

# FLARES SOLARI: MODELLI INTERPRETATIVI E PREVISIONALI

di **Mario Gatti**

Osservatorio Solare, ISIS “Valceresio”  
Via Roma 57, 21050 Bisuschio (Varese)

15 Novembre 2009

## **Abstract**

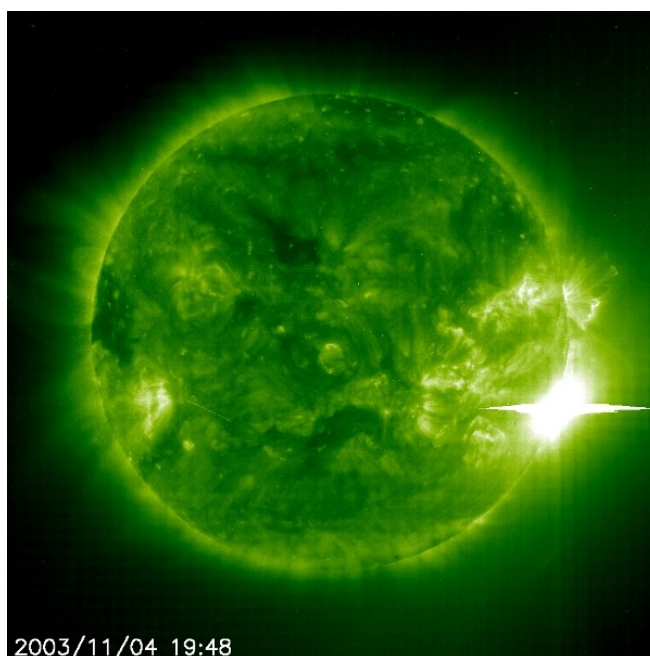
I Flares solari, fenomeni nei quali si sviluppano energie di dimensioni spaventose, sono interpretabili attraverso la cosiddetta teoria della riconnessione magnetica tra regioni attive contigue presenti nella corona e nella cromosfera del Sole. Per i flares esiste una apposita classificazione, diversificata tra l’osservazione dei fenomeni in luce visibile o nella banda dei raggi X duri tra  $0.5\text{\AA}$  e  $8\text{\AA}$ . La loro esistenza, non certo scollegata da tutte le altre manifestazioni di attività della stella, come le macchie, le protuberanze, i buchi coronali e gli EMC (emissioni massive coronali), è dovuta essenzialmente alle proprietà del campo magnetico del Sole e può influenzare il nostro pianeta soprattutto per il possibile incremento dell’intensità del vento solare. Questo, che può condurre in casi estremi (ma non così improbabili, specialmente durante una fase di massimo dall’attività solare) alle cosiddette “tempeste solari” potrebbe arrecare, in tempi molto brevi dopo l’evento (dell’ordine di pochi giorni), seri danni ai sistemi di comunicazione e di trasmissione dati e, in tempi più lunghi, influenzare anche significativamente l’andamento climatico terrestre. La possibilità di prevedere in anticipo questi fenomeni diventa quindi di capitale importanza per l’umanità, che si basa sempre più su quella tecnologia che potrebbe essere molto vulnerabile in caso di “attacchi dal Sole”. Dopo una dettagliata illustrazione dei Flares ed un possibile modello per la loro interpretazione viene presentato un metodo statistico di previsione per i Flares di intensità maggiore (quindi quelli potenzialmente più “pericolosi”) basato sulle osservazioni compiute tra il 1988 ed il 1996, durante il ciclo solare n° 22 e sull’ipotesi che gli accadimenti di questi eventi possano essere descritti correttamente da una distribuzione di Poisson, descritta nel testo. Questo lavoro è rivolto a Studenti di scuola secondaria superiore che compiono studi scientifici e che sono in possesso di conoscenze pregresse sufficienti sull’attività del Sole e sui metodi di indagine della stessa.

## **1) Flares**

I Flares solari sono fenomeni transitori che avvengono nelle parti esterne dell’atmosfera del Sole e possono avere una durata variabile da alcuni minuti a diverse ore. L’energia emessa da un flare può raggiungere anche i  $10^{25}\text{J}$  ed è quindi paragonabile a quella dell’esplosione di migliaia di ordigni nucleari terrestri. Il primo ad osservare questi spettacolari fenomeni esplosivi fu l’astronomo R.C. Carrington nel 1859, che notò un improvviso aumento di luminosità sulla fotosfera in corrispondenza di un gruppo di macchie solari. Anche se la loro scoperta avvenne quindi, storicamente, in luce visibile, la radiazione emessa durante un Flare interessa praticamente tutte le regioni dello spettro, anche se in modo differenziato a seconda delle frequenze, come vedremo in seguito. In conseguenza di questo l’indagine degli astronomi che vanno alla caccia di Flares si estende su tutta la gamma delle lunghezze d’onda, anche se la tecnica più impiegata da osservatori al suolo è quella della ricognizione del Sole nella riga spettrale  $H\alpha$  dell’Idrogeno a  $6563\text{\AA}$ , condotta con opportuni filtri a banda passante sufficientemente ridotta (da  $0.25\text{\AA}$  a  $0.5\text{\AA}$ ). Dalle stazioni spaziali, come ad esempio TRACE (Transitional Region and Coronal Explorer), è possibile però ottenere immagini decisamente più dettagliate e affascinanti, specialmente nella banda X dello spettro, dove i Flares si manifestano solitamente nel modo più evidente e spettacolare.

Anche le immagini SOHO/EIT, soprattutto quelle a 195Å, forniscono ottimi dettagli visivi dei Flares, come illustrato nella Figura 1 più avanti in questa pagina.

Nel seguito verranno illustrate le diverse caratteristiche di questi fenomeni a seconda della lunghezza d'onda in cui si osservano. Per ora ci basti dire che, per essere considerato tale, un Flare deve superare due soglie caratteristiche: di estensione e di luminosità. Rimanendo nel campo dell'osservazione in H $\alpha$ , un Flare deve interessare una superficie superiore ai 10<sup>3</sup> mesv (1 mesv, milionesimo di emisfero solare visibile, è un'unità di superficie comunemente usata in fisica solare, ed equivale a 3.047X10<sup>6</sup> Km<sup>2</sup>) ed avere una luminosità superiore al 150% del fondo di luminosità medio della cromosfera in condizioni di "sole quieto", cioè lontano dalla presenza di eventuali regioni attive. Al di sotto anche di una sola di queste due soglie non è comunemente corretto associare un semplice aumento di luminosità in cromosfera ad un vero e proprio Flare.



**Fig. 1** Notevole Flare fotografato dal telescopio EIT (Extreme Ultraviolet Imager Telescope) nell'estremo ultravioletto a 195Å durante la fase discendente del ciclo solare 23, circa due anni dopo il massimo. Notare la grande brillantezza del Flare rispetto anche ad altre regioni attive.

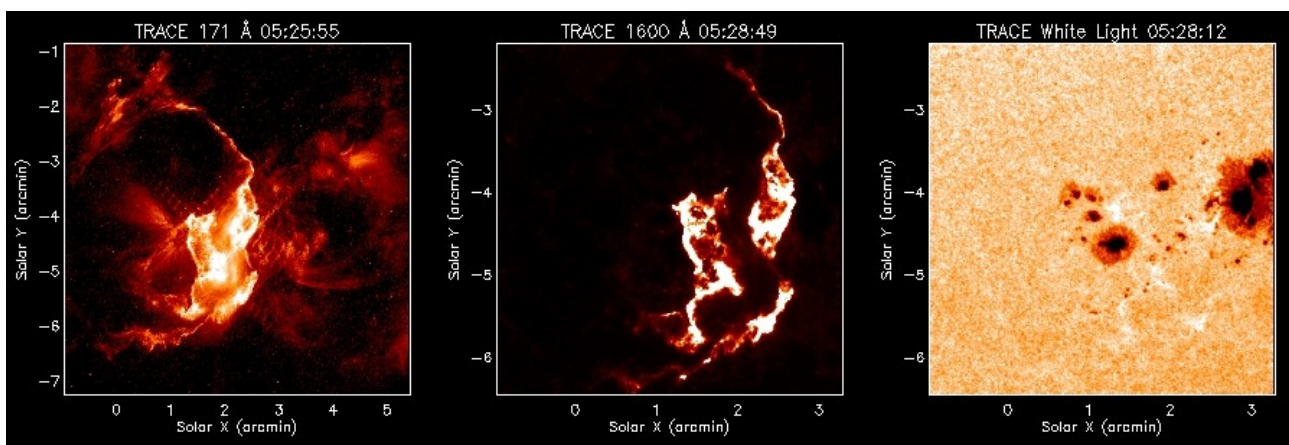
Per gentile concessione del Consorzio SOHO/EIT/MDI. SOHO è un progetto di cooperazione internazionale tra le Agenzie NASA ed ESA

In lingua italiana il termine Flare è spesso tradotto con “*brillamento*”, anche se con questo termine, più correttamente, si intende solo una delle manifestazioni di un Flare, cioè l'aumento di luminosità nella regione visibile dello spettro. Dal punto di vista morfologico, spesso i Flares si presentano con una sorta di linea opaca che li divide in due zone più o meno somiglianti: si parla in questi casi di “Flares a due nastri” (*two-ribbons Flares*); altre volte assumono la forma di una Y (diritta o rovesciata), presentano anche più punti particolarmente brillanti e possono essere associati ad archi

coronali (*loops*), grandi protuberanze ed emissioni massive coronali (EMC). Sono ovviamente generati in corrispondenza di regioni attive e la loro origine può essere spiegata interpretando correttamente certe proprietà del campo magnetico del Sole, come si vedrà in seguito. Infine, fra le altre caratteristiche, vale la pena di ricordare la presenza dei cosiddetti Flares *omologhi* e di quelli detti *simpatetici*. I primi hanno caratteristiche simili tra loro e si ripetono nella stessa regione attiva ad intervalli temporali che vanno da qualche ora ad un giorno (a volte si presentano successioni di 5 o più Flares, quasi tutti uguali come se si trattasse dello stesso evento che si presenta a più riprese);

i Flares simpatetici sono invece coppie di Flares che si presentano in regioni attive diverse, non casualmente ma per una effettiva connessione fisica tra loro, come se un evento potesse scatenarne un altro simile in una zona della stella anche parecchio distante dalla prima una buona frazione di “raggio solare”.

La Figura 2 che segue in questa pagina mostra chiaramente come un Flare si manifesti in maniera molto più appariscente mano a mano che si procede verso la parte ultravioletta estrema (e meglio ancora verso i Raggi X) dello spettro:



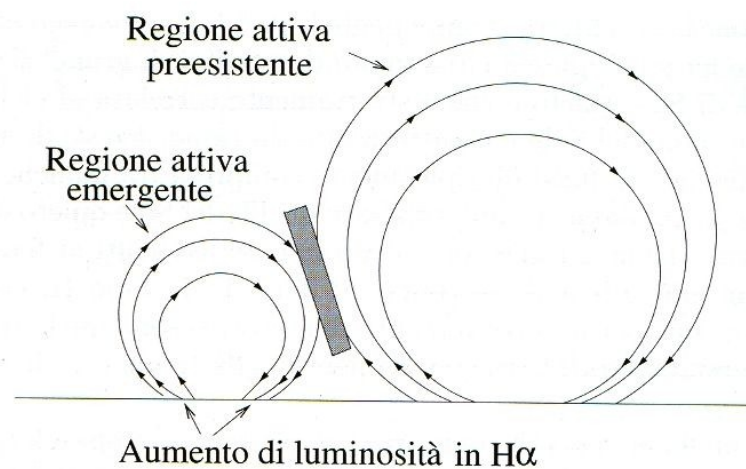
**Fig. 2** Un bellissimo Flare a due nastri ripreso dalla sonda TRACE nell’ultravioletto estremo a 171Å (immagine a sinistra), nell’ultravioletto a 1600Å (immagine al centro) e nel continuo (immagine a destra). Notare come i dettagli visivi del Flare si perdano procedendo verso la porzione visibile dello spettro; evidente anche il gruppo di macchie solari in fotosfera in sua corrispondenza . L’evento è stato registrato il 10 Aprile del 2001, ha avuto inizio alle 04:48 TU ed ha avuto il picco di emissione nella banda X tra 1Å e 8Å alle 05:26 TU.

Fonte: TRACE Flares Catalog

## 2) Un modello per l’origine dei Flares

Un Flare è un evento nel quale avviene la dissipazione di una quantità enorme di energia in tempi anche molto brevi. Il fatto che si presentino quasi sempre in corrispondenza di regioni attive, dove l’intensità locale del campo magnetico del Sole è molto elevata (dell’ordine di  $10^2$  G, al quale può essere associata un’energia magnetica dell’ordine di  $4 \times 10^{25}$  J, quindi tipica di un Flare) porta

naturalmente a cercare nelle proprietà del campo coronale una possibile spiegazione per l'esistenza di eventi tanto drammatici dal punto di vista energetico. Molti modelli sono stati proposti in tal senso ed il più conosciuto di questi, dovuto a J.Heyvaerts e E.Priest, si basa sul fenomeno detto della *riconnessione magnetica*. Secondo questo modello, la comparsa di una nuova regione attiva in prossimità di un'altra già esistente mette per così dire "a contatto" campi magnetici di polarità opposta. Nella Figura 3 alla pagina seguente, che illustra il modello in questione, la regione tratteggiata rappresenta il fenomeno di riconnessione magnetica, nel quale si verificano produzione di energia e fasci di particelle accelerate: queste ultime, che si muovono seguendo le linee del campo "rientrano" verso la cromosfera dando luogo ad un aumento di luminosità che si manifesta come un Flare a due nastri nella riga  $H\alpha$ . Ai Flares sono strettamente associati anche i cosiddetti *radio bursts*, emissioni di tipo non termico nelle onde radio da parte del Sole, di durata compresa tra qualche secondo ed alcuni giorni.

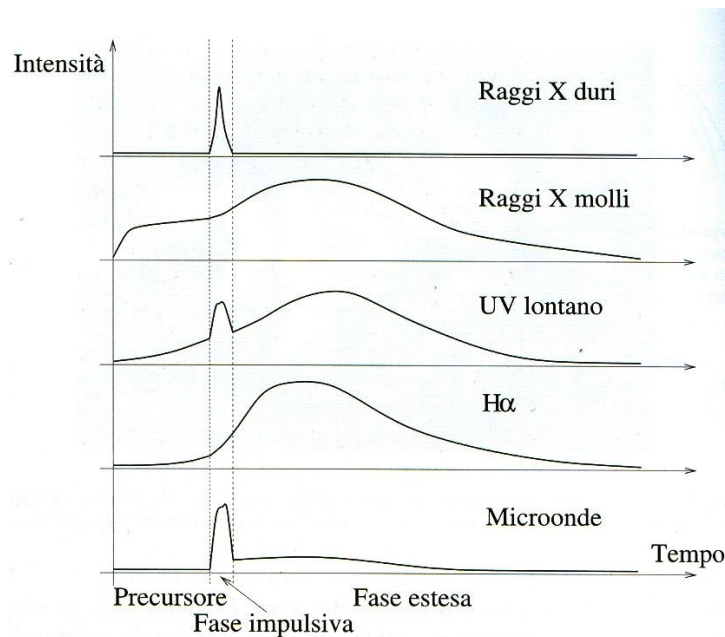


**Fig. 3** Modello basato sul fenomeno della riconnessione magnetica che interpreta l'aumento di luminosità in  $H\alpha$  associato ad un Flare. La spiegazione è nel testo alla pagina precedente.

Fonte: "Fisica Solare", di E. Landi Degl'Innocenti, Springer-Verlag Italia, Milano 2008, pag. 210

### 3) Curve di luce

Anche se il termine "Curva di Luce" è comunemente impiegato nel campo dello studio delle stelle variabili, qui viene inteso come illustrazione dell'intensità della radiazione emessa in diverse regioni dello spettro durante un Flare. Si veda in proposito la seguente figura 4:



**Fig.4** Andamento con il tempo dell'intensità della radiazione emessa in un Flare. Le intensità sono in scala arbitraria. Fonte: "Fisica Solare", di E. Landi Degl'Innocenti, Springer-Verlag Italia, Milano 2008, pag. 208

Un Flare inizia con una fase, detta *precursore*, durante la quale l'emissione da parte del plasma coronale avviene solo nella parte dei Raggi X molli e dell'ultravioletto lontano: nelle altre porzioni dello spettro l'emissione non risalta sul background del Sole quieto. In tutto lo spettro segue invece la *fase impulsiva*, della durata tipica di qualche minuto, che presenta una forma "a picco" nei Raggi X duri, nell'UV estremo e nelle microonde ed un aspetto più "morbido" (*flat*) nei Raggi X molli e nel visibile in H $\alpha$ . Segue infine la cosiddetta *fase estesa*, assente nei Raggi X duri, quasi assente o di breve durata nelle microonde, più lentamente degradante nelle altre regioni. La durata media del precursore (laddove si presenta) è dell'ordine di 5-10 minuti, quella della fase impulsiva di 1-3 minuti mentre la fase estesa (dove presente) è dell'ordine di un'ora. Come si vede dalla figura 4, è nei Raggi X duri che un Flare si presenta nel modo più violento e rapido, mentre in H $\alpha$  e nei Raggi X molli presenta un andamento, per modo di dire, più regolare nel tempo, se qualcosa di "regolare" può essere visto in fenomeni di tale portata energetica. Un aspetto importante è la distribuzione in energia dei Flares osservati: indicando con  $N(E)\Delta E$  il numero di Flares con energia compresa tra  $E$  ed  $E + \Delta E$ , si dimostra che la funzione  $N(E)$  segue una legge esponenziale piuttosto semplice:

$$N(E) = KE^{-\alpha}$$

dove  $K$  è una costante e  $\alpha$  vale circa 1.6. Quindi si passa di fatto attraverso una distribuzione continua di energie, dai fenomeni più energetici a quelli via via più deboli, detti anche *sub-flares*, *micro-flares* e *nano-flares*. Secondo un modello (detto di Parker) sarebbero proprio questi ultimi, che non sono praticamente osservabili, ad accadere in gran numero e contribuire così al riscaldamento coronale, uno dei problemi ancora aperti e dibattuti della fisica del Sole.

#### 4) Classificazione dei Flares

Esistono modi diversi per classificare i Flares. In uno di questi (il primo dal punto di vista storico) si utilizza quantitativamente l'area della porzione di superficie solare interessata da un Flare osservato in  $H\alpha$ , quindi si costruisce una sorta di "scala di importanza", come illustrato in Tabella 1:

Importanza	Superficie (gradi <sup>2</sup> )
0	$S < 2.0$
1	$2.1 \leq S \leq 5.1$
2	$5.2 \leq S \leq 12.4$
3	$12.5 \leq S \leq 24.7$
4	$S \geq 24.8$

**Tab.1** *Classificazione dei Flares per osservazioni ottiche al suolo in  $H\alpha$*

La superficie  $S$  è misurata in gradi quadrati (1 grado equivale a circa 12000 Km.) e l'importanza spesso è seguita da una lettera: F per debole (*faint*), N per normale (*normal*) e B per brillante (*brilliant*): pertanto secondo questo schema i Flares possono essere classificati come 1F, 3B, 2N eccetera. Una classificazione più recente (e molto più comunemente utilizzata in fisica solare) si basa sul flusso massimo misurato fuori dall'atmosfera terrestre durante la fase impulsiva di un Flare, in una "finestra" nella regione dei Raggi X duri, compresa tra 1Å e 8Å. In relazione al flusso misurato vengono attribuite al Flare delle lettere (A,B,C,M,X), dette classi, eventualmente seguite da un numero, come riportato nella sottostante tabella 2:

Classe	Potenza nei Raggi X ( $Wm^{-2}$ )
A	$P < 10^{-7}$
B	$10^{-7} \leq P \leq 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq P \leq 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq P \leq 10^{-4}$
X	$P > 10^{-4}$

**Tab.2** *Classificazione dei Flares per osservazioni nei Raggi X al di fuori dell'atmosfera terrestre*

Il limite inferiore di ogni classe viene fatto generalmente seguire da un numero compreso tra 0 e 9. Per esempio un Flare di classe C2 corrisponde ad una potenza emessa di  $2 \times 10^{-6} \text{ Wm}^{-2}$ , uno di classe M3 ad una potenza di  $3 \times 10^{-5} \text{ Wm}^{-2}$ . Il Flare più intenso mai misurato è stato classificato come X28, quindi con una potenza di  $28 \times 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}$ . Per un certo Flare, i due sistemi di classificazione proposti ed illustrati non sempre corrispondono necessariamente.

## 5) Importanza della previsione dei Flares

Da quanto detto fin qui, dovrebbe apparire chiaro come la presenza e l'intensità dei Flares sia strettamente connessa con le regioni attive e tutti gli altri fenomeni legati all'attività solare quindi, in ultima analisi, con l'andamento dei cicli solari. E' noto che durante il periodo del massimo di attività di un certo ciclo possono presentarsi situazioni in cui l'attività della stella raggiunge livelli notevoli che, per l'aumento dell'intensità del vento solare, possono dare luogo sulla Terra a quelle che vengono chiamate "tempeste solari". Se da un lato queste possono dare vita a fenomeni splendidi e spettacolari come le aurore polari, dall'altro rappresentano certamente una potenziale sorgente di rischio per tutto quello che sul nostro pianeta si basa sulle onde radio (trasmissioni satellitari per esempio) o comunque sull'energia elettrica in genere. Forti tempeste solari sono certamente avvenute in passato e, anche se ora stiamo vivendo una situazione particolare di minimo prolungato dell'attività solare, di fatto in ritardo di più di tre anni rispetto all'andamento del ciclo attuale, altre dobbiamo aspettarcele prima o poi nel futuro. Ma rispetto al passato qualcosa è cambiato: l'umanità (o perlomeno una frazione consistente di essa) dipende ora in maniera sempre maggiore proprio da quella tecnologia che può essere messa a rischio in caso di arrivo di forti perturbazioni elettromagnetiche dal Sole. E' rimasta famosa la cosiddetta "*tempesta di Halloween*", che negli ultimi giorni di Ottobre del 2003 provocò un impressionante black-out elettrico e nelle comunicazioni in buona parte del continente Nord Americano, segnatamente nel Canada Nord Orientale e sulla costa atlantica degli Stati Uniti. Scenari del genere potrebbero ripetersi in modo anche più violento (il ciclo scorso, il 23, durante il quale si produsse la tempesta di Halloween, non è stato certo tra i più intensi che si conoscano). Senza voler fare (come qualcuno fa approfittando del sensazionalismo che sempre si ottiene quando si tirano in ballo eventi catastrofici) predizioni di scenari apocalittici per i prossimi anni (e segnatamente per l'ormai famigerato 2012) è però fuori discussione che una forte tempesta solare potrebbe presentare davvero un serio problema per molti di noi e addirittura per l'economia mondiale (basti pensare ad un ipotetico blocco delle comunicazioni satellitari nel mondo industrializzato, dove tutto o quasi ormai è connesso a livello globale e necessita spesso di informazioni in tempo reale). Poter prevedere in qualche modo accadimenti del genere potrebbe quindi (come nel caso delle previsioni degli eventi atmosferici o tellurici particolarmente violenti) essere utile, quanto meno per prepararsi in qualche modo ad affrontarli. Il Sole è quindi un sorvegliato speciale: viene continuamente spiato da tanti occhi, dalla Terra e dallo spazio, anche per cercare di capire in anticipo quando e con quale intensità potrebbe decidere di scagliare verso di noi quelle che per lui sono piccole gocce di un mare di energia emessa, ma che per noi potrebbero essere delle vere e proprie alluvioni. Un modello che aiuti a prevedere, tra le altre cose, la probabilità che si presentino Flares ed in particolar modo quelli più

energetici sarebbe quindi di grande aiuto in questo senso, visto che questi eventi sono strettamente collegati a tutta l'attività della stella nel suo insieme. Di questi modelli ne esistono diversi, qui ne studieremo uno in particolare, ma prima è necessario aprire una piccola parentesi matematica.

## 6) La distribuzione di Poisson

Facendo riferimento ad un certo intervallo particolare di tempo sempre uguale (ad esempio un'ora, un giorno o un anno), in questo possono accadere eventi in modo casuale il cui numero può variare da zero ad un certo numero  $n$ , che non si può determinare a priori. Per esempio il numero di temporali che possono scatenarsi dall'inizio di Giugno alla fine di Ottobre tutti gli anni in un certo luogo della Terra. La distribuzione statistica di eventi del genere è stata studiata dal matematico francese Simeon Denis Poisson, che elaborò una formula che porta ancora oggi il suo nome. Prima di entrare nei dettagli di questa famosa formula vediamo quali caratteristiche deve avere un certo evento per poter essere correttamente interpretato secondo la cosiddetta distribuzione (o statistica) di Poisson:

- 1) Il numero di eventi che possono verificarsi in un certo intervallo di tempo o di spazio prefissati è una variabile casuale indipendente, cioè non è influenzata dagli eventi precedenti e non influenza quelli successivi.
- 2) Ogni evento avviene raramente, per cui in intervalli di tempo debitamente piccoli, il numero di eventi non supera l'unità.
- 3) La probabilità che si verifichino simultaneamente un certo numero di eventi è costante nel tempo cioè, per distinti intervalli di tempo, la probabilità di  $n$  eventi simultanei è costante.

Una volta fissate queste condizioni, dal punto di vista matematico una variabile casuale si distribuisce in modo poissoniano (ossia segue la statistica di Poisson) se la probabilità che si verifichino un numero  $m$  di eventi è data da:

$$P_m = (a^m / m!) e^{-a}$$

dove  $e$  è la base dei logaritmi naturali e la grandezza  $a$ , detta parametro della legge di Poisson, rappresenta la frequenza media di accadimento dell'evento osservato. Quindi la probabilità di ottenere con successo due eventi è data da  $e^{-a}a^2/2!$ , quella di ottenerne tre è  $e^{-a}a^3/3!$  eccetera.

Un esempio: supponiamo che al centralino dei Vigili del Fuoco di una città arrivino in media 3,5 richieste ogni ora di interventi urgenti per incendi o allagamenti di cantine. Ci interessa calcolare la probabilità

+che in una stessa ora arrivino 3, 4, oppure 5 chiamate urgenti. Il fenomeno può essere descritto utilizzando la formula di Poisson, con  $a = 3,5$ .

Applicando la formula di Poisson otteniamo:

$P_3 = (3,5^3 / 3!) \times e^{-3,5} = 0.21579$  cioè il 21.6% circa di probabilità che arrivino 3 chiamate all'ora.

$P_4 = (3,5^4 / 4!) \times e^{-3,5} = 0.1888$  cioè il 18.9% circa di probabilità che arrivino 4 chiamate all'ora.

$P_5 = (3,5^5 / 5!) \times e^{-3,5} = 0.13217$  cioè il 13.2% circa di probabilità che arrivino 5 chiamate all'ora.

## 7) Il modello previsionale del NOAA Space Environment Center

Esiste un modello piuttosto semplice di previsione per i Flares di una certa classe (limitatamente alle classi C, M e X in quanto quelle A e B sono relative a Flares di bassa potenza emessa nei Raggi X), elaborato dallo Space Environment Center (Centro per l'ambiente spaziale) del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), l'ente che in collaborazione con l'aviazione militare degli Stati Uniti (USAF) produce giornalmente il bollettino delle regioni attive eventualmente presenti sul Sole.

Il metodo si basa sulle osservazioni compiute durante il ciclo solare 22, dal Novembre del 1988 al Giugno del 1996 ed utilizza la percentuale di probabilità basata sul numero di Flares prodotti in quel periodo nelle regioni attive descritte usando la classificazione cosiddetta di McIntosh (McIntosh, P., 1990, Solar Physics, 125, 251). La classificazione McIntosh è basata su tre lettere (la prima maiuscola e le altre due minuscole): la prima corrisponde a quella della classificazione detta di Zurigo (o di Waldmeier), escluse la G e la J, la seconda e la terza descrivono la presenza o meno ed il tipo di penombra che eventualmente circonda le macchie di un gruppo associato alla regione attiva. Ad esempio, una regione attiva (o un gruppo di macchie) classificato come Eai secondo McIntosh corrisponde ad un gruppo di tipo E secondo la classificazione di Zurigo, cioè un gruppo con macchie in penombra ad entrambe le estremità che si estende tra i 10 ed i 15 gradi di longitudine eliografica; la penombra, piccola ed asimmetrica, sulle macchie maggiori è irregolare ed al suo interno si presentano diverse macchie separate tra loro: l'estensione lungo l'asse Nord-Sud attraverso la penombra è minore o uguale a 2.5 gradi eliografici; sono presenti numerose macchie tra la macchia principale precedente e quella principale seguente, ma nessuna di loro presenta una penombra osservabile. Come si vede si tratta di un sistema di classificazione complesso, ma molto dettagliato ed esauriente.

Ed ora veniamo al metodo previsionale che ci interessa: l'ipotesi principale su cui questo si basa è che il numero di Flares di una certa classe, associati ad una regione attiva di un certo tipo secondo McIntosh e che accadono in un certo tempo prefissato (in questo caso dal 11/1988 al 06/1996) segua una distribuzione di Poisson come illustrato nel paragrafo precedente.

Sapendo quindi, ad esempio, che tra il Novembre del 1988 ed il Giugno del 1996 sono state conteggiate 302 regioni attive classificate come Eai, e di queste 62 hanno prodotto Flares di classe M, il numero medio di Flares di classe M per giorno, nel periodo di tempo considerato è dato da  $62/302$ , ossia circa 0.21. Applicando la formula della distribuzione di Poisson, il metodo stima quindi la probabilità che nelle 24 ore successive ad un certo giorno avvengano uno o più eventi di Flares di classe M nel seguente modo:

$$P_{m \geq 1} = 1 - e^{(-\text{valore medio per giorno})}$$

Nel nostro caso avremo  $P_{m \geq 1} = 1 - e^{(-0.21)} \approx 0.19$ , ossia il 19% di probabilità circa che una regione attiva di classificazione Eai produca uno o più Flares di classe M nelle 24 ore successive. Ovviamente il metodo viene applicato per tutti i tipi di regioni attive presenti in un certo giorno sul Sole e per tutte le classi C,M e X di Flares. Ecco quindi che si ottiene, per le 24 ore successive, una percentuale stimata di possibili “arrivi” di Flares per ciascuna delle regioni attive osservabili. Si tratta di un metodo statistico basato sulle osservazioni di un solo ciclo solare, quindi non si può pretendere una totale affidabilità, ma spesso si presenta sorprendentemente efficace nelle previsioni, in special modo per i pur rarissimi Flares di tipo C che in questi giorni, qualche volta e poco spesso, si degnano di farsi osservare. Se il metodo funziona abbastanza bene in questi tempi di bassa attività è presumibile che cresca in attendibilità con l’evoluzione del ciclo, se mai vorrà decidersi a decollare. Tutti i dettagli del metodo qui illustrato si possono trovare su Wheatland, M. S., 2001, Solar Physics, 203, 87 and Moon et al., 2001, Journal of Geophysical Research-Space Physics, 106(A12) 29951.

## 8) Conclusioni

L’enorme quantità di energia rilasciata dai Flares, aggiunta a tutta quella proveniente dal Sole segnatamente durante le fasi di massimo dei cicli solari, potrebbe influenzare negativamente anche in modo significativo i sistemi di comunicazione terrestri e, di riflesso, creare problemi non indifferenti anche di natura economica. E’ possibile, applicando il modello illustrato nel testo, dare una stima previsionale sufficientemente attendibile degli accadimenti del Flares più “energetici”, cioè quelli di classe C,M ed X. L’andamento del flusso nei Raggi X in due bande, tra 0.5Å e 4Å, e tra 1Å e 8Å è monitorato continuamente attraverso rilevamenti satellitari (per esempio tramite il satellite GOES). Tutte le misure relative ai Flares rilevati, oltre alle loro fotografie e riprese eseguite dallo spazio (per esempio da TRACE) sono opportunamente catalogati in modo da poter disporre in futuro dati sempre più precisi ed abbondanti, che potrebbero essere usati per elaborare modelli previsionali ancora più attendibili. In rete esistono decine di siti specializzati in questo campo: ne segnaliamo qui solo due, che sono forse i più conosciuti: quello dello Space Weather Prediction Center del NOAA (<http://www.swpc.noaa.gov/>) e quello del TRACE Flare Catalog ([http://www.harvard.edu/trace/flare\\_catalog/index.html](http://www.harvard.edu/trace/flare_catalog/index.html)). Sul primo sono disponibili, tra l’altro, pagine con l’andamento del flusso X nelle due bande indicate aggiornate una ogni 5 minuti e relativa agli ultimi 3 giorni, l’altra aggiornata ogni minuto e relativa alle ultime 6 ore.