

Gli sciami meteorici

IARA, GRRAT, SdR RadioAstronomia UAI, Società Italiana di Fisica, IMO

Abstract

Vengono evidenziate le diverse tipologie di oggetti che comunemente vengono raggruppate sotto il nome di corpi interplanetari. In particolare, viene sottolineato il ruolo che i corpi interplanetari hanno avuto nella storia, prima del Sistema Solare e poi del nostro pianeta, evidenziando soprattutto la quantità di tali oggetti che colpisce la Terra in periodi più o meno lunghi. Ogni tipologia di questi corpi necessita di un differente metodo di indagine. Infine, questi oggetti non hanno tutti una medesima origine, che può essere cometaria, asteroidale o interstellare, e una stessa evoluzione.

Sono questi tra i più splendidi e rari fenomeni del cielo, fra i più capaci di fissare la pubblica attenzione. [...] le stelle cadenti sono un fenomeno di natura astronomica, e non appartengono alle meteore atmosferiche, come per lungo tempo si è creduto [...] il ritorno delle stelle cadenti è di una regolarità astronomica [...] e le gocce di questa pioggia celeste cadono sulla Terra tutte nella medesima direzione, e secondo linee parallele [...] le comete e le correnti meteoriche sono fra loro associate [...] le stelle cadenti sono corpi solidi.

Giovanni Virginio Schiapparelli (1835 – 1910), Le più belle pagine di astronomia popolare, Cisalpino-Goliardica, Milano, 1976

I corpi interplanetari

Fino alla prima metà degli anni '60, gli scienziati non avevano a disposizione molti dati per poter far luce sul ruolo del fenomeno impattivo nell'evoluzione dei corpi del Sistema Solare, finché le missioni interplanetarie di questi ultimi 40 anni non hanno messo in evidenza la fitta craterizzazione di tutti i corpi (pianeti, satelliti e asteroidi) che presentano una superficie solida. Se per spiegare la craterizzazione dei corpi maggiori, infatti, accanto a questa soluzione, si potrebbe anche suggerire l'ipotesi endogena, non si può fare altrettanto per i corpi di dimensioni più modeste, assolutamente inadeguati sia ad innescare che a mantenere attivo tale processo. Il meccanismo degli impatti riveste quindi un ruolo di fondamentale importanza nell'evoluzione del Sistema Solare, non solo come momento distruttivo, ma anche come indispensabile e basilare elemento costruttivo nella edificazione e nella strutturazione definitiva di tutti i corpi che ne fanno parte, così da risultare uno dei processi essenziali del modellamento delle superfici planetarie.

Questo fenomeno ha interessato anche la Terra, soprattutto agli albori del Sistema Solare, quando il numero di oggetti interplanetari in movimento caotico attorno al Sole era notevolmente maggiore e al contempo il nostro pianeta non vi opponeva ancora un efficiente scudo protettivo in quanto l'atmosfera non aveva ancora raggiunto una completa formazione. Oggi, al contrario, oltre al fatto che le probabilità di impatti cosmici sono drasticamente ridotte per la diminuzione di corpi vaganti, la Terra oppone un efficientissima difesa dovuta alla presenza di un'atmosfera completamente sviluppata. Le cicatrici dovute agli impatti passati sono state mascherate nel tempo dai processi erosivi e tettonici, anche se alcuni crateri da impatto di grandi dimensioni sono tuttora osservabili sulla superficie del nostro pianeta.



Figura 1 - Localizzazione dei siti di impatto sulla superficie terrestre noti fino al 1987.

Il fatto che attualmente non si osservino impatti di imponenti dimensioni, non significa che la Terra sia un sistema isolato e del tutto immune all'interazione con il mezzo interplanetario ma anzi, durante il proprio moto di rivoluzione intorno al Sole, è bombardata continuamente da oggetti per lo più frenati o disintegrati dagli strati atmosferici. È interessante a questo proposito evidenziare che ogni anno l'atmosfera stessa viene a contatto con centinaia di migliaia di tonnellate di oggetti interplanetari di modeste dimensioni: i meteoroidi.

Secondo la definizione proposta nel 1961 dall'IAUNC (International Astronomical Union Nomenclature Committee), un meteorioide è un corpo solido in moto nel sistema interplanetario di dimensioni più piccole di un asteroide ma considerevolmente maggiore di un atomo, la cui massa può essere compresa tra un microgrammo e parecchie migliaia di tonnellate [1]. I meteoroidi, entrando nella nostra atmosfera, danno origine al fenomeno delle meteore. Il nome meteora dovrebbe indicare soltanto il complesso dei fenomeni luminosi e di ionizzazione a cui un meteorioide dà

luogo nella parte superiore dello strato atmosferico. L'uso attuale ne estende il significato anche al corpo stesso, purché esso venga totalmente consumato durante il passaggio nell'atmosfera. Si chiamano invece meteoriti, i meteoroidi più grossi che, pur essendo fortemente ridotti dall'attrito atmosferico, riescono a raggiungere la superficie terrestre per effetto delle loro maggiori dimensioni. All'altro estremo della scala delle masse si trovano le micrometeoriti, particelle estremamente piccole (generalmente con dimensioni del millesimo del millimetro) che perdono la loro energia senza consumarsi nell'atmosfera cadendo lentamente per gravità sulla Terra [2]. La definizione appena vista include anche i bolidi, cioè quei meteoroidi più grossi, e quindi più luminosi, che si frammentano in modo catastrofico e poi esplodono dissipando la loro energia nell'atmosfera, con produzione tra l'altro di effetti acustici percepibili da osservatori e da strumenti sismici posti in vicinanza del punto di esplosione.

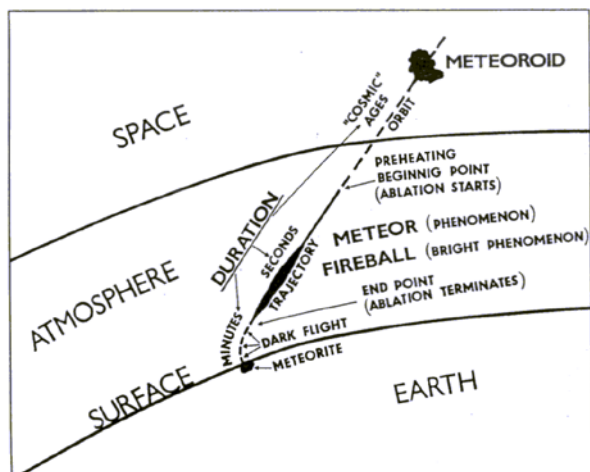


Figura 2 - Rappresentazione della caduta di un meteoride.

Flussi di meteoroidi e metodi osservativi

Per essere in grado di valutare i rischi di impatto di oggetti cosmici sulla Terra o con eventuali strutture orbitanti, quali i satelliti artificiali o la Stazione Spaziale Internazionale, negli ultimi decenni si è ritenuto opportuno studiare più in dettaglio la natura ed il flusso dei meteoroidi. Se si considerano le masse che vanno da 10^{-21} kg a 10^{15} kg, il flusso della materia interplanetaria che arriva mediamente ogni anno sulla Terra è valutato attorno a $2.2 \cdot 10^8$ kg [1], di cui solo il 30% è costituito dai meteoroidi di massa compresa tra 10^{-9} kg e 10^7 kg. Sui tempi lunghi i due intervalli di massa che danno il maggior contributo al flusso totale annuo di materia interplanetaria sulla Terra sono tra 10^{12} kg e 10^{15} kg (rappresentato per lo più da corpi di tipo roccioso o carbonaceo) e fra 10^4 kg e 10^7 kg (per lo più piccole comete inattive). Si tratta in questo caso di corpi cosmici di dimensioni comunque dell'ordine del chilometro nel primo caso e maggiori di qualche metro nel secondo. Sui tempi brevi, c'è un terzo picco significativo nella scala delle masse compresa tra 10^{-9} kg e 10^{-4} kg che corrisponde alla polvere cosmica e alle micrometeoriti. I meteoroidi appartenenti a

quest'ultimo intervallo rappresentano la maggior parte di tutta la massa proveniente dallo spazio che cade sulla Terra con l'eccezione, come già detto, dei grossi impattori che costituiscono un fenomeno sporadico.

Il grafico in figura mostra la variazione in scala bilogarithmica del numero cumulativo N dei corpi interplanetari di massa uguale o maggiore di m che entrano in un anno nell'atmosfera, rispetto alla massa m .

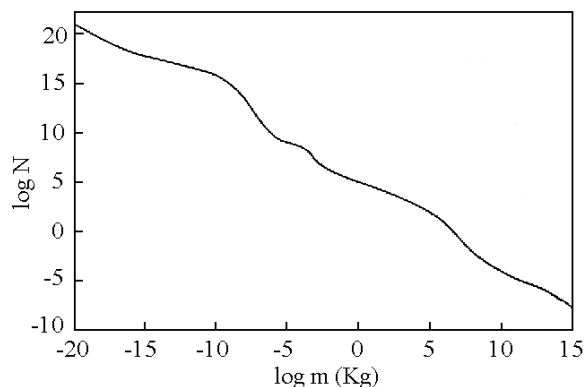


Figura 3 - Logaritmo del numero cumulativo N , di corpi interplanetari di massa uguale o maggiore di m che entrano in un anno nell'atmosfera, rispetto al logaritmo della massa m .

Essa evidenzia come l'andamento della distribuzione massa-numero di corpi interplanetari non possa essere espressa da una semplice legge di potenza poiché presenta tre intervalli di massa con marcate fluttuazioni rispetto all'andamento medio di questa distribuzione [3]. La prima regione corrisponde alla situazione in cui la dispersione delle particelle sotto l'influenza della pressione di radiazione solare predomina sul loro incremento per effetto della collisione di corpi di maggiori dimensioni. La seconda regione, invece, corrisponde all'intervallo di massa occupato dagli sciami meteorici, che hanno origine per lo più da un numero limitato di comete e asteroidi. Infine, la terza regione corrisponde alla maggioranza di corpi di probabile origine cometaria (piccole comete inattive) come è stato suggerito da Kresak (1978) e Rabinowitz (1993).

Considerato l'ampio spettro delle masse dei corpi interplanetari, il fenomeno meteorico è monitorato e studiato attraverso differenti metodi osservativi, le cui analisi possono essere poi messe in correlazione fra loro. Partendo dalle masse più piccole, le tecniche utilizzate oggi si basano sull'osservazione di microcrateri lunari, su rilevatori posti su sonde spaziali, su tecniche radar e fotografiche, sull'analisi di sedimenti marini e nei ghiacci polari e su osservazioni di asteroidi con i telescopi o con sistemi fotografici avanzati.

Tabella 1 - Spettro della materia interplanetaria nei vari intervalli di massa con i relativi metodi di osservazione e gli autori che li hanno utilizzati.

Intervallo di massa (kg)	Metodo	Autore
$10^{-21} - 10^{-9}$	Microcrateri lunari	Grun et al. (1985)
$10^{-16} - 6 \times 10^{-10}$	Sonde spaziali	Grun e Zook (1980)
$3 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-6}$	Meteorite radar	Cevolani et al. (1995)
$10^{-6} - 10^{-4}$	Meteorite fotografiche e TV (fireballs e bolidi)	Ceplecha (1988)
$8 \times 10^5 - 10^{15}$	Asteroidi Spacewatch SEAs (Small Earth Approachers)	Rabinowitz (1993)
$10^{12} - 10^{15}$	Asteroidi fotografici ECA (Earth-Crossing Asteroids)	Shoemaker et al. (1990)

La scala delle masse presenta alcune discontinuità soprattutto ai limiti tra le misure effettuate con sonde spaziali e quelle con tecniche radar, nonché in corrispondenza della soglia tra le meteorite fotografiche più luminose (fireballs e bolidi) e gli asteroidi recentemente osservati con il telescopio Spacewatch. Queste lacune, derivanti da strumenti e tecniche ancora non sufficientemente adeguati, impediscono di estendere l'osservazione a tutto l'intervallo delle masse dei corpi minori del Sistema Solare.

Origine ed evoluzione degli sciame

Il complesso interplanetario dei meteoroidi ha origine dai processi di disgregazione di altri corpi più grossi del Sistema Solare ed è costituito da due componenti fondamentali: le meteorite di sciame e quelle sporadiche. Le meteorite di sciame sembrano provenire dalla stessa regione di cielo, definita comunemente radiante, mentre quelle sporadiche non hanno un radiante definito, ma si distribuiscono casualmente sulla volta celeste.

In generale le particelle che investono la Terra possono avere origine cometaria, asteroidale o interstellare. Le prime due sorgenti sono interne al Sistema Solare, con una probabilità notevolmente maggiore che il corpo progenitore del meteorite sia di tipo cometario piuttosto che asteroidale, la terza invece è esterna. Altre sorgenti possono derivare da getti di materia espulsa dalle superfici di pianeti e satelliti per effetto di collisioni di asteroidi con essi: in questo caso, l'esplosione al suolo può scagliare nello spazio

circostante materiale con sufficiente forza da vincere l'attrazione gravitazionale del pianeta o del satellite.

I nuclei delle comete sono assimilabili a *palle di neve sporca* [4], in quanto costituiti da un conglomerato di ghiacci, principalmente acqua, ammoniaca, metano e diossido di carbonio, combinato con materiale solido carbonaceo o siliceo, vale a dire frammenti di roccia e polveri. Nel momento in cui la cometa, durante il suo moto orbitale, giunge nei pressi del Sole, normalmente a distanze inferiori a 3-4 UA, i ghiacci cometari, riscaldati dalla radiazione solare, sublimano e il materiale si trasforma direttamente dallo stato solido allo stato gassoso, liberando polveri e frammenti di roccia in essi imprigionati e formando la caratteristica chioma che avvolge il corpo cosmico. Tale materiale lascia la superficie sotto forma di getti, con una velocità di espulsione piuttosto bassa, 5 - 10 m/s, che rappresenta solo una piccola frazione della velocità orbitale della cometa, disponendosi su orbite simili a quelle del corpo progenitore. La cometa, passaggio dopo passaggio al perielio, rilascia nuovo materiale alimentando periodicamente la propria orbita di particelle, fino a quando non ha esaurito i ghiacci e i composti volatili del nucleo o cambiato la sua traiettoria a causa di perturbazioni gravitazionali. Se l'ellisse che descrive l'orbita della Terra interseca la conica costituita dalle polveri rilasciate dalla cometa, si creano le condizioni per la formazione di un nuovo sciame meteorico.

Tabella 2 - Sciame meteorici di origine cometaria.

Sciame meteorico	Massimo di attività	Cometa progenitrice
Quadrantidi	3 gennaio	Machholz
Liridi	22 aprile	Thatcher
Eta Acquaridi	5 maggio	Halley
Beta Tauridi	30 giugno	Encke
Delta Acquaridi	29 luglio	Machholz
Alpha Capricornidi	2 agosto	1948 XII
Perseidi	12 agosto	Swift-Tuttle
Draconidi	9 ottobre	Giacobini-Zinner
Orionidi	22 ottobre	Halley
Tauridi	3 novembre	Encke
Leonidi	17 novembre	Temple-Tuttle
Andromedi	29 novembre	Biela
Ursidi	23 dicembre	Tuttle

Un'altra possibile sorgente di meteoroidi sono gli asteroidi NEA (Near Earth Asteroids), che probabilmente non sono altro che i resti di collisioni tra asteroidi della Fascia Principale, quella tra Marte e Giove, oppure i resti di comete estinte [5]. Questi appartengono a tre distinte famiglie, Aten, Apollo e Amor, e si trovano su delle orbite che li portano ad

intersecare o ad avvicinare quella terrestre. La produzione di meteoroidi da parte di questi asteroidi è accidentale, cioè è dovuta a fenomeni di collisione tra gli stessi con conseguente formazione di detriti e polveri che, quando entrano a contatto con l'atmosfera terrestre, producono il ben noto fenomeno meteorico.

Tabella 1.3 - *Sciame meteorici di origine asteroidale.*

Sciame meteorico	Massimo di attività	Asteroide progenitore
Fi Bootidi	1 maggio	1620 Gographos, 1978 CA
Arietidi	2 giugno	1566 Icarus
Tau Erculidi	3 giugno	1087 SJ3
Bootidi	27 giugno	1987 PA
Sigma Capricornidi	12 luglio	2101 Adonis
Camelopardidi	13 agosto	1221 Amor, 3288 Seleucus
Kappa Acquaridi	20 settembre	4179 Toutatis
Chi Orionidi	1 dicembre	2201 Oljato
Geminidi	13 dicembre	3200 Phaeton

Recentemente, sono state misurate velocità eliocentriche di meteoroidi superiori a quella di fuga del Sistema Solare nei dintorni della Terra (fino a 200 km/s). È molto probabile che un oggetto celeste con tali caratteristiche non appartenga al Sistema Solare e quindi si è ipotizzato che provenga da regioni esterne e che segua delle traiettorie spiccatamente iperboliche. Tale flusso non proviene uniformemente da tutte le direzioni, ma sembra presentare due picchi, dovuti al moto dell'intero Sistema Solare attorno al centro galattico e a quello verso le stelle vicine [6].

Bibliografia

- [1] Huges D.W.: in *Meteoroids and their Parent Bodies*, edito da J. Stohl e I.P. Williams, p. 15, (1993)
- [2] Whipple F.L.: A comet model. The acceleration of comet Encke, *Astrophysical Journal*, 111, p. 375-392, (1950)
- [3] Ceplecha Z.: Influx of interplanetary bodies onto Earth, *Astronomy and Astrophysics*, 263, p. 361-366, (1992)
- [4] Whipple F.L.: The cometary nucleus: current concepts, *Astronomy and Astrophysics*, 187, p. 852-858, (1987)
- [5] Drummond J.D.: Earth-Orbit-Approaching Comets and their Theoretical Meteor Radiants, *Icarus*, 47, p. 500-517, (1981)
- [6] Taylor A.D., Baggaley W.J., Steel D.I.: Discovery of interstellar dust entering the earth's atmosphere, *Nature*, 380, p. 323-325, (1996)