

MARIO PINNA

CONTRIBUTO ALLO STUDIO DEL POTERE REFRIGERANTE DEL VENTO NELLE AREE MONTANE D'ITALIA

Un interessante problema di bioclimatologia. — È noto che le condizioni di benessere o di disagio per l'uomo dipendono dalle molte possibili combinazioni dei valori della temperatura e dell'umidità relativa; tuttavia queste correlazioni, che pure sono all'origine degli effetti stimolanti o debilitanti del clima, non risolvono il problema del raffreddamento del corpo umano, perché in questo caso entra in gioco l'effetto del vento.

Sappiamo infatti che un vento di una certa intensità, se è sgradevole d'inverno in quanto rende il freddo più pungente, d'estate contribuisce a rendere più accettabili le alte temperature che sono proprie di quella stagione. Ne deriva che le indicazioni del termometro talvolta non sono in accordo con le nostre sensazioni di freddo o di caldo: tale dissonanza si verifica spesso negli ambienti freddi o freschi, ma comunque ventilati, come sono in generale quelli delle zone montane. Né si tratta di una semplice e soggettiva impressione, dato che un vento freddo, attuando il rapido e continuo ricambio dello strato d'aria situato a immediato contatto con la pelle umana, costringe quest'ultima a porre rimedio in qualche modo a una forte dispersione di calorie, mentre con aria calma gli scambi termici del corpo con l'esterno si possono effettuare lentamente attraverso questo strato d'aria di protezione che circonda il corpo intero. Il vento poi accelera, sempre a spese del calore umano, sia gli scambi convettivi sia l'evaporazione dei fluidi derivanti dalla normale traspirazione della pelle. Come si può notare, l'aria in movimento determina un insieme di processi piuttosto complessi, difficilmente quantificabili singolarmente, onde gli studiosi da tempo hanno cercato di pervenire a una stima globale dell'azione termica delle correnti aeree. Questa si designa di solito con l'espressione «potere refrigerante del vento» (p.r.v.) (1). Si tratta in sostanza

(1) I tedeschi hanno il termine di *Abkühlungsgrösse*, mentre gli autori di lingua inglese usano le espressioni *wind chill* e *cooling power*, tra le quali non esiste più alcuna differenza, anche se all'origine non vi era un'esatta coincidenza di significato. I francesi parlano di *pouvoir réfrigérant du vent*.

della quantità di calore sensibile che le condizioni ambientali (e precisamente l'azione combinata della temperatura e del vento) fanno perdere al corpo umano nell'unità di tempo. Questa dispersione è ancora espressa, nella letteratura scientifica normalmente consultabile, in chilocalorie all'ora per metro quadrato di superficie esposta o in calorie al secondo per centimetro quadrato (2).

Diversi strumenti sono stati proposti per dare una misura anche approssimata delle speciali condizioni che un ricambio d'aria rapido e intenso impone alla termoregolazione umana. L'idea più semplice, come ha detto C.-P. Péguy, è quella di elevare artificialmente la temperatura di un termometro fino a un valore determinato, ad esempio 40°, esporre lo strumento all'aria libera e contare, con l'aiuto di un cronometro, quanti secondi esso impiega per scendere a 35°, percorrendo una gamma termica in cui è compresa la temperatura dell'organismo umano. L'abbassamento sarà tanto più rapido quanto più energica sarà l'azione raffreddante dell'atmosfera in movimento. L'interpretazione dei dati forniti da questo strumento, che viene definito *catatermometro*, è un po' delicata, quando si voglia tradurre tali valori in dispersione di calorie per unità di tempo; tuttavia le indicazioni che esso ci fornisce sono preziose per inquadrare il fenomeno nelle sue basi generali.

Un altro strumento è costituito da un corpo di rame annerito, esposto all'atmosfera libera e tenuto costantemente alla temperatura di 37° da una resistenza elettrica: in questo caso la misura dell'energia impiegata dalla resistenza consente di ottenere una valutazione diretta della quantità di calorie necessarie per mantenere il corpo alla temperatura voluta, in un determinato ambiente. È questo il frigorimetro, detto anche *frigorimetro di Davos*, dal nome della località svizzera nella quale il prototipo di tale strumento è stato messo in attività. Anche in questo caso, comunque, è necessario andar cauti nel ricavare da questi dati delle indicazioni sul raffreddamento che subirebbe l'organismo umano nelle stesse condizioni (3).

Merita di rilevare tuttavia che il problema del p.r.v., nonostante le difficoltà di misura, si può impostare in maniera rigorosamente scientifica, come ha dimostrato lo studioso R.G. Steadman in un suo scritto del 1971. Il procedimento che egli suggerisce però richiede dati numerici non forniti dalle normali stazioni meteorologiche, tanto che alcuni ricercatori, come ho già detto, hanno compiuto degli esperimenti con lo scopo di stabilire delle formule empiriche capaci di fornirci valori abbastanza vi-

(2) Nel sistema internazionale si preferisce il watt/m², secondo l'equivalenza:

$1 \text{ W/m}^2 = 0,86 \text{ kcal/h/m}^2 = 0,0000278 \text{ cal/sec/cm}^2$

(3) GUITER J., *Première esquisse géographique du refroidissement. Mesures effectuées au frigorimètre de Davos*, in «Rev. de Géogr. Alpine», Grenoble, 1966, pp. 505-508.

cini a quelli che si ottengono facendo uso di metodi più complessi. Queste relazioni matematiche si fondano tutte sul presupposto che il p.r.v. è in relazione diretta con la radice quadrata della velocità del vento e con la differenza fra la temperatura del rivestimento cutaneo del corpo umano e quella dell'aria ambiente.

Una delle formule che fanno uso soltanto di dati meteorologici facilmente reperibili è quella proposta nel 1945 da P.A. Siple e C.F. Passel:

$$H = 10,45 + 10 \sqrt{v} - v (33 - t)$$

in cui H è il potere refrigerante del vento in kcal/h/m², v la velocità del vento in m/sec e t la temperatura in gradi centigradi.

Pochi anni dopo (1948) A. Court (4) ha ritenuto di modificare questa formula, proponendola nella forma:

$$H = 9,0 + 10,9 \sqrt{v} - v (33 - t)$$

che è quella ormai più largamente usata dagli studiosi di climatologia.

Questo mutamento nelle costanti innalza da 25 a 30 m/sec la velocità critica del vento alla quale, in base alla formula, un ulteriore aumento nei movimenti dell'aria non apporta alcun effetto refrigerante. Secondo tale metodo di calcolo, infatti, il p.r.v. aumenta con una certa rapidità fino a una velocità del vento pari a 20 m/sec, lentamente quando questa è compresa tra 20 e 30 m/sec, mentre diminuisce a velocità più elevate. I valori critici sono stati così stabiliti da A. Court, sempre in kcal/h/m²:

50	molto caldo	1000	molto freddo
100	caldo	1200	intensamente freddo
200	gradevole	1400	i tessuti esposti gelano
400	fresco	2000	i tessuti gelano in 60 sec
600	abbastanza fresco	2500	intollerabile
800	freddo		

Dopo quanto è stato detto finora risulta abbastanza chiaro il significato dei due grafici riportati nelle figg. 1 e 2. Il primo, che sintetizza la variazione del p.r.v. in funzione dei due parametri fondamentali, ci dimo-

(4) COURT A., *Wind Chill*, in «Bull. Amer. Meteorol. Soc.», Lancaster (Pa), 1948, pp. 487-493.

Se la temperatura è espressa in °F e la velocità del vento in miglia inglesi (1609 m), l'espressione prende la forma:

$$H = 5 + \sqrt{v} - v/4 (91,4 - T)$$

A riguardo cfr. GRIFFITHS J.F., *Applied Climatology. An Introduction*, Londra, Oxford Univ. Press, 1966, pp. 70-73.

Per le idee di Steadman rimando all'articolo STEADMAN R.G., *Indices of Windchill of Clothed Persons*, in «Journ. of Applied Meteorol.», New York, 1971, pp. 674-683.

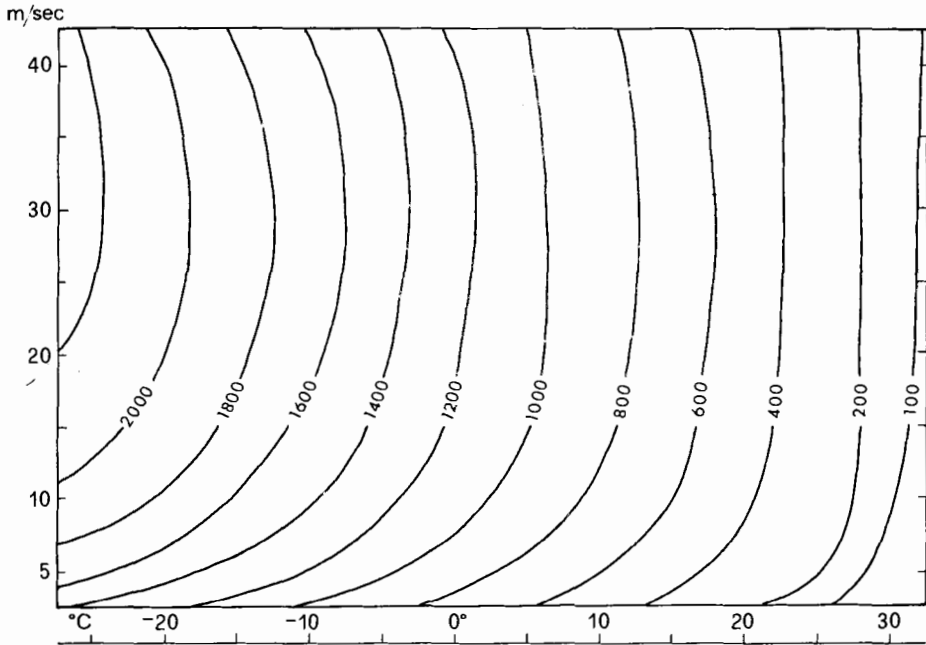


FIG. 1 — LA VARIAZIONE DEL P.R.V. IN FUNZIONE DEI VALORI TERMICI E DELLA VELOCITÀ DEL VENTO.

stra che, nell'ambito di ogni singolo valore termico, H dapprima aumenta con la velocità del vento, ma oltre i 30 m/sec subisce una certa diminuzione: ad esempio, a -5° , con 15 m/sec, abbiamo $H = 1376$, con 30 m/sec, 1471, con 40 m/sec, 1442. È veramente raro che nel nostro paese, anche in condizioni estreme, si raggiunga un valore del p.r.v. pari a 2000. Il secondo grafico ci indica le temperature che potremmo definire equivalenti nel determinare il potere refrigerante in funzione dei dati anemometrici; così, il valore 1000 si raggiunge alla t di $-7^\circ,5$ se la velocità del vento è di soli 3 m/sec, o anche a $-2^\circ,5$ se questa sale a 5 m/sec; lo stesso risultato si ottiene poi se la temperatura passa a valori positivi ma con un'alta mobilità dell'atmosfera; ad esempio, $7^\circ,2$ ma con $v = 30$ m/sec.

Dalle considerazioni che precedono si deduce agevolmente che si possono avere condizioni di disagio per l'uomo a causa del potere refrigerante sia nei climi marittimi, nei quali alle temperature invernali pur non molto basse si unisce una certa frequenza dei venti di alta velocità, sia in quelli continentali, dove invece la stagione invernale porta medie anemometriche piuttosto ridotte, ma con valori termici negativi assai accentuati. Diverso ancora è il caso delle regioni montuose, nelle quali le basse temperature si uniscono di solito a una notevole frequenza dei venti, anche di quelli con elevata velocità oraria.

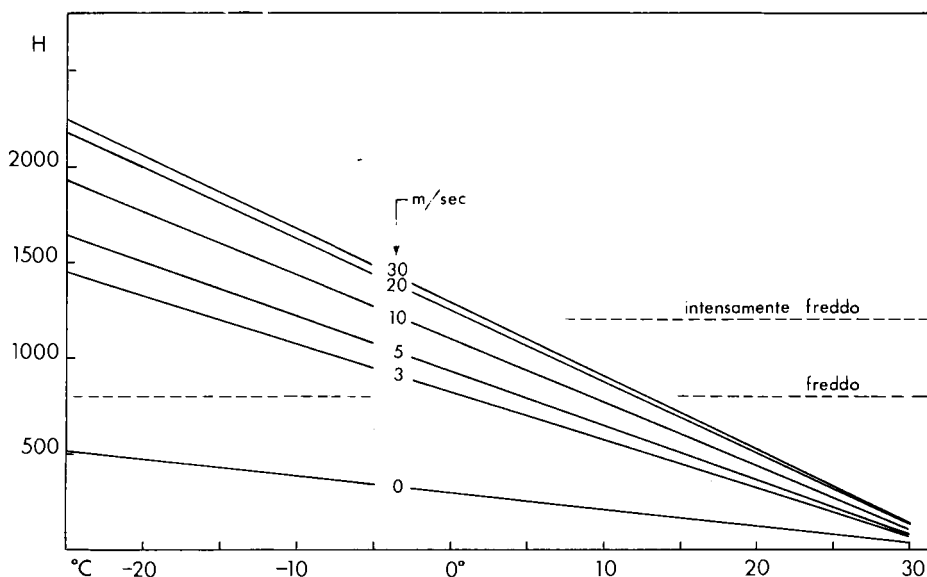


FIG. 2 — TEMPERATURE EQUIVALENTI, NEL DETERMINARE IL P.R.V., IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE CORRENTI AEREE.

Il potere refrigerante del vento in alcuni settori delle Alpi e dell'Appennino. — Che cosa accade, in generale, nelle regioni montuose? Nelle vette e negli alti pendii aperti, dove la morfologia non crea zone poste al riparo dai venti, le basse temperature e il più diretto inserimento nella circolazione atmosferica generale determinano un progressivo aumento del p.r.v. in funzione dell'altezza del luogo di osservazione. All'interno delle valli invece il fenomeno non è molto intenso in ragione della calma atmosferica che è propria delle zone protette da alti rilievi, ed è ancora più contenuto nei pendii ben soleggiati, nei quali le temperature non scendono a valori molto bassi. Gli studiosi svizzeri hanno rilevato appunto che nel periodo invernale a Davos l'entità del raffreddamento è del tutto simile a quella che si registra a Locarno, dato che la più alta temperatura che avvantaggia la città ticinese è compensata dalla protezione contro l'azione del vento di cui gode la stazione valliva (5).

(5) GUITER J., op. cit., p. 507. L'autore poi nota che il p.r.v. di Davos in inverno è del tutto simile a quello di Ostenda in estate: 17,4 cal/sec/cm² in febbraio a Davos e 17,9 in agosto a Ostenda. Per una sintesi riguardante le montagne mediterranee si veda l'articolo di BESANCENOT J.-P., *Réflexions sur le pouvoir réfrigérant du vent dans les montagnes Nord-Méditerranéennes*, in «Rev. de Géogr. Alpine», Grenoble, 1986, pp. 11-20.

Per le montagne italiane mancano studi in questo campo. Pertanto con il presente lavoro ho inteso fornire un primo quadro sintetico delle variazioni del p.r.v. nelle Alpi e nell'Appennino, dopo aver preso in considerazione i dati termici e anemometrici di 15 stazioni meteorologiche dell'Aeronautica, tre per ogni area geografica secondo la seguente distribuzione: per il passaggio dalla pianura alla montagna nel territorio del Piemonte-Val d'Aosta le stazioni di Novara (aeroporto), Torino Brick della Croce e Pian Rosà; per l'area Trentino-Alto Adige, Bolzano, San Valentino alle Muta e Monte Paganella; per la parte settentrionale della penisola, Sarzana, Passo della Cisa e Monte Cimone; per l'area dell'Appennino Centrale, Perugia S. Egidio, Radicofani e Monte Terminillo; per quella dell'Appennino Centro-meridionale Pescara, Campobasso Castello Monforte e Campo Imperatore. Delle tre stazioni di ciascuna area (che purtroppo non sono molto vicine fra loro, come sarebbe stato auspicabile) una è stata scelta sempre a quota inferiore a 250 m, un'altra nella fascia compresa fra i 500 e i 1500 m e la terza, la più elevata, al di sopra dei 2000 m; fa eccezione la stazione del Monte Terminillo (1875 m), che invero è molto vicina a questa soglia altimetrica, dato che in quel settore dell'Appennino non esistono osservatori posti a quote più elevate. Una volta presa la decisione di considerare per ogni area geografica tre stazioni a tre livelli diversi, la scelta di quelle esaminate nel presente studio è stata in notevole misura imposta dalla necessità delle cose, dato che non sono numerose a tutte le quote le stazioni che effettuano ad un tempo osservazioni sulla temperatura dell'aria e sulla direzione e la velocità del vento.

Lo studio del p.r.v. in tre livelli diversi, d'altra parte, era necessario per poter accertare il gradiente altimetrico e il suo grado di variabilità. Le medie considerate si riferiscono al periodo 1977-1983. Si ritiene di norma che non sia possibile ottenere valori medi veramente significativi da una serie di soli sette anni; in generale ciò è vero, ma in un lavoro preliminare come questo tale serie mi è sembrata sufficiente per rilevare almeno i fatti fondamentali; d'altra parte è noto che la temperatura dell'aria e la velocità media del vento, pur presentando una certa variabilità interannuale, non offrono quei forti scostamenti dalla media che sono tipici delle precipitazioni. Per quanto riguarda i valori più elevati, notiamo che nelle stazioni poste al di sotto dei 250 m non si superano mai i 4 m/sec: questa media appartiene a due località peninsulari situate una sulla costa (Pescara) e l'altra a brevissima distanza dal mare (Sarzana). Nelle località dell'Italia continentale si rimane sempre al di sotto dei 3 m/sec. Anche alle medie altitudini i valori più alti si registrano negli osservatori della penisola: circa 7,5 m/sec, contro i 4,5 di quelle del Nord. In montagna le cose non cambiano, se è vero che a Pian Rosà, a dispetto dell'altitudine vicina ai 3500 m, la velocità media mensile più alta (9,9 m/sec in gennaio) è di poco superiore a quelle che si registrano al Terminillo o a Cam-

TAB. 1

IL POTERE REFRIGERANTE DEL VENTO (1977-1983)

Stazioni (altitudine)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Novara Aeroporto (176)	752	656	567	511	402	299	233	259	329	462	609	675
Torino Brick S.C. (710)	817	761	702	619	517	394	334	349	409	551	689	733
Plateau Rosa (3488)	1530	1411	1420	1329	1201	1052	1013	987	1040	1191	1305	1422
Bolzano Aerop. (241)	789	720	593	535	396	305	265	288	355	468	673	745
S. Valentino a M. (1459)	1008	869	847	692	617	568	465	465	507	688	830	985
M. Paganella (2129)	1163	1129	1057	999	870	718	677	636	708	885	1016	1121
Sarzana Aerop. (10)	691	642	602	528	417	321	250	249	322	428	584	650
Passo d. Cisa (1040)	1022	980	930	798	689	533	484	468	533	716	863	999
Monte Cimone (2173)	1282	1204	1161	1112	959	787	655	718	793	933	1107	1179
Perugia S. Egidio (204)	720	667	588	524	413	294	253	256	320	446	611	709
Radicofani (918)	940	879	808	739	581	452	376	386	459	605	778	900
M. Terminillo (1875)	1162	1149	1054	998	848	700	596	620	692	857	981	1138
Pescara Aerop. (16)	718	653	614	548	432	303	259	261	334	431	584	673
Campobasso C.M. (793)	879	814	749	689	519	388	330	339	420	550	723	839
C. Imperatore (2138)	1239	1225	1130	1066	858	740	654	638	729	894	1029	1148

po Imperatore, mentre rimane inferiore a quella di Monte Cimone, che si trova più in basso di ben 1315 metri.

Passiamo ora all'esame della situazione che ci offre ciascun gruppo di tre stazioni, iniziando da quello nord-occidentale.

Fra Novara e Torino Brick della Croce la variazione altimetrica della temperatura presenta un tipico caso di inversione termica, determinato da ristagno di aria fredda nelle zone pianeggianti della Padania, mentre più in alto fra Torino Brick della Croce e Pian Rosà si ha una normale diminuzione con la quota, che qui avviene in ragione di $0^{\circ},72/\text{hm}$. La posizione di Novara nella Padania occidentale si riflette anche nelle velocità medie mensili del vento, che appaiono appunto le più basse fra quelle di tutti gli osservatori qui considerati. Pertanto, se nei mesi invernali i valori del p.r.v. a Novara risultano solo di poco inferiori a quelli di Torino Brick della Croce (che prevale solo in ragione della sua maggiore ventosità), in estate il divario si fa più deciso perché nella più elevata fra le due stazioni si ha una temperatura più bassa e una velocità media del vento sensibilmente più alta. Al Pian Rosà si realizzano le condizioni estreme di cui possiamo avere documentazione in Italia. I valori qui sono sempre superiori a 1000 kcal/h/m^2 (sola eccezione il mese di agosto) e in 4 mesi si va oltre la soglia di 1400, alla quale le condizioni di vita diventano estremamente difficili. Il gradiente altimetrico estivo e quello invernale in questo settore occidentale dell'insieme Alpi-Padania risulta dal seguente quadro di sintesi (kcal/h/m^2):

	<i>Gennaio</i>		<i>Luglio</i>	
Novara - Torino B.C.	12,17	unità/hm	18,91	unità/hm
Torino B.C. - Pian Rosà	25,66	» »	24,44	» »
Novara - Pian Rosà	23,49	» »	23,55	» »

Se trascuriamo il divario tra le due stazioni più basse, che è influenzato dalle particolari condizioni locali, in quest'area geografica sembra prevalere come norma un gradiente medio del p.r.v. di 24 kcal/h/m^2 per ogni 100 m di dislivello altimetrico. Tenendo conto appunto di tale valore, possiamo dedurre che a 1000 m di altitudine, in gennaio, il p.r.v. non dovrebbe superare il valore di 940, restando quindi al di sotto del limite di 1000 kcal/h/m^2 , oltre il quale, per l'uomo, iniziano le condizioni di freddo veramente intenso.

Nell'area del Trentino-Alto Adige la stazione più bassa, Bolzano, ci offre un quadro climatico diverso rispetto a quello di Novara. Situata alla confluenza di due ampie valli, la città atesina presenta una più vivace dinamica atmosferica, come dimostra il fatto che in tutti i mesi offre valori di velocità del vento superiori a quelli della stazione piemontese. Tale situazione, che rende più rari i ristagni di aria fredda al suolo, ha i suoi

effetti anche sulle temperature medie mensili, che infatti appaiono quasi tutte più elevate di quelle di Novara. Giovandosi però di medie anemometriche più elevate, Bolzano prevale anche nei valori del p.r.v., dato che per 6 mesi dell'anno vi si registrano medie maggiori di 500 kcal/h/m² e per 3 mesi maggiori di 700. A quote più elevate i valori naturalmente aumentano, ma a San Valentino alle Muta la soglia di 1000 è superata solo nel mese di gennaio, mentre alla Paganella, dove nei mesi più freddi la velocità media del vento supera i 6 m/sec, abbiamo 5 mesi con p.r.v. maggiore di 1000, altri 5 con valori compresi fra 700 e 1000 e 2 soli, luglio e agosto, in cui queste medie variano tra 600 e 700. I gradienti del p.r.v. ci dicono che nell'area trentino-altoatesina alla quota di 1000 m non si dovrebbe superare il valore di 850. Qui di seguito sono riportati i valori medi unitari:

	<i>Gennaio</i>		<i>Luglio</i>	
Bolzano - S. Valentino M.	17,98	unità/hm	16,42	unità/hm
S. Valentino M. - M. Paganella	23,13	» »	31,64	» »
Bolzano - M. Paganella	19,80	» »	21,82	» »

Con le stazioni di Sarzana, Passo della Cisa e Monte Cimone siamo ormai in un ambiente peninsulare sottoposto all'influenza del mare, in una zona nella quale i contrasti termici fra la terra e il mare accentuano la frequenza e la velocità dei venti. Ciò si avverte soprattutto nelle temperature invernali della stazione più bassa: a Sarzana infatti si hanno ben 7°,2 in gennaio contro 0°,3 di Novara. Rispetto a questa, la città ligure registra una velocità media del vento più elevata in tutti i mesi, come del resto potevamo aspettarci. Tuttavia questa maggiore ventosità non può compensare gli effetti delle basse temperature che durante i mesi freddi contraddistinguono la città piemontese, la quale pertanto prevale nel p.r.v. almeno da agosto a febbraio; solo nei mesi da marzo a luglio, quando le differenze termiche fra le due città si attenuano, la maggiore ventosità di Sarzana fa spostare verso quest'ultima i valori più alti del potere refrigerante. Con il Passo della Cisa siamo ormai oltre i 1000 m di altitudine e a una certa distanza dal mare: il quadro climatico è completamente diverso e pertanto non sorprende che tra le due stazioni il gradiente salga a ben 32,13 unità per ettometro. Tra la Cisa e Monte Cimone, dove ormai domina la circolazione atmosferica generale, mentre l'azione del mare appare molto attenuata, si ha un gradiente molto simile a quelli riscontrati nell'area alpina (intorno a 23 unità per hm). Nella differenza generale fra Sarzana e Monte Cimone riappaiono gli effetti della posizione marittima dell'osservatorio più basso, per cui il gradiente medio rimane un po' elevato. Sulla base dei valori riscontrati, si può dedurre che il valore di 1000 kcal/h/m² si raggiunga intorno ai 1000 m; in altri termini, è ben probabile che la forte velocità media dei venti in quest'area faccia scendere un po-

co, rispetto alle Alpi, la quota alla quale si tocca questa soglia importante. In sintesi, i gradienti di quest'area risultano come segue:

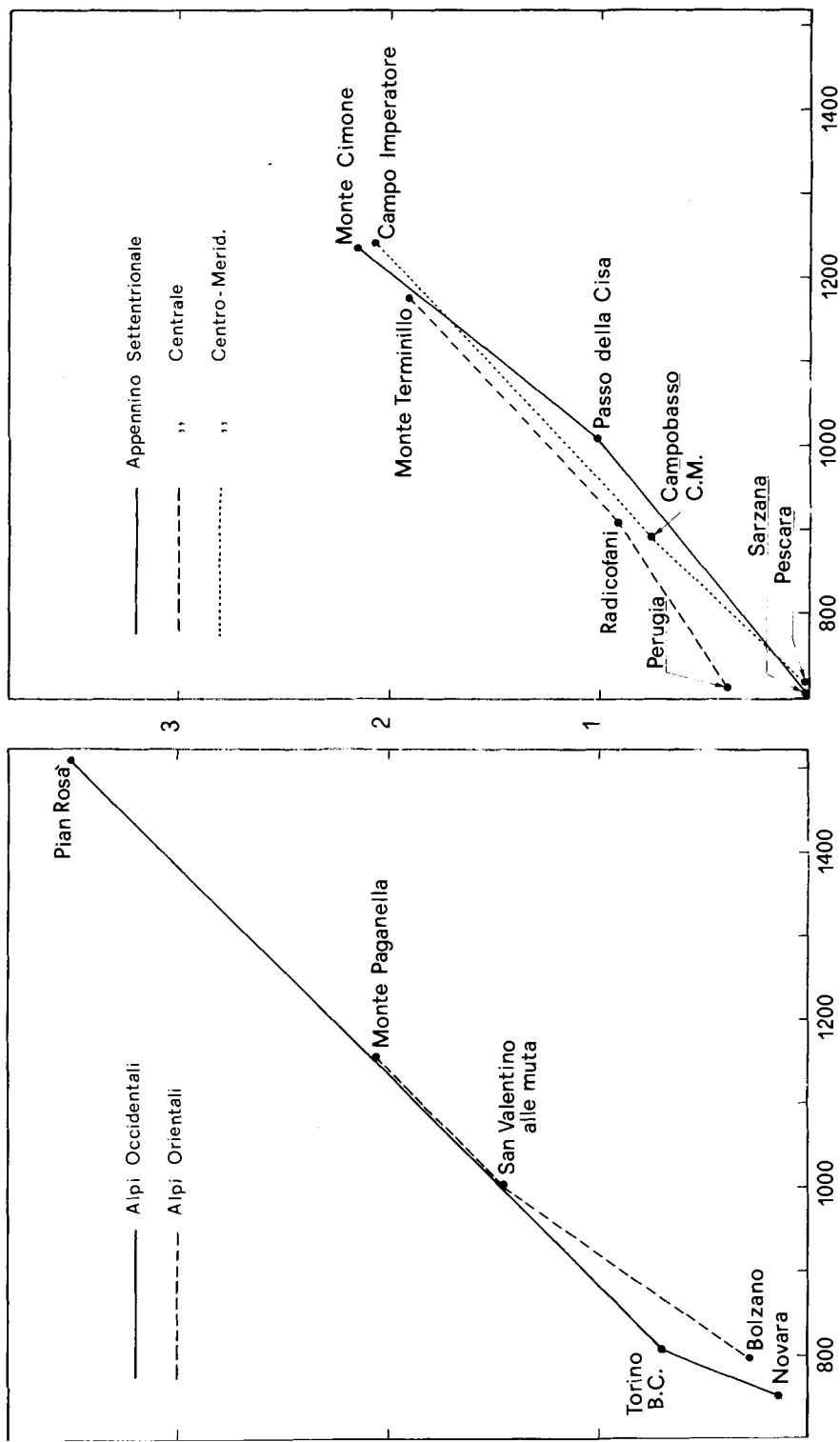
	<i>Gennaio</i>			<i>Luglio</i>		
Sarzana - Passo della Cisa.	32,13	unità/hm		22,72	unità/hm	
Passo della Cisa - M. Cimone	22,94	»	»	15,09	»	»
Sarzana - M. Cimone	27,32	»	»	18,72	»	»

Del tutto regolare la successione altimetrica dei valori che notiamo tra gli osservatori dell'Appennino Centrale. A Perugia, che pure presenta nella stagione invernale un discreto numero di giorni con temperature negative (giorni di gelo), le medie termiche di tutti i mesi sono positive, con due che superano i 20°. Anche a Radicofani le medie mensili sono sempre sopra lo zero, ma in nessun mese si arriva a 20°. La velocità del vento, in complesso modesta a Perugia, subisce un forte incremento quando si salga di 700 m per raggiungere la stazione di Radicofani, dove nessun mese presenta valori inferiori a 4,4 m/sec; un ulteriore aumento, ma meno spiccato, si registra nel passare dalla località toscana al Terminillo, nonostante si abbia in questo caso un dislivello altimetrico di ben 900 m. A Perugia il p.r.v. supera il valore di 600 solo in 4 mesi, dei quali 2 con oltre 700, ma a Radicofani la frequenza degli indici più elevati relativi al potere refrigerante risulta come segue: 7 mesi con più di 600 kcal/h/m², di cui 6 con oltre 700, e valore massimo di 940 in gennaio. Al Terminillo le condizioni ambientali si fanno un po' più crude, se è vero che vi si registrano 11 mesi con oltre 600 (ma luglio vi si avvicina, con 596), 9 mesi con oltre 700 e 4 mesi con più di 1000 (oltre ad aprile, con 998). Dai valori riscontrati nelle tre stazioni e dall'esame dei gradienti altimetrici si può arguire che la soglia di 1000 kcal/h/m² si raggiunga anche qui intorno ai 1000 m. Tali gradienti risultano dalla seguente tabella:

	<i>Gennaio</i>			<i>Luglio</i>		
Perugia - Radicofani	30,81	unità/hm		17,23	unità/hm	
Radicofani - M. Terminillo	23,19	»	»	22,99	»	»
Perugia - M. Terminillo	26,45	»	»	20,52	»	»

Fra le tre stazioni dell'area appenninica centro-meridionale Pescara, trovandosi sulla costa, subisce fortemente l'influenza del mare, ma rispetto a Sarzana presenta una maggiore escursione termica annua, date le sue medie invernali alquanto più basse (mentre quelle estive sono pressoché uguali). Anche i valori anemometrici differiscono di poco, pur con un leggero vantaggio per la località adriatica, nella quale pertanto il p.r.v. risulta più elevato rispetto a quello della città ligure. A queste latitudini, ormai meridionali, l'azione del mare, per quanto attenuata, si fa sentire

FIG. 3 — IL GRADIENTE ALTIMETRICO DEL P.R.V. IN ALCUNE AREE DELLE ALPI E DELL'APPENNINO
(altitudini in migliaia di m).



anche a 800 m di altitudine, e infatti a Campobasso Castello Monforte tutti i mesi offrono valori positivi, con luglio e agosto che superano i 20°. A Campo Imperatore, come a Monte Cimone, nessun mese raggiunge i 10° (si ha dunque un «clima freddo», secondo i presupposti di Köppen) ed anzi per metà dell'anno le medie mensili risultano negative. La velocità del vento naturalmente aumenta, ma forse meno di quanto potevamo aspettarci, con il passare da Pescara a Campobasso Castello Monforte e da questa località, dove peraltro in nessun mese si scende al di sotto dei 4,1 m/sec, fino a Campo Imperatore: a questa altezza si ha un massimo mensile di 9,4 m/sec in febbraio. In complesso la velocità media dei venti in questa stazione del Gran Sasso non arriva ai valori che si registrano a Monte Cimone, che si trova ad un'altitudine pressoché uguale. Il potere refrigerante del vento a Pescara ha valori modesti, ma in ogni caso un po' più accentuati di quelli che si registrano lungo la costa tirrenica; infatti per 4 mesi si supera il valore di 600, con un massimo di 718 in gennaio. A Campobasso Castello Monforte l'indice va al di là di 600 per 6 mesi, in 5 dei quali si varca la soglia di 700. A Campo Imperatore la situazione è quella di una località fredda: in nessun mese dell'anno si scende al di sotto di 600 e per 10 mesi si va oltre 700. L'entità del raffreddamento supera le 1000 kcal/h/m² per metà dell'anno, da novembre ad aprile. Rileviamo infine che in quest'area dell'Italia peninsulare il valore che compete alla quota di 1000 m sembra essere quello di 940 kcal/h/m², leggermente inferiore a quello calcolato per l'Appennino Settentrionale, forse proprio per la minore velocità media del vento che abbiamo riscontrato nei rilievi dell'Abruzzo-Molise. I gradienti altimetrici del p.r.v. in quest'area risultano come segue:

	<i>Gennaio</i>		<i>Luglio</i>	
Pescara - Campobasso C.M.	20,72	unità/hm	9,14	unità/hm
Campobasso C.M. - C. Imperatore	26,76	» »	24,09	» »
Pescara - C. Imperatore	24,55	» »	18,61	» »

Dall'esame comparativo dei risultati ottenuti nel calcolo dei gradienti altimetrici sembra emergere un fatto quanto mai significativo, ossia l'esistenza di due orizzonti distinti in cui il p.r.v. offre comportamenti diversi: al di sotto di 800-1000 m si può notare la forte influenza dei fattori locali, mentre a quote maggiori una certa regolarizzazione del profilo termico e un generale aumento della velocità del vento fanno sì che in tutti i settori montuosi si abbiano valori pressoché costanti, compresi fra 22 e 24 kcal/h/m² per ogni ettometro di dislivello altimetrico (fig. 3). Particolare importanza a questo riguardo ha la posizione dell'osservatorio più basso: in generale, se questo è situato in una pianura (o in una conca) nella quale d'inverno sono possibili frequenti ristagni di aria fredda, il gradiente del p.r.v. rispetto alle località di media altitudine è piuttosto basso; se invece l'osservatorio è situato sulla costa o è molto vicino al mare, le differenze nei valori termici e anemometrici rispetto alle colline e alle

basse montagne si fa più marcato, per cui la variazione altimetrica del p.r.v. si accentua. Da queste quote verso le parti più alte dei rilievi l'andamento del fenomeno al mutare della quota, come si è detto, si fa più regolare. Rileviamo infine che la posizione della stazione più bassa fa sentire la sua influenza anche sul gradiente altimetrico dei mesi estivi.

Alcuni cenni sul regime annuo e sull'oscillazione diurna. — Fra i due parametri che entrano in gioco, la temperatura e la velocità del vento, vi è qualche differenza per ciò che riguarda la variazione nel corso dell'anno. Infatti mentre il regime termico è ovunque del tutto regolare, con un unico minimo in gennaio e un unico massimo in luglio (talvolta in agosto), quello anemometrico può presentare una maggiore varietà. Di solito la situazione è invertita rispetto a quella del quadro termico, nel senso che i valori più alti della velocità del vento si hanno in inverno e quelli più bassi in estate; in certi luoghi però si può avere anche un'accentuazione dell'intensità media delle correnti aeree all'inizio della primavera.

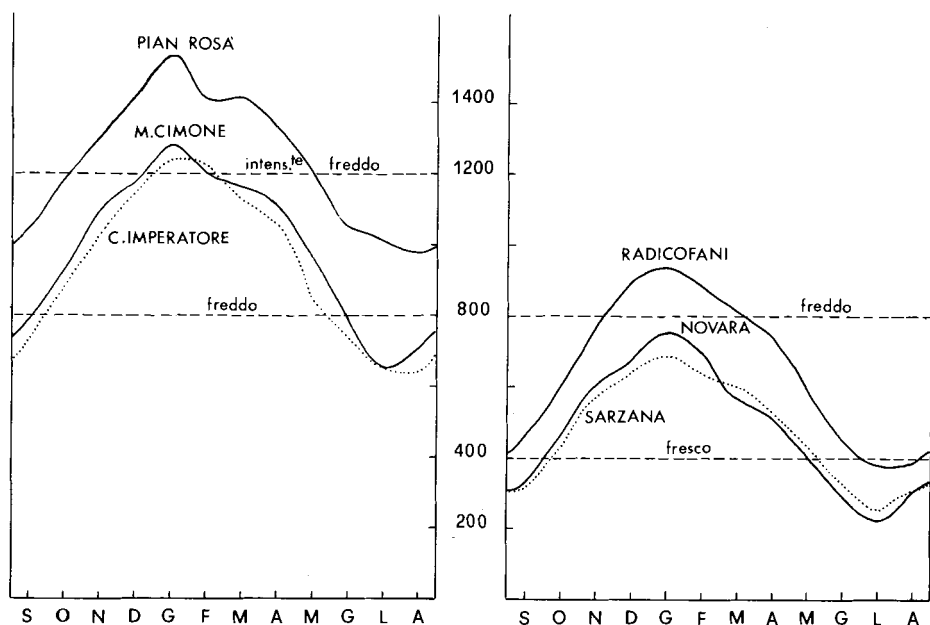


FIG. 4 — LA VARIAZIONE MENSILE IN ALCUNE DELLE STAZIONI CONSIDERATE.

Questo fatto, naturalmente, si riflette sulla variazione mensile del potere refrigerante, che dopo una certa flessione in febbraio (rispetto al mese precedente) può segnare una leggera ripresa in marzo, come accade, ad esempio, a Pian Rosà (fig. 4); in altri casi, pur non avendosi un vero e pro-

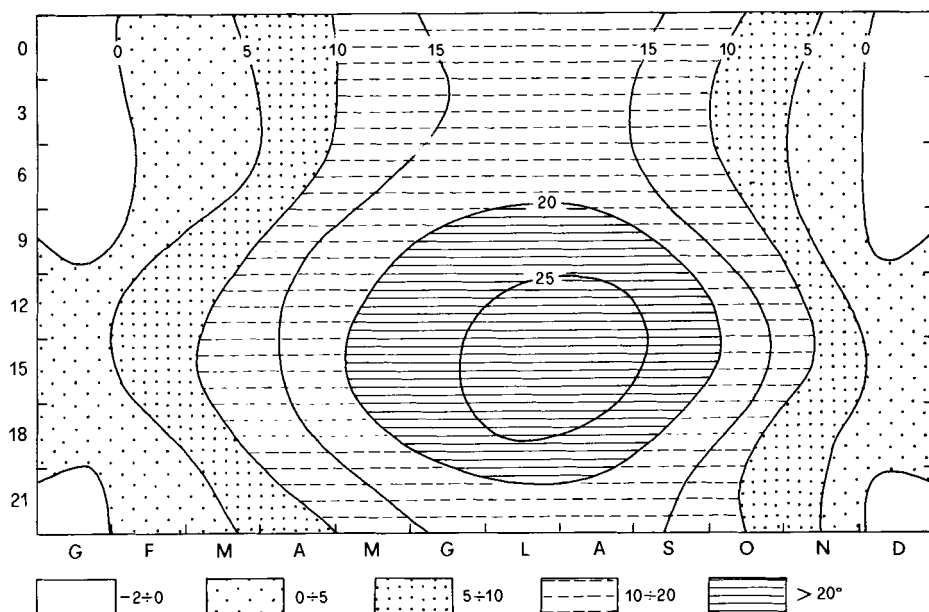


FIG. 5 — LE TERMOISOPLETE DELLA STAZIONE DI NOVARA CAMERI.

prio secondo picco, si verifica almeno un'attenuazione della fase discendente durante i mesi primaverili. Questo tipo di regime è messo in evidenza dal grafico di Monte Cimone nella stessa fig. 4.

A Pian Rosà l'ambiente climatico rimane sempre compreso entro la condizione di «freddo», ma da ottobre a maggio le basse temperature e l'alta velocità media del vento determinano una situazione di clima «intensamente freddo». Rileviamo ancora che quest'ultima condizione al Monte Cimone dura solo due mesi, dicembre e gennaio, e che le cose sono abbastanza simili a Campo Imperatore. Nessuna delle stazioni poste al di sotto dei 500 m, tra quelle qui considerate, raggiunge la soglia del freddo (p.r.v. 800), ma Bolzano, che pure è posta a soli 241 m di altitudine, vi si avvicina, almeno in gennaio, con il suo valore di 789. A Torino Brick della Croce (710 m) il «freddo» dura solo un mese (gennaio), a Radicofani (918 m) 4 mesi, da dicembre a marzo, e a Campobasso Castello Monforte (793 m) 3 mesi (quelli invernali). I valori massimi si verificano ovunque in gennaio, ma al Terminillo e a Campo Imperatore febbraio presenta valori molto simili; infatti in queste località la temperatura più bassa del primo mese dell'anno è quasi compensata da una maggiore velocità del vento in quello successivo. I minimi si verificano generalmente in luglio, ma nelle stazioni poste al di sopra dei 1000 m può aversi lo spostamento della media più bassa ad agosto: ad esempio, al Passo della Cisa il p.r.v. presenta un

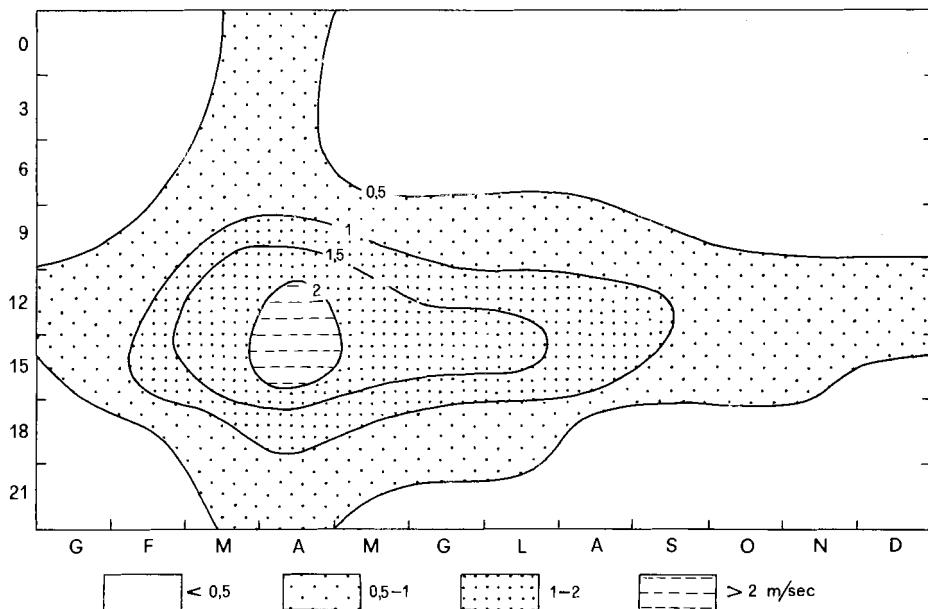


FIG. 6 — L'ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ DEL VENTO A NOVARA CAMERI.

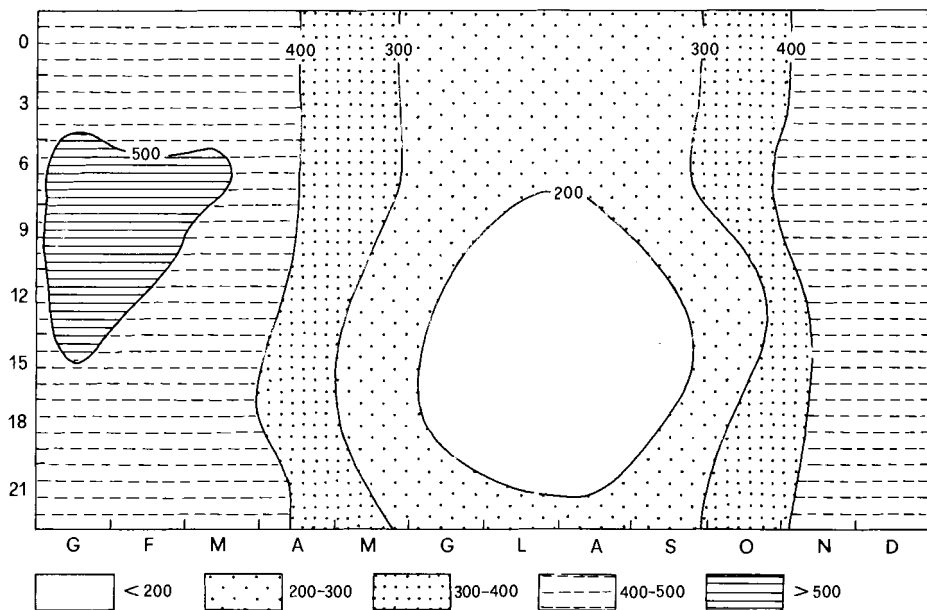


FIG. 7 — IL REGIME DEL POTERE REFRIGERANTE DEL VENTO A NOVARA CAMERI.

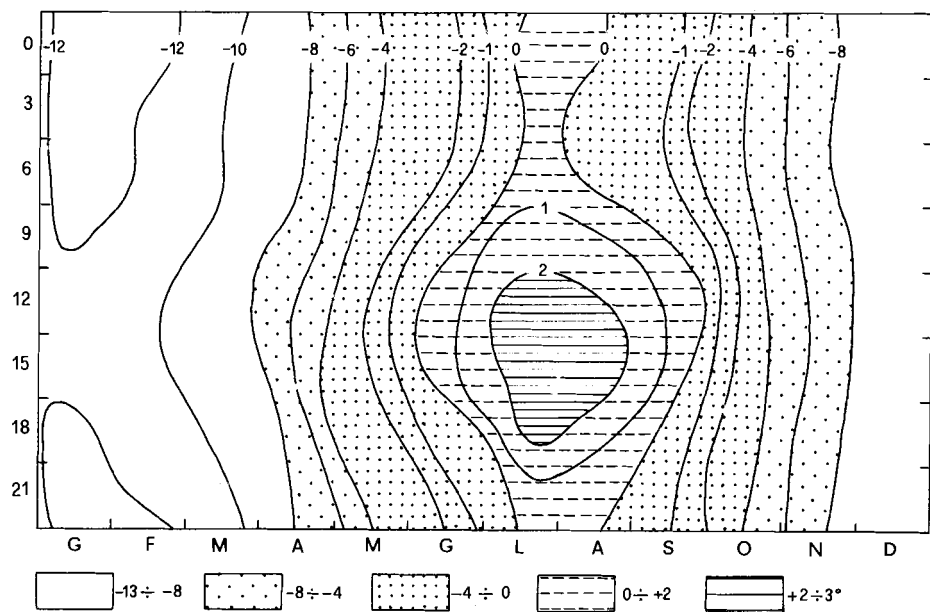


FIG. 8 — LE TERMOISOPLETE DELLA STAZIONE DI PIAN ROSA.

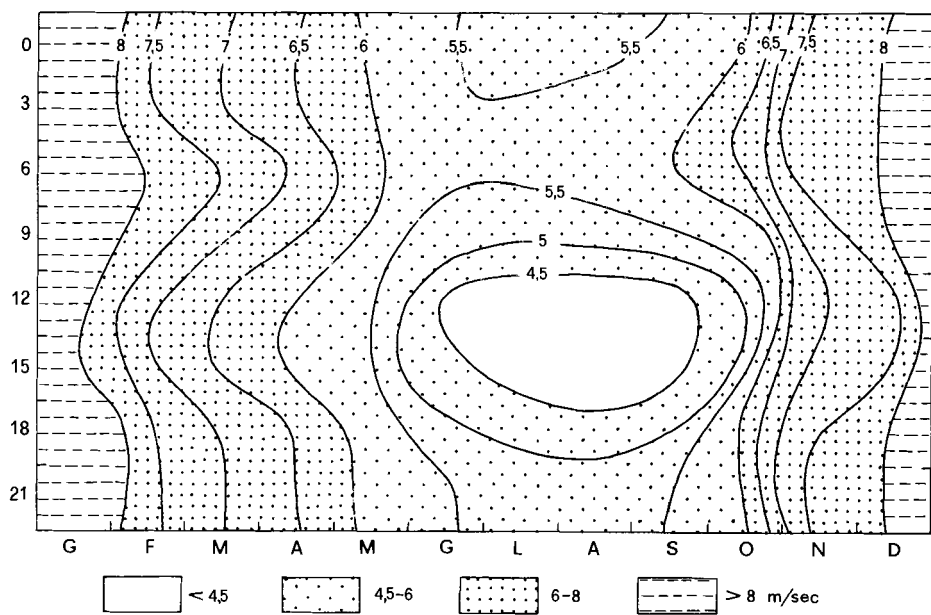


FIG. 9 — L'ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ DEL VENTO A PIAN ROSA.

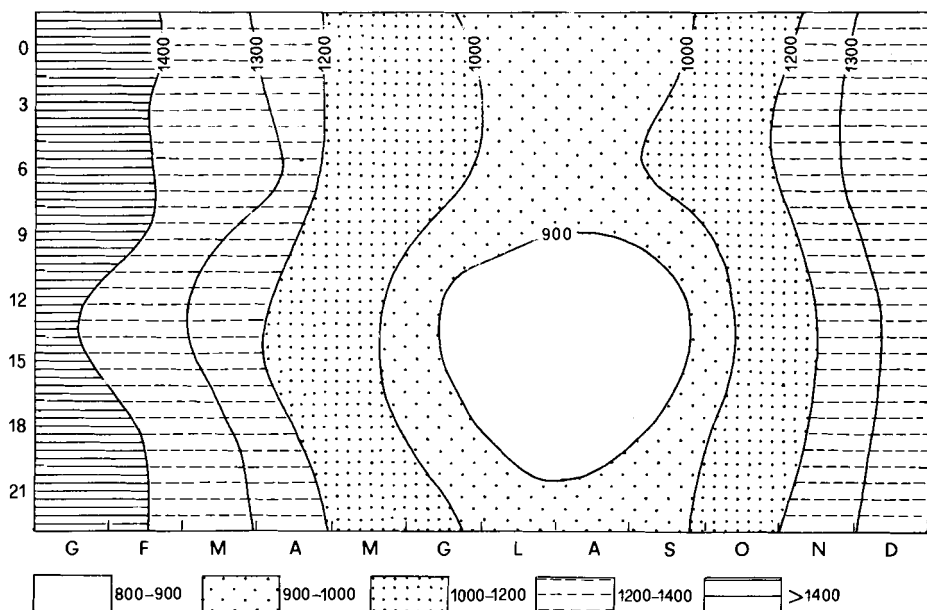


FIG. 10 — IL REGIME DEL POTERE REFRIGERANTE DEL VENTO A PIAN ROSA.

valore di 484 in luglio e di 468 in agosto; a Pian Rosà si hanno 1013 e 987 rispettivamente, mentre a San Valentino alle Muta i due valori si equivalgono.

Dopo queste annotazioni sintetiche sul regime annuo ritengo utile offrire un quadro più particolareggiato della situazione climatica delle due stazioni di Pian Rosà e di Novara Cameri, utilizzando i dati rilevati ogni tre ore (alle 3, alle 6, ecc.) sulla temperatura dell'aria e sulla velocità del vento durante il periodo 1958-1981. Questi valori (6) offrono un gran numero di informazioni interessanti: ad esempio, ci dicono in quali mesi e perfino in quali ore del giorno (naturalmente nell'ambito della media mensile) cominciano ad apparire o scompaiono certi valori caratteristici, consentendoci in tal modo di avere un quadro preciso delle variazioni tem-

(6) Tali dati, sono stati forniti cortesemente dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica. I valori termici, invero, erano già apparsi nella pubblicazione AERONAUTICA MILITARE, CENTRO NAZ. DI METEOROL. E CLIMATOL. AERON., *Tabelle climatologiche della temperatura dell'aria*, Roma, 1981. Le medie triorarie della velocità del vento, invece, sono state calcolate a mia richiesta. Esse non sono propriamente raffrontabili con quelle mensili usate per l'esame del gradiente altimetrico del p.r.v.; infatti, mentre in quest'ultimo caso nel calcolo delle medie non sono state computate le calme, di queste si è tenuto conto nelle elaborazioni che hanno portato alle medie triorarie. Sono poi diversi i periodi di riferimento.

ELEMENTI CLIMATICI DI NOVARA CAMERI

ORE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<i>Temperature medie</i>												
0	-1,3	1,0	3,7	8,5	12,1	15,6	17,8	17,5	14,2	9,1	4,7	-0,6
3	-1,7	0,6	3,0	7,3	11,2	14,8	16,6	16,5	13,4	8,6	4,3	-1,0
6	-2,1	0,2	2,4	7,4	12,2	16,3	17,9	16,7	13,0	8,0	3,9	-1,5
9	-1,1	2,1	7,0	12,7	17,0	20,9	23,2	22,2	18,3	12,4	5,7	-0,3
12	2,5	5,9	10,5	15,4	19,6	23,2	26,1	25,2	21,8	16,6	9,1	3,8
15	3,3	7,0	11,7	16,4	20,4	23,8	27,1	26,1	22,7	17,4	9,5	4,3
18	0,5	4,1	9,2	14,6	18,8	22,3	25,7	24,0	18,9	12,2	6,2	0,9
21	-0,9	1,9	5,4	10,3	14,1	17,5	19,8	18,8	15,1	9,8	5,1	-0,3
<i>Velocità del vento (m/sec)</i>												
0	0,25	0,37	0,50	0,66	0,45	0,34	0,28	0,26	0,23	0,26	0,38	0,19
3	0,24	0,35	0,50	0,50	0,36	0,29	0,21	0,17	0,26	0,27	0,34	0,19
6	0,30	0,36	0,55	0,59	0,45	0,43	0,36	0,32	0,27	0,33	0,37	0,24
9	0,37	0,60	0,97	1,39	0,93	0,87	0,70	0,63	0,49	0,45	0,46	0,33
12	0,66	0,93	1,61	2,17	1,66	1,35	1,29	1,07	0,95	0,75	0,78	0,58
15	0,60	1,04	1,73	2,27	1,75	1,51	1,50	1,25	0,90	0,74	0,76	0,45
18	0,29	0,50	0,85	1,22	0,96	0,76	0,68	0,46	0,35	0,34	0,35	0,31
21	0,30	0,42	0,56	0,80	0,50	0,45	0,35	0,23	0,28	0,28	0,37	0,20
<i>Potere refrigerante del vento</i>												
0	487	488	475	421	331	261	220	222	263	342	434	456
3	489	489	486	416	331	265	226	220	280	351	431	461
6	514	497	505	429	330	262	229	242	288	373	444	486
9	520	520	488	415	297	221	170	184	237	327	435	497
12	524	503	477	403	286	199	138	150	209	290	426	488
15	500	496	460	384	273	192	123	138	190	275	417	455
18	473	468	433	365	266	190	126	143	213	312	405	474
21	497	486	458	407	306	246	199	199	259	336	426	455

ELEMENTI CLIMATICI DI PIAN ROSÀ

ORE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<i>Temperature medie</i>												
0	-12,2	-13,0	-11,0	-8,8	-4,6	-2,1	0,3	0,1	-1,0	-3,6	-7,1	-9,8
3	-12,2	-11,7	-10,7	-9,0	-4,7	-2,4	0,0	-0,2	-1,2	-3,8	-7,1	-9,8
6	-12,3	-11,9	-10,8	-9,1	-4,7	-1,9	0,2	-0,2	-1,3	-3,9	-7,2	-9,9
9	-12,2	-11,4	-10,1	-8,0	-3,5	-0,7	1,5	1,0	-0,3	-3,2	-7,0	-9,8
12	-11,4	-10,8	-9,2	-7,2	-2,7	0,3	2,4	2,0	0,5	-2,4	-6,3	-9,3
15	-11,6	-10,6	-9,4	-7,1	-2,6	0,6	2,8	2,4	0,7	-2,6	-6,5	-9,4
18	-12,1	-11,5	-10,2	-8,0	-3,4	-0,2	2,1	1,7	-0,1	-3,3	-7,2	-9,8
21	-12,2	-11,6	-10,4	-8,4	-4,3	-1,5	0,8	0,5	-0,9	-3,6	-7,2	-9,8
<i>Velocità del vento (m/sec)</i>												
0	8,12	7,51	7,04	6,56	5,90	5,35	5,20	5,22	5,54	6,12	7,63	8,02
3	8,26	7,65	7,10	6,55	6,00	5,40	5,58	5,68	5,70	6,37	7,77	7,98
6	8,44	7,94	7,55	7,04	6,12	5,60	5,79	5,75	6,06	6,42	7,67	8,08
9	8,40	7,75	7,28	6,82	5,93	5,13	5,09	5,22	5,34	5,90	7,46	7,92
12	8,05	7,22	6,56	6,06	5,31	4,33	4,36	4,25	4,41	5,15	7,05	7,43
15	8,08	7,24	6,50	6,00	5,40	4,60	4,39	4,28	4,50	5,15	7,23	7,52
18	8,33	7,64	7,17	6,66	5,86	5,10	4,87	4,72	5,23	6,15	7,64	8,00
21	8,42	7,76	7,11	6,85	6,12	5,45	5,30	5,19	5,37	6,06	7,65	8,03
<i>Potere refrigerante del vento</i>												
0	1444	1443	1359	1269	1112	1013	937	944	990	1092	1262	1363
3	1449	1408	1352	1274	1120	1024	962	973	1003	1109	1268	1361
6	1460	1427	1375	1300	1125	1019	965	976	1021	1114	1267	1369
9	1450	1403	1342	1256	1080	962	898	918	960	1071	1252	1359
12	1415	1361	1281	1197	1028	894	838	844	893	1012	1214	1323
15	1422	1355	1284	1190	1030	900	828	835	892	1018	1228	1330
18	1449	1401	1339	1249	1075	947	870	875	950	1085	1266	1362
21	1456	1409	1343	1270	1113	1000	927	931	979	1090	1266	1363

porali dei due parametri climatici considerati; inoltre ci offrono la possibilità di costruire dei diagrammi a isolinee, tra i quali rivestono particolare interesse quelli a termoisoplete. Qui presento per la prima volta il grafico a termoisoplete di Pian Rosà, che rappresenta il più alto osservatorio meteorologico d'Europa (3488 m), unitamente al diagramma, pure interessante, relativo alla velocità del vento. Dopo avere realizzato analoghe sintesi grafiche per Novara, ho costruito, con gli stessi criteri, i grafici del p.r.v. delle due località. In tal modo vengono messe a confronto due situazioni profondamente diverse tra loro: una delle località meno ventose d'Italia (questo, invero, possiamo dire per tutta la Padania occidentale, alle basse quote) e l'osservatorio che per la sua altitudine e la sua posizione si trova immerso in una dinamica atmosferica vivacissima in ogni periodo dell'anno.

A Novara le medie termiche negative appaiono solo nei mesi di dicembre e gennaio e limitatamente alle ore della notte e del mattino; i primi valori superiori a 10° si registrano nelle ore più calde di marzo, mentre quelli maggiori di 20° si estendono da maggio a settembre. Le punte più alte ($26-27^{\circ}$) si hanno in luglio fra le 12 e le 15. La fig. 5 ci dimostra che in generale le variazioni mensili sono più forti di quelle diurne. Dai valori anemometrici ricaviamo che la mobilità atmosferica si accentua nelle ore più calde della giornata, come avviene nelle località in cui i sistemi locali di brezza hanno maggiore incidenza rispetto ai venti della circolazione generale (fig. 6). In ogni caso le velocità medie più elevate (che restano pur sempre molto modeste) si verificano nei mesi primaverili, quando la circolazione generale si intensifica e i primi squilibri termici fra monte e piano cominciano a generare dei movimenti locali. Date le condizioni appena esposte (assenza di basse temperature e di alti valori della velocità del vento), le medie relative al p.r.v. non possono che rimanere modeste; lo dimostra il fatto che anche nel semestre compreso fra ottobre e aprile si rimane sempre nella situazione di clima «fresco». In alcune ore del giorno, durante il mese più freddo, si hanno valori di poco superiori a 500, che restano quindi ben lontani dalla soglia del clima «freddo» (800). Vi è poi un altro fatto da segnalare: l'aumento della temperatura, dopo il mese di gennaio, dovrebbe determinare la rapida diminuzione del p.r.v., ma l'incremento della velocità del vento dopo l'inverno attenua per qualche tempo questa flessione. Il ciclo annuo della temperatura però finisce per avere la prevalenza, tanto che le medie più basse del fenomeno da noi studiato si verificano in estate (fig. 7).

A Pian Rosà, a parte i valori assoluti completamente diversi, abbiamo queste caratteristiche essenziali: i tre mesi dell'inverno fanno registrare, ad un tempo, le più basse temperature e le più elevate velocità medie dei venti. I dati termici sono quelli di una località veramente fredda: $-12^{\circ} \div -13^{\circ}$ in gennaio e in febbraio, con modestissime variazioni nel corso della giornata, e $+2^{\circ} \div +3^{\circ}$ in luglio e agosto, nelle ore più calde;

solo in questi due mesi il ciclo diurno appare un po' più marcato. Le termoisoplete rivelano quindi forti variazioni da un mese all'altro ma modeste oscillazioni tra le varie ore del giorno (fig. 8). Nella velocità del vento si passa dagli $8 \div 8,5$ m/sec in gennaio (ore del mattino) a $4 \div 4,5$ m/sec in luglio (ore più calde della giornata) (fig. 9). Il regime del p.r.v. è il risultato della concomitanza di situazioni di cui si è fatto cenno, come la fig. 10 mette bene in evidenza. I valori estremi sono i seguenti: 1560 alle ore 6 in gennaio e 828 alle ore 15 in luglio. Come si vede, siamo sempre nel pieno del clima «freddo». Le medie superiori a 1400 si hanno in gennaio e febbraio, mentre quelle maggiori di 1200 si registrano da novembre ad aprile; solo nei mesi di luglio e agosto non si hanno valori superiori a 1000. Questi i tratti essenziali.

Le annotazioni qui esposte mi sembrano sufficienti per uno studio, come questo, che vuole avere soltanto carattere preliminare. Esaminando invece i dati di un maggior numero di stazioni si potrà avere un quadro più preciso della variazione del p.r.v. nelle varie parti del nostro paese: nell'Italia continentale si potranno conoscere meglio le condizioni che offrono i singoli gruppi montuosi, nonché il ruolo che svolge l'esposizione: quest'ultima, ovviamente, è da considerare non solo nei riguardi del cammino del sole ma anche in rapporto alla provenienza delle correnti aeree. Nell'Italia mediterranea si potranno mettere in risalto le differenze fra il versante adriatico e quello tirrenico della penisola, e avere una certa conoscenza della particolare situazione delle montagne insulari, soprattutto di quelle isole, come la Sardegna, che registrano un alto grado di ventosità. Infine, sarà possibile avere ragguagli quanto mai preziosi, dal punto di vista della bioclimatologia, studiando congiuntamente, per molte località, il potere refrigerante del vento, che combina insieme i dati termici con quelli anemometrici, e il calore afoso, che invece accosta alle medie della temperatura dell'aria i valori dell'umidità relativa.

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE WINDCHILL IN THE MOUNTAIN AREAS OF ITALY. — In recent years studies on bioclimatology have been considerably developed with the purpose of identifying those favourable or unfavourable living conditions the man has to endure in particular environments when exposed to the action of climatic elements. For the high altitude and mountain areas it is relevant to measure the chilling power of the wind, whose principle is wellknown: the wind, which during the hot season permits us to bear warm temperatures, during winter makes low temperatures more freezing. Several authors have tried to express this factor quantitatively. Nowadays the formula most used by the climatologists is the following one:

$$H = 9,0 + 10,9 \sqrt{v} - v (33 - t)$$

where H is the windchill, v the windspeed in m/sec and t the average monthly or yearly temperature in $^{\circ}\text{C}$.

The author, with the help of data produced by the Meteorological Service of the Air Force, has studied the windchill in some areas of Italy: the Piedmont plain with the Western Alps, Trentino Alto-Adige, Northern and Central Apennine. After obtaining the numerical values related to the windchill, the altimetric gradients valid for each area were calculated and the day/night and summer/winter oscillation was examined with the help of isopleth diagrammes.

Università di Pisa, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio.