

ANNO IDROLOGICO 2003-2004:  
LINEAMENTI METEOROLOGICI PER L'ARCO ALPINO  
ITALIANO

HYDROLOGICAL YEAR 2003-2004:  
METEOROLOGICAL FEATURES FOR THE ITALIAN ALPS

a cura di (eds.) FRANCO RAPETTI (\*) & MARCO FALCINI (\*)

L'analisi delle condizioni meteorologiche che hanno interessato il versante italiano dell'arco alpino nel corso dell'anno idrologico 2003-2004 è stata condotta sulla base dei dati rilevati in alcune stazioni significative per altitudine e posizione geografica (tab. 1, fig. 1). Gli elementi meteorologici considerati sono la temperatura dell'aria, le precipitazioni totali e l'altezza della neve caduta. In alcune stazioni le caratteristiche meteorologiche dell'anno in studio sono state messe a confronto con quelle degli anni idrologici precedenti<sup>1</sup>.

TABELLA 1 - Distribuzione geografica e altimetrica delle stazioni meteorologiche

Settore	Stazioni	Altitudine (m l.m.m.)	Valle o sistema montuoso
Alpi Occidentali	Chiotas Diga	1980	Valle del Gesso
	Goillet Lago	2529	Valtournenche
	Ceresole Reale Lago	1573	Val Locana
	Serrù Lago	2296	Val Locana
	Gressoney D'Ejola	1850	Valle di Gressoney
Alpi Centrali	Alpe Gera Diga	2090	Valmalenco
	Pantano d'Avio Lago	2328	Valcamonica
	S. Caterina Valfurva	1740	Valfurva
	Caresèr Diga	2600	Ortles-Cevedale
	S. Valentino alla Muta	1520	Val Venosta
Alpi Orientali	Riva di Tures	1600	Alpi Pusteresi
	Cortina d'Ampezzo	1275	Dolomiti Orientali

ANDAMENTI TERMICI

Temperatura dell'aria

In tutti i settori dell'arco alpino il mese di Ottobre è risultato sensibilmente più freddo rispetto alla media degli ultimi trentacinque anni, con scarti negativi che hanno raggiunto 3.3 °C a Goillet Diga e 4.8 °C a Riva di Tures. Non altrettanto significativi sono gli scarti dalla media nei mesi dell'Inverno e della Primavera, con l'eccezione di Maggio, risultato sensibilmente più freddo rispetto alla media del periodo e molto più freddo in confronto a quella dell'anno precedente. Le temperature estive sono risultate sostanzialmente in linea con i valori medi ma sensibilmente più basse di quelle nell'Estate del 2003, durante la quale tuttavia si erano toccati i valori più elevati mai registrati.

(\*) Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, Via S. Maria, 53 - 56126 Pisa - E-mail: rapetti@dst.unipi.it

<sup>1</sup> I dati inediti sono stati gentilmente concessi dall'ENEL Produzione di Cuneo, dalla Compagnia Valdostana delle Acque, dalle Aziende Elettriche Municipali di Torino e di Milano, da W. Monterin (stazione di Gressoney D'Ejola), dai Compartimenti ENEL di Torino, di Milano e di Venezia, dal Centro Nivometeorologico di Bormio, dagli ex Uffici Idrografici delle Province Autonome di Trento e di Bolzano e dall'Ufficio di Venezia, dal Centro Meteorologico di Teolo.

Le temperature minime diurne e quelle medie mensili più basse, con poche eccezioni, si sono verificate in Gennaio mentre quelle più elevate in Agosto (tab. 2, 5; fig. 2).

Anche le temperature medie annue sono risultate nettamente inferiori a quelle di periodo; a Goillet Diga, ad esempio, la media annua nel periodo 1970-2004 è stata di 1.0 °C mentre quella nell'anno idrologico in studio di 0.3 °C, valore che si colloca tra quelli più bassi registrati negli ultimi trenta anni; a Riva di Tures lo scarto negativo dalla media è stato di 1.4 °C.

L'escursione termica annua, dopo i valori eccezionalmente elevati osservati nell'anno idrologico precedente, dovuti alle temperature molto basse registrate in Febbraio e a quelle eccezionalmente elevate verificatesi nel Giugno e nell'Agosto del 2003, è stata generalmente modesta e in linea con quella degli anni precedenti: il valore massimo ha interessato Riva di Tures (21.3 °C), che nei valori medi è la stazione più continentale tra quelle considerate.

TABELLA 2 - Temperature medie delle minime, delle massime e medie mensili ed escursione termica annua (°C)

Stazioni		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	A
Chiotas Diga	min	-0.5	-2.0	-5.1	-5.6	-3.4	-5.9	-2.2	1.1	7.3	9.1	<b>9.5</b>	6.6	0.7	15.4
	max	4.7	3.9	0.2	0.4	3.1	1.5	4.0	6.0	12.8	14.6	<b>15.5</b>	12.5	6.6	15.3
	med	2.1	1.0	-2.5	-2.6	-0.2	-2.2	0.9	3.6	10.1	11.9	<b>12.5</b>	9.6	3.7	15.3
Goillet Diga	min	-4.3	-4.4	-9.4	-10.5	-9.0	-9.6	-7.2	-3.2	3.0	4.1	<b>4.9</b>	2.7	-3.6	15.4
	max	2.5	1.4	-2.7	-4.4	-1.8	-1.4	2.1	6.1	11.6	<b>12.8</b>	12.4	10.4	4.1	17.2
	med	-0.9	-1.5	-6.0	-7.4	-5.4	-5.5	-2.5	1.4	7.3	8.5	<b>8.7</b>	6.6	0.3	16.1
Ceresole Reale D.	min	-0.5	-2.8	-7.4	-9.7	-7.7	-7.8	-2.7	2.1	7.9	9.4	<b>9.6</b>	6.8	-0.2	19.3
	max	6.6	3.7	0.2	-0.6	2.9	2.3	5.9	10.7	16.7	17.2	<b>17.3</b>	15.1	8.2	17.9
	med	3.1	0.5	-3.6	-5.1	-2.4	-2.8	1.6	6.4	12.3	13.3	<b>13.5</b>	11.0	4.0	18.6
Serrù Diga	min	-2.5	-2.9	-7.8	-8.8	-6.6	-8.2	-4.4	-0.6	4.8	7.0	<b>7.9</b>	5.5	-1.4	16.7
	max	3.5	2.7	-1.8	-3.4	0.9	-0.2	3.8	6.6	12.0	13.6	<b>14.0</b>	12.0	5.3	17.4
	med	0.5	-0.1	-4.8	-6.1	-2.8	-4.2	-0.3	3.0	8.4	10.3	<b>11.0</b>	8.8	2.0	17.1
Gressoney D'Ejola	min	-1.2	-2.2	-5.7	-7.7	-6.2	-6.0	-2.1	1.0	5.9	7.3	<b>8.1</b>	6.0	-0.2	15.8
	max	6.5	3.8	-0.3	-0.9	1.8	2.5	6.0	11.4	18.3	<b>18.6</b>	17.9	16.2	8.5	19.5
	med	2.7	0.8	-3.0	-4.3	-2.2	-1.8	2.0	6.2	12.1	<b>13.0</b>	13.0	11.1	4.1	17.6
Alpe Gera Diga	min	-2.8	-3.2	-7.0	-10.5	-7.7	-8.5	-4.4	-1.4	4.4	6.4	<b>6.9</b>	4.6	-1.9	17.4
	max	5.1	4.0	0.5	-3.0	1.0	0.9	4.2	8.1	13.4	14.8	<b>15.0</b>	12.5	6.4	18.0
	med	1.1	0.4	-3.2	-6.7	-3.4	-3.8	-0.1	3.4	8.9	10.6	<b>10.9</b>	8.6	2.2	17.6
Pantano d'Avio D.	min	-3.5	-3.7	-7.6	-12.1	-8.1	-4.8	-2.1	-0.5	3.6	6.0	<b>6.6</b>	3.5	-1.9	18.7
	max	4.2	2.9	-0.8	-9.5	-6.4	-2.8	-0.8	7.7	12.4	14.2	<b>14.5</b>	12.3	4.0	24.0
	med	0.4	-0.4	-4.2	-10.8	-7.3	-3.8	-1.5	3.6	8.0	10.1	<b>10.5</b>	7.9	1.0	21.3
S. Caterina Valfur.	min	-4.6	-6.4	-1.05	-14.2	-12.3	-9.0	-3.2	-1.1	3.8	5.7	<b>6.9</b>	4.2	-3.4	21.1
	max	5.1	2.9	-1.1	-2.6	0.8	3.3	7.4	11.5	17.2	<b>19.6</b>	18.6	14.9	8.1	22.6
	med	0.2	-1.8	-5.8	-8.4	-5.8	-2.9	2.1	5.2	10.5	<b>12.7</b>	12.7	9.6	2.4	21.1
S. Valentino alla M.	min	-0.8	-5.4	-5.4	-10.0	-8.3	-5.1	0.0	2.7	6.9	8.6	<b>9.2</b>	6.3	-0.1	19.2
	max	7.2	5.8	1.1	-2.2	1.3	3.8	9.3	12.9	18.5	<b>19.0</b>	18.9	15.9	9.3	21.2
	med	3.2	0.2	-2.2	-6.1	-3.5	-0.7	4.6	7.8	12.7	13.8	<b>14.0</b>	11.1	4.6	20.1
Caresèr Diga	min	-	-	-9.3	-12.2	-9.4	-9.8	-6.9	-3.9	2.2	4.1	<b>4.9</b>	2.2	-	17.1
	max	-	-	-1.9	-5.3	-1.6	-1.3	2.5	5.4	9.8	<b>12.1</b>	11.9	9.6	-	17.4
	med	-	-	-5.6	-8.8	-5.5	-5.6	-2.2	0.8	6.0	8.1	<b>8.4</b>	5.9	-	17.2
Riva di Tures	min	-4.0	-4.1	-8.2	-12.6	-9.7	-7.7	-1.5	0.1	3.5	6.2	<b>7.2</b>	3.3	-2.3	19.8
	max	5.2	1.9	-1.9	-4.1	0.6	4.0	8.1	11.3	17.0	18.8	<b>18.9</b>	15.4	7.9	23.0
	med	0.6	-1.1	-5.0	-8.3	-4.6	-1.8	3.3	5.7	10.3	12.5	<b>13.0</b>	9.4	2.8	21.3
Cortina d'Ampezzo	min	0.0	-0.7	-4.1	-8.1	-5.1	-3.6	1.1	2.6	7.7	8.8	<b>10.2</b>	6.8	1.3	18.3
	max	8.3	7.3	4.0	0.7	4.2	6.4	9.8	13.0	18.8	20.5	<b>21.0</b>	17.4	11.0	20.3
	med	4.2	3.3	0.0	-3.7	-0.4	1.4	5.5	7.8	13.2	14.7	<b>15.6</b>	12.1	6.1	19.3

A: escursione termica annua

Giorni senza gelo, con gelo e di gelo e cicli di gelo/disgelo

Il numero mensile e annuo dei giorni senza gelo ( $T_{min} > 0$  °C), quello dei giorni con gelo ( $T_{min} \leq 0$  °C) e di gelo ( $T_{max} \leq 0$  °C) può essere considerato un buon indicatore della distribuzione della temperatura dell'aria rispetto allo zero. A Goillet Diga i giorni senza gelo sono stati assenti nei mesi da Dicembre ad Aprile, mentre la loro frequenza più elevata si è verificata in Agosto. Nel complesso, rispetto all'anno precedente, si è verificata una diminuzione di 29 giorni senza gelo, un aumento di 14 e di 15 giorni rispettivamente di quelli con gelo e di gelo. A Serrù Diga i giorni senza gelo sono stati assenti in Dicembre e in Gennaio, segnando

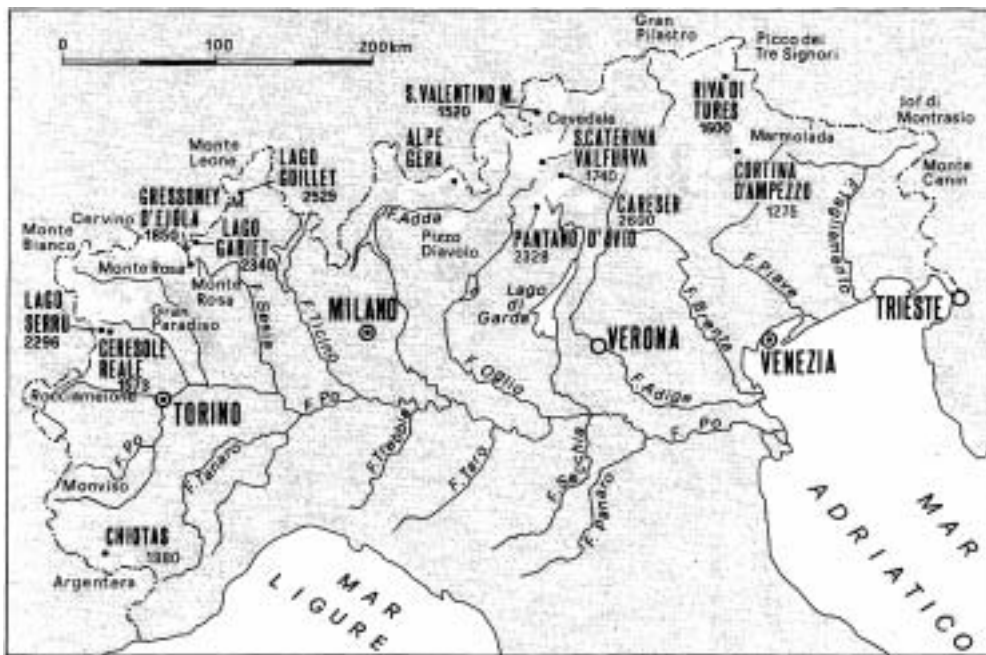


FIG. 1 - Distribuzione geografica delle stazioni meteorologiche. Locations of meteorological stations.

una diminuzione di 24 giorni rispetto all'anno precedente; quelli con gelo sono aumentati di 8 unità e quelli di gelo di 16 unità. A S. Caterina Valfurva i giorni senza gelo sono passati dai 121 dell'anno precedente ai 126 dell'anno in studio, con un aumento di 5 unità; quelli con gelo sono diminuiti di 12 unità e quelli di gelo hanno avuto un incremento di 7 unità. Il numero dei cicli di gelo/disgelo è aumentato a Goillet Diga e a Serrù Diga rispettivamente di 27 e di 16 unità, mentre si è ridotto di 11 unità a S. Caterina Valfurva (tab. 3).

TABELLA 3 - Regime mensile dei giorni senza gelo e con gelo. Numero di cicli di gelo/disgelo

Stazioni		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno
Chiotas Diga	N° dd. senza gelo	13	3	1	6	5	5	18	29	31	30	31	29	173
	N° dd. con gelo	8	21	13	13	12	19	12	1	0	1	0	1	113
	N° cicli gelo/disgelo	16	42	25	25	24	39	24	2	0	2	0	2	226
Goillet Diga	N° dd. senza gelo	7	1	0	0	0	0	0	5	23	25	30	25	116
	N° dd. con gelo	12	15	5	0	11	12	21	23	7	6	1	5	118
	N° cicli gelo/disgelo	23	30	10	0	22	25	42	46	14	12	2	10	236
Serrù Diga	N° dd. senza gelo	8	3	0	0	3	1	2	11	29	31	31	28	147
	N° dd. con gelo	12	19	6	5	13	12	21	15	1	0	0	2	106
	N° cicli gelo/disgelo	23	38	12	11	25	25	41	31	2	0	0	4	212
S. Caterina Val.	N° dd. senza gelo	4	0	0	0	0	0	3	7	29	28	30	25	126
	N° dd. con gelo	22	23	8	2	15	19	26	24	1	3	1	5	149
	N° cicli gelo/disgelo	44	45	16	5	29	39	52	48	2	6	2	10	298
Caresèr Diga	N° dd. senza gelo	-	-	0	0	1	1	1	4	21	27	30	24	-
	N° dd. con gelo	-	-	10	3	10	12	21	26	8	4	1	6	-
	N° cicli gelo/disgelo	-	-	20	7	19	25	43	52	16	8	2	12	-

#### Distribuzione delle temperature massime diurne

Data la dipendenza tra i massimi termici e l'ablazione glaciale sono state analizzate le frequenze mensili e annue delle tempe-

rature massime diurne, distribuite nelle seguenti cinque classi di intensità: I<sup>a</sup> ⇒ 0° ≤ T<sub>max</sub> < 5°; II<sup>a</sup> ⇒ 5° ≤ T<sub>max</sub> < 10°; III<sup>a</sup> ⇒ 10° ≤ T<sub>max</sub> < 15°; IV<sup>a</sup> ⇒ 15° ≤ T<sub>max</sub> < 20°; V<sup>a</sup> ⇒ 20° ≤ T<sub>max</sub> (fig. 3). A Chiotas Diga è stato registrato un solo giorno con temperatura massima diurna maggiore di 20°, rispetto ai 7 giorni dell'anno precedente e 41 giorni con la massima compresa tra 15° e 20 °C, contro i 58 nell'anno precedente. A Goillet Diga i giorni con T<sub>max</sub> > 20 °C sono stati assenti, contro i 6 nell'anno precedente; 74 giorni sono rientrati nella terza classe e 15 nella quarta, contro rispettivamente 44 giorni e 54 giorni nell'anno precedente. A Serrù Diga è stata osservata la frequenza di 74 giorni nella terza classe, 31 nella quarta e zero nella quinta, rispetto ai 43, 57 e 15 giorni verificatisi nell'anno precedente. A S. Caterina Valfurva le temperature massime diurne ricadenti nella terza classe hanno avuto la frequenza di 63 giorni, con un aumento sull'anno precedente di 21 unità, quelle della quarta in 58, in aumento di 6 giorni e quelle della quinta in 30, con una diminuzione di 26 unità. Nel complesso, rispetto all'anno idrologico precedente, si è verificato un netto spostamento delle frequenze nelle classi di temperatura più basse.

#### Gradi-giorno

Una grandezza «sostitutiva» della quantità di energia a disposizione dell'ablazione, quando non siano disponibili i valori della radiazione netta assorbita dalla superficie glaciale, può essere costituita dai *gradi-giorno*, che esprime, in un determinato intervallo di tempo, la sommatoria degli scostamenti positivi tra una temperatura di riferimento scelta arbitrariamente (T<sub>a</sub>/T<sub>b</sub>) e le massime (T<sub>max</sub>) e minime (T<sub>min</sub>) diurne. Considerata la particolare finalità applicativa di questa analisi, il computo dei *gradi-giorno* è stato sviluppato rispetto ai valori di riferimento di 0 °C per le minime e 10 °C per le massime diurne (tab. 4):

$$\begin{aligned} \text{gradi-giorno} &= \sum (T_{\text{max}} - T_a) \quad \text{per } T_{\text{max}} > T_a \Rightarrow 10^\circ\text{C} \\ \text{gradi-giorno} &= \sum (T_{\text{min}} - T_b) \quad \text{per } T_{\text{min}} > T_b \Rightarrow 0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

TABELLA 4 - Regime mensile e valore annuo dei *gradi-giorno* delle temperature minime ( $\Sigma_{(t)} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e massime giornaliere ( $\Sigma_{(t)} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Stazioni		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno
Chiotas Diga	$\Sigma T_{min}$	58	12	4	4	25	13	10	59	219	282	296	198	1180
	$\Sigma T_{max}$	13	0	0	0	4	2	0	9	100	147	171	90	536
Goillet Diga	$\Sigma T_{min}$	22	1	0	0	0	0	0	8	92	132	152	93	500
	$\Sigma T_{max}$	3	0	0	0	0	0	0	6	79	97	83	48	316
Serrù Diga	$\Sigma T_{min}$	33	7	0	0	7	1	2	29	145	217	244	167	852
	$\Sigma T_{max}$	7	0	0	0	0	1	1	7	82	122	131	76	427
S. Caterina Val.	$\Sigma T_{min}$	11	0	0	0	0	0	5	10	116	177	214	134	667
	$\Sigma T_{max}$	11	1	0	0	0	13	15	81	219	299	266	150	1055
Caresèr Diga	$\Sigma T_{min}$	-	-	0	0	1.7	0.9	0	3.7	73.5	132	153	80.7	-
	$\Sigma T_{max}$	-	-	0	0	0.7	2.6	1	45.8	80.3	69.7	39.7	-	-

A Chiotas Diga il regime mensile dei *gradi-giorno* per la  $\Sigma_{(t)} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e per la  $\Sigma_{(t)} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ha raggiunto il valore massimo assoluto in Agosto, rispettivamente con 296 e 171 gradi, con un decremento rispetto all'anno precedente di 81 e 59 unità; tali valori sono molto vicini a quelli medi del periodo 1980-2004, risultati di 278 e di 167 gradi. In Estate sono stati registrati 797 ( $\Sigma_{(t)} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e 418 gradi ( $\Sigma_{(t)} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), che rappresentano il 67.5 e l'82.0% dei rispettivi totali annui. Anche a Goillet Diga i valori massimi mensili ( $\Sigma_{(t)} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\Sigma_{(t)} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) si sono verificati in Agosto, rispettivamente con 152 e 83 *gradi-giorno*, con un decremento di 95 e di 118 unità rispetto al 2003. Nell'Estate i *gradi-giorno* hanno raggiunto 500 ( $\Sigma_{(t)} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e 316 unità ( $\Sigma_{(t)} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), che rappresentano il 75.2 e l'82.0% dei rispettivi totali annui (fig. 4a, b; 5a, b).

#### Temperature minime e massime assolute

Le temperature diurne minime e massime assolute hanno avuto la massima frequenza rispettivamente in Gennaio e in Agosto, con qualche eccezione che ha riguardato, ad esempio, Serrù Diga e Caresèr Diga. I giorni di gelo più tardivi si sono verificati il 6, il 7 e l'11 Maggio, rispettivamente a Chiotas Diga, Goillet Diga e Serrù Diga, mentre a S. Caterina Valfurva il 7 Aprile e a Riva di Tures il 26 Marzo.

Il numero di mesi durante i quali sono state registrate minime assolute negative è sensibilmente aumentato rispetto all'anno precedente: 10 mesi contro 6 a Chiotas Diga; 12 mesi contro 10 a Goillet Diga e a S. Caterina Valfurva (tab. 5).

TABELLA 5 - Campo di variazione delle temperature giornaliere ( $^{\circ}\text{C}$ )

Stazioni		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno
Chiotas Diga	Tmin	-7.0	-8.0	-13.0	-12.0	-12.0	-13.0	-8.0	-5.0	0.0	3.0	<b>6.0</b>	0.0	-13.0
	Tmax	13.0	10.0	8.0	7.0	12.0	12.0	10.0	13.0	20.0	<b>22.0</b>	19.0	19.0	22.0
Goillet Diga	Tmin	-12.0	-10.0	-18.0	-19.0	-19.0	-18.0	-14.0	-10.0	-1.0	-2.0	<b>0.0</b>	-4.0	-19.0
	Tmax	12.0	8.0	5.0	0.0	7.0	9.0	10.0	13.0	<b>19.0</b>	18.0	18.0	16.0	19.0
Serrù Diga	Tmin	-9.0	-8.0	-15.0	-17.0	-17.0	-18.0	-11.0	-7.0	0.0	1.0	<b>2.0</b>	-1.0	-18.0
	Tmax	13.0	9.0	4.0	2.0	9.0	11.0	11.0	13.0	18.0	19.0	<b>20.0</b>	19.0	20.0
Pantano d'Avio	Tmin	-13.0	-10.0	-16.0	-24.0	-23.0	-16.0	-12.0	-7.0	0.0	0.0	<b>2.0</b>	-3.0	-24.0
	Tmax	14.0	11.0	7.0	-3.0	1.0	17.0	16.3	16.0	19.0	20.0	<b>22.0</b>	19.0	22.0
S. Caterina Val.	Tmin	-15.0	-12.0	-20.0	-23.0	-22.0	-20.0	-9.0	-5.0	-1.0	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	-3.0	-23.0
	Tmax	14.0	11.0	7.0	4.0	10.0	14.0	15.0	19.0	24.0	24.0	<b>25.0</b>	22.0	25.0
Caresèr Diga	Tmin	-	-	-21.1	-19.8	-19.3	-20.2	-13.7	-9.6	-2.1	-1.6	<b>0.0</b>	-4.4	[-20.2]
	Tmax	-	-	5.0	3.0	8.1	10.7	12.6	10.8	16.2	<b>17.5</b>	17.0	14.8	[17.5]

#### Tendenze termiche

A Goillet Diga, ad esempio, le temperature medie stagionali hanno segnato una netta inversione di tendenza rispetto agli anni precedenti, ed in particolare rispetto a quelle osservate nel periodo 2002-2003. Risulta infatti che le temperature medie dell'Inver-

no siano state le più basse dal 1993-1994; quelle della Primavera e dell'Estate dal 1983-1984 e quelle dell'Autunno dal 1988-1989, pur nel quadro di una tendenza generale all'aumento osservata negli ultimi venticinque anni (fig. 9).

#### PRECIPITAZIONI TOTALI

Le precipitazioni totali annue sono risultate dello stesso ordine di quelle nell'anno precedente e, specialmente nel settore occidentale della catena alpina, nettamente inferiori a quelle nell'anno idrologico 2000-2001, che peraltro è stato uno dei più piovosi degli ultimi due decenni. Il regime pluviometrico mensile si è caratterizzato per una elevata piovosità nei mesi del tardo Autunno e in Dicembre, quando sono stati raggiunti 200.0 mm a Surrù Diga e 209.2 mm a Pantano d'Avio Diga. Nel settore centro-orientale dell'arco alpino, pur nel quadro di una distribuzione mensile relativamente omogenea degli afflussi, la massima siccità meteorologica si è verificata nei mesi primaverili (tab. 6; fig. 6).

TABELLA 6 - Precipitazioni totali mensili e annue (mm)

Stazioni	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno
Chiotas Diga	102.0	<b>193.0</b>	140.0	30.0	110.0	29.6	85.2	99.6	53.0	57.1	57.4	55.0	1012.0
Ceresole Diga	57.6	110.8	<b>147.0</b>	92.8	68.0	16.4	109.6	70.9	13.8	75.4	102.0	13.0	877.3
Serrù Diga	73.2	142.0	<b>200.0</b>	145.2	142.0	23.6	138.4	136.7	52.8	108.4	102.0	26.4	1290.7
Gressoney D'Ejola	66.8	<b>145.1</b>	118.4	83.6	75.3	18.0	151.0	115.9	27.1	86.5	139.6	15.4	1042.7
Alpe Gera Diga	93.7	<b>136.9</b>	55.6	12.2	48.0	5.6	54.5	107.0	65.5	120.0	85.6	37.4	822.0
Pantano d'Avio D.	<b>209.2</b>	176.6	21.1	0.0	2.2	11.0	44.0	88.0	91.0	33.0	0.0	31.0	707.1
S. Caterina Valf.	89.6	106.0	38.8	36.4	26.4	34.5	20.4	48.0	59.2	<b>151.6</b>	84.0	49.0	743.9
S. Valentino alla M.	76.4	61.8	31.2	45.2	19.0	9.4	16.8	28.6	42.2	<b>96.6</b>	75.8	48.0	551.0
Caresèr Diga	-	-	48.4	21.6	59.2	46.0	73.8	73.0	46.2	82.2	36.4	37.4	-
Riva di Tures	<b>140.2</b>	78.4	31.6	55.0	27.6	15.6	36.2	80.8	107.2	98.2	51.0	56.0	777.8

Nel settore occidentale le stagioni più piovose sono state l'Autunno e l'Inverno, mentre si è verificata una sostanziale uniformità delle precipitazioni in Primavera e in Estate; nel settore centrale e orientale i massimi pluviometrici hanno invece interessato l'Estate e l'Autunno (tab. 7).

TABELLA 7 - Regimi pluviometrici stagionali

Stazioni	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Regime				
Chiotas Diga	339.2	33.9%	280.0	28.0%	214.4	21.4%	167.5	16.7%	AIPE
Ceresole R. Diga	252.9	26.7%	307.8	32.3%	196.9	20.8%	191.2	20.2%	IAPE
Alpe Gera Diga	255.1	31.5%	115.8	14.3%	167.1	20.7%	271.1	33.5%	EAPI
S. Caterina Valfurva	217.2	30.3%	101.6	12.6%	102.9	14.4%	294.8	41.1%	EAPI
S. Valentino M.	148.2	28.9%	95.4	18.6%	54.8	10.7%	214.6	41.8%	EAPI
Riva di Tures	257.0	33.8%	114.2	15.1%	132.6	17.4%	256.4	33.7%	AEPI

#### INNEVAMENTO

L'anno idrologico si è caratterizzato per accumuli di neve al suolo superiori a quelli misurati nell'anno precedente: a Chiotas Diga l'accumulo annuo è stato di 746 cm, con un incremento del 31% rispetto all'anno idrologico precedente e del 25% rispetto alla media del periodo 1979-2004; a Riva di Tures l'accumulo è stato di 177 cm, con un incremento del 54% rispetto all'anno precedente ma con un decremento del 18% rispetto alla media del periodo (1981-2004). Le nevicate più abbondanti si sono verificate in Novembre e in Dicembre, come a Chiotas Diga, Gressoney D'Ejola, Serrù Diga (tab. 8; fig. 7).



TABELLA 8 - Altezza mensile e annua di neve caduta (cm)

Stazioni	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	S	Anno
Chiotas Diga	44	<b>218</b>	119	67	100	48	102	48	0	0	0	746
Ceresole Reale Diga	22	84	<b>105</b>	49	105	35	88	5	0	0	0	493
Serrù Diga	48	120	<b>140</b>	100	110	35	130	40	0	0	0	723
Pantano d'Avio Diga	70	141	-	-	-	-	-	-	5	5	8	-
Gressoney D'Ejola	33	<b>126</b>	60	79	65	20	125	50	0	0	0	558
Alpe Gera Diga	42	<b>105</b>	84	16	56	49	52	35	0	0	0	439
S. Valentino alla Muta	10	0	-	58	15	10	8	1	0	0	0	-
Riva di Tures	0	0	<b>68</b>	50	31	18	9	0	0	0	0	176

In tutto l'arco alpino le prime nevicate si sono verificate in Ottobre, conseguenti alle intense instabilità atmosferiche autunnali generate dal contrasto tra masse di aria polare e mediterranea; le ultime nevicate tra il 20 Aprile a Ceresole Reale Diga e l'8 Maggio a Chiotas Diga. Nelle stazioni considerate il suolo è rimasto sotto la copertura nevosa generalmente dalla metà di Ottobre fino a Maggio, ad eccezione di quanto osservato a Goillet Diga (2529 m s.l.m.m.) dove la neve ha resistito fino al 14 Giugno (tab 9).

TABELLA 9 - Nevicate precoci e tardive e durata della copertura nevosa al suolo

Stazioni	prima nevicata	ultima nevicata	durata manto nevoso	n° giorni
Chiotas Diga	16 Ottobre	8 Maggio	23 Ottobre/26 Maggio	215
Goillet Diga	7 Ottobre	5 Maggio	19 Ottobre/14 Giugno	238
Ceresole Reale Diga	20 Ottobre	20 Aprile	20 Ottobre/5 Maggio	197
Gressoney D'Ejola	20 Ottobre	5 Maggio	12 Ottobre/15 Maggio	215
Alpe Gera Diga	5 Ottobre	7 Maggio	20 Ottobre/18 Maggio	218

La distribuzione stagionale dell'altezza di neve caduta, ad eccezione di quanto osservato a Serrù Diga, dove la nevosità più elevata ha interessato l'Inverno, mostra un notevole bilanciamento, con valori dell'innnevamento in Primavera di poco inferiori a quelli nell'Autunno e nell'Inverno (tab. 10).

TABELLA 10 - Regimi stagionali dell'altezza di neve caduta (cm)

Stazioni	Autunno		Inverno		Primavera	
Chiotas Diga	262	35.1%	286	38.3%	198	26.5%
Serrù Diga	171	23.6%	350	48.2%	205	28.2%
Alpe Gera Diga	147	33.5%	156	35.5%	136	31.0%
Riva di Tures	0	0.0%	149	84.7%	27	15.3%

### Tendenze nivometriche

Nel corso degli ultimi anni lo spessore della neve caduta a Chiotas Diga mostra qualche sensibile incremento. Il valore registrato nell'anno idrologico in studio, pari a 746 cm, è infatti il più elevato dal 1995-1996 e, in ordine decrescente, rappresenta il settimo valore negli ultimi venticinque anni (fig. 8).

### CONCLUSIONI

L'anno idrologico inizia con il mese di Ottobre che presenta una forte variabilità meteorologica e temperature molto inferiori alle medie di periodo a causa di ripetuti afflussi di aria di origine polare, che sulle parti più elevate dell'arco alpino determinano la caduta della prima neve. Anche Novembre e Dicembre si sono caratterizzati per una persistente variabilità meteorologica, dovuta all'influsso di ripetute perturbazioni mediterranee, accompagnate da

abbondanti piogge e da nevicate. In Gennaio e nella prima metà di Febbraio frequenti perturbazioni da nord-ovest hanno determinato precipitazioni di poco inferiori a quelle osservate nei mesi precedenti, mentre la seconda metà di Febbraio è stata segnata dalla discesa di masse di aria polare fino al Mediterraneo, con piogge diffuse alle quote basse e nevicate nelle parti più elevate del rilievo. La variabilità meteorologica ha riguardato anche i mesi della Primavera, per il succedersi di depressioni atlantiche di media intensità, che si sono protratte fino alle soglie dell'Estate, determinando alternanze di periodi freddi e caldi. In particolare fino alla prima decade di Maggio, a differenza di quanto occorso nel 2003, risultato soleggiato e straordinariamente caldo, si sono verificate discese di aria polare che hanno provocato afflussi di neve, particolarmente abbondanti nel settore occidentale della catena. Tale situazione meteorologica ha interessato, sia pure in modo attenuato, anche l'Estate, poiché l'anticiclone tropicale e quello africano, relativamente deboli e poco strutturati, hanno offerto protezione contro le infiltrazioni di aria fresca di origine polare solo per periodi relativamente brevi. La prima decade di Settembre infine è stata relativamente calda, con fasi di tempo estivo e con precipitazioni moderate.

Nel complesso l'anno idrologico in osservazione si è caratterizzato per una forte variabilità meteorologica, anche nei mesi estivi, a differenza di quanto occorso negli ultimi anni, quando l'azione congiunta dell'anticiclone atlantico e di quello africano ha determinato sull'arco alpino un campo di alte pressioni accompagnato da condizioni di tempo stabile e soleggiato.

Nel quadro delle tendenze termiche riscontrate a Goillet Diga - stazione tra le più significative per altitudine e posizione geografica - caratterizzate negli ultimi trentacinque anni da una sostanziale stabilità in Autunno e da incrementi valutabili in 0.4 °C/10 anni in Inverno, 0.6 °C/10 anni in Estate, fino a 1.0 °C/10 anni in Primavera, i valori termici nell'Estate 2004 indicano una loro netta flessione rispetto a quelli osservati nell'Estate 2003. È del resto noto che in Italia e in gran parte dell'Europa occidentale le temperature estive del 2003, per durata e per intensità, hanno raggiunto i valori più elevati mai registrati. L'entità della flessione delle temperature stagionali nell'anno idrologico in studio è indicata dal loro confronto con quelle dell'ultimo trentennio, se si considera che quelle dell'Inverno sono state le più basse dal 1993, quelle della Primavera e dell'Estate dal 1983 e quelle dell'Autunno dal 1988.

Nella stazione di Chiotas Diga, assunta a indicazione delle tendenze nivometriche, l'andamento interannuale dell'altezza del manto nevoso nel periodo 1979-2004 mostra un sensibile decremento; dal 1989 si osserva tuttavia un debole trend positivo, stimabile in circa 7 cm/anno. In questo quadro lo spessore di 746 cm registrato nell'anno idrologico in studio rappresenta dal 1979 il settimo valore in ordine decrescente, dopo il massimo assoluto di 881 cm osservati nell'anno 1983-1984.

*The analysis of meteorological conditions on the Italian side of the Alps during the hydrological year 2002-2003 was based on data from some stations significant from the point of view of altitude and location (see tab. 1, fig. 1). Meteorological parameters were air temperature, total precipitation and snowfall. In some stations, the meteorological features of the current hydrological year were compared with those of previous years<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Unpublished data kindly supplied by ENEL Produzione of Cuneo, Compagnia Valdostana delle Acque, Electricity Boards of Turin and Milan, W. Monterin (station of Gressoney D'Ejola), ENEL Departments of Turin, Milan and Venice, Centro Nivometeorologico of Bormio, ex-Uffici Idrografici of the Provinces of Trento, Bolzano and Venice, and Centro Meteorologico of Teolo.

TABLE 1 - Locations and altitudes of meteorological stations

Sector	Station	Altitude (m a.s.l.)	Valley or mountain system
Western Alps	Chiotas Diga	1980	Valle del Gesso
	Goillet Lago	2529	Valtournenche
	Ceresole Reale Lago	1573	Val Locana
	Serrù Lago	2296	Val Locana
	Gressoney D'Ejola	1850	Valle di Gressoney
Central Alps	Alpe Gera Diga	2090	Valmalenco
	Pantano d'Avio Lago	2328	Valcamonica
	S. Caterina Valfurva	1740	Valfurva
	Caresèr Diga	2600	Ortles-Cevedale
	S. Valentino alla Muta	1520	Val Venosta
Eastern Alps	Riva di Tures	1600	Pustertal Alps
	Cortina d'Ampezzo	1275	Eastern Dolomites

Air temperatures

In all sectors of the Alpine chain the month of October was considerably colder than the mean of the last thirty-five years, with negative deviations which reached 3.3 °C at Goillet Diga and 4.8 °C at Riva di Tures. However, the standard deviations in the winter and spring months were not so significant, with the exception of May, which was considerably colder than the mean for the period and much colder compared to the previous year. Summer temperatures were essentially in line with mean values but considerably lower than the previous summer, during which there had been the highest values ever recorded.

The minimum day temperatures and lowest monthly means, with few exceptions, were in January whilst the highest were in August (tab. 2, 5; fig. 2).

TABLE 2 - Monthly and annual mean temperatures. Annual range (°C)

Station		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Year	A
Chiotas Diga	min	-0.5	-2.0	-5.1	-5.6	-3.4	-5.9	-2.2	1.1	7.3	9.1	<b>9.5</b>	6.6	0.7	15.4
	max	4.7	3.9	0.2	0.4	3.1	1.5	4.0	6.0	12.8	14.6	<b>15.5</b>	12.5	6.6	15.3
	med	2.1	1.0	-2.5	-2.6	-0.2	-2.2	0.9	3.6	10.1	11.9	<b>12.5</b>	9.6	3.7	15.3
Goillet Diga	min	-4.3	-4.4	-9.4	-10.5	-9.0	-9.6	-7.2	-3.2	3.0	4.1	<b>4.9</b>	2.7	-3.6	15.4
	max	2.5	1.4	-2.7	-4.4	-1.8	-1.4	2.1	6.1	11.6	<b>12.8</b>	12.4	10.4	4.1	17.2
	med	-0.9	-1.5	-6.0	-7.4	-5.4	-5.5	-2.5	1.4	7.3	8.5	<b>8.7</b>	6.6	0.3	16.1
Ceresole Reale D.	min	-0.5	-2.8	-7.4	-9.7	-7.7	-7.8	-2.7	2.1	7.9	9.4	<b>9.6</b>	6.8	-0.2	19.3
	max	6.6	3.7	0.2	-0.6	2.9	2.3	5.9	10.7	16.7	17.2	<b>17.3</b>	15.1	8.2	17.9
	med	3.1	0.5	-3.6	-5.1	-2.4	-2.8	1.6	6.4	12.3	13.3	<b>13.5</b>	11.0	4.0	18.6
Serrù Diga	min	-2.5	-2.9	-7.8	-8.8	-6.6	-8.2	-4.4	-0.6	4.8	7.0	<b>7.9</b>	5.5	-1.4	16.7
	max	3.5	2.7	-1.8	-3.4	0.9	-0.2	3.8	6.6	12.0	13.6	<b>14.0</b>	12.0	5.3	17.4
	med	0.5	-0.1	-4.8	-6.1	-2.8	-4.2	-0.3	3.0	8.4	10.3	<b>11.0</b>	8.8	2.0	17.1
Gressoney D'Ejola	min	-1.2	-2.2	-5.7	-7.7	-6.2	-6.0	-2.1	1.0	5.9	7.3	<b>8.1</b>	6.0	-0.2	15.8
	max	6.5	3.8	-0.3	-0.9	1.8	2.5	6.0	11.4	18.3	<b>18.6</b>	17.9	16.2	8.5	19.5
	med	2.7	0.8	-3.0	-4.3	-2.2	-1.8	2.0	6.2	12.1	<b>13.0</b>	13.0	11.1	4.1	17.6
Alpe Gera Diga	min	-2.8	-3.2	-7.0	-10.5	-7.7	-8.5	-4.4	-1.4	4.4	6.4	<b>6.9</b>	4.6	-1.9	17.4
	max	5.1	4.0	0.5	-3.0	1.0	0.9	4.2	8.1	13.4	14.8	<b>15.0</b>	12.5	6.4	18.0
	med	1.1	0.4	-3.2	-6.7	-3.4	-3.8	-0.1	3.4	8.9	10.6	<b>10.9</b>	8.6	2.2	17.6
Pantano d'Avio D.	min	-3.5	-3.7	-7.6	-12.1	-8.1	-4.8	-2.1	-0.5	3.6	6.0	<b>6.6</b>	3.5	-1.9	18.7
	max	4.2	2.9	-0.8	-9.5	-6.4	-2.8	-0.8	7.7	12.4	14.2	<b>14.5</b>	12.3	4.0	24.0
	med	0.4	-0.4	-4.2	-10.8	-7.3	-3.8	-1.5	3.6	8.0	10.1	<b>10.5</b>	7.9	1.0	21.3
S. Caterina Valfur.	min	-4.6	-6.4	-10.5	-14.2	-12.3	-9.0	-3.2	-1.1	3.8	5.7	<b>6.9</b>	4.2	-3.4	21.1
	max	5.1	2.9	-1.1	-2.6	0.8	3.3	7.4	11.5	17.2	<b>19.6</b>	18.6	14.9	8.1	22.6
	med	0.2	-1.8	-5.8	-8.4	-5.8	-2.9	2.1	5.2	10.5	<b>12.7</b>	12.7	9.6	2.4	21.1
S. Valentino alla M.	min	-0.8	-5.4	-5.4	-10.0	-8.3	-5.1	0.0	2.7	6.9	8.6	<b>9.2</b>	6.3	-0.1	19.2
	max	7.2	5.8	1.1	-2.2	1.3	3.8	9.3	12.9	18.5	<b>19.0</b>	18.9	15.9	9.3	21.2
	med	3.2	0.2	-2.2	-6.1	-3.5	-0.7	4.6	7.8	12.7	13.8	<b>14.0</b>	11.1	4.6	20.1
Caresèr Diga	min	-	-	-9.3	-12.2	-9.4	-9.8	-6.9	-3.9	2.2	4.1	<b>4.9</b>	2.2	-	17.1
	max	-	-	-1.9	-5.3	-1.6	-1.3	2.5	5.4	9.8	<b>12.1</b>	11.9	9.6	-	17.4
	med	-	-	-5.6	-8.8	-5.5	-5.6	-2.2	0.8	6.0	8.1	<b>8.4</b>	5.9	-	17.2
Riva di Tures	min	-4.0	-4.1	-8.2	-12.6	-9.7	-7.7	-1.5	0.1	3.5	6.2	<b>7.2</b>	3.3	-2.3	19.8
	max	5.2	1.9	-1.9	-4.1	0.6	4.0	8.1	11.3	17.0	18.8	<b>18.9</b>	15.4	7.9	23.0
	med	0.6	-1.1	-5.0	-8.3	-4.6	-1.8	3.3	5.7	10.3	12.5	<b>13.0</b>	9.4	2.8	21.3
Cortina d'Ampezzo	min	0.0	-0.7	-4.1	-8.1	-5.1	-3.6	1.1	2.6	7.7	8.8	<b>10.2</b>	6.8	1.3	18.3
	max	8.3	7.3	4.0	0.7	4.2	6.4	9.8	13.0	18.8	20.5	<b>21.0</b>	17.4	11.0	20.3
	med	4.2	3.3	0.0	-3.7	-0.4	1.4	5.5	7.8	13.2	14.7	<b>15.6</b>	12.1	6.1	19.3

A: annual temperature range

Also the mean annual temperatures were considerably lower than those usual for the period. At Goillet Diga, for example, the annual mean in the period 1970-2004 was 1.0 °C whilst that of the hydrological year under study was 0.3 °C. This is among the lowest values recorded in the last thirty years; at Riva di Tures the negative deviation from the mean was 1.4 °C.

The annual temperature range, after the exceptionally high values observed in the previous hydrological year, due to the very low February temperatures and the very high temperatures occurring in the June and August 2003, was generally limited and in line with that of the previous years. The maximum value was reached at Riva di Tures (21.3 °C), which in terms of mean values is the most continental station among those in the study.

Days without frost, days with frost, days of frost, and freeze-thaw cycles

The monthly and annual number of days without frost ( $T_{min} > 0$  °C), days with frost ( $T_{min} \leq 0$  °C) and of frost ( $T_{max} \leq 0$  °C) can be considered a good indicator of air temperature distribution with respect to zero. At Goillet Diga there were no days without frost in the months from December to April, whereas their highest frequency was in August. On the whole, compared to the previous year, there was a decrease of 29 days without frost, an increase of 14 and 15 days respectively of those with frost and of frost. At Serrù Diga there were no days without frost in December and January, that is a decrease of 24 days compared to the previous year; those with frost increased by 8 and those of frost by 16 days. At S. Caterina Valfurva the days without frost went from 121 of the previous year to 126 of the year being studied, with an increase of 5 days; those with frost decreased by 12 and the days of frost saw an increase of 7. The number of freeze-thaw cycles increased at Goillet Diga and at Serrù Diga respectively by 27 and 16 days, whereas they decreased by 11 days at S. Caterina Valfurva (tab. 3).

TABLE 3 - Monthly regime of days without frost and days with frost. Number of freeze-thaw cycles

Station		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Year
Chiotas Diga	N° days w/o frost	13	3	1	6	5	5	18	29	31	30	31	29	173
	N° days with frost	8	21	13	13	12	19	12	1	0	1	0	1	113
	N° f/t cycles	16	42	25	25	24	39	24	2	0	2	0	2	226
Goillet Diga	N° days w/o frost	7	1	0	0	0	0	0	5	23	25	30	25	116
	N° days with frost	12	15	5	0	11	12	21	23	7	6	1	5	118
	N° f/t cycles	23	30	10	0	22	25	42	46	14	12	2	10	236
Serrù Diga	N° days w/o frost	8	3	0	0	3	1	2	11	29	31	31	28	147
	N° days with frost	12	19	6	5	13	12	21	15	1	0	0	2	106
	N° f/t cycles	23	38	12	11	25	25	41	31	2	0	0	4	212
S. Caterina Val.	N° days w/o frost	4	0	0	0	0	0	3	7	29	28	30	25	126
	N° days with frost	22	23	8	2	15	19	26	24	1	3	1	5	149
	N° f/t cycles	44	45	16	5	29	39	52	48	2	6	2	10	298
Caresèr Diga	N° days w/o frost	-	-	0	0	1	1	1	4	21	27	30	24	-
	N° days with frost	-	-	10	3	10	12	21	26	8	4	1	6	-
	N° f/t cycles	-	-	20	7	19	25	43	52	16	8	2	12	-

## Distribution of maximum daytime temperatures

Given the relationship between maximum temperatures and glacial ablation, we analysed the monthly and annual frequencies of maximum daytime temperatures, distributed in the following five classes of intensity: 1<sup>st</sup>  $\Rightarrow 0^\circ \leq T_{max} < 5^\circ$ ; 2<sup>nd</sup>  $\Rightarrow 5^\circ \leq T_{max} < 10^\circ$ ; 3<sup>rd</sup>  $\Rightarrow 10^\circ \leq T_{max} < 15^\circ$ ; 4<sup>th</sup>  $\Rightarrow 15^\circ \leq T_{max} < 20^\circ$ ; 5<sup>th</sup>  $\Rightarrow 20^\circ \leq T_{max}$  (fig. 3). At Chiotas Diga only one day was recorded with a maximum daytime temperature greater than 20°, compared to the 7 days of the previous year, and 41 days with a maximum of between 15° and 20 °C, against the 58 of the previous year. At Goillet Diga there were no days with  $T_{max} > 20^\circ\text{C}$ , compared to the 6 of the previous year; there were 74 days in the third class and 15 in the fourth, against the respective 44 and 54 days of the previous year. At Serrù Diga there was a frequency of 74 days in the third class, 31 in the fourth and zero in the fifth, compared to the 43, 57 and 15 days of the previous year. At S. Caterina Valfurva the maximum daytime temperatures in the third class had a frequency of 63 days, with an increase over the previous year of 21 days. The days in the fourth class were 58, an increase of 6 and those in the fifth were 30, a decrease of 26 days. On the whole, compared to the previous hydrological year, there was a clear shift in frequencies towards the lower temperature classes.

## Degrees per day

A «substitute» measurement of the amount of energy available to ablation, when values of net radiation absorbed by the glacial surface are not available, can be degrees per day. This expresses, in a specific time interval, the summation of the positive deviations between an arbitrarily chosen reference temperature ( $T_a$  and  $T_b$ ) and the maximum ( $T_{max}$ ) and minimum ( $T_{min}$ ) daytime temperatures. Considering the specific applicative aim of this analysis, the calculation of degrees per day was developed taking into account the reference values of 0°C for the minimum and 10 °C for the maximum daytime values (tab. 4):

$$\text{degrees per day} = \sum (T_{max} - T_a) \text{ for } T_{max} > T_a \Rightarrow 10^\circ\text{C}$$

$$\text{degrees per day} = \sum (T_{min} - T_b) \text{ for } T_{min} > T_b \Rightarrow 0^\circ\text{C}$$

TABLE 4 - Monthly regime and annual values of degrees per day with respect to minimum ( $\Sigma_{(T)} > 0^\circ\text{C}$ ) and maximum daytime temperatures ( $\Sigma_{(T)} > 10^\circ\text{C}$ )

Station		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Year
Chiotas Diga	$\Sigma T_{min}$	58	12	4	4	25	13	10	59	219	282	296	198	1180
	$\Sigma T_{max}$	13	0	0	0	4	2	0	9	100	147	171	90	536
Goillet Diga	$\Sigma T_{min}$	22	1	0	0	0	0	0	8	92	132	152	93	500
	$\Sigma T_{max}$	3	0	0	0	0	0	0	6	79	97	83	48	316
Serrù Diga	$\Sigma T_{min}$	33	7	0	0	7	1	2	29	145	217	244	167	852
	$\Sigma T_{max}$	7	0	0	0	0	1	1	7	82	122	131	76	427
S. Caterina Val.	$\Sigma T_{min}$	11	0	0	0	0	0	5	10	116	177	214	134	667
	$\Sigma T_{max}$	11	1	0	0	0	13	15	81	219	299	266	150	1055
Caresèr Diga	$\Sigma T_{min}$	-	-	0	0	1.7	0.9	0	3.7	73.5	132	153	80.7	-
	$\Sigma T_{max}$	-	-	0	0	0	0.7	2.6	1	45.8	80.3	69.7	39.7	-

At Chiotas Diga the monthly regime of degrees per day for the  $\Sigma_{(T)} > 0^\circ\text{C}$  and for the  $\Sigma_{(T)} > 10^\circ\text{C}$  reached its absolute maximum in August, respectively with 296 and 171 degrees, with a decrease compared to the previous year of 81 and 59 days. These values are very close to the mean values of the period 1980-2004, which were

of 278 and 167 degrees. In summer 797  $\Sigma_{(T)} > 0^\circ\text{C}$  and 418 degrees  $\Sigma_{(T)} > 10^\circ\text{C}$  were recorded, which represent 67.5 and 78.0% of the respective total annual values. Also at Goillet Diga the maximum monthly values ( $\Sigma_{(T)} > 0^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma_{(T)} > 10^\circ\text{C}$ ) were recorded in August, with respectively 152 and 83 degrees per day, with a decrease of 95 and 118 units compared to 2003. In summer the degrees per day reached 500 ( $\Sigma_{(T)} > 0^\circ\text{C}$ ) and 316 units ( $\Sigma_{(T)} > 10^\circ\text{C}$ ), which represent 75.2 and 82.0% of the respective annual totals (fig. 4a, b; 5a, b).

## Extreme temperatures

The absolute minimum and maximum daytime temperatures showed their maximum frequency respectively in January and August, with the odd exception, for example, of Serrù Diga and Caresèr Diga. The latest days of frost were on 6, 7 and 11 May, respectively at Chiotas Diga, Goillet Diga and Serrù Diga, whilst at S. Caterina Valfurva this value was recorded on 7 April and at Riva di Tures on 26 March.

The number of months registering negative absolute minima greatly increased compared to the previous year: 10 months against 6 at Chiotas Diga; 12 months versus 10 at Goillet Diga and S. Caterina Valfurva (tab. 5).

TABLE 5 - Variations in minimum and maximum daytime temperatures (°C)

Station		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Year
Chiotas Diga	$T_{min}$	-7.0	-8.0	-13.0	-12.0	-12.0	-13.0	-8.0	-5.0	0.0	3.0	<b>6.0</b>	0.0	-13.0
	$T_{max}$	13.0	10.0	8.0	7.0	12.0	12.0	10.0	13.0	20.0	<b>22.0</b>	19.0	19.0	22.0
Goillet Diga	$T_{min}$	-12.0	-10.0	-18.0	-19.0	-19.0	-18.0	-14.0	-10.0	-1.0	-2.0	<b>0.0</b>	-4.0	-19.0
	$T_{max}$	12.0	8.0	5.0	0.0	7.0	9.0	10.0	13.0	<b>19.0</b>	18.0	18.0	16.0	19.0
Serrù Diga	$T_{min}$	-9.0	-8.0	-15.0	-17.0	-17.0	-18.0	-11.0	-7.0	0.0	1.0	<b>2.0</b>	-1.0	-18.0
	$T_{max}$	13.0	9.0	4.0	2.0	9.0	11.0	11.0	13.0	18.0	19.0	<b>20.0</b>	19.0	20.0
Pantano d'Avio	$T_{min}$	-13.0	-10.0	-16.0	-24.0	-23.0	-16.0	-12.0	-7.0	0.0	0.0	<b>2.0</b>	-3.0	-24.0
	$T_{max}$	14.0	11.0	7.0	-3.0	1.0	17.0	16.3	16.0	19.0	20.0	<b>22.0</b>	19.0	22.0
S. Caterina Val.	$T_{min}$	-15.0	-12.0	-20.0	-23.0	-22.0	-20.0	-9.0	-5.0	-1.0	<b>0.0</b>	0.0	-3.0	-23.0
	$T_{max}$	14.0	11.0	7.0	4.0	10.0	14.0	15.0	19.0	24.0	24.0	<b>25.0</b>	22.0	25.0
Caresèr Diga	$T_{min}$	-	-	-21.1	-19.8	-19.3	-20.2	-13.7	-9.6	-2.1	-1.6	<b>0.0</b>	-4.4	[-20.2]
	$T_{max}$	-	-	5.0	3.0	8.1	10.7	12.6	10.8	16.2	<b>17.5</b>	17.0	14.8	[17.5]

## Temperature trends

At Goillet Diga the mean seasonal temperatures showed a clear reversal of a trend compared to previous years, and in particular with respect to those values observed in the period 2002-2003. In fact, the mean winter temperatures were the lowest since 1993-1994, those of spring and summer since 1983-1984 and those of autumn since 1988-1989. This is however within the general picture of a rising trend observed in the last twenty-five years (fig. 9).

## TOTAL PRECIPITATION

Total annual precipitation was similar to that of the previous year and, especially in the western sector of the Alpine chain, much lower than that of the hydrological year 2000-2001, which was however one of the rainiest years in the last two decades. The monthly rainfall regime was notable for the high rainfall in the months of late autumn and in December, when 200.0 mm were reached at Surrù Diga and 209.2 mm at Pantano d'Avio Diga. In

the central-eastern sector of the Alpine chain, although within the general context of a relatively homogenous monthly distribution of rainfall, the maximum meteorological aridity was recorded in the spring months (tab. 6; fig. 6).

TABLE 6 - Total monthly and annual precipitation (mm)

Station	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Year
Chiotas Diga	102.0	<b>193.0</b>	140.0	30.0	110.0	29.6	85.2	99.6	53.0	57.1	57.4	55.0	1012.0
Ceresole Diga	57.6	110.8	<b>147.0</b>	92.8	68.0	16.4	109.6	70.9	13.8	75.4	102.0	13.0	877.3
Serrù Diga	73.2	142.0	<b>200.0</b>	145.2	142.0	23.6	138.4	136.7	32.8	108.4	102.0	26.4	1290.7
Gressoney D'Ejola	66.8	<b>145.1</b>	118.4	83.6	75.3	18.0	151.0	115.9	27.1	86.5	139.6	15.4	1042.7
Alpe Gera Diga	93.7	<b>136.9</b>	53.6	12.2	48.0	5.6	54.5	107.0	65.5	120.0	83.6	37.4	822.0
Pantano d'Avio D.	<b>209.2</b>	176.6	21.1	0.0	2.2	11.0	44.0	88.0	91.0	33.0	0.0	31.0	707.1
S. Caterina Valf	89.6	106.0	38.8	36.4	26.4	34.5	20.4	48.0	59.2	<b>151.6</b>	84.0	49.0	743.9
S. Valentino alla M.	76.4	61.8	31.2	45.2	19.0	9.4	16.8	28.6	42.2	<b>96.6</b>	75.8	48.0	551.0
Caresvèr Diga	-	-	48.4	21.6	39.2	46.0	73.8	73.0	46.2	82.2	36.4	37.4	-
Riva di Tures	<b>140.2</b>	78.4	31.6	55.0	27.6	15.6	36.2	80.8	107.2	98.2	51.0	56.0	777.8

In the western sector the rainiest seasons were autumn and winter, whereas there was a general uniformity of precipitation in spring and summer. On the other hand, in the central-eastern sector maximum precipitation values were in summer and autumn (tab. 7).

TABLE 7 - Seasonal precipitation regimes

Station	Autumn	Winter	Spring	Summer	Regime
Chiotas Diga	339.2 33.9%	280.0 28.0%	214.4 21.4%	167.5 16.7%	AIPE
Ceresole R. Diga	252.9 26.7%	307.8 32.3%	196.9 20.8%	191.2 20.2%	IAPE
Alpe Gera Diga	255.1 31.5%	115.8 14.3%	167.1 20.7%	271.1 33.5%	EAPI
S. Caterina Valfurva	2172 30.3%	101.6 12.6%	102.9 14.4%	294.8 41.1%	EAPI
S. Valentino M.	148.2 28.9%	95.4 18.6%	54.8 10.7%	214.6 41.8%	EAPI
Riva di Tures	257.0 33.8%	114.2 15.1%	132.6 17.4%	256.4 33.7%	AEPI

## SNOWFALL

The hydrological year under study had a greater snowfall at ground level than that recorded in the previous year. At Chiotas Diga annual snowfall was 746 cm, with an increase of 31% compared to the previous year and 25% with respect to the mean of the period 1979-2004. Riva di Tures registered a snowfall of 177 cm, an increase of 54% over the previous year, but with a decrease of 18% compared to the mean for the period (1981-2004). The heaviest snowfalls were in November and December, for example at Chiotas Diga, Gressoney D'Ejola and Serrù Diga (tab. 8).

TABLE 8 - Monthly and annual thicknesses of total snowfall (cm)

Station	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	S	Year
Chiotas Diga	44	<b>218</b>	119	67	100	48	102	48	0	0	0	746
Ceresole Reale Diga	22	84	<b>105</b>	49	105	35	88	5	0	0	0	493
Serrù Diga	48	120	<b>140</b>	100	110	35	130	40	0	0	0	723
Pantano d'Avio Diga	70	141	-	-	-	-	-	5	5	8	-	-
Gressoney D'Ejola	33	<b>126</b>	60	79	65	20	125	50	0	0	0	558
Alpe Gera Diga	42	<b>105</b>	84	16	56	49	52	35	0	0	0	439
S. Valentino alla Muta	10	0	-	58	15	10	8	1	0	0	0	-
Riva di Tures	0	0	<b>68</b>	50	31	18	9	0	0	0	0	176

Throughout the Alpine chain the first snowfalls were in October, due to the atmospheric instability generated by the contrast between polar and Mediterranean air masses. The last snowfalls were between 20 April at Ceresole Reale Diga and 8 May at Chiotas Diga. In the weather stations considered, the ground was under snowcover generally from mid-October until May, with the exception of Goillet Diga (2529 m s.l.m.m.), where the snow lasted until 14 June (tab 9).

TABLE 9 - Early and late snowfalls and duration of snowcover

Stations	first snowfall	last snowfall	duration of snowcover	n. days
Chiotas Diga	16 October	8 May	23 October/26 May	215
Goillet Diga	7 October	5 May	19 October/14 June	238
Ceresole Reale Diga	20 October	20 April	20 October/5 May	197
Gressoney D'Ejola	20 October	5 May	12 October/15 May	215
Alpe Gera Diga	5 October	7 May	20 October/18 May	218

The seasonal distribution of snowfall depth is very even, except for that of Serrù Diga where the snowiest period was the winter, with spring snowfall values only slightly lower than those of autumn and winter (tab. 10).

TABLE 10 - Seasonal regimes of snowfall thicknesses (cm)

Station	Autumn	Winter	Spring
Chiotas Diga	262 35.1%	286 38.3%	198 26.5%
Serrù Diga	171 23.6%	350 48.2%	205 28.2%
Alpe Gera Diga	147 33.5%	156 35.5%	136 31.0%
Riva di Tures	0 0.0%	149 84.7%	27 15.3%

## Snowfall trends

Over recent years the depth of snowcover at Chiotas Diga shows a certain increase. In fact, the value of 746 cm recorded during the hydrological year under study is the greatest since 1995-1996 and, in a decreasing order, is the seventh value of the last twenty-five years (fig. 8).

## CONCLUSIONS

The 2003-2004 hydrological year started with the month of October which displayed a great meteorological variability and temperatures much lower than the mean values for the period. This was due to repeated streams of polar air, which on the higher parts of the Alpine chain brought about the first snowfalls. Also November and December were very variable, due to a constant stream of Mediterranean depressions, accompanied by heavy rain and snowfalls. In January and the first half of February frequent depressions from the north-west caused precipitation almost to the same extent as those of the previous months. The second half of February was characterised by a flow of polar air down to the Mediterranean, with widespread rainfall at low altitudes and snow on higher relief. There was also meteorological variability in the spring months, due



to a succession of medium intensity Atlantic depressions, which lasted up until the beginning of summer, causing an alternation of cool and warm periods. In particular up until the first ten days of May, differently from 2003, which was sunny and very warm, there were streams of polar air that caused snowfall that was particularly heavy in the western sector of the Alpine chain. This meteorological situation also influenced the summer, although to a lesser extent, since the tropical and African anticyclones, relatively weak and unstructured, gave protection against the cool infiltration of polar air only for relatively brief periods. Finally, the first ten days of September were quite warm, with phases of summer weather and moderate rainfall.

On the whole, the hydrological year under study was characterised by great meteorological variability, also in the summer months. This was in contrast with the previous recent years, when the combined action of the Atlantic and African anticyclones had created a field of high pressure over the Alpine chain, bringing about conditions of stable, sunny weather.

Taking into account the temperature trends recorded at Goillet Diga – one of the most significant stations in terms of altitude and

geographical position – characterised in the last thirty-five years by substantial stability in autumn and an increase of around 0.4 °C/10 years in winter, 0.6 °C/10 years in summer and as much as 1.0 °C/10 years in spring, the thermic values of summer 2004 show a clear reversal of tendency compared to those of the summer of 2003. It is well known that in Italy and in most of western Europe the summer temperatures of 2003, in terms of duration and intensity, reached values never before recorded. The extent of the reversal of seasonal temperatures of the year under study is underlined by comparison with the last thirty-year period. The winter values were the lowest since 1993, those of spring and summer since 1983 and the autumn values the lowest since 1988.

In the station of Chiotas Diga, taken as an indication of snowfall trends, the interannual tendency in thickness of snowcover from 1979 to 2004 shows a considerable decrease. However, since 1989 there has been a weak positive trend, estimated at about 7 cm/year. Within this context the thickness of 746 cm recorded during the hydrological year in question represents since 1979 the seventh value in a decreasing order, after the absolute maximum of 881 cm recorded in the year 1983-1984.



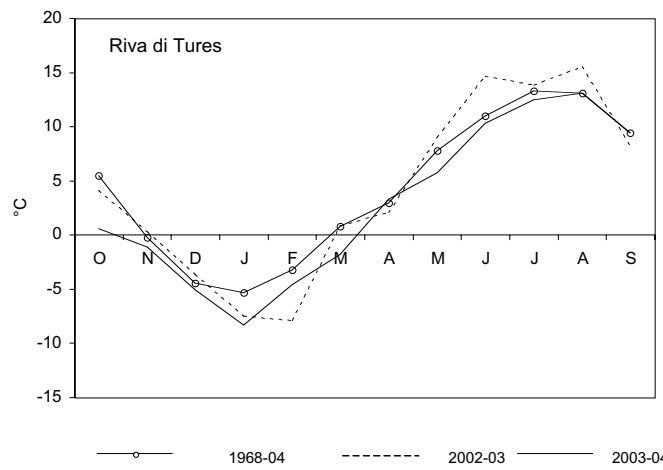
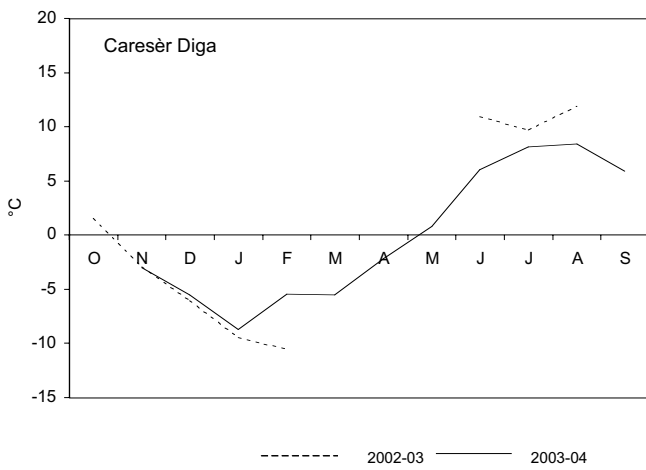
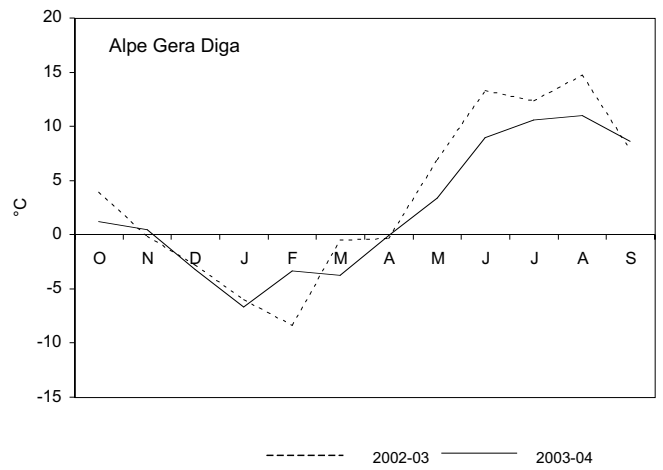
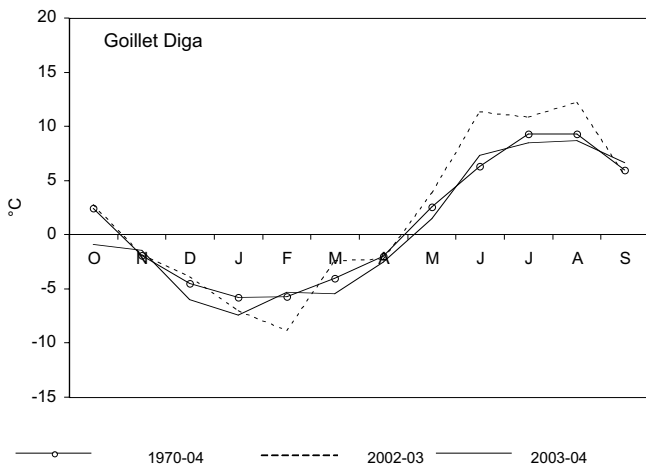
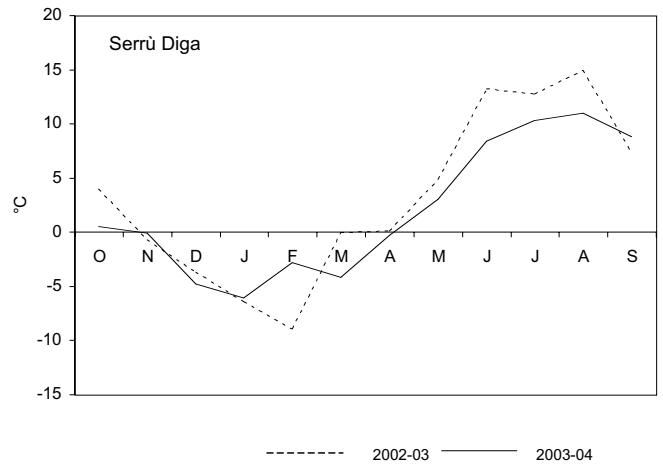
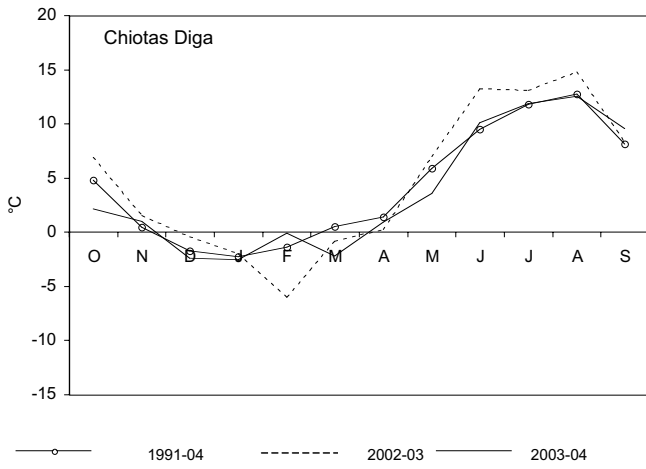


FIG. 2 - Regime mensile della temperatura dell'aria.  
*Monthly regime of air temperature.*

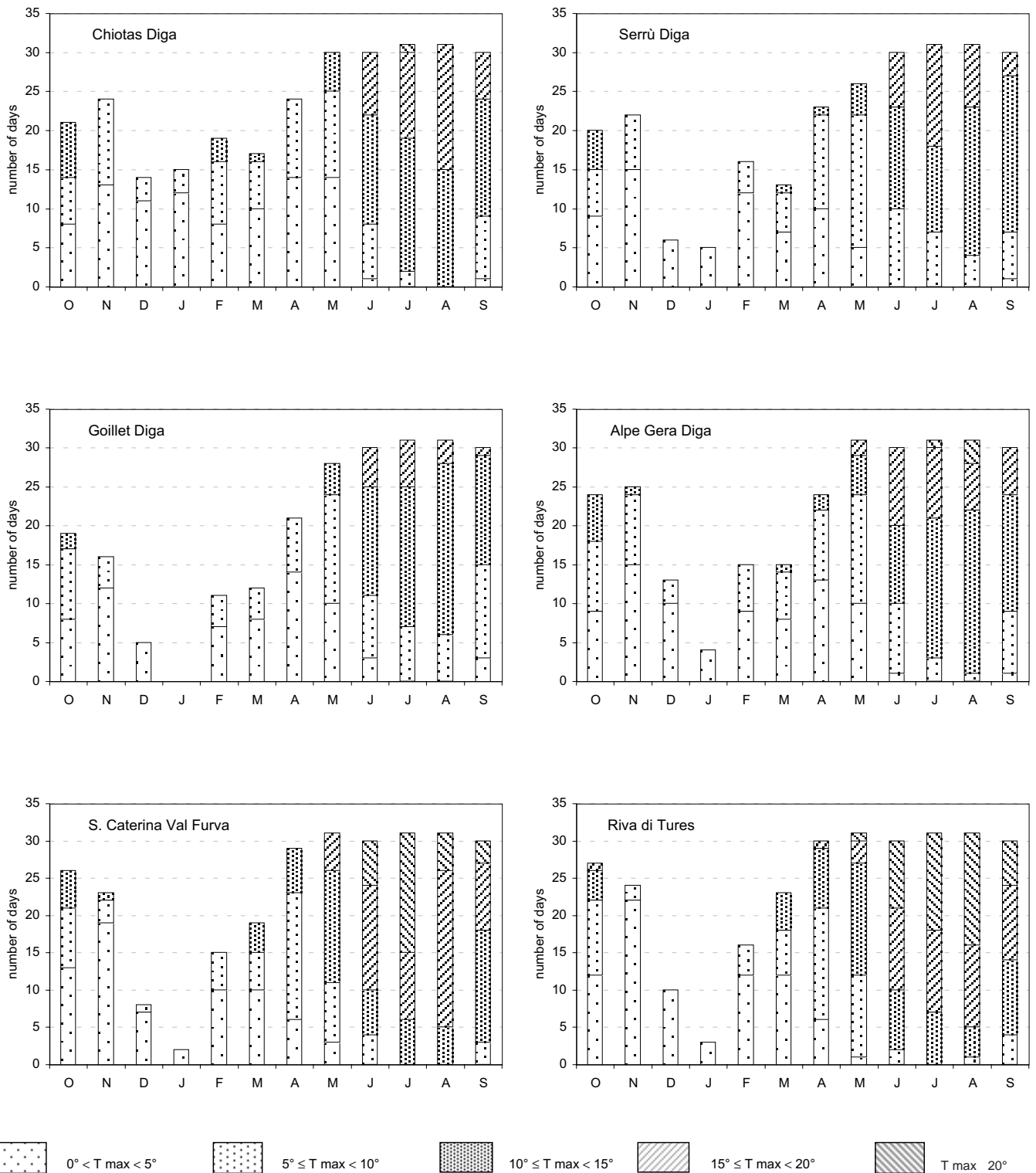


FIG. 3 - Distribuzione della frequenza mensile delle classi di temperature.  
*Distribution of the monthly frequency of the temperature classes.*

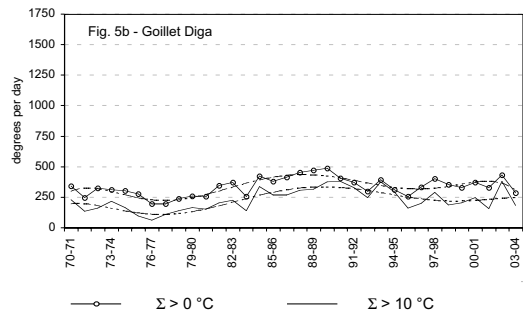
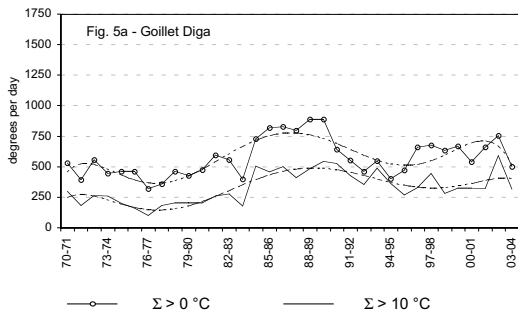
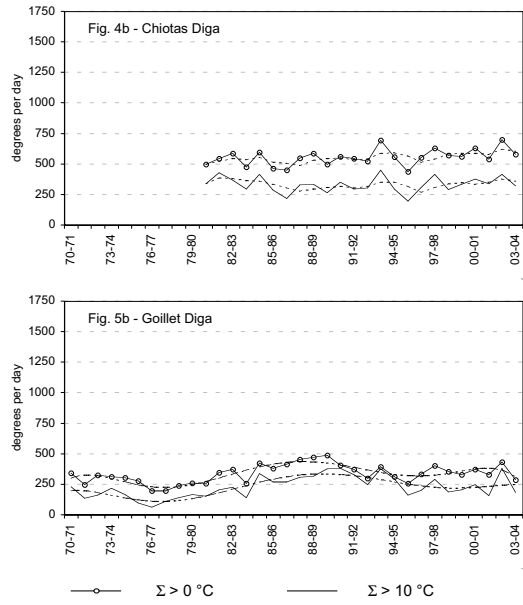
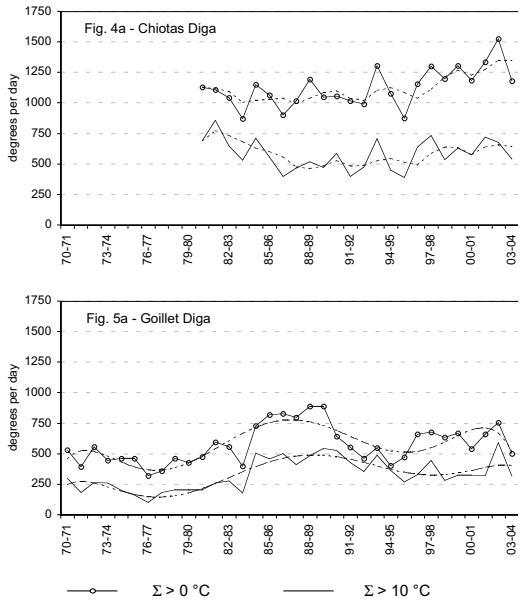


FIG. 4a e 5a - Andamento dei *gradi-giorno* annuali.  
Degrees per day *Annual trend*.

FIG. 4b e 5b - Andamento dei *gradi-giorno* in Luglio e in Agosto.  
Degrees per day *trend of June and July*.

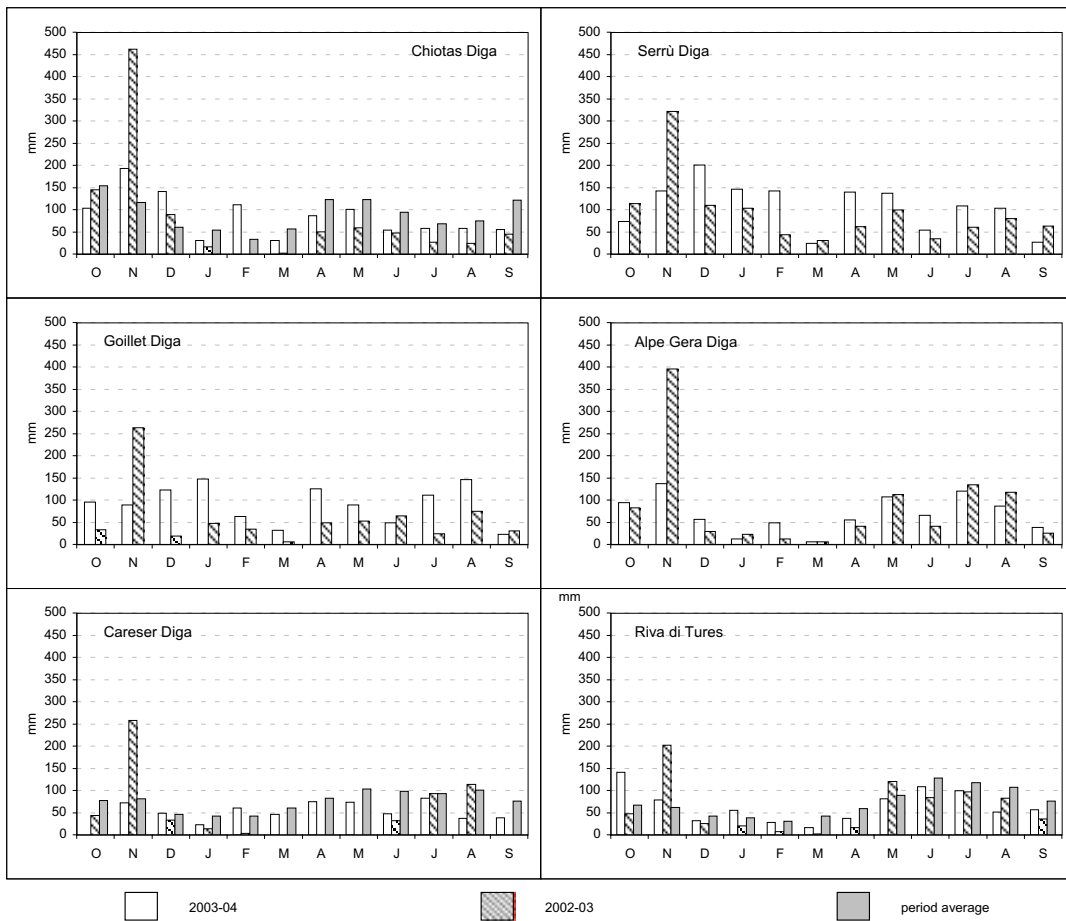


FIG. 6 - Regime mensile delle precipitazioni totali.  
*Monthly regime of the total precipitation.*

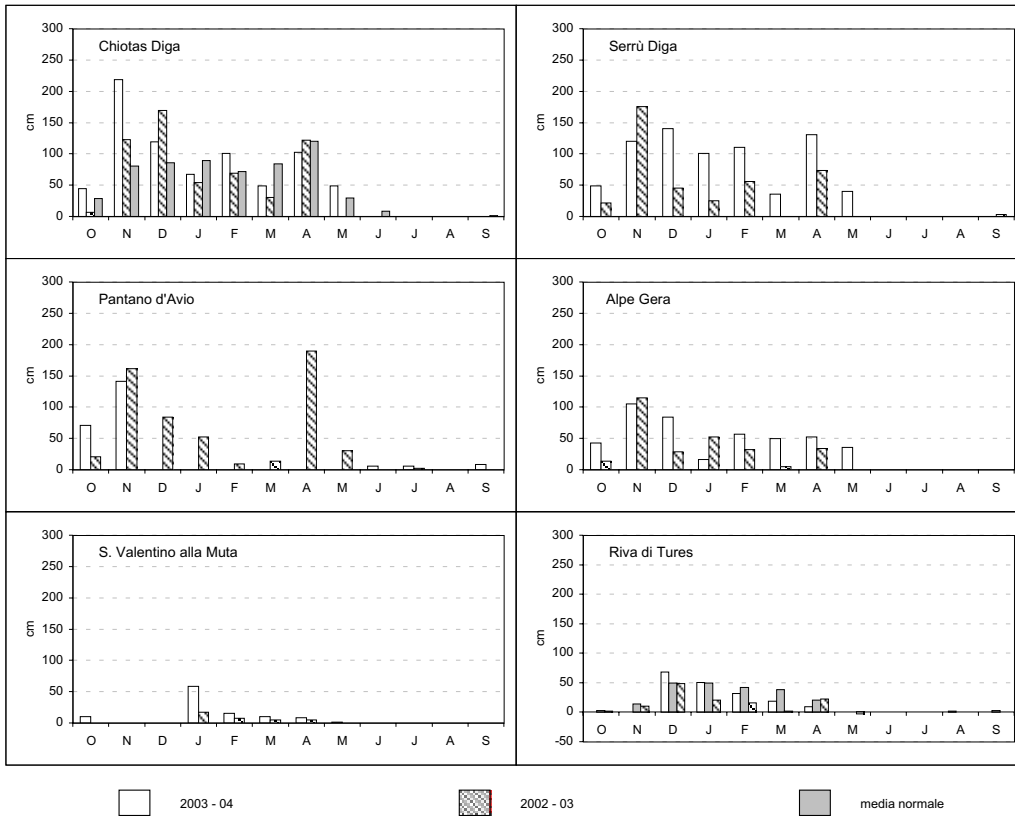


FIG. 7 - Regime mensile dell'altezza di neve caduta.  
*Monthly regime of thickness of snowfall.*

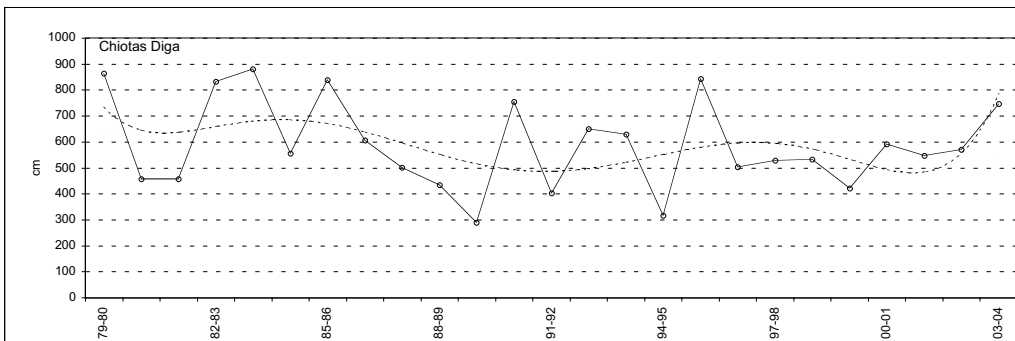


FIG. 8 - Andamento interannuale delle altezze di neve caduta.  
*Interannual trend of thickness of snowfall.*

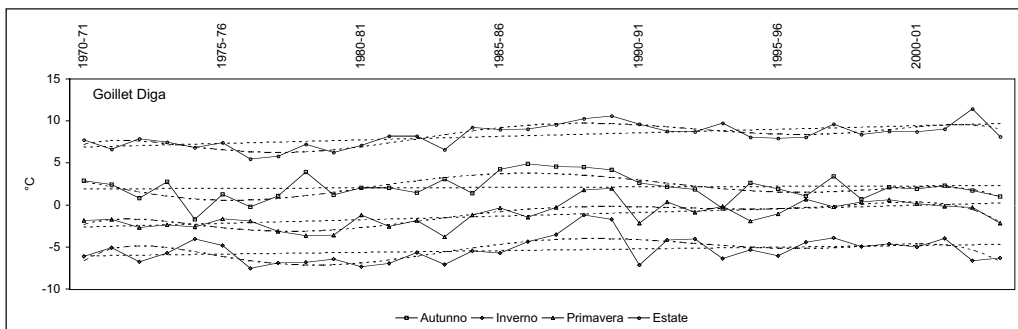


FIG. 9 - Andamento termico stagionale.  
*Seasonal temperature trend.*