



LA MISSIONE ROSETTA

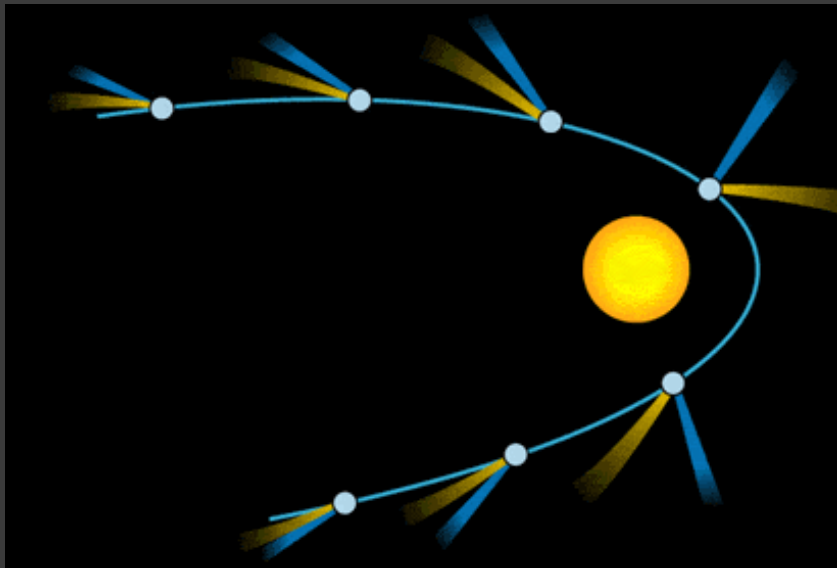
Alla caccia dei segreti delle comete

Emanuele Schembri

27 novembre 2015

Qualche cenno sulle comete

- Sono oggetti tra i più primitivi del Sistema Solare, tra i più studiati sin dai primordi dell'Astronomia.
- Presentano una forma generalmente irregolare e sono costituite, pressappoco, per due terzi di ghiaccio d'acqua e anidride carbonica ed un terzo di polvere (c.d. *palle di neve sporca*).
- Quando, nel loro viaggio, si avvicinano al Sole oltrepassando l'orbita di Marte, la radiazione solare provoca la sublimazione del ghiaccio, e si genera la chioma.



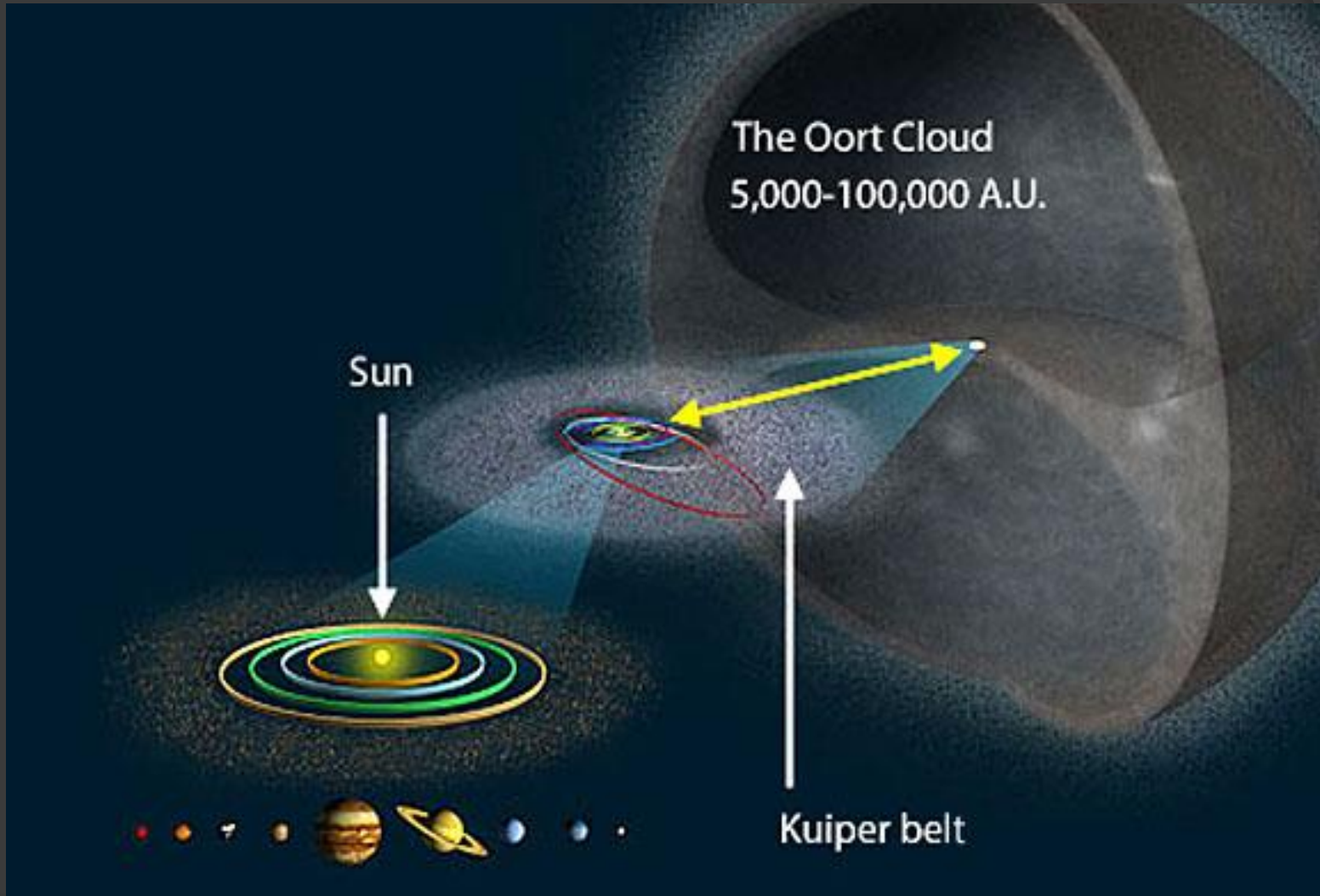
- Comete di corto periodo, o *gioviane* (meno di 20 anni – Es. Encke).
- Comete di periodo intermedio (20 ÷ 200 anni – Es. Halley).
- Comete di lungo periodo (200 ÷ 1 milione di anni – Es. Hale-Bopp).
- Comete extrasolari, con orbita aperta, parabolica o iperbolica.

Qualche cenno sulle comete



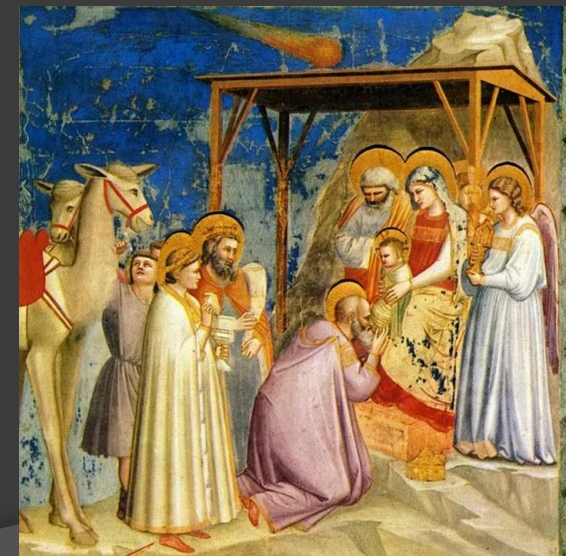
- Si pensa che le comete siano nate dal “materiale di scarto” utilizzato per la formazione del Sistema Solare, più di 4,5 miliardi d’anni fa.
- La maggior parte delle comete trae la sua origine dalla Nube di Oort, un guscio di spazio che circonda il Sole ad una distanza compresa tra 20.000 ed 100.000 UA (equivalenti, rispettivamente, a 0,3 e 1,5 anni luce), sede di un immenso numero di oggetti.
- Ogni tanto, qualcuno di essi viene catturato dal campo gravitazionale del Sole e dei pianeti (principalmente Giove), e assume un’orbita ellittica che lo porterà a transitare periodicamente nel Sistema Solare interno e sfiorare il Sole.
- Ad ogni passaggio al perielio, esse perdono una piccola parte del loro materiale, ma la loro composizione chimica resta pressappoco inalterata.

La Nube di Oort



I precedenti della missione: Giotto

- Fra tutti, il precedente più significativo è stato quello della missione **Giotto**, sonda inviata dall'ESA per studiare la cometa di Halley nel suo passaggio del 1986.
- La sonda fu dedicata al pittore Giotto che, avendo osservato la cometa nel suo passaggio del 1301, prese da questa l'ispirazione per la stella di Betlemme raffigurata nella natività della cappella degli Scrovegni, a Padova.
- Giotto non fu l'unica sonda inviata a studiare Halley: altre 4 sonde furono inviate nello spazio: due dell'URSS, *Vega 1* e *2*, e due dal Giappone, *Sakigake* e *Suisei*. A questa pattuglia di sonde, si aggiunse anche l'esistente sonda ICE (*International Cometary Explorer*) della NASA, che effettuò misure la lontano.
- Le sonde russe collaborarono con Giotto fornendo i dati sulla posizione precisa del nucleo cometario.



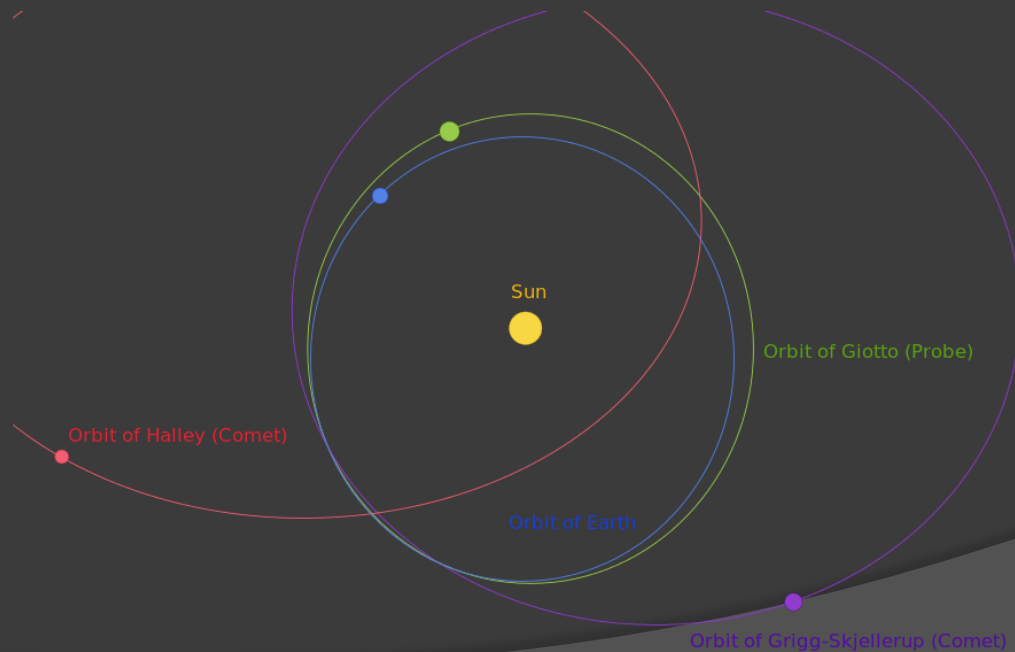
La missione Giotto

- La missione fu concepita a partire dal 1980. La sonda era dotata di telecamera HMC, spettrometri di massa, misuratori d'impatto, di energia, analizzatori di ioni, etc.
- Il lancio avvenne il 2 luglio 1985 dalla base di Kourou, con un vettore Ariane 1.
- Il 13 marzo 1986 Giotto passò ad appena 596 km dal nucleo della cometa, e ad una velocità relativa di quasi 70 km/s.
- Le immagini scattate dalla HMC, hanno rivelato che il nucleo della cometa Halley è formato da un corpo scuro a forma d'arachide, lungo 15 km e spesso 10 km.



La missione Giotto

- Dopo il rendez-vous con Halley, la strumentazione di Giotto venne spenta e la sonda navigò nuovamente verso la Terra, che raggiunse nel 1990, ove ricevette la spinta gravitazionale di essere indirizzata verso la cometa Grigg-Skjellerup, che incontrò il 10 luglio 1992, sfiorandola a soli 200 km.
- Nel luglio 1999 la Giotto ha raggiunto nuovamente la Terra.



I risultati di Giotto

- Le analisi hanno evidenziato che la cometa si è formata circa 4,5 miliardi di anni fa, contemporaneamente al Sistema Solare, con l'accumularsi di ghiaccio su polvere interstellare che si è andata gradualmente aggregando in un unico corpo solido.
- Il rapporto degli elementi leggeri (H, C e O), infatti, era lo stesso di quello del Sole.
- Il nucleo della cometa è più scuro della fuliggine, cosa spiegabile dall'accumulo di polvere ricca di carbonio sulla sua superficie.
- Il materiale espulso (ca. 3 t/sec) era formato per l'80% da acqua, il 10% di ossido di carbonio CO, il 2,5% da metano ed ammoniaca, con tracce di idrocarburi, ferro e sodio.
- La risoluzione della telecamera e l'alta velocità della sonda non consentirono di comprendere il meccanismo di produzione dei getti di materiale.
- Le caratteristiche isotopiche dell'acqua non corrispondevano a quelle presenti sulla Terra.



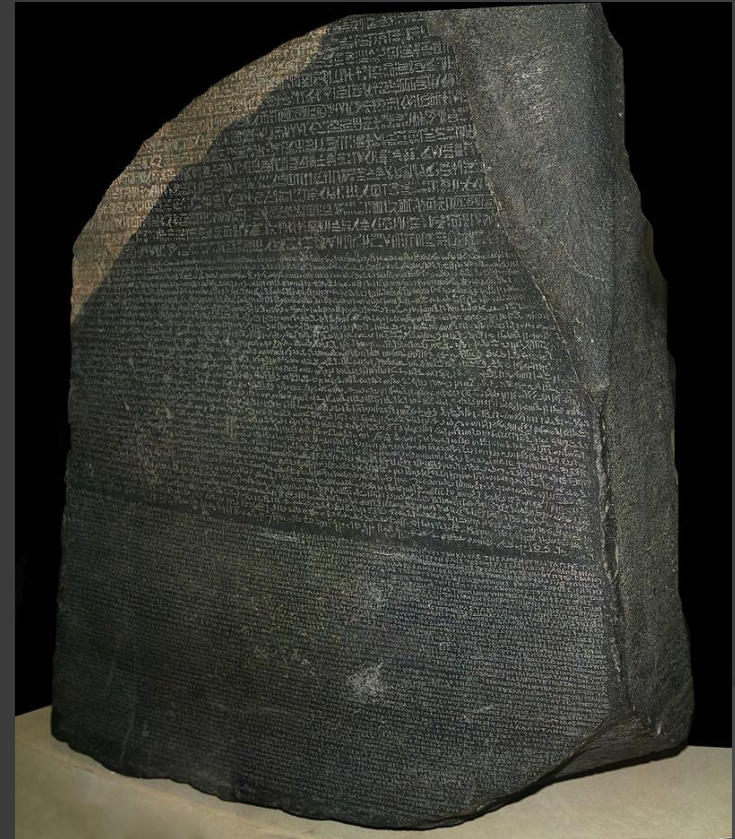
Le basi per una nuova missione

- ◉ Dopo il successo della missione Giotto, gli scienziati dell'ESA, all'inizio degli anni '90, si misero al lavoro per una nuova missione cometaria.
- ◉ Occorreva, anzitutto, attingere dall'esperienza di Giotto per evitare i problemi da questa riscontrati. La nuova missione doveva avere le seguenti caratteristiche:
 - evitare l'incrocio ad alta velocità della cometa;
 - programmare l'incontro durante la fase di bassa attività cometaria;
 - fare in modo che la sonda accompagnasse la cometa, in orbita attorno ad essa a velocità relativa nulla, per buona parte del suo percorso, in modo da studiarne a fondo la superficie, le caratteristiche fisico-chimiche e le dinamiche che portano alla formazione della coda;
 - in tali condizioni, era ipotizzabile la discesa sulla superficie della cometa di uno strumento che ne analizzasse direttamente la superficie.



Genesi della missione

- L'idea iniziale della nuova missione, sviluppata a partire dal 1993, prevedeva una collaborazione tra ESA e NASA, con un programma che avrebbe visto il prelievo finale di un campione della cometa ed il suo trasferimento a terra. Tale soluzione fu scartata per il costo eccessivo.
- L'ESA rimodulò il programma in modo da prevedere solo l'atterraggio di un dispositivo sulla cometa, in maniera da analizzarne il materiale solo in situ.
- Alla missione fu assegnato il nome Rosetta, in analogia alla celebre stele che permise di sciogliere il mistero della scrittura geroglifica egiziana.



I principali obiettivi della missione

- ◉ Perché l'ESA ha deciso di spendere quasi un miliardo e mezzo per una missione ambiziosa come Rosetta?
 - Le comete sono dei “fossili cosmici” che hanno, presumibilmente, la stessa composizione chimica della nube di idrogeno e materiale interstellare da cui ha avuto origine il Sistema Solare. Analizzarne la composizione, quindi, contribuirebbe a gettare una luce sull'origine del Sole e dei Pianeti.
 - Secondo la teoria della panspermia, le comete sarebbero state responsabili della nascita della vita sul nostro pianeta, in quanto trasporterebbero molecole organiche fondamentali per l'attività biologica.
 - Le comete potrebbero essere le responsabili dell'abbondante presenza di acqua sulla superficie terrestre; il confronto tra le caratteristiche dell'acqua della cometa 67P e quella presente sul nostro pianeta potrebbe dare una risposta a quest'enigma.



Nuovi cambi di programma...

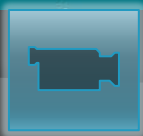
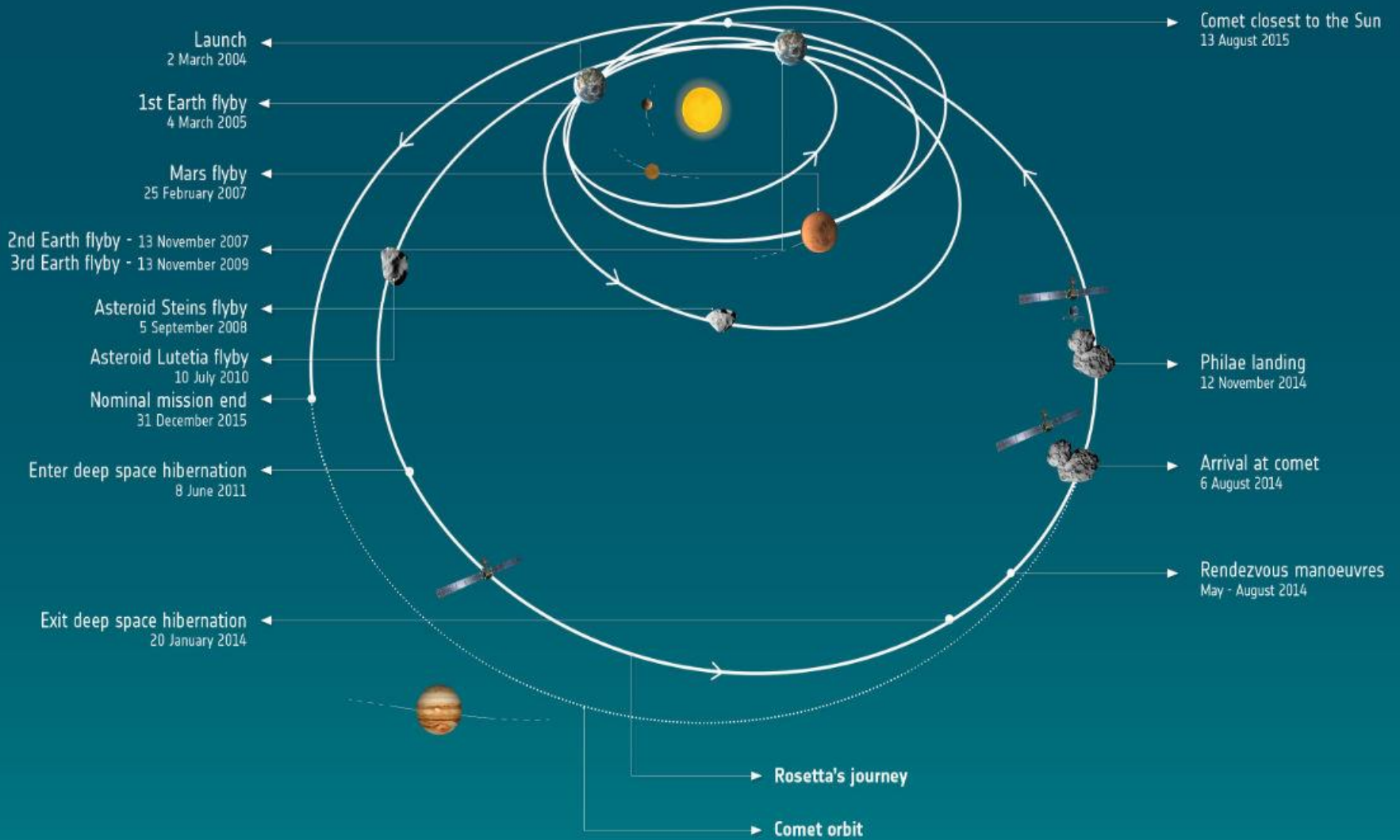
- ⦿ In un primo momento era stata scelta la piccola cometa di corto periodo 46P/Wirtanen (diametro 1 km). Lancio previsto il 12 gennaio 2003 con un vettore Ariane V ed incontro con la cometa nell'agosto 2012.
- ⦿ L'esplosione dell'Ariane V del dicembre 2002 (con a bordo il satellite per telecomunicazioni Hot Bird 7) ebbe come conseguenza il blocco per un anno di tutti i lanci, Rosetta compresa, e l'impossibilità di giungere all'appuntamento con la Wirtanen.
- ⦿ Fu scelta un'altra cometa di tipo gioviano, la 67P/Churyumov-Gerasimenko, con periodo orbitale di 6,45 anni e perielio a 186 milioni di km.
- ⦿ Nel marzo 2003 il Telescopio Spaziale Hubble riuscì a definirne le dimensioni che, risultarono superiori alle aspettative, 4-5 km. Hubble rilevò anche un'oscillazione di luminosità con periodo di 12,7 ore, segno che il corpo era asimmetrico.



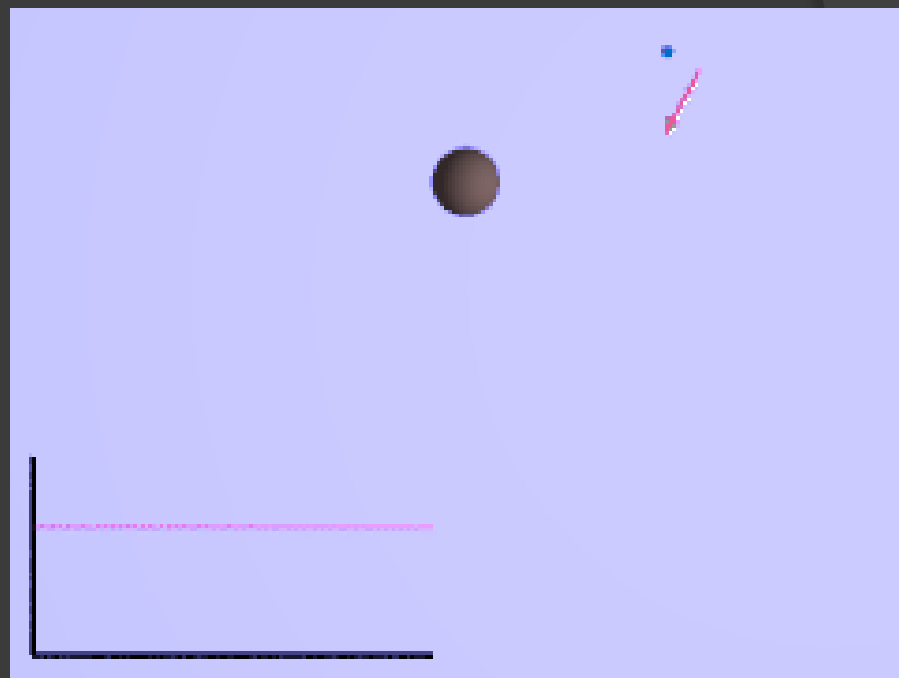
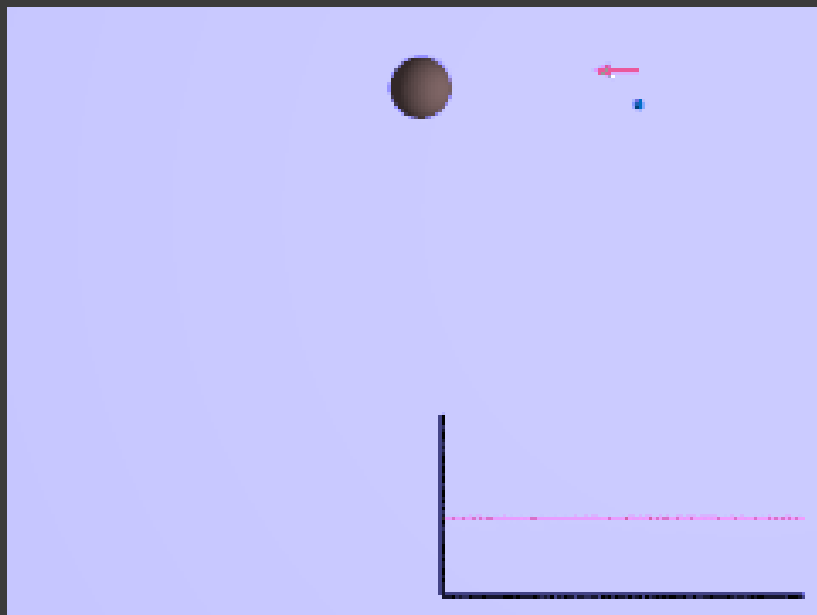
Finalmente, il lancio!

- Rosetta parte il 4 marzo 2004 dalla base di Kourou, nella Guyana francese.
- Una traiettoria diretta verso la cometa avrebbe richiesto una quantità eccessiva di carburante ed aumentato notevolmente le dimensioni della sonda. Si preferì, pertanto, programmare una serie di passaggi accanto ai pianeti interni per sfruttarne l'effetto fionda gravitazionale.
- Complessivamente, la sonda ha avuto tre incontri con la Terra ed uno con Marte, che le hanno permesso di raggiungere l'orbita e la velocità necessaria per intercettare ed affiancare la cometa.
- Lo scotto da pagare fu il notevole prolungamento della missione, che ha così richiesto ben 10 anni per l'appuntamento con "Chury".
- Nel 2011 la sonda è entrata in ibernazione per risparmiare energia, tramite lo spegnimento di tutti gli strumenti ad eccezione del computer di bordo.

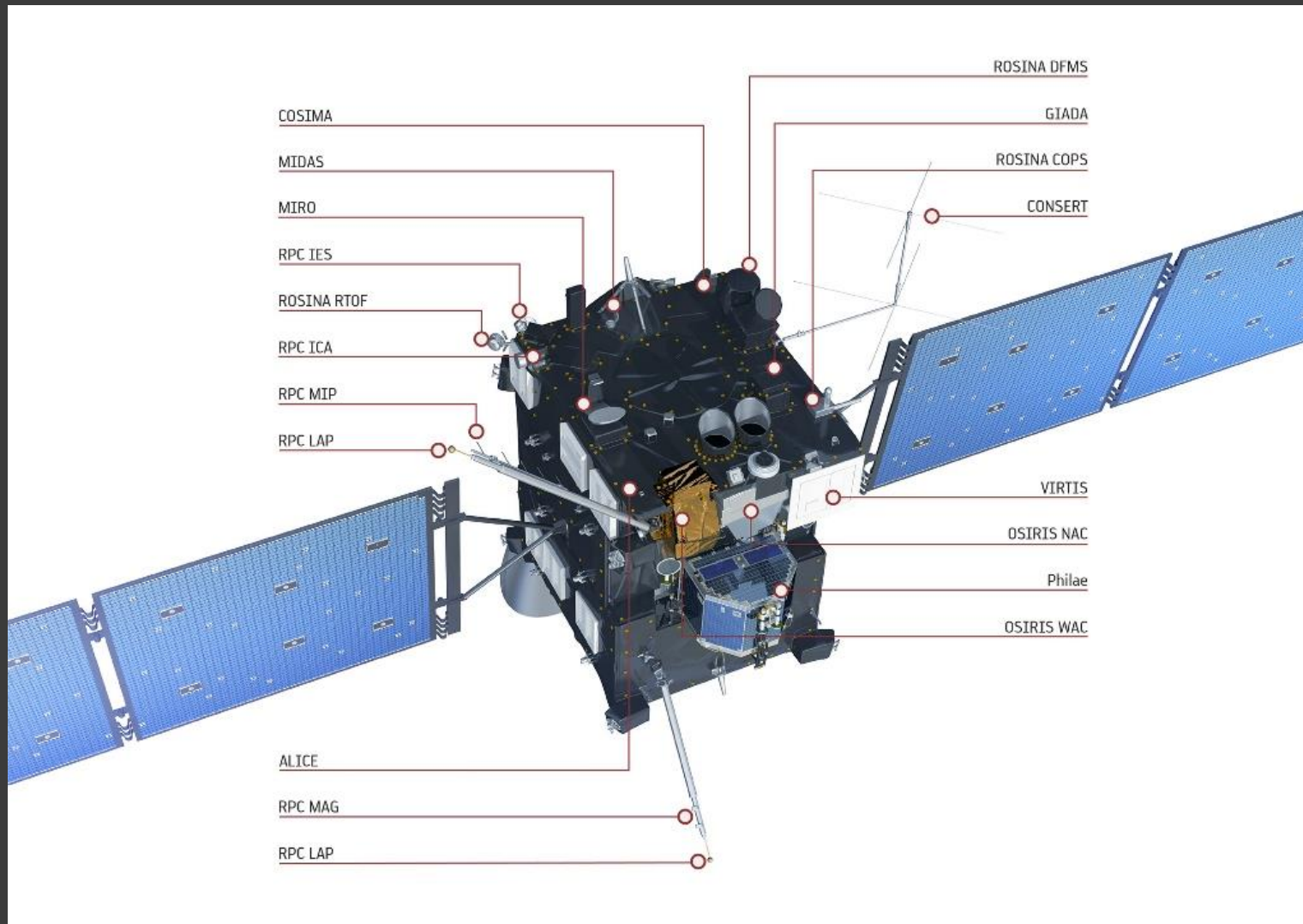




A proposito della fionda gravitazionale...



La sonda Rosetta

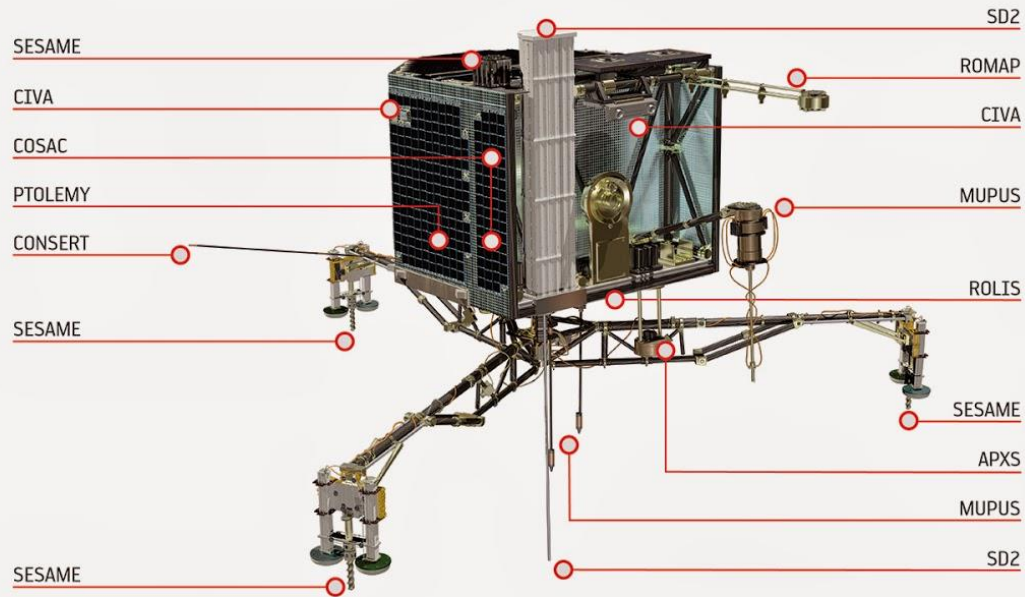


La capsula Philae

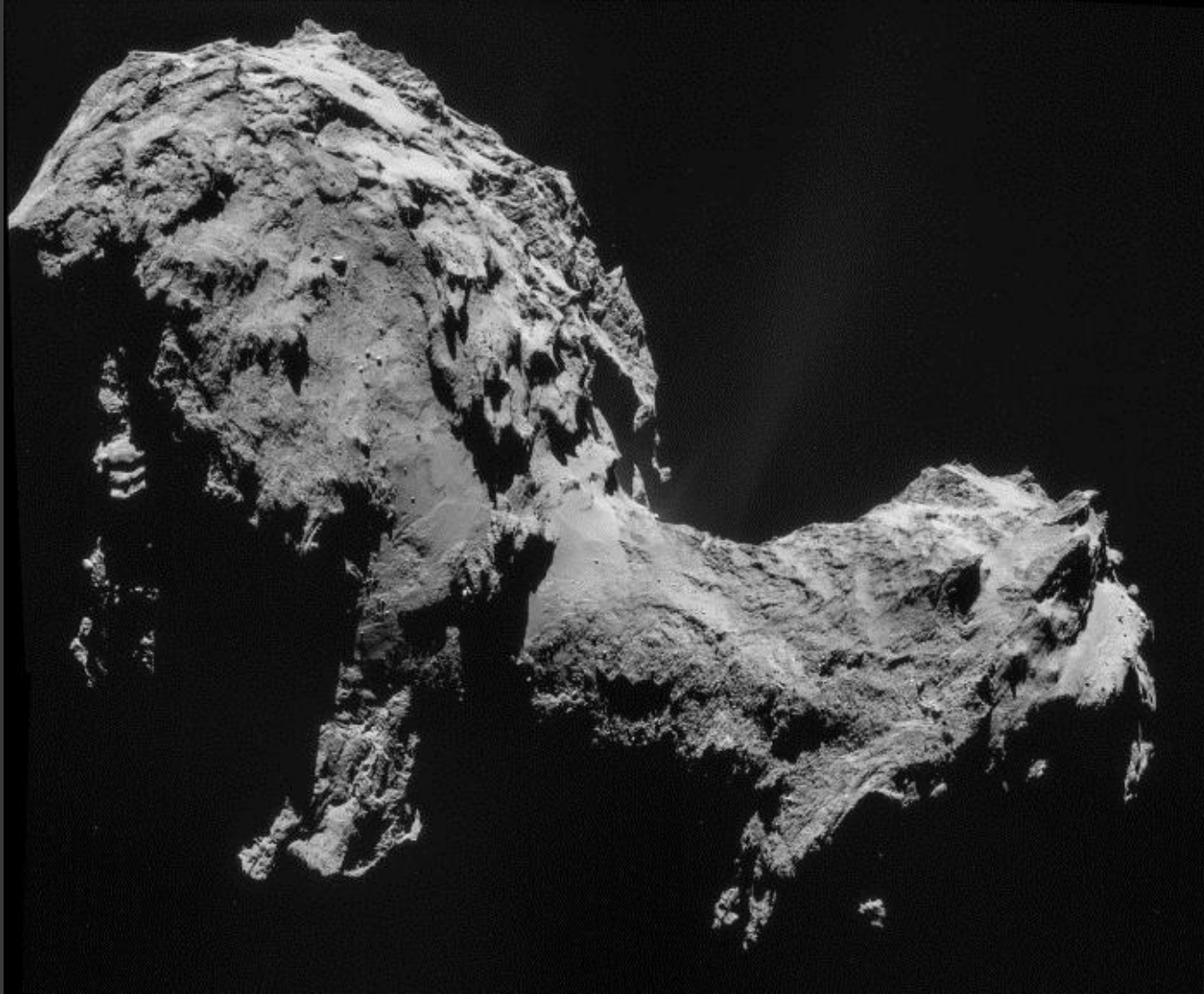
- ◉ Rosetta portava a bordo la capsula Philae, 100 kg, destinata a scendere sulla superficie della cometa.
- ◉ Il nome fu scelto nel 2004 da Serena Vismara, una giovane studentessa che vinse un apposito concorso lanciato dall'ESA.
- ◉ Philae è una doppia isoletta nei pressi delle cateratte del Nilo, sede di un famoso tempio di Iside, davanti a cui venne ritrovato un obelisco di 7 m, risalente al 118 a.C., con iscrizioni molto simili a quelle della stele di Rosetta, fondamentali per l'interpretazione dei geroglifici.
- ◉ Oltre alla strumentazione necessaria per le analisi del suolo cometario, Philae ospita anche la trivella SD2 per prelevare i campioni di suolo, progettata dal Politecnico di Milano.
- ◉ Il “robottino”, è dotato di strumentazione atta ad eseguire sul posto un set di 10 esperimenti ed analisi sul suolo del nucleo cometario.



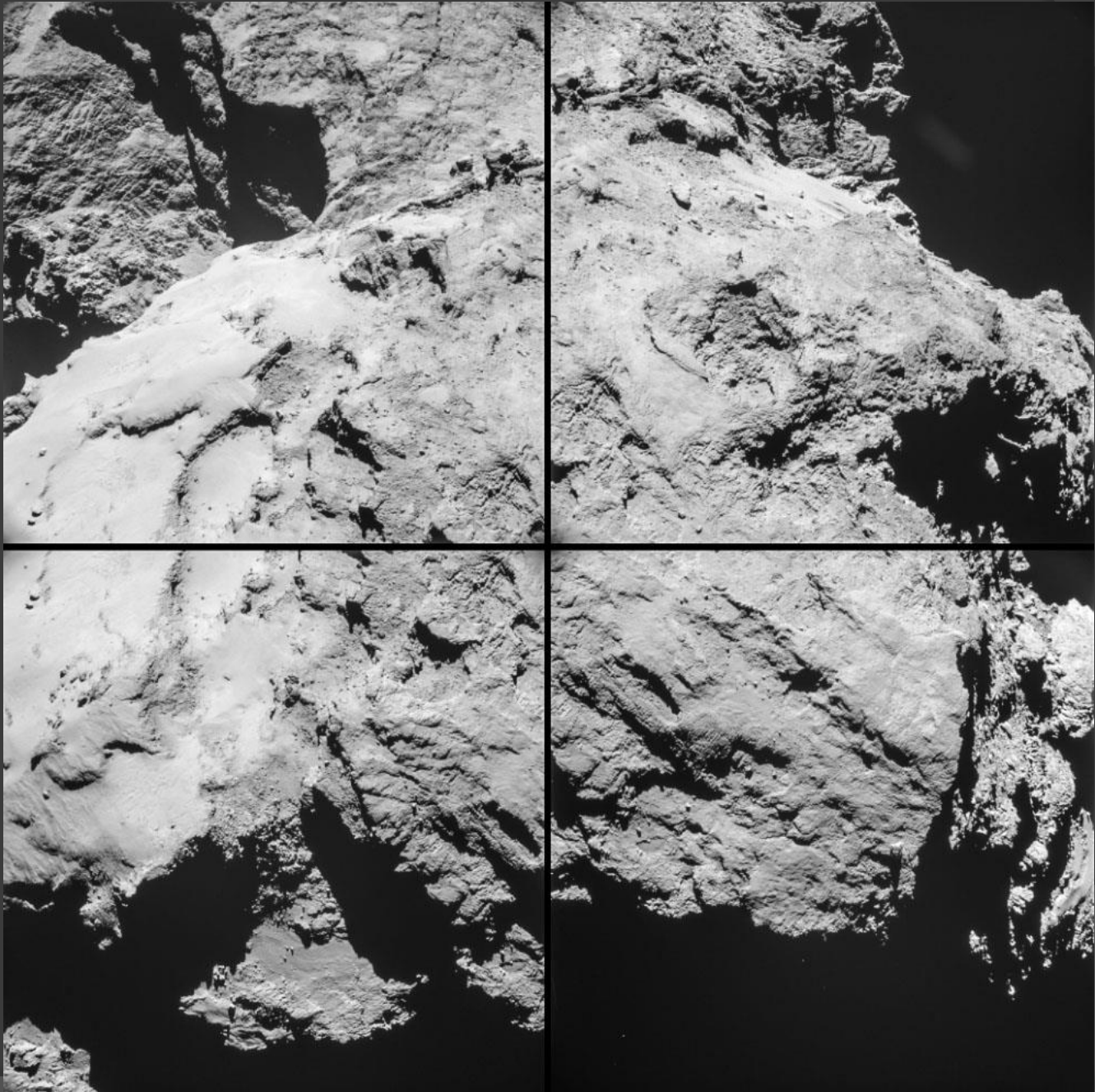
La capsula Philae



Primi piani della cometa Chury

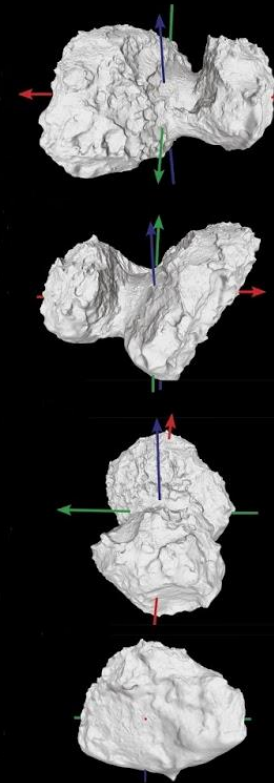






→ COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO'S VITAL STATISTICS

21.4 km³
Volume
1.0 × 10¹³ kg
Mass
470 kg/m³
Density
70–80%
Porosity



Rotation period
12.4043 hours

Spin axis:
69.3°
Right Ascension

64.1°
Declination

52°
Obliquity of the comet's rotational axis

X, Y Equatorial axes
Z Spin axis

4
Dust/gas ratio

5.3 × 10⁻⁴
D/H ratio

Average water vapour production
300 ml/s → June 2014
600 ml/s → July 2014
1200 ml/s → August 2014

-93°C to -43°C
Surface temperature

-243°C to -113°C
Subsurface temperature

6%
Average albedo

Rotation/shape model: OSIRIS; surface temperature: VIRTIS; subsurface temperature: MIRO; water production rate: MIRO; D/H: ROSINA; dust/gas: GIADA, MIRO, ROSINA; volume: OSIRIS; mass: RSI; density: RSI/OSIRIS; albedo: OSIRIS, VIRTIS; comet images: NavCam

Data based on values published in January 2015



→ ROME

Vatican

Colosseum

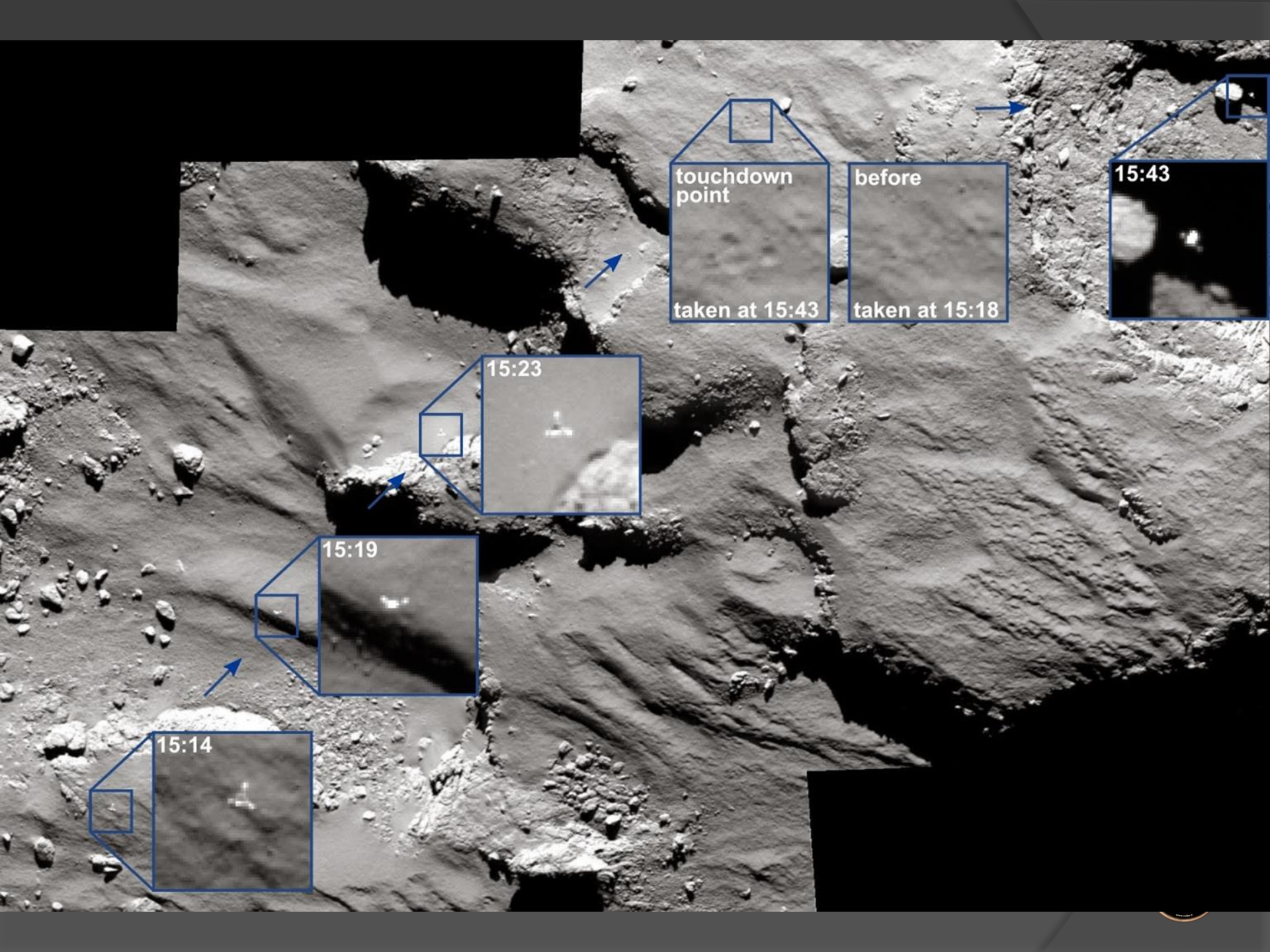
4100 m



La discesa di Philae sulla cometa

- Il 12 novembre 2014 il lander Philae si staccò dalla sonda madre per iniziare la sua discesa sulla cometa.
- In quel momento, la cometa si trovava a 511 milioni di km dalla Terra; a quella distanza, ogni comando richiede 28 minuti per raggiungere la sonda ed altrettanti per il segnale di feedback. Tutte le trasmissioni radio avvenivano per il tramite della sonda madre Rosetta.
- La superficie di Chury è stata raggiunta 7 ore dopo.
- Il cosiddetto “accometaggio” non è andato secondo i piani ed è risultato più laborioso e sofferto del previsto.
- Non dimentichiamo, infine, che erano trascorsi oltre 10 anni dal lancio...





touchdown
point

taken at 15:43

before

taken at 15:18

15:43

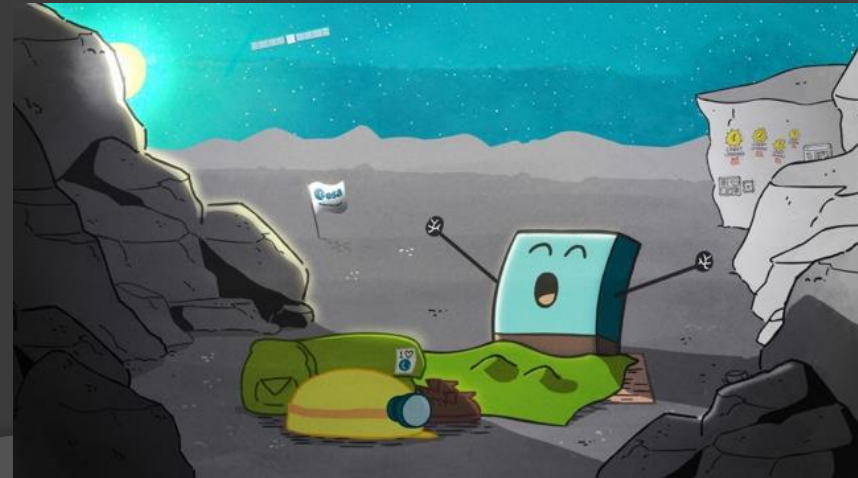
15:23

15:19

15:14

Il “sofferto” atterraggio di Philae

- In sostanza, gli arpioni di cui era dotato Philae non avevano funzionato a dovere a causa, come vedremo, dell’imprevista durezza della superficie.
- Inoltre, occorre tenere presente che l’accelerazione di gravità di Chury è circa 100.000 volte più debole di quella terrestre: Philae ha un peso equivalente pari a quello di una matita sulla Terra.
- Le telecamere di bordo rivelarono che, purtroppo, il lander si era fermato in una posizione poco illuminata, e che una delle tre gambe non era appoggiata al suolo.
- Era evidente che, in queste condizioni, i pannelli fotovoltaici non erano in grado di ricaricare la batteria di Philae, che poteva garantire solo 60 ore di autonomia.
- Il team di controllo della spedizione, pertanto decise di eseguire il maggior numero di esperimenti possibile.



Gli esperimenti di Philae

- Per prima cosa, si cercò d'analizzare un campione del suolo della cometa. Fu attivato, pertanto, il trapano SD2 e lo strumento MUPUS per la misura della densità e delle proprietà termiche e meccaniche.
- La superficie della cometa si rivelò molto più dura del previsto, al punto da determinare la rottura del trapano dopo pochi millimetri di penetrazione.
- La temperatura del suolo si aggirava intorno a 170 gradi sotto zero.
- Dalle misure d'inerzia termica, tramite il sensore IR di MUPUS ed il sensore SESAME, si è dedotto che la porzione della cometa su cui è finito il lander è costituita da un nucleo di ghiaccio durissimo ricoperto da 10-20 cm di polvere compatta.
- Il sensore COSAC infine, prima che la batteria s'esaurisse, è stato in grado d'individuare le prime molecole organiche sulla superficie della cometa.



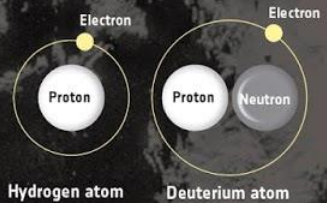
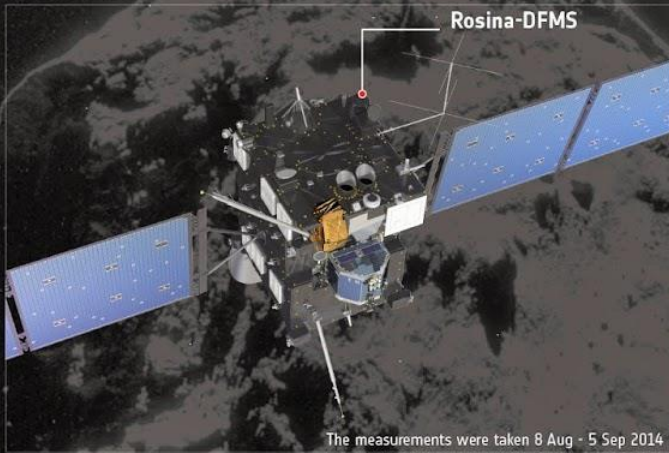
La missione continua...

L'analisi dell'acqua...

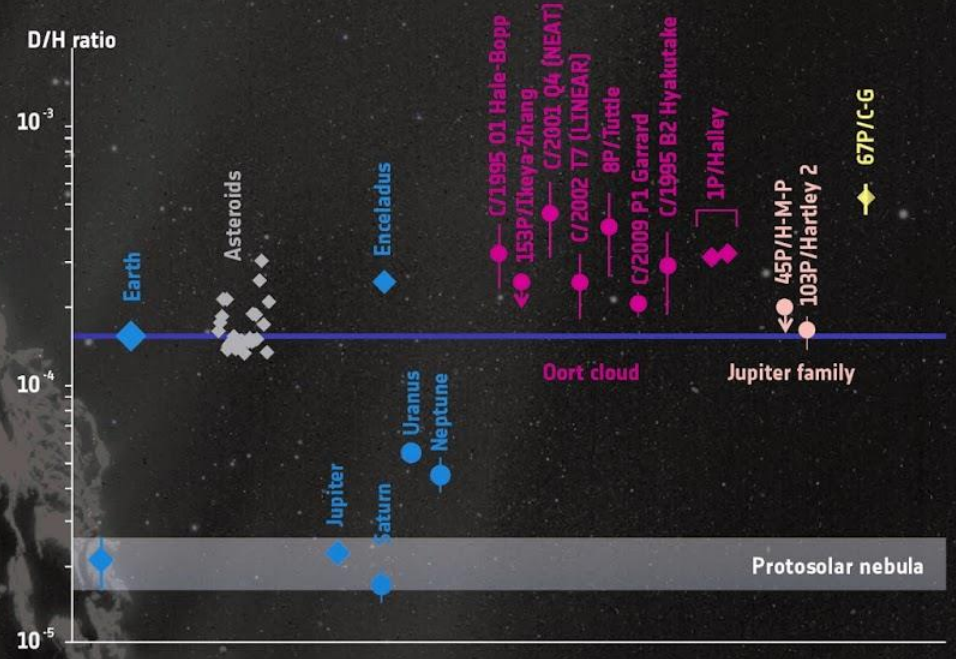
- L'origine dell'acqua sulla Terra è uno dei più grandi misteri della nostra epoca. Si pensa che l'acqua non possa essere comparsa spontaneamente sulla Terra di 4,6 miliardi di anni fa – un mondo infernale, ricoperto di magma e costantemente inondato da nuove eruzioni - e propone quindi che sia stata portata da uno o più corpi esterni, ovvero comete o asteroidi.
- Una chiave per dare una risposta a questa domanda è l'analisi isotopica dell'acqua, che sulla Terra è sempre uguale: una atomo di deuterio ogni 6400 atomi d'idrogeno ordinario.
- Analisi del genere erano state già fatte in precedenza su altre 11 comete, compresa Halley durante la missione Giotto. Solo una di esse, la 103P/Hartley 2 ha mostrato un rapporto H/D simile a quello della Terra.
- Lo strumento Rosina della sonda Rosetta ha misurato la composizione del vapore acqueo presente sulla cometa, che è risultato avere un rapporto D/H tre volte maggiore di quello dell'acqua terrestre.



Rosetta's ROSINA instrument finds Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko's water vapour to have a significantly different composition to Earth's oceans.



The ratio of deuterium to hydrogen in water is a key diagnostic to determining where in the Solar System an object originated and in what proportion asteroids and comets may have contributed to Earth's oceans



D/H ratio for different Solar System objects, grouped by colour as planets and moons (blue), chondritic meteorites from the Asteroid Belt (grey), comets originating from the Oort cloud (purple) and Jupiter family comets (pink). Comet 67P/C-G, a Jupiter family comet, is highlighted in yellow. ◆ = data obtained in situ ● = data obtained by astronomical methods



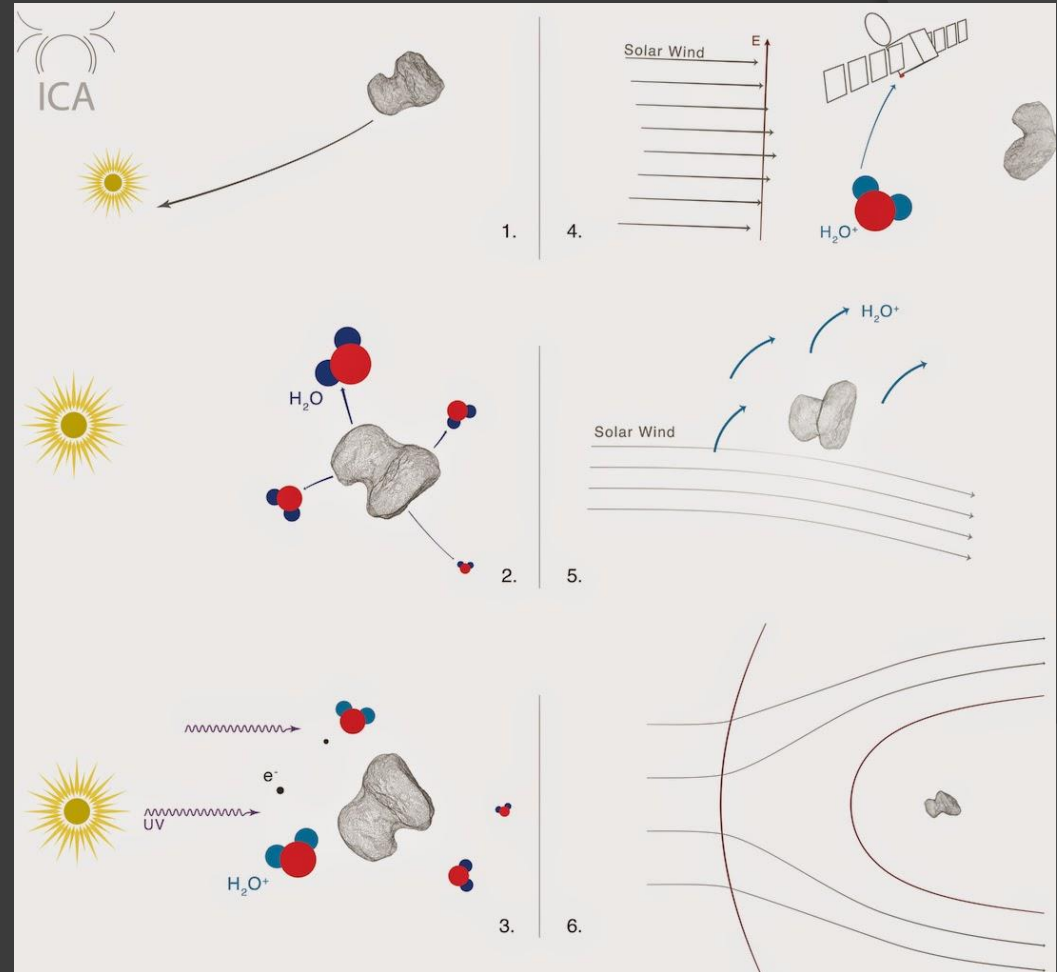
Scurissima, arida e ricca di molecole organiche

- Un altro aspetto sorprendente della cometa è il suo colore eccezionalmente scuro. Il suo *albedo*, infatti, è pari al 6%, appena la metà di quello della Luna.
- Si pensa che ciò sia dovuto allo spesso strato di polveri che ricopre la sua superficie, ed alla scarsa presenza di acqua, abbondantissima, invece, al suo interno.
- Lo spettrometro italiano VIRTIS ha inoltre evidenziato un'abbondante e generalizzata presenza di molecole organiche e composti organici macromolecolari, presenti anche negli amminoacidi, assimilabili ad acidi carbossilici o loro polimeri.
- Poiché la formazione di tali sostanze nello spazio richiede temperature molto basse, se ne deduce che la cometa si sia formata a grandi distanze dal Sole.
- In altre parole, questo è un indice che ci troviamo effettivamente in presenza di una cometa che contiene al suo interno tracce dei composti primordiali o addirittura precedenti alla formazione del nostro Sistema solare.



Nascita della magnetosfera su 67P

- La sonda Rosetta ha assistito alla progressiva formazione di un campo magnetico attorno alla cometa.
- Man mano che si forma la chioma, infatti, le molecole di acqua interagivano con la radiazione UV del Sole e con il vento solare, ionizzandosi.
- Raggiunto un certo limite, l'atmosfera della cometa inizia ad opporsi al vento solare, formando uno scudo a protezione del nucleo, la *magnetosfera* appunto, analogamente a quanto già avviene sulla Terra ed altri pianeti del nostro sistema.



Rilevato azoto molecolare nella chioma

Rosetta has made the first detection of molecular nitrogen at a comet



The measurements were taken 17–23 October 2014

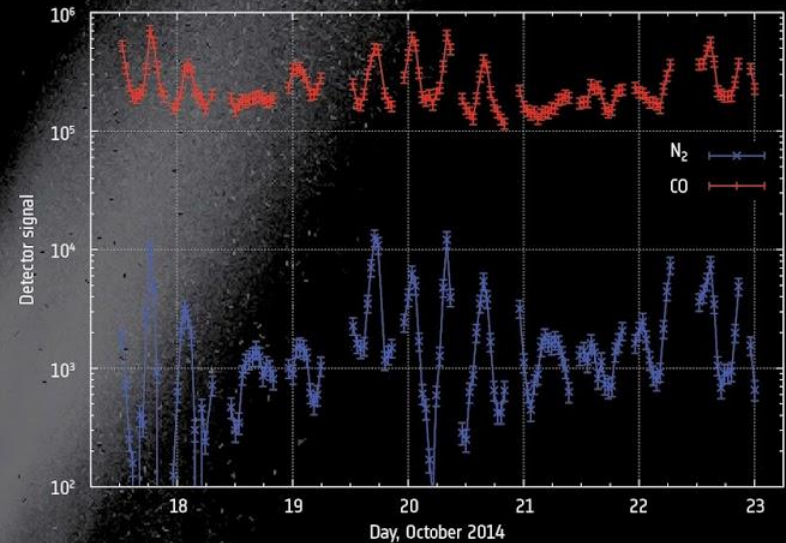


By comparing the ratio of N_2 to CO at the comet with that of the protosolar nebula, it was discovered the comet must have formed at low temperatures, consistent with the Kuiper Belt.



78%
of Earth's atmosphere is
molecular nitrogen, N_2

Although comets could have delivered some nitrogen to Earth, the new study suggests that Jupiter-family comets like 67P/C-G are not the major source.

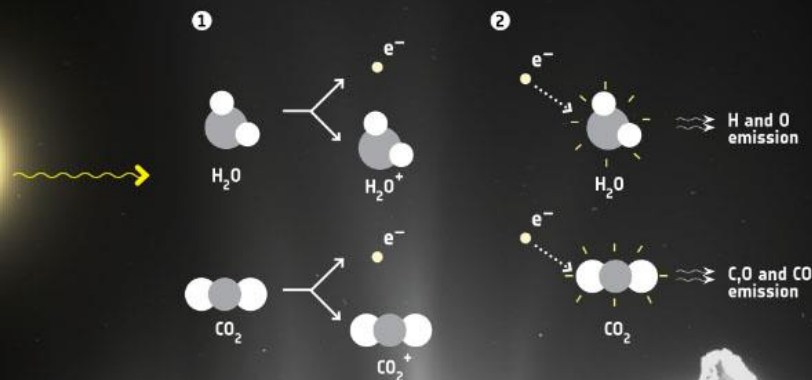


ROSINA recorded variations in the amount of molecular nitrogen (N_2) and carbon monoxide (CO) detected as a function of time, comet rotation and position of the spacecraft above the comet. An average ratio of N_2/CO of $(5.70 \pm 0.66) \times 10^{-3}$ was determined, with minimum and maximum values of 1.7×10^{-3} and 1.6×10^{-2} , respectively.

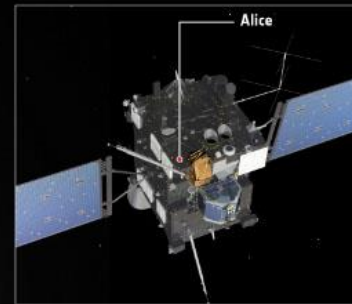
The detector signal is integrated over 20 seconds. A correction factor accounting for the instrument sensitivity is applied in order to derive the ratio.

Meccanismo di dissociazione delle molecole

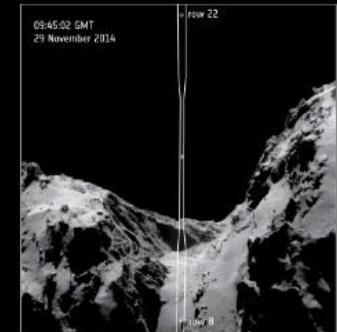
Rosetta's close study of Comet 67P/Churyumov–Gerasimenko at ultraviolet wavelengths has revealed that electrons and not photons are responsible for the rapid breakup of water and carbon dioxide molecules erupting from the surface.



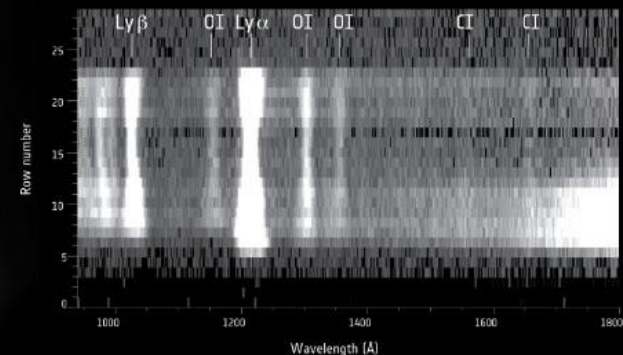
- 1 Solar photons ionise comet water and carbon dioxide molecules, producing electrons
- 2 Electrons impact other water and carbon dioxide molecules, creating emission detected by Alice



The data were collected between August and November 2014



Example of a spectral image (below) obtained by Alice for positions in the comet's coma indicated in the NavCam image (above). The emission by oxygen (OI) and carbon (CI) in the coma are indicated. The bright bands labelled Ly α and Ly β are due to electron impact on H₂O.

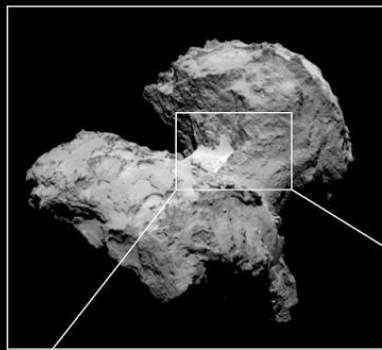


Il ciclo dell'acqua sulla cometa

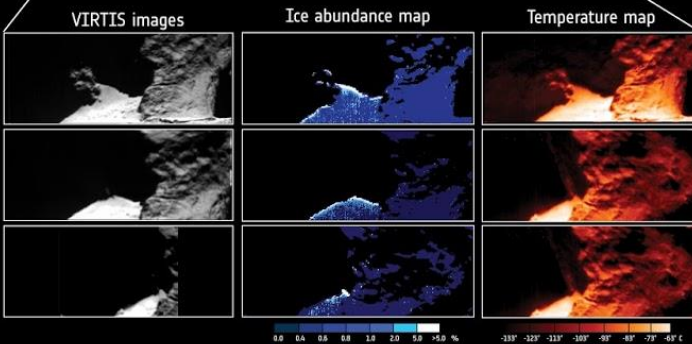
→ THE CYCLE OF WATER ICE AT COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO



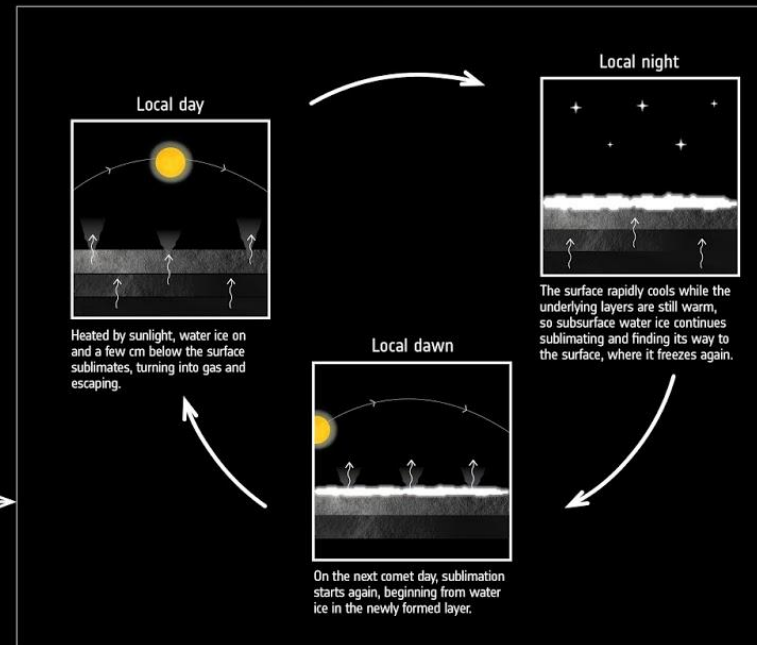
Comet on 2 September 2014



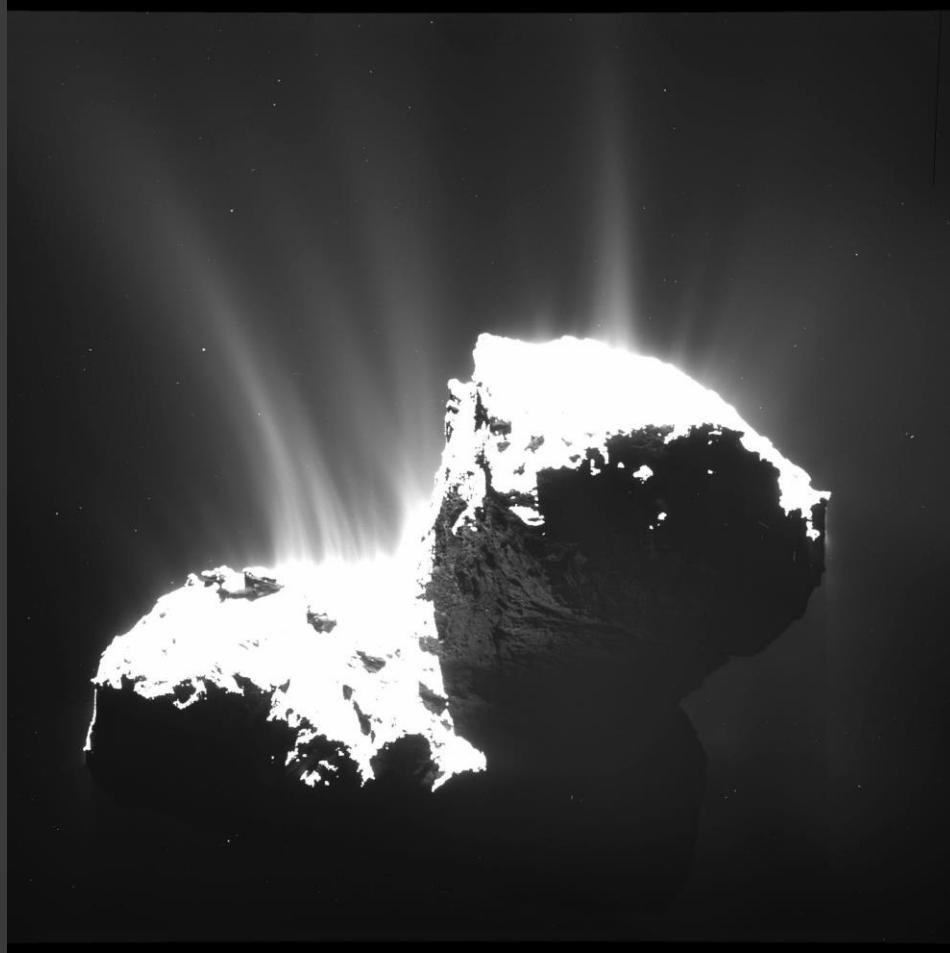
12 September 2015
13 September 2015
14 September 2015



Water ice cycle at the comet



La cometa al perielio (13 agosto 2015)



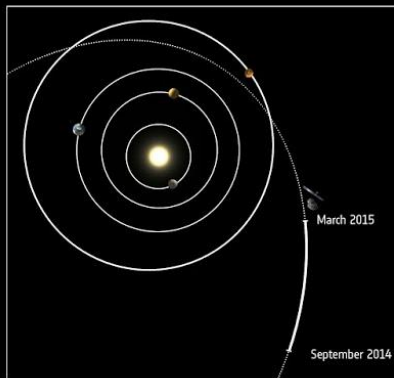
L'ultima scoperta: ossigeno molecolare nella chioma



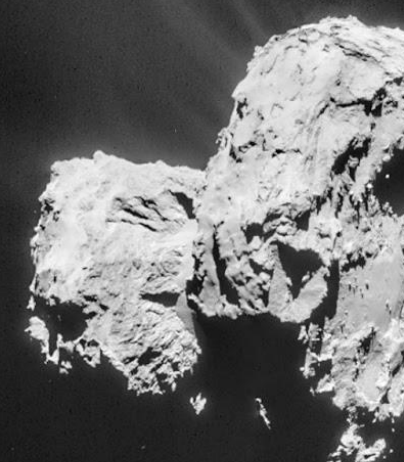
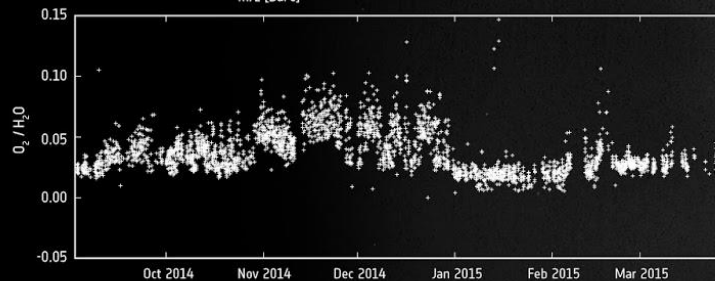
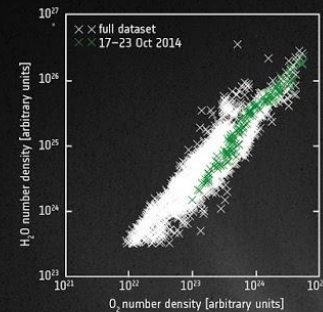
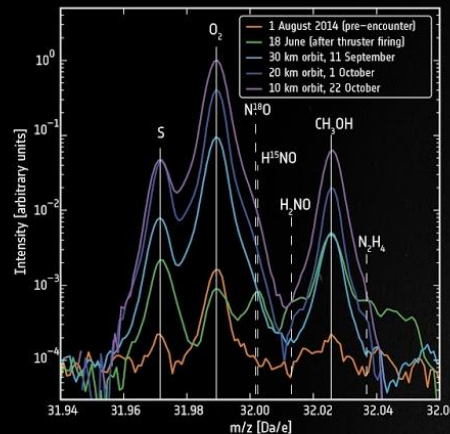
→ ROSETTA HAS MADE THE FIRST DETECTION OF MOLECULAR OXYGEN AT A COMET



The measurements were made with the Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis Double-Focusing Mass Spectrometer (ROSINA-DFMS).



The results were collected between September 2014 and March 2015.



Tappe future e conclusione della missione

- Inizialmente, la fine della missione era stata programmata il 31 dicembre 2015.
- Visti gli ottimi risultati finora raggiunti, nonostante lo spegnimento di Philae, ESA ha deciso di prolungarla di ulteriori nove mesi.
- Dopo il perielio, raggiunto il 13 agosto scorso, la cometa rallenterà progressivamente la sua attività, fino a spegnersi. Questo permetterà a Rosetta d'avvicinarsi al nucleo ed effettuare osservazioni a distanza ravvicinata senza pericolo.
- Dopo settembre 2016, la cometa sarà troppo lontana dal Sole per permettere la ricarica delle batterie, e la missione raggiungerà un capolinea forzato.
- A questo punto, si tenterà di farla atterrare sulla cometa. Prima dello spegnimento definitivo, essa avrà la possibilità d'effettuare le ultime analisi direttamente sul suolo.



FINE

