SUI NUMERI CARATTERISTICI DELL'ATTIVITA' SOLARE

G. RIGHINI - G. GODOLI

1. *Premessa.* — Con la scoperta dello spettroeliografo, avvenuta nel 1892 ad opera di Hale e Deslandres, fu possibile fotografare il sole in luce monocromatica. Le fotografie monocromatiche del sole, o spettroeliogrammi, sono di solito ottenute con la riga K del calcio ionizzato e con la $H\alpha$ dell'idrogeno; qualsiasi riga può però essere usata purché sia così larga da assicurare che soltanto la sua radiazione impressioni la lastra. Puntando la seconda fenditura dello spettroeliografo nelle ali o nel centro delle righe si hanno rilievi della superficie solare in luce monocromatica riferentesi a diversi livelli. Gli spettroeliogrammi eseguiti puntando la seconda fenditura sulle ali delle righe mostrano la superficie solare coperta da nubi brillanti a cui attualmente si dà il nome di *floculi*; essi si trovano quasi esclusivamente nelle regioni delle macchie e presentano un aspetto abbastanza simmetrico. Gli spettroeliogrammi eseguiti invece puntando la seconda fenditura sul centro delle righe mostrano, oltre ai *floculi*, che in questo caso hanno un aspetto leggermente diverso dai precedenti, nubi oscure di aspetto filamentoso a cui attualmente si dà il nome di *filamenti*.

Floculi e *filamenti* costituiscono i fenomeni quiescenti che appaiono sulla superficie del sole all'osservazione monocromatica; essi hanno una vita assai lunga ed, in particolare, i *filamenti* possono durare diverse rotazioni (una rotazione equivale a circa 27 giorni). Esistono altri fenomeni a vita breve la cui osservazione è resa assai difficile da questa loro particolarità. Essi sono conosciuti col nome di *brillamenti* e *filamenti eruttivi*.

I *brillamenti* si presentano all'osservazione come piccole aree situate di solito in vicinanza di macchie in fase di sviluppo. Su queste zone la riga $H\alpha$ anziché in assorbimento appare in emissione; essa risulta spesso notevolmente allargata e deformata ed accompagnata da righe pure in emissione di altri elementi. Lo splendore di queste zone è rapidamente variabile e dopo una rapidissima salita decresce con fluttuazioni più o meno irregolari.

TABELLA I

Medie annuali dei valori giornalieri delle aree proiettate espresse in decimillesimi del disco solare e dei numeri caratteristici.

Anno	Flocculi - H		Flocculi - Ca		Filamenti - H	
	Area	N. C.	Area	N. C.	Area	N. C.
1932*	19	0.4	54	0.6	9	0.3
33	7	0.2	22	0.3	9	0.2
34	8	0.4	48	0.6	5	0.4
35	26	0.9	138	1.3	18	0.9
36	108	3.1	459	3.2	71	3.1
37	180	2.9	545	3.1	91	2.8
38	164	3.1	564	3.1	84	3.2
39	131	2.7	660	2.9	84	2.9
40**	70	2.3	526	2.5	59	2.4
41	37	1.5	377	1.8	24	1.6
42	21	0.8	207	1.2	18	0.9
43	18	0.6	122	1.0	13	0.9
44	11	0.4	29	0.8	4	0.7
45	19	0.7	208	2.0	11	1.3
46	47	1.3	561	3.5	64	2.0
47	138	2.8	781	4.0	75	2.7
48	140	2.4	624	3.4	65	2.3
49	89	2.2	509	3.1	81	2.5

* Le medie annuali sono state calcolate direttamente dai valori giornalieri.

** Non si sono ridotte le lastre prese nel periodo 8 maggio - 18 ottobre perché ottenute con una immagine di cm 3.4 anziché di cm 6.

I filamenti eruttivi mostrano una successione di fenomeni molto analoga; essi si formano talvolta nella zona di un brillamento sembra a causa del raffreddamento adiabatico di masse gassose ascendenti; mostrano velocità lungo la visuale anche notevoli (50-100 km/sec) e se appaiono al bordo costituiscono le ben note protuberanze eruttive.

Oltre a queste due classi di fenomeni a vita breve abbiamo un terzo fenomeno di tipo eruttivo che si presenta sporadicamente. Succede talvolta che un filamento quiescente e di dimensioni notevoli

Fig. 1 - Variazione del numero caratteristico con l'area.

assuma improvvisamente senza una ragione plausibile una forte velocità ascensionale disperdendosi in breve tempo. La ragione di questo cataclisma sembra sia dovuta ad un aumento di massa tale da oltrepassare un limite critico superato il quale il filamento diventa instabile. Talvolta il filamento si riforma dopo qualche giorno nello stesso luogo della scomparsa.

È evidente che la probabilità di registrare fenomeni a vita così breve mediante lo spettroeliografo è alquanto piccola per cui la stima dell'attività solare che si può fare sugli spettroeliogrammi riguarda soprattutto i fenomeni quiescenti.

Dopo che l'invenzione dello spettroelioscopio pure dovuta ad Hale ha dato la possibilità di osservare visualmente il sole in luce monocromatica si è potuta raccogliere una quantità notevole di dati su questi fenomeni a vita breve. Si è potuto così accertare come essi diano origine a fenomeni geofisici quali l'evanescenza rapida delle radio trasmissioni, i crochet magnetici, gli aumenti rapidi ed improvvisi nell'intensità della componente molle della radiazione cosmica (*).

Quando fu iniziata la raccolta sistematica del materiale spettroeliografico sorse il problema di seguire l'attività dei fenomeni cromosferici sul disco: questi ad un esame qualitativo sembravano seguire il ciclo di attività delle macchie.

Un semplice sguardo agli spettroeliogrammi mostra quanto arduo sia il compito di rilevare l'area coperta da questi fenomeni e quanto lavoro occorra per ridurre il materiale spettroeliografico raccolto in un anno. Per convenzione internazionale si è allora stabilito di stimare l'attività dei flocculi e dei filamenti con i *numeri caratteristici*. Tali numeri dovevano rappresentare sinteticamente, in una scala estendentesi da 0 a 5, sia l'area che l'intensità dei fenomeni cromosferici: essi dovevano essere stimati direttamente sugli spettroeliogrammi. Una serie di numeri si sarebbe riferita ai flocculi osservati nella radiazione H_{α} dell'idrogeno (flocculi d'idrogeno), una seconda ai flocculi osservati nella radiazione K del calcio ionizzato (flocculi di calcio) ed una terza ai filamenti osservati nella radiazione H_{α} (filamenti d'idrogeno). Più recentemente, per diminuire la soggettività delle stime, sono stati distribuiti dagli osservatori di Monte Wilson e di Meudon degli spettroeliogrammi che potevano servire come campioni di scala per la stima dei numeri caratteristici.

Tutti gli osservatori che avevano le possibilità strumentali si misero a seguire l'attività dei flocculi secondo questo canone. Più recentemente poi, dopo l'invenzione dello spettroelioscopio, si contribuì al rilievo dei numeri caratteristici anche con l'osservazione visuale.

(*) Flocculi e brillamenti, filamenti quiescenti ed eruttivi, vengono a volte indicati sotto la generica denominazione di fenomeni cromosferici sul disco per distinguerli dalle protuberanze (fenomeno cromosferico al bordo) che secondo le vedute generalmente accettate non sarebbero che filamenti osservati al bordo del disco solare.

L'osservatorio di Zurigo ha raccolto nel *Bullettin for character figures of solar phenomena* e successivamente nel *Quarterly bulletin on solar activity* i dati sui numeri caratteristici rilevati dai vari osservatori dal 1917. Fino al 1941 ha dato, separatamente per le tre serie di numeri caratteristici, i valori giornalieri stimati dai singoli osser-

Fig. 2 - Variazione del numero caratteristico con l'area.

vatori; la media giornaliera di questi valori; la media mensile per i singoli e per tutti gli osservatori. Dal 1942 al 1944 non ha più pubblicato né i valori giornalieri né le medie mensili separatamente per i diversi osservatori e dal 1945 ha sospeso completamente la pubblicazione dei numeri caratteristici. In tre riassunti sono date le medie annuali dei numeri caratteristici per tutti gli osservatori.

Sino al giugno del 1947 abbiamo i numeri caratteristici stimati a Monte Wilson e riportati nel *Terrestrial Magnetism*.

2. *Scopo del presente lavoro.* — Quando si fu in possesso di una sufficiente quantità di materiale ci si chiese se il criterio adottato per la stima dei numeri caratteristici forniva una misura abbastanza consistente dell'attività solare. Pur essendoci delle divergenze assai rilevanti fra i numeri caratteristici stimati dalle diverse stazioni ⁽¹⁾ si è trovato che essi soddisfacevano nelle linee generali allo scopo per il quale erano stati introdotti ⁽²⁾.

Fig. 3 - Variazione del numero caratteristico con l'area.

E opportuno, alla distanza di una ventina di anni, riesaminare la questione e vedere se ed in quale modo i numeri caratteristici rappresentano l'area coperta dai fenomeni. Questo problema è di attualità perché, mentre da un lato si tende a svalutare i numeri caratteristici, nello studio della correlazione tra l'attività solare, quella magnetica e quella ionosferica si tende invece a farne sempre più largo uso.

3. *Materiale esaminato.* — Il materiale spettroeliografico raccolto alla torre solare di Arcetri si presta molto bene ad un confronto fra il numero caratteristico e l'area coperta dai fenomeni poiché ambe-

due queste grandezze sono state rilevate, salvo qualche eccezione, per gli stessi giorni e sulla medesima lastra.

Abbiamo preso in considerazione per il periodo 1932-1941 i numeri caratteristici stimati ad Arcetri e già pubblicati da Zurigo; per il periodo 1942-1944 quelli estratti dagli archivi dell'osservatorio (in

Fig. 4 - Variazione del numero caratteristico e dell'area col tempo.

questo periodo Zurigo ha pubblicato soltanto, come si è detto, la media giornaliera dei valori inviati dai diversi osservatori cooperanti); per il periodo 1945-1949 abbiamo stimato indipendentemente i numeri caratteristici sugli spettroeliogrammi. Tutte le stime di numeri caratteristici eseguite ad Arcetri sono state fatte in base ai modelli di Monte Wilson.

Sulla recente esperienza della lunga e continua serie di stime (1945-1949) possiamo precisare quanto segue:

Fig. 5 - Variazione del numero caratteristico e dell'area col tempo.

a) l'error medio nella valutazione del numero caratteristico, qualora esso venga stimato con l'aiuto di modelli, è per bassi numeri caratteristici minore di 0.2 unità; per gli altri minori di 0.5.

b) Se si esclude il caso accidentale della presenza di brillamenti,

l'intensità dei fenomeni non ha peso nella valutazione del numero caratteristico.

c) La presenza di eccezionali brillamenti che determinino una variazione nel numero caratteristico è estremamente rara: generalmente i brillamenti hanno area irrilevante rispetto a quella del flocculo sul quale compaiono e la loro maggiore intensità non contribuisce a dare una sensazione di attività generale molto aumentata.

Le aree sono state determinate misurando con un reticolo millimetrato la parte aliquota del disco solare ricoperta dal fenomeno su di una immagine ingrandita per mezzo di un proiettore ⁽³⁾. Poiché il numero caratteristico è conseguenza di una sensazione determinata dalla estensione apparente del fenomeno, abbiamo preso in considerazione soltanto le aree proiettate in un piano perpendicolare alla visuale. Queste aree vengono denominate aree proiettate per distinguerle da quelle che si ottengono correggendo le prime dal raccorciamento prospettico.

4. *Elaborazione del materiale e risultati conseguiti.* — Nella tabella I sono riportate le medie annuali dei valori giornalieri delle

Fig. 6 - Variazione del numero caratteristico e dell'area col tempo.

aree proiettate espresse in decimillesimi del disco solare e dei numeri caratteristici. Con i dati raccolti in tale tabella si sono successivamente costruiti i grafici 1, 2, 3 che danno la variazione del numero caratteristico coll'area ed i grafici 4, 5, 6 che danno la variazione del numero caratteristico e dell'area col tempo. Nei grafici 1, 2, 3 è stata riportata la dispersione statistica σ supponendo che la distribuzione dei punti sia normale.

5. *Discussione dei risultati.* — Dall'osservazione dei grafici 1, 2, 3 risulta che:

a) Pur con le incertezze e le limitazioni inerenti al metodo di misura dei numeri caratteristici ed a quello delle aree il numero caratteristico è funzione dell'area del fenomeno. (Poiché l'area coperta dai flocculi e dai filamenti dipende dalle condizioni strumentali e soprattutto dalla dispersione lineare dello spettrografo ⁽³⁾ la relazione area-numero caratteristico, così come è data dai grafici, vale unicamente per stime di numeri caratteristici e misure di area fatte su spettroeliogrammi presi in condizioni simili alle nostre: immagine solare cm 6, dispersione 3.33 Å/mm, banda passante del monocromatore 0.33 Å circa).

Fig. 7 - Variazione del numero caratteristico con l'area. (Scala alterata).

b) Il numero caratteristico non è proporzionale all'area, come già Allen aveva notato ⁽⁴⁾, e nemmeno al suo logaritmo come potrebbe sembrare da un esame qualitativo dei grafici 1, 2 e 3. Se si altera la scala dei numeri caratteristici come è indicato nel seguente schema:

numero caratteristico naturale	numero caratteristico alterato
0	0
1	0.5
2	1
3	2
4	3
5	4

si ottiene invece come risulta chiaramente dai grafici 7, 8, 9 una serie di numeri proporzionali all'area coperta dai fenomeni.

c) Le scale dei numeri caratteristici sono più sensibili nella zona 0-1.5 piuttosto che da 1.5 in poi.

Fig. 8 - Variazione del numero caratteristico con l'area. (Scala alterata).

d) Se definiamo come sensibilità della scala la variazione del numero caratteristico per una certa variazione percentuale dell'area massima abbiamo che la sensibilità della scala dei flocculi di calcio

Fig. 9 - Variazione del numero caratteristico con l'area. (Scala alterata).

è maggiore di quella dei flocculi di idrogeno la quale è a sua volta maggiore di quella dei filamenti.

Dai grafici 4, 5, 6 risulta poi come i numeri caratteristici seguano abbastanza bene il ciclo di attività dei fenomeni che vogliono rap-

presentare. Questo è il risultato già messo in evidenza da Abetti e Brunner (²).

Da quanto precede risulta che i numeri caratteristici seguono, almeno nelle linee generali, il ciclo dei fenomeni cromosferici sul disco e sono in stretta relazione con l'area dei fenomeni rappresentati. Essi, caratterizzano pertanto, in maniera sintetica, l'attività solare e sono molto convenienti nello studio delle relazioni tra fenomeni solari e terrestri. Crediamo di fare perciò cosa utile ai geofisici raccogliendo nelle seguenti tabelle le medie mensili dei numeri caratteristici stimati ad Arcetri nel periodo 1942-1949.

Firenze — Osservatorio Astrofisico di Arcetri — Centro di fisica solare del C.N.R.. — Agosto 1950.

TABELLA II-a — *Medie mensili di valori giornalieri dei numeri caratteristici per i flocculi d'idrogeno.*

Anno \ Mese												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1942	0.5 [8]	0.3 [2]	1.6 [14]	1.0 [8]	0.7 [1]	0.3 [6]	0.6 [18]	1.1 [13]	0.7 [12]	0.8 [13]	0.7 [8]	1.3 [5]
43	0.4 [8]	0.9 [13]	0.9 [12]	0.8 [11]	0.7 [12]	0.1 [13]	0.8 [12]	0.8 [20]	0.3 [11]	0.4 [7]	0.4 [8]	1.1 [8]
44	0.5 [1]	0.0 [5]	1.0 [10]	0.1 [7]	0.1 [7]	0.3 [1]	0.1 [6]	— [0]	— [0]	— [0]	— [0]	1.3 [2]
45	0.5 [3]	0.7 [3]	0.4 [4]	0.8 [4]	0.8 [1]	1.0 [5]	1.1 [6]	0.0 [1]	0.0 [2]	1.5 [4]	0.6 [8]	0.5 [6]
46	0.1 [1]	0.7 [6]	— [0]	— [0]	0.7 [0]	1.2 [6]	1.2 [16]	1.2 [16]	1.3 [14]	1.4 [1]	— [0]	2.6 [8]
47	2.5 [11]	3.0 [1]	— [0]	2.9 [15]	3.0 [3]	2.6 [12]	2.8 [15]	3.2 [14]	2.5 [9]	2.7 [9]	2.8 [5]	2.6 [3]
48	— [0]	1.6 [8]	1.9 [16]	3.6 [11]	4.0 [5]	3.0 [13]	2.6 [13]	2.4 [19]	1.9 [12]	1.9 [5]	1.8 [13]	1.7 [8]
49	2.6 [9]	2.4 [6]	2.3 [9]	2.4 [11]	1.2 [1]	1.7 [11]	1.3 [17]	2.0 [17]	3.0 [12]	2.9 [10]	2.5 [4]	— [0]

TABELLA II-b — *Medie mensili dei valori giornalieri dei numeri caratteristici per i flocculi di calcio.*

Mese Anno												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1942	1.4 [8]	1.0 [2]	1.9 [10]	1.6 [8]	1.3 [8]	0.6 [7]	1.1 [18]	1.1 [15]	0.9 [9]	1.4 [13]	0.7 [8]	1.9 [5]
43	0.8 [8]	1.0 [13]	1.3 [12]	1.0 [11]	1.0 [11]	0.6 [13]	1.2 [12]	1.2 [20]	0.3 [10]	0.6 [7]	1.1 [8]	1.6 [8]
44	0.8 [5]	0.2 [5]	1.2 [10]	0.6 [7]	0.4 [8]	0.8 [7]	0.6 [6]	— [0]	— [0]	— [0]	— [0]	1.8 [3]
45	0.8 [3]	1.3 [2]	— [0]	1.5 [3]	2.0 [4]	2.2 [7]	2.7 [13]	1.2 [5]	1.8 [9]	2.3 [6]	2.1 [8]	1.3 [5]
46	1.5 [4]	3.1 [5]	— [0]	— [0]	— [0]	3.1 [4]	3.5 [18]	3.6 [15]	3.6 [12]	3.9 [6]	— [0]	4.4 [6]
47	4.2 [9]	4.5 [2]	— [0]	3.8 [15]	4.6 [11]	4.3 [13]	4.2 [15]	4.2 [13]	3.6 [9]	3.7 [8]	3.5 [3]	3.5 [3]
48	— [0]	3.1 [7]	3.1 [16]	4.3 [8]	4.2 [5]	3.8 [12]	3.8 [13]	3.5 [17]	2.9 [10]	2.9 [6]	2.8 [12]	2.8 [8]
49	3.3 [7]	3.3 [6]	3.3 [9]	3.4 [10]	2.8 [3]	3.1 [11]	2.7 [18]	2.9 [19]	3.3 [11]	3.0 [10]	3.0 [3]	— [0]

TABELLA II-c — *Medie mensili dei valori giornalieri dei numeri caratteristici per i filamenti d'idrogeno.*

Mese Anno												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1942	1.6 [8]	0.8 [2]	1.5 [11]	1.7 [8]	1.4 [7]	0.9 [6]	0.7 [18]	0.5 [13]	0.5 [12]	0.6 [13]	0.6 [8]	1.0 [5]
43	1.4 [8]	0.4 [13]	0.6 [12]	0.9 [11]	0.6 [12]	0.7 [13]	1.3 [12]	0.8 [20]	1.3 [11]	0.8 [7]	1.3 [8]	1.1 [8]
44	0.5 [4]	1.2 [5]	1.0 [10]	0.6 [7]	0.3 [7]	0.9 [7]	0.4 [6]	— [0]	— [0]	— [0]	— [0]	0.8 [2]
45	2.5 [3]	1.3 [3]	1.1 [4]	0.8 [4]	1.0 [4]	1.0 [5]	1.6 [6]	0.0 [1]	0.0 [2]	0.9 [4]	0.9 [8]	2.7 [6]
46	1.2 [4]	1.2 [6]	— [0]	— [0]	— [0]	1.6 [6]	1.6 [16]	2.2 [16]	2.5 [14]	2.8 [7]	— [0]	2.6 [8]
47	2.5 [11]	2.9 [1]	— [0]	2.3 [15]	2.8 [3]	2.5 [12]	2.6 [15]	3.0 [14]	2.9 [9]	3.2 [9]	2.6 [5]	2.2 [3]
48	— [0]	2.1 [8]	2.0 [16]	2.0 [11]	2.5 [5]	2.2 [13]	2.7 [13]	2.4 [19]	2.1 [12]	2.8 [5]	2.2 [13]	2.5 [8]
49	2.0 [9]	2.3 [6]	2.9 [9]	2.5 [11]	2.7 [5]	2.0 [11]	2.4 [17]	2.6 [17]	2.7 [12]	2.6 [10]	2.5 [4]	— [0]

N. B. — Nelle tabelle 2a, 2b, 2c i numeri scritti in carattere piccolo indicano il numero di osservazioni eseguite.

RIASSUNTO

Nella presente nota viene mostrato come i numeri caratteristici dell'attività solare siano legati all'area dei fenomeni che vogliono rappresentare. Modificando la scala dei numeri caratteristici in maniera opportuna si possono ottenere degli indici proporzionali all'area dei fenomeni. Allo scopo di completare le serie dei numeri caratteristici già pubblicate vengono date per il periodo 1942-1949 le medie mensili dei numeri caratteristici stimati ad Arcetri.

BIBLIOGRAFIA

- (1) H. C. BROWN: *Correction factors ecc.* Terr. Magn. Dicembre 1930.
- (2) G. ABETTI: *I numeri caratteristici dell'attività solare.* Mem. S. A. It. Vol. 5, pag. 426 (1930).
- W. BRUNNER: *Character figures of solar phenomena in bollettino omonimo.* Vol. I, pag. VI (1932).
- (3) G. RICHINI e G. GODOLI: *Riduzione del materiale spettroeliografico ecc.* Mem. S. A. It. Vol. 51, fasc. IV (1950).
- (4) G. W. ALLEN: *Variation of the sun's ultra-violet radiations ecc.* Terr. Magn. Vol. 51, pag. 5 (1946).