

MIGUEL ARENILLAS (*), ISIDRO CANTARINO (**), Ramiro MARTINEZ (**),
Eduardo MARTINEZ DE PISON (°) & ALFONSO PEDRERO (°°)

I GHIACCIAI DEI PIRENEI SPAGNOLI

Abstract: ARENILLAS M., CANTARINO I., MARTINEZ R., MARTINEZ DE PISON E. & PEDRERO A., *Glaciers of the Spanish Pyrenees*. (IT ISSN 0391-9838, 1992).

The valleys of the Central Spanish Pyrenees have been carved by the Pleistocene glaciers as far as the external basins and river gorges moraines allow several episodes of the most recent Pleistocene glaciation and significant regression to be distinguished. In the higher areas there are signs of a local Late Glacial progression and, below the highest summits, there is evidence of the effects of the Little Ice Age. In the principal massifs there remain, even today, small glaciers and glacierettes, located on the floor of the cirques, which date from the Little Ice Age. These glaciers have been retreating since the last decades of the XIX Century, and this process has considerably accelerated in recent years. The 29 glaciers and 7 glacierettes existing in 1980 are nowadays (1991) 19 and 17, respectively. Nivometrical data have been obtained between 1984 and 1991 and are presented here. These data explain the recent regression due to the brief snowfalls. Thus, it would appear to be instructive to continue the annual observations and to centre them in significant glaciers, such as La Maladeta.

KEY WORDS: Glacier, Glacier variations, Holocene, Pyrenees.

Riassunto: ARENILLAS M., CANTARINO I., MARTINEZ R., MARTINEZ DE PISON E. & PEDRERO A., *I ghiacciai dei Pirenei Spagnoli*. (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Le valli dei Pirenei Centrali spagnoli sono state erose dai ghiacciai del Pleistocene fino al limite dei bacini esterni e delle gole fluviali. Le morene individuate consentono di differenziare molte fasi riferibili alla più recente delle glaciazioni pleistoceniche (Würm). Nelle aree più elevate sono presenti tracce di fasi tardiglaciali, mentre, solo a ridosso delle massime culminazioni, sono evidenti le morene della Piccola Età Glaciale. Ghiacciai e glacionevati, localizzati all'interno dei circhi, si ritrovano ancor oggi sui principali massicci montuosi. I ghiacciai pirenaici hanno conosciuto un'importante fase di ritiro a partire dall'ultimo decennio del secolo XIX e tale processo si è notevolmente accelerato negli ultimi anni. Dei 29 ghiacciai e dei 7 glacionevati esistenti

nel 1980, oggi (1991) ne rimangono, rispettivamente, soltanto 19 e 17. Vengono presentati anche i dati nivologici raccolti tra il 1984 ed il 1991. Gli autori sottolineano l'importanza di continuare le osservazioni annuali, concentrando sui ghiacciai più significativi come, ad esempio, il Ghiacciaio La Maladeta.

TERMINI CHIAVE: Ghiacciaio, Variazioni glaciali, Olocene, Pirenei.

INTRODUZIONE

I nostri studi nei Pirenei centrali spagnoli hanno seguito tre linee fondamentali di lavoro: 1) la geomorfologia strutturale e il modellamento glaciale; 2) la caratterizzazione dei ghiacciai attuali; 3) l'analisi delle risorse idriche derivanti dalla fusione della copertura nevosa.

I risultati ottenuti permettono di conoscere le principali caratteristiche e le fasi del glacialismo dei Pirenei centrali nel versante Sud, il numero, i tipi e l'evoluzione degli apparati attuali, così come le condizioni e le variazioni riguardanti la neve su queste montagne negli ultimi anni. Tutto ciò rende possibile effettuare una sintesi e una correlazione di questi dati ed impostare un progetto per seguire l'evoluzione dei ghiacciai attuali.

Il versante meridionale degli alti Pirenei spagnoli, dove si ubica il glacialismo attuale, è costituito da Nord a Sud, in primo luogo da una «Zona Assiale» di materiali paleozoici metasedimentari e granitici, con numerose testimonianze di erosione glaciale. In secondo luogo dalle «Catene Interne», costituite da ricoprimenti meso-cenozoici, con gole ripide e *karst*. Nel margine meridionale si trovano le depressioni e le catene esterne non più interessate dalla morfogenesi glaciale quaternaria.

Il modellamento pleistocenico operò con maggior entità e sviluppò alcune delle sue forme più complesse nelle valli dove si localizzano tuttora piccoli ghiacciai. Queste valli, con vari apparati attivi vicino alle loro cime, appartengono, da Ovest a Est, ai bacini del Gállego, Cinca ed Esera. Ad essi si aggiunge il bacino del fiume Noguera Ri-

(*) Universidad Politécnica, Madrid (Spagna).

(**) Universidad Politécnica, Valencia (Spagna).

(°) Universidad Autónoma, Madrid (Spagna).

(°°) Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid (Spagna).

Comunicazione presentata al VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney, 26-28 Settembre 1991. (Communication presented at the 6th Italian Glaciological Meeting, Gressoney, 26-28 September, 1991).

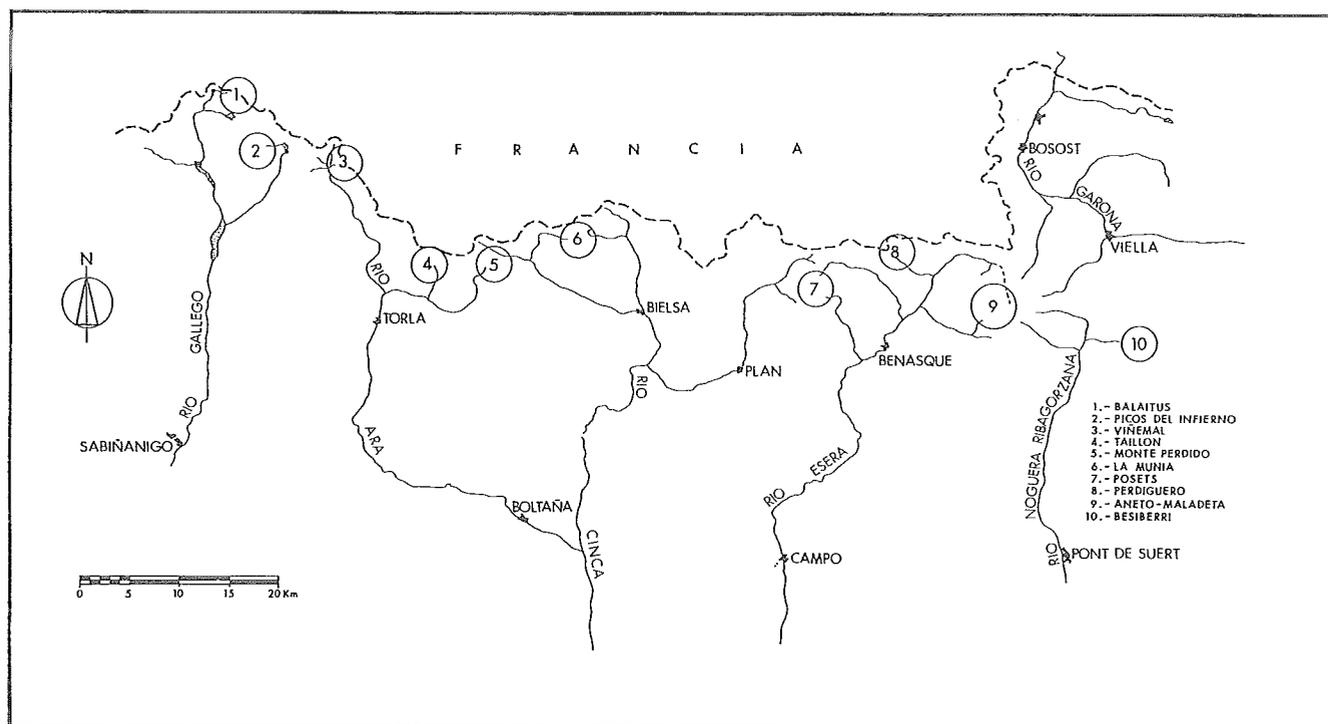


FIG. 1 - Massicci con ghiacciai attuali nei Pirenei spagnoli.

FIG. 1 - Massifs with active glaciers in the Spanish Pyrenees.

bagorzana con solo tre apparati minori (fig. 1). Le cime che ospitano questi apparati superano con frequenza i 3 000 metri di altezza, però le loro differenti forme, situazioni, orientazioni e quote, danno origine a un numero diverso di ghiacciai in ogni massiccio: Balaitus, 3 151 metri, un ghiacciaio e due glacionevati; Punta Zarra, 2 974 metri, un glacionevato; Infierno, 3 076 metri, due ghiacciai e un glacionevato; Argualas, 3 046 metri, un rock glacier; Viñemal, 3 298 metri, tre glacionevati; Monte Perdido, 3 353 metri, tre ghiacciai e due glacionevati; La Munia, 3 123 metri, un glacionevato; Posets, 3 375 metri, tre ghiacciai e un rock glacier; Perdiguero, 3 222 metri, un ghiacciaio e un glacionevato; Aneto 3 404 metri, sei ghiacciai e quattro glacionevati; Besiberri 3 030 metri, un glacionevato coperto. Di essi, solo il massiccio del Monte Perdido è costituito dai materiali delle «Catene Interne». Le cime del Balaitus, Perdiguero, Aneto e Basiberri sono costituite da graniti e il resto fondamentalmente dallo zoccolo metasedimentario assiale con presenza secondaria di granito nel Posets.

EVOLUZIONE MORFOLOGICA

In tutte le valli dei Pirenei aragonesi si osservano chiari segni morfologici di un'importante glaciazione nel Pleistocene recente, sia nelle forme di modellamento, come nei depositi morenici e fluvioglaciali. I limiti inferiori di questa glaciazione si ubicano frequentemente allo sbocco delle valli con altitudini massime di 800 metri e lunghezze

che a volte superano i 35 km. Le datazioni ricavate sui due versanti dei Pirenei indicano che questo glacialismo potrebbe attribuirsi a quello che tradizionalmente viene chiamato Würm.

In una delle valli più rappresentative, quella percorsa dal fiume Aragón, questa glaciazione presenta diversi archi frontali tra loro vicini, che indicano l'esistenza di vari episodi che appartengono alla fase di massima espansione osservabile. In altri casi, come quello del fiume Gállego, sono evidenti, anche se più sporadicamente, resti di morene che, per carattere e ubicazione, potrebbero attribuirsi a un'altra fase anteriore, ancora poco definita. Anche in valli con glacialismo pleistocenico più modesto, sono notevoli gli spessori raggiunti, fino quasi al termine del loro percorso, dalle lingue che le ricoprivano. Così succede, per esempio, nella valle di Hecho (bacino dell'Aragón) nell'area della morena della «Borda de Brun».

Al di sopra del limite massimo raggiunto dai ghiacciai, si osservano altri stadi tardiglaciali locali di regresso e di progresso. Solo nelle aree con cime più elevate si verificò la fase positiva storica conosciuta come la *Piccola Età Glaciale*. I ghiacciai attuali sono apparati residuali di questa ultima fase, nei punti dove questa si sviluppò maggiormente.

La morfologia glaciale della valle di Benaque (MARTINES DE PISON, 1989), nell'alto Esera, con i massicci più alti della catena: Aneto 3 404 metri, Posets 3 374 metri e Perdiguero 3 222 metri, e con la più alta concentrazione di ghiacciai attuali, è un chiaro esempio dei principali caratteri e degli episodi glaciali pirenaici dal Pleistocene superiore fino ai giorni nostri (fig. 2).

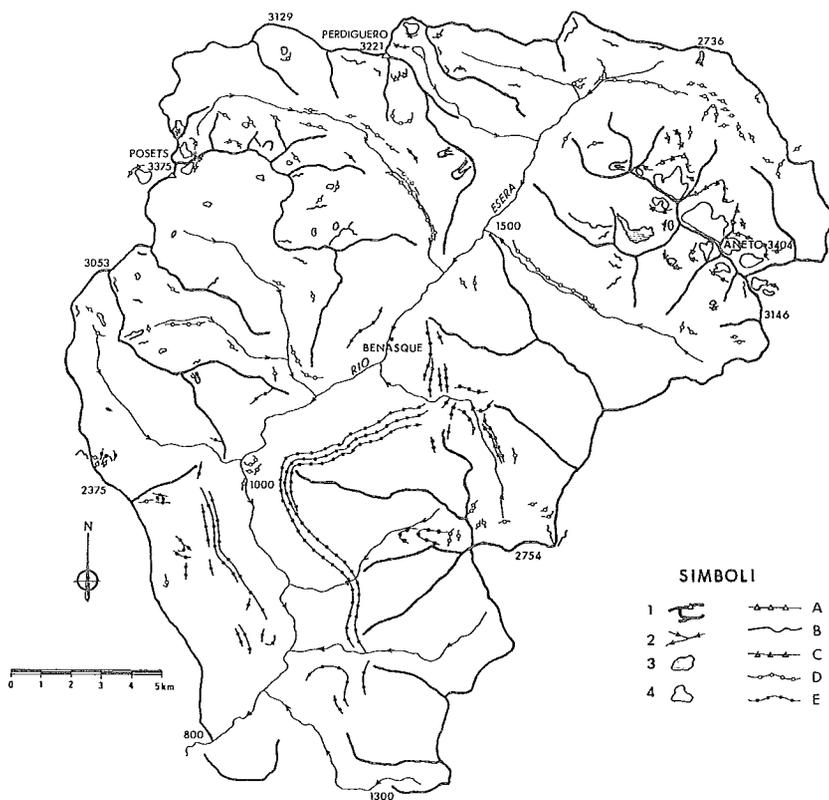


FIG. 2 - Evoluzione glaciale della Valle di Benasque (da MARTINEZ DE PISON, 1989). 1) Linea di cresta. 2) Corso d'acqua. 3) Lago. 4) Ghiacciaio. A) Morena della Piccola Età Glaciale. B) Nivomoraine o rock glacier. C, D) Morene tardiglaciali. E) Morene dell'ultimo periodo di massima espansione glaciale.

FIG. 2 - Glacial evolution of the Benasque Valley. 1) Ridge. 2) Stream. 3) Lake. 4) Glacier. A) Moraine of the Little Ice Age. B) Nivomoraine or rock glacier. C, D) Late Glacial moraine. E) Moraine of the Last Glacial Maximum.

Si possono identificare in questa valle tre cordoni morenici laterali giustapposti, appartenenti a uno stesso episodio del Pleistocene recente, che nella parte centrale del loro percorso indicano uno spessore della lingua di 500 metri e una larghezza di circa 3 km. Dai circhi più elevati (2 900 metri di altitudine) fino alla sua fronte (900 metri), questo apparato aveva una lunghezza di 36 km. Nella valle affluente di Cerler, con glacialismo indipendente, anche se addossato alla valle dell'Esera, si osservano le medesime fasi. Per tanto si possono definire tre tappe nell'evoluzione di un ampio ghiacciaio composto, che abbiamo denominato, successivamente: «massimo pleniglaciale», «intermedio stabile» e «fase interna».

Dopo l'ultimo periodo di massima espansione dei ghiacciai, la deglaciazione dell'alto Esera lasciò nuove morene nell'interno delle valli, nei momenti di stasi. Dopo alcuni depositi poco significativi su una topografia favorevole, le lingue si collocarono nelle valli più alte in un episodio di chiaro regresso glaciale, ma sufficientemente stabile da lasciare morene ben distinguibili. Sono lunghi cordoni morenici laterali, vicini agli attuali fondivalle che indicano, quindi, lingue di limitato spessore, poco alimentate dai circhi laterali. Soprattutto nel gruppo dell'Aneto e meno frequentemente nel resto della valle, è presente una fase più tarda di regresso localizzato nell'alta montagna; la maggior persistenza del glacialismo nell'Aneto, come è dimostrato dall'attuale esistenza di apparati attivi, spiega il carattere locale di questo episodio.

Localizzati pure nei bacini di una certa altezza, esistono *rock-glacier* inattivi, posteriori all'ultima fase di regresso, simili a quelli osservati frequentemente nei Pirenei orien-

tali e che si vogliono datare al Dryas. Di questo stadio tardiglaciale sono anche gli archi morenici ben definiti dell'Aneto, situati tra quelli appartenenti all'ultimo regresso e quelli della Piccola Età Glaciale, già vicini ai ghiacciai attuali.

Infine, nei gruppi dell'Aneto, del Perdiguero e del Posets, come in altri punti elevati delle creste settentrionali della valle di Benasque, rimangono testimonianze di una o di due fasi nelle morene di epoca storica della «Piccola Età Glaciale». Alcuni degli apparati che le generarono sono scomparsi, altri sono in via di estinzione e oggi si individuano solo 17 piccole placche di ghiaccio fra ghiacciai e glacionevati che si possono ancora considerare attivi.

Per quanto riguarda tutto il versante spagnolo, scontate le due fasi che si possono constatare in alcune morene, le descrizioni degli studiosi dei Pirenei tra la fine del XVIII secolo e l'inizio del XIX mostrano i ghiacciai dei Pirenei in quello che si può considerare il loro maggior sviluppo storico (MARTINEZ DE PISON & ARENILLAS, 1988). Alla fine del XIX secolo, invece, appare già un notevole regresso che continua fino al 1957 (forse con un possibile ma limitato riavanzamento verso il 1912) che in seguito si attenua per riprendersi un'altra volta nell'ultimo decennio.

I GHIACCIAI ATTUALI

I primi rilevamenti sui ghiacciai del versante pirenaico spagnolo furono realizzati da SCHRADER (1884) nella seconda metà del secolo XIX. Durante un lungo periodo di

10 anni (1880-1890, circa) egli disegna le carte e misura gli apparati dei due versanti, puntualizzando i dati di una stima che precedentemente aveva comunicato a Elisée RECLUS e che questi aveva pubblicato nella sua *Géographie* nel 1873. per SCHRADER le osservazioni e le misurazioni dei ghiacciai pirenaici evidenziano una fase di regresso «*probablement plus marquée que celles qui l'avaient immédiatement précédée ou qui la suivront*». Nonostante ciò, egli misura per il versante spagnolo una superficie globale occupata da ghiacciai di 1779 ha e un volume totale di ghiaccio di 889 hm³, avendo considerato in 50 metri lo spessore medio dell'insieme.

Pochi anni dopo, tra il 1900 e il 1909, GAURIER (1921) procede a nuove misurazioni dal versante francese, con qualche verifica sul versante spagnolo, osservando che in alcuni casi certe valutazioni di SCHRADER risultavano eccessive. Questa considerazione di GAURIER sembra abbastanza ragionevole: dalle nostre recenti misurazioni, in particolare quelle del 1980/82, e dalle nostre osservazioni più antiche (dagli anni 50 in poi), se le cifre di SCHRADER fossero esatte, il tasso di ablazione glaciale negli apparati del versante spagnolo dei Pirenei avrebbe dovuto essere più evidente di quanto non si deduca dalle osservazioni realizzate da ricercatori e alpinisti durante gli ultimi 80 anni.

La realtà però è che all'inizio degli anni 80 di questo secolo, ossia cento anni dopo le misurazioni di SCHRADER, i ghiacciai e nevai dei Pirenei spagnoli occupavano una superficie di circa 600 ettari con un volume totale di ghiaccio dell'ordine di 100 hm³ (MARTINEZ DE PISON & ARENILLAS, 1988), valori che dieci anni dopo (Luglio 1991) si erano ridotti a 568 e 91, rispettivamente, come conseguenza di un processo di degradazione importante e accelerato che si osserva specialmente negli apparati minori, la cui situazione è, senza dubbio, critica.

I nostri lavori sui ghiacciai dei Pirenei spagnoli iniziati con criteri sistematici dal 1980, furono inclusi successivamente in un programma più ampio (ARENILLAS & MARTINEZ, 1988; PEDRERO, 1988) patrocinato dalla *Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas* spagnolo, diretto allo studio delle risorse idriche derivanti dalle precipitazioni nevose in alta montagna (Programma ERHIN). Nell'ambito del Programma ERHIN si è potuto realizzare nel Luglio di quest'anno (1991) un rilievo praticamente completo di tutti i ghiacciai e nevai dei Pirenei spagnoli. Per realizzarla si è ricorso all'aiuto di un elicottero, che ha reso più facile sia i lavori di rilievo che l'accesso ai diversi apparati studiati. In tal modo si è potuta analizzare la situazione attuale dei ghiacciai e dei gla-

TABELLA 1 - Evoluzione dei ghiacciai dei Pirenei spagnoli.

TABLE 1 - Evolution of the glaciers in the Spanish Pyrenees.

BACINO	APPARATO	TIPO	SCHRADER 1894			ERHIN 1980/82			ERHIN 1991				
			SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)	SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)	SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)		
MASSICCIO DEL BALAITUS													
GALLEGO	Frondeillas	G	55	--	--	G	8	10	0,80	H	7	5	0,35
	Brecha Latour	--	--	--	--	G	7	15	1,05	G	6	10	0,60
	Balaitus SE.	--	--	--	--	H	3	5	0,15	H	2	3	0,06
TOTALE BALAITUS			55	--	--	18	--	2,00		15	--	1,01	
MASSICCIO PICOS DEL INFIERNO													
GALLEGO	Picos Inferno Occidental	G	40	--	--	G	14	15	2,10	G	14	10	1,40
	Picos Inferno Occidental W					H	5	5	0,25	H	4	4	0,16
	Picos Inferno Oriental	G	32	--	--	G	11	10	1,10	G	10	7	0,70
	Las Argualas	G	16	--	--	GR	30	15	--	GR	30	15	--
	Punta Zarra	--	--	--	--	H	2	7	0,14	H	2	5	0,10
TOTALE PICOS DEL INFIERNO			88	--	--	62	--	3,59		60	--	2,36	
MASSICCIO DEL VIÑEMAL													
CINCA	Clot de la Hount	G	40	--	--	G	8	10	0,80	H	6	6	0,36
	Tapou	--	--	--	--	G	6	10	0,60	H	6	6	0,36
	Monferrat	--	--	--	--	G	6	10	0,60	H	6	5	0,30
TOTALE VIÑEMAL			40	--	--	20	--	2,00		18	--	1,02	
MASSICCIO DEL TAILLON													
CINCA	Taillón	--	--	--	--	G	10	5	0,50	H	2	3	0,06
TOTALE TAILLON			--	--	--	10	--	0,50		2	--	0,06	
MASSICCIO DEL MONTE PERDIDO													
CINCA	Marboré-Cilindro	G	388	--	--	G	35	15	5,25	G	25	10	2,50
	Monte Perdido Superior					G	10	20	2,00	G	10	18	1,80
	Monte Perdido Inferior					G	40	40	16,00	G	40	35	14,00
	Soum de Ramond SE.					H	8	10	0,80	H	5	5	0,25
	Soum de Ramond SW.	G	68	--	--	G	14	10	1,40	H	10	5	0,50
	Sur	G	60	--	--	D	--	--	--	--	--	--	--
	Cilindro	G	24	--	--	D	--	--	--	--	--	--	--
	Cisa de Marboré	G	16	--	--	D	--	--	--	--	--	--	--
TOTALE MONTE PERDIDO			556	--	--	107	--	25,45		90	--	19,05	

BACINO	APPARATO	SCHRADER 1894				ERHIN 1980/82				ERHIN 1991			
		TIPO	SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)	TIPO	SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)	TIPO	SUPERFICIE (ha)	SPESORE MEDIO STIMATO (m)	VOLUME (hm ³)
MASSICCO DELLA MUNIA													
CINCA	Robiñera	G	40	--	--	G	12	8	1,00	H	10	5	0,50
TOTALE LA MUNIA			40	--	--	12	--	1,00		10	--		0,50
MASSICCO DEL POSETS													
CINCA	Llardana	G	52	--	--	G	24	15	3,60	G	22	12	2,60
ESERA	La Peül	G	132	--	---	G	13	10	1,30	G	12	10	1,20
	Posets					G	14	10	1,40	G	10	7	0,70
	Los Gemelos	G	20	--	--	GR	4	10	--	GR	4	10	--
	Espadas	G	12	--	--	D	--	--	--	--	--	--	--
TOTALE POSETS			216	--	--	55	--	6,30		48	--		4,50
MASSICCO DEL PERDIGUERO													
ESERA	Literola	G	48	--	--	G	10	5	0,50	G	8	4	0,32
	Remuña	G	44	--	--	SD	--	--	--	H	9	5	0,45
TOTALE PERDIGUERO			92	--	--	10	--	0,50		17	--		0,77
MASSICCO DELL' ANETO-MALADETA													
ESERA	Alba	G	12	--	--	G	2	10	0,20	G	2	3	0,06
	Maladeta (*)	G	116	--	--	G	75	25	18,75	G	75	25	18,75
	Aneto (*)	G	228	--	--	G	136	25	34,00	G	130	25	33,75
	Barrancs (*)	G	52	--	--	G	18	15	2,70	G	18	15	2,70
	Tempestades (*)	G	84	--	--	G	35	20	7,00	G	30	15	4,50
NOGUERA R.	Salences	G	48	--	--	G	12	5	0,60	G	10	4	0,40
ESERA	Cregüeña N	G	24	--	--	G	10	5	0,50	H	6	4	0,24
	Cregüeña S	G	28	--	--	G	5	5	0,25	H	4	4	0,16
	Coronas	G	35	--	--	G	15	7	1,05	G	12	5	0,60
	Llosfà	G	32	--	--	G	6	5	0,30	H	5	4	0,20
NOGUERA R.	La Tallada	--	--	--	SD	--	--	--	H	10	5	0,50	
TOTALE ANETO-MALADETA			692	--	--	314	--	65,35		302	--		61,86
MASSICCO DEL BESIBERRI													
NOGUERA R.	Besiberri	--	--	--	--	SD	--	--	--	HC	6	7	0,42
TOTALE BESIBERRI			--	--	--	--	--	--		6	--		0,42
TOTALE PIRENEI SPAGNOLI			1779	50	890	608	--	106,69		568	--		91,55

cionevati ancora attivi paragonandone le forme e le dimensioni con quelle osservate nel periodo 1980/82, durante il quale erano state portate a termine due campagne da parte di vari gruppi di ricercatori e alpinisti. Nonostante i caratteri esaurienti dei rilievi del 1991, è evidente che esistono ancora altre forme minori nei Pirenei spagnoli, che abbiamo in questo caso tralasciato per la loro scarsa importanza.

Nella tab. 1 sono raccolti per stabilire un paragone, i risultati raggiunti da SCHRADER nel 1894 e le nostre deduzioni del 1980/82 e del 1991. Per semplificare sono stati applicati ai diversi ghiacciai i loro nomi attuali, modificandone alcuni usati da SCHRADER nel 1894. È comunque da sottolineare il fatto che il grande lavoro di ricerca di questo geografo francese ha portato a risultati del massimo interesse, poiché mancano nella sua relazione solamente pochi ghiacciai minori che addirittura in varie occasioni vengono cartografati nelle sue carte anche se non inseriti nei calcoli dei totali. Da ricordare anche che alcuni dei grandi ghiacciai disegnati da SCHRADER si sono disgregati col tempo, dando luogo a varie forme minori. In altri casi i ghiacciai di SCHRADER sono attualmente glacionevati residui, fenomeni constatati nei nostri rilievi. Tutte queste modificazioni sono presentate nella tabella citata, dove inol-

tre si segnalano i bacini fluviali nei quali si localizzano i rispettivi apparati. Il caso specifico dei ghiacciai di Tempestades, Barrancs, Aneto e Maladeta, è stato evidenziato con un asterisco poiché, anche se questi quattro ghiacciai si situano nel bacino morfologico dell'Esera, in realtà le loro acque di fusione (nel caso del ghiacciaio della Maladeta solo parzialmente) si dirigono per via sotterranea verso la Garona.

Per finire, nella tab. 1, sono inclusi anche alcuni ghiacciai non studiati (o per lo meno non quantificati) da SCHRADER, con riferimento, logicamente, allo loro situazione del 1980/82 e del 1991. Abbiamo altresì aggiunto nella relazione del 1991 tre apparati minori (Remuña, La Tallada e Besiberri) che non erano stati studiati nel 1980/82. (Nella relazione di quegli anni figurano con la referenza SD, cioè, senza dati). In ogni caso si sono indicate le tipologie degli apparati corrispondenti con questi criteri.

- Ghiacciaio: G
- Glacionevato: H
- Rock glacier: GR
- Glacionevato coperto: HR

La sintesi generale, per quanto riguarda il numero degli apparati e le rispettive tipologie, si trova nella

tab. 2. Nella figura 3 sono rappresentate le variazioni rispetto al numero, superficie e volume, dei ghiacciai e dei glacionevati.

TABELLA 2 - Numero e tipo di ghiacciai dei Pirenei spagnoli.
TABLE 2 - Number and glacier types in the Spanish Pyrenees.

	1894	1980/82	1991
Ghiacciai	27	27	17
Rock-glacier	—	2	2
Glacionevati	—	7	16
Glacionevati coperti	—	—	1

Dei 36 apparati attuali solamente tre ghiacciai conservano una lingua incipiente: Aneto, Maladeta e Barrancs. Tutti gli altri si possono raggruppare nei seguenti insiemi: otto ghiacciai e altrettanti glacionevati si riducono a piccoli apparati di forma concava con numerosi affioramenti del sostrato roccioso tra la massa di ghiaccio; altri due ghiacciai e otto glacionevati hanno preso forme laminari molto ridotte; quattro sono ghiacciai sospesi; due ghiacciai sono rocciosi e infine c'è un glacionevato coperto. Inoltre, dei ghiacciai citati, solo uno supera i 100 ha di superficie e solamente 5 oltrepassano i 25 ha.

In definitiva i ghiacciai dei Pirenei spagnoli formano un insieme di elementi minori che si trovano inoltre in evidente fase di regresso. Questo è logico se si tiene conto del fatto che i Pirenei sono un'area marginale nell'insieme delle zone glaciali dell'emisfero settentrionale; conseguenza a sua volta dell'identico carattere marginale che la Penisola Iberica ebbe durante la glaciazione quaternaria.

NEVE E GHIACCIAI

L'obiettivo fondamentale del programma ERHIN è la quantificazione degli apporti idrici prodotti dalla fusione

annuale di neve (ARENILLAS & MARTINEZ, 1988). In Spagna il fattore nivale riveste importanza idrologica solamente in aree di alta e media montagna. Tenendo presente questo fattore, il programma ERHIN si è progressivamente localizzato nelle seguenti cordigliere: Pirenei (1987), Sierra Nevada (1989) e Catena Cantábrica (1989). Le date sono riferite all'anno nel quale sono stati disponibili i rispettivi punti di controllo del mantello di neve (ARENILLAS & MARTINEZ, 1988).

Fino al 1990 si è lavorato alla messa a punto di modelli per quantificare le riserve stagionali di neve-acqua. A tale scopo si sono valutate, comparandole, le previsioni con le portate rilevate successivamente in ogni settore fluviale. Dal 1991 si sono sviluppati, inoltre, altri tipi di modelli più complessi, cosicché oggi sono disponibili modelli giornalieri di fusione - calibrati - in alcuni sottobacini principali di ognuno dei tre settori sopra citati.

Per quanto riguarda la relazione tra la neve caduta e le oscillazioni dei ghiacciai attuali dei Pirenei spagnoli, i risultati ottenuti nell'ambito del Programma ERHIN permettono di spiegare alcuni punti di speciale interesse. Tra questi, due sono i principali: a) l'identificazione di aree adatte allo sviluppo attuale di apparati glaciali e b) il proseguimento dell'evoluzione glaciale negli ultimi anni. Di entrambe le questioni si possono dare spiegazioni plausibili attraverso l'analisi dei dati invernali di accumulo nivale riguardanti il periodo 1987-91.

Per quanto riguarda la prima questione (identificazione di aree favorevoli allo sviluppo glaciale) bisogna tenere presente le figure 4 e 5.

La fig. 4 si riferisce alle principali caratteristiche nivali dei diversi alti bacini fluviali del versante spagnolo dei Pirenei. Nella figura, detti bacini appaiono nell'asse delle ascisse, dal fiume Aragón ad Ovest fino al Segre e al Ter ad Est. Per paragonare tra di loro questi bacini si sono analizzati diversi parametri che spiegano la capacità di trattenuta nivale a differenti quote, secondo i valori rappresentati nella seguente tabella:

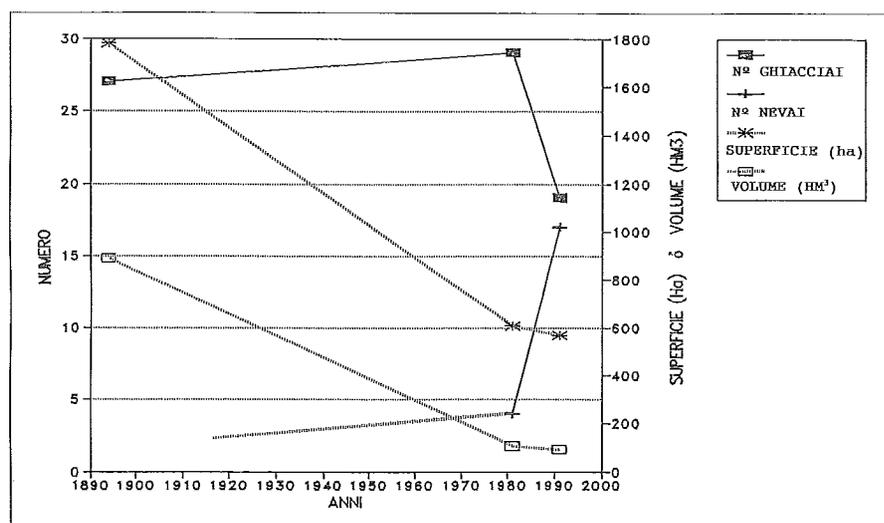


FIG. 3 - Evoluzione dei ghiacciai spagnoli.
FIG. 3 - Evolution of the Spanish glaciers.

TABELLA 3 - Parametri nivologici dei vari bacini dei Pirenei spagnoli.
TABLE 3 - Nivological parameters of the Spanish Pyrenees basins.

Bacino	VMED (hm ³)	s > 2500 (km ²)	s > 2700 (km ²)	S2700/v	S2500/v	K
Aragon	109,2	2,7	0,0	0,00	2,47	0,00
Gallego	105,9	30,6	9,6	9,80	28,94	0,31
Cinca	511,0	166,2	66,6	32,53	32,53	0,40
Garona	245,8	27,2	2,7	11,07	11,07	0,10
Nogueras	251,9	173,2	34,5	68,76	68,76	0,20
Segre-ter	82,7	121,1	17,8	146,46	146,46	0,15

- VMED è il valore medio del volume di acqua trattenuto sotto forma di neve in tutto il bacino. È calcolato come media per i mesi di aprile degli anni 1988-89-90 e 91.
- S > 2500 è la superficie del bacino sopra la quota 2 500 m s.l.m.
- S > 2700 è la superficie del bacino sopra la quota 2 700 m s.l.m.
- S 2700/V è il quoziente fra S > 2700 e VMED. Viene espresso in km²/hm³. Indica l'importanza relativa della superficie situata ad alta quota rispetto alla ritenzione nivale del bacino (la quota 2 700 m s.l.m. indica un valore medio minimo di inizio dei ghiacciai attuali).

- S 2500/V ha lo stesso significato del precedente. Indica l'apporto, dal punto di vista della ritenzione nivale, di superfici situate a quote più basse. Questa quota di riferimento permette di fare paragoni omogenei in tutti i Pirenei in relazione alla presenza di neve in primavera.
- K è il quoziente tra S 2700/V e S 2500/V. È un valore adimensionale che indica l'importanza dell'accumulo nivale ad alte quote rispetto a quote inferiori.

L'analisi di questi valori permette di arrivare alle seguenti conclusioni:

- Per il bacino dell'Aragón, le relazioni indicate nella tab. 3 (v. fig. 4) sono irrilevanti, perché, anche se l'accumulo nivale può essere importante, come si vedrà, la mancanza di alte quote diminuisce le caratteristiche, proprie dell'alta montagna.
- I valori certamente elevati di superficie-volume (S 2700/V e specialmente S 2500/V) nei fiumi Nogueras, Segre e Ter, sono dovuti alla bassa relazione tra l'accumulo nivale e le dimensioni (grandi) dei loro rispettivi bacini. Precisamente la relazione tra entrambe (K) dimostra la mancanza di caratteristiche proprie dell'alta

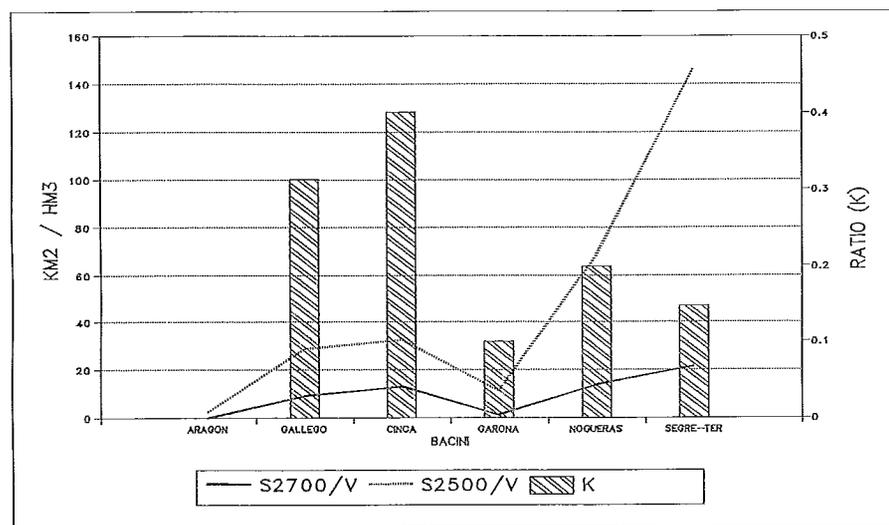
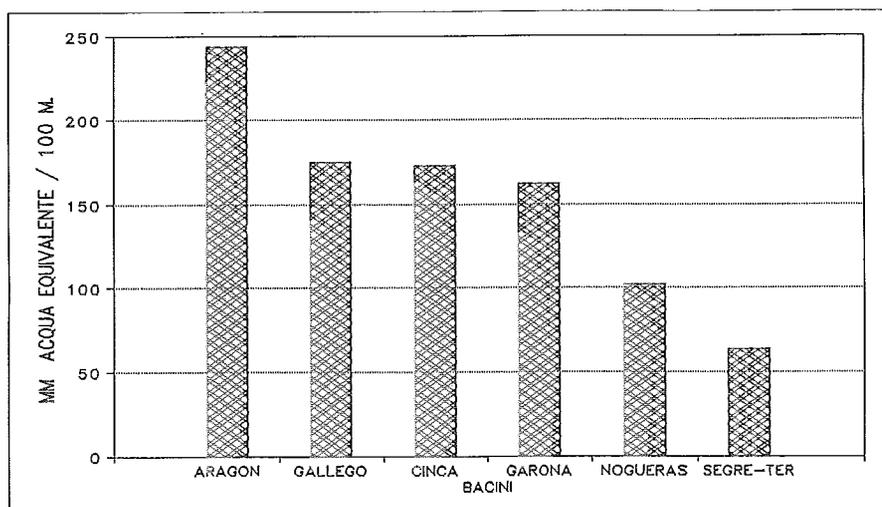


FIG. 4 - Rapporti tra le aree dei bacini fluviali e le precipitazioni nevose nei Pirenei spagnoli.

FIG. 4 - Relationship between river basin areas and snowfall in the Spanish Pyrenees.

FIG. 5 - Gradienti medi di neve accumulata fra le quote 2 300 e 2 800 (1988-91).

FIG. 5 - Mean gradients of accumulated snow at altitudes ranging from 2 300 to 2 800 m.



montagna, evidenziando la maggiore importanza dell'accumulo nivale alle quote più basse dell'intervanno 2 500-2 700.

- Emergono i bacini del Gállego e del Cinca, con chiare caratteristiche di alta montagna e forte accumulo nivale. Ciò risulta logico se si tiene conto che è proprio qui dove si localizzano i ghiacciai attuali (eccezione fatta per un ghiacciaio e due glacionevati che, pur appartenendo idrograficamente al fiume Noguera Ribagorzana, si collocano molto vicini al settore che trattiamo).
- Il bacino della Garona si trova in una posizione intermedia con valori importanti di accumulo nivale, ma con l'evidente mancanza di superfici ad alte quote.

I risultati esposti nella fig. 5 corroborano queste conclusioni. Si riferiscono ai profili di innevamento calcolati in Primavera in ognuno dei bacini sopra citati. Detti profili sono le curve, calcolate con procedimenti statistici di regressione, che mettono in relazione l'altitudine con il valore dell'acqua trattenuta in forma di neve. Le cifre presentate corrispondono ai valori medi del periodo 1988-89-90-91 nel mese di Aprile.

Possono evidenziarsi i seguenti aspetti:

- Importante incremento dell'accumulo nivale con l'altitudine (alto gradiente) nel bacino dell'Aragón, conseguenza dei suoi caratteri atlantici. Però questo risultato non rappresenta la vera situazione poiché in questo bacino si superano appena i 2 500 m s.l.m.
- Gradienti importanti e simili tra di loro nei bacini del Gállego, Cinca e Garona che confermano le condizioni di grande accumulo nivale anteriormente menzionate.
- Valori particolarmente marginali nei bacini più orientali dei fiumi Nogueras, Segre e Ter che dimostrano già un chiaro predominio di caratteri climatici mediterranei.

Da queste due analisi si può dedurre che unicamente nei bacini del Gállego e del Cinca si danno contemporaneamente le condizioni di elevate precipitazioni invernali e di sufficiente altitudine che permettono l'attuale esistenza di ghiacciai. Nel resto, o la mancanza di sufficienti precipitazioni (Nogueras o Segre) o la minore altitudine nelle

cime (Aragón e Garona) o entrambi i fattori (Ter), rendono impossibile la presenza del glacialismo attuale.

Per quanto riguarda il proseguimento dell'evoluzione glaciale recente (b) risultano chiarificatrici le figure 6 e 7. La figura 6 presenta la variazione delle precipitazioni invernali negli ultimi cinque anni in relazione all'insieme di bacini con maggiori ghiacciai attuali (Gállego e Cinca). Si trovano rappresentati i valori corrispondenti alle misurazioni realizzate in Gennaio, Marzo e Aprile di ogni anno. Agli effetti comparativi conviene osservare con attenzione le cifre del mese di Aprile perché rappresentano il valore massimo di accumulo nivale immediatamente prima dell'inizio della fusione.

L'anno 1988 ha offerto i dati massimi in questo periodo e lo si può considerare come anno medio di una serie anteriore più ampia. L'anno 1987 può essere considerato scarso, mentre i tre ultimi anni risultano estremamente deficitari, soprattutto il 1989 e il 1990 quando neppure in Marzo si osservava una adeguata coltre di neve, rendendo quindi impensabile una fusione parziale durante l'Inverno.

Tutto quanto sopra detto è evidente ancora nella fig. 7, nella quale viene presentata per ogni massiccio l'evoluzione cronologica di osservazioni in Aprile dedotte dalle paline di controllo più significative, con l'indicazione dell'altitudine per ognuna.

In sintesi i dati ottenuti con il programma ERHIN indicano che negli ultimi anni si sta producendo una chiara riduzione dell'effetto alimentatore e di quello protettore che la neve esercita sui ghiacciai. Questa tendenza, sommata alla situazione critica in cui si trovano attualmente i ghiacciai dei Pirenei spagnoli a causa di un lungo periodo di regresso, spiega, senza dubbio, l'evidente perdita della massa glaciale osservata negli anni più recenti, come è evidenziato anche dalla fotografia della fig. 8).

In conseguenza di quanto detto sopra, è evidente, che per approfondire le conoscenze dei caratteri e dell'evoluzione dei ghiacciai dei Pirenei spagnoli è necessario un controllo annuale di tutti gli apparati e delle aree adiacenti. In questa medesima ottica mostra un interesse speciale la realizzazione di osservazioni e misure strumentali in un

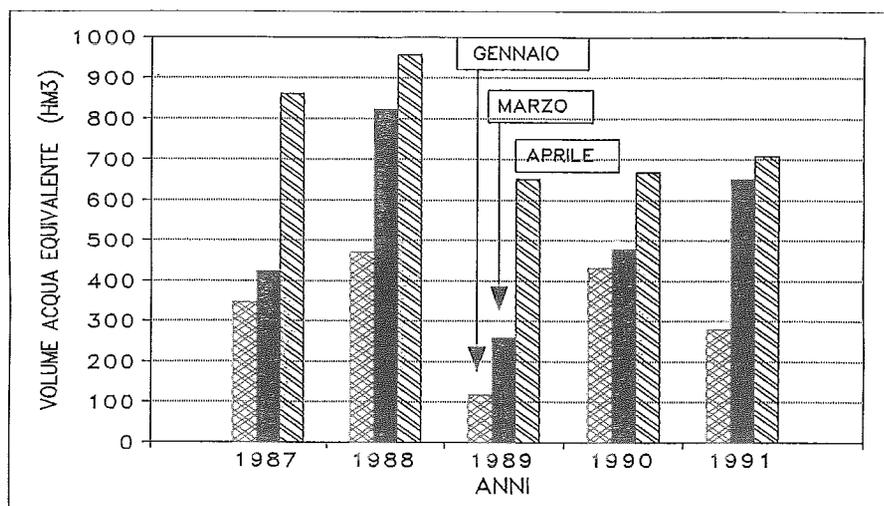
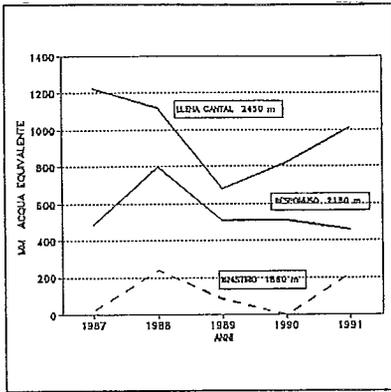
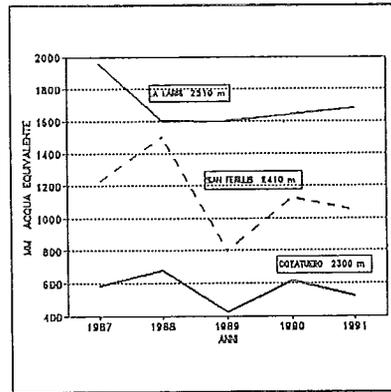


FIG. 6 - Evoluzione della neve accumulata nei bacini con ghiacciai attivi (Gennaio, Marzo, Aprile).

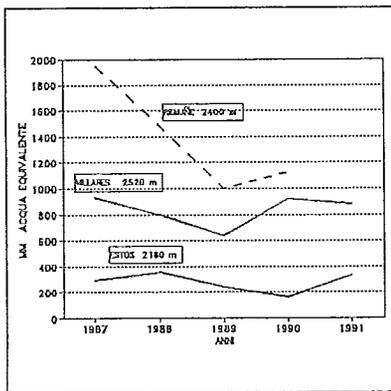
FIG. 6 - Evolution of accumulated snow in basins with active glaciers (January, March, April).



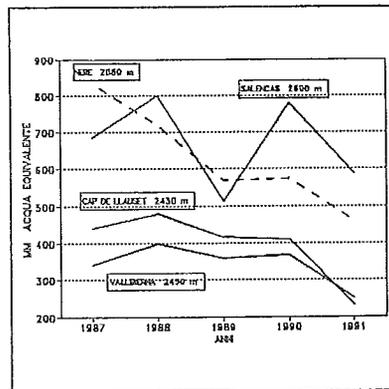
MASSICCI: BALAITUS-INFIERNOS



MASSICCIO: PERDIDO



MASSICCIO: POSETS



MASSICCIO: ANETO-MALADETA

FIG. 7 - Neve accumulata in Aprile (1987-91).

FIG. 7 - Snow accumulated in April (1987-91).

FIG. 8 - Massiccio dell'Aneto, Ghiacciaio Maladeta (Luglio 1991).

FIG. 8 - Aneto Massif, Maladeta Glacier (July 1991).



ghiacciaio particolarmente rappresentativo. Abbiamo scelto quello della Maladeta, dove a cominciare dal prossimo anno si metterà a punto il corrispondente sistema di controllo. Tutti questi lavori saranno resi più facili dal fatto di poter contare sulle infrastrutture di cui dispone il programma ERHIN, in cui tali lavori sono stati integrati.

BIBLIOGRAFIA

- AGUDO C., SERANO E. & MARTINEZ DE PISÓN E. (1989) - *El glaciar rocoso activo de Los Gemelos en el macizo del Posets (Pirineo Aragonés)*. Cuat. y Geomorf., 3, 83-91.
- ARENILLAS PARRA M. & MARTINEZ COSTA R. (1988) - *El método hidrológico-estadístico*. In: *La nieve en el Pirineo español*, Madrid, MOPU, 99-126.
- GAURIER L. (1921) - *Etudes glaciaires dans les Pyrénées françaises et espagnoles de 1900 à 1909*. Pau, Garet-Haristoy, pp. XVI + 363.
- MARTINEZ DE PISÓN E. (1989) - *Morfología glaciar del Valle de Benasque (Pirineo Aragonés)*. Eriá, 18, 51-64.
- MARTINEZ DE PISÓN E. & ARENILLAS M. (1988) - *Los glaciares actuales del Pirineo español*. In: *La nieve en el Pirineo español*, Madrid, MOPU, 29-98.
- NICOLÁS P. (1981) - *Morfología del circo de Tucarroya*. Cuad. Investig. Geogr., 51-80.
- PEDRERO Á. (1988) - *El Programa ERHIN*. In *La nieve en el Pirineo español*, Madrid, MOPU, 9-28.
- SCHRADER F. (1894) - *Sur l'étendue des glaciers des Pyrénées*. In: *Pyrénées*, Toulouse, 201-221.
- SERRANO E. & AGUDO C. (1988) - *La deglaciación del valle de los Ibones Azules (Panticosa)*. Cuat. y Geomorf., 2, 115-123.
- SERRANO E. & RUBIO V. (1989) - *El glaciar rocoso activo de Las Argualas (Pirineo Aragonés)*. Eriá, 19, 195-198.
- SERRAT D. (1980) - *Catálogo de los glaciares de la Península Ibérica*. Not. Geogr. Fís., 3, 35-55.