

LA VARIABILITÀ INTERANNUALE DEL CLIMA ALPINO DURANTE LA STAGIONE FREDDA:

L'esempio della Vanoise (Savoia)

1. *Premessa.* — Il presente saggio (1) probabilmente non sarebbe mai stato scritto se l'innevamento dell'inverno 1969-70 non avesse avuto a più riprese carattere tanto catastrofico, a causa di numerose tragiche valanghe cadute in Savoia: il lettore lo consideri come un modesto contributo al problema del tempo di ricorrenza prevedibile di questo fenomeno.

Dapprima ho affrontato lo studio statistico dei totali pluviometrici mensili (cioè delle precipitazioni liquide e solide, calcolando la neve con il suo equivalente in acqua) per ciascuno dei mesi del semestre novembre-aprile. Per una delle stazioni ho tentato un'analisi più fine, basata sull'esame dei totali pluviometrici per decenni, ma considerando sempre le precipitazioni totali. In una seconda fase ho preso in considerazione il manto nevoso. Scomporre in tal modo il problema in due fasi distinte porta dei vantaggi, per il fatto che lo studio delle precipitazioni totali può contare su osservazioni di più lungo periodo e, soprattutto, richiede tecniche più sicure di quelle relative alle sole precipitazioni solide; tale studio rappresenta pertanto una tappa indispensabile sul piano

(1) Questo contributo è ricavato da due miei articoli apparsi nei « Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise », che si pubblicano a Chambéry: *Étude sur la variabilité des précipitations du semestre froid en Vanoise* (III, 1973, pp. 9-25), e *Étude sur la variabilité de l'enneigement en Vanoise* (IV, 1974, in corso di stampa). La riduzione del testo ha riguardato principalmente il primo di questi due articoli, del quale si è qui conservato quanto era indispensabile per la comprensione delle mie proposte riguardanti l'innevamento propriamente detto. Ringrazio vivamente il Prof. F. Ozenda, responsabile della pubblicazione dei « Travaux » di cui sopra, per aver cortesemente autorizzato questa sintesi e la riproduzione delle figure.

metodologico. Intanto, si può già ammettere, come ipotesi di lavoro, che i totali pluviometrici mensili da novembre ad aprile offrano una prima indicazione delle cadute di neve per le quote superiori a 2500 m (2).

2. *La variabilità interannuale delle precipitazioni del semestre freddo: metodologia.* — Ricordo anzitutto che l'espressione « semestre freddo » indica il periodo 1° novembre-30 aprile, e, inoltre, che gli specialisti considerano in genere indispensabile un periodo di osservazione di 35 anni consecutivi per poter condurre lo studio delle precipitazioni mensili. Tale periodo è raggiunto nella nostra regione da 8 stazioni: nella Tarantasia, Sainte-Foy (Le Miroir), Plombières, Moutiers, Pralognan e Bozel; nella Moriana, Bonneval-sur-Arc, Aussois e Le Thyl. Le osservazioni utilizzate vanno dal novembre 1935 all'aprile 1970.

Tuttavia, l'esistenza di un osservatorio della Météorologie Nationale a Bourg-Saint-Maurice, utilizzabile a partire dal 1946, e ancor più il fatto che i dati pluviometrici di questa stazione vengono pubblicati attualmente nei « bulletins décennaires » della Météorologie Nationale mi hanno indotto a tenerne conto nelle mie ricerche, nonostante il periodo di osservazione ancora troppo breve.

Frequenza dei totali mensili. Per ciascuna delle nove stazioni le precipitazioni cadute nei sei mesi considerati sono state suddivise in classi mediante procedimento meccanografico, nel senso che gli n valori mensili della serie sono stati ripartiti secondo valori crescenti. Questa suddivisione consente a sua volta la costruzione, su carta gaussiana, di una curva empirica delle frequenze (3) e il calcolo di un parametro il quale permette infine di costruire una « curva teorica » che si adatta nel miglior modo

(2) Questo lavoro è stato effettuato dalla « Équipe de recherche n. 30 » del C.N.R.S. (*Recherches cartographiques appliquées au climat et à l'hydrologie*) sotto la direzione di Ch.-P. Pégué. Numerosi studenti dell'U.E.R. di Geografia Generale e Alpina dell'Università di Grenoble hanno dato il loro contributo, costruendo alcuni dei grafici che illustrano quest'articolo. Li ringrazio vivamente.

(3) Su queste curve la frequenza di ogni valore classificato importante è ritenuta uguale a $F_i = (2i - 1)/2n$, dove n è il numero dei valori.

possibile alla prima (4). La costruzione delle curve teoriche è stata notevolmente facilitata dagli abachi predisposti a questo scopo, fornitimi cortesemente dalla Direzione Tecnica Generale dell'Électricité de France.

Le figg. 1 e 2 offrono per Pralognan e per Sainte-Foy le suddette curve di frequenza dei totali pluviometrici mensili della stagione fredda (curva A) per 35 anni di osservazione. Esse risultano tanto più raddrizzate quanto minore è la variazione delle precipitazioni tra i diversi anni del periodo considerato; la loro inclinazione rispetto all'asse orizzontale diventa invece minore quando le precipitazioni di uno stesso mese si ripartiscono, a seconda degli anni, entro valori assai distanti tra loro. Appare ben evidente, in questi grafici, che una forte dispersione si ha in febbraio e talvolta in marzo, mentre si ha una maggiore regolarità in gennaio e in aprile. D'altra parte, la pendenza delle curve diminuisce sempre nelle parti superiori dei grafici; in ogni mese, ma soprattutto in febbraio, la variabilità è in effetti più accentuata negli anni molto piovosi che in quelli di scarsa piovosità.

Questa dispersione dei totali pluviometrici mensili per le tre stazioni di Bonneval, Pralognan e Sainte-Foy è indicata numericamente nella tab. 1, limitatamente al trimestre gennaio-marzo. Sono stati riportati i valori stimati di tutti i decili inquadrati dagli estremi verificatisi nel corso del periodo di osservazione. Si può notare che, in corrispondenza dei due decili superiori (D_8 e D_9), febbraio supera sempre gennaio, mentre è, nel complesso, un mese meno piovoso, secondo quanto indicano i livelli delle frequenze compresi fra i minimi conosciuti e D_7 , come, del resto, le stesse medie: fatto tanto più rimarchevole in quanto sono stati considerati i totali pluviometrici mensili grezzi, senza tener conto del fatto che febbraio è del 10% più breve dei due rimanenti mesi che lo inquadrano. La tabella è stata completata con l'indicazione di qualche espressione numerica di dispersione: lo scarto D_9-D_1 tra i decili estremi, lo scarto-tipo e, soprattutto,

(4) Rimando per i particolari ai lavori precedenti della « Équipe de recherche n. 30 » e precisamente a: M. F. de SAINTIGNON e H. VIVIAN, *Les pluies d'août et de septembre 1968 dans les Alpes françaises*, in « Rev. de Géogr. Alp. », Grenoble, 1969, pp. 335-360 (cfr. in particolare p. 348); C. LEJEUNE e M. F. de SAINTIGNON, *Les précipitations anormales de février à avril dans le Nord des Alpes françaises*, in « Rev. de Géogr. de Lyon », Lione, 1970, pp. 215-242.

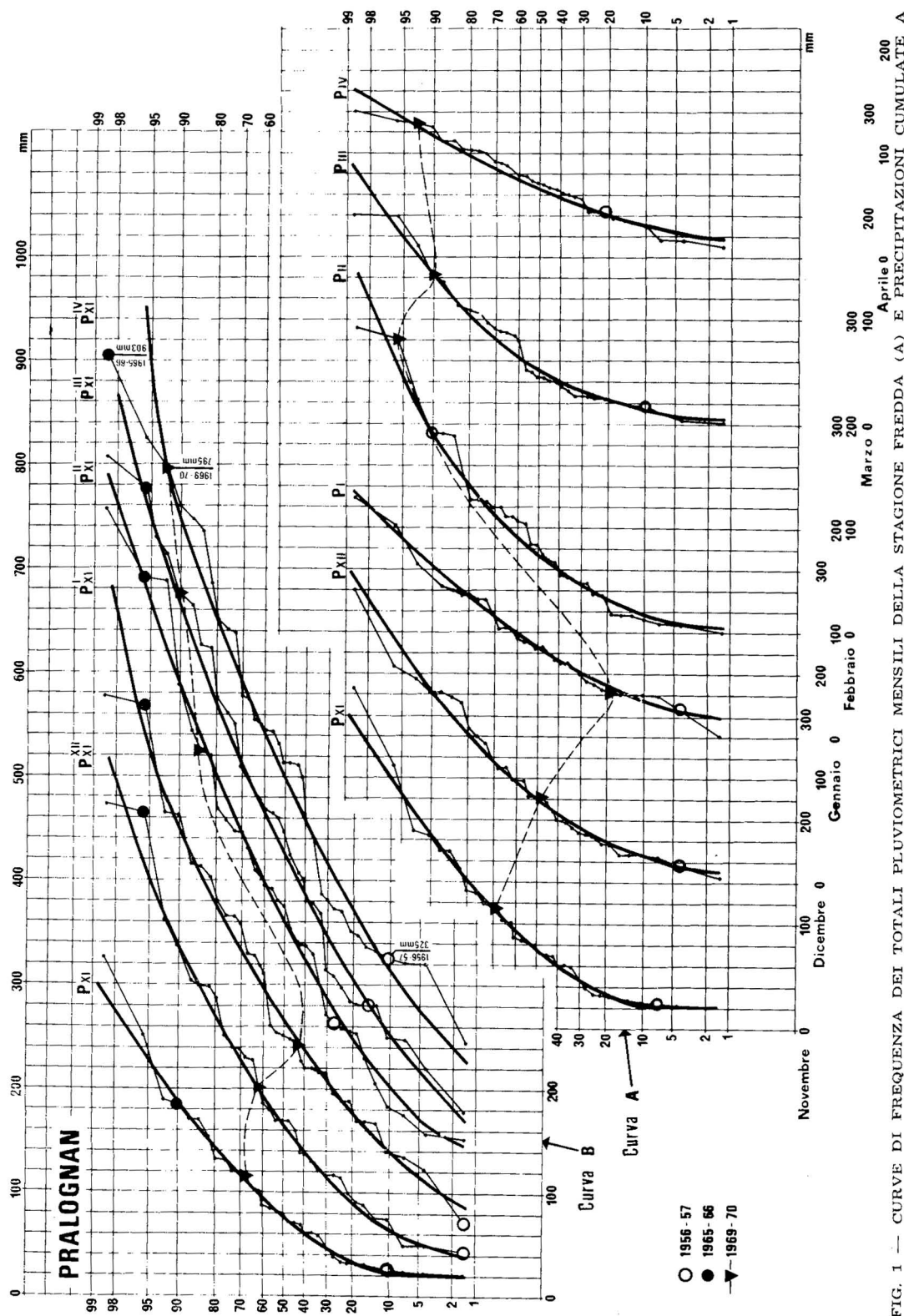


FIG. 1 — CURVE DI FREQUENZA DEI TOTALI PLUVIOMETRICI MENSILI DELLA STAGIONE FREDDA (A) E PRECIPITAZIONI CUMULATE A PARTIRE DAL 1° NOVEMBRE PER IL SEMESTRE FREDDO (B) PER PRALOGNAN.

Tab. I

PRECIPITAZIONI E RELATIVI SCARTI IN TRE STAZIONI DELLA SAVOIA

Stazioni	Bonneval				Pralognan				Sainte-Foy			
	Mesi	G	F	M	G	F	M	G	F	M	G	F
Media		96	98	63	93	96	68	103	72	68		
Minimo noto		3	3	5	2	0	2	6	0	3		
D1		30	10	10	38	16	17	44	17	12		
D2		48	28	19	47	32	22	63	35	27		
D3		58	43	27	61	48	30	78	52	34		
D4		72	54	40	74	60	40	88	63	43		
D5		84	68	52	87	80	46	108	86	50		
D6		103	90	67	98	100	72	120	113	75		
D7		120	118	80	116	118	86	132	130	98		
D8		143	144	96	136	138	106	153	158	117		
D9		171	213	125	162	192	142	194	220	148		
Massimo noto		291	379	201	228	292	199	257	317	209		
D9 - D1		141	193	115	124	176	125	150	203	136		
Scarto tipo		60	93	50	51	75	54	60	82	54		
λ		2,6	1,1	1,6	3,4	1,6	1,6	3,5	1,6	1,7		

il coefficiente λ (quadrato della media/varianza) che serve di base alla costruzione delle curve di distribuzione teorica.

Le ricerche eseguite sull'insieme delle Alpi francesi e delle regioni adiacenti hanno mostrato che questa forte variabilità di febbraio sembrerebbe avere un carattere generale (5).

Frequenze dei totali cumulati da novembre (incluso) alla fine di ciascun mese del semestre freddo. Le precipitazioni di ciascuno dei 35 inverni studiati sono state cumulate dal 1° novembre alla fine di ciascuno dei mesi successivi, fino ad aprile compreso. Le frequenze di questi totali parziali, che indicheremo col simbolo

$$P \frac{m}{XI}$$

(m rappresenta in cifre romane il numero d'ordine del mese durante l'anno) sono state studiate a loro volta secondo il metodo precedente.

Le curve così ottenute sono state tracciate in B nelle figg. 1 e 2. Queste due tecniche grafiche, che vengono qui riprodotte solo per due stazioni, sono state applicate a tutti i nove osservatori studiati. Tale insieme di curve esprime direttamente la probabilità che un dato totale di precipitazioni non sia stato ancora raggiunto (« funzione di ripartizione ») o, al contrario, sia stato superato (« probabilità di superamento ») in un dato momento dell'inverno.

Nelle figure qui unite la grafia 05 significa per convenzione 0.05. Si vede, ad es., che la soglia dei 400 mm cumulati a partire da novembre è stata superata dopo il 31 dicembre 2 volte in 35 anni tanto a Bonneval che a Pralognan e, per contro, non raggiunta alla data del 30 aprile 12 volte in 35 anni a Pralognan e 10 volte a Bonneval.

I grafici di cui propongo la costruzione offrono altre indicazioni interessanti: essi esprimono, assai meglio che lunghi discorsi, l'estrema variabilità delle precipitazioni invernali nella Savoia.

Studio particolareggiato per decadi. Per una delle stazioni, Bourg-Saint-Maurice, la stessa ripartizione in classi e gli stessi calcoli sono stati fatti per 18 periodi di 10 giorni corri-

(5) V. nota 4.

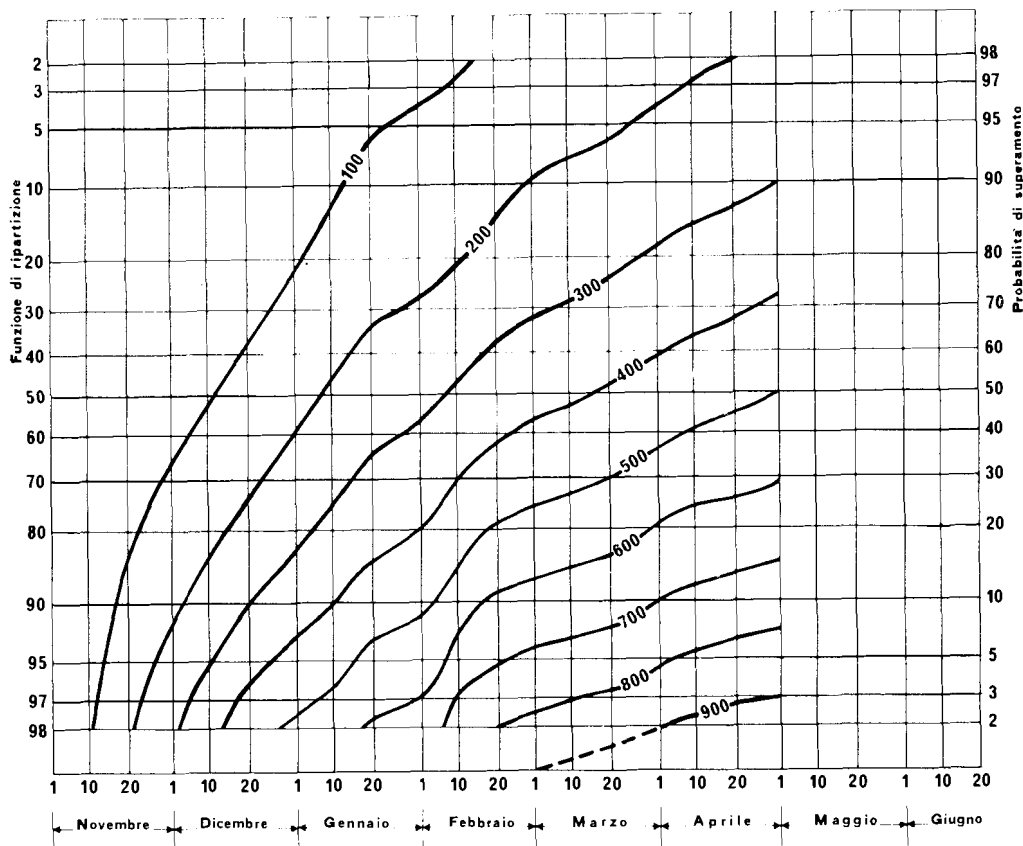


FIG. 3 — PROBABILITA' DELLE PRECIPITAZIONI CUMULATE A PARTIRE DAL 1° NOVEMBRE A BOURG-SAINT-MAURICE.

La scala a sinistra indica il numero di anni per secolo in cui le precipitazioni sono state inferiori ai valori delle curve quotate; la scala a destra, quello degli anni in cui sono state superiori.

spondenti alla stessa parte dell'anno. I risultati sono stati sintetizzati in un grafico diverso (fig. 3). L'asse orizzontale è costituito da un calendario (ciò che consente di rispettare l'ineguale lunghezza dei mesi), l'asse verticale riporta le probabilità di superamento. Le curve quotate indicano i totali pluviometrici cumulati; il tracciamento delle curve è stato limitato all'intervallo compreso tra le frequenze 2% e 98%. Tuttavia questa prudenza non ci deve impedire di ricordare le frequenze che si trovano al di là di questi

due margini. A tal proposito si può rilevare, per es., la grande dispersione del periodo di 70 giorni che va dal 1° novembre al 10 gennaio: i valori estremi cumulati variano da 40 mm (inverno 1956-57) a 603 mm (1965-66), ossia nel rapporto fantastico di 1 a 15. E' verosimile che la siccità della prima parte dell'inverno 1956-57 (53 mm in tutto il trimestre novembre-gennaio) costituisca un'anomalia di ordine secolare. Quanto ai valori eccedenti rispetto alla media, i 603 mm caduti dal 1° novembre 1965 al 10 gennaio 1966 rappresentano un'anomalia approssimativamente simmetrica. Noteremo che i totali dell'inverno 1969-70 non sono elevati rispetto a tempi di ricorrenza così lunghi.

3. *La nozione di « profilo di probabilità ».* — Per ogni singola stazione ciascuno dei mesi successivi di un inverno è caratterizzato da un punto sulla curva empirica di distribuzione dei totali mensili e da un altro punto sulla curva di distribuzione dei totali pluviometrici cumulati a partire dal 1° novembre precedente. Congiungendo, sull'una o sull'altra figura, i sei punti relativi allo stesso inverno si ha un quadro delle caratteristiche dominanti di questo inverno e dell'evoluzione della piovosità nel corso dei mesi successivi che lo compongono, non più in termini di valori assoluti, ma in termini di probabilità. Definisco tali rapporti « profili di probabilità » di un dato inverno.

Nelle figg. 1 e 2 ho indicato alcuni di questi profili con dei segni che permettono di identificare i punti che si riferiscono ai mesi successivi di qualche inverno caratteristico. L'inverno 1958-59 a Sainte-Foy offre così l'esempio di una stagione fredda con precipitazioni ripartite in due fasi distinte: vi sono caduti 431 mm da novembre a gennaio, poi 133 mm in marzo e aprile, mentre febbraio è rimasto assolutamente secco; in verità, il periodo praticamente secco si è protratto per 50 giorni.

Ecco ora qualche considerazione sulle due stagioni fredde particolarmente piovose 1965-66 e 1969-70.

L'inverno 1965-66 è largamente in testa in tutte le stazioni e supera ovunque il valore di .98 della funzione di ripartizione (probabilità di superamento inferiore a .02) eccetto che per Bonneval, per la quale questo inverno non viene che al quinto posto. E' notevole il fatto che questi forti valori siano già raggiunti

in dicembre (in questo mese, nel 1965, si sono avuti 364 mm a Sainte-Foy e 310 mm a Moûtiers). Facendo seguito a un novembre anch'esso piuttosto piovoso, queste forti precipitazioni del dicembre 1965 hanno contribuito in primo luogo ad assicurare il *record* della piovosità a tutto l'insieme della stagione fredda. L'esame delle precipitazioni per decadi per Bourg-Saint-Maurice mostra che questo eccezionale episodio piovoso si è protratto anche nella prima metà di gennaio. La data del 10 gennaio corrisponde indubbiamente, sul piano dei valori cumulati, all'anomalia positiva più forte di tutta l'area di osservazione.

La stagione fredda 1969-70, essendo più vicina a noi, è ancora nella memoria di tutti per i suoi episodi catastrofici. Dalle curve relative ai valori cumulati ci sembra di poter ricavare che l'originalità dell'inverno 1969-70, statisticamente parlando, non risiede tanto nei suoi valori pluviometrici quanto piuttosto nel mutamento brutale di comportamento che vi è stato fra febbraio e il mese precedente. A Sainte-Foy il *record* di febbraio (317 mm) segue un mese di gennaio che, in ordine decrescente, si colloca al 28° posto su 35. In termini di frequenza non si contano che circa 18 mesi di gennaio su 100 più aridi di quello del 1970, mentre ben 98,5 mesi di febbraio risultano meno piovosi di quello del 1970. Per le precipitazioni cumulate dall'inizio della stagione fredda alla fine di gennaio e alla fine di febbraio, ossia

$$P \frac{I}{XI} \text{ e } P \frac{II}{XI}$$

si ottiene, rispettivamente, .40 e .87. La cifra di 98,5 che è stata data per febbraio a Sante-Foy (ciò che implica che il totale di 317 mm possa essere superato 1,5 volte in un secolo, o tre volte in due secoli) deve essere considerata con molta cautela: nelle serie di 35 anni, come quelle qui utilizzate, è perfettamente illusorio voler precisare frequenze esterne ai decili. Per contro, è assai significativo rilevare che tutti i totali cumulati da novembre a gennaio collocano l'inverno 1969-70 nettamente al di sotto delle mediane di questi valori cumulati e che l'apporto di febbraio è stato sufficiente per portare il totale poco al di sotto del decile superiore del valore cumulato corrispondente.

Si constata, pertanto, che in nessun momento dell'inverno le precipitazioni cumulate a partire dall'inizio della stagione fredda

consentono di considerare l'inverno 1969-70 come particolarmente piovoso. Anche dopo le forti precipitazioni di febbraio i totali cumulati alla fine di questo mese collocano l'inverno 1969-70 solo al 5° posto su 35 inverni a Sainte-Foy e al 6° posto a Pralognan, ossia con una ricorrenza media dell'ordine di un anno su sei. Se si considerano separatamente le precipitazioni di febbraio, il totale raggiunto a Sainte-Foy ha poche possibilità di essere superato più di due o tre volte in un secolo; tale valore comunque rimane nettamente entro i limiti di un'eventualità di cui un pianificatore deve normalmente prevedere il ritorno.

4. *Il regime medio dell'innevamento. Limite del significato.* — La variabile scelta per lo studio dell'innevamento è stata lo spessore (o potenza media del mantello nevoso al suolo misurata in cm); si tratta indubbiamente di un parametro complesso che deriva dal prodotto dell'equivalente in acqua per l'inverso della densità, ma è un parametro che si integra meglio e direttamente nel paesaggio. I dati di base qui utilizzati ci sono stati forniti dalla Direzione Tecnica Generale dell'Électricité de France: ringrazio vivamente quest'organismo per aver reso possibile il mio lavoro.

Sono stati utilizzati otto luoghi di osservazione, di cui sei nella Tarantasia e due nella Moriana, distribuiti in senso altimetrico tra 1480 e 2530 m. Le osservazioni sono state condotte per periodi che variano da 17 a 21 inverni, cioè, come si vede, per periodi più brevi rispetto a quelli delle osservazioni pluviometriche sulle quali è possibile fondare le stime sulla frequenza delle precipitazioni.

Nella tab. 2 sono forniti valori medi del manto nevoso per periodi successivi di 10 giorni relativi a 3 stazioni del versante della Tarantasia (Le Villaret, 1750 m; Val d'Isère, 1850 m; Lac de l'Ouillette, 2530 m) e per Bonneval, 1790 m, nel versante della Moriana. Come ci si poteva attendere, la durata e, soprattutto, lo spessore del manto nevoso aumentano con l'altitudine, mentre nel fondo della Moriana i valori rimangono relativamente modesti. Per queste quattro stazioni l'indicazione dello spessore medio del mantello nevoso è stata completata con quella dello scarto-tipo di questo spessore, l'uno e l'altro espressi in centimetri.

La fig. 4 sintetizza graficamente questo « regime medio » del

REGIMI MEDI E SCARTI TIPO DELLO SPESSORE DEL MANTO NEVOSO PER DECADI

Decadi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Le Villaret (1750 m)											
$\bar{x}$	5	12	16	27	46	63	74	86	96	99	110
σ	9	15	17	32	38	46	48	42	47	41	41
Val d'Isère (1850 m)											
$\bar{x}$	6	14	21	33	50	67	78	89	101	106	117
σ	10	17	23	32	34	41	47	49	54	47	54
Lac de l'Ouillette (2530 m)											
$\bar{x}$	15	24	43	59	73	100	114	135	142	151	163
σ	16	24	39	45	45	50	53	58	69	64	64
Bonneval (1790 m)											
$\bar{x}$	4	10	14	26	49	61	77	81	86	93	97
σ	7	17	16	24	29	35	38	39	35	41	37

Decadi	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Le Villaret (1750 m)												
$\bar{x}$	124	117	112	105	95	74	53	31	12	5	-	-
σ	43	39	41	44	57	57	51	41	-	-	-	-
Val d'Isère (1850 m)												
$\bar{x}$	131	126	122	121	120	95	72	41	15	3	-	-
σ	62	55	52	51	66	65	60	50	27	-	-	-
Lac de l'Ouillette (2530 m)												
$\bar{x}$	176	175	185	186	192	188	182	163	128	96	61	23
σ	66	58	63	56	55	57	48	51	56	52	43	28
Bonneval (1790 m)												
$\bar{x}$	106	98	95	86	74	43	26	12	4	-	-	-
σ	53	40	42	38	56	57	44	23	-	-	-	-

IDENTIFICAZIONE DELLE DECADE

1 = 1 - 10.XI	11 = 9 - 18.II
2 = 11 - 20.XI	12 = 19 - 28.II
3 = 21 - 30.XI	13 = 1 - 10.III
4 = 1 - 10.XIII	14 = 11 - 20.III
5 = 11 - 20.XIII	15 = 21 - 30.III
6 = 21 - 30.XIII	16 = 31.III - 9.IV
7 = 31.XIII - 9.I	17 = 10 - 19.IV
8 = 10 - 19.I	18 = 20 - 29.IV
9 = 20 - 29.I	19 = 30.IV - 9.V
10 = 30.I - 8.II	20 = 10 - 19.V
	21 = 20 - 29.V
	22 = 30.V - 8.VI
	23 = 9 - 18.VI

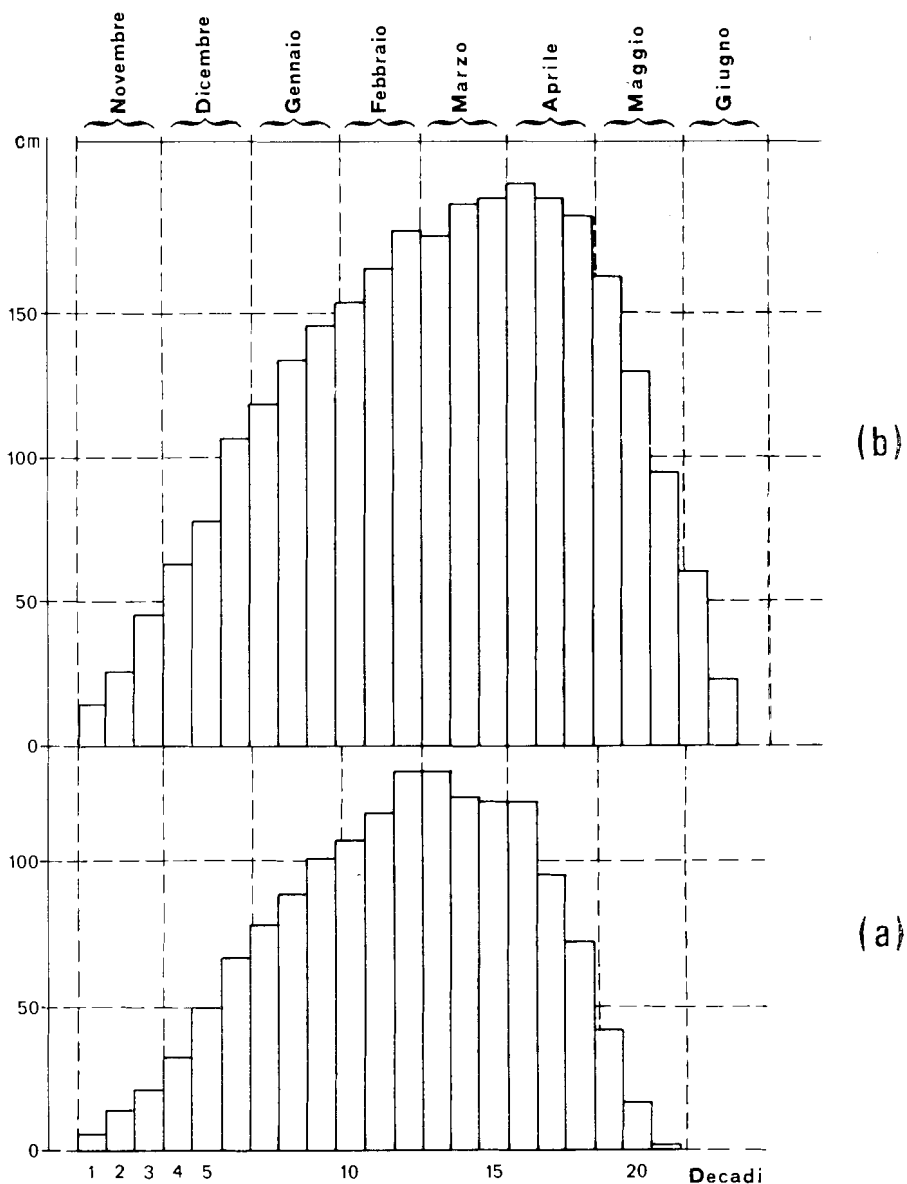


FIG. 4 — REGIME MEDIO DELLO SPESSORE DEL MANTO NEVOSO, PER DECADI, A VAL D'ISÈRE (a) E A LAC DE L'OUILLETTE (b).

manto nevoso calcolato per decenni per Val d'Isère e per Lac de l'Ouillette. Evidentemente la copertura nevosa, in media, ha una durata più lunga e un maggiore spessore nella stazione più elevata. Tuttavia è difficile definire un « gradiente » di questo spessore del mantello nevoso; in effetti, il calcolo dello « spessore medio » del manto nevoso fornito da precedenti autori (E. Bénévent, H. Onde) per un intero inverno porta a sottovalutare questo spessore nelle stazioni di più lungo innevamento e, dunque, a sottovalutare il gradiente. Sarebbe più opportuno, a mio avviso, raffrontare sia i valori massimi, anche se non concomitanti, sia le medie limitatamente al periodo di massimo innevamento. Per Val d'Isère e Lac de l'Ouillette si constata che lo scarto tra i valori massimi medi per decenni dell'innevamento e lo scarto tra le medie che si riferiscono ai 60 giorni più innevati sono uguali: circa 65 cm. Perciò si può concludere che in questo versante dell'alto Isère lo spessore medio si accresce di 9-10 cm per ogni 100 m di dislivello durante il periodo invernale in cui l'innevamento è più forte.

Questa figura permette di constatare il fatto, del resto ovvio, che il valore medio mensile più alto dello spessore è tanto più tardivo quanto più ci si innalza in altitudine: nella prima decade di aprile a Lac de l'Ouillette, contro la fine di febbraio, o l'inizio di marzo, a Val d'Isère. Tenuto conto del fatto che il riscaldamento dell'atmosfera è più accentuato (perché vi è un apporto diretto più forte di calorie solari), la fusione è tanto più rapida quanto più l'innevamento è stato abbondante e tardivo. Questo comportamento del manto nevoso in rapporto all'altitudine delle nostre montagne è molto simile del resto a quello che presenta lo stesso mantello nevoso quando ci si innalzi in latitudine fino alle zone continentali o a quelle subartiche.

Gli insegnamenti che possiamo ricavare da questi regimi medi arrivano fin qui e non oltre. Occorre, anzitutto, rilevare che nella maggior parte dei casi le osservazioni utilizzate sono settimanali e non si ripetono quindi alla stessa data da un anno all'altro. Un certo arbitrio dunque si introduce quando si ripartiscono queste osservazioni secondo periodi successivi di 10 giorni (dato che il primo deve iniziare il 1° novembre e il ventesimo deve terminare il 19 maggio); ma soprattutto vi è da rilevare che la media

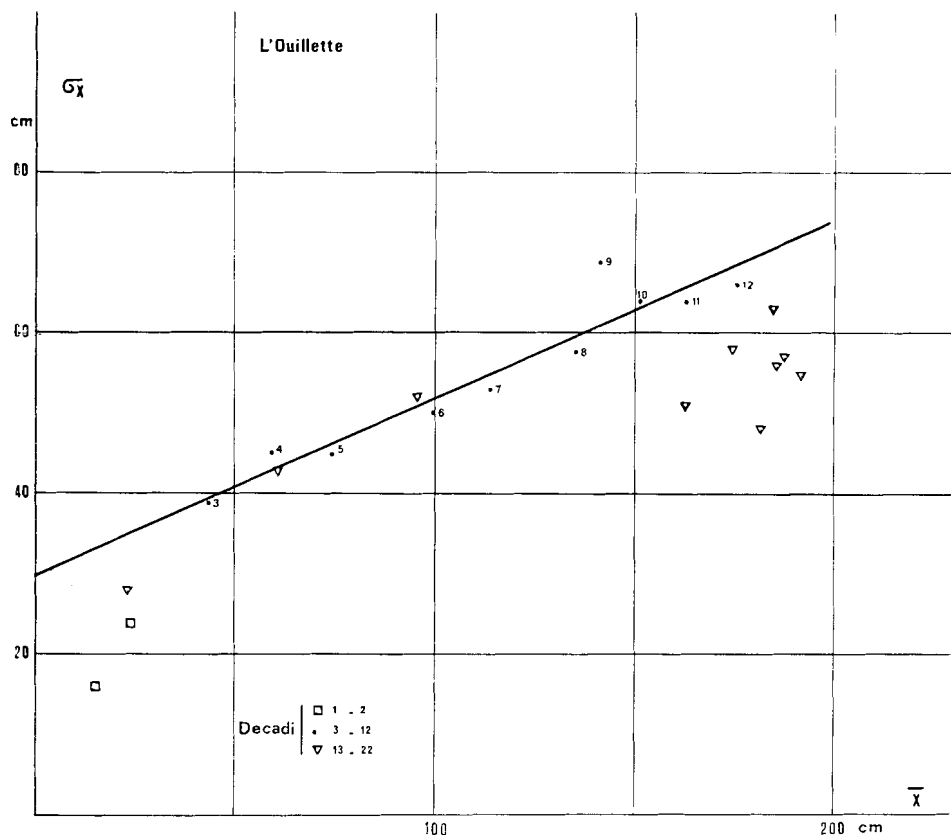


FIG. 5 — REGIME MEDIO E RELATIVI SCARTI-TIPO DELLO SPESSORE DEL MANTO NEVOSO, PER DECADI, A LAC DE L'OUILLETTE.

è assai poco caratteristica dei valori annui successivi, particolarmente alla fine della stagione, a causa della grande variabilità temporale della fine dell'innevamento. A Val d'Isère lo spessore medio del mantello per le nostre decadi 18, 19 e 20 ammonta, rispettivamente, a 72, 41 e 15 cm. Ma il numero dei valori nulli — cioè quelli relativi agli anni in cui il suolo era ormai libero dalla neve nei periodi considerati — passa, d'altra parte, da 3 a 7 e quindi da 10 a 17. Sarebbe dunque falso dedurre da questi spessori medi la conclusione che questi diminuiscono di circa 30 cm in 10 giorni, cioè di 3 cm al giorno: la fusione, in effetti, viene in

tal caso erroneamente computata come nulla ogni volta che la neve ha finito di disciogliersi, mentre si innalza a 10 o a 12 cm per giorno durante gli anni in cui la neve sussiste ancora.

Gli scarti-tipo che sono stati riportati sulla nostra tabella suggeriscono qualche considerazione. Si nota che, dopo un periodo iniziale di una o due decadi, il periodo dell'innnevamento sembra suddividersi ovunque in due parti. Nella prima (che per l'Ouillette corrisponde alle decadi dalla 3 alla 12) lo scarto-tipo si accresce regolarmente con lo spessore del manto nevoso. Non vi è proporzionalità, ma una relazione lineare (a Lac de l'Ouillette: $\sigma = 0,22 \bar{x} + 29,8$); è la fase di accumulo che evidentemente non esclude l'assessamento. Nella seconda parte dell'inverno gli scarti-tipo presentano un minimo e poi si accrescono di nuovo, oppure, nella stazione più elevata, sembrano diventare completamente aleatori (fig. 5). Ciò è dovuto al fatto che la fusione evidentemente diventa qui un fattore fondamentale dell'evoluzione del manto nevoso.

5. *Due parametri cartografabili dell'innnevamento.* — Da un anno all'altro gli inverni si susseguono, ma non si assomigliano. Pertanto si rende necessario lo studio frequenziale degli innnevamenti annuali successivi, come si imponeva quello delle precipitazioni del semestre freddo.

Prima di affrontare questo studio vorrei rapidamente richiamare, e applicare in questa ricerca, l'esistenza di due parametri di innnevamento di cui ho già fatto cenno in altra sede (6). Il primo non ha nulla di originale: si tratta della durata della presenza della neve al suolo. L'altro è lo spessore al di sotto del quale il manto nevoso non discende durante un periodo di 60 giorni consecutivi (« spessore caratteristico di 60 giorni »). L'uno e l'altro di questi valori sono stimati inverno per inverno e ci si limita a farne in seguito la media aritmetica.

Le stazioni della Tarantasia e della Moriana per le quali tali calcoli sono stati fatti sono quelle indicate nella tab. 3.

Non bisogna dimenticare che la durata dell'innnevamento è stata qualche volta calcolata in modo insoddisfacente; molto spesso

(6) C.N.R.S., *Carte Climatique Détaillée de la France. Coupure Gap*, carton H, Gap-Parigi, Ophrys, 1971.

TAB. 3

STAZIONI E LORO ALTITUDINE (m s. m.)	DURATA MEDIA (in giorni)	SPESSORE CARATTERISTICO DI 60 GIORNI (in cm)
<i>Tarantasia</i>		
Le Pré (1480 m)	165	90
Le Villaret (1750 m)	160	100
Val d'Isère (1850 m)	180	110
Les Verdon (2100 m)	185	130
Lac de l'Ouillette (2530 m) . . .	220	165
<i>Moriana</i>		
Bonneval (1790 m)	165	85
Le Carrelet (2050 m)	150	80

le date della fine dell'innevamento non sono state riportate nelle note riassuntive dell'Électricité de France. Allora la scomparsa della neve è valutata in base all'ultimo spessore rilevato (che può raggiungere più di un metro). Il secondo parametro, quello dello « spessore caratteristico di 60 giorni », anche se può sembrare di concezione più astratta, ha il merito di raccogliere un gran numero di dati relativi al periodo invernale in cui le misure si presentano più interessanti e sono effettuate con maggiore cura.

Ricordiamo che i dati citati nella tab. 3, come quelli riportati nella *Carte Climatique Détaillée de la France*, sono semplici medie aritmetiche. Per entrambi i caratteri considerati la variabilità interannuale è grande. A Bonneval, le durate dell'innevamento sono ripartite fra 130 e 195 giorni. Per ciò che riguarda la variabilità dello spessore caratteristico di 60 giorni, è da citare il caso di Le Carrelet, in cui si sono raggiunti 155 cm, mentre questo stesso valore è rimasto nullo per 2 anni su 14. Risulta dalla nostra definizione che un valore nullo dello spessore caratteristico di 60 giorni corrisponde al fatto che, per l'inverno considerato, la durata della neve al suolo è rimasta appunto inferiore a 60 giorni.

6. *La variabilità interannuale del manto nevoso.* — Tutte queste osservazioni ci inducono a sottolineare la necessità di af-

frontare alla fine lo studio statistico diretto dello spessore del manto nevoso considerato come una « variabile aleatoria ». Come è stato fatto per il regime medio dell'innevamento, anche qui il periodo è stato diviso in 20 decenni, per ciascuna delle quali i dati sono stati classificati così da permettere la costruzione di un grafico delle loro frequenze cumulate.

L'esame dei valori successivi di σ nella tab. 2 mostra che la dispersione dell'innevamento per una certa data non sembra variare da un mese all'altro in modo altrettanto significativo di come era stato per i valori pluviometrici cumulati. Così, le decenni 10-12 (corrispondenti al mese di febbraio) non si caratterizzano affatto per una dispersione tanto forte quanto si sarebbe potuto immaginare. Alcuni miglioramenti si possono apportare a questa tecnica e noi qui ci limiteremo ad indicarne brevemente i principi.

Una prima possibilità riguarda le lacune di documentazione: quando i dati mancano in una stazione per un inverno, si può tuttavia tentare una classificazione basandoci sulle caratteristiche che ha presentato quell'inverno nelle stazioni vicine. Infatti, per Val d'Isère e per Bonneval, pur avendo a disposizione i dati di innnevamento di soli 17 inverni, si è tentato di costruire le frequenze medie sulla base di 21 anni.

Vi è una seconda possibilità: l'andamento gaussiano della distribuzione suggerisce di tracciare una curva teorica — qui una retta — basata su $\bar{x}$ e σ . Questa curva teorica potrà essere resa eventualmente più significativa sia con un aggiustamento di $\bar{x}$ in base alle stazioni vicine che possiedono un più lungo periodo di osservazione, sia con una stima indiretta di σ per i mesi nei quali esiste un sufficiente legame tra σ e $\bar{x}$.

Infine, la terza possibilità: si può ricorrere alla variabilità delle precipitazioni cumulate per tentare una determinazione indiretta della variabilità dell'innevamento. In effetti, si riscontra che il numero degli inverni in cui furono eseguite osservazioni nivometriche spesso non raggiunge neppure la metà del numero degli anni per i quali disponiamo di dati pluviometrici soddisfacenti (ad es., 17 contro 35 a Val d'Isère). Vi è dunque la possibilità di migliorare la qualità delle nostre informazioni, tanto più che nella nostra regione la fisionomia dell'inverno medio, a par-

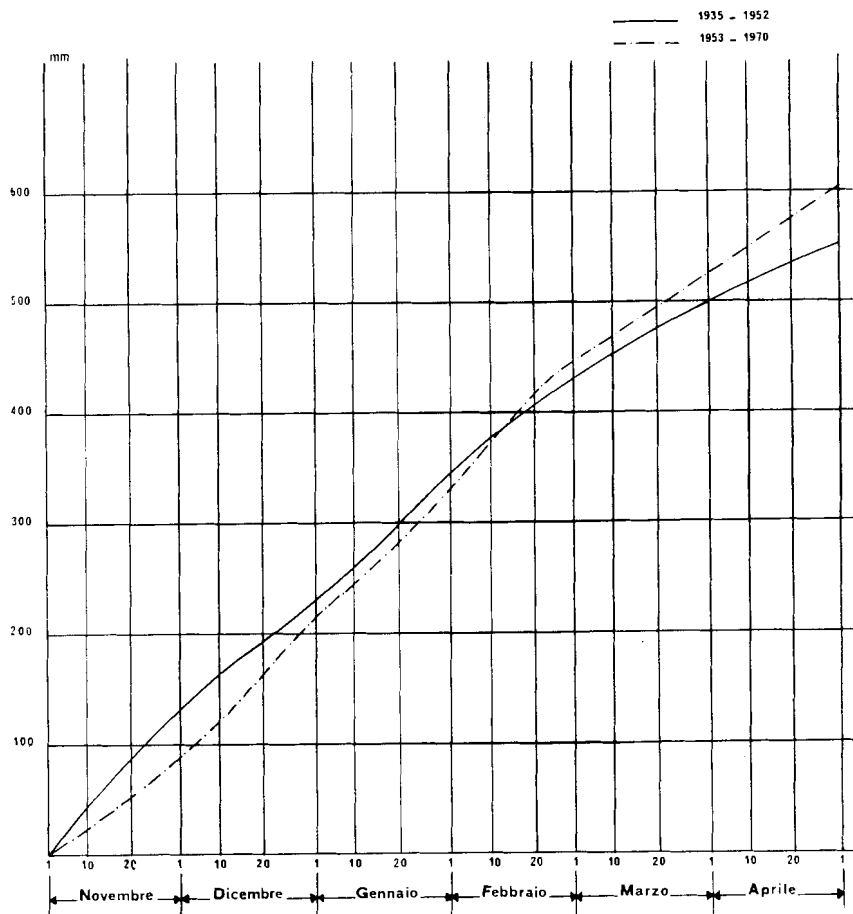


FIG. 6 — PRECIPITAZIONI CUMULATE A PARTIRE DAL 1° NOVEMBRE PER I PERIODI 1935-52 e 1953-70 PER LA STAZIONE DI SAINTE-FOY.

tire dal 1953-54, si manifesta sensibilmente differente da quella che caratterizzava gli anni precedenti. Infatti, la media pluviometrica del semestre freddo appare più elevata nel periodo 1953-1970 che nel precedente periodo 1935-1952 (a Sainte-Foy, 603 mm contro 552 mm). Questa superiorità globale del periodo recente è peraltro da attribuire interamente ai forti valori della seconda metà dell'inverno (fig. 6).

Il grado di legame che esiste tra la quantità di neve caduta, cumulata entro le date d_1 e d_2 , e lo spessore del manto nevoso alla data d_2 si esprime mediante una tabella di matrici di correlazione. Presento qui una simile tabella per le precipitazioni a Sainte-Foy e l'innevamento a Lac de l'Ouillette. E' necessario impiegare questa tecnica di calcolo per le zone altimetriche elevate, nelle quali la quasi totalità delle precipitazioni cade in forma di neve.

TAB. 4

SPESSORE DEL MANTO NEVOSO

Precipitazioni cumulate dopo il	a fine dicembre	a fine gennaio	a fine febbraio	a fine marzo	a fine aprile
1° novembre	0.87	0.90	0.78	0.77	0.60
1° dicembre	0.86	0.92	0.86	0.84	0.70
1° gennaio	—	0.57	0.83	0.69	0.62

In ogni linea della tabella la correlazione passa attraverso un massimo nel mese che segue il mese iniziale. A partire dal terzo mese essa diminuisce, dato che la compressione e la fusione della neve assumono un ruolo sempre più importante nell'evoluzione dello spessore del manto nevoso. Se si tiene presente che un coefficiente di correlazione inferiore a 0.7 è sempre assai poco significativo (coefficiente di determinazione inferiore a 0.5), si potrà notare che considerando le sole precipitazioni cumulate a partire dal 1° gennaio si ha solo un apporto di informazione estremamente modesto, salvo che per il mese di febbraio.

La correlazione più forte che si nota nella nostra tabella è quella che lega lo spessore del manto nevoso alla fine di gennaio con la quantità bimestrale cumulata delle precipitazioni dicembre-gennaio ($R = 0,92$). La retta di regressione ha per equazione: $y = 0,49 x + 27$, nella quale lo spessore y del manto nevoso, secondo l'uso corrente, è espresso in cm e il totale cumulato x delle precipitazioni in mm di lama di fusione (fig. 7). E' evidente che l'ordinata all'origine non è nulla: nell'ipotesi che nessuna precipitazione intervenisse durante i due mesi considerati, alla fine di gennaio si ritroverebbe sempre un residuo di neve che risale a novembre. Ricordando che l'innevamento medio a fine novembre è di 43 cm a Lac de l'Ouillette (tab. 2), la differenza $43 - 27 = 16$ cm

Neve al suolo al 31 gennaio

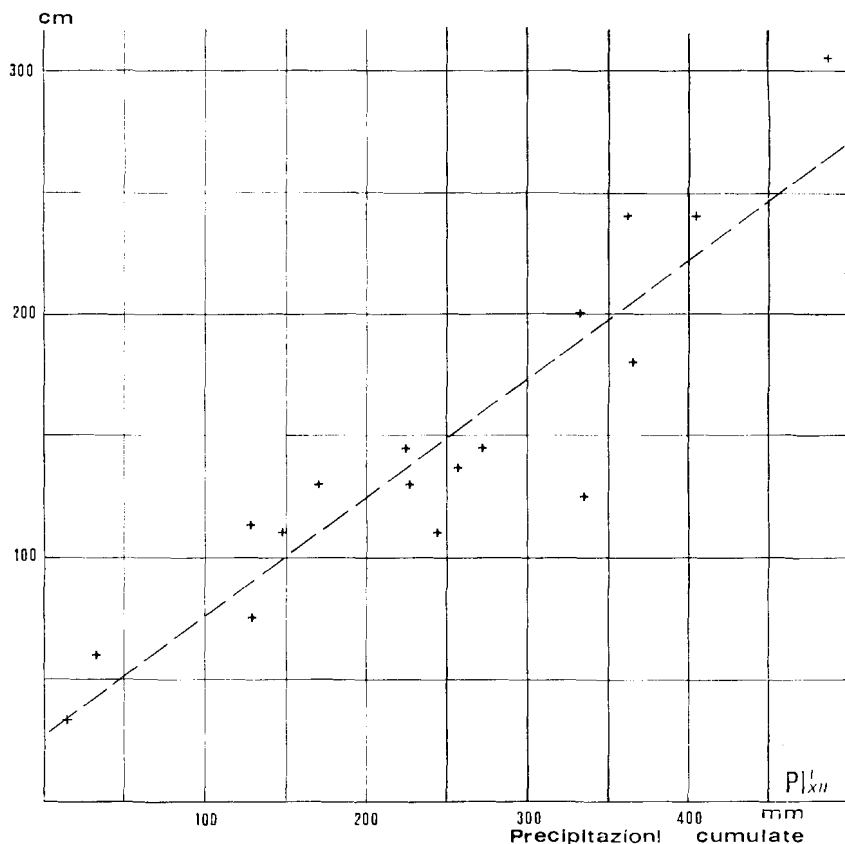


FIG. 7 — CORRELAZIONE TRA LE PRECIPITAZIONI CUMULATE DEL BIMESTRE DICEMBRE-GENNAIO E LO SPESSORE DELLA NEVE AL SUOLO ALLA FINE DEL BIMESTRE.

esprime il doppio effetto della compressione e della fusione in questa ipotesi limite di un bimestre dicembre-gennaio completamente secco. Occorre, poi, non perdere di vista il fatto che all'altitudine considerata le temperature medie di dicembre-gennaio oscillano intorno a -8° .

Infine l'espressione grafica di una stima probabilistica dell'innevamento in funzione del tempo verrà presentata in una for-

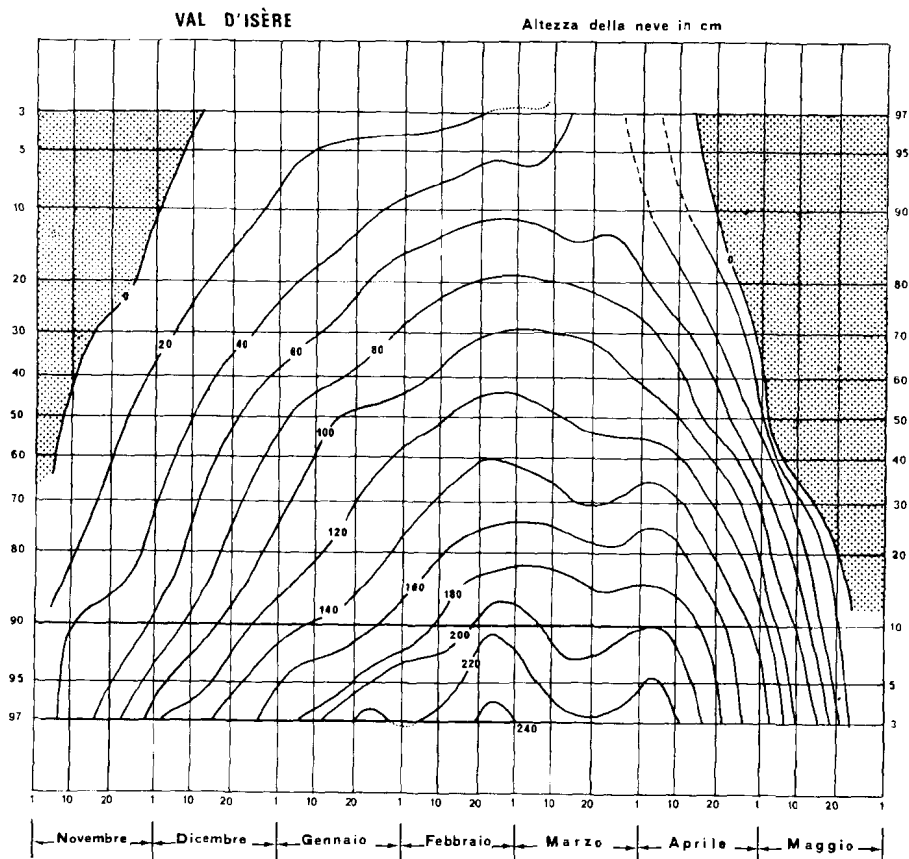


FIG. 8 — « SPERANZA DELLA NEVE AL SUOLO » A VAL D'ISÈRE.
 Per il significato dei valori riportati nelle coordinate si rimanda alla fig. 3.

ma analoga a quella delle precipitazioni cumulate del semestre freddo a Bourg-Saint-Maurice (fig. 3): con i tempi in ascissa (da novembre a maggio) e le probabilità in ordinata in scala gaussiana, le curve rappresentano lo spessore del manto nevoso. Queste curve sono qui tracciate per Val d'Isère (fig. 8) e per Lac de l'Ouillette (fig. 9). Alcune indicazioni numeriche saranno forse utili al lettore per familiarizzarsi con questo graficismo: così, a Val d'Isère alla data del 10 gennaio noi abbiamo 70 probabilità su 100 di vedere la neve superare i 60 cm di spessore, ma soltanto

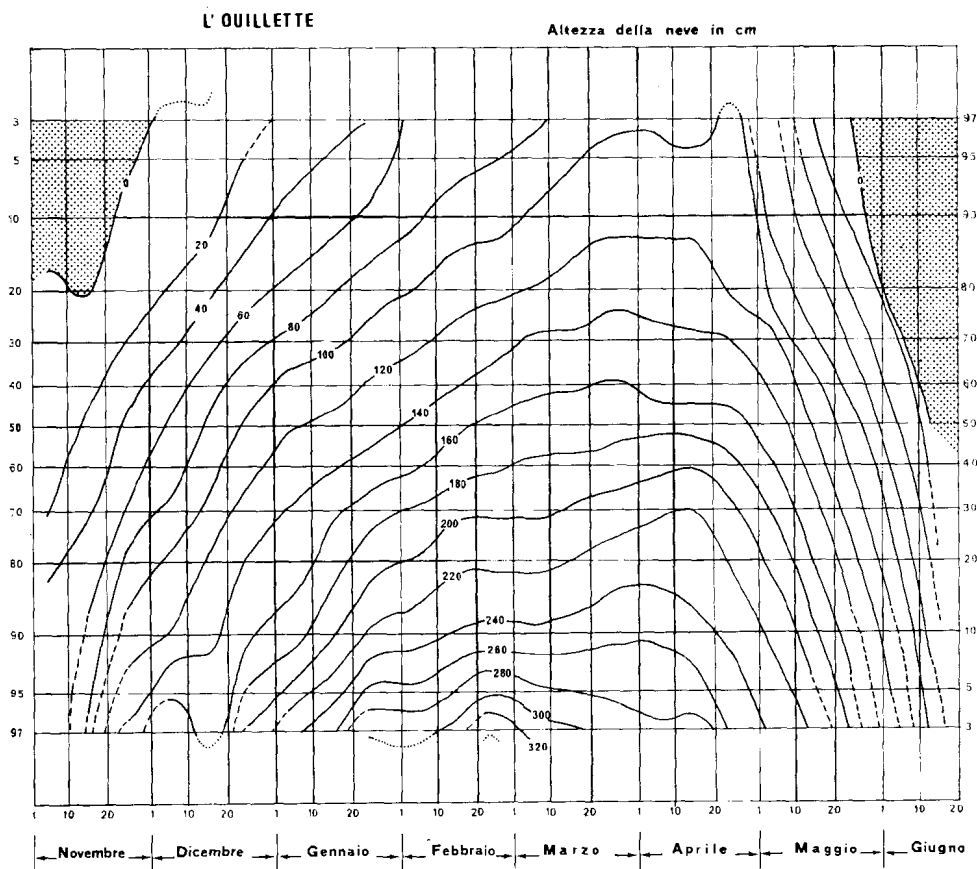


FIG. 9 — «SPERANZA DELLA NEVE AL SUOLO» A LAC DE L'OUILLETTE.
 Per il significato dei valori riportati nelle coordinate si rimanda alla fig. 3.

20 su 100 di vederla superare i 120 cm. A Lac de l'Ouillette la neve al 1° febbraio per 1 anno su 10 resta al di sotto di 70 cm (decile inferiore dell'innnevamento), e con eguale frequenza, 1 anno su 10, può superare i 230 cm (decile superiore) (7). Questi valori costituiscono ciò che io propongo di chiamare « la speranza della neve al suolo ». La curva 0 esprime la probabilità che si ha di vedere, a una certa data, il suolo completamente libero dalla neve: tre volte

(7) I tre massimi di frequenza che si osservano nei valori elevati del manto nevoso sono evidentemente dovuti allo scarso numero di dati disponibili.

in un secolo, in media, a Val d'Isère la neve appare solo dopo il 10 dicembre e ancora tre volte in un secolo essa è già scomparsa il 15 aprile; ma con una frequenza pressoché uguale il manto nevoso, a questa data, può avvicinarsi ai 2 m di spessore.

Dato l'esiguo numero di misure reali sulle quali si fondano tali curve, occorre essere assai prudenti nel commentarle. Tuttavia sembrano assai significative le loro dissimmetrie in tutti i livelli di frequenza: il manto nevoso è assai più rapido a scomparire che a formarsi. Per uno spessore che viene in ogni caso assicurato, per quanto modesto (40 cm), le più forti probabilità sono spostate verso la fine della stagione. D'altra parte, in un inverno eccezionalmente nevoso i valori massimi sono raggiunti a partire dal mese di febbraio; infatti lo spessore di 240 cm è raggiunto con una frequenza all'incirca decennale a Val d'Isère nella 12^a decade (19-28 febbraio). Infine la retta di ordinata 50% permette di leggere il « regime mediano » della stazione, che si potrà raffrontare con il « regime medio », rappresentato nella fig. 4 per Val d'Isère. La neve appare dunque in questa stazione una volta su due prima del 7 dicembre e una volta su due dopo questa data. Lo spessore di 100 cm ha più di una probabilità su due di essere superato tra il 15 gennaio e il 10 aprile. La data mediana di scomparsa del manto si colloca verso l'inizio di maggio (forse il 4 maggio, ma si tratta di una lettura per estrapolazione). Si rileva che a Val d'Isère la durata mediana dell'innevamento (175-180 giorni) è uguale alla durata media: un risultato che, forse, è puramente fortuito e che dovrà essere confrontato con calcoli simili da effettuarsi per altre stazioni.

Il fine di questo contributo è soprattutto di carattere metodologico. Verosimilmente certe tecniche, in particolare per quel che riguarda le correlazioni tra precipitazioni cumulate e innevamento, potranno essere sensibilmente migliorate. Da parte mia ritengo che converrebbe tener conto anche dei dati termometrici. L'accoglienza che verrà riservata a questo mio primo tentativo e i suggerimenti che mi verranno rivolti saranno determinanti per tali miglioramenti.