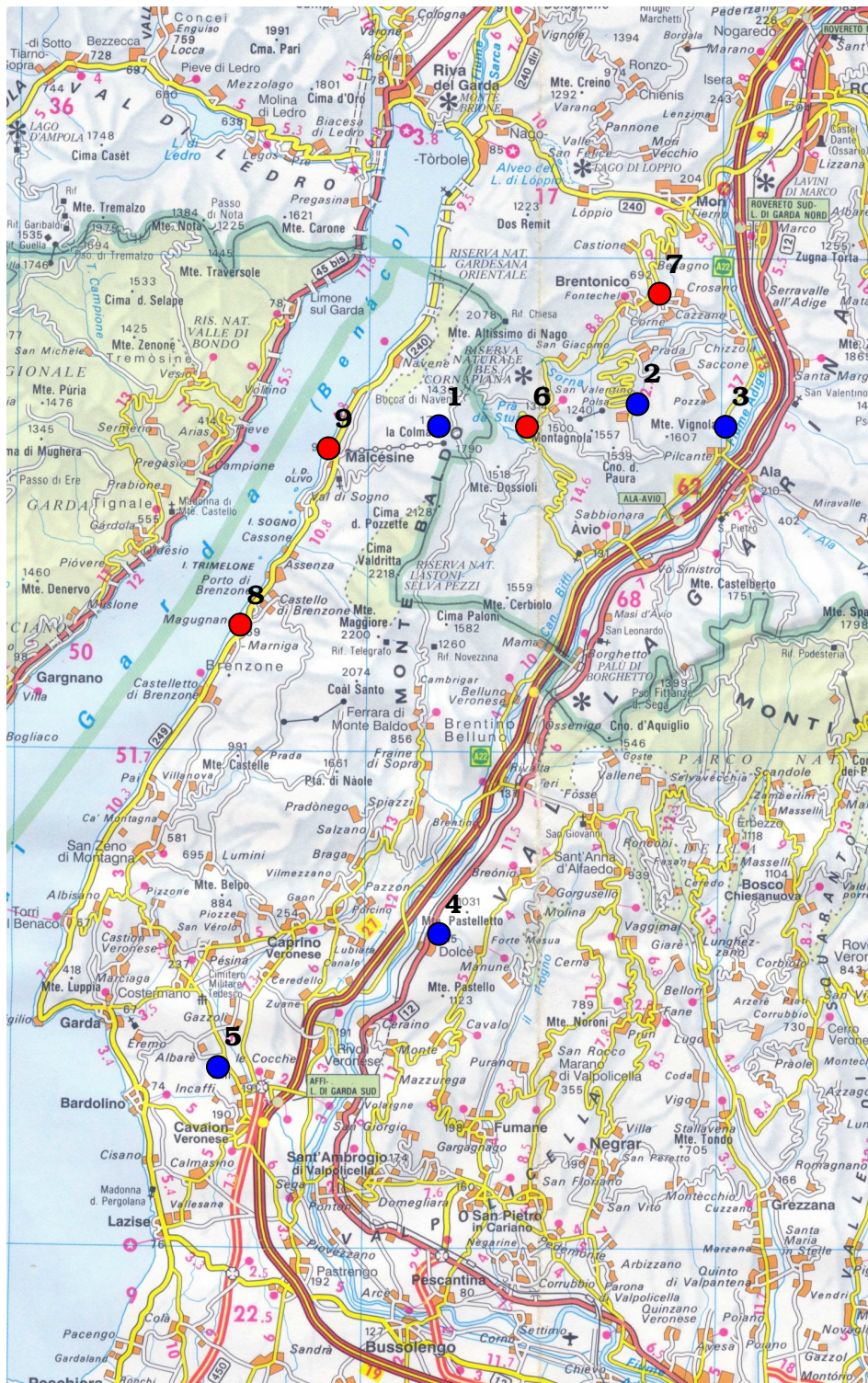
I dati rilevati da una stazione meteorologica “standard” sono: temperatura e umidità dell’aria, direzione e velocità del vento, radiazione solare, precipitazioni, pressione atmosferica; queste sono le grandezze utili per poter descrivere con una certa accuratezza le condizioni meteorologiche al suolo per un certo sito. La bontà della approssimazione dipende dalla rappresentatività e dalla qualità delle misure. La qualità di una misura è funzione della precisione e dell’accuratezza dello strumento che la registra, mentre la rappresentatività è la capacità di descrivere effettivamente una grandezza fisica, venendo influenzata il meno possibile da fattori esterni di disturbo. Dove non si avevano a disposizione sensori che fossero in grado di misurare tutte queste grandezze si è tralasciato il contributo in termini di dati alla analisi statistica. Le stazioni considerate vengono dettagliatamente descritte nel paragrafo successivo (3.2) sotto vari aspetti, dall’ente gestore e fruitore, alla categoria della stazione, alle caratteristiche tecniche dei sensori, fino al posizionamento ed alle caratteristiche e all’orografia dell’area circostante.

La situazione degli anni passati, messa in risalto anche da Turri (1999), caratterizzata da una critica mancanza di punti di misura nel Monte Baldo, è un po’ cambiata in questi ultimi 20 anni: si ritrovano infatti nella zona alcune installazioni di misura di diverso tipo, ma in realtà non vi è una vera e propria rete di misura che copra l’intero territorio, in modo da monitorare tutta la montagna. Vi sono piuttosto stazioni diverse, per dotazione sensoristica e scopo di utilizzo, appartenenti ad enti gestori differenti, disposte nel territorio in funzione delle necessità dei propri fruitori. Si riscontra dunque una mancanza di omogeneità sia nelle variabili fisiche rilevate, sia nella copertura dell’area baldense. Sono state infatti individuate postazioni di misura nelle valli ed in quota nella parte settentrionale della montagna, lungo la valle dell’Adige, sulle colline moreniche a Sud e sulla sponda gardesana della catena montuosa. Poichè appare subito chiaro che non si è in presenza di un unico contesto climatico, ma di condizioni molto diverse a seconda della posizione della stazione, non si è proceduto con una indagine tramite regressione lineare tra le stazioni: queste risulterebbero inevitabilmente scorrelate.

3.1.1.1 Le stazioni meteorologiche esistenti

Gli enti e associazioni cui appartengono queste stazioni sono vari. Quelle in provincia di Verona sono del Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica di Arabba (C.V.A.), dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione Ambientale del Veneto (A.R.P.A.V.) di Teolo, e della associazione che cura ed è responsabile del sito internet www.meteogarda.it; sul territorio trentino le postazioni fanno parte della rete dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige (I.A.S.M.A.), e della Provincia Autonoma di Trento (P.A.T.); in *Figura 3.1.* è riportata una cartina con i punti di misura presenti nell'area. E' da segnalare anche l'iniziativa dei gestori di alcuni rifugi sul Baldo, che hanno installato in quota delle stazioni meteorologiche di tipo economico, ma di buone caratteristiche tecniche; le condizioni del tempo al rifugio Damiano Chiesa sul monte Altissimo (2060 m s.l.m.) si possono consultare sul sito internet www.meteotrentino.it, mentre sul versante più meridionale presso il rifugio Fiori del Baldo è stata attivata da alcuni mesi una stazione che ha permesso di raccogliere dati preziosi per la campagna di misure descritta nel Capitolo 4; le condizioni atmosferiche del luogo si possono in questo caso verificare sul sito www.meteomonti.it (mentre foto della stazione si trovano sul sito www.fioridelbaldo.it).

Si può subito osservare che vi è una distribuzione dei punti di misura poco uniforme, con un buon numero di stazioni nella parte settentrionale della montagna, mentre più a Sud queste sono presenti solo a quote basse (*Tabella 3.1*). Appare subito evidente che la catena principale, con le vette più alte e prominente sul lago e sulla pianura da dove arrivano le correnti principali che maggiormente condizionano il tempo atmosferico di questa parte dell'arco alpino (centro – orientale), risulta completamente sguarnita di qualsiasi punto di osservazione meteorologico. Le stazioni considerate in questa analisi sono quelle di Monte Baldo, di proprietà del Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica di Arabba (C.V.A.), Polsa ed Ala, di proprietà dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige (I.A.S.M.A.), e Bardolino (Calmasino) e Dolcè, di proprietà dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione Ambientale del Veneto (A.R.P.A.V.) di Teolo (*Figura 3.1*).



<i>Legenda stazioni</i>	
1. Monte Baldo (C.V.A.)	6. Prà da Stua (P.A.T.)
2. Polsa (I.A.S.M.A.)	7. Brentonico (P.A.T.)
3. Ala (I.A.S.M.A.)	8. Brenzone (www.meteogarda.it)
4. Dolcè (A.R.P.A.V.)	9. Malcesine (www.meteogarda.it)
5. Bardolino (A.R.P.A.V.)	

Figura 3.1. La cartina riporta i punti di misura individuati nella regione di studio: in blu le stazioni considerate nel confronto, in rosso le postazioni scartate.

Altre postazioni sono state scartate o non utilizzate per vari motivi. Non sono stati utilizzati dati raccolti sulla sponda baldense del lago di Garda poichè non disponibili. Le uniche stazioni esistenti, a Brenzone ed a Malcesine (e alla Colma di Malcesine), sono di proprietà dei responsabili del sito internet www.meteogarda.it, con i quali non è stato possibile stabilire un contatto. I sensori di queste stazioni sono di tipo economico (Davis Vantage Pro), ma di buona qualità, e sono in attività da breve tempo (2003 per Brenzone, pochi mesi per le altre due): i dati sarebbero stati utili poichè descrivono le condizioni atmosferiche sul lago, certamente particolari. Esiste comunque una stazione in prossimità del Garda: Bardolino (Calmasino), che risulta punto di interesse per i dati forniti, poichè rappresenta un punto di incontro tra lago e montagna.

La stazione di Caprino Veronese, della rete A.R.P.A.V., è stata scartata perchè i dati raccolti presentavano lacune molto grandi, quando non assenza totale di valori, segnale questo di malfunzionamento dei sensori: infatti l'installazione è stata smantellata nel 2003 (non si conoscono però le effettive motivazioni). La Provincia Autonoma di Trento (P.A.T.) possiede una rete di stazioni termopluviometriche utilizzate in particolare dall'Ufficio Pianificazione e Rilevazioni Idriche e dal Servizio Opere Idrauliche; nella zona considerata ne esistono tre, Brentonico, Prà da Stua e Ala, e tutte sono state scartate nell'analisi statistica. Il motivo principale è che le variabili registrate sono solo temperatura e precipitazione, poche per una buona caratterizzazione di un sito. Tuttavia queste informazioni sarebbero state comunque utili, si deve aggiungere allora anche che le condizioni dei sensori in opera sono molto distanti dalle prescrizioni dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (World Meteorological Organization, W.M.O.). Termometro e pluviometro a Brentonico (*Figura 3.2*) sono posti in un piccolo giardino all'interno del centro abitato, a non più di 1,5 m di altezza, con edifici tutt'intorno che possono modificare sensibilmente i valori registrati (per difetto le precipitazioni e per eccesso le temperature grazie all'effetto ostacolo-protezione). La stessa osservazione vale anche per la postazione termopluviometrica di Prà da Stua: situata in prossimità della diga che forma il lago artificiale omonimo (per motivazioni contingenti), dista pochi metri (non più di 4 m) dalla strada ed è "protetta" da grandi abeti sul lato opposto (*Figura 3.3*). Ad Ala esistono due stazioni, una termopluviometrica della P.A.T. ed una della rete

agrometeorologica SPARTAC dell'I.A.S.M.A.: per la maggiore disponibilità di grandezze fisiche rilevate è stata utilizzata quest'ultima.



Figura 3.2. La stazione di Brentonico (fotografia scattata nel maggio 2005).



Figura 3.3. La stazione di Prà da Stua (fotografia scattata nel maggio 2005).

3.1.1.2 Localizzazione e caratteristiche delle stazioni

La posizione geografica dei siti considerati per l'analisi meteorologica è riportata nella *Tabella 3.1.*, mentre le caratteristiche tecniche dei sensori installati sono riportate nelle tabelle in Appendice A. Appartenendo ad enti differenti, le reti hanno scopi di indagine e sono attrezzate con strumenti diversi, anche per marca e tipologia. Nello studio statistico queste diversità verranno trascurate, poichè le postazioni scelte sono comunque di ottimo livello tecnico, per cui avendo uno standard qualitativamente elevato si assumono le misure registrate come valide, salvo problemi di taratura o di natura esterna che possano manifestarsi per ognuna di esse. In questo caso i siti di montagna sono sicuramente più esposti al rischio di danneggiamenti dovuti alle condizioni meteorologiche più gravose che vi si trovano: problemi legati a neve, gelo e fulmini si sono presentati nella storia delle stazioni considerate.

Stazione	Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota (m s.l.m.)
Monte Baldo (VR)	1645036	5070962	1751
Polsa (TN)	1651193	5071408	1301
Ala (TN)	1656500	5071970	160
Bardolino (VR)	1637908	5042092	165
Dolcè (VR)	1644187	5051250	105

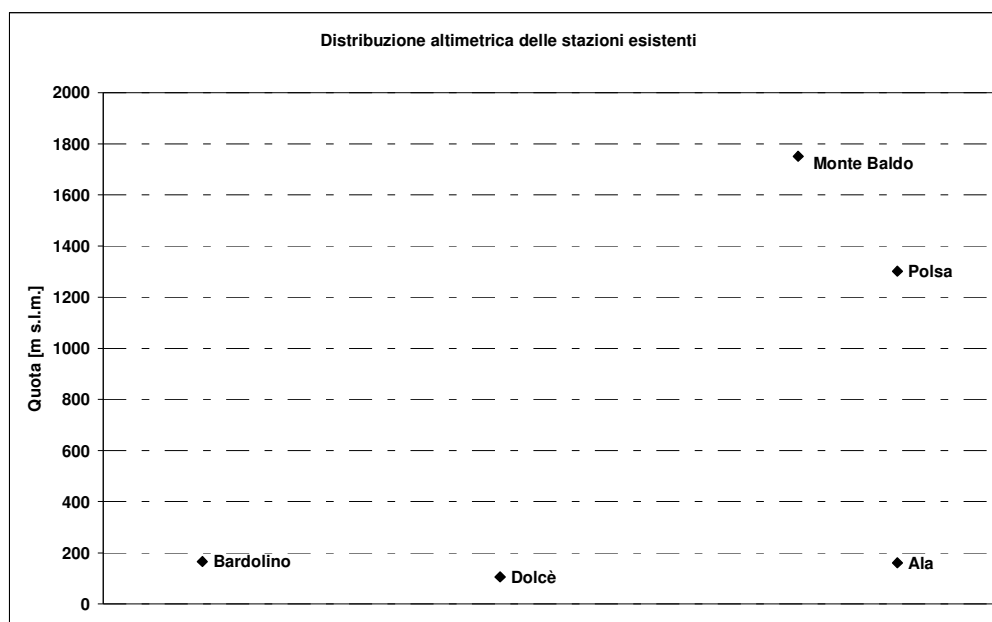


Tabella 3.1. Elenco delle stazioni nell'area considerata. Le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga, fuso Ovest. Il grafico riporta la distribuzione altimetrica delle stazioni.

Caratteristiche tecniche delle stazioni C.V.A.

La rete di stazioni nivometeorologiche della montagna veneta, progettata e gestita dal CVA di Arabba (BL), è un sistema automatico di acquisizione in tempo reale di dati rilevati a terra e relativi ad alcuni parametri meteorologici e del manto nevoso. Le finalità della rete sono le seguenti:

- previsioni del tempo;
- previsioni delle valanghe;
- statistiche climatologiche per il territorio montano;
- analisi ambientali e progettuali.

La rete copre Dolomiti e Prealpi venete, per una superficie di circa 5400 km², con 17 stazioni distribuite tra i 1428 m s.l.m. ed i 2615 m s.l.m.; l'acquisizione dei dati è eseguita con memoria solida in loco e trasmissione via radio, attraverso 7 ripetitori. La stazione tipo è costituita da:

- struttura portante a palo abbattibile da 10 m;
- alimentazione a celle solari con pannello da 20 W e batterie tampone;
- sensori: nivometro, termoigrometro, anemometro, anemoscopio, albedometro e termometro neve (in configurazione massima);
- periferica con programma di gestione e memoria solida.

E' importante notare che queste stazioni sono progettate per lavorare in condizioni di funzionamento estreme: temperature da -30°C a +60°C, vento fino a 160 kmh⁻¹; ognuna è provvista di protezione contro le scariche elettriche (fulmini) attraverso impianto di messa a terra (informazioni tratte da "Annale nivometeorologico della montagna veneta", 1998).

Stazione del Monte Baldo

È situata nei pressi di Malga Zocchi di Sopra, immediatamente a Nord di Monte Grande (1783 m s.l.m.) in un punto in cui il massiccio montuoso presenta un avvallamento, la Colma di Malcesine: sia a Nord che a Sud le creste raggiungono quote più elevate. La stazione è infatti a quota 1751 m s.l.m., a Sud Ovest si trova Cima Valdritta (2218 m s.l.m.) e a Nord Est il Monte Altissimo (2079 m s.l.m.) (*Figura 3.4*). Si trova in uno spiazzo, a Nord rispetto ad un piccolo promontorio (*Figure 3.4 e 3.5*), installata nel 1986, è attrezzata con i seguenti sensori:

- nivometro,
- termometro neve;
- termometro aria;

- igrometro;
- anemometro;
- anemoscopio;
- albedometro;

tutti i sensori sono prodotti dalla ditta CAE; per le specifiche sulle caratteristiche tecniche si rimanda alla Appendice A. Il sito è facilmente raggiungibile in estate con fuoristrada attraverso una strada sterrata forestale dal versante Nord orientale, mentre in inverno vi si può salire utilizzando la funivia che sale da Malcesine. La stazione ha sofferto di notevoli inconvenienti negli ultimi anni: colpita da un fulmine nel settembre 1998 è rimasta fuori uso fino al giugno 2003, quando è stata sostituita.



Figura 3.4. Veduta della Colma di Malcesine (al centro), Cima Valdritta (in alto a sinistra) e il Monte Altissimo (a destra); la stazione è indicata in blu. (Immagine tratta da Google.Earth)



Figura 3.5. Veduta della stazione Monte Baldo verso Nord, con il Monte altissimo sullo sfondo (Bissoli, 2004).



Figura 3.6. Veduta della stazione Monte Baldo (nel cerchio) verso Sud (fotografia scattata il 28/07/2005).

Caratteristiche tecniche delle stazioni I.A.S.M.A.

La rete dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige è composta da:

- 20 stazioni I.A.S.M.A. agro-meteo di primo livello secondo le indicazioni dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) (stazioni climatologiche);
- 46 stazioni IASMA agro-meteo di secondo livello (stazioni per uso agricolo);
- 10 stazioni IASMA in area forestale
- varie stazioni IASMA provvisorie con scopi sperimentali.

Accanto a queste, vengono raccolti i dati di:

- 15 stazioni dell' Ufficio Neve, Valanghe e Meteorologia della Provincia Autonoma di Trento;
- 11 stazioni di vari Enti privati.

La rete copre tutto il territorio trentino, con maggiore concentrazione nelle aree di interesse frutticolo. Tutte le stazioni sono collegate tramite telefono cellulare GSM. Le dotazioni di sensori sono di 4 tipi, e si hanno perciò 4 livelli all'interno della rete (più un quinto, della rete forestale); nella *Tabella 3.2.* sono riassunte le dotazioni per ognuna delle categorie di dotazione.

Queste configurazioni possono subire leggere variazioni in alcuni casi. Le stazioni forestali, come quella di Polsa, si avvicinano alla dotazione di Ala (1° livello, "intermedia"), escludendo le temperature al di sotto dei 50 cm di altezza e nel terreno, e tenendo conto che sono sensori di altro produttore. Le stazioni di 1° e 2° livello sono prodotte da SIAP, e montano sensori di loro produzione, ad esclusione del sensore di temperatura e umidità (VAISALA) e della radiazione solare (KIPP & ZONEN). Le stazioni forestali sono interamente di marca MTX (le informazioni sono state gentilmente fornite dall'ente I.A.S.M.A.). Le specifiche tecniche dei sensori sono riportate nell'Appendice A.

<ul style="list-style-type: none"> * sensore di temperatura a 2 m; * sensore di umidità a 2 m; * pluviometro; * sensore di bagnatura fogliare; * velocità vento a 3 m; * velocità vento a 10 m; * direzione vento a 10 m; * radiazione solare; * pressione * temperatura a bulbo asciutto e a bulbo bagnato a 2 m con ventilazione forzata; * temperatura a 50 cm ventilata; * temperatura al suolo (5cm); * temperatura a -10, -20, -50 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> * sì; * sì; * sì; * sì; * --; * sì; * sì; * sì; * pressione; * --; * temperatura a 50 cm ; * sì; * sì. 	<ul style="list-style-type: none"> * sì; * sì; * sì; * sì; * velocità vento a 3 m; * --; * --; * --; * --; * --; * temperatura a bulbo asciutto e a bulbo bagnato a 50 cm; * --; * --; * --. 	<ul style="list-style-type: none"> * sì; * sì; * sì; * sì; * --; * --; * --; * --; * --; * --; * --; * --; * --. 	<ul style="list-style-type: none"> * sì; * sì; * sì; * sì; * --; * sì; * sì; * sì; * sì; * --; * --; * --; * --.
1° livello, "completa"	1° livello, "intermedia"	2° livello, "antibrina"	2° livello "base"	stazioni forestali

Tabella 3.2. Dotazione di sensori della rete di rilevamento IASMA: in funzione della dotazione si individuano 5 livelli nella rete.

La stazione di Polsa

La località Polsa è situata a Sud dell'altopiano di Brentonico (posto a cavallo tra il lago di Garda e la Val Lagarina con altitudine variabile tra i 500 m s.l.m. ed i 700 m s.l.m.), sulle pendici settentrionali del monte Vignoletto (1557 m s.l.m.), ai margini dell'omonimo abitato. Il territorio si presenta scosceso, anche se non profondamente scavato. La stazione meteorologica non è situata sulla cima, dove si raggiunge una quota di circa 1500 m, ma sul versante rivolto a Nord - Ovest, ad una quota di 1301 m s.l.m., complessivamente la stazione si presenta ben esposta; nonostante alcuni arbusti vicini è comunque lontana da ostacoli di grandi dimensioni (*Figure 3.7 e 3.8*). Nell'analisi si dovrà invece tener conto della sua posizione a metà versante e dell'esposizione Nord - Ovest: è probabile che vi sia una minor sensibilità alla radiazione solare, che potrebbe influire anche su circolazioni termiche locali. La stazione è in attività dal 1994, ma i sensori di vento sono stati installati solo nel 1997; ha avuto negli anni molti problemi dovuti a neve e ghiaccio. E' comodamente raggiungibile attraverso la strada che porta a Polsa.



Figura 3.7. La stazione di Polsa vista da Sud (fotografia scattata nel maggio 2005).



Figura 3.8. La stazione di Polsa (fotografia scattata nel maggio 2005).

La stazione di Ala

Il paese di Ala è situato nella Val Lagarina, a Sud di Rovereto: la valle si presenta in questo tratto piuttosto stretta, il fondovalle infatti misura in larghezza poco più di 2 km ed è fiancheggiato da rilievi che superano i 1500 m s.l.m., il regime dei venti potrebbe essere caratteristico di una brezza di valle (venti tipo *up-valley* e *down-valley*, si veda il Paragrafo successivo 3.1.3). La stazione era installata in località Chiesurone (nei pressi di Ala) negli anni dal 1988 al 2001 (Figura 3.9); a partire dal 2003 è stata spostata ad Ala.



Figura 3.9. Localizzazione della stazione di Ala tra il 1988 ed il 2001 (Ortofoto tratta dal sito ufficiale della Provincia Autonoma di Trento).

Caratteristiche tecniche stazioni A.R.P.A.V.

La Rete di Monitoraggio Meteorologica Regionale dell'A.R.P.A.V. è operativa dal 1984 sulla montagna veneta; tutte le stazioni meteorologiche sono equipaggiate con sensori di precipitazione e temperatura dell'aria e numerose sono quelle in grado di rilevare i dati di radiazione solare, umidità relativa dell'aria, velocità e direzione del vento a 2 e 10 metri di altezza.

La rete di telemisura copre nella sua configurazione attuale l'intera Regione del Veneto. Il colloquio tra centrale operativa e periferica avviene via radio su due frequenze di esercizio rispettivamente di 445,750 (F1) e 441,350 Mhz (F2). Il collegamento viene garantito dalla presenza di 16 stazioni ripetitrici la cui logica di gestione è del tutto uguale a quella della stazione di rilevamento.

Per quanto riguarda la rete gestita dal Centro Meteorologico di Teolo, una stazione periferica tipo è dotata di:

- un gruppo di alimentazione provvisto di batterie ricaricabili da rete o da pannelli solari;
- un apparato di ricetrasmisione in banda UHF completo di antenna omnidirezionale o direttiva di potenza pari a 5 W;

- un numero di canali di ingresso dei segnali variabile da un minimo di otto, a un massimo di sedici;
- un microprocessore di gestione programmato ed abilitato alle seguenti funzioni :
 - controllo dello stato di efficienza di tutte le funzioni ed in particolare dei sensori, dell'alimentatore e della tensione delle batterie tampone;
 - acquisizione dei dati provenienti dai sensori e loro immagazzinamento su memoria solida, con tempi di scansione programmabili da 1 a 60 minuti o multipli orari;
 - autodiagnosi dello stato di conservazione della memoria ed indicazioni dell'eventuale settore inefficiente;
 - gestione degli apparati di trasmissione.

Entrambe le stazioni considerate, Bardolino e Dolcè, sono dotate dei seguenti sensori:

- termometro aria;
- igrometro;
- anemometro;
- anemoscopio;
- radiometro;
- pluviometro con dispositivo di scioglimento della neve.

Stazione di Bardolino

Bardolino è situato a metà della sponda veronese del lago di Garda, ai piedi del Monte Baldo, in un territorio circondato da colline, ma che nel complesso appare piuttosto pianeggiante. La stazione, attiva dal 1991, è situata nella località Levai, a circa 1 km dall'autostrada A22 del Brennero, al limite di un vigneto. Gli strumenti sono posizionati vicini ad un capannone alto circa 7 m, che si trova a circa 15 m in direzione Ovest. Inoltre il terreno è rialzato di 2 m rispetto all'area sottostante, anch'essa adibita a vigneto. In questo caso, nell'analisi dei dati, sarà da valutare, oltre all'influenza degli ostacoli presenti, l'influsso che può avere sulle circolazioni e sulle temperature la presenza del lago di Garda (Bissoli, 2004). Anemometro ed anemoscopio sono montati su palo da 10 m (*Figura 3.10*).



Figura 3.10. La stazione di Bardolino (Bissoli, 2004).

Stazione di Dolcè

Dolcè si estende sulla sponda sinistra della Val d'Adige, attorniato dai Monti Lessini a Est e dal Monte Baldo a Ovest. La valle è piuttosto stretta come per il caso di Ala, la stazione è stata installata nel 1991 in località Molino, ai piedi del rilevato su cui corre la ferrovia, posto a circa 70 m a Est, e vicino ad un edificio che si trova a 20 m in direzione Nord - Ovest. È posizionata sul limite di un vigneto e circondata da alberi che potrebbero costituire una barriera, tenendo anche conto del fatto che i sensori di vento sono fissati a un palo da 2 m (Figura 3.11) (Bissoli, 2004).



Figura 3.11. La stazione di Dolcè (Bissoli, 2004).

3.1.2 Tipologia dei dati forniti, criteri di validazione e di elaborazione

I dati meteorologici forniti dagli enti gestori, sono di diverso tipo per ognuno di essi: il C.V.A. ha reso disponibili le registrazioni delle misure, così come vengono acquisite dalla stazione, su formato digitale; i dati dell'A.R.P.A.V. di Teolo erano su formato digitale con i valori orari delle grandezze fisiche; i dati orari delle stazioni dell'I.A.S.M.A. sono scaricabili dal sito internet www.iasma.it, dal link dedicato, attraverso semplici queries. Partendo dai dati disponibili si sono ricavati i valori giornalieri delle singole grandezze fisiche, si sono scartate le giornate in cui vi fosse la totale mancanza di dati o un elevato numero di dati non validi. Di seguito vengono esposte le modalità seguite per la validazione dei dati giornalieri per ognuna delle stazioni.

Monte Baldo

Si avevano a disposizione i seguenti dati: temperatura media dell'aria, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente e riflessa (in $W \cdot m^{-2}$,

ovvero flusso di energia radiante), altezza del manto nevoso, umidità relativa. Si considera non valido un valore giornaliero se mancano più del 20% di dati registrati (errore nella misura); la media non può essere ritenuta significativa. A intervalli di 30 minuti, in un giorno vengono registrate 48 misure di una grandezza, dunque se almeno 10 misure non sono registrate la giornata viene scartata. A intervalli di 10 minuti, in un giorno vengono registrate 144 misure di una grandezza, dunque se almeno 30 misure non sono registrate la giornata viene scartata.

Temperatura

I dati di temperatura sono registrati ogni 30 minuti. Si devono calcolare:

- temperatura media giornaliera,
- temperatura massima giornaliera,
- temperatura minima giornaliera.

Vento

I dati di vento sono registrati ogni 30 minuti fino a settembre 1996 e successivamente ogni 10 minuti. Si devono calcolare:

- velocità media giornaliera,
- direzione media giornaliera,

in questo modo si ricostruisce il vettore vento medio giornaliero.

La direzione media è data dalla combinazione vettoriale delle componenti medie delle velocità, u e v , calcolate nella giornata.

Radiazione solare incidente e riflessa

La radiazione solare è stata registrata ogni 30' fino al settembre 1996, e ogni 10' dall'ottobre 1996. Dalle misure di radiazione si ricavano:

- radiazione solare incidente massima: massimo giornaliero della radiazione incidente (flusso di energia incidente), in $W \cdot m^{-2}$;
- radiazione solare giornaliera incidente: integrale della radiazione incidente (energia totale arrivata a terra), in $MJ \cdot m^{-2}$;
- radiazione solare riflessa massima: massimo giornaliero della radiazione riflessa (flusso di energia riflessa), in $W \cdot m^{-2}$;
- radiazione solare giornaliera riflessa: integrale della radiazione riflessa (energia totale riflessa dalla superficie), in $MJ \cdot m^{-2}$;

- albedo: rapporto tra radiazione solare giornaliera riflessa e radiazione solare giornaliera incidente.

Le misure di radiazione sono disponibili solo dal sorgere del sole fino al suo tramonto: l'intervallo di dati reali è più piccolo, per questo si considera non valido un valore giornaliero se mancano più del 10% di dati registrati (errore nella misura); la misura giornaliera non può essere ritenuta rappresentativa.

L'intervallo di dati che viene considerato, e su cui quindi viene calcolata la percentuale di dati mancanti, è il periodo dalle 4.00 alle 21.00 di ogni giorno. Questo per tenere conto della parte di giornata in cui si hanno effettivamente misure "valide" (cioè diverse da zero) della radiazione. L'intervallo considerato è un po' più ampio del periodo di luce (che ha durate diverse a seconda della stagione), per evitare di perdere dati importanti. L'integrale della radiazione è calcolato come media dei valori di radiazione registrati nell'arco delle 24 ore, moltiplicato per un opportuno valore di conversione, 0,0864, per passare dai $W \cdot m^{-2}$ (flusso di energia radiante) ai $MJ \cdot m^{-2}$ (quantità di energia); il valore massimo è il massimo di radiazione giornaliero, in $W \cdot m^{-2}$, dunque un flusso di energia. L'albedo è il rapporto tra l'integrale della radiazione riflessa giornaliera e l'integrale della radiazione incidente giornaliera, è adimensionale e viene espresso come percentuale.

Altezza del manto nevoso

I dati di altezza del manto nevoso sono registrati ogni 30'. Si deve ricavare l'altezza media giornaliera del manto nevoso. Particolare attenzione bisogna fare per poter calcolare successivamente l'acqua equivalente alla precipitazione nevosa, per poter confrontare il dato con le altre stazioni, che non sono dotate di nivometro, bensì di pluviometro.

Si rende necessario calcolare la effettiva precipitazione, e non l'altezza del manto (cumulativa e soggetta allo scioglimento), e, attraverso valori della densità della neve, calcolare l'acqua equivalente. Viene calcolata la differenza del manto nevoso rispetto al giorno precedente, e questa viene considerata valida solo se ha valore positivo (neve fresca caduta); il calcolo viene eseguito sui valori giornalieri, quindi si perde dettaglio nel calcolo. Tuttavia tutto il calcolo risulta molto orientativo, data la estrema variabilità del parametro densità della neve, che può cambiare anche di un ordine di grandezza. I valori estremi sono $0,03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (neve asciutta) e $0,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (neve bagnata); secondo il

C.V.A. un valore intermedio che si può usare in questo caso è $0,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (media pesata sulla tipologia delle precipitazioni nevose negli anni). Con questo valore della densità viene fatta la stima dell'acqua equivalente. La densità della neve può variare da evento ad evento, e anche durante uno stesso evento di precipitazione: il calcolo pertanto risulta del tutto indicativo.

Umidità relativa

Sono stati forniti i valori giornalieri di umidità relativa, dunque non è stata necessaria nessuna elaborazione.

Polsa ed Ala

Si avevano a disposizione i seguenti dati orari: temperatura media dell'aria, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente (in $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, energia totale arrivata a terra), umidità relativa, precipitazioni.

Sono state calcolate in questo caso i valori giornalieri di temperatura media, temperatura massima, temperatura minima, velocità media del vento, direzione media del vento, radiazione solare incidente massima [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]; integrale della radiazione solare incidente [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$]; umidità relativa, pioggia caduta.

Bardolino e Dolcè

Si avevano a disposizione i seguenti dati orari: temperatura media dell'aria, radiazione solare incidente (in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, flusso di energia radiante), umidità relativa, precipitazioni; i valori di direzione e velocità del vento erano registrati ogni 10 minuti. Sono state calcolate in questo caso i valori giornalieri di temperatura media, temperatura massima, temperatura minima, velocità media del vento, direzione media del vento, radiazione solare incidente massima [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]; integrale della radiazione solare incidente [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$]; umidità relativa, pioggia caduta.

Per tutte e 4 queste stazioni, quando le lacune nei dati superavano il 20 % (5 valori su 24) la giornata è stata scartata; le misure della radiazione sono state validate considerando una percentuale più bassa, pari al 10 % (3 valori su 18), essendo l'intervallo delle misure valide più ristretto (dalle ore 4.00 alle ore 21.00).

La mancanza di dati, al di sotto del 20%, o del 10%, viene comunque segnalata, per indicare che la misura è riportata, ma con riserva, per ognuna

delle stazioni (*Tabella 3.3.*). E' da notare che la postazione di Monte Baldo (C.V.A.), è priva di un pluviometro, e quindi manca completamente qualsiasi dato sulle precipitazioni non nevose (estive in particolare).

Esaminando i periodi di attività delle stazioni, i relativi problemi occorsi, la disponibilità dei dati, e la confrontabilità, si è scelto di analizzare il periodo di tempo che va dal 1994 fino al 1998, compresi; dunque, un arco temporale di 5 anni, durante il quale le condizioni atmosferiche nelle 5 stazioni selezionate sono state analizzate e confrontate (*Tabella 3.3.*). Poiché il periodo di tempo studiato è abbastanza lungo, per poter leggere meglio l'andamento nel tempo di varie grandezze (la temperatura, ad esempio), per queste ultime sono state elaborate le medie mobili. Si è utilizzata una media mobile centrata, a 7 punti: considerando un certo istante, si attribuisce a quell'istante il valore della media della grandezza osservata sull'arco di tempo fra 3 istanti prima e 3 istanti dopo il momento considerato. Facendo riferimento a valori giornalieri, la media mobile è calcolata su un periodo di 7 giorni.

1994	CVA	ARPAV		IASMA	
	Monte Baldo	Bardolino	Dolcè	Polsa	Ala
Temperatura	4,7%	0,0%	0,00%	8,0%	0,0%
Radiazione	12,6%	0,0%	0,00%	8,0%	0,0%
Vento direzione	9,6%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
Vento velocità	9,6%	100,0%	100,0%	15,0%	0,0%
Umidità relativa	3,0%	9,3%	1,4%	8,0%	0,0%
Precipitazioni	*	0,0%	2,2%	2,0%	1,0%

1995	CVA	ARPAV		IASMA	
	Monte Baldo	Bardolino	Dolcè	Polsa	Ala
Temperatura	5,5%	0,0%	0,0%	56,0%	3,0%
Radiazione	16,7%	0,0%	0,0%	56,0%	4,0%
Vento direzione	12,6%	100,0%	100,0%	100,0%	2,0%
Vento velocità	12,6%	100,0%	100,0%	56,0%	0,0%
Umidità relativa	1,4%	0,0%	0,0%	56,0%	2,0%
Precipitazioni	*	0,0%	0,0%	56,0%	2,0%

1996	CVA	ARPAV		IASMA	
	Monte Baldo	Bardolino	Dolcè	Polsa	Ala
Temperatura	24,4%	0,0%	0,0%	64,0%	1,0%
Radiazione	34,0%	0,0%	0,0%	64,0%	1,0%
Vento direzione	35,9%	0,0%	8,5%	100,0%	1,0%
Vento velocità	35,9%	0,0%	0,0%	63,0%	0,0%
Umidità relativa	21,1%	0,0%	0,0%	64,0%	1,0%
Precipitazioni	*	0,6%	0,0%	64,0%	1,0%

1997	CVA	ARPAV		IASMA	
	Monte Baldo	Bardolino	Dolcè	Polsa	Ala
Temperatura	7,1%	0,0%	0,0%	93,0%	3,0%
Radiazione	9,3%	0,0%	0,0%	81,0%	5,0%
Vento direzione	10,1%	0,0%	0,0%	93,0%	4,0%
Vento velocità	10,1%	0,0%	0,0%	93,0%	1,0%
Umidità relativa	5,5%	0,0%	0,0%	81,0%	4,0%
Precipitazioni	*	0,0%	0,0%	81,0%	4,0%

1998	CVA	ARPAV		IASMA	
	Monte Baldo	Bardolino	Dolcè	Polsa	Ala
Temperatura	34,0%	1,1%	0,0%	4,0%	6,0%
Radiazione	35,6%	0,0%	0,0%	7,0%	7,0%
Vento direzione	35,1%	1,1%	0,0%	8,0%	6,0%
Vento velocità	35,1%	0,0%	0,0%	4,0%	2,0%
Umidità relativa	32,3%	0,0%	0,0%	4,0%	6,0%
Precipitazioni	*	0,0%	0,0%	35,0%	6,0%

Tabella 3.3. Percentuali di mancanza di dati per grandezza rilevata, per stazione, per ogni anno.

*non mancano dati registrati dal nevometro; la mancanza di dati sulla precipitazione piovosa è sempre pari al 100%.

Particolare attenzione è stata riservata alla elaborazione dei dati di vento. Considerando che il vento è una grandezza vettoriale, si è scomposta la velocità nelle componenti orizzontali x,y, prendendo un sistema di riferimento avente l'asse delle ordinate orientato a Nord e quello delle ascisse orientato a Est (Figura 3.12)

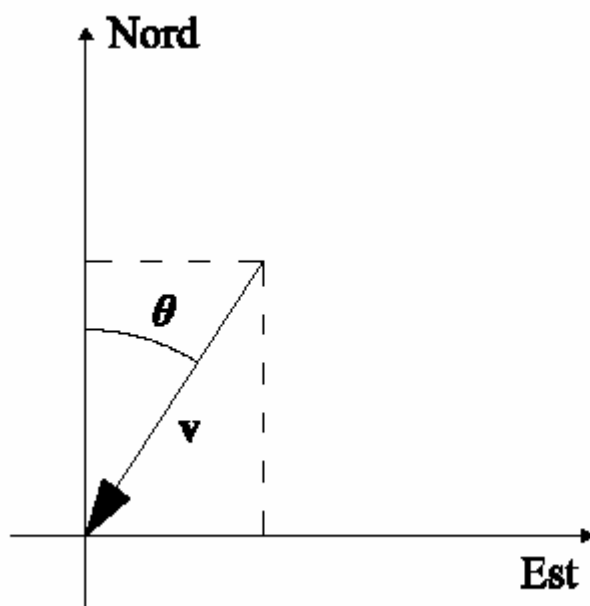


Figura 3.12. Sistema di riferimento per il vettore vento.

Considerando le relazioni trigonometriche che legano velocità e direzione, si può scrivere:

$$v_{xi} = -v_i \cdot \text{sen}\theta_i \quad (3.1)$$

$$v_{yi} = -v_i \cdot \text{cos}\theta_i \quad (3.2)$$

dove θ_i indica l'angolo di provenienza del vento rispetto al Nord, v_i l'intensità del vento misurata per ciascun intervallo temporale. Di queste componenti si è calcolata la media oraria:

$$v_{xmedia} = \sum_{i=1,n} v_{xi} / n \quad (3.3)$$

$$v_{y\text{media}} = \sum_{i=1,n} v_{yi} / n \quad (3.4)$$

dove n indica il numero di intervalli in un'ora. Quindi si è calcolato il modulo medio e la direzione del vento prevalente:

$$v_{\text{media}} = (v_{x\text{media}}^2 + v_{y\text{media}}^2)^{1/2} \quad (3.5)$$

$$\alpha_{\text{medio}} = \arctan(v_{x\text{media}} / v_{y\text{media}}) \quad (3.6)$$

Con le opportune modifiche, calcolando le medie sulla giornata, si ottengono i valori giornalieri delle componenti, del modulo e della direzione. Con i dati orari ottenuti con le equazioni 3.3 - 3.6, si possono costruire, le rose dei venti: la direzione di provenienza del vento è individuata da una semiretta uscente da un polo, la cui lunghezza è proporzionale alla frequenza dei venti corrispondenti a tale direzione. La velocità è stata analizzata semplicemente nei valori, valutando picchi e calme, e l'andamento medio (giornaliero o annuale). Nei casi di maggiore interesse si è ricavata la curva odografa: con questa rappresentazione si può, infatti, dimostrare l'influenza delle circolazioni locali downslope e upslope, up-valley e down-valley sull'andamento del campo di vento (Bissoli, 2004). I venti diurni sono prodotti dalla differenza orizzontale di temperatura, che si sviluppa quotidianamente nei terreni dall'orografia complessa, e risulta tanto più evidente quanto più le giornate sono serene. Sono caratterizzati dall'inversione della direzione due volte al giorno: generalmente durante la notte soffiano discendendo lungo i versanti, e lungo la valle, durante il giorno invece li risalgono. Le prime ore della mattina e della sera rappresentano una fase di transizione tra i due flussi.

Questi fenomeni sono connessi al riscaldamento solare diurno e al raffreddamento notturno per irraggiamento: la diversa durata del periodo di luce giornaliera nelle stagioni determina la variabilità nella direzione prevalente. All'avvicinarsi dell'inverno, e quindi all'accorciarsi del dì, si riduce la presenza di venti upslope e up-valley, e, se il terreno è coperto di neve o il cielo è nuvoloso è probabile che si abbiano solo venti downslope o down-valley (Whiteman, 2000).

In un piano cartesiano, che ha in ascissa la componente lungo Est delle velocità e sulle ordinate quella lungo Nord, è possibile riportare le variazioni diurne di queste componenti. In questo lavoro si sono calcolate per ogni ora le equazioni (3.1) e (3.2), poi la media: attraverso la curva odografa si descrive l'andamento del vettore vento durante la giornata (si veda il paragrafo 3.3).

Per quanto riguarda le altre grandezze fisiche, sono state calcolate le medie giornaliere della temperatura minima, media e massima, la radiazione solare massima giornaliera, l'integrale della radiazione solare nella giornata, l'umidità relativa media giornaliera, la precipitazione giornaliera come totale delle precipitazioni nella giornata. Questi valori sono stati opportunamente tabulati, inseriti in grafici ed ulteriormente elaborati per descrivere in modo adeguato le condizioni meteo climatiche delle stazioni. Non è stata considerata la pressione barometrica, poiché non rappresenta una variabile utilizzabile per i fenomeni locali qui esaminati in quanto non si sono registrate variazioni significative nell'arco di tempo considerato.

3.2 Analisi dei dati

Di seguito si riporta l'analisi dei dati elaborati per ognuna delle stazioni. Sono esposte le valutazioni per ogni singola stazione, ed il confronto tra esse. In alcuni casi, le lacune nei dati rendono difficile il raffronto; per quanto concerne le precipitazioni, si deve sottolineare la mancanza di dati nel periodo estivo per la stazione di Monte Baldo (C.V.A.), in quanto sprovvista di pluviometro.

Temperatura

Le temperature medie mensili, annuali e i valori massimi e minimi annuali sono riportati nelle *Tabelle 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8*. L'andamento della temperatura minima, media e massima giornaliera per ognuna delle stazioni (media mobile) è riportato in Appendice B. Si può subito vedere che nei siti a quote più elevate la temperatura media annuale è di alcuni gradi più bassa (5°C~8°C) rispetto ai siti a quote minori: una tale differenza era prevedibile essendovi tra le stazioni una differenza di altitudine che supera (anche di molto nel caso della stazione Monte Baldo) i 1100 m. E' da notare che questa differenza è confrontabile con il valore del gradiente medio della troposfera (variabile tra 4 K·km⁻¹ e 7 K·km⁻¹). In basso la media è di circa 12°C~13°C,

mentre in quota ci sono circa 4,7°C al Monte Baldo, mentre a Polsa la temperatura media è di circa 7,3°C; in questi casi però sono stati scartati alcuni anni (segnalati in rosso in *Tabella 3.4*), perché presentano grandi lacune nei dati, che influiscono fortemente sulla media.

	Temperatura Media [°C]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polssa	Ala	Bardolino	Dolcè
Valore medio 1994	5,29	7,63	12,99	13,86	13,58
Valore medio 1995	3,80	2,82	12,18	12,73	12,49
Valore medio 1996	2,38	1,49	11,82	12,60	12,52
Valore medio 1997	4,91	-0,13	12,99	13,86	13,49
Valore medio 1998	5,56	7,06	12,59	13,58	13,02
Valore medio annuale	4,40	5,65	12,51	13,32	13,02
Valore medio annuale*	4,67	7,34			

Tabella 3.4. Temperature medie annuali (in rosso gli anni con percentuale d'errore maggiore al 20%); *valori calcolati tra anni validati.

In *Figura 3.13* è rappresentato l'andamento della temperatura media delle 5 stazioni (media mobile): si può osservare come le temperature in valle (e pianura) siano costantemente più alte che in montagna; l'andamento generale è comunque lo stesso, anche in funzione del fatto che si considera la media mobile ed il periodo di tempo è relativamente lungo, e quindi variazioni a breve termine vengono "mediate". Esiste una corrispondenza tra picchi e tra minimi delle diverse curve; si vede bene l'andamento stagionale della temperatura. Ma, mentre i valori estivi sono molto simili, quelli invernali sono in un certo senso amplificati spostandosi in altezza; quando in valle le temperature sono molto omogenee, in quota sono diverse tra le due stazioni: Monte Baldo registra sempre valori di alcuni gradi più bassi. Questo è attribuibile alla effettiva differenza di quota tra le due postazioni, intorno ai 450 m.

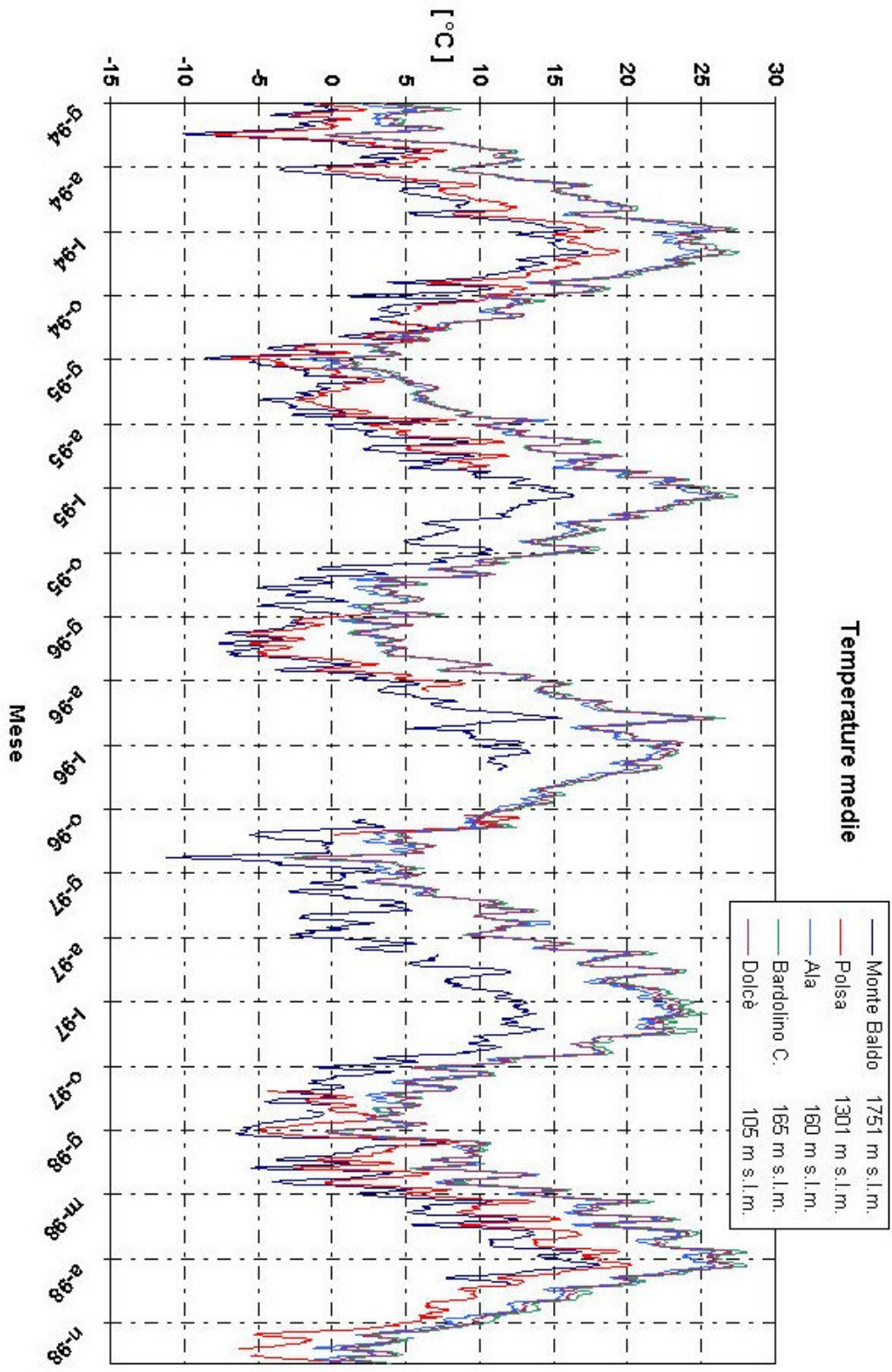


Figura 3.13. Grafico della temperatura media nelle stazioni (medie mobili).

I valori estremi differiscono di 10°C~15°C nelle massime e 7°C~9°C nelle minime; il 1998 (*Tabelle 3.5 e 3.6*) è l'anno che registra le massime più alte (Monte Baldo 22,3°C, Polsa 27,3°C, in pianura valori intorno ai 36°C), mentre le minime più basse (trascurando gli anni con troppi dati mancanti) sono state registrate nel 1994 in montagna (Monte Baldo -15,10, Polsa -13,70°C), nel 1996 in pianura (valori intorno ai -9°C). In media, l'anno più caldo è il 1994 (10,67°C), mentre il 1996 è il più freddo (8,16°C), è evidente però il dubbio nei valori delle stazioni in quota.

	Temperatura Massima [°C]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polso	Ala	Bardolino	Dolcè
Valore estremo 1994	21,80	25,20	35,43	34,80	35,60
Valore estremo 1995	21,30	18,90	34,87	35,30	34,50
Valore estremo 1996	19,50	23,40	34,55	35,30	35,60
Valore estremo 1997	19,40	6,20	32,07	32,60	32,60
Valore estremo 1998	22,30	27,30	36,19	36,20	37,10
Valore estremo	22,30	27,30	36,19	36,20	37,10

Tabella 3.5. Temperature massime annuali (in rosso gli anni con percentuale di mancanza dati maggiore al 20%).

	Temperatura Minima [°C]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polso	Ala	Bardolino	Dolcè
Valore estremo 1994	-15,10	-13,70	-5,72	-5,60	-6,80
Valore estremo 1995	-13,40	-11,40	-6,55	-4,40	-5,90
Valore estremo 1996	-18,10	-12,00	-9,25	-9,90	-9,00
Valore estremo 1997	-9,40	-7,90	-3,70	-4,40	-3,80
Valore estremo 1998	-10,90	-10,30	-6,53	-4,20	-7,00
Valore estremo	-18,10	-13,70	-9,25	-9,90	-9,00

Tabella 3.6. Temperature minime annuali (in rosso gli anni con percentuale di mancanza dati maggiore al 20%).

La *Tabella 3.7* mostra i valori medi mensili dal 1994 al 1998. Nei casi in cui vi erano lacune nei dati, il mese relativo è stato omissso. I mesi con temperatura media più alta sono luglio e agosto 1994 (per Polsa luglio 1994 è il secondo valore più alto), in accordo con l'anno più caldo (1994); gennaio 1995 è il mese più freddo in valle, febbraio 1996 in montagna, mentre è il secondo mese più freddo in valle, in accordo col fatto che 1996 è l'anno più freddo.

mese	Temperatura Media mensile [°C]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polisa	Ala	Bardolino	Dolcè
gennaio-94	-1,19	-0,02	3,47	5,26	4,74
febbraio-94	-4,30	-2,31	3,46	4,14	4,07
marzo-94	3,51	5,46	11,48	11,48	11,09
aprile-94	0,96	3,71	11,24	11,53	11,54
maggio-94	6,87	9,28	16,75	17,23	17,05
giugno-94	10,58	12,89	19,95	21,11	20,88
luglio-94	14,70	16,69	23,31	25,27	24,72
agosto-94	14,44	16,86	23,21	24,77	24,19
settembre-94	8,82	11,34	17,16	18,23	17,75
ottobre-94	4,94	8,31	12,04	12,73	12,51
novembre-94	4,97	6,30	8,93	9,43	9,42
dicembre-94	0,31	1,45	3,86	4,35	4,22
gennaio-95	-4,33	-2,60	1,01	2,54	2,13
febbraio-95	-0,26	1,11	5,30	5,66	5,80
marzo-95	-2,41	-0,33	7,28	7,55	7,39
aprile-95	2,69	5,13	12,16	12,14	12,11
maggio-95	6,10	8,78	15,86	16,31	16,14
giugno-95	8,34	8,77	17,80	18,78	18,79
luglio-95	14,28		23,83	25,20	24,58
agosto-95	11,03		20,60	21,43	21,12
settembre-95	6,81		15,18	16,56	15,95
ottobre-95	8,78		13,64	14,58	13,93
novembre-95	0,26		6,95	7,48	7,27
dicembre-95	-2,62		3,12	4,03	4,17
gennaio-96	-1,71	-1,04	3,20	4,18	4,31
febbraio-96	-5,26	-3,70	3,03	3,02	3,30
marzo-96	-3,33	-1,18	6,74	6,60	6,87
aprile-96	2,56	5,26	12,88	13,01	13,02
maggio-96	6,61		16,23	17,17	16,96
giugno-96	11,42		20,56	21,78	21,47
luglio-96	11,27		20,91	21,86	21,76
agosto-96			20,25	21,50	21,21
settembre-96			15,17	16,11	15,83

mese	Temperatura Media mensile [°C]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
ottobre-96		8,99	12,00	12,87	12,68
novembre-96	-1,19	8,84	7,18	8,49	8,32
dicembre-96	-2,88		2,87	3,92	3,91
gennaio-97	-0,40		3,40	4,53	4,53
febbraio-97	-0,40		5,63	6,16	5,98
marzo-97	2,38		11,07	11,53	11,17
aprile-97	0,43		11,83	11,68	11,65
maggio-97	5,35		17,24	18,02	17,74
giugno-97	8,97		19,55	20,47	20,10
luglio-97	11,21		21,11	22,75	22,14
agosto-97	12,39		21,89	23,38	22,52
settembre-97	11,35		18,88	20,70	19,54
ottobre-97	4,99		13,63	13,45	12,91
novembre-97	0,93		7,12	8,35	8,06
dicembre-97	-2,26	-0,13	3,87	4,76	4,93
gennaio-98	-3,67	0,04	3,13	3,71	3,63
febbraio-98	1,69	3,43	6,90	7,63	7,13
marzo-98	-1,05	1,62	8,74	8,55	8,56
aprile-98	1,29	3,74	11,22	12,44	11,62
maggio-98	6,44	9,71	16,69	17,85	17,44
giugno-98	10,71	13,76	20,68	22,12	21,55
luglio-98	12,95	15,86	23,00	24,50	23,93
agosto-98	13,91	16,58	23,25	24,81	24,20
settembre-98	11,16	10,63	16,59	18,32	17,47
ottobre-98		6,76	11,01	12,96	12,09
novembre-98		0,03	5,96	6,46	5,85
dicembre-98		-2,53	1,22	3,01	2,38

Tabella 3.7. Temperature medie mensili (i valori degli anni con percentuale di mancanza dati maggiore al 20% non sono riportati).

In Tabella 3.9 è presentata l'escursione termica annuale, calcolata come differenza tra il mese più caldo e quello più freddo di uno stesso anno (Tabella 3.8): il valore (17,4°C) è di 3°C più bassa in Monte Baldo rispetto alla pianura, a Polsa (19,1°C) il valore invece è più vicino ai 20°C circa di Bardolino, Dolcè e Ala.

Temperatura Media mensile [°C]						
		CVA	IASMA		ARPAV	
		Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
Mese più caldo	luglio	luglio	agosto	luglio	luglio	luglio
	1994	1994	1994	1995	1994	1994
	14,70	16,86	23,83	25,27	24,72	
Mese più freddo	febbraio	febbraio	gennaio	gennaio	gennaio	gennaio
	1996	1996	1995	1995	1995	1995
	-5,26	-3,70	1,01	2,54	2,13	

Tabella 3.8. Temperature massime e minime mensili (valori estremi).

Escursione termica annuale [°C]					
		CVA	IASMA	ARPAV	
Anno	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	19,00	19,16	19,86	21,13	20,64
1995	18,61	11,39	22,82	22,66	22,45
1996	16,74	12,69	18,04	18,83	18,46
1997	14,64	--	18,48	18,84	17,99
1998	17,58	19,11	22,03	21,80	21,82
media annuale	17,32	15,59	20,25	20,65	20,27
media annuale*	17,42	19,14			

Tabella 3.9. Valori dell'escursione termica annuale (in rosso gli anni con percentuale di mancanza dati maggiore al 20%).

Osservando l'andamento dell'escursione termica giornaliera negli anni (media mobile), in *Figura 3.14*, si può vedere come in quota (Monte Baldo) l'escursione termica abbia un andamento più costante e piuttosto uniforme durante tutto l'anno, con temperature che si muovono periodicamente intorno a valori bassi (si ricorda che la media annuale è di 4,7°C circa). Il campo di variazione va dai 2°C fino a massimi di 8°C. A Polsa i valori si alzano, e si comincia a notare una certa variazione stagionale, oscillazioni con ampiezze minime di 3°C e massime di 10°C. In pianura i valori sono molto più alti, e si può osservare una netta relazione con il succedersi delle stagioni. Le differenze di temperatura durante la giornata in inverno (gennaio) sono di 4°C~6°C, mentre durante l'estate arrivano a 11°C~17°C. L'escursione termica giornaliera più elevata si registra

ad Ala: chiusa nella Val Lagarina è forse la stazione a carattere maggiormente continentale, seguita da Dolcè. Si può notare invece come a Bardolino l'influenza del vicino lago di Garda si faccia sentire: la variazione della temperatura durante la giornata è sempre più bassa rispetto alle altre stazioni di pianura. Questa caratteristica è più evidente in estate, mentre nel periodo invernale (ristretto al mese di gennaio) il fenomeno sembra non manifestarsi. Si può vedere, infine, come la primavera del 1995 abbia avuto un andamento particolare, con oscillazioni di temperatura assai ampie per il periodo, rispetto agli altri anni.

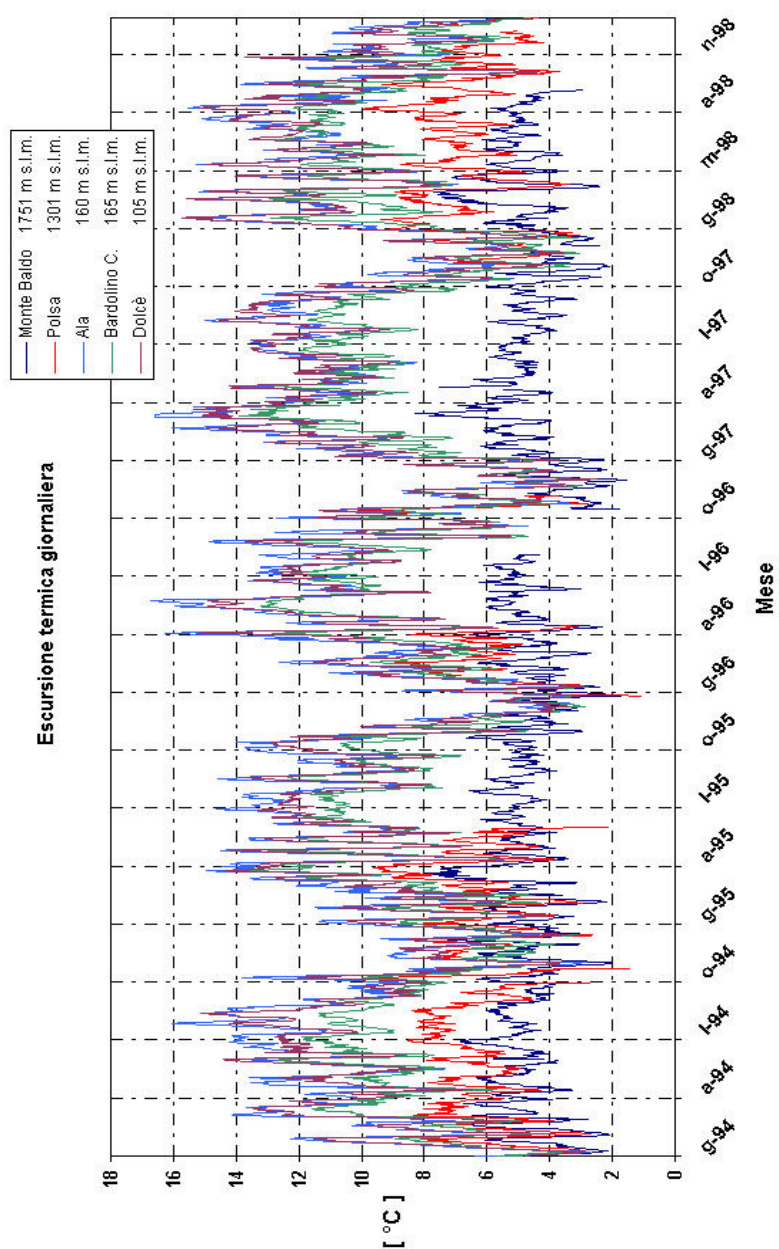


Figura 3.14. Grafico della escursione termica nelle stazioni (medie mobili).

E' stata calcolata la media della temperatura nei 5 anni considerati per ognuna delle stazioni, poi, per differenza con la temperatura giornaliera è stato calcolato lo scarto rispetto alla media: il suo andamento si può osservare in *Figura 3.15*. Trascurando i problemi della stazione di Polsa (grande mancanza di dati), si può vedere che l'andamento è in pratica lo stesso per tutte le altre. Monte Baldo e Polsa si discostano dalla tendenza generale durante l'inverno, specialmente quello tra 1994 e 1995 e quello del 1997: in questi periodi le temperature in quota si differenziano molto da quelle in pianura. Si può dire che un andamento così omogeneo tra le stazioni individua un contesto generale in cui gli andamenti stagionali sono molto simili.

Non vi sono fattori che impongono caratteristiche particolari all'andamento della temperatura sulla montagna durante l'anno: i cicli sono gli stessi della pianura, seppure i valori registrati siano ben diversi. Ciò che cambia sono le temperature minime, medie e massime e le escursioni termiche: per evidenziare queste differenze sono state elaborate delle curve di correlazione per la temperatura. In un sistema di riferimento cartesiano sono state inserite in ascissa le temperature di Monte Baldo e in ordinata le temperature delle altre stazioni, in successione. Questi diagrammi sono riportati nelle *Figure 3.16* e *3.17*: si può vedere che tra le stazioni di Monte Baldo e Polsa esiste una relazione lineare chiara, che indica una buona correlazione, ovvero un contesto climatologicamente omogeneo; viceversa, tra Monte Baldo e le altre stazioni non esiste una ben definita relazione, e ciò indica ambienti differenti. Dunque, pur avendo un comportamento generale molto simile, esistono ambienti diversi che si differenziano per i valori di temperatura se ci spostiamo in quota.

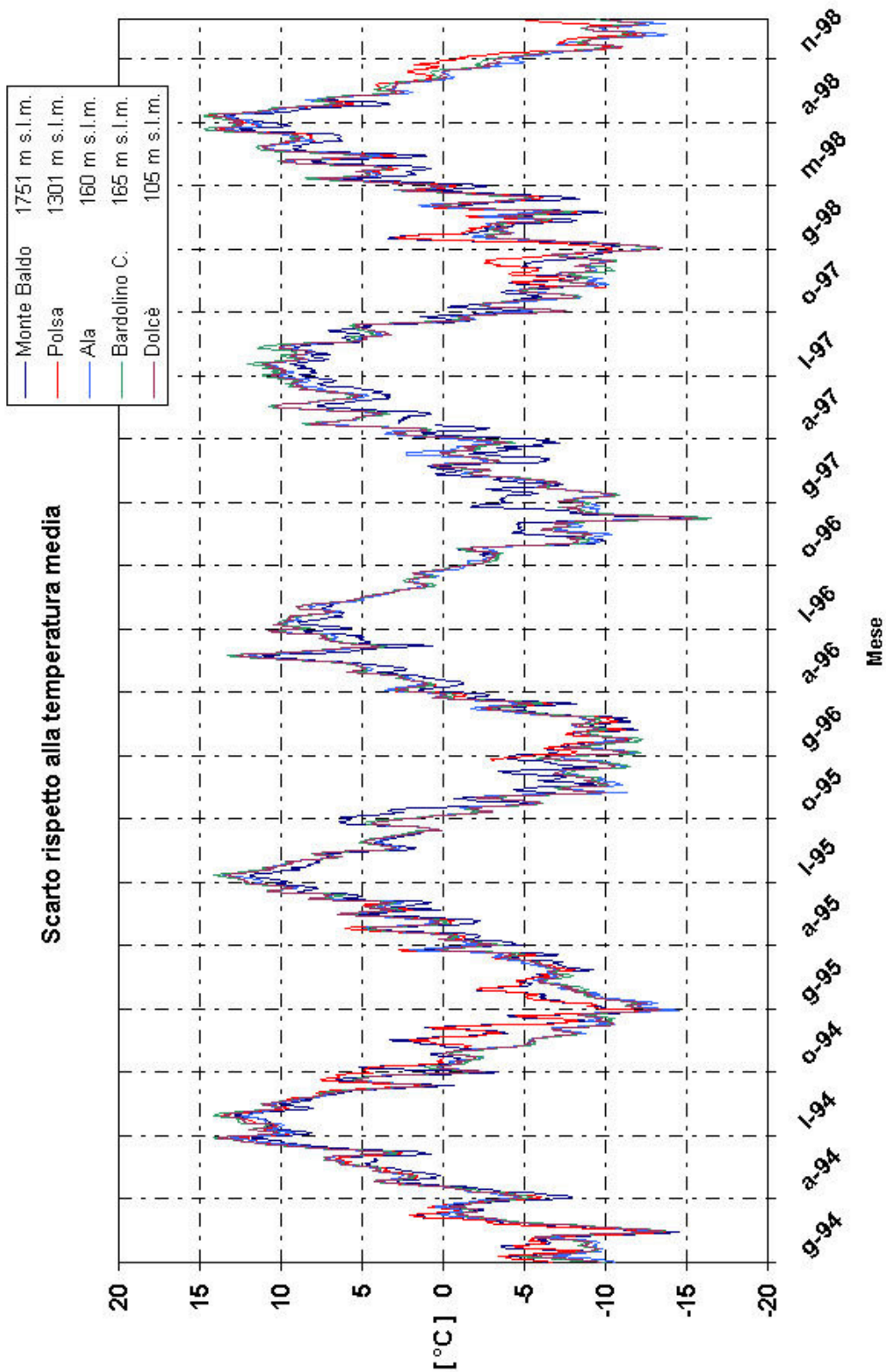


Figura 3.15. Grafico dello scarto della temperatura rispetto alla media (relativa alla stazione).

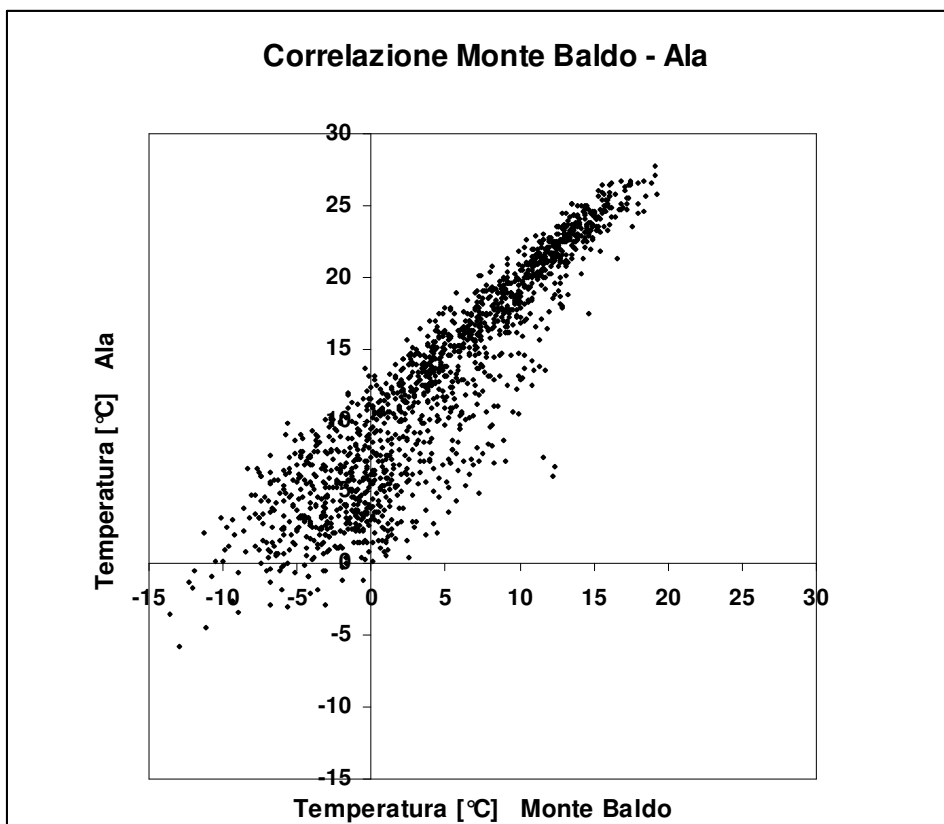
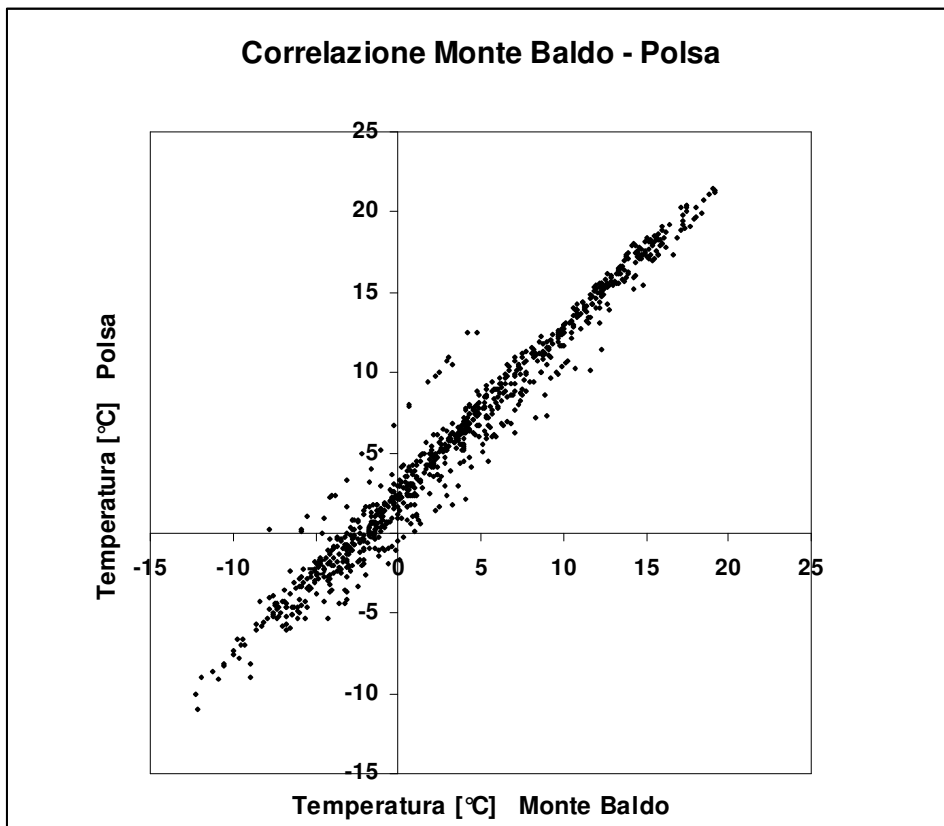


Figura 3.16. Correlazione tra le stazioni (Monte Baldo con Polsa e Ala).

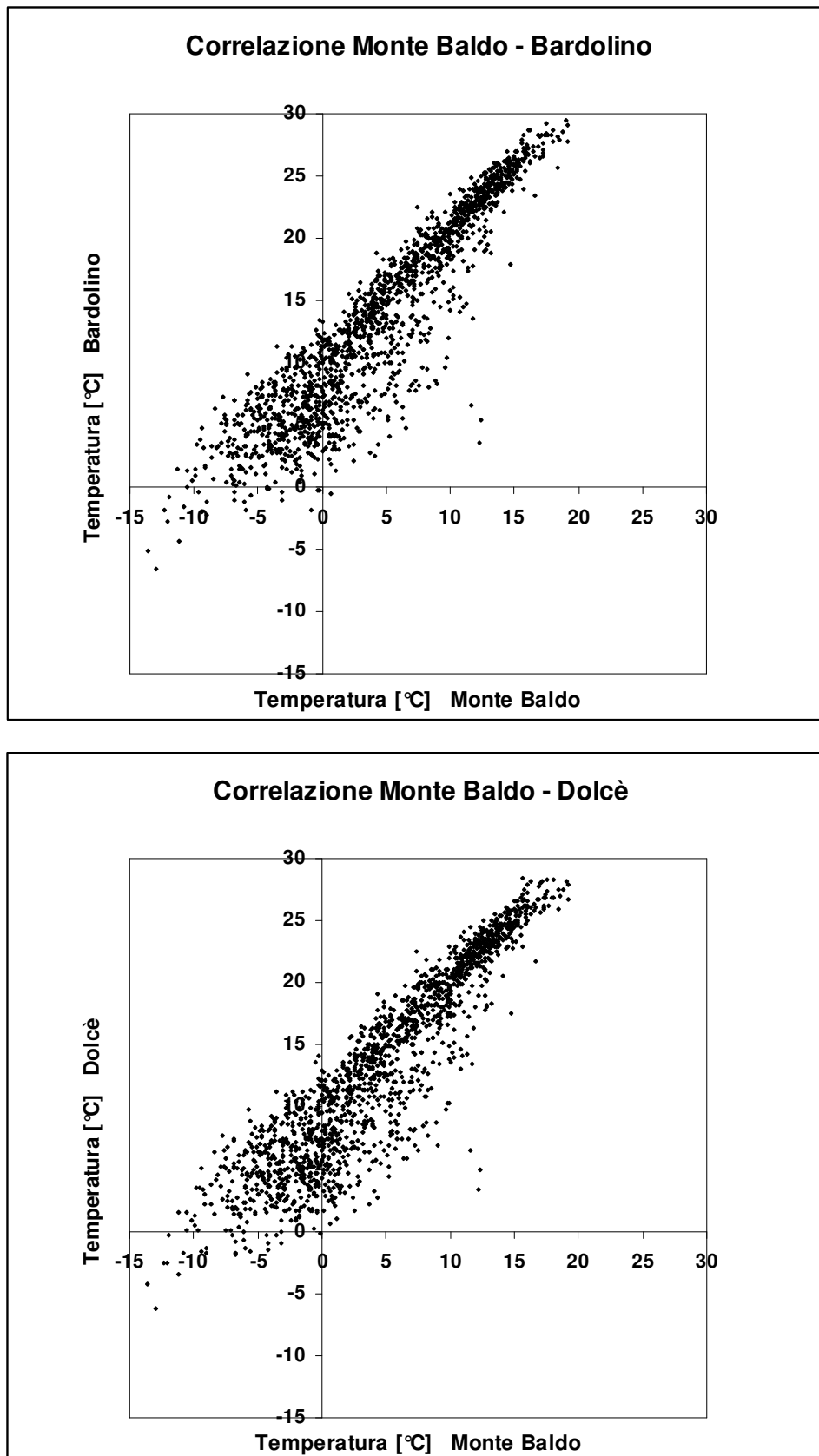


Figura 3.17. Correlazione tra le stazioni (Monte Baldo con Bardolino e Dolcè).

Vento

Le circolazioni atmosferiche nell'area di studio sono fortemente condizionate dalla conformazione del territorio, con regimi di vento locali tipici quali down-slope e up-slope winds, up-valley e down-valley winds. Nelle *Figure* dalla 3.19 fino alla 3.32 si possono vedere le rose dei venti e l'andamento della velocità nel tempo nei siti: sono stati scelti anni rappresentativi, a causa della grande mancanza di dati per alcune stazioni (Polsa soprattutto). Questi diagrammi sono accompagnati da un'immagine dell'intorno della stazione considerata: è possibile vedere immediatamente la stretta relazione tra circolazione dei venti e orografia del sito. Le rose dei venti e i grafici rappresentanti l'andamento della velocità del vento di ogni anno per ognuna delle stazioni si possono trovare nell'Appendice C. Un'altra caratteristica che è subito evidente è la differenza di scala nei valori della velocità del vento: al Monte Baldo va da 0 m·s⁻¹ a 24 m·s⁻¹, mentre nelle altre stazioni non supera i 10 m·s⁻¹; nel caso di Dolcè non si va oltre i 3 m·s⁻¹. In *Tabella 3.10.* sono riportate velocità media, massima (picco) e minima per ogni stazione ed i giorni di calma di vento, ovvero le giornate in cui la velocità non ha superato i 0,5 m·s⁻¹. Si può notare la grande differenza di valori tra la stazione più alta e tutte le altre, oltre al fatto di avere totale assenza di giorni di calma (velocità minima di 1,91 m·s⁻¹). La velocità media è calcolata senza i valori dei giorni di calma. L'analisi dei dati di vento della zona è supportata dallo studio relativo alla risorsa eolica realizzato Bissoli (2004).

	Velocità del vento [ms ⁻¹]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo 1994	Polsa 1998	Ala 1994	Bardolino 1997	Dolcè 1997
media	7,24	1,81	1,71	2,12	1,00
massima	22,44	6,63	3,46	8,48	2,93
minima	1,91	0,10	0,18	0,10	0,16
giorni di calma	--	41	10	31	30

Tabella 3.10. Valori massimi, minimi e medi della velocità del vento; sono riportati anche i giorni di calma di vento.

Nella stazione di Monte Baldo il vento arriva principalmente da Ovest - SudOvest, e in piccola percentuale anche dalla direzione opposta, Est - NordEst: esiste un intenso flusso d'aria (media $7,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) che valica normalmente la Colma di Malcesine. Il Monte Baldo è sottoposto all'influenza delle masse d'aria provenienti da Sud, soprattutto nei mesi più caldi e di quelle che arrivano da Nord, in particolare d'inverno (Bissoli, 2004). La sua posizione geografica lo rende soggetto anche a circolazioni locali come si dimostrerà dalle curve odografe che saranno discusse nel Capitolo 4.3. La posizione della stazione può indurre una deviazione del flusso: si trova, infatti, su una sella, tra due cime una posta a Nord - Est e una a Sud - Ovest (comunque assai distanti). Il flusso potrebbe quindi subire una deviazione in direzione Sud - Ovest oppure Nord - Est (Bissoli, 2004).

A Polsa invece la direzione prevalente di provenienza risulta da Sud. In realtà anche qui si presenta un diverso comportamento stagionale: in inverno sono infatti rilevanti anche venti provenienti da Nord - Est. La situazione può essere spiegata con la posizione in cui si trova la stazione. Essa è posta a metà del versante rivolto a Nord - Ovest, quindi poco esposto alla radiazione solare. Saranno quindi più influenti i venti down-slope, che soffieranno verso Nord - Ovest seguendo il pendio, e quindi con provenienza da Sud - Est. Il vento proveniente da Nord risulta più intenso in inverno. Generalmente le velocità non risultano molto alte. Evidentemente la zona non è molto esposta alle correnti: il flusso principale tende a canalizzarsi lungo la Val d'Adige, tralasciando le vallate laterali, dove quindi prevalgono le circolazioni locali (Bissoli, 2004).

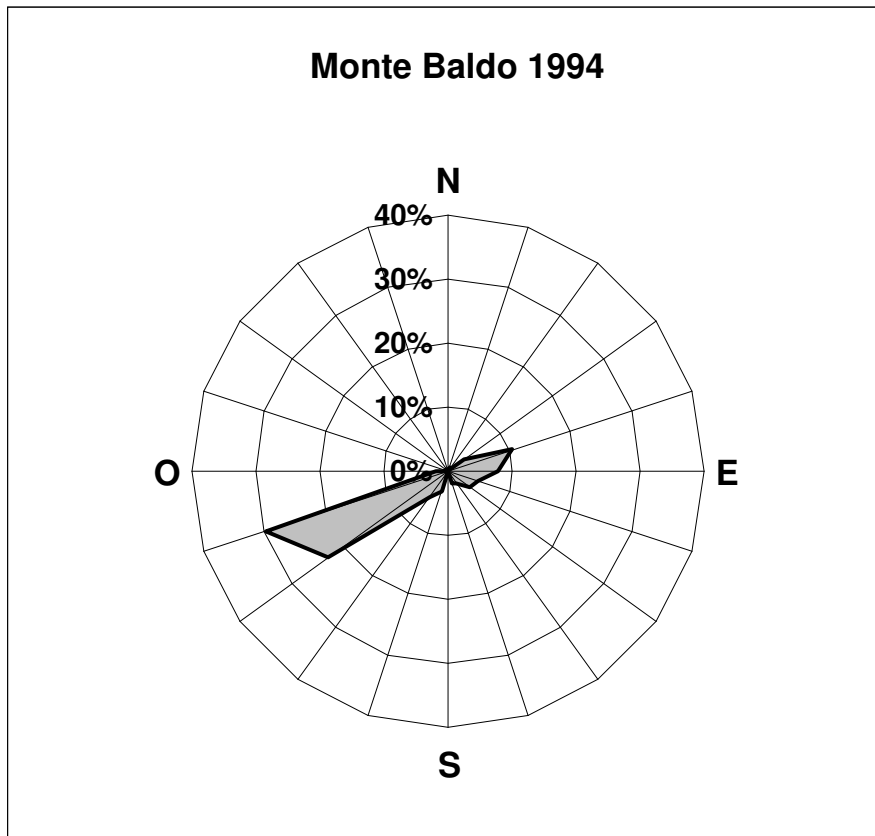


Figura 3.18. Rosa dei venti nella stazione Monte Baldo nel 1994.



Figura 3.19. La Colma di Malcesine, dove è situata la stazione Monte Baldo (punto blu, vista da Nord - Est) (immagine tratta da Google.Earth).

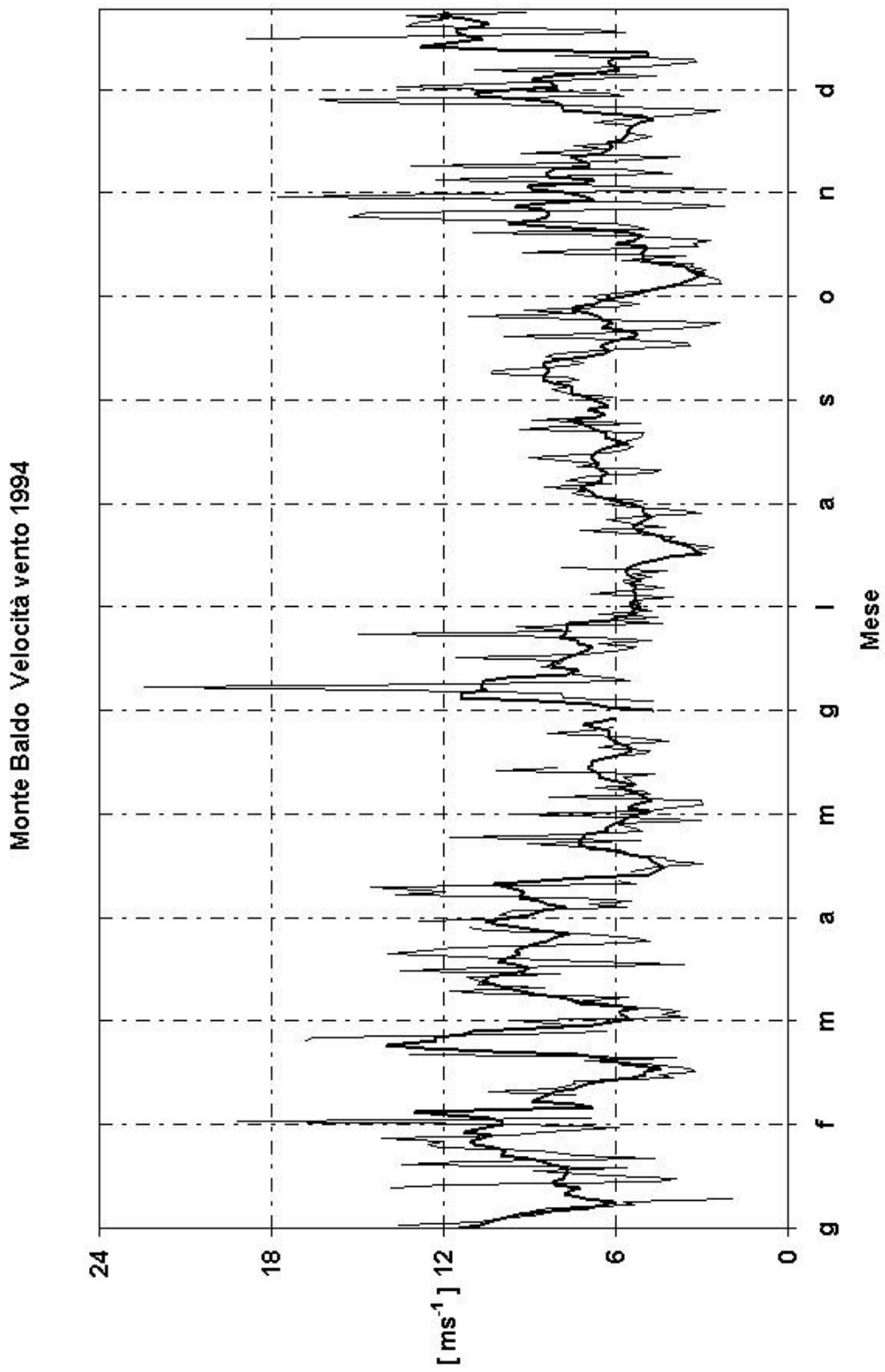


Figura 3.20. Velocità del vento nella stazione Monte Baldo nel 1994.

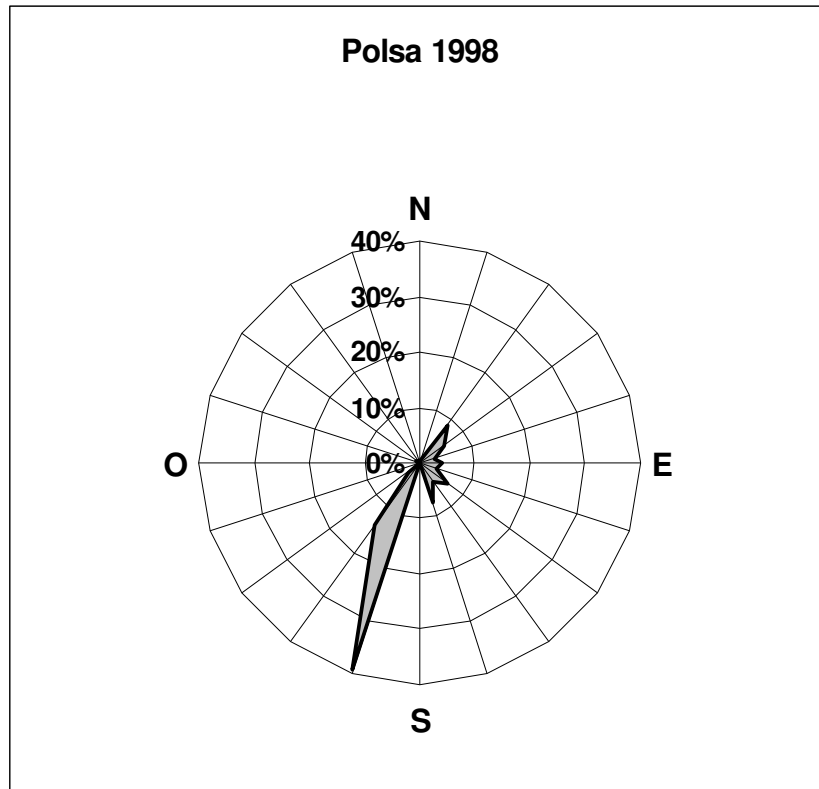


Figura 3.21. Rosa dei venti nella stazione Polsa nel 1998.



Figura 3.22. Il Monte Vignoletto, dove è situata la stazione di Polsa (punto blu, vista da Nord - Ovest) (immagine tratta da Google.Earth).

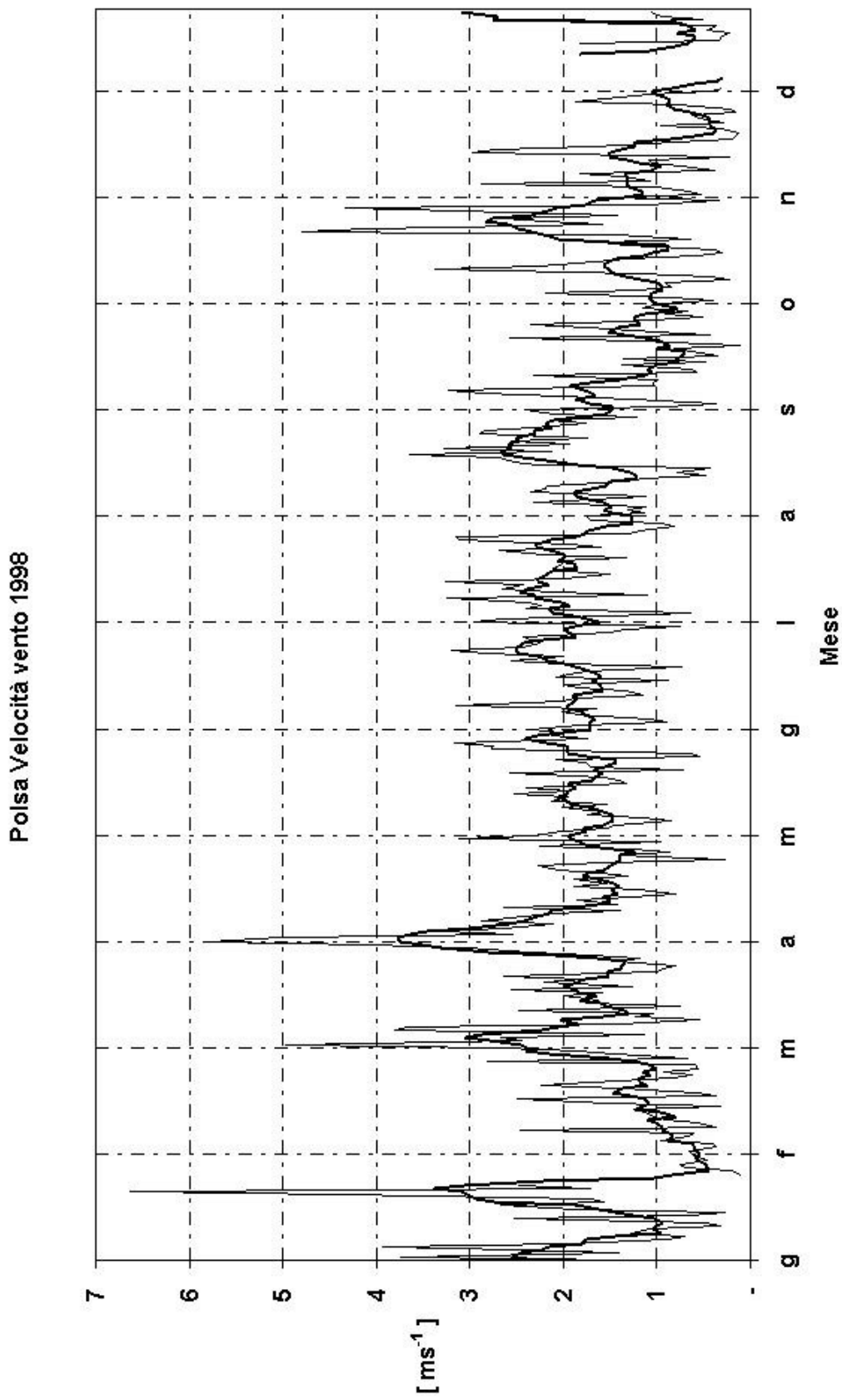


Figura 3.23. Velocità del vento nella stazione Polso nel 1998.

Ad Ala si evidenzia come il vento provenga prevalentemente da Nord - Est, anche se sono presenti alcune componenti da Sud - Ovest. Analizzando più nel dettaglio i risultati, si nota che la provenienza da Nord-Est si presenta soprattutto in inverno, mentre quella Sud - Ovest in estate (Bissoli, 2004). Ala è infatti situata nella valle, quindi risentirà dell'influenza delle circolazioni diurne. Durante l'inverno, prevale nettamente la direzione lungo la valle down-valley, invece, in estate, sono rilevanti anche i venti up-valley, sebbene la loro influenza sia ridotta: Ala si trova in una valle chiusa, anche nei mesi più caldi l'esposizione al sole è limitata (si veda la successiva trattazione della radiazione solare).

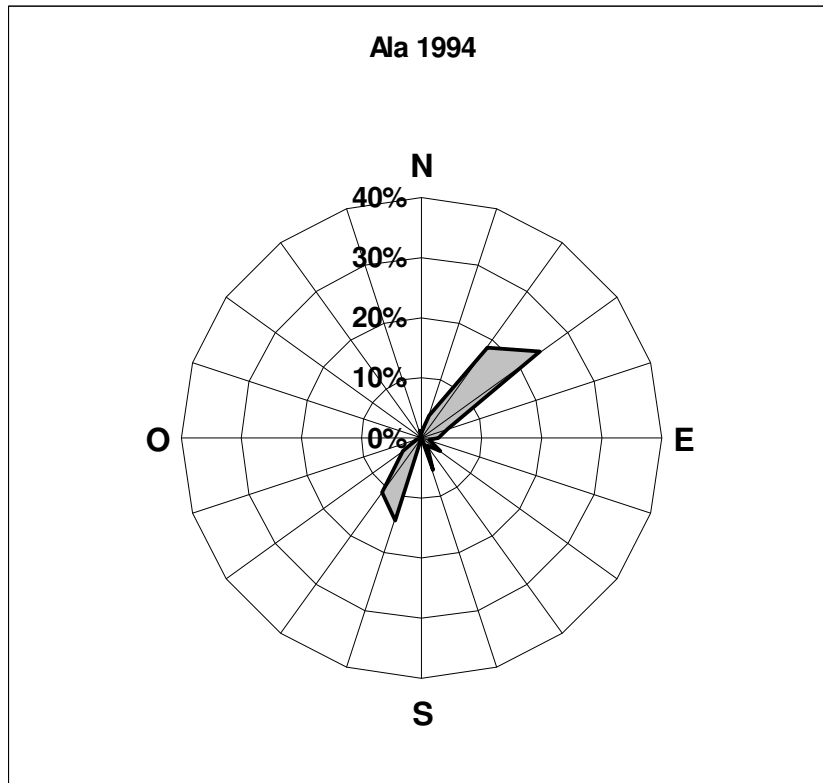


Figura 3.24. Rosa dei venti nella stazione Ala nel 1994.

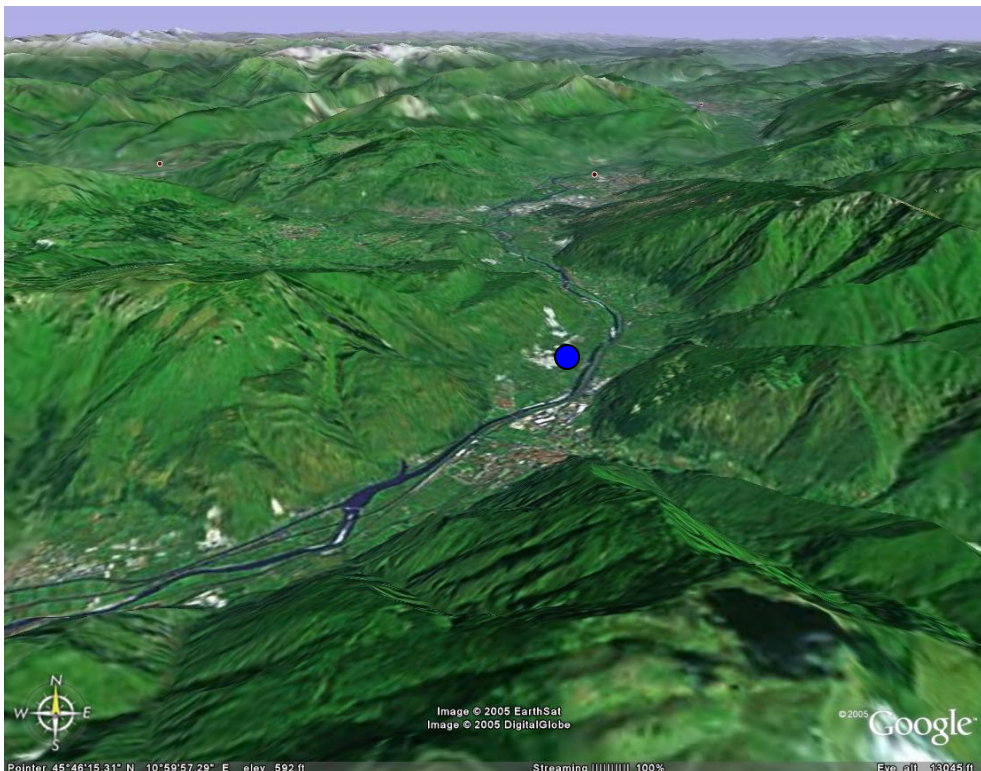


Figura 3.25. La Val Lagarina con Ala al centro e la stazione (punto blu, vista da Sud) (immagine tratta da Google.Earth).

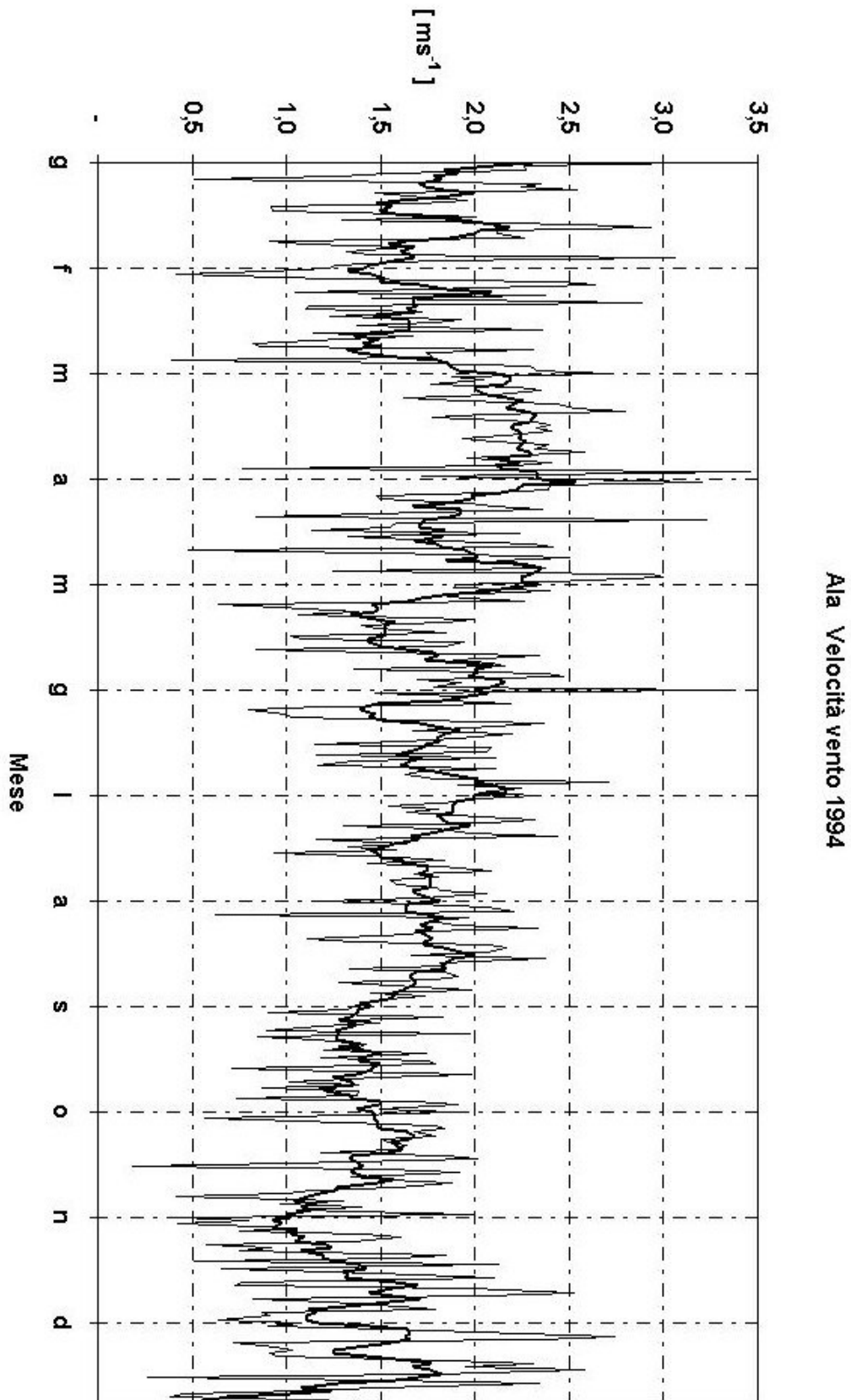


Figura 3.26. Velocità del vento nella stazione Ala nel 1994.

Nella stazione di Bardolino il vento proviene prevalentemente da Nord - Est in linea con quanto trovato per le stazioni poste in Val d'Adige. Il comportamento è simile in tutte le stagioni: sembrerebbe quindi che le circolazioni diurne non siano molto influenti, anche se in quest'area potrebbe essere rilevante l'influsso del Garda. Sono quasi assenti venti con provenienza da Sud e le velocità sono in tutte le stagioni prevalentemente inferiori ai $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ associate a venti provenienti da Nord - Est. La presenza di un edificio così vicino alla stazione (si veda la descrizione della stazione al Paragrafo 3.1.) può alterare i valori delle velocità. E' da notare la piccola percentuale di vento proveniente da Sud - Est, direzione da cui spira lo Scirocco, segnalato su molte carte topografiche del Garda e descritto anche da Kappenberger e Kerkmann (1998): quando un centro depressionario è stazionario sul Golfo di Genova, provoca un sollevamento dell'aria calda, e nuova aria viene richiamata da Sud - SudEst.

Anche nel caso di Dolcè la provenienza prevalente è da Nord - Est: Dolcè infatti si trova in Val d'Adige e, come visto per Ala, il vento segue la direzione della valle. Le velocità si mantengono piuttosto basse, con valori più frequenti inferiori ai $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Le misure potrebbero comunque essere poco attendibili: prima di tutto perché lo strumento è posto ad una altezza dal suolo di solo 2 m, inoltre si trova in un'area depressa, vicina ad abitazioni e alberi. Si può quindi pensare che la percentuale delle calme risulti sovrastimata (Bissoli, 2004).

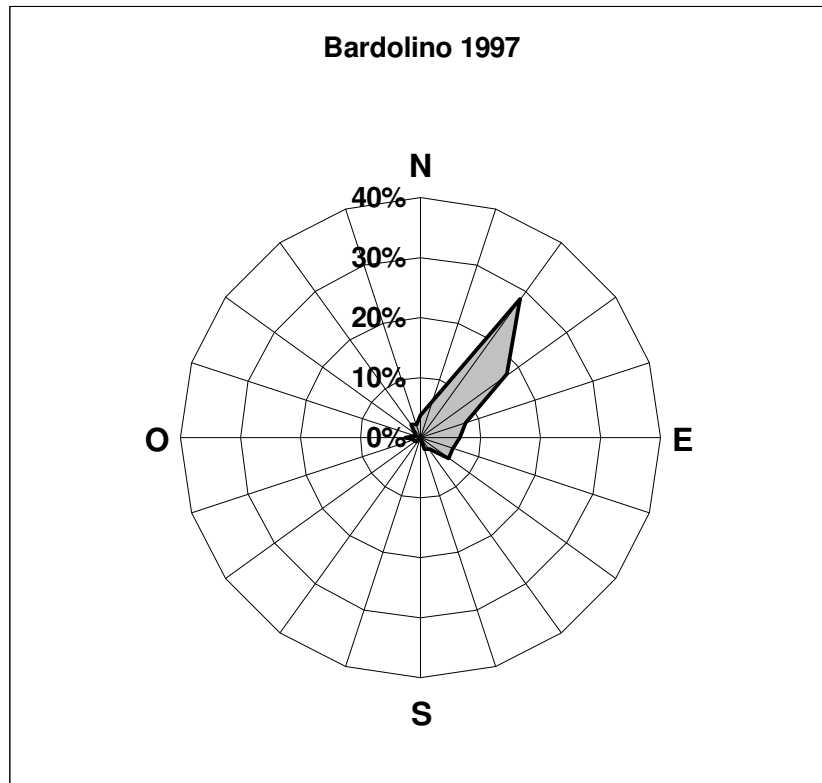


Figura 3.27. Rosa dei venti nella stazione Bardolino nel 1997.

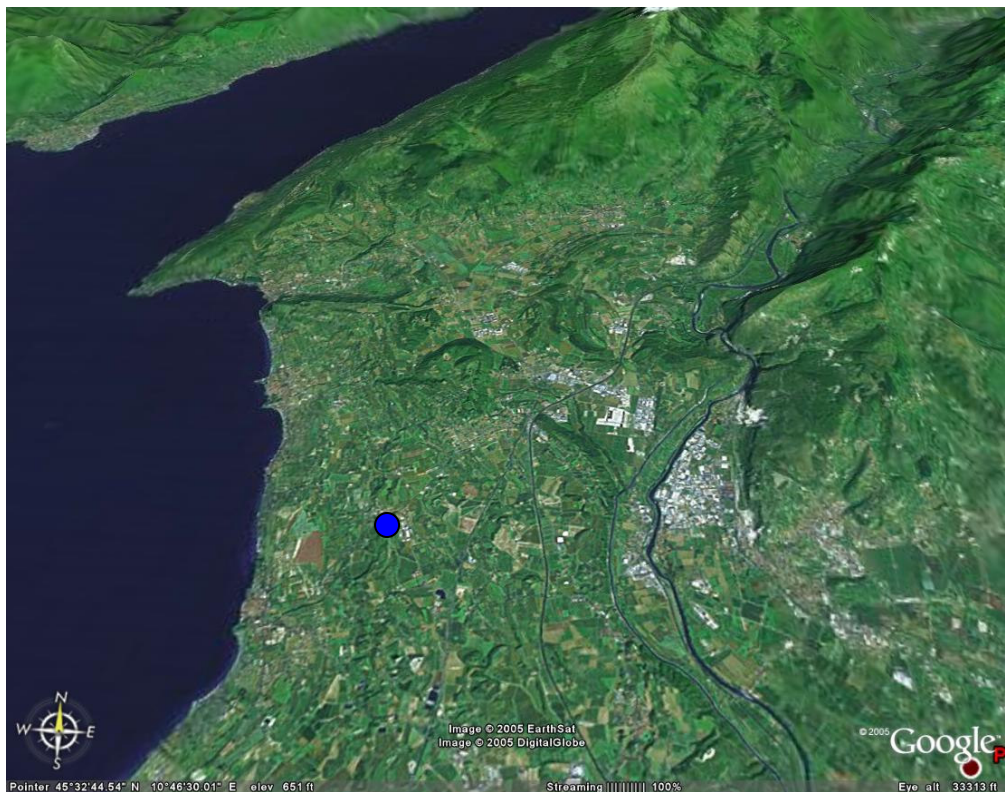


Figura 3.28. La stazione di Bardolino (punto blu, vista da Sud) (immagine tratta da Google.Earth).

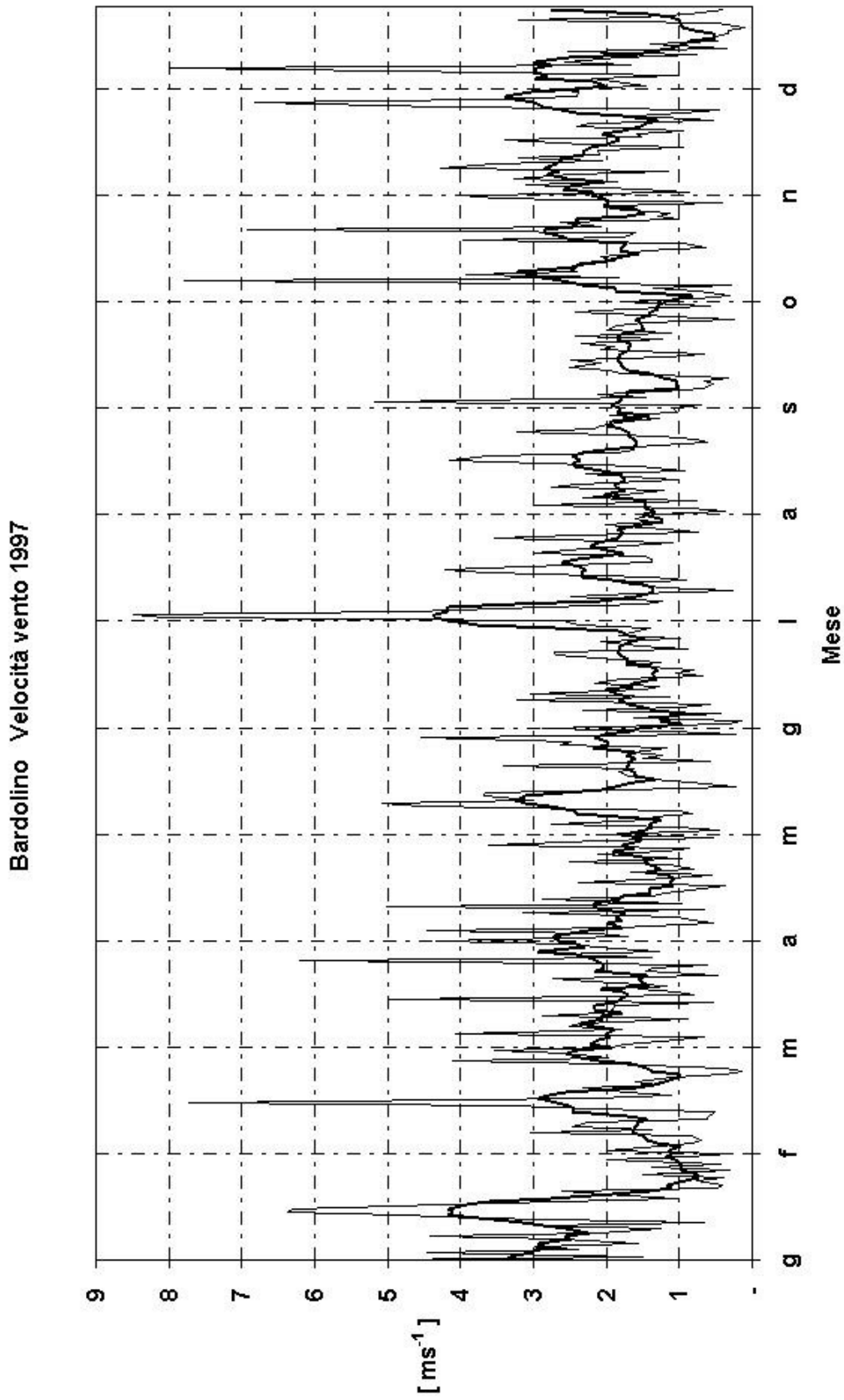


Figura 3.29. Velocità del vento nella stazione Bardolino nel 1997.

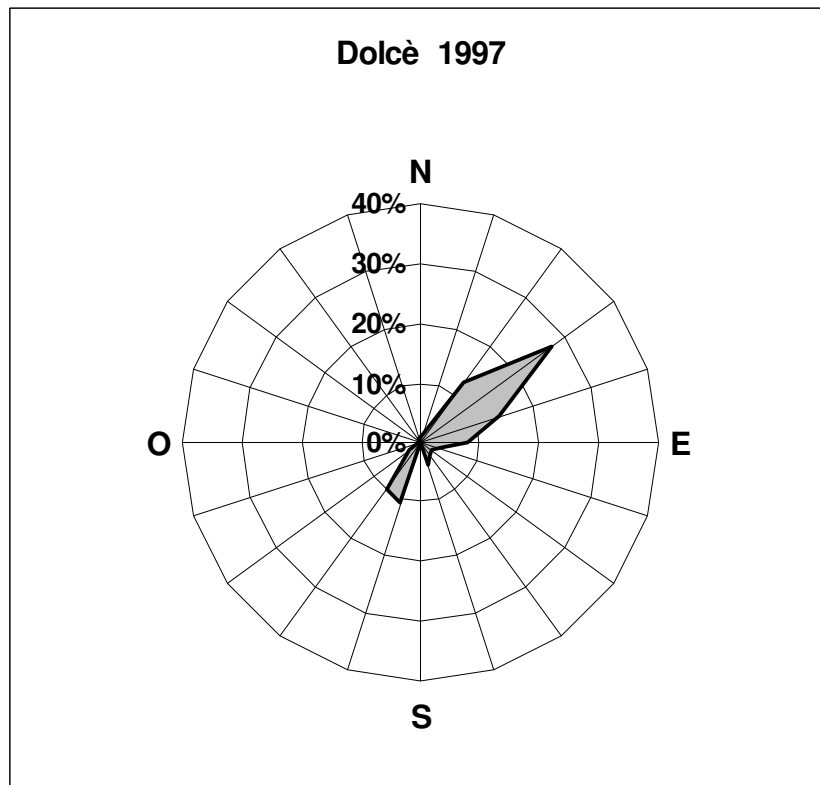


Figura 3.30. Rosa dei venti nella stazione Dolcè nel 1997.



Figura 3.31. La stazione di Dolcè allo sbocco della Val Lagarina (punto blu, vista da Sud) (immagine tratta da Google.Earth).

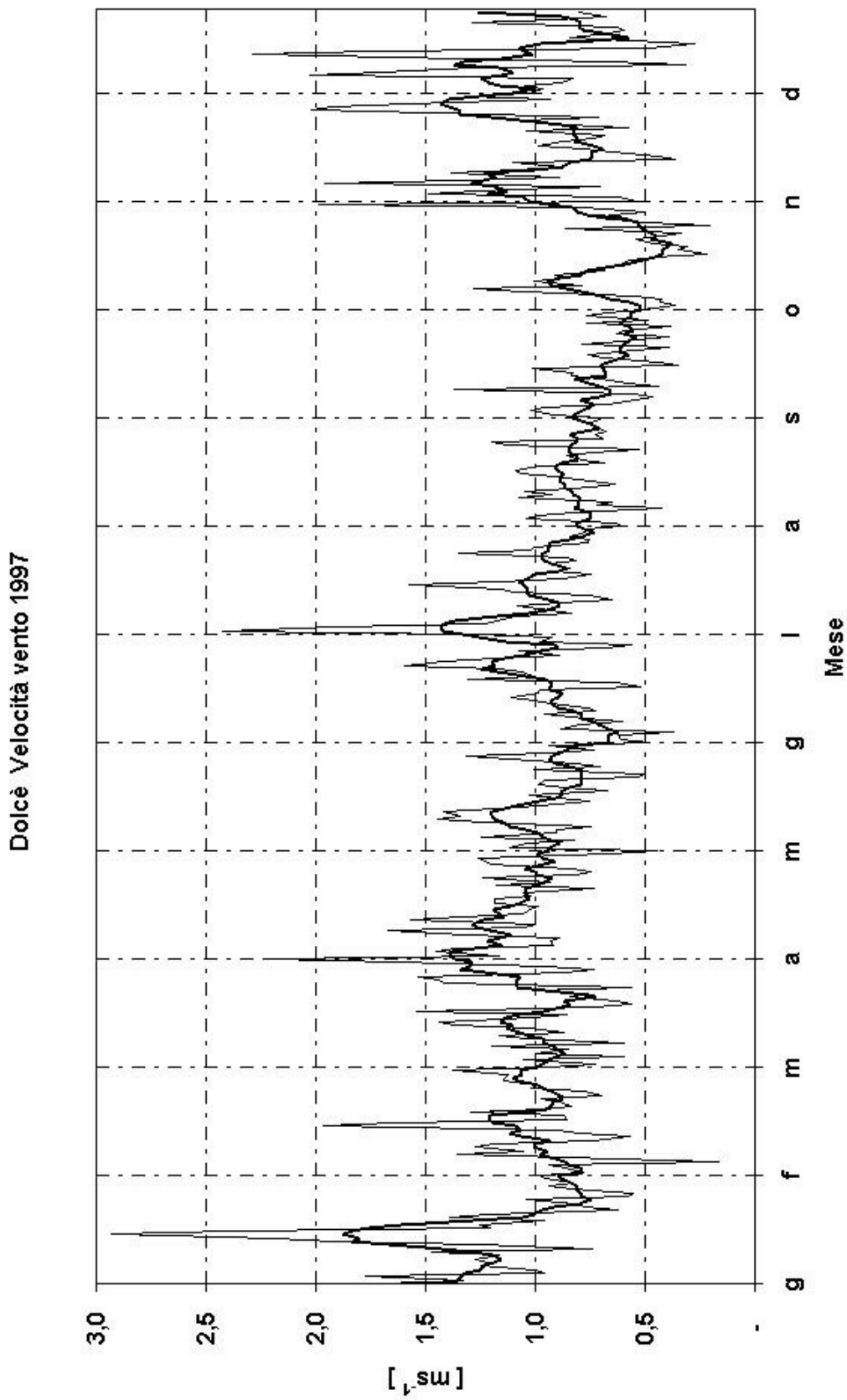


Figura 3.32. Velocità del vento nella stazione Dolcè nel 1997.

Radiazione solare

Nelle *Figure 3.36 e 3.37* sono rappresentate la radiazione massima media giornaliera e l'integrale medio giornaliero della radiazione nel corso dei 5 anni esaminati. Gli stessi grafici, specifici per ognuna delle stazioni si trovano in Appendice D. Nelle *Tabelle 3.11 e 3.12* sono riportati i valori di radiazione massima e dell'integrale di radiazione, medi e massimi per ogni sito.

	Radiazione cumulata [MJm ⁻²]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
media	14,24	13,75	9,10	14,38	12,02
massima	32,91	30,01	22,47	33,22	31,17

Tabella 3.11. Valori medi e massimi della radiazione incidente massima.

	Radiazione massima [Wm ⁻²]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
media	706,64	577,22	424,08	598,83	551,25
massima	1279,00	1052,78	836,11	1128,00	1098,30

Tabella 3.12. Valori medi e massimi dell'integrale giornaliero della radiazione incidente.

Si deve subito segnalare che la stazione di Ala ha avuto negli anni dei problemi di taratura del radiometro, infatti, si trovano fra i dati (specialmente nel 1998) valori estremamente bassi, che sono spiegabili solo considerando un errore di misura del sensore. La radiazione ha valori piuttosto differenti nelle 5 stazioni. La radiazione massima media e di picco è più alta in Monte Baldo: in virtù della quota del luogo (1751 m s.l.m.), ci avviciniamo alle condizioni di atmosfera libera, per cui il flusso di energia solare incidente registrabile è maggiore. Un fattore di rilievo è anche l'esposizione del sito: alla Colma di Malcesine (Monte Baldo, 1751 m s.l.m.) vi sono pochi ostacoli, ma bisogna dire che l'unico promontorio si trova proprio a Sud della stazione (*Figura 3.19* a pagina 82 e *figura 3.33*). Inoltre la stazione non è esattamente sul crinale, ma leggermente spostata in basso sul lato orientale. Abbassandoci in quota i valori diminuiscono, e già alla Polsa (1301 m s.l.m., 450 m più in basso), i

valori sono minori, specialmente quello di picco. Questo probabilmente è dovuto al fatto che nelle ore di maggiore insolazione (intorno a mezzogiorno), il sole venga ostacolato dal monte Vignoletto (1391 m s.l.m.), le cui creste sono proprio a Sud rispetto alla stazione (*Figura 3.22* a pagina 84). Tra i valori registrati in pianura si devono mettere in evidenza due particolarità. Ad Ala si riscontrano i valori più bassi di radiazione: la ragione è molto probabilmente la posizione geografica e l'orografia (*Figura 3.25* a pagina 87). La Val Lagarina è assai stretta ad Ala (come osservato anche nel caso del vento), inoltre presenta una curvatura in direzione Sud - Ovest. Le alte pareti dei rilievi circostanti impediscono ai raggi solari di arrivare in valle per gran parte della giornata; in funzione naturalmente della stagione tale influenza sarà più o meno incisiva.



Figura 3.33. Veduta della stazione Monte Baldo verso Sud (nel cerchio) (fotografia scattata il 28/07/2005).

Nelle *Figure 3.34* e *3.35* sono rappresentati l'orizzonte visibile dalla stazione, l'orario di alba e tramonto e la durata del giorno nel sito. Questi valori dipendono dall'orografia della zona, e si può osservare come in effetti l'orizzonte visibile sia piuttosto alto tra Sud - Est e Sud - Ovest: la durata dell'irradiazione solare varia durante l'anno e non è mai molto lunga. In inverno il giorno dura circa 5 ore, mentre in estate per brevi periodi arriva

circa 11 ore. Si devono comunque ricordare anche i probabili problemi di taratura del sensore in questa stazione (come detto in precedenza).

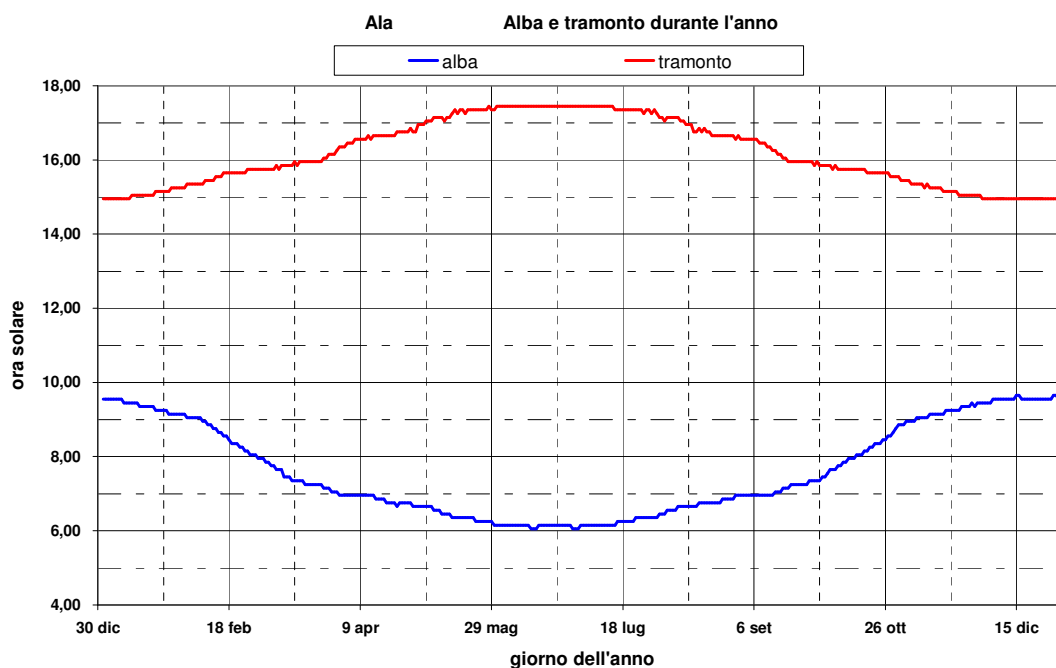
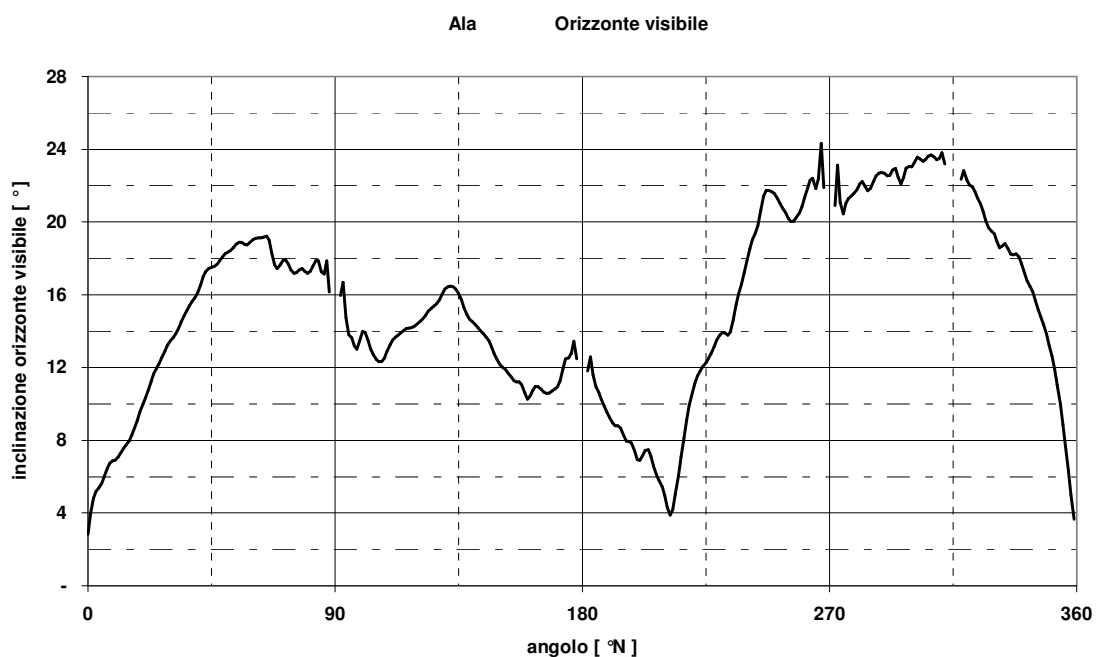


Figura 3.34. Stazione di Ala: orizzonte visibile (espresso in gradi rispetto all'orizzontale), orario di alba e tramonto durante l'anno.

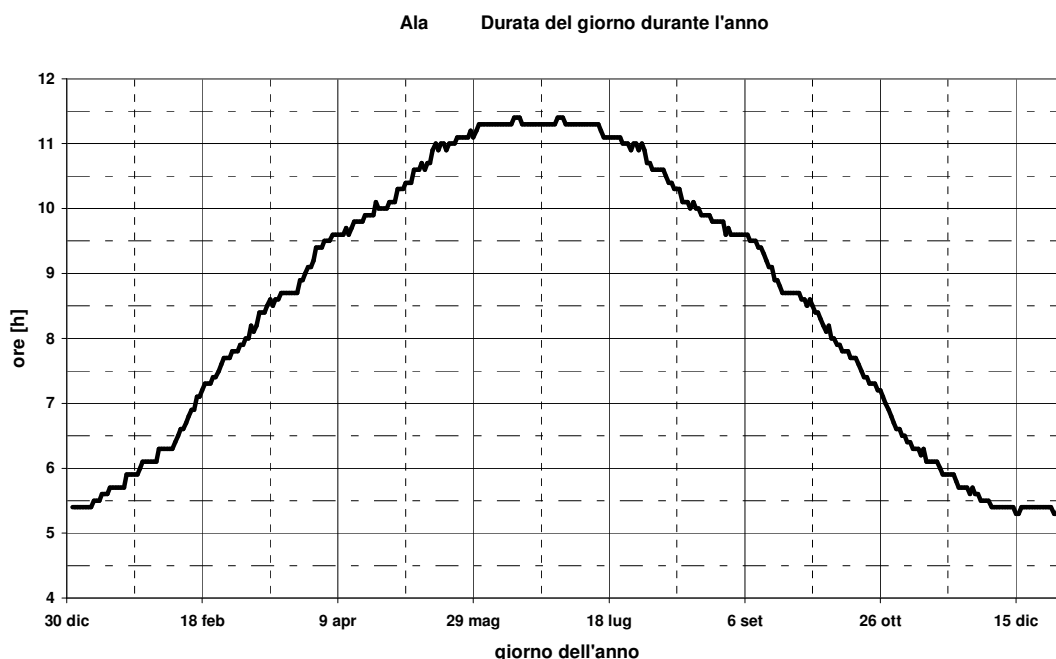


Figura 3.35. Stazione di Ala: durata del giorno durante l'anno.

Bardolino rappresenta un caso molto particolare: in maniera singolare vi si registrano valori confrontabili con Monte Baldo (picco) e Polsa (media). La stazione è in collina (*Figura 3.28* a pagina 90), ed ha una esposizione ottima, avendo orizzonte libero da Est a Ovest. Il valore di picco ($1128 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) è stato registrato il giorno 19 maggio 1994, probabilmente in condizioni di atmosfera particolarmente tersa: la giornata precedente e quella successiva sono caratterizzati da valori molto più bassi, in tutte le stazioni. Questo potrebbe far pensare a condizioni meteorologiche particolari, come un'alternanza di schiarite durante un periodo di cielo coperto con precipitazioni (si veda il sottoparagrafo dedicato, successivamente), per cui l'atmosfera risulta particolarmente pulita. Purtroppo i dati relativi a questi giorni mancano nella stazione di Monte Baldo, per un confronto diretto. Si deve aggiungere, infine, che la vicinanza ad un capannone potrebbe essere causa di errore: si potrebbe avere una riflessione dei raggi solari che andrebbe ad aumentare la radiazione registrata dal sensore. Dolcè è situata sul fianco occidentale dei Monti Lessini (*Figura 3.31* a pagina 92), che rappresentano un ostacolo al sole nella prima parte della giornata, come si può vedere dai valori elaborati. Osservando i valori dell'integrale giornaliero della radiazione non si trovano differenze con

quanto esposto in precedenza; la media di radiazione giornaliera (integrale) è leggermente più alta a Bardolino piuttosto che sul Baldo. Questo potrebbe dipendere dall'ostacolo rappresentato dal promontorio a Sud e alla posizione sul fianco orientale della montagna: in inverno ed al tramonto specialmente si perde una piccola frazione del flusso di energia (*Figura 3.19*, pagina 82), cosa che probabilmente non accade a Bardolino. E' da segnalare anche la possibile fonte di errore per Bardolino rappresentata dalla vicinanza al capannone.

I grafici dell'andamento della radiazione, massima e integrale giornaliero, descrivono una evoluzione stagionale dell'irraggiamento solare (*Figure 3.36 e 3.37*). Monte Baldo ha valori sempre più alti delle altre stazioni, seguita da Bardolino; Ala ha sempre i valori più bassi. Le differenze sono amplificate nei mesi estivi, a sottolineare la stretta dipendenza dalle barriere fisiche della insolazione: quando il sole si alza sull'orizzonte, le posizioni meglio esposte beneficiano di un maggiore periodo di irraggiamento, cosa che rimane preclusa ai siti più nascosti.

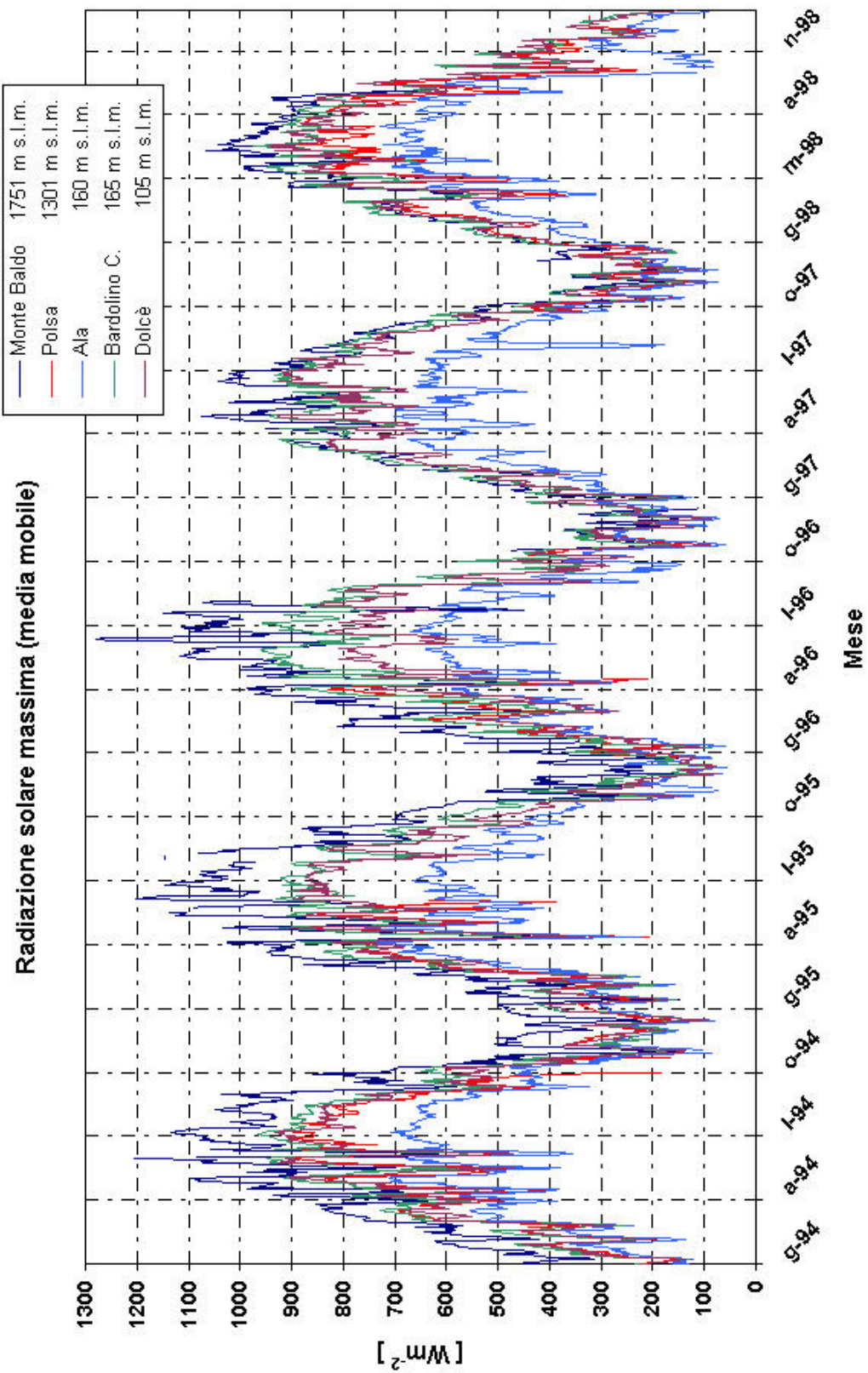


Figura 3.36. Grafico della radiazione incidente massima (media mobile).

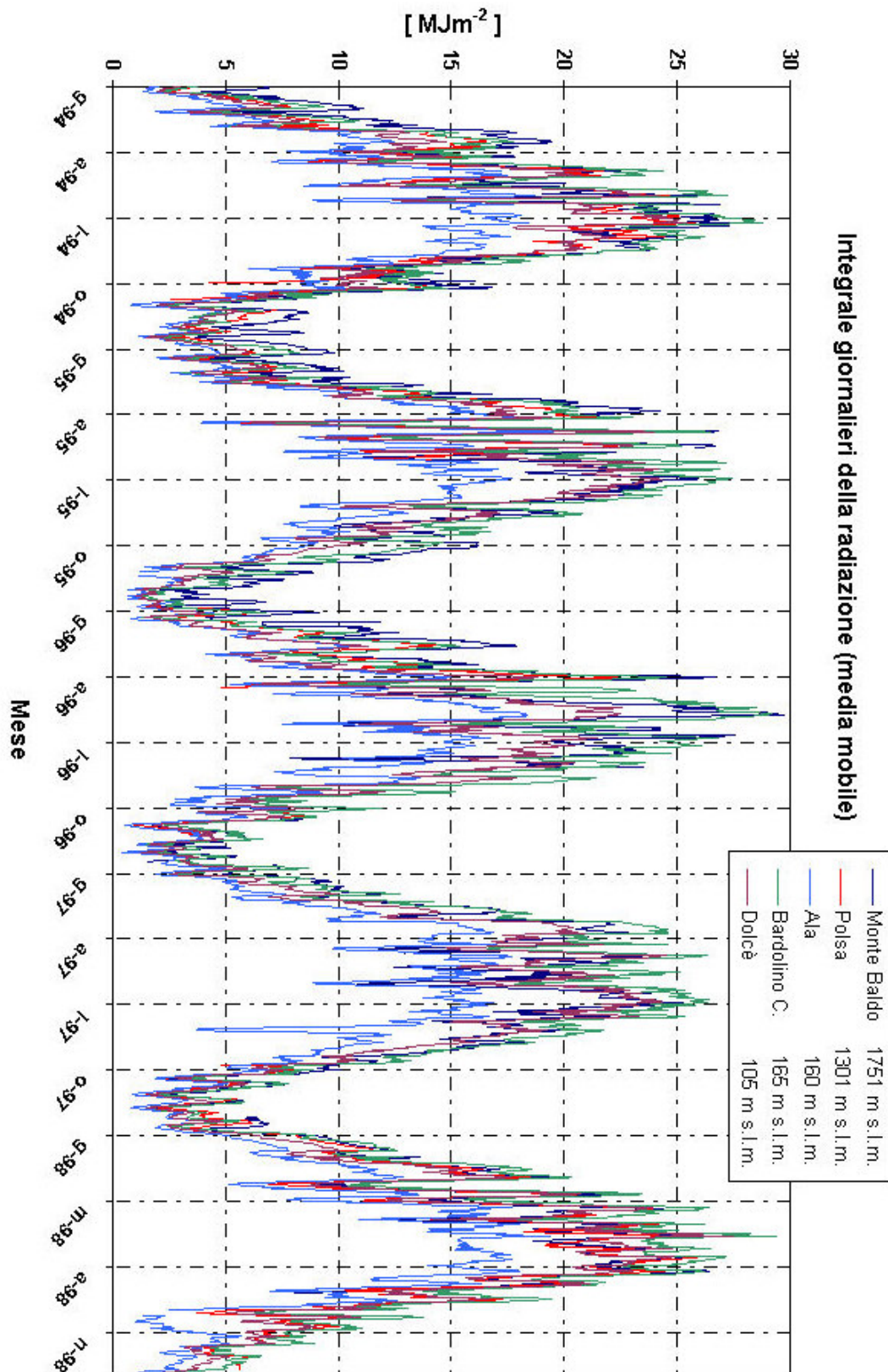


Figura 3.37. Grafico della radiazione incidente cumulata (media mobile).

Per la stazione di Monte Baldo è disponibile anche l'informazione relativa alla radiazione solare riflessa. Nelle *Figure 3.38* e *3.39* sono riportati i grafici della radiazione riflessa massima e giornaliera (integrale). Si possono osservare dei picchi nell'andamento di questa variabile concentrati nel periodo che va da gennaio ad aprile di ogni anno: possiamo associare questo sviluppo alle precipitazioni nevose. Come si verificherà nella sezione riguardante le precipitazioni, possiamo collegare i periodi in cui si hanno elevati valori di riflessione della radiazione solare con i giorni in cui il manto nevoso copre il terreno, cambiando le caratteristiche di assorbimento e riflessione del suolo. L'integrale giornaliero della radiazione riflessa definisce il periodo in cui la neve copre il terreno, mentre la radiazione riflessa massima indica i cambiamenti del manto nevoso, come la presenza di neve fresca, o la variazione di densità o del contenuto d'acqua (oltre a giornate di cielo sereno, naturalmente). L'albedo (*Figura 3.41.*), cioè il rapporto tra radiazione riflessa e quella incidente (valori integrali, secondo A.R.P.A.V., in *Figura 3.40.*), mostra ancora più chiaramente le variazioni delle caratteristiche del suolo: si passa da un valore intorno al 20% estivo, a valori che superano il 50% e sfiorano il 90% nei mesi invernali. La radiazione riflessa aumenta di 6 volte in presenza di neve al suolo. Si noti come vi sia anche una diminuzione della radiazione riflessa verso l'autunno, quando il sole è più basso sull'orizzonte e l'irraggiamento è minore. Non vi è una corrispondente tendenza per l'albedo: le condizioni di assorbimento e riflessione dell'energia nel terreno non cambiano sensibilmente.

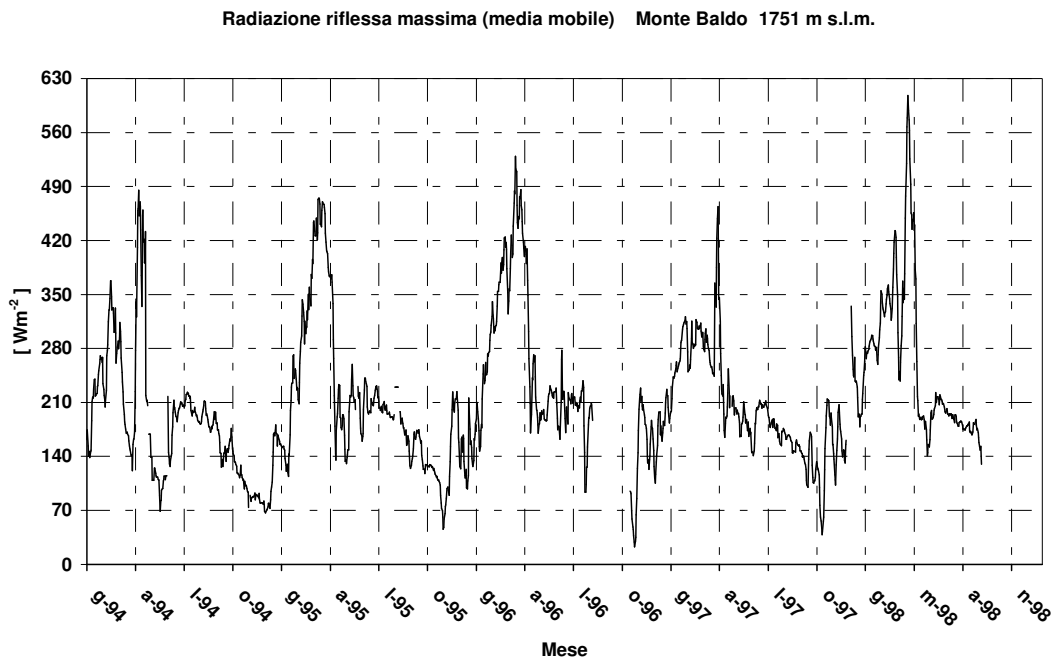


Figura 3.38. Grafico della radiazione riflessa massima al Monte Baldo.

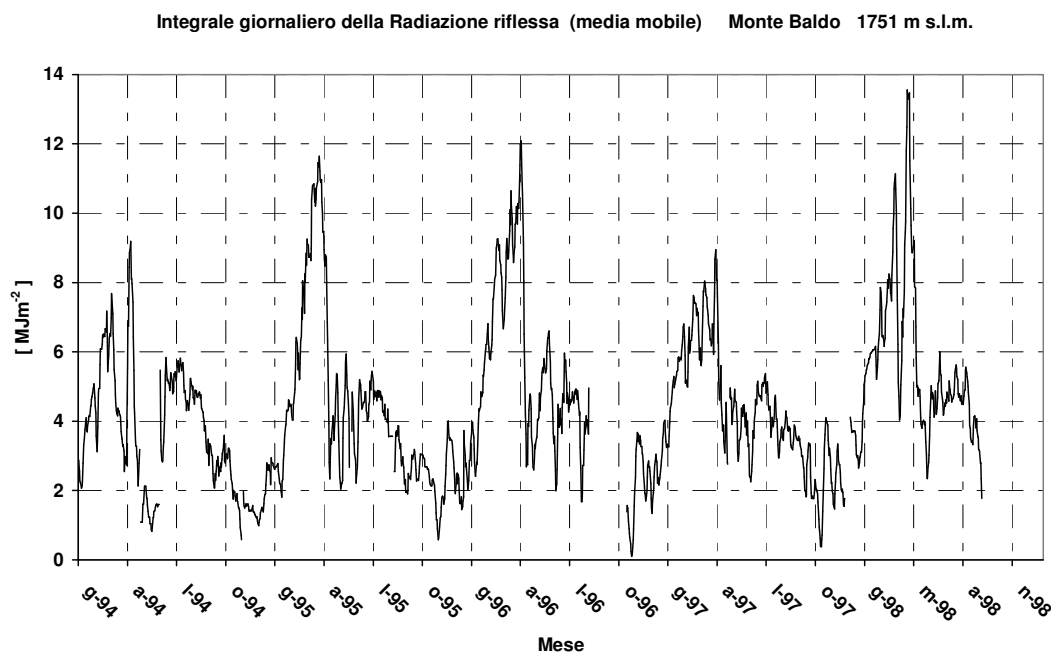


Figura 3.39. Grafico dell'integrale giornaliero della radiazione riflessa al Monte Baldo.

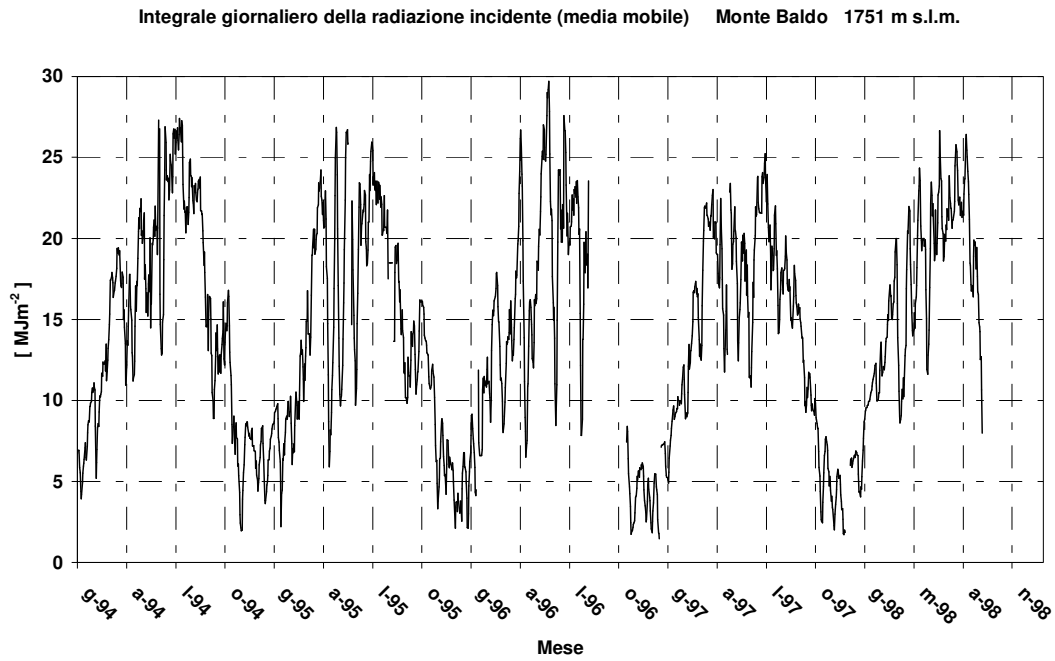


Figura 3.40. Grafico dell'integrale giornaliero della radiazione incidente al Monte Baldo.

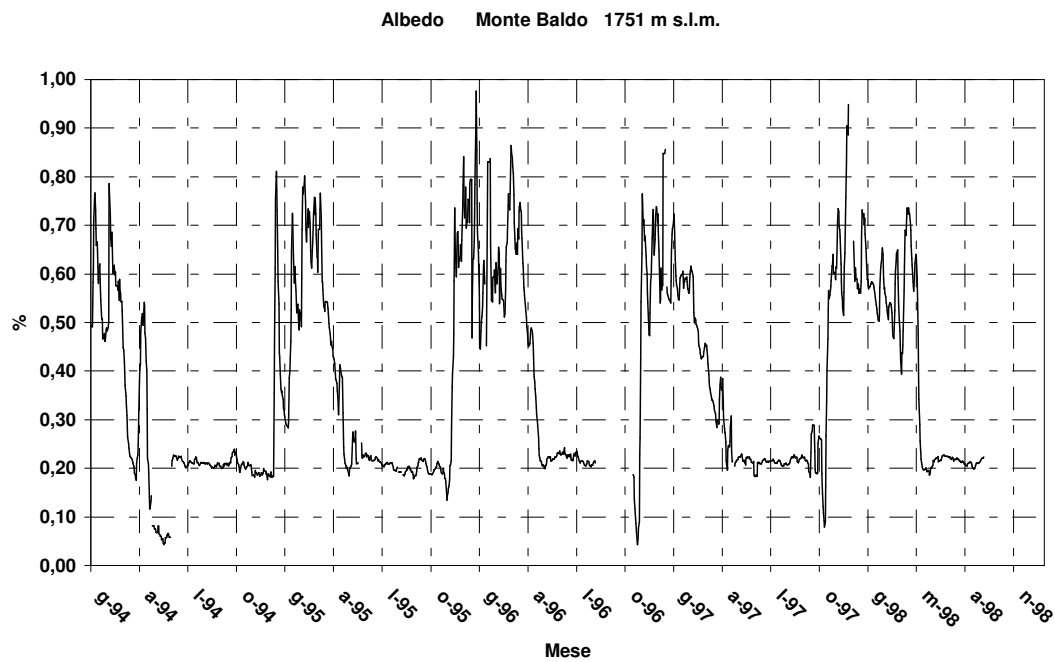


Figura 3.41. Grafico dell'albedo al Monte Baldo.

Precipitazioni

Nelle *Tabelle 3.13* e *3.14* sono riassunti i dati sulle precipitazioni annuali e massime per le stazioni. Nell'Appendice E è rappresentato mediante un grafico ad istogramma il regime delle precipitazioni per ognuno dei siti; in *Figura 4.42.* sono rappresentate le curve della precipitazione cumulata per ognuna delle stazioni. Si deve fare attenzione subito a due aspetti: al Monte Baldo manca l'informazione sulla pioggia in quanto la stazione non è munita di pluviometro, ma di nivometro; non si possono fare confronti con le altre stazioni, ma solo avere una idea indicativa (si faccia riferimento a quanto esposto nel Paragrafo 3.1.3.) sull'acqua equivalente alla precipitazione nevosa. Naturalmente la stima riguarda solo le precipitazioni nevose, quindi mancano tutti i dati relativi alla pioggia. Per Polsa si deve segnalare ancora una volta una grande mancanza di dati nell'arco degli anni, fatto che non permette un confronto reale con le altre stazioni. I valori medi di pioggia nelle stazioni in pianura sono tutti molto simili, mentre il valore massimo ad Ala (85 mm) è ben maggiore rispetto alle altre postazioni. E' difficile individuare un anno caratteristico (più o meno piovoso) per tutte le stazioni: i valori particolari (*Tabelle 3.13* e *3.14.*) non corrispondono ad uno stesso periodo, ma sono distribuiti negli anni.

Anno	Precipitazioni annuali [mm]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polso	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	271	957	930	830	232
1995	344	670	637	931	1281
1996	328	341	1004	989	1181
1997	318	383	848	625	877
1998	163	775	706	576	801
media annuale	305	638	835	800	887

Tabella 3.13. *Precipitazioni medie annuali (i valori in rosso sono relativi ad anni con percentuale di mancanza dati maggiore del 20%).*

Anno	Precipitazioni massime [mm]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	72	66	85	60	35
1995	49	80	39	52	63
1996	43	31	48	51	53
1997	61	87	50	65	45
1998	46	81	39	30	65
massima assoluta	74	87	85	65	65

Tabella 3.14. Precipitazioni massime annuali (i valori in rosso sono relativi ad anni con percentuale di mancanza dati maggiore del 20%).

Le precipitazioni appaiono distribuite piuttosto uniformemente durante tutte le stagioni, durante l'autunno si osserva un debole incremento nelle curve di *Figura 3.42.*, a segnalare un periodo un po' più piovoso (anche se non una vera stagione delle piogge).

Considerando la mancanza di molti dati per Monte Baldo soprattutto, ma anche per Polsa, si può comunque desumere dai valori calcolati che non vi sono grosse diversità in montagna rispetto alla pianura; dunque si potrebbe concludere che la mancanza d'acqua sul Monte Baldo non è questione di scarsità di precipitazioni. E' anche possibile che si presentino dei periodi con grandi precipitazioni, seguiti da periodi siccitosi, più o meno lunghi per cui la risorsa idrica non risulta sempre disponibile. Per esserne certi però, si dovrebbero avere informazioni chiare anche per quanto riguarda le altre stagioni, non solo quella invernale. Se si confrontano i dati delle stazioni di valle con la distribuzione delle precipitazioni annuali sulla regione alpina (carta elaborata da Christoph Schär e Christoph Frei, 1998, in *Figura 3.43*), si può vedere che i valori sono conformi, ma in media leggermente inferiori. Si potrebbe ipotizzare uno stesso comportamento per le stazioni di montagna.

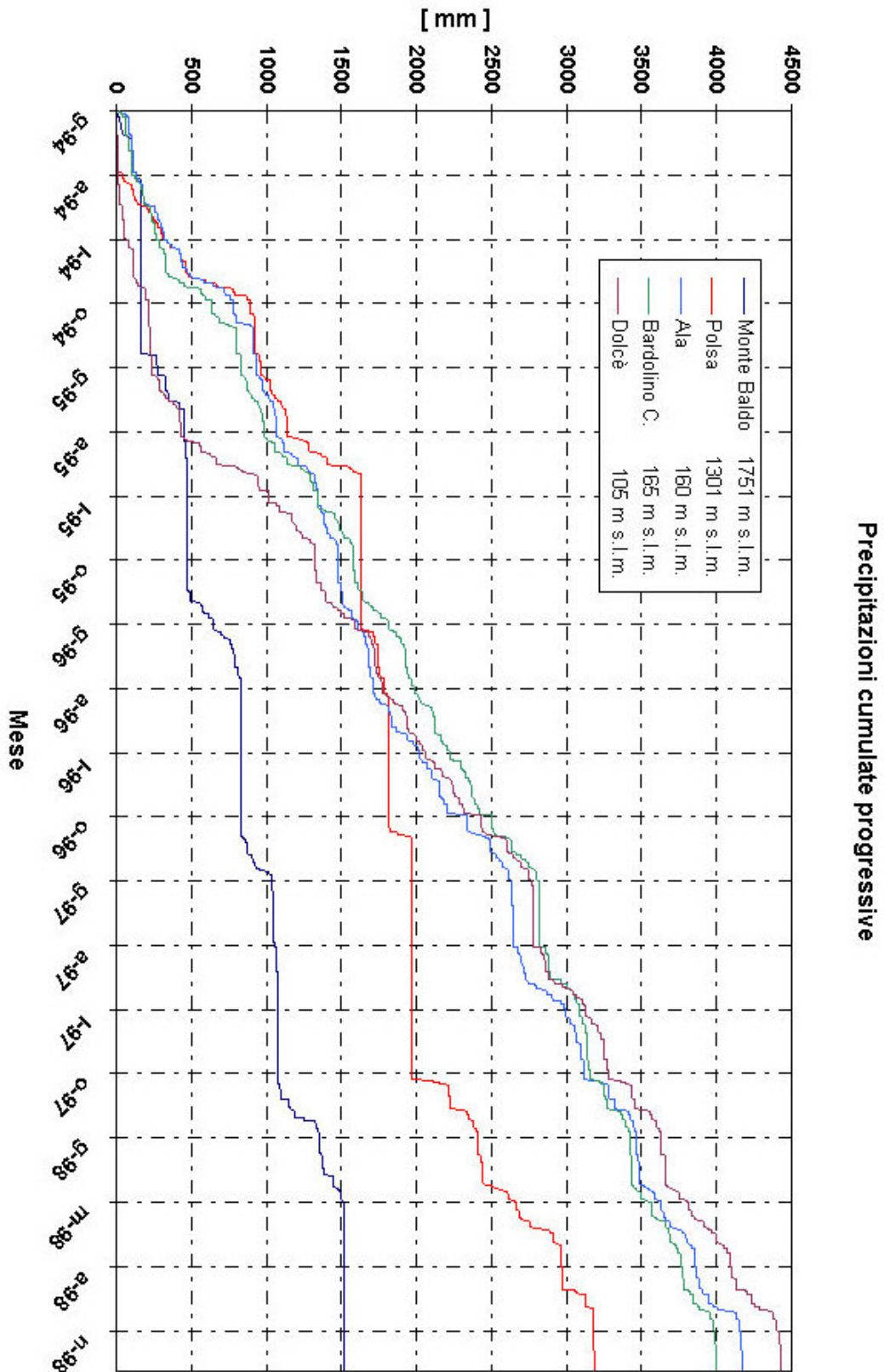


Figura 3.42. Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo dal 1994 al 1998 per ognuna delle stazioni nella regione di studio.

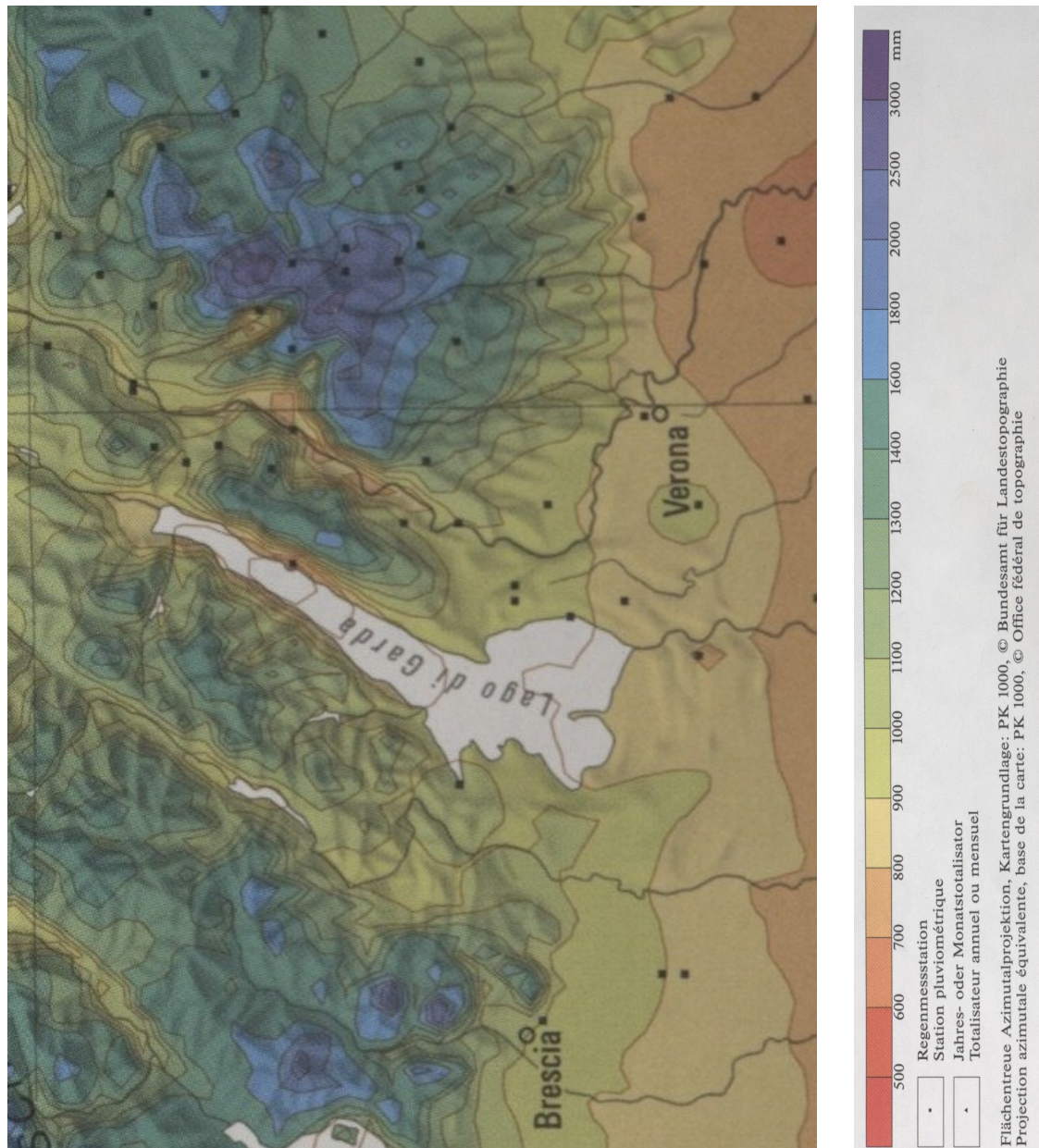


Figura 3.43. Carta delle precipitazioni annuali medie sulla regione alpina (Christoph Schär e C.Frei, 1998).

Umidità relativa

I dati sull'umidità relativa sono esposti nelle *Tabelle 3.15, 3.16 e 3.17* ed il suo andamento nel tempo si può osservare in *Figura 3.44*. Ancora una volta si segnalano grandi problemi per la stazione di Polsa, che rendono vano il confronto. Tutti i valori sono simili, ma ad Ala sono sempre più bassi delle altre stazioni. L'andamento generale dell'umidità relativa negli anni ha un andamento piuttosto simile per i siti in pianura, anche se proprio per Ala si diversifica in alcuni casi (inverno ed estate 1995, inverno 1998, per esempio).

Umidità relativa media [%]					
	CVA	IASMA		ARPAV	
Anno	Monte Baldo	Polşa	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	71	74	66	74	77
1995	75	71	65	75	75
1996	80	78	66	75	79
1997	76	79	64	66	74
1998	79	74	62	70	73
media annuale	76	74	65	72	76
media annuale*	74	74			

Tabella 3.15. Umidità relativa media annuale.

Umidità relativa massima [%]					
	CVA	IASMA		ARPAV	
Anno	Monte Baldo	Polşa	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	96	98	95	100	100
1995	100	98	95	100	100
1996	100	99	94	100	100
1997	100	100	96	100	100
1998	100	100	93	100	100
massima assoluta	100	100	96	100	100

Tabella 3.16. Umidità relativa massima annuale.

Anno	Umidità relativa minima [%]				
	CVA	IASMA		ARPAV	
	Monte Baldo	Polsa	Ala	Bardolino	Dolcè
1994	15	14	26	24	27
1995	16	33	16	16	16
1996	25	36	20	27	25
1997	16	38	19	19	24
1998	22	32	13	21	22
minima assoluta	15	14	13	16	16

Tabella 3.17. Umidità relativa minima annuale.

Le variazioni dei massimi e minimi hanno una certa corrispondenza (associabili probabilmente alle condizioni meteorologiche del momento), ma per Monte Baldo le oscillazioni sono molto ampie. Sul Monte Baldo l'umidità relativa supera il 90% in 461 giorni su 5 anni (e il 95% per 241 volte), a Bardolino ciò accade per 297 giorni. I picchi sono distribuiti abbastanza uniformemente, ma il valore tende a rimanere alto specialmente in estate (sopra l'80%), mentre in inverno si registrano i valori più bassi, e le escursioni maggiori. Viceversa, per Bardolino si hanno sì picchi autunnali e invernali, con grandi fluttuazioni, ma durante l'estate i valori si mantengono bassi (60%-70%). Questo accade all'incirca anche per Ala e Dolcè. Nei mesi più caldi l'attività convettiva porta in alto aria umida, che a seconda delle condizioni, può dar luogo alla formazione di nubi. E' molto probabile che la presenza del lago di Garda contribuisca a mantenere costante questo apporto, per cui sul monte in estate l'umidità relativa è elevata. Al contrario le stazioni in pianura registrano valori di umidità relativa più alti durante l'autunno inverno quando non vi sono movimenti convettivi che portino in alto aria calda e umida (come in estate) e l'aria fredda e umida rimane in basso. All'aumentare della temperatura l'umidità relativa diminuisce (se non intervengono fattori esterni) e viceversa, e quindi i valori maggiori in pianura si hanno nei mesi più freddi. Il valore medio nel tempo dell'umidità relativa nell'aria fino a circa 10 km di quota è 60% (Kappenberger-Kerkmann, 1997): Ala è ben allineata su queste condizioni medie. Nelle valli alpine è raro che l'umidità relativa scenda sotto il

20%, accade praticamente solo in condizioni di Föhn (Kappenberger-Kerkmann, 1997): in base ai valori minimi registrati si possono riconoscere probabilmente tali condizioni, anche in quota (6 giorni in Monte Baldo, 9 giorni ad Ala, 3 a Bardolino ed 1 a Dolcè). In alta montagna, specie d'inverno, si registrano più frequentemente valori bassi, anche sotto il 10% (aria secca sopra l'inversione per la subsidenza in una zona di alta pressione) (Kappenberger-Kerkmann, 1997). In alcune giornate i valori registrati sono del 15%-16%, mai sotto il 10%: si dovrebbe comunque valutare l'evoluzione oraria dell'umidità relativa unitamente alla velocità e direzione del vento per capire se si siano verificate condizioni di questo tipo.

Le condizioni trovate ad Ala si possono forse spiegare con un possibile problema di isteresi dello strumento: il barometro potrebbe necessitare di una taratura più frequente.

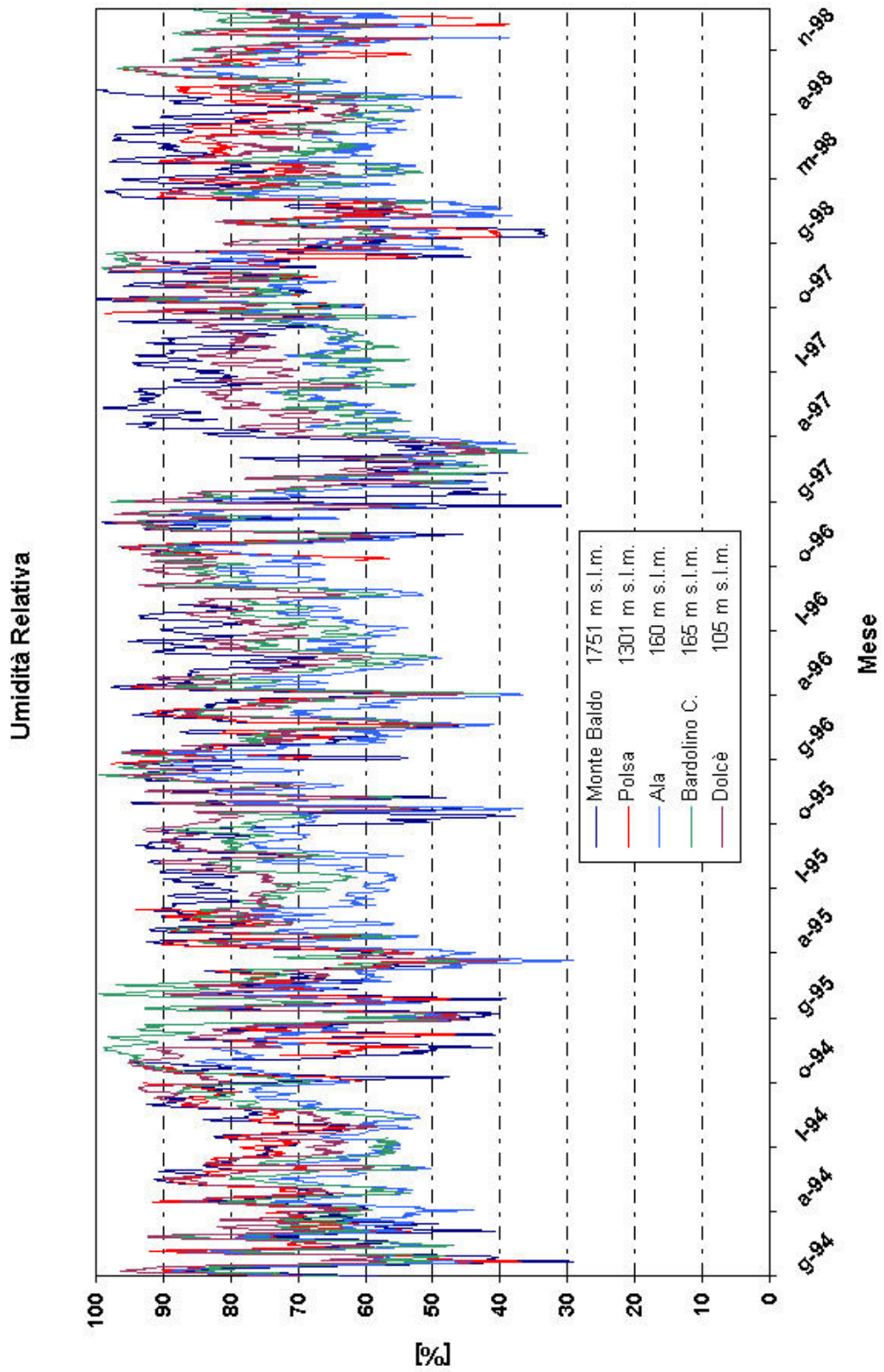


Figura 3.44. Grafico della umidità relativa media giornaliera.

Capitolo 4

La campagna di misure in quota

4.1 Motivazione ed organizzazione della campagna di misure in quota

I risultati dell'analisi riportata nel capitolo precedente (Capitolo 3), mettono in luce similitudini e differenze esistenti tra il Monte Baldo e le aree circostanti. Pur avendo un comportamento climatico simile, come tendenza, alla regione cui appartiene (si veda quale esempio l'andamento della temperatura rispetto alla media), vi sono caratteristiche molto diverse e tipiche di un clima temperato di montagna. Avendo inquadrato le caratteristiche meteorologiche di questa catena montuosa in generale, si sono state poste le basi per un'indagine più approfondita in quota, sulla montagna vera e propria. Il confronto tra le stazioni è servito per definire le condizioni al contorno del reale ambiente baldense; senza dimenticare che vi è una continua correlazione con questo ambiente e l'area circostante. Se si esamina la distribuzione delle stazioni esistenti, si può immediatamente notare come non esistano punti di misura sul corpo principale del Monte Baldo. Le uniche due postazioni in quota si trovano nel cosiddetto "Baldo trentino", ovvero la parte settentrionale della catena, in luoghi particolari e ad altezze non troppo elevate, rispetto alle possibilità offerte dalla orografia. Indubbiamente una stazione è inserita nel contesto ambientale che si intende investigare (in relazione agli obiettivi), oltre che in una posizione che risponda a certi requisiti, quali significatività delle registrazioni, raggiungibilità (in tutte le stagioni), possibilità di trasmettere dati ed accessibilità (in senso di disponibilità per l'installazione) del sito.

Dunque per studiare al meglio la catena del Monte Baldo sarebbe ideale l'utilizzo di dati raccolti in un luogo significativo per la montagna, quindi in quota, e sul gruppo principale in particolare. Le ragioni che inducono a studiare più a fondo questa parte sono molteplici. Innanzitutto non è documentata l'esistenza in passato di punti di misura, per cui non si è potuto reperire alcun archivio storico e le considerazioni fatte anche in questo lavoro finora sono legate alle osservazioni fatte più a Nord. Si deve poi considerare, ancora una volta, la posizione geografica molto speciale del Monte Baldo. Esso è un vero e proprio avamposto alpino sulla Pianura Padana: procedendo da Sud verso Nord, Coal Santo (2072 m s.l.m.), Vetta delle Buse (2152 m s.l.m.), Punta Telegrafo (2200 m s.l.m.), Cima Valdritta (2218 m s.l.m.), Cima del Longino (2179 m s.l.m.) sono le vette principali della catena e sono le cime che superano i 2000 m s.l.m. poste più a Sud nell'arco alpino. Allo stesso tempo il Monte Baldo è anche isolato dalle altre montagne circostanti ed è infatti un ottimo punto di osservazione dei gruppi alpini e dolomitici, e degli Appennini verso meridione. Ci sono valide premesse per pensare ad una condizione meteorologica molto particolare: il monte potrebbe essere interessato dalle correnti principali della scala sinottica (o di mesoscala), in particolare dai flussi d'aria provenienti da Sud, dalla Pianura e dall'Adriatico, dove non vi sono praticamente ostacoli; allo stesso tempo però non si può tralasciare il possibile contributo delle circolazioni di piccola scala, caratterizzate da componenti orizzontali e verticali del moto confrontabili (perché dello stesso ordine di grandezza). La presenza del Lago di Garda e della Pianura Padana ai piedi del Monte Baldo sono elementi che sicuramente determinano fenomeni di piccola scala importanti, che potrebbero sovrapporsi ai moti di grande scala generando condizioni meteorologiche molto particolari.

Al fine di studiare al meglio i fenomeni atmosferici della zona, si è progettata e realizzata una campagna di misure meteorologiche in quota durante l'estate 2005, e più precisamente dal 22 luglio all'8 agosto. L'intenzione era quella di installare una stazione attrezzata con sensori standard, completa, su una delle vette più meridionali del gruppo del Baldo, il più in alto possibile. Ciò è stato possibile grazie all'impegno delle persone ed alla disponibilità della strumentazione del Gruppo di Fisica dell'Atmosfera dell'Università di Trento, nonché alla collaborazione di alcune persone esterne all'ambiente universitario. I problemi incontrati non sono stati pochi, ma non hanno impedito di raggiungere lo scopo; sono state valutate diverse possibilità,

ed alla fine la scelta del sito è stata fatta tenendo conto sia degli scopi scientifici che delle limitazioni logistiche.

Scelta del sito

Dopo un esame della cartografia ed un sopralluogo in data 14 luglio 2005, si è deciso di collocare la stazione meteorologica in prossimità di Punta Telegrafo (2200 m s.l.m.) (*Figure 4.1 e 4.2*). Questa è la seconda cima del Baldo per altezza, e si trova più a Sud di Cima Valdritta (2218m s.l.m.), la vetta principale, che la supera solo di pochi metri: ai fini dello studio la posizione più spostata a Sud è stata valutata più importante della piccola differenza di quota (18 m). Immediatamente sottostante la cima, sul versante occidentale, si trova il rifugio Gaetano Barana al Telegrafo (2147 m s.l.m.): la sua presenza poteva rappresentare, ed effettivamente è stato, un indispensabile punto di appoggio per le diverse fasi della campagna di misure.

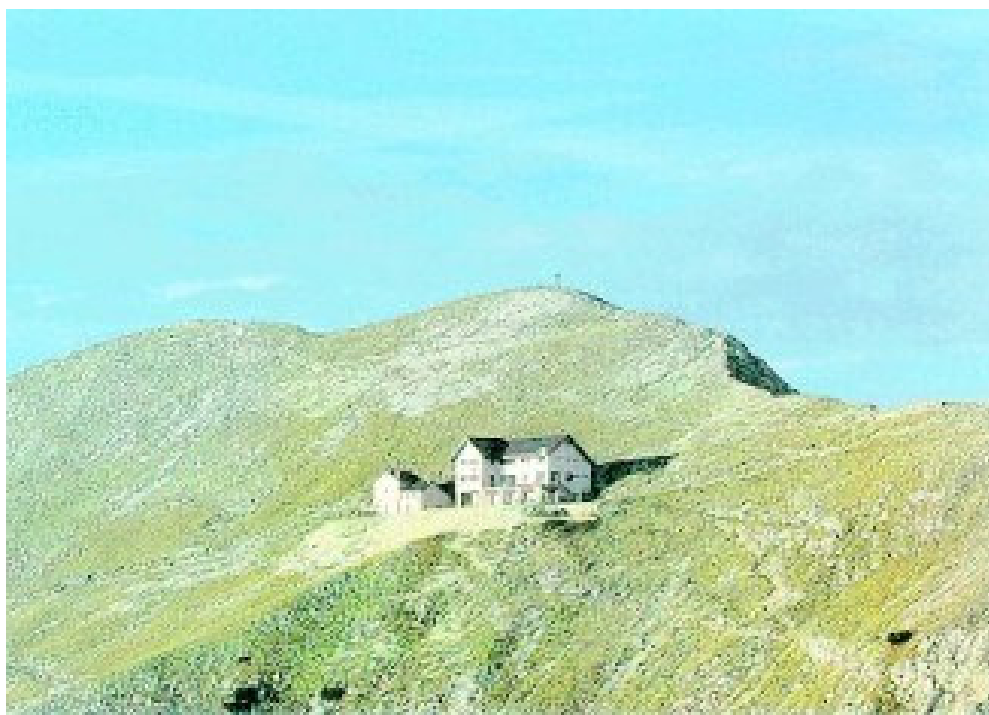


Figura 4.1. Veduta di Punta Telegrafo da Sud; sulla sinistra il costone sul cui vertice è stata installata la stazione temporanea e al centro il rifugio G. Barana (foto tratta dal sito www.enrosadira.it).



Figura 4.2. Posizione della stazione meteorologica temporanea (nel cerchio) tra le vette principali, vista da Ovest (immagine tratta da Google.Earth).

Nessuna delle cime è raggiungibile con mezzi motorizzati, nemmeno con fuoristrada. Si è presentato così il problema del trasporto in quota del materiale per attrezzare la stazione: grazie all'aiuto della famiglia Arcangeli, gestori del rifugio, è stato possibile organizzare il trasporto.

Poiché la stazione era temporanea, prevedendo un periodo di misure non superiore alle 3 settimane, non necessitava di alcun lavoro di posa in opera (fondazioni, pali o altro), quindi non si sono resi necessari particolari permessi o autorizzazioni. Gli Uffici tecnici della Comunità Montana del Baldo e del Comune di Brenzone (entro il cui territorio ricade il sito) e anche gli Uffici del Corpo Forestale dello Stato di Caprino Veronese e Brenzone, informati dell'iniziativa, hanno dato utili suggerimenti per la buona riuscita dell'iniziativa.

Il sito scelto per la stazione è un piccolo spiazzo su una cresta a Ovest di Punta Telegrafo, più basso di circa 5 metri rispetto ad essa, quindi a circa 2195 m s.l.m., ben esposto e lontano da ostacoli che potessero influenzare le misure (Figura 4.3.).

La campagna di misure ha visto l'utilizzo di una stazione meteorologica convenzionale composta di:

- tacogonioanemometro a 2 m dal suolo;
- termoisgrometro;
- radiometro globale;
- pluviometro;
- pannello solare per l'alimentazione;
- sistema di acquisizione dati.

Le caratteristiche tecniche dei sensori sono esposte in tabelle in Appendice F. Le misure fatte dai sensori durante la campagna sono state memorizzate su memoria solida memory card della capacità di 1Mb; i dati sono stati anche scaricati ad ogni sopralluogo su computer portatile. Le grandezze registrate avevano diversi tempi di acquisizione, come si può vedere nello schema in *Tabella 4.1*. Il tempo di elaborazione e registrazione era lo stesso per ogni grandezza invece, pari a 10 minuti; l'elaborazione consisteva in media e deviazione standard, valore totale per le precipitazioni. I dati sono registrati rispetto all'ora solare.

Acquisitore Babuc ABC 7299	
Rilievo iniziato il 22/07/2005 e terminato il 08/08/2005	
Grandezza	Rata di acquisizione
Temperatura aria	30 secondi
Umidità relativa	30 secondi
Pressione atmosferica*	1 minuto
Direzione vento	5 secondi
Velocità vento	5 secondi
Radiazione globale	10 secondi
Quantità di precipitazione	1 minuto

Tabella 4.1. Schema della acquisizione ed elaborazione dati della stazione.

* il sensore, calibrato per pressioni a quote prossime al livello medio del mare, risultava fuori scala ed è stato escluso

Tutti i sensori, tranne il pluviometro, sono stati fissati ad un palo da 2 m, fissato a sua volta ad un treppiede basale (bloccato con dei chiodi nel terreno), ed ancorato con 3 cavi di acciaio a delle punte in ferro infisse nel terreno; il pluviometro è stato montato direttamente su un piccolo treppiede bloccato a terra. Il fatto che la postazione fosse completamente sgombera da barriere su 360° e molto ben esposta, hanno fatto preferire un solo palo da 2 m, più corto e agile da trasportare rispetto a quello da 5 m, ed il posizionamento del

pluviometro praticamente al livello del suolo (*Figura 4.4.*). Quest ultimo sensore è stato sistemato a circa 2 m dal palo in modo che lo stesso non costituisse un impedimento per le misure. Dunque la buona esposizione del sito ha permesso di installare i sensori (in particolare l'anemometro) ad un'altezza non troppo elevata, senza rischiare di perdere significatività nelle informazioni.



Figura 4.3. Il sito dove è stata installata la stazione temporanea: al centro, cucuzzolo sul costone che scende verso il lago (veduta verso Ovest, foto scattata il 14/07/2005).



Figura 4.4. Verifica della stazione dopo l'installazione, si nota sulla destra il pluviometro (foto scattata la mattina del 23/07/2005.).

Un problema molto importante che comportava anche una certa componente di rischio per l'attrezzatura poteva essere rappresentato dai fulmini. Le testimonianze di più persone (guardie forestali, gestori del rifugio) avevano sollevato la questione, non di poco conto, considerando anche il costo della strumentazione installata (dell'ordine dei 15000 €). L'attività elettrica in montagna è un argomento da non sottovalutare: il rifugio Barana è provvisto di una grande gabbia di Faraday che lo protegge interamente dalle scariche dei fulmini. La stazione è stata adeguatamente isolata con una buona messa a terra, ma per cercare di scongiurare qualsiasi danno si è cercato di costruire

un parafulmine: una canna da pesca in fibra di carbonio (materiale molto conduttivo) lunga 5 m è stata fissata ad un palo e collegata ad un cavo che scaricasse a terra, a debita distanza dalla stazione (una decina di metri circa). In questo modo si è provveduto a fornire un elemento sacrificale nell'eventualità di forti scariche elettriche (*Figura 4.5.*).



Figura 4.5. Il parafulmini realizzato a protezione della stazione (foto scattata il 23/07/2005).

La stazione è stata installata il giorno 22 luglio 2005: l'operazione ha richiesto l'intera giornata, fra trasporto in quota, spostamento in sito e messa in opera. Tutto il materiale necessario è stato trasferito in quota (a circa 2170 m s.l.m.) sfruttando la teleferica che serve il rifugio G. Barana (*Figura 4.6.*) ed è stato poi portato a mano fino al sito (*Figura 4.7.*). Prima di trasferire il materiale per l'installazione, tutti gli strumenti e gli attrezzi necessari al

montaggio sono stati pesati: non si dovevano superare i 150 kg per poter essere trasportati; il peso era di circa 120 kg.



Figura 4.6. Il materiale della stazione riposto nel carrello della teleferica (foto scattata il 22/07/2005).

La stazione è diventata operativa nel pomeriggio del 22 luglio, iniziando a registrare dati alle 15:10. Dopo il pernottamento al rifugio, la stazione è stata controllata (*Figura 4.4.*) per verificare che tutto funzionasse al meglio. Durante la notte la stazione era stata sottoposta ad un buon test: un forte temporale con lampi e grandine si è abbattuto sulla montagna. Fortunatamente la strumentazione non ha subito alcun danno ed ha registrato i primi dati normalmente; l'unico problema è venuto dal barometro: il sensore, alla quota di circa 2200 m s.l.m., era fuori scala e non consentiva la misura di pressione, perciò è stato disinstallato. La postazione è stata quindi delimitata con del nastro di segnalazione e vi sono state apposte delle avvertenze; l'acquisitore è stato chiuso con catena e lucchetto (*Figura 4.8.*). Il luogo vede il passaggio di molti escursionisti attirati dal punto particolarmente panoramico: questi accorgimenti minimi sono stati adottati confidando anche nella educazione dei visitatori. Fortunatamente anche in questo caso non c'è stato nessun inconveniente.



Figura 4.7. Il casotto punto di arrivo della teleferica ed in secondo piano sulla sinistra il sito della stazione (foto scattata il 28/07/2005).



Figura 4.8. La stazione completamente operativa, protetta e segnalata (foto scattata il 23/07/2005).

La stazione è rimasta operativa in sito fino al giorno 08/08/2005 quando è stata smontata e trasportata a valle. Sono stati registrati dati per 16 giorni completi, con due giornate parziali (il 22/07 ed il 08/08); nelle giornate del 28/07 e del 04/08 sono state fatte delle ispezioni per controllare che tutto fosse integro e funzionante, e sono stati scaricati i dati parziali come misura precauzionale (per iniziare una prima analisi).

Fortunatamente nessun inconveniente è occorso durante la campagna di misure: nei sopralluoghi è stata fatta solo semplice manutenzione. Sono stati tesati i tiranti ed è stata ripristinata la recinzione col nastro di segnalazione rovinata da pecore al pascolo sul monte. La stazione non ha subito alcun danno ed i sensori non hanno subito modificazioni che potessero far perdere significatività dei dati (*Figura 4.9.*).



Figura 4.9. Sopralluogo del 04/08/2005: la stazione è in ottime condizioni, solo il nastro di segnalazione deve essere sostituito (veduta verso Est).

La presenza della stazione in un luogo così particolare è stata motivo di curiosità e di interesse nelle persone incontrate nei pressi della cima.

E' da sottolineare, ancora un volta, la disponibilità e l'importante collaborazione avuta dalla famiglia Arcangeli durante tutta la campagna di misure.

4.2 Analisi dei dati registrati nella campagna estiva

I valori registrati sono stati studiati e confrontati tra loro per provare a definire i fenomeni meteorologici verificatisi durante la campagna. Alcune grandezze che non sono state misurate direttamente, sono state ricavate attraverso formule matematiche che le legano alle altre variabili registrate. E' il caso della pressione atmosferica, il cui valore è stato calcolato partendo dai dati registrati alla stazione di Ala.

La distribuzione della pressione nell'atmosfera reale è funzione della quota e della temperatura, la pressione alla quota z rispetto ad un punto di riferimento, in cui siano noti la pressione p_0 e la temperatura T_0 , si può ricavare con la seguente formula:

$$p = p_0(1 - \Gamma z/T_0)^{g/R_d\Gamma} \quad (4.1.)$$

in cui g è la accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), R_d è la costante specifica dei gas (per aria secca, $287 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) e Γ è il gradiente termico dell'atmosfera (il valore medio è $6,5 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$). In questo caso il valore di Γ è stato calcolato come rapporto tra la differenza di temperatura tra le due stazioni (Punta Telegrafo ed Ala) ed il dislivello tra esse (pari a 2035 m).

Grazie ai valori di pressione così calcolati è stato possibile ricavare due grandezze importanti: la temperatura di rugiada (dew point) e il rapporto di mescolamento (mixing ratio).

Il rapporto di mescolamento w è il rapporto tra la massa di vapore (m_v) e la massa di aria secca (m_d):

$$w = m_v / m_d \quad (4.2.)$$

il suo valore è espresso in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ed è indicativo della effettiva quantità di acqua (vapore) contenuto dall'aria; w_s è il valore di w a saturazione, ed è funzione di pressione e temperatura attraverso la relazione:

$$w_s(p, T) = \varepsilon (e_s / (p - e_s)) \quad (4.3.)$$

con ε costante pari a 0,622 (rapporto tra i pesi molecolari dell'acqua e dell'aria secca) ed e_s pressione di vapore saturo. E' e_s ad essere legata alla temperatura, attraverso la legge di Clausius-Clapeyron che descrive l'equilibrio tra fasi, in particolare tra vapore d'acqua ed una superficie piana d'acqua liquida, mediante l'espressione (Salby, 1996):

$$\log_{10} e_s = 9,4041 - (2354/T) \quad (4.4.)$$

che diventa:

$$e_s (T) = 10^{(9,4041 - (2354/T))} \quad (4.5.)$$

in tutte le formule la temperatura T è espressa in Kelvin. A questo punto noto $e_s (T)$ possiamo risalire a $w_s (p,T)$ grazie alla 4.3. e quindi calcolare il valore di w grazie alla seguente equazione:

$$w = ([U.R.]/100) w_s (p,T) \quad (4.6.)$$

essendo U.R. % l'umidità relativa misurata dalla stazione (Punta Telegrafo).

Dunque dai valori di pressione e temperatura ad Ala, di temperatura e umidità relativa a Punta Telegrafo e conoscendo il dislivello tra le stazioni, è possibile calcolare la pressione a Punta Telegrafo e da questo valore, passando per il calcolo di $e_s (T)$, risalire al rapporto di mescolamento w .

Il punto di rugiada (dew point) è la temperatura alla quale deve essere portata una certa massa d'aria, a pressione costante, per diventare satura rispetto ad una superficie piana di acqua pura, ovvero la temperatura alla quale il rapporto di mescolamento attuale w di quella massa d'aria uguaglia il w_s , a parità di pressione. La massa d'aria deve subire un raffreddamento. Considerando e rielaborando le equazioni 4.3 ~ 4.6, è possibile calcolare il punto di rugiada T_d :

$$[U.R.]/100 = w_s (p, T_d) / w_s (p,T) \quad (4.7.)$$

$$[U.R.]/100 w_s (p,T) = \varepsilon (e_s(T_d)/(p - e_s(T_d))) \quad (4.8.)$$

$$e_s(T_d) = ([U.R.]/100 w_s(p,T)) / ([U.R.]/100 w_s(p,T) + \epsilon) \quad (4.9.)$$

$$T_d = 2354 / (9,4041 - \log_{10} e_s(T_d)) \quad (4.10)$$

Il parametro punto di rugiada è un buon indicatore del contenuto d'acqua nell'aria e consente di individuare meglio la soglia oltre la quale l'umidità procura fastidio (Zardi, 2001). Facendo riferimento alla carta pseudoadiabatica (diagramma termodinamico), è possibile associare alla differenza tra la temperatura in sito T e il punto di rugiada T_d , l'altezza del LCL (Lifting Condensation Level), il livello di condensazione, che è la quota a cui una particella di aria umida può essere innalzata adiabaticamente prima di diventare satura. Il livello di condensazione per la forzata ascesa dell'aria può essere calcolato approssimativamente con la seguente formula (Kappenberger-Kerkmann, 1998):

$$LCL = 122 (T - T_d) \quad (4.11.)$$

Alla quota corrispondente al LCL si può associare l'altezza alla quale cominciano a formarsi le nuvole, ovvero la base delle nubi. Si può considerare la differenza tra temperatura dell'aria e temperatura di rugiada come un indice approssimativo di nuvolosità: al diminuire della differenza l'aria è sempre più satura di umidità, quando la differenza è nulla o vicina a zero si ha la formazione di nuvole.

Le grandezze calcolate, w e T_d , permettono di valutare gli apporti di aria più o meno umida e correlarla alle correnti durante le varie fasi della giornata nel periodo di studio, e di valutare i fenomeni convettivi verificatisi, in relazione a temperatura ed irraggiamento solare.

Tutti i dati registrati ed elaborati sono stati confrontati anche con le condizioni meteorologiche generali presenti sull'Europa ed in particolare in Italia e sull'arco alpino. Per descrivere queste condizioni si fa riferimento alle carte sinottiche dei giorni dal 22 luglio all'8 agosto, in Appendice G, ed ai profili di temperatura ed umidità relativa, di velocità e direzione del vento, elaborati dai dati dei radiosondaggi effettuati dalla stazione di Milano (relativi alle stesse giornate), in Appendice H ed I. Attraverso un confronto di questo

tipo è possibile fare una valutazione dei fenomeni locali e di quelli di mesoscala.

Le prime grandezze registrate nella campagna di misure che si sono studiate sono temperatura e radiazione solare.

Se si prende in esame la *Figura 4.10*, che rappresenta l'andamento della temperatura dell'aria e della radiazione solare si può notare che il tipico sviluppo giornaliero delle due grandezze è caratteristico, con minimi nella notte e massimi nelle ore centrali della giornata. I valori di temperatura tendono a salire dal 22/07, con minime notturne intorno ai 6°C, e massimi di circa 14°C, fino ai giorni 28 e 29 luglio, quando la minima notturna è intorno ai 14°C e la massima arriva ai 20°C. Dal giorno 30/07 i valori sono in discesa costante: il giorno 3/08 la massima è di 13°C, il 4/08 si registrano 14°C mentre la mattina del 5 agosto si registra una minima di 4°C. Le temperature tornano a salire il 5 e il 6 agosto con valori diurni massimi intorno ai 14°C e valori notturni più miti, oscillanti sugli 8°C. si ha un successivo brusco abbassamento il giorno seguente, 7 agosto, quando a metà giornata si toccano i 9°C di massima e la mattina seguente la minima precipita a 1°C (secondo la testimonianza dei gestori del rifugio G. Barana quella mattina c'era la brina).

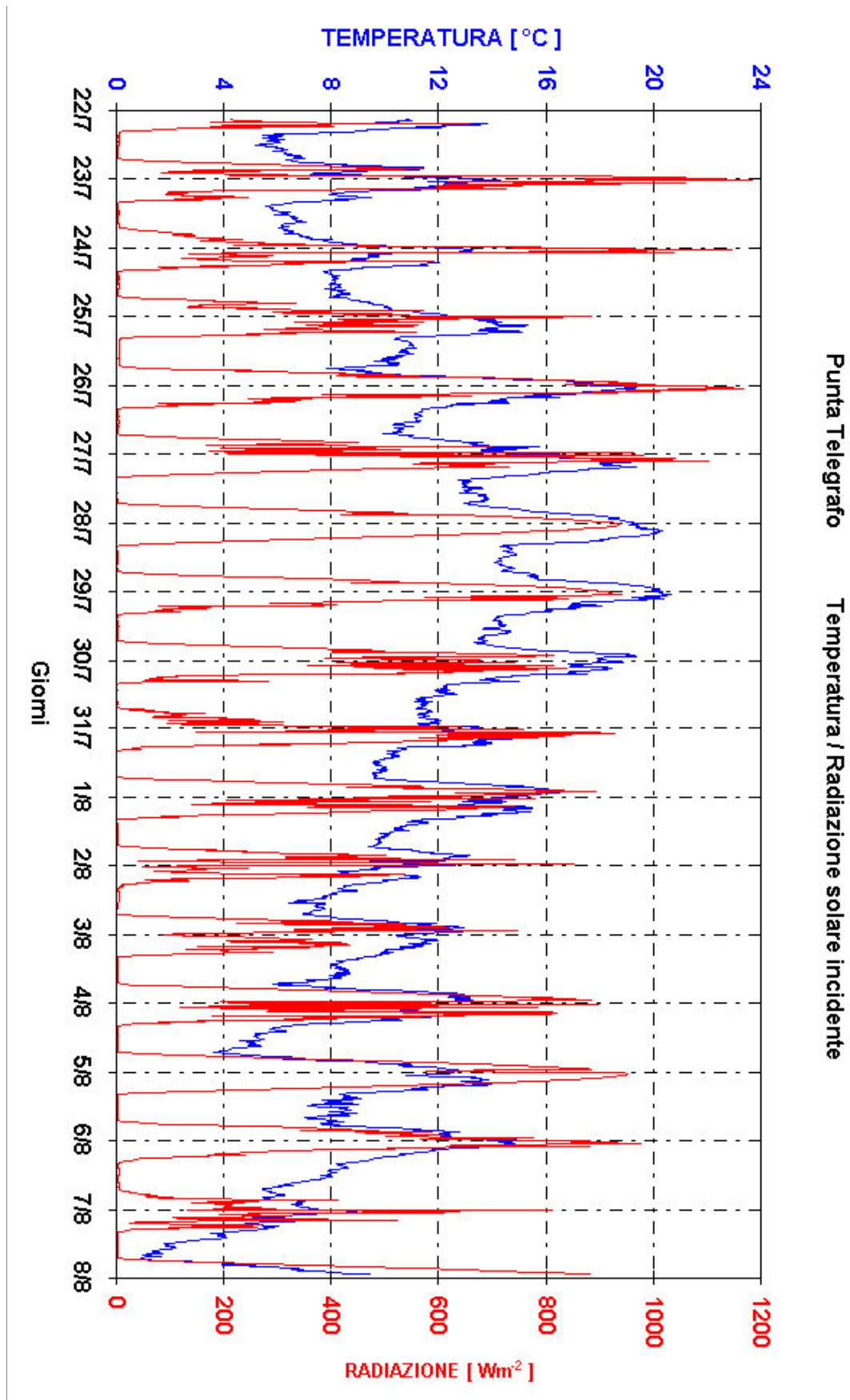


Figura 4.10. Andamento della temperatura e della radiazione solare.

I valori massimi, minimi e medi giornalieri, e quelli estremi sono riassunti in *Tabella 4.2*. Osservando l'escursione termica massima si può vedere come nel giro di pochi giorni (tra il 28/07 e il 08/08) vi è stata una differenza di temperatura di quasi 20°C.

	Temperatura [°C] valori giornalieri			
	minima	media	massima	escursione
22/07/2005*	5,4	8,5	13,8	8,4
23/07/05	5,2	8,4	14,3	9,1
24/07/05	5,9	8,5	13,6	7,7
25/07/05	7,8	11,0	15,3	7,5
26/07/05	7,8	12,9	19,4	11,5
27/07/05	9,9	14,0	19,6	9,7
28/07/05	12,8	16,2	20,3	7,5
29/07/05	14,0	16,5	20,6	6,6
30/07/05	11,9	15,1	19,4	7,5
31/07/05	9,6	11,8	15,4	5,9
01/08/05	9,5	12,5	16,5	7,0
02/08/05	7,0	10,0	13,7	6,7
03/08/05	6,4	9,6	13,0	6,6
04/08/05	5,1	9,2	13,8	8,7
05/08/05	3,6	8,9	14,0	10,3
06/08/05	7,0	10,1	14,9	7,9
07/08/05	1,9	5,9	8,9	7,0
08/08/2005*	0,9	3,5	9,5	8,6
valori estremi				
	minima	media	massima	escursione
	0,9	11,0	20,6	19,7

Tabella 4.2. Valori giornalieri ed estremi della temperatura.

Anche l'andamento della radiazione solare incidente (*Figura 4.10*) ha la caratteristica forma "a campana" (si veda il giorno 28/07 come esempio) tipico dell'evoluzione giornaliera di questa grandezza in assenza di nubi. Nei primi giorni i valori registrati sono molto alti, con un massimo il 23/07 di 1182,5 W·m⁻²: ci troviamo a quota 2200 m s.l.m., la densità dell'aria è minore e vi sono meno impurità che possano interferire con la trasmissione della radiazione. Dunque la quantità di flusso di energia che si riesce a misurare è maggiore, rispetto a quote inferiori, per le quali lo strato di aria da attraversare

è maggiore e soprattutto più denso e ricco di pulviscolo e aerosol che attenuano l'irraggiamento.

In tutte le altre giornate (dopo il 27/07) la radiazione non supera i 1000 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, con valori tra gli 800 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ e i 900 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Fatta eccezione per i giorni 26/07, 28/07 già menzionato, 29/07 e 5/08, la curva giornaliera della radiazione si presenta sempre molto frastagliata ed in alcuni casi si passa da valori bassi a valori decisamente elevati con dei picchi improvvisi. Giornate successive come le prime di agosto hanno questo particolare comportamento, mentre un giorno come il 07/08 è evidentemente un giorno di cattivo tempo, con cielo in prevalenza coperto, visti i bassi valori riportati. Si osservi come temperatura e radiazione solare sono strettamente legati: al cambiamento della radiazione si ha una corrispondente variazione della temperatura, con massimi e minimi omologhi. Ad ogni repentino aumento della radiazione coincide un pronto incremento della temperatura (e viceversa per la diminuzione), senza che intercorrano ritardi significativi. Questo si può intendere come prova della mancanza di inerzia termica: se si considera un volume di controllo che comprenda il suolo e l'aria immediatamente sopra di esso, si può pensare che gli scambi di energia all'interfaccia siano molto rapidi. Questo è dovuto in larga parte alla natura del suolo (terreno erboso e roccioso, vegetazione arbustiva assente), ma anche al notevole flusso di energia a questa quota.

E' stato calcolato l'integrale della radiazione incidente come integrale sull'intervallo di misura (10 minuti): facendo riferimento a questi valori (*Figura 4.11 e Tabella 4.3.*), si può vedere il legame esistente tra energia totale arrivata in sito e temperatura. Ai massimi di energia totale arrivata a terra non corrispondono i picchi del flusso di energia stesso: l'irradiazione non è stata costante durante le giornate, ma ha avuto anzi un andamento molto discontinuo in alcuni giorni (come già visto). Non c'è un legame stretto tra la temperatura media della giornata e la quantità di energia arrivata in sito: è possibile quindi che l'andamento della temperatura sia dipendente dall'instaurarsi di condizioni meteorologiche di vasta scala. In particolare nelle giornate più calde, tra il 27/07 ed il 30/07, l'osservazione delle carte sinottiche (Appendice G) e dei profili dei radiosondaggi (Appendici H ed I), evidenzia una situazione di alta pressione con similitudini con quella che viene definita "ripartizione della pressione livellata" (Kappenberger e Kerkmann, 1997). Le differenze di pressione atmosferica in orizzontale sono minime e di

conseguenza i venti orizzontali sono molto deboli (venti da Sud – Ovest, velocità inferiori ai 5 m·s⁻¹); la carta sinottica mostra poche isobare. In mancanza di venti orizzontali il terreno e di conseguenza gli strati d'aria vicini al suolo possono riscaldarsi bene. In particolare è presente la foschia da calore che sale durante la giornata anche a quote elevate (3000 m). La formazione di stratocumuli e foschia si verifica spesso nelle Prealpi in presenza di un anticiclone (Kappenberger e Kerkmann, 1997). Questa condizione si può riscontrare anche nei valori della radiazione solare: il giorno 28/07 il cielo non è coperto, essendo la curva della radiazione incidente regolare e priva di discontinuità (*Figura 4.10.*), ma i valori sono assai bassi in confronto ai giorni precedenti. La presenza di una fitta foschia che scherma in parte l'irraggiamento spiega un valore massimo registrato di 935 Wm⁻², a confronto dei 1103 Wm⁻² del giorno precedente, quando la curva della radiazione è molto frastagliata. Le condizioni di foschia sono testimoniate da fotografie scattate in occasione del primo sopralluogo alla stazione il 28 luglio (*Figura 4.12.*).

Giorno	Integrale giornaliero radiazione [MJm ⁻²]	Valore massimo radiazione incidente [Wm ⁻²]
23/7	21,7	1182,5
24/7	15,4	1146,0
25/7	17,6	883,6
26/7	28,8	1167,7
27/7	23,1	1103,1
28/7	28,9	935,8
29/7	25,0	941,9
30/7	22,1	839,8
31/7	17,3	927,1
1/8	22,4	893,2
2/8	12,0	852,9
3/8	14,7	747,1
4/8	21,7	896,9
5/8	29,0	951,2
6/8	20,7	975,0
7/8	9,9	810,8

Tabella 4.3. Valori giornalieri della radiazione cumulata e dei valori massimi della radiazione incidente.

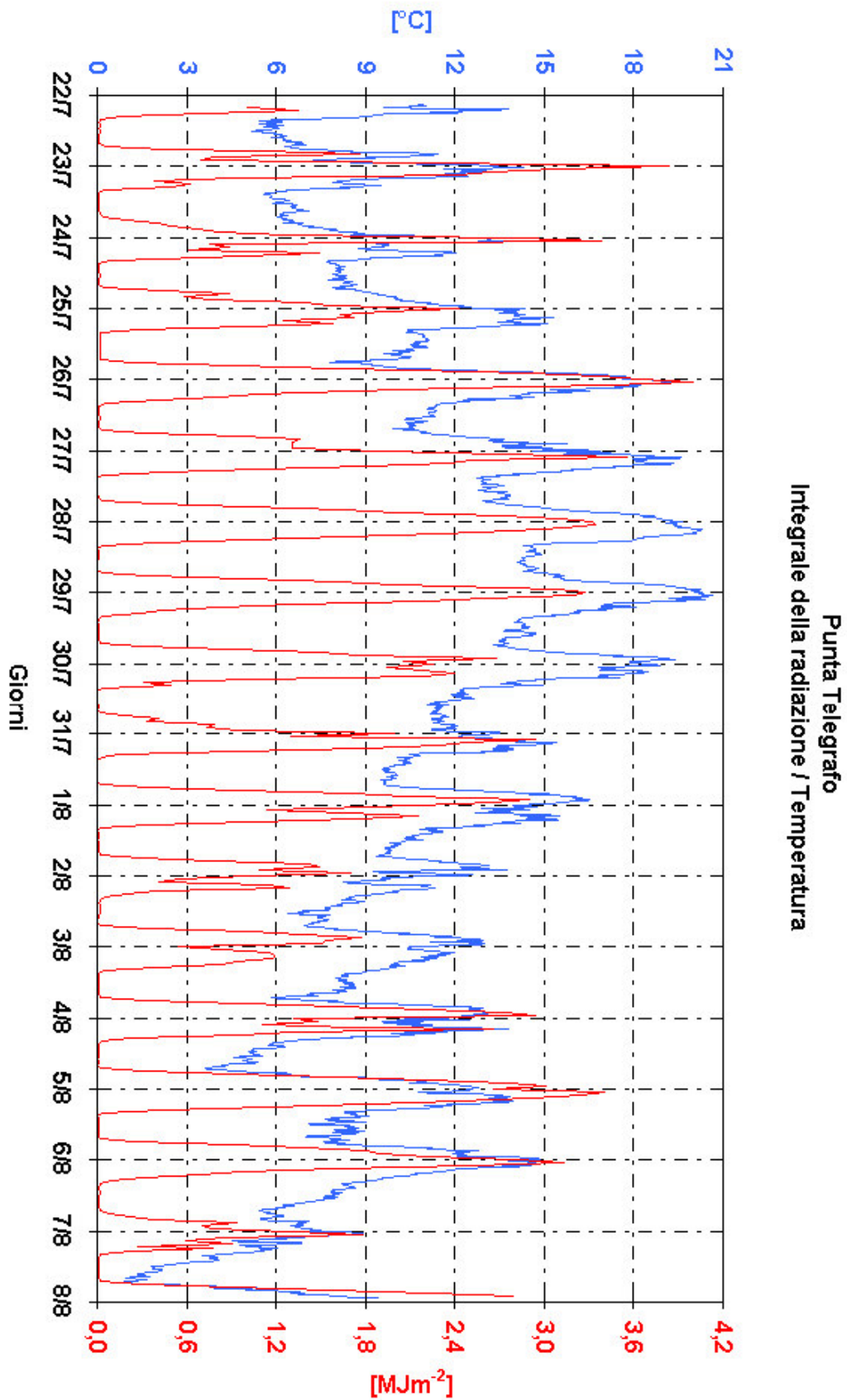


Figura 4.11. Grafico dell'integrale della radiazione incidente a confronto con la temperatura.

In *Figura 4.13* (pagina 135) l'andamento barometrico indica la presenza di un'alta pressione nei giorni più caldi, mentre i valori più bassi sono facilmente associabili alle condizioni di cielo coperto e con precipitazioni (*Figura 4.10* a pagina 128 e *figura 4.42* a pagina 172); un confronto può essere fatto anche con le carte del tempo sinottiche in Appendice G. La differenza ($\Gamma_d - \Gamma$), è indice di stabilità della atmosfera: il gradiente termico adiabatico, Γ_d , indica la rapidità di abbassamento adiabatica della temperatura (adiabatic lapse rate) per una particella di aria secca; è pari a:

$$\Gamma_d = - (dT/dz) = g/C_p = 9,8 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$$

dove $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ è l'accelerazione di gravità, $C_p = 1004 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ è il calore specifico a pressione costante. Il termine Γ è il gradiente termico dell'atmosfera (si veda l'equazione 4.1.). Quando la differenza ($\Gamma_d - \Gamma$) è minore di zero, l'atmosfera è instabile: una particella di aria insatura perturbata (per riscaldamento, ad esempio) può continuare a salire in atmosfera. Quando è maggiore di zero l'atmosfera è stabile e la particella d'aria insatura anche se perturbata tende a mantenere la sua posizione iniziale. Infine, la condizione $\Gamma_d - \Gamma = 0$ indica equilibrio indifferente (Wallace e Hobbs, 1977). Se le condizioni atmosferiche sono tali per cui l'aria è prossima alla saturazione, si parla di trasformazioni pseudoadiabatiche e si considera il gradiente di abbassamento termico in condizioni di saturazione (saturated adiabatic lapse rate), Γ_s . In condizioni di saturazione l'analisi di stabilità viene rapportata al Γ_s , e quindi alla differenza $\Gamma_s - \Gamma$. Per valutare la stabilità atmosferica a Punta Telegrafo si è fatto riferimento a condizioni sature, in relazione all'intensa attività convettiva con formazione di nubi che si è potuta osservare. Il valore medio di Γ_s in atmosfera è $6,5 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$ (Wallace e Hobbs, 1977), ed è in buon accordo con il valore $6,8 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$ elaborato dai dati dei radiosondaggi; è stato utilizzato il valore di riferimento del testo di Wallace e Hobbs (1977) perché è una media di un valore più rappresentativo di condizioni generali in atmosfera. A Punta Telegrafo il valore di $\Gamma_s - \Gamma$ (che dipende dalle condizioni relative tra Punta Telegrafo e Valle dell'Adige attraverso Γ) varia giornalmente: si passa da valori più alti nella notte a valori bassi e spesso negativi durante le ore centrali della giornata ad indicare che l'atmosfera diventa instabile durante il giorno. Il diverso riscaldamento degli strati d'aria fa sì che Γ cambi nel corso

della giornata: durante le ore centrali, in base alle condizioni di instabilità, vi può essere un apporto di aria più calda dal basso, che può dare origine alla formazione di nuvole. Nella notte la situazione torna ad essere stabile, l'aria diventa più limpida e si ha anche una perdita di calore per irraggiamento dal terreno: la mattina del giorno 8 agosto, dopo una giornata di cattivo tempo (7 agosto) la temperatura era di 0,9°C. Viceversa durante le notti dei giorni 27, 28 e 29 luglio, in presenza di un'alta pressione stabile le temperature erano più alte, tra i 13°C ed i 15°C.



Figura 4.12. Le vette principali del Monte Baldo fotografate dalla Colma di Malcesine: l'aria è poco limpida a causa della foschia (fotografia scattata il 28/07/2005, ore 10:55, vista da Nord).

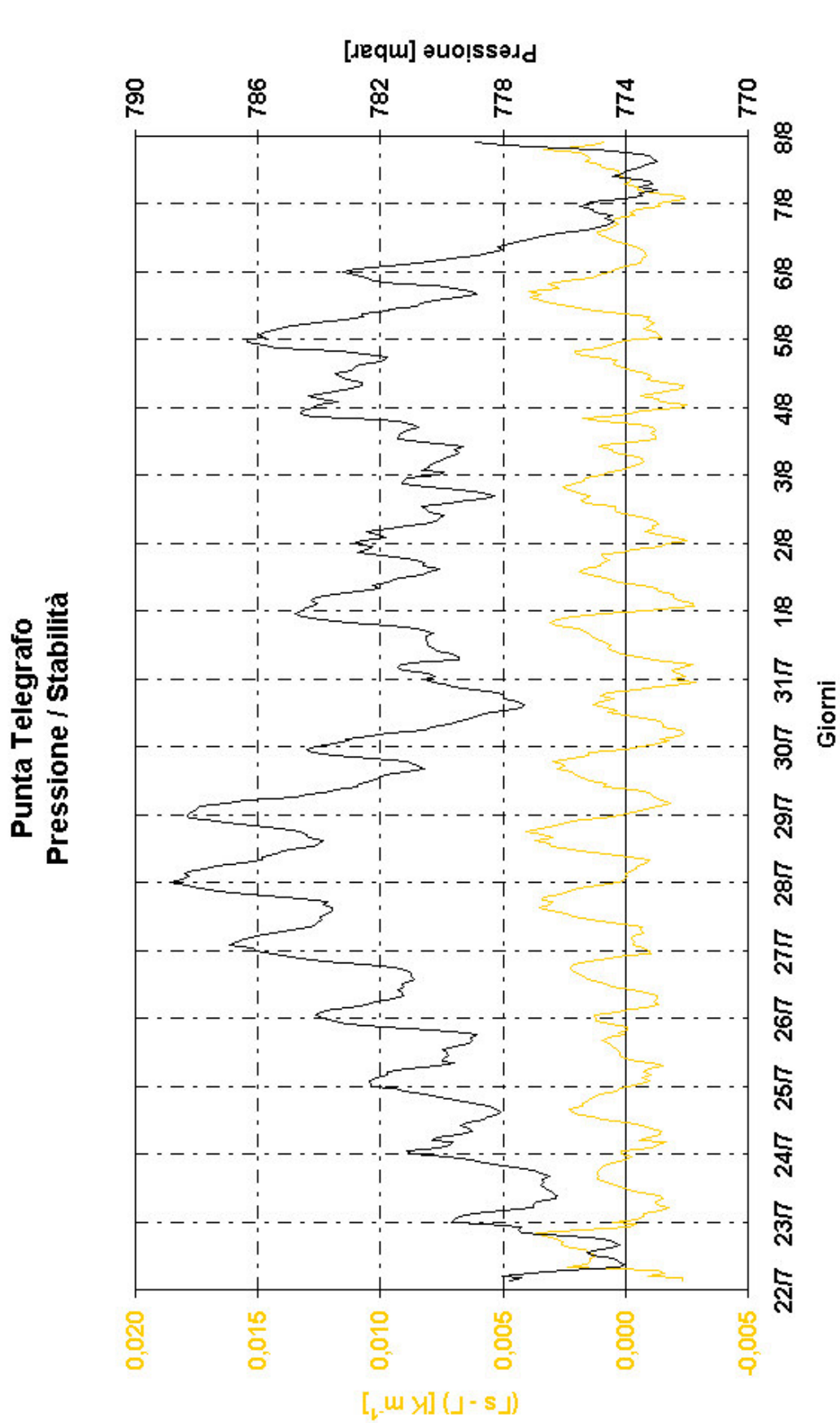


Figura 4.13. Stabilità dell'atmosfera: andamento di pressione e di $\Gamma_s - \Gamma$.

Le condizioni di copertura del cielo si possono analizzare anche considerando la radiazione solare e la differenza tra temperatura dell'aria e temperatura di rugiada: in *Figura 4.14* è riportato il confronto tra le due grandezze. La differenza tra temperatura dell'aria e temperatura di rugiada può essere considerata come un indice della presenza di nuvole (come già discusso in precedenza). Dal grafico si può vedere che in corrispondenza di valori bassi per $T - T_d$ la curva della radiazione presenta le discontinuità maggiori, con sbalzi improvvisi (si vedano i giorni 23/07, 24/07 e 02/08) e andamento molto frastagliato (come nei giorni 25/07, 27/07, 01/08 e 04/08). Se $T - T_d$ è vicina a zero in un certo intervallo di tempo, la radiazione è sensibilmente bassa (come nel giorno 07/08). Quando la differenza $T - T_d$ è piccola la condensazione dell'umidità atmosferica a quote uguali o maggiori a quella della stazione è molto probabile: le nuvole che si possono formare, continuando a salire (a causa dei movimenti convettivi) possono andare a coprire il sole. Più in alto è possibile l'interazione con le correnti sinottiche che possono spostare le nubi (in funzione dei venti del momento): le nuvole possono nascondere il sole in modo discontinuo, il che causa l'andamento molto frastagliato della curva giornaliera della radiazione. Allo stesso tempo le nubi presenti a media distanza possono avere un effetto "specchio" e riflettere parte della radiazione che le colpisce (specialmente se si tratta di cumuli, nubi di origine convettiva bianche e aventi spesso notevole sviluppo verticale). La combinazione di questi fenomeni potrebbe spiegare curve di radiazione così discontinue, con picchi molto elevati e minimi molto profondi.

In seguito sarà esposta una analisi più dettagliata di alcune giornate particolari.

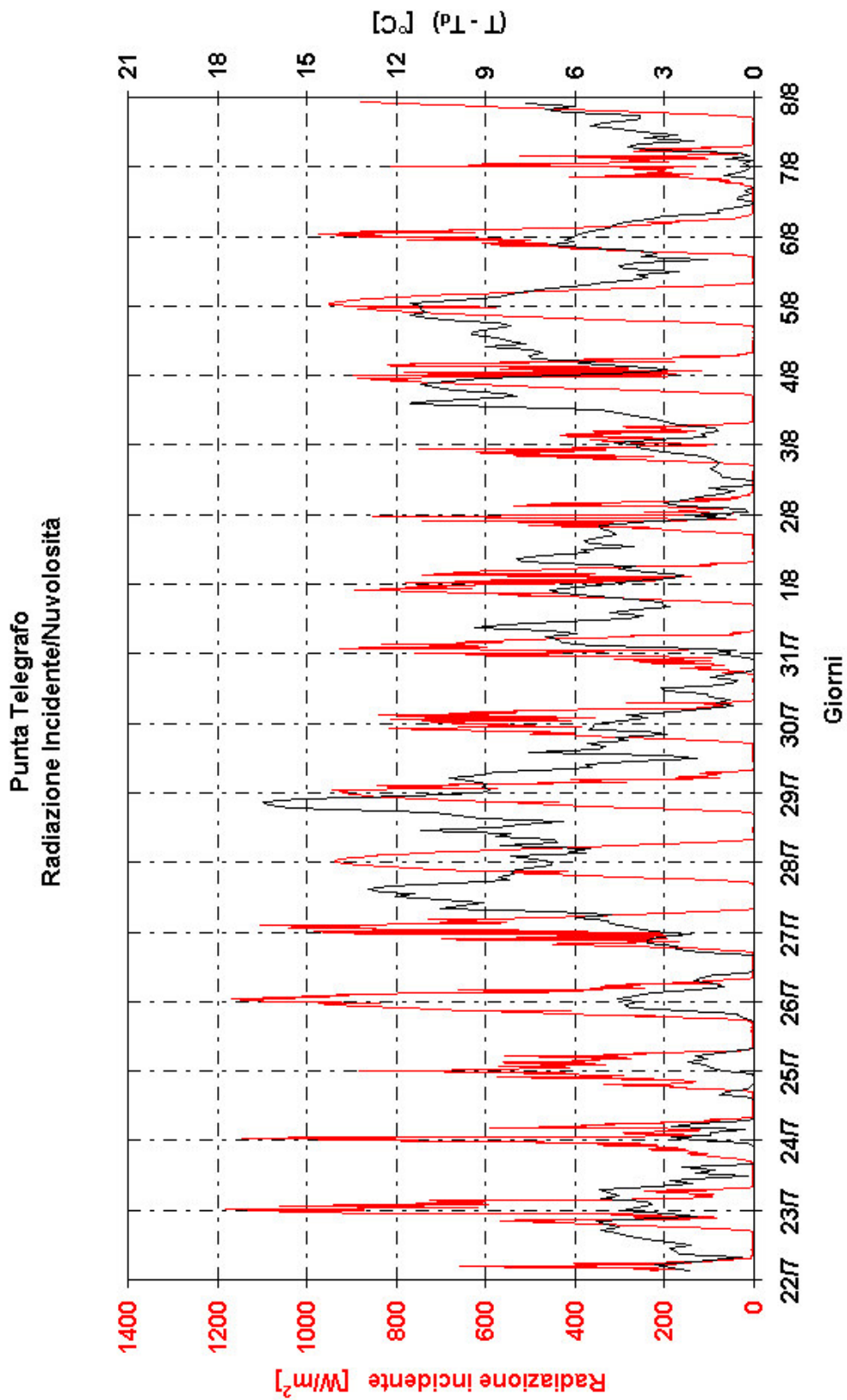


Figura 4.14. Confronto tra radiazione solare incidente e differenza tra temperatura dell'aria e temperatura di rugiada (nuvolosità).

Lo studio dei dati relativi al vento ha fornito informazioni importanti legate anche alla attività nuvolosa sul Monte Baldo. In *Figura 4.15* sono raffigurati l'andamento della velocità e della direzione del vento a Punta Telegrafo; in *Tabella 4.4.* sono riportati i valori rappresentativi. La velocità è in media piuttosto alta, e non vi sono praticamente momenti di calma di vento (il valore minimo è pari a $0,52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); ci sono alcune raffiche molto forti, in particolare nella notte tra il 3 ed il 4 agosto si toccano i $17,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (cioè i $62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ circa).

Giorno	Velocità del vento [ms^{-1}]		
	Minima	Media	Massima
22/07/2005*	1,88	5,99	14,98
23/07/2005	0,55	4,22	11,11
24/07/2005	2,14	4,73	8,53
25/07/2005	1,57	5,03	8,68
26/07/2005	0,89	3,76	7,86
27/07/2005	0,91	2,87	7,54
28/07/2005	1,70	4,00	9,04
29/07/2005	2,32	5,02	7,66
30/07/2005	1,36	3,92	7,38
31/07/2005	1,24	3,43	5,74
01/08/2005	0,67	2,71	6,00
02/08/2005	1,30	3,54	6,72
03/08/2005	0,92	3,77	9,75
04/08/2005	1,06	6,13	17,31
05/08/2005	0,76	2,51	10,72
06/08/2005	0,99	4,24	9,34
07/08/2005	0,52	3,08	9,30
08/08/2005*	0,65	1,93	4,07
Valori del periodo	0,52	3,90	17,31

Tabella 4.4. Valori rappresentativi della velocità del vento durante la campagna di misure.

* giorni incompleti.

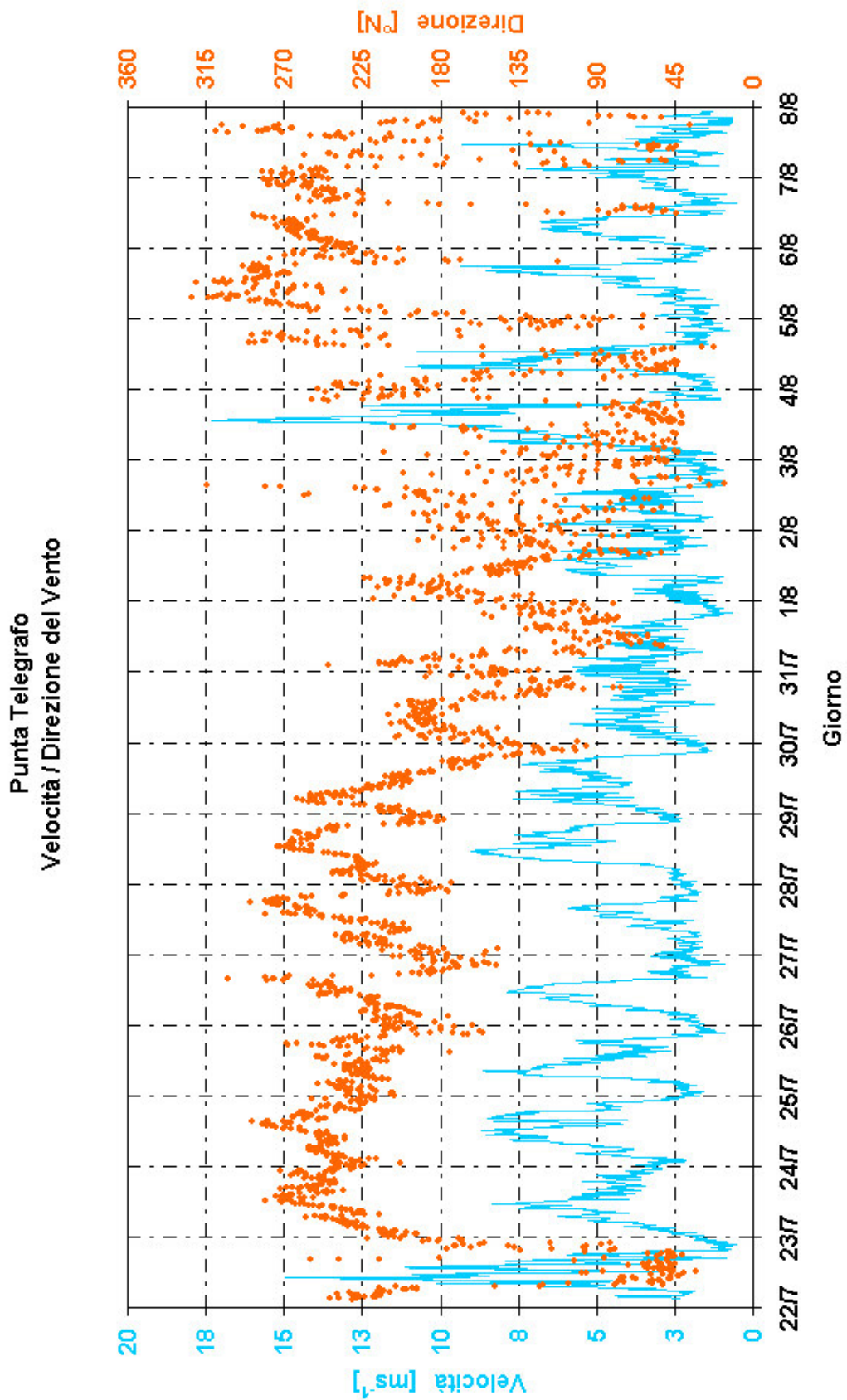


Figura 4.15. Caratteristiche del vento durante la campagna di misure.

La notte tra il 22 ed il 23 luglio è molto particolare: si è verificato un forte temporale con venti intensi. Nel periodo dal 23/07 al 30/07 l'andamento è molto costante: massimi notturni della velocità ($8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) si alternano a ore di relativa calma ($2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) nella parte centrale delle giornate. Allo stesso modo la direzione in cui soffia il vento cambia alternando origini che variano tra Ovest e Sud (la direzione del vento verrà analizzata meglio in seguito). Nei giorni successivi le velocità si mantengono su valori più bassi in media (intorno ai $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), variabili tra $0,67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (minima) e $9,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (massima); il giorno 4 agosto risulta avere la media più alta ($6,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). La direzione in cui soffia il vento cambia: dal 31 luglio la provenienza si sposta, e varia tra Nord - Ovest e Sud - Ovest, fino al 5 agosto in cui torna a spirare tra Sud e Ovest in prevalenza, ma a tratti arriva anche da Nord - Ovest.

In *Figura 4.16* sono rappresentate le direzioni principali di provenienza del vento. Ci sono essenzialmente due settori di provenienza: il principale compreso tra le direzioni Sud - Sud Ovest e Ovest ed un secondo tra Est - Nord Est e Sud - Sud Est. I venti principali arrivano dunque dai quadranti meridionali, mentre non vi sono apporti notevoli di aria dai settori settentrionali.

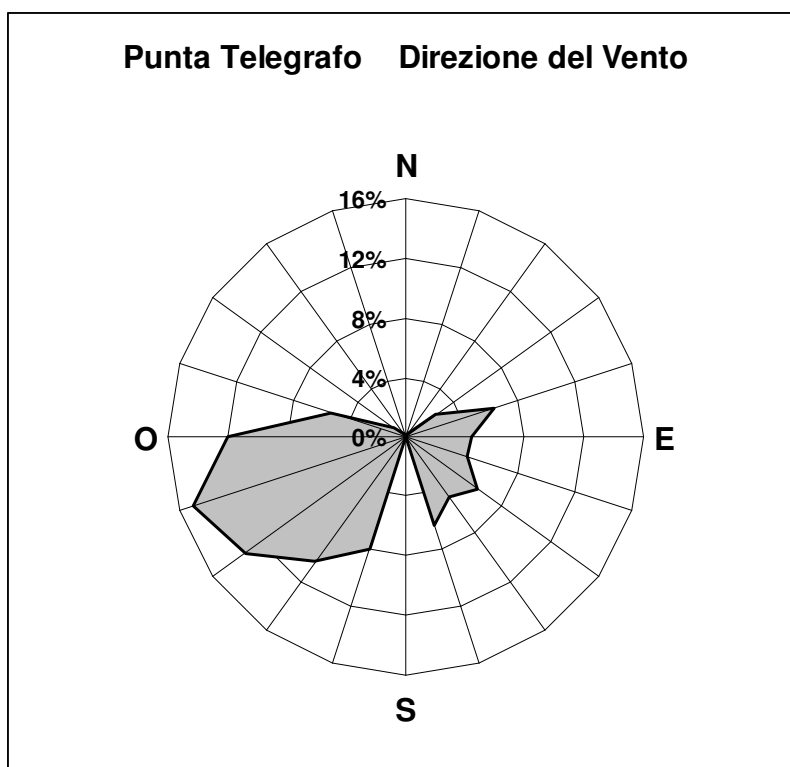


Figura 4.16. Rosa dei venti a Punta Telegrafo.

Si è approfondita l'analisi dei venti registrati, che sono stati suddivisi per classi di velocità: a partire dai $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ogni classe ha valori di $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ maggiore della precedente, fino ai $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; per velocità superiori è stata considerata un'unica classe. Le percentuali di appartenenza a ciascuna categoria per i venti misurati sono riportate in *Figura 4.17*. Con percentuali intorno al 12% le velocità riscontrate più frequentemente sono comprese tra $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Si può notare che si possono raggruppare alcune classi di velocità a formare "campi" di velocità principali: tra velocità minori e maggiori di $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vi è una grande differenza di percentuale, così come rispetto al valore $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; altri due punti di variazione delle percentuali sono i valori $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (quest ultimo conseguenza della scelta fatta in principio). Vengono così individuati 5 campi principali di velocità: minori di $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tra $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tra $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tra $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, maggiori di $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (*Figura 4.18*). I venti hanno prevalentemente velocità comprese tra $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con percentuali simili (36,1% e 35,6%) fra le due classi comprese nell'intervallo; venti forti, con velocità comunque inferiori ai $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sono presenti in percentuale considerevole (18,4%), mentre venti molto forti e quelli molto deboli hanno percentuali minori (2,5% e 7,4%).

Allo scopo di verificare un possibile legame tra le classi di velocità e circolazioni atmosferiche particolari, si è costruita la rosa dei venti per ognuno dei campi principali di velocità. E' possibile in questo modo correlare le velocità caratteristiche delle correnti d'aria con le direzioni in cui spirano. Ognuna delle rose dei venti elaborate è stata confrontata con l'orografia, rappresentata attraverso le curve di livello del sito, per individuare eventuali collegamenti tra le correnti e fenomeni di piccola o grande scala. Nelle *Figure* dalla 4.19. alla 4.23. sono rappresentate queste rose dei venti a confronto con l'orografia del sito.

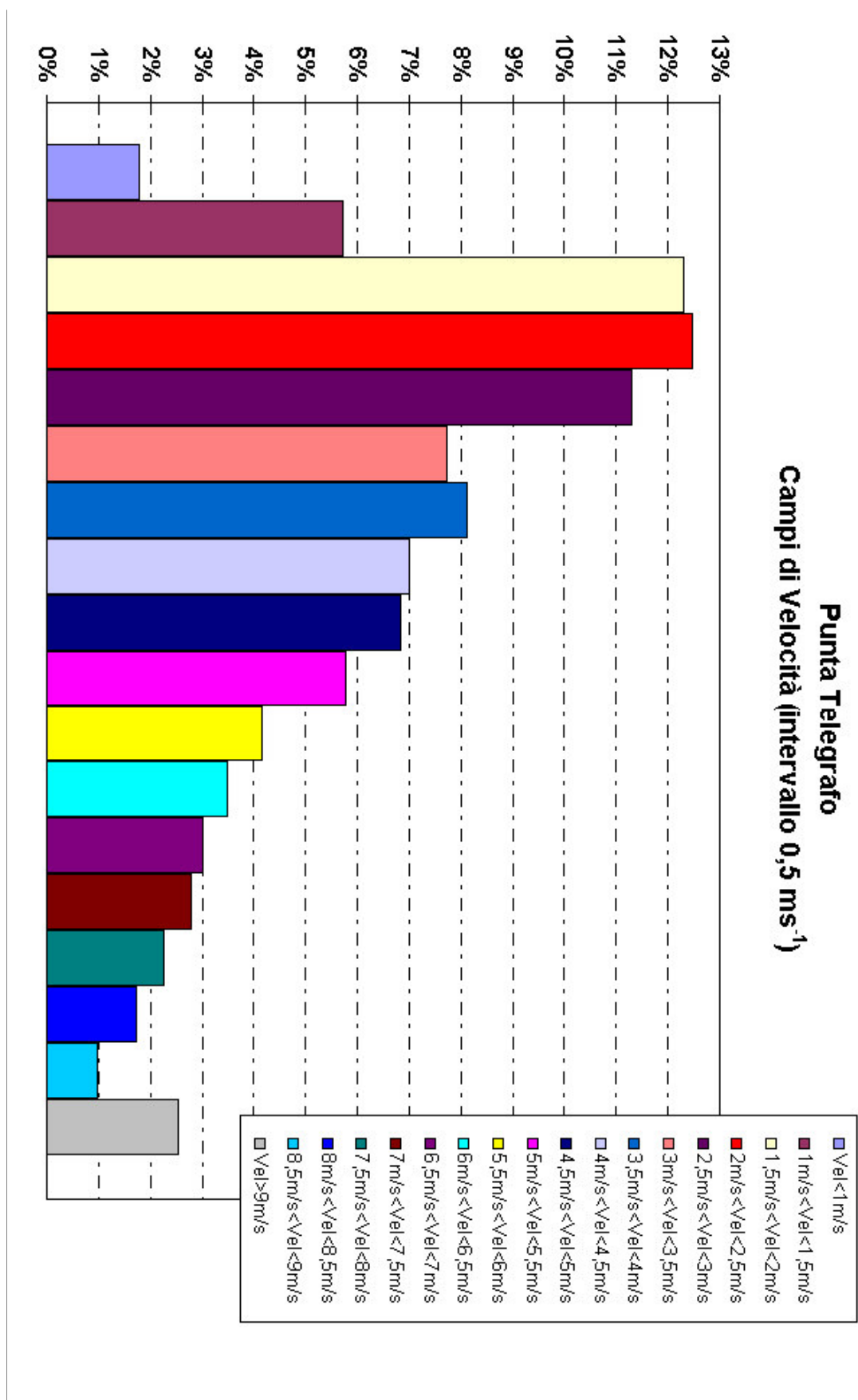


Figura 4.17. Percentuali di appartenenza per classi di velocità.

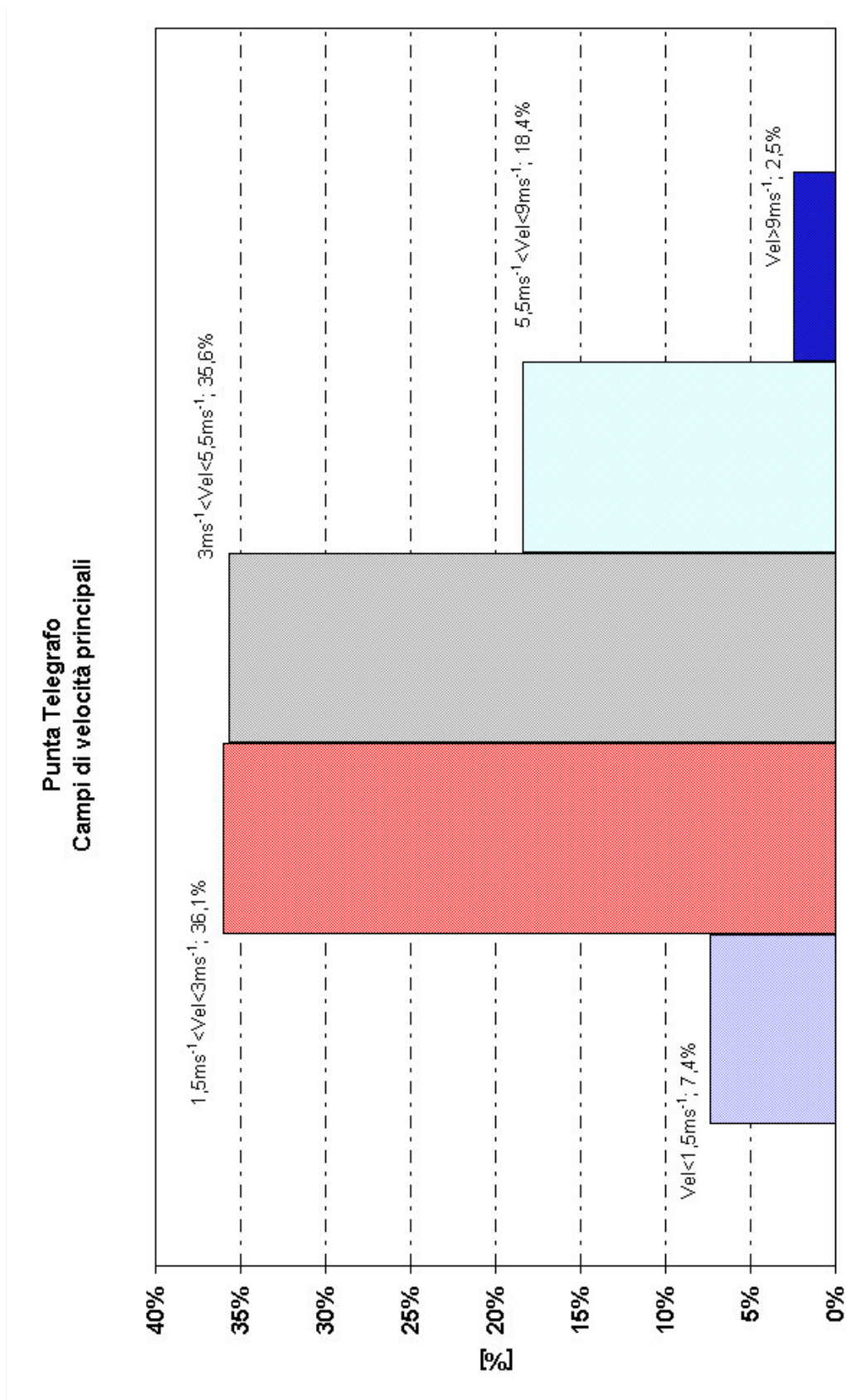


Figura 4.18. Classi principali di velocità del vento.

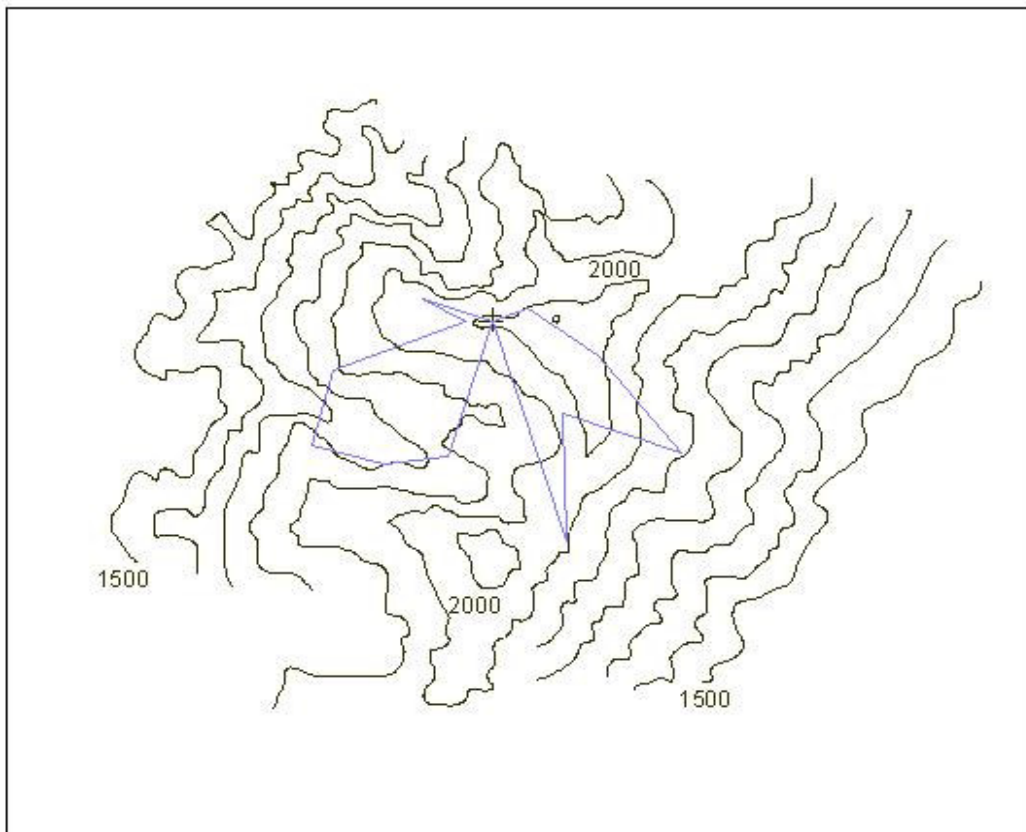
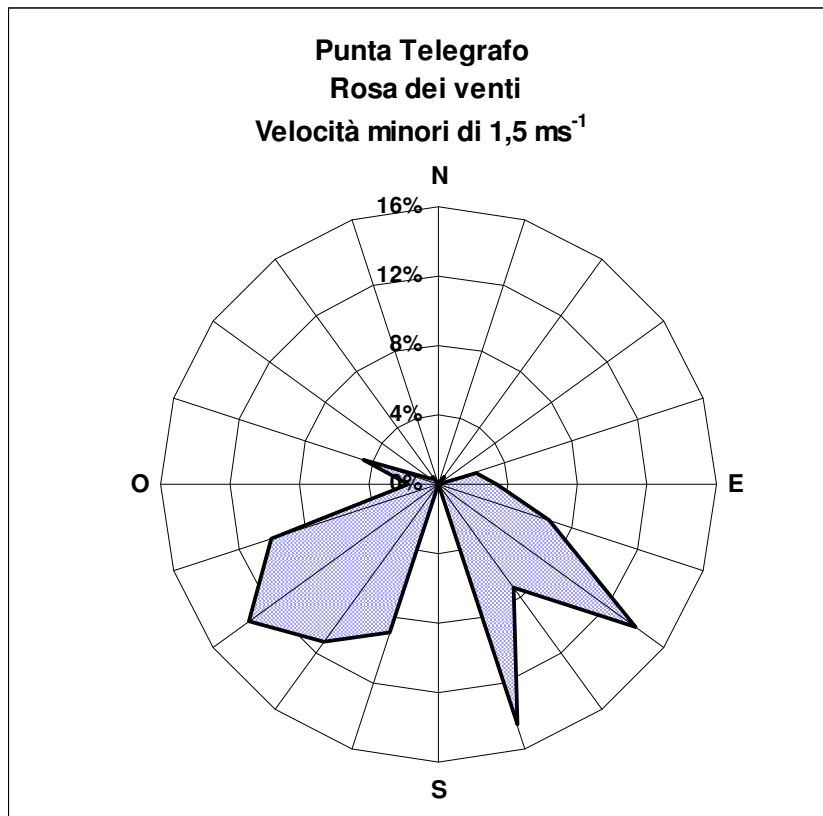


Figura 4. 19. Rosa dei venti con velocità minori di $1,5 \text{ ms}^{-1}$ e confronto con l'orografia.

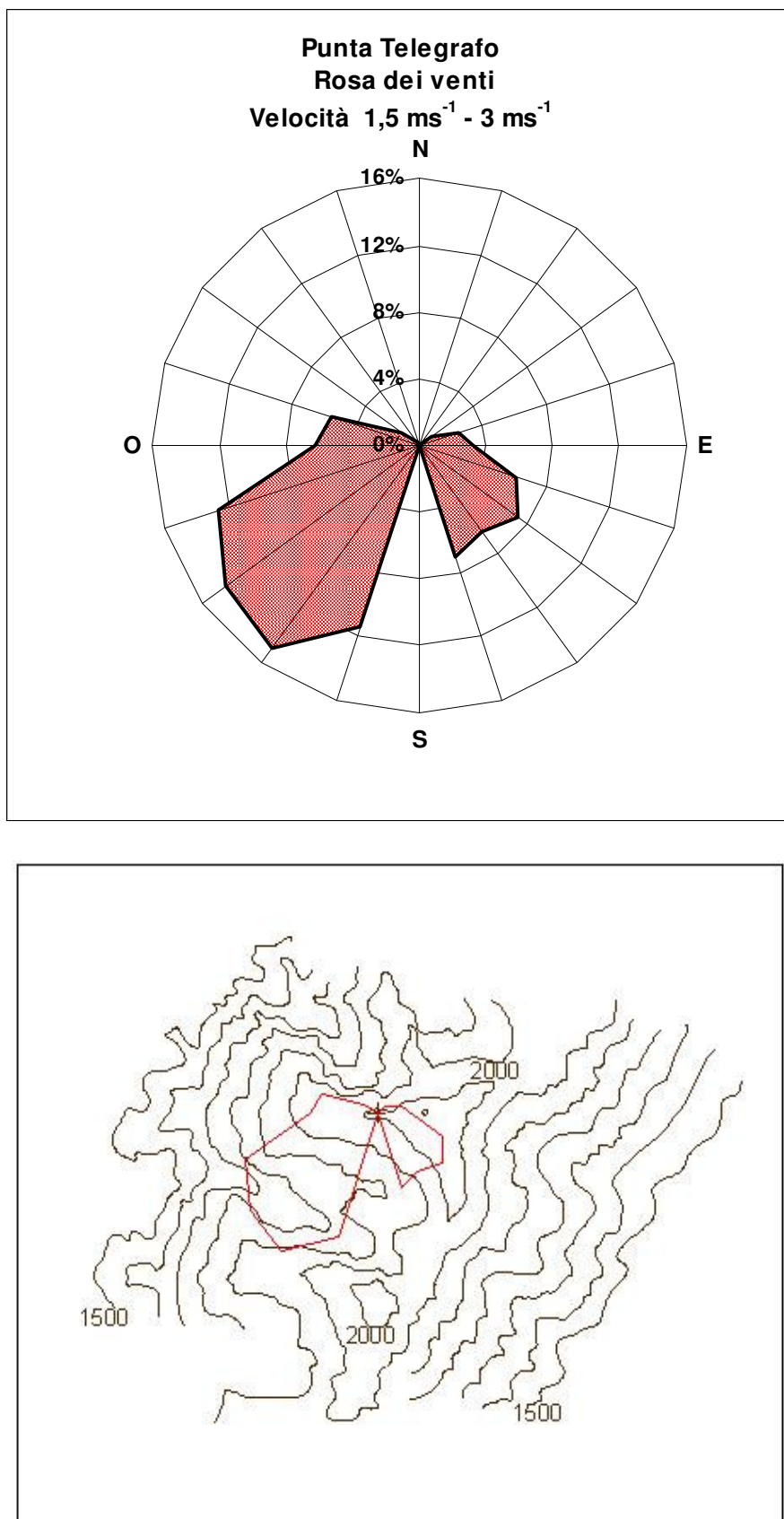


Figura 4. 20. Rosa dei venti con velocità tra $1,5 \text{ ms}^{-1}$ e 3 ms^{-1} e confronto con l'orografia.

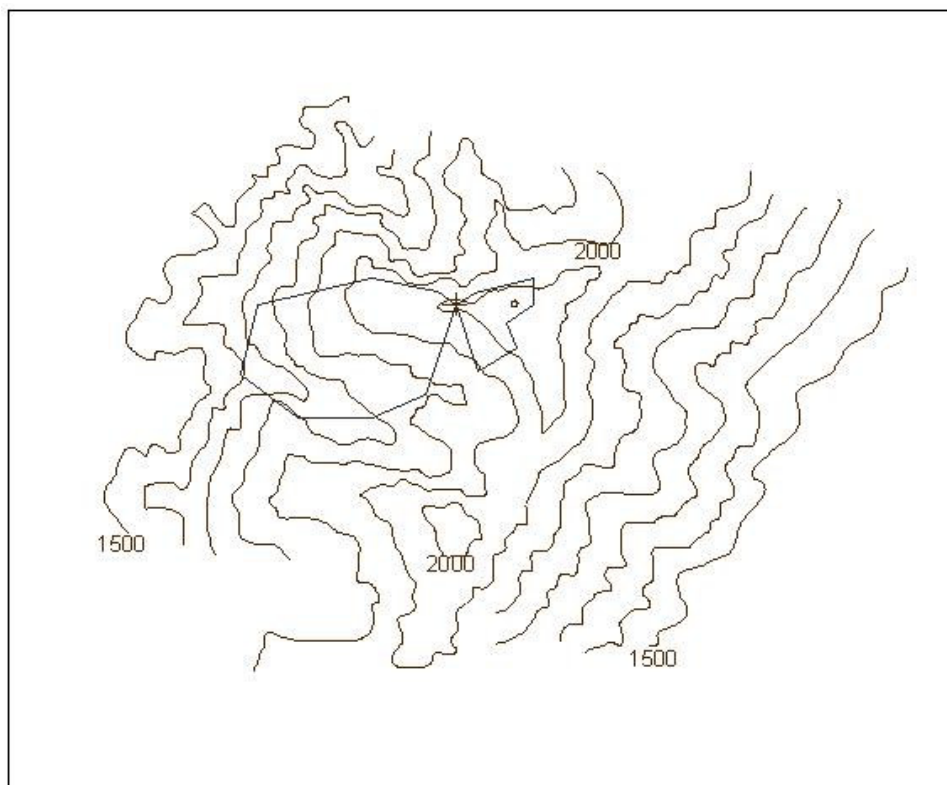
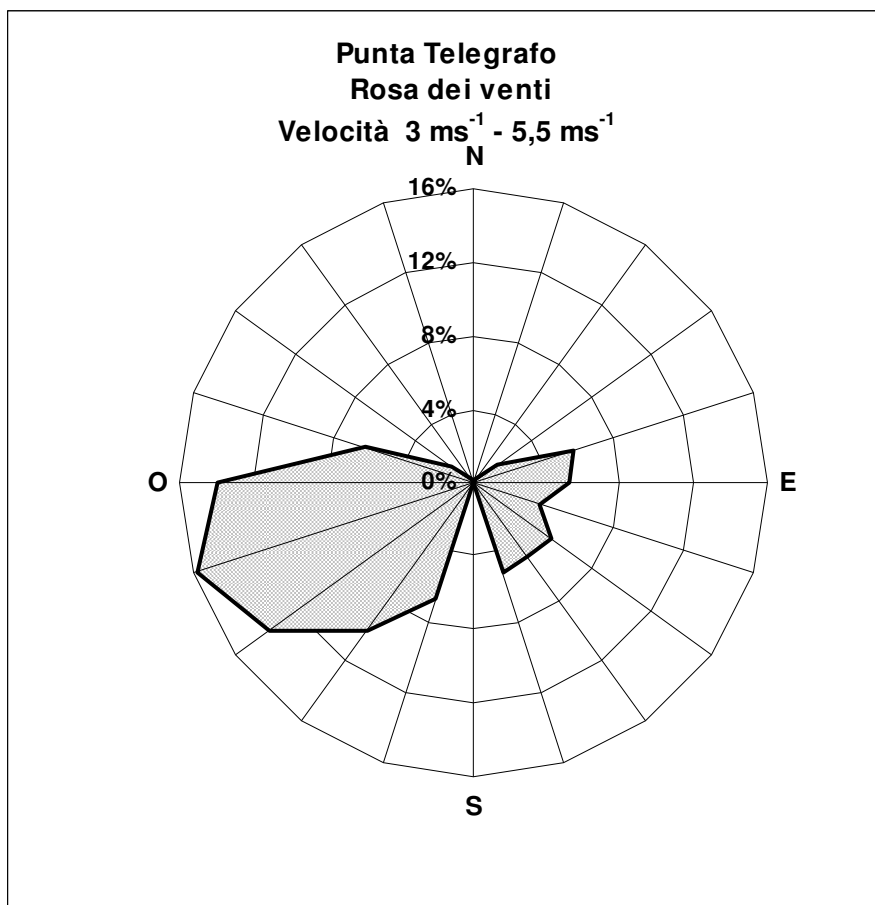


Figura 4. 21. Rosa dei venti con velocità tra 3 ms^{-1} e $5,5 \text{ ms}^{-1}$ e confronto con l'orografia.

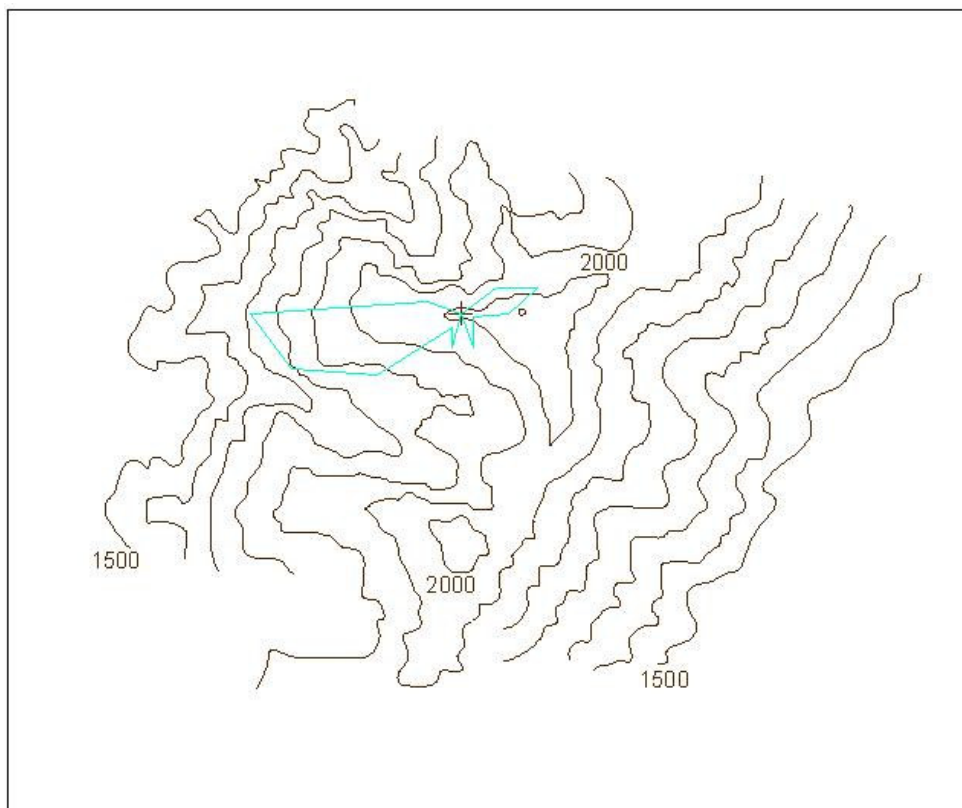
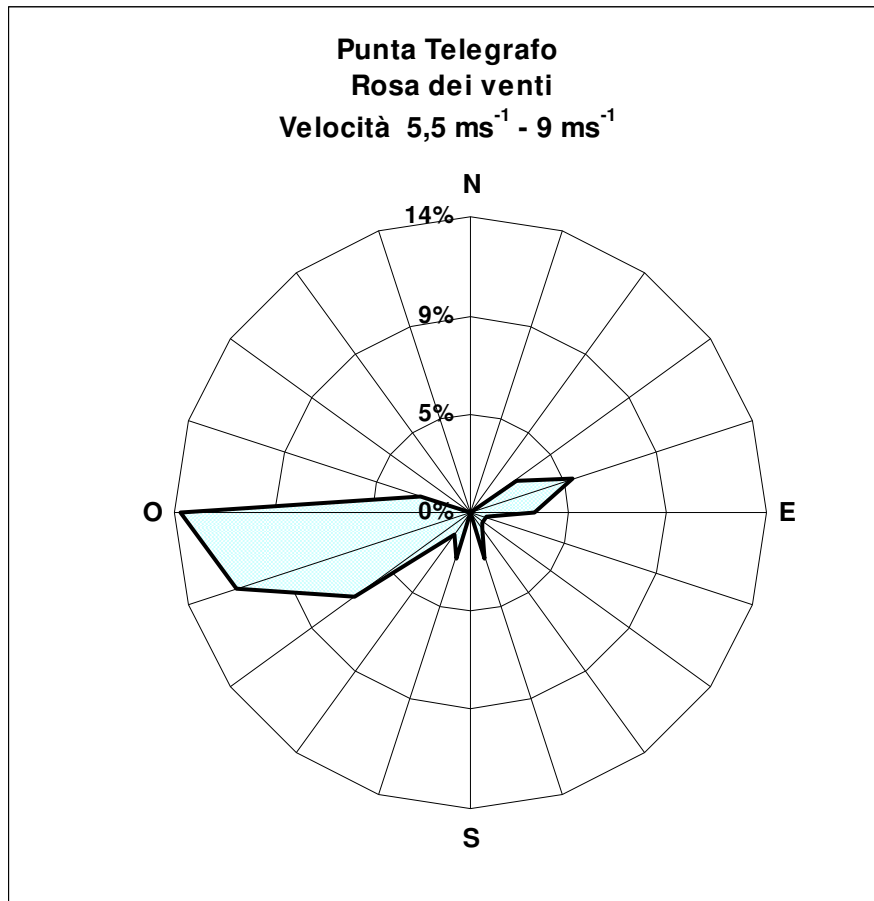


Figura 4. 22. Rosa dei venti con velocità tra $5,5 \text{ ms}^{-1}$ e 9 ms^{-1} e confronto con l'orografia.

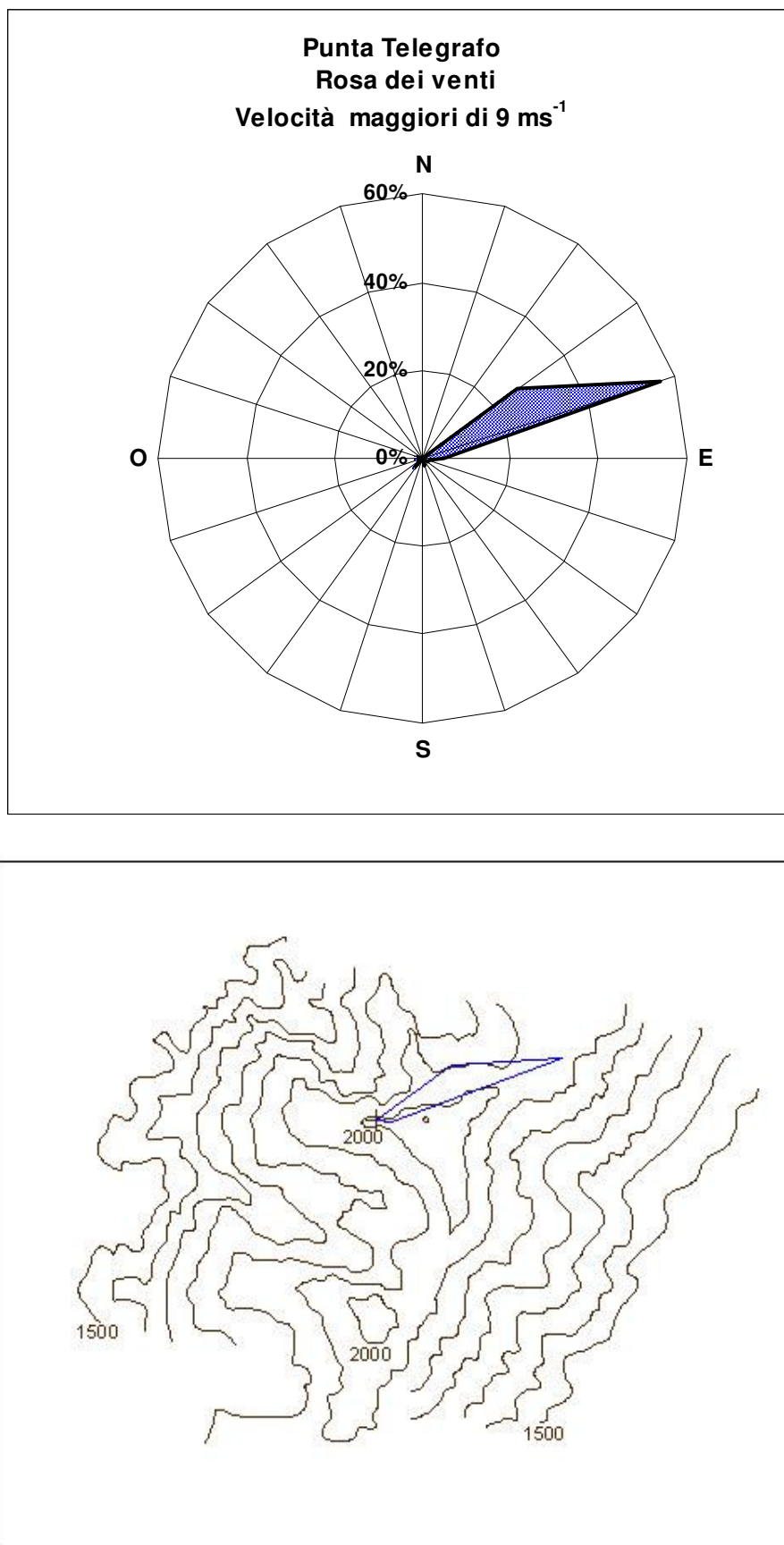


Figura 4. 23. Rosa dei venti con velocità superiori ai 9 ms^{-1} e confronto con l'orografia.

La morfologia della montagna presso il sito è caratteristica e rappresenta bene la configurazione del Monte Baldo, simile ad un lungo bastione che si estende da Nord Est a Sud Ovest, con versanti molto inclinati. La cresta presenta una serie di grandi anfiteatri (circhi glaciali) perlopiù sul versante occidentale esposto sul lago di Garda, il fianco orientale è più regolare. Dalle vette più elevate partono dei costoni che discendono verso il lago e racchiudono questi ampi valloni che si restringono verso il basso. Proprio su uno di questi costoni a poca distanza dalla Punta Telegrafo aveva sede la stazione. Il sito si trova perciò al vertice del crinale del monte, e sovrasta un'ampia conca posta a Sud (dove ha sede il rifugio G. Barana, *Figura 4.24*); un secondo anfiteatro si trova a Nord (Valle degli Ossi), mentre ad Est, oltre Punta Telegrafo, il versante scende seguendo un'ampia valle (Vallone Osanna) (*Figura 4.25*).



Figura 4.22. La conca sotto la stazione verso sud (fotografia scattata il 14/07/2005).



Figura 4.25. Particolare di Punta Telegrafo: in primo piano la conca dove si trova il rifugio, in rosso è segnalata la stazione all'inizio del costone che scende sulla sinistra, a destra il Vallone Osanna; l'immagine è orientata verso Sud - Ovest (immagine tratta da Google.Earth).

Il confronto tra direzioni prevalenti del vento e profilo del territorio si dimostra importante e significativo. Le correnti d'aria con velocità inferiori ai $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ arrivano prevalentemente dai settori SudEst, Sud - SudEst e Sud - SudOvest, Ovest - SudOvest; in particolare i venti con intensità compresa tra $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ provengono principalmente dal settore SudOvest. Rispetto alla morfologia del terreno, si può osservare che per il quadrante Sud - occidentale la rosa dei venti copre esattamente i pendii della conca ai piedi della stazione; i venti dal settore Sud orientale sono viceversa ben correlabili ai pendii del versante orientale della montagna. Se si considera una diversa classe delle velocità, ovvero tra i $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ed i $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, si può osservare come i venti soffino prevalentemente da Ovest - SudOvest, ed in piccola parte anche da Est: la direzione della circolazione si è spostata in senso trasversale alla catena montuosa. All'aumentare dell'intensità dei venti, la direzione di provenienza tende ad Ovest e NordEst, mentre le velocità maggiori (oltre i $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) sono relative a correnti che spirano da NordEst.

E' evidente come l'interazione col terreno sia forte per i venti deboli e vada perdendosi all'aumentare della velocità: le correnti più forti e che

possono essere considerate di origine sinottica, sono sostanzialmente indipendenti dalla morfologia del terreno. Questo comportamento fa pensare alla effettiva sovrapposizione tra fenomeni di circolazione locale di piccola scala e circolazioni maggiori, di mesoscala e della scala sinottica.

Le differenze termiche presenti tra zone diversamente riscaldate sono responsabili di ogni movimento d'aria sulla Terra; a distinguere un vento dall'altro sono due fattori: la vastità dello spazio coinvolto nelle differenze termiche e la durata del fenomeno. Quando i contrasti termici coinvolgono uno spazio orizzontale più ampio dello spessore della troposfera (circa 10 km), si crea una circolazione prevalentemente orizzontale; se lo spazio è relativamente limitato (minore di 10 km) l'atmosfera reagisce mettendo in atto moti convettivi, cioè venti verticali che eliminano velocemente le differenze termiche. Il vento sinottico è dovuto ad una differenza termica che persiste nel tempo: oltre al gradiente di pressione entra in gioco anche la forza di Coriolis, che devia il vento cosicché esso spirava più o meno parallelamente alle isobare. I venti locali sono dovuti ad una differenza termica temporanea: la forza di Coriolis non ha il tempo di manifestarsi e l'aria va direttamente dalla zona di alta pressione a quella di bassa pressione.

I venti locali assumono un ruolo particolarmente importante in montagna: la diversa esposizione dei versanti e la diversa altitudine delle superfici riscaldate danno origine a contrasti termici maggiori di quelli che potrebbero originarsi in pianura. Inoltre l'azione dinamica indotta dalle montagne, che si pongono come ostacolo al vento sinottico, fa sì che le brezze locali diventino le circolazioni principali. Ma il fenomeno in realtà non è così semplice: sulle creste alpine vi è una continua interazione fra il vento sinottico e le brezze dei versanti; dove si incontrano questi venti si creano spesso delle turbolenze e delle variazioni del vento su piccola scala (Kappenberger e Kerkmann, 1997).

Una catena montuosa rappresenta molto approssimativamente una superficie elevata di riscaldamento (di giorno) e di raffreddamento (di notte). Durante il giorno sulle Alpi si forma una depressione termica: i venti che ne risultano spirano dalla pianura verso la montagna (vento sinottico permettendo); durante la notte si forma invece una zona di alta pressione termica e la circolazione si svolge in senso contrario (Kappenberger e Kerkmann, 1997). Si parla di circolazione pianura – montagna; in quota detta circolazione è chiusa da correnti molto più lente. Fanno parte di questo moto

le brezze di monte e di valle e le brezze di versante (up valley e down valley winds, up slope e down slope winds, Capitolo 3); tutte queste correnti hanno uno sviluppo giornaliero, sono caratteristiche delle giornate di bel tempo (estive specialmente) e sono strettamente dipendenti dalla orografia della regione interessata. Quando una di queste brezze incontra un ostacolo è costretta a salire: questo processo viene chiamato “ascesa dinamica della brezza” (Kappenberger e Kerkmann, 1997).

I venti che si sviluppano sui pendii (brezze di versante) sono anch'essi generati da un differente riscaldamento di zone adiacenti, ma la scala del fenomeno è piccola ed i moti verticali sono confrontabili con quelli orizzontali. Durante una giornata non nuvolosa il terreno e lo strato di aria a contatto con esso iniziano a scaldarsi (grazie alla radiazione solare): tale riscaldamento è diverso in funzione del tipo di superficie. In condizioni di equilibrio instabile, l'aria riscaldata può staccarsi dal suolo e cominciare a salire verticalmente, dando così origine ad una termica. Se il riscaldamento continua può crearsi un flusso d'aria continuo. L'aria calda sale sotto forma di termiche verso l'alto ed è 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 basso: questo deflusso è causato dal maggior peso delle masse d'aria fredda (vento catabatico) (Kappenberger e Kerkmann, 1997). L'orientamento del pendio ha una importanza fondamentale per la formazione e lo sviluppo del vento anabatico, infatti il riscaldamento dipende dalla esposizione all'irraggiamento solare. Si deve sottolineare che le correnti ascendenti portano aria calda e umida verso l'alto e possono dunque dar luogo alla formazione di nubi sul versante.

Analizzando gli elementi a disposizione, si può affermare che i venti più deboli registrati a Punta Telegrafo siano circolazioni di piccola scala del tipo brezza di versante.

Se si parte dalle colline veronesi a Sud e si risale verso il Monte Baldo si incontrano pendii sempre più inclinati, dapprima boscosi, poi caratterizzati da grandi pascoli con scarsa vegetazione, fino ai ripidi versanti della cresta principale della montagna. E' plausibile pensare che esista una circolazione del tipo pianura - montagna che durante le ore più calde risalga la valle di Caprino Veronese e Ferrara di Monte Baldo per arrivare in quota verso

Novezza e risalire i pendii più alti della catena. Il Vallone Osanna (*Figura 4.26.*), esposto benissimo al sole del mattino avendo orientazione SudEst ed una forte inclinazione, ha tutte caratteristiche potenziali per sviluppare una brezza di versante.



Figura 4.26. Il Vallone Osanna visto da Novezza (fotografia scattata il 22/07/2005).

La rosa dei venti più deboli, con velocità minori di $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ indica chiaramente che la provenienza è proprio il Vallone Osanna, posto ad Est della stazione: la circolazione di versante fa salire aria lungo questa valle. Poiché la brezza interessa gli strati d'aria più vicini al terreno, la condizione di strato limite è importante: la corrente interagisce con la morfologia del terreno e la scarsa vegetazione arbustiva presente (specialmente in quota) e supera la cresta con direzione NordOvest. Il fenomeno è stato osservato più volte nei giorni del sopralluogo, della installazione e della chiusura della campagna: correnti d'aria che risalivano il versante si avvertivano mentre si saliva alla

stazione lungo il sentiero 652 (che attraversa diagonalmente il Vallone Osanna), inoltre si formavano nuvole che superavano e salivano oltre la cresta (Figure 4.27, 4.28 e 4.29).



Figura 4.27. Veduta verso Est dalla stazione: iniziano i primi moti convettivi provenienti dal versante nascosto (foto scattata il 23/07/2005).



Figura 4.28. Veduta del Vallone Osanna dalla cresta verso il basso: si possono vedere le nuvole che si alzano. (foto scattata il 14/07/2005).



Figura 4.29. Veduta verso SudEst dalla stazione: si vedono le nubi salite dal Vallone Osanna (foto scattata il 14/07/2005).

Quando il sole comincia ad essere alto nel cielo, i pendii del costone ove era posizionata la stazione vengono riscaldati e comincia il fenomeno della brezza anche sul lato versante Sud occidentale che si prolunga nel pomeriggio, quando anche il resto del versante occidentale è colpito dai raggi solari direttamente. Quando le brezze arrivano da entrambi i versanti, nel momento della giornata in cui entrambi sono riscaldati, le correnti si incontrano sopra la cresta dando origine a turbolenze (*Figure 4.30. e 4.31.*); dall'osservazione di queste figure, è ben evidente che vi è una componente verticale del moto importante e non trascurabile.

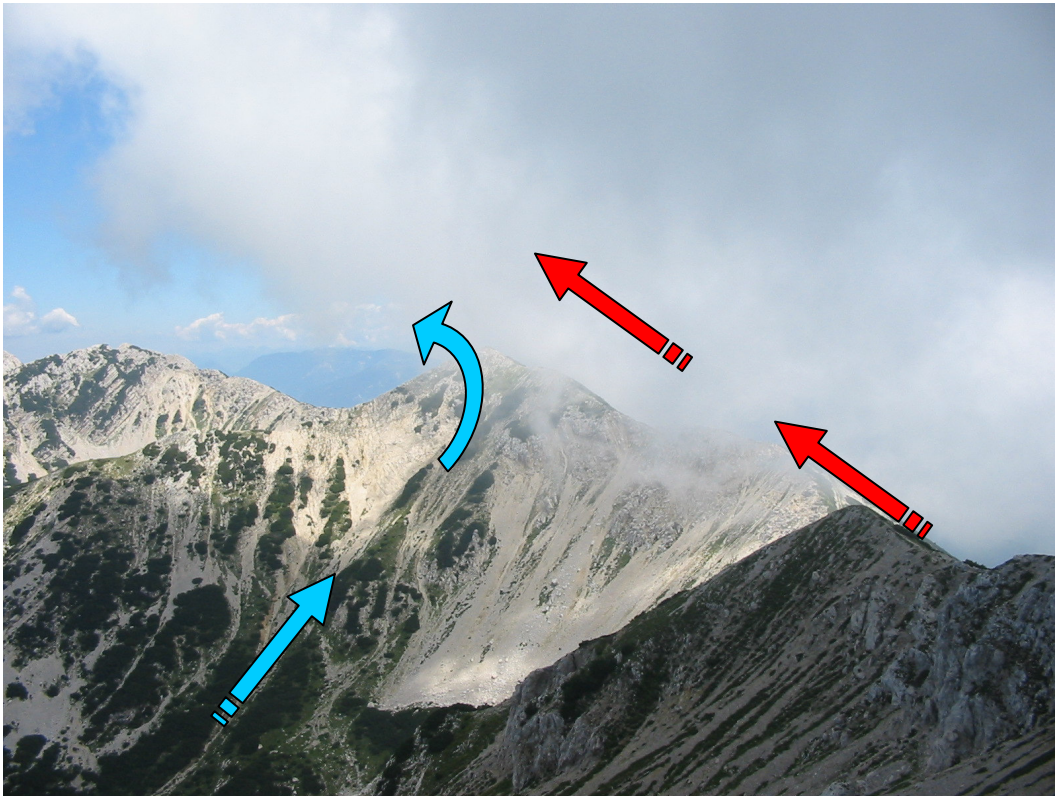


Figura 4.30. Veduta verso Nord: a brezza di versante porta in alto nubi da SudEst (rosso), da SudOvest sale aria meno umida (azzurro) (foto scattata il 14/07/2005).

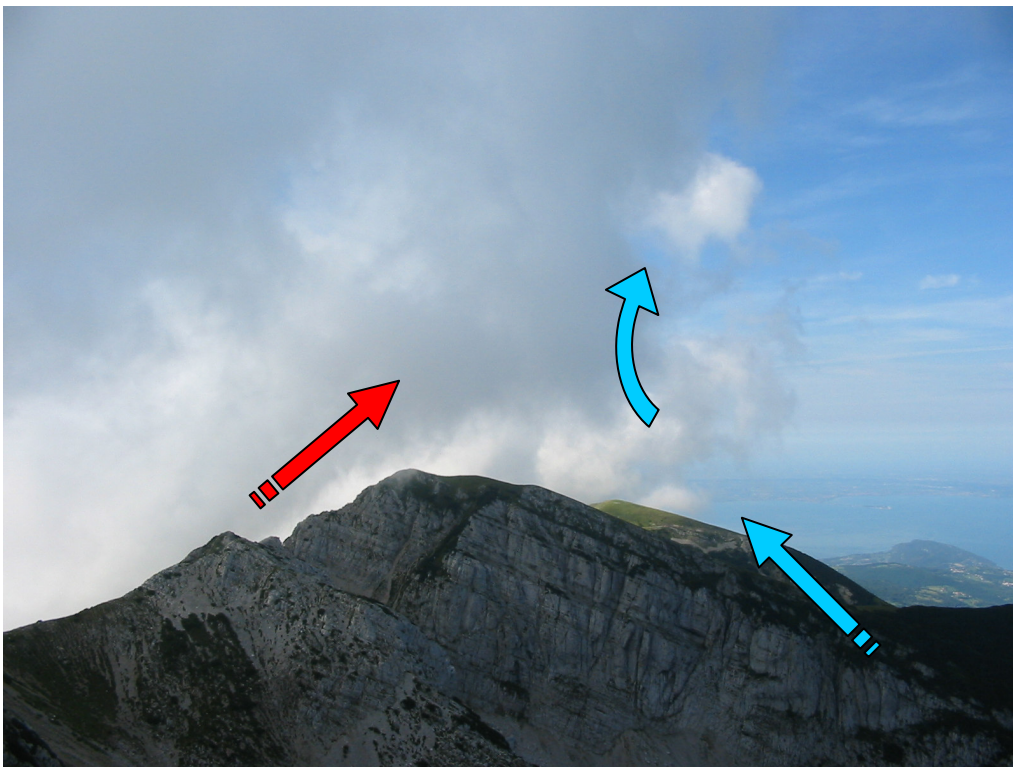


Figura 4.31. Veduta verso Sud: incontro delle correnti.

La posizione della stazione permette di caratterizzare bene le brezze dell'uno e dell'altro versante che si susseguono durante il giorno, mentre è probabile che le corrispondenti brezze della notte non vengano bene identificate, poiché l'aria che si raffredda e scende durante la notte genera venti meno intensi e di minor "spessore", cosicché la posizione alta del sensore sui versanti e sulla sommità è probabilmente al di sopra della corrente discendente.

Alla quota di 2200 m s.l.m., sulla cresta di una montagna, essendo i fenomeni locali (tipici diurni) assai deboli nella notte, è possibile che quello registrato di notte dalla stazione sia il vento sinottico. La medesima considerazione si può fare per le correnti più forti misurate: essendo indipendenti dalla morfologia della zona, possono essere ricondotte a circolazioni sinottiche.

Per verificare lo sviluppo dei fenomeni ipotizzati, sono state prese in esame alcune giornate della campagna di misure, e le varie grandezze fisiche misurate sono state messe in relazione per trovare un possibile legame con le condizioni atmosferiche manifestatesi in sito, facendo anche riferimento alle carte sinottiche ed ai profili elaborati dai radiosondaggi. E' importante osservare subito nel profilo dei venti, in Appendice I, che spesso la fascia compresa tra i 1700 m ed i 2300 m circa rappresenta una zona di cambiamento della direzione dei venti. La quota 2200 m di Punta Telegrafo è dunque nella fascia in cui non è facile valutare la direzione delle correnti atmosferiche.

Si consideri la giornata del 23 luglio, primo giorno completo di misure della campagna; nella notte vi era stato un temporale piuttosto forte, con fulmini e grandine, mentre al mattino l'aria era tersa e fresca. Nei giorni 22 e 23 luglio un grande ciclone era presente sul Mar Baltico, mentre una debole depressione si trovava sul Golfo di Genova ed una debole alta pressione era sull'Europa dell'Est il 22 luglio. Sulle Alpi orientali era presente un fronte caldo che si spostava verso NordEst, il giorno 24 luglio una relativa alta pressione si instaurava ad Est della catena alpina, una nuova bassa pressione (oltre a quella sul Mar Baltico) si trovava sulla Gran Bretagna; un fronte occluso si trovava a Nord delle Alpi. Secondo la carta del tempo di quei giorni il vento avrebbe avuto una provenienza da Est - SudEst il 22 luglio, diventando prevalentemente da Sud il giorno 23 luglio, mentre per effetto dell'alta

pressione avrebbe ruotato spirando da Sud – Sud Ovest il giorno 24 luglio (Appendice G).

Facendo riferimento alla *Figura 4.32*, si può vedere come al sorgere del sole (intorno alle 4:50) radiazione e temperatura inizino a salire piuttosto regolarmente, fino alle 8:20 circa, quando la radiazione (e di conseguenza anche la temperatura) calano bruscamente. In corrispondenza di questa diminuzione vi è un aumento della nuvolosità ($T - T_d$ diminuisce), anche la stabilità diminuisce (*Figura 4.13* a pagina 135): le nuvole che si formano per i moti di versante vanno a coprire il sole. Intorno alle 10:50 la nuvolosità cala ($T - T_d$ aumenta), cosicché radiazione e temperatura crescono; il cielo non è comunque sgombro da nubi, visto l'andamento frastagliato della radiazione solare; alle 15:30 circa si ha di nuovo un repentino calo di radiazione e temperatura. Se si considera ora la curva odografa dalle ore 0:00 alle ore 24:00 del 23 luglio (*Figura 4.33*.) si potranno osservare delle relazioni con quanto visto finora. Nella notte a cavallo con il 22 luglio, i venti sono forti da NordEst, ma si deve tener conto che durante il temporale le circolazioni sono molto particolari. Al mattino presto il vento soffia ancora da NordEst, con velocità intorno ai $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, in accordo con i dati del radiosondaggio; successivamente il vento ruota, si indebolisce e a metà mattina soffia da SudEst: nasce e si sviluppa la brezza di versante da Est, che porta in alto aria umida che condensa a formare nubi. Il vento poi ruota ancora e diventa leggermente più forte da Sud – SudOvest: è la corrente di versante occidentale. Nel tardo pomeriggio e nella notte il vento tende sempre più verso NordEst, di nuovo in accordo con i dati del radiosondaggio (Appendice I). Nelle ore calde della giornata, quando la radiazione solare mette in moto i fenomeni di scala locale, non vi è segno del vento sinottico. Si deve in ogni caso considerare anche che la presenza del fronte caldo favoriva i moti ascendenti dell'aria. Tuttavia l'analisi della giornata sembra dare validità alle supposizioni fatte.

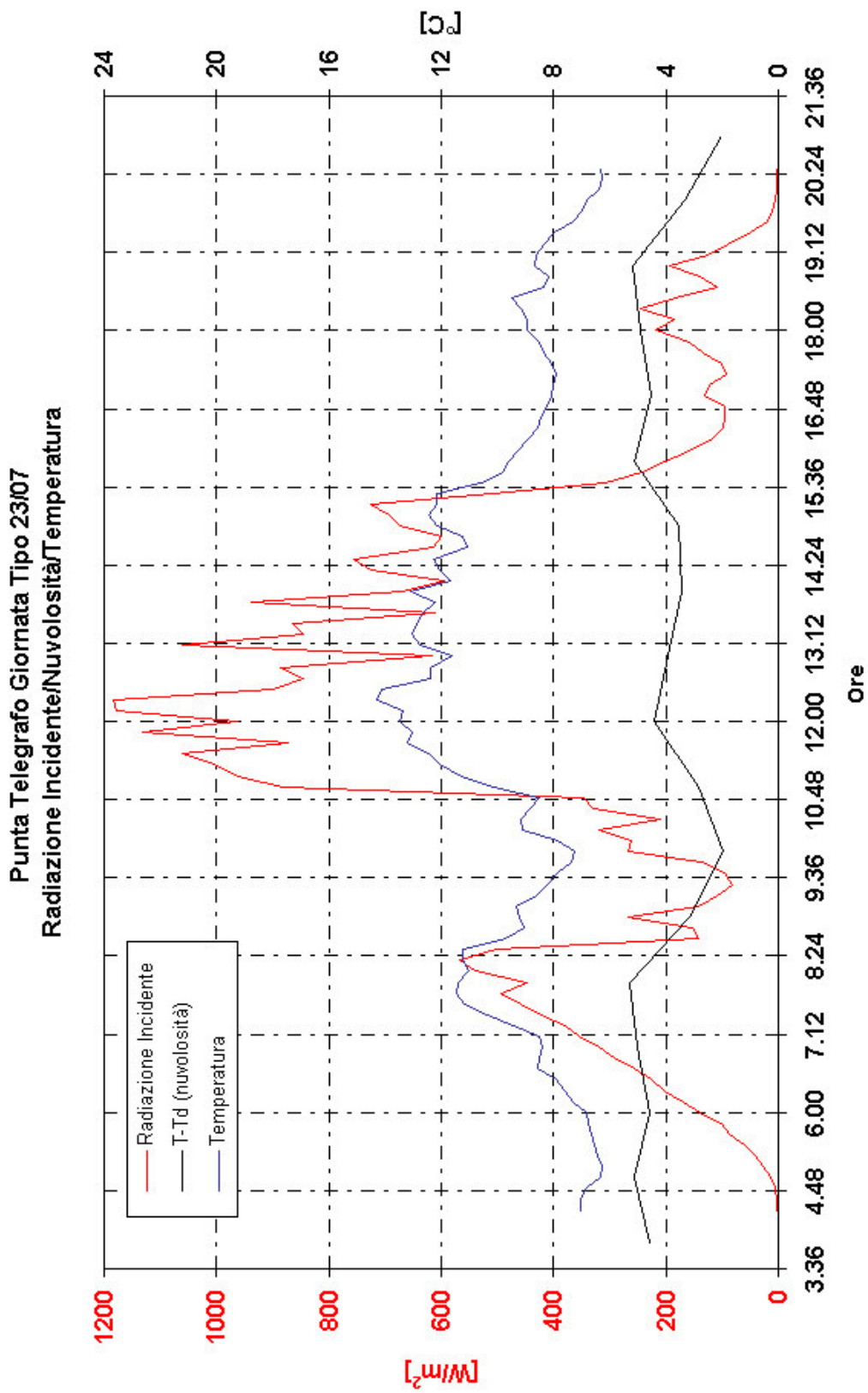


Figura 4.32. Giorno 23/07/2005, evoluzione della giornata.

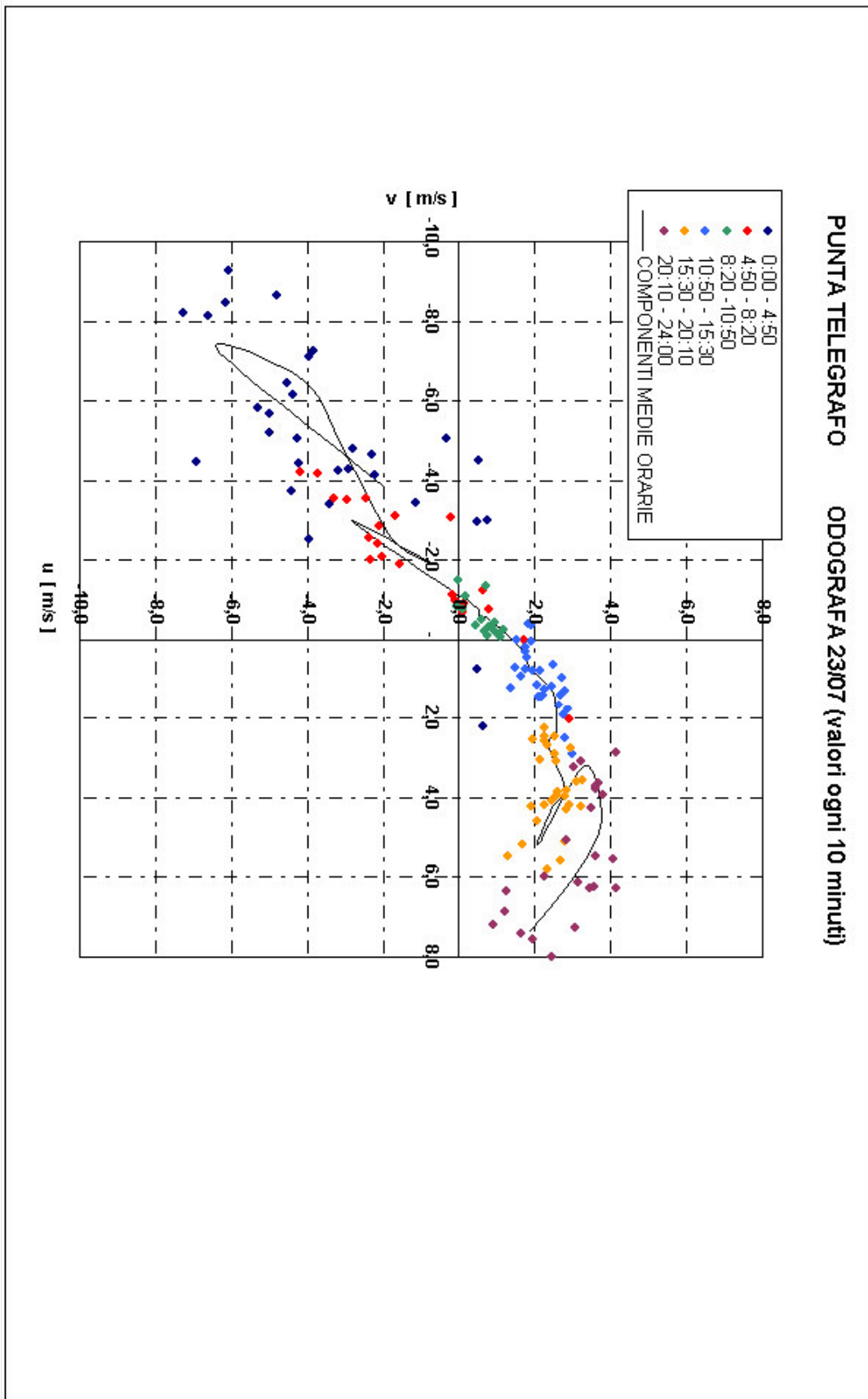


Figura 4.33. Odogramma del giorno 23/07/2005.

Proseguendo nell'analisi di alcune giornate particolari, il 26 ed il 27 luglio una bassa pressione sulla Scandinavia ed un'alta pressione sull'Europa dell'Est, accompagnata ad una seconda sulla Francia, fanno sì che un fronte freddo a Nord delle Alpi si sposti verso NordEst. Il 28 ed il 29 luglio l'alta pressione si sposta sulla Russia, più a Nord e si rafforza, mentre si instaura una bassa pressione sulla Gran Bretagna: aria viene richiamata dall'Adriatico, con la formazione di correnti da Sud – SudOvest (Appendice G); il profilo dei radiosondaggi (Appendice I) indica venti provenienti da Ovest – SudOvest con velocità da deboli fino a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nella mattina del 27 luglio, verso le 8:00 iniziano i moti convettivi che portano alla formazione di nubi, che vanno a coprire il sole creando discontinuità nell'irradiazione e nella temperatura (Figura 4.34). Temperatura e radiazione sono strettamente correlate e si può vedere bene come vi sia corrispondenza tra le curve, che risultano molto frastagliate. Durante la giornata l'atmosfera diventa instabile (Figura 4.13 a pagina 135), mentre il valore di $T - T_d$ aumenta. I valori della radiazione incidente sono ampiamente variabili, si passa da minimi di cielo coperto a massimi molto elevati: si può supporre che le nubi che non coprono il sole abbiano un effetto "specchio", riflettendo la radiazione. Questa ultima ipotesi può essere anche supportata dal fatto che valori molto alti vengono registrati in orari anche lontani dalle 12:00, in cui si dovrebbe registrare il massimo (nuvolosità permettendo). Il vento nella notte è forte da Ovest – SudOvest, poi ruota perdendo velocità e assumendo provenienza da Sud - SudEst nella mattinata e da SudOvest nel pomeriggio; dopo il tramonto soffia leggermente più forte da SudOvest (Figura 4.35.). Dunque le correnti della notte sono ben compatibili con le condizioni del vento indicate dalla carta del tempo e dai radiosondaggi valutate, mentre durante il giorno la circolazione prevalente è locale (essendo i venti di scala maggiore non troppo intensi).

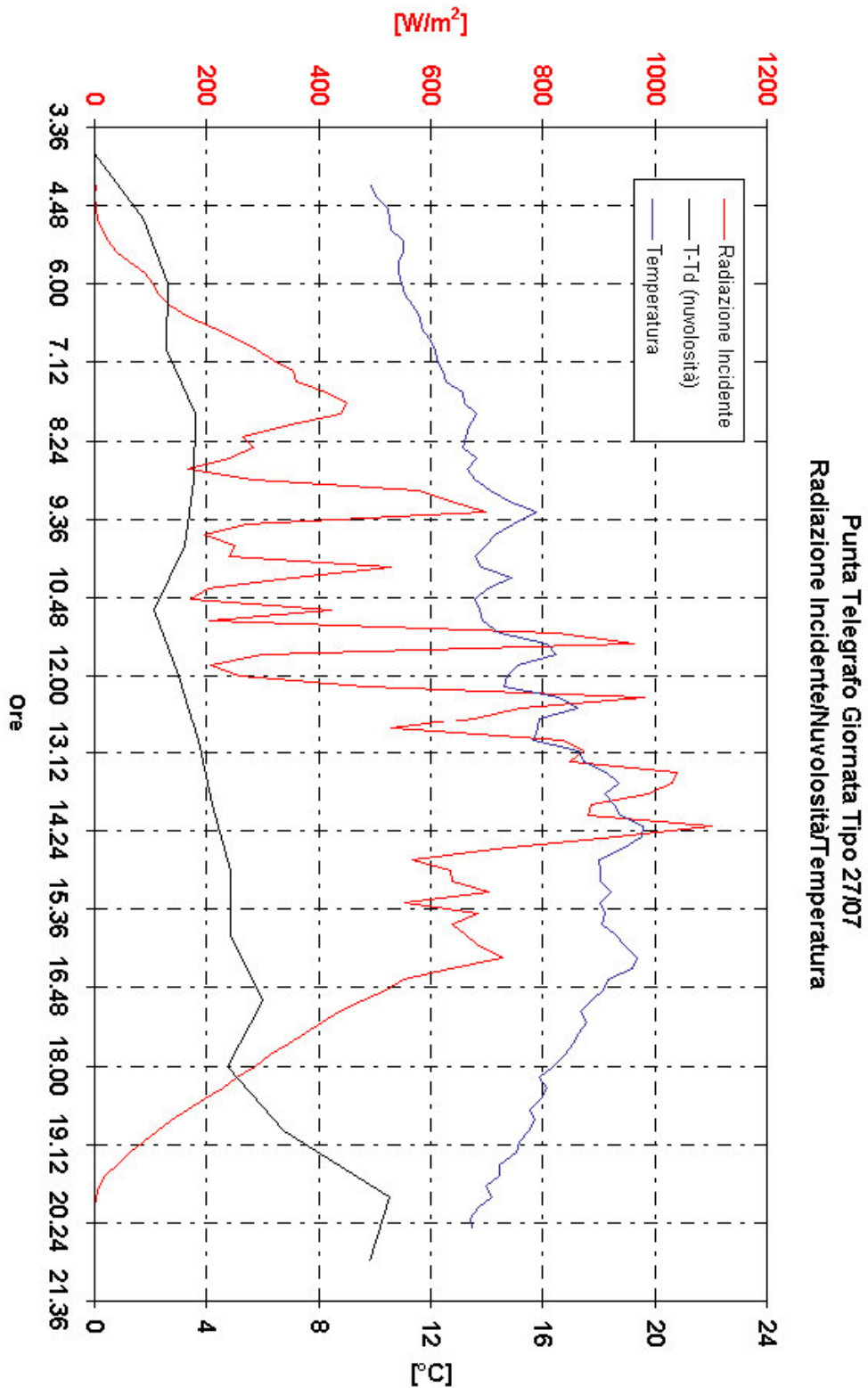


Figura 4.34. *Giorno 27/07/2005, evoluzione della giornata.*

PUNTA TELEGRAFO ODOGRAFA 27/07 (valori ogni 10 minuti)

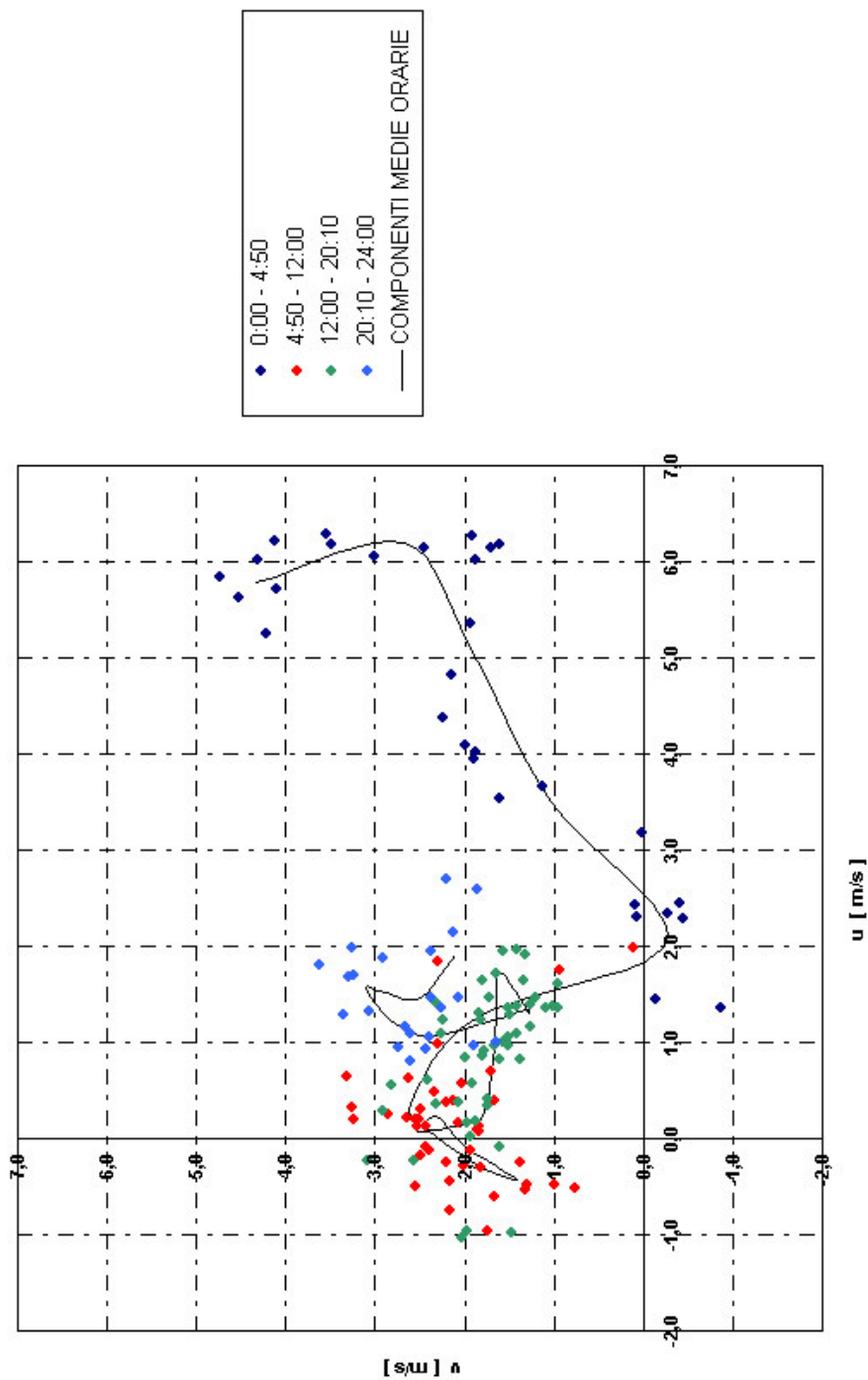


Figura 4.35. Odografa del giorno 27/07/2005.

La curva della radiazione del 28 luglio è caratteristica, avendo un tipico andamento “a campana” molto continuo, sebbene i valori massimi non siano elevati in confronto con le giornate precedenti (*Figura 4.36*). La temperatura segue il comportamento della radiazione, ma il massimo viene raggiunto dopo il massimo della radiazione, perdendo così la corrispondenza tra le curve osservata finora (*Figura 4.10*). Si è in condizioni di scarsa attività cumuliforme, infatti l'atmosfera è più stabile nella giornata (*Figura 4.13* a pagina 135) la differenza $T - T_d$ è più alta degli altri giorni considerati finora. La curva odografa (*Figura 4.37*) è particolare: non si ritrova la caratteristica brezza di versante del mattino, i venti durante il giorno provengono da Sud prima e da SudOvest nel pomeriggio, mentre durante la notte e dopo il tramonto soffiano verso NordEst. La circolazione di grande scala sembra essere prevalente, e questo può essere associato ad una attività termica minore rispetto agli altri giorni. L'atmosfera il giorno 28 luglio era caliginosa, con una fitta foschia, che impediva alla radiazione di raggiungere gli strati d'aria più vicini al suolo con la stessa intensità dei giorni precedenti (*Figura 4.12* a pagina 135). Questo è testimoniato da valori di radiazione più bassi, e da una certa inerzia termica che ritarda il picco di temperatura rispetto a quello della radiazione (quando negli altri giorni la risposta tra le due grandezze è immediata). Le circolazioni locali più deboli fanno sì che non vi sia intensa attività cumuliforme (ma questo dipende anche da $T - T_d$), ed infatti la curva della radiazione è continua.

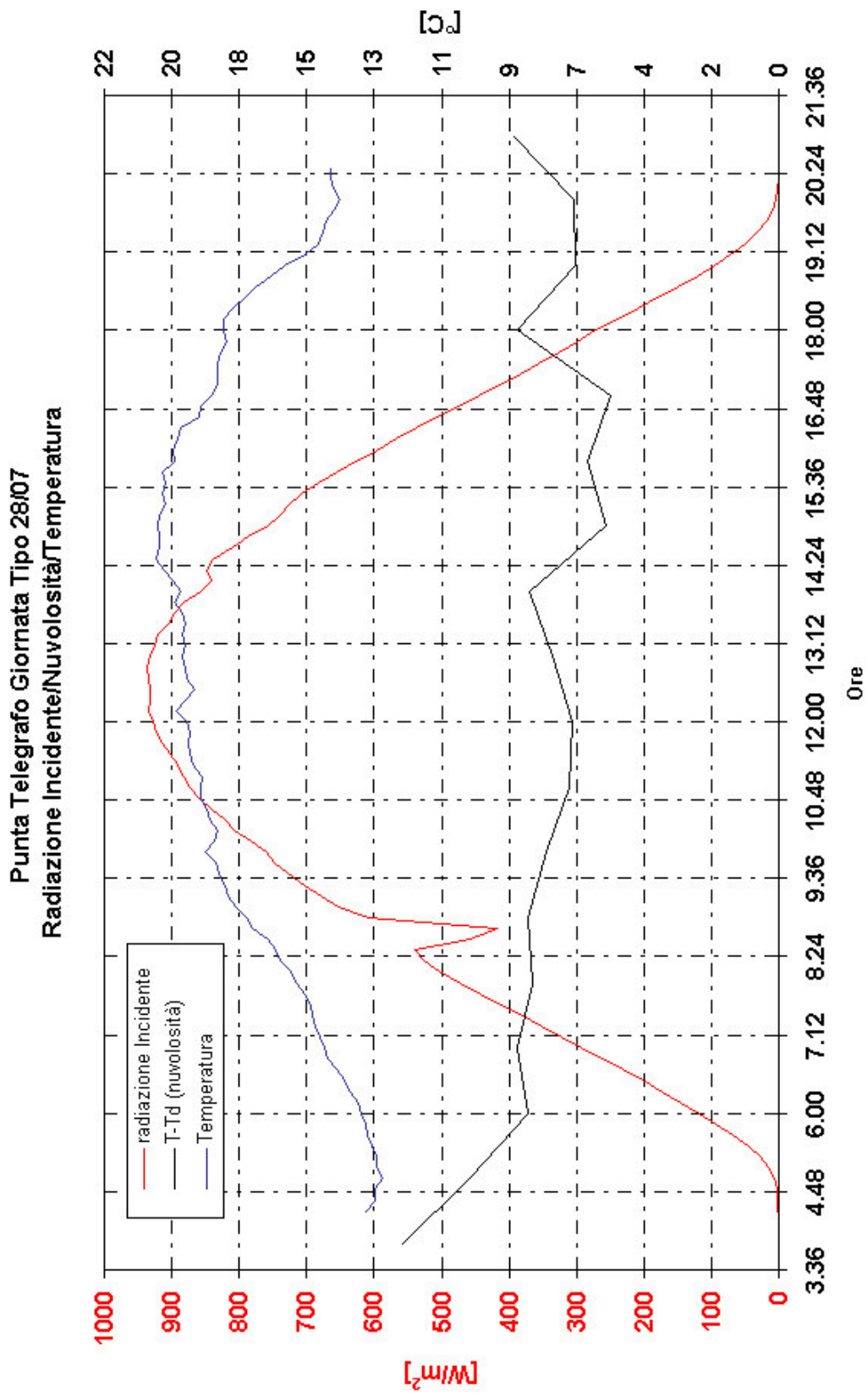


Figura 4.36. *Giorno 28/07/2005, evoluzione della giornata.*

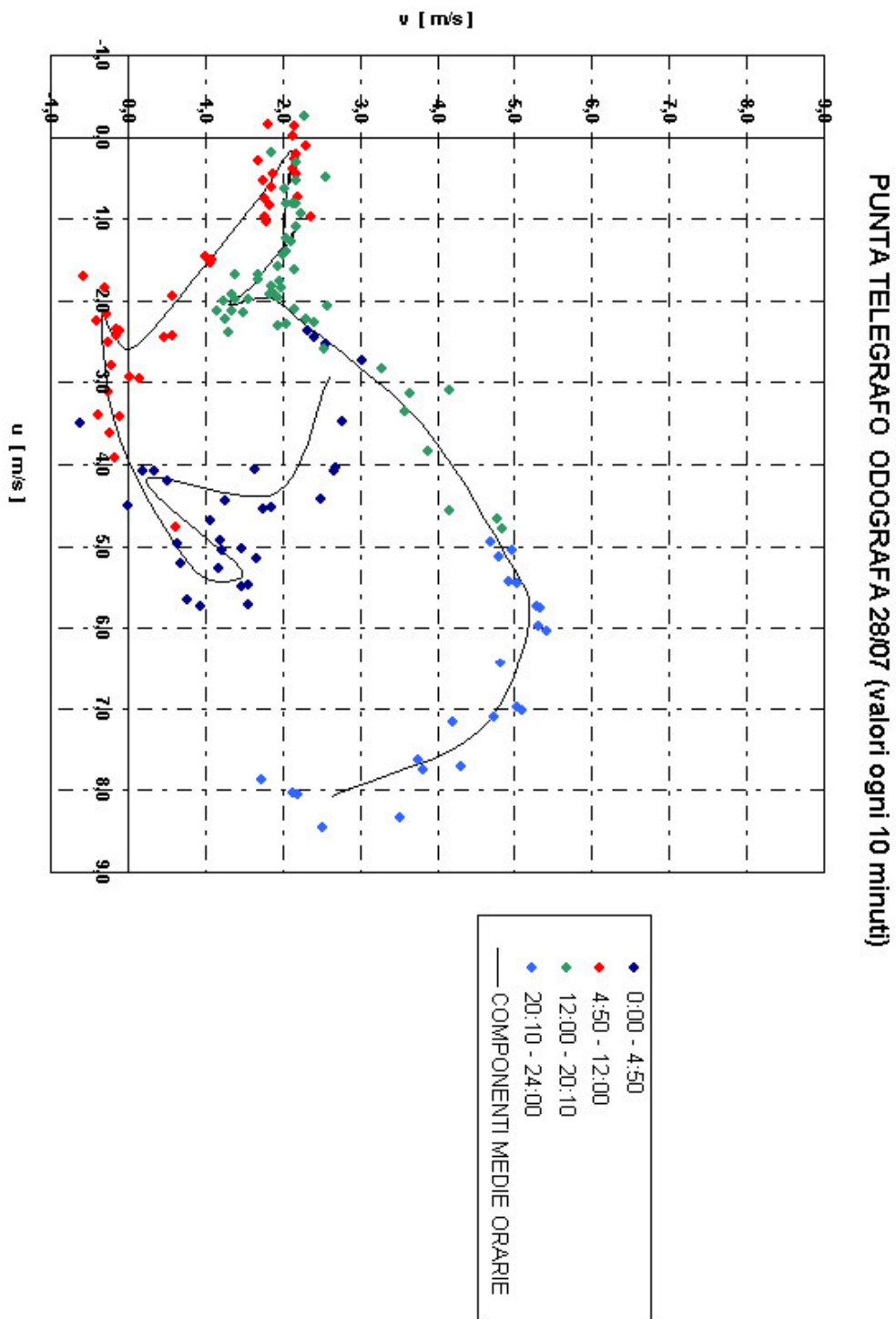


Figura 4.37. Odografia del giorno 28/07/2005.

Nei giorni 3 e 4 agosto si sono verificate condizioni di grande scala molto particolari (Appendice G): una bassa pressione era presente sul Mare Adriatico ed un fronte freddo da Nord era diretto verso le Alpi. Questa situazione è caratteristica dell'arco alpino e vede lo sbarramento del fronte a Nord, con possibili precipitazioni, mentre a Sud delle Alpi soffia un vento forte da Nord – NordEst secco e relativamente più caldo rispetto al versante sopravvento e cielo molto limpido: è il Föhn (Kappenberger e Kerkmann, 1997).

I venti registrati nel corso della giornata del 4 agosto sono i più forti della campagna di misure (*Figura 4.40* a pagina 170). Nella notte tra il 3 e 4 agosto spira un forte vento da NordEst, con punte intorno ai $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, e si ha una sensibile diminuzione del contenuto in vapore dell'aria (il mixing ratio cala nettamente), a riprova di un apporto di aria più secca (*Figura 4.39*). Nelle ore calde del giorno il vento ruota di 180° e soffia da SudOvest, ma con velocità molto minori (in linea con i valori delle giornate già esaminate). Al calar del sole il vento torna a rafforzarsi, con velocità pari a circa $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e torna a soffiare da NordEst. L'andamento della radiazione (*Figura 4.38*), crescente e continuo fino a quasi $900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ alle 10:50 circa, ben si accorda con le condizioni di Föhn lette sulle carte sinottiche. L'atmosfera è molto stabile al mattino, ma va perdendo stabilità a metà giornata quando anche $T - T_d$ diminuisce; l'aria è tersa ed il cielo è molto limpido, come si può vedere nella foto scattata in occasione del secondo sopralluogo (*Figura 4.41* a pagina 171). A partire dalle 11:20 la radiazione cambia bruscamente con valori molto ridotti e picchi elevati; anche la temperatura diminuisce anche se non in modo particolarmente marcato. In corrispondenza con i venti più deboli da SudOvest la radiazione viene ostacolata: ancora una volta le correnti di versante sono causa di attività cumuliforme. Quando il motore termico che attiva queste circolazioni viene meno, dopo il tramonto, la circolazione sinottica riprende il sopravvento. Bisogna anche sottolineare però che molto probabilmente il fenomeno di Föhn perde energia ed intensità durante la giornata: così si può spiegare il fatto che le brezze locali durante il giorno siano prevalenti sul vento da Nord più intenso.

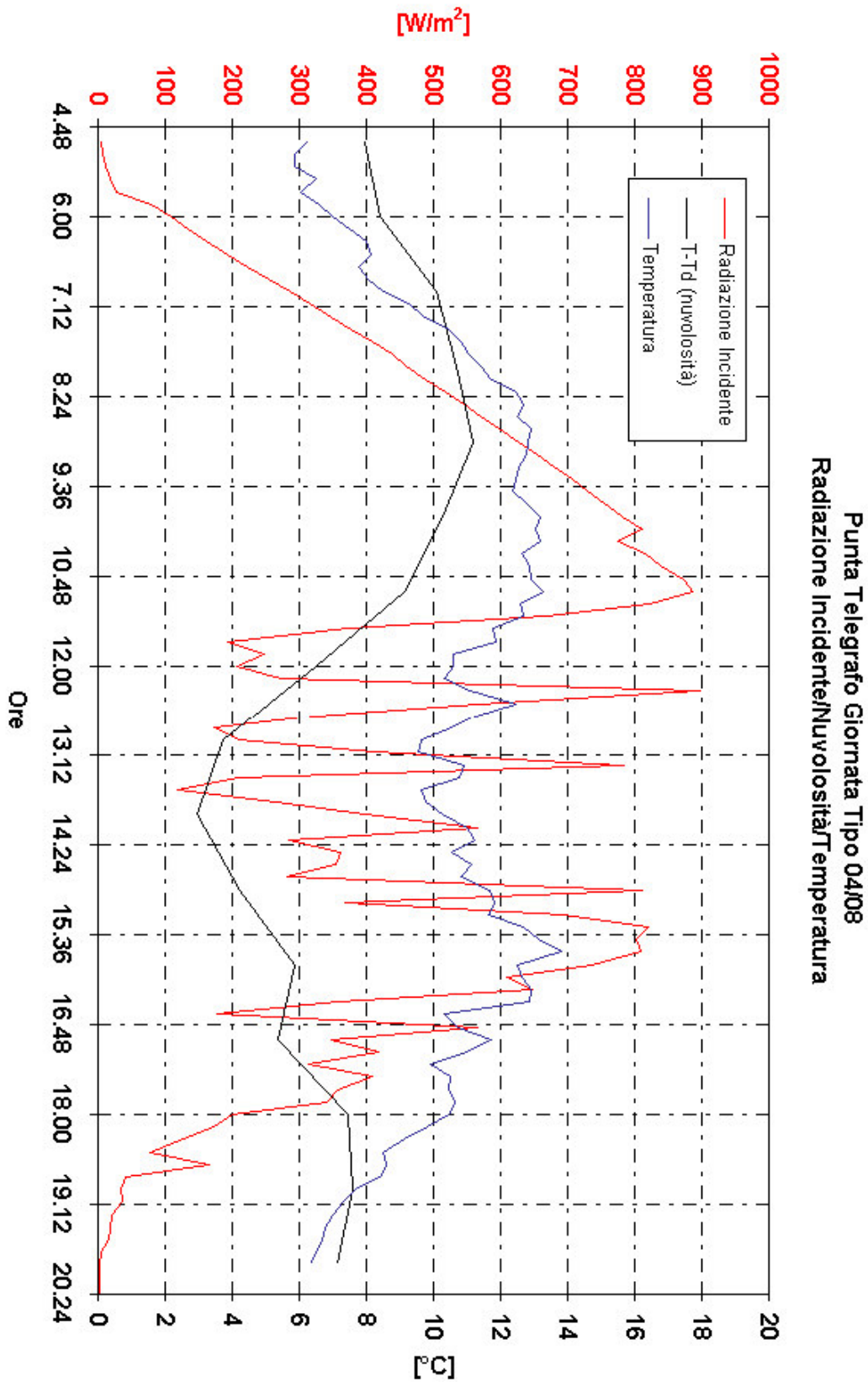


Figura 4.38. *Giorno 04/08/2005, evoluzione della giornata.*

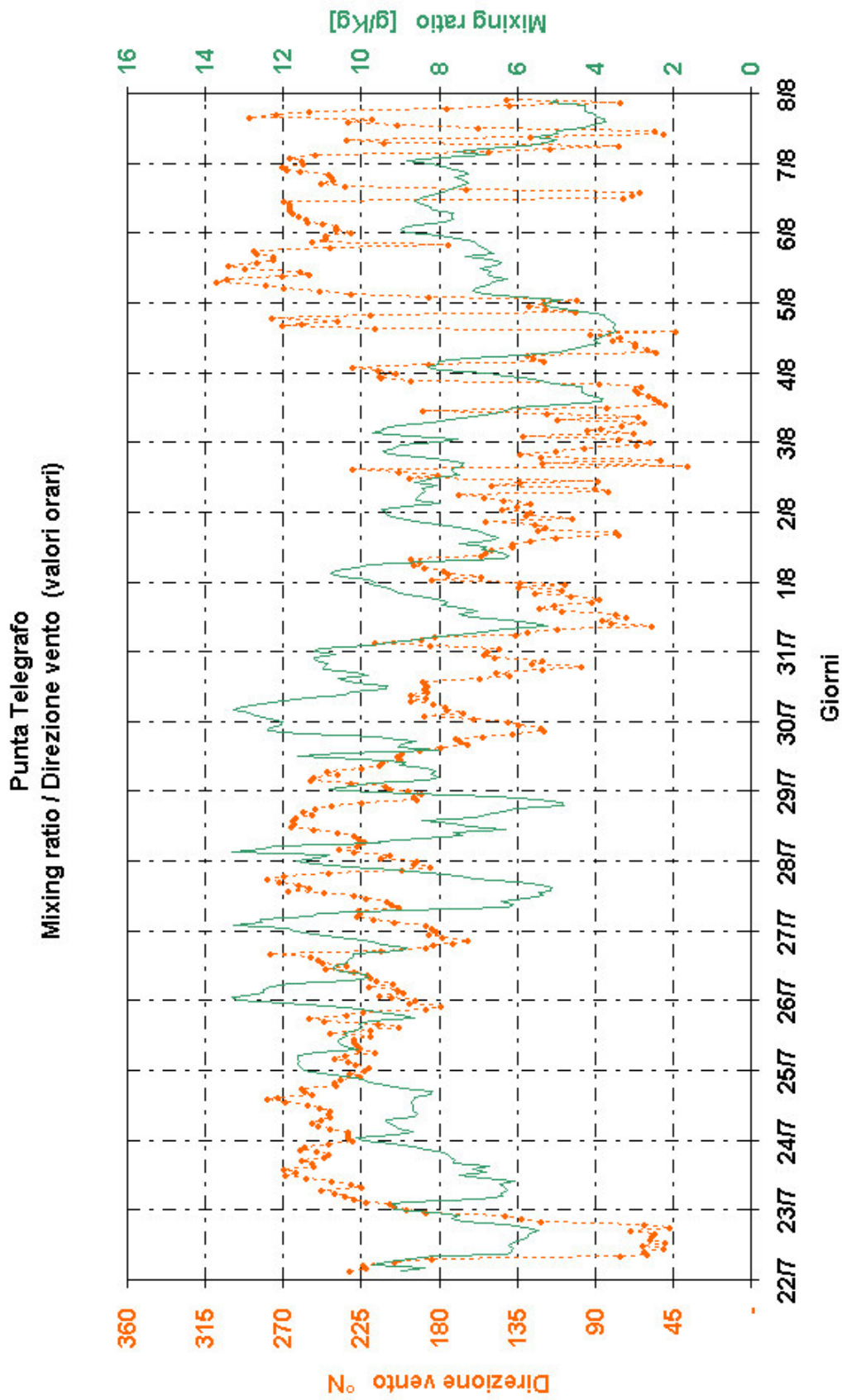


Figura 4.39. Andamento del mixing ratio a confronto della direzione del vento.

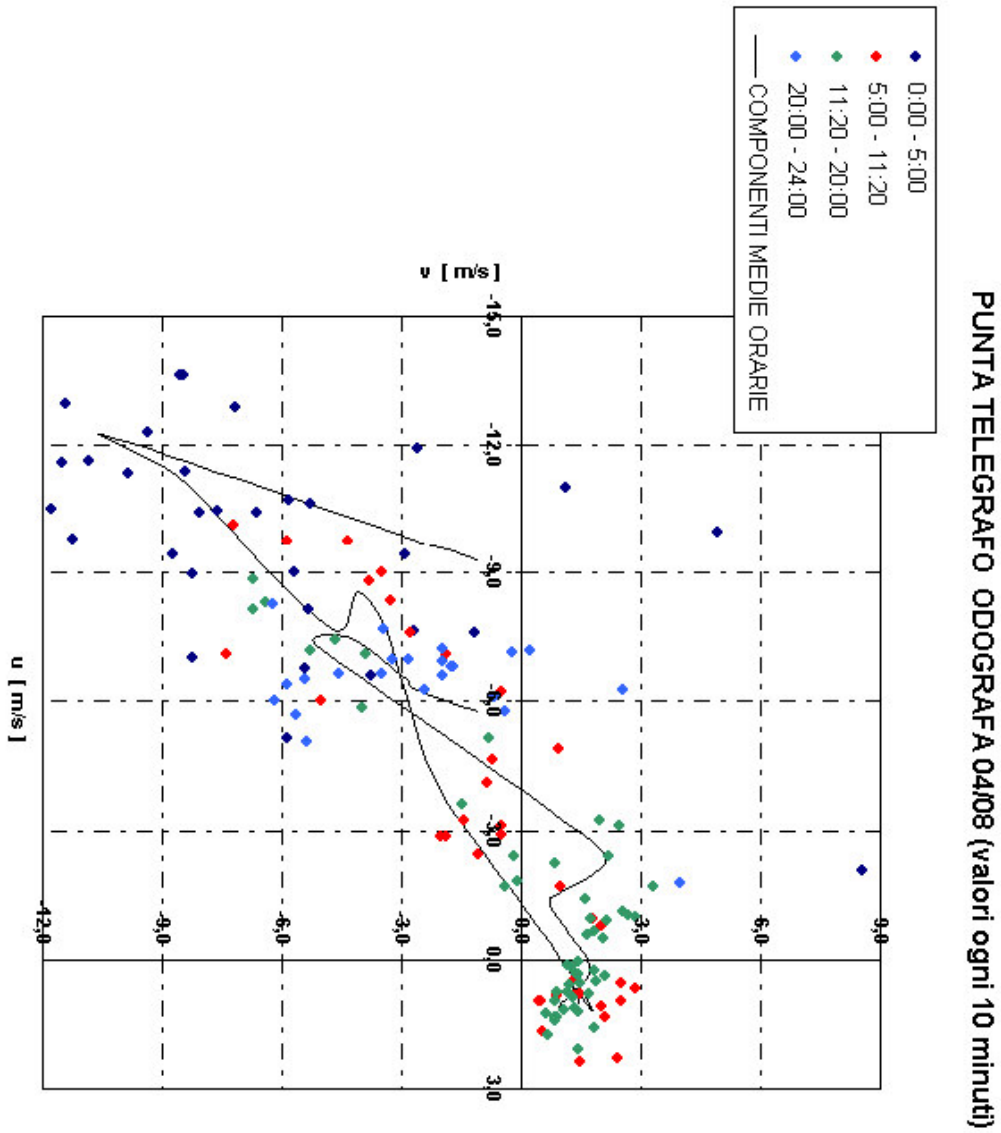


Figura 4.40. Odografa del giorno 04/08/2005.



Figura 4.41. Le cime più alte del Monte Baldo riprese da Nord: la foto è stata scattata il giorno 4 agosto alle 10:30 (ora solare), si noti il cielo ancora particolarmente limpido.

Procedendo nell'analisi dei dati, è importante lo studio delle precipitazioni: in particolare è interessante definire l'origine delle piogge cadute, cioè se esse siano legate a moti atmosferici convettivi o a condizioni meteorologiche più generali. Se si considerano le precipitazioni cadute nel periodo di studio (*Figura 4.42.*), si può subito osservare che sono relativamente pochi i giorni con pioggia. Le precipitazioni più intense cadono durante la notte, e sono quelle del 22 – 23 luglio e quelle a cavallo tra il 2 ed il 3 agosto. Quello della notte tra il 22 ed il 23 luglio è un temporale con pioggia intensa, fulmini, grandine e forti venti. Le piogge della notte tra il 2 ed il 3 di agosto sono invece associabili ad un fronte occluso presente in quei giorni a Nord delle Alpi orientali (*Appendice G*), con venti forti molto variabili da SudEst che si sovrapponevano ed erano prevalenti alle circolazioni locali, secondo quanto riportato nelle curve odografe (*Figure 4.43 e 4.44*). Dai profili dei radiosondaggi (*Appendice I*) si può osservare che i venti erano intensi ($5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} - 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) e provenienti da Sud – SudEst, SudOvest, e poi NordEst, quindi molto variabili in direzione durante la giornata il giorno 2 agosto, mentre erano intensi ($5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) da NordEst il giorno 3 agosto.

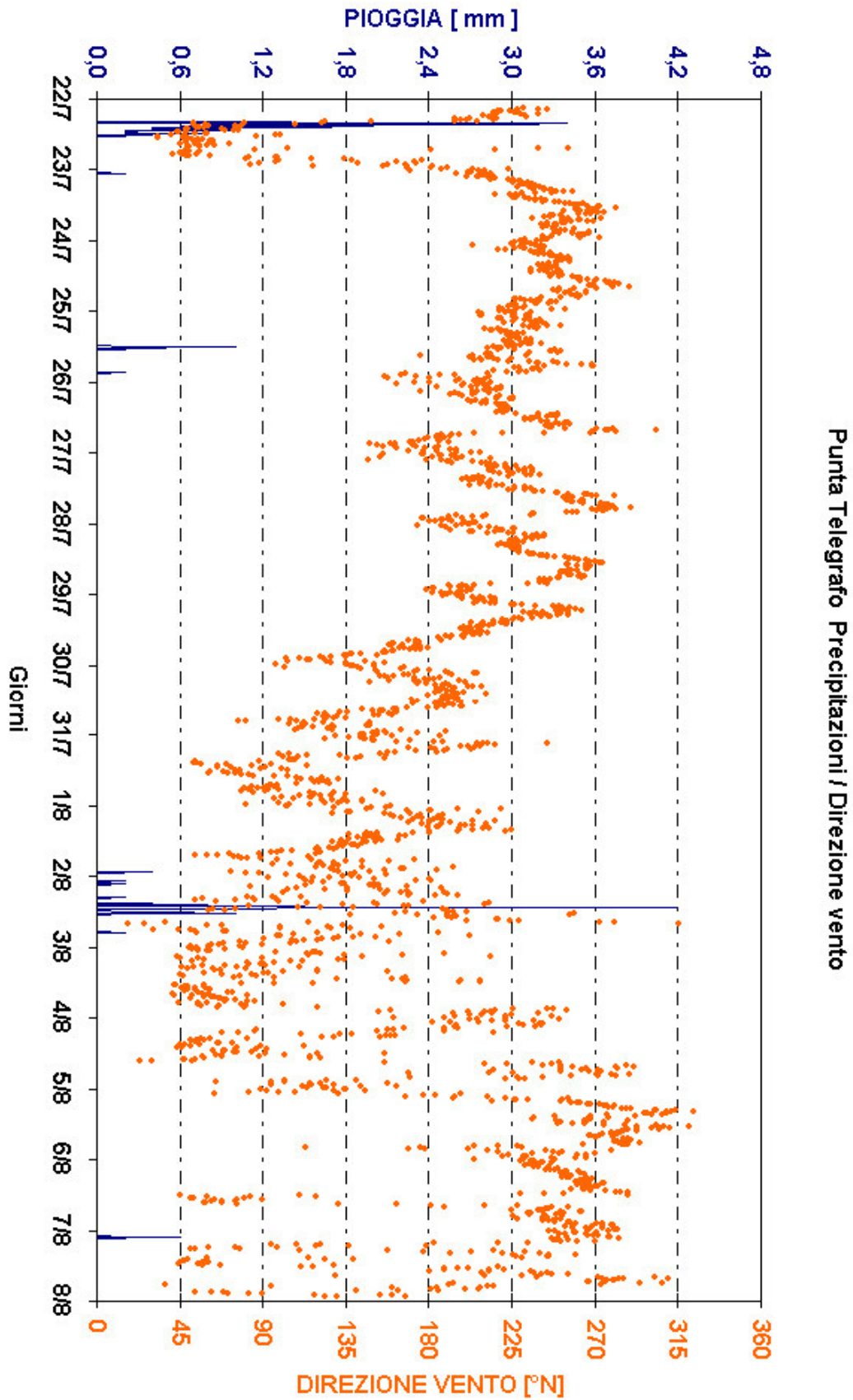


Figura 4.42. Precipitazioni del periodo di studio.

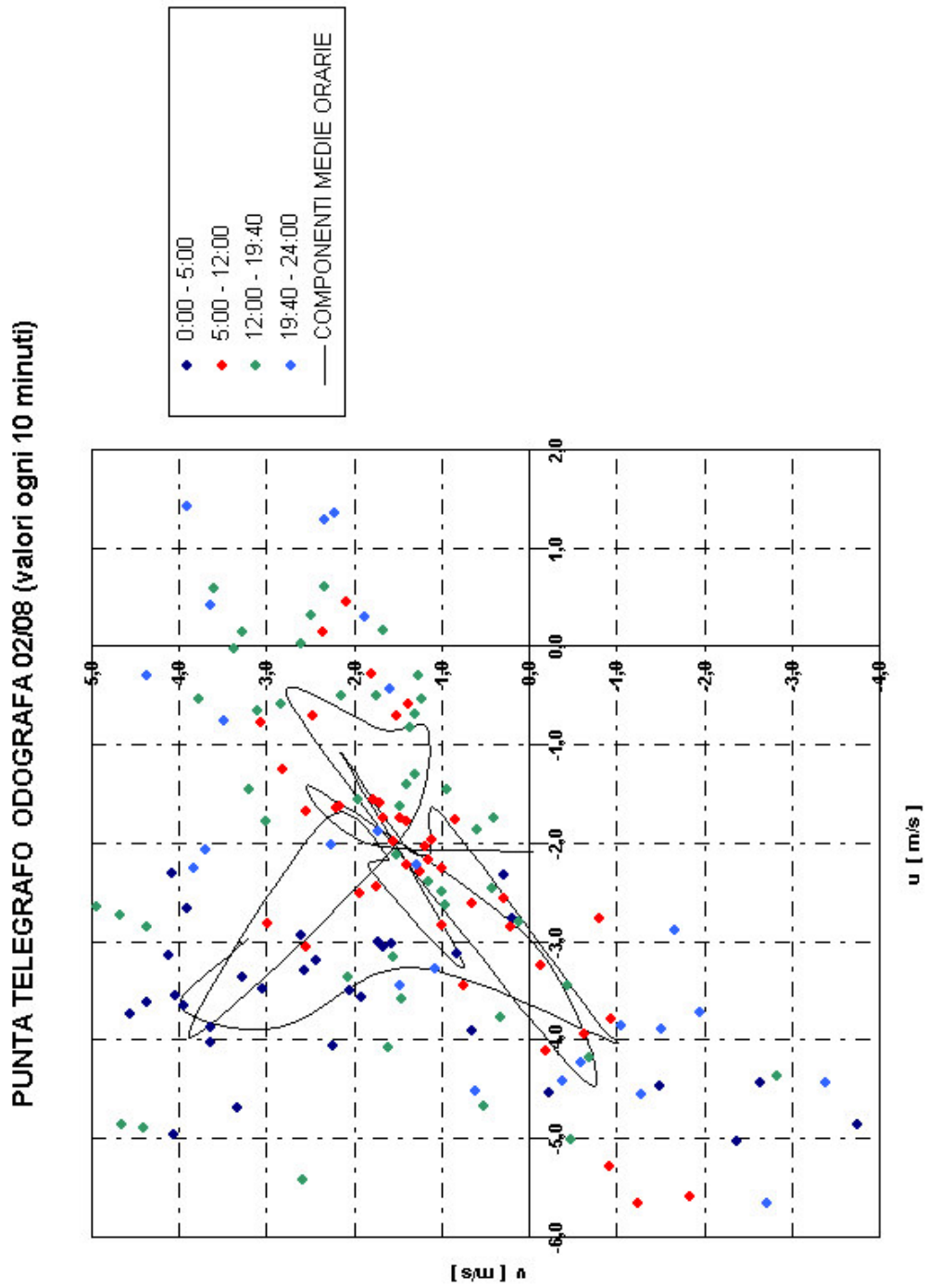


Figura 4.43. Odografia del giorno 02/08/2005.

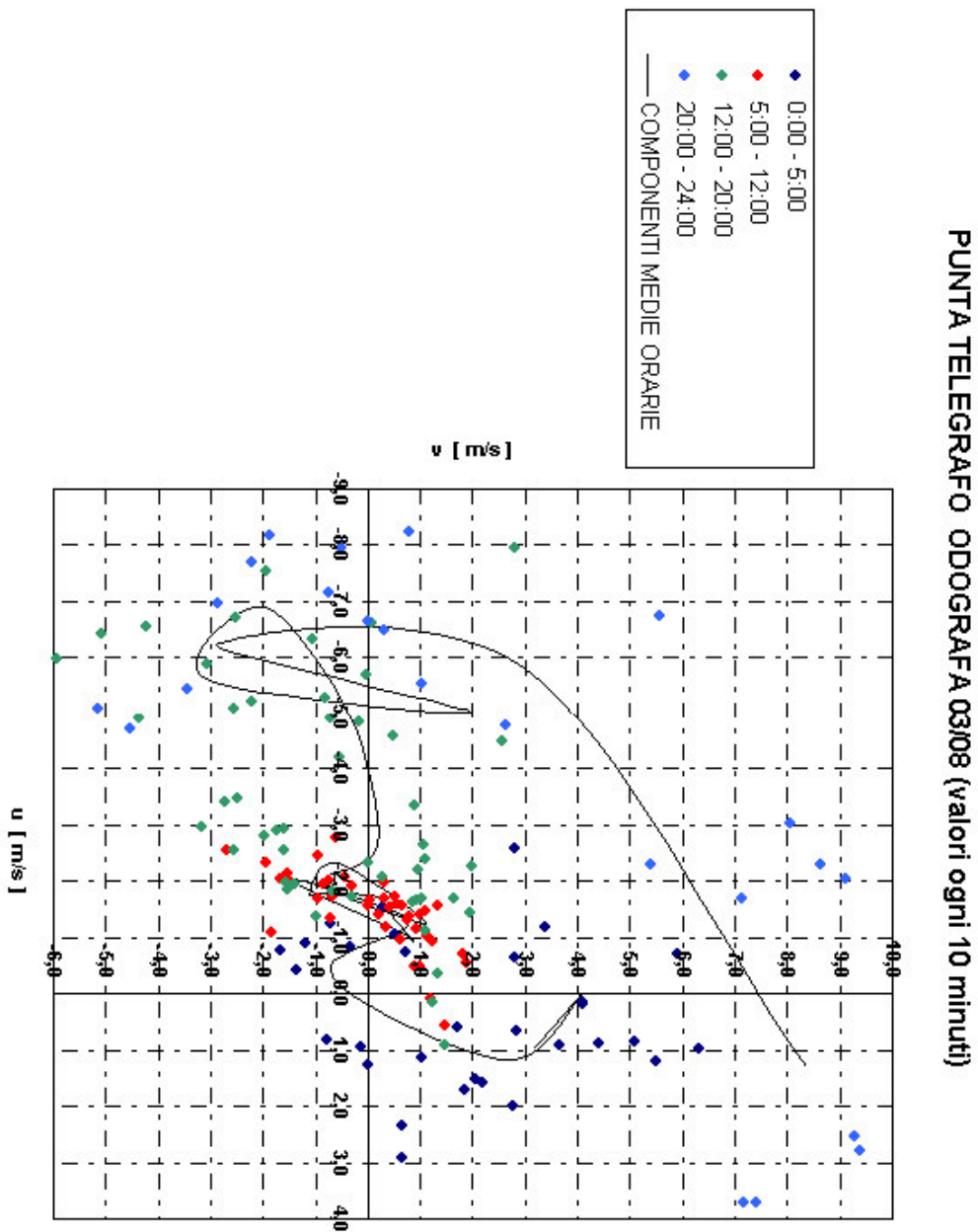


Figura 4.44. Odogramma del giorno 03/08/2005.

Le curve odografe del 2 e del 3 agosto (*Figure 4.43 e 4.44*) descrivono venti estremamente variabili, con grandi variazioni di direzione ed intensità superiori ai $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, sebbene la direzione prevalente del vento sembri essere comunque NordOvest, per il 2 agosto e Ovest – NordOvest per il 3 agosto. Correnti così orientate sono in accordo con i venti legati al passaggio del fronte. Anche l'andamento della radiazione e della temperatura (*Figure 4.45 e 4.46*) evidenzia condizioni di cielo molto coperto con temperatura più bassa dei giorni precedenti.

Tutto lascia pensare ad una interazione tra il debole fronte occluso e l'orografia, che ha determinato condizioni di cattivo tempo, con i venti sinottici prevalenti sulle brezze di versante, temperature in calo e precipitazioni diffuse e relativamente intense, ma con picchi assai elevati (*Figura 4.42*).

Un'altra giornata di tempo perturbato si verifica il 7 agosto, con valori di radiazione e temperature decisamente bassi e piogge nel primo pomeriggio (*Figure 4.47 e 4.42*). La carta sinottica del giorno in questione mostra una depressione a Nord della catena alpina ed un fronte caldo che da Sud muove contro le Alpi orientali: i venti soffiano da Sud (Appendice G). La curva odografa del 7 agosto descrive venti notturni da NordEst e venti da SudOvest diurni, però più intensi e con grandi variazioni di direzione rispetto alla brezza del versante occidentale. La situazione di cattivo tempo potrebbe essere analoga a quella del 2 – 3 agosto, causata dal fronte occluso, ma in questo caso le correnti d'aria sono assolutamente particolari: i venti rilevati dalla stazione non hanno corrispondenze con quelli registrati nei radiosondaggi. La situazione meteorologica è complessa: tra fronte ed orografia della regione vi è una forte interazione, e ciò molto probabilmente origina circolazioni su scala locale molto particolari.

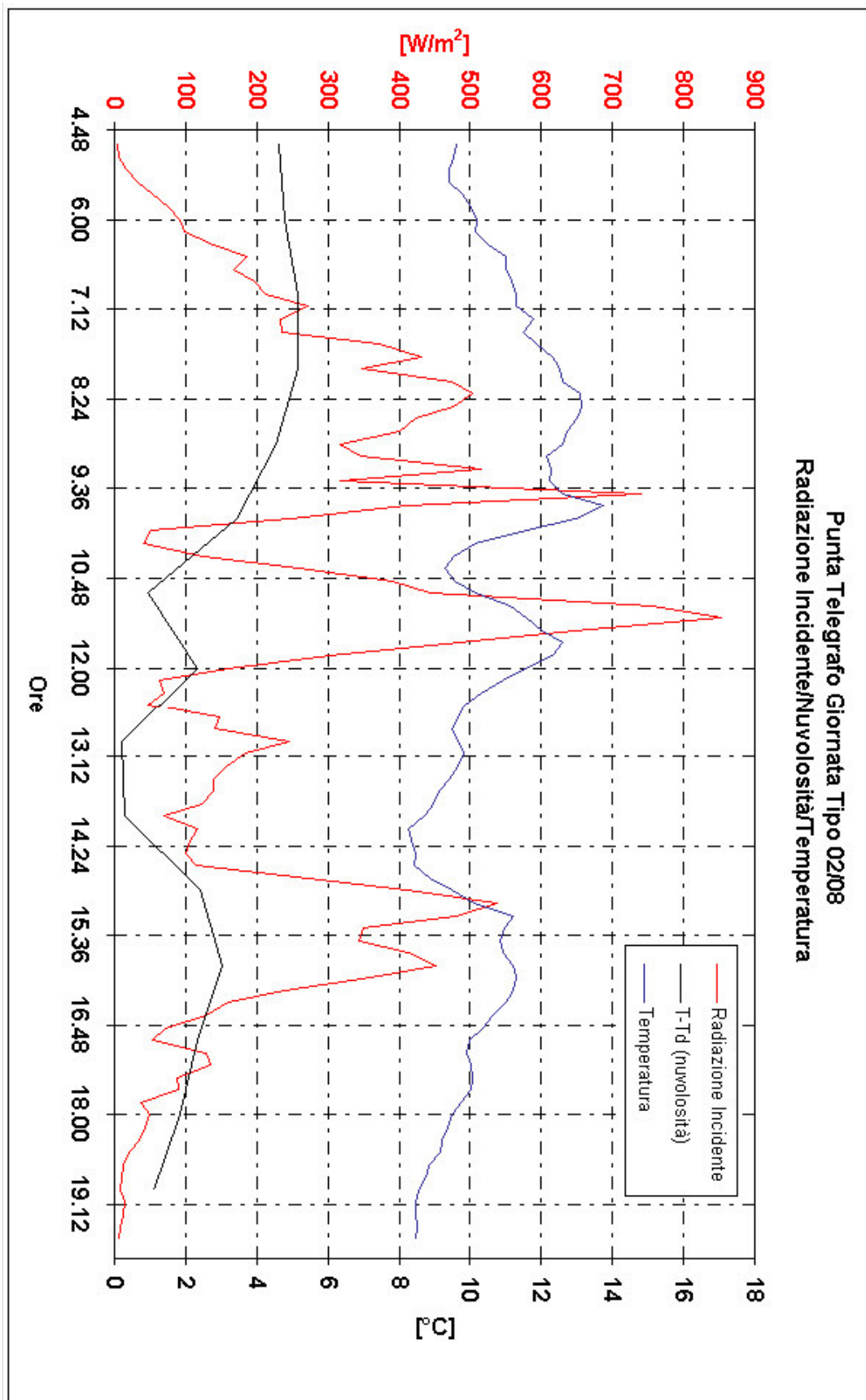


Figura 4.45. *Giorno 02/08/2005, evoluzione della giornata.*

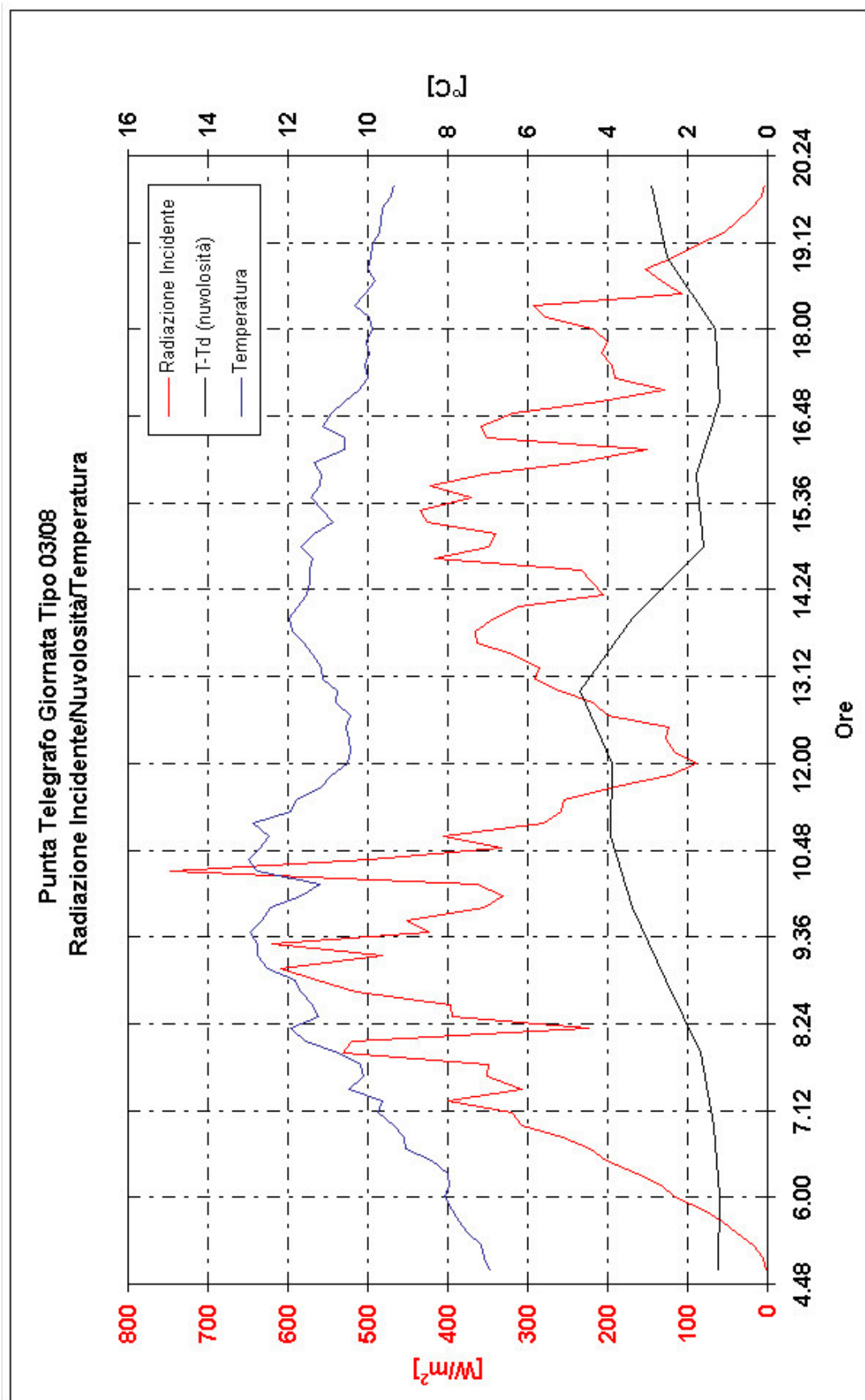


Figura 4.46. *Giorno 03/08/2005, evoluzione della giornata.*

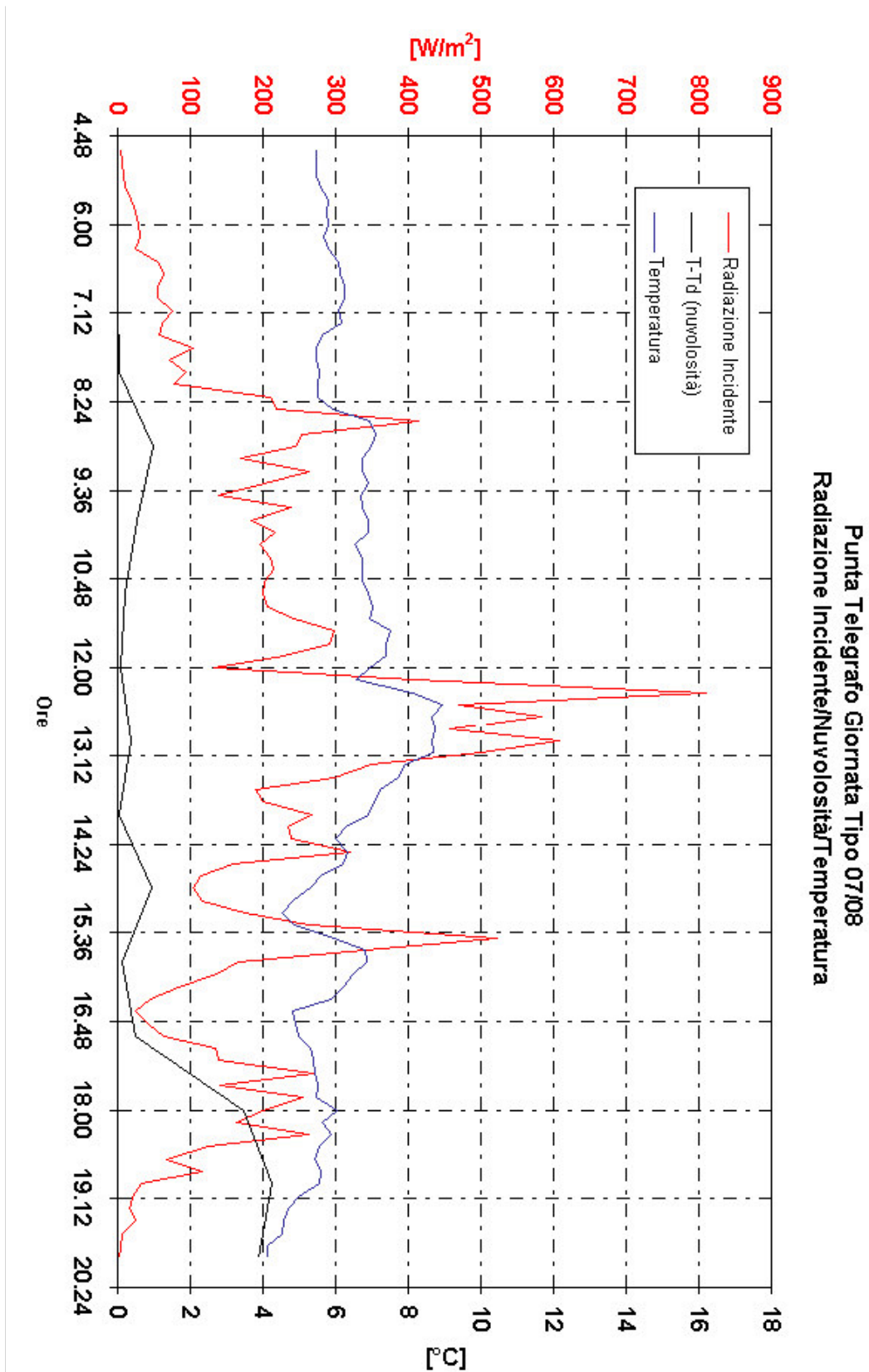


Figura 4.47. *Giorno 07/08/2005, evoluzione della giornata.*

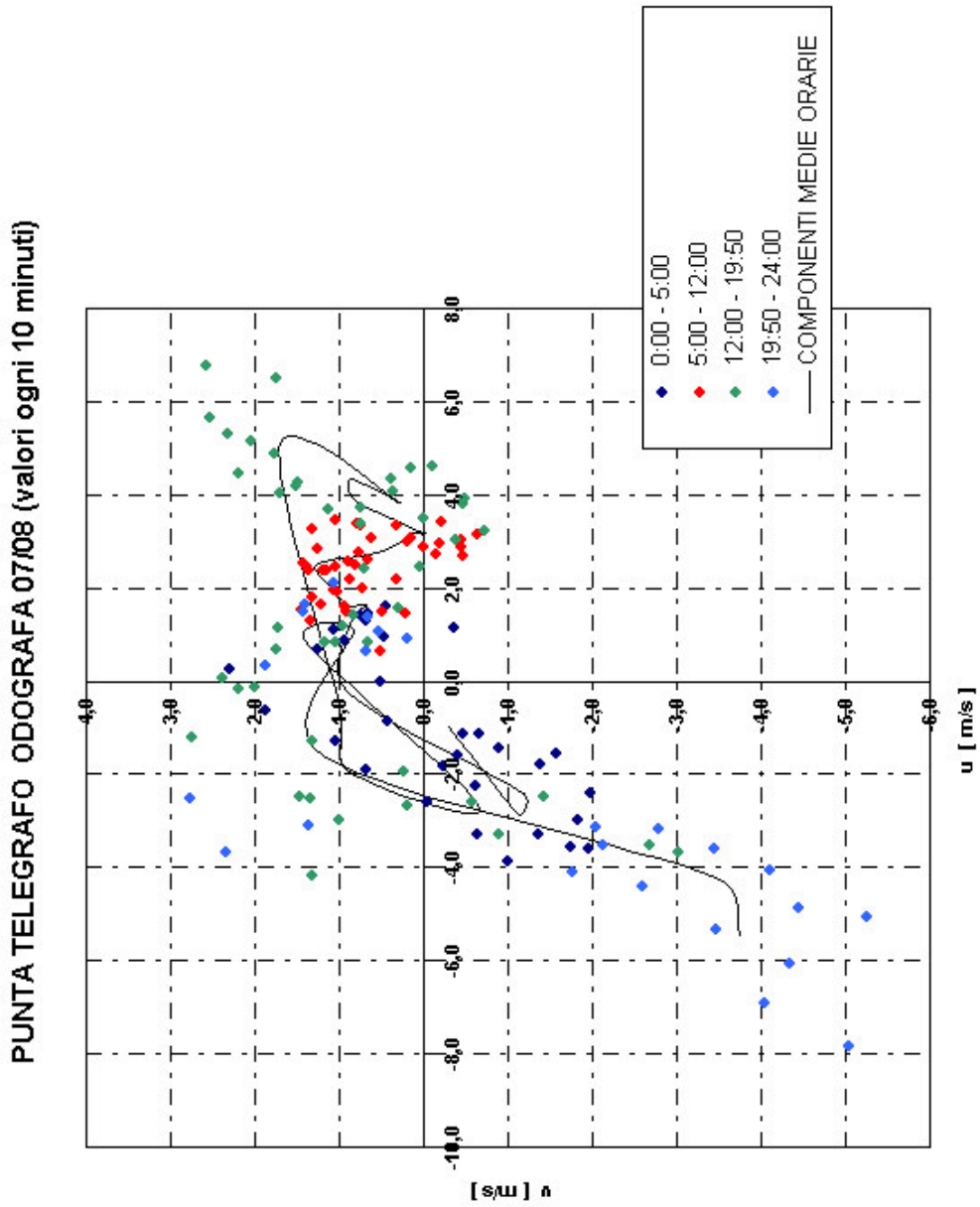


Figura 4.48. Odogramma del giorno 07/08/2005.

4.3 Confronto tra dati rilevati in quota

L'analisi dei dati rilevati durante la campagna di misure ha messo in risalto particolarità e fenomeni del Monte Baldo. Per approfondire queste conoscenze e cercare di dare spiegazioni più complete ai processi meteorologici discussi nel precedente paragrafo, sono stati presi in considerazione altri dati relativi al periodo della campagna di misure. Questo materiale è stato raccolto nelle stazioni di Polsa e Monte Baldo, già considerate nell'analisi comparativa riportata nel Capitolo 3 di questo lavoro di tesi. Inoltre, è stato possibile utilizzare i dati meteorologici registrati dalla stazione meteo installata presso il rifugio Fiori del Baldo (1815 m s.l.m.) dal signor Moreno Oliboni e dal Dottor Luca Panziera. La stazione è il modello Vantage Pro prodotto dalla Davis, dotata di termoigrometro, anemometro ed anemoscopio e pluviometro; i dati vengono elaborati da un software che restituisce informazioni sulle condizioni meteorologiche del momento e indici di riferimento particolari quali temperatura di rugiada, wind chill, indice di calore. Tutti questi dati e le condizioni meteorologiche presso il rifugio si possono vedere sul sito internet www.meteoromonti.it, mentre alcune fotografie della stazione si possono vedere sul sito www.fioridelbaldo.it. Grazie alla cortese collaborazione dei signori Panziera e Oliboni, è stato possibile avere a disposizione anche questi dati meteorologici, relativi ad una zona del Monte Baldo non ancora coperta da nessuna rete di misura. Il rifugio Fiori del Baldo si trova tra la punta di Naole (1607 m s.l.m.) ed il Coal Santo (2072 m s.l.m.), lungo la Costabella, ovvero la parte più a Sud della cresta del Baldo (*Figura 4.49*). La stazione è installata sul tetto del rifugio, sul lato a Nord (*Figura 4.50*).



Figura 4.49. Veduta del rifugio Fiori del Baldo da Nord; sullo sfondo la Punta di Naole (foto scattata il 14/07/2005).



Figura 4.50. La stazione meteo del rifugio (dal sito www.fioridelbaldo.it).

La tipologia dei sensori è diversa da quelli degli altri siti considerati, tuttavia per un'indagine conoscitiva delle condizioni meteo climatiche della catena del Baldo, questo punto di misura rappresenta una fonte di informazioni nuove ed importanti, poiché rappresenta un'area finora non esplorata. Tutti i dati sono registrati ogni 5 minuti; non è presente un radiometro, quindi non si hanno a disposizione informazioni sulla radiazione solare, e inoltre la direzione del vento fornita non è un dato numerico, bensì un orientamento (SudEst piuttosto che Ovest, e così via), da cui è stato necessario estrapolare l'angolo corrispondente alla direzione ed associarlo al relativo modulo di velocità. Il dato di pressione fornito è rielaborato e rapportato a condizioni di quota 0 m s.l.m. dal software della stazione.

Per ognuna delle stazioni è stato calcolato il dato di pressione e poi anche i valori di rapporto di mescolamento e di temperatura di rugiada secondo la procedura esposta nel paragrafo precedente (4.2): in questo calcolo la stazione di Ala (Capitolo 3) è stata presa come riferimento per i valori di temperatura e pressione di base. I dati di Polsa sono orari, mentre quelli di Monte Baldo sono registrati ogni 30 minuti. Trattandosi di un periodo relativamente breve, i dati non sono stati rielaborati per il confronto, permettendo un'analisi assai chiara così come erano forniti. Solo i dati di pressione, rapporto di mescolamento e temperatura di rugiada sono orari per tutte le stazioni, poiché si fa riferimento nel loro calcolo a valori orari (essendo i dati registrati ad Ala, stazione cui si fa riferimento, orari).

Il confronto tra i dati delle stazioni considerate è importante, infatti queste stazioni sono rappresentative delle condizioni meteorologiche sul Monte Baldo: Polsa si trova sulla parte più orientale del gruppo (ed è la più bassa), mentre le altre 3 si trovano tutte lungo la linea di cresta della montagna principale. Dunque si possono valutare le effettive condizioni in quota, con una buona copertura di tutto il gruppo montuoso (*Figura 4.51*).

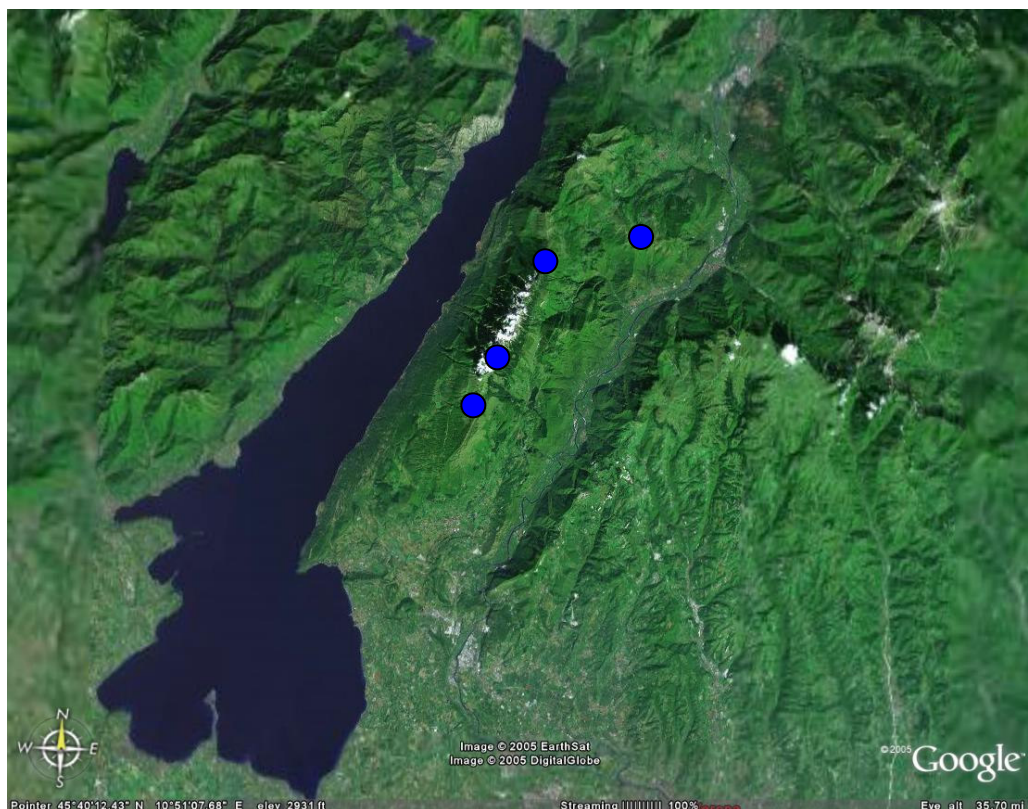


Figura 4.51. Vista del Monte Baldo dall'alto: i puntini rappresentano le stazioni del confronto (immagine tratta da Google.Earth)

La temperatura ha un andamento con la stessa tendenza per tutte le postazioni, ma i valori sono ben diversi (*Tablelle 4.5. - 4.8.*): Punta Telegrafo registra le minime, le massime ed anche le temperature medie più basse; l'escursione termica è invece la maggiore. Le medie e le massime maggiori sono registrate a Palsa (1301 m s.l.m.), che ha però anche un'escursione termica molto simile a Punta Telegrafo (2200 m s.l.m.). E' da notare invece che a quote maggiori, al Monte Baldo (1751 m s.l.m.) e al rifugio Fiori del Baldo (1815 m s.l.m.) l'escursione termica è minore: questo potrebbe essere l'effetto mitigatore del lago, anche se non è facile spiegare come possa estendersi così in alto. A Punta Telegrafo la quota è molto maggiore, si è vicini alle condizioni di atmosfera libera, per cui la differenza di temperatura tra giorno e notte è più accentuata (ma al suolo!); viceversa a Palsa la grande escursione di temperatura si può correlare a condizioni più continentali del sito. In *Figura 4.52.* si può vedere come i due andamenti limite della temperatura siano quelli di Punta Telegrafo e Palsa, mentre per Monte Baldo e Fiori del Baldo si hanno comportamenti molto simili. Queste ultime stazioni hanno in comune una quota simile (dislivello di 64 m tra le due), la posizione sulla cresta del Monte

Baldo, ma si trovano ai suoi estremi, meridionale e settentrionale rispettivamente. Valori più contenuti dell'escursione termica giornaliera potrebbero essere spiegati ipotizzando un apporto di aria calda dal basso, dal versante del lago in particolare attraverso brezze di versante, fenomeno che si è osservato nella campagna di misure (Paragrafo 4.2); la discussione sui venti che segue in questo stesso paragrafo potrà chiarire questa supposizione.

Punta Telegrafo	Temperatura [°C] valori giornalieri				Integrale radiazione [MJm ⁻²]	Valore massimo radiazione [Whm ⁻²]
	minima	media	massima	escursione		
22/07/2005*	5,4	8,5	13,8	8,4	**	**
23/07/05	5,2	8,4	14,3	9,1	21,7	1182,5
24/07/05	5,9	8,5	13,6	7,7	15,4	1146,0
25/07/05	7,8	11,0	15,3	7,5	17,6	883,6
26/07/05	7,8	12,9	19,4	11,5	28,8	1167,7
27/07/05	9,9	14,0	19,6	9,7	23,1	1103,1
28/07/05	12,8	16,2	20,3	7,5	28,9	935,8
29/07/05	14,0	16,5	20,6	6,6	25,0	941,9
30/07/05	11,9	15,1	19,4	7,5	22,1	839,8
31/07/05	9,6	11,8	15,4	5,9	17,3	927,1
01/08/05	9,5	12,5	16,5	7,0	22,4	893,2
02/08/05	7,0	10,0	13,7	6,7	12,0	852,9
03/08/05	6,4	9,6	13,0	6,6	14,7	747,1
04/08/05	5,1	9,2	13,8	8,7	21,7	896,9
05/08/05	3,6	8,9	14,0	10,3	29,0	951,2
06/08/05	7,0	10,1	14,9	7,9	20,7	975,0
07/08/05	1,9	5,9	8,9	7,0	9,9	810,8
08/08/2005*	0,9	3,5	9,5	8,6	**	**
valori estremi						
	minima	media	massima	escursione		
	0,9	11,0	20,6	19,7		

Tabella 4.5. Dati di temperatura e radiazione della stazione di Punta Telegrafo.

Monte Baldo	Data	Temperatura [°C] valori giornalieri			Integrale radiazione [MJm ⁻²]	Radiazione massima [Wm ⁻²]
		Minima	Media	Massima		
	22/7	8,6	12,2	15,3	26,1	1009,0
	23/7	7,3	10,4	12,9	20,8	1043,0
	24/7	8,6	10,7	12,8	19,2	1069,0
	25/7	10,6	12,7	15,9	21,9	865,0
	26/7	11,4	14,2	17,2	23,6	1024,0
	27/7	12,8	15,9	18,9	20,2	937,0
	28/7	14,8	17,8	21,0	28,1	920,0
	29/7	16,5	18,7	20,7	23,8	917,0
	30/7	15,9	18,1	20,0	24,9	953,0
	31/7	12,1	15,0	16,9	20,0	1004,0
	1/8	11,7	14,3	17,1	29,3	991,0
	2/8	9,2	12,5	14,2	10,7	724,0
	3/8	8,4	11,2	13,5	16,2	748,0
	4/8	8,5	10,6	13,5	22,8	997,0
	5/8	6,5	10,1	14,4	29,4	956,0
	6/8	8,7	11,3	14,3	20,9	921,0
	7/8	5,6	8,5	10,0	12,3	754,0
	8/8	4,0	6,9	9,9	28,1	1031,0
Valori del periodo						
		Minima	Media	Massima	Escursione	
		4,0	12,8	21,0	17,0	

Tabella 4.6. Dati di temperatura e radiazione della stazione di Monte Baldo.

Rifugio Fiori del Baldo	Temperatura [°C] Valori giornalieri			
	Minima	Media	Massima	Escursione
22/07/2005*	8,0	11,5	16,6	8,6
23/7/05	8,1	10,5	14,8	6,7
24/7/05	8,2	10,5	13,9	5,7
25/7/05	10,3	12,6	16,2	5,9
26/7/05	11,1	14,1	18,2	7,1
27/7/05	12,7	15,5	18,5	5,8
28/7/05	14,6	18,1	22,7	8,1
29/7/05	15,5	18,6	22,3	6,8
30/7/05	15,3	17,5	19,9	4,6
31/7/05	13,1	14,6	18,1	5,0
1/8/05	12,3	14,8	18,3	6,0
2/8/05	9,9	13,0	16,3	6,4
3/8/05	9,0	12,2	15,7	6,7
4/8/05	9,2	12,6	16,1	6,9
5/8/05	7,2	11,2	15,1	7,9
6/8/05	8,2	11,2	16,1	7,9
7/8/05	5,2	8,4	10,2	5,0
08/08/2005*	3,8	5,9	9,7	5,9
Valori del periodo				
Minima	5,2	13,5	22,7	17,5

Tabella 4.7. Dati di temperatura della stazione del rifugio Fiori del Baldo.

Polşa	Temperatura [°C] Valori giornalieri				Integrale radiazione [MJm ⁻²]	Radiazione massima [Wm ⁻²]
	Data	Minima	Media	Massima		
	22/07*	10,9	14,1	17,8	6,9	413,9
	23/7	8,8	13,2	17,1	8,3	919,4
	24/7	9,4	13,7	16,8	7,4	700,0
	25/7	13,7	16,2	18,9	5,2	727,8
	26/7	15,7	17,9	20,3	4,6	827,8
	27/7	14,8	18,9	22,7	7,9	861,1
	28/7	15,5	20,2	24,1	8,6	808,3
	29/7	15,6	21,2	24,6	9,0	794,4
	30/7	17,7	21,5	24,7	7,0	827,8
	31/7	13,1	18,0	21,5	8,4	833,3
	1/8	12,1	17,0	22,0	9,9	863,9
	2/8	12,5	15,8	19,2	6,7	619,4
	3/8	10,7	14,1	18,0	7,3	483,3
	4/8	11,3	14,4	18,5	7,2	869,4
	5/8	9,1	13,8	19,2	10,1	858,3
	6/8	11,8	14,5	18,1	6,3	805,6
	7/8	8,1	11,5	13,8	5,7	569,4
	08/08*	5,6	9,7	24,7	19,1	738,9
		Valori del periodo				
		Minima	Media	Massima	Escursione	
		5,6	16,1	24,7	19,1	

Tabella 4.8. Dati di temperatura e radiazione della stazione di Polşa.

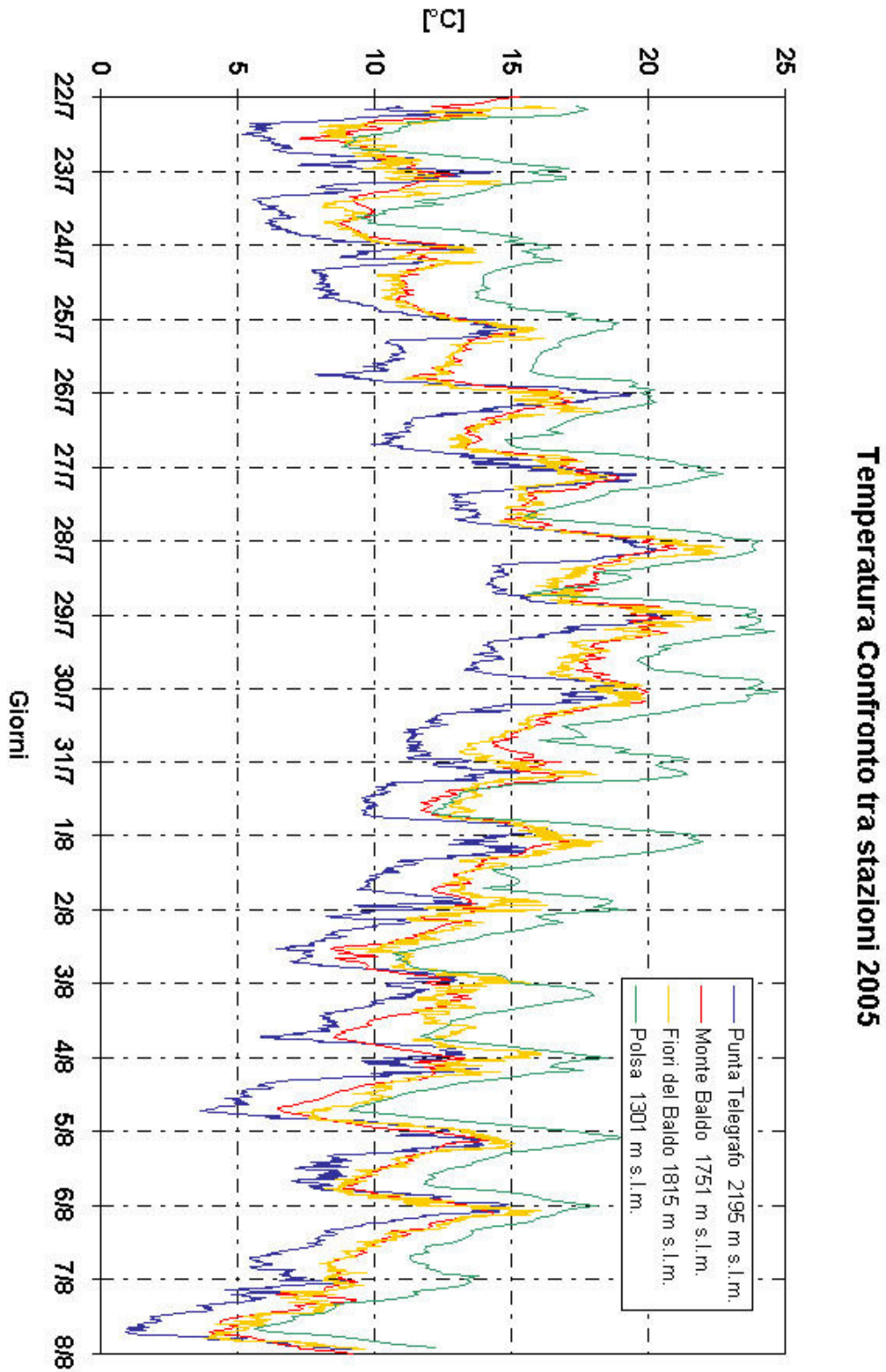


Figura 4.52. Grafico della temperatura media: confronto tra le stazioni.

Nelle *Tabelle 4.5 - 4.8* sono riportati anche i valori della radiazione massima giornaliera e dell'integrale giornaliero della radiazione (tranne che per il Rifugio Fiori del Baldo, dove i dati di radiazione solare non sono rilevati). Si può osservare che la quantità di energia che arriva al suolo (integrale della radiazione) è simile per Punta Telegrafo e Monte Baldo, ma i valori massimi di radiazione giornaliera sono più alti a Punta Telegrafo. In questo sito si misurano i valori di radiazione più alti della zona ($1182 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), ed i valori sono rappresentativi della stazione più alta (2200 m s.l.m.), in cui ci si avvicina alle condizioni di atmosfera libera; all'opposto, i dati più bassi per la radiazione si registrano a Polsa, che è la stazione alla quota minore. Dal confronto tra le curve della radiazione massima incidente e della nuvolosità delle stazioni, nelle *Figure 4.53, 4.54, 4.55* (nelle pagine seguenti), si possono fare delle considerazioni sulle condizioni atmosferiche dei siti. La curva di radiazione di Punta Telegrafo è sempre molto frastagliata, mentre per Monte Baldo si notano meno discontinuità, e la curva per Polsa è invece piuttosto continua. La spiegazione principale di queste caratteristiche è il fatto che le grandezze sono registrate ad intervalli molto diversi (5 minuti, 30 minuti e 1 ora rispettivamente), dunque il dato è mediato su tempi sempre più lunghi e vengono così eliminate alcune discontinuità. Se però si considera anche la curva della nuvolosità, si può vedere che l'andamento ed i valori sono molto simili per Punta Telegrafo e Monte Baldo, mentre presenta sempre valori piuttosto alti a Polsa. Si può pensare che in quota vi sia una più marcata formazione di nubi, che interferisce pesantemente con la radiazione solare così da far registrare valori assai discontinui. Quando il valore di nuvolosità è alto vi si può associare un innalzamento della base delle nubi e dunque a Polsa la possibile formazione di nuvole si avrebbe a quote superiori al sito, e potrebbe anche avvenire in posizione tale da non influenzare la misura di radiazione alla stazione. Il cielo potrebbe essere interessato da una nuvolosità più alta, che ha un effetto schermante meno forte per la radiazione, essendo più lontana dal sensore. Inoltre la radiazione può trasmettersi per diffusione meno intensamente, ma più costantemente. La curva di Polsa ha infatti poche discontinuità, che coincidono con le giornate con maggiore copertura del cielo (come si può vedere per le altre stazioni).

La curva della nuvolosità al Rifugio Fiori del Baldo torna invece ad avere un andamento simile alle stazioni più in quota (*Figura 4.56.*), con valori vicini a zero in vari momenti che sono indice di nuvolosità presso la stazione.

Dunque se ci si alza in quota ci si avvicina alla base delle nubi: al di sopra dei 1700 m s.l.m. circa, secondo i dati delle stazioni considerate l'attività di condensazione e formazione di nubi è sviluppata. Oltre alla grande differenza di quota con le altre stazioni (tra i 900 m e i 450 m), un fattore che differenzia la stazione di Polsa è anche la lontananza dal lago di Garda, trovandosi sul versante Nord orientale del gruppo montuoso. Questo fattore potrebbe avere una diversa influenza sull'apporto di vapore d'acqua delle masse d'aria circolanti. In realtà l'analisi delle curve del rapporto di mescolamento delle stazioni (Figura 4.57.) non ha una chiave di lettura semplice. In generale l'andamento è oscillatorio, con minimi nelle ore notturne e massimi nelle ore centrali della giornata, in concomitanza con il pieno sviluppo dei moti convettivi che portano in quota masse d'aria calda. Le differenze maggiori tra massimi e minimi sono relative a Punta Telegrafo e Rifugio Fiori del Baldo, che dunque mostrano una dipendenza maggiore dalle correnti che portano aria umida. Polsa registra escursioni minori, ed i valori notturni sono sempre piuttosto alti, così come accade al Monte Baldo, dove il contenuto di vapore acqueo è sempre relativamente elevato, ma l'escursione nei valori è contenuta. Si può invece notare come nei giorni di agosto in cui vi sono condizioni di probabile Föhn il valore di w cala decisamente in ogni sito, ma la diminuzione maggiore si registra a Polsa: la stazione è la più esposta al vento proveniente da NordEst (si vedano le carte del tempo in Appendice G).

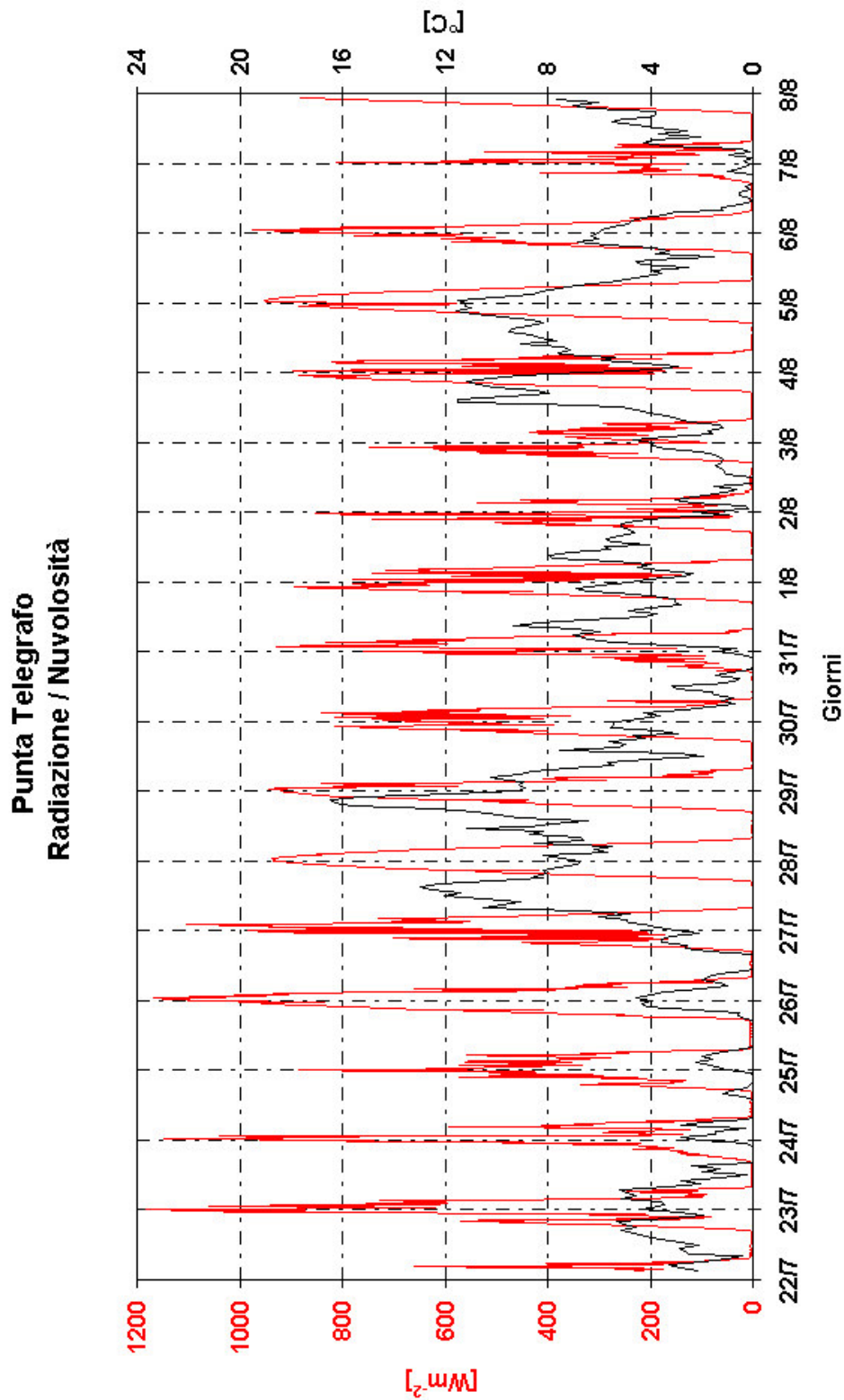


Figura 4.53. Radiazione incidente ed indice di nuvolosità a Punta Telegrafo.

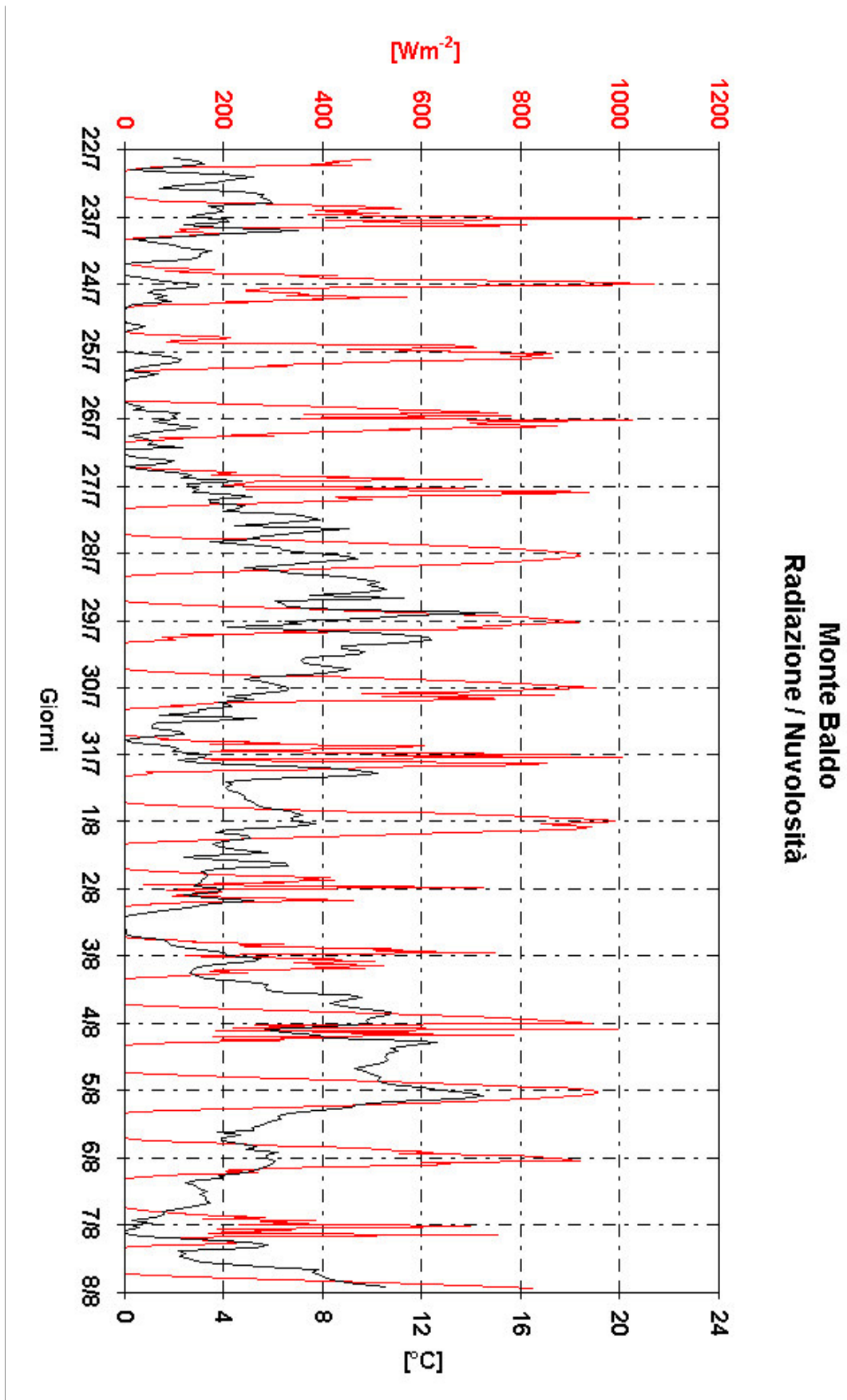


Figura 4.54. Radiazione incidente ed indice di nuvolosità a Monte Baldo.

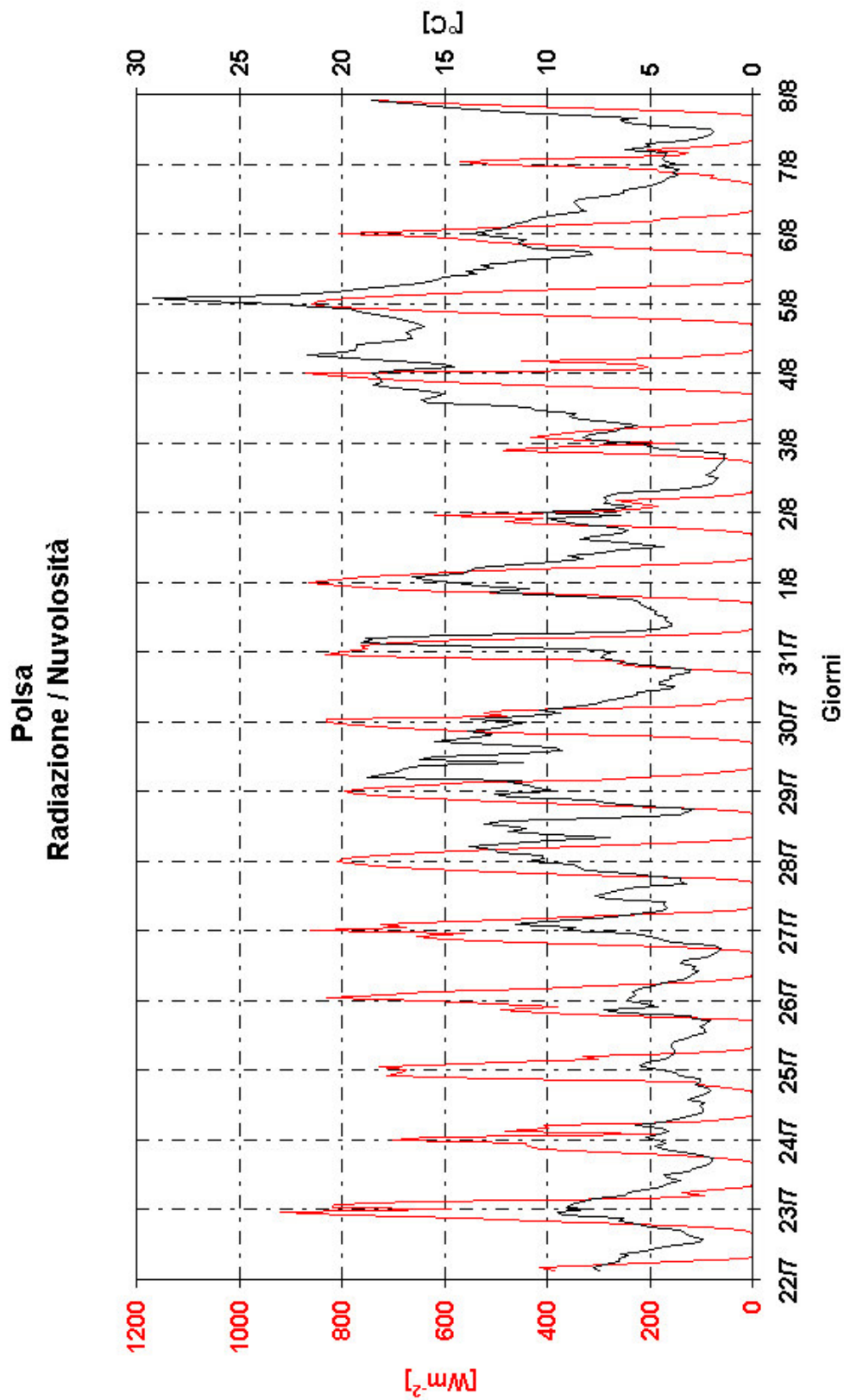


Figura 4.55. Radiazione incidente ed indice di nuvolosità a Polesa.

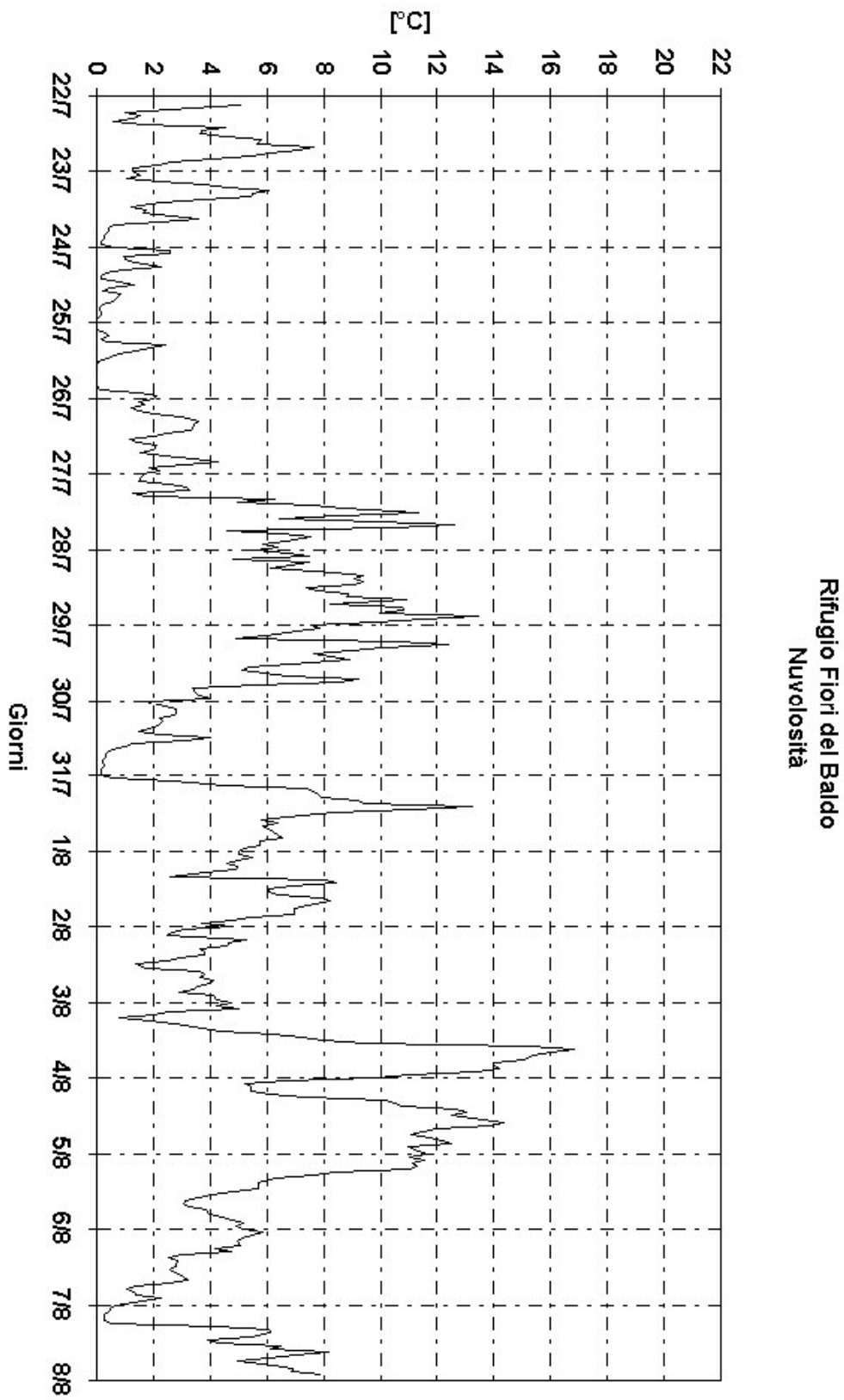


Figura 4.56. *Indice di nuvolosità l rifugio Fiori del Baldo.*

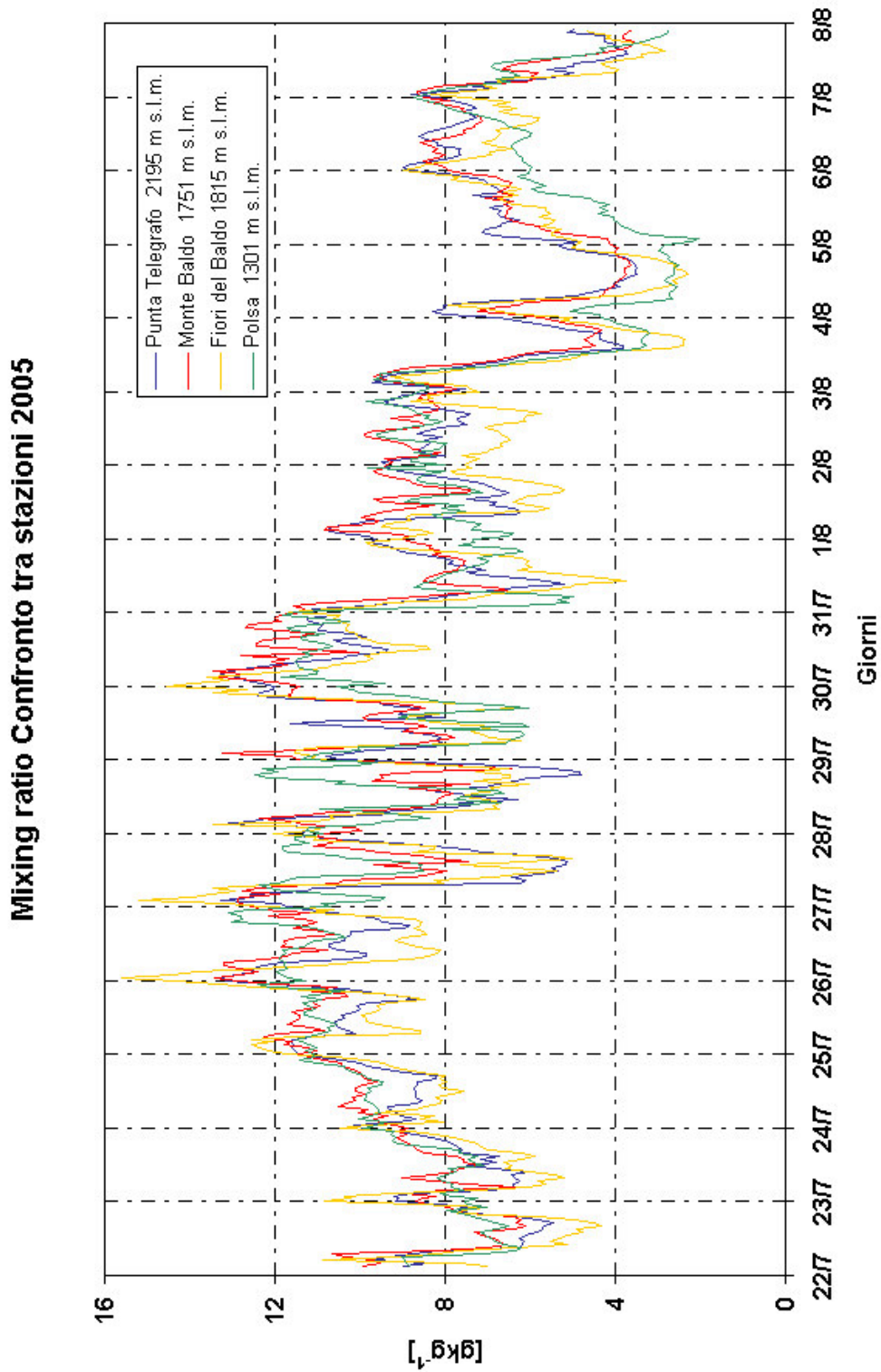


Figura 4.57. Confronto tra stazioni: differenti andamenti del rapporto di mescolamento.

L'analisi dei venti delle quattro stazioni in quota rappresenta probabilmente la parte più importante di questo confronto. Le circolazioni atmosferiche nei diversi siti sembrano essere influenzate in maniera differente da fenomeni locali e fenomeni di grande scala, con il risultato di avere venti prevalenti molto diversi per intensità e direzioni a seconda che ci si trovi in una parte o nell'altra della montagna, rispetto alla cresta, e più a Nord o più a Sud. Nella *Tabella 4.9* sono riassunti i valori delle velocità minime, medie e massime giornaliere e nel periodo di studio nelle diverse stazioni. Polsa si distingue subito per velocità piuttosto basse, sia nei valori massimi ($5,70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) che nei medi ($1,90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), e molti momenti di calma con velocità nulla, anche se un giorno intero di calma non è registrato. Al contrario le tre stazioni più in quota registrano tutte velocità maggiori, con medie che variano dai $3,90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ai $4,60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e raffiche di vento tra i $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ed i $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ circa. A Punta Telegrafo non vi sono mai momenti di calma, invece al rifugio Fiori del Baldo sono molti i momenti in cui la velocità è nulla; mentre al Monte Baldo si ha un solo intervallo di calma, ma la media è la più alta tra le stazioni. In questo sito spira un vento piuttosto forte e soprattutto molto costante, mentre nelle altre due stazioni più elevate i venti hanno intensità più discontinua.

Anche la direzione dei venti è un elemento che distingue un sito dall'altro. Per quanto riguarda Punta Telegrafo si fa riferimento a quanto descritto nel precedente Paragrafo 4.2, mentre per le altre stazioni è necessario un approfondimento.

Velocità del vento [ms ⁻¹] Giorno	Punta Telegrafo 2200 m s.l.m.			Monte Baldo 1751 m s.l.m.			Fiori del Baldo 1815 m s.l.m.			Polssa 1301 m s.l.m.		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
22/07/2005	1,88	5,99	14,98	1,20	3,75	9,80	0,00	4,68	11,17	0,90	2,48	3,50
23/07/2005	0,55	4,22	11,11	1,60	4,78	8,80	0,00	2,78	11,61	0,20	2,19	5,50
24/07/2005	2,14	4,73	8,53	2,40	5,46	8,30	1,33	5,10	9,83	0,10	2,09	4,00
25/07/2005	1,57	5,03	8,68	3,00	5,86	9,10	0,00	5,42	12,53	0,20	3,02	4,60
26/07/2005	0,89	3,76	7,86	1,40	5,07	8,80	0,00	4,30	9,83	0,60	3,17	5,00
27/07/2005	0,91	2,87	7,54	0,90	3,18	7,40	0,00	2,63	9,39	0,10	1,88	4,00
28/07/2005	1,70	4,00	9,04	1,10	4,16	10,10	0,00	3,68	10,28	0,10	1,66	4,40
29/07/2005	2,32	5,02	7,66	2,00	5,81	9,80	0,00	5,91	13,86	0,20	1,93	4,90
30/07/2005	1,36	3,92	7,38	1,60	3,51	6,10	0,44	3,11	7,61	0,60	2,28	4,70
31/07/2005	1,24	3,43	5,74	1,10	3,23	6,00	0,00	3,94	8,06	0,10	1,73	5,70
01/08/2005	0,67	2,71	6,00	1,70	2,91	5,00	0,00	2,77	7,14	0,20	1,77	4,60
02/08/2005	1,30	3,54	6,72	1,20	4,69	8,00	0,00	7,33	14,31	0,00	0,58	1,80
03/08/2005	0,92	3,77	9,75	0,80	4,66	12,30	0,00	2,71	9,39	0,20	1,28	3,60
04/08/2005	1,06	6,13	17,31	1,90	8,74	14,20	0,00	4,69	16,08	0,50	2,63	3,90
05/08/2005	0,76	2,51	10,72	1,80	5,31	14,50	0,44	3,82	8,94	0,90	2,04	3,80
06/08/2005	0,99	4,24	9,34	1,00	4,36	7,40	0,44	4,67	8,94	0,20	1,59	3,30
07/08/2005	0,52	3,08	9,30	0,70	3,70	9,50	0,00	3,19	12,08	0,10	0,85	4,10
08/08/2005	0,65	1,93	4,07	0,10	3,39	5,60	0,00	2,64	5,36	0,20	0,74	1,20
Valori del periodo	0,52	3,90	17,31	0,10	4,60	14,50	0,00	4,13	16,08	0,00	1,90	5,70

Tabella 4.9. Velocità del vento nelle quattro stazioni.

La stazione di Polsa si trova lungo un pendio esposto a Nord, come già spiegato nella descrizione del sito nel Capitolo 3. La rosa dei venti relativa a questa stazione nel periodo della campagna di studio confrontata con la morfologia del terreno, è caratteristica di una circolazione di versante. I venti hanno la stessa direzione della massima pendenza del versante e provengono da Sud – SudOvest prevalentemente e da Nord – NordEst; si può osservare quindi una rotazione di 180° nel verso di circolazione che può confermare la alternanza tra venti che discendono e venti che risalgono il pendio (*Figura 4.58*). Questa ciclicità nella circolazione si può vedere anche chiaramente dalla odografa in cui sono evidenziati i venti notturni e quelli diurni del periodo (*Figura 4.59*). La maggior parte dei venti diurni, e specialmente del mattino, sono deboli e provenienti da Nord – NordEst: sono dunque brezze che risalgono il versante quando il riscaldamento del pendio è maggiore (data l'esposizione a Nord). I venti notturni e parte dei venti diurni, in particolare quelli del pomeriggio, sono più forti, e hanno direzione opposta ai precedenti: l'aria si raffredda e scende lungo il pendio. Proprio a causa della esposizione del pendio il suo raffreddamento inizia presto, venendo meno un forte riscaldamento per irradiazione già nel pomeriggio. I venti più forti orientati a Sud – SudOvest sono riconducibili alle condizioni di Föhn dei primi giorni di agosto.

In questo sito la circolazione è di tipo strettamente locale, con una scarsa interazione con fenomeni di più grande scala, infatti, anche quando soffia il Föhn la velocità è piuttosto bassa (rispetto alle altre stazioni). Ad una quota minore gli effetti delle circolazioni sinottiche sono più deboli, sebbene il sito abbia una buona esposizione ai venti (specialmente da Nord).

La rosa dei venti del breve periodo estivo è corrispondente a quella di lungo periodo (Paragrafo 3.2.), dunque si può pensare che questa circolazione sia caratteristica del sito.

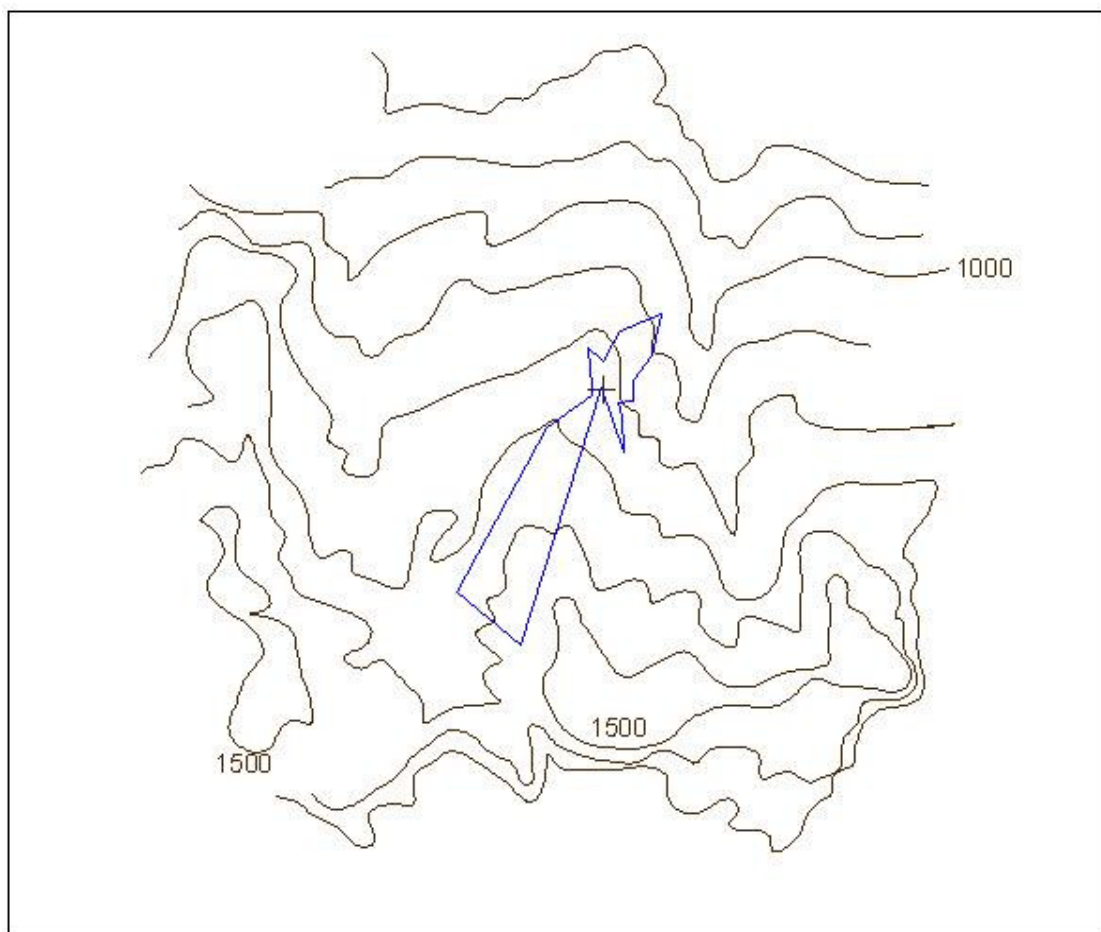
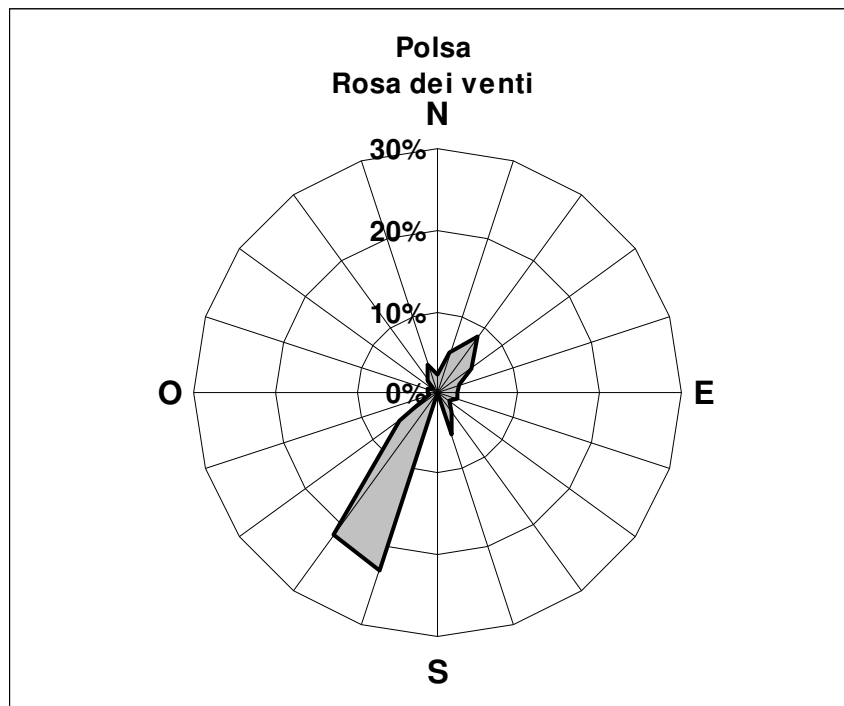


Figura 4.58. Rosa dei venti a Polsa e confronto con l'orografia.

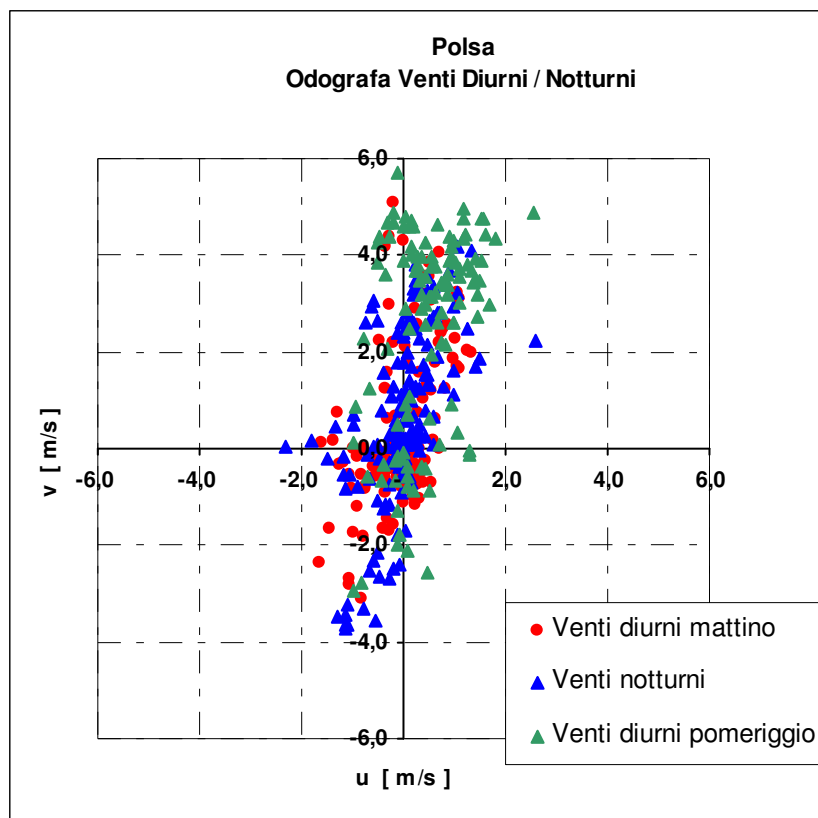


Figura 4.59. Curva odografa dei venti diurni e notturni a Palsa (estate 2005).

Alla Colma di Malcesine (stazione Monte Baldo), i venti hanno provenienza prevalente da Ovest – SudOvest (oltre il 30%), ed in piccola parte anche da Est – SudEst (meno del 10%). La sovrapposizione della rosa dei venti elaborata per il periodo di studio con le curve di livello della zona della stazione indicano una relazione con la morfologia del terreno (Figura 4.60). La direzione principale dei venti (Ovest – SudOvest) corrisponde alla linea di massima pendenza della parte sommitale del versante occidentale della Colma di Malcesine, quello esposto sul lago di Garda. La direzione Est – SudEst, provenienza secondaria del vento, è allo stesso modo correlabile al pendio occidentale della cresta. Si potrebbe ipotizzare anche in questo caso una circolazione caratteristica di versante, con venti che risalgono alternativamente i versanti secondo il variare dell’insolazione durante il giorno. Poiché in questo caso la stazione si trova sulla cresta, le correnti discendenti notturne non si possono registrare (perché lì non si sono ancora formate pienamente ed il sensore non è in grado di rilevarle). La circolazione però non è così semplice in questo sito.

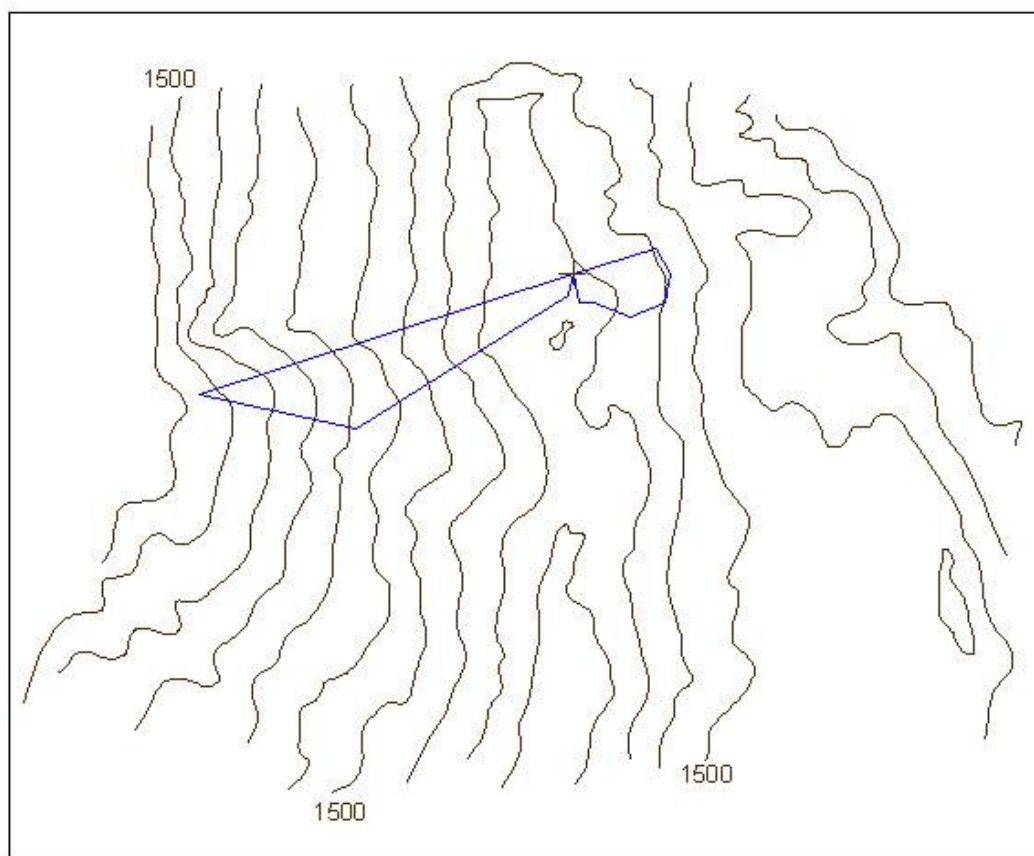
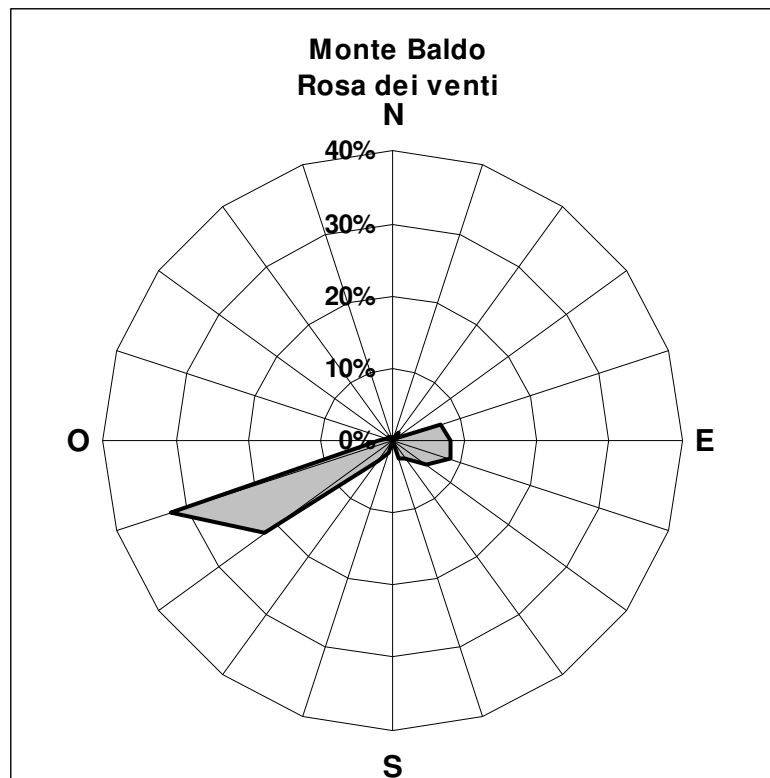


Figura 4.60. Rosa dei venti al Monte Baldo e confronto con l'orografia.

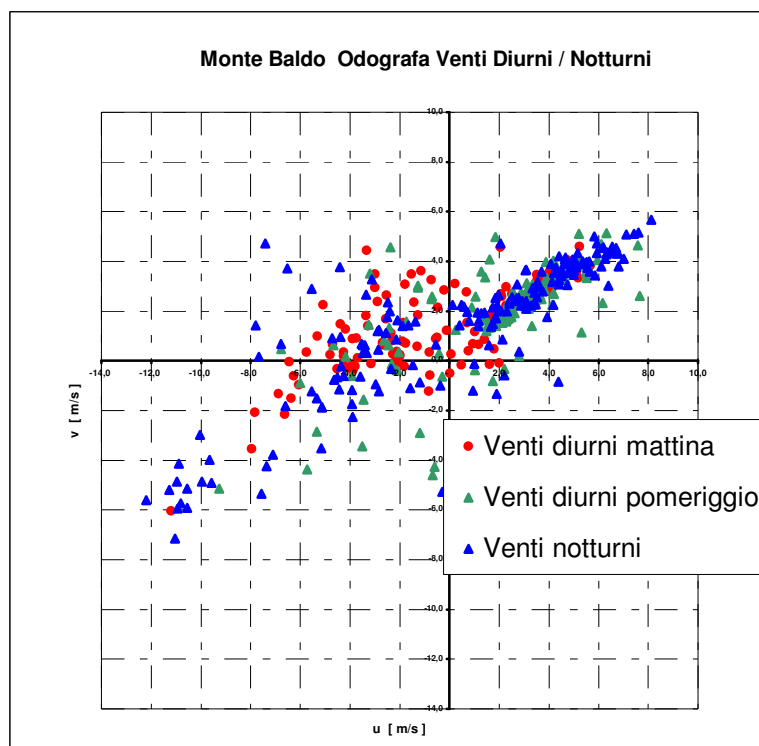


Figura 4.61. Curva odografa dei venti diurni e notturni a Monte Baldo.

Prendendo in considerazione la curva odografa con i venti diurni e notturni (Figura 4.61.), si può osservare che non è possibile fare alcuna netta distinzione tra le direzioni dei venti. Il vento soffia verso Nord - Est intensamente sia durante il giorno, sia durante la notte, mentre una buona percentuale di venti della mattina provengono da Sud - Est. Non vi è una certa ciclicità nei cambiamenti di direzione, e ciò non identifica una corrente di versante; anche l'analisi delle odografe giornaliere della stazione non aiuta a definire un particolare fenomeno locale ciclico. Vi sono molte giornate in cui il vento spira costantemente verso Nord - Est, più o meno intensamente, indipendentemente dall'ora del giorno. Il confronto con le curve odografe giornaliere di Punta Telegrafo (Appendice L) risulta invece più interessante. Si evidenzia il fatto che vi è una corrente principale verso Nord- Ovest, che viene perturbata solo in alcune giornate. Nei giorni dal 30 luglio al 2 agosto a Punta Telegrafo i venti soffiano mediamente verso Nord - Ovest, e questa direzione è associabile alla circolazione delle correnti sinottiche imposta da una depressione presente sul Mare Adriatico in quei giorni e da un fronte caldo che avanzava verso le Alpi orientali da Sud Est (si vedano le carte sinottiche in Appendice G). Anche i venti registrati dai radiosondaggi di quei giorni

(Appendice I) hanno provenienza prevalente da Sud - Est, con intensità variabile da debole a forte ($5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ - $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Nei giorni successivi, il 3 ed il 4 agosto, in condizioni di Föhn, come ravvisato anche nel precedente Paragrafo 4.2., il vento è molto forte da Nord - Est.

Analogamente a Punta Telegrafo, la stazione di Monte Baldo registra venti provenienti da Sud - Est e da Nord - Est durante gli stessi giorni. In entrambi i casi le curve odografe giornaliere al Monte Baldo rispecchiano l'andamento dei venti di grande scala, in buon accordo con le condizioni meteorologiche del periodo. Dunque sia la stazione di Punta Telegrafo che quella di Monte Baldo, percepiscono le correnti di grande scala. Rimane però da spiegare la natura della corrente che soffia prevalentemente con direzione Nord - Est.

Le correnti provenienti da Sud - Ovest sono piuttosto forti per essere brezze di versante, anche se il legame con la morfologia della zona porta a considerare questo tipo di circolazione. Verosimilmente con quanto appena osservato per i fenomeni sinottici, queste correnti potrebbero essere di questo tipo, ma proprio l'osservazione delle carte sinottiche (Appendice G) e dei radiosondaggi (Appendice I) lascia spazio alle interpretazioni. Si possono quindi fare delle ipotesi.

La prima è che vi sia effettivamente una brezza di versante, piuttosto intensa, che risale la montagna e supera la cresta. Il pendio è esposto ad Ovest - SudOvest, quindi ricevendo un maggiore irraggiamento nel pomeriggio, è possibile si attivino circolazioni di aria lungo il versante, e questo è in accordo con l'odografa di *Figura 4.61* secondo la quale buona parte dei venti con questa provenienza sono pomeridiani. Il fatto che la brezza sia particolarmente intensa potrebbe essere spiegato come sovrapposizione degli effetti: alla brezza di versante potrebbe sovrapporsi una brezza di tipo lago - terraferma, che la rafforza. Un fenomeno di questo tipo si può supporre con una buona sicurezza: è presumibile che sia simile ad una brezza di tipo mare - terraferma. In una circolazione mare - terraferma durante il giorno gli strati d'aria immediatamente sopra all'acqua si riscaldano più lentamente (essendo a stretto contatto con essa), rispetto all'aria presente sul terreno, che si riscalda più rapidamente: si creano dunque una zona di bassa pressione ed una di alta pressione, che attivano uno spostamento d'aria dal mare alla terraferma, detto brezza di mare. Durante la notte il terreno perde calore molto velocemente, al contrario del mare che rilascia il calore immagazzinato nella giornata più

lentamente. Si creano così due aree di alta pressione e bassa pressione invertite rispetto alle ore diurne, per cui soffia un vento dalla terraferma verso il mare, detto brezza di terra (Lutgens e Tarbuck, 2001).

Data la presenza del lago di Garda ai piedi del versante occidentale del Monte Baldo, è possibile che la grande massa d'acqua contribuisca alla formazione di circolazioni di questo genere. Il fatto poi che l'entroterra sia rappresentato in questo caso da una montagna, fa sì che vi siano in essa (come descritto nel Paragrafo 4.2.) circolazioni di versante. La sovrapposizione degli effetti di rapido ed intenso riscaldamento dei versanti più alti, contrapposto al più lento riscaldamento dell'acqua sulla superficie del lago, può dare origine a correnti di tipo lago – versante più intense della normale brezza di versante. Si deve segnalare che nelle carte topografiche che riportano il lago di Garda (carta Kompass, scala 1:50000) vengono indicati anche i venti che soffiano sul bacino. In particolare sulla sponda orientale sono segnalati dei venti (Boscarola, Montes) che provengono dal versante gardense del Monte Baldo: molto probabilmente si tratta di brezze di tipo versante – lago.

I venti che soffiano nella stessa direzione e presentano intensità simile anche durante la notte non si possono però spiegare con questa teoria.

Un'altra ipotesi allora, è che i venti registrati siano circolazioni di grande scala che, interagendo con l'orografia della regione vengono deviate. Se si esamina il territorio ad esso circostante, si può vedere come il lago di Garda sia circondato, sia ad Est che ad Ovest da montagne più o meno elevate. Sulla sponda orientale del lago si trova il Baldo, mentre su quella occidentale ci sono le montagne dell'Alto Garda Bresciano. Il lago rappresenta una sorta di imbocco verso la valle del Sarca per le correnti d'aria provenienti dal bacino Padano: dapprima largo, il lago di Garda si restringe man mano che si procede verso Nord, in direzione di Riva. La corrente d'aria che si trova eventualmente a transitarvi, si ritrova in un imbuto naturale, rivolto a Nord, dunque per effetto della diminuzione della sezione aumenterà la propria velocità; inoltre, il lago è una superficie che oppone molta meno resistenza per attrito rispetto al terreno, la corrente perderà meno energia scorrendovi sopra, rispetto ad altre superfici scabre del terreno. La Colma di Malcesine è una cresta posta in direzione Nord – Sud, lunga circa 1400 m, ad una quota costante di circa 1750 m s.l.m., coperta da prati di montagna, con totale assenza di altra vegetazione. Oltre, più a Nord si trova la Bocca di Navene (1425 m s.l.m.), una profonda sella che divide in due parti il gruppo del Baldo. Questa sella,

assieme alla Colma di Malcesine, rappresenta uno sbocco laterale per una corrente che si trovasse a risalire il bacino del Garda (*Figura 4.62.*). Una corrente d'aria che si trovasse costretta tra le pareti del bacino potrebbe dividersi incontrando degli ostacoli lungo il versante orientale ed una parte di essa potrebbe risalirlo, fino a trovare uno sbocco (ascesa dinamica della brezza, Kappenberger e Kerkmann, 1997). Ciò potrebbe spiegare un vento che risale la Colma di Malcesine, e spira costantemente anche di notte.



Figura 4.62. Veduta del Monte Baldo e del lago di Garda da Nord Ovest; al centro nel cerchio la Colma di Malcesine (immagine tratta da Google.Earth).

Se si fa riferimento alla rosa dei venti di lungo periodo (nel Paragrafo 3.2. è stata presentata quella elaborata per l'anno 1994), è evidente la similitudine con quella del breve periodo estivo in esame. Questo può far pensare ad una circolazione stabile con provenienza da Sud – Ovest. E' nota sul lago di Garda la presenza di un vento intenso e regolare che soffia verso la valle del Sarca chiamato Ora del Garda. La combinazione dell'effetto orografico su questa corrente, con l'attivazione di brezze di tipo lago – versante (durante il giorno), potrebbe essere una ulteriore ipotesi (in realtà una interazione tra le prime due esposte) per chiarire il vento sulla Colma di Malcesine.

L'analisi dei profili di vento elaborati dai radiosondaggi, evidenzia come i venti in atmosfera avessero provenienza prevalentemente da Sud - Ovest ed Ovest, con intensità variabile, ma intorno ai $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dunque l'ipotesi che vi sia interazione tra correnti sinottiche ed orografia di questa regione acquista maggior credito: un'ulteriore interazione si verifica probabilmente nelle ore diurne con le correnti locali.

La circolazione atmosferica al rifugio Fiori del Baldo è ancora più complessa: vi sono interferenze tra fenomeni di piccola e grande scala, ma non è facile individuare chiaramente manifestazioni caratteristiche locali. Il rifugio è situato a quota 1815 m s.l.m. sulla Costabella, la cresta della montagna che dal Coal Santo (2072 m s.l.m.) discende fino alla Punta di Naole (1584 m s.l.m.) per poi arrivare al Monte Creta (1023 m s.l.m.) e quindi alla pianura. Si trova dunque in una posizione molto ben esposta, sia all'irradiazione solare, sia alle correnti atmosferiche, non avendo da Est ad Ovest ostacoli che lo nascondano (*Figura 4.63*). Il suolo è coperto da pascoli di montagna con assenza di vegetazione arbustiva o ad alto fusto, che è invece presente a quote più basse su entrambi i versanti. Anche in questo caso il contesto ambientale sembra favorevole alle circolazioni locali già descritte in precedenza, con venti di versante aventi cicli giornalieri.



Figura 4.63. Veduta di Costabella da Sud, nel cerchio la posizione del rifugio Fiori del Baldo (immagine tratta da Google.Earth).

La rosa dei venti del sito (*Figura 4.64*) individua due direzioni principali di provenienza dei venti, che sono Est ed Ovest – NordOvest. E' importante ricordare che per questa stazione il dato che si ha a disposizione è la direzione (definita come orientamento), e non l'angolo (di rotazione dell'anemoscopio), e dunque l'informazione è meno precisa. Le direzioni indicate dalla rosa dei venti sono entrambe legate alla morfologia del terreno: corrispondono alla inclinazione dei versanti. L'analisi della odografa dei venti diurni e notturni (*Figure 4.65*) e delle curve odografe giornaliere della stazione non supporta l'ipotesi delle brezze di versante. La maggior parte dei venti da Est e quelli provenienti da Nord sono associabili alle condizioni meteorologiche di grande scala già considerate per la stazione di Monte Baldo (e relative ai giorni tra il 30 luglio ed il 4 agosto). Anche in questo sito dunque vengono percepite le circolazioni sinottiche. Le curve odografe degli altri giorni (Appendice L) mostrano venti che arrivano prevalentemente dal versante del lago di Garda, durante tutta la giornata, più intensi nella notte. La brezza tra lago e versante potrebbe essere più intensa durante il giorno rispetto alla brezza di versante sul fianco orientale della cresta, ed essere dunque prevalente. I venti con la stessa direzione che soffiano nella notte potrebbero essere in questo caso correnti di versante che scendono il ripido pendio orientale. L'aria fredda che scende dal Coal Santo potrebbe trovarsi incanalata verso lo scosceso versante ad Est, e richiamare altra aria dalla cresta, creando una corrente discendente. Punto debole di questa ipotesi è la relativamente piccola distanza tra stazione e cima della montagna, per cui è difficile che si formino correnti di aria fredda discendente che possano essere misurate. L'analisi dei profili di vento evidenzia correnti da Sud – Ovest come già menzionato, ed è probabile che anche in questo sito vi siano forti interferenze tra circolazioni atmosferiche e orografia del territorio.

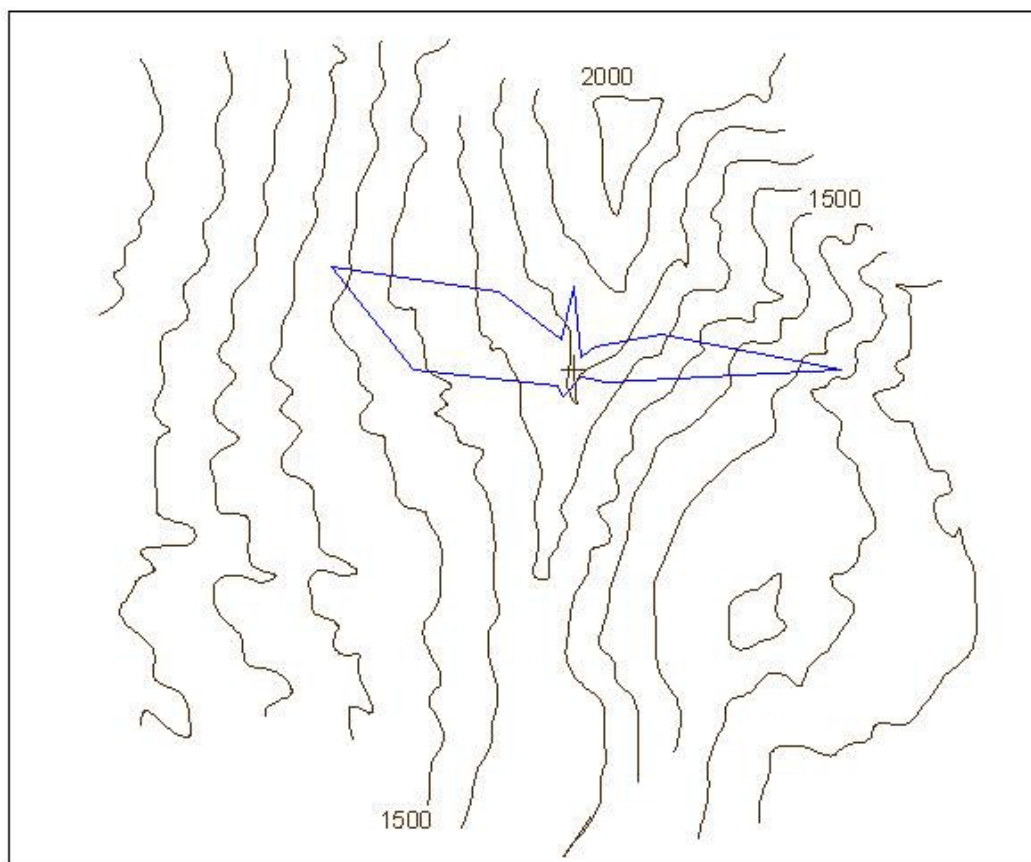
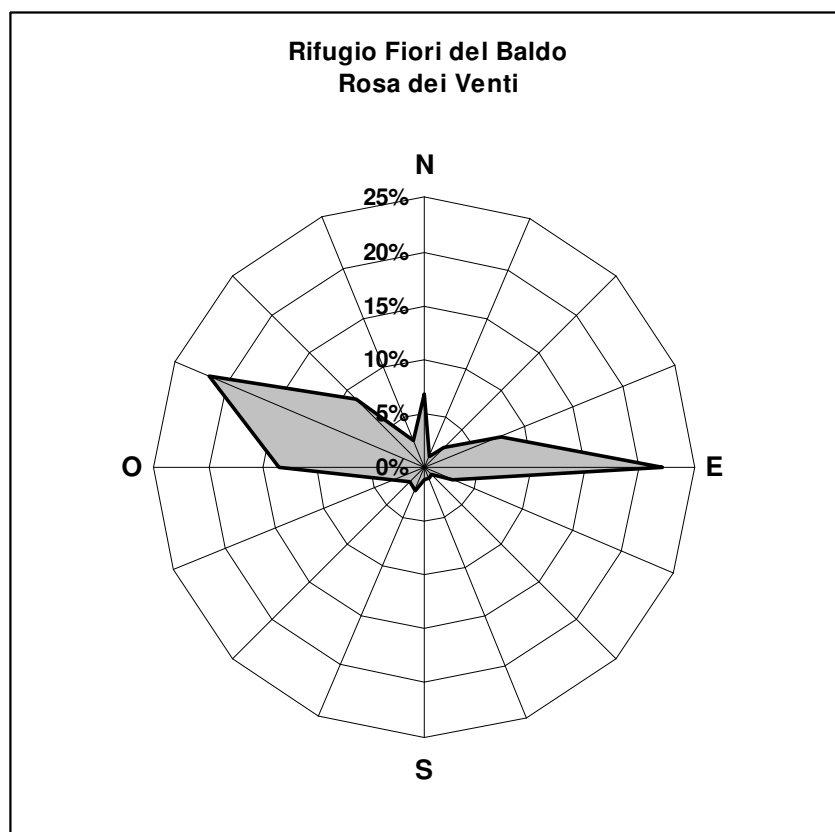


Figura 4.64. La rosa dei venti al rifugio Fiori del Baldo e confronto con l'orografia.

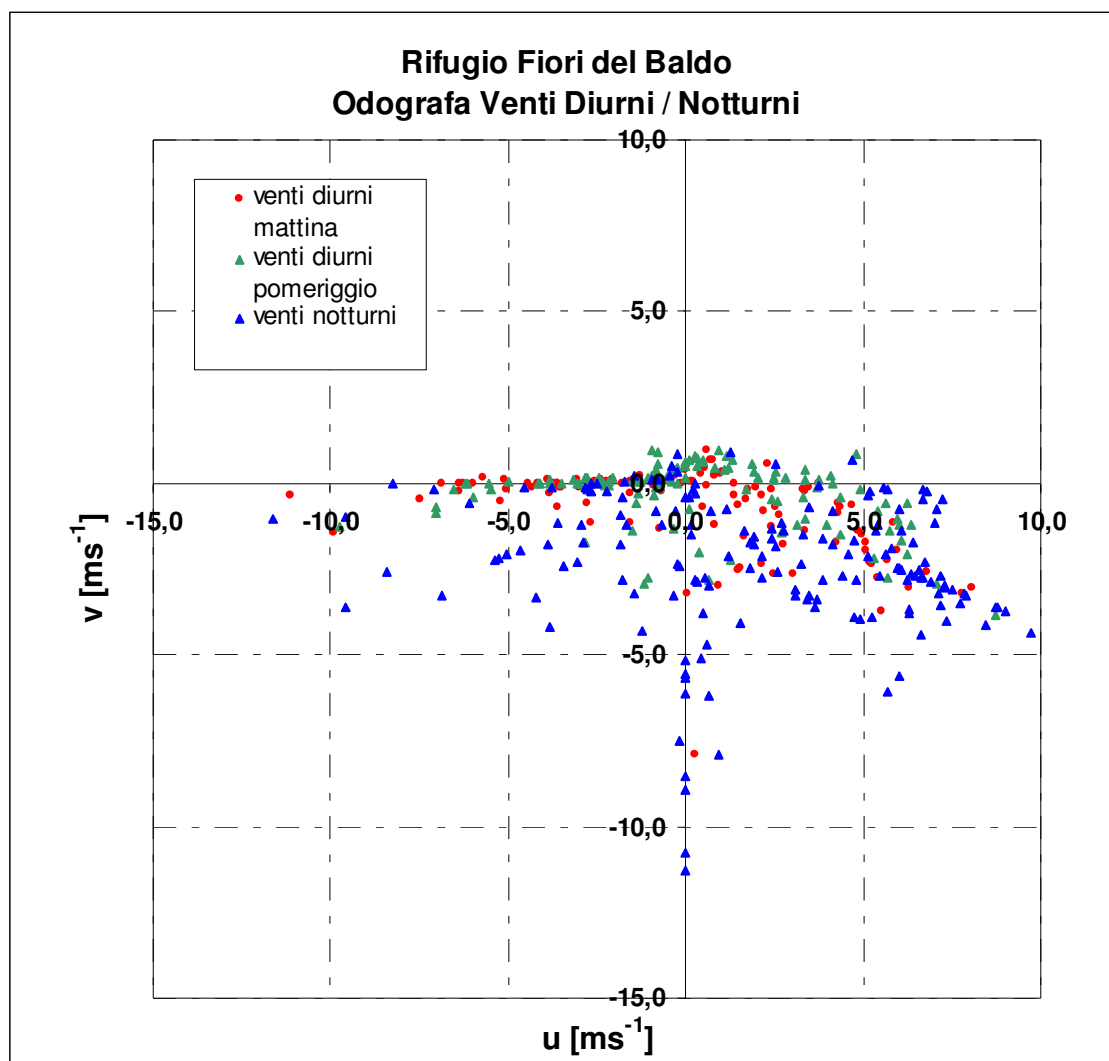


Figura 4.65. Odografa dei venti diurni e notturni al rifugio Fiori del Baldo.

Un'ipotesi generale, valida per questo sito e per Punta Telegrafo in particolare, è quella che durante la notte prevalgano correnti di mesoscala. I fenomeni locali hanno prevalenza durante le ore calde, in cui acquistano energia ed intensità, mentre nella notte tornano ad essere percepiti dalle stazioni le circolazioni più vaste, che includono regioni più grandi. La regione comprendente la Pianura Padana, il lago di Garda, il Mare Adriatico e Prealpi probabilmente è caratterizzata da correnti d'aria complesse che si differenziano dalle circolazioni sinottiche di più grande scala.

Una ultima osservazione sul confronto tra le stazioni si può fare considerando le precipitazioni. In *Tabella 4.10.* sono riassunti i valori delle piogge giornaliere registrate nelle stazioni nel periodo della campagna di studio. Manca il dato riguardante Monte Baldo poiché la stazione non è provvista di pluviometro. Le giornate in cui si hanno precipitazioni sono all'incirca le stesse per tutte le stazioni, a parte il 26 luglio in cui a Polsa non c'è pioggia. La pioggia totale caduta è molto diversa a seconda della stazione e Punta Telegrafo registra il massimo. Osservando i valori giornalieri però si può vedere che la differenza dipende dalle precipitazioni della notte tra 22 e 23 luglio, in cui c'è stato un forte temporale che ha interessato evidentemente maggiormente la parte più a Sud del gruppo montuoso (23 mm a Punta Telegrafo e 39 mm al Fiori del Baldo, contro i 12 mm di Polsa). Il giorno 2 agosto le precipitazioni sono più intense invece a Polsa e al rifugio Fiori del Baldo, con 14 mm e 13 mm rispetto ai soli 7 mm.

	Precipitazioni giornaliere[mm]		
	Punta Telegrafo 2200 m s.l.m.	Rifugio Fiori del Baldo 1815 m s.l.m.	Polso 1301 m s.l.m.
22/07/2005*	23,8	39,8	12,6
23/07/2005	0,6	5,1	0,2
24/07/2005	0,0	0,0	0,0
25/07/2005	0,2	0,0	0,0
26/07/2005	1,6	5,8	0,0
27/07/2005	0,0	0,0	0,0
28/07/2005	0,0	0,0	0,0
29/07/2005	0,0	0,0	0,0
30/07/2005	0,0	0,0	0,0
31/07/2005	0,0	0,0	0,0
01/08/2005	0,0	0,0	0,0
02/08/2005	13,2	7,3	14,2
03/08/2005	2,0	2,5	2,8
04/08/2005	0,0	0,0	0,0
05/08/2005	0,0	0,0	0,0
06/08/2005	0,0	0,0	0,0
07/08/2005	1,2	0,5	1,4
08/08/2005*	0,0	0,0	0,0
Totale	42,6	61,1	31,2

Tabella 4.10. Valori giornalieri delle precipitazioni nelle stazioni.

4.4 Confronto con un ambiente diverso

Viene di seguito riportata l'analisi dei dati di una stazione meteorologica appartenente ad un ambiente completamente differente da quello del Monte Baldo, allo scopo di evidenziare similitudini o diversità tra le condizioni atmosferiche in ambienti diversi. La stazione considerata è quella di Cima Pradazzo, posta a quota 2200 m s.l.m. nel cuore delle Dolomiti in provincia di Belluno, appartenente alla rete nivometeorologica del C.V.A. (si veda il Paragrafo 3.1 per le caratteristiche). Il sito è inserito in un ambiente tipicamente alpino, circondato dalle montagne: a Sud dal Gruppo delle Pale di San Martino e a Nord dal gruppo della Marmolada, con cime che superano i 3000 m di quota; ad Ovest vi è il Col Margherita (2483 m s.l.m.) mentre ad Est si apre la Valle del Biois. La stazione si trova all'inizio del versante orientale di Cima Pradazzo (2279 m s.l.m.) è raggiungibile in estate e in inverno (tramite fuoristrada o impianto di risalita); il suolo è caratteristico di alta montagna, con rocce e vegetazione scarsa, soprattutto erbosa con assenza di arbusti o piante più grandi.

E' stata scelta questa stazione perché è confrontabile con quella temporanea installata a Punta Telegrafo, infatti, entrambe hanno all'incirca la stessa quota e dunque ciò che le differenzia è il contesto geografico in cui si trovano. Dall'analisi dei dati registrati in questa postazioni nello stesso periodo della campagna, cioè dal 22 luglio all'8 agosto 2005, si potrebbero osservare caratteristiche comuni oppure particolari per uno e per l'altro ambiente.

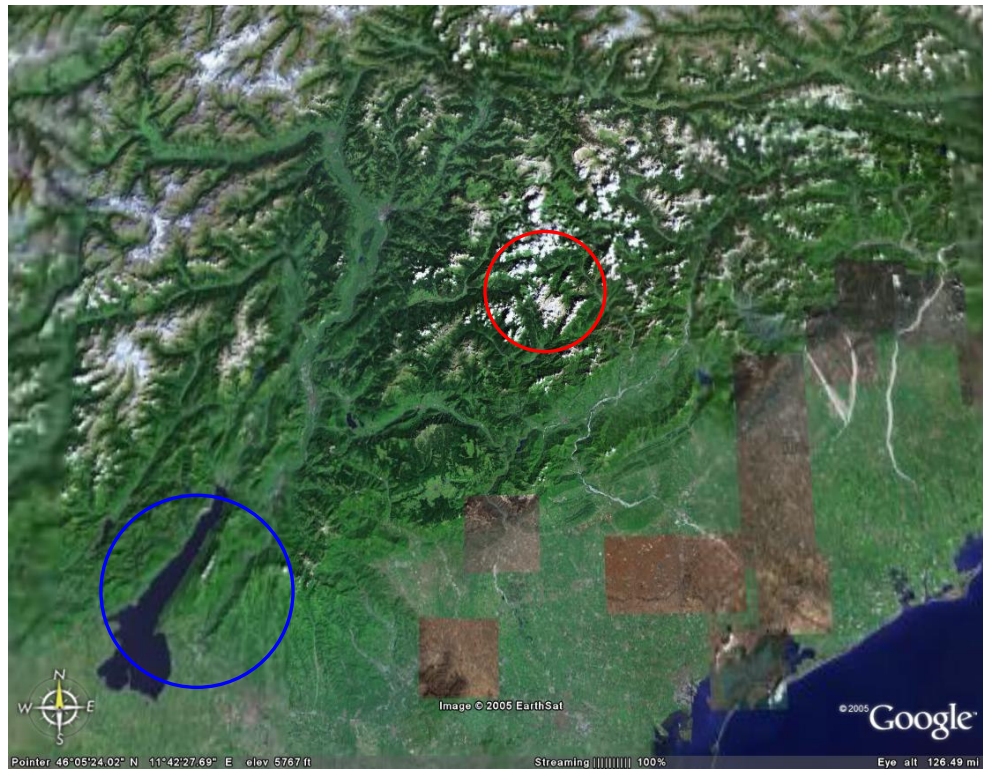


Figura 4.66. Inquadramento geografico della stazione di Cima Pradazzo (nel cerchio rosso); da notare la posizione relativamente al Monte Baldo (nel cerchio blu) (immagine tratta da Google.Earth).



Figura 4.67. La stazione di Cima Pradazzo: sullo sfondo si vedono alcune montagne del Gruppo della Marmolada (Cima Ombrettola, Formenton, Cime d'Auta) (foto scattata il 06/08/2005).

Non erano disponibili i dati di precipitazione (poiché manca il pluviometro) e di pressione, dunque è stato necessario calcolare i valori di pressione facendo riferimento ai valori di pressione e temperatura registrati alla stazione di Paneveggio, secondo le modalità esposte nel Paragrafo 4.2. La stazione di Paneveggio appartiene alla rete forestale dell'I.A.S.M.A. (Paragrafo 3.1), i dati sono stati scaricati dal sito internet www.iasma.it. Sono stati calcolati anche i valori della temperatura di rugiada T_d e del rapporto di mescolamento w . E' importante sottolineare il fatto che la stazione di Paneveggio appartiene ad un'altra vallata, ed in ambiente montano le caratteristiche ambientali potrebbero essere molto particolari; i valori elaborati devono essere considerati perciò indicativi, pur avendo una certa consistenza.

Con riferimento alla *Tabella 4.11*, si può osservare che temperature minime e medie sono molto simili a quelle di Punta Telegrafo, mentre i valori massimi sono minori di qualche grado: di conseguenza anche l'escursione termica risulterà minore in questo sito, i valori estremi sono molto simili. Anche l'andamento generale della temperatura media durante il periodo di studio è simile (*Figura 4.68.*), con valori elevati (di giorno e di notte) in coincidenza con condizioni di alta pressione e bel tempo (giorni 27, 28 29 e 30 luglio, Appendice G).

Data	Temperatura [°C] valori giornalieri			
	Minima	Media	Massima	Escursione
22/7	5,7	8,8	12,7	7,0
23/7	4,1	6,8	9,2	5,1
24/7	5,8	8,2	10,5	4,7
25/7	8,2	11,2	14,8	6,6
26/7	9,7	12,0	15,0	5,3
27/7	9,7	13,3	17,8	8,1
28/7	12,2	15,8	18,7	6,5
29/7	15,2	17,6	20,5	5,3
30/7	12,3	15,4	18,2	5,9
31/7	9,8	12,4	16,0	6,2
1/8	8,3	11,1	15,8	7,5
2/8	8,2	9,6	12,2	4,0
3/8	6,5	9,2	11,8	5,3
4/8	4,1	6,4	8,5	4,4
5/8	2,9	7,8	12,6	9,7
6/8	6,6	9,8	13,8	7,2
7/8	1,9	5,6	8,6	6,7
8/8	0,8	3,4	7,2	6,4
Valori del periodo				
	Minima	Media	Massima	Escursione
	0,8	10,2	20,5	19,7

Figura 4.11. Valori giornalieri e del periodo caratteristici della temperatura.

I valori della radiazione solare incidente e dell'integrale giornaliero della radiazione (Tabella 4.12.) hanno valori confrontabili con quelli di Punta Telegrafo: i valori massimi ($1089 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) così come i valori minimi ($648 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) sono simili, e l'andamento generale ha buone corrispondenze tra picchi continui o più o meno frastagliati (Figura 4.68). A testimonianza di una diversa attività convettiva si può considerare l'indice di nuvolosità (Figura 4.68.): pur avendo un andamento simile a Punta Telegrafo, in questo caso i valori sono sempre più elevati, segnale di una probabile nuvolosità presente a quote maggiori. Nel grafico di Figura 4.69. sono rappresentati rapporto di mescolamento e pressione: si può vedere che l'andamento di w è molto simile a quello di Punta Telegrafo, ma si differenzia nei valori che sono sempre più bassi (non superano mai i $12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in tutte le giornate, tranne nei due giorni (3 e 4 agosto) in cui si sono verificate condizioni di Föhn ($4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Questa differenza potrebbe dipendere dalle caratteristiche ambientali diverse: la presenza della Pianura Padana e del lago di Garda soprattutto potrebbero

rappresentare fattori importanti per l'apporto di aria umida al Monte Baldo (che può avvenire attraverso le brezze di versante).

L'andamento della pressione è praticamente lo stesso per entrambe le stazioni, non si riscontrano differenze significative.

Data	Integrale radiazione giornaliera [MJm ⁻²]	Radiazione massima incidente [Wm ⁻²]
22/7	19,8	890,0
23/7	15,3	873,0
24/7	13,8	733,0
25/7	21,7	993,0
26/7	14,1	769,0
27/7	25,0	1040,0
28/7	27,6	938,0
29/7	25,2	911,0
30/7	25,5	975,0
31/7	16,9	1061,0
1/8	17,7	837,0
2/8	11,3	785,0
3/8	15,6	648,0
4/8	22,2	1089,0
5/8	28,2	956,0
6/8	23,5	984,0
7/8	17,5	1036,0
8/8	25,1	1031,0
Valori estremi	28,2	1089,0

Figura 4.12. Valori giornalieri e del periodo caratteristici della radiazione solare.

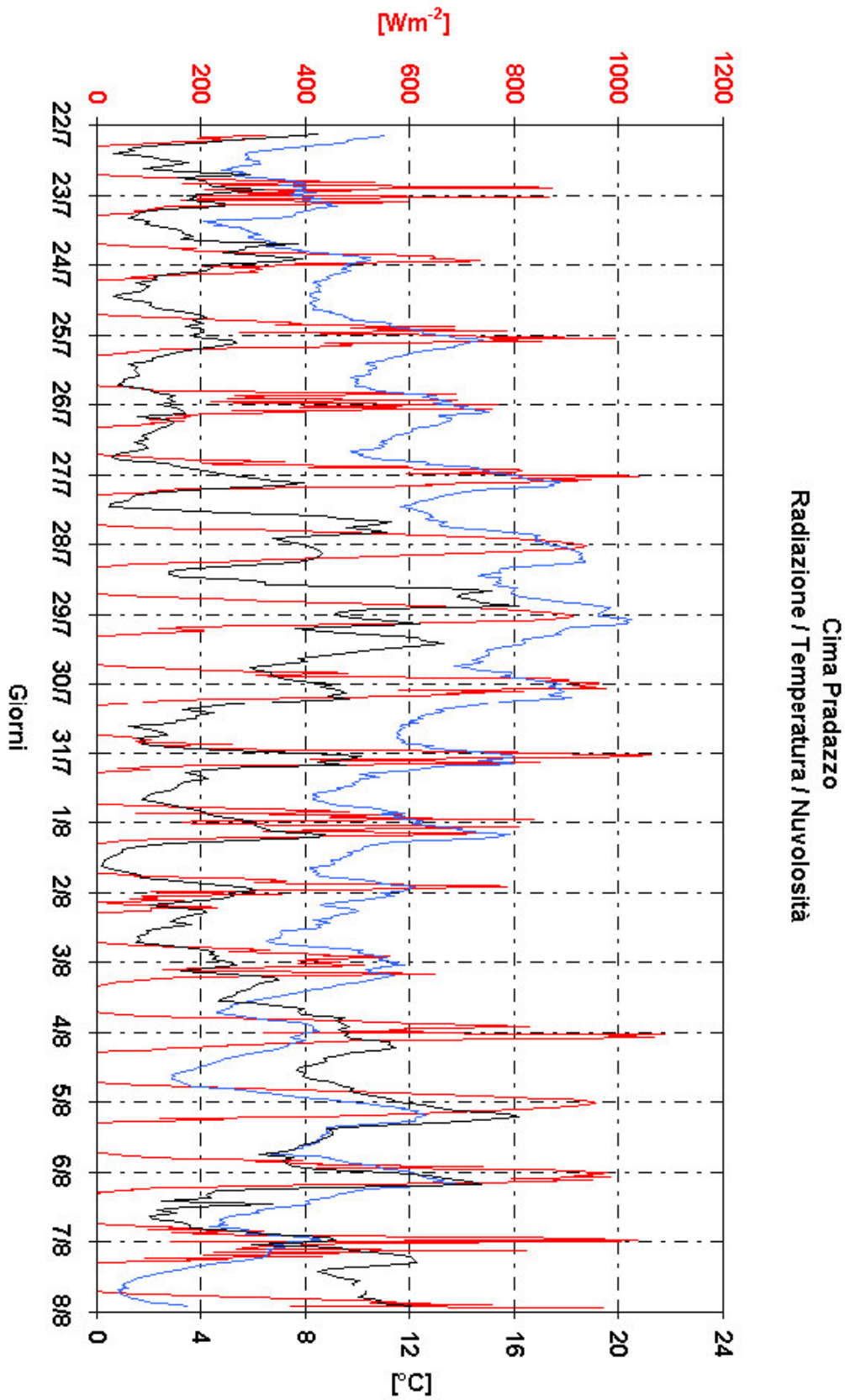


Figura 4.68. Andamento della radiazione incidente massima, della temperatura e della nuvolosità a Cima Pradazzo.

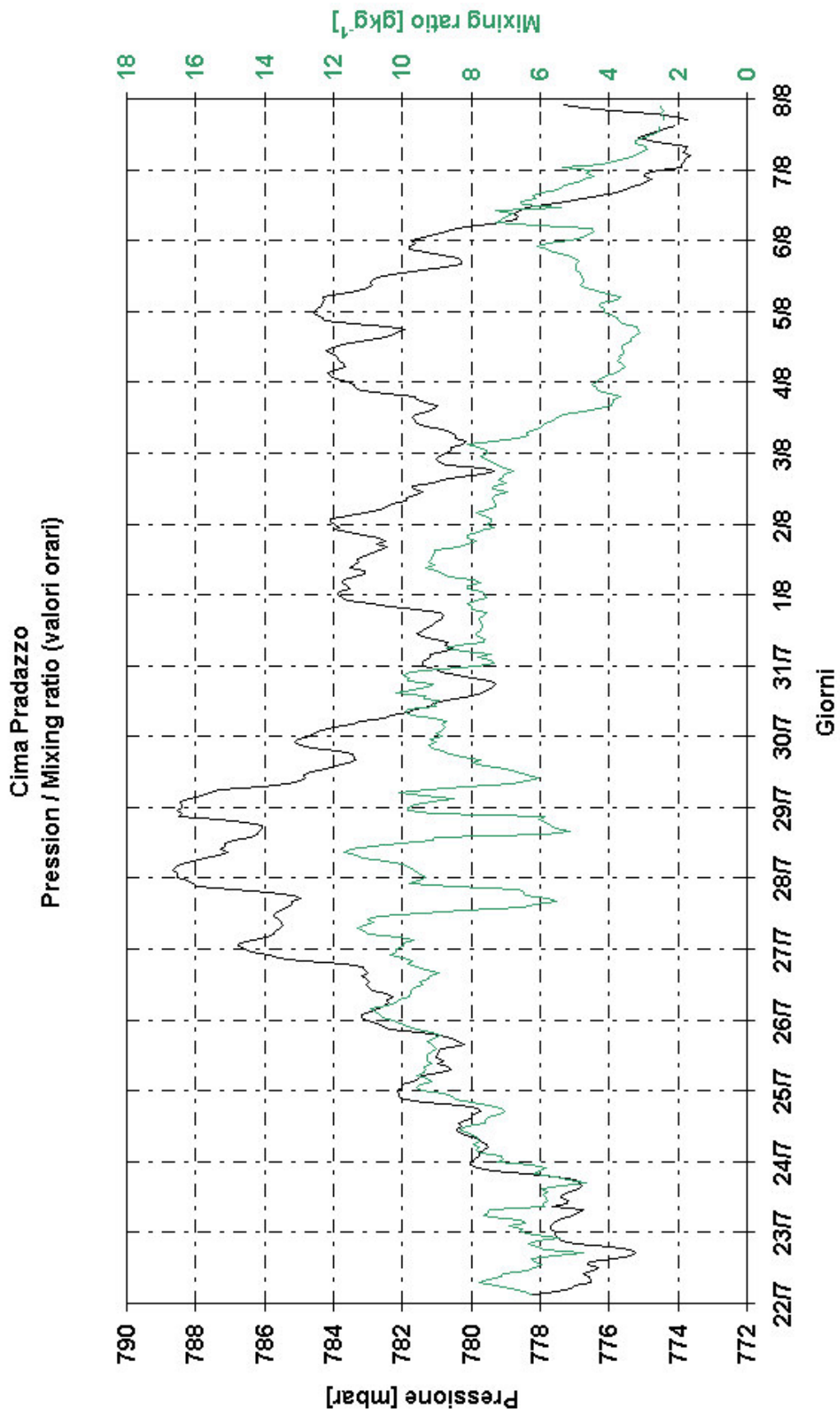


Figura 4.68. Andamento della pressione e del rapporto di mescolamento a Cima Pradazzo.

L'analisi dei dati sul vento (*Tabella 4.13.*) evidenzia probabilmente le differenze maggiori tra le due postazioni messe a confronto: i valori medi sono simili ($3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ma sia le velocità minime ($0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) sia le massime ($13,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) sono minori dei valori registrati sul Monte Baldo; il valore medio giornaliero della velocità è piuttosto uniforme.

		Velocità del Vento [ms^{-1}]		
		Minima	Media	Massima
22/7		0,8	2,6	4,5
23/7		0,5	2,7	13,1
24/7		0,6	2,9	5,8
25/7		1,4	3,5	5,9
26/7		1,5	3,1	5,6
27/7		0,3	1,8	3,6
28/7		1,4	2,7	4,9
29/7		1,8	4,1	7,3
30/7		1,0	4,0	6,3
31/7		0,2	2,6	7,6
1/8		0,3	1,4	3,3
2/8		0,5	2,2	5,0
3/8		0,9	3,9	9,3
4/8		1,9	7,5	11,7
5/8		0,7	3,7	7,2
6/8		0,6	3,9	6,5
7/8		0,8	5,2	12,2
8/8		0,5	5,4	13,2
		Valori del periodo		
		Minima	Media	Massima
		0,2	3,5	13,2

Figura 4.13. Valori giornalieri e del periodo caratteristici della velocità del vento.

Dall'analisi della rosa dei venti (*Figura 4.70*) risulta che le direzioni principali di provenienza delle correnti d'aria sono Ovest, Sud - Est, e Nord - NordOvest; confrontando queste direzioni con l'orografia del sito (*Figura 4.70*) è facile osservare una stretta correlazione. I settori di provenienza occidentali e Sud orientali corrispondono rispettivamente ai versanti del Col Margherita e della Cima Predazzo e portano a supporre che le relative correnti siano delle brezze di versante; i venti Nord occidentali provengono dall'apertura tra le montagne rappresentata dal Passo San Pellegrino (1907 m s.l.m.). Dall'osservazione delle curve odografe (non riportate) dei giorni di Föhn (3 e 4 agosto) è possibile vedere che questa è la direzione da cui proviene proprio

questo vento più intenso degli altri registrati nella stazione. La curva odografa raffigurante venti diurni e notturni (*Figura 4.71*) mette bene in evidenza che le correnti a Cima Predazzo sono caratteristiche brezze di versante.

Durante il giorno grazie al calore fornito dalla radiazione solare si attivano correnti che dalla Valle del Biois risalgono il pendio orientale del Monte Pradazzo e del Col Margherita; nella notte, quando il suolo perde calore per irraggiamento, queste correnti si invertono scendendo dal Col Margherita fino alla valle.

Dunque le circolazioni del sito sono di tipo strettamente locale, infatti le uniche correnti di natura sinottica sono quelle di Föhn, che sono assai intense e provenienti da Nord; è assai difficile che si possano registrare correnti provenienti dal settore meridionale: montagne come il Focobon (3054 m s.l.m.) ed il Monte Mulaz (2906 m s.l.m.) ostacolano questi flussi d'aria. Vi è quindi in questo caso una notevole diversità tra i siti posti a confronto: Punta Telegrafo risulta essere molto più esposta a circolazioni atmosferiche di grande scala.

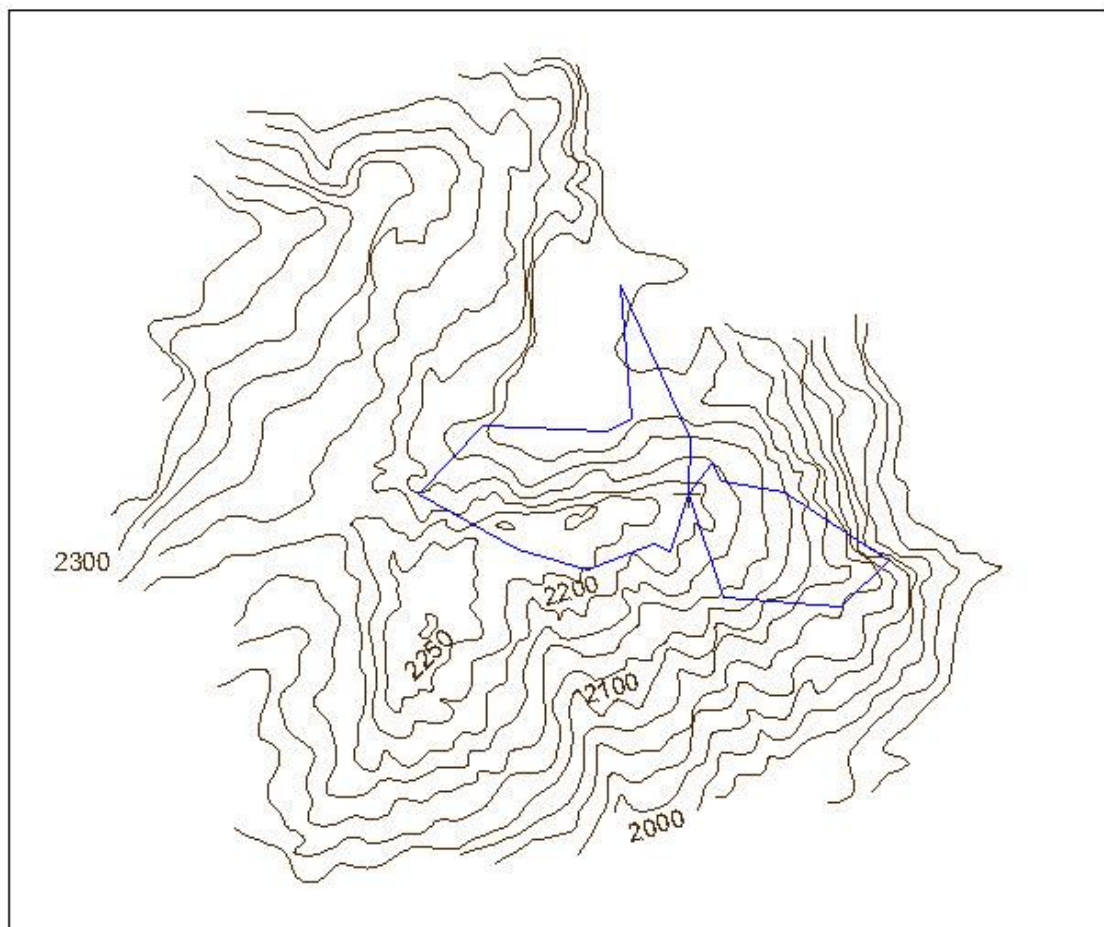
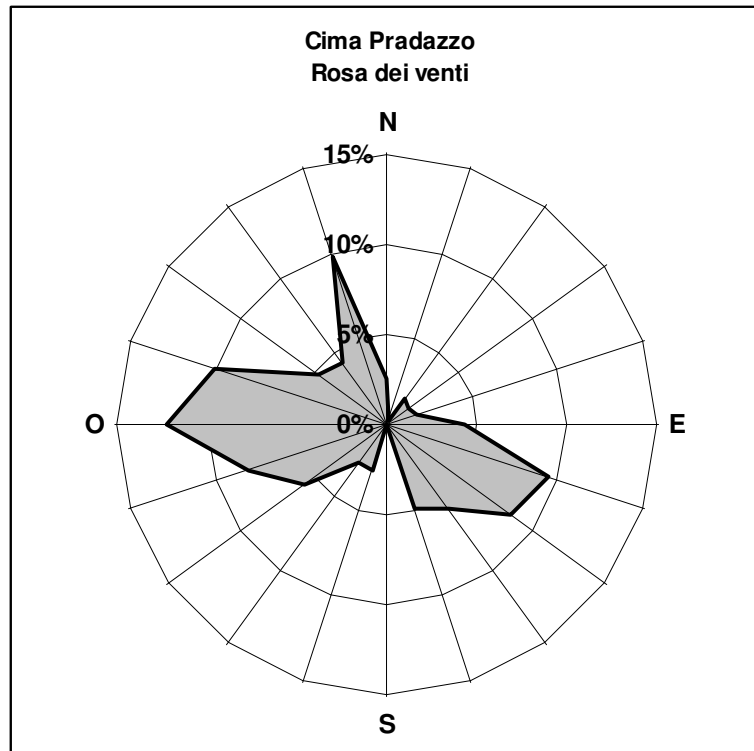


Figura 4.70. Rosa dei venti e confronto con l'orografia a Cima Pradazzo.

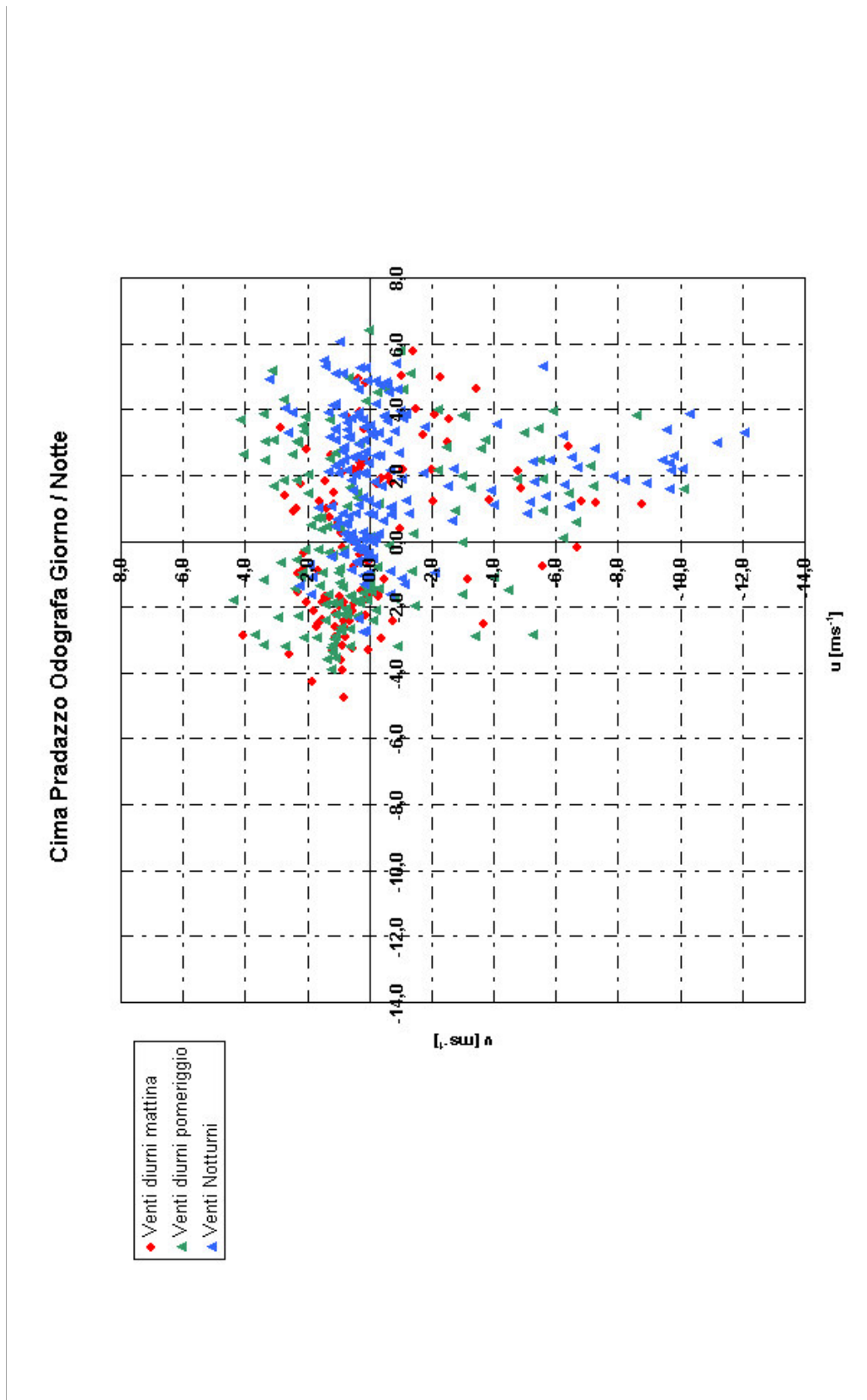


Figura 4.71. Odografa dei venti diurni e notturni a Cima Pradazzo.

Capitolo 5

Conclusioni e possibili sviluppi futuri

5.1 Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha evidenziato nelle sue diverse fasi come il Monte Baldo costituisca realmente dal punto di vista climatico un ambiente particolare e alquanto vario. Attraverso il confronto iniziale tra le stazioni esistenti si sono descritte le caratteristiche che accomunano e quelle che differenziano la montagna baldense dagli altri ambienti circostanti. E' stato possibile quindi osservare come sul Baldo il clima abbia un andamento generale molto simile a quello dell'area a cui appartiene, ma assuma allo stesso tempo caratteristiche estreme tipiche dell'alta montagna. Dunque temperature molto basse in inverno e non elevate in estate, con grande escursione termica durante tutto l'anno; i valori dell'umidità relativa sono molto variabili, dipendenti dalle circolazioni in quota. La radiazione ha valori alti, tipici di un'atmosfera che consente una migliore trasmissione per irradiazione; le precipitazioni invernali sono nevose e spesso sono abbondanti, alle quote più elevate. La circolazione dei venti nella regione considerata è alquanto particolare: ogni sito ha caratteristiche piuttosto diverse per velocità e direzione dei venti. Anche la natura di queste correnti è diversa: in pianura prevalgono le brezze di valle, mentre alle quote più elevate sono importanti le brezze di versante e si può osservare nel sito più elevato (Monte Baldo) che le correnti sono intense ed hanno elementi distintivi riconducibili alla scala sinottica. Il confronto tra le stazioni presenti nell'area del Monte Baldo mette in risalto anche le caratteristiche delle reti: la copertura non è completa, e manca un monitoraggio specialmente nella zona meridionale. I sensori

installati in montagna sono i più soggetti a problemi, specialmente durante la stagione fredda, con conseguente mancanza di dati per lunghi periodi (Polsa e Monte Bianco). La mancanza di sensori adatti, nello specifico il pluviometro al Monte Baldo, fa sì che manchi completamente l'informazione relativa alle precipitazioni per lunghi periodi.

La campagna di misure in quota si è dimostrata di grande interesse per una migliore conoscenza delle condizioni atmosferiche sulla catena del Baldo: l'elaborazione dei dati registrati ha permesso di individuare fenomeni locali importanti associati a condizioni atmosferiche di scala maggiore. L'andamento della temperatura ha valori caratteristici delle quote elevate, con escursione termica giornaliera elevata; i valori di radiazione registrati sono molto elevati: si ha un primo riscontro di condizioni prossime a quelle dell'atmosfera libera. Importantissime sono le circolazioni atmosferiche: sono stati individuati moti convettivi che si sviluppano quotidianamente in funzione delle condizioni di irraggiamento solare, che è il motore termico di questi moti. Sono state identificate con buona sicurezza brezze di versante piuttosto intense, caratteristiche della regione di studio, che rappresentano importanti fenomeni di interazione tra montagna, pianura e lago. Queste circolazioni locali comportano anche il trasporto di aria calda e umida in quota, con sviluppo di nuvolosità e conseguente interazione con le condizioni di copertura del cielo, temperatura, umidità relativa.

Sono state registrate allo stesso tempo anche correnti d'aria di origine sinottica, riconducibili alle condizioni meteorologiche di grande scala presenti sull'arco alpino: anche questo fa pensare che la stazione sia sensibile a condizioni di atmosfera libera.

L'interazione tra circolazioni locali e di grande scala, come ipotizzato, si rivela molto importante in questa regione, determinando condizioni atmosferiche particolari. In questo senso un'ulteriore conferma è venuta dal confronto tra i dati dello stesso periodo della campagna di studio delle altre stazioni presenti sul Monte Baldo: sulla cresta principale della montagna venti locali e sinottici si sovrappongono. I dati di temperatura, umidità, radiazione solare permettono di identificare nella catena principale un ambiente omogeneo, con piccole variazioni nei valori in funzione della quota; la parte del Baldo nord orientale, meno elevata e molto diversa dalla principale, ha caratteristiche assai differenti.

Il successivo paragone con una stazione confrontabile, ma inserita in un ambiente completamente differente ha permesso di evidenziare l'importanza della migliore esposizione del Monte Baldo alle correnti sinottiche, specialmente quelle provenienti dai settori meridionali, importanti per le condizioni meteorologiche sull'arco alpino.

5.2 Sviluppi futuri

Lo studio di una regione come il Monte Baldo, praticamente molto poco esplorata dal punto di vista meteorologico, lascia spazio a molti possibili approcci, oltre a quello importante della campagna di misure realizzata per questo lavoro di tesi. Potrebbero essere significative nuove campagne di misure, di diverso tipo ed a diverse quote: analisi specifiche delle correnti di versante, studio delle condizioni meteorologiche in quota per periodi più lunghi ed in stagioni diverse (inverno), utilizzo di particolari sensori per poter valutare meglio il campo tridimensionale di moto delle masse d'aria (anemometro sonico), confronto con le condizioni sulla sponda gardesana, studio del trasporto degli inquinanti in atmosfera, studio della qualità dell'aria. Per poter realizzare una caratterizzazione meteo climatica completa del Monte Baldo sarebbe necessaria la realizzazione di una rete di stazioni meteorologiche sul territorio, in modo da poter avere un monitoraggio integrale. Ciò significa realizzare una copertura soprattutto nella parte meridionale ed in quota della montagna, comprendendo anche la sponda baldense del lago di Garda. Un potenziale progetto potrebbe prevedere l'utilizzo delle stazioni già presenti (Monte Baldo e Polsa), integrate da nuove postazioni a formare una rete di sensori dedicata alla montagna. Un progetto di questo tipo porta con se vantaggi e problematiche: primo fra tutti l'utilizzo di un protocollo di trasmissione e gestione dei dati registrati, considerando che le due stazioni esistenti appartengono ad enti diversi ed hanno caratteristiche diverse; la conoscenza delle condizioni meteorologiche della regione sarebbe comunque perseguibile.

Le condizioni atmosferiche rilevate dalla campagna di studio a Punta Telegrafo evidenziano come il sito sia sensibile alle condizioni di atmosfera libera ed alle circolazioni sinottiche; la posizione molto ben esposta sull'arco alpino e sulla Pianura Padana rendono questo sito importante anche in un contesto più grande. In particolare, da Punta Telegrafo sono visibili l'osservatorio meteorologico del CNR di Monte Cimone (2165 m s.l.m.,

Appennino Tosco-Emiliano), centro meteorologico di primaria importanza, ed il Monte Rosa, dove esiste la stazione meteorologica più alta d'Europa sul Plateau Rosà a quota 4560 m s.l.m. (Figura 5.1 e 5.2).

La posizione di Punta Telegrafo si pone dunque in un contesto geografico e strutturale (stazioni meteo) importantissimo, che potrebbe rappresentare un nuovo punto di riferimento nello studio della meteorologia.



Figura 5.1. Posizione relativa del Monte Baldo, del Monte Cimone e del Monte Rosa.

L'ipotesi di realizzare un osservatorio meteorologico in un sito come questo appare sensata e le potenzialità di una simile installazione sarebbero numerose ed importanti. Si pensi ad esempio a campagne di misure specifiche di turbolenza o di diffrazione in aria tra stazioni poste ai margini della Pianura Padana, o di monitoraggio di condizioni meteorologiche particolari (come alluvioni o periodi di siccità). Il progetto di un osservatorio meteorologico sul Monte Baldo potrebbe coinvolgere diverse branche del mondo universitario: dall'ingegnere ambientale per gli studi atmosferici, all'ingegnere delle telecomunicazioni per la realizzazione di reti di trasmissione di dati e

comunicazione, dall'ingegnere dei materiali per lo studio dei materiali adatti alle condizioni climatiche critiche, all'ingegnere civile per la progettazione di una postazione in sintonia con l'ambiente in cui sarebbe inserita.



Figura 5.2. Il Monte Rosa visto da Punta Telegrafo (si può vedere dietro la montagna scura in primo piano) (fotografia scattata l'8 agosto 2005).

Bibliografia

AA. VV.

Atmospheric processes over complex terrain

American Meteorological Society 1990

AA VV

Il Monte Baldo nei suoi aspetti naturalistici e antropici

Natura Alpina (1981)

A.R.P.A.V. Regione del Veneto

Annale nivometeorologico della montagna veneta anno 1998

Regione del Veneto 1999

Bonacina C., Cavallini A., Mattarolo L.

Trasmissione del calore

CLEUP Editore

Cagnati Anselmo

Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici

AINEVA 1999

de Jong C., Collins D., Ranzi R.

Climate and hydrology in mountain areas

Wiley 2005

Dipartimento per le Foreste e l'Economia Montana Regione del Veneto

I sistemi di terre nei paesaggi forestali

Regione del Veneto, 1997

Emanuel Kerry A.

Atmospheric Convection

Oxford University Press 1994

Geiger R., Aaron R. H., Todhunter P.

The climate near the ground Sixth Edition

Rowman & Littlefield Publishers 2002

Holton James R.

An introduction to dynamic meteorology Third Edition

Academic Press 1992

Kappenberger G. Kerkamann J.

Il tempo in montagna Manuale di meteorologia alpina

AINEVA, Zanichelli 1997

Lutgens, Tarbuck

The atmosphere Eighth edition

Prentice Hall 2001

Passerini V. Turri E. *Brentonico e il Monte Baldo: l'ambiente naturale e gli insediamenti umani*

CIERRE Edizioni, 1993

Pona Giovanni

Monte Baldo

Fac simile edizione originale unica (Venezia, Meietti, 1617), 1972

Salby Murry L.

Foundamentals of atmospheric physics

Academic Press 1996

Turri Eugenio

Il Monte Baldo

CIERRE Edizioni 1999

Wallace John M., Hobbs Peter V.

Atmospheric science An introduction survey

Academic Press 1977

Whiteman C. D.

Mountain Meteorology Fundamentals and applications

Oxford University Press 2000

WMO

Guide to meteorological instrument and observing practices

1971

Zardi Dino

Appunti di lezione del corso di Fisica dell'atmosfera

2001

Tesi consultate:

Bissoli Chiara

Valutazione della risorsa eolica in area alpine

2004

Tranquillini Mattia

Misure meteo per la caratterizzazione della circolazione atmosferica "Ora del Garda"

1998

Piccoli Claudia

Analisi comparativa di alcune stazioni meteo nell'area della città di Trento

2003

Riviste consultate:

Neve e valanghe

AINEVA

Meteorological Applications

A journal of the royal meteorological society

Meteorology and atmospheric physics

Siti internet consultati:

A.R.P.A.V. <http://www.arpa.veneto.it>

C.A.E. <http://www.cae.it>

Comunità Montana del Monte Baldo

<http://www.baldolessinia.it/baldo/ammi/ammi4.html>

Enrosadira <http://www.enrosadira.it>

Gardameteo <http://www.gardameteo.com/>

Istituto Agrario San Michele all'Adige <http://www.iasma.it>

Meteoblue <http://www.meteoblue.ch>

Meteoromonti <http://www.meteoromonti.it>

Meteosirmione <http://www.meteosirmione.it>

Meteotrentino <http://www.meteotrentino.it>

Prealpiveronesi <http://www.prealpiveronesi.it>

Provincia Autonoma di Trento <http://www.provincia.tn.it>

Rifugio Fiori del Baldo <http://www.fioridelbaldo.it>

Wetterzentrale <http://www.wetterzentrale.de>

Venetoagricoltura <http://www.venetoagricoltura.org>

Ringraziamenti

Desidero ringraziare per primo il Professor Dino Zardi, per avermi proposto questa tesi di laurea, per la serietà e l'attenzione che mi ha riservato, e per la disponibilità e l'entusiasmo con i quali ha saputo coinvolgermi in questo studio.

Un ringraziamento particolare all'Ingegnere Massimiliano de Franceschi che mi ha pazientemente seguito e consigliato durante questi mesi, per la disponibilità e l'aiuto che mi ha dato.

Un grazie all'amico Ingegnere Marco Sitta, per i consigli e l'appoggio con i quali mi è sempre stato vicino, soprattutto in questo periodo.

Grazie a tutto il gruppo di Fisica dell'Atmosfera, che mi ha sempre accolto con simpatia e disponibilità.

Ringrazio per la loro preziosa collaborazione tutta la famiglia Arcangeli del rifugio Gaetano Barana al Telegrafo, senza i quali la campagna di misure sarebbe stata molto più difficile da realizzare. Grazie ai signori Luca Panziera e Moreno Oliboni del rifugio Fiori del Baldo, per avermi fornito i dati meteo della loro stazione, utilissimi in questo lavoro.

Vorrei ringraziare Anselmo Cagnati e Mauro Valt del Centro Valanghe di Arabba, per la loro grande disponibilità, per la gentilezza, per i consigli e l'aiuto che mi hanno dato, oltre che per il materiale fornito.

Un ringraziamento al personale del Centro Meteorologico di Teolo e dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige: grazie alla loro collaborazione è stato possibile utilizzare i dati delle stazioni meteorologiche esistenti nella zona del Monte Baldo.

Un ringraziamento a tutti gli Enti pubblici, Comuni, Biblioteche, alla Comunità Montana del Baldo, al personale del Corpo Forestale dello Stato e a tutte le persone alle quali mi sono rivolto per realizzare questo lavoro di tesi, per la gentilezza, la disponibilità ed i consigli che mi hanno riservato.

Da anni attendevo il momento in cui poter scrivere queste righe...

...a mio padre Franco, mia madre Ornella, mia sorella Isabella,

...grazie di tutto.

Un grazie di cuore ai miei cari nonni, se sono qui è anche merito loro.

A Michele, Simone, Alberto un grazie particolare.

Grazie a Moreno, amico tra gli amici.

Grazie a Laura e Jessica, amiche preziose.

Grazie alla cara zia Melia.

Grazie di cuore a tutte le persone che hanno fatto parte della mia vita durante questi anni, per avermi aiutato a crescere e ad arrivare fino a qui.