

GIANCARLO ROSSI (*)

I GHIACCIAI ITALIANI ED IL LORO POTENZIALE IDROELETTRICO

ABSTRACT: ROSSI G., *The Italian glaciers and their hydroelectric producibility*. (IT ISSN 0391-9838, 1995).

The present paper contains an analysis of the hydrological tasks involved by the exploitation of the hydro resources of the nivo-glacial basins for electric purposes, with particular emphasis on the problems of the evaluation of the hydrological balance and of the identification of both the annual regime and its possible evolution.

KEY WORDS: Glacier, Hydroelectric producibility.

RIASSUNTO: ROSSI G., *I ghiacciai italiani ed il loro potenziale idroelettrico*. (IT ISSN 0391-9838, 1995).

Il lavoro espone una analisi delle problematiche idrologiche attinenti alla produzione elettrica attraverso lo sfruttamento delle risorse dei bacini nivo-glaciali, con particolare attenzione alla valutazione del bilancio idrologico ed alla definizione sia del regime annuale che della sua possibile evoluzione.

TERMINI CHIAVE: Ghiacciai, Producibilità idroelettrica.

PREMESSA

Nel 1963, anno della nazionalizzazione dell'industria elettrica, la produzione energetica da fonte idroelettrica assommava a 31,2 Twh e rappresentava il 62,6% della produzione totale lorda dell'ENEL (47,5 Twh). Durante il trentennio successivo, mentre il valore di questa grandezza è rimasto pressoché costante, la sua incidenza sulla produzione totale lorda si è però andata drasticamente riducendo, rag-

giungendo il valore minimo nel 1990 con il 12,2%, per poi risalire fino al 18,9% nel 1994, quando il suo valore risultava 34,4 Twh. Tale riduzione di incidenza è sopravvenuta per effetto del forte incremento della domanda, soddisfatta attraverso un massiccio uso delle fonti termoelettriche. Nel grafico di sinistra della fig. 1 è riportato l'andamento storico della produzione idroelettrica, distinta per tipologia di impianto, mentre nel grafico di destra è riportato quello dell'incidenza reativa di ciascuno di essi (ENEL S.p.A., 1994).

La produzione idroelettrica ha sempre conservato, comunque, il ruolo di riserva strategica nel garantire il soddisfacimento della domanda improvvisa oppure delle rapide oscillazioni in corrispondenza delle ore di punta; in particolare il valore di Dicembre alle ore 17,00 con una domanda di 35,3 GW, domanda che è stata soddisfatta per il 18,4% dalla fonte idroelettrica.

Per quanto riguarda la ripartizione della produzione idroelettrica secondo la tipologia dell'impianto, sempre nel 1994 questa è stata assicurata per il 27,3% dalla riserva costituita dagli invasi dei serbatoi a regolazione stagionale con una riserva energetica totale di 9,4 Twh (tenendo conto anche del pompaggio). I serbatoi a regolazione stagionale che sottendono bacini a regime nivale o nivoglaciale costituiscono circa l'82% dell'intera riserva energetica idraulica, e l'estensione dei bacini da essi sottesi è di 3786,2 Km² (tab. 1).

TABELLA 1 - Estensione dei bacini nivoglaciali sottesi da serbatoi a regolazione stagionale dell'ENEL

TABLE 1 - Surface extent of the nivo-glacial basins subtended by the ENEL seasonally regulated reservoirs.

Compart ENEL	sup. bacino km ²	capacità serb. 10 ⁶ m ³
Torino	618,3	322,4
Milano	305,8	291,1
Venezia	2627,1	473,6
Totale		

(*) ENEL S.P.A. - CRIS *Unità Idro-Geologia Impiantistica. Servizio Idrologico - Venezia Mestre.*

Relazione presentata al Convegno «Cento anni di ricerca glaciologica in Italia», Torino, 19-20 Ottobre 1995 (Lecture presented at the Meeting «100 years of glaciological research in Italy», Turin, 19-20 October 1995).

Si ringrazia il dott. F. DUTTO ed il dott. S. PALUDI del Servizio Idrografico e Mareografico del Po - Sezione di Torino per la cortese collaborazione nella consultazione delle registrazioni e delle misure idrometriche delle stazioni di misura a valle dei bacini glaciali della Valle d'Aosta, conservate nell'archivio del Servizio.

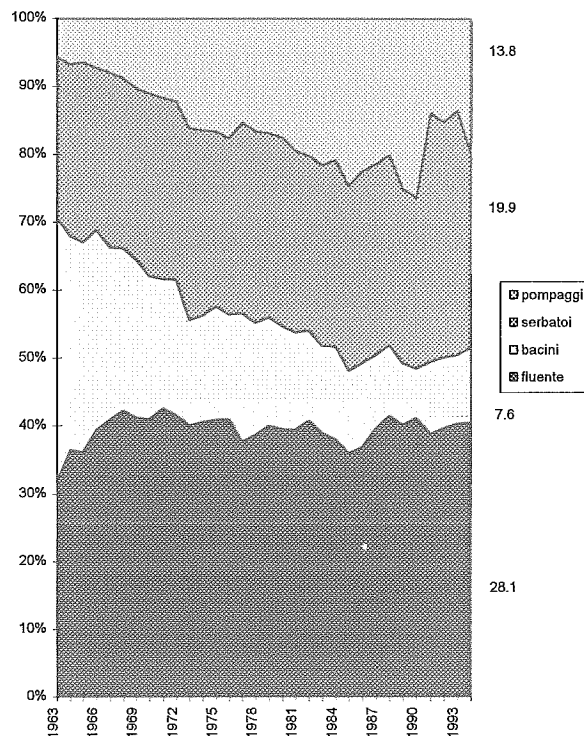
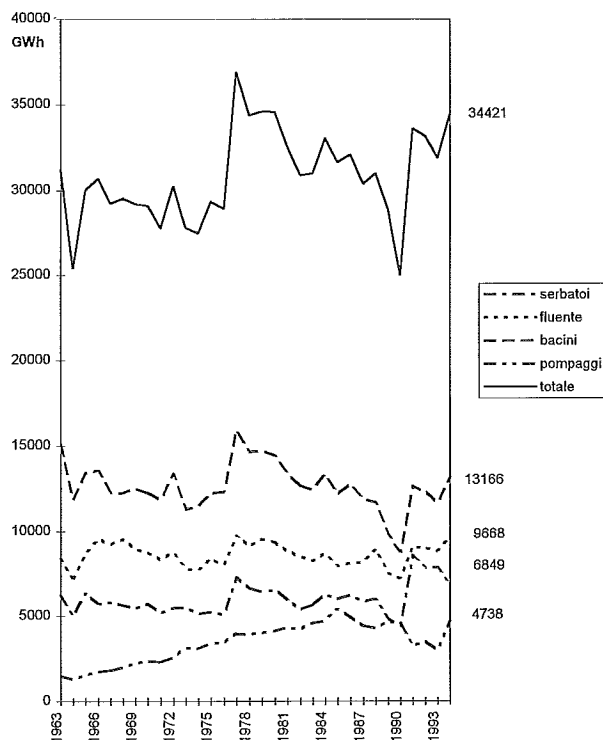


FIG. 1 - Produzione netta idroelettrica dell'ENEL secondo tipo di impianto dal 1963 al 1994.

FIG. 1 - 1963-94 time series of the amount of the hydro-energy produced by ENEL according to the facility typology.

EVOLUZIONE DELLE PROBLEMATICHE IDROLOGICO-GLACIALI

Le risorse idriche alpine, a motivo del loro elevato valore di energia potenziale sono sempre state privilegiate per lo sfruttamento idroelettrico; questa caratteristica, unita alla presenza di una appropriata morfologia del territorio vallivo che consente la realizzazione di invasi anche di grandi dimensioni, ha richiamato, già nella fase iniziale di questo sfruttamento, investimenti tecnici ed economici per la realizzazione degli impianti alimentati dai grandi serbatoi di accumulo che avrebbero garantito, in maniera dominante, la produzione energetica di base per lo sviluppo economico ed industriale del Paese fino a oltre la metà degli anni '60.

Le conoscenze idrologiche richieste per la realizzazione della fase progettuale e quella di esercizio degli impianti a regolazione stagionale erano essenzialmente due:

a) la determinazione del regime idrologico medio degli apporti (pioggia e neve) e dei deflussi;

b) la stima della disponibilità idriche totali, cioè il bilancio idrologico annuale dei bacini, comprensivo anche delle variazioni di superficie e volume delle masse glaciali.

Negli ultimi decenni sullo sfruttamento della risorsa idroelettrica, che come noto è una risorsa rinnovabile e, in quanto tale, non altera la termodinamica dell'ambiente,

è andato aumentando il peso del vincolo dovuto alla occupazione del territorio, vuoi perché i potenziali siti sono meno favorevoli di quelli già sfruttati, vuoi perché sul territorio montano sono aumentati gli interessi derivanti da sfruttamenti diversi (industriale, turistico ecc.). In questo modo sullo sfruttamento della risorsa idrica è in atto una competizione che si sviluppa su due versanti: la gestione della risorsa vera e propria e l'uso del territorio.

Non sussistendo più le condizioni per la realizzazione di grandi invasi, lo sfruttamento idroelettrico si può indirizzare attualmente solo verso la realizzazione di impianti ad acqua fluente che utilizzano la risorsa secondo il regime naturale, mediante impianti che hanno un ridotto impatto sul regime idrologico e sul territorio. In questo caso le informazioni idrologiche richieste per la progettazione e per l'esercizio di questi impianti, soprattutto in regime nivoglaciale, oltre quelle già viste sono:

a) la distribuzione delle piene, ai fini del dimensionamento delle opere sotto il profilo della sicurezza;

b) la distribuzione delle escursioni giornaliere delle portate per la ottimizzazione delle possibilità di captazione;

c) il regime di magra;

d) la previsione delle portate in arrivo per la ottimizzazione della produzione.

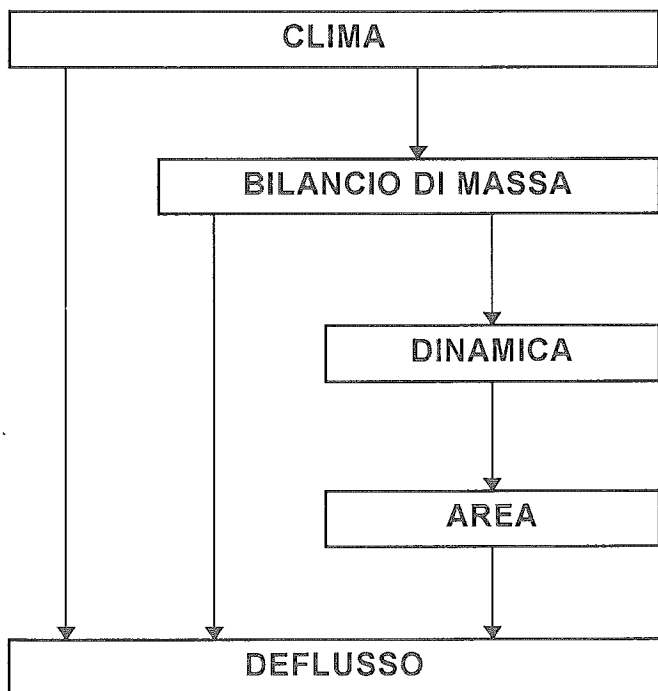


Fig. 2 - Schema semplificato delle relazioni clima deflussi in un bacino glaciale. I fattori climatici influenzano direttamente il bilancio di massa ed i deflussi a scala stagionale ed annuale. Le variazioni cumulate della massa glaciale, oltre ad agire sui deflussi, modificano l'estensione della superficie glaciale attraverso la dinamica del flusso glaciale con processi a scala temporale ancora più lunga.

Fig. 2 - Simplified outline of the climate runoff relations in a glacial basin. Climate factors act directly on the mass balance and runoff at a seasonal or annual time-scale. Cumulated variations of the glacier mass, on turn, act on runoff and, moreover, modify the glacier surface extent through processes at many years time-scale which involve modifications of the glacier flux dynamics. Glacier surface extent modifications, on turn, act on the surface energy fluxes, and consequently on runoff, through longer time-scale processes.

IDROLOGIA DEI BACINI NIVOGLACIALI

La presenza di masse glaciali all'interno dei bacini alpini, anche se di estensione limitata, agisce sul regime dei deflussi a diverse scale temporali nel senso di mitigare l'azione della variabilità climatica. Lo schema di questa azione, riportato in fig. 2, evidenzia come, a fronte di una correlazione diretta afflussi-deflussi, prevalente nella parte non glacializzata, l'intermediazione della massa glaciale modifica la risposta del bacino alle sollecitazioni climatiche.

Per quanto riguarda la variabilità climatica interannuale, negli anni caratterizzati da precipitazioni più abbondanti e da temperature più basse il bilancio di massa realizzerà un saldo positivo incrementando l'accumulo nevoso a spese dei deflussi. Al contrario, negli anni caratterizzati da precipitazioni più scarse e da temperature più elevate, il bilancio di massa presenterà un saldo negativo, fornendo un contributo aggiuntivo ai più magri deflussi estivi.

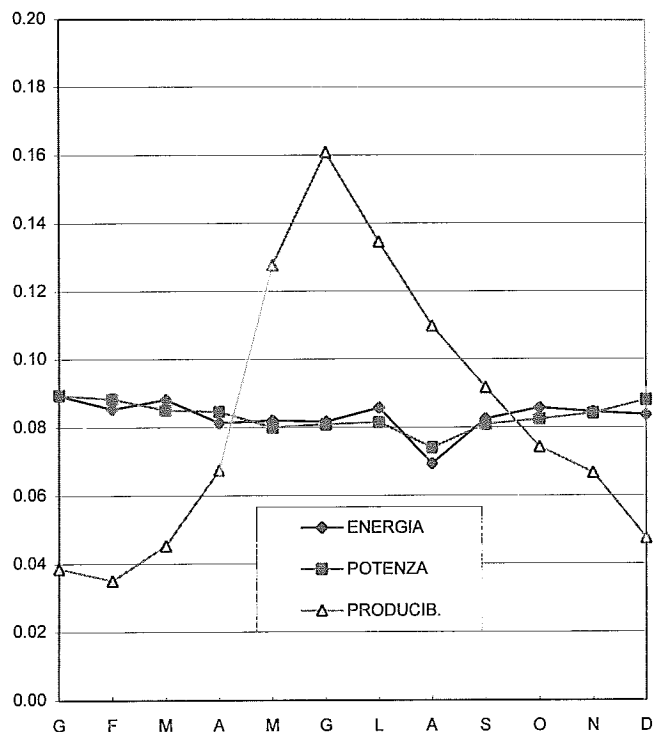


Fig. 3 - Andamento del corso medio annuale normalizzato della domanda di energia e di potenza, e del regime delle risorse idriche.

Fig. 3 - Mean annual normalized rate of the energy and power demand, and mean annual hydro-resources regimen.

La persistenza per un periodo abbastanza lungo di condizioni climatiche che si allontanano da quelle di equilibrio della massa glaciale comporta l'attivazione di meccanismi di risposta che investono l'intera massa, e che, attraverso modifiche alla sua dinamica ed ai flussi di massa e di energia la portano verso una configurazione più confacente alla nuova condizione di equilibrio. Queste variazioni comportano ovviamente una influenza sulla struttura dei deflussi nel lungo periodo.

L'andamento del corso annuale della domanda elettrica, in particolare della potenza di punta, presenta una modulazione periodica con il massimo molto arrotondato, centrato in corrispondenza del periodo invernale ed il minimo in corrispondenza del periodo estivo, esattamente antagonista con il regime delle risorse idriche, da cui discende la necessità di disporre degli invasi per distribuire queste risorse secondo l'andamento della domanda (fig. 3).

CONTRIBUTO DELLE SOCIETÀ ELETTRICHE ALLO SVILUPPO DELL'IDROLOGIA GLACIALE

L'interesse per le problematiche idrologiche connesse ad un miglior dimensionamento ed una più economica gestione degli impianti ha stimolato l'organismo che rappre-

TABELLA 2 - Stazioni idrometrografiche storiche situate alla chiusura dei grandi bacini glaciali.

TABLE 2 - Hydrometrographic gauging stations of wide glacial basins with long time series recording.

Bacino principale	Stazione	S	s	Ente propr.	Funzionamento
Po-Dora Baltea	Ruitor a Promise	49,8	13,8	Uipo	1933-67
Po-Dora Baltea	Evançon a Brusson	145,3	15,7	Sip-Breda	1932-46
Po-Dora Baltea	Lys a d'Ejola	30,4	14,4	Uipo	1933-51
Po-Adda	Frodolfo a Forni	48,5	22,8	Uipo-Aem	1930-40
Po-Sarca	Sarca di Val Genova a S. Stefano	14,9	18,9	Uima-Sism	1925-60
Adige-Avisio	Avisio a Pian Fedaià	8,0	3,4	Sade	1938-52
Adige-Noce	Rio Careser a Baia	8,0	5,1	Uima-Sget	1933-

sentava le società elettriche (ANDEL), e successivamente l'ENEL S.p.A. e le società municipalizzate a sviluppare molteplici iniziative scientifiche, prevalentemente in collaborazione con il Comitato Glaciologico Italiano, per lo studio dell'idrologia nivo-glaciale dei bacini sottesi dagli impianti. Queste iniziative scientifiche possono venire classificate secondo i seguenti filoni:

- bilancio idrologico dei bacini e bilancio di massa dei corpi glaciali;
- valutazione delle risorse idriche glaciali;
- prospezioni geofisiche.

Bilancio idrologico dei bacini e bilancio di massa dei corpi glaciali

La valutazione dell'efficacia dell'azione modulatrice del contributo glaciale sull'idrologia dei bacini può essere ondata attraverso l'analisi del bilancio idrologico e la disaggregazione dei valori di deflusso netto, cioè già depurati delle perdite per evaporazione/sublimazione ed infiltrazione, allo scopo di separare i contributi derivanti dalle precipitazioni dirette, dalla fusione della neve e dalla fusione glaciale.

Durante il periodo dello sviluppo dello sfruttamento idroelettrico dei bacini alpini, si è realizzata una forte convergenza tra le attività delle strutture tecniche dello Stato (Ufficio Idrografico del Po UIPO e Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque UIMA), con le Società elettriche di allora (GIANDOTTI, 1927). Grande impegno venne riversato nell'installazione di stazioni idrometriche su alcuni emissari glaciali e nella realizzazione di alcuni osservatori meteorologici di alta quota (ALFIERI, 1938); in tab. 2 sono riportate le stazioni idrometrografiche caratterizzate da una serie storica molto lunga, nella quale i valori nella colonna S rappresentano la superficie totale del bacino in km², mentre quelli nella colonna s rappresentano la superficie glaciale (alla data di inizio dell'attività della stazione). Data la collocazione delle fronti glaciali del versante italiano delle Alpi a quote piuttosto elevate, la gestione di queste stazioni, durante il periodo invernale ed il disgelo primaverile, è risultata praticamente impossibile. Poiché la chiusura di un bilancio idrologico, anche semplificato, richiede la conoscenza, oltre che della distribuzione delle precipitazioni in alta quota, anche dei deflussi alle sezioni di chiusura dei bacini glaciali per l'intero corso dell'anno idrologico, questa mancanza, assieme alla difficoltà di garantire una certa continuità nelle misure glaciologiche di superficie ha praticamente impedito finora la definizione dei bilanci idrologici dei ghiacciai italiani.

Per quanto riguarda il bilancio di massa, le prime espe-

rienze sui ghiacciai italiani sono state condotte sul Ghiacciaio della Marmolada nell'anno 1964-65 (ZANON, 1968), esperienza poi trasferita sul Ghiacciaio del Careser nel 1966 e da allora condotta ininterrottamente fino ai giorni nostri.

Numerosi sono stati i rilievi fotogrammetrici di dettaglio per la cartografia dei ghiacciai, sia terrestri che aerei, condotti ad intervalli di tempo per valutare le variazioni volumetriche. A tale scopo si ricorda la serie condotta sul Ghiacciaio del Careser a partire dal primo rilievo terrestre del 1933 (DESIO & DI PISA, 1934), dal successivo del 1958, e da quelli aerei degli 1967, 1970, 1980, 1990 (GIADA & ZANON, 1991). Giova anche ricordare il rilievo aereo dei ghiacciai del versante meridionale del Monte Rosa, ancora inedito, realizzato nell'ambito della collaborazione scientifica CGI ENEL-S.p.A.

Valutazioni delle risorse idriche glaciali utilizzabili a scopo idroelettrico

La valutazione delle risorse idriche glaciali complessive utilizzabili a scopo idroelettrico e la stima della loro evoluzione temporale, avviene mediante il censimento delle unità glaciali e la determinazione della potenzialità di ognuna di esse, in tempi successivi.

Per questo scopo sono stati utilizzati il Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR-CGI, 1962), i cui dati si basano prevalentemente su rilievi databili al 1957 e l'indagine preparata per il World Glacier Inventory (WGI), e pubblicata solo parzialmente (ZANON, 1990; GALLUCCIO & CATASTA, 1992; VALENTINI, 1985), i cui dati si basano su rilievi databili tra il 1975 ed il 1980.

Per quanto riguarda gli aspetti quantitativi, l'entità delle variazioni del potenziale idrico ed idroelettrico complessivo dell'insieme dei ghiacciai italiani nel periodo 1957-80, è stata valutata attraverso il confronto tra l'estensione delle superfici delle unità glaciali riportate nei catasti citati, ripartite per Società proprietaria degli impianti e per tipologia dell'impianto. Il criterio di accatastamento dei corpi glaciali nel Catasto del 1957 era stato basato esclusivamente su considerazioni morfologiche, mentre quello applicato dal WGI prevedeva un limite inferiore di estensione pari a 5 ha e la classifica in ghiacciai e glacionevati; allo scopo di rendere omogeneo il confronto, è stata mantenuta questa distinzione.

Dalla tab. 3 appare quindi che dal 1957 al 1980 la superficie totale dei ghiacciai i cui deflussi vengono utilizzati per scopo idroelettrico, è aumentata, seppur di una percen-

TABELLA 3 - Riepilogo delle superfici glaciali per società e per tipo di impianto

TABLE 3 - Surface amount sums of the glacier exploited for hydro-purpose, according to the ownership and the typology of the facility.

Società	Utilizzo Impianti	Ghiacciai Sup. 1961 km ²	Ghiacciai Sup. 1985 km ²	Glacionevato Sup. 1985 km ²
ENEL-Comp. Torino	Bacino	40,17	39,19	3,20
	Fluente	114,90	120,65	4,49
	Pompagg.	1,15	0,74	0,60
	Serbat.	69,22	65,78	7,34
ENEL-Comp. Milano	Bacino	5,05	5,35	0,42
	Fluente	14,46	9,90	0,35
	Pompagg.	5,29	6,42	0,16
	Serbat.	31,20	30,80	0,19
ENEL-Comp. Venezia	Bacino	44,33	58,85	4,73
	Fluente	1,64	1,67	0,22
	Serbat.	49,60	57,88	2,47
ENEL-Comp. Roma	Serbatoio	0,06	0,05	0,00
ENEL-Totale	Bacino	89,61	98,44	8,35
	Fluente	131,00	132,22	5,06
	Pompagg.	6,44	7,16	0,76
	Serbat.	150,08	154,51	10,00
	Totale	377,13	392,33	24,17
Aem-Torino		11,24	11,79	0,93
Aem-Milano		43,14	46,17	0,52
Falck-Sondel		3,92	4,39	0,35
Edison-Selm		70,60	70,11	3,42
Aec-Bolzano Merano		27,75	27,58	3,22
Altri n.d.		6,52	7,25	10,79
Totale		540,24	559,57	43,20

tuale minima (3,5%); per quanto riguarda i bacini sottesi da impianti dell'ENEL S.p.A risultano in particolare in aumento le superfici dei ghiacciai piemontesi e del triveneto, mentre si verifica una riduzione di quelli lombardi.

Il risultato generale conferma il documentato comportamento dei ghiacciai maggiori (tab. 4), che in quel periodo hanno manifestato una tendenza ad incrementare, anche se all'entità di questa grandezza può aver contribuito anche il criterio più estensivo di classifica delle unità glaciali adottato nel Catasto WGI e la diversa metodologia di valutazione.

Resta comunque accertato che, a partire dalla metà degli anni '80 i ghiacciai stanno subendo un ritiro di notevole intensità; l'esempio più documentato è dato sempre dal Ghiacciaio del Careser che nel periodo 1980-90 ha subito una riduzione di volume di 54,3 milioni di m³, che corrisponde a circa 3,5 volte il volume del serbatoio che lo sottende (GIADA & ZANON, 1991).

PROSPEZIONI GEOFISICHE

La prima prospezione sui ghiacciai italiani fu realizzata con la perforazione condotta sui Ghiacciai Hosand e Miage nel 1942 (CALCIATI, 1945); il primo dei quali, in particolare, aveva un immediato interesse idroelettrico in vista della costruzione della diga del Sabbione che ne avrebbe sommerso la lingua aumentando considerevolmente l'invaso utile del serbatoio.

Verso la fine degli anni '50 ebbe inizio una serie di campagne di prospezione geofisica su alcuni ghiacciai condotte dalla Fondazione Lerici del Politecnico di Milano e da altri istituti universitari. Vennero così svolte indagini geosismiche e perforazioni di controllo sulla Marmolada nel 1952 (CALOI, 1953) e geoelettriche nel 1967 (LICETO & ANDRIEUX, 1967), e ancora prospezioni geosismiche sul Ghiacciaio del Careser (CARABELLI, 1964a), sul Ghiacciaio dei Forni (CASSINIS & CARABELLI, 1953), sul Ghiacciaio Pian di Neve-Mandrone (CARABELLI, 1964b) e su vari altri ghiacciai delle Alpi Graie, quali Miage (CARABELLI, 1961) e Lex Blanche (LESICA & ARMANDO, 1972). L'obiettivo di queste indagini era quello di determinare la topografia del substrato roccioso, sulla base dei rispettivi rilievi cartografici di dettaglio eseguiti nello stesso periodo, e di consentire quindi la valutazione dei volumi di ghiaccio.

OBIETTIVI PER LO SFRUTTAMENTO DELLE RISORSE IDRICHE

Attualmente gli obiettivi della ricerca sulle risorse idriche glaciali, restano ancora focalizzati sui classici temi del bilancio di massa, che vede ampliato il numero dei ghiacciai sui quali viene misurato (Ghiacciai della Mare, Ghiacciai Lys e Indren da parte dell'ENEL, Ghiacciaio Ciardoney

TABELLA 4 - Superfici glaciali afferenti a bacini idroelettrici a regolazione stagionale (dati CGI-WGI)

TABLE 4 - Surface amounts of the main glaciers exploited for hydro-purpose by ENEL facilities (following the CGI and the WGI glacier inventories).

Serbatoio	Bacino Idrografico	Ghiacciai principali	CGI km ²	WGI km ²
ENEL Compartimento di Torino				
Castello	Varaita	Vallanta Basso	0,15	0,16
Rossa	Stura Viù	Croce Rossa	0,06	0,21
Malciaussia	Stura Viù	Rocciamelone	0,60	0,56
Beauregard	Dora Baltea	Gliairetta-Vaudet	3,60	4,41
		Invergnan	0,86	1,17
		Giasson	0,87	1,07
Place Moulin	Dora Baltea	Grandes Murailles	7,32	7,57
		Tza de Tzan	4,54	3,95
		Mont Braoulè	1,70	1,73
Cignana	Dora Baltea	Le Roisette	0,12	0,16
Goillet	Dora Baltea	Valtournanche	1,65	1,68
Gabiet	Dora Baltea	Indren	1,68	1,37
Camposecco	Toce	Camposecco	0,30	0,25
Alpe Cavalli	Toce	Bottarello	0,31	0,55
Codelago	Toce	della Rossa	0,44	0,25
Vannino-Busin	Toce	Forno	0,40	0,46
Sabbione	Toce	Sabbione	3,20	3,64
Toggia	Toce	Valrossa	0,30	0,10
Totale			28,10	29,29
ENEL Compartimento di Milano				
Arno	Oglio	Adamè	1,28	1,28
Salarno-Dosazzo	Oglio	Salarno	0,38	0,37
Avio-Benedetto	Oglio	Pisgana W	3,44	3,44
Pantano	Oglio	Avio C.le	0,35	0,82
Venercolo	Oglio	Venerocolo	1,05	1,50
Baitone	Oglio	Remulo	0,07	0,14
Barbellino	Srio	Torbio E/W	0,10	0,37
Alpe Gera	Lanterna	Scerscen Inf/Sup	11,00	11,46
		Fellaria W/E	10,00	10,11
		Pizzo Scalino	3,60	2,12
Spluga	Adda	Pizzo Ferrè	0,90	0,79
Totale			32,26	32,40
ENEL Compartimento di Venezia				
Fedaia	Adige	Marmolada	3,05	2,60
Lago Verde	Adige	Fontana bianca	0,60	0,75
Zoccolo	Adige	Pracupola	0,22	0,23
Careser	Adige	Careser	5,05	4,68
Pian Paltù	Adige	Orsi	1,12	1,51
Molveno	Mincio	Mandrone	11,93	12,38
		Lobbia	6,10	7,84
		Lares*	2,00	6,24
Neves	Adige	Neves E	2,10	2,27
Malga Bissina	Oglio	Carè Alto W e SW	0,09	0,40
Totale			32,26	38,90

* Il dato riportato nel Catasto CGI è visibilmente errato.

da parte dell'AEM Torino (MERCALLI & *alii*, 1993), il Ghiacciaio di Fontana Bianca da parte dell'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano (KASER & *alii*, 1995) ed i Ghiacciai Prà Fiori e Mandrone per iniziativa della Commissione Scientifica del CAI-SAT (BOMBARDA, 1992).

Le indagini dell'ENEL sono affiancate anche da misure meteorologiche in siti di alta quota mediante stazioni ad acquisizione automatica di dati installate sul Ghiacciaio del Careser, sul Monte Rosa (Colle Vincent) e sul Ghiacciaio Mandrone. L'applicazione alle misure idrologiche delle risorse informatiche attualmente disponibili, consente di re-

gistrare con continuità ed affidabilità i deflussi glaciali per tutta la durata dell'anno, oppure rielaborare le registrazioni del passato. Come applicazione di queste possibilità in fig. 4 sono riportati i grafici delle registrazioni effettuate a scala oraria alla stazione idrometrica sul rio Moos alla presa Z'Indren (emissario del Ghiacciaio Indren) della temperatura dell'acqua, del livello idrometrico della presa e dello sfioratore; particolarmente interessante è la registrazione dell'evento eccezionale del Settembre '93. Attualmente, applicazioni di questo tipo alle misure vengono condotte nelle sezioni idrometriche riportate in tab. 5, che si trovano alla chiusura dei bacini glaciali sui quali viene misurato il bilancio di massa.

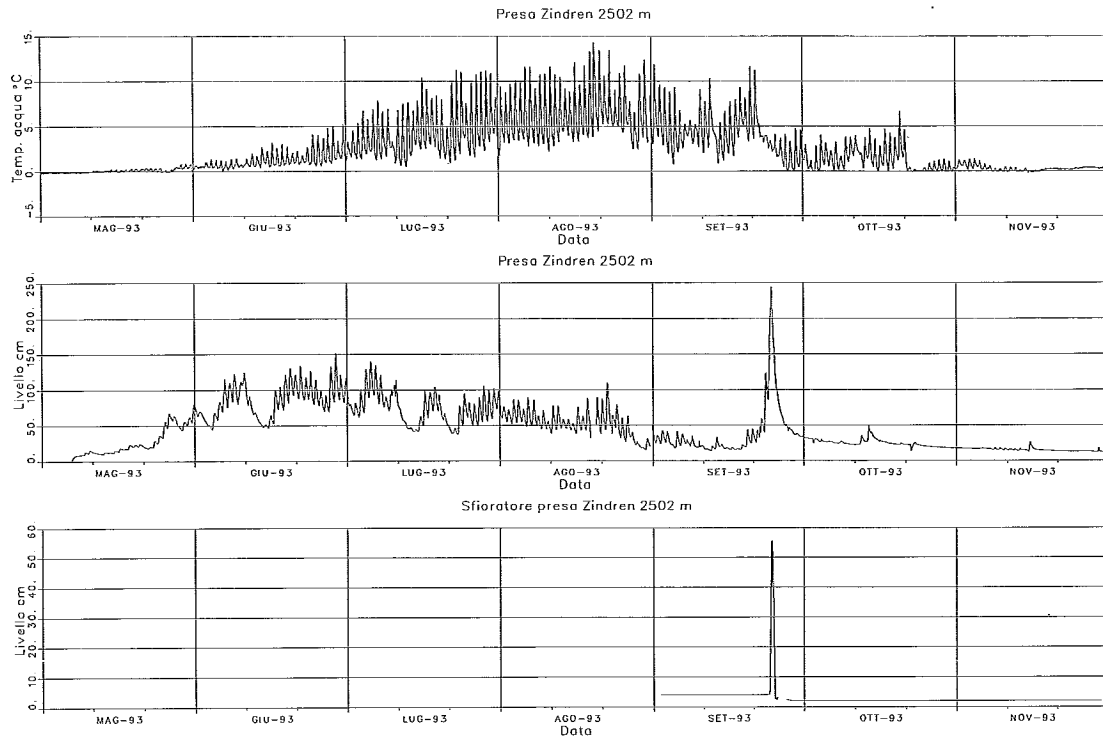


Fig. 4 - Registrazione oraria dei livelli idrometrici e della temperatura dell'acqua presso la stazione ad acquisizione automatica sul Rio Moos alla Presa Z'Indren.

Fig. 4 - Hourly recording of the automatic gauging station on the Rio Moos at the Z'Indren intake.

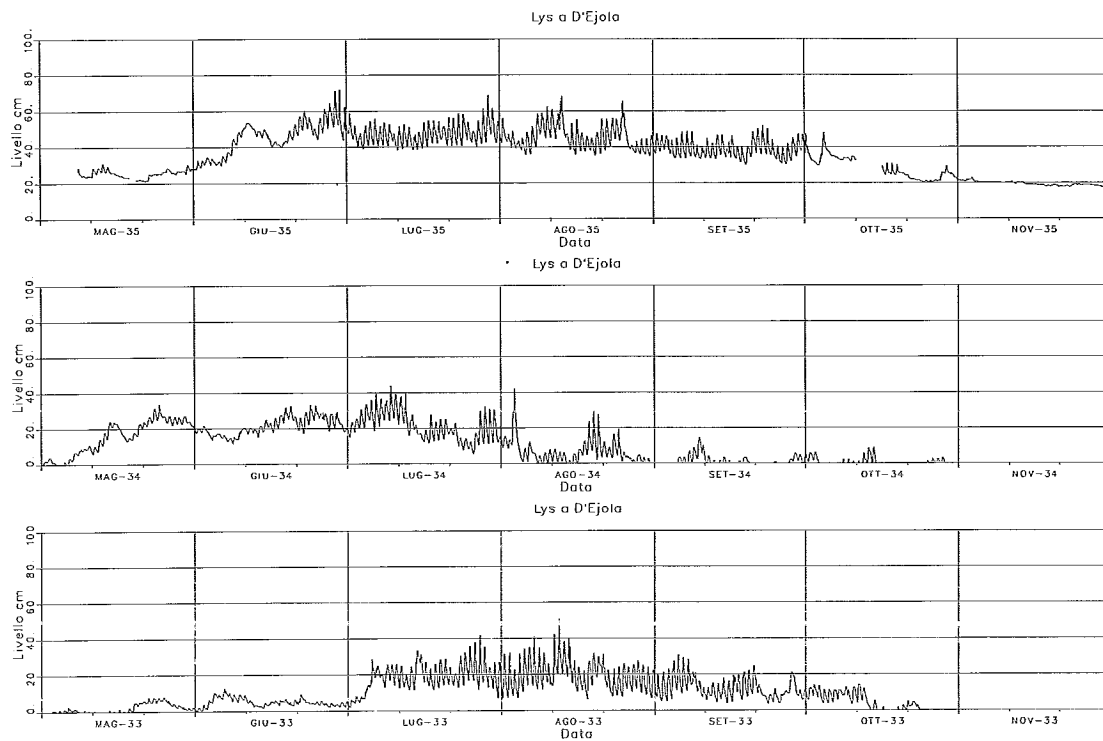


Fig. 5 - Digitalizzazione dei dati storici di livello idrometrico del Torrente Lys a D'Ejola.

Fig. 5 - The Lys a D'Ejola hydro-level recording digital processing.

TABELLA 5 - Stazioni idrometrografiche ad acquisizione automatica per la valutazione del bilancio idrologico di bacini glaciali installate o in corso di installazione da parte dell'ENEL.

TABLE 5 - Hydrometrographic gauging stations equipped with digital acquisition datalogger, installed or in progress by ENEL, for the assessing of the hydrological balance of the glacial basins under study.

Bacino principale	Stazione	S	s	Inizio funzionamento
Po-Dora Baltea	Rio Moos alla presa Z'Indren	7,9	2,0	1993
Po-Dora Baltea	Lys ad Alpe Cortlys	25,9	11,8	1996
Po Dora Baltea	Ruitor a La Joux	41,0	9,0	1967
Adige-Noce	Rio Careser a Baia	8,0	3,9	1992
Adige-Noce	Noce Bianco a Pian Venezia	23,4	4,8	1993

Una interessante applicazione si ha nella ricostruzione dei dati storici attraverso la digitalizzazione dei diagrammi cartacei, tecnica mediante la quale si può ricostruire l'andamento del livello con elevata risoluzione temporale. A titolo di esempio in fig. 5 è riportata la ricostruzione dei livelli registrati alla stazione del Lys a d'Ejola (Aosta) nell'anno 1933.

La possibilità di utilizzare le risorse informatiche nell'elaborazione di misure idrometeorologiche attraverso la modellistica numerica, consente la risoluzione di problemi quali la disaggregazione dei deflussi nelle sue componenti, pluviale, nivale e glaciale. Queste strutture di calcolo sono in grado di descrivere con notevole livello di dettaglio le equazioni fisiche che sovrintendono ai vari processi che hanno luogo all'interfaccia dei sistemi atmosfera/neve/ghiaccio.

Sono inoltre disponibili risorse informatiche in grado di assicurare la descrizione spaziale del sistema idrologico, rappresentato attraverso un modello discretizzato, in un numero elevato di tasselli elementari (rappresentazione raster), per ciascuno dei quali è possibile stabilire la georeferenziazione e la parametrizzazione delle sue caratteristiche idrologiche. Tali risorse, che vanno sotto il nome di Sistemi Informativi Territoriali (S.I.T.), rappresentano l'ultima generazione degli strumenti di calcolo in idrologia e stanno alla base della nuova disciplina nota come *idrologia distribuita*; (ROSSI & TOMASINO, 1989). L'uso congiunto dell'informazione geografica e della modellistica idrologica, sulla base di scenari ipotizzabili sull'andamento del ritiro dei ghiacciai ha consentito di valutare l'influenza della riduzione del Ghiacciaio Careser sul regime idrologico (ROSSI & ZANON 1993). In particolare, questa applicazione evidenzia come, a fronte di una continua riduzione della superficie glaciale, che potrebbe condurre entro 20 anni alla riduzione della superficie del 50% di quella attuale ed il volume al 25% di quello attuale, i deflussi glaciali subirebbero una riduzione limitata per effetto dell'innalzamento della linea di equilibrio (ELA) che accelererebbe lo stress termico sul ghiacciaio. Continuando ulteriormente questa tendenza, l'impatto sui deflussi glaciali sarebbe più accentuato.

CONCLUSIONI

I ghiacciai rivestono un ruolo strategico nella produzione idroelettrica, in particolare per gli impianti ad acqua

fluente, perché svolgono una funzione regolatrice sui deflussi naturali.

È stato documentato un costante interesse, da parte delle Società elettriche prima, e dell'ENEL poi, alla realizzazione di studi e ricerche sull'idrologia dei bacini glaciali, interesse che si può proiettare anche nel futuro prossimo.

Per quanto riguarda la valutazione del potenziale delle risorse idriche glaciali, nel periodo compreso tra i rilievi riportati dal Catasto CGI e da quello WGI, periodo che si può approssimare tra il 1957 ed il 1980, si osserva una sostanziale stazionarietà delle superfici totali dei ghiacciai inclusi nei bacini sottesi da impianti idroelettrici. Negli ultimi anni le osservazioni e le misure glaciologiche evidenziano una pesante riduzione dell'estensione e della massa dei ghiacciai, che hanno incrementato i corrispondenti deflussi.

L'applicazione di scenari di evoluzione climatica ad un modello che simula la riduzione della massa glaciale e le conseguenti influenze sui deflussi glaciali, ha evidenziato come, nel prossimo futuro, la riduzione di questi deflussi potrebbe essere contenuta per effetto del progressivo innalzamento della linea di equilibrio, ma, una volta raggiunto un valore critico della superficie, questa riduzione dei deflussi si accentuerebbe notevolmente, accompagnandosi verosimilmente anche ad una modifica del regime idrologico nel verso di una caratterizzazione più marcatamente pluviale.

BIBLIOGRAFIA

- ALFIERI S. (1938) - *Sulla oscillazione diurna delle portate dei torrenti con bacini glaciali*. Boll. Com. Glac. It., ser. 1, 18, 143-160.
- BOMBARDA R. (1992) - *La ricerca glaciologica svolta dalla Società Alpinisti Tridentini SAT/CAI*. Atti del VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney (AO), Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 13-14.
- CALCIATI M. (1945) - *Le perforazioni eseguite del ghiacciaio d'Hosand*. Boll. Com. Glac. It., ser. 1, 23, 19-28.
- CALOI P. (1953) - *La prospection sismique appliquée a la détermination de l'épaisseur du glacier (Glacier de la Marmolada)*. Boll. Com. Glac. It., ser. 2, 4, 265-266.
- CARABELLI E. (1961) - *Esplorazione geofisica al Ghiacciaio del Miage*. Boll. Com. Glac. It., ser. 2, 11.
- CARABELLI E. (1964a) - *Esplorazione geofisica al Ghiacciaio Careser*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 61-68.
- CARABELLI E. (1964b) - *Misure sismiche di spessore del ghiacciaio Pian di Neve (Adamello)*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 11.
- CASSINIS S. & CARABELLI E. (1953) - *Misure sismiche e di spessore del ghiaccio al Ghiacciaio dei Forni*. Riv. Geofis. Appl., 14 (2), 1-15.
- CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1992) - *Ghiacciaio della Sforzellina (Ortles-*

- Cevedale Group, Valtellina, Italian Alps): four years of mass balance and climatic relations.* Il Naturalista Valtellinese, Atti Mus. Civ. Stor. Nat. Morbegno, 3, 11-26.
- CNR-CGI (1962) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani*. 4 voll., C.G.I., Torino.
- DESIO A. & DI PISA V. (1934) - *Relazione preliminare sullo studio idrologico-glaciologico del Gb. del Careser (Gruppo Ortles-Cevedale)*. Uff. Idrografico del Magistrato delle Acque, Pubbl. n. 132, 36 pp.
- ENEL S.p.A. (1994) - *Dati storici sull'attività della Società*. Direzione Programmazione e Strategie, Roma, Settembre 1994, 50-51.
- GALLUCCIO A. & CATASTA G. (1992) - *I ghiacciai in Lombardia*. Bolis, Bergamo, 367 pp.
- GIADA M. & ZANON G. (1991) - *Variazioni di livello e volumetriche sulla Vedretta del Careser (Gruppo Ortles-Cevedale) tra il 1980 e il 1990*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, 221-228.
- GIANDOTTI M. (1927) - *Contributo allo studio dei ghiacciai dell'Ufficio Idrografico del Po*. Ann. Lavori Pubblici, Pubbl. Serv. Idrog., 14 Settembre 1927.
- KASER G., MUNARI M., NOGGLER B., OBERSCHMIED C. & VALENTINI P. (1995) - *Mass balance studies at Weißbrunnferner (Ghiacciaio di Fontana Bianca) in the Ortles-Cevedale Group in the Italian Alps*. Atti Convegno Cento Anni di Ricerca Glaciologica in Italia (in corso di pubbl.), Torino, 19-21 Ottobre 1995.
- ILICETO V. & ANDRIEUX P. (1968) - *Mesures électriques sur le glacier de la Marmolada (Alpes Orientales)*. Boll. Com. Glac. It., ser. 2, 15, 71-90.
- LESICA C. & ARMANDO E. (1972) - *Determinazione delle variazioni superficiali e volumetriche dal 1965 al 1970 e controllo della velocità di propagazione delle onde sismiche sul Ghiacciaio della Lex Blanche*. Boll. Com. Glac. It., ser. 2, 20, 65-86.
- MERCALLI L., REYNAUD L. & VINCENT C. (1993) - *Mesures de bilan de masse 1991-92, Glacier du Ciardoney, Massif du Grand Paradis, Italie*. Atti Reunion Ann. Soc. Hydrotech. Fr., Sect. Glac., Grenoble.
- ROSSI G.C. & TOMASINO M. (1993) - *Impiego dei Sistemi Informativi Territoriali (S.I.T.) nella valutazione della producibilità idroelettrica e della sensibilità climatica dei bacini nivoglaciali*. Atti del VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney (AO), Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15 (1992), 159-170.
- ROSSI G.C. & ZANON G. (1993) - *Impact of the recent glacier retreat on the hydrology of an alpine basin*. Proceed. IAHR Ice Symposium, Trondheim (N), 334-344.
- VALENTINI P. (1985) - *Il Catasto dei Ghiacciai della Provincia di Bolzano*, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 182-195.
- ZANON G. (1968) - *Ricerche sul bilancio di massa glaciale con applicazione al ghiacciaio della Marmolada (Alpi Orientali)*. Boll. Com. Glac. It., 15, ser. 2.
- ZANON G. (1990) - *I ghiacciai del Veneto*. Giunta Regionale del Veneto, Ed. Canova, Treviso, 79 pp.