

La Cometa 67P/C-G vista da Osiris, gli occhi di Rosetta

Cesare Barbieri
Professore Emerito di Astronomia – Università di Padova
cesare.barbieri@unipd.it

28/02/2017

Riassunto

In questa rassegna verranno descritti alcune delle più interessanti acquisizioni scientifiche sulla cometa 67P/Churiomov-Gerasimenko fornite da Osiris, il sistema di immagini a bordo della missione cometaria europea Rosetta. Verranno menzionati brevemente alcuni risultati ottenuti da altri strumenti, in particolare da quelli con responsabilità o forte partecipazione italiana GIADA, PHILAE, VIRTIS. Ci vorranno comunque alcuni anni per esaminare tutto il contenuto di informazioni dell'immenso archivio di dati prodotti dagli strumenti a bordo di Rosetta.

Introduzione

Le comete, assieme agli asteroidi, sono collettivamente chiamate 'corpi minori' del sistema solare, ma solo per le loro dimensioni (in realtà le temporanee code delle comete possono estendersi per centinaia di milioni di km), non per la loro importanza. Le comete infatti hanno giocato da secoli un importantissimo ruolo in astronomia, meccanica celeste, fisica, chimica, geologia e perfino biologia. Esse costituiscono gli ideali 'punti di massa' per mettere alla prova le teorie dinamiche, dalle perturbazioni orbitali sino alle conseguenze della Relatività Generale. Contengono materiale prodottosi nelle prime fasi di vita del sistema solare e praticamente non modificato ulteriormente. Sono ideali laboratori in cui avvengono reazioni chimiche non facilmente riproducibili nel laboratorio terrestre. Le loro interazioni magnetoidrodinamiche con il vento solare avvengono spesso a grandi altezze sul piano eclittico dove le sonde artificiali di solito non riescono a arrivare. Una serie di motivazioni cui la Radio Astronomia e l'Astronomia Spaziale, entrambe nate verso gli Anni '60 del secolo scorso, hanno apportato nuove motivazioni, nuove domande e nuovi strumenti di indagine.

Negli ultimi 30 anni le comete sono state raggiunte da sette missioni spaziali, cinque americane NASA e due europee ESA, Giotto e Rosetta, su cui concentreremo l'attenzione.

Giotto fu lanciata nel 1985 verso la prima cometa dimostrata periodica, cioè quella di Halley (detta appunto 1P), che fu raggiunta nella notte tra il 13 e 14 marzo 1986. Rosetta fu lanciata il 3 Marzo 2004 e ha fine la sua vita il 30 settembre 2016, dopo dieci anni di navigazione nel sistema solare e due di crociera attorno alla Churiomov-Gerasimenko (67P), una piccola cometa della famiglia gioviana.

E' ben noto che il nome Giotto deriva dal riquadro della Adorazione dei Magi dipinto da Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova tra il 1303 e il 1305, in cui compare una cometa che potrebbe ben essere quella di Halley che passò nel 1301. Il nome Rosetta deriva dalla omonima stele trovata dall'armata francese nella località Rosetta sul Delta del Nilo nel 1799 e ora conservata al British Museum di Londra. Stele fondamentale per la decifrazione del geroglifico egizio, così

come lo fu l'obelisco di Philae pur esso conservato in Inghilterra e che ha dato il nome al modulo di atterraggio cometario a bordo di Rosetta.

Questa rassegna si concentrerà su alcuni risultati ottenuti dal sistema di immagini Osiris a bordo di Rosetta sulla 67P, con l'avvertenza che molti lavori scientifici non hanno ancora visto la luce e che ci vorranno anni per esplorare l'immenso archivio di dati prodotti da questa importantissima missione spaziale.

Missioni spaziali prima di Rosetta

La necessità di missioni spaziali verso le comete è facilmente comprensibile, solo dai pressi del nucleo è possibile indagarne la morfologia e la geologia, le veloci reazioni chimiche che trasformano molecole madri inosservabili da terra, l'interazione con il plasma solare. Motivazioni così forti che verso la cometa di Halley non fu lanciata solo la Giotto, ma due missioni sovietiche, Vega 1 e Vega 2 dopo uno spettacolare assaggio su Venere, due missioni giapponesi Suisai e Sakigake, e infine la sonda NASA ICE che era già nei pressi. Di tutte queste, la Giotto fu quella che passò più vicina al nucleo della Halley, a meno di 600 km nella notte tra il 13 e 14 marzo 1986, ottenendo una serie di immagini nella fase di avvicinamento. Poi purtroppo un grano di polvere colpì lo specchio della Halley Multicolour Camera (HMC, Schmidt et al., 1986; Keller et al., 1986) e impedì di prendere altre immagini. Il danno fu causato dal fatto che la velocità relativa sonda-cometa era di circa 70 km/s, dato il verso retrogrado dell'orbita cometaria. Nonostante queste limitazioni, la HMC permise di misurare accuratamente le dimensioni del nucleo, (circa 16x8x8 km), scoprire la presenza di alcune depressioni e colline (una alta circa 500 m), misurare la bassissima albedo di circa il 5%, verificare che la perdita di polveri e gas è concentrata su crepacci di estensione limitata rispetto alle complessive dimensioni del nucleo. Dato che la componente polverosa è dominante rispetto a quella gassosa, si rovesciò per così dire il corrente paradigma di Fred Whipple sulle comete come "palle di ghiaccio sporco" in favore di corpi polverosi con piccole frazioni di ghiacci.

Dopo Giotto e prima di Rosetta seguirono cinque missioni NASA (si veda in <https://www.nasa.gov/missions>):

Deep Space 1 (2001) cometa 19P/Borelly

Stardust (2004) cometa 81P/Wild 2

Deep Impact (2005) cometa 9P/Tempel 1, con contributo scientifico da Rosetta

EPOXY (2010) cometa 103P/Hartley 2

Stardust-NEXT (2011) ritorno alla cometa 9P/Tempel 1

Deep Impact fornì a Osiris il primo banco di prova sulle sue capacità di produrre scienza cometaria. Infatti dopo l'impatto del proiettile lanciato dalla sonda NASA, Osiris poté misurare il rilascio di vari gas, tra cui il vapor acqueo (Keller et al. 2007°).

Rosetta

Come sempre succede in ricerca scientifica, una tappa importante apre nuovi interrogativi, e quindi l'Agenzia Spaziale Europea programmò una missione cometaria più ambiziosa della Giotto. Dopo varie vicende iniziale, nacque Rosetta, lanciata finalmente il 3 marzo 2004 verso la 67P/Churiymov-Gerasimenko, una piccola cometa non visibile a occhio nudo, scoperta nel 1969 da Klim Churiymov e Svetlana Gerasimenko. 67P ha orbita diretta, inclinazione sul piano eclittico di circa 7 gradi, eccentricità 0.64, semiasse maggiore di 3.65 UA, periodo di 6.5 anni, afelio appena fuori dell'orbita di Giove e perielio appena fuori dell'orbita terrestre. La cometa fu catturata da

Giove nel 1959 e da allora fa parte della famiglia delle comete gioviane. Che orbita avesse la cometa nel lontano passato non è determinabile, perché dopo pochi millenni l'orbita diventa caotica (Guzzo e Lega, 2015). Prima del lancio di Rosetta si conoscevano vari parametri del nucleo, fondamentali per la costruzione della sonda e in particolare del modulo di atterraggio Philae, la determinazione del numero di immagini, il volume di dati e così via, come esposto in Tabella 1.

Tabella 1 – Proprietà del nucleo della 67P noti prima del lancio di Rosetta

• Raggi dell'approssimazione ellissoidica ellissoide della figura:	2.2 x 1.3 x 1.04 km
• Superficie:	47 km ²
• Volume:	19 km ³
• Massa	10 ¹³ – 10 ¹⁴ kg
• Periodo di rotazione:	12.40 h
• Obliquità dell'asse di rotazione sull'orbita:	55°
• Solstizio d'estate	29.7.2013
• Equinozio di autunno	10.5.2015
• Data del Perielio	13.8. 2015
• Solstizio d'inverno	04.9.2015
• Equinozio di primavera	18.3.2016

Si noti che la forte inclinazione dell'asse di rotazione sull'orbita implica che l'emisfero Nord sia illuminato dal sole per la gran parte dell'orbita, ma sempre a grandi distanze, mentre l'emisfero Sud è illuminato solo per pochi mesi attorno al perielio.

Mentre la cometa 67P era l'obiettivo scientifico primario, due asteroidi, Steins e Lutetia, costituirono target scientifici secondari. Per brevità non possiamo ricordare qui tutta la scienza fatta sui due asteroidi e su altri oggetti esaminati da Osiris nei 10 anni di crociera prima di risvegliarsi il 20 gennaio 2014 e raggiungere finalmente la cometa nell'agosto dello stesso anno.

Giotto fu una piccola sonda, stabilizzata a rotazione, lanciata direttamente verso la Halley. Rosetta invece, stabilizzata a tre assi, richiese tre passaggi attorno alla Terra e uno attorno a Marte. Fu anche la prima sonda europea a oltrepassare l'orbita di Marte. La potenza elettrica fu assicurata da pannelli solari con superficie di 64 m², che tuttavia non furono sufficienti nel lungo tragitto tra il fly-by di Lutetia e le fasi di avvicinamento alla cometa, per cui la sonda in quel periodo fu ibernata. Le tappe principali di tale navigazione sono esposte in Tabella 2.

Tabella 2 – Tappe principali della navigazione di Rosetta

Lancio	3 marzo 2005
I assist gravitazionale con la Terra	4 marzo 2005
Assist gravitazionale con Marte	25 febbraio 2007 (perdita di energia per ritornare verso terra)
II assist gravitazionale con la Terra	13 novembre 2007
Fly-by con asteroide Šteins	5 settembre 2008
III assist gravitazionale con la Terra	13 novembre 2009
Fly-by con asteroide Lutetia	10 luglio 2010
Ingresso in ibernazione	8 giugno 2011
Uscita dalla ibernazione	20 gennaio 2014
Manovre di avvicinamento alla cometa	maggio - agosto 2014 (la sonda rallenta per arrivare sulla cometa con velocità prossima a zero)
Arrivo alla cometa	6 agosto 2014
Rilascio di Philae:	12 novembre 2014
Attraversamento in ingresso dell'orbita di Marte:	primi di giugno 2015
perielio	13 agosto 2015

Attraversamento in uscita dell'orbita di Marte: primi di novembre 2015
Fine della missione: 30 settembre 2016

Il passaggio a appena 240 km sopra alla superficie di Marte fu una dimostrazione della grande maestria del personale di ESOC, e un utilissimo banco di prova per la complessa navigazione attorno alla cometa. Dati e comandi furono trasmessi e ricevuti in banda S- (2 GHz) e banda X- (8 GHz) dalle diverse stazioni ESA in Argentina, Australia, Europa, e in certe fasi con l'aiuto del Deep Space Network NASA.

La strumentazione di Rosetta

Rosetta portava a bordo vari strumenti di diversi Consorzi europei e due (ALICE and MIRO) fornito dalla NASA, e il modulo di atterraggio Philae, anch'esso di fornitura europea. Si vedano la **Figura 1** e le Tabella 1 e Tabella 2.



Figura 1– Rosetta nello stabilimento Thales Alenia Space (Torino) nel 2001. Sulla destra si vede uno dei due pannelli solari, sulla sinistra in basso il modulo di atterraggio Philae.

Tabella 1 – Strumenti sull'orbiter

ALICE: Ultraviolet Imaging Spectrometer (NASA)

CONCERT: Comet Nucleus Sounding Radar (receiver)

COSIMA: Cometary Secondary Ion Mass Analyser

GIADA: Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*

MIDAS: Micro-Imaging Analysis System

MIRO: Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter (NASA)

OSIRIS: Rosetta Orbiter Imaging System*

ROSINA: Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis

RPC: Rosetta Plasma Consortium

RSI: Radio Science Investigation

VIRTIS: Visible and Infrared Mapping Spectrometer*

***Giada e Virtis con piena responsabilità, Osiris con forte partecipazione italiana**

Tabella 2 – Strumenti sul lander Philae

APXS: Alpha Proton X-ray Spectrometer

ÇIVA / ROLIS: Rosetta Lander Imaging System

CONCERT: Comet Nucleus Sounding Radar (transmitter)

COSAC: Cometary Sampling and Composition experiment

MODULUS PTOLEMY: Evolved Gas Analyser

MUPUS: Multi-Purpose Sensor for Surface and Subsurface Science

ROMAP: RoLand Magnetometer and Plasma Monitor

SD2: Sample and Distribution Device*

SESAME: Surface Electrical Sounding and Acoustic Monitoring Experiment

***con responsabilità italiana**

Benché non facesse parte a tutto rigore della strumentazione scientifica, il sistema di immagini per la navigazione, NAVCAM, merita una menzione speciale. Le due camere NAVCAM, con ottiche rifrattive, CCD da 512x512 pixels, stessa lunghezza focale della WAC/Osiris, benché sprovviste di filtri hanno fornito una gran quantità di ottime immagini a beneficio anche della analisi scientifica. NAVCAM fu costruita da Leonardo FinMeccanica, erede della gloriosa tradizione delle Officine Galileo, che tanto avevano contribuito anche alla missione Giotto. La stessa Azienda fornì anche gli “star trackers”, fondamentali per la navigazione inerziale di Rosetta. Navigazione che fu essa stessa uno straordinario risultato degli specialisti di ESOC a Darmstadt.

La descrizione degli strumenti si può trovare in:

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Il sistema di immagini Osiris

Questo articolo di rassegna è basato in gran parte sui risultati ottenuti grazie alle immagini di Osiris. Il sistema era composto di due camere, una a largo campo (WAC) e una a campo più stretto (NAC), con le caratteristiche ottiche date dalla Tabella 5

Tabella 5 – Caratteristiche ottiche di Osiris

Camera	Resolution (2 px)	Field of view (2024x2024 px)	Spatial resolution at 100 km (2 px)	filters
NAC	8 arcsec (40 μ rad)	2.2x2.2 deg	4m	12 broad band
WAC	40 arcsec (200 μ rad)	12x12 deg	20 m	12 narrow and broad band

Osiris fu costruito, sotto il coordinamento del Max-Planck-Institute for Solar System Studies a Göttingen (Germania), da un consorzio di istituti in Germania, Italia, Francia, Spagna, Svezia e con la collaborazione di ESA/ESTEC per alcune parti elettroniche. Si veda in Keller et al., 2007a, Magrin et al., 2015 e Tubiana et al., 2015a.

Le due camere furono ottimizzate per due differenti scopi scientifici, la NAC per i dettagli morfologici e geologici del suolo, la forma, l'attività superficiale; la WAC per la materia diffusa sia gassosa che polverosa attorno alla cometa. Da qui un diverso corredo di filtri (Tabelle 6 e 7), e una risposta spettrale della NAC più estesa nel vicino IR di quella WAC. Entrambi i rivelatori erano del

tipo: *E2V CCD42-40, non-MPP, backside illuminated, Hafnium oxide AR coated*, con 2k×2k pixels da 13.5×13.5 μm^2 . La *Quantum Efficiency* nominale era:

λ 250 nm: 50 %; λ 400 nm: 60 %; λ 600 nm: 88 %; λ 800 nm: 65 %; λ 1000 nm: 6 %,

Tabella 3 – Filtri sulla NAC

Name	Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Scientific objective
FFP-UV	250–850		UV focusing plate
FFP-Vis	250–1000		Vis focusing plate
FFP-IR	300–1000		IR focusing plate
NFP-Vis	300–1000		Vis focusing plate for near-nucleus imaging
Far-UV	269.3	53.6	Surface spectral reflectance
Near-UV	360.0	51.1	Surface spectral reflectance
Blue	480.7	74.9	Surface spectral reflectance
Green	535.7	62.4	Surface spectral reflectance
Neutral	640.0	520.0	Neutral density filter
Orange	649.2	84.5	surface spectral reflectance
Hydra	701.2	22.1	Water of hydration band
Red	743.7	64.1	Surface spectral reflectance
Ortho	805.3	40.5	Orthopyroxene
Near-IR	882.1	65.9	Surface spectral reflectance
Fe2O3	931.9	34.9	Iron-bearing minerals
IR	989.3	38.2	IR Surface reflectance

Tabella 4 – Filtri sulla WAC

Name	Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Scientific objective
Empty			Empty position
Empty			Empty position
UV245	246.2	14.1	Continuum surface spectral reflectance
CS	259.0	5.6	CS gas emission
UV295	295.9	10.	Continuum for OH
OH-WAC	309.7	4.1	OH emission from the vicinity of the nucleus
UV325	325.8	10.7	Continuum for OH surface spectral reflectance
NH	335.9	4.1	NH gas emission
UV375	375.6	9.8	Continuum for CN surface spectral reflectance
CN	388.4	5.2	CN gas emission
Green	537.2	63.2	Dust continuum cross-correlation with NAC
NH2	572.1	11.5	NH2 gas emission
Na	590.7	4.7	Sodium gas emission
VIS610	612.6	9.8	Continuum for OI surface spectral reflectance
OI	631.6	4.0	O (1D) gas emission for dissociation of H2O
R	629.8	156.8	Broadband filter for nucleus and asteroid detection (NAC redundancy)

Osiris produsse una straordinaria quantità di dati scientifici anche prima di raggiungere la 67P, ma che qui non possiamo citare per brevità. Ricordo solo il contributo alla NASA Deep Impact, il fly-by di Marte e la spettrofotometria di Phobos (Pajola et al., 2012), e la determinazione della data di un rarissimo evento, cioè la collisione tra due asteroidi della Main Belt (Snodgrass et al., 2010). Anche il sorvolo dei due asteroidi (la prima volta nella storia dello spazio europeo), cioè (2867)

Šteins e (21) Lutetia, diede eccellenti risultati, e servirono anche per mettere a punto vari strumenti di operazione e analisi usati poi per la scienza cometaria.

L'asteroide (2867) Šteins è un piccolo corpo del raro tipo tassonomico E. La sua orbita ha eccentricità $e = 0.15$, semiasse maggiore $a = 2.36$ AU, inclinazione $i = 9^\circ.9$. Il fly-by avvenne il 5 settembre 2008 a una velocità relative di 8.6 km/s e minima distanza di 803 km. La forma dell'asteroide può essere approssimata con un ellissoide di $6.67 \times 5.81 \times 4.47$ km (Accomazzo et al, 2010; Keller et al., 2010), un po' maggiore di quello della cometa 67P.

Il fly-by di (21) Lutetia, tipo tassonomico M (Lazzarin et al., 2010), avvenne il 10 luglio 2010 con velocità relative di 15 km/s e minima distanza di 3170 km. L'orbita di Lutetia ha eccentricità $e = 0.16$, semiasse maggiore $a = 2.43$ AU, inclinazione $i = 3^\circ.06$. La forma si può approssimare con un ellissoide di $121 \times 101 \times 75$ km (Schulz et al., 2012; Sierks et al., 2012); quindi Lutetia è molto grande, e in effetti, dopo che Cerere è stato classificato come pianeta nano, è il secondo maggior asteroide sorvolato da una sonda umana, superato solo da Vesta (circa 500 km), il primo target della missione DAWN della NASA. Rosetta ha potuto determinare che la densità di Lutetia è molto alta, oltre 3 g/cm³, e la sua superficie molto antica ma anche differenziata, grazie ai conteggi di crateri grazie alle immagini Osiris (Marchi et al., 2010).

Per quanto riguarda la scienza prodotta sulla 67P, le oltre 80.000 immagini sono una miniera di dati che al tempo in cui scrivo questa rassegna sono stati pubblicati solo in parte. Credo sia utile confrontare quanto promesso in fase di accettazione di Osiris su Rosetta con quanto realizzato, si veda la Tabella 8, adattata da Keller et al., 2007a:

Tabella 5 - Scienza Cometaria promessa alla accettazione

THE COMETARY NUCLEUS

Position, Size and Rotational State
Shape, Volume, and Density
Surface Photometry, Mineralogy and Inhomogeneity
Nucleus Formation and Surface Topography
Active and Inactive Regions
Physics of the Sublimation Process, The Diurnal Cycle
Outbursts
Mass Loss Rate
Characterisation of the Philae Landing Site and observations of the Touchdown

DUST AND GAS

Detection of Dust Emission at Rendezvous
Temporal Evolution, Variation with Heliocentric Distance, Variations with Rotation
Night Side Activity and Thermal Inertia
Short-Term Variability
Large Particles in Bound Orbits
How Inactive are 'Inactive' Regions?
Optical Properties of the Dust
Eclipses
Acceleration and Fragmentation
Selected Gaseous Species
Sublimation Process and Inactive Areas

Alla fine, solo lo studio della polarizzazione non fu implementato e lasciato a altri strumenti a bordo della sonda.

Verso la cometa 67P

Rosetta fu la prima missione europea a spingersi al di là dell'orbita di Marte. Nonostante la grande area dei pannelli solari, dopo il sorvolo di Lutetia la gran parte dei sottosistemi e tutta la strumentazione scientifica furono ibernati, per risvegliarsi autonomamente il 20 gennaio 2014. Si riveda la Tabella 2 per la sequenza di eventi successivi al risveglio. Il seguente 18 marzo, Osiris identificò la cometa sul fittissimo sfondo di stelle del centro della Via Lattea. Quando la cometa era ancora puntiforme, fu possibile misurare il periodo di rotazione, circa 12h40m (Mottola et al., 2014), e anche una serie di rilasci di polvere avvenuti nonostante la cometa fosse ancora ben distante dall'orbita di Marte (Tubiana et al., 2015b).

Dopo alcuni altri mesi, finalmente il 6 agosto Rosetta raggiunse la cometa, iniziando una serie di orbite adatte alla esplorazione di tutto il suolo cometario, anche per preparare lo sbarco di Philae, previsto per il 12 novembre dello stesso anno.

Quando la distanza divenne inferiore a circa 7000 km, si cominciò a vedere la vera forma della cometa, cioè due lobi di diversa grandezza collegati da una stretta fascia; familiarmente si cominciò a parlare di “testa”, “corpo” e “collo” della 67P. In effetti in quel periodo si poteva osservare bene solo l'emisfero nord, perché quello sud era ancora in ombra; è curioso tuttavia ricordare che in varie osservazioni l'emisfero sud poté essere esaminato grazie alla debole illuminazione prodotta dalla chioma di polvere diffusa attorno alla cometa stessa.

Gradualmente iniziò l'analisi geomorfologica del suolo (Thomas et al., 2015, **Figura 2**). Alle varie regioni si attribuirono anche nomi egizi (**Figura 3**).

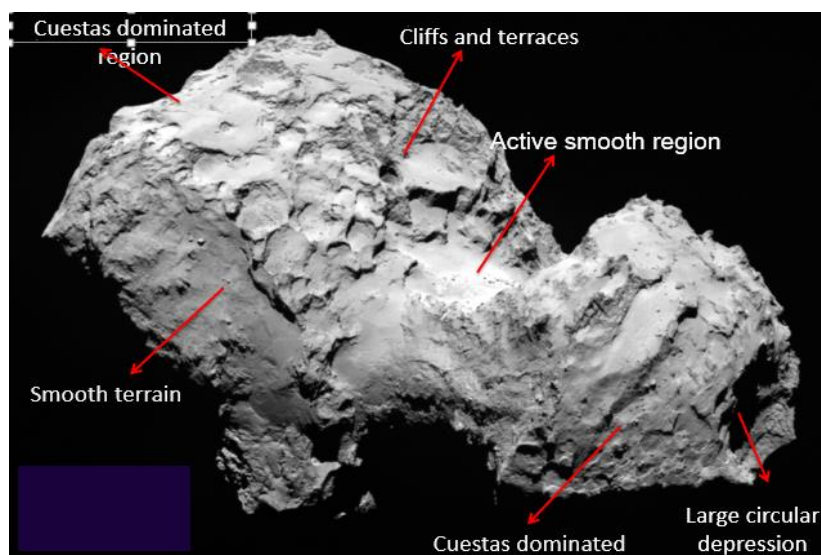


Figura 2 – Identificazione delle diverse regioni geomorfologiche

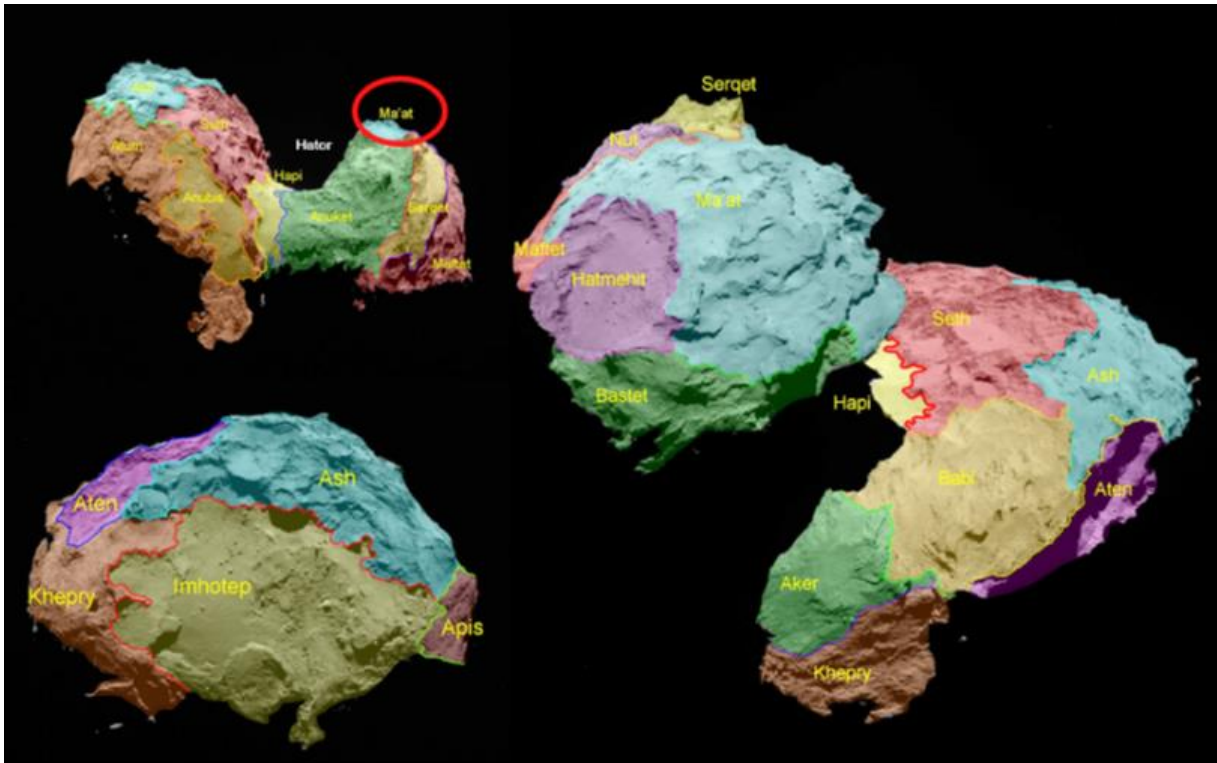


Figura 3 – Nomi egizi delle diverse regioni. L'ovale rosso identifica Ma'at, la zona dove Rosetta terminò la sua vita il 30 settembre 2016.

Non si trovarono satelliti della cometa, nonostante una ricerca molto accurata (Bertini et al., 2015). Si determinarono anche albedo e colori di varie regioni (Fornasier et al., 2015, v. **Figura 4**). L'andamento fotometrico è essenzialmente continuo, senza forti bande di assorbimento attribuibili a specifici minerali. La riflettività assoluta media è attorno al 5%, il nucleo cioè è molto scuro, come quello della Halley. Se la si potesse osservare a occhio, avremmo una impressione di colore grigiastro, senza forti variazioni da zona a zona.

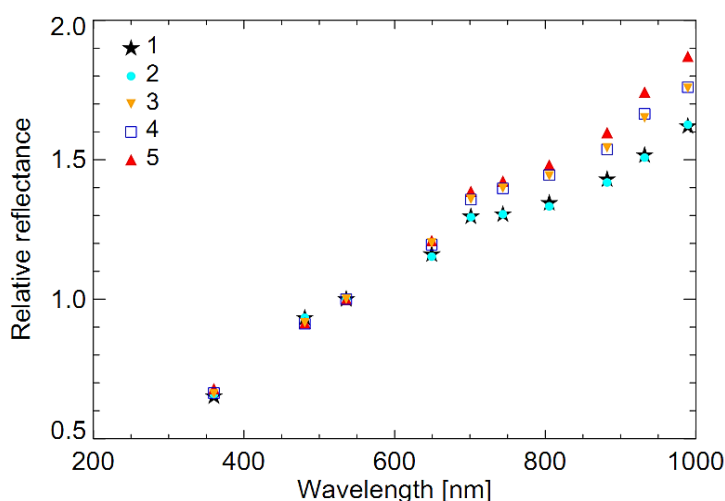


Figura 4– Riflettanza relative di alcune regioni sull'emisfero nord, dal vicino UV al vicino IR

Questa bassa riflettività, indice di una superficie ricca di organici (C, H, O) fu confermata anche da Virtis (Coradini et al, 1999, sensibile tra 0.25 e 5 μm), che in effetti poté scoprire anche una forte banda di assorbimento tra 2,9 e 3,6 μm . Virtis poté misurare anche la temperatura superficiale

durante il periodo diurno, in alcune zone “calde” alta fino a -60 C , mentre durante la notte la temperatura scendeva fino a -120 C .

Anche lo strumento MIRO della NASA, osservando in due canali (562 GHz e 190 GHz) poté effettuare misure di temperature relative a strati profondi qualche cm sotto la crosta superficiale (Gulkis et al., 2015). Temperature bassissime, fino a poche decine di Kelvin, indicative di una fortissima escursione termica (indicativamente 50K su un cm di spessore), e bassissima inerzia termica (da $5\text{ a }60\text{ J K}^{-1}\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-0.5}$, le rocce terrestri hanno valori ~ 2000). Quindi una crosta superficiale generalmente molto polverosa e molto porosa (Choukroun et al., 2015)

Grazie a sofisticati metodi fotogrammetrici in 3D, volume e superficie furono misurati con estrema precisione (Preusker et al., 2015, Jorda et al., 2016, **Figura 5**), e così anche I vettori gravità e pendenze punti per punto (Groussin, 2015a).

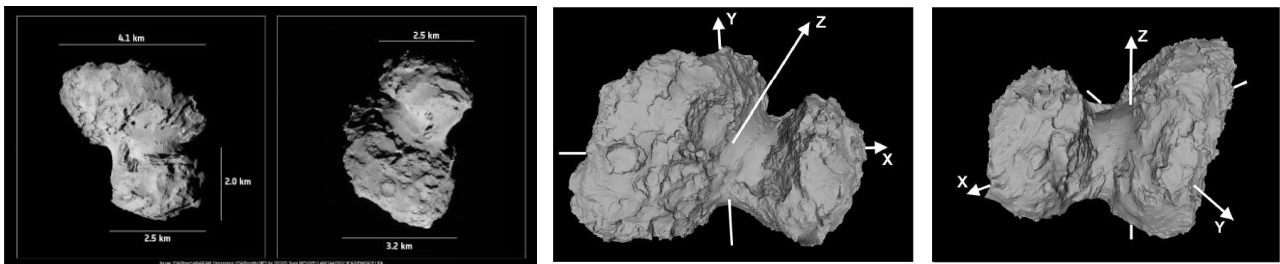


Figura 5– Sinistra: forma complessiva e dimensioni di 67P. Destra: ricostruzione matematica e sistema di riferimento fisso nel corpo. La rotazione avviene attorno all’asse z

Dalle accelerazioni subite dalla sonda misurate dall’esperimento di Radio Science, furono determinate la massa ($1 \times 10^{13} \pm 2 \times 10^9\text{ kg}$), la densità media (0.53 ± 0.02) e la gravità complessiva, circa 10^{-5} di quella terrestre (Pätzold et al., 2016). In conclusione, un nucleo poroso al livello del 70%, con materiale praticamente non compattato. Misure sia dalla navigazione che da CONSERT su Philae (anche se funzionante solo per poco tempo) indicarono in effetti l’assenza di grandi cavità interne in grado di riprodurre la bassa densità.

La **Figura 6** mostra alcune spettacolari immagini, il cui esame permise una sempre più raffinata indagine geologica. Si poterono identificare terrazzamenti, stratificazioni, scarpate, fratture, pozzi, formazioni rotondeggianti chiamate massi (v. **Figura 8**).

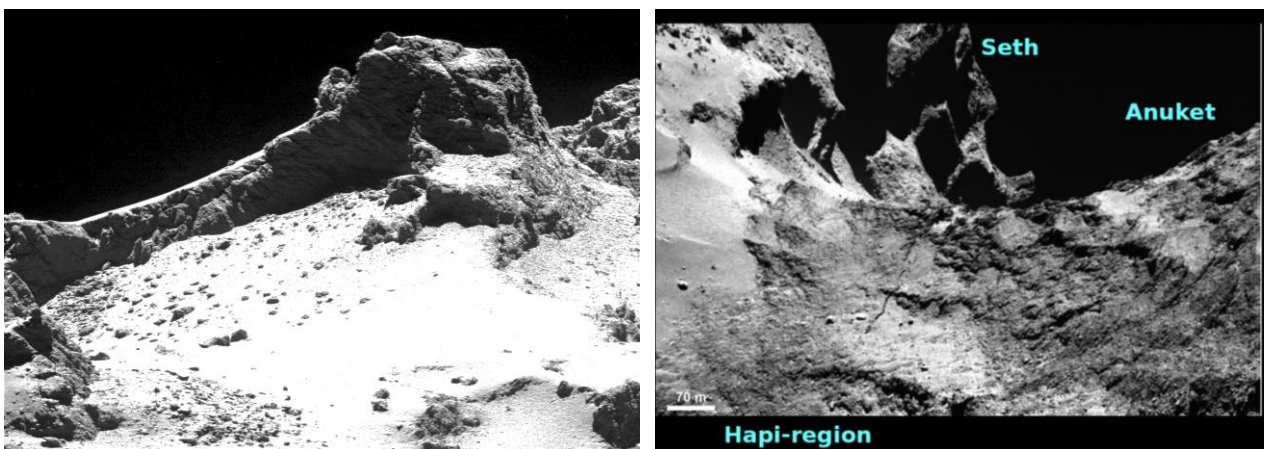


Figura 6 – Esempi di immagini spettacolari. SA destra si vede una frattura lunga 500m nella zona del collo

L'identificazione di terrazzamenti e stratificazioni, assieme alla dettagliata conoscenza dei vettori gravità, permette di assodare che la cometa è formata di due corpi principali separati inizialmente, ma poi venuti tra loro in contatto con una serie di impatti a bassa velocità. Si veda la **Figura 7** (adattata da Massironi et al., 2015, Giacomini et al., 2016, Jutzi et al., 2017a, 2017b).



Figura 7 – Sinistra, in verde i vettori puntali di gravità; al centro l'involuppo dei piani di stratificazione indica la separazione iniziale dei due corpi principali. A destra, in chiaro la traccia del rotolamento del lobo minore su quello maggiore prima della definitiva fusione

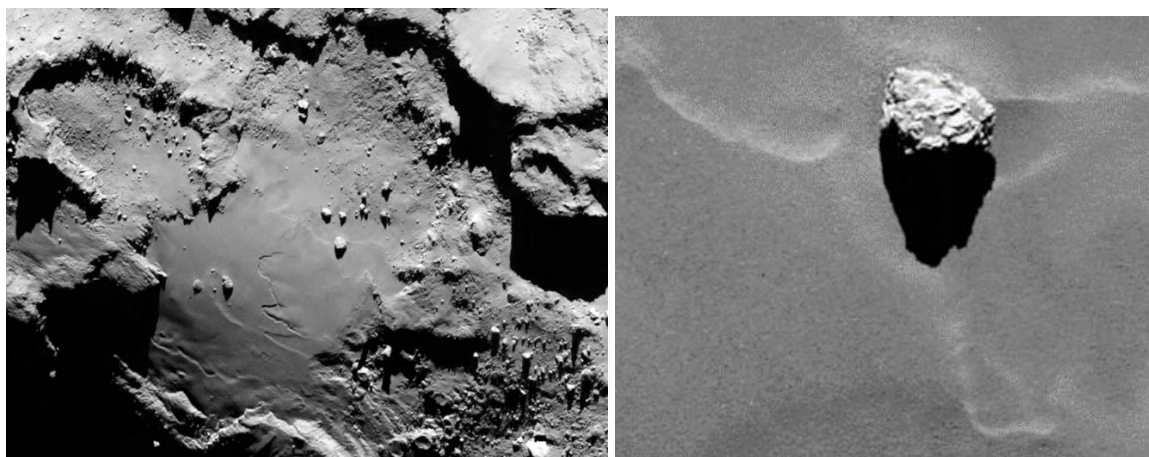


Figura 8 – Sinistra: questo gruppo di “massi” nell'emisfero Nord fu chiamato “piramidi di Giza”. Destra: il masso maggiore, con dimensioni sui 50m, chiamato “piramide di Chope”, è adagiato su un letto di regolite ed è risolto in un'agglomerata di unità più piccolo.

Queste formazioni sono state studiate con grande attenzione (Pajola et al. 2015, 2016a, 2016b, 2015c) e si interpretano come risultati di stress termici e sublimazione delle regioni circostanti il masso, evidentemente più coeso del contorno.

Le immagini mostrano molte altre caratteristiche superficiali di non facile spiegazione, dalle lunghe fratture (El-Maarry et al., 2015) fino a movimenti di regolito e massi (**Figura 9**, si veda in Thomas et al., 2015).

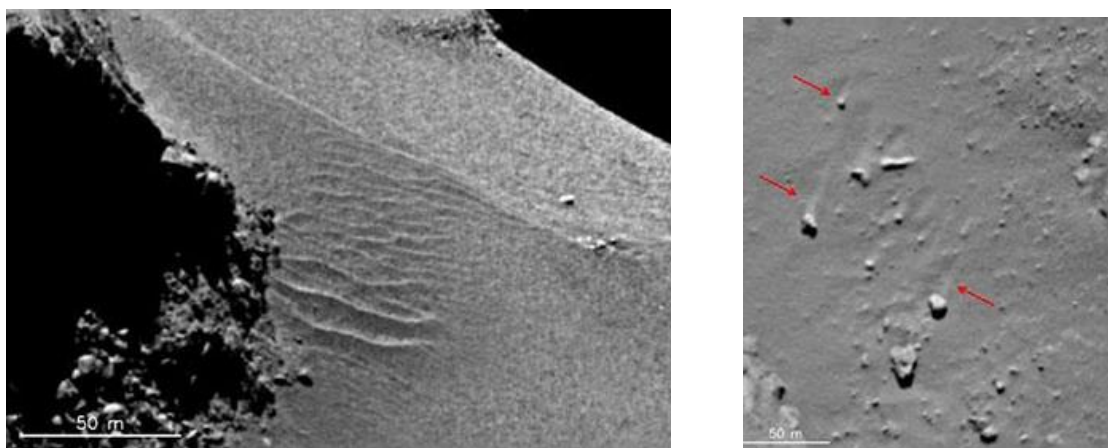


Figura 9 – Dune sul regolito e movimenti dei massi

Sono stati identificati molti pozzi circolari, talvolta profondi centinaia di metri (Mousis et al., 2015). Uno di questi è mostrato in **Figura 10**. Secondo Weissman (2016) la pelle d’oca delle pareti interne indica in effetti le dimensioni dei planetesimi primordiali che hanno portato alla formazione della cometa.

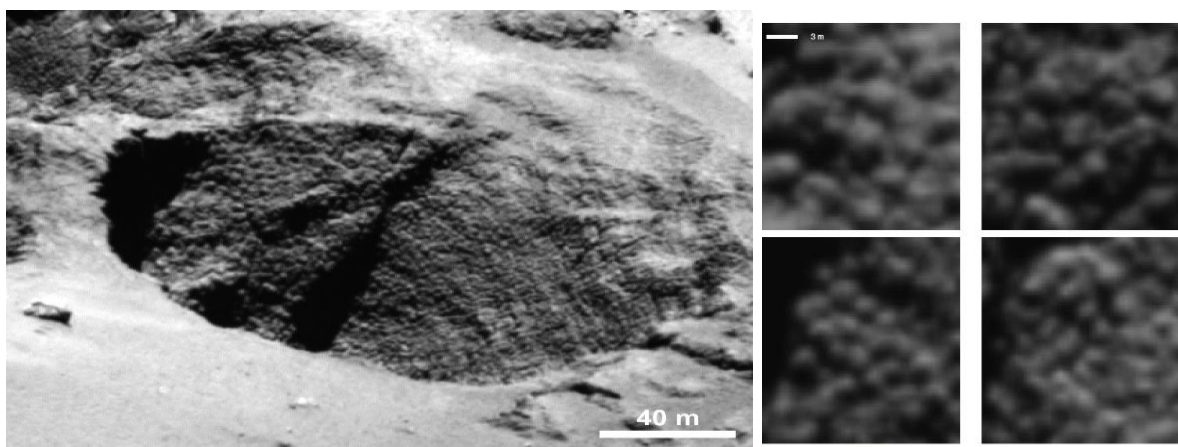


Figura 10 – Un pozzo circolare nella regione Ma’at. Gli ingrandimenti delle pareti interne (a destra) indicano gli agglomerati iniziali da cui si è poi formata la cometa

Il rilascio di Philae

Il rilascio di Philae 12 novembre 2014 rappresentò una delle tappe fondamentali della crociera, quando cometa e spacecraft erano ancora parecchio distanti dall’orbita di Marte. Le fasi del rilascio erano state accuratamente programmate da ESOC, cosicché Philae toccò il suolo nella regione prescelta, chiamata Agilkia, come il lago su cui è il tempio di Philae. Le caratteristiche di Abydos sono state accuratamente determinate sia prima che dopo l’atterraggio di Philae (La Forgia et al., 2015; Lucchetti et al., 2016) su un’area di circa 0.02 km². Conosciamo quindi la mappa di pendenze del terreno, il numero e distribuzione in dimensione dei vari massi, l’albedo in funzione della lunghezza d’onda, tutti dati che rinforzano l’idea di un terreno primordiale. Il lander fu rilasciato a

circa 25 km sopra alla superficie, subito dopo aprì le tre zampe di contatto e scese lentamente, ruotando su stessa. Osiris acquisì parecchie immagini durante quel volo in caduta libera, che durò circa 7 ore. Sfortunatamente, per un insieme di cause tecniche che si assommarono alla inaspettata durezza del suolo sotto al sottile strato di regolite, Philae rimbalzò via. Dopo un lungo volo e due rimbalzi sul suolo (documentati dai dati del magnetometro ROMAP) Philae si fermò in una zona in ombra, chiamata poi Abydos (**Figura 11, Figura 12**). Dopo poche ore, la mancanza di illuminazione solare fece scaricare completamente le batterie, e Philae cessò di trasmettere. Un gran peccato, perché durante il volo gli strumenti avevano comunque acquisito informazioni sui gas prossimi alla superficie, solo parzialmente recuperati. Inoltre si poterono acquisire alcune microfotografie della zona circostante le due zampe di appoggio (la terza non toccava il suolo) e alcuni dati di CONSERT relativi all'interno della cometa.

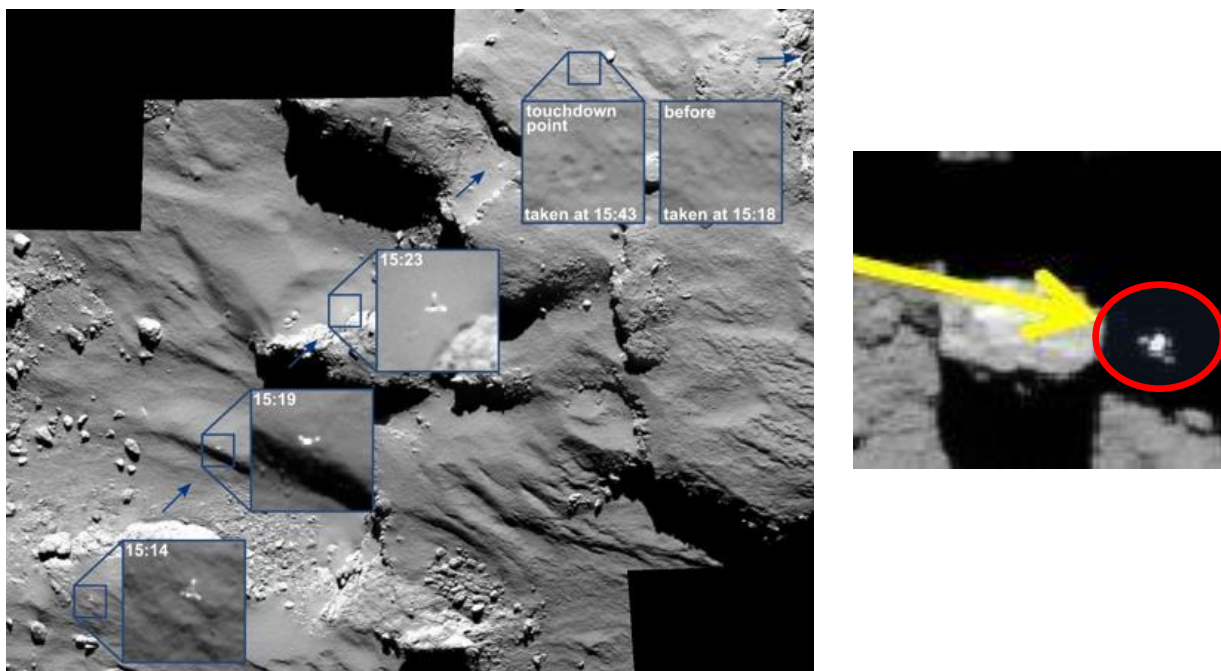


Figura 11 – A sinistra: mosaico di immagini Osiris che mostrano Philae proiettata sulla superficie cometaria durante la discesa. Nei riquadri si vedono chiaramente le tre zampe, i punti di contatto con il suolo e infine a destra l'ultima immagine in volo dopo il rimbalzo

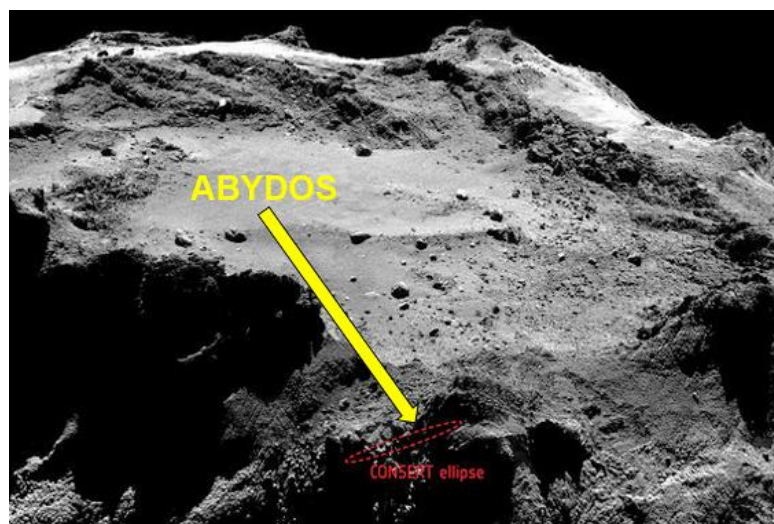
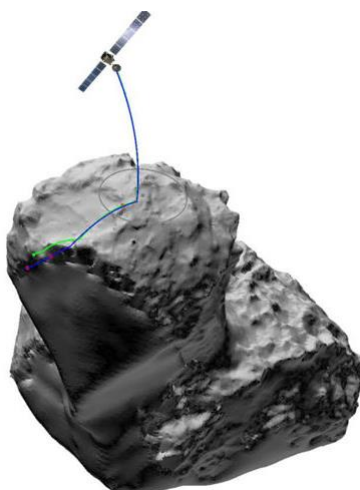


Figura 12 – A sinistra, ricostruzione dei tre rimbalzi ricostruiti da ROMAP. A destra, immagine di Abydos, con l’ovale di posizione finale secondo i dati di Consort

I dati di ROMAP sono stati utili anche per determinare l’assenza di strutture magnetiche sulla superficie sorvolata da Philae, perlomeno a livello maggiore di circa un metro e intensità superiore a 2 nanoTesla. Indicazioni utili anche per capire l’importanza del campo magnetico durante le prime fasi di formazione della cometa stessa. L’aggregazione dei vari planetesimi non ha preservato quindi la magnetizzazione dei singoli aggregati, che pur dovevano contenere magnetite.

Tra i gas rivelati, Quattro non erano mai stati vista prima sulle comete, cioè Propanone e Propanal, entrambi con composizione C_3H_6O , Etanamide (C_2H_5NO) e Metil-isocanato (C_2H_3NO).

Le poche misure di CONSERT hanno accertato che la parte superiore della testa della 67P sembra omogenea, almeno a livello della decina di metri (Kofman et al., 2015).

Un esempio delle microfotografie ottenute dalla camera CIVA è mostrato in **Figura 13**. Si noti che anche a livello di pochi cm il suolo appare fratturato, indice che anche qui l’insolazione solare ha portato alla perdita degli elementi volatili e a fratturazione causata da stress termici (Poulet et al. 2016).

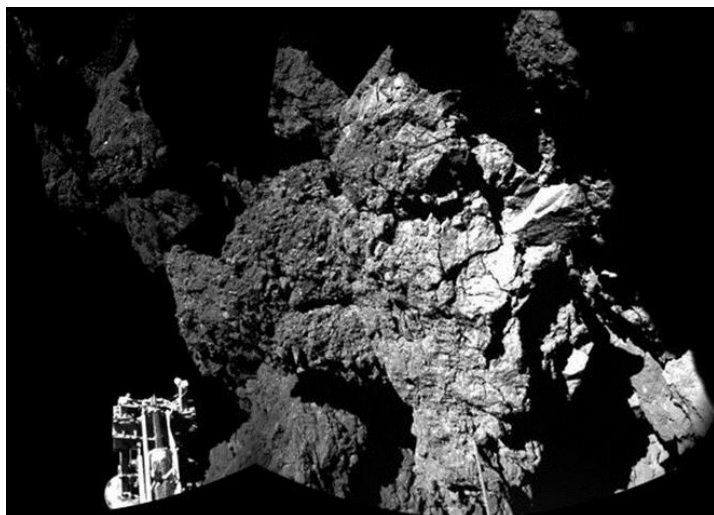


Figura 13 - Immagine CIVA della superficie cometaria adiacente a una delle due zampe

Fuga dalla cometa

Dopo alcuni mesi passati a piccola distanza dalla superficie, con l’acquisizione di importanti dati da parte di tutti gli strumenti, a metà aprile 2015 si ebbe un evento molto pericoloso. L’aumentata attività, dovuta sia alla minor distanza da sole che al riscaldamento dell’emisfero Sud (sino allora in ombra) intensificò il rilascio di grani di polvere di grandi dimensioni ben illuminati dal sole. La sonda cominciò a sbandare in modo erratico per inseguire i brillanti grani, non le stelle fisse, per cui l’antenna a alto guadagno rischiò di non vedere più la terra. Intervenne immediatamente il software di bordo, che spense la gran parte dei sottosistemi e la strumentazione scientifica, e inviò la sonda fuori della zona pericolosa, a circa 400 km di distanza. Nei mesi successivi si fecero vari inutili tentativi di ritornare nei pressi della superficie, per cui tutto il periodo da aprile 2015 ai primi del 2016, incluso quindi il perielio, fu documentato da oltre 100 km di distanza. Gran peccato, perché tale distanza non affettò negativamente solo le immagini ma anche la sensibilità di strumenti come Giada e Rosina.

La chioma gassosa

La WAC/Osiris era stata equipaggiata con una serie di filtri utili per studiare la chioma gassosa. La **Figura 14** mostra un esempio della analisi di Bodewits et al. (2016) relative al period in cui la cometa fu a distanze tra 2.6 e 1.3 AU dal Sole. Si vedono forti emissioni in OH, NH, NH₂, [O I] e CN. I filtri CN e O I mostrano un getto di gas non presente in OH, indice di un arricchimento locale del CO₂ rispetto all'H₂O di almeno un fattore 3. Per vari mesi si tentò inutilmente di spiegare l'anomala forte intensità dell'O I, finché non si analizzarono i dati di Alice (**Figura 15**, adattato da Feldman et al., 2015).

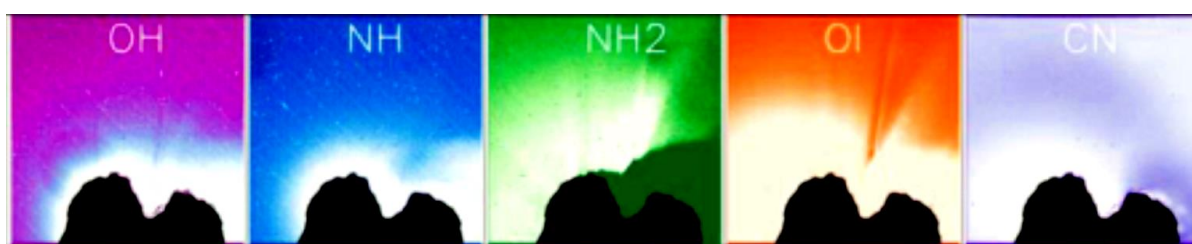


Figura 14 – Immagini WAC nei filtri OH, NH, NH₂, OI e CN che mostrano un getto gassoso rivolto in alto a destra. Il sole è in direzione verticale, verso l'alto

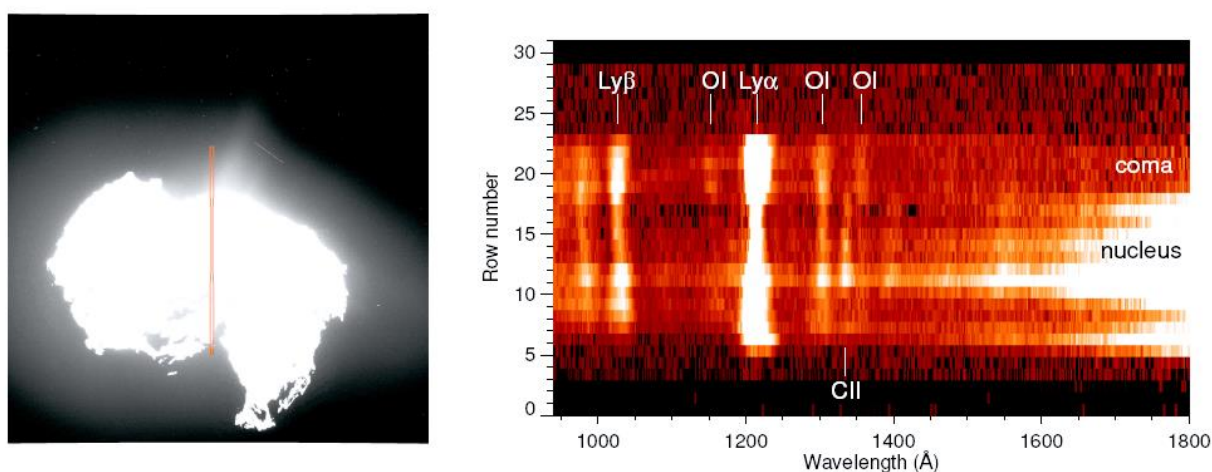


Figura 15 – Sinistra: immagine WAC che mostra il getto di gas verso l'alto e sovrapposta (riga rossa) la posizione della fenditura di Alice. Destra: uno spettro di ALICE

Questi spettri permisero di capire che il meccanismo primario all'origine della rapida dissociazione di CO₂ e H₂O non sono i fotoni, ma gli elettroni liberi. Il processo avviene in due passi: dapprima alcune molecole di H₂O e CO₂ vengono foto-dissociate, poi gli elettroni energetici così liberati ionizzano per impatto altre molecole rimaste neutre, e provocano la forte intensità di righe e bande di H, C, O e CO. Questa interpretazione fu rinforzata dai dati della Langmuir Probe and Mutual Impedance Probe (LP/MIP) dello strumento MPC.

Altri importanti dati sulla chioma gassosa sono stati prodotti da Virtis. Ad esempio, Migliorini et al., 2016, determinarono la distribuzione spaziale di H₂O e CO₂. L'emissione di H₂O aveva un massimo entro circa 3 km dal nucleo, concentrata in corrispondenza di due regioni attive, Aten-Babi and Seth-Hapi. Invece la distribuzione di CO₂ appariva più uniforme su tutta la superficie cometaria. Inoltre, la densità colonnare di CO₂ diminuiva con l'altezza più in fretta di quella di H₂O. Il rapporto CO₂/H₂O al di sopra di Aten-Babi e Seth-Hapi era rispettivamente di $(2.4 \pm 0.6)\%$ and $(3.0 \pm 0.7)\%$, mentre sopra Imothep era $(3.9 \pm 1.0)\%$. In conclusione, la regione Hapi mostrava un forte degassamento in vapor acqueo, nella stessa zona cioè in cui De Sanctis et al., 2015 avevano potuto identificare un ciclo diurno di condensazione e sublimazione del ghiaccio d'acqua. La situazione però varia da regione a regione (Filacchione et al. 2016), una ulteriore testimonianza che solo osservazioni in situ possono chiarire le varie incertezze nella interpretazione dei dati da terra o da orbite terrestri come HST.

MIRO della NASA cominciò a misurare la Perdita di vapor acqueo già nel giugno 2014, davvero una piccolissima quantità di circa 300 millilitri al secondo, cioè circa 1×10^{25} molecole/s (Lee et al., 2015), per poi gradualmente aumentare a 500 volte tanto nei pressi del perielio. La **Figura 16** riassume i risultati complessivi di MIRO. Si noti l'assenza di CO, dovuta probabilmente al fatto che la gran parte del tempo di osservazione fu spesa per l'emisfero Nord, mentre le sorgenti principali di CO erano in quello Sud.

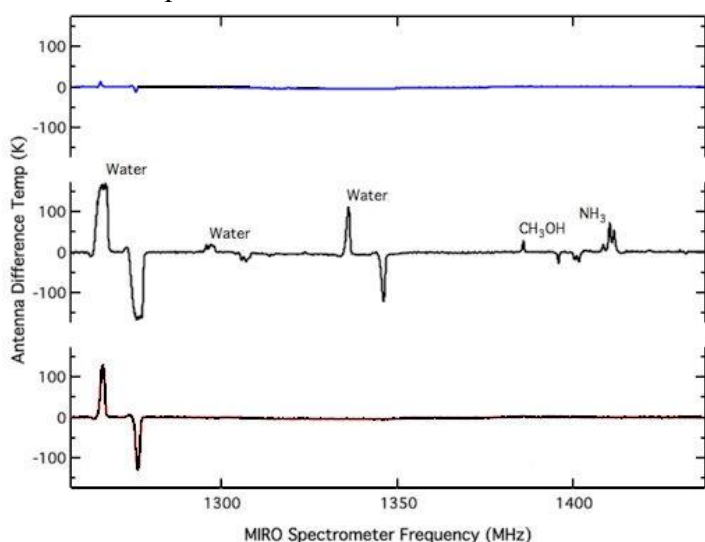


Figura 16 – Produzione di gas osservata da MIRO dall'agosto 2014 (in alto, distanza dal sole 3.4 AU) al perielio (centro, distanza 1.2 AU) alla fine della missione quando la distanza al Sole fu di nuovo attorno a 3.4 AU. Nei pressi del perielio si osservarono anche metanolo (CH₃OH), ammoniaca (NH₃) e altre specie minori (adattato da M. Hofstadter, <http://blogs.esa.int/rosetta/2016/09/27/living-with-a-comet-a-miro-team-perspective/>)

Le informazioni fornite da ROSINA relativamente ai gas della 67P sono di straordinaria importanza, dato che sono relative alla abbondanza di acqua, argon, carbonio, ossigeno, azoto, e altri elementi ingredienti della vita terrestre. L'importanza degli impatti asteroidali e cometari sulla atmosfera, sul clima, sull'inizio della vita sulla terra nei primi tempi di formazione del sistema solare, sulle periodiche estinzioni della stessa vita ad es. nel periodo detto K-T circa 65 milioni di anni fa, sono oggetto di vivaci discussioni. ROSINA ha misurato una abbondanza di Deuterio nel vapor acqueo cometario circa 3 volte superiore a quello terrestre, in cui il valor medio del rapporto D/H si aggira attorno a 1.56×10^{-4} . Infatti, il valore D/H misurato da Rosina si aggira su $(5.3 \pm 0.7) \times 10^{-4}$ (Altwegg et al., 2015, 2016), Dunque, se il valore di 67P è tipico delle comete, l'acqua portata da queste sulla terra deve essere una piccola frazione del totale. La Tabella 9 dà un elenco, seppur

parziale, di tutti i gas misurati da Rosina (Le Roy et al., 2015). Si è trovata una sicura evidenza della presenza di glicina ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), che è il più piccolo degli aminoacidi comunemente trovati nelle proteine (Altwegg et al., 2016), accompagnata da metilamina e etilamina. Infine, si è trovato Ossigeno molecolare O_2 (anche questo un *primus*) con abbondanza $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O} = (3.80 \pm 0.85) \times 10^{-2}$. Stimolati da questo risultato, si sono riesaminati i dati di Giotto sulla Halley, e anche in questo caso si è trovato O_2 (Rubin et al. 2016), che potrebbe dunque essere un elemento piuttosto comune all'origine, e costituire una molecola 'madre', dato che l' O_2 si può formare solo a bassissime temperature.

Tabella 6 – Elenco parziale dei gas trovati da ROSINA

Nome	composizione
Water	H_2O
Carbon Monoxide	CO
Carbon Dioxide	CO_2
Azoto molecolare	N_2
Ammonia	NH_3
Methane	CH_4
Methanol	CH_3OH
Formaldehyde	CH_2O
Hydrogen Sulphide	H_2S
Hydrogen Cyanide	HCN
Sulphur Dioxide	SO_2
Carbon Disulphide	CS_2

Si determinò che l'abbondanza di N_2 rispetto alla CO dipende dal tempo, dalla rotazione della cometa, dalla posizione dello spacecraft rispetto al nucleo. In media: $\text{N}_2/\text{CO} = (5.70 \pm 0.66) \times 10^{-3}$, troppo bassa per poter attribuire alle comete l'abbondanza di N_2 nell'atmosfera della Terra.

Si trovò che il rapporto isotopico dell'Ar ($^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar} = 5.4 \pm 1.4$, Balsiger et al., 2015), è compatibile con quello terrestre, che vale 5.3, mentre è 5.5 nel vento solare.

Potremmo quindi concludere, con Marty et al. (2016), che se 67P è indicativa della composizione cometaria in generale, il contributo cometario alla quantità di elementi volatili osservati sulla terra fu minoritario per acqua ($\leq 1\%$), carbone ($\leq 1\%$), e azoto (qualche %), mentre potrebbe essere stato significativo per i gas nobili.

La chioma di polvere

Vari strumenti a bordo di Rosetta potevano esaminare direttamente i grani di polvere, in particolare Giada e Cosima. Va rilevato comunque la strettissima collaborazione tra i team di tutti gli strumenti, e in alcune occasioni anche con telescopi al suolo, fondamentale per la miglior comprensione di quanto osservato. Citiamo ad esempio che Rotundi et al. (2015) trovarono evidenza di agglomerati di grani lasciati attorno alla cometa dal precedente passaggio al perielio. Della Corte et al. (2015) poterono distinguere due tipi di particelle nella chioma, cioè particelle compatte e particelle labilmente coese (*fluffy*) con momento $< 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ e densità $< 1 \text{ kg/m}^3$. La velocità delle particelle, la cui massa variava tra 10^{-10} e 10^{-7} kg , era nel range da 0.3 a 12.2 m/s con una distribuzione in velocità e localizzazione correlata con le sorgenti di H_2O . Le proprietà delle particelle *fluffy*, le cui dimensioni sono nell'intervallo da 0.2 a 2.5 mm, furono esaminate in dettaglio da Fulle et al. (2015b) che le ritengono associate alle primitive particelle del mezzo interstellare. Una difficoltà nella interpretazione dei dati è il campo elettrico attorno a Rosetta, che durante la missione acquisì un potenziale elettrico negativo e variabile in grado di frammentare e accelerare questi piccoli agglomerati (possiamo dire che lo spacecraft in alcune occasioni si

comportava come un piccolo satellite e della cometa, e esso stesso uno strumento scientifico). La bassa densità delle particelle *fluffy* è consistente con quella di tutto il nucleo, il loro contributo in massa alla chioma di polvere è trascurabile, così come è minore la loro importanza dal punto di vista della fotometria.

Varie proprietà della polvere cambiarono ovviamente da prima a dopo il perielio, ad esempio la distribuzione in dimensioni (Fulle et al., 2016°, Della Corte et al., 2016) documentata sia da Osiris che da Giada. Comunque, la percentuale in massa di polvere/acqua rimase sempre attorno a 6 per tutta la missione, almeno dal punto di vista globale. In alcuni eventi molto localizzati tale percentuale salì anche di 10 volte.

I grani di polvere possono anche ruotare su se stessi, e questa rotazione fornisce una accelerazione laterale supplementare. Per cui la dinamica di particelle certamente non sferiche, soggetta a forze sia aerodinamiche che gravitazionali, è di difficile modellizzazione, come discusso da Fulle et al. (2015) e Ivanovski et al. (2017).

COSIMA ha catturato letteralmente migliaia di grani di cui ha potuto inviare a terra sia le immagini che la composizione chimica (ad es. un grano ha mostrato la presenza di Sodio e Magnesio). La divisione in componente compatta e componente porosa è ben in accordo con quella di Giada (Merouane et al., 2016), così come lo è la distribuzione in dimensioni nell'intervallo comune ai due strumenti (COSIMA poteva osservare anche grani più piccoli di quelli di Giada).

Grazie ai dati di Osiris, Cremonese et al. (2016) hanno potuto studiare i colori di un insieme di particelle risolte individualmente, mostrando che un piccolo campione di esse ha colori decisamente più piatti dal blu al rosso delle Iltre, in cui predomina il rosso. Una possibile interpretazione è che questi grani contengano minerali idrati.

Attorno al perielio

La cometa era già attiva ben prima del gennaio 2014, come dimostrano osservazioni dai telescopi terrestri (Snodgrass et al., 2016, Moreno et al., 2016). Come previsto, l'attività aumentò gradualmente sia per l'avvicinarsi al sole che per il progressivo illuminamento dell'emisfero sud, che permise di portare a 26 il numero di regioni ben risolte dal punto di vista geomorfologico (El-Maarry et al., 2016). L'emisfero sud mostra in effetti una notevole differenza con quello nord, in particolare l'assenza di pianure ricoperte di polvere e di depressioni. Indubbiamente è in azione un meccanismo di '*airfall*' in grado di spostare particelle dal più attivo emisfero sud a quello nord, in altre parole non tutta la polvere viene rilasciata nella chioma, una percentuale di grani grossi ricade nell'altro emisfero (Thomas et al., 2016).

Citiamo ancora i dati di VIRTIS relativi alla presenza di pozze di ghiaccio di acqua e formazioni di brina, con un ciclo diurno di sublimazione e ricondensazione (De Sanctis et al., 2015, Barucci et al., 2016), Fornasier et al., 2016). Per la prima volta nella storia delle osservazioni cometarie si è trovato ghiaccio di CO₂, rivelato nella zona di Anhur quando la regione uscì dal periodo invernale, ma di brevissima durata causa la velocità di sublimazione di questo ghiaccio quando la temperatura sale sopra i 100 K (Filacchione et al., 2016). Quindi mentre il ghiaccio di acqua ha un ciclo diurno, il ghiaccio di CO₂ ha un ciclo orbitale.

L'erosione degli strati superficiali di polvere e la conseguente presenza sulla superficie di zone ghiacciate provocò una piccola ma ben misurabile variazione dei colori superficiali, evidenziata dalla combinazione di dati VIRTIS e Osiris (Fornasier et al., 2015; Fornasier et al., 2016).

La **Figura 17** è un esempio (adattato da Giquel et al., 2016) di attività globale di rilascio di polvere e gas documentata da immagini Osiris e anche NAVCAM.

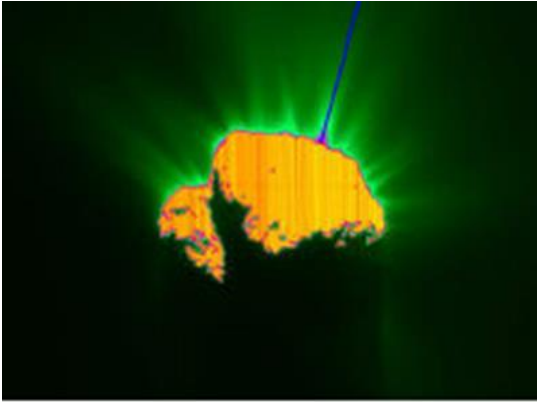


Figura 17 – Un esempio di attività globale su una immagine Osiris (il sole è in alto a destra)

In aggiunta, nel periodo attorno al perielio Osiris ha potuto determinare le caratteristiche di una trentina di eventi localizzati e di breve durata, all'incirca uno ogni due rotazioni (si veda ad es. Lin et al, 2015). Questi outburst avvengono tipicamente alla mattina e si originano nei confini tra due regioni di diversa morfologia, ad es. in prossimità di scarpate. Ci sono però anche eventi nel pomeriggio, evidentemente perché l'onda di calore è penetrata all'interno con un certo ritardo dovuto allo spessore della polvere sovrastante, oppure ha provocato il collasso di una parete (Vincent et al., 2016).

La regione Imothep ha riservato una sorpresa, dato che da essa è scaturito un getto di polvere in piena notte, di breve durata e con un rilascio stimato di appena 1 kg di polvere ogni secondo (Knöllenberg et al., 2016), una testimonianza della straordinaria sensibilità di Osiris.

Il rilascio di polveri e gas da zone molto ben localizzate ha causato apprezzabili mutamenti in piccole aree sulla superficie (Groussin et al., 2015b, Ip et al., 2016). Un esempio è mostrato in **Figura 18**.

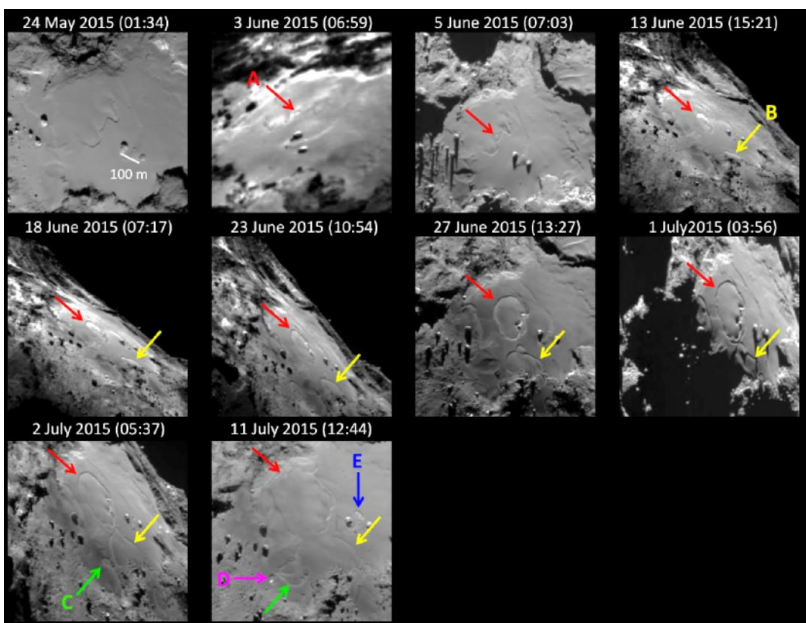


Figura 18 – Cambiamenti nella zona Imothep da maggio a luglio 2015

Esempi di getti localizzati e spettacolari sono mostrati in **Figura 19** e **Figura 20**.



Figura 19 – Lo spettacolare getto del 29 luglio 2015



Figura 20 – A sinistra: il getto più intenso sulla sinistra apparve per un breve periodo il giorno prima del perielio, 12 agosto 2015, e pochi giorni dopo (25 agosto) apparve un grande ventaglio di polvere (a destra)

Dopo il perielio

Agli inizi di novembre la cometa e Rosetta riattraversarono l'orbita di Marte, per rientrare nella fascia principale di asteroidi. La cometa era rimasta ben attiva nonostante la accresciuta distanza al sole, la strumentazione e lo spacecraft erano pienamente operativi, per cui l'ESA prese la decisione di allungare la vita della missione dalla fine di dicembre 2015 alla fine di settembre 2016. Decisione ricompensata ben presto dalla cometa, dato che già a gennaio (si veda la **Figura 21**), quando la distanza al sole era di circa 2 UA, si poterono acquisire nuove informazioni sulla dinamica degli aggregati polverosi di dimensioni superiori al decimetro.

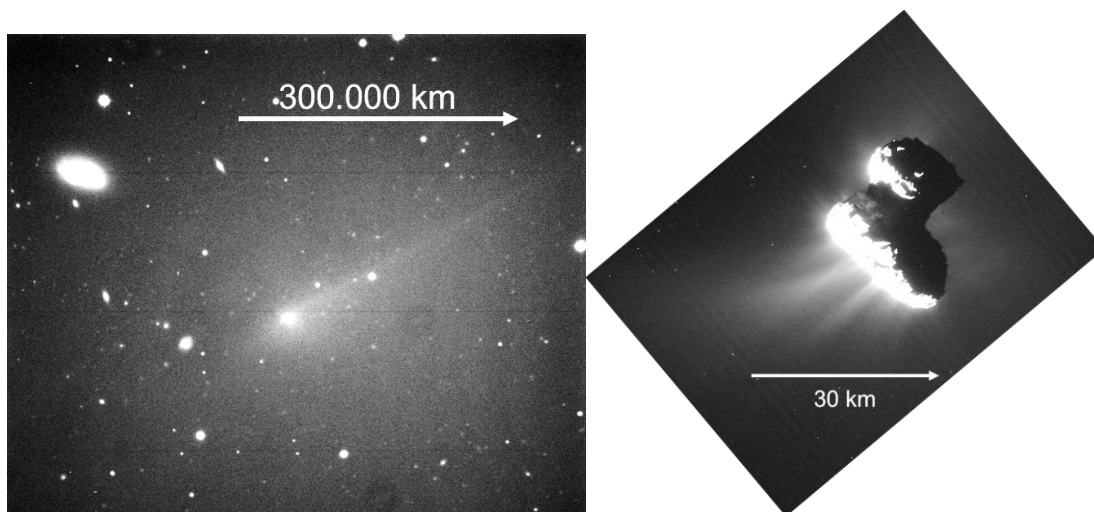


Figura 21 – A sinistra, immagine dal telescopio Copernico di Asiago, 21 gennaio 2016. A destra, immagine WAC/Osiris nella stessa data. In entrambe il sole è in basso a sinistra.

Agarwal et al. (2016) dimostrarono che solo il 50% di queste grandi formazioni sono perdute nella coma o nella coda causa l'accelerazione radiale impartita dal degassamento, il resto ha accelerazioni tangenziali o radiali ma verso la cometa (in particolare verso l'emisfero nord) a causa della sublimazione del ghiaccio di acqua in esse contenuto. Le forze non gravitazionali sono almeno un ordine di grandezza maggiori di quella gravitazionale.

Altro grande evento scientifico il 19 febbraio: Rosetta era a circa 30 km sopra alla superficie e ben 9 strumenti poterono seguire l'attività cometaria (Grün et al., 2016). Fu un'altra occasione in cui lo spacecraft fu usato come strumento scientifico, dato che il suo potenziale elettrico diminuì da -16 a -20 V, indice di una accresciuta presenza di elettroni liberi nei pressi della sonda.

La **Figura 22** documenta che la cometa rimase ben attiva fino alla fine della missione.

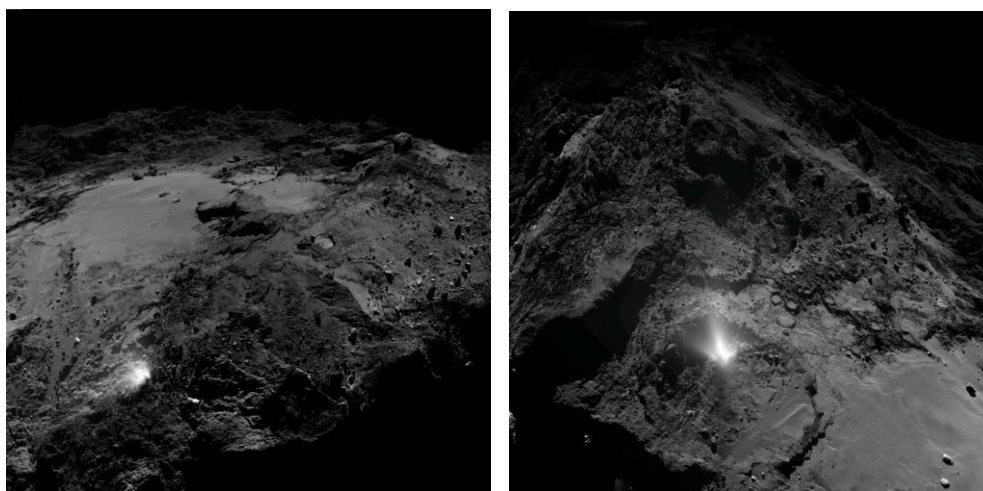


Figura 22 – Due getti osservati da Osiris rispettivamente in maggio e luglio 2016

Settembre 2016 – L'ultimo mese di vita

Il 2 settembre, quando la sonda era a appena 2.7 km sopra alla superficie, NAC/Osiris confermò la localizzazione di Philae, già suggerita dai colleghi di Marsiglia in immagini prese il mese di Maggio si veda la .

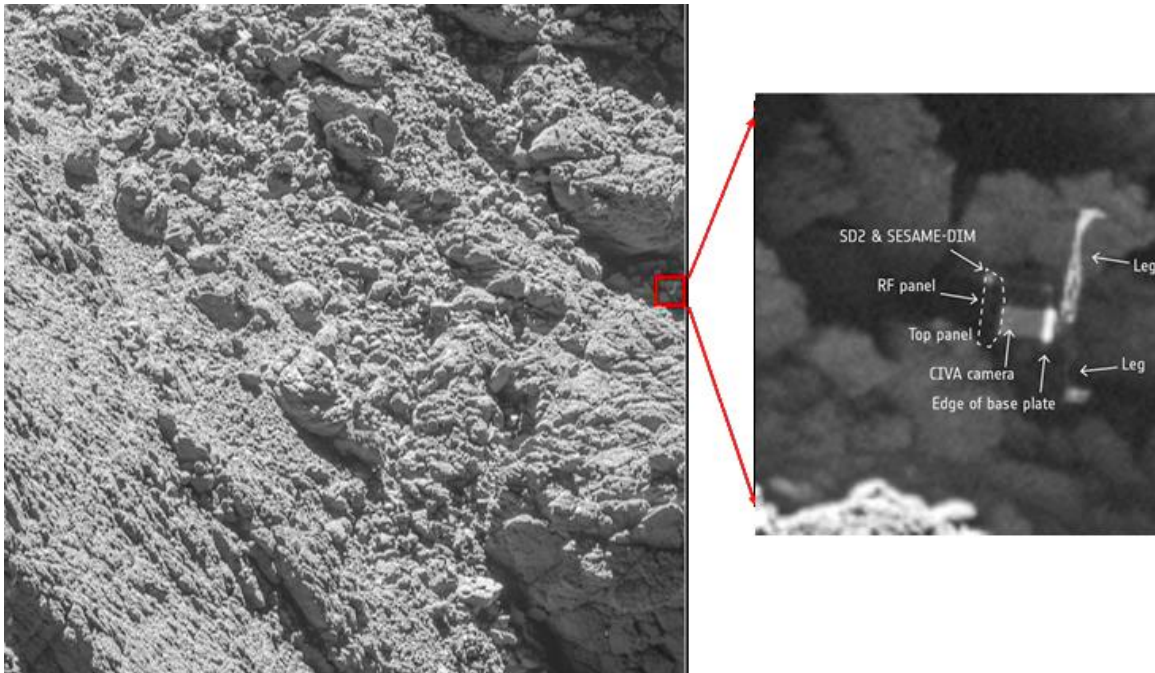


Figura 23 - Il lander Philae, immagine Osiris/NAC del 2 settembre 2016

Le settimane seguenti furono impiegate per una serie di orbite tese a inviare Rosetta nella zona del suo riposo finale, nella regione Ma'at non lontana da Abydos.

La **Figura 24** mostra la posizione di cometa e sonda l'ultimo giorno di missione.

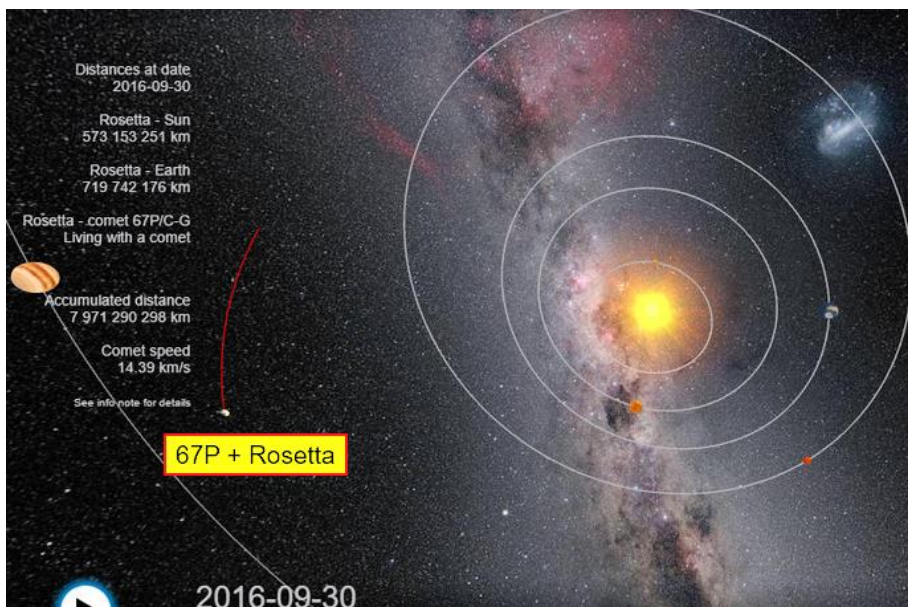


Figura 24 – La posizione di cometa e Rosetta l'ultimo giorno di missione (adattata da *ESA 3D visualization of the mission*)

Dopo il sorvolo di Ma'at, il sito finale è stato chiamato Sais, dal nome del tempio in cui era in origine localizzata la stele di Rosetta (v. **Figura 25**).

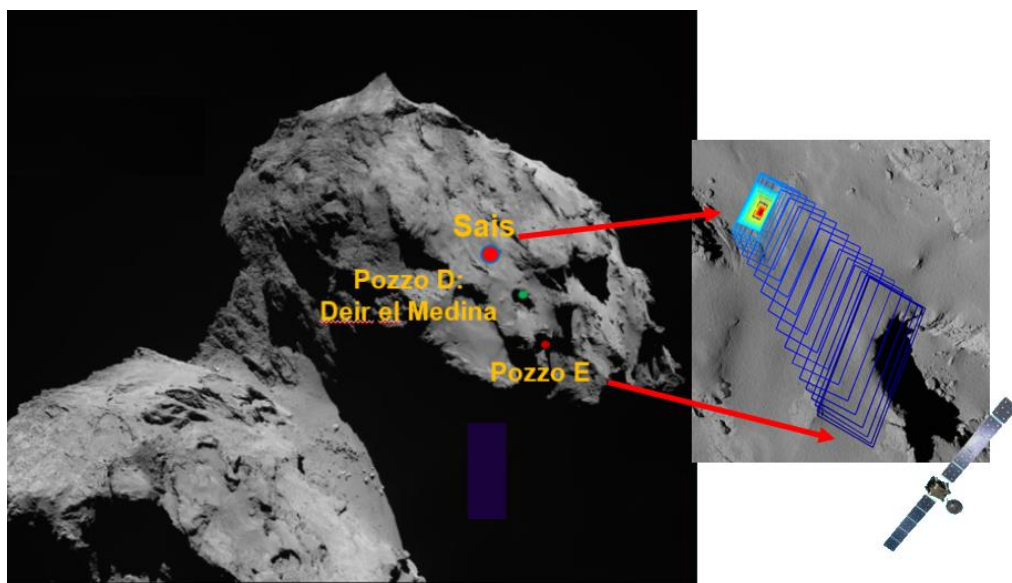


Figura 25 – Rosetta sorvola Ma’at, passando sopra a tre pozzi prima di posarsi su Sais, alle 10:34:39 UT del 30 settembre 2016, ad appena 30 m dalla zona cui si era mirato

L’ottica della WAC/Osiris priva di filtri permise di ottenere immagini a fuoco fino a pochi metri dalla superficie, anche se la bassa bit-rate da quella distanza da terra permise di inviare solo piccoli riquadri del frame CCD. In una di queste ultime immagini (v. **Figura 26**) si vedono sassetti più piccoli di un centimetro.



Figura 26 – L’ultima immagine trasmessa da Osiris

Parecchi altri strumenti operarono fin quasi alla fine della missione. Ad esempio Rosina misurò un aumento di circa 100 volte nella pressione dei gas subito sopra alla superficie. MIRO misurò temperature sub-superficiali tra 80 e 160 K. Uno spettro UV ottenuto da Alice dimostrò che la sublimazione di CO₂ era ancora ben attiva. COSIMA operò fino al 27 settembre, quando raccolse un solo grano di polvere a circa 20 km sopra alla superficie. GIADA al contrario non misurò alcun grano, anche se operò fino alla fine, come se si trovasse in una *clean-room* di eccellente qualità.

Alcuni fatti e interrogativi

Durante i due anni di crociera attorno alla cometa, gli strumenti di Rosetta hanno vanto la sinora unica opportunità di seguire una cometa da prima che arrivasse all'orbita di Marte fino al perielio e al successivo ritorno nella fascia principale degli asteroidi. Tutti i sottosistemi e tutta la strumentazione ha lavorato bene fino alla fine, che è avvenuta 9 mesi dopo di quanto programmato. In particolare, Osiris ha acquisito oltre 80.000 immagini che sono state ben calibrate e vengono gradualmente rilasciate al pubblico.

Possiamo ben dire che Rosetta e la cometa 67P hanno lasciato una straordinaria eredità di conoscenze sui fenomeni cometari, ma anche vari interrogativi non risolti (si veda ad es. in Fulle et al., 2016b). Ecco alcuni di tali fatti e interrogativi:

1 – Non ci sono stati cambiamenti drammatici né di forma né di dimensioni, se non a livello molto locale. I due lobi non si sono staccati né la loro posizione relativa è apprezzabilmente cambiata. La perdita media di spessore non ha superato i 70 cm, con una apprezzabile differenza nord-sud (più eroso). La perdita di massa al picco di attività fu di circa 10^5 tonnellate al giorno, essenzialmente come polvere, e la perdita complessiva non più del 2 per mille della massa all'inizio di questa orbita.

2 – Il periodo di rotazione è diminuito di circa 23 minuti, da 12h24m a 12h 0m. La forza centrifuga è quindi lievemente aumentata, e in alcune zone periferiche può arrivare al 40% della locale gravità. Come per la Halley, la rotazione è però complessa (Gutiérrez et al., 2016), e influenzata dalla attività (Keller et al., 2015). La sublimazione è fortemente affetta dalle concavità della forma (conosciuta perfettamente grazie a raffinati modelli, v. Jorda et al., 2016), che riflettono verso il suolo luce solare che entra nel bilancio termico complessivo oltre a quella diretta.

3 – Data la bassa inerzia termica del suolo (Gulkis et al. 2015), l'equilibrio termico locale si raggiunge molto rapidamente e non dipende dalla storia precedente, ma solo dalla insolazione in quel dato momento

4 – La maggior parte della massa cometaria, dominata come si è detto dalla polvere, deve essere composta di minerali presenti nella nebulosa protosolare. In particolare 67P contiene meno acqua delle condriti.

5 – La perdita di polvere consente di rivelare zone con ghiaccio di acqua e anidride carbonica sotto agli strati superficiali. Tuttavia, non tutta la polvere si perde nella chioma e nella coda, una frazione non trascurabile ricade sul suolo cometario, in particolare nell'emisfero sud.

6 – Data la scarsità di gas, quale è l'origine dei getti di polvere? Come fanno questi a rimanere così ben collimati? Al momento non abbiamo risposte precise a questi quesiti.

7 – Altri punti oggetto di acceso dibattito sono l'origine della cometa e la sua 'strana' forma bilobata (e.g. Hirabayashi et al., 2016). Forma che in effetti si riscontra su altri corpi di dimensioni sui 10 km, da Toutatis a Kerberos, luna di Plutone. Anche la Halley potrebbe avere simile forma, a indicare comuni processi e età di formazione. Mentre Massironi et al. 2015, e Davidsson et al., 2016 ritengono che 67P si sia formata agli inizi del Sistema solare grazie a collisioni a bassa velocità, Morbidelli & Rickman (2015) preferiscono una collisione distruttiva di un corpo maggiore a epoche decisamente più tarde. Una tesi sposata anche da Marchi et al., 2015, e da Jutzi et al. 2017° e 2017b. Il dibattito è sicuramente in corso.

Conclusioni

Come Giotto, anche Rosetta ha risposto a molte domande ma ha aperto altri interrogativi che richiederanno future missioni spaziali verso comete e asteroidi. Non posso chiudere questa rassegna senza ricordare Angioletta Coradini, che ha contribuito in maniera fondamentale a tante missioni planetarie, e che fu responsabile di VIRTIS fino alla sua prematura scomparsa nel settembre 2011. Al suo nome è stato intitolato un passo sulla 67P (Figura 27).

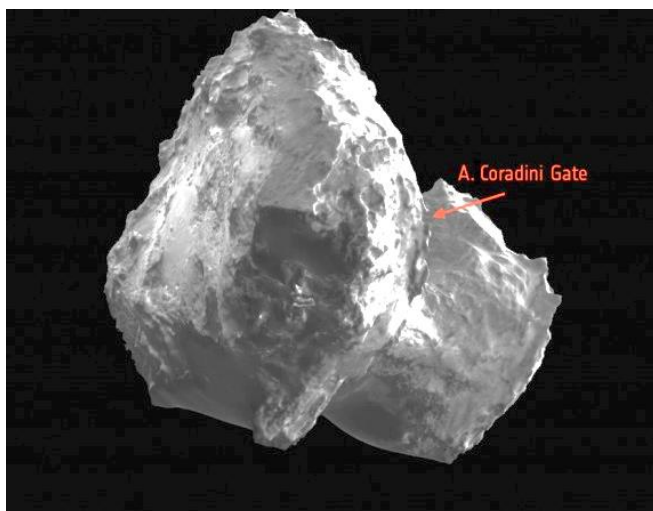


Figura 27 – Il passo A. Coradini sulla 67P

Ringraziamenti

Giotto e Rosetta hanno dimostrato le enormi potenzialità della scienza e dell'industria Europa. Il personale dell'ESA a ESAC, ESOC, ESTEC, nelle stazioni di terra, hanno fornito prestazioni di altissimo livello. Per quanto riguarda l'Italia, il successo delle due missioni è dovuto ai tanti ricercatori, post-doc, dottorandi e laureandi nelle Università, negli Enti di Ricerca INAF e CNR, a Padova, Napoli, Roma, Trieste, Milano. Le industrie nazionali hanno fornito prodotti hardware e software di grandissime prestazioni e affidabilità. L'Agenzia Spaziale Italiana, e prima di essa il Piano Spaziale Nazionale del CNR hanno sostenuto la partecipazione italiana con grande convincimento e adeguate risorse finanziarie e politiche.

Crediti

Tutte le immagini Osiris qui riprodotte sono **Credit ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA**

Altre immagini sono state prese dal sito <http://blogs.esa.int/rosetta/>

Ulteriori informazioni sono contenute nei seguenti siti:

http://m.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/

<http://www.asi.it/it/attivita/esplorare-lo-spazio/esplorazione-del-sistema-solare/rosetta>

<http://www.media.inaf.it/tag/rosetta/>

<https://www.nasa.gov/missions>

Referenze

- Accomazzo A; Wirth K R; Lodiot S; Küppers M; Schwehm G (2010) *The flyby of Rosetta at asteroid Šteins - mission and science operations*, Planetary and Space Science, Volume 58, Issue 9, p. 1058-1065
- Agarwal J; A'Hearn M F; Vincent J-B; Güttler C; Höfner S; Sierks H; Tubiana C; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; and 34 coauthors (2016) *Acceleration of individual, decimetre-sized aggregates in the lower coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 462, issue Suppl 1, pp. S78-S88, DOI:10.1093/mnras/stw2179, Bibliographic Code: 2016MNRAS.462S..78A
- Altwegg K; Balsiger H; Bar-Nun A; Berthelier J J; Bieler A; Bochslers P; Briois C; Calmonte U; Combi M; De Keyser J; and 22 coauthors (2015) *67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio*, Science, Volume 347, Issue 6220, article id 1261952
- Altwegg K; Balsiger H; Bar-Nun A; Berthelier J-J; Bieler A; Bochslers P; Briois C; Calmonte U; Combi M R; Cottin H; and 22 coauthors (2016) *Prebiotic chemicals--amino acid and phosphorus--in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science Advances, vol 2, issue 5, pp e1600285-e1600285
- Asmar S; Accomazzo A; Firre D; Ferri P; Liebrecht P; Mann G; Morse G; Costrell J; Kurtik S; Hell W; Warhaut, M (2016) *NASA's Deep Space Network and ESA's Tracking Network Collaboration to Enable Solar System Exploration*, 41st COSPAR Scientific Assembly, Abstract B0.8-7-16.
- Balsiger H; Altwegg K; Bar-Nun A; Berthelier J-J; Bieler A; Bochslers P; Briois C; Calmonte U; Combi M; De Keyser J; and 21 coauthors (2015) *Detection of argon in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science Advances, vol 1, issue 8, pp e1500377-e1500377
- Barucci M A; Filacchione G; Fornasier S; Raponi A; Deshapriya J D P; Tosi F; Feller C; Ciarniello M; Sierks H; Capaccioni F; and 56 coauthors (2016) *Detection of exposed H₂O ice on the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as observed by Rosetta OSIRIS and VIRTIS instruments*, Astronomy & Astrophysics, Volume 595, idA102, 13 pp, DOI:10.1051/0004-6361/201628764 Bibliographic Code: 2016A&A595A102B
- Bertini I; Sabolo W; Gutierrez P J; Marzari F; Snodgrass C; Tubiana C; Moissl R; Pajola M; Lowry S C; Barbieri C; and 4 coauthors (2012) *Search for satellites near (21) Lutetia using OSIRIS/Rosetta images*, Planetary and Space Science, Volume 66, Issue 1, p 64-70
- Besse S; Lamy P; Jorda L; Marchi S; Barbieri C (2012) *Identification and physical properties of craters on Asteroid (2867) Šteins*, Icarus, Volume 221, Issue 2, p 1119-1129
- Bockelée-Morvan D; Crovisier J; Erard S; Capaccioni F; Leyrat C; Filacchione G; Drossart P; Encrenaz T; Biver N; de Sanctis M-C; and 12 coauthors (2016) *Evolution of CO₂, CH₄, and OCS abundances relative to H₂O in the coma of comet 67P around perihelion from Rosetta/VIRTIS-H observations*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 462, issue Suppl 1, pp. S170-S183, DOI: 10.1093/mnras/stw2428
- Bodewits D; Lara L M; A'Hearn M F; La Forgia F; Gicquel A; Kovacs G; Knollenberg J; Lazzarin M; Lin Z-Y; Shi X; and 36 coauthors (2016) *Changes in the Physical Environment of the Inner Coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko with Decreasing Heliocentric Distance*, The Astronomical Journal, Volume 152, Issue 5, article id 130, 15 pp DOI: 103847/0004-6256/152/5/130, Bibliographic Code: 2016AJ152130B

- Carry B; Kaasalainen M; Leyrat C; Merline W J; Drummond J D; Conrad A; Weaver H A; Tamblyn P M; Chapman C R; Dumas C; and 15 coauthors (2010) *Physical properties of the ESA Rosetta target asteroid (21) Lutetia II Shape and flyby geometry*, Astronomy and Astrophysics, Volume 523, idA94, 19 pp DOI: 101051/00046361/201015074 Bibliographic Code: 2010A&A523A94C
- Choukroun M; Keihm S; Schloerb F P; Gulkis S; Lellouch E; Leyrat C; von Allmen P; Biver N; Bockelée-Morvan D; Crovisier J; and 13 coauthors (2015) *Dark side of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in Aug-Oct 2014 MIRO/Rosetta continuum observations of polar night in the southern regions*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA28, 10 pp
- Coradini A; Capaccioni F; Drossart P; Semery A; Arnold G; Schade U (1999) *Virtis: The Imaging Spectrometer of the Rosetta Mission*, Advances in Space Research, Volume 24, Issue 9, p 1105-1114
- Cremonese G; Martellato E; Marzari F; Kuhrt E; Scholten F; Preusker F; Wünnemann K; Borin P; Massironi M; Simioni E; and 2 coauthors (2012) *Hydrocode simulations of the largest crater on asteroid Lutetia*, Planetary and Space Science, Volume 66, Issue 1, p 147-154 DOI: 101016/jpss201201001 Bibliographic Code: 2012P&SS66147C
- Cremonese G; Simioni E; Ragazzoni R; Bertini I; La Forgia F; Pajola M; Oklay N; Fornasier S; Lazzarin M; Lucchetti A; and 37 coauthors (2016) *Photometry of dust grains of comet 67P and connection with nucleus regions*, Astronomy & Astrophysics, Volume 588, idA59, 8 pp DOI:101051/0004-6361/201527307, Bibliographic Code: 2016A&A588A59C
- Davidsson B J R; Sierks H; Güttler C; Marzari F; Pajola M; Rickman H; A'Hearn M F; Auger A-T; El-Maarry M R; Fornasier S; and 38 coauthors (2016) *The primordial nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 592, idA63, 30 pp, DOI: 101051/0004-6361/201526968 Bibliographic Code: 2016A&A592A63D
- Della Corte V; Rotundi A; Fulle M; Ivanovski S; Green S F; Rietmeijer F J M; Colangeli L; Palumbo P; Sordini R; Ferrari M; and 29 coauthors (2016) *67P/C-G inner coma dust properties from 22 au inbound to 20 au outbound to the Sun*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol 462, issue Suppl 1, pp S210-S219, DOI: 101093/mnras/stw2529 Bibliographic Code: 2016MNRAS462S210D
- Della Corte V; Rotundi A; Fulle M; Gruen E; Weissman P; Sordini R; Ferrari M; Ivanovski S; Lucarelli F; Accolla M; and 30 coauthors (2015) *GIADA: shining a light on the monitoring of the comet dust production from the nucleus of 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA13, 10 pp
- Della Corte V; Accolla M; Ferrari M; Ivanovski S; Lucarelli F; Mazzotta Epifani E; Rietmeijer F J M; Sordini R; Rotundi A (2012) *GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) prepares for the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko encounter*, European Planetary Science Congress 2012, held 23-28 September, 2012 in Madrid, Spain
- De Sanctis M C; Capaccioni F; Ciarniello M; Filacchione G; Formisano M; Mottola S; Raponi A; Tosi F; Bockelée-Morvan D; Erard S; and 70 coauthors (2015) *The diurnal cycle of water ice on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Nature, Volume 525, Issue 7570, pp. 500-503, DOI: 10.1038/nature14869
- Drummond J D; Conrad A; Merline W J; Carry B; Chapman C R; Weaver H A; Tamblyn P M; Christou J C; Dumas C (2010) *Physical properties of the ESA Rosetta target asteroid (21) Lutetia I The triaxial ellipsoid dimensions, rotational pole, and bulk density*, Astronomy and Astrophysics, Volume 523, idA93, 8 pp DOI:101051/0004-6361/201015075 Bibliographic Code: 2010A&A523A93D

El-Maarry M-R; Thomas N; Gracia-Berná A; Marschall R; Auger A-T; Groussin O; Mottola S; Pajola M; Massironi M; Marchi S; and 43 coauthors (2015) *Fractures on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko observed by Rosetta/OSIRIS*, Geophysical Research Letters Volume 42 Issue 13 pp 5170-5178

El-Maarry M R; Thomas N; Gracia-Berná A; Pajola M; Lee J-C; Massironi M; Davidsson B; Marchi S; Keller H U; Hviid S F; and 42 coauthors (2016) *Regional surface morphology of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from Rosetta/OSIRIS images: The southern hemisphere*, Astronomy & Astrophysics, Volume 593, idA110, 20 pp DOI: 101051/0004-6361/201628634, Bibliographic Code:2016A&A593A110E

Feldman P D; A'Hearn M F; Feaga L M; Bertaux J-L; Noonan J; Parker J Wm; Schindhelm E; Steffl A J; Stern S A; Weaver H A (2016) *The Nature and Frequency of the Gas Outbursts in Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko Observed by the Alice Far-ultraviolet Spectrograph on Rosetta*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 825, Issue 1, article id L8, 5 pp

Feldman P D; A'Hearn M F; Bertaux J-L; Feaga L M; Parker J W; Schindhelm E; Steffl A J; Stern S A; Weaver H A; Sierks H; Vincent J-B (2015) *Measurements of the near-nucleus coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko with the Alice far-ultraviolet spectrograph on Rosetta*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA8, 8 pp

Festou MC; Rickman H; West RM (1993), *Comets I - Concepts and Observations*, Astronomy and Astrophysics Review (ISSN 0935-4956), vol 4, no 4, p 363-447, doi:101007/BF00872944

Fink U; Doose L; Rinaldi G; Bieler A; Capaccioni F; Bockelée-Morvan D; Filacchione G; Erard S; Leyrat C; Blecka M; and 8 coauthors (2016) *Investigation into the disparate origin of CO₂ and H₂O outgassing for Comet 67P*, Icarus, Volume 277, p. 78-97, DOI:10.1016/j.icarus.2016.04.040

Fornasier S; Hasselmann P H; Barucci M A; Feller C; Besse S; Leyrat C; Lara L; Gutierrez P J; Oklay N; Tubiana C; and 44 coauthors (2015) *Spectrophotometric properties of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from the OSIRIS instrument onboard the ROSETTA spacecraft*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA30, 18 pp

Fornasier S, Mottola S, Keller H U, Barucci M A, Davidsson B, Feller C, Deshapriya J D P, Sierks H, Barbieri C, Lamy P L, Rodrigo R, Koschny D, Rickman H, A'Hearn M A, Agarwal J, Bertaux J L, Bertini I, Besse S, Cremonese G, Da Deppo V, Debei S, De Cecco M, Deller J, M El-Maarry R, Fulle M, Groussin O, Gutierrez P J, Güttler C, Hofmann C, Hviid S F, Ip W H, Jorda L, Knollenberg J, Kovacs G, Kramm R, Küht E, Küppers M, Lara M L, Lazzarin M, Lopez Moreno J J, Marzari F, Massironi M, Naletto G, Oklay N, Pajola M, Pommerol A, Preusker F, Scholten F, Shi X, Thomas N, Toth I, Tubiana C, Vincent J B (2016) *Rosetta's comet 67P/Churyumov-Gerasimenko sheds its dusty mantle to reveal its icy nature*, Science 17 Nov 2016: DOI: 101126/scienceaag2671

Fougere N; Altwegg K; Berthelier J-J; Bieler A; Bockelée-Morvan D; Calmonte U; Capaccioni F; Combi M R; De Keyser J; Debout V; and 19 coauthors (2016) *Direct Simulation Monte Carlo modelling of the major species in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 462, issue Suppl 1, pp. S156-S169, DOI: 10.1093/mnras/stw2388

Fulle M; Della Corte V; Rotundi A; Weissman P; Juhasz A; Szego K; Sordini R; Ferrari M; Ivanovski S; Lucarelli F; and 31 coauthors (2015b) *Density and Charge of Pristine Fluffy Particles from Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 802, Issue 1, article id. L12, 5 pp.

Fulle M; Ivanovski S L; Bertini I; Gutierrez P; Lara L; Sierks H; Zakharov V; Della Corte V; Rotundi A; Barbieri C; and 36 coauthors (2015a) *Rotating dust particles in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA14, 8 pp

Fulle M; Marzari F; Della Corte V; Fornasier S; Sierks H; Rotundi A; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; and 67 coauthors (2016) *Evolution of the Dust Size Distribution of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from 22 au to Perihelion*, The Astrophysical Journal, Volume 821, Issue 1, article id 19, 14 pp, DOI:103847/0004-637X/821/1/19 Bibliographic Code: 2016ApJ82119F

Fulle M; Altobelli N; Buratti B; Choukroun M; Fulchignoni M; Grün E; Taylor M G T; Weissman P (2016) *Unexpected and significant findings in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: an interdisciplinary view*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 462, Suppl 1, pS2-S8, DOI: 101093/mnras/stw1663, Bibliographic Code: 2016MNRAS462S2F

Giacomini L; Massironi M; El-Maarry M R; Penasa L; Pajola M; Thomas N; Lowry S C; Barbieri C; Cremonese G; Ferri F; and 45 coauthors (2016) *Geologic mapping of the Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko's Northern hemisphere*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 462, Issue Suppl_1, pS352-S367

Gicquel A; Vincent J-B; Agarwal J; A'Hearn M F; Bertini I; Bodewits D; Sierks H; Lin Z-Y; Barbieri C; Lamy P L; and 51 coauthors (2016) *Sublimation of icy aggregates in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko detected with the OSIRIS cameras on board Rosetta*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol 462, issue Suppl 1, pp S57-S66, DOI: 101093/mnras/stw2117, Bibliographic Code: 2016MNRAS462S57G

Goetz C; Koenders C; Richter I; Altwegg K; Burch J; Carr C; Cupido E; Eriksson A; Güttler C; Henri P; and 9 coauthors (2016) *First detection of a diamagnetic cavity at comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 588, idA24, 6 pp

Grewing, M, Praderie, F, Reinhard, R editors, (1988) *Exploration of Halley's Comet*, Springer-Verlag, 984 p

Groussin O; Jorda L; Auger A-T; Kührt E; Gaskell R; Capanna C; Scholten F; Preusker F; Lamy P; Hviid S; and 42 coauthors (2015a) *Gravitational slopes, geomorphology, and material strengths of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from OSIRIS observations*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA32, 12 pp

Groussin O; Sierks H; Barbieri C; Lamy P; Rodrigo R; Koschny D; Rickman H; Keller H U; A'Hearn M F; Auger A-T; and 38 coauthors (2015b) *Temporal morphological changes in the Imhotep region of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 583, idA36, 4 pp, DOI: 101051/0004-6361/201527020 Bibliographic Code: 2015A&A583A36G

Grün E; Agarwal J; Altobelli N; Altwegg K; Bentley M S; Biver N; Della Corte V; Edberg N; Feldman P D; Galand M; and 86 coauthors (2016) *The 19 Feb 2016 Outburst of Comet 67P/CG: An ESA Rosetta Multi-Instrument Study*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Advance Access, DOI: 101093/mnras/stw2088, Bibliographic Code: 2016MNRASmp1212G

Gulkis S; Allen M; von Allmen P; Beaudin G; Biver N; Bockelée-Morvan D; Choukroun M; Crovisier J; Davidsson B J R; Encrenaz P; and 14 coauthors (2015) *Subsurface properties and early activity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science, Volume 347, Issue 6220, article id aaa0709

Gutiérrez P J; Jorda L; Gaskell R W; Davidsson B J R; Capanna C; Hviid S F; Keller H U; Maquet L; Mottola S; Preusker F; and 45 coauthors (2016) *Possible interpretation of the precession of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 590, idA46, 15 pp, DOI: 101051/0004-6361/201528029 Bibliographic Code: 2016A&A590A46G

Guzzo M; Lega E (2015) *A study of the past dynamics of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko with fast Lyapunov indicators*, Astronomy & Astrophysics, Volume 579, idA79, 7 pp, DOI: 101051/0004-6361/201525878 Bibliographic Code: 2015A&A579A79G

Hirabayashi M; Scheeres D J; Chesley S R; Marchi S; McMahon J W; Steckloff J; Mottola S; Naidu S P; Bowling T (2016) *Fission and reconfiguration of bilobate comets as revealed by 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Nature Vol. 534, p. 352 - 355

Ip W-H; Lai I-L; Lee J-C; Cheng Y-C; Li Y; Lin Z-Y; Vincent J-B; Besse S; Sierks H; Barbieri C; and 45 coauthors (2016) *Physical properties and dynamical relation of the circular depressions on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics, Volume 591, idA132, 10 pp, DOI: 101051/0004-6361/201628156, Bibliographic Code: 2016A&A591A132I

Jorda L; Lamy P L; Faury G; Weissman P; Barucci M A; Fornasier S; Lowry S; Toth I; Küppers M (2008) *Asteroid 2867 Šteins I Photometric properties from OSIRIS/Rosetta and ground-based visible observations*, Astronomy and Astrophysics, Volume 487, Issue 3, 2008, pp1171-1178

Jorda L; Gaskell R; Capanna C; Hviid S; Lamy P; Ďurech J; Faury G; Groussin O; Gutiérrez P; Jackman C; and 38 coauthors (2016) *The global shape, density and rotation of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from preperihelion Rosetta/OSIRIS observations*, Icarus, Volume 277, p 257-278, DOI: 101016/j.icarus.201605002, Bibliographic Code: 2016Icar277257J

Jutzi M; Benz W (2017b) *Formation of bi-lobed shapes by sub-catastrophic collisions A late origin of comet 67P's structure*, Astronomy & Astrophysics, Volume 597, idA62, 10 pp

Jutzi M; Benz W; Toliou A; Morbidelli A; Brasser R (2017a) *How primordial is the structure of comet 67P? Combined collisional and dynamical models suggest a late formation*, Astronomy & Astrophysics, Volume 597, idA61, 13 pp

Keller H U; Barbieri C; Koschny D; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; Sierks H; A'Hearn M F; Angrilli F; Barucci M A; Bertaux J-L; Cremonese G; Da Deppo V; Davidsson B; De Cecco M; Debei S; Fornasier S; Fulle M; Groussin O; Gutierrez J P; Hviid S F; Ip W-H; Jorda L; Knollenberg J; Kramm J R; Kührt E; Küppers M; Lara L M; Lazzarin M; Lopez Moreno J; Marzari F; Michalik H; Naletto G; Sabau L; Thomas N; Wenzel K P; Bertini I; Besse S; Ferri F; Kaasalainen M; Lowry S; Marchi S; Mottola S; Sabolo W; Schröder S E; Spjuth S; Vernazza P (2010) *E-Type Asteroid (2867) Šteins as Imaged by OSIRIS on Board Rosetta*, Science 327, p 190

Keller H U; Küppers M; Fornasier S; Gutiérrez P J; Hviid S F; Jorda L; Knollenberg J; Lowry S C; Rengel M; Bertini I; Cremonese G; Ip W-H; Koschny D; Kramm R; Kührt E; Lara L-M; Sierks H; Thomas N; Barbieri C; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; A'Hearn M F; Angrilli F; Barucci M-A; Bertaux J-L; da Deppo V; Davidsson B; de Cecco M; Debei S; Fulle M; Gliem F; Groussin O; Lopez Moreno J J; Marzari F; Naletto G; Sabau L; Sanz A; Wenzel K-P (2007b) *Observations of Comet 9P/Tempel 1 around the Deep Impact event by the OSIRIS cameras onboard Rosetta*, Icarus, Volume 187, Issue 1, p 87-103 (re-published in the special issue of Icarus, vol 191, Issue 2, Supplement, p 241-257)

Keller H U; Barbieri C; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; Wenzel K-P; Sierks H; A'Hearn M F; Angrilli F; Angulo M; Bailey M E; Barthol P; Barucci M A; Bertaux J-L; Bianchini G; Boit J-L; Brown V; Burns J A; Büttner I; Castro J M; Cremonese G; Curdt W; da Deppo V; Debei S; de Cecco M; Dohlen K; Fornasier S; Fulle M; Germerott D; Gliem F; Guizzo G P; Hviid S F; Ip W-H; Jorda L; Koschny D; Kramm J R; Kührt E; Küppers M; Lara L M; Llebaria A; López A; López-Jimenez A; López-Moreno J; Meller R; Michalik H; Michelena M D; Müller R; Naletto G; Origné A; Parzianello G; Pertile M; Quintana C; Ragazzoni R; Ramous P; Reiche K-U; Reina M; Rodríguez J; Rousset G; Sabau L; Sanz A; Sivan J-P; Stöckner K; Tabero J; Telljohann U; Thomas N; Timon V; Tomasch G; Wittrock T; Zaccariotto M (2007a) *OSIRIS- The Scientific Camera System Onboard Rosetta*, Space Science Reviews, Volume 128, Issue 1-4, pp 433-506

Keller H U; Arpigny C; Barbieri C; Bonnet R M; Cazes S; Coradini M; Cosmovici C B; Delamere W A; Huebner W F; Hughes D; and 8 coauthors (1986b) *First Halley multicolour camera imaging results from Giotto*,

Nature (ISSN 0028-0836), vol 321, May 15, 1986, p 320-326 DOI: 101038/321320a0 Bibliographic Code:1986Natur321320K

Knöllenberg J; Lin Z Y; Hviid S F; Oklay N; Vincent J-B; Bodewits D; Mottola S; Pajola M; Sierks H; Barbieri C; and 33 coauthors (2016) *A mini outburst from the nightside of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko observed by the OSIRIS camera on Rosetta*, Astronomy & Astrophysics, Volume 596, idA89, 10 pp

Kofman W; Herique A; Barbin Y; Barriot J-P; Ciarletti V; Clifford S; Edenhofer P; Elachi C; Eyraud C; Goutail J-P; and 16 coauthors (2015) *Properties of the 67P/Churyumov-Gerasimenko interior revealed by CONSERT radar*, Science, Volume 349, Issue 6247

Küppers M, Mottola S, Lowry S C, A'Hearn M F, Barbieri C, Barucci M A, Fornasier S, Groussin O, Gutiérrez O, Hviid S F, Keller H U, Lamy P (2007), *Determination of the light curve of the Rosetta target asteroid (2867) Šteins by the OSIRIS cameras onboard Rosetta*, Astronomy & Astrophysics, vol 462, L13-L16

La Forgia F; Giacomini L; Lazzarin M; Massironi M; Oklay N; Scholten F; Pajola M; Bertini I; Cremonese G; Barbieri C; and 45 coauthors (2015) *Geomorphology and spectrophotometry of Philae's landing site on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Astronomy & Astrophysics Volume 583 id A41 18 pp

Lamy P L; Kaasalainen M; Lowry S; Weissman P; Barucci M A; Carvano J; Choi Y-J; Colas F; Fauray G; Fornasier S; and 7 coauthors (2008) *Asteroid 2867 Šteins II Multi-telescope visible observations, shape reconstruction, and rotational state*, Astronomy and Astrophysics, Volume 487, Issue 3, 2008, pp1179-1185

Lamy P L; Fauray G; Jorda L; Kaasalainen M; Hviid S F (2010) *Multi-color; rotationally resolved photometry of asteroid 21 Lutetia from OSIRIS/Rosetta observations*; A&A 521; A19 DOI: 101051/0004-6361/201014452

Lazzarin M; Magrin S; Marchi S; Dotto E; Perna D; Barbieri C; Barucci M A; Fulchignoni M (2010) *Rotational variation of the spectral slope of (21) Lutetia; the second asteroid target of ESA Rosetta Mission*; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; Volume 408; Issue 3; pp 1433-1437

Leyrat C; Fornasier S; Barucci A; Magrin S; Lazzarin M; Fulchignoni M; Jorda L; Belskaya I; Marchi S; Barbieri C; Keller U; Sierks H; Hviid S (2010) *Search for Šteins' surface inhomogeneities from OSIRIS Rosetta images*; Planetary and Space Science; Volume 58; Issue 9; p 1097-1106

Lin Z-Y; Lai I-L; Su C-C; Ip W-H; Lee J-C; Wu J-S; Vincent J-B; La Forgia F; Sierks H; Barbieri C; and 41 coauthors (2016) *Observations and analysis of a curved jet in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Astronomy & Astrophysics; Volume 588; idL3; 5 pp; DOI:101051/0004-6361/201527784
Bibliographic Code: 2016A&A588L3L

Lucchetti A; Cremonese G; Jorda L; Poulet F; Bibring J-P; Pajola M; La Forgia F; Massironi M; El-Maarry M R; Oklay N; and 38 coauthors (2016) *Characterization of the Abydos region through OSIRIS high-resolution images in support of CIVA measurements*; Astronomy & Astrophysics Volume 585 id L1 5 pp

Maffei P (1984) *La Cometa di Halley*; Mondadori Biblioteca EST (in Italian)

Magrin S; La Forgia F; Pajola M; Lazzarin M; Massironi M; Ferri F; Da Deppo V; Barbieri C; Sierks H; OSIRIS Team (2012) *(21) Lutetia spectrophotometry from Rosetta-OSIRIS images and comparison to ground-based observations*; Planetary and Space Science; Vol 66; Issue 1; p 43-53

Magrin S; La Forgia F; Da Deppo V; Lazzarin M; Bertini I; Ferri F; Pajola M; Barbieri M; Naletto G; Barbieri C; and 5 coauthors (2015) *Pre-hibernation performances of the OSIRIS cameras onboard the Rosetta spacecraft*; Astronomy & Astrophysics Volume 574 id A123 13 pp

Mandt K E; Eriksson A; Edberg N J T; Koenders C; Broiles T; Fuselier S A; Henri P; Nemeth Z; Alho M; Biver N; and 25 coauthors (2016) *RPC observation of the development and evolution of plasma interaction*

boundaries at 67P/Churyumov-Gerasimenko; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; Volume 462; Suppl 1; pS9-S22

Marchi S; Barbieri C; Küppers M; Marzari F; Davidsson B; Keller H U; Besse S; Lamy P; Mottola S; Massironi M; Cremonese G (2010) *The cratering history of asteroid (2867) Šteins*; Planetary and Space Science; Volume 58; Issue 9; p 1116-1123

Marchi S; Massironi M; Vincent J-B; Morbidelli A; Mottola S; Marzari F; Küppers M; Besse S; Thomas N; Barbieri C; and 2 coauthors (2012) *The cratering history of asteroid (21) Lutetia*; Planetary and Space Science; Volume 66; Issue 1; p 87-95

Marchi S; Rickman H; Massironi M; Marzari F; El-Maarri M R; Besse S; Thomas N; Barbieri C; Barucci M A; Fornasier S; and 9 coauthors (2015) *The Geomorphology of Comet 67P: Implications for the Past Collisional Evolution and Formation*; 46th Lunar and Planetary Science Conference; held March 16-20; 2015 in The Woodlands; Texas LPI Contribution No 1832; p1532

Marty B; Avice G; Sano Y; Altwegg K; Balsiger H; Hässig M; Morbidelli A; Mousis O; Rubin M (2016) *Origins of volatile elements (H; C; N; noble gases) on Earth and Mars in light of recent results from the ROSETTA cometary mission*; Earth and Planetary Science Letters; Volume 441; p 91-102

Massironi M; Marchi S; Pajola M; Snodgrass C; Thomas N; Tubiana C; Baptiste Vincent J; Cremonese G; Da Deppo V; Ferri F; Magrin S; Sierks H; Barbieri C; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; Koschny D; OSIRIS Team (2012) *Geological map and stratigraphy of asteroid 21 Lutetia*; Planetary and Space Science; Volume 66; Issue 1; p 125-136 DOI: 101016/j.jpss201112024 Bibliographic Code: 2012P&SS66125M

Massironi M; Simioni E; Marzari F; Cremonese G; Giacomini L; Pajola M; Jorda L; Naletto G; Lowry S; El Maarry M R; and 49 coauthors (2015) *Two independent and primitive envelopes of the bilobate nucleus of comet 67P*; Nature Volume 526 Issue 7573 pp 402-405 (2015)

Merouane S; Zaprudin B; Stenzel O; Langevin Y; Altobelli N; Della Corte V; Fischer H; Fulle M; Hornung K; Silén J; and 7 coauthors (2016) *Dust particle flux and size distribution in the coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko measured in situ by the COSIMA instrument on board Rosetta*; Astronomy & Astrophysics; Volume 596; idA87; 12 pp; DOI: 101051/0004-6361/201527958 Bibliographic Code: 2016A&A596A87M

Migliorini A; Piccioni G; Capaccioni F; Filacchione G; Bockelée-Morvan D; Erard S; Leyrat C; Combi M R; Fougere N; Crovisier J; and 7 coauthors (2016) *Water and carbon dioxide distribution in the 67P/Churyumov-Gerasimenko coma from VIRTIS-M infrared observations*, Astronomy & Astrophysics, Volume 589, id.A45, 12 pp.

Morbidelli A; Rickman H (2015) *Comets as collisional fragments of a primordial planetesimal disk*; Astronomy and Astrophysics vol 583; A43

Moreno F; Snodgrass C; Hainaut O; Tubiana C; Sierks H; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; Rickman H; and 44 coauthors (2016) *The dust environment of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from Rosetta OSIRIS and VLT observations in the 4.5 to 2.9 AU heliocentric distance range inbound*; Astronomy & Astrophysics Volume 587 id.A155 12 pp

Mottola S; Lowry S; Snodgrass C; Lamy P L; Toth I; Rozek A; Sierks H; A'Hearn M F; Angrilli F; Barbieri C; and 39 coauthors (2014) *The rotation state of 67P/Churyumov-Gerasimenko from approach observations with the OSIRIS cameras on Rosetta*; Astronomy & Astrophysics Volume 569 id L2 5 pp

Pätzold M; Andert T; Hahn M; Asmar S W; Barriot J-P; Bird M K; Häusler B; Peter K; Tellmann S; Grün E; Weissman P R; Sierks H; Jorda L; Gaskell R; Preusker F; Scholten F (2016) *A homogeneous nucleus for comet*

67P/Churyumov-Gerasimenko from its gravity field; Nature; Volume 530; Issue 7588; pp 63-65; DOI: 101038/nature16535; Bibliographic Code: 2016Natur53063P

Pajola M; Lazzarin M; Bertini I; Marzari F; Turrini D; Magrin S; La Forgia F; Thomas N; Küppers M; Moissl R; Ferri F; Barbieri C; Rickman H; Sierks H; Osiris Team (2012) *Spectrophotometric investigation of Phobos with the Rosetta OSIRIS-NAC camera and implications for its collisional capture*; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Volume 427; Issue 4; pages 3230–3243

Pajola M; Vincent J-B; Güttler C; Lee J-C; Bertini I; Massironi M; Simioni E; Marzari F; Giacomini L; Lucchetti A; and 48 coauthors (2015) *Size-frequency distribution of boulders ≥ 7 m on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Astronomy & Astrophysics Volume 583 id A37 17 pp

Pajola M; Lucchetti A; Vincent J-B; Oklay N; El-Maarry M R; Bertini I; Naletto G; Lazzarin M; Massironi M; Sierks H; and 45 coauthors (2016c) *The southern hemisphere of 67P/Churyumov-Gerasimenko: Analysis of the preperihelion size-frequency distribution of boulders ≥ 7 m*; Astronomy & Astrophysics; Volume 592; idL2; 5 pp; DOI 101051/0004-6361/201628887; Bibliographic Code: 2016A&A592L2P

Pajola M; Oklay N; La Forgia F; Giacomini L; Massironi M; Bertini I; El-Maarry M R; Marzari F; Preusker F; Scholten F; and 42 coauthors (2016b) *Aswan site on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Morphology; boulder evolution; and spectrophotometry*; Astronomy & Astrophysics; Volume 592; idA69; 17 pp; DOI: 101051/0004-6361/201527865; Bibliographic Code:2016A&A592A69P

Pajola M; Mottola S; Hamm M; Fulle M; Davidsson B; Güttler C; Sierks H; Naletto G; Arnold G; Grothues H-G; and 50 coauthors (2016a) *The Agilkia boulders/pebbles size-frequency distributions: OSIRIS and ROLIS joint observations of 67P surface*; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; vol 462; issue Suppl 1; pp S242-S252

Poulet F; Lucchetti A; Bibring J-P; Carter J; Gondet B; Jorda L; Langevin Y; Pilorget C; Capanna C; Cremonese G (2016) *Origin of the local structures at the Philae landing site and possible implications on the formation and evolution of 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; Volume 462; Suppl 1; pS23-S32

Preusker F; Scholten F; Knollenberg J; Kührt E; Matz K-D; Mottola S; Roatsch T; Thomas N (2012) *The northern hemisphere of asteroid (21) Lutetia—topography and orthoimages from Rosetta OSIRIS NAC image data*; Planetary and Space Science; Volume 66; Issue 1; p 54-63; DOI: 101016/j.jps201201008 Bibliographic Code: 2012P&SS6654P

Preusker F; Scholten F; Matz K-D; Roatsch T; Willner K; Hviid S F; Knollenberg J; Jorda L; Gutiérrez P J; Kührt E; and 35 coauthors (2015) *Shape model; reference system definition; and cartographic mapping standards for comet 67P/Churyumov-Gerasimenko - Stereo-photogrammetric analysis of Rosetta/OSIRIS image data*; Astronomy & Astrophysics; Volume 583; idA33; 19 pp

Rickman H; Marchi S; A'Hearn M F; Barbieri C; El-Maarry M R; Güttler C; Ip W-H; Keller H U; Lamy P; Marzari F ; and 31 coauthors (2015) *Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on its origin from OSIRIS observations* ; Astronomy & Astrophysics Volume 583 id A44 8 pp

Riedler W; Torkar K; Jeszenszky H; Romstedt J; Alleyne H St C; Arends H; Barth W; Biezen J V D; Butler B; Ehrenfreund P; and 15 coauthors (2007) *MIDAS The Micro-Imaging Dust Analysis System for the Rosetta Mission*; Space Science Reviews; 128; pp 869-904; 2007

Rotundi A; Sierks H; Della Corte V; Fulle M; Gutierrez P J; Lara L; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; and 71 coauthors (2015) *Dust measurements in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko inbound to the Sun*; Science Volume 347 Issue 6220 article id aaa3905

Rubin M; Altwegg K; Balsiger H; Bar-Nun A; Berthelier J-J; Bieler A; Bochslers P; Briois C; Calmonte U; Combi M; and 22 coauthors (2015) *Molecular nitrogen in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko indicates a low formation temperature*; Science; Volume 348; Issue 6231; pp 232-235

Schmidt W K H; Keller H U; Wilhelm K; Arpigny C; Barbieri C; Biermann L; Bonnet R M; Cazes S; Cosmovici C B; Delamere W A; and 7 coauthors (1986) *The Giotto Halley Multicolour Camera*; ESA Spec Publ; ESA SP-1077; p 149 – 172; Bibliographic Code: 1986ESASP1070149S

Schulz R; Sierks H; Küppers M; Accomazzo A (2012) *Rosetta fly-by at asteroid (21) Lutetia: An overview*, Planetary and Space Science, Volume 66, Issue 1, p. 2-8

Sierks H; Lamy P; Barbieri C; Koschny D; Rickman H; Rodrigo R; A'Hearn M F; Angrilli F; Barucci M A; Bertaux J-L; and 48 coauthors (2012) *Images of Asteroid 21 Lutetia: A Remnant Planetesimal from the Early Solar System*; Science; Volume 334; Issue 6055; pp 487-490

Sierks H; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; Rickman H; Keller H U; Agarwal J; A'Hearn M F; Angrilli F; and 56 coauthors (2015) *On the nucleus structure and activity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Science Volume 347 Issue 6220 article id aaa1044

Snodgrass C; Tubiana C; Vincent J B; Sierks H; Hviid S; Moissl R; Boehnhardt H; Barbieri C; Koschny D; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; Carry B; Lowry S C; Laird R J M; Weissman P R; Fitzsimmons A; Marchi S and the OSIRIS team (2010) *Recent asteroid collision P/2010 A2 confirmed and dated by Rosetta/OSIRIS observation*; Nature; Volume 467; Issue 7317; pp 814-816

Tamman GA; Véron P (1985) *Halley's Comet*; Birkhauser Verlag Basel (in German)

Thomas N; Barbieri C; Keller H U; Lamy P; Rickman H; Rodrigo R; Sierks H; Wenzel K P; Cremonese G; Jorda L; and 20 coauthors (2012) *The geomorphology of (21) Lutetia: Results from the OSIRIS imaging system onboard ESA's Rosetta spacecraft*; Planetary and Space Science; Volume 66; Issue 1; p 96-124 DOI: 101016/j.jpss201110003 Bibliographic Code: 2012P&SS6696T

Thomas N; Davidsson B; El-Maarry M R; Fornasier S; Giacomini L; Gracia-Berná A G; Hviid S F; Ip W-H; Jorda L; Keller H U; and 45 coauthors (2015a) *Redistribution of particles across the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Astronomy & Astrophysics; Volume 583; idA17; 18 pp

Thomas N; Sierks H; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Rickman H; Koschny D; Keller H U; Agarwal J; A'Hearn M F; and 49 coauthors (2015b) *The morphological diversity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Science Volume 347 Issue 6220 article id aaa0440

Tubiana C; Güttler C; Kovacs G; Bertini I; Bodewits D; Fornasier S; Lara L; La Forgia F; Magrin S; Pajola M; and 44 coauthors (2015a) *Scientific assessment of the quality of OSIRIS images*; Astronomy & Astrophysics; Volume 583; idA46; 9 pp

Tubiana C; Snodgrass C; Bertini I; Mottola S; Vincent J-B; Lara L; Fornasier S; Knollenberg J; Thomas N; Fulle M; and 40 coauthors (2015b) *67P/Churyumov-Gerasimenko: Activity between March and June 2014 as observed from Rosetta/OSIRIS*; Astronomy & Astrophysics; Volume 573; idA62; 11 pp; DOI: 101051/0004-6361/201424735 Bibliographic Code: 2015A&A573A62T

Vincent J-B; A'Hearn M F; Lin Z-Y; El-Maarry M R; Pajola M; Sierks H; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; and 45 coauthors (2015) *Summer fireworks on comet 67P*; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; vol 462; issue Suppl 1; pp S184-S194

- Vincent J-B; Oklay N; Pajola M; Höfner S; Sierks H; Hu X; Barbieri C; Lamy P L; Rodrigo R; Koschny D; and 45 coauthors (2016) *Are fractured cliffs the source of cometary dust jets? Insights from OSIRIS/Rosetta at 67P/Churyumov-Gerasimenko*; Astronomy & Astrophysics Volume 587 id A14 15 pp
- Vincent J-B; Bodewits D; Besse S; Sierks H; Barbieri C; Lamy P; Rodrigo R; Koschny D; Rickman H; Keller H U; and 56 coauthors (2015) *Active pits formed by sinkhole collapse reveal large heterogeneities in comet 67*; Nature Volume 523 Issue 7558 pp 63-66
- Weissman P (2015) *Planetary science: Sink holes and dust jets on comet 67P*; Nature; Volume 523; Issue 7558; pp 42-43
- Yeomans DK (1991) *Comets*; John Wiley and Sons; Inc