

MANTO NEVOSO E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

PARTE I

L'ENEL è lieto di partecipare a questo convegno sulla geografia della neve in Italia e di poter illustrare i rapporti ancor oggi esistenti nel nostro Paese tra neve e produzione di energia elettrica.

Certamente molto di ciò che si dirà è già noto ai convenuti, in gran parte esperti dell'argomento neve; ciò non di meno ci si augura che sia ugualmente interessante la sintesi di quanto si è fatto in passato e di quanto si sta facendo tuttora sia come *routine* annuale, sia come attività sperimentale. Di quest'ultima, in particolare, riferirà l'Ing. G. Rossi nella seconda parte della relazione.

In Italia la produzione di energia elettrica si è sviluppata in maniera feconda per 50 anni proprio per la presenza del « carbone bianco », che trae origine in buona parte dalla neve. Il rapido incremento dell'utenza civile ed industriale, verificatosi negli anni dal 1950 al 1960, ha portato però all'utilizzazione quasi completa delle risorse idriche, tanto che possono ritenersi praticamente esaurite le utilizzazioni tecnicamente ed economicamente possibili. Tuttavia non cessa l'interesse per questa fonte di energia che, in virtù della sua natura, presenta immediatezza di impiego, semplicità ed economicità di funzionamento degli impianti, possibilità di riqualificare energia di natura termica impiegando grandi impianti di generazione e pompaggio.

Sono caratteristiche, queste, non altrettanto riscontrabili nelle

(*) La prima parte è opera di F. Tacchi; la seconda, di G. Rossi.

altre fonti di energia, quali la termoelettrica e la nucleotermoelettrica, fonti, peraltro, destinate a fronteggiare l'ulteriore incremento futuro di richieste di energia.

Scopo dei rilevamenti. — Il sistema di produzione di energia idroelettrica, è ben noto, utilizza i deflussi naturali intercettati mediante semplici opere di presa disposte sui corsi d'acqua, oppure con sbarramenti più o meno grandi, che a loro volta permettono di creare capacità di accumulazione dell'acqua, denominate serbatoi o bacini a seconda della loro dimensione in rapporto alla quantità dei deflussi medi annui.

La neve, è superfluo dirlo, quale componente delle precipitazioni atmosferiche, partecipa alla formazione dei deflussi superficiali e sotterranei in tempo successivo alla sua precipitazione; ma la possibilità di osservarla al suolo ancor prima del suo scioglimento induce a stimarne la quantità e a far previsioni sul contributo che potrà dare alla produzione di energia elettrica.

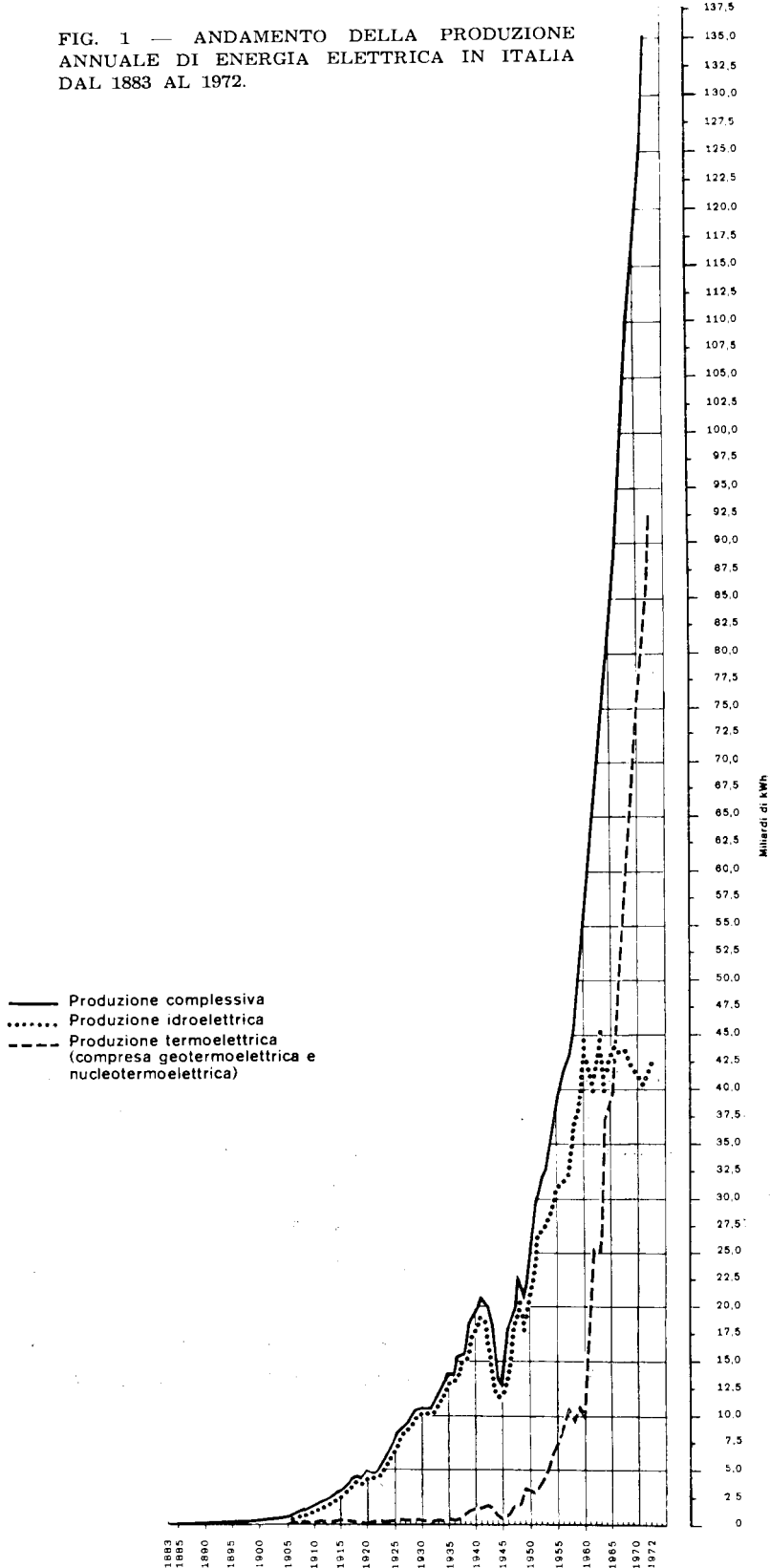
In particolare, lo studio del manto nevoso tende a valutare nel periodo invernale e primaverile l'equivalente in acqua presente al suolo in quelle porzioni di bacini imbriferi che alimentano i serbatoi artificiali, a stimare la quantità d'acqua che potrà essere raccolta, ad individuare i mesi dell'anno in cui essa è disponibile e infine a calcolare la distribuzione percentuale su cui mediamente si può fare affidamento nella definizione dei programmi di funzionamento delle centrali.

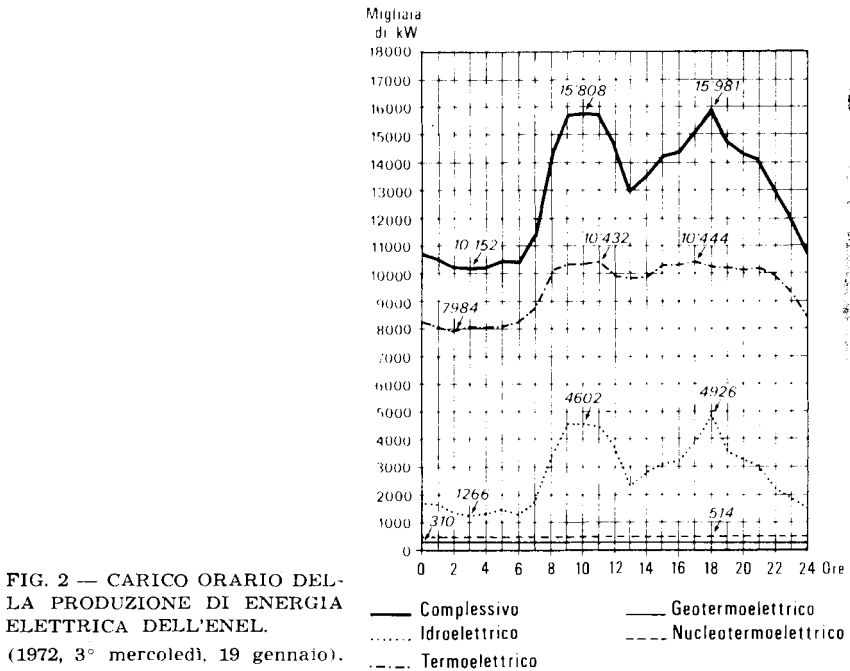
Ancor prima della costituzione dell'ENEL erano in uso presso le principali società elettriche misure della coltre nevosa allo scopo di fare previsioni di natura statistica sugli invasi dei serbatoi.

Il gruppo « Edison » e la Società Meridionale di Elettricità eseguivano esclusivamente misure di altezza del manto nevoso; la Società Adriatica di Elettricità effettuava misure di altezza, e anche, a titolo sperimentale, misure di densità, sia con impiego di uno strumento meccanico denominato « pesaneve », sia con un prototipo di apparecchiatura a raggi gamma e l'impiego di ponte radio per la trasmissione automatica a distanza dei dati rilevati.

Misure periodiche di altezza e di densità venivano fatte dalle società SIP e « Terni » con impiego di strumenti appositamente realizzati da ciascuna di esse.

FIG. 1 — ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE ANNUALE DI ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA DAL 1883 AL 1972.





Bacini idrografici interessati dai rilevamenti. — Sempre allo scopo di valutare il contenuto energetico della neve presente al suolo e trarre indicazioni per la formulazione dei programmi di invaso e di svasso dei serbatoi, l'ENEL ha ritenuto utile proseguire queste indagini e nel 1965 ha unificato sia il tipo di misure, sia la metodologia di esecuzione delle stesse.

Una rete di stazioni di misure interessa i bacini imbriferi sottesi dai serbatoi di regolazione stagionale, che presentano un innevamento persistente nelle stagioni invernali e primaverili (fig. 3). La loro superficie totale, di circa 3800 km², è ripartita nei seguenti bacini idrografici:

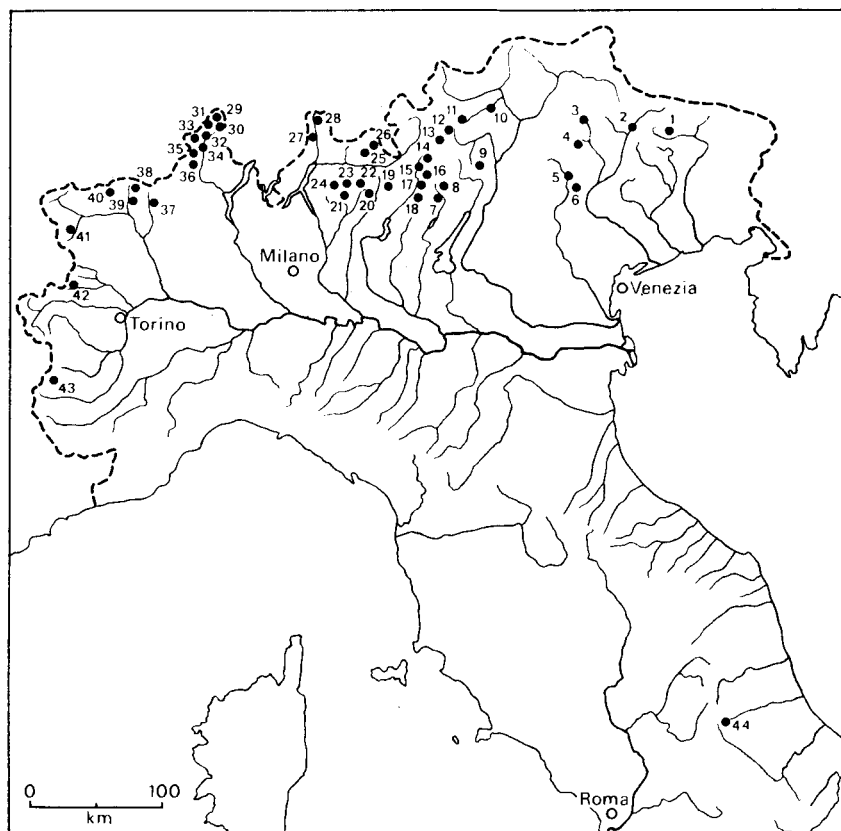


FIG. 3 — DISTRIBUZIONE DEI SERBATOI INTERESSATI DAI RILIEVI NIVOMETRICI.

1, Lumiei; 2, Pieve di Cadore; 3, Fedaia; 4, Cavia; 5, Costabrunella; 6, Val Noana; 7, Malga Boazzo; 8, Malga Bissina; 9, Molveno; 10, Zoccolo; 11, Lago Verde; 12, Careser; 13, Pian Palù; 14, Laghetto, Avio, Benedetto, Venerocolo; 15, Pantano d'Avio; 16, Baltone; 17, Salarno Dosazzo; 18, Arno; 19, Barbellino; 20, Colombo, Fregabolia, Sardegnana, Diavolo, Val di Frati, Pian Casere, Marcio, Pian del Becco; 21, Gemelli; 22, Pescegallo; 23, Trona; 24, Inferno; 25, Campo Moro; 26, Alpe Gera; 27, Truzzo; 28, Spluga; 29, Morasco; 30, Kastel, Toggia; 31, Sabbione; 32, Vannino, Busin, Obersee; 33, Codelago; 34, Agaro; 35, Camposecco, Cingino; 36, Alpe Cavalli, Campliccioli; 37, Gabiet; 38, Golliet; 39, Cignana; 40, Place Moulin; 41, Beauregard; 42, Lago della Rossa; 43, Castello; 44, Campotosto.

TAB. 1

	Bacino idrografico	Superficie osservata km ²
1	Tagliamento	138,4
2	Piave	1421,5
3	Brenta	133,4
4	Adige	245,0
5	Sarca	520,0
6	Oglio	279,0
7	Adda	196,0
8	Ticino (Toce)	196,0
9	Dora Baltea	252,4
10	Stura	3,5
11	Varaita	140,0
12	Vomano	144,4

I serbatoi di regolazione stagionale interessati sono 61 e ricadono territorialmente nei compartimenti ENEL di Torino, Milano, Venezia e Roma; i loro dati caratteristici complessivi sono riportati nella tab. 2.

TAB. 2

Compartimento ENEL	Numero dei serbatoi	Capacità utile degli invasi		Bacino imbrifero sotteso km ²
		m ³ × 10 ⁶	GWh	
Torino	20	317	1097	609
Milano	26	285	913	307
Venezia	14	484	962	2627
Roma	2 (*)	154	388	244
	62	1240	3360	3787

(*) di cui 1 bacino di modulazione.

Oggetto delle misure e sue finalità. — Sotto il profilo energetico interessa conoscere il volume d'acqua equivalente al manto nevoso, la sua variazione nel tempo e la percentuale di esso che statisticamente affluisce al serbatoio sottostante.

Per la stima dell'equivalente in acqua si è trattato pertanto di scegliere una serie di punti sufficientemente rappresentativi di ciascuna zona di cui interessava conoscere l'innevamento e di individuare una strumentazione pratica e di facile impiego con cui effettuare le misure di altezza e di densità.

Per seguire la variazione nel tempo del manto nevoso sono state fissate misure periodiche con cadenze inizialmente quindicinali, ma successivamente più distanziate nel tempo.

Per l'utilizzazione delle misure su base statistica occorre, purtroppo, poter disporre di una quantità di dati sufficientemente estesa da integrare con i dati relativi alle piogge, alle temperature e agli afflussi totali ai serbatoi. Attraverso l'elaborazione di bilanci idrologici completi possono essere valutati i coefficienti di deflusso di ciascun bacino imbrifero per ciascun mese in cui si verifica lo scioglimento della neve e può quindi essere stimata la quota parte di neve che si riversa nei serbatoi.

I dati fino ad oggi disponibili sono quelli di sette campagne effettuate dal 1966 al 1972 e in questo periodo sta praticamente terminando anche l'ottava campagna.

Calcolo dell'« indice neve ». — Per la stima della neve presente al suolo, i bacini imbriferi sono stati divisi in zone, in ciascuna delle quali le caratteristiche di innnevamento sono state presunte poco variabili sia per l'esposizione sia per la fascia altimetrica interessata. In ciascuna zona sono state scelte due serie di punti rappresentativi, denominati rispettivamente « punto densità », se fissato per misure di altezza e di densità, « punto neve » se localizzato per la sola misura dell'altezza della neve.

La densità media rilevata nella zona, moltiplicata per l'altezza media, moltiplicata ancora per la superficie della zona in osservazione, determina il volume d'acqua equivalente V_i presente al

suolo. A questo viene attribuito il coefficiente energetico K_i (1) caratteristico del serbatoio idroelettrico nel quale l'acqua di scioglimento potrebbe defluire integralmente, in assenza di perdite varie, quali sublimazione della neve, evapotraspirazione e parziale assorbimento del terreno.

Il prodotto $V_i \times K_i$ rappresenta l'energia presente al suolo; essa viene espressa in GWh ed è stata denominata « indice neve » della zona considerata.

Strumenti adottati. — Per misurare l'altezza del manto nevoso e prelevarne i campioni per il calcolo della densità, l'ENEL ha adottato uno strumento pesaneve tipo CN2 (A. Berni e E. Gianelli, 1966), realizzato a cura dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia, sulla base di un tipo precedente CN1 studiato dalla Commissione Nevi del Comitato Glaciologico Italiano. Lo strumento è corredato di un dinamometro per le pesate, di un triplometro centimetrato ed altri accessori, tra i quali coltelli taglianever e sacchetti di nylon standardizzati per il contenimento dei campioni prelevati.

A seconda che lo spessore della coltre di neve sia inferiore o superiore ai 2 m, il prelievo del campione avviene in una volta o in più riprese previo scavo di una trincea.

Particolari accorgimenti costruttivi, usati nella realizzazione del pesaneve, permettono il prelievo di campioni di neve, qualunque ne sia la consistenza.

Tutta l'attrezzatura è stata resa particolarmente leggera e contenibile in un sacco da montagna per facilitarne il trasporto ai rilevatori, i quali ovviamente incontrano difficoltà di vario tipo per accedere alle stazioni di misura.

Frequenza dei rilevamenti e difficoltà incontrate. — Al momento dell'unificazione dei rilievi della neve, si stabilì di fare le misure ogni 15 giorni dal 1° febbraio al 1° giugno per tutte le

(1) Il coefficiente energetico caratteristico di un serbatoio è pari al numero di kWh ritraibili da un metro cubo d'acqua utilizzata nelle centrali sottostanti al serbatoio.

zone dell'arco alpino e dal 1° gennaio al 1° maggio per la zona appenninica del Gran Sasso. Ma le misure invernali sulle Alpi hanno però subito messo in risalto le difficoltà che gli operatori dovevano superare per accedere ai punti di misura in conseguenza di bufere, periodi di slavine e di valanghe. D'altra parte, l'andamento medio dell'indice neve relativo ai primi anni di osservazioni ha indicato che l'innevamento è di fatto sempre crescente fino al 1° aprile, raggiunge il massimo nel corso del mese stesso e decresce progressivamente nel mese di maggio.

Per ovviare alle difficoltà dei rilevamenti nei periodi in cui l'andamento dell'indice neve generalmente non presenta discontinuità, a partire dalla campagna 1970 sono state omesse le osservazioni alla metà dei mesi di febbraio, marzo e maggio per tutte le zone alpine.

Alcuni punti di misura sono risultati poco accessibili fin dalla prima campagna; tuttavia, essendo ritenuti significativi ai fini delle valutazioni, sono stati adottati accorgimenti opportuni, quali il collocamento in « punti neve » di aste fisse graduate da leggersi con il cannocchiale e l'attribuzione convenzionale a « punti densità » di condizioni di innevamento pari a quelle di punti di altre zone vicine, ritenute simili per quota ed esposizione.

In pratica, per assicurare la continuità della serie dei dati sull'innevamento, sono state apportate alcune semplificazioni al complesso di misure stabilito al tempo dell'unificazione della campagna di rilievi nivometrici. Attualmente, si ritiene di proseguire senza necessità di introdurre ulteriori variazioni alla rete prestabilita di misure.

Elaborazione e trasmissione dei dati. — I dati sulle condizioni dell'innevamento sono utilizzati, a breve scadenza dalle rilevazioni stesse, dal Centro Dispacciamento Nazionale di Roma, al quale giungono per telex in forma sintetica, elaborati per singolo bacino imbrifero. Successivamente sono raccolti dalla Direzione Produzione e Trasmissione di Roma con il dettaglio dei valori relativi a ciascuna zona.

Per conseguire la tempestività dell'inoltro al Centro Dispacciamento Nazionale, ai rilevatori è affidato il compito di trascrivere i dati di lettura delle altezze e dei pesi su appositi libretti

di campagna. Al loro rientro nell'abitato o all'impianto, a seconda che si tratti di personale esterno o dipendente dell'Ente, i valori rilevati vengono telefonati ad un centro di raccolta compartimentale che provvede a elaborarli in indice neve relativo a ciascun bacino imbrifero.

Le elaborazioni compartimentali vengono eseguite con procedimento non unificato per la diversità del tipo e dei mezzi di calcolo a disposizione.

Risultati dei rilevamenti dell'annata 1972. — All'inizio della campagna l'innevamento è stato pari a quello mediamente riscontrabile nel periodo; esso è andato poi rapidamente crescendo per tutto il mese di febbraio. Tale accrescimento, in misura non accentuata, è proseguito nel mese di marzo, raggiungendosi il massimo al 1° aprile, con un equivalente in energia di 3505 GWh (fig. 4). Questo valore, che ha superato quello medio, è tra i più elevati finora osservati, inferiore solo a quello di 3877 GWh registrato nel 1971.

Nella prima quindicina di aprile si è iniziato un vistoso disgelo, con una battuta quasi di arresto nella seconda metà del mese; ma esso ha poi ripreso, con la velocità consueta del periodo, nel mese di maggio. Al 1° giugno l'indice neve era ancora di 1880 GWh, valore notevolmente al di sopra di quello medio corrispondente.

Il contributo preponderante all'indice neve è dato dal Compartimento di Venezia, con 1770 GWh, e dal Compartimento di Torino, con 1160 GWh; minori sono gli apporti dei compartimenti di Milano e di Roma, rispettivamente con 460 GWh e 190 GWh (fig. 5).

Il valore massimo dell'indice neve 1972 è stato pari al 104% dell'energia invasabile nei serbatoi interessati ed ha rappresentato l'equivalente in energia di 1630 milioni di m³ di acqua. Ovverosia, se l'acqua di fusione della neve fosse giunta integralmente nei serbatoi, avrebbe da sola assicurato il loro riempimento e garantito questa preziosa forma di riserva di energia per l'autunno e l'inverno successivi.

Il valore dell'energia elettrica prodotta dalle centrali idroelettriche poste a valle dei serbatoi che raccolgono anche gli

apporti della fusione della neve è stato per il 1972 di 13.000 GWh ed il massimo valore dell'indice neve ne ha rappresentato il 27%.

Valutare il contributo della coltre nevosa alla totale produzione di energia elettrica non è facile, in quanto l'energia idroelettrica rappresenta una percentuale variabile della produzione totale; per es., nel 1972 si sono avuti:

TAB. 3

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA NEL 1972,
IN GWh

Produzione idroelettrica	42.800	31,7%	} 68,3%
Produzione termoelettrica	85.892	63,7%	
Produzione nucleotermoelettrica .	3.626	2,7%	
Produzione geotermoelettrica . . .	2.582	1,9%	
TOTALE GWh . . .	134.900	100,0%	

La variabilità di tale percentuale dipende dalle variazioni delle disponibilità idriche dovute a fattori meteorologici.

D'altra parte, la valutazione dell'« indice neve » viene limitata alle parti di bacino imbrifero che alimentano i serbatoi ENEL e non a tutta la zona periodicamente coperta da neve durante la stagione invernale. Infatti i 13.000 GWh prodotti nel 1972 rappresentano il 43% della totale produzione idroelettrica ENEL, che è stata di 30.630 GWh, pari a sua volta al 72% dell'intera produzione idroelettrica italiana. Quindi l'indice neve, che rappresenta circa il 10% della totale produzione idroelettrica dell'ENEL, può con ragionevole approssimazione essere esteso alla totale produzione nazionale; pertanto si può dire che la coltre nevosa ha fornito nel 1972 circa il 3% della totale produzione nazionale. Si ricorda che tale percentuale si riduce di anno in anno in relazione all'aumento dei fabbisogni energetici nazionali; essa però rappresenta energia di pregio, in quanto partecipa alla copertura, come già detto, delle punte dei diagrammi di carico.

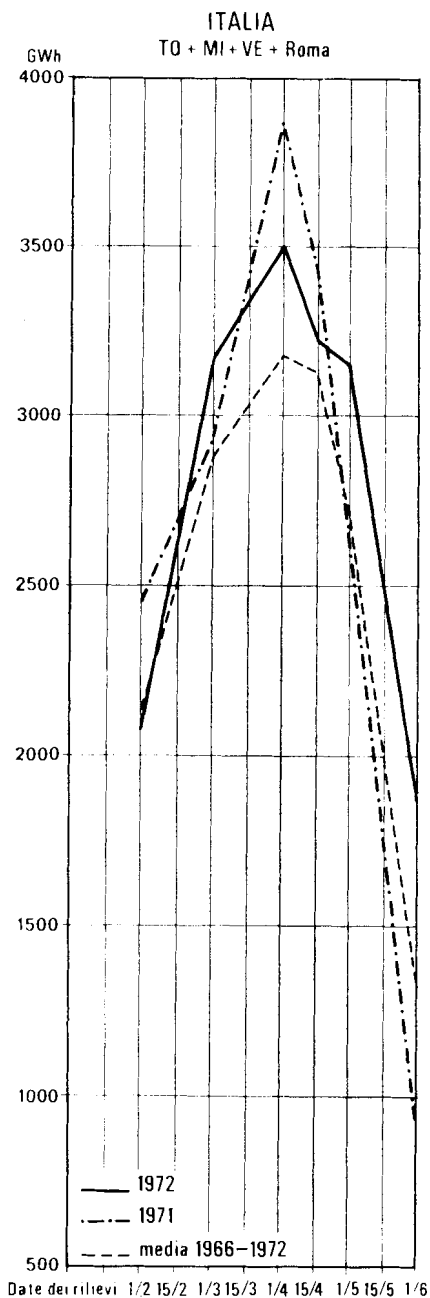


FIG. 4 — ANDAMENTO DELL'INDICE NEVE NEL COMPLESSO DEI COMPARTIMENTI DELL'ENEL INTERESSATI.

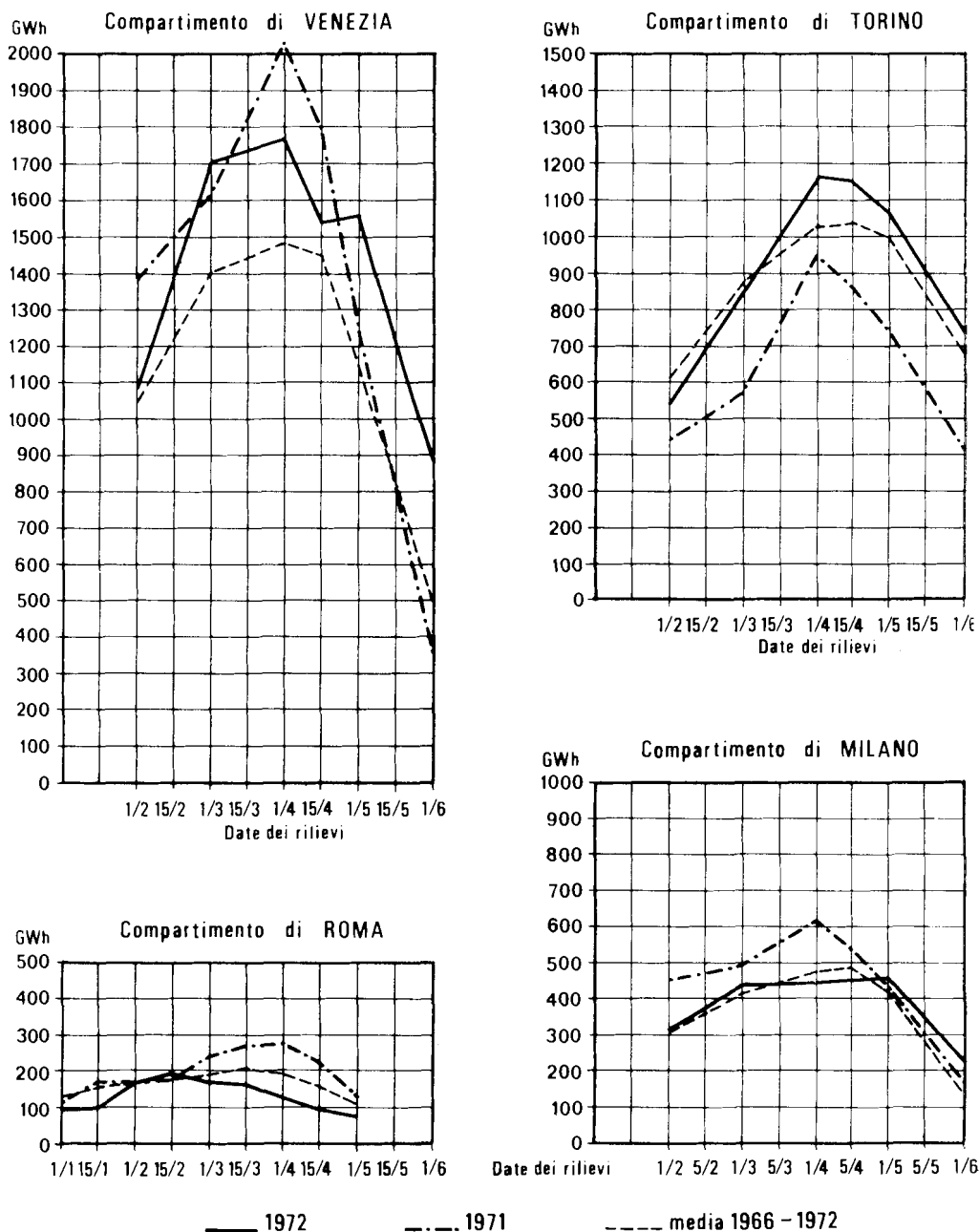


FIG. 5 — ANDAMENTO DELL'INDICE NEVE NEI SINGOLI COMPARTIMENTI DELL'ENEL.

PARTE II

L'Ing. F. Tacchi, che mi ha preceduto, ha posto in evidenza l'utilità della conoscenza del contenuto in acqua del manto nevoso nel programmare l'esercizio delle riserve d'acqua alimentanti gli impianti di produzione idroelettrica. Tale utilità ha spinto dapprima le Società elettriche e poi l'ENEL, mediante il CRIS (Servizio Idrologico della Direzione Studi e Ricerche), a migliorare le informazioni sul manto nevoso con opportune ricerche metodologiche, onde mettere a punto sia la strumentazione più adatta per i rilevamenti sia i metodi di elaborazione ed interpretazione dei risultati.

La Commissione Nevi del Comitato Glaciologico Italiano ha istituito nel 1957-58 una rete di stazioni dette « pilota » per lo studio del manto nevoso, dislocate lungo l'arco alpino ed in alcune zone caratteristiche della catena appenninica. Tale rete, la quale comprendeva 25 punti di rilevamento, ha funzionato per circa un decennio e poi è stata soppressa, avendo esaurito lo scopo di studio per cui era stata istituita.

Per ogni stazione sono stati determinati: la neve caduta; la durata, in giorni, di permanenza al suolo del manto nevoso; l'altezza, la densità e l'equivalente in acqua del manto stesso. I risultati di tali indagini sono stati regolarmente pubblicati nel « Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano ».

L'esercizio di tali stazioni ha permesso di mettere a punto la metodologia di rilevamento e la relativa strumentazione. Infatti l'esperienza raccolta è stata di preziosa guida al Servizio Idrologico della nostra Direzione Studi e Ricerche per la messa a punto, in collaborazione con la Direzione Produzione e Trasmissione, del programma « Indice neve » illustrato prima dall'Ing. Tacchi.

Le ricerche svolte nel settore dal CRIS mediante il suo Servizio Idrologico sono state indirizzate sull'esame e l'eventuale messa a punto di apparecchi automatici per la misura dell'equivalente in acqua del manto nevoso con il fine di esaminare le possibilità d'impiego di tali strumenti, evitando così l'invio sul posto degli osservatori, e sulla interpretazione dei dati raccolti su un bacino imbrifero, al fine di valutare il contributo del manto nevoso alla formazione dei deflussi superficiali.

Misure sul manto nevoso mediante raggi gamma. — Il contenuto in acqua del manto nevoso viene determinato in base alla misura dell'assorbimento da parte dell'acqua dei raggi gamma emessi da una opportuna sorgente. Sostanzialmente, nella misura dell'equivalente in acqua si impiegano due differenti tecnologie: una mediante un fascio di raggi verticali e l'altra mediante un fascio di raggi orizzontali (G. Rossi, 1973).

Gli apparecchi del primo tipo forniscono solo misure del totale contenuto in acqua della coltre nevosa, mentre quelli del secondo tipo forniscono i valori del contenuto per strati orizzontali di lunghezza e spessore noto ed il valore dell'altezza della coltre nevosa. Gli apparecchi di tipo orizzontale sono in grado di fornire informazioni più complete di quelle fornite dai tipi verticali, in quanto permettono di determinare i momenti in cui inizia il processo di fusione e quindi di poter predisporre tutti quegli accorgimenti atti alla razionale utilizzazione delle maggiori portate disponibili. In certi casi è anche possibile la previsione di caduta delle valanghe.

I due tipi di apparecchi sono tra loro complementari e pertanto trovano ambedue possibilità di impiego in una rete per i rilievi sul manto nevoso.

Le ricerche sulle apparecchiature sono state eseguite presso il serbatoio della Fedaià, posto ai piedi del ghiacciaio della Marmolada (fig. 6). Sono stati collocati quattro apparecchi del tipo verticale nei seguenti punti: Contro diga (m 2028), Pian Fiacconi (m 2625), Cima Undici (m 2223), Costa Padon (m 2366); un apparecchio del tipo orizzontale è stato posto al punto Pian Fiacconi. Gli apparecchi riceventi sono situati nella casa dei guardiani in vicinanza della diga; le visuali di trasmissione sono di circa 2 km e libere da ostacoli.

Gli apparecchi installati, superate le inevitabili difficoltà della fase di avviamento, hanno avuto un ottimo funzionamento, fornendo con continuità i dati rilevati nonostante le difficili condizioni ambientali cui sono sottoposti. I dati ricevuti vengono in seguito elaborati per risalire ai valori dell'equivalente in acqua.

Nella fig. 7 sono riportati i valori dell'equivalente in acqua della coltre nevosa misurati, mediante l'apparecchio verticale, durante l'anno 1972 a Pian Fiacconi e Contro diga; si può rilevare

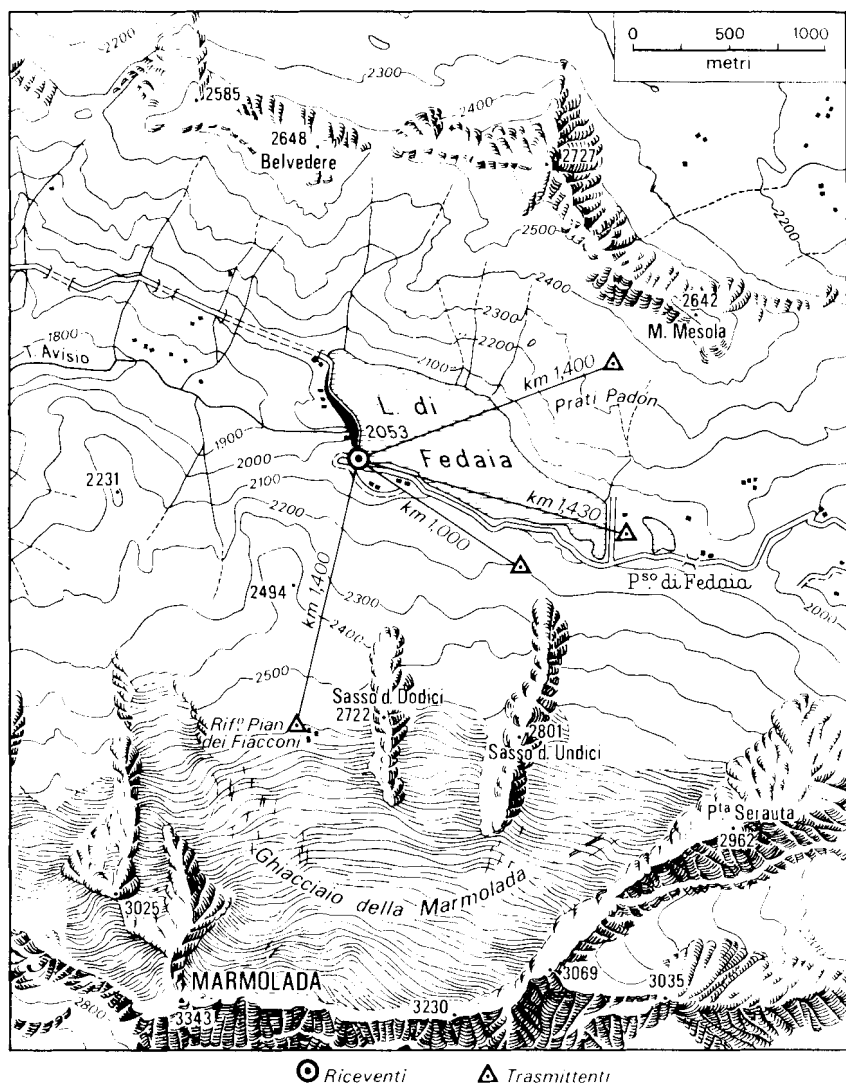


FIG. 6 — DISTRIBUZIONE DEGLI APPARECCHI PER LA MISURA DELL'EQUIVALENTE IN ACQUA NELLA ZONA DEL LAGO DI FEDAIA.

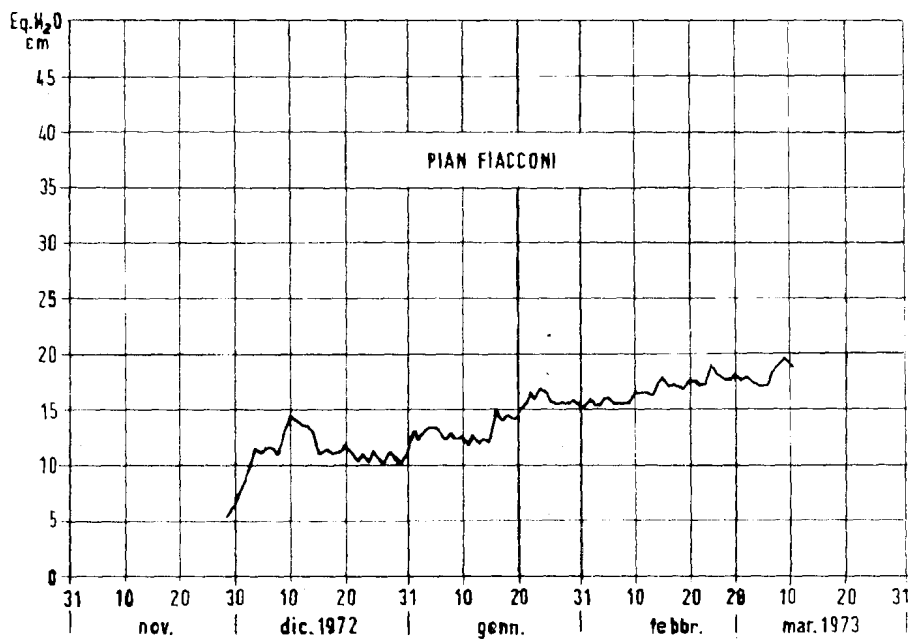
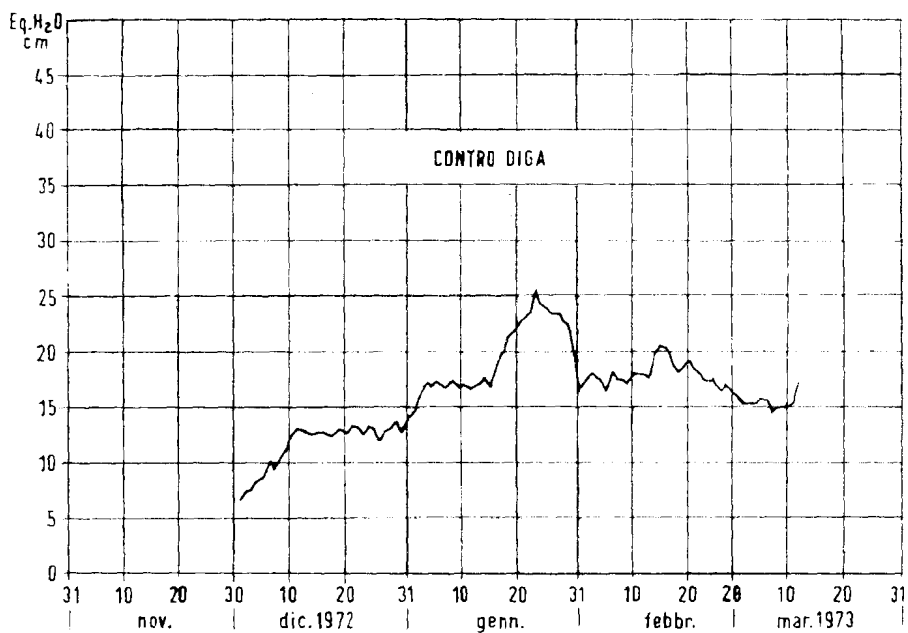


FIG. 7 — EQUIVALENTE IN ACQUA DEL MANTO NEVOSO NELLE LOCALITA' CONTRO DIGA E PIAN FIACCONI, SECONDO IL NIVOMETRO VERTICALE.

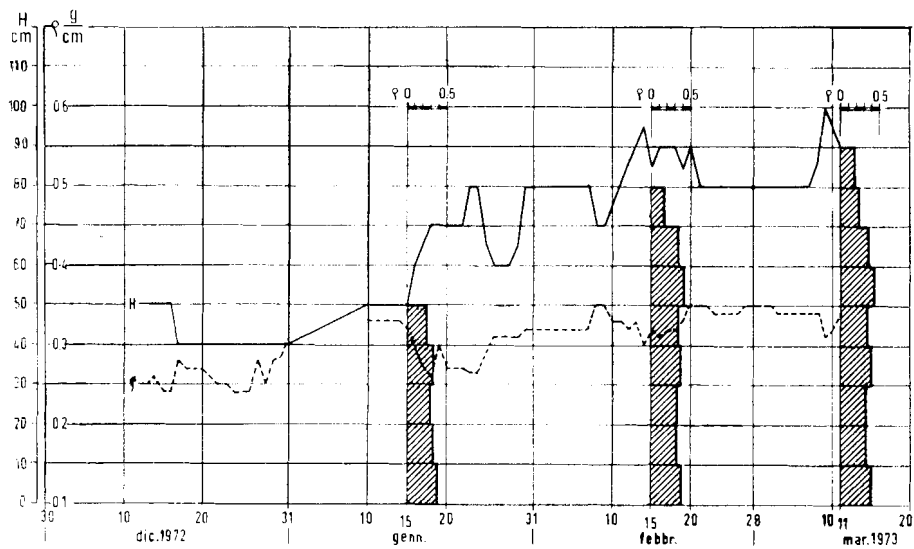


FIG. 8 — ALTEZZA E DENSITA' MEDIE DEL MANTO NEVOSO A PIAN FIACCONI, SECONDO IL NIVOMETRO ORIZZONTALE.

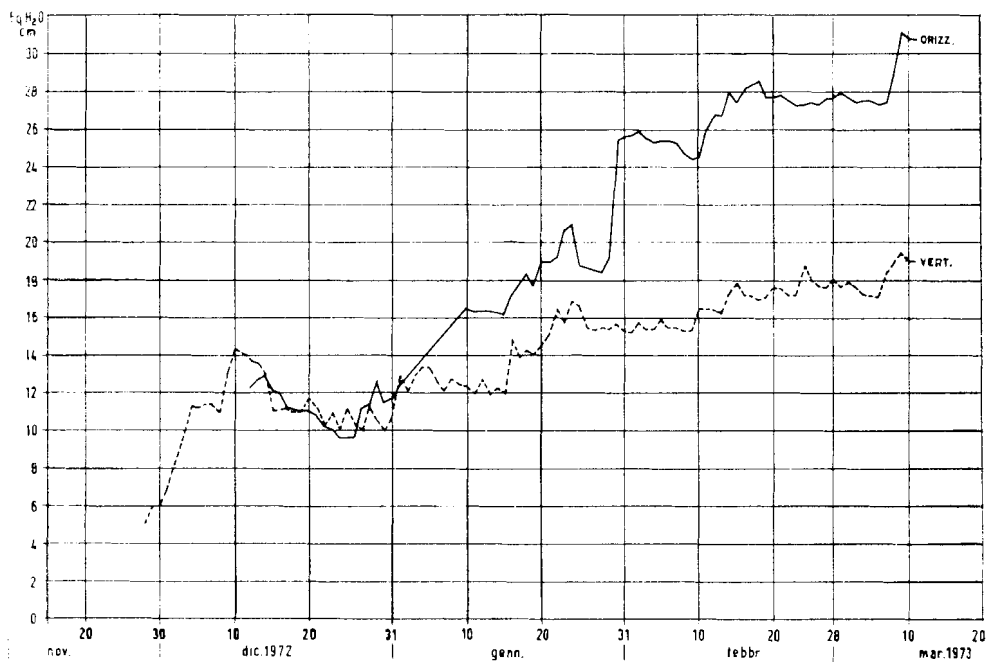


FIG. 9 — EQUIVALENTE IN ACQUA A PIAN FIACCONI SECONDO I RILEVAMENTI DEI DUE APPARECCHI.

il differente comportamento dei due punti di misura dovuto alle differenze di quota.

Il diagramma fig. 8 fornisce i dati di altezza del manto nevoso e la densità media, rilevati a Pian Fiacconi mediante l'apparecchio orizzontale. Per alcuni giorni sono stati tracciati anche i diagrammi della densità dei singoli strati orizzontali; da questi si può rilevare che lo strato a 60 cm dal suolo ha il valore massimo di densità.

Nella fig. 9 sono indicati i valori dell'equivalente in acqua rilevato a Pian Fiacconi mediante i due apparecchi orizzontale e verticale. Si noti che i dati relativi al mese di dicembre coincidono con buona concordanza (altezza manto nevoso di $40 \div 50$ cm) e che successivamente i valori misurati dall'apparecchio orizzontale sono più elevati. Tale fatto trova giustificazione nell'azione del vento che accumula una maggiore altezza di neve nel punto ove è installato tale apparecchio.

Contributo della coltre nevosa alla formazione dei deflussi superficiali. — Per la valutazione del contributo al deflusso superficiale di un corso d'acqua del manto nevoso ricoprente il bacino imbrifero di alimentazione si è studiato il bilancio idrologico del bacino del Lumiei, affluente di sinistra del Tagliamento, sotteso dalla diga della Maina a formare il serbatoio omonimo che alimenta l'impianto di Ampezzo (G. Rossi, 1971), già compreso nel programma « Indice neve ».

Il bacino del Lumiei (D. Tonini, 1948) ha una superficie di $61,1 \text{ km}^2$ e si estende fra le quote di 2473 m s.m. (Monte Bivera) e 980 m s.m. (massimo invaso del serbatoio della Maina), con un'altitudine media di 1492 m s.m. Esso si sviluppa: nella parte superiore, in gran parte fra le arenarie triassiche (*Werfen*), le dolomie cariate ed i calcari neri marnosi a strati sottili del Permiano, rocce che si considerano idrologicamente impermeabili; nella zona dello sbarramento, tra i calcari del Trias medio (Ladinico, Anisico), rocce, queste, semi-impermeabili. La natura del substrato roccioso comporta quindi che il 60% del bacino possa considerarsi impermeabile ed il rimanente 40% più o meno permeabile.

Precipitazioni. — Per la valutazione degli afflussi meteorici sul bacino si sono presi in considerazione i valori delle precipitazioni liquide e solide misurate in diverse stazioni pluviografiche poste all'interno ed all'esterno del bacino stesso. I valori degli afflussi meteorici totali annui e mensili sul bacino sono stati determinati assegnando, mediante il metodo dei topoieti corretto per tener conto dell'influenza dell'orografia, una propria area di competenza a ciascuna stazione pluviometrica, ed ammettendo che l'altezza di precipitazione misurata mediante il pluviografo si sia presentata uguale su tutta la superficie.

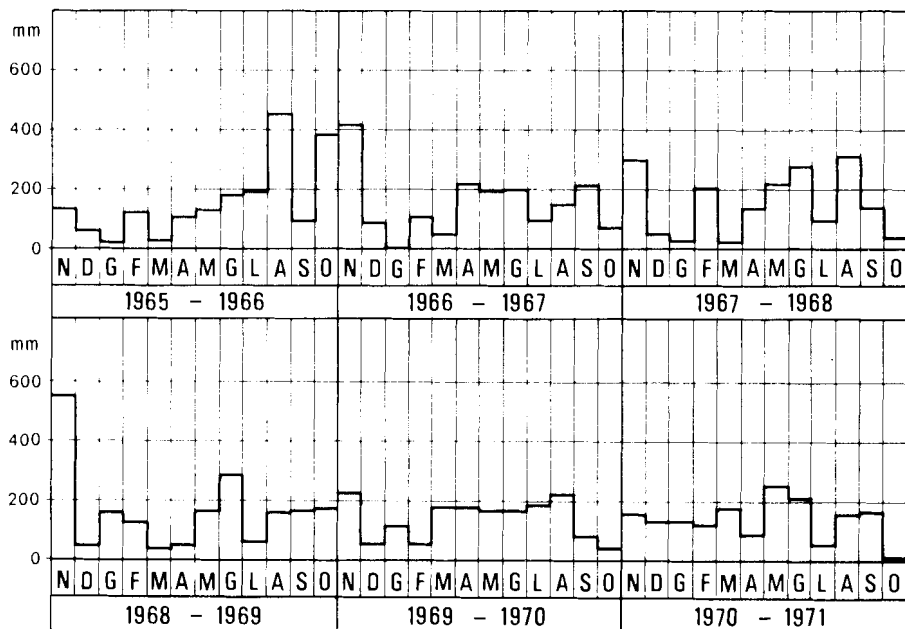


FIG. 10 — REGIME DELLE PRECIPITAZIONI NEL BACINO DEL LUMIEL.

Le precipitazioni totali annue dei sei anni considerati (dal 1965 al 1971) sono abbastanza simili fra loro, presentando solo differenze di modesta entità, e il regime delle precipitazioni (fig. 10) è caratterizzato da precipitazioni abbastanza abbondanti nel mese di novembre e da precipitazioni di una certa importanza nei mesi da aprile fino a settembre. Le precipitazioni di carattere nevoso

generalmente avvengono nei mesi gennaio, febbraio e marzo, con qualche apparizione nei mesi di novembre, dicembre ed aprile. Mediamente, le precipitazioni nevose ridotte in acqua equivalente rappresentano il 21% della precipitazione annua totale.

Contenuto in acqua del manto nevoso. — Il contenuto in acqua del manto nevoso è stato determinato mediante rilevamenti eseguiti in più punti del bacino e la cui scelta è stata attuata adottando i criteri di carattere generale precedentemente illustrati (A. Berni e E. Giacanelli, 1966).

L'equivalente in acqua del manto nevoso all'inizio della fusione è variato da 16,3 hm³ nel 1966-67 a 32,6 hm³ nel 1970-71, con valore medio dei sei anni pari a 22,0 hm³. Tali valori rappresentano rispettivamente il 15,0%, il 30,1% e il 20,3% degli afflussi meteorici annui sul bacino.

Resa in deflusso della coltre nevosa. — In genere, lo scioglimento del manto nevoso per il Lumiei inizia per le zone a bassa quota verso la fine di marzo o i primi di aprile, con durata di circa un mese, un mese e mezzo; per le zone superiori, verso la fine di aprile, con durata di circa un mese.

TAB. 4

NEVE FUSA DURANTE I MESI DI SCIOGLIMENTO (IN %)

Anno idrologico	Contenuto in acqua del manto nevoso all'inizio dello scioglimento hm ³	Percentuale neve fusa riferita al conte- nuto in acqua all'inizio dello scioglimento			
		marzo	aprile	maggio	giugno
1965-66	19,5	17	59	24	0
1966-67	16,3	21	23	56	0
1967-68	17,5	8	92	0	0
1968-69	23,4	0	34	66	0
1969-70	22,7	0	9	62	29
1970-71	32,6	0	35	63	2
media del periodo	22,0	8	42	45	5

Nella tab. 4 sono riportate le percentuali mensili della neve fusa durante i mesi di scioglimento, riferite all'equivalente in acqua del manto nevoso all'inizio del periodo di fusione.

Nel considerare il bacino idrologico mese per mese, si deve tener conto delle seguenti grandezze: 1, deflussi naturali di superficie; 2, afflussi meteorici; 3, perdite per evapotraspirazione; 4, acqua accumulata nel terreno e restituita successivamente (perdite apparenti); 5, altre perdite varie (sublimazione del manto nevoso, permeazioni ecc.); 6, variazioni della coltre nevosa.

Le precipitazioni che cadono sotto forma nevosa accumulandosi sul terreno durante il periodo invernale non contribuiscono al deflusso di superficie del predetto periodo, che presenta perciò un *deficit* rispetto alle precipitazioni, mentre nel periodo di fusione della coltre nevosa il loro contributo si somma alle precipitazioni liquide cadute, con conseguente notevole incremento del deflusso di superficie.

Si sono calcolati, per il periodo di fusione della coltre nevosa, i coefficienti di deflusso k_d , riportati nella tab. 5, fra i deflussi mensili superficiali D e gli afflussi mensili reali ($A-\Delta N$).

TAB. 5

COEFFICIENTI k_d FRA I DEFLUSSI SUPERFICIALI
E GLI AFFLUSSI TOTALI ($A-\Delta N$)

%

Anno idrologico	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
1965-66	27	43	42	
1966-67	56	57	45	
1967-68	117 (*)	41	0	
1968-69	0	68	46	
1969-70	0	56	44	50
1970-71	0	59	43	
media del periodo	31	54	37	22

(*) In tale mese la falda sotterranea concorre in modo rilevante alla formazione dei deflussi superficiali. Nei successivi conteggi tale valore viene ridotto a 100.

Nell'ipotesi che le perdite per permeazione ed evapotraspirazione non siano influenzate dal modo con il quale le acque provenienti dalla fusione del manto nevoso e dalle precipitazioni liquide arrivano sul terreno, e che quindi si possano assumere coefficienti di perdita uguali per i due fenomeni, il contributo mensile del manto nevoso alla formazione dei deflussi naturali superficiali può essere rappresentato dai coefficienti di deflusso mensili riportati nella tab. 5.

Mediante le variazioni percentuali dell'equivalente in acqua della coltre nevosa, riportate nella tab. 4, riferite al suo valore all'inizio del periodo di scioglimento, ed i valori dei coefficienti di deflusso della tab. 5, si possono calcolare i contributi mensili k_n (tab. 6) degli apporti della neve fusa alla formazione dei deflussi naturali superficiali in funzione dell'equivalente in acqua della coltre nevosa all'inizio del periodo di scioglimento.

TAB. 6

CONTRIBUTO k_n DELLA COLTRE NEVOSA TRASFORMATA
IN DEFLUSSO NATURALE SUPERFICIALE
%

Anno idrologico	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Totale periodo
1965-66	5	25	10	0	40
1966-67	12	13	25	0	50
1967-68	8	38	0	0	46
1968-69	0	23	30	0	53
1969-70	0	5	27	14	46
1970-71	0	21	27	2	50
media del periodo	4	21	20	3	48

Da questo si deduce che, mediamente, il 48% del manto nevoso si trasforma in deflusso di superficie; tale trasformazione avviene per il 4% nel mese di marzo, per il 21% nel mese di aprile, per il 20% nel mese di maggio, per il 3% in quello di giugno.

I contributi k_n permettono, nota la consistenza in acqua del manto nevoso all'inizio del periodo di fusione, di determinare la quantità d'acqua disponibile mese per mese per l'invaso del serbatoio. I valori medi sopra esposti sono specifici del bacino del Lumiei e del limitato periodo esaminato; tuttavia forniscono valori di orientamento che permettono di dedurre il deflusso superficiale della quantità d'acqua contenuta nella coltre nevosa. Essi, con la dovuta cautela, sono estensibili a bacini idrologici aventi caratteristiche geomorfologiche simili a quelle del bacino qui considerato.

Conclusione. — Il complesso delle ricerche intraprese, pur non esaurendo i diversi problemi connessi con lo studio del manto nevoso, fornisce già alcune indicazioni pratiche per l'utilizzazione razionale delle risorse idriche in esso contenute.

BIBLIOGRAFIA

- BERNI A. e GIACANELLI E., *La campagna di rilievi nivometrici effettuata dall'ENEL nel periodo febbraio-giugno 1966*, in « L'Energia Elettr. », Milano, 1966, pp. 542-553.
- ROSSI G., *Apporto del manto nevoso ai deflussi superficiali del torrente Lumiei*, in « Boll. Comit. Glaciol. Ital. », Torino, serie II, n. 19, 1971, pp. 215-239.
- ROSSI G., *Nivometri a raggi gamma per la misura del contenuto in acqua del manto nevoso*, in « Atti XVIII Congr. Nucleare su "Stato e prospettive delle applicazioni industriali delle radiazioni nucleari" », Roma, 1973 (in corso di stampa).
- TONINI D., *Caratteristiche idrologiche dell'impianto idroelettrico del Lumiei*, in « L'Energia Elettr. », Milano, 1948, pp. 430-436.

DISCUSSIONE SULLA RELAZIONE DI F. TACCHI E G. ROSSI

Prof. DELLA VALLE: « Quali sono le attuali possibilità di sviluppo della produzione idroelettrica? ».

Ing. TACCHI: « Esistono poche soluzioni economicamente valide non ancora utilizzate. Qualche cosa può essere fatta con il rinnovamento degli

impianti ed il conseguente miglioramento degli schemi di utilizzazione e dei rendimenti oggi ottenibili.

Si possono sviluppare invece gli impianti idroelettrici di pompaggio, ma essi sono strettamente collegati alle disponibilità di produzione termoelettrica e nucleotermoelettrica.

Debbo far notare che purtroppo anche la produzione di energia termoelettrica non può progredire tranquillamente, perché esistono difficoltà di carattere ecologico che ne ostacolano i programmi.

Non è possibile, d'altra parte, preoccuparsi delle ripercussioni sull'ambiente aumentando nel contempo i consumi di energia elettrica in maniera considerevole anche per scopi domestici. Si pensi, ad esempio, alla forte quantità di energia assorbita dai condizionatori d'aria. Quindi, se si vogliono certe comodità, bisogna affrontare concretamente i problemi ambientali connessi con la produzione termoelettrica. C'è anche una questione di costi, ma in relazione a ciò non sono stati ancora presi in considerazione sul piano nazionale i relativi problemi ».

Capit. CANTU': « Oso esprimere la mia opinione perché seguo il problema da diversi anni.

Effettivamente l'ENEL fa tutto il possibile per ridurre l'inquinamento. La sua colpa è piuttosto quella di voler costruire le centrali esattamente nel punto scelto in base a calcoli di convenienza aziendale e di rifiutarsi di costruirle qualche chilometro più in là o qualche centinaio di metri più in alto. In proposito posso ricordare che il Cantone del Vallese, ricevuta la richiesta di costruire una centrale nella piana di Aigle, dopo aver fatto studiare il problema dai meteorologi, fu irremovibile nell'esigere che i fumi fossero immessi nell'atmosfera a quota molto elevata. Così la centrale, a 380 m s.m., fu dotata di un « fumodotto » scavato nella montagna, che sbocca alla quota di 1242 m. Del resto, a quanto mi si dice, la centrale del Bastardo, sita sulle alture che dividono la valle del Topino da quella del Tevere e costruita per sfruttare la lignite locale, è stata per molto tempo alimentata con olio combustibile trasportato con autocisterne.

A parte questo, sono anch'io convinto che per i prossimi dieci anni l'incremento del fabbisogno di energia elettrica si dovrà fronteggiare prevalentemente mediante centrali termiche. La potenza da installare dovrebbe aggirarsi sui 10.000.000 di kW, cifra che, secondo una valutazione grossolana (allo stato attuale della tecnica), dovrebbe esaurire la possibilità di costruire centrali termiche a quote inferiori a mille metri senza incorrere in grossi problemi di inquinamento. E ciò tenuto conto anche della prospettiva di situare parte degli impianti su isole artificiali nell'Adriatico.

E' vero che l'immissione dei residui è inevitabile; però io dico che dobbiamo essere noi cittadini a scegliere dove essi devono venire dispersi ».

Ing. ROSSI: « In questo momento non c'è nessun comune, in Italia, nonostante tutti abbiano piani di sviluppo industriale e forte consumo ener-

getico, che sia disposto ad ospitare un impianto termoelettrico. Alcune soluzioni adottate, per esempio a Ravenna, con camini alti più di 250 m, si sono rivelate valide solo parzialmente. La Jugoslavia lamenta danni di inquinamento e di perturbazione meteorologica sulla costa dalmata, che, a suo avviso, dipendono dagli scarichi nell'atmosfera nella zona di Ravenna.

Lo stesso fenomeno è avvenuto in Svezia in conseguenza di provvedimenti adottati in Germania. Quindi il problema non può essere scaricato sull'ente preposto alla produzione di energia, ma deve essere affrontato dall'insieme degli enti e delle amministrazioni in un contesto ambientale ampliato, con uno studio preliminare delle sue caratteristiche e dei possibili effetti della localizzazione degli impianti termoelettrici ».

Prof. DELLA VALLE: « La situazione in questo campo è tale che vi sono stati dei casi in cui Comuni che avevano già accettato l'insediamento di una centrale termoelettrica hanno poi annullato la decisione per le proteste di Comuni vicini ».

Ing. TACCHI: « Potrei dire di più: si sono avuti dei casi in cui ciò ha provocato considerevoli danni economici allo Stato. Ad esempio, a Piombino, prima è stato concesso l'insediamento di una centrale termoelettrica, poi è stata revocata all'ENEL la licenza edilizia quando la costruzione della centrale era già in fase avanzata ».

Prof. G. MERLINI: « Vorrei però che l'ENEL si rendesse conto che quella sorta di colonialismo della gente di pianura nei confronti della montagna, ora inerente all'attività turistica, le aziende idroelettriche l'hanno praticata prima, condizionando pesantemente il genere di vita delle popolazioni vallive ».

Ing. ROSSI: « Vorrei citare il detto evangelico circa le colpe dei padri che ricadono sui figli. In Italia non c'è stata una legge che obbligasse coloro ai quali era consentita l'utilizzazione della forza idraulica di un corso d'acqua, per qualsiasi fine, a lasciarne una certa quantità per altri scopi.

Quindi, occorrono leggi che studino i problemi del territorio nella loro integralità ».