



ATTI  
DELLA  
SOCIETÀ TOSCANA  
DI  
SCIENZE NATURALI

MEMORIE • SERIE A • VOLUME CXXIV • ANNO 2017



Edizioni ETS



MUSEO DI STORIA NATURALE

Con il contributo del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa



e della Fondazione Cassa di Risparmio di Lucca

## INDICE - CONTENTS

<p>C. BIAGIONI, Y. MOËLO, F. ZACCARINI, Ferdowsiite from the Monte Arsiccio mine, Apuan Alps, Tuscany (Italy): occurrence and crystal structure. <i>Ferdowsiite della miniera di Monte Arsiccio, Alpi Apuane, Toscana (Italia): giacitura e struttura cristallina.</i></p>	<p>pag. 5</p>	<p><i>Broadkill Beach Delaware: caso di studio di un progetto per un uso vantaggioso di materiale dragato.</i></p>	<p>» 83</p>
<p>C. BIAGIONI, S. MUSETTI, M. PASERO, New data on metacinnabar from Tuscany (Italy). <i>Nuovi dati sul metacinnabro toscano.</i></p>	<p>» 13</p>	<p>J. GUILLÉN, G. SIMARRO, A. CORAL, Morphological changes in the artificially embayed beaches of the Barcelona City (Spain). <i>Variazioni morfologiche delle spiagge artificiali della città di Barcellona (Spagna).</i></p>	<p>» 93</p>
<p>P. BILLI, Quantification of bedload flux to beaches within a global change perspective. <i>Stima degli apporti solidi fluviali alle spiagge in una prospettiva di cambiamento globale.</i></p>	<p>» 19</p>	<p>M. LUPPICHINI, M. BINI, R. GIANNECCHINI, Evoluzione temporale del sedime edilizio nella Versilia pre-alluvione 1996 in rapporto alle mappe di pericolosità idraulica e da frana mediante software GIS open source e open data. <i>Settlement temporal evolution in Versilia up to the 1996 flood in relation to the hydraulic and landslide hazard maps using software open source and open data.</i></p>	<p>» 101</p>
<p>P. BILLI, Hydro-morphology of discontinuous gullies: an Ethiopian example. <i>Idromorfologia dei solchi d'erosione discontinui: un esempio Etiopico.</i></p>	<p>» 31</p>	<p>F. RAPETTI, Tendenze attuali della temperatura dell'aria presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet, nella media montagna delle Alpi Marittime, Graie e Pennine Italiane. <i>Air temperature trends by the artificial lakes of Chiotas, Serrù, Goillet and Gabiet, in a medium-altitude mountain environment in the Maritime, Graian and Pennine Alps, in Italy.</i></p>	<p>» 115</p>
<p>M. BOSSELAERS, F. VAN NIEULANDE, A. COLLARETA, A new record of <i>Cetopirus complanatus</i> (Cirripedia: Coronulidae), an epibiont of right whales (Cetacea: Balaenidae: <i>Eubalaena</i> spp.), from a beach deposit of Mediterranean Spain. <i>Nuova segnalazione di Cetopirus complanatus (Cirripedia: Coronulidae), un epibionte delle balene franche (Cetacea: Balaenidae: Eubalaena spp.), da un deposito di spiaggia della costa Mediterranea della Spagna.</i></p>	<p>» 43</p>	<p>G. SARTI, D. BERTONI, M. CAPITANI, A. CIAMPALINI, L. CIULLI, A. C. FERONI, S. ANDREUCCI, G. ZANCHETTA, I. ZEMBO, Facies analysis of four superimposed Transgressive-Regressive sequences formed during the two last interglacial-glacial cycles (central Tuscany, Italy). <i>Analisi di facies di quattro sequenze trasgressivo-regressive (T-R) sovrapposte, formate durante gli ultimi due cicli interglaciale-glaciale (Toscana centrale, Italia).</i></p>	<p>» 133</p>
<p>A. COLLARETA, S. CASATI, A. DI CENCIO, A pristinid sawfish from the lower Pliocene of Lucciolabella (Radicofani basin, Tuscany, central Italy). <i>Un pesce sega della famiglia Pristidae dal Pliocene inferiore di Lucciolabella (Bacino di Radicofani, Toscana, Italia centrale).</i></p>	<p>» 49</p>	<p>M. SIMONETTI, R. CAROSI, C. MONTOMOLI, Variscan shear deformation in the Argentera Massif: a field guide to the excursion in the Pontebernardo Valley (Cuneo, Italy). <i>Deformazione non coassiale Varisca nel Massiccio dell'Argentera: guida all'escursione nel Vallone di Pontebernardo (Cuneo, Italia).</i></p>	<p>» 151</p>
<p>G. CRUCIANI, D. FANCELLO, M. FRANCESCHELLI, G. MUSUMECI, The Paleozoic basement of Monte Grighini Unit, a deep view in the nappe structure of Variscan belt in Sardinia. Synthesis of geological data and field guide. <i>Il basamento Paleozoico dell'Unità del Monte Grighini, uno sguardo approfondito nella struttura delle falde della catena Varisca Sarda. Sintesi dei dati geologici e guida all'escursione.</i></p>	<p>» 57</p>	<p>Processi Verbali - <a href="http://www.stsn.it">http://www.stsn.it</a></p>	<p>» 171</p>
<p>S. DOHNER, A. TREMBANIS, Broadkill Beach Delaware: case study of a beneficial use of dredged material project.</p>			



FRANCO RAPETTI (\*)

## TENDENZE ATTUALI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA PRESSO I LAGHI ARTIFICIALI DI CHIOTAS, SERRÙ, GOILLET, GABIET NELLA MEDIA MONTAGNA DELLE ALPI MARITTIME, GRAIE E PENNINE ITALIANE

**Abstract** - F. RAPETTI, *Air temperature trends by the artificial lakes of Chiotas, Serrù, Goillet and Gabiet, in a medium-altitude mountain environment in the Maritime, Graian and Pennine Alps, in Italy.*

Air temperatures of a medium-altitude mountain environment in Western Alps, recorded by the artificial lakes of Chiotas (Maritime Alps, 1,980 m a.s.l.), Serrù (Graian Alps, 2,296 m a.s.l.), Goillet (Pennine Alps, 2,529 m a.s.l.) and Gabiet (Pennine Alps, 2,373 m a.s.l.) are examined. Temperature records from the second half of the 20th Century to 2015, being proved free from any climatic and statistic anomaly, can provide a proper ground for the evaluation of temperature trends taking place in such part of the Italian Alps.

Absolute minimum and maximum temperatures have been analysed, as well as number of days without thaw ( $T_{\max} \leq 0,0$  °C), with frost ( $T_{\min} \leq 0,0$  °C) and without frost ( $T_{\min} > 0,0$  °C); monthly and annual atmospheric temperature range; monthly thermic regime; thermic year; summer temperatures; annual temperatures; vertical temperature gradient. The study has brought out the following facts: absolute minimum and maximum temperatures took place respectively at Serrù (-30,0 °C, 10/I/1985) and at Chiotas (28,0 °C, 30/VII/1983); the mean number of days without thaw has been rapidly increasing from Maritime to Pennine Alps (Chiotas: 63 days; Gabiet: 123 days), as well as the number of days with frost, while at Chiotas the yearly number of days without frost is from 50 to 60 units higher than the ones recorded in the other stations; the mean monthly atmospheric temperature range has been increasing from January to March/April, without exceeding the threshold of 9,0 °C; a decreasing trend was recorded from April to November, although values were always higher than 5 °C; the mean monthly thermic regime during the year is typical of "maritime" climates, since minimum and maximum values are recorded about one month after solstices; the annual mean number of days with  $T_{\text{med}} > 0,0$  °C has shown minimum and maximum values respectively of 253 (Chiotas) and 184 days (Gabiet); the inter-annual trend of mean Summer air temperatures shows its lowest values in the mid-1980s, followed by the warming up phase which is still going on, and the same can be said about mean annual temperatures. Monthly vertical temperature gradients and "freezing levels" in the Orco Valley are detected. Some current research trends are discussed, in order to find explanations for the present "warm" phase, with a view to future perspectives.

**Key words** - extreme temperatures, days without thaw, with frost and without frost, thermic year, thermic regime, trends of summer temperatures, trends of annual temperatures, vertical temperature gradient, freezing level, Maritime Alps, Graian Alps, Pennine Alps, Italy

**Riassunto** - F. RAPETTI, *Tendenze attuali della temperatura dell'aria presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet, nella media montagna delle Alpi Marittime, Graie e Pennine Italiane.*

Si analizzano le temperature dell'aria della media montagna delle Alpi

Occidentali, raccolte presso i laghi artificiali di Chiotas (Alpi Marittime, 1.980 m l.m.m.), Serrù (Alpi Graie, 2.296 m l.m.m.), Goillet (Alpi Pennine, 2.529 m l.m.m.), Gabiet (Alpi Pennine, 2.373 m l.m.m.). I cataloghi termometrici, che coprono l'intervallo temporale dalla seconda metà del Ventesimo secolo al 2015, poiché all'analisi risultano privi di anomalie climatiche e statistiche, sono idonei per la valutazione delle tendenze termiche che si sono verificate in questo settore delle Alpi Italiane.

Sono state studiate le temperature minime e massime assolute, il numero di giorni senza disgelo ( $T_{\max} \leq 0,0$  °C), con gelo ( $T_{\max} \leq 0,0$  °C) e senza gelo ( $T_{\min} > 0,0$  °C), l'escursione termica mensile e annua, il regime termico mensile, l'anno termico, le temperature estive, le temperature annue, il gradiente termico verticale. L'indagine ha fatto emergere i seguenti fatti: le temperature minime e massime assolute si sono verificate rispettivamente a Serrù (-30,0 °C, 10/I/1985) e a Chiotas (28,0 °C, 30/VII/1983), il numero medio annuo di giorni senza disgelo cresce rapidamente dalle Alpi Marittime alle Pennine (Chiotas: 63 giorni; Gabiet: 123 giorni), come il numero dei giorni con gelo, mentre a Chiotas il numero annuo dei giorni senza gelo è più elevato di 50-60 unità rispetto a quello delle altre stazioni; l'escursione media mensile aumenta da gennaio a marzo/aprile, senza superare la soglia di 9,0 °C, per poi decrescere fino a novembre, pur rimanendo sopra i 5,0 °C; il regime della temperatura media mensile nel corso dell'anno è quello tipico dei climi "marittimi", poiché i valori minimi e massimi cadono circa un mese dopo i solstizi; il numero medio di giorni all'anno con  $T_{\text{med}} > 0,0$  °C ha presentato i valori minimi e massimi rispettivamente di 253 (Chiotas) e 184 giorni (Gabiet); l'andamento interannuale delle temperature medie estive dell'aria presenta i valori più bassi alla metà degli anni Ottanta, cui ha fatto seguito la fase "calda" tuttora in atto, così come è accaduto alle temperature medie annue. Si determinano i gradienti termici verticali mensili e le quote dello "zero termico" nella Valle Orco. Si discutono alcuni indirizzi di ricerca che oggi si confrontano per spiegare l'attuale fase "calda", anche in vista della previsione degli andamenti termici che potranno manifestarsi nel prossimo futuro.

**Parole chiave** - temperature estreme, giorni senza disgelo, con gelo, senza gelo, anno termico, escursione della temperatura, tendenze delle temperature estive, tendenze delle temperature annue, gradiente termico verticale, zero termico, Alpi Marittime, Alpi Graie, Alpi Pennine, Italia

### INTRODUZIONE

Le Alpi, dalle Marittime al Bassopiano Panonico, comprese tra 44°/48° di latitudine nord e 6°/17° di longitudine est, coprono un'area di oltre 190.000 km<sup>2</sup>, per una lunghezza complessiva di circa 1.200 km. Le

(\*) Corresponding author, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa. E-mail: rapettifranco42@gmail.com

sezioni trasversali hanno misure molto diverse: circa 120 km tra Saluzzo e Grenoble e 250 km tra Brescia e Salisburgo. Le Alpi Marittime, che costituiscono il tratto più meridionale della catena, hanno un andamento marcatamente concavo verso la Pianura Padana: dal Colle di Tenda (1.871 m l.m.m.), che separa le Alpi Liguri dalle Marittime, il crinale principale si snoda per un breve tratto in direzione est-ovest, con punti di culminazione sui monti Clapier (3.045 m l.m.m.), Maledia (3.061 m l.m.m.) e Gelàs (3.143 m l.m.m.), dove sono presenti i ghiacciai più meridionali delle Alpi, ormai da considerarsi estinti<sup>1</sup>. Seguendo l'andamento del crinale principale, in corrispondenza della Valle Gesso, la linea spartiacque assume dapprima direzione SE-NW e di seguito decisamente meridiana fino alle Alpi Pennine e Bernesi. Da questo settore l'arco alpino italiano si estende fino all'Alto Adige con andamento pressoché rettilineo, per poi presentare una nuova curvatura in corrispondenza delle Alpi Carniche e Giulie, dove le altitudini sono molto minori di quelle del settore occidentale e centrale. Tale articolazione geografica, la presenza del Mare Ligure nel lato occidentale e dell'Alto Adriatico in quello orientale, determinano sensibili differenze delle condizioni termiche e pluviometriche tra i diversi settori alpini (Falcini & Rapetti, 2005-2015).

Marittime e le Cozie, al passo del Brennero (1.374 m l.m.m.). La condizione di stabilità assoluta nello strato turbolento<sup>3</sup> favorisce invece l'aggiramento della catena lungo le vie preferenziali della valle del Rodano ad occidente e della "porta della bora" di Postumia ad oriente.

A grande scala il clima delle Alpi Italiane può essere descritto con il sistema di Wladimir Köppen (Köppen & Geiger, 1936), adattato alle condizioni della Penisola Italiana da Pinna (1970)<sup>4</sup>. Sulle maggiori vette e nelle ristrette aree di crinale delle Alpi Occidentali, a quote superiori a 3.500 m l.m.m., è presente il clima glaciale di altitudine (EFH), come nel Colle del Gigante (3.327 m l.m.m.) nel gruppo del M. Bianco (Alpi Graie) e a Pian Rosà (3.315 m l.m.m.) nelle Alpi Pennine, così come i climi freddi di altitudine della classe ETH, anch'essi molto diffusi nelle Alpi Occidentali, soprattutto nelle aree sommitali dei massicci più elevati della Valle d'Aosta. Nelle ristrette aree apicali del settore centro-orientale della catena, come nel M. Bernina, nell'Ortles-Cevedale, nell'Adamello-Presanella, è presente il tipo EFH, che compare anche ad oriente della Valle dell'Adige, solo sulle cime dei maggiori rilievi dolomiti. La media montagna alpina si caratterizza infine per una vasta diffusione del tipo temperato-freddo di altitudine (DH) (Pinna, 1970).

## DINAMICA ATMOSFERICA E CLIMA DELLE ALPI ITALIANE

La planimetria e l'altimetria delle Alpi determinano rilevanti modificazioni sui percorsi dei flussi nella bassa troposfera. Il trasferimento di masse d'aria dai quadranti settentrionali al Mediterraneo può determinarsi per scavalcamento o per aggiramento del rilievo. Tali dinamiche sono influenzate dalla morfologia, dalle condizioni termodinamiche dell'aria in movimento e dalla distribuzione della pressione atmosferica tra il lato settentrionale e il lato meridionale della catena. Lo scavalcamento, che può dare origine a moti subsidenti sottovento (föhn), è favorito dalle condizioni di instabilità assoluta<sup>2</sup> o condizionata, e dalla presenza di solchi vallivi e di insellature, che sono presenti numerosi da occidente ad oriente, dal passo della Maddalena (1.996 m l.m.m.), tra le

## STAZIONI TERMOMETRICHE

Considerata la grande variabilità dei climi presenti nella media e nell'alta montagna alpina, dipendenti dalle condizioni morfologiche e dalla dinamica dell'*atmosfera di montagna* (Akhart, 1948), le caratteristiche termiche di seguito descritte sono valide a rigore solo nei punti di rilevamento o, al massimo, in un loro stretto intorno (Pinna, 1989). Tuttavia gli andamenti rilevati, sia per la posizione geografica e altimetrica delle stazioni, sia per la qualità e la durata delle osservazioni, sono buoni indicatori dello stato attuale del clima termico nella fascia altimetrica tra 2.000 e 2.500 metri delle Alpi Occidentali (Tab. 1, Fig. 1).

<sup>3</sup> Lo strato turbolento costituisce il limite altimetrico dell'inversione termica relativa, che separa il primo strato dell'atmosfera dall'aria libera. L'altitudine del limite dello strato turbolento ha variazioni altimetriche stagionali, ma si trova mediamente ad una altitudine tra 2 e 3 chilometri sul livello del mare.

<sup>4</sup> *Clima glaciale* di altitudine (EFH):  $T_{media}$  annua  $< 0,0$  °C;  $T_{media}$  del mese più freddo  $< -12,0$  °C,  $T_{media}$  del mese più caldo  $< 0,0$  °C, escursione termica annua compresa tra 13° e 15 °C. *Clima freddo* di altitudine (ETH):  $T_{media}$  annua  $< 2,9$  °C,  $T_{media}$  del mese più freddo  $< -6,0$  °C,  $T_{media}$  del mese più caldo  $< 9,9$  °C escursione termica annua tra 15 e 18 °C. *Clima temperato-freddo* di altitudine (DH):  $T_{media}$  annua compresa tra 3,0° e 5,9 °C;  $T_{media}$  del mese più freddo  $< -3,0$  °C,  $T_{media}$  del mese più caldo compresa tra 10,0° e 14,9 °C, escursione termica annua compresa tra 16° e 19 °C (Pinna, 1970).

<sup>1</sup> I piccoli ghiacciai delle Alpi Marittime possono essere considerati virtualmente estinti, anche se, alle quote più elevate, oltre i 3.000 m l.m.m., sono presenti piccole placche di ghiaccio, in gran parte ricoperte da detrito (Federici, Pappalardo, 2009). La loro posizione meridionale e la modesta distanza dalla costa ligure li rendono di grande interesse scientifico, poiché testimoniano il punto di resistenza estrema dei ghiacciai delle Alpi Occidentali nell'attuale fase "calda" (Rapetti, Vittorini, 1992; Pappalardo M., Rapetti F., 2001).

<sup>2</sup> L'instabilità assoluta si verifica quando il gradiente termico verticale dell'atmosfera è più elevato dell'adiabatica secca e dell'adiabatica umida. L'instabilità condizionata è presente, quando il gradiente termico dell'atmosfera ha un valore compreso tra le due adiabatiche.

Table 1 - Elementi geografici e periodi di rilevamento della temperatura dell'aria presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet, Gabiet.

Stazioni	Sistema montuoso Valle	Altitudine (m l.m.m.)	Coordinate	Catalogo
Lago Chiotas	Marittime (Valle Gesso)	1.980	44° 10' 02" N 07° 19' 55" E	1980-2015
Lago Serrù	Graie (Valle Orco)	2.296	45° 27' 33" N 07° 07' 33" E	1979-2015
Lago Goillet	Pennine (Valtournenche)	2.529	45° 55' 46" N 07° 39' 54" E	1970-2015
Lago Gabiet	Pennine (Valle Lys)	2.373	45° 50' 54" N 07° 50' 52" E	1970-2015

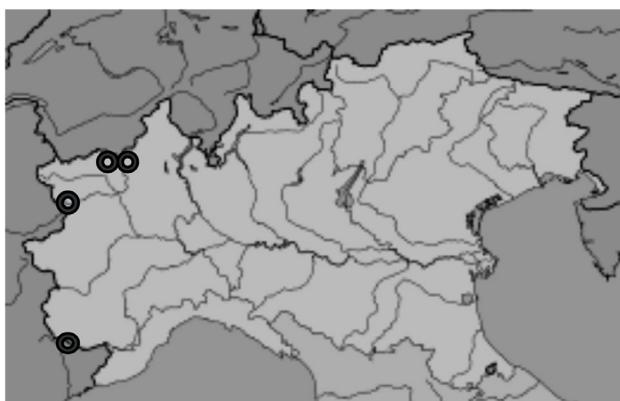


Fig. 1 - Posizione geografica delle stazioni meteorologiche, in senso orario dalla più meridionale: Chiotas (Alpi Marittime), Serrù (Alpi Graie), Goillet e Gabiet (Alpi Pennine).

Le stazioni meteorologiche indicate fanno parte del sistema di monitoraggio ambientale presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet (Tab. 1). È opportuno considerare che le temperature dell'aria sono senz'altro influenzate dalla maggiore inerzia termica dalla masse d'acqua degli invasi artificiali presso cui sono ubicate le stazioni rispetto all'ambiente roccioso circostante, anche se in una misura non quantificabile:

- il lago artificiale di Chiotas è posto nel versante orientale del M. Argentera (3.297 m l.m.m.) (Valle Gesso - Alpi Marittime). Per la sua modesta distanza dal Mare Ligure, che è di circa 45 km, ne subisce le influenze termiche, soprattutto durante l'inverno (Zancla, D'Andrea, 1970; Rapetti, Vittorini, 2013);
- il lago artificiale Serrù è posto alla testata della Valle dell'Orco, alle falde del Colle Galisia (2.998 m l.m.m.) ed è prossimo al valico con la Val d'Isère. Le osservazioni termometriche giornaliere ebbero inizio nel 1979, ma sono disponibili le medie mensili dal 1962 al 1978;
- il lago artificiale Goillet, posto in alta Val Tournenche, in sinistra idrografica del T. Marmore, è in vista del M. Cervino e non lontano dal ghiacciaio del Teodulo (3.316 m l.m.m.). Le osservazioni termometriche giornaliere iniziarono nel 1970, ma le temperature medie mensili sono disponibili dal 1933;

- il lago artificiale Gabiet è posto nella Valle di Gressoney, in sinistra idrografica del torrente Lys. Le osservazioni termometriche giornaliere ebbero inizio nel 1970, mentre le temperature medie mensili furono raccolte dal 1920 (Fig. 1).

#### ANALISI STATISTICHE DELLE SERIE TERMOMETRICHE

I cataloghi termometrici<sup>5</sup> sono stati sottoposti ad un primo controllo generale, che ha consentito di eliminare alcuni evidenti errori, incrociando, ove possibile, dati coevi di stazioni diverse, come quelli di Goillet (Valtournenche) e di Gabiet (Valle di Gressoney), distanti in linea d'aria circa 17 km. In una fase successiva, il tracciamento dei diagrammi cumulativi delle temperature medie annue ha evidenziato una marcata sovrapposizione tra le cumulate e le rette di regressione, che assicura la rappresentatività meteorologica dei valori. La valutazione della omogeneità climatica è stata condotta con test di indipendenza non parametrici e parametrici<sup>6</sup>, i cui risultati indicano l'aleatorietà, l'omogeneità e l'indipendenza dei valori termici considerati (Cortemiglia, 2002). I dati presentano altresì una organizzazione interna, che indica il carattere evolutivo della variabilità delle temperature dell'aria in questa area alpina. In particolare, l'applicazione alle temperature medie annue dell'aria di Goillet dei test di Mann (1945) e di Kendall (1975) garantisce l'esistenza di un trend crescente, mentre il test di Pettitt (1979), che seleziona la presenza di cambiamenti repentini (*change point*), indica che l'anno del passaggio dalla fase "fresca" alla successiva fase "calda" è il 1984 (Cortemiglia & Rapetti, 2013) (Fig. 2).

<sup>5</sup> I dati meteorologici editi ed inediti sono stati forniti dall'ENEL Produzione di Cuneo (Diga Chiotas), dal "Business Unit Energia" Gruppo IREN (Diga di Serrù), dalla Compagnia Valdostana delle Acque (Dighe di Goillet e Gabiet). Le temperature dell'aria, raccolte da stazioni automatiche, sono approssimate all'unità. Tale approssimazione influisce sul computo esatto dei giorni senza disgelo ( $T_{max} \leq 0^\circ C$ ) e con gelo ( $T_{min} \leq 0^\circ C$ ), poiché, ad esempio, le temperature comprese tra  $0,0^\circ$  e  $0,4^\circ C$  sono fornite come corrispondenti a  $0,0^\circ C$ .

<sup>6</sup> I test non parametrici non necessitano di ipotesi a priori circa l'esistenza di leggi probabilistiche note che legano i dati tra loro, mentre i test parametrici sono applicati ad insiemi di dati di cui è nota l'appartenenza ad una legge di probabilità.

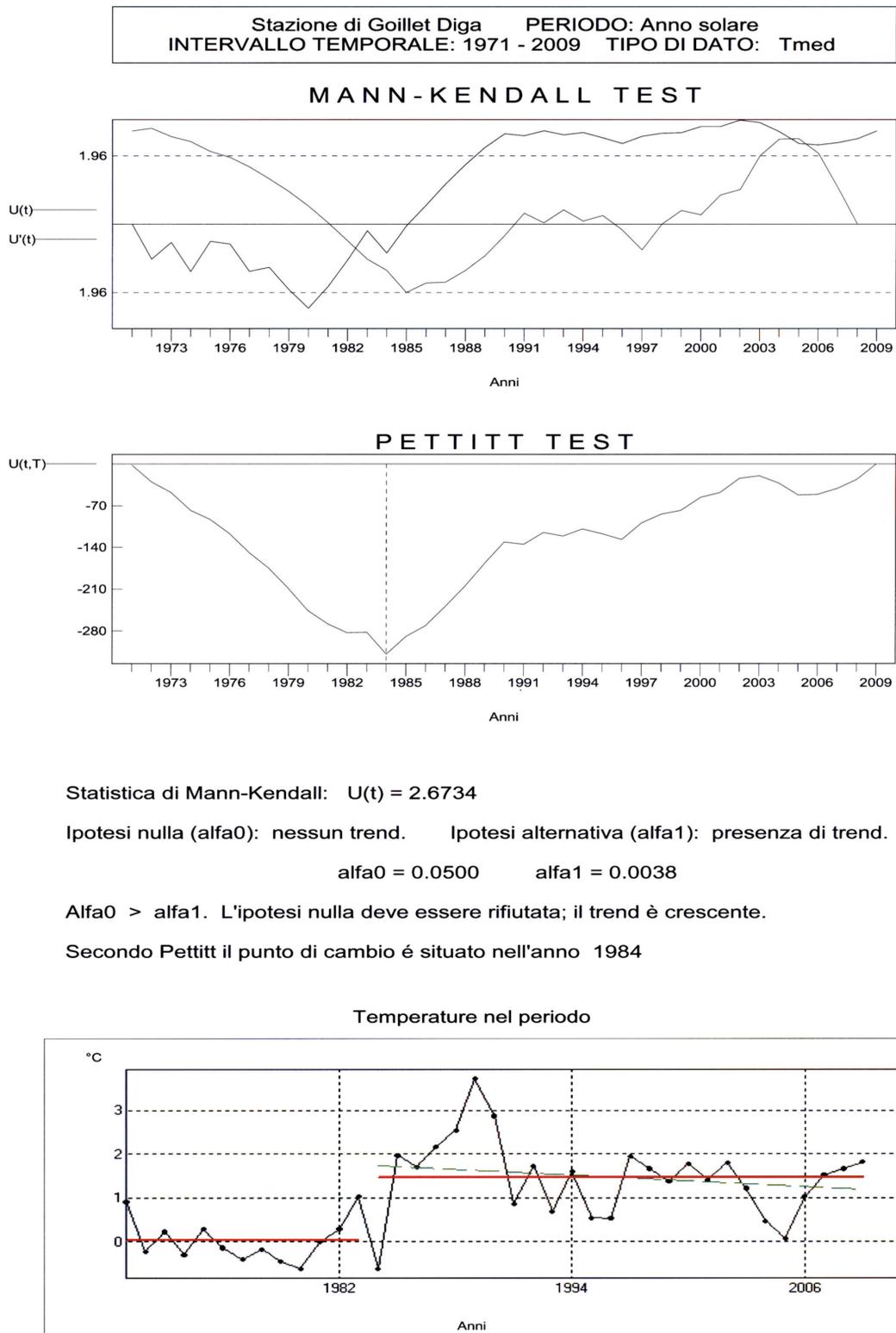


Fig. 2 - Applicazioni statistiche alle temperature medie annue di Goillet: in alto il test di Mann-Kendall indica la tendenza all'aumento delle temperature, al centro il test di Pettitt (1979) stima nell'anno 1984 il punto di svolta tra il periodo "fresco" e il periodo "caldo" (*change point*), in basso è indicato l'incremento termico tra i due periodi di circa 1,5 °C, come differenza tra la media dei periodi 1970-1983 (0,0 °C) e 1984-2009 (1,5 °C) (da Cortemiglia & Rapetti, 2013) (Fratianni & Acquavota, 2017).

Table 2 - Campo di variazione delle temperature minime e massime assolute dell'aria (°C) presso i laghi artificiali di Chiotas (1980-2015), Serrù (1979-2015), Goillet (1970-2015), Gabiet (1970-2015)<sup>7</sup>.

T <sub>(°C)</sub>	Chiotas	Serrù	Goillet	Gabiet
T <sub>min</sub> assoluta	-24,0	-30,0	-26,0	-28,0
data	10/II/1986	10/I/1985	06/III/1971 07/III/1971	06/III/1971
T <sub>max</sub> assoluta	28,0	25,0	23,0	22,0
data	30/VII/1983	29/VI/1986 31/VII/1986 14/VIII/2003	31/VII/2015	06/VII/2015
T <sub>max</sub> delle minime	20,0	18,0	12,0	14,0
data	08/VII/2015	26/VIII/1989	07/VII/1982	10/VII/2012 06/VII/2015 07/VII/2015
T <sub>min</sub> delle massime	-18,0	-24,0	-19,0	-19,0
data	09/I/1985 10/II/1986	10/I/1985	08/II/1991 26/I/2005	08/I/1985 10/II/1986

## ANDAMENTI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

### Temperature minime e massime assolute

Le temperature minime e massime assolute e le date in cui si sono verificate offrono importanti indicazioni di natura meteorologica e applicativa. I valori minimi assoluti sono stati registrati a Serrù (-30,0 °C, 10/I/1985) e a Gabiet (-28,0 °C, 06/III/1971); i massimi a Chiotas (28,0 °C, 30/VII/1983) e a Serrù (25,0 °C, vari anni) (Tab. 2)<sup>7</sup>.

### Numero di giorni senza disgelo, con gelo, e senza gelo

Secondo la classificazione di C. Troll (1943), si definiscono giorni senza disgelo quelli con  $T_{max} \leq 0$  °C, con gelo con  $T_{min} \leq 0$  °C e senza gelo con  $T_{min} > 0$  °C<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> I diversi periodi di funzionamento delle stazioni meteorologiche non consentono un'immediata confrontabilità dei valori.

<sup>8</sup> La temperatura dell'aria rilevata in capannina meteorologica non rappresenta la condizione termica delle rocce e delle superfici innevate contermini alla stazione. Questo fatto ha rilievo soprattutto nello studio dei cicli gelo/disgelo: R.J. Russel (1943), sulla base dei dati di oltre ottocento stazioni meteorologiche distribuite nelle aree continentali degli Stati Uniti, ha confrontato le temperature misurate in capannina meteorologica con quelle rilevate con geotermometri alla superficie del suolo. Sulla base dei risultati l'autore considera compiuto un ciclo disgelo/gelo alla superficie del suolo quando la temperatura dell'aria misurata nella capannina meteorologica raggiunge -2,2 °C e, viceversa, quando sale a 0,0 °C. Da uno studio di M. Falcini e F. Rapetti (2000-2001), compiuto nella media montagna dell'Appennino Toscano (Melo di Cutigliano, 1.010 m l.m.m.), risulta altresì che nel corso del 1983 il

Nella media montagna alpina, nel corso dell'anno si verificano numerosi passaggi sopra e sotto 0,0 °C. I cicli di gelo e di disgelo che ne derivano sono la causa principale della morfologia periglaciale (Pinna, 1964) e delle dinamiche glaciali e nivali. Per queste ultime, considerando che nel corso del semestre freddo si accumulano consistenti spessori di neve al suolo<sup>9</sup>, durante i giorni senza disgelo ( $T_{max} \leq 0$  °C) non si verificano significativi fenomeni di fusione<sup>10</sup>; pertanto il loro numero costituisce un indicatore indiretto della potenzialità della permanenza della neve al suolo. Il numero medio annuo di giorni senza disgelo cresce rapidamente da Chiotas alle altre stazioni, così come i giorni con gelo. A Chiotas il numero annuo dei giorni senza gelo supera di 50-60 unità quello delle altre stazioni (Tab. 3).

Nei rispettivi periodi di rilevamento il numero di giorni senza disgelo ha subito una consistente riduzione,

numero dei cicli di gelo e di disgelo che si sono verificati nell'aria ha rappresentato appena il 13,8% di quelli registrati alla superficie del suolo, a conferma della diversità termica tra i due mezzi. Nell'ambito dei processi crioclastici si definisce pertanto "ciclo efficace" quello che, alla superficie del suolo, determina il passaggio di stato dell'acqua dallo stato liquido a quello solido e viceversa.

<sup>9</sup> Nella stazione di Goillet, il valore medio dello spessore di neve caduta al suolo nel periodo 1970-2015 è di 643 centimetri, con valori minimi e massimi di 386 cm e 1.147 cm, rispettivamente negli anni idrologici 2005/2006 e 1976-1977 (Falcini, Rapetti, anni vari).

<sup>10</sup> Gli ammassi nivali/glaciali, anche durante lunghi periodi senza disgelo, possono essere interessati da perdite di massa per evaporazione e per l'azione di asportazione del vento.

Table 3 - Campo di variazione del numero di giorni senza disgelo, con gelo e senza gelo (con data) e valori medi di periodo presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet, Gabiet.

Stazioni	n° giorni	senza disgelo $T_{\max} \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	con gelo $T_{\min} \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	senza gelo $T_{\min} > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Chiotas	min	33 1989	81 2013	141 1984
	max	103 1996	156 1982	234 2012
	med	63	112	190
Serrù	min	47 1989	83 2010	47 1984
	max	136 1985	186 1984	184 2015
	med	102	121	132
Goillet	min	42 1989	97 1999	95 1995
	max	153 1974	165 1992	171 1989
	med	102	127	135
Gabiet	min	51 2011	45 1986	95 1993
	max	180 1986	171 1972	177 2011
	med	123	108	134

più marcata nelle stazioni di Serrù, Goillet<sup>11</sup> e Gabiet, dove il tasso di decremento è stato di circa 8 giorni/10 anni. Molto più elevata è stata la riduzione tendenziale del numero di giorni con gelo, soprattutto a Chiotas e Serrù, dove è stimabile in circa 26 giorni/10 anni (Fig. 3).

### Escursione media mensile e annua della temperatura dell'aria

L'escursione termica diurna è fortemente influenzata dai fattori locali, quali la radiazione solare intercettata dalle superfici esposte, i fenomeni di evaporazione e di condensazione dell'acqua presente nel suolo, la frequenza e le caratteristiche termiche delle masse d'aria in transito nel luogo del rilevamento.

Nelle stazioni in studio i valori medi mensili dell'escursione termica giornaliera  $(T_{\max} - T_{\min})$ <sup>12</sup> aumentano da gennaio a marzo/aprile, quando si avvicinano a 9,0 °C, per poi decrescere fino a novembre, rimanendo tuttavia maggiori di 5,0 °C (Fig. 4). I massimi giornalieri assoluti dell'escursione non sono stati altrettanto moderati, poiché hanno raggiunto 23,0 °C a Chiotas (21/IV/1980), 25,0 °C a Serrù (17/IV/1982, 24/IV/1989), 23,0 °C a Goillet (19/IV/1991), 22,0 °C a Gabiet (10/I/1972).

<sup>11</sup> La netta flessione nell'ultimo sessantennio del numero di giorni senza disgelo e con gelo presso il lago artificiale di Goillet trova conferma dai dati forniti da M. Pinna (1964): egli riferisce che nel periodo 1951-1961 si contarono in media 91 giorni senza disgelo e 249 giorni con gelo, per un totale di 340 giorni con temperature negative, in confronto ai 102 giorni senza disgelo e 127 giorni con gelo, per un totale di 229 giorni nel periodo 1970-2015.

<sup>12</sup> I valori sono stati ottenuti dalle medie aritmetiche dell'escursione termica di tutti i giorni di ciascun mese, e per tutti gli anni delle serie termometriche considerate.

L'andamento dell'escursione termica media annua mostra andamenti difforni dall'inizio degli anni Settanta alla seconda metà degli anni Novanta del secolo scorso, soprattutto per l'entità degli scarti da un anno all'altro, mentre nel periodo seguente si osserva una buona conformità e valori compresi in un intervallo inferiore a 2,0 °C (Fig. 5).

L'escursione termica annua ( $E_D$ ), presenta valori medi di periodo compresi tra i 15,1 °C di Chiotas e 18,0 °C di Serrù, ma, in singoli anni, sono stati registrati minimi di 12,8 °C a Chiotas (1989), 14,0 °C a Serrù (2002), 13,0 °C a Goillet (1989), 13,6 °C a Gabiet (2002) e massimi di 21,6 °C di Chiotas (1985), 23,9 °C di Serrù (2003), 21,6 °C di Goillet (2003), 23,1 °C di Gabiet (1985). Le tendenze interannuali dell'escursione annua mostrano una condizione di stabilità o di lieve aumento.

### Regime mensile della temperatura dell'aria

L'evoluzione mensile della temperatura dell'aria è nel complesso regolare e tipica delle medie latitudini, poiché i valori minimi e massimi cadono all'incirca un mese dopo i solstizi. Le temperature minime si sono verificate, infatti, tra gennaio e febbraio, quelle massime tra luglio e agosto; la temperatura mensile più bassa (valori medi di periodo) è stata osservata a Gabiet (-10,3 °C, febbraio), la più elevata a Chiotas (15,3 °C, luglio) (Fig. 6).

Il campo di variazione delle temperature medie mensili ed annue indica che i valori più bassi si sono verificati negli ultimi tre decenni del secolo scorso, eccetto che a Goillet; i valori massimi mostrano invece una distribuzione temporale più equilibrata nel passaggio tra il vecchio e il nuovo secolo (Appendice A).

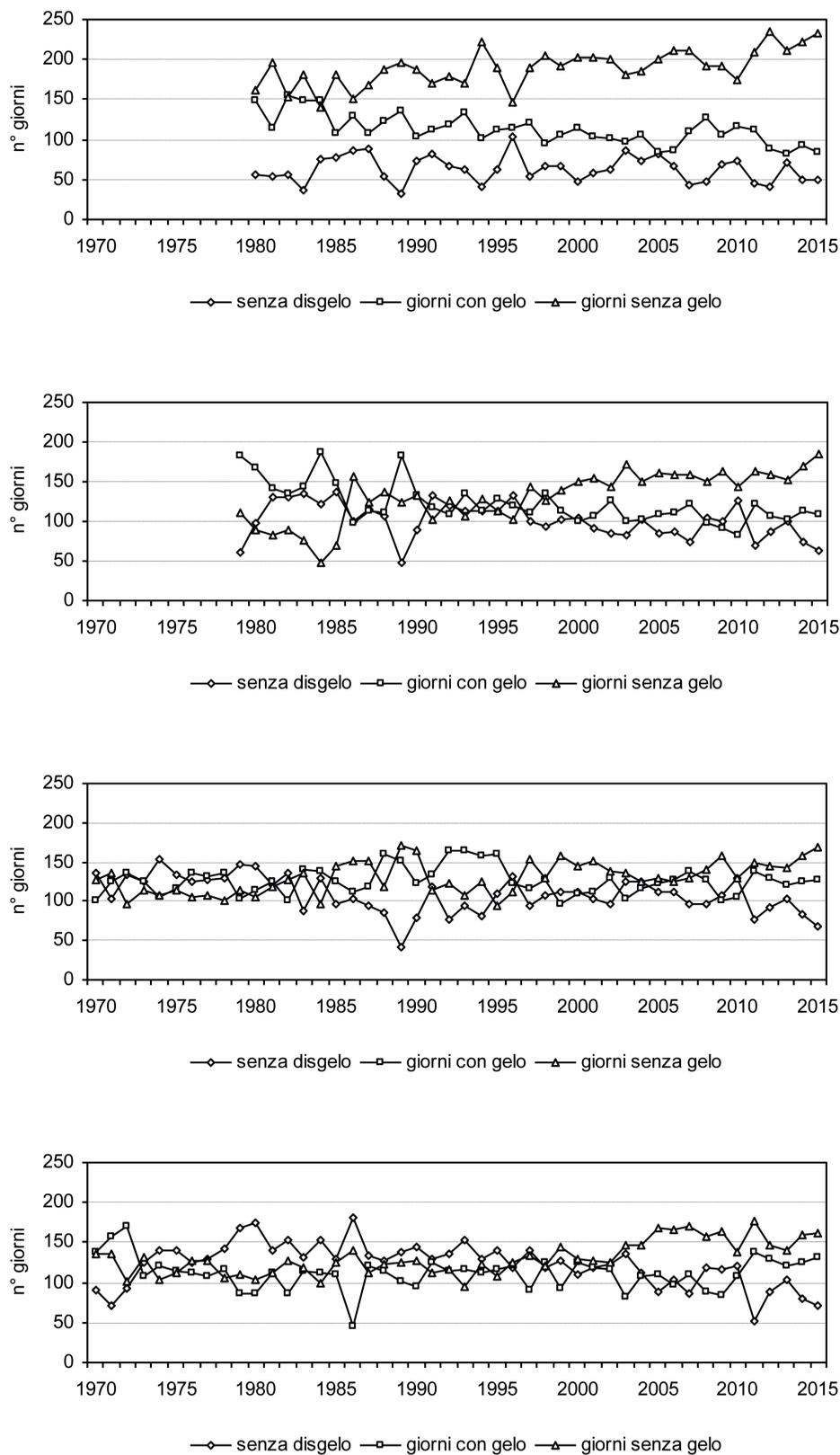


Fig. 3 - Andamento interannuale dei giorni senza disgelo, con gelo e senza gelo: dall'alto al basso presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet, Gabiet.

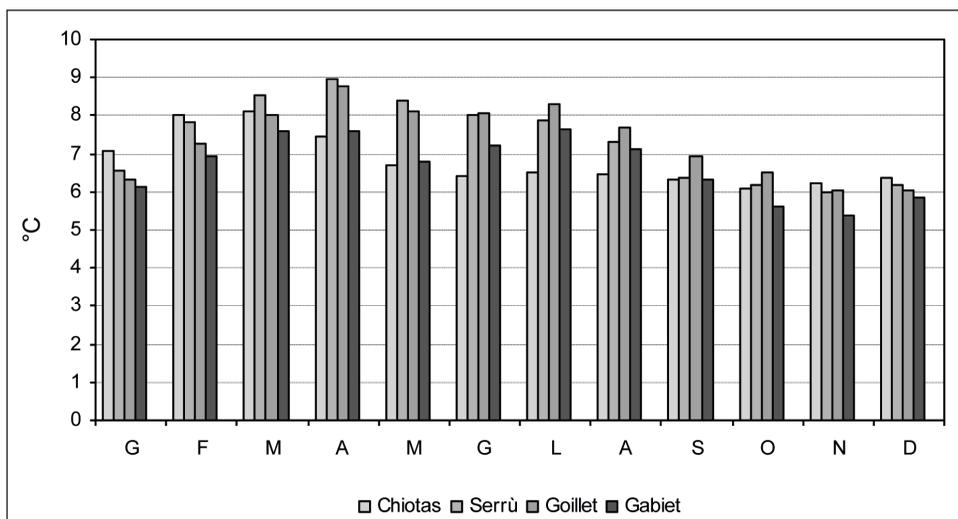


Fig. 4 - Andamento dell'escursione termica mensile presso i laghi artificiali di Chiotas, di Serrù, di Goillet, di Gabiet.

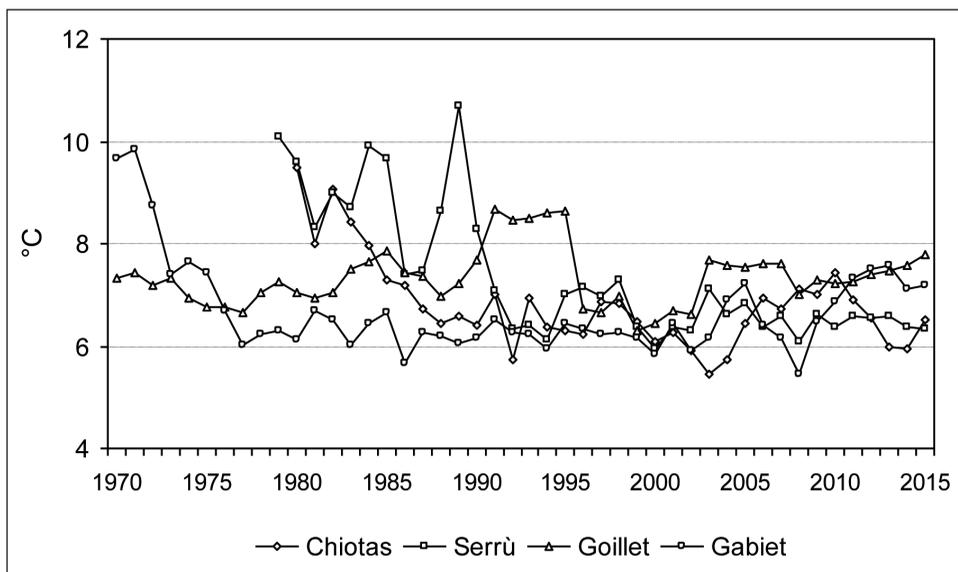


Fig. 5 - Andamento dell'escursione termica mensile presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet, Gabiet.

Considerazioni poco diverse valgono per i valori estremi mensili delle minime, tutte ricadenti entro la fine dello scorso secolo, con la sola eccezione di Goillet (febbraio, 2005), mentre i valori più elevati delle massime si sono verificati in prevalenza negli ultimi quindici anni, con la frequenza più elevata tra maggio/giugno e dicembre (Appendice B).

### Anno termico

Il numero di giorni annui in cui la temperatura dell'aria si mantiene sopra o sotto di 0,0 °C ha uno spiccato interesse naturalistico, come interessanti sono le date nelle quali il termometro si innalza o si abbassa rispetto alla temperatura di congelamento dell'acqua (Pinna, 1969). La disponibilità delle temperature minime e massime giornaliere, avrebbe

consentito di individuare le date del passaggio della temperatura rispetto allo zero. Tuttavia si è preferito utilizzare i valori medi mensili, che offrono il vantaggio di "lisciare" le normali fluttuazioni della temperatura dell'aria nel corso dell'anno<sup>13</sup>. Il procedimento è consentito dal fatto che i rami ascendenti e discendenti delle curve termiche annue hanno un andamento pressoché lineare (Conrad & Pollak, 1950) (Fig. 6).

<sup>13</sup> Le date di inizio e di fine del passaggio della temperatura sopra o sotto un prefissato valore sono calcolate con le seguenti relazioni:

$$G_i = 30 \times (T_0 - b)/(a - b)$$

$$G_f = 30 \times (a - T_0)/(a - b)$$

dove  $G_i$  individua la data di inizio e  $G_f$  la data di fine delle temperature di 0,0 °C

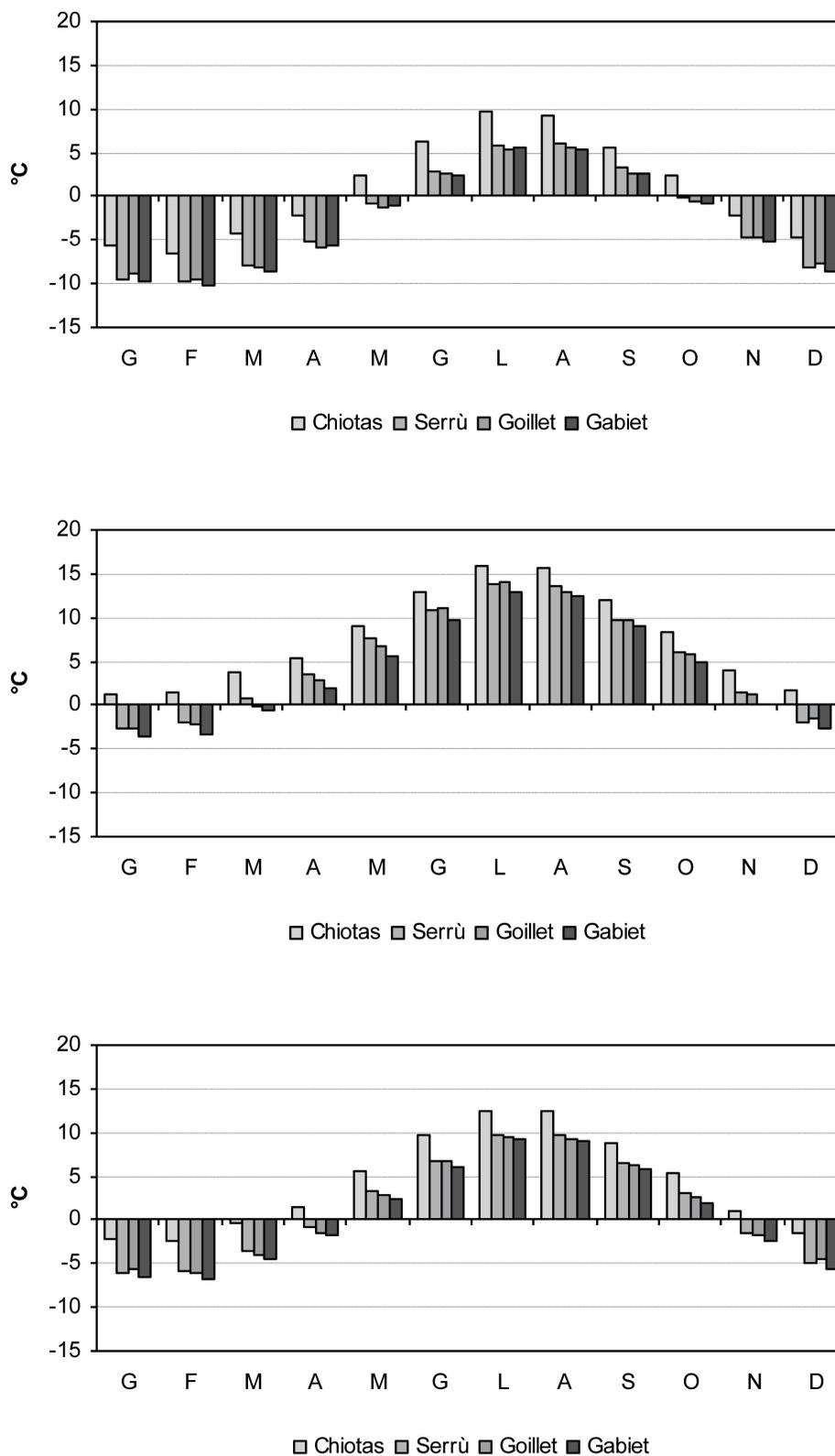


Fig. 6 - Regime mensile della temperatura dell'aria presso i laghi artificiali di Chiotas (1980-2015), di Serrù (1962-2015), di Goillet (1970-2015), di Gabiet (1970-2015). In alto è rappresentata l'evoluzione mensile delle temperature medie diurne, al centro di quelle massime e in basso delle medie mensili.

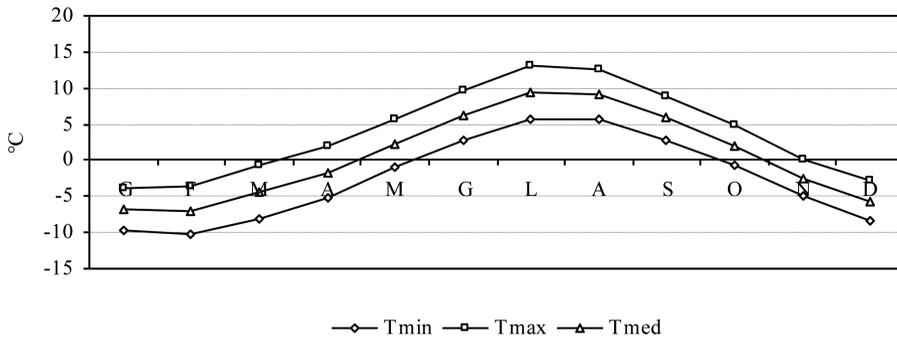
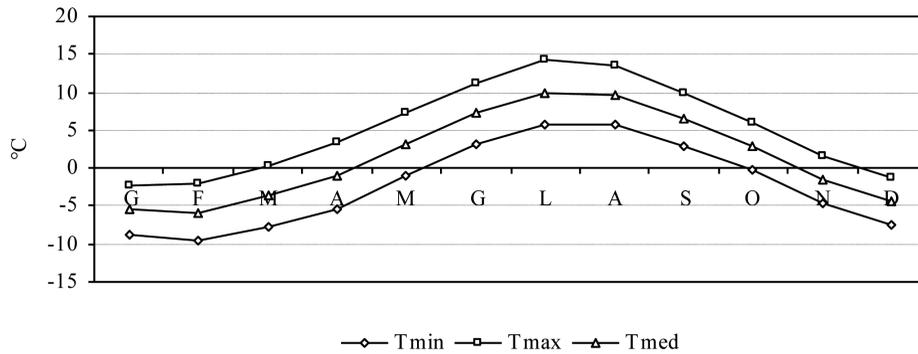
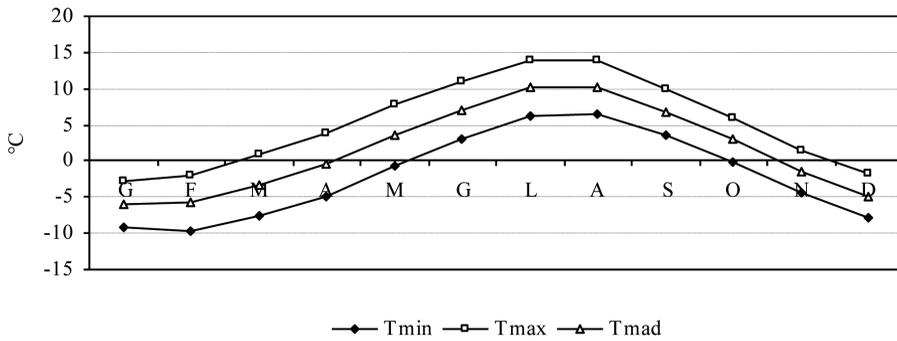
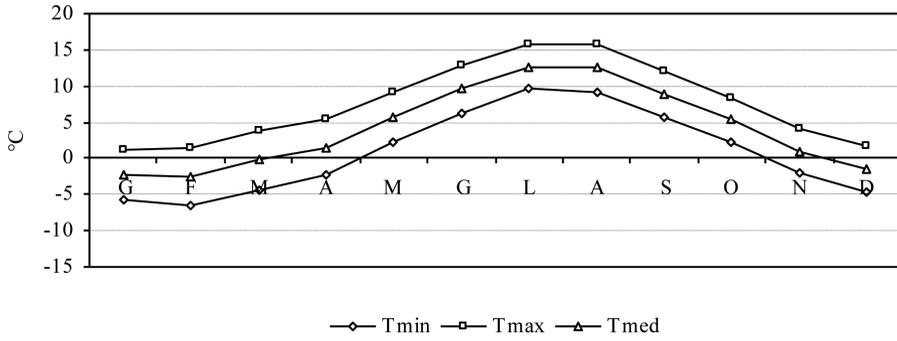


Fig. 7 - Anno termico relativo alle temperature medie delle minime, delle massime e delle medie mensili presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet, Gabiet dal 1980 al 2015.

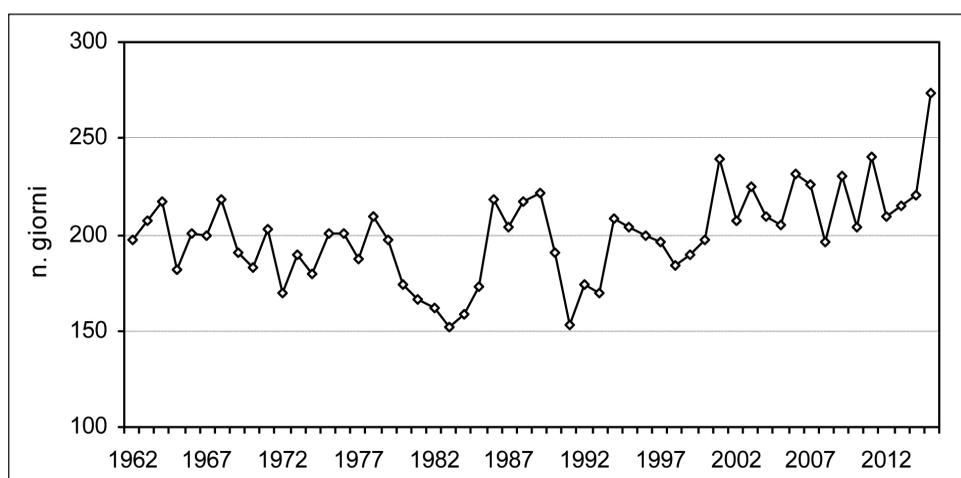


Fig. 8 - Andamento del numero di giorni annui con temperatura dell'aria maggiore di 0,0 °C a Serrù.

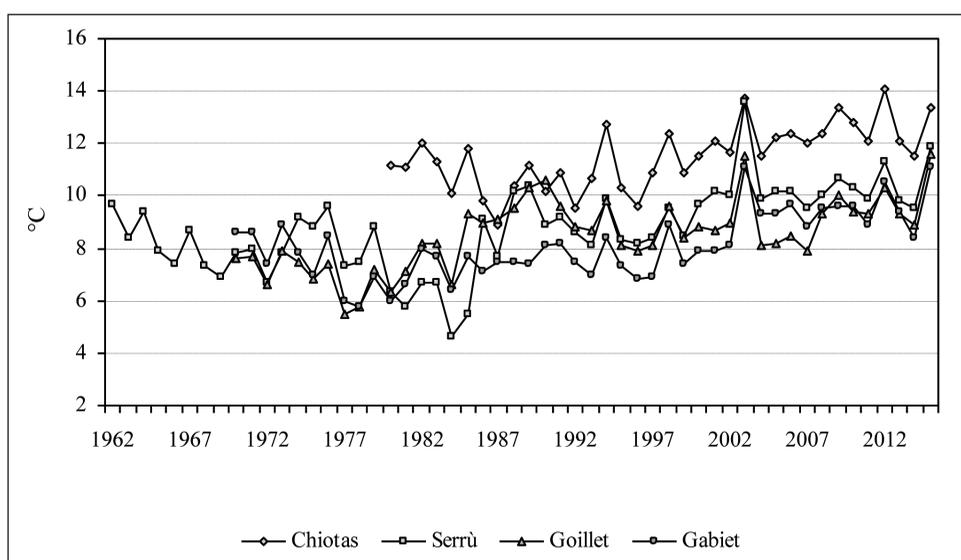


Fig. 9 - Tendenza delle temperature medie estive dell'aria presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet.

Presso la stazione di Chiotas, la più meridionale, la più vicina al mare e di quota meno elevata, le temperature medie delle massime sono state sempre maggiori di 0,0 °C; le temperature medie delle minime hanno superato tale valore dal 30 aprile all'1 novembre, per un totale di 186 giorni. A Gabiet, la stazione più orientale, le temperature medie delle massime sono state maggiori di 0,0 °C dall'11 marzo all'1 dicembre, per un totale di 266 giorni; le temperature medie delle minime hanno superato tale valore dal 23 maggio al 10 ottobre, per un totale di 141 giorni (Fig. 7).

Presso il lago artificiale di Serrù, l'andamento del numero di giorni con  $T_{med} > 0,0$  °C indica una flessione dal 1962 al 1983, seguita da un rapido incremento negli anni dal 1983 al 1989 e da una successiva brusca discesa nei due anni seguenti. Dal 1991 è presente un costante aumento, fino al massimo assoluto di 273 giorni del 2015 (Fig. 8).

### Temperature estive

Tra i fattori che assicurano l'esistenza dei ghiacciai, le temperature estive dell'aria costituiscono un decisivo elemento di controllo. Alle testate delle valli e nelle parti più elevate dei versanti che ospitano le stazioni in studio sono presenti ghiacciai, alcuni virtualmente estinti, come quelli della Valle Gesso, altri ancora presenti seppure in un grave stato di sofferenza. Gli andamenti interannuali delle temperature estive a Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet mostrano una fase di diminuzione culminata alla metà degli anni Ottanta, quando si è determinato un punto di svolta e le temperature hanno iniziato a crescere a ritmi elevati, per raggiungere valori mai osservati nel passato nelle stagioni 2003 e 2012 (Fig. 9).

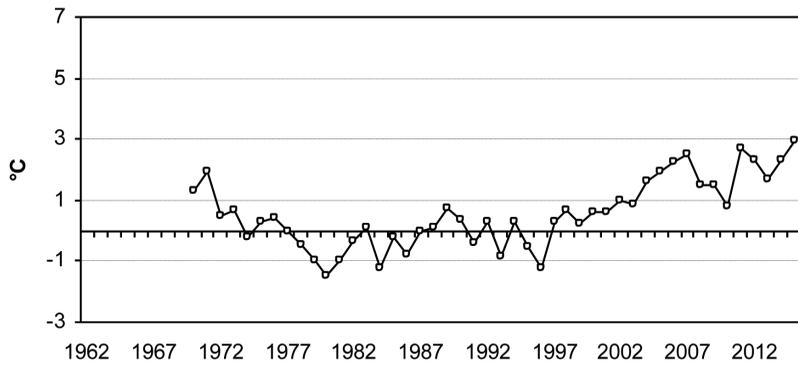
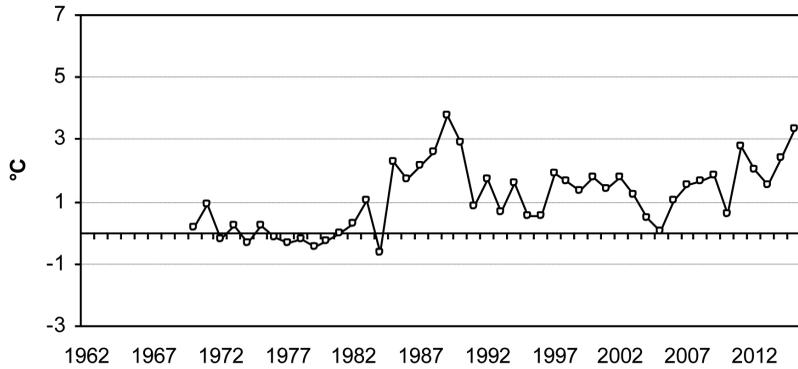
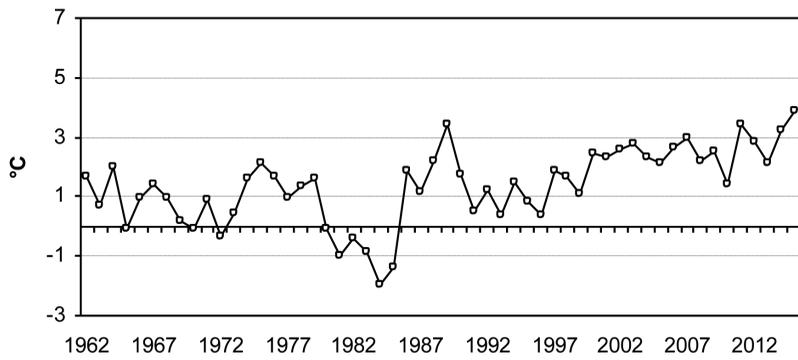
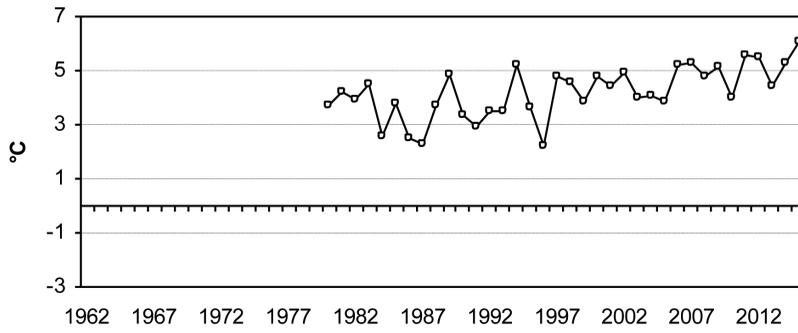


Fig. 10 - Andamento interannuale della temperatura media dell'aria: dall'alto al basso Chiotas (1980-2015), Serrù (1962-2015), Goillet (1970-2015), Gabiet (1970-2015).

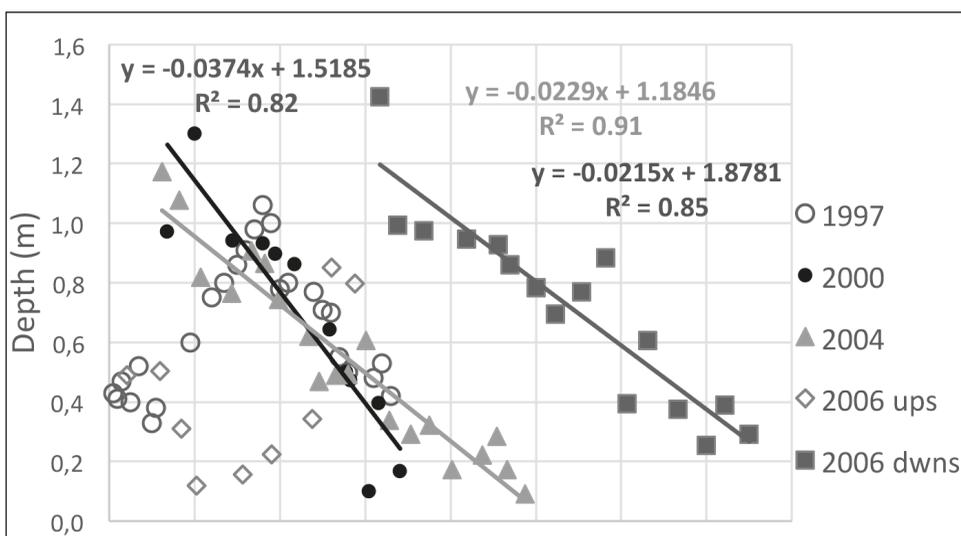


Fig. 11 - Andamento mensile della quota dello zero termico delle temperature mensili delle minime, delle massime e delle medie nella Valle Orco (Alpi Graie) (1997-2004).

### Tendenze delle temperature medie annue dell'aria

Le analisi statistiche cui sono stati sottoposti i cataloghi termometrici delle quattro stazioni in studio ne assicurano la rappresentatività meteorologica e l'omogeneità climatica. Risulta altresì che i dati non sono affetti da componenti cicliche, occasionali o casuali, ma presentano i caratteri della persistenza (Cortemiglia, 2002); tali elementi, poiché indicano una componente interna di lungo periodo, autorizzano la stima delle tendenze della temperatura dell'aria nei luoghi di rilevamento. A Serrù e a Goillet il passaggio tra la fase "fresca" e la fase "calda" si è verificata nei primi anni Ottanta e a Gabiet alla metà degli anni Novanta, mentre è incerto il punto di svolta che ha interessato Chiotas, che presenta caratteri termici diversi dalle altre stazioni, soprattutto per le influenze marine (Fig. 10).

### GRADIENTE TERMICO VERTICALE E ZERO TERMICO

La variazione della temperatura dell'aria con l'altitudine (gradiente termico verticale)<sup>14</sup> lungo i versanti sopravvento dei rilievi, è legata in primo luogo ai processi adiabatici in aria secca e in aria umida, conseguenti al sollevamento forzato delle masse d'aria. L'elaborazione dei dati termici relativa alla media e alta Valle Orco, nel versante meridionale dal Gran Paradiso (Alpi Graie), ha confermato la relazione complessa tra l'andamento della temperatura e l'altitudine, che può tuttavia essere espressa con una correlazione lineare semplice tra le

due grandezze (Douguedroit & Saintignon, 1984; Rapetti & Vittorini, 1989; Rapetti & Vittorini, 1992):

$$T_H = T_0 - G \times H \pm i \quad (R^2)$$

con  $T_H$ : temperatura dell'aria ad una qualunque altitudine,  $T_0$ : temperatura al livello dal mare,  $G$ : gradiente termico verticale (in ettometri),  $H$ : l'altitudine della stazione,  $i$ : valore del semi-intervallo di confidenza della temperatura all'80%,  $R^2$ : coefficiente di determinazione.

Nella Valle Orco il gradiente termico verticale annuo<sup>15</sup> è stato di  $-0,57$  °C/100 m, con valori minimi e massimi di  $-0,42$  °C/100 m in dicembre e di  $-0,69$  °C/100 m in maggio. La quota più elevata dello zero termico – relativa alle temperature massime mensili – è stata raggiunta in agosto (4.347 m l.m.m.), con massimi secondari in luglio (4.109 m l.m.m.) e in giugno (3.924 m l.m.m.) (Fig. 11).

Le altitudini mensili dello zero termico in questo settore alpino possono dare indicazioni sulla dinamica delle masse glaciali, soprattutto nei mesi da maggio ad ottobre<sup>16</sup>. Le lingue frontali dei ghiacciai che scendono dal versante meridionale del Gran Paradiso, presenti oggi intorno a 3.000 metri di altitudine, sono sottoposte ad una intensa ablazione, soprattutto

<sup>15</sup> I gradienti termici verticali e le quote dello "zero termico" nella Valle Orco sono stati calcolati con i dati delle stazioni di Noasca (1.062 m l.m.m.), Ceresole Reale (1.579 m l.m.m.) e Serrù (2.275 m l.m.m.), relativi al periodo 1997-2004, che presentano un buon allineamento planimetrico. I coefficienti di correlazione ( $R^2$ ) delle equazioni di regressione lineare semplice non sono mai stati inferiori a 0,8, fino a raggiungere valori prossimi all'unità nei mesi centrali dell'anno.

<sup>16</sup> In concorso con l'aumento delle temperature dell'aria nel periodo dell'ablazione registrato nell'ultimo decennio si deve considerare la netta riduzione degli spessori annui di neve caduta al suolo (Falcini, Rapetti, vari anni).

<sup>14</sup> Il gradiente termico verticale nell'aria libera o lungo un versante montuoso rappresenta la variazione termica per unità di variazione altimetrica (°C/100 m), mentre il gradiente altimetrico della temperatura ( $\Delta m/^\circ C$ ) indica l'incremento dell'altitudine perché si verifichi una variazione unitaria della temperatura.

nei mesi da maggio ad ottobre, poiché le temperature medie mensili delle massime sono di 2,7 °C in maggio, 6,7 °C in giugno, 8,1 °C in luglio, 9,3 °C in agosto, 3,8 °C in settembre, 1,3 °C in ottobre. Alla quota di 3.500 metri i valori termici sono ancora molto elevati, poiché raggiungono rispettivamente -0,9°, 3,1°, 4,5°, 5,8°, 0,1°, -1,7 °C, dunque ancora efficaci a determinare l'ablazione delle masse glaciali.

## RISULTATI

Lo studio delle tendenze delle temperature dell'aria raccolte presso i laghi artificiali di Chiotas, Serrù, Goillet e Gabiet mostra andamenti sostanzialmente conformi. Dopo un periodo di diminuzione delle temperature annue, culminato alla metà degli anni Ottanta, si è registrata una fase di variabilità, durata circa dieci anni, durante i quali i valori termici hanno subito notevoli variazioni da un anno all'altro. Dalla seconda metà degli anni Novanta, pur con qualche oscillazione di minore entità, e un prolungato periodo di stasi protrattosi fino al 2013, è ripreso l'aumento delle temperature fino al 2015. L'andamento delle temperature medie estive non è dissimile da quello descritto, ma, i valori massimi e minimi presentano una distribuzione caratteristica: le estati più fresche sono avvenute senza eccezioni negli anni Settanta e Ottanta del secolo scorso: a Goillet (5,5 °C) nel 1977, a Gabiet (5,8 °C) nel 1978, a Serrù (4,6 °C) nel 1984, a Chiotas (8,9 °C) nel 1987. Le estati più calde si sono verificate dall'inizio del Ventunesimo secolo, come a Serrù (13,6 °C) e a Gabiet nel 2003 (11,1 °C), a Chiotas (14,1 °C) nel 2012, a Goillet (11,6 °C) nel 2015. L'aumento tendenziale delle temperature dell'aria è stato accompagnato da un deciso incremento del numero annuo di giorni senza gelo ( $T_{\min} > 0$  °C), dalla forte diminuzione sia dei giorni con gelo ( $T_{\min} \leq 0$  °C) sia dei giorni senza disgelo ( $T_{\max} \leq 0$  °C).

## DISCUSSIONE

La durata dei cataloghi termometrici delle stazioni che sono state oggetto dello studio è idonea a definire il "clima termico normale". La valutazione degli andamenti termici passati, e le ragionevoli previsioni circa quelli futuri, necessita invece di una finestra di osservazioni più lunga. Le previsioni formulate su cataloghi di breve durata possono generare attese erranee, come è accaduto all'inizio degli anni Settanta del secolo scorso quando, a causa di un moderato raffreddamento delle estati e l'aumento delle precipitazioni nevose, i ghiacciai alpini conobbero una fase di avanzamento delle fronti<sup>17</sup>. Tali andamenti indussero alcuni studio-

si a prospettare scenari che, nel giro di pochi anni, si sarebbero rivelati totalmente erronei, poiché dalla seconda metà degli anni Ottanta iniziò la fase "calda" tuttora in atto.

Il consenso pressoché generale circa il riconoscimento dell'attuale fase "calda" ha aperto il campo a tesi discordanti circa le cause che la hanno determinata. La parte preponderante della comunità scientifica, che fa capo all'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), indica come causa primaria del "riscaldamento globale" l'aumento antropogenico della concentrazione dei "gas serra" nell'atmosfera. Un numero minoritario di studiosi indipendenti, pur non negando il ruolo dei gas serra, attribuisce a cause naturali la tendenza in atto. Tra le numerose teorie proposte, alcune indicano nella variabilità dell'albedo terrestre l'alternanza di fasi "fresche" e fasi "calde", in conseguenza delle interazioni tra atmosfera, radiazione galattica (GCR) e radiazione solare (SCR) (Svensmark & Friis-Christensen, 1997). Altri studiosi spiegano il "riscaldamento globale" con modelli che chiamano in causa la turbolenza del vento solare, la rotazione della Terra e la circolazione atmosferica. Secondo queste ipotesi si potrebbero determinare andamenti ciclici della durata di circa 60 anni, con l'alternanza di periodi "freschi" e di "periodi caldi" (Mazzarella, 2007)<sup>18</sup>.

Le misure della "temperatura globale della Terra" ( $T_G$ ) eseguite con sistemi satellitari (TIROS-N, NOAA) dalla fine degli anni Settanta mostrano un trend complessivo di crescita della temperatura. Gli scarti dalla media della  $T_G$ , determinati rispetto ai valori medi del periodo 1979-2008, sono compresi nell'intervallo tra 0,9 e -0,4 °C e descrivono fasi di sostanziale stabilità alternate a fasi più brevi di rapida crescita. Dall'inizio delle misure si osserva un primo periodo di prevalenza degli scarti negativi, con il punto di minimo intorno al 1985, seguito da una fase di relativa stabilità fino al 1993 e, successivamente, da una fase di rapida crescita fino al 1999. Tra il 2000 e il 2014 la media mobile (ordine 3) descrive una prolungata stasi termica, seguita negli ultimi quattro anni dal forte incremento degli scarti (Fig. 12).

articolo dal titolo: "L'umanità nella morsa dei ghiacci in aumento", firmato da Ito De Rolandis. Il pezzo trasse spunto da un convegno di glaciologi che si era tenuto a Chamonix il giorno precedente, per discutere le cause dell'avanzata dei ghiacciai alpini che si era verificata in quegli anni. In quella sede la causa prevalente del fenomeno fu attribuita all'inquinamento atmosferico antropogenico, che avrebbe determinato un'attenuazione della radiazione terrestre al suolo (Rivista di Meteorologia Aeronautica, 1982: nota di V. Fava Messina).

<sup>18</sup> I sostenitori di questo modello ammettono tuttavia che la modesta lunghezza dei cataloghi termometrici disponibili sia inadeguata per la spiegazione di cambiamenti di portata globale. Auspicano, per una valutazione dell'efficacia predittiva del modello integrato, la disponibilità di serie di lunghezza multipla di 60 anni, caratterizzate da rappresentatività meteorologica e da omogeneità climatica (Cortemiglia, 2002).

<sup>17</sup> Nel quotidiano "Il Messaggero" del 30 ottobre 1973 apparve un

Fig. 12 - Andamento degli scarti semplici della “temperatura globale” rispetto al valore medio del periodo 1979-2008 (il tratto continuo indica la media mobile di ordine tre), ricavati dalle misure satellitari di TIROS-N (NOOA) (fonte: climate4you.com).

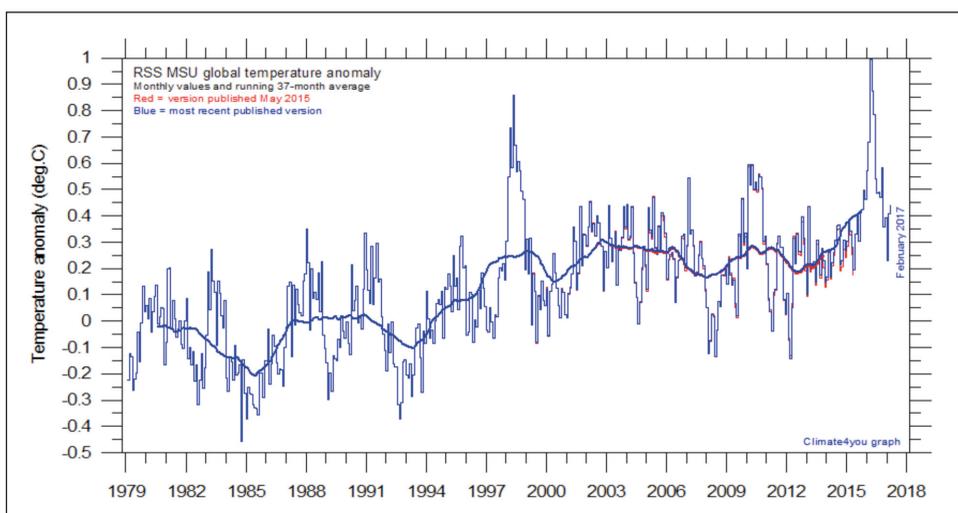
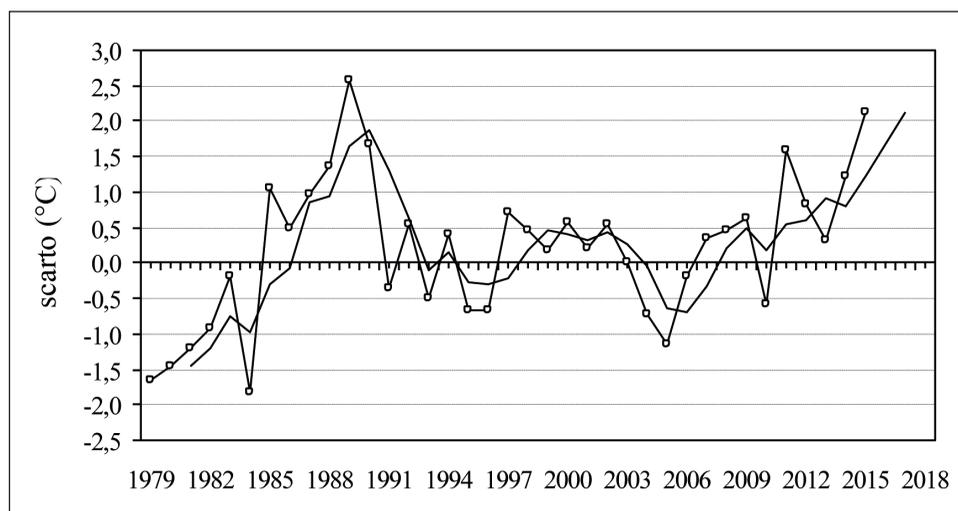


Fig. 13 - Andamento degli scarti semplici dalla media presso Serrù dal 1979 al 2008 (il tratto continuo indica la media mobile di ordine tre).



Il confronto tra l'andamento degli scarti della “temperatura globale” e quello di Goillet (1979-2008) mette in luce alcune differenze, ma anche analogie<sup>19</sup>: la più importante riguarda il periodo della stabilizzazione “termica”, che si estende per circa un ventennio, dal 1991 al 2010. Nel quinquennio successivo vi è sostanziale conformità nell'andamento degli scarti, che sono marcatamente positivi, fino al picco del 2015 (2,1 °C), secondo solo a quello del 1989 (2,6 °C) (Figg. 12, 13). Se le temperature annue, e soprattutto dei mesi da maggio a settembre, dovessero incrementarsi con i ritmi registrati nell'ultimo quinquennio, la previsione circa il destino dei ghiacciai delle Alpi Occidentali non può che essere molto negativa. Anche se esclusa

dalle previsioni dominanti, non è tuttavia impossibile una stabilizzazione o una inversione di tendenza delle temperature, cui si è assistito numerose volte dall'inizio dell'Olocene ad oggi.

## BIBLIOGRAFIA

- CONRAD V.A., POLLAK L.W., 1950. *Methods in Climatology*. Harvard University Press. II Edizione: 459 pp.
- CORTEMIGLIA G.C., 2002. *Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001). Quaderno N. 3. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova. Litocoop Tortona (AL).*
- CORTEMIGLIA G.C., RAPETTI F., 2013. *Interannual trend of snow cover depth at Lake Goillet (upper Valtournenche-Valle d'Aosta) from 1970 to 2009. Bollettino Geofisico XXXVI, n. 1-4, gennaio-dicembre: 5-29.*

<sup>19</sup> La maggiore differenza tra i due grafici consiste nell'entità degli scarti, poiché quelli della  $T_G$  sono compresi nell'intervallo tra -0,5 e 1,0 °C, mentre a Goillet tra -2,5 e 3,0 °C.

- DOUGUEDROIT A., DE SAINTIGNON, 1984. Les gradients de températures et de précipitations en montagne. *Revue de Géographie Alpine* 1, LXXII: 225-240.
- EKHART E., 1948. Da la structure thermique de l'atmosphère dans la montagne. *La Météorologie* 9: 3-26.
- FALCINI M., RAPETTI F., 2000/2001. Termic conditions in the air in the ground and freeze and thaw cycles in the upper Val di Lima (Pistoia Apennines). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A* CVII: 41-52.
- FALCINI M., RAPETTI F., (2005-2015). Hydrological year: Meteorological features for the Italian Alps. In Reports of the glaciological survey (editors): C. Baroni C., A. Bondesan, G. Mortara. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*.
- FEDERICI P. R., PAPPALARDO M., 2009. I ghiacciai delle Alpi Marittime. Vicende morfologiche, climatiche e storiche. *Bollettino Società Geografica Italiana* II: 827-874.
- FRAZIANNI S., ACQUAOTTA F., 2017. The climate of Italy. In book: *Landscapes and Landforms of Italy*: 29-38. DOI: 10.1007/978-3-319-26194-2-4.
- KENDALL, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4<sup>th</sup> edition, Charles Griffin, London.
- KÖPPEN W., GEIGER R., 1936. Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie*. Band 1, Teil C., Berlino, Gebrüder Bornträger: 26-31.
- MANN, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13: 163-171.
- MAZZARELLA A. 2007. The 60-year solar modulation of global air temperature: the Earth's rotation and atmosphere circulation connection. *Theoretical and Applied Climatology* 88: 193-199.
- Ministero dei Lavori Pubblici. Servizio Idrografico (1969). La distribuzione della temperatura dell'aria in Italia nel trentennio 1926-1955. Redazione: T. Gazzolo e M. Pinna. *Pubblicazione N. 21*, II Edizione, Fascicolo IV. Istituto Poligrafico dello Stato. Roma.
- PAPPALARDO M., RAPETTI F., 2001. Frontal fluctuations of glaciers and climatic parameters: the case of Maritime Alps. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* V: 135-144.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric Approach to the Change-point Problem. *Applied Statistics* 28: 126-135.
- PINNA M., 1964. I cicli di gelo e disgelo e la loro influenza sulla morfologia glaciale e periglaciali. *XIX Congresso Geografico Italiano*. Como, 18-23 Maggio 1964: 3-21.
- PINNA M., 1970. Contributo alla classificazione del clima d'Italia. *Rivista Geografica Italiana* LXXVII, fascicolo II: 129-152.
- PINNA M., 1989. I climi montani. Un invito a ricerche sistematiche. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 12(1): 35-39.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1989. Aspetti del clima nei versanti tirrenico e adriatico lungo l'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena. *Atti Società Toscana Scienze Naturali, Memorie Serie A* XCVI: 159-192.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1992. Aspetti del clima del bacino del Gesso (Alpi Marittime) in relazione alla presenza di alcuni piccoli ghiacciai. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 15: 149-158.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 2013. Note illustrative della Carta Climatica della Liguria (Scala 1:250.000). *Atti Società Toscana Scienze Naturali, Memorie Serie A* CXX: 41-74.
- RUSSEL R.J., 1943. Freeze-and-thaw frequencies in the United States. *Transactions American Geophysical Union* 1: 125-133.
- SVENSMARK H., FRIIS-CHRISTENSEN E., 1997. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage: a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 59, 11: 1225-1232.
- TROLL C., 1943. Die Frostwechselhäufigkeit in den Luft-und Bodenklimaten der Erde. *Meteorologische Zeitschrift* 60: 125-133.
- ZANCLA A., D'ANDREA M., 1970. Isotherme dei mari italiani per il triennio 1967-1969. *Rivista Meteorologia Aeronautica* 30(3): 57-78; 30(4): 37-46.

(ms. pres. 25 aprile 2017; ult. bozze 03 ottobre 2017)

## APPENDICE A

Lago Chiotas	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T <sub>min</sub>	-7,8	-8,4	-5,3	-3,7	1,3	5,2	9,8	9,5	4,8	1,5	-3,6	-6,3	2,2
data	1985	1986	1987	1991	1984	1992	1987	1984	1996	1992	1993	1990	1996
T <sub>max</sub>	2,6	2,1	6,2	5,0	9,5	13,2	16,7	15,3	11,9	8,2	5,9	4,2	6,1
data	2007	1990	1994	2007	2009	2003	2015	2012	2011	2006	2015	2015	2015
T <sub>med (1980-2015)</sub>	-2,2	-2,5	-0,3	1,5	5,6	9,6	12,5	12,5	8,9	5,3	1,0	-1,5	4,2
Lago Serrù	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T <sub>min</sub>	-14,7	-11,0	-8,7	-5,1	-1,0	2,2	5,1	5,5	2,8	-2,1	-6,9	-9,4	-2,0
data	1985	1983	1988	1970	1983	1985	1981	1984	1972	1974	1985	1981	1984
T <sub>max</sub>	-1,6	-1,2	0,7	3,6	6,9	13,2	14,5	14,9	10,4	6,4	2,9	1,5	3,9
data	2007	1998	2012	2007	1989	2003	2015	2003	2011	2001	2015	2015	2015
T <sub>med (1962-2015)</sub>	-6,1	-5,8	-3,5	-0,8	3,3	6,8	9,8	9,7	6,6	6,0	-1,6	-5,0	1,4
Lago Goillet	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T <sub>min</sub>	-9,0	-10,8	-8,2	-5,2	-1,0	3,0	6,2	6,1	2,4	-4,6	-5,1	-8,9	-0,6
data	1980	2005	1971	1980	1984	1980	1980	2006	1972	1974	1993	1981	1984
T <sub>max</sub>	-1,0	-1,0	0,3	2,5	6,4	11,2	14,8	12,3	10,7	5,5	2,2	0,8	3,8
data	1989	1990	1989	2011	1990	2003	2015	2003	1987	2001	2015	2015	1989
T <sub>med (1970-2015)</sub>	-5,6	-6,0	-4,1	-1,6	2,8	6,7	9,5	9,3	6,2	2,6	-1,8	-4,5	1,1
Lago Gabiet	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T <sub>min</sub>	-12,8	-11,9	-8,3	-5,6	-0,8	3,1	6,2	6,5	2,0	-5,1	-6,0	-9,9	-1,5
data	1985	1986	1987	1980	1991	1980	1980	1978	1995	1974	1985	1981	1980
T <sub>max</sub>	-2,6	-2,4	0,8	3,4	5,9	10,9	13,9	12,1	9,3	6,3	1,7	0,1	3,0
data	2007	2007	2012	2007	2005	2003	2015	2003	2011	1971	2015	2015	2015
T <sub>med (1970-2015)</sub>	-6,6	-6,8	-4,5	-1,8	2,3	6,1	9,3	9,0	5,8	2,0	-2,5	-5,6	0,6

Campo di variazione delle temperature (°C) medie mensili e annue e valori medi dei rispettivi periodi di funzionamento delle stazioni presso i laghi artificiali di Chiotas (1980-2015), Serrù (1962-2015), Goillet (1970-2015), Gabiet (1970-2015).

## APPENDICE B

Lago Chiotas	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
$T_{\min}$	-11,7	-13,0	-10,2	-7,9	-2,6	2,9	6,1	6,5	2,3	-1,3	-6,5	-10,1	-1,4
data	1985	1986	1987	1991	1991	1992	1980	1984	1996	1992	1993	1990	1984
$T_{\max}$	7,8	6,0	10,6	8,7	13,5	15,8	19,8	18,4	15,9	11,4	9,2	7,3	9,3
data	1983	1990	1994	2007	2009	2012	2015	2012	2011	2006	20015	2015	2015
Lago Serrù	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
$T_{\min}$	-19,2	-16,2	-14,2	-10,2	-7,3	-2,9	0,6	1,3	-0,8	-4,9	-10,8	-12,3	-6,9
data	1985	1983	1984	1984	1984	1984	1984	1984	1972	1974	1985	1981	1984
$T_{\max}$	2,1	3,2	6,2	9,0	14,0	17,3	18,3	18,7	13,7	9,3	5,3	3,9	8,7
data	1989	1979	1989	1988	1989	2003	2015	2003	1987	2009	2015	2015	1989
Lago Goillet	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
$T_{\min}$	-13,7	-14,0	-12,4	-9,5	-5,0	-0,5	2,5	2,2	-1,3	-7,9	-9,2	-11,6	-4,5
data	1985	2005	1971	1979	1984	1980	1980	2006	1995	1994	1993	1981	1984
$T_{\max}$	2,0	2,5	4,6	6,8	10,9	15,7	19,8	16,5	14,5	9,1	5,2	3,3	7,4
data	1989	1990	1989	2007	1990	2003	2015	2003	1985	1986	2015	2015	1989
Lago Gabiet	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
$T_{\min}$	-15,8	-15,1	-12,9	-9,1	-4,2	-0,4	2,4	2,9	-1,0	-9,1	-9,0	-12,9	-4,5
data	1985	1986	1971	1980	1991	1975	1981	1979	1972	1974	1993	1981	1984
$T_{\max}$	0,4	1,5	5,3	7,4	10,0	14,1	17,7	15,2	13,4	11,0	5,2	3,9	6,8
data	2007	1971	2012	1971	2005	2003	2015	2003	1970	1971	1970	1971	1971

Campo di variazione delle temperature medie mensili minime ( $T_{\min}$ ) e massime ( $T_{\max}$ ) (°C) dei rispettivi periodi di funzionamento delle stazioni presso i laghi artificiali di Chiotas (1980-2015), Serrù (1962-2015), Goillet (1970-2015), Gabiet (1970-2015).

Edizioni ETS  
Piazza Carrara, 16-19, I-56126 Pisa  
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com  
Finito di stampare nel mese di dicembre 2017

