

spazio e insegnamento

→ RICETTA PER UNA COMETA

Gli ingredienti della vita?



→ INTRODUZIONE

Le comete sono considerate delle capsule del tempo contenenti importanti informazioni sulle condizioni del sistema solare ai suoi albori. Per comprendere cosa sono le comete, quali sono le loro origini e in che modo influiscono sull'evoluzione della Terra, è necessario scoprire di che materiale sono fatte. Questa dimostrazione didattica e l'attività pratica proposta agli studenti, insieme alla discussione che ne scaturisce, danno un'idea dei costituenti chimici di una cometa. A seguire, vengono anche proposte una discussione e un'attività di approfondimento riguardanti gli impatti sulla Terra e il calcolo dell'energia cinetica.

In breve	pag. 3
Quadro di riferimento	pag. 4
Attività: Ricetta per una cometa	pag. 12
Discussione	pag. 14
Discussione di approfondimento	pag. 18
Conclusioni	pag. 21
Schede studenti	pag. 22
Lo spazio e l'ESA	pag. 24
Giotto	pag. 24
SOHO	pag. 27
Cometa 103P/Hartley e Herschel	pag. 28
Rosetta	pag. 29
Appendice	pag. 32
Glossario	pag. 32
Worksheet answers	pag. 33
Collegamenti	pag. 36

→ RICETTA PER UNA COMETA

Gli ingredienti della vita?

IN BREVE

Fascia d'età: 14-18 anni

Tipologia: dimostrazione didattica e attività per gli studenti

Complessità: facile

Tempo per la preparazione del docente: 20 minuti

Durata della lezione: 20 minuti - 1 ora

Costo per kit completo: medio (5 - 25 euro)

Luogo: interno (aula spaziosa e ben ventilata)

Previsto l'uso di: ghiaccio secco (biossido di carbonio solido ad una temperatura inferiore a -78°C)

Obiettivi di apprendimento

1. Comprendere le differenze di base tra asteroidi e comete.
2. Familiarizzare con i parametri relativi alla composizione di base di una cometa.
3. Riuscire a svolgere calcoli semplici sulle conversioni energetiche che avvengono in caso di impatto di una cometa o di un asteroide con un pianeta.

Linee generali

In quest'attività, il docente e gli studenti riprodurranno, tramite una simulazione, il nucleo di una cometa in aula. Gli ingredienti usati ricalcano fedelmente il materiale trovato nel nucleo di una cometa vera e propria, come si è appreso dagli esami spettroscopici combinati con i risultati derivanti dai voli radar effettuati dai veicoli spaziali in missione presso varie comete.

Altro materiale utile



↑ Video 'Cooking a comet' (versione inglese). Consultare la sezione 'Collegamenti'.

Collegamenti interdisciplinari

Fisica

- Energia cinetica
- Conservazione dell'energia
- Cambiamenti di fase
- Processi di impatto
- Orbite (nel sistema solare)

Astronomia

- Ubicazione e natura di asteroidi e comete
- Identificazione delle caratteristiche di una cometa (nucleo, chioma, code di polveri e ioni)
- Conseguenze delle collisioni nel sistema solare
- Associazione della Fascia di Kuiper e della Nube di Oort con le comete
- Sonde spaziali che studiano i corpi del sistema solare

Chemistry

- Cambiamenti di fase

Prerequisiti degli studenti

1. Conoscenza dell'equazione dell'energia cinetica.
2. Concetti di spettroscopia e radiazioni infrarosse.

→ INFORMAZIONI GENERALI

Cosa sono le comete?

Le comete sono piccoli mondi di ghiaccio che hanno origine principalmente in due regioni del sistema solare (Figura 1). Le comete a breve periodo (quelle con un periodo orbitale* inferiore a 200 anni) hanno origine nella Fascia di Kuiper Belt, una raccolta discoidale di residui di ghiaccio scampati alla formazione del sistema solare e ubicata oltre l'orbita di Nettuno. Le comete a lungo periodo (quelle con un periodo orbitale fino a decine di migliaia di anni), invece, sembrano avere origine da un alone sferico di materiale ghiacciato ubicato in una regione posta ai confini del nostro sistema solare e noto come Nube di Oort. Posta ad una distanza di molte migliaia di unità astronomiche (UA)*, la Nube di Oort è troppo distante per essere raffigurata direttamente. Occorre piuttosto tracciare l'orbita di una cometa a lungo periodo andando indietro nel tempo per determinarne l'origine (Figura 2).



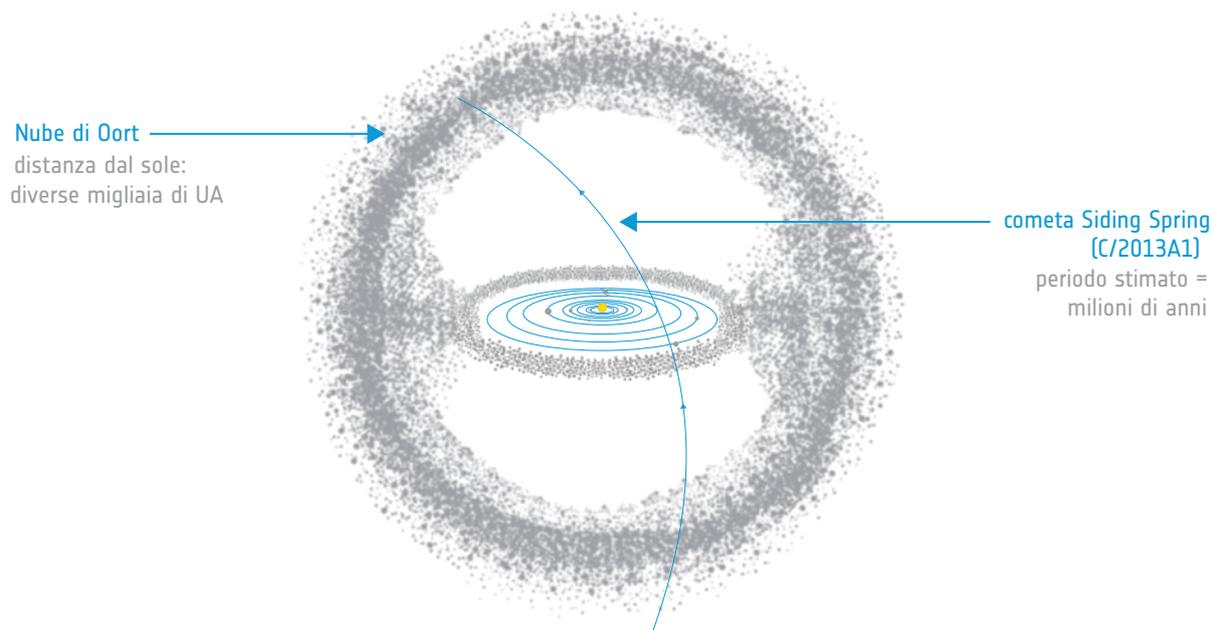
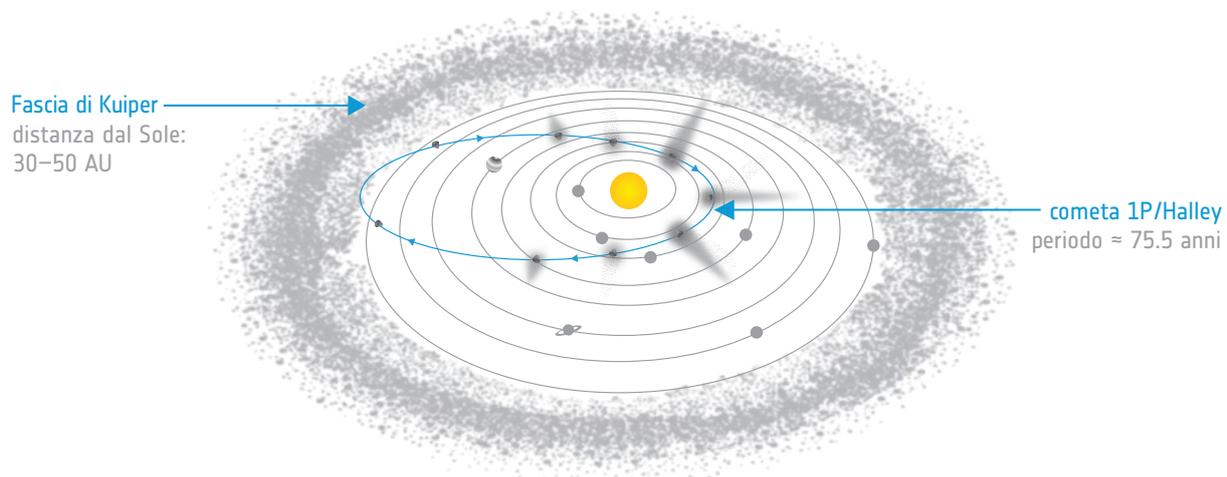
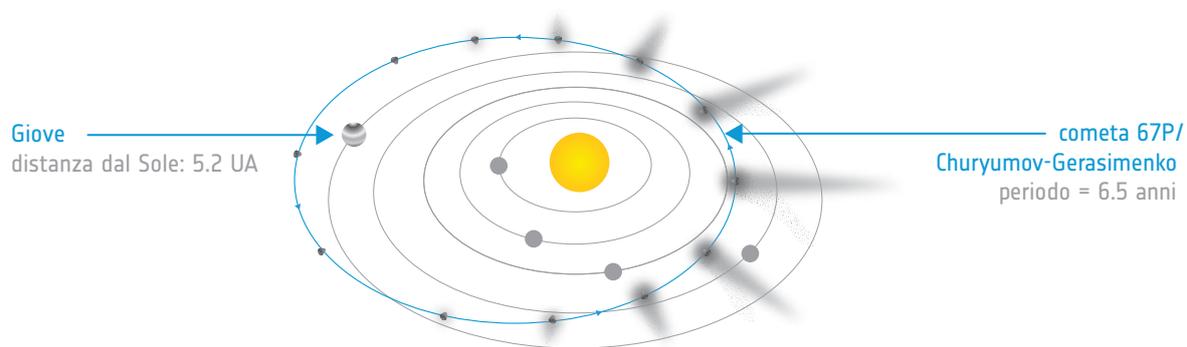
↑ Foto della cometa Hale-Bopp scattata in Croazia.

Le comete compiono, generalmente, delle orbite stabili attorno al Sole. Tuttavia, gli oggetti della Fascia di Kuiper possono essere influenzati dai campi gravitazionali dei pianeti giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), mentre gli oggetti della Nube di Oort da **perturbazioni gravitazionali*** causate dal moto di altre stelle. Queste perturbazioni possono occasionalmente modificare le orbite di questi piccoli mondi freddi e deviarli verso il sistema solare interno.

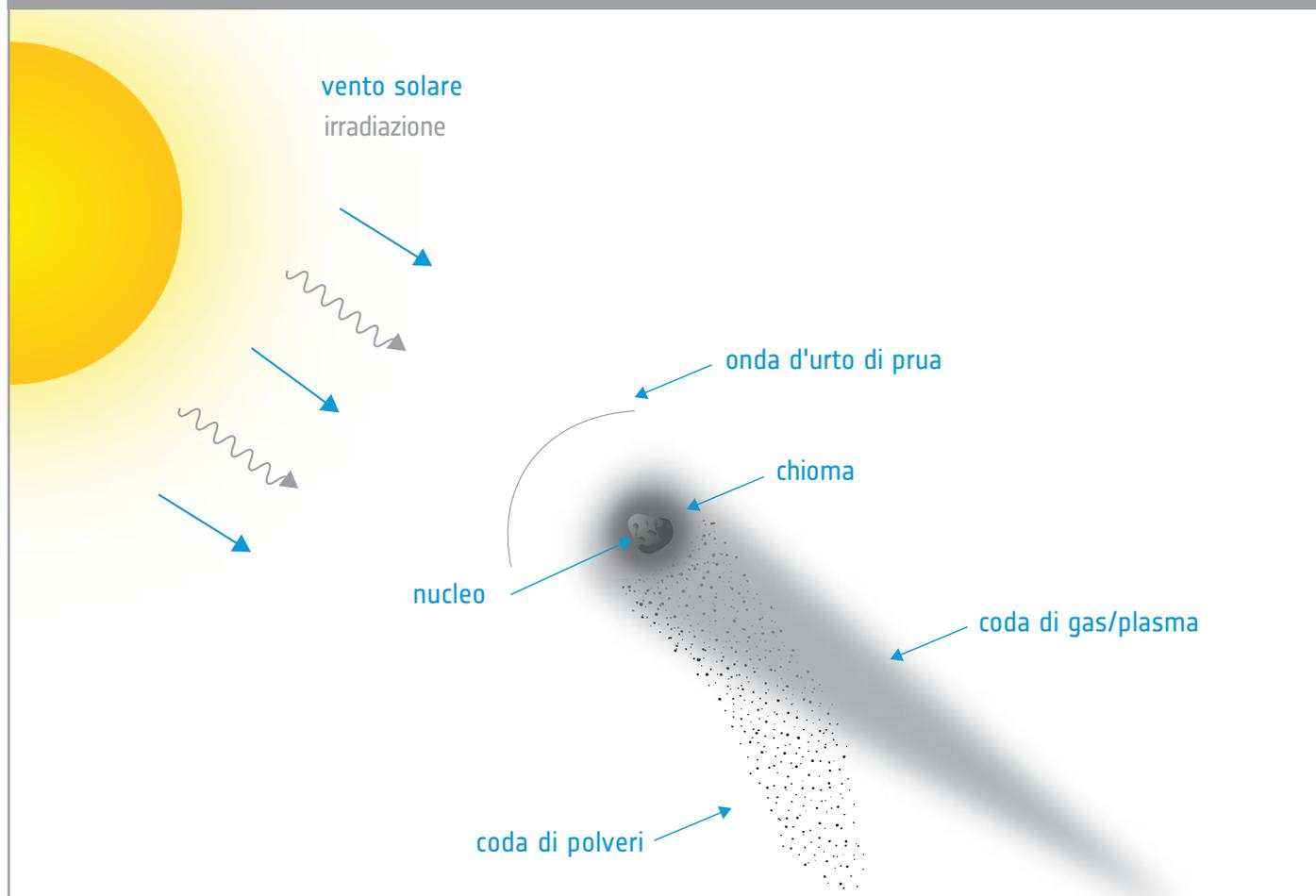
Quando si avvicinano al Sole, questi oggetti iniziano a riscaldarsi e il ghiaccio contenuto al loro interno **sublima***. A questo punto la struttura originaria viene definita 'nucleo'. Quando il nucleo si riscalda, rilascia polveri e gas che formano una sottile ma estesa 'atmosfera' nota come chioma (Figura 3).

Man mano che la cometa si avvicina al Sole, l'interazione della chioma con i crescenti livelli di radiazione solare e il **vento solare*** producono quelle spettacolari 'code' a cui siamo soliti associare l'immagine delle comete. Molto raramente le code sono talmente luminose da essere avvistate da un osservatore terrestre alla luce del giorno.

- *Unità astronomica (UA): 1 UA è la distanza media tra la Terra e il Sole, o il raggio dell'orbita terrestre, pari a circa 150 milioni di chilometri.
- *Perturbazioni gravitazionali: cambiamenti dell'orbita di un corpo celeste (p. es. un pianeta o una cometa) come conseguenza delle interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (p. es. pianeti giganti, altre stelle).
- *Periodo orbitale: tempo impiegato a completare un'orbita.
- * Vento solare: flusso di particelle ad alta carica (plasma) emesso dall'atmosfera superiore del sole in tutte le direzioni. Principalmente composto da elettroni e protoni.
- *Sublimare (sublimazione): quando una sostanza, in seguito ad un processo di riscaldamento, passa direttamente dallo stato solido a quello gassoso, senza diventare liquida. Quando il gas si raffredda di nuovo, forma solitamente un deposito solido.



↑ Orbite delle comete nel sistema solare.



↑ Anatomia di una cometa.

Non tutte le code delle comete sono spettacolari come quella mostrata nella Figura 1, o addirittura visibili dalla Terra. È la dimensione del nucleo, i suoi costituenti, la vicinanza al Sole, e il numero di volte che si è avvicinata al Sole in passato a determinarne la spettacolarità. Una volta raggiunto il culmine di avvicinamento al Sole (perielio*), la cometa torna nella regioni più fredde del sistema solare, avendo perso in modo permanente parte della sua massa.

Le comete descrivono orbite ellittiche di cui il Sole occupa un fuoco (Figura 2), pertanto sono visibili solo per un breve periodo di tempo, vale a dire quando si avvicinano al perielio. Nel caso di comete che descrivono ellissi molto allungate, il perielio rappresenta una minuscola frazione del tempo impiegato a completare un'orbita attorno al Sole. Le comete trascorrono gran parte della loro esistenza a compiere un viaggio in decelerazione dal Sole all'afelio* e in accelerazione verso il Sole, e quindi il perielio, a causa degli effetti provocati dalla gravità del Sole.

Per maggiori informazioni sulle orbite ellittiche e sulle orbite delle comete, fare riferimento alle risorse didattiche 'ESA. Spazio e insegnamento: ellissi meraBigliose | Po2' (consultare la sezione Collegamenti).

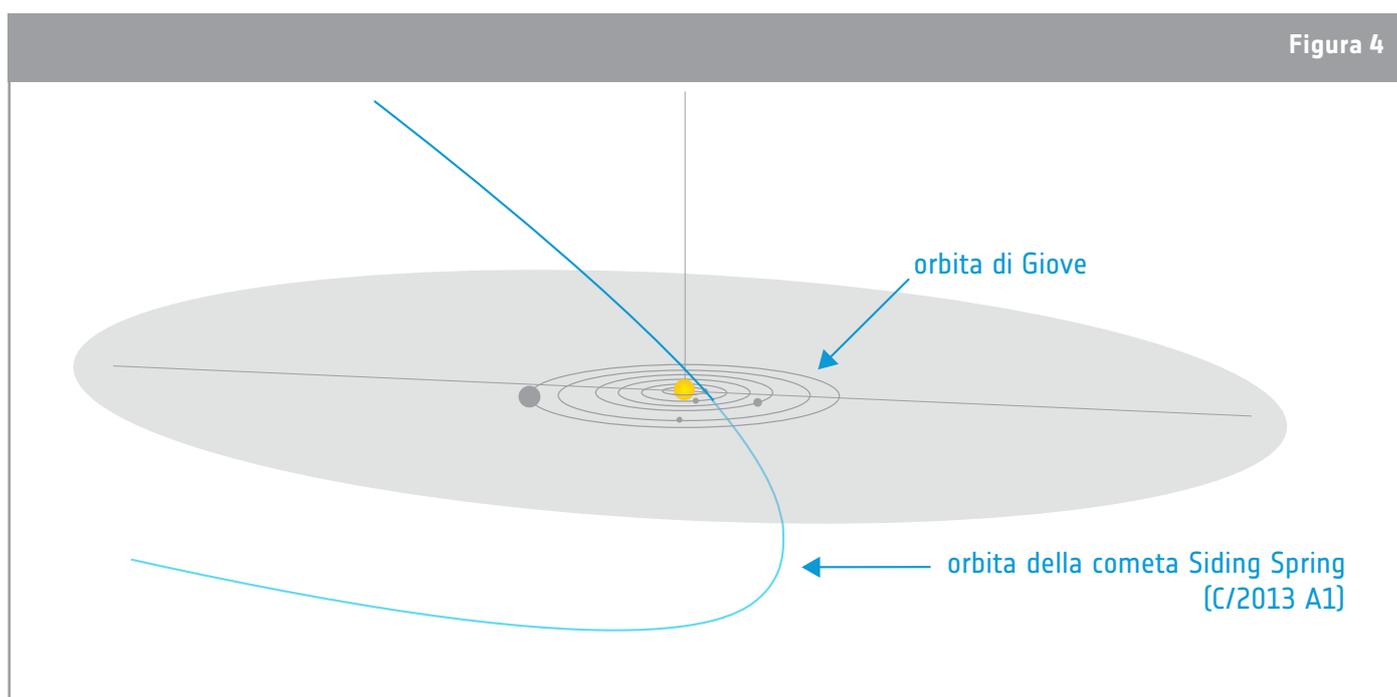
***Afelio**: in un'orbita, il punto di massima distanza dal Sole.

***Onda d'urto di prua (cometa)**: superficie di interazione tra gli ioni nella chioma di una cometa e il vento solare. Si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. Si forma nella parte anteriore della cometa nella direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, elevate concentrazioni di ioni cometari si accumulano caricando di plasma il campo magnetico solare. Ne risulta che le linee del campo si curvano attorno alla cometa, convogliando gli ioni cometari e dando così origine alla coda di gas/plasma/ioni.

***Perielio**: in un'orbita, il punto di massima vicinanza al Sole.

Impatti nel sistema solare

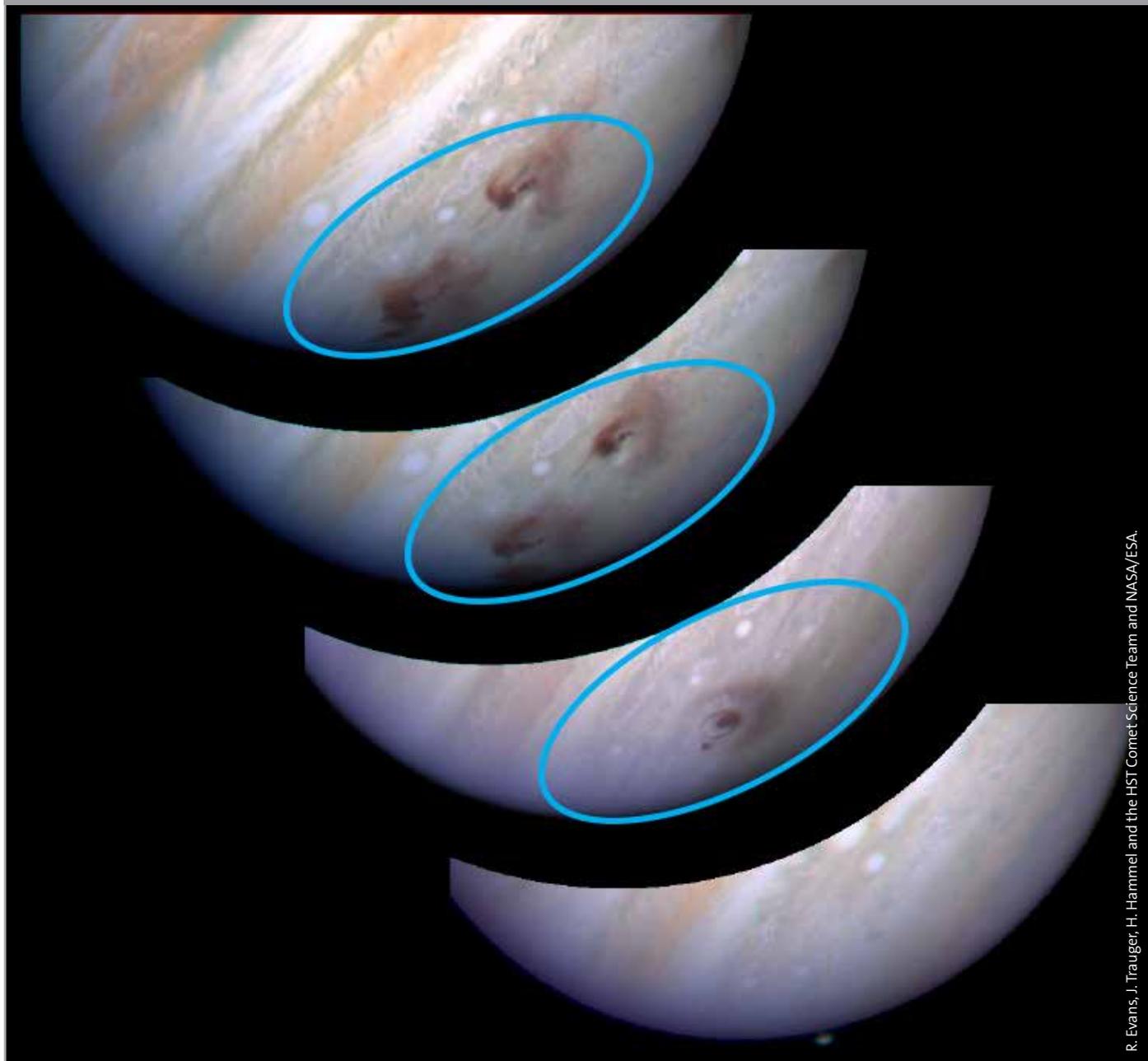
La Figura 2 mostra i percorsi orbitali di 3 diverse comete. In tutti e tre i casi sembra verificarsi un'intercettazione di orbite planetarie, da cui si dedurrebbe l'inevitabilità di collisioni tra comete o asteroidi e pianeti. Tuttavia, le orbite delle comete provenienti dalla Nube di Oort possono essere molto inclinate rispetto al piano del sistema solare (eclittico). Pertanto, per motivi di prospettiva, molti dei percorsi che in apparenza sembrano incrociare direttamente le orbite planetarie sono solo frutto di una percezione ingannevole. Per esempio, il percorso della cometa Siding Spring (C/2013 A1) durante il suo avvicinamento al perielio nel 2014 mostra una forte inclinazione rispetto al piano orbitale terrestre (Figura 4).



↑ Percorso della cometa Siding Spring (C/2013 A1) attraverso il sistema solare.

Tuttavia, ci sono delle prove schiaccianti che dimostrano come i pianeti vengano regolarmente (parliamo di scale temporali geologiche) colpiti da comete e asteroidi. Gli impatti hanno formato la maggior parte dei crateri osservati sulla superficie di satelliti e pianeti in tutto il sistema solare. Anche se la frequenza più elevata si è registrata ai primordi della storia del sistema solare (tardo bombardamento cosmico), gli impatti avvengono ancora oggi.

Nel 1994, numerosi frammenti della cometa Shoemaker-Levy 9 (D/1993 F2) colpirono la superficie di Giove. Il più grande solco osservato, lasciato dall'impatto, aveva un diametro di migliaia di chilometri. A causarlo fu il frammento G della cometa, grande appena pochi chilometri. È possibile vedere gli effetti di questo impatto sull'atmosfera di Giove nella Figura 5, un montaggio di immagini scattate al rallentatore dal telescopio spaziale Hubble.



R. Evans, J. Trauger, H. Hammel and the HST Comet Science Team and NASA/ESA.

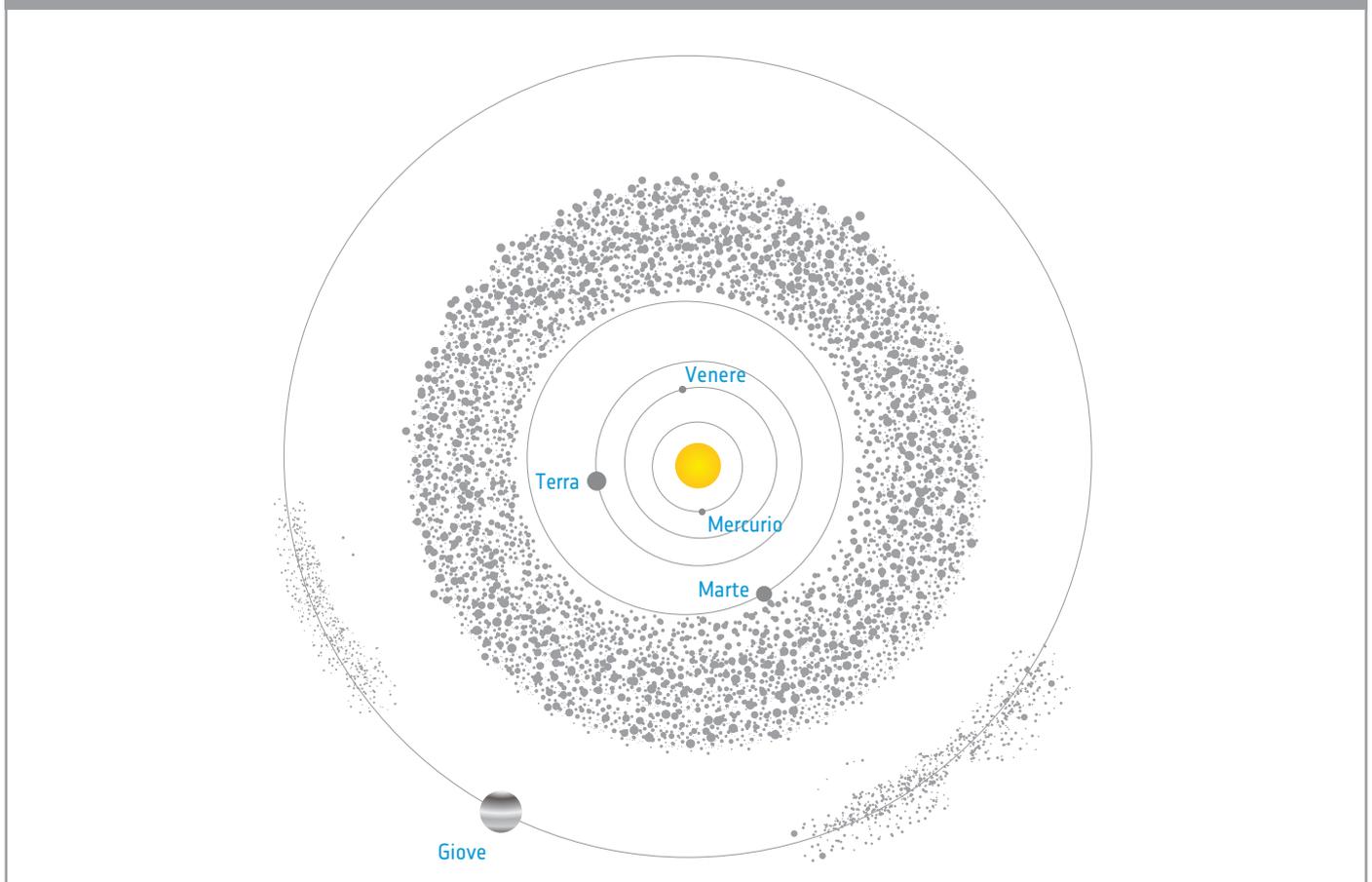
↑ Questo mosaico di immagini mostra l'evoluzione del luogo dell'impatto di G su Giove (evidenziato dall'ellisse blu).

Asteroidi

Le comete non sono gli unici oggetti a colpire la Terra e gli altri corpi del sistema solare. Gli asteroidi, che hanno origine in gran parte nella 'fascia principale' compresa tra Marte e Giove (Figura 6), sono grossi oggetti di pietra e metallo. Nel complesso gli asteroidi si sono formati in una regione molto più vicina al Sole e quindi contengono meno elementi leggeri rispetto alle comete. La loro composizione è principalmente costituita da metalli, ossidi di metallo, minerali e silicati. Nelle comete, la maggiore quantità di elementi leggeri, come il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto, il fosforo e lo zolfo, consente la formazione di certi composti come l'acqua, il metano e il biossido di carbonio.

I più grandi asteroidi conosciuti sono Vesta e Pallas, che hanno un diametro di più di 500 km. La Figura 7 mette a confronto le dimensioni di alcuni asteroidi e comete. Gli asteroidi dalla forma irregolare mostrati nella Figura 7 sono molto più piccoli di Vesta e Pallas, ma molti sono considerevolmente più grandi dei nuclei delle comete raffigurate.

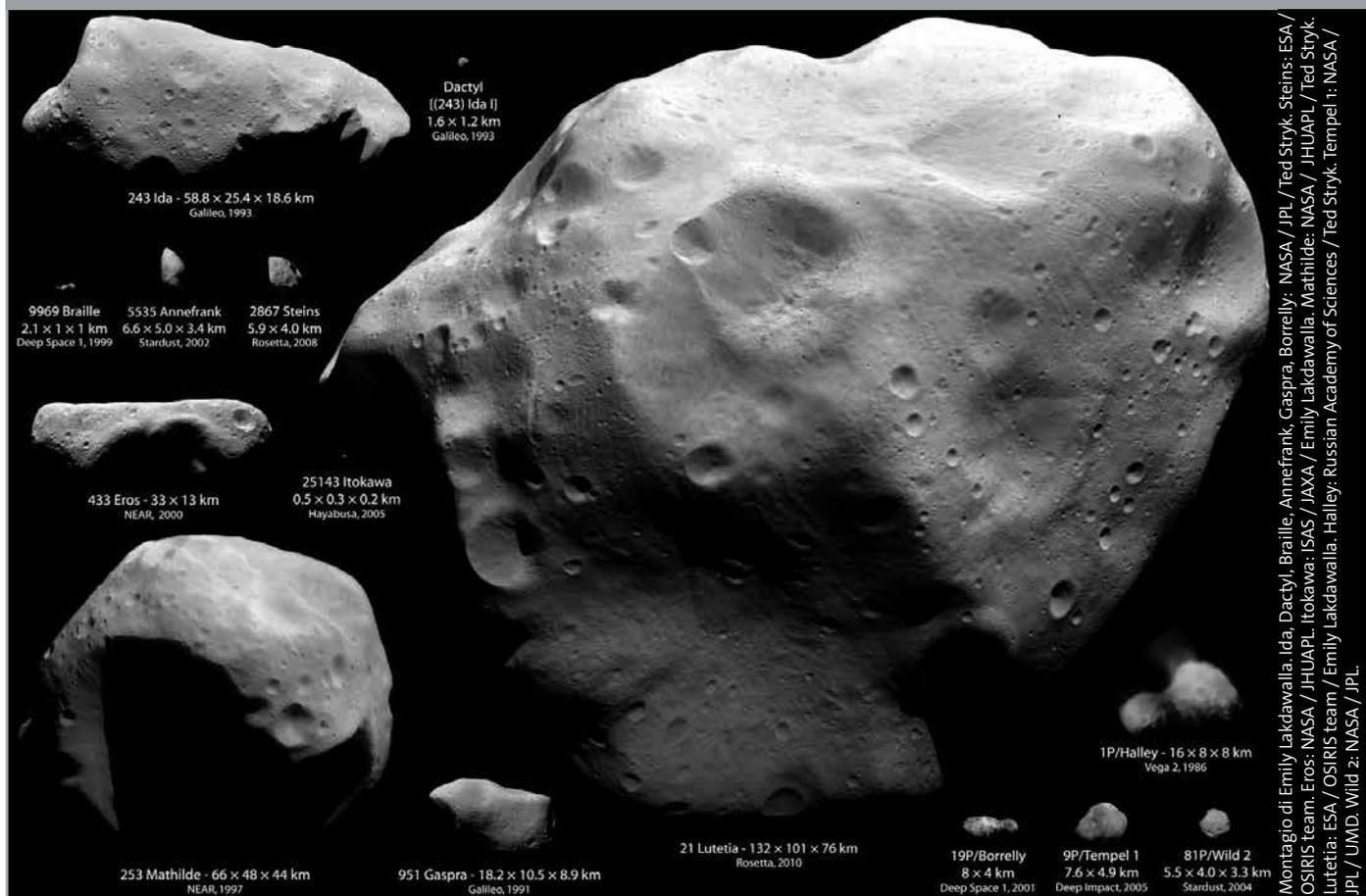
Figura 6



↑ Diagramma della distribuzione degli asteroidi nel sistema solare. La maggior parte degli asteroidi risiede nella 'fascia principale' compresa tra le orbite di Marte e di Giove. Altri corposi gruppi sono rappresentati dagli asteroidi Troiani di Giove, che si concentrano lungo l'orbita di Giove nei punti lagrangiani* L4 e L5.

*Punti lagrangiani: in qualsiasi configurazione orbitale ci sono cinque punti in cui un oggetto, soggetto solo alla forza gravitazionale, può orbitare stabilmente. Per maggiori informazioni vedere il video di 'ESA. Spazio e insegnamento: Gravity Wells | VPO4' (versione inglese). Consultare la sezione Collegamenti.

Figura 7



Montaggio di Emily Lakdawalla. Ida, Dactyl, Braille, Annefrank, Gaspra, Borrelly: NASA / JPL / Ted Stryk. Steins: ESA / OSIRIS team. Eros: NASA / JHUAPL. Itokawa: ISAS / JAXA / Emilly Lakdawalla. Mathilde: NASA / JHUAPL / Ted Stryk. Lutetia: ESA / OSIRIS team / Emilly Lakdawalla. Halley: Russian Academy of Sciences / Ted Stryk. Tempel 1: NASA / JPL / UMD. Wild 2: NASA / JPL.

↑ Confronto dimensionale tra asteroidi e comete.

Impatti sulla Terra

L'attività tettonica e l'azione degli agenti atmosferici fanno sì che sulla superficie terrestre i crateri durino generalmente qualche milione di anni prima di non essere più visibili. Tuttavia, è possibile usare l'analisi geologica delle rocce presenti sotto la superficie, e altre caratteristiche, per recuperare informazioni sul passato di un cratere. All'inizio del 1990 ciò ha portato alla conferma che circa 65 milioni di anni fa una cometa o un asteroide, con un diametro di circa 10 km, colpì la Terra nell'area ora nota come Yucatán, in Messico. L'impatto diede origine ad un cratere dal diametro superiore ai 150 km. Il cambiamento climatico che ne conseguì fu tra le principali cause di una delle più grandi estinzioni nella storia geologica della Terra – l'estinzione del Cretaceo-Paleocene – che alla fine condusse alla scomparsa dei dinosauri.

Su una scala temporale molto più recente, si sono formati crateri più piccoli ancora visibili, come il cratere meteoritico (noto anche come cratere di Barringer) in Arizona, negli Stati Uniti, mostrato nella Figura 8.

Figura 8



↑ Immagine a sinistra: Cratere meteoritico, Arizona, Stati Uniti. Immagine a destra: Cratere meteoritico fotografato dalla Stazione Spaziale Internazionale

Il cratere meteoritico si formò circa 50.000 anni fa in seguito all'impatto di un asteroide composto da nichel e ferro caduto nelle pianure americane dell'Arizona. L'impatto diede origine ad un cratere profondo circa 200 m e largo 1,5 km. I frammenti del corpo meteoritico si sparsero su tutto il territorio circostante.

Nel 1908, un asteroide o una cometa, con un diametro presunto di oltre 50 m, esplose a 5-10 km di altitudine sopra una remota area forestale nei pressi del fiume Tunguska nell'attuale regione russa di Krasnoyarsk. Sebbene si ritenga che l'asteroide, o cometa, non abbia colpito la superficie terrestre, la forza dell'esplosione provocò l'abbattimento di un'area forestale di oltre 2000 km² (Figura 9).

Figura 9



↑ Alberi abbattuti nell'esplosione di Tunguska.

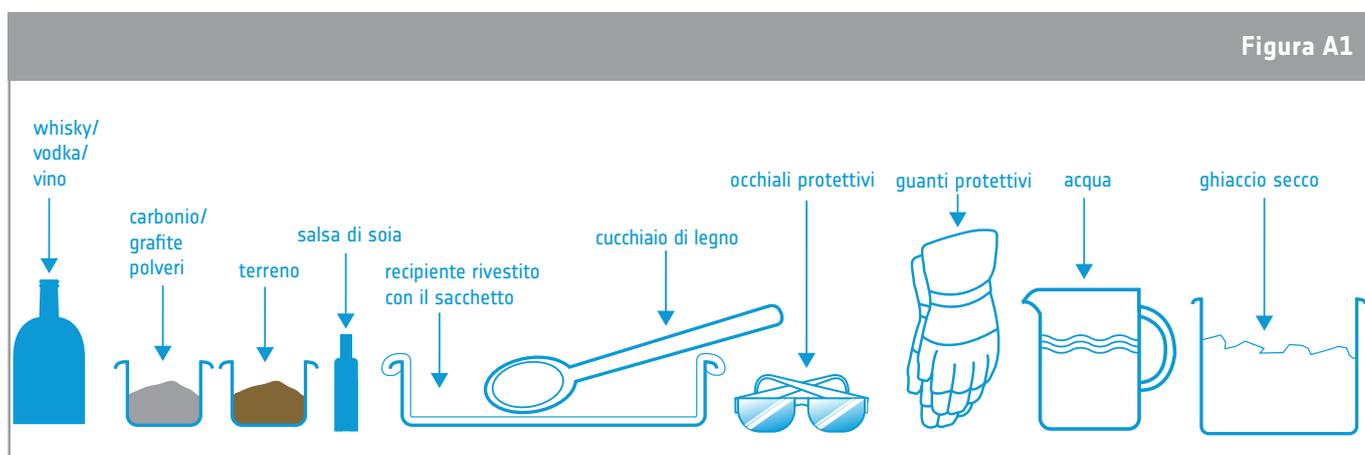
Ricetta per una cometa

In questa dimostrazione, il docente riprodurrà, tramite una simulazione, il nucleo di una cometa in aula. Gli ingredienti usati ricalcano fedelmente il materiale trovato nel nucleo di una cometa vera e propria.

La versione dell'esperimento per gli studenti prevede l'utilizzo di quantità inferiori di materiale all'interno di bicchieri di plastica. È importante che gli studenti ricevano istruzioni chiare sui possibili pericoli e si attengano alle linee guida relative alla salute e alla sicurezza. Le istruzioni per gli studenti sono fornite nella scheda inserita al termine dell'attività.

Materiale

- Ghiaccio secco (0,75 litri, pezzi più piccoli disponibili)
- Acqua (0,75 litri circa)
- Sacchetti per i rifiuti
- 10 cucchiaini da tavola (o 4 grandi cucchiaini di legno) di terreno (assicurarsi che non ci siano blocchi nel terreno)
- 2-3 cucchiaini di polveri di carbonio o di grafite
- 2-3 cucchiaini di whisky, vodka o vino rosso (componente: metanolo/etanolo)
- Qualche goccia di salsa di soia (componente organico)
- Qualche goccia di un prodotto per pulire (componente: ammoniaca)
- Ampio recipiente di plastica
- Secchio per i rifiuti
- Cucchiaino di legno
- Schermo protettivo trasparente
- Contenitore di polistirolo per il ghiaccio secco
- Guanti termici di protezione
- Occhiali di protezione per tutti i partecipanti e per l'esecutore dell'esperimento
- Camice da laboratorio per l'esecutore dell'esperimento (opzionale)
- Contenitori graduati



↑ Preparazione dell'esperimento.

Salute e sicurezza

- Quando si maneggia il ghiaccio secco, indossare sempre occhiali e guanti di protezione. Non toccare, ingoiare o assaggiare il ghiaccio secco. Fornire agli studenti istruzioni precise sui possibili pericoli e sulla distanza da mantenere rispetto al punto in cui viene eseguito l'esperimento dal momento che la cometa potrebbe provocare schizzi.
- Non sigillare il ghiaccio secco in un contenitore poiché potrebbero prodursi gas esplosivi.
- Una volta terminato l'esperimento, gettare la cometa all'esterno, in un'area ben ventilata e non accessibile agli studenti.
- Non conservare mai il ghiaccio secco in un freezer domestico.
- Eseguire l'esperimento in una stanza ben ventilata.

Istruzioni

Fare riferimento al video di accompagnamento: Spazio e insegnamento: 'Cooking a Comet' | VCO3 (versione inglese).

1. Rivestire il recipiente con un sacchetto per i rifiuti. Suggeriamo di inserire il recipiente nel sacchetto, coprendo il contenitore con la parte superiore del sacchetto. Questo faciliterà lo smaltimento della cometa. Assicurarsi che la base del sacchetto aderisca bene al fondo del recipiente.
2. Aggiungere i seguenti ingredienti: acqua, terreno, polveri di carbonio, vino/whisky/vodka, prodotto per pulire e salsa di soia. Sono alcuni dei componenti di una vera cometa. Invitare degli studenti ad aggiungere personalmente alcuni degli ingredienti. Mescolare bene il tutto con un cucchiaio di legno.
3. Aggiungere il ghiaccio secco. Mescolare la miscela di acqua e ghiaccio secco. È utile avere un assistente che inclini il contenitore mentre si mescola. A questo punto indossare i guanti di protezione e aggregare la cometa in un'unica massa per circa 30 secondi. Se la cometa non aderisce bene, aggiungere un po' d'acqua. Non comprimere eccessivamente per non rischiare di rompere la cometa.
4. Aprire e rimuovere con cautela il sacchetto per estrarre la riproduzione del nucleo di una cometa.
5. Una volta terminata la dimostrazione, riporre la cometa nel contenitore e togliere il contenitore dal sacchetto, chiudendo la cometa nel sacchetto. Depositare il sacchetto nel secchio per lo smaltimento. Consentire ad eventuali gas formati all'interno del sacchetto di fuoriuscire. Gettare il nucleo in un'area esterna ad accesso limitato. Il ghiaccio secco contenuto nel nucleo dovrebbe sublimare nell'arco di 24 ore.

Suggerimento: se l'esperimento è eseguito in mattinata, gli studenti potrebbero tornare nel pomeriggio per vedere l'evoluzione della cometa.

Con la pratica i risultati saranno migliori! Perciò, per ottenere i migliori risultati, consigliamo di fare pratica parecchie volte prima di eseguire l'esperimento con gli studenti.

Discussione

In che modo gli ingredienti utilizzati rappresentano ciò che è realmente presente nel nucleo di una cometa? Quali sono le implicazioni per la vita sul nostro pianeta?

Le prime osservazioni spettroscopiche delle comete ebbero luogo tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo. La spettroscopia consentì agli astronomi di iniziare a scoprire la composizione chimica della chioma di una cometa. Le prime osservazioni identificarono la presenza di carbonio biatomico, ioni di sodio e una varietà di molecole a base di carbonio, ossigeno e azoto.

Nel 1950, l'astronomo americano Fred Whipple propose un modello per la descrizione del nucleo di una cometa. Il modello della 'palla di neve sporca' proposto da Whipple suggeriva che le comete avessero un nucleo ghiacciato composto da tracce di polveri, roccia ed elementi volatili in gran parte congelati, come **acqua, biossido di carbonio, metano e ammoniaca**. Le osservazioni condotte sia da terra che dallo spazio hanno confermato il modello di Whipple, seppur con qualche piccola modifica dal momento che il nucleo della cometa risultò essere più grande e più scuro rispetto al modello proposto.

Uno studio recente condotto sulla cometa 103P/Hartley ha mostrato che il suo contenuto d'**acqua** ha lo stesso rapporto isotopico fra le quantità di deuterio e di idrogeno (acqua pesante) degli oceani terrestri. Si è trattato di una scoperta molto significativa. L'acqua è una molecola fondamentale per la vita come noi la conosciamo. È un solvente universale che consente a vari componenti chimici di sciogliersi al suo interno. Gli scienziati ritengono che l'acqua sia alla base dello sviluppo della vita. Gli impatti cometari avvenuti all'inizio della storia della Terra potrebbero essere stati la principale fonte di deposito delle originarie acque terrestri.

Il contenuto di **carbonio** delle comete è significativo perché la vita dipende fortemente da quest'elemento. Quest'ingrediente fondamentale per la vita sulla Terra potrebbe essere stato portato proprio dagli impatti delle comete.

La **salsa di soia** rappresenta gli amminoacidi e i precursori degli amminoacidi presenti nelle comete. Nel 2004 la missione Stardust, della NASA, ha raccolto dei campioni di polveri nella chioma della cometa 81P/Wild e le ha portate sulla Terra. Le analisi condotte su di essi hanno confermato la presenza di glicina, il più semplice degli amminoacidi. La scoperta fu di un'importanza monumentale. Gli amminoacidi sono i blocchi di costruzione delle proteine. Come tali, sono alla base della costruzione della vita stessa. Trovare queste molecole biologiche (formula chimica $C_2H_5NO_2$) su un corpo celeste diverso dalla Terra potrebbe essere per gli scienziati l'indizio che alcuni degli ingredienti alla base della vita sul nostro pianeta siano stati portati dagli impatti cometari miliardi di anni fa.

Oltre al **biossido di carbonio** (ghiaccio secco) usato nella dimostrazione, la spettroscopia ha rilevato la presenza di altri gas nelle chiome delle comete. L'elenco comprende, tra gli altri, quelli indicati nella Tabella 1.

Table A1

C_2H_4	etilene
NH_3	ammoniaca
CH_4	metano
C_2H_6	etano
$C_2H_5NH_2$	etilammina
O_2	ossigeno
CH_3OH	metanolo
NH_2CH_2OH	aminometanolo
H_2O_2	perossido di idrogeno
H_2	idrogeno
CH_3COOH	acido acetico
CH_3NH_2	metilammina
C_2H_2	acetilene
HCN	cianuro di idrogeno

↑ Gas trovati nei nuclei delle comete.

Cos'è il ghiaccio secco?

Il ghiaccio secco è biossido di carbonio congelato, CO_2 , un gas a temperature e condizioni di pressione inferiori a quelle standard.

Il processo di sublimazione, durante il quale il biossido di carbonio passa direttamente da uno stato solido a uno gassoso, è responsabile della formazione della chioma di una cometa. Il processo inverso è chiamato desublimazione, o deposizione. In condizioni di normale pressione atmosferica, il biossido di carbonio passa direttamente da uno stato gassoso a uno stato solido, con la conseguente formazione di ghiaccio secco, ad una temperatura di $-78^{\circ}C$.

Cosa sono le nubi/fumi di colore bianco che abbiamo visto durante la dimostrazione?

Poiché il ghiaccio secco usato nella dimostrazione arriva a una temperatura superiore ai $-78^{\circ}C$, esso sublima formando un gas freddo. Ciò comporta il raffreddamento del vapore acqueo presente nell'aria circostante, che condensa formando le nubi bianche fluttuanti che abbiamo osservato.

Cosa causa la fuoriuscita esplosiva di gas che abbiamo visto durante la dimostrazione?

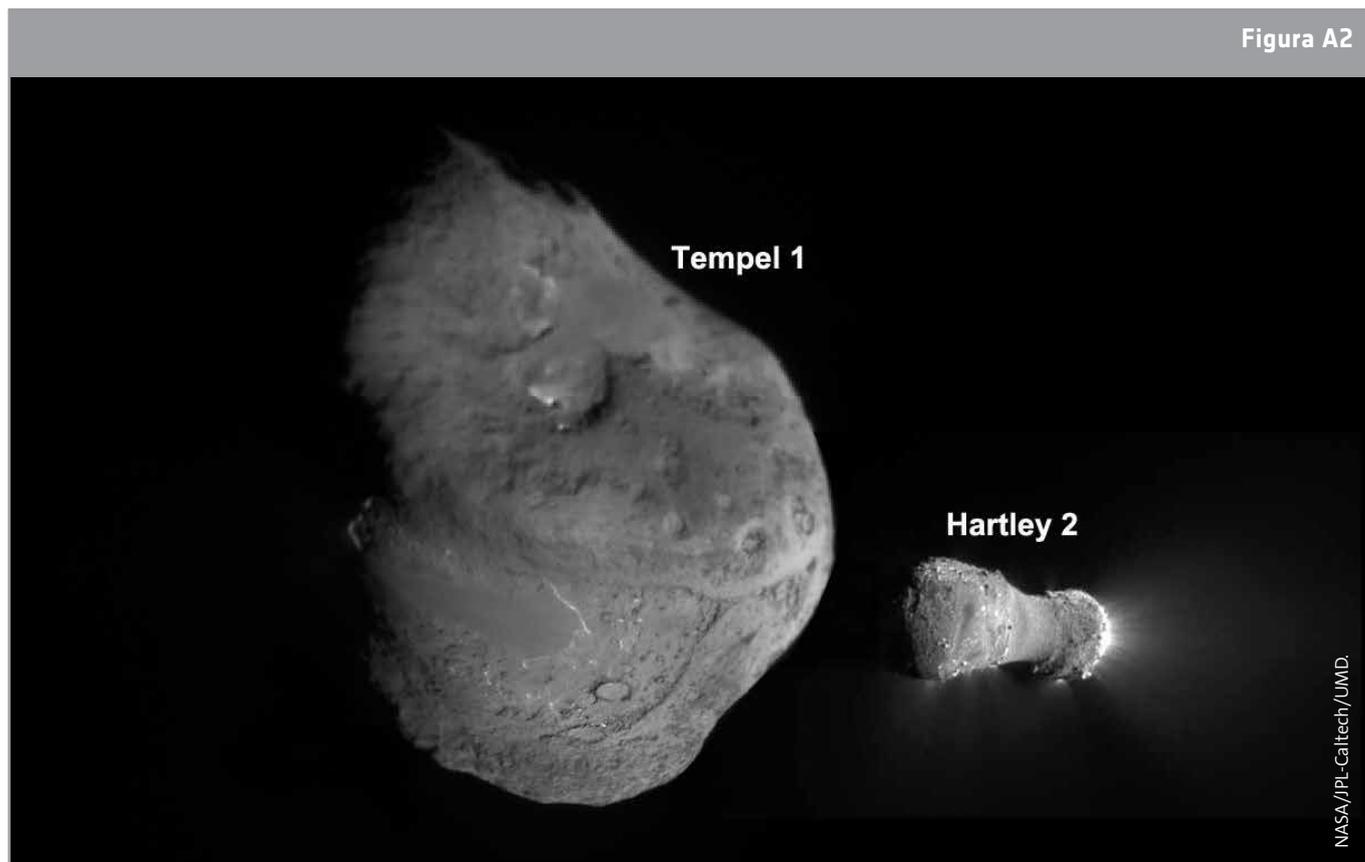
In quest'attività, nel momento in cui viene riprodotto il nucleo di una cometa, coesistono due fattori in contrapposizione. L'acqua allo stato liquido entra in contatto termico con il ghiaccio secco, che ha una temperatura inferiore ai $-78^{\circ}C$: l'acqua liquida congela formando una 'gabbia ghiacciata' attorno al ghiaccio secco. Quando il ghiaccio secco entra in contatto termico con del materiale a una temperatura superiore a $-78^{\circ}C$ inizia a sublimare. Il passaggio del ghiaccio secco da solido a gassoso comporta un aumento del suo volume superiore a 600 volte. Ciò significa che la sublimazione delle manciate di ghiaccio secco comporta occasionalmente la fuoriuscita esplosiva di gas attraverso la crosta di ghiaccio formata dall'acqua attorno al nucleo. Per questo motivo si consiglia vivamente di indossare un camice da laboratorio, nonché un paio di guanti e occhiali di protezione.

Che forma e che dimensione hanno i nuclei delle comete?

Una serie di voli radenti* effettuati dalle sonde spaziali hanno confermato che i nuclei delle comete presentano una varietà di forme e dimensioni. Di queste missioni fanno parte Giotto (ESA: cometa 1P/Halley e 26P/Grigg-Skjellerup), Stardust (NASA: cometa 81/PWild e 9P/Tempel), Deep Impact (NASA: cometa 9P/Tempel e 103P/Hartley) e Rosetta (ESA: cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko). Nell'immagine in scala mostrata nella Figura A2, l'asse della lunghezza del nucleo della cometa 103P/Hartley misura circa 2,2 km, mentre il nucleo della cometa 9P/Tempel misura circa 7,6 km nella sua dimensione maggiore.

Misure preliminari condotte dalla missione dell'ESA Rosetta al suo arrivo sulla cometa 67P/Churyumov–Gerasimenko hanno confermato che la sua dimensione maggiore corrisponde a 4,1 km. mission on arrival at comet 67P/Churyumov–Gerasimenko confirmed its longest dimension to be 4.1 km.

Il montaggio presentato nella Figura 7 mostra il confronto tra la raffigurazione di una serie di nuclei di comete e le immagini di asteroidi e vari satelliti del sistema solare scattate da veicoli spaziali in occasione di una serie di voli radenti (fino al 2010). I nuclei delle comete sono quelli raffigurati nell'angolo della Figura 7 in basso a destra.



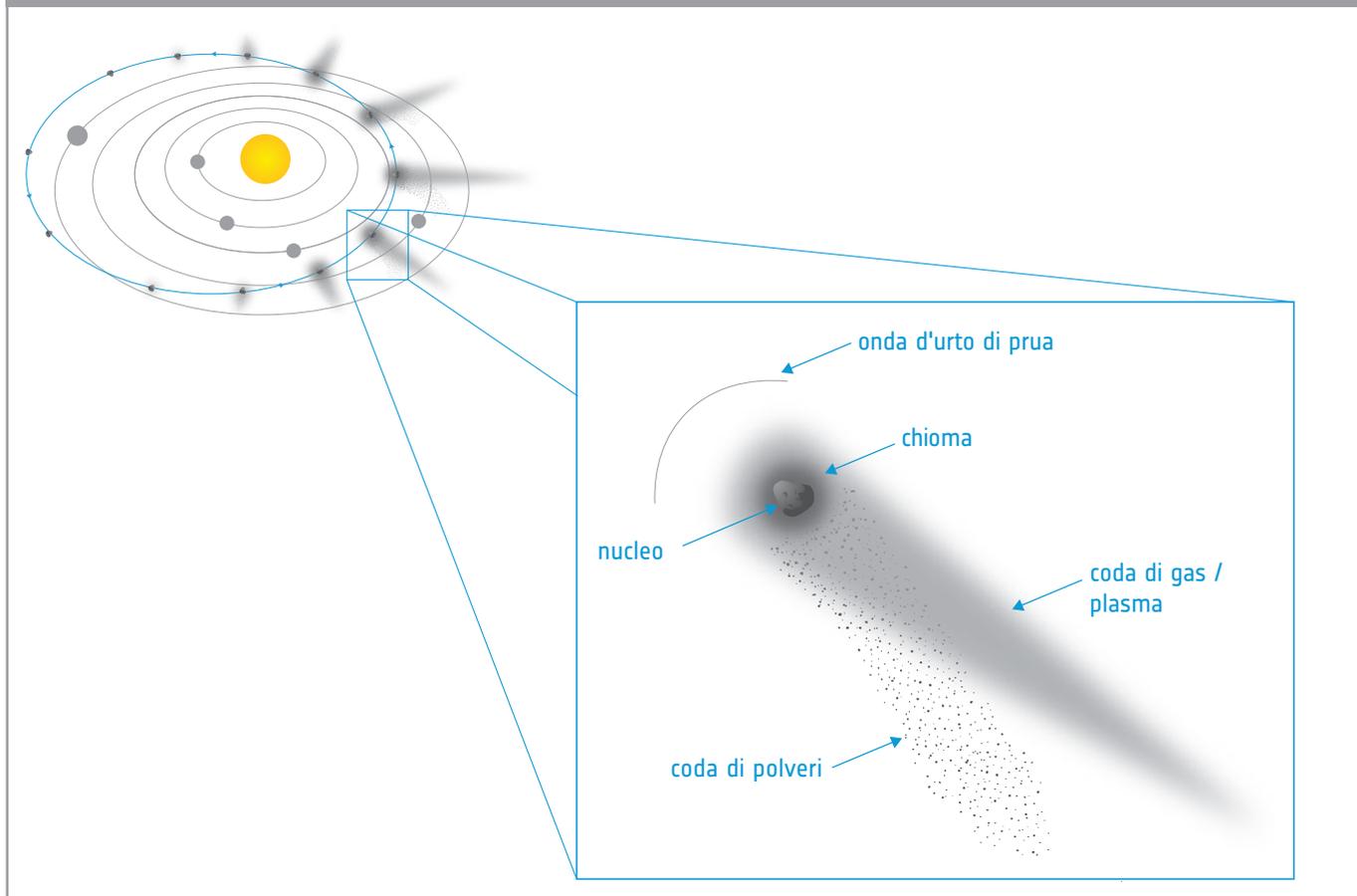
↑ Confronto tra le dimensioni dei nuclei delle comete 9P/Tempel e 103P/Hartley.

Perché le code delle comete hanno delle forme così diverse?

La forma e l'aspetto delle code delle comete dipendono dal modo in cui il vento solare e la radiazione solare interagiscono con il materiale espulso dal nucleo. Spesso si vedono due code che puntano in due direzioni diverse. Una punta sempre nella direzione direttamente opposta al Sole. Si tratta della coda di ioni o di plasma. La luce ultravioletta emessa dal Sole ionizza i gas presenti nella chioma. Queste particelle ionizzate vengono poi trascinate via dalla cometa dal vento solare. L'altra, invece, è la coda di polveri, che si forma a causa della pressione esercitata dalla radiazione solare che spinge le piccole particelle solide presenti nella chioma lontano dal Sole. La coda di polveri descrive una leggera curva all'indietro, o un arco, nella direzione di provenienza della cometa (Figura A3). Dal momento che i livelli di attività solare, la rotazione dei nuclei e la velocità di fuoriuscita dei gas variano incredibilmente da cometa a cometa, è possibile osservare code aventi una moltitudine di forme.

* **Volo radente:** passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale attorno a un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se la sonda sfrutta il campo gravitazionale del pianeta per dare propulsione alla sua velocità e cambiare traiettoria, si parla di una manovra di swing-by o gravity-assist.

Figura A3

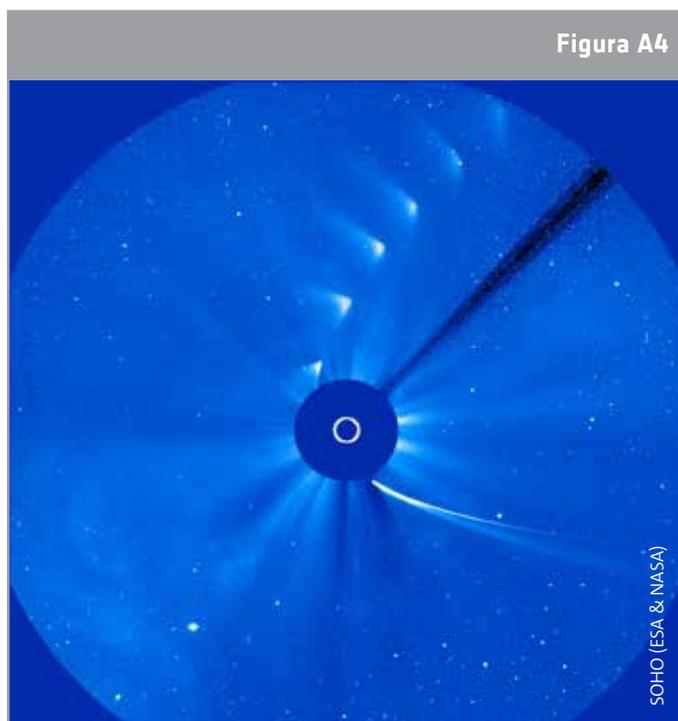


↑ Diagramma che illustra le due code di una cometa e il modo in cui variano nel corso dell'orbita attorno al Sole.

Quanto dura il nucleo di una cometa?

Ogni volta che effettuano un passaggio al perielio, le comete perdono elementi volatili (per esempio biossido di carbonio e acqua) e polveri, lasciando dietro di sé scie di detriti. Ciò significa che un nucleo ha un numero finito di passaggi al perielio prima di esaurire tutti i suoi elementi volatili. Ne è stato un esempio la cometa radente 2012/S1 ISON, che ha compiuto il suo primo avvicinamento al perielio nel 2013 (Figura A4). Essa parve smettere di produrre gas e polveri poco prima di raggiungere il Sole.

Figura A4



↑ Breve incontro della cometa ISON con il Sole, ripreso dal satellite ESA/NASA SOHO il 28-30 novembre 2013.

Quali effetti potrebbero modificare l'orbita di una cometa durante il suo avvicinamento al Sole?

Quando gli elementi volatili contenuti nel nucleo di una cometa (come il biossido di carbonio e l'acqua) iniziano a riscaldarsi in prossimità del Sole, la fuoriuscita di gas può comportare un effetto di rinculo. Il gas emesso esercita sulla cometa una forza pari e opposta (terza legge di Newton), applicando su di essa una leggera spinta. L'effetto prodotto può essere una lieve alterazione del percorso e del periodo orbitale della cometa attorno al Sole dal momento che il nucleo viene deviato dal percorso previsto. Se si considera che la maggior parte dei nuclei è anche in uno stato di rotazione (forse attorno ad assi multipli dal momento che ruotano sia in avanti che di lato) le deviazioni possono variare considerevolmente da cometa a cometa.

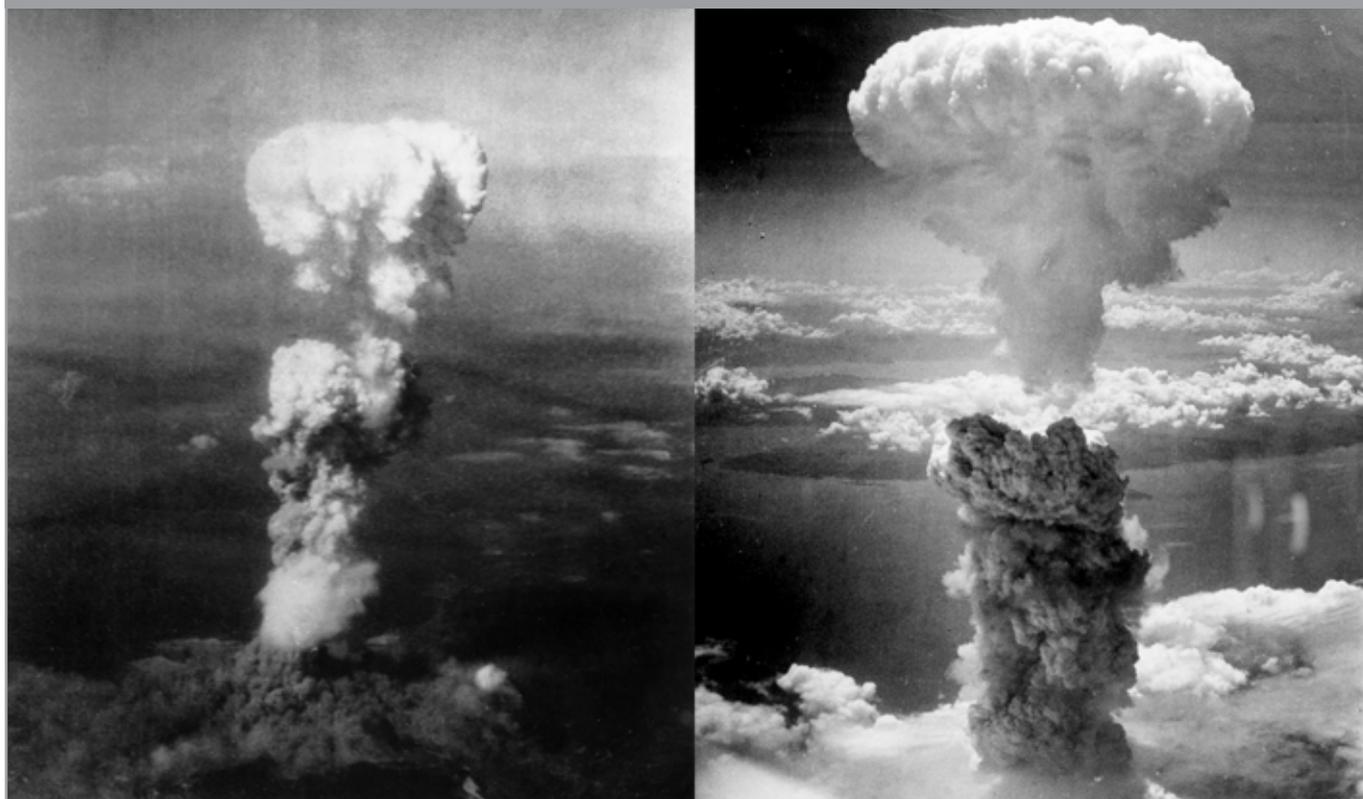
Discussione di approfondimento: è possibile che le comete o gli asteroidi colpiscano la Terra?

Partendo da quanto abbiamo appreso in occasione delle esplosioni nucleari condotte da varie nazioni a partire dal 1945, e dall'equazione dell'energia cinetica, è possibile fare una buona approssimazione delle dimensioni dell'oggetto all'origine del cratere meteoritico.

L'energia delle armi nucleari viene misurata in chiloton (kt): 1 kt equivale all'energia sprigionata da 1000 tonnellate di TNT. $1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$.

Le bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki (Figura A5) hanno prodotto, rispettivamente, un'energia pari a circa 20 kt.

Figura A5



↑ Immagine a sinistra: fumi prodotti su Hiroshima dallo scoppio della prima bomba atomica. Immagine di destra: bombardamento atomico di Nagasaki.

Per creare un cratere delle dimensioni del cratere meteoritico, con il tipo di roccia trovata nell'area, occorrerebbero circa 2,5 Mt (2500 kt), o 125 bombe di Hiroshima. In base a quanto suggerito da un modello di simulazione matematica/informatica, l'oggetto avrebbe colpito la Terra ad una velocità di circa 12,8 km s⁻¹. Ciò offrirebbe informazioni sufficienti a calcolare le dimensioni approssimative dell'oggetto che ha provocato l'impatto.

I suoi frammenti si sono sparsi su tutto il territorio circostante il cratere. L'analisi di questi frammenti mostra che l'oggetto era formato per il 92% di ferro e per il 7% di nichel (il restante 1% conteneva inclusioni di silicati e tracce di altri elementi) e aveva una densità media di circa 7000 kg m⁻³.

Con queste informazioni è possibile effettuare i seguenti calcoli, ipotizzando che tutta l'energia cinetica dell'oggetto si sia convertita in energia esplosiva che ha formato il cratere:

1. Riepilogo dei parametri

Energia cinetica, $E_k = 2500 \text{ kt}$

Velocità d'ingresso = 12.8 km s⁻¹

1 kt = $4.2 \times 10^{12} \text{ J}$

Densità del meteorite ferroso, $\rho = 7000 \text{ kg m}^{-3}$

2. Conversione dell'energia necessaria alla formazione del cratere in joule.

$E_k = 2500 \text{ kt} = 2500 \times 4.2 \times 10^{12} \text{ J} = 1.05 \times 10^{16} \text{ J}$

3. Utilizzo dell'equazione dell'energia cinetica per ricavare la massa dell'oggetto.

$E_k = 1/2 mv^2$

Operazione per ricavare m:

$m = (2E_k)/v^2 = (2 \times 1.05 \times 10^{16} \text{ J})/(12800 \text{ m s}^{-1})^2 = 128 \times 10^6 \text{ kg} = 128 \text{ 000 t}$

4. Utilizzo dell'equazione della densità per ricavare il volume dell'oggetto.

Poiché massa = densità x volume

Volume = massa/densità = $(128 \times 10^6 \text{ kg})/(7000 \text{ kg m}^{-3}) = 1.83 \times 10^4 \text{ m}^3$

5. Supponendo che l'oggetto abbia una forma sferica, usiamo l'equazione della sfera per calcolare il raggio dell'oggetto. L'alternativa è considerare un modello cubico dell'oggetto.

E poiché il volume di una sfera è $= (4/3)\pi r^3$

ne risulta che,

$r^3 = (3 \times 1.83 \times 10^4 \text{ m}^3)/(4 \times \pi) = 4371 \text{ m}$

e quindi $r = 16.4 \text{ m}$

Gli studenti possono poi riflettere sui limiti/incertezze delle ipotesi da cui si è partiti per la definizione del modello, per esempio:

- l'ipotesi di una conversione al 100% in energia cinetica. L'energia potrebbe anche essere stata dispersa in altre forme, per esempio per effetto di una dispersione acustica o termica nell'atmosfera.
- l'incertezza relativa alla velocità dell'impatto. Questo valore è stato dedotto dalle osservazioni di un cratere scavato da un antico impatto e pertanto potrebbe essere impreciso e aver condotto ad un calcolo errato delle dimensioni.
- l'effetto prodotto dall'angolazione dell'impatto. La quantità di roccia vaporizzata/espulsa varia a seconda dell'angolazione di ingresso dell'oggetto. Dal momento che molti dei fattori di partenza sono stati dedotti da questa prova, l'angolazione di ingresso incide in modo notevole sui risultati ottenuti. Condurre degli esperimenti ipotizzando angolazioni di ingresso diverse per lo stesso oggetto usando il simulatore d'impatto Down2Earth (vedere sotto e la sezione Collegamenti) può essere utile per l'approfondimento di questo punto.

Simulatore d'impatto online – 'Down2Earth'

Down2Earth (vedere la sezione Collegamenti) è un simulatore d'impatto disponibile online a scopo formativo, che consente agli studenti di impostare i parametri di un impatto, come la composizione dell'oggetto (asteroide o cometa), l'angolazione di ingresso, le dimensioni, il tipo di roccia nel luogo dell'impatto e il luogo in cui esso è avvenuto. Gli studenti possono prevedere in che modo questi fattori influiscono sulle dimensioni del cratere e sui trasferimenti di energia durante l'impatto. Infine possono verificare le loro ipotesi in un ambiente virtuale.

→ CONCLUSIONE

Le comete forniscono spunti molto interessanti per l'insegnamento di diversi argomenti: da campi e orbite gravitazionali, energia cinetica e trasferimenti di energia a spettroscopia delle comete e ingredienti della vita. Questi affascinanti mondi di ghiaccio rappresentano una miniera di incredibili opportunità di apprendimento.

Ricetta per una mini-cometa

In quest'attività, gli studenti ricreeranno il nucleo di una cometa usando ingredienti comuni per riprodurre i principali gruppi di materiali che lo costituiscono. Alcuni di essi, come il ghiaccio secco, possono essere pericolosi – pertanto l'insegnante fornirà istruzioni chiare su come utilizzarli.

Materiale

- Ghiaccio secco (100 ml circa)
- Acqua (100 ml circa)
- Sacchetti per rifiuti di piccole dimensioni
- 3 cucchiaini di terreno
- 1 cucchiaino di polveri di carbonio o di grafite
- 1 cucchiaino di whisky, vodka o vino rosso (componente: metanolo/etanolo)
- Qualche goccia di salsa di soia (componente organico)
- Una goccia di prodotto per pulire (componente: ammoniaca)
- Un bicchiere di plastica usa e getta
- Secchio per i rifiuti
- Cucchiaino
- Contenitore di polistirolo per il ghiaccio secco
- Guanti termici di protezione
- Occhiali di protezione per tutti i partecipanti
- Camice da laboratorio

Istruzioni

1. Versare i seguenti ingredienti in un bicchiere di plastica usa e getta rivestito con il sacchetto: acqua, terreno, polveri di carbonio, prodotto per pulire e salsa di soia. Sono alcuni dei componenti di una vera cometa. Mescolare bene servendosi di un cucchiaino.
2. Aggiungere il ghiaccio secco. Mescolare la miscela di acqua e ghiaccio secco. Dopodiché, indossare i guanti di protezione, e aggregare la cometa in un'unica massa per circa 30 secondi. Non comprimere eccessivamente per non rischiare di rompere la cometa.
3. Una volta terminata l'attività, riporre la cometa nel sacchetto e depositarla nel secchio per lo smaltimento fornito dall'insegnante.

Calcolo della massa, della velocità e dell'energia di una cometa

Risolvere questa serie di quesiti usando i dati forniti nella tabella sottostante per analizzare massa, velocità ed energia delle comete.

Massa del Sole	$m_{\text{Sol}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
Densità del ghiaccio	$r = 1000 \text{ kg m}^{-3}$
Costante gravitazionale	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

Quesiti

- Una cometa, che viaggia ad una velocità di 34 km s^{-1} , ha un'energia cinetica di $4,5 \times 10^{13} \text{ J}$. Calcolare la massa della cometa.
- Una grossa cometa, con una massa di $5,2 \times 10^8 \text{ kg}$, passa vicino alla Terra sfiorando l'atmosfera. Al momento della misurazione, la sua velocità è di $49,0 \text{ km s}^{-1}$.
 - Calcolare l'energia cinetica della cometa (in J).
 - Se l'energia rilasciata dall'esplosione di 1 chiloton (1000 tonnellate) di TNT è pari a $4,2 \times 10^{12} \text{ J}$, quanti chiloton di energia avrebbe prodotto questa cometa in caso di impatto con la Terra?
 - Dopo il passaggio ravvicinato, la massa e la traiettoria della cometa hanno subito un'alterazione. Suggestire una spiegazione.
- Una cometa descrive un'orbita ellittica attorno al Sole. Nel punto di massima vicinanza, dista dal Sole $4,9 \times 10^{10} \text{ m}$. In questo punto la sua velocità è di $8,9 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. La cometa ha origine nella Nube di Oort, oltre l'orbita di Nettuno. Qual è la sua velocità ad una distanza di $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ dal Sole (distanza orbitale della Terra dal Sole)?
- In che modo gli impatti di comete e asteroidi hanno influito sulla Terra e sulla vita terrestre nel corso della storia?

→ LO SPAZIO E L'ESA

Giotto

La cometa 1P/Halley ha un periodo orbitale di circa 75,5 anni (la cifra varia leggermente da orbita ad orbita a causa della fuoriuscita di gas dal nucleo e delle perturbazioni gravitazionali). Questa cometa è stata osservata dalla Terra (ad occhio nudo) con regolarità e i primi avvistamenti risalgono al 240 A.C. La documentazione di queste osservazioni ha consentito agli astronomi di calcolare, con uno scarto di pochi mesi, il passaggio al perielio della cometa 1P/Halley. Una famosa testimonianza della visibilità della cometa 1P/Halley dalla Terra è rappresentata dall'arazzo di Bayeux che raffigura la Battaglia di Hastings nel 1066 (Figura 10).

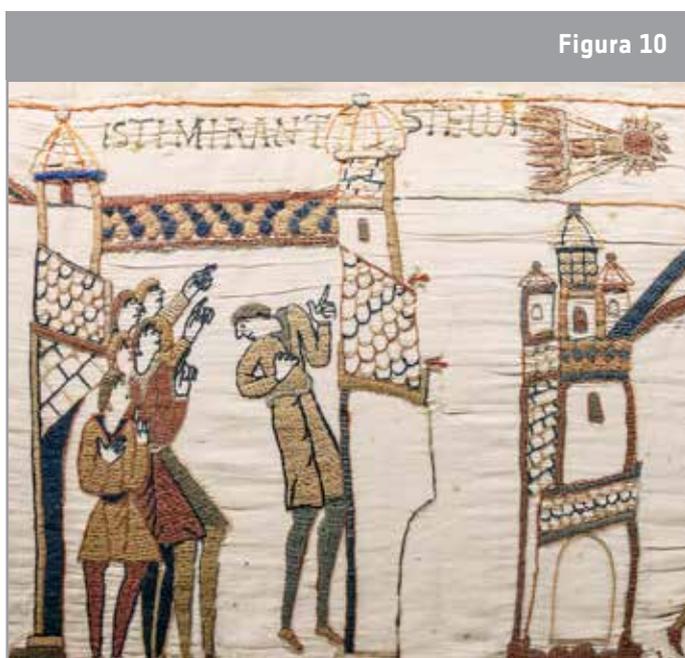


Figura 10



Figura 11

↑ Cometa 1P/Halley raffigurata sull'arazzo di Bayeux.

↑ La sonda Giotto, pronta per il test di simulazione solare.

Più recentemente, nel 1986, la cometa 1P/Halley ha effettuato il suo primo passaggio ravvicinato al Sole dall'inizio dell'era spaziale. La sonda dell'ESA Giotto (Figura 11) ha sorvolato il suo nucleo a meno di 600 km di distanza, ottenendo le prime immagini ravvicinate del nucleo di una cometa (Figure 12 e 13). Queste osservazioni hanno trasformato la visione di questi corpi ghiacciati da parte degli scienziati.

Dalle rilevazioni di Giotto è risultato che la superficie del nucleo aveva un colore molto scuro, più nero del carbone: ciò ha fatto pensare che fosse coperta da uno strato di polveri. I dati hanno mostrato che l'abbondanza o il rapporto di elementi leggeri (idrogeno, carbonio e ossigeno) nella cometa 1P/Halley è simile a quello del Sole. Ciò significherebbe che è composta dello stesso materiale da cui si sarebbe originariamente formato il sistema solare.

Il montaggio delle immagini nella Figura 12 mostra altre caratteristiche diventate visibili grazie all'avvicinamento della sonda al nucleo.

Figura 12

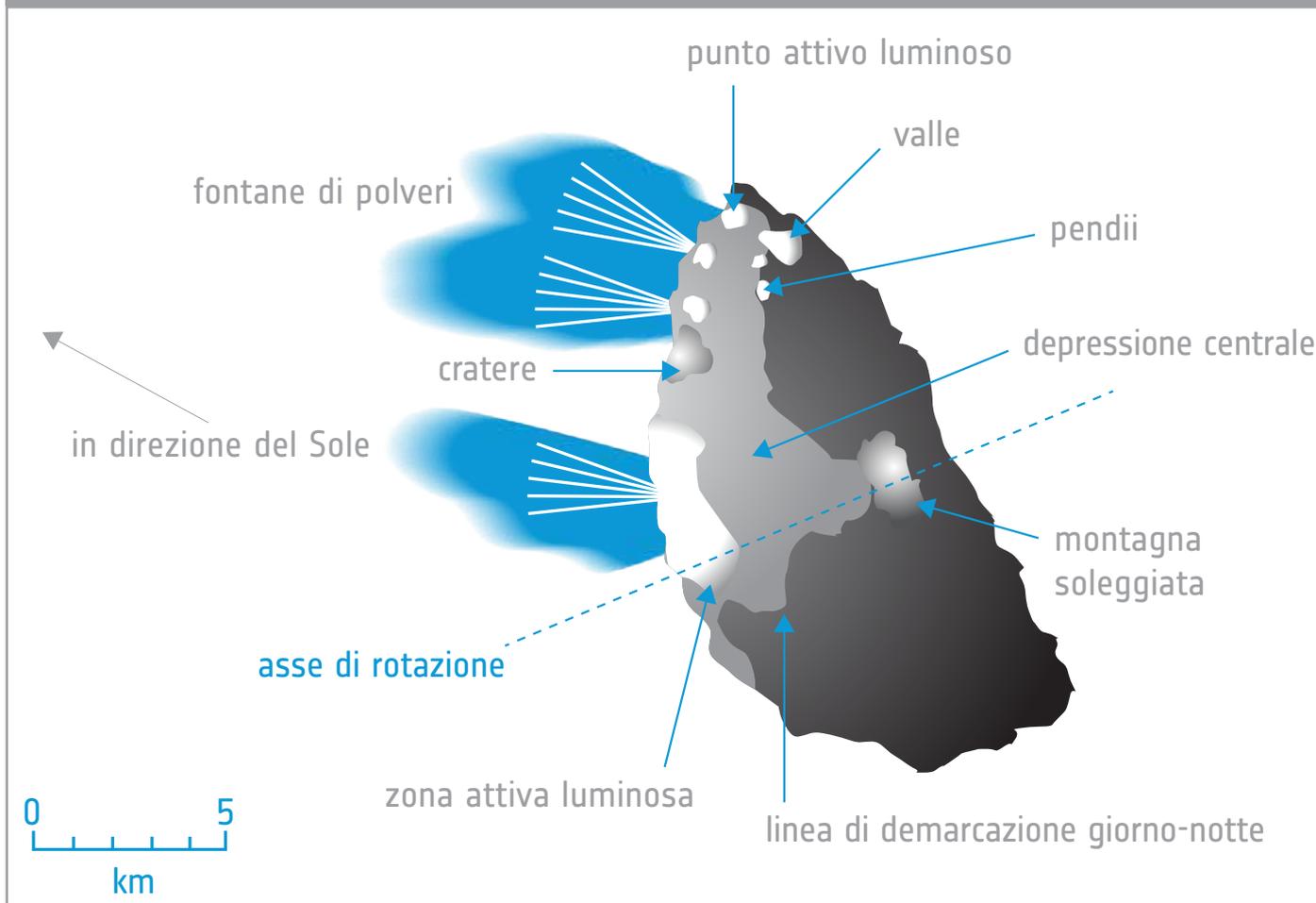


↑ Il nucleo della cometa 1P/Halley, ripreso da Giotto in occasione del suo maggiore avvicinamento.

Figure 13



↑ Immagine del nucleo della cometa 1P/Halley riprese da Giotto.



↑ Tratti distintivi identificati sulle immagini della cometa 1P/Halley inviate dalla sonda dell'ESA Giotto.

La Figura 14 mostra alcune caratteristiche tratte dall'immagine del nucleo della cometa 1P/Halley (Figura 13). Dalla superficie del nucleo è possibile avvistare getti di materiale, o fontane di polveri. Derivano dalla rapida sublimazione delle sostanze volatili presenti sopra e in prossimità della superficie del nucleo. Man mano che la pressione di queste sostanze volatili in espansione aumenta, esse vengono rilasciate in un processo noto come fuoriuscita di gas.

SOHO - Osservatorio solare ed eliosferico

L'Osservatorio solare ed eliosferico di ESA/NASA, noto come SOHO, monitora il Sole da una distanza di 1,5 milioni di chilometri dalla Terra (Figura 15). Qui la gravità combinata di Terra e Sole mantiene la sonda in un'orbita perfetta lungo la linea Terra-Sole. Da questa posizione SOHO gode di una vista ininterrotta del Sole e può dunque effettuare osservazioni 24 ore al giorno.

SOHO è stato progettato per studiare la struttura interna del Sole, la sua estesa atmosfera esterna (la corona) e l'origine del vento solare. Lanciato nel 1995, SOHO ha osservato il Sole per un intero ciclo solare, fornendo agli scienziati dati di grande valore per la comprensione degli alti e bassi del comportamento a lungo termine del Sole.

Dal suo punto di osservazione privilegiato, SOHO ha anche avuto l'opportunità di osservare migliaia di comete radenti, tra cui la 2012/S1 ISON, che ha effettuato un passaggio al perielio nel 2013. SOHO è uno dei più grandi scopritori di comete di tutti i tempi. Dal suo lancio ne ha individuate più di 2700.

Figura 15



↑ Riproduzione artistica di SOHO.

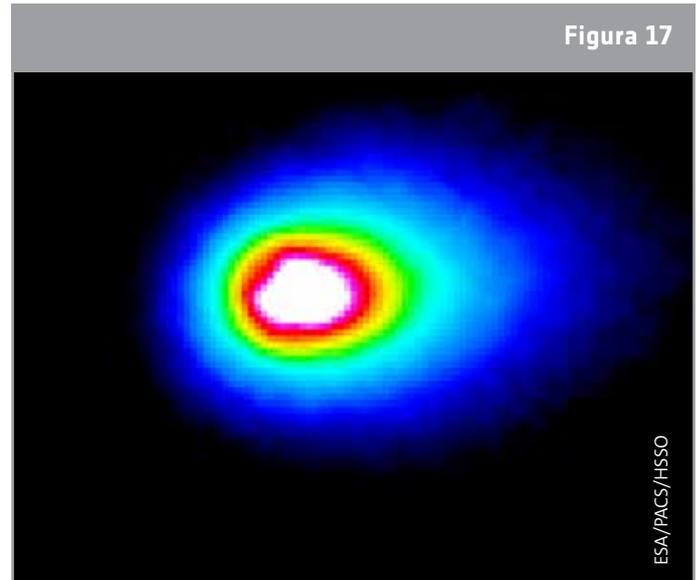
Cometa 103P/Hartley e Herschel

L'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel dell'ESA (Figura 16) è stato lanciato nel 2009 con a bordo il più grande e potente telescopio a infrarossi mai condotto nello spazio. È stato il primo osservatorio a coprire l'intera gamma di lunghezze d'onda dal lontano infrarosso al submillimetrico. Le osservazioni di Herschel hanno consentito di effettuare esplorazioni sul lontano infrarosso mai condotte in nessuna precedente missione e di studiare regioni del cosmo fredde e polverose, sia vicine che lontane, altrimenti invisibili.



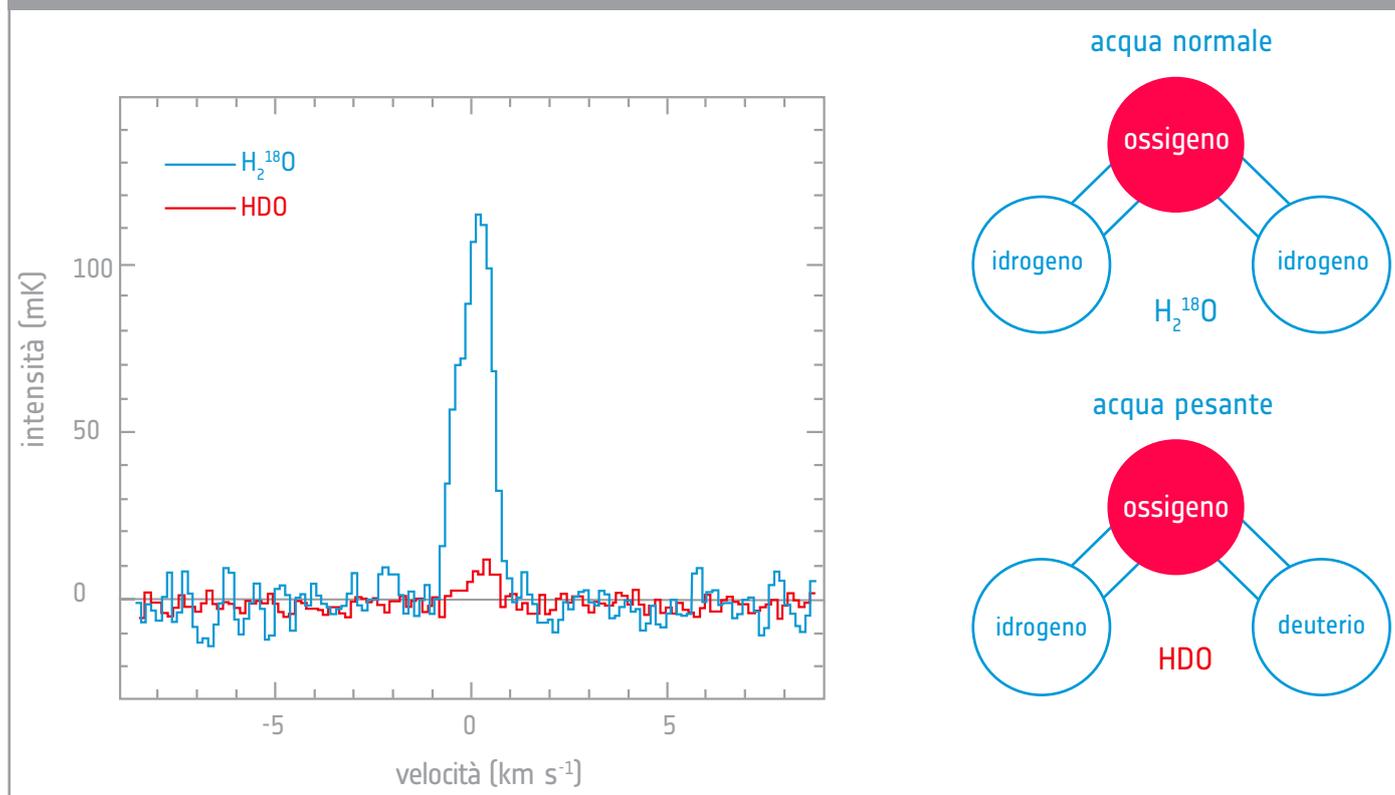
↑ Raffigurazione artistica dell'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel.

Le misurazioni spettroscopiche a infrarossi, condotte dallo strumento HIFI a bordo dell'osservatorio Herschel, hanno consentito di fare delle stime sul rapporto tra deuterio ('idrogeno pesante': atomi di idrogeno che, nel loro nucleo, hanno un neutrone oltre al protone) e idrogeno all'interno dell'acqua emessa dal nucleo della cometa (ossia il rapporto tra l'acqua normale e l'acqua 'deuterata'; Figura 18). Si è scoperto che il contenuto dell'acqua di questa particolare cometa ha, a differenza di altre comete osservate, un rapporto identico a quello degli oceani terrestri. Si è trattato della prima prova diretta a supporto della teoria secondo cui il contenuto delle acque terrestri primordiali provenga dalla stessa fonte di alcune comete.



↑ La cometa 103P/Hartley ripresa dallo strumento PACS sull'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel.

Nel 2010, Herschel ha condotto delle osservazioni spettroscopiche del lontano infrarosso sulla cometa 103P/Hartley rilevando l'emissione di vaste quantità d'acqua dal suo nucleo, come mostrato in rosso e bianco nella Figura 17. Queste osservazioni sono state condotte in prossimità del perielio della cometa (massima vicinanza al Sole).



↑ Con un neutrone in più in uno dei componenti di idrogeno della molecola, l'acqua pesante produce un picco spettrale più basso.

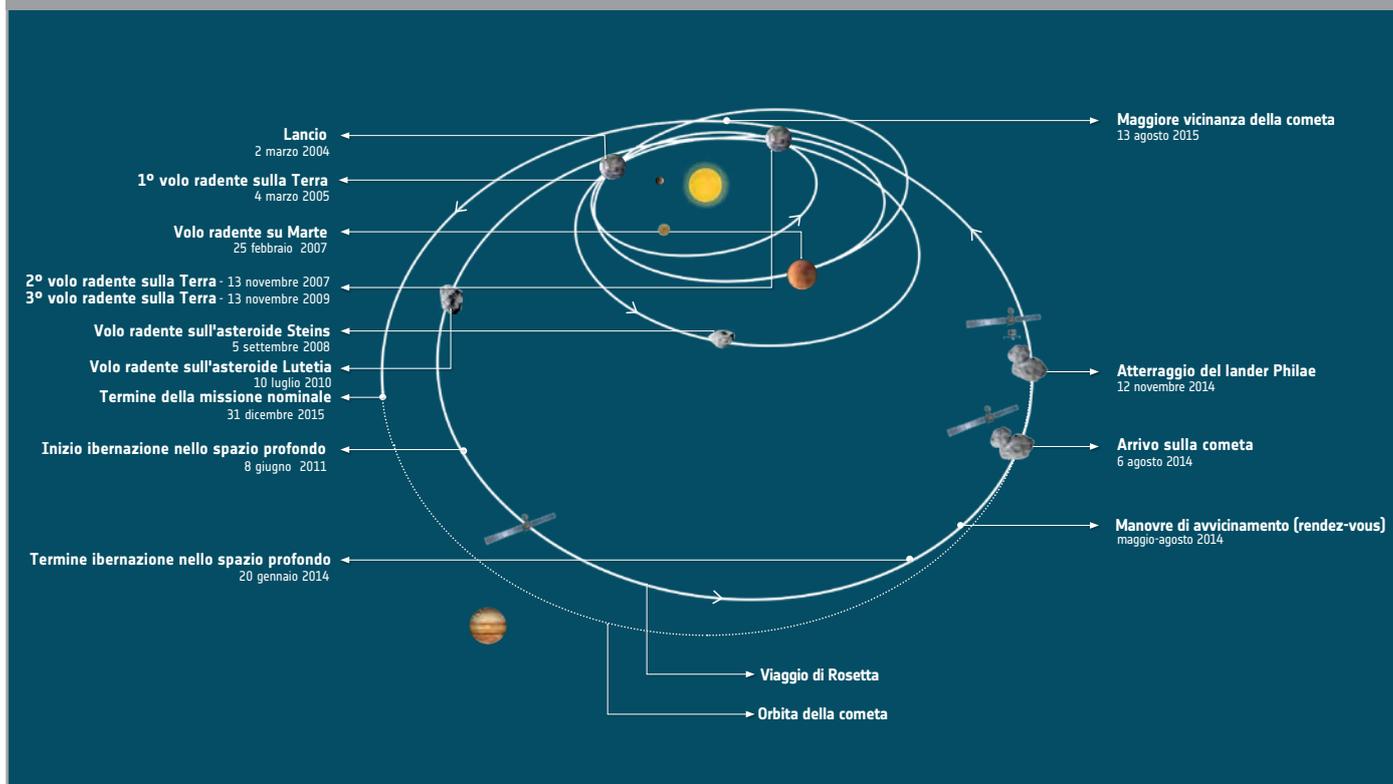
Rosetta

Rosetta, la missione dell'ESA sulla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, è stata lanciata nel 2004 per compiere un viaggio della durata di 10 anni il cui scopo è sorvolare e atterrare sul nucleo di una cometa.

Il primo obiettivo della missione è aiutare a comprendere l'origine e l'evoluzione del sistema solare. La composizione di una cometa riflette quella della nebulosa presolare da cui hanno avuto origine il Sole e i pianeti del sistema solare più di 4,6 miliardi di anni fa. Rosetta e il suo lander condurranno un'analisi approfondita della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko fornendo informazioni essenziali per la comprensione delle modalità di formazione del nostro sistema solare.

Esistono prove convincenti secondo cui le comete avrebbero giocato un ruolo chiave nell'evoluzione dei pianeti, dal momento che gli impatti cometari furono molto più frequenti alle origini del sistema solare rispetto ad oggi. Le comete, per esempio, potrebbero aver portato l'acqua sulla Terra. Verrà infatti condotta un'analisi della composizione chimica dell'acqua della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko per vedere se coincide con quella degli oceani terrestri. Oltre a ghiaccio e polveri, le comete contengono molte molecole complesse, compresi materiali organici che potrebbero aver avuto un ruolo cruciale nell'evoluzione della vita sulla Terra.

Per arrivare alla cometa, Rosetta ha dovuto compiere una serie di manovre di 'fionda gravitazionale', che consistono nello sfruttare la gravità di un corpo celeste per accelerare la velocità della sonda spaziale (Figura 19). Per raggiungere lo spazio più profondo, Rosetta ha dovuto compiere quattro manovre di fionda gravitazionale, compresi tre voli radenti sulla Terra e uno su Marte. Ognuna di queste manovre ha alterato l'energia cinetica di Rosetta, cambiando così la velocità della sonda e alterando le dimensioni dell'orbita ellittica.



↑ La sonda dell'ESA Rosetta ha eseguito una serie di manovre di 'fionda planetaria' per raggiungere la sua destinazione.

Con un viaggio così lungo da affrontare, Rosetta è stata messa in ibernazione nel giugno 2011 per limitare il consumo di energia e carburante e ridurre al minimo i costi operativi. Quasi tutti i sistemi elettrici di Rosetta sono stati spenti, ad eccezione del computer di bordo e di alcuni riscaldatori.

Nel gennaio 2014, l'orologio interno preimpostato di Rosetta ha risvegliato la sonda affinché si preparasse al rendez-vous con la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Dopo il risveglio, gli 11 strumenti della sonda e i 10 strumenti del lander sono stati riattivati e preparati ad eseguire le osservazioni scientifiche. È stata condotta una serie di dieci manovre critiche di correzione orbitale per ridurre la velocità della sonda rispetto alla cometa e riuscire ad adattarsi alla sua orbita ellittica.

Arrivata sulla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko il 6 agosto 2014, Rosetta ha iniziato a compiere ulteriori manovre per posizionarsi in 'orbita' attorno al suo nucleo. Da questa posizione privilegiata, la suite di strumenti di cui è dotata Rosetta può fornire uno studio scientifico dettagliato della cometa scrutandone e mappandone la superficie con una precisione senza precedenti (Figura 20).

Figura 20



↑ Mosaico di quattro immagini NAVCAM della cometa 67P/Churyumov Gerasimenko scattate il 19 settembre 2014 quando Rosetta si trovava a 28,6 km dalla cometa

Dopo l'atterraggio, Rosetta continuerà ad accompagnare la cometa nella sua orbita ellittica. Compietà un'accelerazione per fare ritorno verso il sistema solare interno insieme alla cometa e continuerà ad osservarla da vicino mentre il nucleo della cometa ghiacciata si riscalderà man mano che si avvicina al Sole.

Nel novembre 2014, dopo aver mappato e analizzato il nucleo della cometa per diversi mesi, Rosetta ha inviato il lander Philae ad eseguire il primo atterraggio mai compiuto sul nucleo di una cometa. Data la bassa gravità della cometa, Philae ha usato degli arpioni e dei chiodi da ghiaccio per restare attaccata alla superficie. La Figura 14 mostra una raffigurazione artistica del posizionamento di Philae sulla superficie.

Il lander Philae userà 10 strumenti, compreso un trapano per la raccolta di campioni della superficie e **spettrometri***, per effettuare un'analisi diretta della struttura e della composizione della cometa.

Figura 21



↑ Il lander Philae sarà in grado di offrire informazioni senza precedenti sulla superficie e sulla struttura interna di una cometa

* **Spectrometro:** strumento che suddivide la luce nelle lunghezze d'onda che la costituiscono per consentire la misurazione delle proprietà della sorgente luminosa.

→ APPENDICE

Glossario

Afelio: in un'orbita, il punto di massima distanza dal Sole.

Unità astronomica (UA): 1 UA è la distanza media tra la Terra e il Sole, o il raggio dell'orbita terrestre, pari a circa 150 milioni di chilometri.

Onda d'urto di prua (cometa): superficie di interazione tra gli ioni nella chioma di una cometa e il vento solare. Si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. Si forma nella parte anteriore della cometa nella direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, elevate concentrazioni di ioni cometari si accumulano caricando di plasma il campo magnetico solare. Ne risulta che le linee del campo si curvino attorno alla cometa, convogliando gli ioni cometari e dando così origine alla coda di gas/plasma/ioni.

Volo radente: passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale attorno a un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se la sonda sfrutta il campo gravitazionale del pianeta per dare propulsione alla sua velocità e cambiare traiettoria, si parla di una manovra di swing-by o gravity-assist.

Perturbazioni gravitazionali: cambiamenti dell'orbita di un corpo celeste (p. es. un pianeta o una cometa) come conseguenza delle interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (p. es. pianeti giganti, altre stelle).

Punti lagrangiani: in qualsiasi configurazione orbitale ci sono cinque punti in cui un oggetto, soggetto solo alla forza gravitazionale, può orbitare stabilmente. Per maggiori informazioni vedere il video di 'ESA. Spazio e insegnamento: Gravity Wells | VPO4' (versione inglese). Consultare la sezione Collegamenti.

Periodo orbitale: tempo impiegato a completare un'orbita.

Perielio: in un'orbita, il punto di massima vicinanza al Sole.

Moto retrogrado di un pianeta: Moto apparente di un pianeta nel cielo notturno in direzione opposta a quella normalmente osservata (moto progrado).

Vento solare: un flusso di particelle ad alta carica (plasma) emesso dall'atmosfera superiore del sole in tutte le direzioni. Principalmente composto da elettroni e protoni.

Sublimare (sublimazione): quando il riscaldamento fa sì che una sostanza passi direttamente dallo stato solido a quello gassoso, senza passare per lo stato liquido. Quando il gas si raffredda di nuovo, forma solitamente un deposito solido.

Collegamenti

Rosetta

Sito web dell'ESA su Rosetta (versione inglese): www.esa.int/rosetta

Blog dell'ESA su Rosetta: blogs.esa.int/rosetta/

Video e animazioni su Rosetta (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta

Immagine di Rosetta (versione inglese): [www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image)

Scheda relativa a Rosetta, compresa la cronologia della missione (versione inglese): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet

La storia di Rosetta fino ad oggi (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

A caccia di comete (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

Un viaggio di 12 anni nello spazio (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space

L'orbita di Rosetta attorno alla cometa (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Come orbitare attorno a una cometa (versione inglese): www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

Comete

Articolo ESA Kids sulle comete: www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF_OurUniverse_o.html

Sito web dell'ESA dedicato a Rosetta (tecnico): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Sito web dell'ESA su Giotto (versione inglese): sci.esa.int/giotto/

Sito web dell'ESA su Rosetta: www.esa.int/rosetta

Articolo ESA Kids sul nostro universo: www.esa.int/esaKIDSen/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_o.html

Giotto

Panoramica su Giotto (versione inglese): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview

Herschel

Sito web dell'ESA sull'osservatorio spaziale Herschel (versione inglese): www.esa.int/herschel

Gli oceani terrestri derivano dalle comete? (versione inglese): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Did_Earth_s_oceans_come_from_comets

SOHO

Sito web dell'ESA su SOHO (versione inglese): soho.esac.esa.int

Video del breve incontro della cometa ISON con il Sole, ripreso dal satellite ESA/NASA SOHO (versione inglese): sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

Impatto con la Terra

Simulatore di impatti con la Terra 'Down2Earth' (versione inglese): education.down2earth.eu/

Raccolta di Spazio e insegnamento

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Gravity Wells' (versione inglese) | VPO4: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VPO4

ESA. Spazio e insegnamento: ellissi mercurie. Guida del docente e attività per gli studenti | Po2: esamultimedia.esa.int/docs/edu/Po2_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Marble-ous Ellipses' (versione inglese) | VPO2: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VPO2

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Cooking a Comet' (versione inglese) | VPO6: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VPO6

spazio e insegnamento: ricetta per una cometa | P06
www.esa.int/education

**Sviluppato per l'ESA dalla National Space Academy,
Regno Unito.**
Illustrazioni di Kaleidoscope Design, Paesi Bassi.

Una produzione di ESA Education
Copyright © Agenzia Spaziale Europea 2014