

Inquadramento climatico del Lago di Tovel e del suo bacino

Emanuele ECCEL* & Giambattista TOLLER

Istituto Agrario di San Michele all'Adige, Via E. Mach 1, I-38010 San Michele all'Adige (TN)

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: emanuele.eccel@iasma.it

RIASSUNTO - *Inquadramento climatico del Lago di Tovel e del suo bacino* - La presente analisi è stata condotta principalmente usando i dati della stazione posta fin dal 1972 nella Baia Rossa del Lago di Tovel, ma anche quelli disponibili per la stazione di M.ga Flavona (2000 m), di installazione più recente (2003). I dati meteo sono stati preventivamente sottoposti a controlli di validazione e, ove possibile, ricostruiti, utilizzando dati provenienti dalle altre stazioni presenti in Val di Non. L'insolazione sul lago è limitata in inverno dall'orizzonte chiuso (assenza di soleggiamento per 70 giorni), in estate dalla frequente formazione di temporali. Le temperature medie mensili rivelano una certa continentalità, specie nella porzione alta della valle, con minime in febbraio e massime in agosto. Il regime delle piogge è bimodale, con apporti sensibilmente superiori a quelli mediamente validi per la Val di Non; in estate sono importanti gli apporti temporaleschi. Il regime dei venti è dominato dalle brezze, che percorrono la valle nei mesi soleggiati in direzione opposta a quanto avviene nelle principali vallate trentine, che hanno giacitura opposta a Tovel. La valle risponde prontamente al soleggiamento con un regime regolare che talvolta lascia spazio a una circolazione influenzata dal flusso prevalente nelle vallate circostanti.

SUMMARY - *A climatic characterization of Lake Tovel and its basin* - The analysis has been carried out mainly with data from the station located in the Red Bay of the Tovel Lake, operating since 1972, but also with those available for the station of M.ga Flavona (2000 m), more recently installed (2003). Meteorological data have undergone validation checks and reconstruction beforehand, by using data from stations operating in Non Valley. The insolation at the lake is limited in winter by the enclosed horizon (the sun is absent for 70 days), in summer by the frequent formation of thunderstorms. Temperatures show some continentality, especially in the upper portion, with a minimum monthly mean in February and a maximum in August. The rainfall regime is bimodal, with supplies considerably higher than those typical for Non Valley; in summertime thunderstorms contribution is remarkable. Winds are dominated by breezes, in the sunny months running the valley in a direction that is opposite to that concerning the main valleys of Trentino, lying opposite of Tovel. The valley promptly responds to sun exposure, displaying a regular regime, which sometimes gives way to a circulation affected by flows prevailing in the neighbouring valleys.

Parole chiave: Tovel, clima, temperatura, precipitazioni, vento

Key words: Tovel, climate, temperature, precipitation, wind

1. INTRODUZIONE

L'interesse per le vicende ecologiche del Lago di Tovel è all'origine del progetto di ricerca "SALTO", articolato in diversi sottoprogetti di cui uno dedicato alla "Geologia, idrogeologia, idrodinamica e meteorologia".

Per quanto riguarda la meteorologia e la climatologia, le implicazioni, reali o ipotizzate, con l'assetto ecologico del bacino di Tovel sono molteplici: dal regime degli afflussi-deflussi del lago – legato al regime pluviometrico, oltre che, ovviamente, alla circolazione negli acquiferi –, alla circolazione dei venti e alle possibili implicazioni in termini di inquinamento

proveniente dalla Val di Non, ai ventilati effetti di un cambiamento climatico indotto dalla presenza del bacino artificiale di S. Giustina. Senza addentrarsi in un esame delle diverse teorie che si sono avvicinate nella discussione scientifica intorno alla scomparsa del fenomeno dell'arrossamento, questo articolo vuole fornire un inquadramento climatico generale dell'area. Ogni considerazione relativa agli effetti delle singolarità climatiche sull'arrossamento verrà ripresa in altri contributi presenti in questa pubblicazione monografica. Alcune considerazioni sull'andamento climatico nel periodo di durata del progetto (2001-2004), assieme a un'analisi dell'andamento delle temperature e delle precipitazioni nel trentennio

1975-2004, si trovano in una “nota breve” in questo stesso volume (Eccel 2006).

2. I DATI UTILIZZATI

La stazione di riferimento per la climatologia dell'area è quella denominata “Tovel” (Istituto Agrario di San Michele - IASMA), a quota 1178 m, posta nella Baia Rossa ad alcuni metri dalla riva. Essa è attiva dal 1972 come stazione di tipo meccanico e dal 1985 come stazione elettronica. Dato il carattere lacunoso che caratterizza il suo primo periodo di funzionamento, si è scelto di utilizzare i dati a partire dal 1975. La discontinuità introdotta dal cambio della strumentazione nel 1985 non consente una perfetta sovrapposibilità dei dati di temperatura, sia per discrepanze nelle misure, sia per le diverse modalità di raccolta e controllo dei dati stessi. Per la climatologia, vista anche la considerevole dinamica climatica in atto, è stato considerato solo il periodo 1985-2004, con le opportune correzioni; questo lasso di tempo, per quanto riguarda le temperature, si può considerare più rappresentativo di quello più lungo compreso tra il 1975 e il 2004.

Dal maggio 2003 è stata installata una stazione temporanea nei pressi di M.ga Flavona, a quota 2000 m; la posizione delle due stazioni è raffigurata in figura 1. Data la brevità della serie disponibile, i dati sono utilizzabili attualmente con il contributo di quelli misurati a Tovel e la climatologia può essere dedotta da quella di Tovel apportando fattori correttivi medi mensili.

Esistono attualmente in prossimità del bacino di Tovel altre due stazioni, gestite dal servizio Meteomont (Esercito Italiano). I dati di queste stazioni, situate sul Monte Peller e al Passo Grosté, sono stati utilizzati parzialmente, visto il breve periodo di disponibilità (dal 1997) e le numerose lacune presenti.

I parametri misurati dalle stazioni IASMA sono i seguenti:

- radiazione solare globale (ad onda corta);
- temperatura a 2 m;
- umidità relativa dell'aria;
- velocità e direzione del vento (a 5 m a Tovel, a 10 m a M.ga Flavona);
- precipitazioni (a M.ga Flavona anche con pluviometro totalizzatore).

Relativamente alla stazione di Tovel, si premettono alcune osservazioni generali relative alle grandezze misurate e agli interventi di validazione e ricostruzione dei dati mancanti.

Radiazione solare

I periodi mensili con dati mancanti sono stati integrati aggiungendo quantità proporzionali alla durata del periodo senza misura. Per quanto semplice, bisogna tenere presente che questo approccio consente di

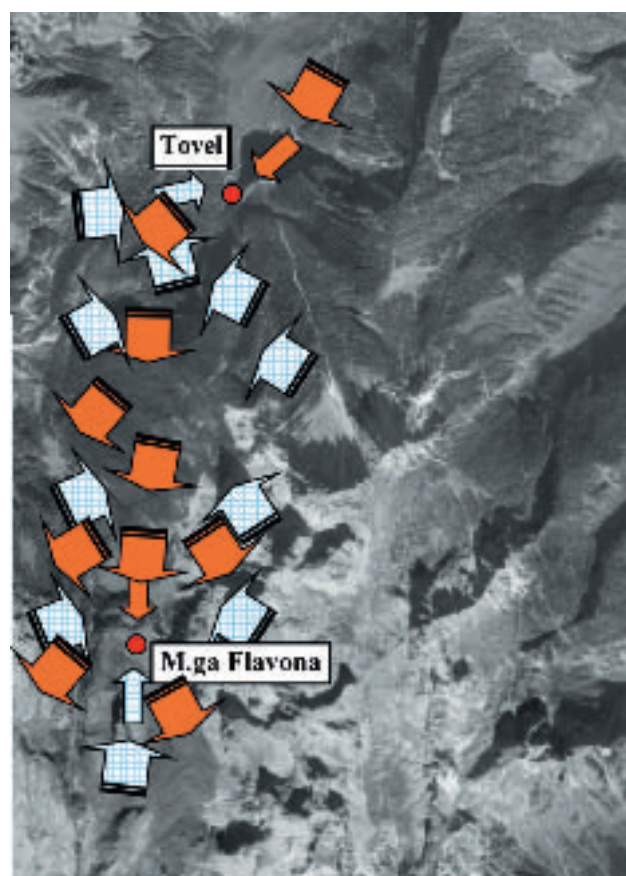


Fig. 1 - Posizione delle stazioni meteorologiche nel bacino di Tovel e schema di circolazione delle brezze. Freccette strette = direzioni prevalenti alle stazioni. Freccette larghe = schema di circolazione delle brezze. Riempimento grafico delle freccette: uniforme = brezza ascendente, a quadri = brezza discendente.

Fig. 1 - Location of the meteorological stations in the Tovel catchment and sketch for breeze circulation. Narrow arrows = prevailing directions at the stations. Broad arrows = breeze pattern. Arrow fill: uniform = upvalley breeze, squares = downvalley breeze.

migliorare il dato grezzo, dal momento che qualunque periodo con dati mancanti agisce verso una sottostima del dato reale su base mensile.

Temperatura a 2 m

Durante i mesi di presenza dell'acqua la stazione si trova sopra una superficie liquida, mentre nel periodo invernale (orientativamente da novembre-dicembre ad aprile) si trova sopra una superficie asciutta, eventualmente ghiacciata.

Durante il periodo di sovrapposizione tra le due stazioni (meccanica ed elettronica) si registra uno scarto tra le due, variabile senza un'apparente stagionalità e diverso tra massime e minime (mediamente 0,9 °C nei valori minimi, 1,3 °C in quelli massimi). Ci sono indizi, dal confronto con le stazioni di Cles (PAT

e IASMA) che porterebbero ad attribuire alla stazione elettronica una staratura nel suo primo periodo di funzionamento (Eccel 2006).

Per la ricostruzione dei dati giornalieri mancanti sono state cercate correlazioni con le stazioni di Campo Carlo Magno, Piazzola di Rabbi, S. Giustina e Cles (di proprietà della Provincia Autonoma di Trento.) Quest'ultima stazione è risultata la meglio correlata ed è quindi stata impiegata per la correzione dell'archivio meccanico per i mesi con troppi dati mancanti, con riferimento all'aggregazione mensile dei dati. Per la stazione elettronica è stata usata come confronto la stazione di Cles (IASMA).

Temperatura dell'acqua

Viene misurata con una sonda che si trova a 1 m di profondità. Durante il periodo invernale (da novembre ad aprile), quando l'acqua non è presente nella Baia Rossa, la sonda veniva ritirata e quindi mancano i dati relativi a quel periodo. A partire dal 1997 la sonda viene lasciata in loco; i dati del periodo invernale sono quindi registrati, ma non rappresentano temperature dell'acqua. Nell'analisi si è cercato quindi di escludere i periodi con presunta assenza d'acqua.

Precipitazioni

Il pluviometro installato a Tovel è riscaldato con gas, data l'assenza di corrente elettrica in loco. La mancanza di collegamento in tempo reale della stazione con il centro di archiviazione dei dati determina eventuali ritardi tra l'insorgenza del guasto e l'intervento di riparazione, per cui non sono infrequenti periodi in cui il riscaldatore non ha funzionato. Nel periodo invernale, pertanto, i dati pluviometrici possono risultare non regolari, in particolare sottostimati, nel caso di precipitazioni abbondanti, e con i quantitativi di ogni evento distribuiti su più giorni seguenti, a causa dello scioglimento naturale. Il periodo con precipitazioni nevose a Tovel è lungo e le minime scendono mediamente sotto lo zero per quasi sei mesi l'anno.

Nel 2003 il pluviometro è stato spostato dalla Baia Rossa e ricollocato presso il Centro Visitatori del Parco Adamello-Brenta.

Per il periodo di sovrapposizione delle stazioni meccanica ed elettronica è stata ricavata la retta di regressione, che è risultata ottima, confermando l'uguale capacità di misura dei due strumenti. Per le verifiche del resto del periodo è stata utilizzata la stazione di Cles, la cui precipitazione è risultata ben correlata con quella di Tovel. Per la stazione meccanica sono stati impiegati i dati della stazione PAT ($r^2 = 0,88$ su base mensile), per quella elettronica i dati giornalieri della stazione IASMA ($r^2 = 0,85$ su base mensile).

Velocità e direzione del vento

La posizione della stazione risente ovviamente della topografia locale, particolarmente varia, in quanto

la stazione si situa in prossimità della strozzatura della valle e è circondata dal bosco. L'analisi della velocità e della direzione del vento è stata condotta solo sui dati raccolti dalla stazione automatica; infatti, l'archivio della stazione meccanica è tale da registrare valori solo in tre momenti della giornata (alle ore 8, alle 14 e alle 19) e non consente quindi un'analisi particolareggiata dei valori a livello orario, ritenuta fondamentale per gli scopi di questa ricerca.

Il regime anemometrico è sufficientemente costante da rendere conveniente la limitazione dell'analisi a periodi con qualità accertata dei dati, escludendo *in toto* periodi lunghi di dati mancanti o errati. Sono quindi stati riscontrati ed esclusi dall'analisi parecchi periodi di assenza di dati o con valori di velocità e direzione errati. Ciononostante, i risultati forniscono l'impressione di notevole consistenza e regolarità nei risultati. Per quanto riguarda la stazione di M.ga Flavona, il periodo disponibile è breve (maggio 2003 - febbraio 2005) e quindi i risultati sono un po' meno precisi di quelli riferiti a Tovel. Tuttavia, il comportamento della circolazione è risultato sufficientemente chiaro, nonostante l'esiguità del campione disponibile.

3. RISULTATI

3.1. Inquadramento generale secondo le classificazioni internazionali

Il clima della Val di Tovel si può classificare nei regimi climatici temperati freschi di tipo alpino. Da un punto di vista "genetico", l'area in esame si può classificare secondo Strahler (1983) come "continentale umida", tuttavia con basso grado di continentalità. In queste aree le masse d'aria polare marittima compiono incursioni apportando precipitazioni durante tutto l'anno, ma soprattutto al di fuori della stagione invernale; le masse d'aria polari continentali dominano invece lo scenario invernale, determinando condizioni prevalenti di clima freddo e asciutto. Nella classificazione di Alissov (Hufty 1976) l'area si situa nel tipo climatico IV (zona temperata delle medie latitudini), con influenza permanente del fronte polare.

Secondo la classificazione di Köppen (Strahler 1983), che non considera la dislocazione in quota ma semplicemente i regimi di temperatura e precipitazioni, l'area si può inquadrare in un clima del tipo "Df", che indica un clima polare senza stagioni asciutte; per Tovel il sottogruppo è "b", ossia con estate fresca, per M.ga Flavona "c", con estate fresca e corta.

Secondo Pavari (Benincasa *et al.* 1991), che considera le associazioni forestali prevalenti come discriminanti dei tipi climatici, il clima di Tovel si classifica come "Picutum" - sottozona fredda, in accordo con la vegetazione prevalente di abete rosso, mentre l'alpe di M.ga Flavona è classificabile come "Alpinetum".

3.2. Il regime radiativo

Il soleggiamento del Lago di Tovel, e in particolare della Baia Rossa, risente notevolmente della vicinanza dei rilievi montuosi che ne limitano l'orizzonte (si vedano i rilievi dell'orizzonte riportati in Ambrosi 1981). Sulla stazione non sorge il sole per ben 70 giorni l'anno, dal 17 novembre al 26 gennaio. Per gli altri punti notevoli (equinozi e solstizi) le durate locali del giorno sono esposte nella tabella 1 (da Ambrosi 1981).

Tab. 1 - Stazione di Tovel. Durata orografica del dì ai solstizi e agli equinozi (da Ambrosi 1981).

Tab. 1 - Station of Tovel. Orographic day length at solstices and equinoxes (from Ambrosi 1981).

Data	Durata (ore)
21 marzo	7,40
22 giugno	10,15
23 settembre	7,40
22 dicembre	0

L'apporto di radiazione solare medio nei mesi dell'anno è rappresentato nella figura 2 e nella tabella 2. Si noti il suo forte incremento a partire da marzo grazie al soleggiamento, che nel mese di dicembre è totalmente assente e che da novembre a febbraio è

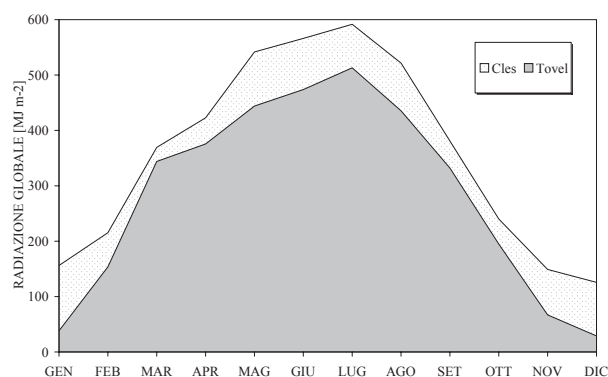


Fig. 2 - Valori medi di radiazione solare globale. Stazione di Tovel e, per confronto, di Cles.

Fig. 2 - Mean monthly solar global radiation supply. Station of Tovel and, for comparison, station of Cles.

comunque fortemente limitato dall'orizzonte chiuso. Il massimo mensile di radiazione solare si registra mediamente in luglio, piuttosto che in giugno, a causa della minor copertura nuvolosa.

Il confronto con la stazione di Cles evidenzia un costante minor apporto radiativo, dovuto da un lato all'orizzonte più chiuso (fenomeno predominante nei mesi invernali), dall'altro alla maggior copertura nuvolosa (predominante in estate). Si può notare come nei mesi primaverili e autunnali, quando la copertura nuvolosa è da attribuire quasi sempre a perturbazioni ad ampia scala e gli effetti di oscuramento orografico

Tab. 2 - Riepilogo dei valori medi climatici per la stazione di Tovel e di M.ga Flavona (periodo 1986-2004). I valori per M.ga Flavona sono stati ricavati a partire da quelli validi per Tovel.

Tab. 2 - Summary of average climatic values for the stations of Tovel and M.ga Flavona (period: 1986-2004). Values for M.ga Flavona have been inferred on the basis of Tovel figures.

	Tovel (1178 m)						M.ga Flavona (2000 m)		
	T min (°C)	T max (°C)	T media (°C)	Precipit. (mm)	Rad. solare (MJ m ⁻²)	Vel. vento (m s ⁻¹)	T min (°C)	T max (°C)	T media (°C)
GEN	-8,6	-0,8	-4,7	61,4	38,2	0,1	-5,9	0,8	-2,6
FEB	-8,3	3,0	-2,6	52,5	153,7	0,3	-9,3	0,6	-4,3
MAR	-3,7	7,6	1,9	82,5	344,0	0,4	-6,3	3,1	-1,6
APR	-0,2	9,6	4,7	114,1	375,5	0,6	-3,9	4,3	0,2
MAG	4,6	14,8	9,7	147,4	444,1	0,6	1,2	9,0	5,1
GIU	7,6	17,6	12,6	124,5	473,8	0,6	5,3	12,0	8,7
LUG	9,9	20,1	15,0	122,3	513,0	0,6	6,5	14,6	10,5
AGO	10,4	20,5	15,4	111,2	435,5	0,5	7,4	14,7	11,1
SET	6,4	15,5	11,0	111,0	332,1	0,4	3,2	10,2	6,7
OTT	3,3	10,5	6,9	152,9	194,9	0,3	-1,0	6,9	3,0
NOV	-1,8	3,4	0,8	115,1	67,0	0,2	-4,5	2,9	-0,8
DIC	-5,7	-0,4	-3,1	60,4	28,9	0,1	-5,9	1,7	-2,1
ANNO	1,1	10,1	5,6	1255,1	3433,0	0,4	-1,1	6,7	2,8

non sono così spinti come in inverno, la differenza tra le due stazioni si assottiglia, coerentemente con la stagionalità dei due meccanismi individuati.

3.3. Il regime termico

Il regime termico di Tovel (Fig. 3, Tab. 2) è caratterizzato dalla sua posizione riparata, che determina un orizzonte particolarmente chiuso. In inverno, come si è detto, il periodo senza luce solare diretta è lungo. Questa caratteristica spiega il ritardo della risalita delle minime nel mese di febbraio, se confrontato con la netta tendenza all'aumento delle massime in questo mese, causata dalla presenza del sole. Il mese mediamente più freddo risulta infatti gennaio, ma con un piccolo scarto da febbraio, in particolare per le minime.

Le temperature minime si mantengono nella media inferiori a 0 °C per un lungo periodo, da novembre ad aprile compresi. Anche le massime non superano nella loro media lo zero per il periodo dicembre-gennaio. Proprio lo scarso soleggiamento caratterizza l'area di Tovel come una zona particolarmente fredda, in relazione alla quota, durante il periodo invernale. La posizione lacustre della stazione favorisce inoltre il ristagno dell'aria fredda che si raccoglie dai versanti sovrastanti, anche a causa della posizione riparata dalle brezze; le temperature minime sono quindi soggette ad abbassamenti particolarmente intensi e l'escursione termica in condizioni di cielo sereno è notevole. Proprio questa grandezza (Fig. 4) evidenzia una certa singolarità nel fatto di manifestare il suo massimo durante l'inverno avanzato (febbraio), a differenza di quanto avviene normalmente per le stazioni di fondovalle, dove l'escursione cresce per tutta la primavera. Tale comportamento può essere spiegato dalla presenza, verso la fine dell'inverno, del manto nevoso nel bacino a monte, che determina scorrimiento notturno di aria e quindi forte raffreddamento

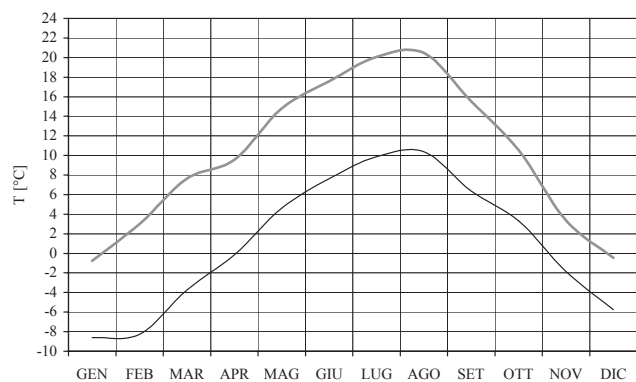


Fig. 3 - Stazione di Tovel. Temperature minime e massime (medie mensili).
 Fig. 3 - Station of Tovel. Minimum and maximum temperature (monthly mean).

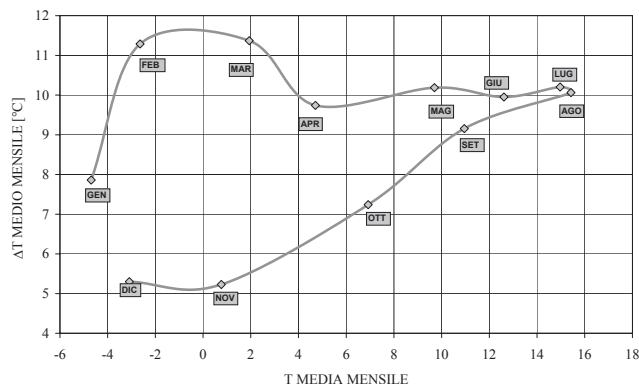


Fig. 4 - Stazione di Tovel. Grafico di temperatura - escursione termica.
 Fig. 4 - Station of Tovel. Temperature vs. thermal range.

nel bacino di accumulo del lago; a ciò si associa la ricomparsa del sole nell'orizzonte della stazione, che consente un sensibile innalzamento dei valori diurni. Anche nel mese di marzo l'escursione rimane elevata, permanendo il meccanismo ora descritto. In seguito, durante la primavera, l'aumento sensibile dei giorni con cielo coperto determina una flessione dell'escursione. A partire dalla tarda primavera fino all'autunno inoltrato la presenza dell'acqua esercita poi un sicuro effetto di mitigazione degli estremi giornalieri, limitando l'escursione termica in questo periodo.

I massimi valori mensili di temperatura sono raggiunti mediamente in luglio o in agosto, mesi in cui le temperature in media non si differenziano sostanzialmente. In generale, il ritardo con cui si manifestano le temperature massime o minime rispetto ai solstizi, indica un certo grado di continentalità termica, carattere che in Trentino è tipico per le vallate alpine più interne. Nei mesi estivi le temperature risultano nella media, per un sito posto alla quota e alla latitudine

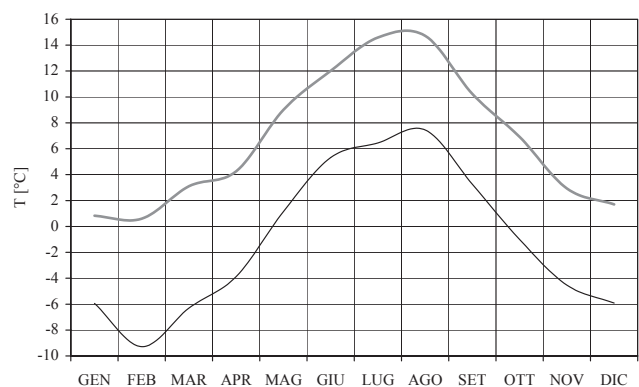


Fig. 5 - Stazione di M.ga Flavona. Temperature minime e massime (medie mensili).
 Fig. 5 - Station of M.ga Flavona. Minimum and maximum temperature (monthly mean).

di Tovel, anche grazie alla posizione riparata nei confronti delle brezze.

Per una climatologia dell'area di M.ga Flavona (Fig. 5), rappresentativa del bacino piuttosto che della conca lacustre, sono state ricavate le regressioni con la stazione di Tovel per il periodo di sovrapposizione dei dati (da giugno 2003 a gennaio 2005). Il risultato evidenzia una relazione buona per il periodo "caldo" (da aprile a ottobre), mentre da novembre a marzo le correlazioni risultano assai scadenti. Questo evidenzia il ruolo dell'accumulo dell'aria fredda nel bacino del lago e la relativa inversione termica derivante; si tratta di un fenomeno tipico invernale, enfatizzato dallo scarso o assente soleggiamento alla stazione meteo durante l'inverno. Nel periodo aprile-ottobre le temperature a M.ga Flavona sono mediamente rappresentate dalla retta

$$(1) \quad T_{Fi} = 1,0 T_{To} - 4,1 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (r^2 = 0,94)$$

con T_{Fi} e T_{To} rispettivamente temperature medie di M.ga Flavona e Tovel. Poiché il coefficiente della retta di regressione risulta in pratica pari a 1, la differenza di temperatura tra le due stazioni dà un gradiente che mediamente, nel periodo aprile-ottobre, è pari a circa $0,005 \text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$. I coefficienti per le temperature massime e minime non si discostano di molto da quelli validi per le medie giornaliere.

La stessa retta nel periodo invernale (novembre-marzo) risulta:

$$(2) \quad T_{Fi} = 0,72 T_{To} - 1,3 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (r^2 = 0,45)$$

I valori di r^2 per le temperature minime in questo periodo risultano addirittura pari a 0,31, anche se migliori per le massime (0,52). Complessivamente, tenendo conto che le temperature sono per lo più negative nel periodo considerato, si vede come il gradiente durante i mesi freddi sia basso, con condizioni di inversione termica diffuse.

I valori climatologici per la stazione di M.ga Flavona sono stati calcolati apportando differenze alle temperature medie mensili di Tovel, essendo la correlazione scarsa nei mesi invernali e non essendo quindi appropriato applicare delle relazioni lineari tra le serie di valori. Si noti come salendo di quota si accentui la tendenza continentale a spostare i valori mensili minimi dell'anno verso febbraio e i massimi verso agosto.

Un'analisi a parte è stata dedicata alla temperatura dell'acqua nella Baia Rossa (profondità di 1 m). I mesi considerati sono quelli con presenza di acqua (mediamente da maggio a ottobre compresi).

In questo periodo, le temperature medie mensili dell'acqua (Fig. 6) variano mediamente tra 8 e $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nel mese di maggio, fino a circa $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nel mese di agosto, quando viene raggiunta la massima temperatura. In ottobre i valori oscillano tra i 4 e $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Inquadramento climatico del Lago di Tovel e del suo bacino

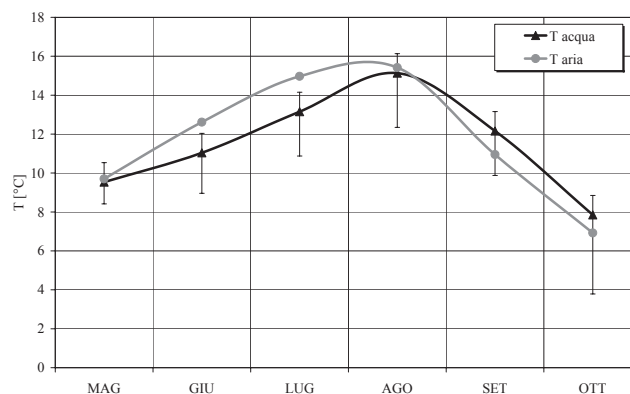


Fig. 6 - Temperature dell'acqua del lago e dell'aria. Sono indicati i valori massimo e minimo per il periodo 1986-2004.

Fig. 6 - Lake water and air temperature. Minimum and maximum values are reported for the period 1986-2004.

Il confronto tra le temperature medie dell'aria e dell'acqua evidenzia il ritardo con cui l'acqua del lago registra l'innalzamento e l'abbassamento della temperatura rispetto ai valori atmosferici. Il ritardo non è particolarmente importante, stimabile in circa 2 settimane, e ovviamente dipende dagli afflussi idrici nello specchio. Si osservi come, mediamente, nel periodo di temperatura in crescita (fino ad agosto) le temperature dell'acqua siano inferiori a quelle dell'aria, consentendo l'accumulo di calore, che viene poi rilasciato all'atmosfera nel periodo che va da agosto alla scomparsa dell'acqua, quando la temperatura di quest'ultima è mediamente superiore a quella atmosferica.

Per quanto riguarda il ciclo termico giornaliero, esso dipende fortemente dall'insolazione presente. Si va da differenze trascurabili, in condizioni di cielo coperto e afflussi idrici notevoli al lago, fino a escursioni mediamente di $5-6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ma con valori occasionalmente anche superiori, nelle giornate serene con la massima insolazione estiva. Le temperature massime si registrano per lo più tra le 13 e le 15, le minime poco prima del sorgere del sole. Tuttavia, la distribuzione delle ore di minima e di massima giornaliera è piuttosto irregolare, anche se le variazioni di temperatura in corrispondenza di queste fasce orarie sono irrilevanti, se confrontate con quelle delle temperature dell'aria.

3.4. Il regime pluviometrico

I quantitativi di precipitazione per la stazione di Tovel risultano nella norma per una stazione di mezza montagna nelle Alpi centrali: 1255 mm medi annui. Questo valore, associato alle temperature abbastanza basse tipiche della zona, giustifica la classificazione del clima di Tovel nel gruppo dei regimi di tipo umido.

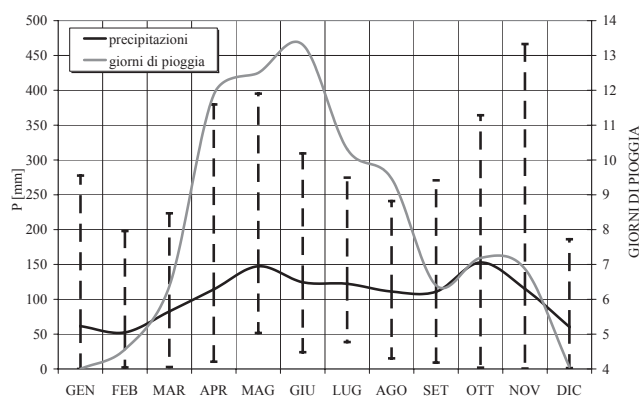


Fig. 7 - Precipitazioni medie mensili (con indicazione dei valori minimo e massimo per il periodo 1986-2004) e giorni medi di pioggia.

Fig. 7 - Mean monthly precipitation (with indication of minimum and maximum values in the period 1986-2004) and mean number of rainy days.

La distribuzione delle precipitazioni nell'arco dell'anno (Fig. 7) è di tipo bimodale, con massimi in primavera (maggio) e in autunno (ottobre). In estate si manifesta un abbassamento medio generale dei quantitativi di pioggia, pur con un lieve aumento in luglio, quando sono più frequenti i temporali. L'incidenza dei temporali estivi è quindi relativamente importante, ma non tale da determinare il massimo di precipitazioni in estate. Osservando i quantitativi massimi e minimi registrati nel periodo (1975-2001) si osserva come nei mesi invernali siano stati registrati talora apporti nulli per lunghi periodi, mentre nella stagione primaverile (in particolare maggio) e in quella estiva siano minori le probabilità di periodi asciutti, con apporti mensili minimi sempre superiori a qualche decina di mm. In autunno, per quanto la stagione risulti spesso piovosa, sono invece possibili, anche se non frequenti, periodi asciutti prolungati. I massimi assoluti di precipitazione sono raggiunti nei mesi primaverili e in quelli autunnali, in corrispondenza delle grosse perturbazioni atlantiche che raggiungono il Mediterraneo e le Alpi.

L'esame del numero medio di giorni piovosi nei mesi dell'anno chiarisce meglio la diversa natura degli apporti idrici al bacino. Il forte incremento di numero di giorni piovosi (definiti come i giorni in cui la precipitazione è pari almeno a 1 mm) si ha a partire dal mese di aprile, in corrispondenza dell'inizio del regime climatico primaverile. I giorni di pioggia aumentano ancora in maggio e in giugno (mese con maggior numero: 13,3 giorni medi). In questo mese si può ritenere che si sommino ancora alcuni contributi delle perturbazioni a larga scala, di origine atlantica o mediterranea, con quelli più locali, dovuti all'instabilità atmosferica estiva e favoriti dalla vicinanza dei rilievi montuosi. Da luglio, infatti, venendo a calare

gran parte dell'apporto delle precipitazioni alla mesoscala, anche il numero medio di giorni di pioggia cala, e tale tendenza si mantiene fino a settembre compreso. Il ruolo delle precipitazioni locali (specie temporalesche) è ben visibile da un semplice raffronto tra i dati di Tovel e quelli di Cles; la differenza dei giorni medi mensili di pioggia (valori di Tovel meno valori di Cles) cresce sensibilmente nella stagione calda e si mantiene intorno a valori di circa 3 (corrispondente al 30-50% in più) da maggio ad agosto. In autunno le precipitazioni sono nuovamente da attribuire a perturbazioni che interessano con frequenza tutta l'area alpina; il numero di giorni medi con pioggia è di circa 7 per ottobre e novembre. Da dicembre il regime pluviometrico invernale tende a fare registrare un basso numero di giorni con precipitazioni, in media 4. Tale frequenza media si mantiene per il resto dei mesi invernali.

3.5. Il regime anemometrico

L'area del Lago di Tovel è caratterizzata da una scarsa ventilazione, vista la sua posizione piuttosto riparata. Lo specchio d'acqua è infatti di dimensioni limitate e la stazione si trova a ridosso del bosco. La singolarità della Val di Tovel, dal punto di vista della circolazione dell'aria, è dovuta al fatto di essere disposta in direzione approssimativamente nord-sud (dalla base alla testata) e di avere perciò un regime di brezza di monte e valle che agisce secondo direzioni opposte a quanto accade nei sistemi vallivi principali che la circondano: Val di Non, Val d'Adige e valli del Sarca. In regime di brezza, pertanto, tutto il flusso a scala "regionale" si trova a essere invertito rispetto a quello riferito alla Val di Tovel; è evidente che, viste le notevoli differenze di scala tra la piccola vallata alpina e quelle maggiori, il regime delle brezze a più ampia scala non può non influenzare anche quello più strettamente locale.

Climaticamente, la velocità del vento è superiore nei mesi caldi (Fig. 8), calando sensibilmente durante l'inverno. Le medie (misurate a 5 m) variano da 0,1 m s⁻¹ in dicembre e gennaio a 0,6 m s⁻¹ da maggio a luglio. Il rapporto tra velocità massima e media (riferite ai valori orari) si mantiene mediamente tra 4 e 5, valore elevato che è da attribuire alla turbolenza generata dalla vicinanza di ostacoli naturali. I dati sono stati analizzati preliminarmente da un punto di vista medio, raggruppandoli per mese ed eseguendo le medie vettoriali della velocità (modulo e direzione). L'elaborazione è stata eseguita considerando sia la direzione da sola, sia la direzione ponderata con la velocità, in modo tale da eseguire una media pesata della direzione, ossia identificare un'ipotetica traiettoria astratta e di significato medio per l'unità temporale (ogni mese medio nel periodo esaminato). Il risultato (Fig. 9) indica che, valutando solo la durata delle dire-

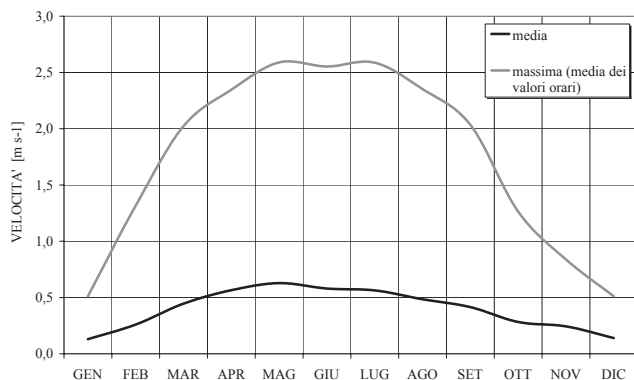


Fig. 8 - Stazione di Tovel. Velocità del vento medie mensili e massime (medie mensili dei valori massimi giornalieri).
 Fig. 8 - Station of Tovel. Wind velocity: mean monthly and maxima (monthly averages of maximum daily values).

zioni senza le rispettive velocità, in tutti i mesi mediamente essa oscilla tra sudovest e ovest (da maggio a luglio), con l'eccezione di gennaio, quando la direzione media così calcolata è il sud. Tenendo conto anche delle velocità, il risultato si rende più chiaro e cambia sensibilmente nei mesi da marzo a settembre, quando la direzione ponderata media è da nordest, tendente verso est. Nei mesi estivi, quando le brezze sono più forti, la direzione della brezza diurna, che è più forte di quella notturna, è tale da influenzare la direzione media ponderata. Si può quindi concludere che nell'arco dell'anno il flusso medio è tale da portare l'aria da valle verso monte nel periodo più soleggiato, compreso approssimativamente tra gli equinozi (da marzo a settembre), in direzione contraria, da monte verso valle, nel restante periodo (da ottobre a febbraio). La presenza di innevamento nel bacino a monte del lago, nel periodo invernale-primaverile, si dimostra in grado di innescare un meccanismo di scorrimento

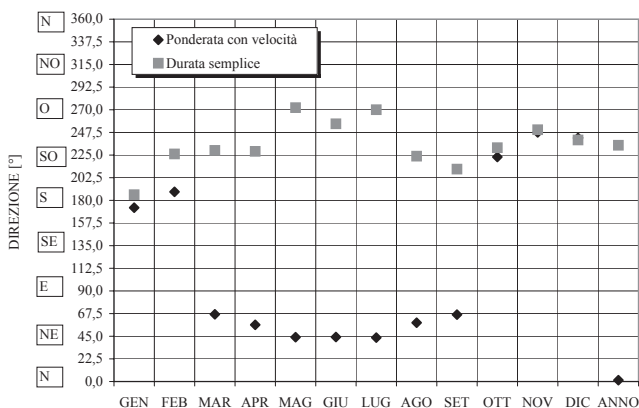


Fig. 9 - Stazione di Tovel. Direzioni prevalenti mensili.
 Fig. 9 - Station of Tovel. Monthly prevailing direction.

catabatico dell'aria a contatto con il suolo che, anche durante il riscaldamento diurno, si mantiene freddo in virtù della presenza di neve.

È chiaro dunque il ruolo predominante delle brezze locali, il cui andamento deve essere analizzato a partire dai dati orari. Sono quindi stati esaminati i dati per singole ore raggruppati mese per mese, mediando su tutto il periodo. Dai relativi diagrammi (Fig. 10) risulta evidente un ciclo regolare che privilegia due direzioni di provenienza al giorno. Per permettere un confronto rigoroso con la stazione di M.ga Flavona, i grafici qui riportati sono stati ricavati dall'analisi di un periodo limitato (circa un anno e mezzo). I dati, comunque, si sono mostrati in ottimo accordo con quelli ricavati da un periodo più lungo. Le direzioni prevalenti sono dunque (approssimate agli 8 settori) l'ovest e il nord-est, anche se in dati periodi la direzione da nord-est tende a scivolare verso est. Risultano quasi assenti le direzioni nord-ovest, nord, sud-est e sud, corrispondenti a ostacoli al flusso presenti a ridosso della stazione. Ugualmente a M.ga Flavona (Fig. 11) le direzioni si distribuiscono prevalentemente dai settori NE e SO.

La direzione da ovest (Tovel) o da sud-ovest (M.ga Flavona) caratterizza il flusso notturno e rappresenta lo scorrimento di aria proveniente dalla porzione del bacino a monte delle due stazioni. Il flusso d'aria è costretto a scorrere aggirando il dosso di Costa Lucanica, assumendo così, nei confronti della stazione di Tovel, una direzione da ovest.

La direzione da nord-est a Tovel e a M.ga Flavona si registra in prevalenza durante le ore diurne e rappresenta il flusso d'aria in risalita proveniente dal bacino a valle del lago. La durata della provenienza da est o nord-est varia regolarmente con la durata del dì, allungandosi nei mesi estivi e accorciandosi in quelli invernali. Date le dimensioni ridotte della vallata e la sua giacitura che favorisce l'insolazione mattutina dell'intero versante occidentale, la risposta al riscaldamento solare è particolarmente rapida. Ciò evidenzia il ruolo importante della brezza di versante, forse ancora più che quella di monte/valle, visto il rapido innesco della circolazione al sorgere del sole. Già poche ore dopo, la direzione a Tovel tende a cambiare sensibilmente e da ovest si sposta verso i quadranti orientali; la giacitura dello specchio lacustre, da cui proviene buona parte del flusso che attraversa la stazione meteo, è tale da imprimere una direzione di provenienza mediamente da nord-est alla brezza di versante, non diversamente da quella di valle.

Nei mesi invernali, con scarso soleggiamento in tutto il bacino, predomina la direzione ovest e solo in un limitato intervallo nelle ore centrali della giornata il vento tende a disporsi da nord-est; in questo periodo la suddivisione in settori prevalenti è sempre evidente, ma meno netta. Infatti, la ridotta circolazione locale

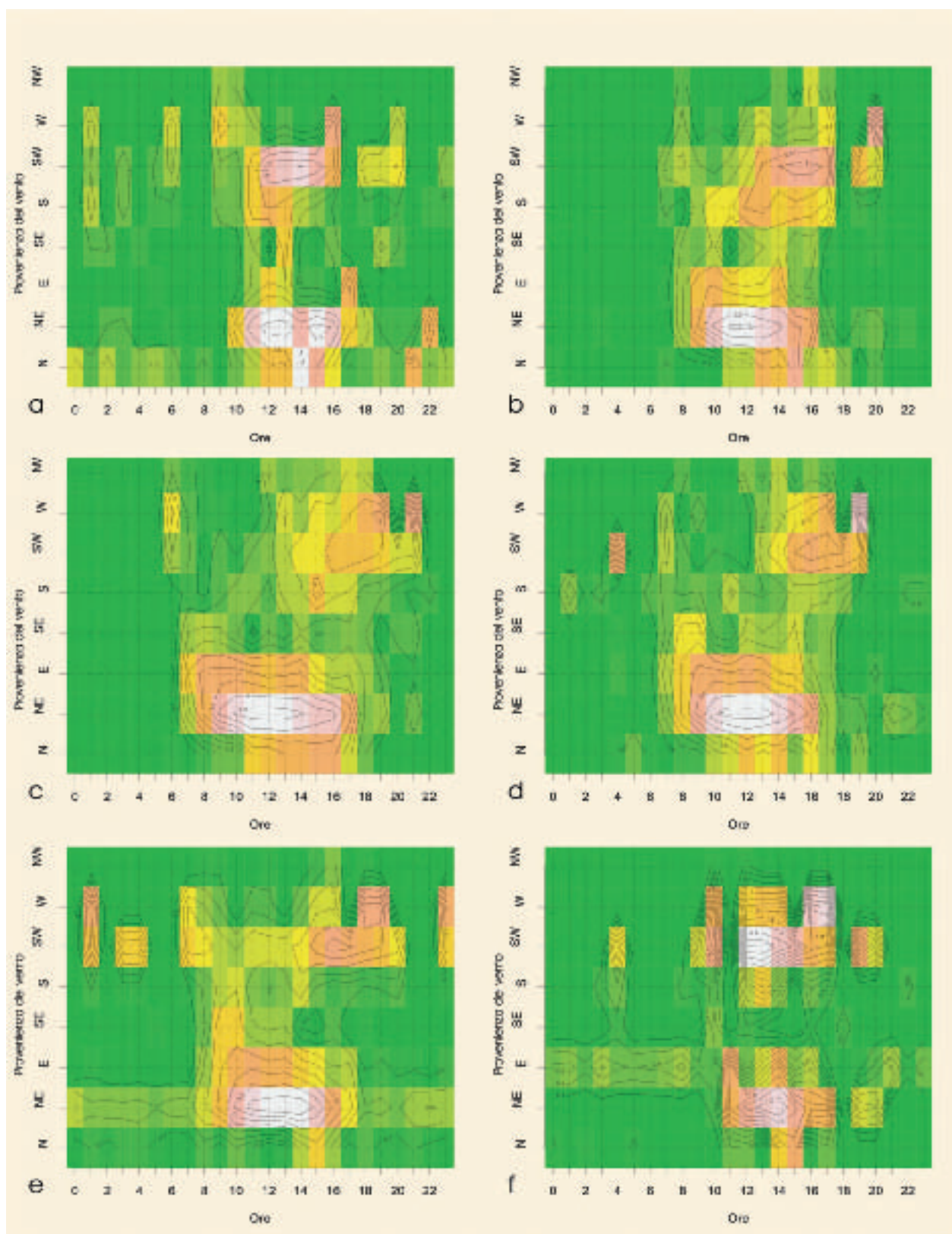


Fig. 10 - Stazione di Tovel. Velocità del vento nelle diverse ore della giornata, secondo le direzioni di provenienza, suddivise a coppie di mesi: a) gennaio-febbraio; b) marzo-aprile; c) maggio-giugno; d) luglio-agosto; e) settembre-ottobre; f) novembre-dicembre.

Fig. 10 - Station of Tovel. Wind velocity in the different hours of the day, according to the different provenance directions, split in couples of months: a) January-February; b) March-April; c) May-June; d) July-August; e) September-October; f) November-December.

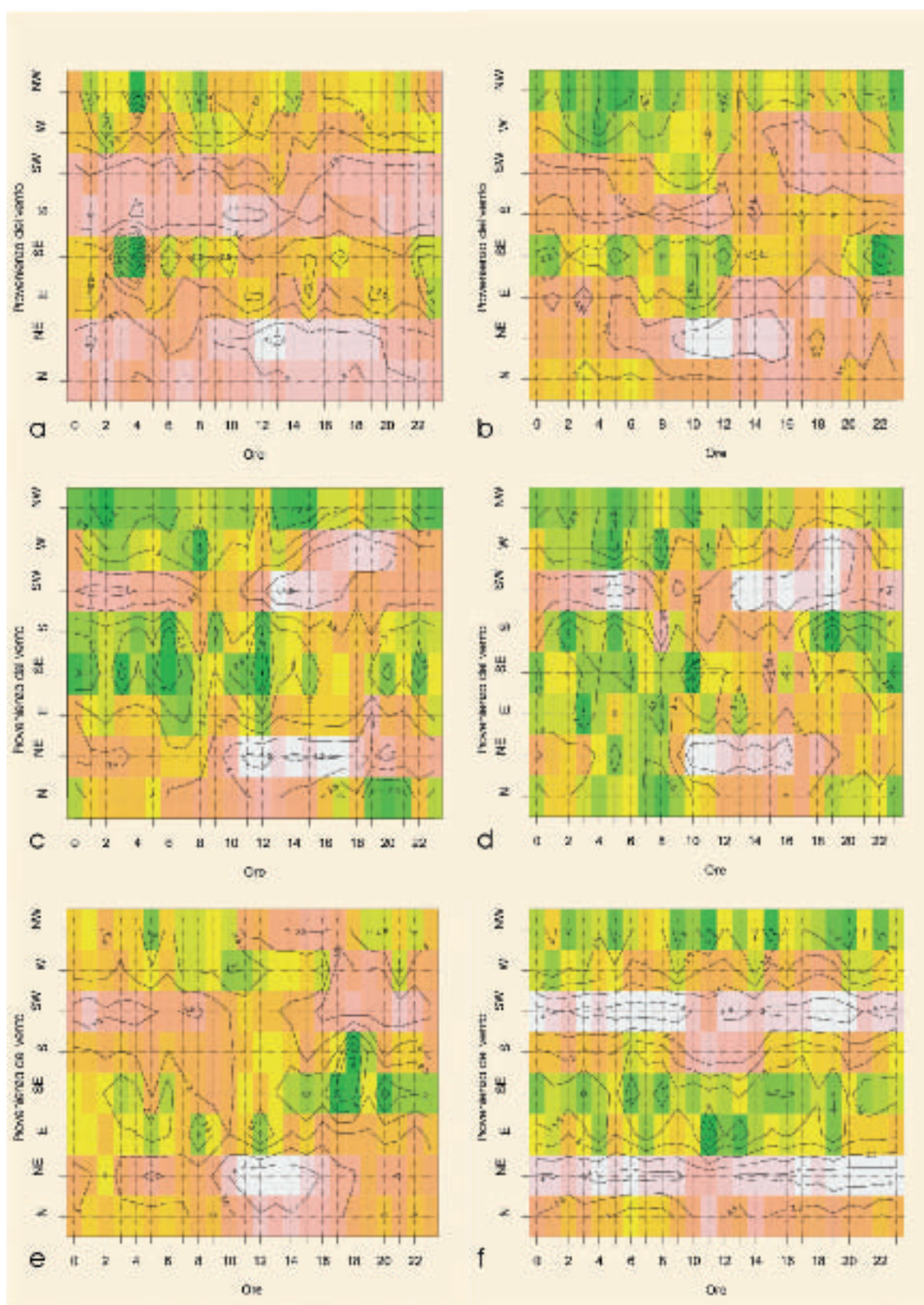


Fig. 11 - Stazione di M.ga Flavona. Velocità del vento nelle diverse ore della giornata, secondo le direzioni di provenienza, suddivise a coppie di mesi: a) gennaio-febbraio; b) marzo-aprile; c) maggio-giugno; d) luglio-agosto; e) settembre-ottobre; f) novembre-dicembre.

Fig. 11 - Station of M.ga Flavona. Wind velocity in the different hours of the day, according to the different provenance directions, split in couples of months: a) January-February; b) March-April; c) May-June; d) July-August; e) September-October; f) November-December.

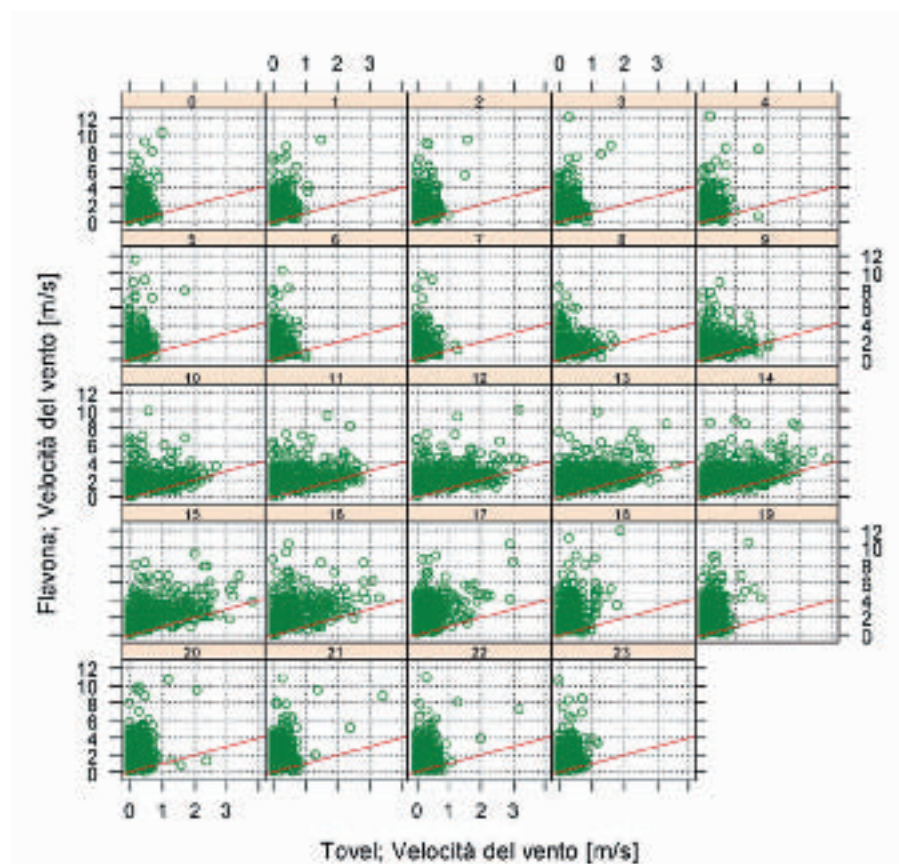


Fig. 12 - Confronto tra le velocità simultanee del vento nelle stazioni di Tovel e M.ga Flavona nelle diverse ore del giorno. La retta (pendenza 1:1) indica la pari velocità.

Fig. 12 - Comparison between simultaneous wind velocities in the stations of Tovel and M.ga Flavona in the different hours of the day. The line (slope 1:1) indicates equal velocities.

lascia più spazio a quella indotta dalle dinamiche attive a scala sinottica, con forzanti che risultano indipendenti dalla conformazione geografica locale. Bisogna peraltro ricordare che in questi mesi il vento si manifesta mediamente con minore intensità e sono più frequenti e lunghi i periodi di calma. Lo scarso soleggiamento invernale del bacino, esposto a NNE, e la maggior lunghezza della notte favoriscono la maggior durata del flusso catabatico, dovuto all'aria raffreddata a contatto con il suolo o il manto nevoso presente in questo periodo.

A M.ga Flavona, una caratteristica generale è rappresentata dal picco di velocità media, che si ha, indipendente dalla direzione, nelle ore centrali o pomeridiane, in tutte le stagioni. La direzione nordest è da associare, come detto, alle brezze che risalgono la valle, indotte dal riscaldamento dei versanti. Bisogna poi considerare che a livello regionale la direzione nord predomina nella circolazione invernale e quindi gli influssi sono sensibili anche nella Val di Tovel. La direzione dai quadranti sud nelle ore centrali della giornata, piuttosto che alla brezza di versante, può essere attribuita a una circolazione di monte/valle che,

per quanto debole, si innesca anche nei mesi invernali e coinvolge l'intera regione alpina. A Tovel, a M.ga Flavona e alla stazione Meteomont di Passo Grosté (dati non riportati) si riscontra un comportamento analogo: in tutte e tre le stazioni si ha una tendenza, anche in inverno, a un calo delle velocità durante le ore notturne e una ripresa dei venti dalla tarda mattinata-primo pomeriggio, secondo direzioni, in casi diversi, opposte. È quindi da immaginare che tale circolazione – di più ampia portata rispetto a quella della sola Val di Tovel, piccola, innevata e scarsamente soleggiata in inverno – governi le brezze nel periodo invernale. Questa circolazione diventa poi irrilevante al lago (che, essendo posizionato in un punto di restringimento della valle, è soggetto alla canalizzazione dei venti che la attraversano), in relazione alle brezze locali, nei mesi estivi, ma è chiaramente rilevabile a M.ga Flavona, dove si alterna al flusso di versante del tardo pomeriggio-sera. Il confronto tra le velocità medie nelle due stazioni, fatto per ore (Fig. 12), evidenzia come quasi sempre la velocità sia superiore a M.ga Flavona, pur ricordando che in quel sito il palo anemometrico è alto 10 m, il doppio che a Tovel. Ma anche tenendo

conto di ciò, si vede che solo nelle ore centrali, quando la brezza interessa in pieno la stazione di Tovel provenendo da valle, e non trovando in questo caso ostacoli sopravvento, la velocità è talvolta superiore a quella misurabile nella parte alta del bacino, dove il flusso si disperde in un ambiente più aperto.

In definitiva, sintetizzando, si può indicare la brezza locale come la corrente predominante, in particolare nel periodo caldo; nei mesi invernali il regime risente anche di una meno ben connotata brezza monte/valle, a scala più ampia e proveniente da settori sud, quindi esterni al bacino, comunque sempre associata a flussi di versante endogeni.

4. CONCLUSIONI

L'analisi dei dati meteorologici raccolti del bacino di Tovel quantifica le caratteristiche climatiche di quest'area che è stata investita di un'assoluta rilevanza ecologica grazie alle note peculiarità ambientali.

La posizione del lago, chiuso nel suo orizzonte dai rilievi che lo circondano, non diversamente dalla gran parte dei laghi alpini, lo rende particolarmente freddo in inverno, quando il sole non vi giunge per più di due mesi, e generalmente fresco in primavera, data l'influenza preponderante del bacino di monte, innervato fino a primavera inoltrata. L'estate è fresca e piovosa, se confrontata con la vicina Val di Non, a causa dei frequenti temporali, che tuttavia non superano di norma i quantitativi di pioggia tipici dell'autunno. Non diversamente dal resto della regione alpina, l'inverno è secco, ma è soprattutto il carattere nevoso delle precipitazioni che determina il parziale svuotamento del lago durante la stagione invernale, così come è il rialzo termico che determina poi il nuovo riempimento

a primavera inoltrata, ancora più che la ripresa degli afflussi idrici nel bacino.

Un'attenzione particolare è stata dedicata allo studio dei venti. La particolare posizione della Val di Tovel, con la porzione di monte a sud, fa sì che il regime delle brezze imponga al flusso d'aria una direzione che, durante la stagione calda, per gran parte delle ore soleggiate è inversa a quella che più in generale coinvolge le vallate principali che circondano la Val di Tovel. Per quanto sia ormai inattuale sostenere l'ipotesi che una crisi ecologica del lago sia da attribuire all'ingresso di erbicidi e anticrittogamici usati in Val di Non, non si può che confermare la convinzione che il flusso principale in estate sia quello che percorre la vallata dalla sua base fino alla testata, perdendo ovviamente di intensità nella parte alta del bacino dove dominano le brezze di versante piuttosto che quelle di monte/valle. È comunque possibile tracciare la presenza irregolare di brezze di origine esogena rispetto al bacino, da attribuire alla circolazione monte/piano a larga scala.

BIBLIOGRAFIA

- Ambrosi P., 1981 - Osservatorio meteorologico di Tovel. *Quaderni di "Esperienze e Ricerche"*, 9 (1980): 56 pp.
- Benincasa F., Maracchi G. & Rossi P., 1991 - *Agrometeorologia*. Patron editore, Bologna: 336-346.
- Eccel E., 2006 - Climatologia del Lago di Tovel nel periodo di indagine del Progetto SALTO (2001-2004) e considerazioni sulle tendenze climatiche. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 259-263.
- Hufty, A., 1976 - *La climatologia*. Newton Compton editori, Roma: 169-177.
- Strahler A.N., 1983 - *Geografia Fisica*. Piccin editore, Padova: 663 pp.