

APPLICAZIONI DI MODERNE TECNOLOGIE PER LO STUDIO DEI MANTI NEVOSI

1. *Premessa.* — Nella stagione invernale 1971-72 sono stati effettuati alcuni rilievi sperimentali su certe caratteristiche fisiche del manto nevoso nella zona della Val Formazza (m 1240 s.m.), organizzati dall'Istituto di Fisica dell'Atmosfera del C.N.R. con la collaborazione tecnica e scientifica della Società AGA Italia, dell'ENEL (Centrale Idroelettrica di Ponte Formazza), del Laboratorio Ricerche di Domodossola e della Fondazione Internazionale V. Eigenmann, di Milano. I rilievi hanno avuto, per il momento, soltanto lo scopo di saggiare le possibilità pratiche di effettuare telemisure di temperatura superficiale su estese zone montane innevate e non accessibili direttamente o accessibili con grave difficoltà. Sono state effettuate le seguenti misure: *a)* rilievi radiometrici della temperatura superficiale della neve e del ghiaccio; *b)* rilievi della temperatura superficiale della neve mediante l'impiego dell'apparato all'infrarosso AGA-Thermovision; *c)* rilievi sistematici sulla trasmissione di energia termica attraverso uno strato di neve; *d)* rilievi sistematici sulla penetrazione di un fascio laser in uno strato di neve.

La strumentazione impiegata è stata la seguente: *a)* un radiometro all'infrarosso PRT-5 della Barnes Eng. Co.; *b)* un apparato all'infrarosso AGA-Thermovision; *c)* un laser He-Ne della Spectra Physics.

Nei paragrafi seguenti, dopo aver descritto la strumentazione impiegata, sono esposti i vari aspetti tecnici e scientifici dei rilievi precedentemente menzionati, nonché i risultati conseguiti in questa campagna di misure.

2. *Descrizione della strumentazione.* — Il radiometro PRT-5 (ossia il Portable Radiation Thermometer, modello PRT-5, della Barnes Eng. Co.) è uno strumento, autoalimentato mediante batterie, adatto alla misura a distanza della temperatura superficiale dei corpi, essendo sensibile alla radiazione infrarossa emessa da questi. Nella misura a distanza della temperatura superficiale, due notevoli cause di errore sono date dalla presenza dell'atmosfera e dalla radiazione solare riflessa. Per minimizzare il peso di tali fattori negativi lo strumento è reso sensibile alla radiazione infrarossa di lunghezza d'onda compresa tra 8 e 15 micron: tale intervallo corrisponde, come è noto, ad una finestra atmosferica per queste lunghezze d'onda (1).

L'apparato AGA-Thermovision, modello 860, rende visibili, sotto forma di immagini « termiche », le differenze di temperatura di un oggetto, in funzione della radiazione infrarossa emessa, naturalmente in relazione alla temperatura superficiale dell'oggetto stesso, ammesso che esso si comporti come un « corpo nero ».

La telecamera esplora il campo visivo e concentra le radiazioni infrarosse su un rivelatore che le converte in segnali elettrici. Dopo essere stato amplificato, il segnale elettrico comanda il fascetto elettronico di un tubo catodico di tipo televisivo. Il fascetto spazza lo schermo in sincronismo con la telecamera. Sullo schermo si forma una immagine « termica », le cui zone più chiare rappresentano le zone a temperatura più elevata. L'elevata frequenza di esplorazione produce sullo schermo un'immagine viva o in tempo reale. Il modello 860 può effettuare misure su oggetti a temperature comprese tra -30° e $+2000^{\circ}$. Scegliendo opportunamente i valori del campo di temperatura si possono ottenere immagini con differenze massime tra nero e bianco, pari a solo 1° (2).

(1) Il funzionamento del PRT si basa sul principio della rivelazione sincrona: la radiazione emessa dalla sorgente viene confrontata con quella emessa da un « corpo nero » di riferimento ed il segnale in uscita risulta proporzionale alla differenza tra le due intensità della radiazione che giunge sul rivelatore. Tale segnale viene poi elaborato elettronicamente, in modo da dare una uscita direttamente in temperatura o rendere possibile una registrazione analogica.

(2) La telecamera può essere disposta a qualsiasi distanza dall'oggetto da studiare, in quanto la sua sensibilità, effetto dell'aria interposta a parte, è indipendente dalla distanza. Le rilevazioni possono essere eseguite normalmente da una distanza di varie centinaia di metri, senza che si abbiano assorbimenti significativi

Il laser He-Ne della Spectra Physics, impiegato nelle ricerche, è stato il modello 130 C; si tratta di un laser He-Ne centrato sulla lunghezza d'onda 6328 Å, con una potenza di 1 mW, un diametro del fascio di 1,4 mm e una divergenza di 0,7 millirad. Unitamente al sistema laser si sono impiegati dei filtri Kodak con le seguenti caratteristiche: trasmittanza nulla per lunghezza d'onda inferiore a 6000 Å e trasmittanza circa 75% per lunghezza d'onda uguale a 6328 Å; è stato altresì impiegato un fotometro modello 201 della RCA.

3. *Rilevamenti della temperatura superficiale della neve mediante apparati all'infrarosso.* — Come si è detto nella premessa, durante questo breve periodo di rilevamenti sono state effettuate misure sistematiche della temperatura superficiale della neve mediante gli apparati all'infrarosso radiometro PRT-5 e AGA-Thermovision. La zona di stazione era situata nel centro abitato di Valdo Formazza, ad una quota di 1240 m s. m. Il « bersaglio » preso in considerazione è stata la parete nord-est del Monte Giove, la cui vetta raggiunge la quota di circa 3000 m. Su tale parete si hanno, nel periodo invernale, le seguenti caratteristiche: una fascia superiore, costituita per tutta la sua estensione da roccia, che presenta neve e ghiaccio; una fascia centrale (ancora roccia), che presenta neve ed una certa vegetazione (abeti e sottobosco); infine una fascia inferiore, che presenta prevalentemente una fitta copertura boscosa con una vasta distesa di neve attorno alla quota di 1300 m. Inoltre, su tale parete, sono ben evidenziati due lunghi e ripidi canali che, nella stagione invernale, sono ricolmi di neve e costituiscono un percorso pressoché obbligato per le manifestazioni valanghive della zona.

Le esperienze sono consistite nell'effettuare una serie di scansioni sistematiche dell'intera parete, eseguendo delle « strisciate » fotografiche in corrispondenza delle tre zone prima descritte. Le misure sono state eseguite in varie ore del giorno e della

da parte dell'atmosfera. E' possibile applicare all'oscilloscopio di rivelazione una macchina fotografica normale, in modo da ottenere contemporaneamente la visione diretta e la registrazione delle immagini che appaiono sullo schermo dell'oscilloscopio stesso. Per ottenere risultati immediati si può usare una macchina fotografia Polaroid.

notte, allo scopo di avere informazioni corrispondenti a differenti condizioni ambientali e di temperatura dell'aria e della neve, nonché allo scopo di valutare la risposta degli apparati predetti in presenza della luce diurna ed in condizioni notturne. Le misure eseguite tra le ore 11 e le ore 13 del 24 febbraio, con condizioni di cielo coperto, hanno dato i seguenti risultati:

Fascia inferiore: neve, temp. media: $-0^{\circ},5$; neve + bosco, temp. media: $+0^{\circ},5$.

Fascia centrale: neve, temp. media: $-0^{\circ},5$; neve + ghiaccio, temp. media: -1° ; neve + bosco, temp. media: $+0^{\circ},5$.

Per la fascia superiore le misure non sono state eseguite a causa della presenza di nubi a bassa quota.

E' interessante notare la coincidenza dei valori della temperatura media della neve a quote diverse (fascia inferiore, 1250 m, fascia centrale, 1400 m), nonché i valori più bassi per la temperatura del ghiaccio (-1°) ed i valori più alti per la temperatura dell'insieme neve + bosco ($+0^{\circ},5$); a tale proposito si deve sottolineare il fatto che il rilievo radiometrico dipende dalla natura del « bersaglio » che viene inquadrato dalla parte ottica dello strumento: pertanto il valore della temperatura è chiaramente un valore medio relativo all'intera « macchia » di neve (o di neve + bosco) che viene inquadrata dal radiometro.

Una serie analoga di misure è stata ripetuta dalle ore 18 alle ore 20 dello stesso giorno (24 febbraio). I valori ottenuti col radiometro sono stati i seguenti:

Fascia inferiore: neve, temp. media: $-6^{\circ},5$; neve + bosco, temp. media: -4° .

Fascia centrale: neve, temp. media: -6° ; neve + bosco, temp. media: -4° ; neve + ghiaccio, temp. media: $-6^{\circ},5$.

Fascia superiore: neve + roccia: temp. media: -12° ; neve + bosco: temp. media: -9° .

In questo caso si osserva come i valori della temperatura siano sensibilmente inferiori a quelli trovati tra le ore 11 e le

ore 13 nella stessa zona; ciò potrebbe esser dovuto alla variazione diurna della temperatura dello strato superficiale per effetto della radiazione solare di giorno e della radiazione notturna di sera; ma in parte potrebbe essere dovuto alla diffusione nelle ore diurne della radiazione infrarossa proveniente dal sole. Purtroppo non è stato possibile controllare con misure dirette *in situ* il contributo di quest'ultima parte; ma da altre misure analoghe si può affermare che questo termine dovrebbe essere piccolo. Si può verificare altresì come i valori della temperatura siano molto più bassi nella fascia superiore (2500-3000 m) rispetto ai valori corrispondenti nelle fasce inferiore e centrale. Infine, si può notare la differenza tra il valore medio della temperatura dell'insieme neve + roccia (-12°) e quello dell'insieme neve + bosco (-9°) nella fascia superiore del Monte Giove.

Una terza serie di rilievi è stata eseguita il giorno successivo (25 febbraio) tra le ore 10 e le ore 12 con condizioni di cielo molto variabile (da coperto a poco nuvoloso). I dati ottenuti sono stati i seguenti:

Fascia inferiore: neve, temp. media: 0° ; neve + bosco, temp. media: $+0^{\circ},5$.

Fascia centrale: neve, temp. media: 0° ; neve + bosco, temp. media: $+1^{\circ}$; neve + ghiaccio, temp. media: -1° .

Fascia superiore: neve + bosco, temp. media: -1° ; neve + roccia, temp. media: -3° .

Come si può notare, i valori trovati in questa serie di misure sono molto vicini ed in qualche caso coincidenti con quelli riscontrati nella prima fase delle misure: il che sembrerebbe confermare la validità dei rilievi effettuati il 24 febbraio nello stesso periodo della giornata (tra le ore 11 e le ore 13 il primo giorno, tra le ore 10 e le ore 12 il secondo giorno).

Infine, una quarta ed ultima serie di rilievi è stata eseguita tra le ore 16 e le ore 18 del 25 febbraio, con i seguenti risultati:

Fascia inferiore: neve, temp. media: -1° ; neve + bosco, temp. media: 0° .

Fascia centrale: neve, temp. media: -1° ; neve + bosco, temp. media: $+1^{\circ}$; neve + ghiaccio, temp. media: -1° .

Fascia superiore: neve + bosco, temp. media: -5° ; neve + roccia, temp. media: -10° .

Anche in questo caso si è messo in evidenza il decremento dei valori medi della temperatura superficiale dal basso verso l'alto del Monte Giove, con le caratteristiche già indicate nei casi precedenti. Si può affermare che, con i quattro rilievi effettuati lungo l'arco dei due giorni di sperimentazione, con valori pressoché ripetitivi per misure effettuate nella stessa zona e nello stesso periodo di tempo, è possibile costruire una sorta di « mappa termica », ovvero di distribuzione delle temperature su tutta l'estensione della parete del Monte Giove presa in considerazione. I dati precedentemente riportati possono essere riassunti come segue:

M = mattino P = pomeriggio S = sera		Z O N A		
		inferiore ($^{\circ}\text{C}$)	centrale ($^{\circ}\text{C}$)	superiore ($^{\circ}\text{C}$)
neve	M	0,0	- 0,5	—
	P	- 1,0	- 1,0	—
	S	- 6,5	- 6,0	—
neve + bosco	M	+ 0,5	+ 0,5	- 1,0
	P	0,0	+ 1,0	- 5,0
	S	- 4,0	- 4,0	- 9,0
neve + ghiaccio (o roccia)	M	—	- 1,0	- 3,0
	P	—	- 1,0	- 10,0
	S	—	- 6,5	- 12,0

Con i dati di questa tabella è possibile avere un'idea, anche se approssimata, dell'andamento e dell'evoluzione della tempera-

tura superficiale di un insieme neve + bosco + roccia + ghiaccio lungo l'arco di una giornata, tenendo conto del periodo (medio inverno) nel quale sono state effettuate le misure.

4. *Rilevamenti della temperatura superficiale della neve mediante l'apparato all'infrarosso AGA-Thermovision.* — In correlazione ed in coincidenza con le misure radiometriche descritte nel paragrafo precedente, sono stati effettuati anche alcuni rilievi della temperatura superficiale della neve mediante l'impiego dell'apparato all'infrarosso AGA-Thermovision. I rilievi sono costituiti nell'esecuzione di un certo numero di « carrellate » sufficienti a coprire l'intero « bersaglio », costituito dalla parete nord-est del Monte Giove; successivamente si è proceduto, in sede di analisi dei dati ottenuti, alla ricostruzione fotografica dei termogrammi parziali (sia in bianco e nero che a colori), ottenendo in tal modo una mappa termica globale della distribuzione della temperatura superficiale del Monte Giove.

Nei termogrammi in bianco e nero e a colori si sono chiaramente localizzate le zone « calde » e quelle « fredde » della montagna; in particolare, nel termogramma in bianco e nero, le zone calde (cioè alberi, case, ecc.) appaiono più chiare, mentre le zone fredde (neve, ghiaccio, roccia, ecc.) appaiono più scure. Si sono potuti anche notare facilmente i due già ricordati canali di neve e ghiaccio, che scendono dalla vetta fino ai piedi della montagna, ai lati di una folta vegetazione di pini ed abeti. Si devono sottolineare alcuni aspetti pratici di questi rilievi termografici, che consistono nella rapidità di esecuzione delle misure, nella loro attendibilità e soprattutto nella loro semplicità logistica, cioè nel fatto che i rilievi stessi possono essere eseguiti con notevole precisione anche a distanza di circa $300 \div 500$ m dal bersaglio in esame. Le misure effettuate in Val Formazza hanno ampiamente dimostrato la proficua applicabilità di questo tipo di tecnica all'infrarosso, largamente utilizzata in altri settori della geofisica, anche nel campo degli studi e delle ricerche sulla neve e sul ghiaccio.

5. *Rilevamenti sistematici sulla trasmissione di energia termica attraverso uno strato di neve.* — In collaborazione con alcuni

esperti della Fondazione Internazionale V. Eigenmann e con la Società AGA-Italia, sono stati eseguiti rilevamenti sistematici sulla trasmissione di energia termica attraverso uno strato di neve. Lo scopo di questi rilievi era quello di mettere in evidenza la possibilità di un eventuale impiego di apparati all'infrarosso (del tipo AGA-Thermovision) per il recupero delle vittime da valanghe. La ricerca è consistita nello studiare l'andamento della risposta dello strumento rilevatore (AGA) in funzione dello spessore dello strato di neve interposto tra l'oggetto da rivelare ed il rivelatore stesso.

Ricerche analoghe sono state condotte, pressoché contemporaneamente, in Svizzera (a Zermatt) dalla Soc. AGA tedesca in collaborazione con la Fondazione Eigenmann e con altri enti elvetici interessati al problema del recupero delle vittime da valanghe. I risultati, sia in Svizzera che in Italia, sono stati negativi; ciò era del resto prevedibile anche dal punto di vista teorico, tenendo conto del fortissimo assorbimento che l'energia termica subisce nell'acqua o nella neve; nel caso della neve erano noti soltanto dati qualitativi e non quantitativi. In Svizzera le esperienze sono state eseguite con un apparato AGA installato a bordo di un elicottero; l'oggetto da rilevare (un bidone contenente acqua molto calda) era stato opportunamente sepolto in una trincea e si era man mano diminuito lo spessore dello strato di neve interposto tra lo strumento e l'oggetto. Il risultato, come si è detto, è stato completamente negativo: l'oggetto è comparso sullo schermo dell'AGA solo con uno spessore di neve piccolissimo (meno di 1 mm) o addirittura nullo.

Le esperienze condotte in Val Formazza sono consistite invece nello studio dell'assorbimento di energia termica da parte di uno strato di neve in funzione dello spessore dello strato stesso. Si è però dovuto concludere che non è possibile applicare le tecniche di rivelazione all'infrarosso per il recupero delle vittime da valanghe con risultati positivi o soddisfacenti.

6. *Applicazione delle tecniche laser per il recupero delle vittime da valanghe: risultati sperimentali delle ricerche condotte nelle Alpi e nell'Appennino.* — Il laser He-Ne, di cui si è detto nella premessa, è stato utilizzato allo scopo di studiare l'effetto

su di un fascio di luce laser da parte di un corpo immerso in uno strato di neve.

Con uno strato di neve di spessore variabile da 20 a 60 cm, sono state eseguite alcune esperienze intese a studiare la risposta di un fotomoltiplicatore RCA in funzione dell'angolo di incidenza del fascio laser nel manto nevoso, delle caratteristiche fisiche e geometriche dell'oggetto da rivelare e dello spessore dello strato di neve interposto tra oggetto e sistema laser-fotomoltiplicatore. Cioè, in definitiva, si è cercato di studiare l'andamento dell'assorbimento e della diffusione del fascio laser per la presenza dell'oggetto da rivelare, in funzione della quantità di neve compresa tra oggetto e strumento e della direzione di incidenza del fascio laser.

Si può affermare che i risultati ottenuti con questo tipo di esperienza sono stati molto positivi; si è notato, infatti, che l'intensità della luce laser diffusa in presenza di un corpo estraneo, anche di limitate dimensioni (guanto, maglione, ecc.) è dell'ordine del 50% in meno di quella diffusa soltanto dalla neve; si tratta quindi di una percentuale effettivamente significativa e facilmente apprezzabile anche con una modesta attrezzatura.

Una seconda serie di misure è stata eseguita nella primavera del 1972 sul Monte Terminillo con la stessa attrezzatura tecnica, ma con una disposizione sperimentale più vicina alle condizioni reali nelle quali si dovrebbero effettivamente effettuare le ricerche delle vittime; si sono avuti risultati molto soddisfacenti che consentono di guardare alla possibilità di ulteriori applicazioni di questo metodo sperimentale con una certa fiducia: per es., il passo successivo dovrebbe consistere nel ripetere una esperienza analoga da bordo di un elicottero allo scopo di verificare l'attendibilità e la pratica attuabilità di questo metodo in condizioni operative molto simili a quelle che si verificano in occasione degli incidenti da valanga e dei relativi tentativi di recupero delle eventuali vittime.

7. *Conclusioni.* — In questo contributo sono stati rapidamente accennati, in relazione al tipo di convegno, prettamente geografico, che lo ha determinato, alcuni problemi sperimentali che l'I.F.A. ha affrontato nel campo degli studi e delle ricerche sulla

neve e sulle valanghe, con metodi e tecnologie avanzate. I risultati sono stati molto incoraggianti e soddisfacenti e l'autore spera che questi brevi cenni possano costituire lo sprone ad ulteriori ricerche, ancora più coordinate tra gli enti e gli istituti che operano, in Italia ed all'estero, in questo campo di studi. Egli, da parte sua, è a disposizione di quanti lo desiderino per fornire dettagli o dati che in questa sede non avrebbero potuto essere accolti.

BIBLIOGRAFIA SOMMARIA

- COLACINO M. e VIVONA F. M., *Misure meteorologiche e radiometriche su manti nevosi*, Roma, 1971 (« Pubbl. IFA-SR », 34).
- FRASER C., *The Avalanche Enigma*, Londra, J. Murray, 1966.
- LLIBOUTRY L., *Traité de glaciologie*, 2 voll., Parigi, Masson, 1964-65.
- PATERSON W. S. B., *The Physics of the Glaciers*, Londra, Pergamon Press, 1969.