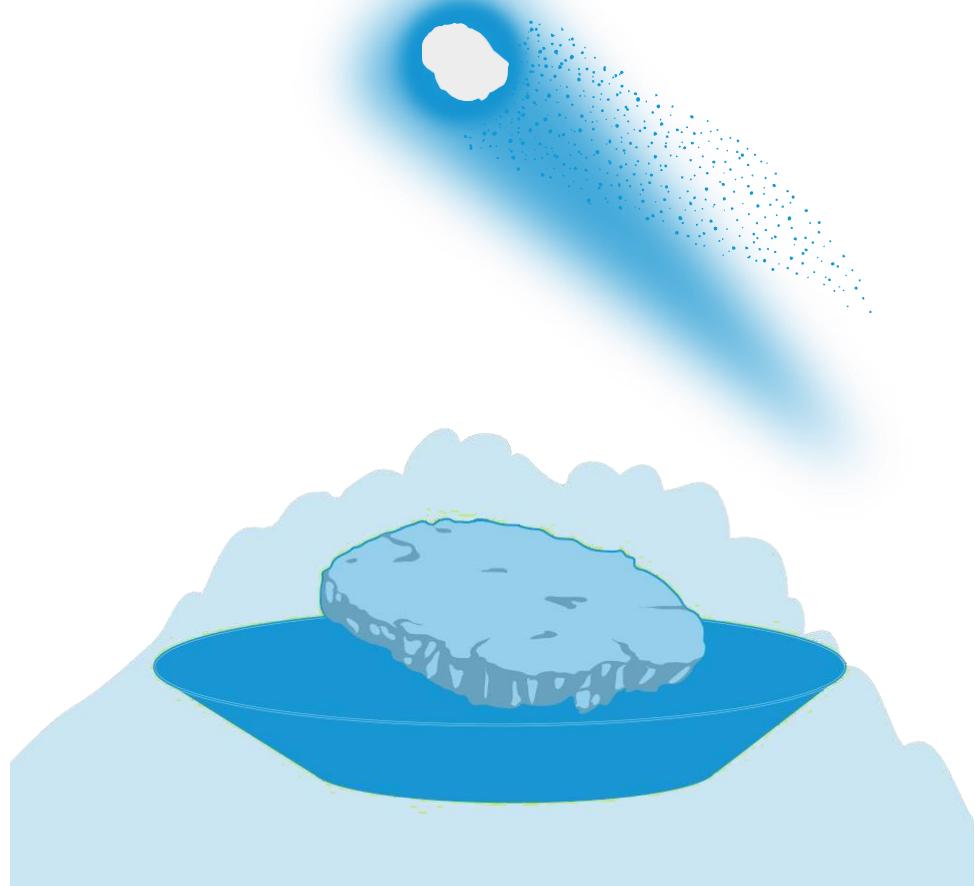


TEACH WITH SPACE

Insegniamo con lo Spazio - scuola secondaria

CUCINARE UNA COMETA

Ingredienti per la vita?



Presentazione	Pag. 3
Introduzione	Pag. 4
Attività – Cucinare una cometa (guida per l'insegnante)	Pag. 12
	Pag. 18
Discussione	Pag. 21
Schede per gli studenti	Pag. 22
ESA: contesto spaziale	Pag. 24
Giotto	Pag. 24
SOHO	Pag. 27
Cometa 103P/Hartley e Herschel	Pag. 28
Rosetta	Paa. 29
Appendice	Pag. 32
Glossario	Pag. 32
Risposte	Pag. 33
Per approfondire	Pag. 36
Chi Siamo	pag. 37

Risorsa originale — Cooking a comet | P06 www.esa.int/education

Risorsa tradotta e adattata da ANISN – Associazione

Nazionale Insegnanti Scienze Naturali



Per maggiori informazioni contattare ESERO Italia: www.esero.it

Copyright © European Space Agency 2021

CUCINARE UNA COMETA

Scheda sintetica

Fascia di età: 14-18 anni

Tipologia: dimostrazione per insegnanti e attività per studenti

Complessità: facile

Tempo di preparazione per l'insegnante: 20 minuti

Tempo richiesto: da 20 minuti a 1 ora

Costo per Kit: medio (5 - 25 euro)

Ambiente di lavoro: interni (grande aula benventilata)

Include l'uso di: ghiaccio secco (anidride carbonica solida a temperatura inferiore a -78° C)

Gli studenti dovrebbero già sapere

1. L'equazione dell'energia cinetica.
2. I concetti di spettroscopia e radiazione infrarossa.

Competenze disciplinari

Fisica

- Energia cinetica
- Conservazione dell'energia
- Cambiamenti di stato
- Processi di impatto
- Orbite (nel Sistema Solare)

Astronomia

- Posizione e natura di asteroidi e comete
- Identificare le caratteristiche di una cometa (nucleo, coma, polvere e coda di ioni)
- Conseguenze delle collisioni nel Sistema Solare
- Relazione tra la Cintura di Kuiper e la nube di Oort con le comete
- Sonde spaziali che studiano i corpi del Sistema Solare

Chimica

- Cambiamenti di stato

Riepilogo

In questa attività insegnanti e studenti simulano il nucleo di una cometa in classe. Gli ingredienti utilizzati rappresentano con precisione il materiale che si trova nel nucleo reale di una cometa, come risulta dagli studi spettroscopici combinati con i dati raccolti durante i flyby dei veicoli spaziali intorno a varie comete.

Obiettivi di apprendimento

1. Capire le differenze di base tra comete e asteroidi
2. Acquisire familiarità con i parametri compositivi di base delle comete.
3. Fare semplici calcoli a riguardo della trasformazione energetica che avviene durante un impatto di una cometa o un asteroide su un pianeta.

→ INTRODUZIONE

Cosa sono le comete?

Le comete sono piccoli mondi ghiacciati che provengono principalmente da due regioni del Sistema Solare (Figura 1). Le comete di breve periodo (quelle con un **periodo orbitale*** di meno di 200 anni) provengono dalla fascia di Kuiper, una zona di residui congelati appena oltre l'orbita di Nettuno risalenti alla formazione del Sistema Solare. Si pensa che le comete a lungo periodo (quelle con periodi orbitali fino a decine di migliaia di anni) provengano da un alone sferico di materiale ghiacciato agli estremi del nostro sistema solare conosciuto come la Nube di Oort. Con una estensione fino a distanze di molte migliaia di **unità astronomiche (AU)***, la Nube di Oort è troppo lontana per essere osservata direttamente. È necessario invece ricostruire l'orbita delle comete di lungo periodo indietro nel tempo per determinarne la zona di origine (Figura 2).

Figura 1



Philip Salzgeber

↑ Foto di cometa Hale-Bopp scattata in Croazia.

La maggior parte delle comete orbita intorno al Sole su orbite stabili. Tuttavia, gli oggetti provenienti dalla 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. Tali perturbazioni possono occasionalmente cambiare le orbite di questi piccoli mondi freddi, dirigendoli verso il Sistema Solare interno.

Mentre questi oggetti si avvicinano al Sole cominciano a riscaldarsi e il ghiaccio al loro interno **sublima***. La struttura originale è ora denominata *nucleo*. Mentre il nucleo si riscalda, emette gas e polvere formando una esile, ma vasta, "atmosfera" conosciuta come *coma* (Figura 3).

Man mano che la cometa si avvicina ancora di più al Sole, l'interazione del coma con i crescenti livelli di radiazione solare e di **vento solare*** produce le spettacolari "code" con cui le comete sono più spesso associate. Molto occasionalmente le code sono abbastanza luminose da essere viste da un osservatore sulla Terra in pieno giorno.

***Unità astronomica (AU)**: 1 AU, o raggio orbitale della Terra, è la distanza media tra la Terra e il Sole ed equivale a circa 150 milioni di km.

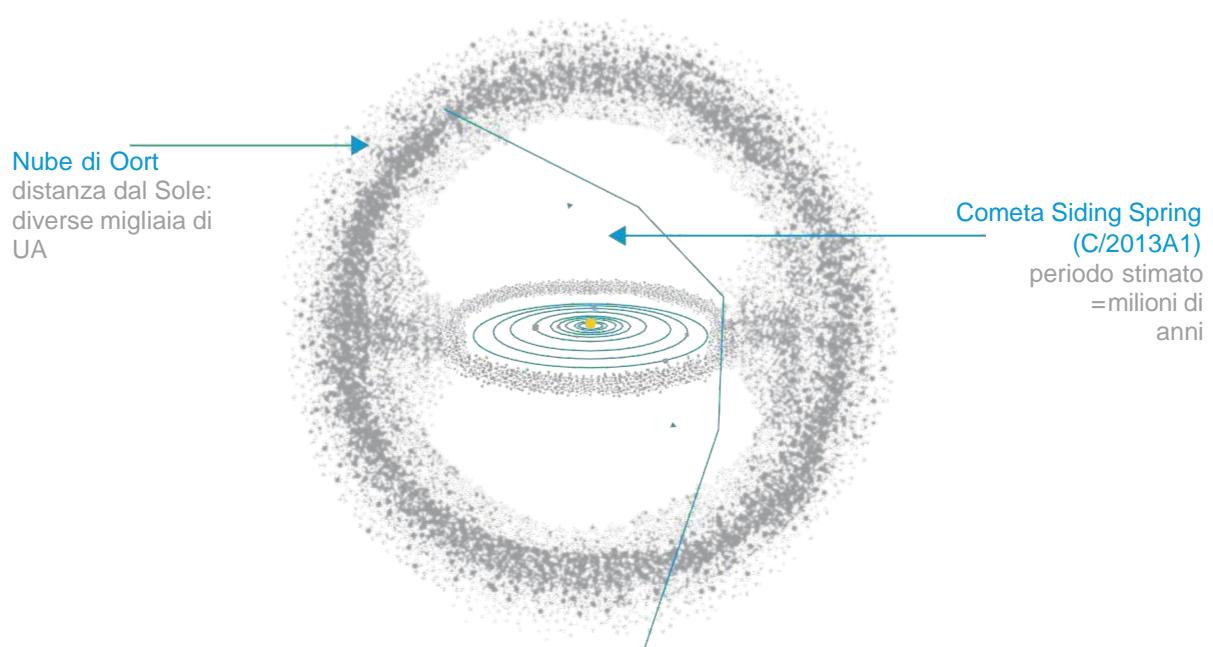
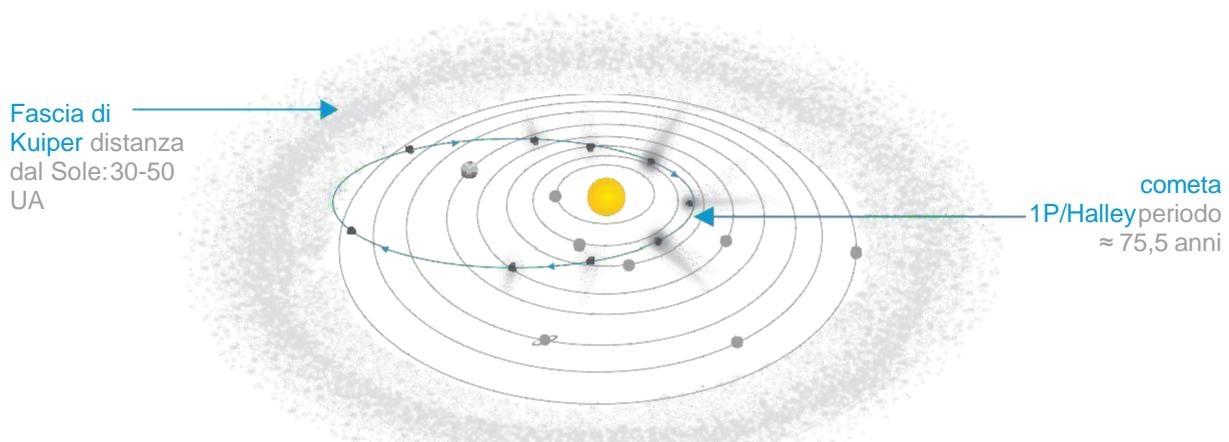
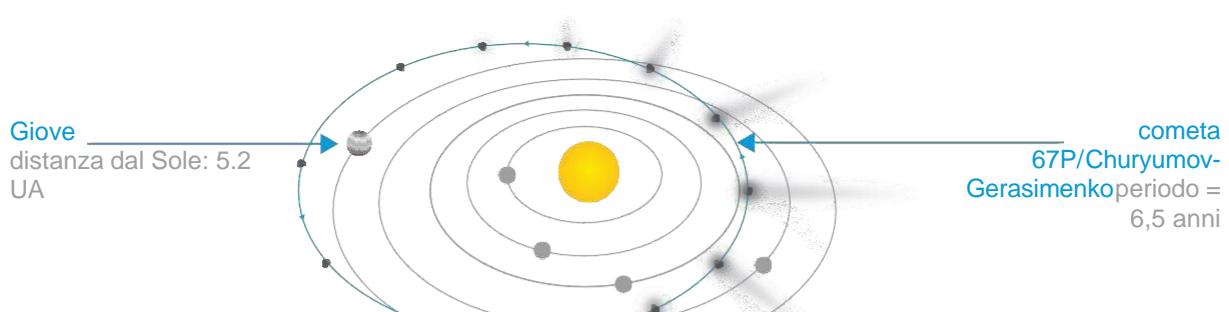
***Perturbazioni gravitazionali**: cambiamenti nell'orbita di un corpo celeste (ad esempio un pianeta o una cometa) a causa di interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (ad esempio pianeti giganti o altre stelle).

***Periodo orbitale**: tempo impiegato per completare un'orbita.

***Vento solare**: un flusso di particelle ad alta energia (plasma) emesse dall'atmosfera esterna del Sole in tutte le direzioni. Consiste principalmente in elettroni e protoni.

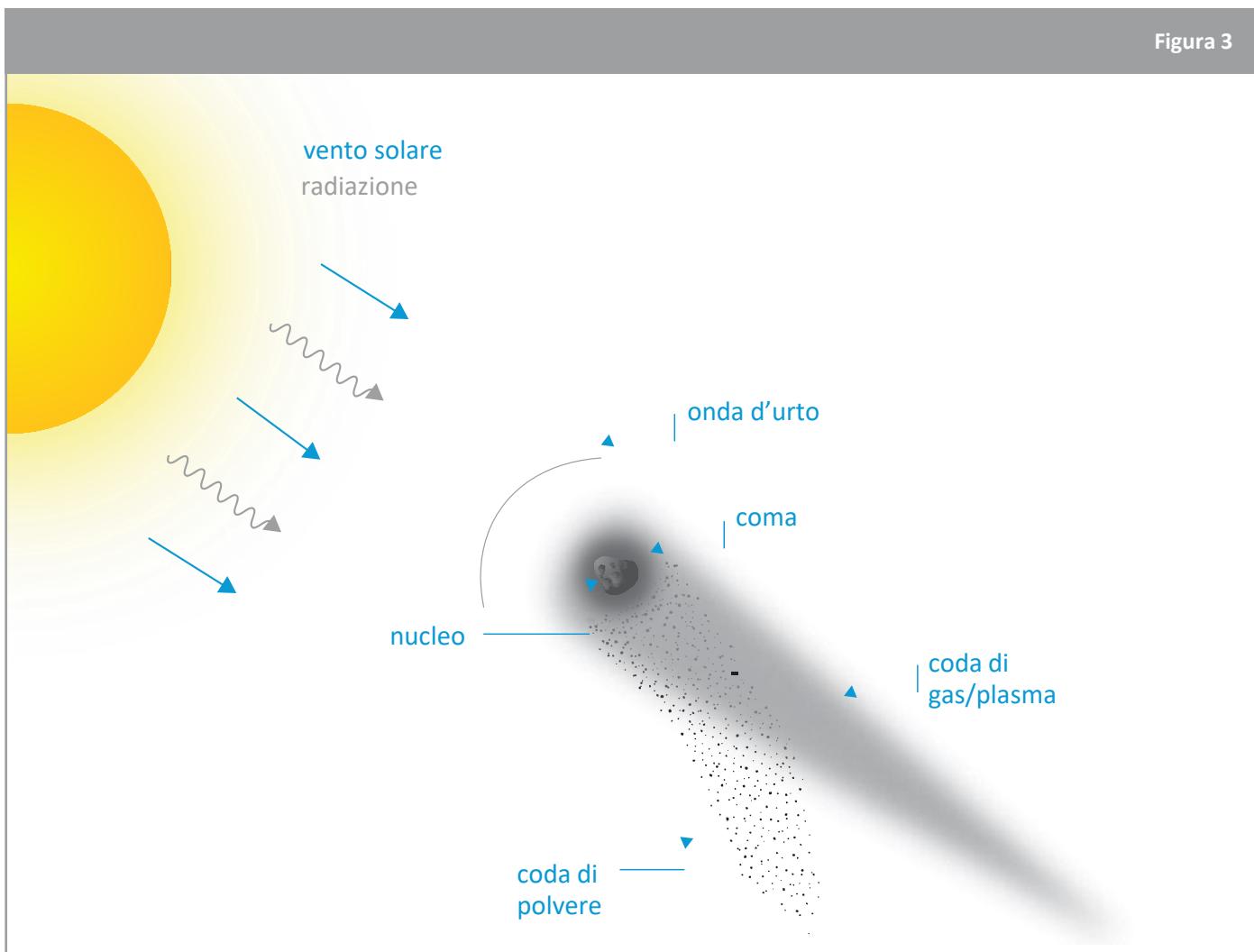
***Sublimare (sublimazione)**: quando il riscaldamento di una sostanza provoca un cambiamento di fase direttamente dalla fase solida alla fase gassosa, senza passare per lo stato liquido. Quando il gas viene raffreddato nuovamente, in genere forma un deposito solido.

Figura 2



- Orbite di comete nel Sistema Solare.

Figura 3



Anatomia di una cometa.

Non tutte le code di cometa sono spettacolari come quelle mostrate nella Figura 1, o addirittura visibili dalla Terra. Sono la dimensione del nucleo, i suoi costituenti, quanto transita vicino al sole, e quante volte la cometa si è precedentemente avvicinata al Sole che determinano quanto spettacolare sarà la sua coda. Una volta superato il suo più vicino avvicinamento al Sole (**perielio***), la cometa si ritirerà di nuovo nelle regioni più fredde del Sistema Solare, dopo aver perso definitivamente parte della sua massa.

Le comete hanno orbite ellittiche con il Sole in uno dei fuochi (Figura 2), e quindi sono visibili solo per un breve periodo di tempo mentre si avvicinano al perielio. Per le comete in orbite altamente ellittiche questa è solo una piccola parte del tempo necessario per completare un'orbita intorno al Sole. La maggior parte della loro esistenza è spesa lentamente a decelerare allontanandosi dal Sole verso l'**afelio*** e accelerare avvicinandosi al Sole verso perielio, a causa degli effetti dell'attrazione gravitazionale del Sole.

Per ulteriori informazioni sulle orbite ellittiche e le orbite delle comete, fare riferimento al kit ESA insegnare con lo spazio - *marble-ous ellipses* | Risorse per la classe P02 (vedere la sezione *Per approfondire*).

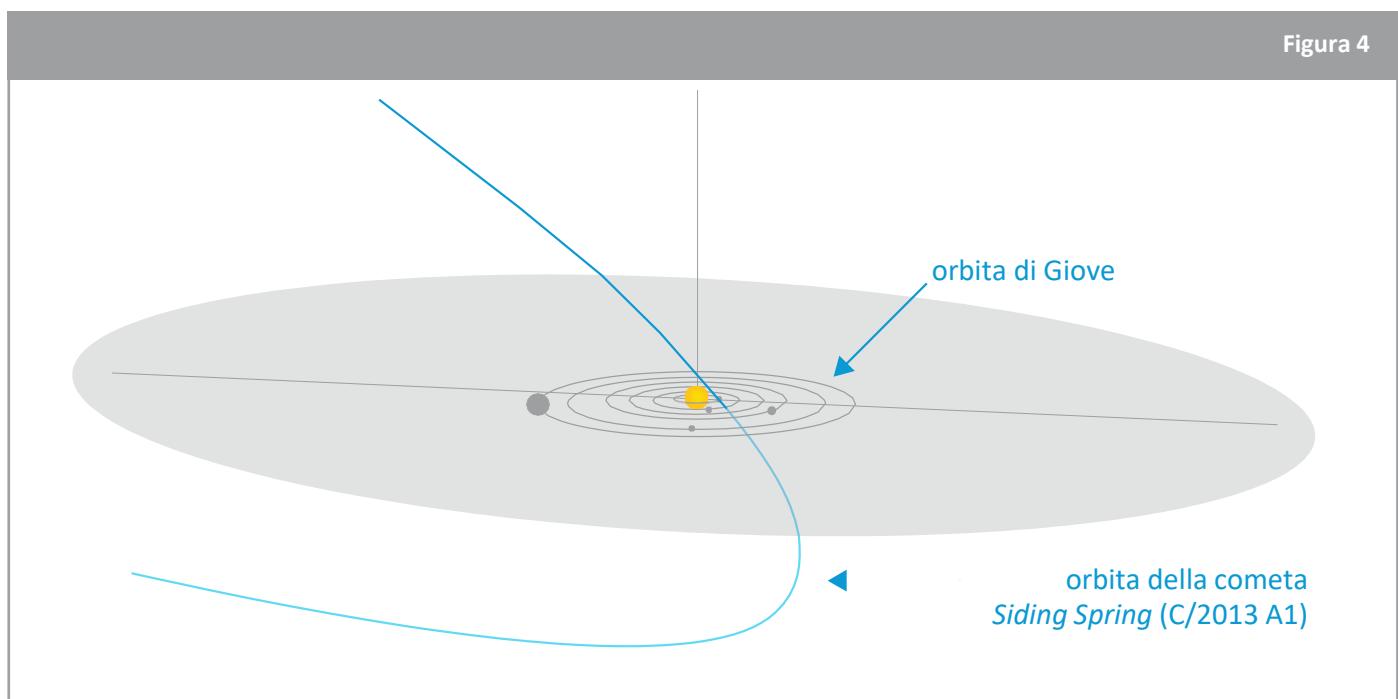
***Afelio:** il punto di un'orbita alla massima distanza dal Sole.

***Onda d'urto (cometa):** superficie di interazione tra gli ioni nel coma della cometa e il vento solare. L'onda d'urto si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. L'onda d'urto si forma di fronte alla cometa in direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, grandi concentrazioni di ioni cometari si accumulano e caricano il campo magnetico solare con il plasma. Il risultato è che le linee di campo si piegano intorno alla cometa, intrappolando gli ioni cometari e formando la coda di gas/plasma/ioni.

***Perielio:** il punto di un'orbita alla minima distanza dal Sole.

Impatti nel Sistema Solare

La figura 2 mostra i percorsi orbitali di 3 diverse comete, che sembrano tutti attraversare le orbite dei pianeti, suggerendo che le collisioni tra comete o asteroidi e pianeti siano inevitabili. Tuttavia, le orbite delle comete che arrivano dalla Nube di Oort possono essere fortemente inclinate rispetto al piano del Sistema Solare (l'eclittica). Pertanto, a causa della prospettiva molti percorsi sembrano attraversare direttamente le orbite planetarie quando in realtà sono ben distanti. Ad esempio, il percorso della cometa *Siding Spring* (C/2013 A1) durante il suo avvicinamento al periolo nel 2014 si rivela molto inclinato rispetto al piano orbitale della Terra (Figura 4).

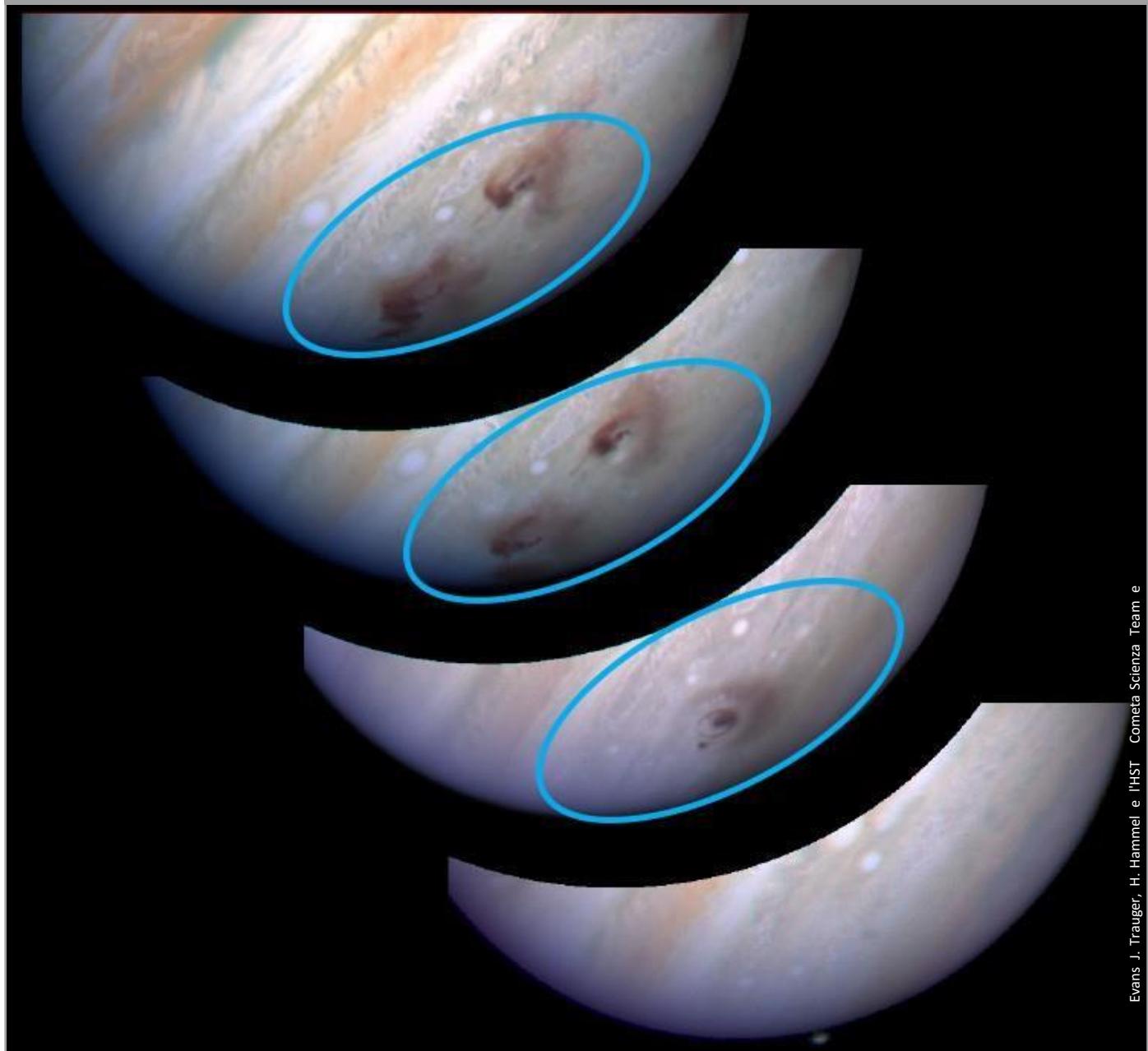


Percorso della cometa *Siding Spring* (C/2013 A1) attraverso il Sistema Solare.

Tuttavia, ci sono prove schiaccianti che i pianeti siano regolarmente colpiti (su scale temporali geologiche) da comete e asteroidi. I processi di impatto hanno formato la maggior parte dei crateri osservati sulle superfici di lune e pianeti in tutto il Sistema Solare. All'inizio della storia del Sistema Solare (periodo tardivo di bombardamento pesante) questi avvenivano con una frequenza molto più elevata, ma anche nel periodo attuale si verificano impatti, sebbene ad un ritmo minore.

Nel 1994, numerosi frammenti della cometa *Shoemaker-Levy 9* (D/1993 F2) hanno colpito la superficie di Giove. La traccia d'impatto più grande osservata fu di migliaia di chilometri di diametro. Ciò è stato causato dal frammento G della cometa, che era grande solo pochi chilometri. Gli effetti di questo impatto sull'atmosfera di Giove possono essere osservati nella Figura 5, in un montaggio di immagini scattate dal telescopio spaziale *Hubble*.

Figura 5



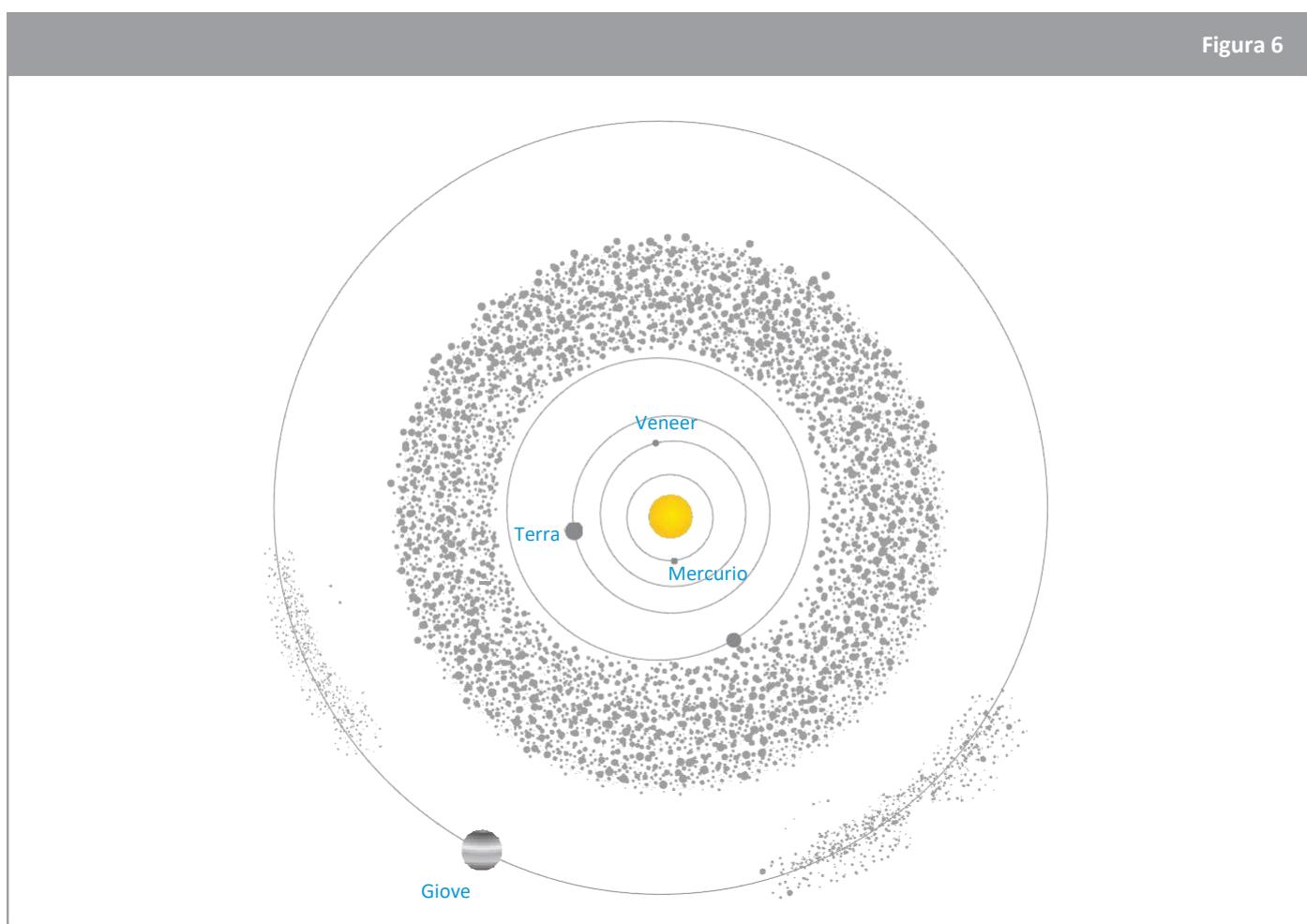
Questo mosaico di immagini mostra l'evoluzione del sito di impatto G su Giove (evidenziato dall'ellisse blu).

Evans J., Trauger, H., Hammel e l'HST Cometa Scienza Team e

Asteroidi

Le comete non sono gli unici oggetti che colpiscono la Terra e gli altri corpi del Sistema Solare. Gli asteroidi, che hanno origine in gran parte nella cintura degli asteroidi tra Marte e Giove (Figura 6), sono grandi oggetti rocciosi o metallici. Nel complesso gli asteroidi si formarono molto più vicino al Sole e quindi contengono meno elementi leggeri delle comete. Metalli, ossidi metallici, minerali e silicati dominano la composizione degli asteroidi. Nelle comete, le maggiori quantità di elementi leggeri, come carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo e zolfo, consentono la formazione di alcuni composti, ad esempio acqua, metano e anidride carbonica.

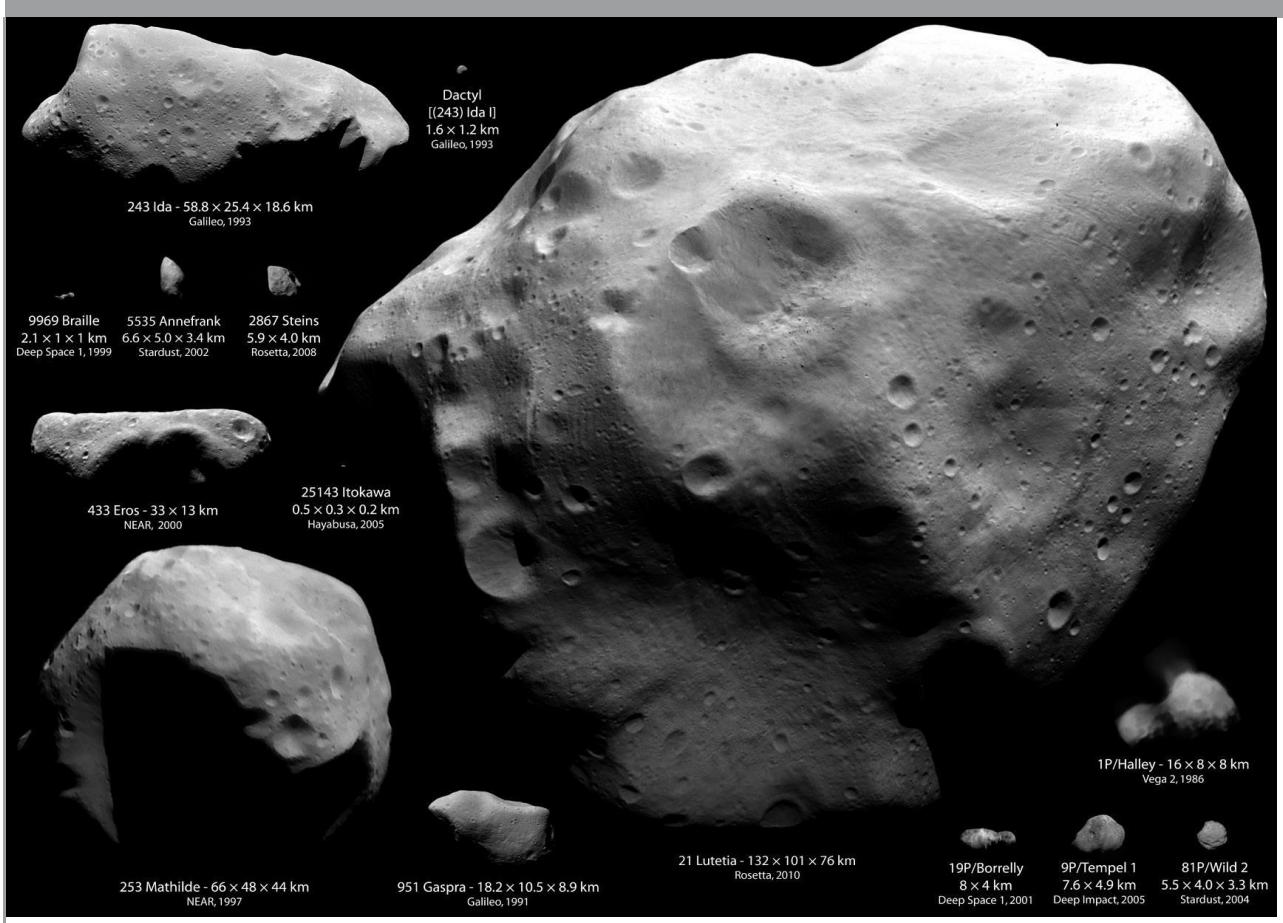
I più grandi asteroidi conosciuti sono Vesta e Pallas che misurano più di 500 km in diametro. La figura 7 mostra un confronto delle dimensioni di alcuni asteroidi e comete. Gli asteroidi irregolari mostrati nella Figura 7 sono molto più piccoli di Vesta e Pallas, ma molti sono considerevolmente più grandi dei nuclei di comete che sono stati fotografati.



↑ Un diagramma della distribuzione degli asteroidi nel Sistema Solare. La maggior parte degli asteroidi risiede nella fascia principale tra le orbite di Marte e Giove. Altri grandi gruppi di asteroidi sono gli asteroidi Troiani di Giove che occupano i **punti lagrangiani*** stabili, L4 e L5, sull'orbita di Giove.

Punti lagrangiani: in qualsiasi configurazione orbitale ci sono cinque punti in cui un oggetto sottoposto solo alla gravità può orbitare stabilmente. Per ulteriori informazioni, vedere il video ESA *insegnare con lo spazio - pozzi gravitazionali | VP04* (vedere la sezione *Per approfondire*).

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 / Emily Lakdawalla. Mathilde: NASA / JHUAPL / Ted Stryk. Lutetia: ESA / OSIRIS team / Emily Lakdawalla. Halley: Russian Academy of Sciences / Ted Stryk.
 Tempel 1: NASA / JPL / UMD. Wild 2: NASA / JPL / UMD.

- Confronto delle dimensioni di asteroidi e comete.

Impatti sulla Terra

Sulla Terra, i processi tettonici e meteorologici attivi in superficie fanno sì che i crateri durano generalmente alcuni milioni di anni prima di scomparire dalla vista. Tuttavia, l'analisi geologica delle rocce del sottosuolo e altre caratteristiche possono essere utilizzate per dedurre la formazione di un cratere nel passato. All'inizio degli anni '90 questo portò 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 conosciuta come Yucatan in Messico. Questo impatto ha formato un cratere di oltre 150 km di diametro. Il successivo cambiamento climatico globale che si è verificato è stato una delle principali cause di uno dei più grandi eventi di estinzione nella storia geologica della Terra – il Cretaceo – estinzione del Paleogene – che ha portato infine all'estinzione dei dinosauri.

Su scale temporali molto più recenti, si sono formati crateri più piccoli ancora visibili, come il Meteor Crater (noto anche come il cratere Barringer) in Arizona, USA, mostrato Figura 8.

Figura 8



↑ Immagine a sinistra: *Meteor Crater*, Arizona, USA. Immagine a destra: *Meteor Crater* fotografato dalla Stazione Spaziale Internazionale.

Il *Meteor Crater* si è formato circa 50 000 anni fa da un asteroide di ferro/nichel precipitato nelle pianure dell'Arizona, negli Stati Uniti. Questo impatto ha originato un cratere profondo quasi 200 m e con un diametro di 1,5 km. Frammenti dell'impatto originale sono sparsi in tutto il territorio circostante.

Nel 1908 un asteroide o una cometa, che si pensa avesse un diametro superiore ai 50 metri, esplose ad un'altitudine di 5-10 km su una remota area forestale vicino al fiume Tunguska in quella che oggi è Krasnoyarsk in Russia. Mentre si pensa che l'asteroide o la cometa non abbia colpito la superficie terrestre, la forza dell'esplosione ha devastato una zona di foresta superiore a 2000 km² (figura 9).

Figura 9



↑ Alberi rovesciati nell'esplosione di Tunguska.

→ Attività: Cucinare una cometa

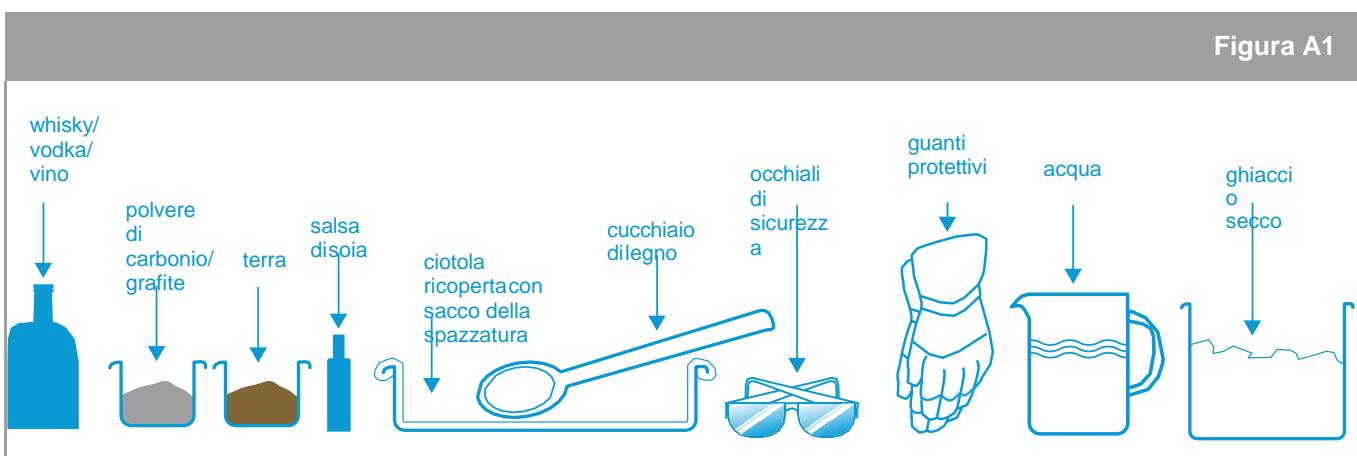
Guida per l'insegnante

In questa dimostrazione, gli insegnanti simulano un nucleo di cometa in classe. Gli ingredienti utilizzati rappresentano con precisione il materiale che si trova nel nucleo reale di una cometa.

La versione per studenti di questa attività utilizza quantità minori in bicchieri di plastica. È importante che gli studenti abbiano istruzioni chiare sui pericoli e seguano le linee guida per la salute e la sicurezza. Le istruzioni per gli studenti vengono fornite nella scheda di lavoro dello Studente dopo l'attività.

Materiali (Figura A1)

- Ghiaccio secco (circa 0,75 litri, il più piccolo quantitativo disponibile)
- Acqua (circa 0,75 litri)
- Contenitori/sacchi per la spazzatura di grandi dimensioni
- 10 cucchiai (o 4 cucchiai di legno molto grandi) di terra (assicurarsi che la terra non sia in grumi, mareolare in consistenza)
- 1 cucchiaio di polvere di carbone o polvere di grafite
- 2-3 cucchiai di whisky, vodka o vino rosso (componente di metanolo/etanolo)
- Qualche goccia di salsa di soia (componente organica)
- Alcune gocce di un prodotto per la pulizia (componente ammoniaca)
- Una ciotola di plastica grande
- Secchio per lo smaltimento
- Cucchiaio di legno
- Schermo di sicurezza trasparente
- Contenitore di polistirolo per ghiaccio secco
- Guanti protettivi termici
- Occhiali di sicurezza per lo sperimentatore e per tutti i partecipanti
- Camice da laboratorio protettivo per lo sperimentatore (opzionale)
- Contenitori graduati



↑ configurazione dell'esperimento.

Salute e sicurezza

- Quando si maneggia ghiaccio secco indossare sempre guanti protettivi e occhiali di sicurezza. Nontoccare, ingoiare o assaggiare il ghiaccio secco. Dare agli studenti istruzioni chiare circa il pericolo, e la distanza a cui dovrebbero essere seduti rispetto alla dimostrazione dato che la cometa può 'sputare'.
- Non sigillare il ghiaccio secco in un contenitore in quanto può provocare emissioni di gas esplosive!
- Smaltire la cometa all'esterno in un'area ben ventilata a cui gli studenti non possono accedere.
- Non conservare mai il ghiaccio secco in un congelatore domestico.
- Fare l'esperimento in una zona ben ventilata.

Procedimento

Si prega di fare riferimento al video di accompagnamento: Insegnare con lo spazio – cucinare una cometa |VC03.

1. Rivestire la ciotola con un sacco per la spazzatura. Ti consigliamo di mettere la ciotola all'interno del sacco e di allineare la ciotola con lo strato superiore. Questo renderà più facile smaltire la cometa in seguito. Assicurarsi che il sacchetto sia liscio lungo l'interno della ciotola.
2. Aggiungere i seguenti ingredienti: acqua, terra, polvere di carbone, vino/alcool, prodotto per la pulizia e salsa di soia. Questi rappresentano alcuni componenti di una cometa reale. Alcuni volontari dal pubblico potrebbero partecipare aggiungendo alcuni degli ingredienti. Mescolare bene con il cucchiaio di legno.
3. Aggiungere il ghiaccio secco al composto. Mescolare il composto con il cucchiaio di legno. È utile avere un assistente per inclinare la ciotola durante la miscelazione. Quindi, indossando i guanti protettivi, modellare la cometa in un ammasso per circa 30 secondi. Se la cometa non si attacca facilmente, aggiungere un po' più d'acqua. Non comprimerlo troppo poiché la cometa può rompersi.
4. Una volta completata la dimostrazione, posizionare la cometa all'interno della ciotola e rimuovere con attenzione la ciotola dal sacco, racchiudendo la cometa nel sacco stesso. Mettere il sacco nel secchio. Assicurarsi che il sacco sia ancora aperto in modo che i gas possano fuoriuscire. Smaltire il nucleo in un'area esterna dove l'accesso è limitato. Il ghiaccio secco nel nucleo dovrebbe sublimare entro 24 ore.

Suggerimento: se l'esperimento si svolge al mattino, gli studenti potrebbero tornare nel pomeriggio per vedere come si è evoluta la cometa.

La pratica rende le comete migliori! Per ottenere i migliori risultati è una buona idea provare un paio di volte prima di fare l'esperimento con gli studenti.

Discussione

In che modo gli ingredienti rappresentano ciò che troviamo nei nuclei di un'cometa reale? Quali sono le implicazioni per la vita sul nostro pianeta?

Le prime osservazioni spettroscopiche delle comete hanno avuto luogo tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo. La spettroscopia ha permesso agli astronomi di iniziare a scoprire la composizione chimica del coma della cometa (la sua atmosfera). Queste prime osservazioni hanno identificato il carbonio diatomico, ioni di sodio e una varietà di molecole a base di carbonio, ossigeno e azoto.

Nel 1950, l'astronomo statunitense Fred Whipple propose un nuovo modello per descrivere il nucleo di una cometa. Il modello "palla di neve sporco" di Whipple suggerisce che le comete abbiano un nucleo ghiacciato composto da tracce di polvere, roccia e per lo più elementi volatili congelati, come **acqua, anidride carbonica, metano e ammoniaca**. Le osservazioni da terra e nello spazio hanno poi confermato il modello di Whipple, anche se sono state necessarie alcune piccole modifiche in quanto le osservazioni hanno mostrato che i nuclei delle comete sono più grandi e più scuri di quanto descritto nel modello.

Un recente studio della cometa 103P/Hartley ha dimostrato che il suo contenuto d'**acqua** ha lo stesso rapporto isotopico di deuterio e idrogeno (acqua pesante) degli oceani della Terra. Questa è stata una scoperta molto significativa. L'acqua è una molecola chiave per la vita come la conosciamo. È un solvente universale che consente la dissoluzione di vari componenti chimici al suo interno. Gli scienziati ritengono che l'acqua sia la chiave per lo sviluppo della vita. Gli impatti cometari all'inizio della storia della Terra potrebbero essere stati una delle principali fonti dell'acqua originale della Terra.

Il contenuto di **carbonio** delle comete è significativo perché tutta la vita come la conosciamo è basata sul carbonio. Questo ingrediente chiave per la vita sulla Terra potrebbe essere arrivato tramite gli impatti cometari.

La salsa di **soia** rappresenta gli amminoacidi e precursori di amminoacidi presenti nelle comete. Nel 2004 la missione Stardust della NASA ha prelevato campioni della polvere nel coma della cometa 81P/Wild che sono stati riportati a Terra. L'analisi di questa polvere ha confermato la presenza di glicina, l'amminoacido più semplice. Questa scoperta è incredibilmente importante. Gli amminoacidi sono gli elementi costitutivi delle proteine. In quanto tali, sono un elemento costitutivo della vita stessa. Trovare queste molecole biologiche (formula chimica C₂H₅NO₂) su un corpo celeste che non è la Terra potrebbe

essere per gli scienziati l'indizio che alcuni degli ingredienti per la vita forse sono stati portati sul nostro pianeta da impatti cometari miliardi di anni fa.

Oltre al **biossido di carbonio** (ghiaccio secco) utilizzato nella dimostrazione, altri gas sono stati scoperti nel coma delle comete usando la spettroscopia. Questi includono (ma non sono limitati a) quelli elencati nella tabella 1.

Tabella A1

<chem>C2H4</chem>	etilene
<chem>NH3</chem>	ammoniaca
<chem>CH4</chem>	metano
<chem>C2H6</chem>	etano
<chem>C2H5NH2</chem>	etilammina
<chem>O2</chem>	ossigeno
<chem>CH3OH</chem>	metanolo
<chem>NH2CH2O</chem>	amminometanolo
<chem>H2O2</chem>	perossido di idrogeno
<chem>H2</chem>	idrogeno
<chem>CH3COOH</chem>	acido acetico
<chem>CH3NH2</chem>	Metilammina
<chem>C2H2</chem>	Acetilene
<chem>HCN</chem>	cianuro di idrogeno

↑ Gas trovati nei nuclei delle comete.

Quali sono le cause della produzione esplosiva di gas durante la dimostrazione?

Durante questa attività, man mano che si forma il nucleo della cometa analogica, ci sono due fattori concorrenti al lavoro. L'acqua liquida entra in contatto termico con ghiaccio secco, che ha una temperatura inferiore a -78° C - l'acqua liquida congela formando una "gabbia di ghiaccio" intorno al ghiaccio secco. Poiché il ghiaccio secco è a contatto termico con materiale superiore a -78° C inizia a sublimare. Il cambiamento del ghiaccio secco dalla fase solida a quella gassosa si traduce in un cambiamento di volume di oltre 600 volte. Ciò significa che le sacche di ghiaccio secco possono generare fenomeni esplosivi attraverso la crosta di ghiaccio d'acqua del nucleo. Per questo motivo si consiglia vivamente di indossare un camice da laboratorio protettivo, così come i guanti protettivi e gli occhiali di sicurezza.

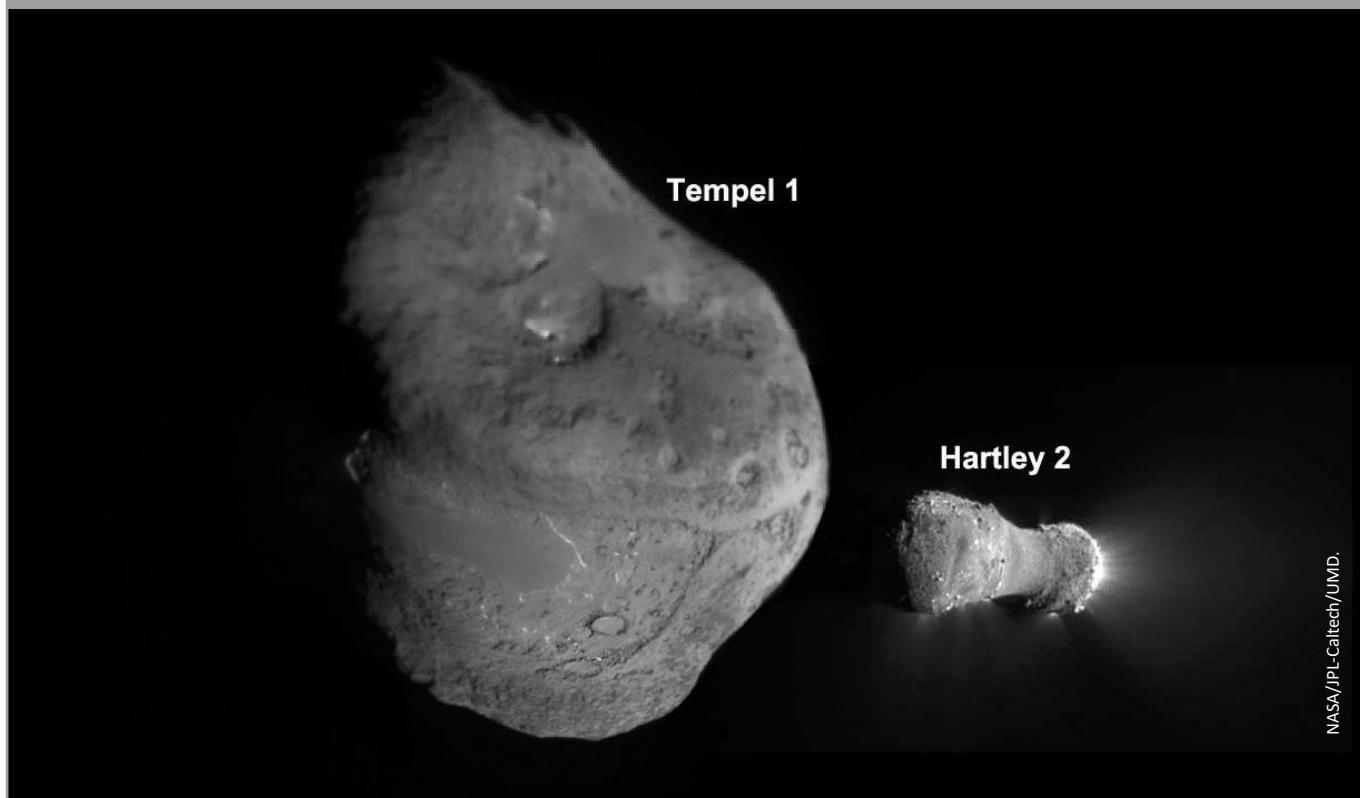
Che forma hanno e quanto sono grandi i nuclei delle comete?

Un certo numero di **flyby*** ha confermato una varietà di forme e dimensioni per i nuclei delle comete. Queste missioni includono *Giotto* (ESA – cometa 1P/Halley e cometa 26P/Grigg-Skjellerup), *Stardust* (NASA – cometa 81/P/Wild e cometa 9P/Tempel), *Deep Impact* (NASA – cometa 9P/Tempel e cometa 103P/Hartley) e *Rosetta* (ESA – cometa 67P/ Churyumov-Gerasimenko). Nell'immagine in scala mostrata nella Figura A2, l'asse lungo del nucleo della cometa 103P/Hartley è circa 2,2 km, mentre il nucleo della cometa 9P/Tempel è di circa 7,6 km lungo la sua dimensione più lunga. Misurazioni preliminari effettuate dalla missione Rosetta dell'ESA all'arrivo sulla cometa 67P/Churyumov–Gerasimenko hanno confermato che la sua dimensione più lunga è di 4,1 km.

Flyby: passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale intorno a un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se il veicolo spaziale utilizza il campo gravitazionale del pianeta per aumentare la velocità del veicolo spaziale e cambiare la sua traiettoria, questo è chiamato uno *swing by* oppure una manovra con *assist gravitazionale*.

Il montaggio in figura 7 mostra varie foto di nuclei di cometa a confronto con immagini acquisite durante flyby di veicoli spaziali (fino al 2010) intorno ad asteroidi e a diverse lune del Sistema Solare. I nuclei delle comete sono mostrati nell'angolo in basso a destra della figura 7.

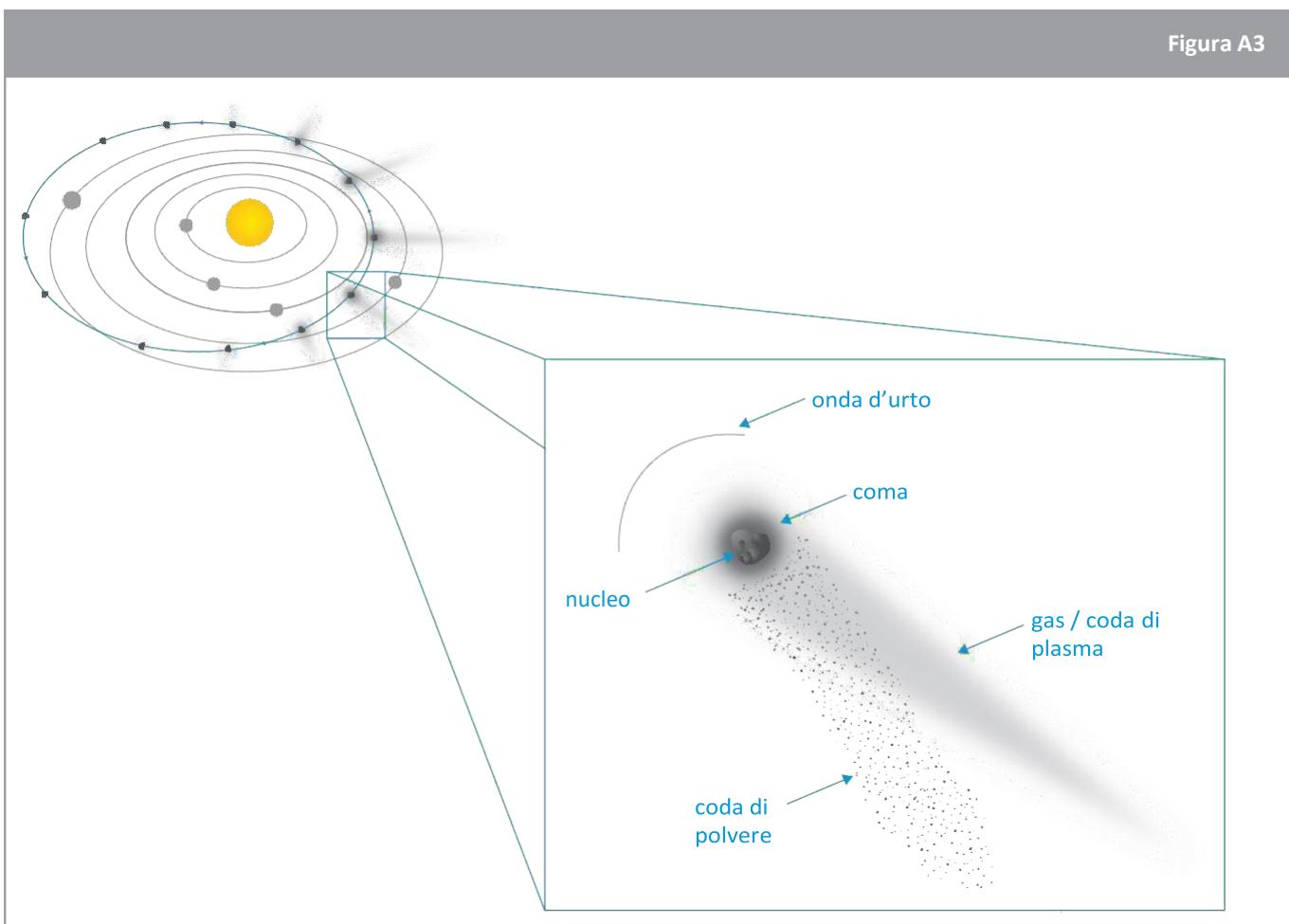
Figura A2



Perché alcune code di comete sono così diverse?

La forma e l'aspetto delle code di cometa sono dovuti all'interazione tra il vento solare e la radiazione solare con il materiale espulso dal nucleo. Due code sono spesso viste in direzioni diverse. Una delle due punta sempre in direzione opposta al Sole. Questa è la coda di plasma o la coda di ioni. La luce ultravioletta del Sole ionizza i gas nel coma. Queste particelle ionizzate vengono poi trascinate lontano dalla cometa dal vento solare. L'altra coda è la coda di polvere, che è formata dalla pressione di radiazione solare che spinge le piccole particelle solide del coma lontano dal Sole. La coda di polvere si curva leggermente all'indietro, o forma un arco, nella direzione da cui la cometa proviene (Figura A3). Poiché i tassi di attività solare, la rotazione del nucleo e le velocità di sublimazione variano enormemente da cometa a cometa si può osservare una plethora di diverse forme di coda.

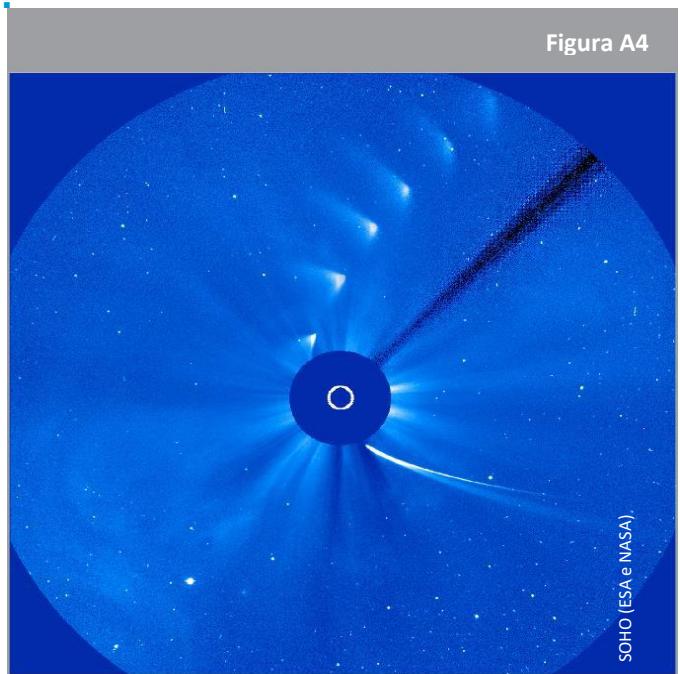
Figura A3



↑ Un diagramma che mostra le due code di una cometa e come variano nell'orbita di una cometa intorno al Sole.

Quanto durerà un nucleo di cometa?

Le comete perdono sostanze volatili (ad esempio, anidride carbonica e acqua) e polvere durante ogni passaggio del perielio, lasciando dietro di sé tracce di detriti. Ciò significa che un dato nucleo può avere un numero finito di passate di perielio prima che tutti i suoi volatili siano esauriti. Un esempio di questo è stata cometa 2012/S1 ISON, una cometa radente che ha fatto il suo primo passaggio vicino perielio nel 2013 (Figura A4). È stato visibile come la cometa 2012/S1 ISON abbia smesso di produrre gas e polvere poco prima di passare oltre il Sole.



↑ Il pennello della cometa ISON con il Sole visto dal satellite ESA/NASA SOHO nel periodo 28-30 novembre 2013.

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

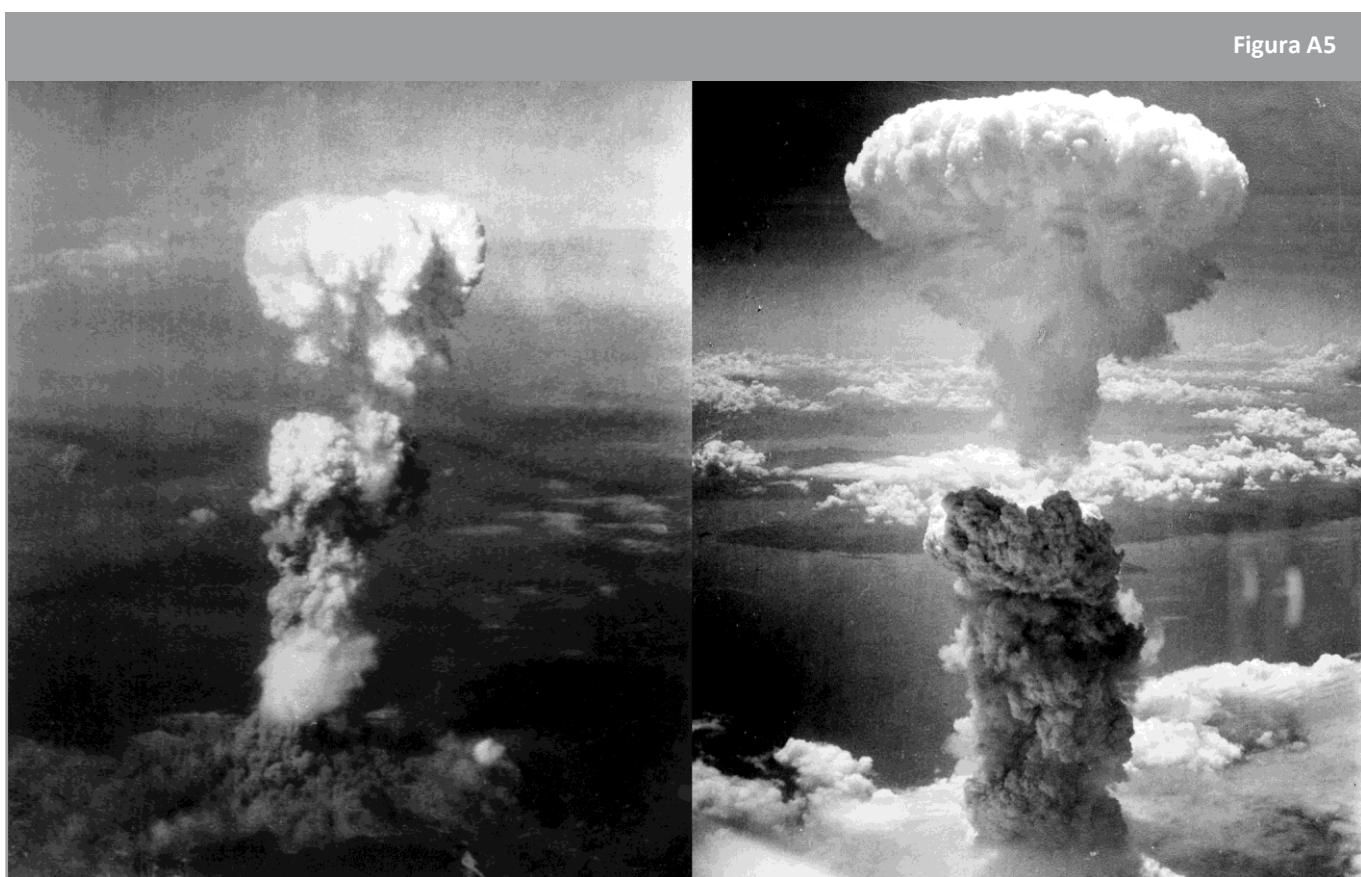
Quando le sostanze volatili nel nucleo di una cometa (come l'anidride carbonica e l'acqua) iniziano a riscaldarsi durante l'avvicinamento al Sole, l'espulsione di gas potrebbe creare un effetto di rinculo. Il gas, mentre viene espulso, esercita sulla cometa una forza uguale e opposta (la terza legge di Newton), dando quindi alla cometa una leggera spinta. L'effetto può essere quello di alterare leggermente il percorso orbitale della cometa, e anche il suo periodo intorno al Sole dato che il nucleo viene deviato lontano dal suo percorso previsto. Dato che la maggior parte dei nuclei sono anche in rotazione (forse intorno a più assi, ruotando sia in avanti che lateralmente) le deviazioni possono variare enormemente da cometa a cometa.

Estensione della discussione - comete o asteroidi possono mai colpire la Terra?

Utilizzando ciò che è stato appreso durante i test nucleari condotti da varie nazioni dal 1945, e l'equazione dell'energia cinetica, è possibile fare una buona approssimazione delle dimensioni dell'impatto che ha creato il *Meteor Crater*.

Le energie delle armi nucleari sono misurate in kilotonni (kt) – con 1 kt pari al rendimento energetico di 1000 tonnellate di TNT. $1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$.

Le bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki (Figura A5) avevano una resa energetica di circa 20 kt a testa.



↑ Immagine a sinistra: fungo atomico sopra Hiroshima dalla prima bomba atomica. Immagine a destra: bombardamento atomico di Nagasaki.

Per creare un cratere delle dimensioni del *Meteor Crater* nel tipo di roccia che si trova nell'area, ci vorrebbero 2,5 Mt (2500 kt) o circa 125 bombe di Hiroshima. Un modello di simulazione matematica al computer suggerisce che l'impatto che ha colpito la Terra viaggiasse a circa 12,8 km/s. Questo fornisce informazioni sufficienti per calcolare una dimensione approssimativa dell'oggetto che ha causato l'impatto.

Ci sono molti frammenti dell'oggetto che ha formato il *Meteor Crater* sparsi per il paesaggio circostante. L'analisi di questi frammenti mostra che l'oggetto era composto per il 92% di ferro e il 7% di nichel (il restante 1% conteneva inclusioni di silicato e altri elementi). L'oggetto aveva una densità media di circa 7000 kg m^{-3} .

Con queste informazioni è possibile effettuare i seguenti calcoli, supponendo che tutta l'energia cinetica del corpo sia stata convertita in energia esplosiva per formare il cratere:

1. Riassunto dei parametri

Energia Cinetica, $E_k =$

2500 kt

Velocità di ingresso = $12,8 \text{ km s}^{-1}$

$1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$

Densità del meteorite ferroso, 7000 kg m^{-3}

2. Converti l'energia necessaria per far saltare il 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. Utilizza l'equazione dell'energia cinetica per calcolare la massa del corpo

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

4. Risolviamo per m:

$$m = \frac{2E_k}{v^2} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{16} \text{ J}}{(12800 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 128 \cdot 10^6 \text{ kg} = 128000 \text{ t}$$

5. Utilizzare l'equazione densità per elaborare il volume dell'impatto. Dal momento che la massa = densità x volume

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}}{\text{densità}} = \frac{128 \cdot 10^6 \text{ kg}}{7000 \text{ kg/m}^3} = 1,83 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$

à

6. Supponendo che l'oggetto fosse sferico, utilizzare l'equazione della sfera per elaborare il suo raggio. In alternativa si può modellare l'oggetto come un cubo.

E dal momento che il volume di una sfera = $(4/3) \pi r^3$

Riorganizzando,

$$r^3 = \frac{3 \cdot 1,83 \cdot 10^4 \text{ m}^3}{4\pi} = 4371 \text{ m}$$

e quindi $r = 16,4 \text{ m}$

Gli studenti possono quindi studiare le limitazioni / incertezze nelle ipotesi fatte nella modellazione, tra cui:

- assumere la conversione al 100% dell'energia cinetica. L'energia viene dissipata anche in altre forme, come il suono e il riscaldamento termico dell'atmosfera.
- l'incertezza nella velocità di impatto. Questo valore è un valore dedotto dalle osservazioni di un vecchio cratere da impatto e quindi potrebbe essere impreciso portando a un calcolo di dimensioni non corrette.
- l'angolo di impatto. La quantità di roccia che verrebbe vaporizzata o espulsa varia a seconda dell'angolo di impatto. Dal momento che molti dei fattori originali sono dedotti da questa prova, l'angolo di ingresso fa molta differenza per i risultati. Sperimentare diverse angolazioni di entrata per lo stesso corpo utilizzando il simulatore di impatto Down2Earth (vedi più avanti e nella sezione Link) potrebbe aiutare ad espandere questo punto.

Simulatore di impatto online – 'Down2Earth'

Down2Earth (vedi sezione *Per approfondire*) è un simulatore di impatto basato sul web per scopi educativi che consente agli studenti di impostare i parametri per un impatto, come la composizione del corpo (asteroide o cometa), l'angolo di ingresso, le dimensioni, il tipo di roccia nel sito di impatto e la posizione dell'impatto. Gli studenti possono prevedere l'effetto di questi fattori sulle dimensioni del cratere e correlarli ai trasferimenti di energia durante l'impatto. Gli studenti possono quindi testare le loro previsioni in un ambiente virtuale.

→ Conclusioni

Le comete forniscono un contesto interessante per insegnare molti argomenti in classe, dai campi gravitazionali e le orbite, l'energia cinetica e il trasferimento di energia, fino alla spettroscopia di una cometa e agli ingredienti per la vita. Il nostro interesse per questi mondi congelati offre ricche e interessanti opportunità di apprendimento.

Cucinare una mini cometa

In questa attività, si costruirà un modello del nucleo di una cometa utilizzando ingredienti comuni per rappresentare i principali gruppi di materiali trovati nei nuclei di cometa. Alcuni dei materiali, come il ghiaccio secco, sono pericolosi

– l'insegnante ti darà le istruzioni su come usarle.

Materiali

- Ghiaccio secco (circa 100 ml)
- Acqua (circa 100 ml)
- Piccoli sacchetti per la spazzatura
- 3 cucchiaini di terreno
- 1 cucchiaino di polvere di carbone o polvere 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 la pulizia (prodotto con ammoniaca)
- Tazza di plastica usa e getta
- Secchio per lo smaltimento
- Cucchiaiino
- Contenitore di polistirolo per ghiaccio secco
- Guanti protettivi termici
- Occhiali di sicurezza per tutti i partecipanti
- Camice da laboratorio protettivo

Procedimento

1. Mettere i seguenti ingredienti in una tazza di plastica usa e getta foderata con il sacchetto della spazzatura: acqua, terra, polvere di carbone, vino/alcool, prodotto per la pulizia e salsa di soia. Questi rappresentano alcuni dei composti di una vera cometa. Mescolare bene con il cucchiaino.
2. Aggiungere il ghiaccio secco. Mescolare l'acqua e la miscela di ghiaccio secco. Quindi, indossando i guanti protettivi, modellare la cometa in un ammasso per circa 30 secondi. Non comprimerlo troppo, la cometa potrebbe rompersi.
3. Quando l'attività è stata completata, posizionare la cometa all'interno di un sacchetto e metterla nel secchio fornito dall'insegnante.

Calcolare la massa della cometa, la velocità e l'energia

Attraverso questa serie di domande si studieranno la massa, le velocità e le energie delle comete utilizzando i dati forniti nella tabella seguente.

Massa del Sole $m_{\text{sole}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$

Densità di ghiaccio 1000 kg m^{-3}

Costante gravitazionale $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

Domande

1. Una cometa ha un'energia cinetica di $4,5 \times 10^{13} \text{ J}$. Sta viaggiando con una velocità di 34 km s^{-1} . Calcola la massa della cometa.

2. Una grande cometa di massa da $5,2 \times 10^8 \text{ kg}$ ha un passaggio ravvicinato con la Terra e sfiora l'atmosfera. Al momento della misurazione la sua velocità era di $49,0 \text{ km/s}$.
 - a) Calcolare l'energia cinetica della cometa (in J).

 - b) Se l'energia rilasciata da 1 kilotone (1000 tonnellate) di TNT che esplode è $4,2 \times 10^{12} \text{ J}$, quantichilotoni di energia avrebbe avuto questa cometa in caso di impatto sulla Terra?

 - c) Dopo l'impatto mancato, la massa e la traiettoria della cometa sono state alterate. Suggerisci un motivo per questo.

3. Una cometa è in un'orbita ellittica intorno al Sole. Il suo passaggio più vicino al Sole è ad una distanza di $4,9 \times 10^{10} \text{ m}$. A questo punto la sua velocità è $8,9 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. Ha avuto origine nella nube di Oort, ben oltre l'orbita di Nettuno. Qual è la sua velocità quando dista $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ dal Sole (questa è la distanza orbitale della Terra dal Sole)?

4. Come pensate che gli impatti di comete e asteroidi abbiano influenzato la Terra e la vita sulla Terra nel corso della sua storia?

→ CONTESTO SPAZIALE @ ESA

Giotto

La cometa 1P/Halley ha un periodo orbitale di circa 75,5 anni (la cifra varia leggermente da orbita a orbita a causa delle perdite di gas dal suo nucleo e delle perturbazioni gravitazionali). Questa cometa è stata osservata regolarmente dalla Terra (ad occhio nudo) e gli avvistamenti sono stati registrati dal 240 a.C. circa. I registri di queste osservazioni hanno permesso agli astronomi di limitare l'orbita della cometa 1P/Halley a pochi mesi intorno al perielio. Una famosa testimonianza della visibilità della cometa 1P/Halley dalla Terra è riportata sull'arazzo di Bayeux che raffigura la battaglia di Hastings nel 1066 (Figura 10).

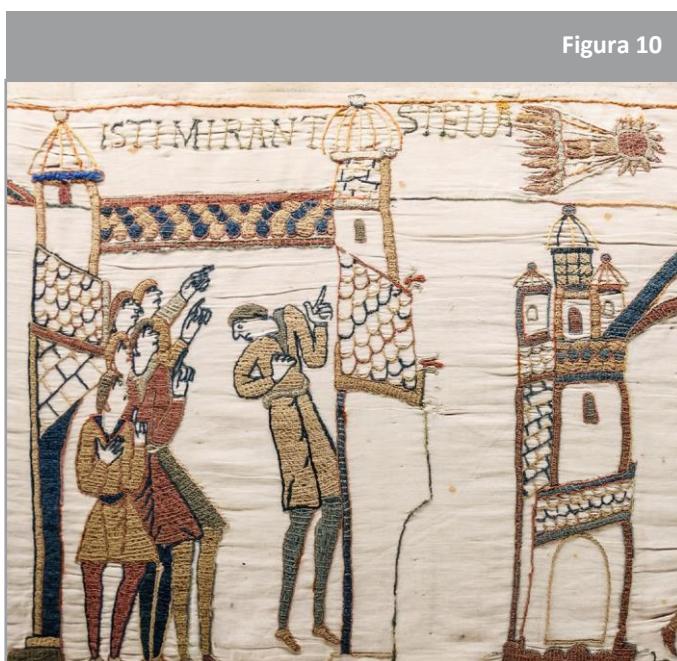


Figura 10



Figura 11

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

↑ Giotto pronta per il test di simulazione solare. Copyright: ESA

Più recentemente, nel 1986, la cometa 1P/Halley ha fatto il suo primo approccio al Sole dall'inizio dell'era spaziale. La sonda Giotto dell'ESA (Figura 11) ha superato il suo nucleo fino ad una distanza inferiore a 600 km, ottenendo le prime immagini ravvicinate di un nucleo di cometa (Figura 12 e 13). Queste osservazioni hanno migliorato la comprensione di questi oggetti ghiacciati da parte degli scienziati.

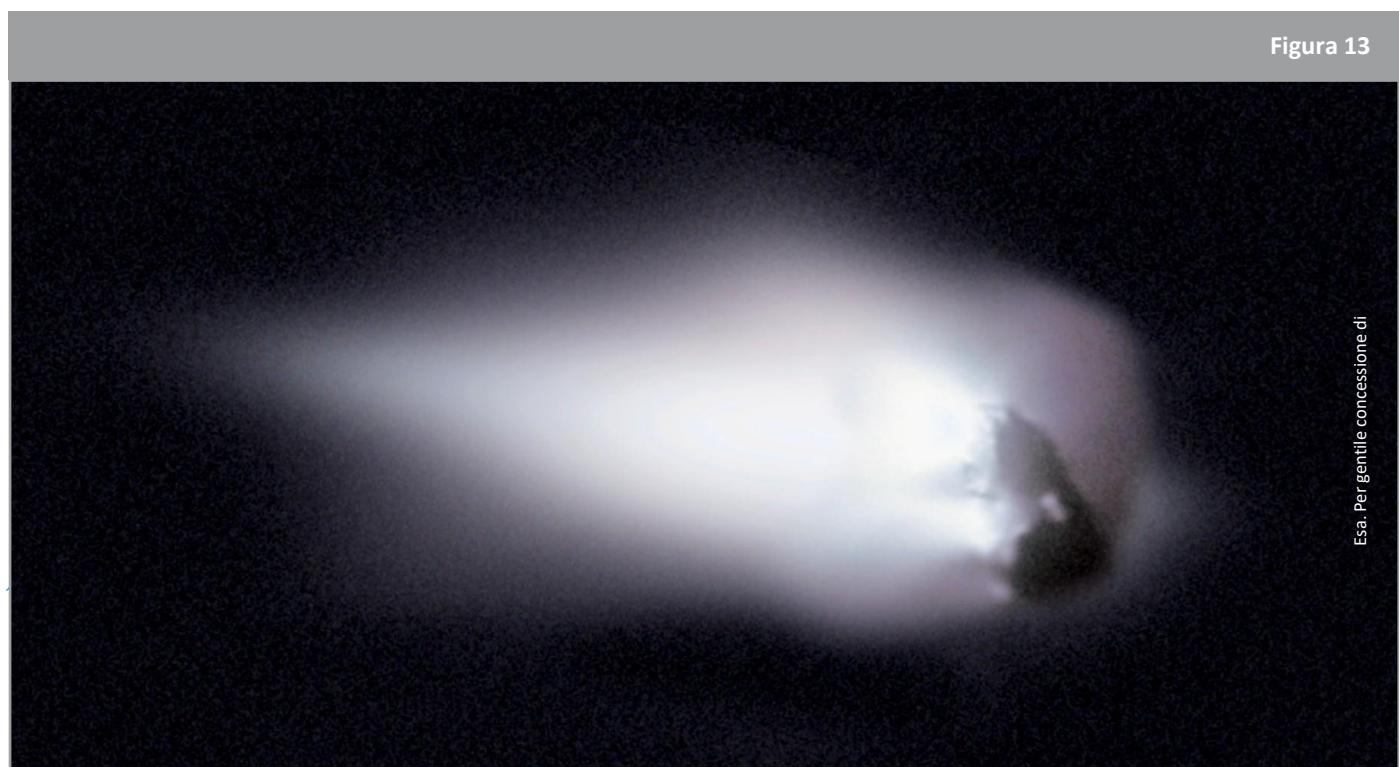
Giotto ha osservato che la superficie del nucleo è molto scura, più nera del carbone: questo suggerisce che sia coperta da uno strato di polvere. I dati hanno mostrato che l'abbondanza o il rapporto degli elementi leggeri (idrogeno, carbonio e ossigeno) nella cometa 1P/Halley è simile a quello del Sole, ciò significa che la cometa è costituita dal materiale originale da cui si è formato il Sistema Solare.

Il montaggio delle immagini in Figura 12 mostra come le caratteristiche della superficie diventano maggiormente visibili all'avvicinarsi della sonda al nucleo.

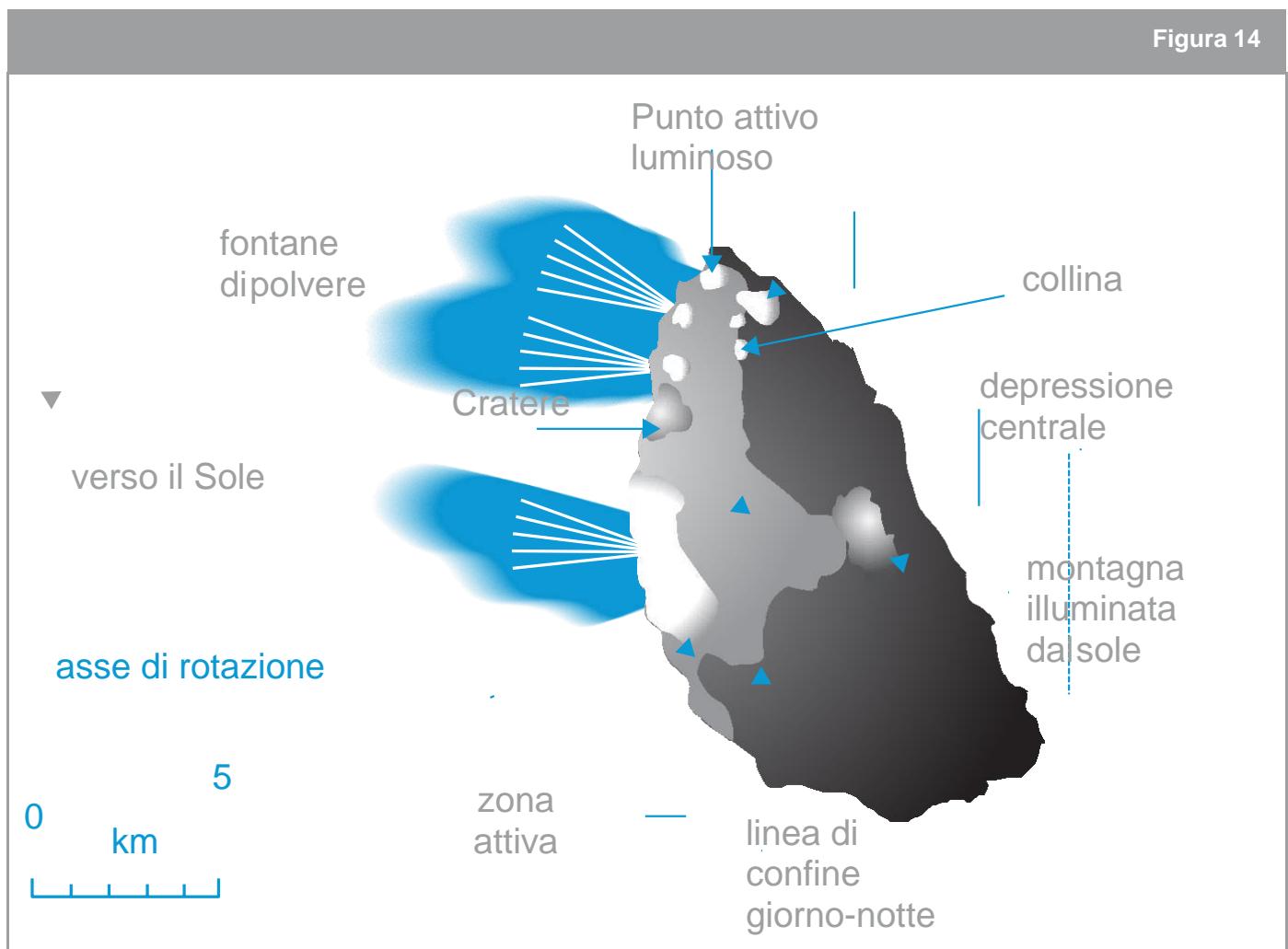
Figura 12



Figura 13



Esa. Per gentile concessione di

Figura 14


↑ Principali caratteristiche identificate sulle immagini della cometa 1P/Halley restituite dalla sonda Giotto dell'ESA.

La figura 14 mostra le caratteristiche desunte dall'immagine del nucleo della cometa 1P/Halley (Figura 13). Si osservano getti di materiale, o fontane di polvere, emergere dalla superficie del nucleo. Ciò è causato dalla rapida sublimazione dei materiali volatili in prossimità e sulla superficie del nucleo. Con l'aumentare della pressione di queste sostanze volatili in espansione, alla fine vengono rilasciati in un processo noto come *outgassing*.

SOHO - Osservatorio solare ed eliosferico

L'Osservatorio Solare ed Eriosferico dell'ESA/NASA, o SOHO, monitora il Sole da una distanza di 1,5 milioni di chilometri dalla Terra (Figura 15). Qui la gravità combinata della Terra e del Sole mantiene la sonda in un'orbita bloccata sulla congiungente Terra-Sole. Da questa posizione SOHO ha una vista ininterrotta del Sole e può quindi fare 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 guardato il Sole attraverso un ciclo solare completo, fornendo agli scienziati dati preziosi per aiutare a comprendere i massimi e i minimi del comportamento a lungo termine del Sole.

Dal suo punto di osservazione unico SOHO ha avuto anche l'opportunità di osservare migliaia di comete radenti al sole, tra cui cometa 2012/S1 ISON, una cometa radente che ha fatto un passaggio ravvicinato al perielio nel 2013. SOHO è uno dei più grandi scopritori di comete di tutti i tempi e ha trovato più di 2700 comete da quando è stato lanciato.

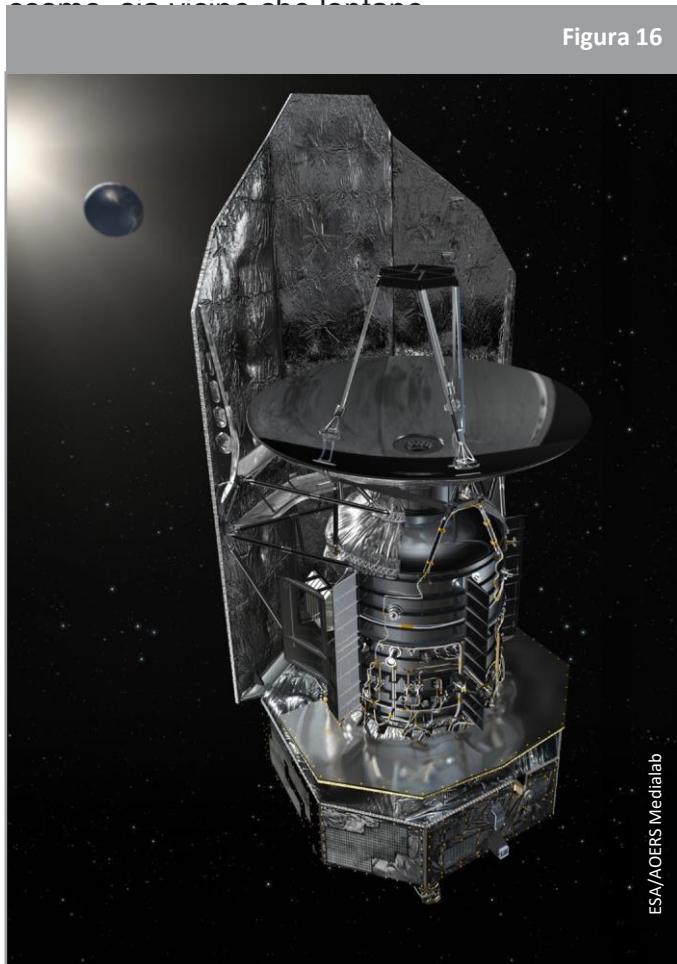
Figura 15



↑ Rappresentazione artistica della sonda SOHO.

Cometa 103P/Hartley e Herschel

L'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel dell'ESA (Figura 16) è stato lanciato nel 2009 e trasportava il più grande e potente telescopio a infrarossi mai volato nello spazio. È stato il primo osservatorio a coprire l'intera gamma di lunghezze d'onda dal lontano infrarosso a lunghezze d'onda submillimetriche. Le osservazioni di Herschel hanno esplorato l'infrarosso lontano in modo migliore rispetto a qualsiasi missione precedente, studiando regioni polverose e fredde altrimenti invisibili del sistema solare.



↑ Rappresentazione artistica dell'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel.

Figura 16

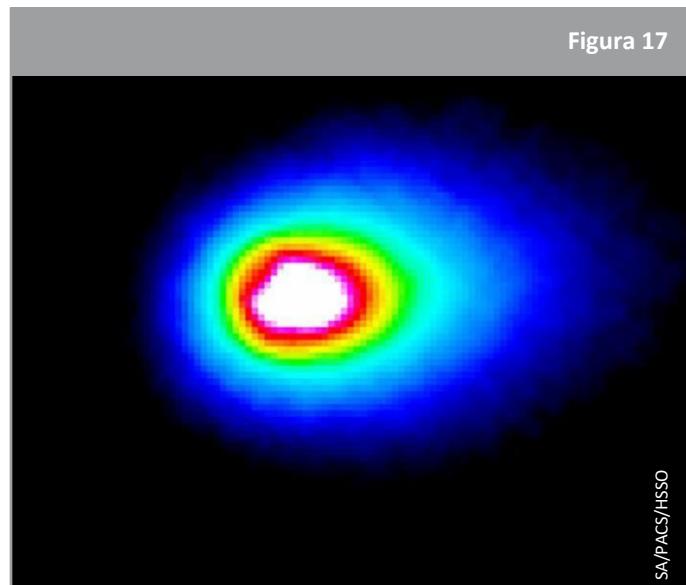
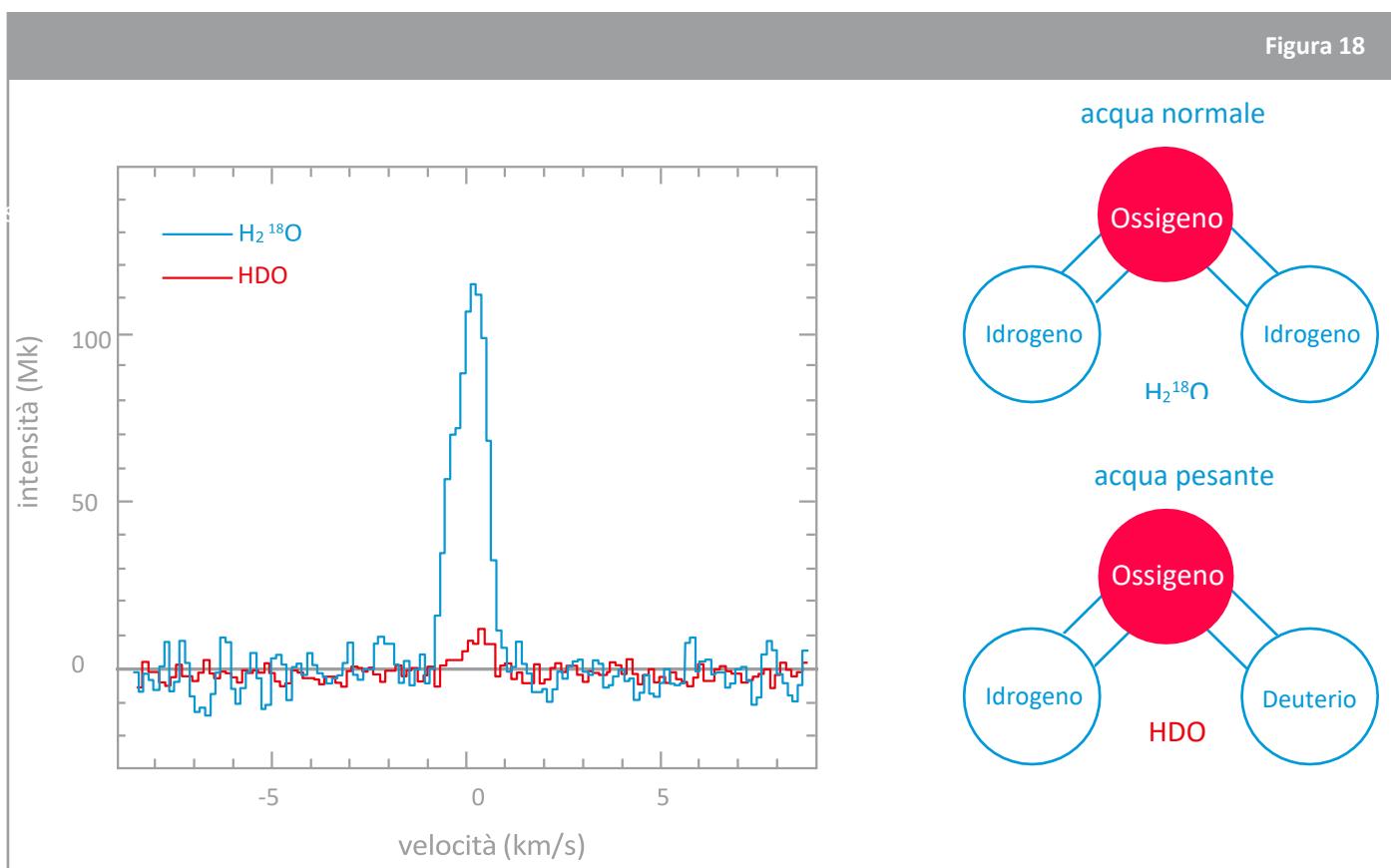


Figura 17

↑ Cometa 103P/Hartley visto dallo strumento PACS sull'osservatorio spaziale a infrarossi Herschel.

Nel 2010, Herschel ha condotto osservazioni spettroscopiche nell'infrarosso lontano della cometa 103P/Hartley e ha osservato l'emissione di grandi quantità di acqua dal suo nucleo come mostrato in rosso e in bianco in Figura 17. Queste osservazioni sono state condotte nei pressi del perielio della cometa (maggiore avvicinamento al Sole).

Le misurazioni in spettroscopia a infrarossi, effettuate dallo strumento HIFI a bordo di Herschel, hanno permesso di fare stime del rapporto tra deuterio ('idrogeno pesante', ovvero atomi di idrogeno con un neutrone e un protone nel nucleo) e idrogeno all'interno dell'acqua emessa dal nucleo della cometa (cioè il rapporto tra acqua normale e acqua "deuterata"; Figura 18). Si è scoperto che il contenuto d'acqua di questa particolare cometa ha, a differenza di altre osservate, un rapporto identico all'acqua contenuta negli oceani della Terra. Questo ha fornito la prima prova diretta a sostegno della teoria che il contenuto di acqua originale della Terra provenga dalla stessa fonte di alcune comete.

Figura 18


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

Rosetta

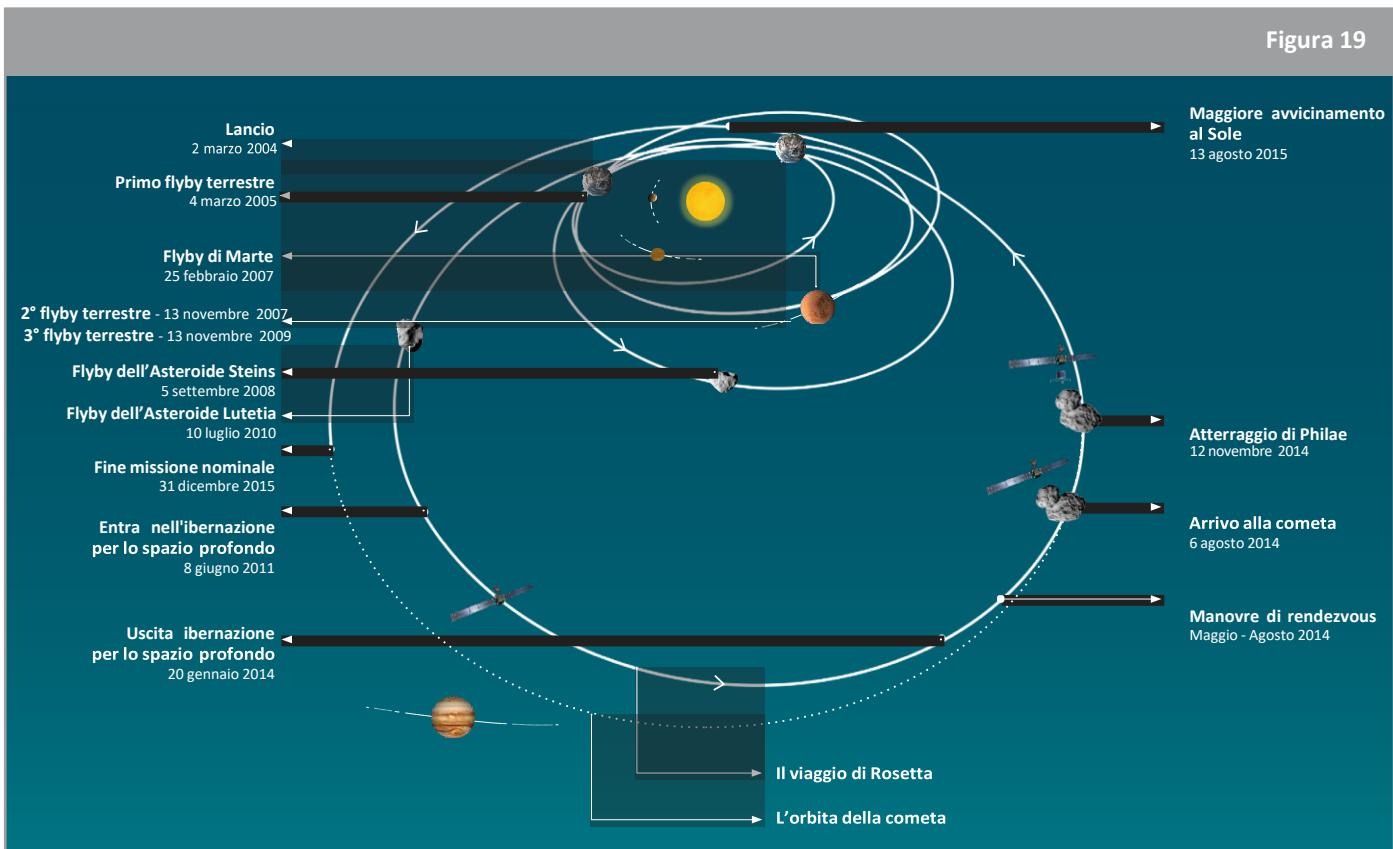
La missione Rosetta dell'ESA per la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko è stata lanciata nel 2004 in un viaggio lungo 10 anni per incontrare e infine atterrare sul nucleo di una cometa.

L'obiettivo principale di Rosetta è quello di aiutare a comprendere l'origine e l'evoluzione del Sistema Solare. La composizione di una cometa riflette quella della nebulosa presolare da cui si sono formati il Sole e i pianeti del Sistema Solare, più di 4,6 miliardi di anni fa. Un'analisi approfondita della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko da parte di Rosetta e del suo *lander* ha fornito informazioni essenziali per capire come si è formato il Sistema Solare.

Ci sono prove convincenti che le comete abbiano giocato un ruolo chiave nell'evoluzione dei pianeti, perché gli impatti cometari sono noti per essere stati molto più comuni nel Sistema Solare primordiale rispetto ad oggi. Le comete, per esempio, potrebbero aver portato l'acqua sulla Terra. La chimica dell'acqua nella cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko è stata analizzata per vedere se corrisponde a quella degli oceani della Terra. Oltre al ghiaccio e alla polvere, le comete contengono molte molecole complesse, compresi i materiali organici che potrebbero aver svolto un ruolo cruciale nell'evoluzione della vita sulla Terra.

Per arrivare alla cometa, Rosetta ha dovuto eseguire una serie di 'fionde gravitazionali', dove la gravità di un corpo celeste viene utilizzata per accelerare la navicella spaziale (Figura 19). Per volare più in profondità nello spazio, Rosetta aveva bisogno di fare quattro manovre di fionda, tra cui tre *flyby* ravvicinati della Terra e uno con Marte. Ogni fionda ha alterato l'energia cinetica di Rosetta, e quindi ha cambiato la velocità del veicolo spaziale, alterando le dimensioni dell'orbita ellittica.

Figura 19

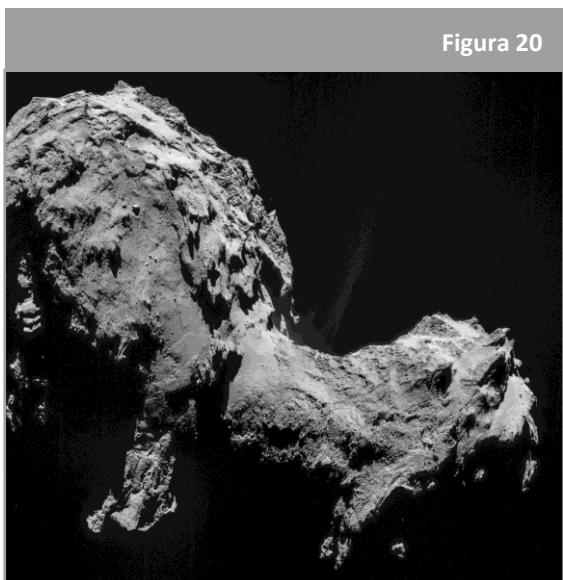


↑ La sonda Rosetta dell'ESA ha eseguito una serie di fionde gravitazionali planetarie per raggiungere la sua destinazione.

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

Nel gennaio 2014, la "sveglia" interna pre-programmata di Rosetta ha riattivato con cautela la navicella spaziale in preparazione del suo appuntamento con la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Dopo il *wake-up*, gli 11 strumenti scientifici dell'*orbiter* e i 10 strumenti *lander* sono stati riattivati e preparati alle osservazioni scientifiche. Poi una serie di dieci manovre di correzione orbitali critiche sono state effettuate per ridurre la velocità del veicolo spaziale rispetto alla cometa, e in modo che l'orbita corrispondesse all'orbita ellittica della cometa.

Figura 20



Dopo che Rosetta è arrivata vicino alla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, il 6 agosto 2014, ha iniziato ulteriori manovre per collocarsi in un'orbita intorno al nucleo della cometa. Da questa posizione privilegiata, gli strumenti di Rosetta hanno potuto fornire uno studio scientifico dettagliato della cometa e una mappatura della superficie in dettagli senza precedenti (Figura 20).

< Mosaico NAVCAM a quattro immagini della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, utilizzando le immagini scattate il 19 settembre 2014 quando Rosetta era a 28,6 km dalla cometa.

Il 12 novembre 2014, dopo una discesa durata 7 ore, il *lander* Philae lanciato da Rosetta ha effettuato con successo il primo atterraggio sul nucleo di una cometa. Poiché la cometa ha una gravità molto piccola, Philae ha usato arpioni e viti da ghiaccio per rimanere attaccato alla superficie.

La figura 21 mostra una immagine di Philae sulla superficie della cometa. Il *lander* Philae ha utilizzato

10 strumenti, tra cui un trapano per raccogliere campioni della superficie e diversi **spettrometri**, per analizzare direttamente la struttura e la composizione della cometa.

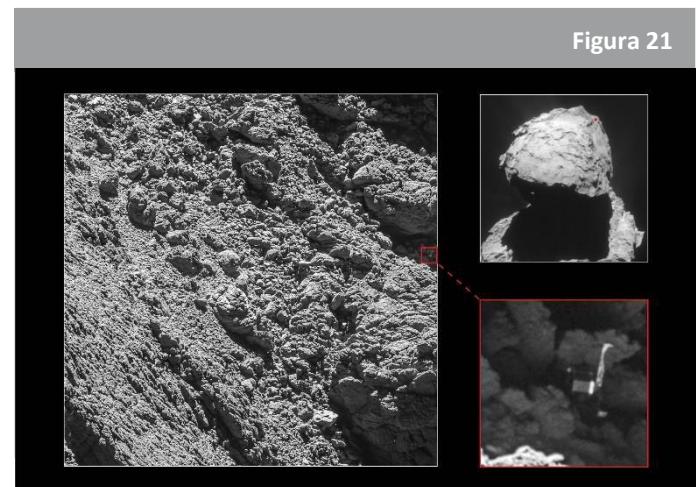
Dopo lo sbarco Rosetta ha continuato ad accompagnare la cometa nel suo viaggio ellittico. Il

30 settembre 2016 Rosetta ha concluso la sua missione, precipitando sulla cometa che ha studiato per più di due anni. La discesa finale sulla cometa ha

dato l'opportunità di studiare il gas, le polveri e il plasma della cometa molto vicino alla superficie e di raccogliere numerose immagini ad alta risoluzione.

Dopo essere stata la prima sonda ad orbitare intorno ad una cometa, la prima a farvi atterrare un *lander*, Rosetta ha continuato a seguire la cometa lungo il suo viaggio di avvicinamento al Sole e oltre. Rosetta ha operato intorno alla cometa per 786 giorni, ha sorvolato da vicino la superficie molte volte, è sopravvissuta a diverse esplosioni provenienti dalla cometa e si è risvegliata due volte dallo stato di funzionamento minimo di sicurezza. Nella figura 22, sulla sinistra, il punto di impatto pianificato di Rosetta a confronto con i punti di impatto iniziale e finale del *lander* Philae. A destra una serie di immagini delle esplosioni più luminose della cometa riprese da Rosetta.

Figura 21



↑ Il *lander* Philae fotografato dalla fotocamera OSIRIS di Rosetta il 2 settembre 2016 da una distanza di 2.7 km. Sono visibili il corpo, largo 1 m, e una delle sue tre gambe.

→ COMET LANDING SITES

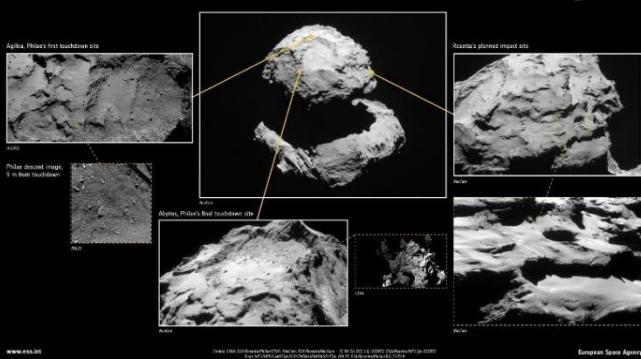


Figura 22



↑ Sinistra: il punto di impatto pianificato di Rosetta a confronto con i punti di impatto iniziale e finale del *lander* Philae. Tutti i punti di impatto sono sul più piccolo dei lobi della cometa 67P/Churyumov–Gerasimenko. Sono mostrate anche immagini di dettaglio dei tre siti di impatto. Il primo sito di impatto di Philae è stato catturato dalla fotocamera di discesa ROLIS a soli 9 m dalla superficie il 12 novembre 2014. Il sito di impatto finale è stato ripreso dalla fotocamera CIVA del lander. L'immagine del sito di impatto di Rosetta è stata ripresa dalla camera di navigazione il 13 ottobre 2014 da una distanza di 16.8 km.

Destra: Raccolta delle esplosioni più luminose osservate sulla cometa 67P/Churyumov–Gerasimenko dalla camera OSIRIS e dalla Navigation Camera tra luglio e settembre 2015.

* **Spettrometro:** strumento per dividere la luce nelle sue lunghezze d'onda costituenti in modo che le proprietà della sorgente luminosa possano essere misurate.

APPENDICE

Glossario

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

Onda d'urto (cometa): superficie di interazione tra gli ioni nel coma della cometa e il vento solare. L'onda d'urto si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. L'onda d'urto si forma di fronte alla cometa in direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, grandi concentrazioni di ioni cometari si accumulano e caricano il campo magnetico solare con il plasma. Il risultato è che le linee di campo si piegano intorno alla cometa, intrappolando gli ioni cometari e formando la coda di gas/plasma/ioni.

Flyby: passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale intorno a un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se il veicolo spaziale utilizza il campo gravitazionale del pianeta per aumentare la velocità del veicolo spaziale e cambiare la sua traiettoria, questo è chiamato uno *swing by* oppure una manovra con *assist gravitazionale*.

Perturbazioni gravitazionali: cambiamenti nell'orbita di un corpo celeste (ad esempio un pianeta o una cometa) a causa delle interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (ad esempio pianeti giganti o altre stelle).

Punti lagrangiani: in qualsiasi configurazione orbitale ci sono cinque punti in cui un oggetto sottoposto solo alla gravità può orbitare stabilmente. Per ulteriori informazioni, vedere il video ESA insegnare con lo spazio - pozzi gravitazionali | VP04 (vedere la sezione Link).

Periodo orbitale: tempo impiegato per completare un'orbita.

Perielio: il punto di un'orbita alla minima distanza dal Sole.

Movimento retrogrado di un pianeta: Movimento apparente di un pianeta nel cielo notturno nella direzione opposta a quella normalmente osservata (movimento progrado).

Vento solare: un flusso di particelle ad alta energia (plasma) emesse dall'atmosfera esterna del Sole in tutte le direzioni. Consiste principalmente in elettroni e protoni.

Sublimare (sublimazione): quando il riscaldamento di una sostanza provoca un cambiamento di fase direttamente dalla fase solida alla fase gassosa, senza passare per lo stato liquido. Quando il gas viene raffreddato nuovamente, in genere forma un deposito solido.

Unità astronomica (AU): 1 AU, o raggio orbitale della Terra, è la distanza media tra la Terra e il Sole ed equivale a circa 150 milioni di km.

Risposte

Calcolo della massa della cometa, della la velocità e dell'energia

Attraverso questa serie di domande si studierà la massa, le velocità e le energie delle comete utilizzando i dati riportati nella tabella seguente.

Massa del Sole	$m_{\text{sole}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
Densità di ghiaccio	$r = 1000 \text{ kg m}^{-3}$
Costante gravitazionale	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

Domande

1. Una cometa ha un'energia cinetica di $4,5 \times 10^{13} \text{ J}$. Sta viaggiando con una velocità di 34 km/s. Calcolala massa della cometa.

$$v = 34 \text{ km/s}$$

Manipolare l'equazione per trovare m:

$$E_k = \frac{m}{v^2} = 4,5 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

2. Una grande cometa di massa da $5,2 \times 10^8 \text{ kg}$ ha un passaggio ravvicinato con la Terra e sfiora l'atmosfera. Al momento della misurazione la sua velocità era di 49,0 km/s.

- a) Calcolare L'energia cinetica della cometa
(in J). $m = 5,2 \times 10^8 \text{ kg}$

$$v = 49 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$m = \frac{2 \cdot E_k}{v^2} = \frac{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{13}}{(34 \cdot 10^3)^2} = 77854,7 \text{ kg}$$

- b) Se l'energia rilasciata da 1 kilotone (1000 tonnellate) di TNT che esplode è $4,2 \times 10^{12} \text{ J}$, quanti chilotoni di energia avrebbe avuto questa cometa in caso di impatto sulla Terra?

$$1 \text{ kt} = 4,2 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(5,2 \cdot 10^8)(49 \cdot 10^3)^2}{2} = 6,24 \cdot 10^{17} \text{ J}$$

$$E_{\text{impatto}} = \frac{E_k}{1 \text{ kt}} = \frac{6,24 \cdot 10^{17}}{4,2 \cdot 10^{12}} = 147,6 \text{ kt}$$

- c) Dopo l'impatto mancato, la massa e la traiettoria della cometa sono state alterate. Suggerisci un motivo per questo.

La cometa sfiora l'atmosfera. Mentre passava, gli effetti termici (dovuti principalmente alla compressione dell'aria -effetto ram)- sebbene gli studenti spesso pensino sia dovuto all'attrito) causano la perdita di parte della massa cometaria per la sublimazione del ghiaccio. Questo altera la sua traiettoria orbitale.

L'effetto ram è la pressione esercitata su un corpo che si muove in un fluido. In questo caso l'atmosfera provoca una forte resistenza esercitata sul corpo.

$$P = \rho v^2$$

dove P è la pressione, ρ è la densità del fluido, e v la velocità del corpo.

5. Una cometa è in un'orbita ellittica intorno al Sole. Il suo passaggio più vicino al Sole è ad una distanza di $4,9 \times 10^{10} \text{ m}$. A questo punto la sua velocità è $8,9 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. Ha avuto origine nella nube di Oort, ben oltre l'orbita di Nettuno. Qual è la sua velocità quando dista $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ dal Sole (questa è la distanza orbitale della Terra dal Sole)?

Energia potenziale gravitazionale: $E_p = -\frac{GM_{sole}m_{cometa}}{d}$

$$E_p + E_k = \text{costante}$$

Punto di massimo avvicinamento (al Sole):

$$d_c = 4,9 \cdot 10^{10} \text{ m}$$

$$v_c = 8,9 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Alla distanza della Terra:

$$d_e = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$v_e = ?$$

$$\frac{\frac{1}{2}m_{cometa}v_c^2 - G\frac{M_{sole}m_{cometa}}{d_c}}{1} = \frac{\frac{1}{2}m_{cometa}v_e^2 - G\frac{M_{sole}m_{cometa}}{d_e}}{1}$$

Dividere per m_{cometa} e ricavare v_e

$$\frac{1}{2}v_c^2 - G\frac{M_{sole}}{d_c} = \frac{1}{2}v_e^2 - G\frac{M_{sole}}{d_e}$$

$$v_e^2 = v_c^2 - 2G\frac{M_{sole}}{d_c} + 2G\frac{M_{sole}}{d_e}$$

$$v_e^2 = \sqrt{v_c^2 - 2G\frac{M_{sole}}{d_c} + 2G\frac{M_{sole}}{d_e}} = \sqrt{v_c^2 - 2GM_{sole}\left(\frac{1}{d_c} - \frac{1}{d_e}\right)}$$

Sostituire i numeri:

$$\begin{aligned}
 v_e &= \sqrt{(8,9 \cdot 10^4)^2 - 2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30} \left(\frac{1}{4,9 \cdot 10^{10}} - \frac{1}{1,5 \cdot 10^{11}} \right)} \\
 &= \sqrt{7,92 \cdot 10^9 - 26,28 \cdot 10^{19} (1,37 \cdot 10^{-11})} = \sqrt{7,92 \cdot 10^9 - 3,60 \cdot 10^9} = \\
 &= \sqrt{43,2 \cdot 10^8} = 6,57 \cdot 10^4 m/s
 \end{aligned}$$

6. 5. Come pensate che gli impatti di comete e asteroidi abbiano influenzato la Terra e la vita sulla Terra nel corso della sua storia?

Possibili punti da menzionare:

- Le comete, essendo fatte in gran parte di ghiaccio, possono aver portato gran parte dell'acqua sulla Terra.
- Sulle comete sono stati trovati anche composti organici, come gli aminoacidi, e alcuni degli ingredienti di base necessari per la vita sulla Terra potrebbero essere stati portati dalle comete.
- Impatti su larga scala possono causare enormi effetti globali tra cui:
 - cambiamenti climatici dovuti a grandi quantità di materiale diffuso nell'atmosfera.
 - aumento della dell'attività sismica e vulcanica a causa delle onde d'urto dovute all'impatto che provoca il rilascio in atmosfera di grandi quantità di CO₂ e SO₂.
 - tsunami e onde di marea possono essere innescati da impatti su larga scala.
 - eventi a livello di estinzione (come l'impatto 65 milioni di anni fa che causò l'estinzione dei dinosauri) possono verificarsi a seguito di questi processi.

Per approfondire

Rosetta

Sito web dell'ESA su Rosetta:

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

blogs.esa.int/rosetta/

Video e animazioni di Rosetta: [immagini](#)

www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta Immagini di Rosetta:

[www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image) Scheda informativa

Rosetta, compresa la cronologia della missione:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet

La storia finora:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

Inseguendo una cometa:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

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

Orbita di Rosetta intorno a una cometa:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet Come orbitare intorno a una cometa: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

TouchDown: www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Touchdown!_Rosetta_s_Philae_probe_lands_on_comet_Troppo_Philae_

www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Philae_found_I_mattoni_della_vita_trovati_su_Rosetta

www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Building_blocks_of_life_spotted_on_Rosetta_s_comet_hi_nt_at_composition_of_its_birthplace

Missione conclusa: www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Mission_complete_Rosetta_s_journey_ends_in_daring_descent_to_comet

Archivio Rosetta: [http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/\(archive\)/50](http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/(archive)/50)

Comete

Articolo di ESA Kids sulle comete:

www.esa.int/esaKIDS/SEMWK7THKF_OurUniverse_0.html Sito web dell'ESA su Rosetta (tecnico): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Sito web dell'ESA su Giotto:

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

Articolo di ESA Kids sul nostro universo: www.esa.int/esaKIDS/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_0.html

Giotto

Panoramica di Giotto: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview

Herschel

Sito dell'osservatorio spaziale Herschel dell'ESA:

www.esa.int/herschel Gli oceani della Terra provengono dalle comete?:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Did_Earth_s_oceans_come_from_comets

Soho

Sito web dell'ESA su SOHO: soho.esac.esa.int

Video del pennello della cometa ISON con il Sole visto dal satellite SoHO dell'ESA/NASA: sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

Impatto sulla Terra

Simulatore d'impatto Down2Earth: education.down2earth.eu

Raccolta: Insegnare con lo spazio

Insegnare con lo spazio - video dei pozzi gravitazionali | VP04:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-class-room_demonstration_video_VP04

Insegnare con lo spazio – meravigliose eclissi la guida dell'insegnante attività degli studenti P02: documenti.esamultimedia.esa.int//edu/P02_Marble-

[ous_ellipses_teacher_guide.pdf](#)

Insegnare l'ESA con lo spazio - meravigliose eclissi video |

VP02: [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_el-lipses_-)

[ous_el-lipses_-](#)

[classroom_demonstration_video_VP02](#) [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_el-)

[Insegnare con lo spazio - cucinare una cometa video | VP06:](#)

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-

[classroom_demonstration_video_VP06](#)

Chi siamo

Lo **Spazio** rappresenta un contesto straordinario per le attività di **educazione scientifica e tecnologica** grazie al grande potere evocativo che esercita sull’immaginario collettivo, dei giovani in particolare. Il potenziale di ispirazione dello Spazio fornisce una chiave di lettura distintiva del progetto **ESERO**, nato per sostenere innovazione nell’insegnamento, stimolare nei giovani un interesse genuino per la scienza e la tecnologia, coinvolgerli in un processo di apprendimento attivo e ispirato, e accompagnarli nello sviluppo del pensiero critico ed autonomo come valore sociale.

ESERO Italia è un programma congiunto dell'**Agenzia Spaziale Italiana (ASI)** e dell'**Agenzia Spaziale Europea (ESA)**, con il sostegno di un’ampia gamma di organizzazioni nazionali attive nel campo dell’educazione e del settore spaziale.

L’**Agenzia Spaziale Italiana (ASI)** promuove l’**educazione, l’alta formazione e la diffusione della cultura** spaziale dedicate alle nuove generazioni, che saranno gli attori dello Spazio del futuro. L’ASI realizza progetti educativi legati alle attività istituzionali dell’Agenzia per attrarre verso le discipline scientifiche, ingegneristiche e tecnologiche i talenti e le risorse di capitale umano qualificato da cui primariamente dipende, nell’economia della conoscenza globale, la capacità competitiva di un Paese avanzato. www.asi.it

L’**Agenzia spaziale Europea (ESA)** annovera tra i suoi obiettivi il supporto all’**educazione tecnico-scientifica** delle nuove generazioni. Le attività educative dell’ESA sono mirate allo sviluppo di conoscenze, competenze e attitudini nel campo STEM. Il fine è attrarre i giovani alle carriere tecnico-scientifiche sostenendoli nel percorso, ma anche contribuire allo sviluppo di una cittadinanza informata e responsabile, e a promuovere la rilevanza dello Spazio, e dei servizi che ne derivano, per la società e cultura contemporanee. www.esa.int