BepiColombo, scienza e tecnologia alla scoperta di Mercurio.

I Cieli di Brera - Milano - 13 Giugno 2018

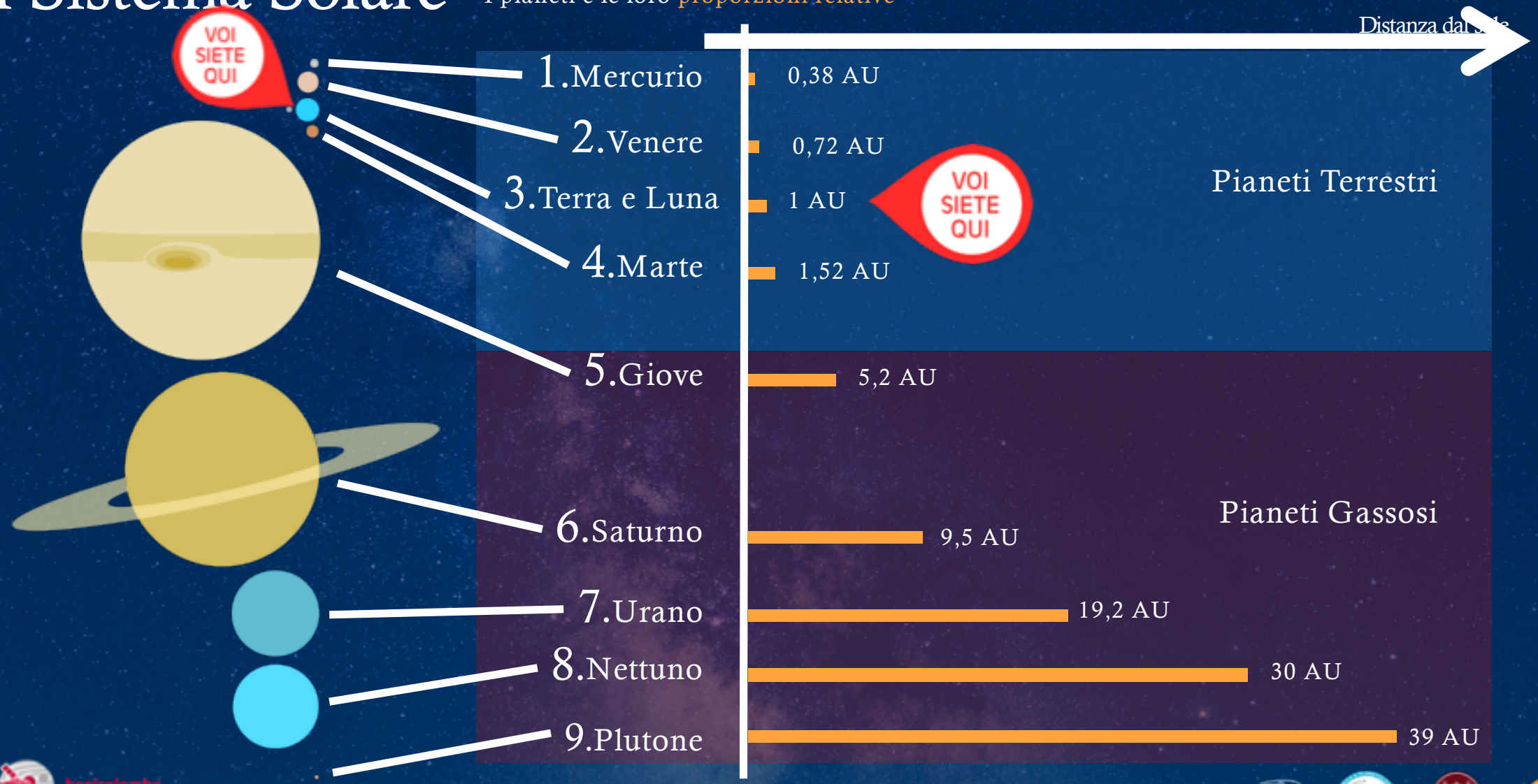
C. Magnafico, F. De Marchi, Cristina Re

Bep-it

BEPICOLOMBO MISSION - ITALIAN OUTREACH

Il Sistema Solare

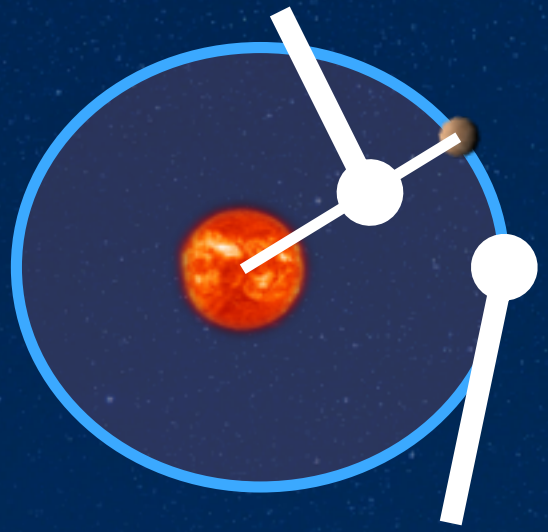
I pianeti e le loro proporzioni relative



Il pianeta Mercurio

2440 Km
Raggio medio

0,39 AU = 57,900,000 Km
Distanza Sole-Mercurio



430 Celsius
Temperatura superficiale massima

Superficie ricoperta da numerosi crateri da impatto.

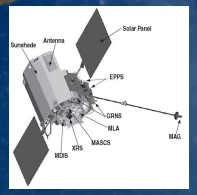
13000 W/m^2
Irraggiamento da parte del Sole

- 167 Celsius
Temperatura superficiale minima

88 Giorni
Periodo di rivoluzione

58 giorni
Periodo di Rotazione (Mercurio è "bloccato" marealmente con sincronia 3/2)

Immagine: NASA/JHUAPL/CIW



solo 2 visite
Visitato solo da altre due sonde Mariner 10 e MESSENGER (entrambe NASA)

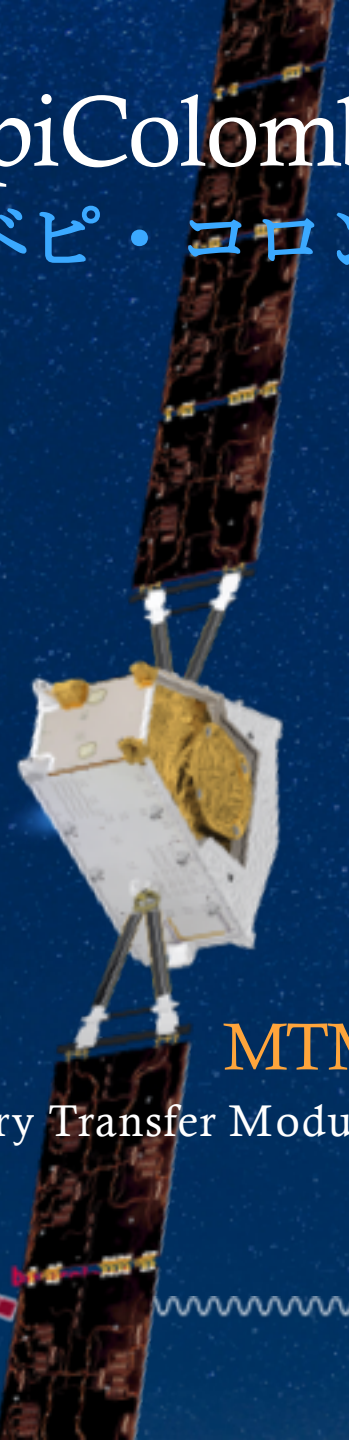
Domande aperte:

- Qual è l'origine e quando è terminata l'attività vulcanica che ha dato luogo alle vaste pianure di Mercurio?
- Quando è terminata la contrazione globale che ha generato le numerose faglie compressive sulla superficie di Mercurio? Quale altro processo tettonico ha orientato le faglie?
- Qual è la natura degli elementi volatili intrappolati sotto la superficie, come gli hallows?
- Ci sono evidenze di attività vulcaniche esplosive molto recenti, esse sono tutt'ora presenti?
- Qual è la relazione tra le particelle provenienti dal Sole e Mercurio ?
- Qual è la storia evolutiva di Mercurio, come caso estremo nel Sistema Solare, e analogo dei pianeti extrasolari?
- Qual è il ruolo del debole campo magnetico di Mercurio nella sua evoluzione?

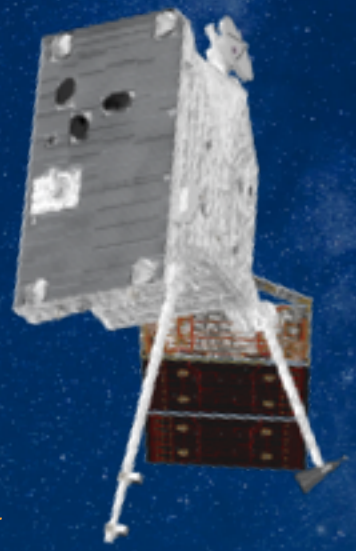
Immagine: NASA/JHUAPL/CIW

BepiColombo

ベピ・コロンボ



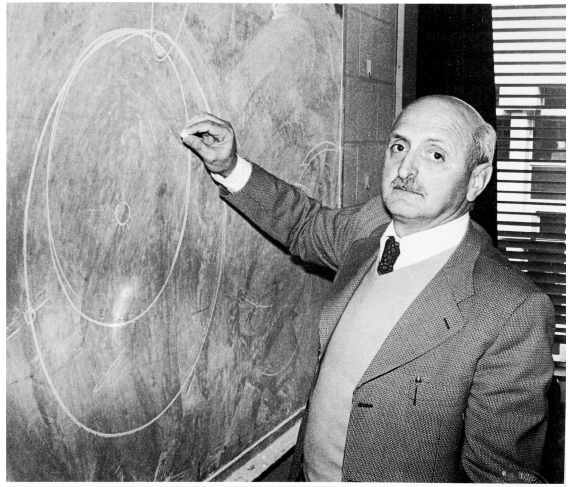
MPO
Mercury Planetary Orbiter



MOSIF
Magnetospheric Orbiter Sunshield and Interface Structure

みお
MMO - MIO
Mercury Magnetospheric Orbiter

MTM
Mercury Transfer Module



Giuseppe Colombo 1920 - 1984

La sonda di chiama così in onore di Giuseppe Colombo “Bepi”, matematico e ingegnere Padovano. Fine meccanico celeste, scoprì la risonanza 3:2 di Mercurio. Nel 1974, lo stesso Colombo contribuì alla pianificazione dell’ orbita della sonda NASA Mariner 10, estendendo il numero di *fly-by* da uno a tre.

BepiColombo, lancio

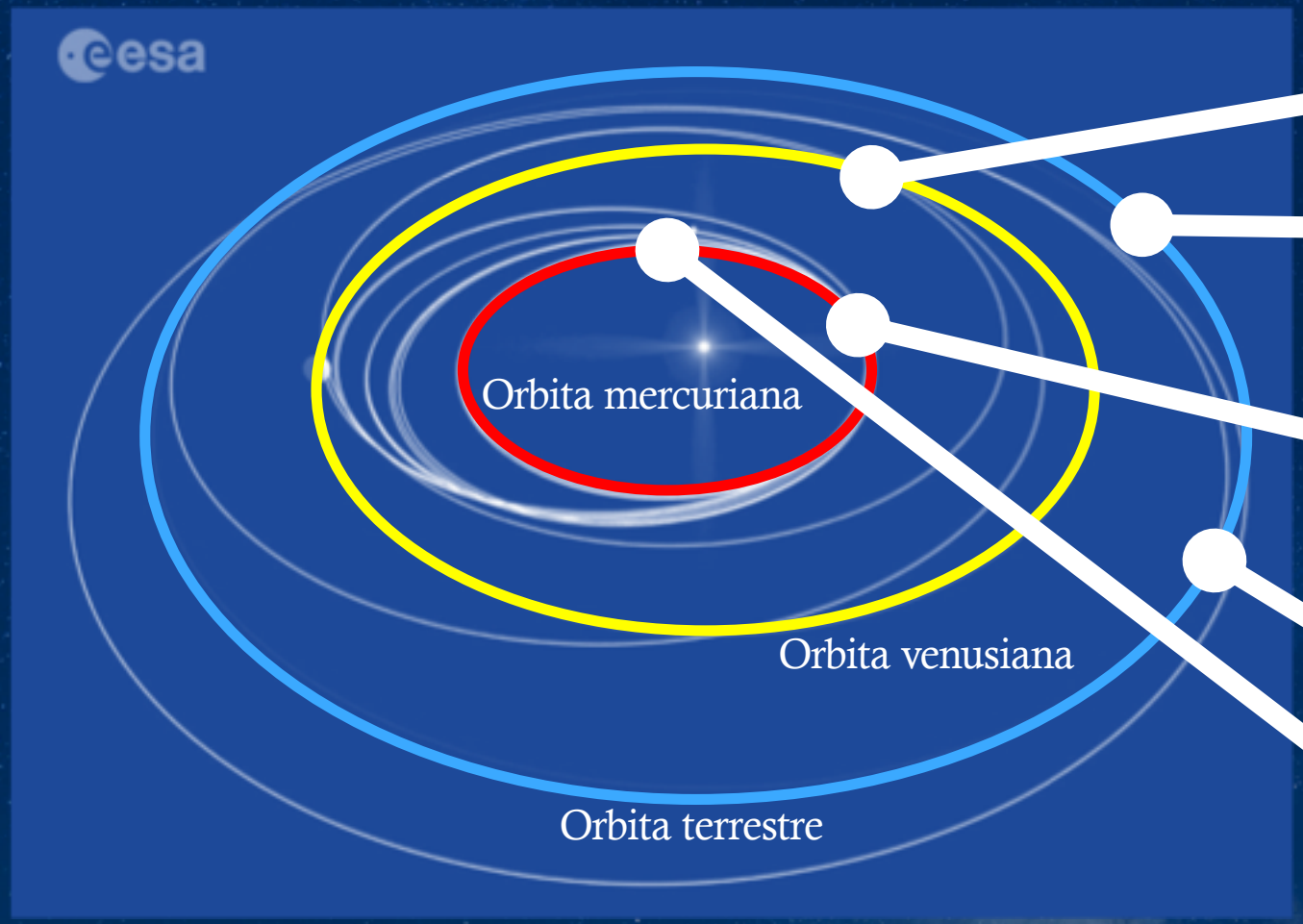
19 ottobre Lancio dalla Guiana Francese

Base di lancio di Kourou 5.1597° N , -52.6503° E

Ariane 5

- Motore principale: Vulcain 2 criogenico LOX – LH2
- +2 Booster a stato solido
- Spinta totale: 1500 ton
- Peso al decollo: 750 ton
- Carico utile: 10 ton to GTO

BepiColombo, Crociera



2x Flyby con la Venere

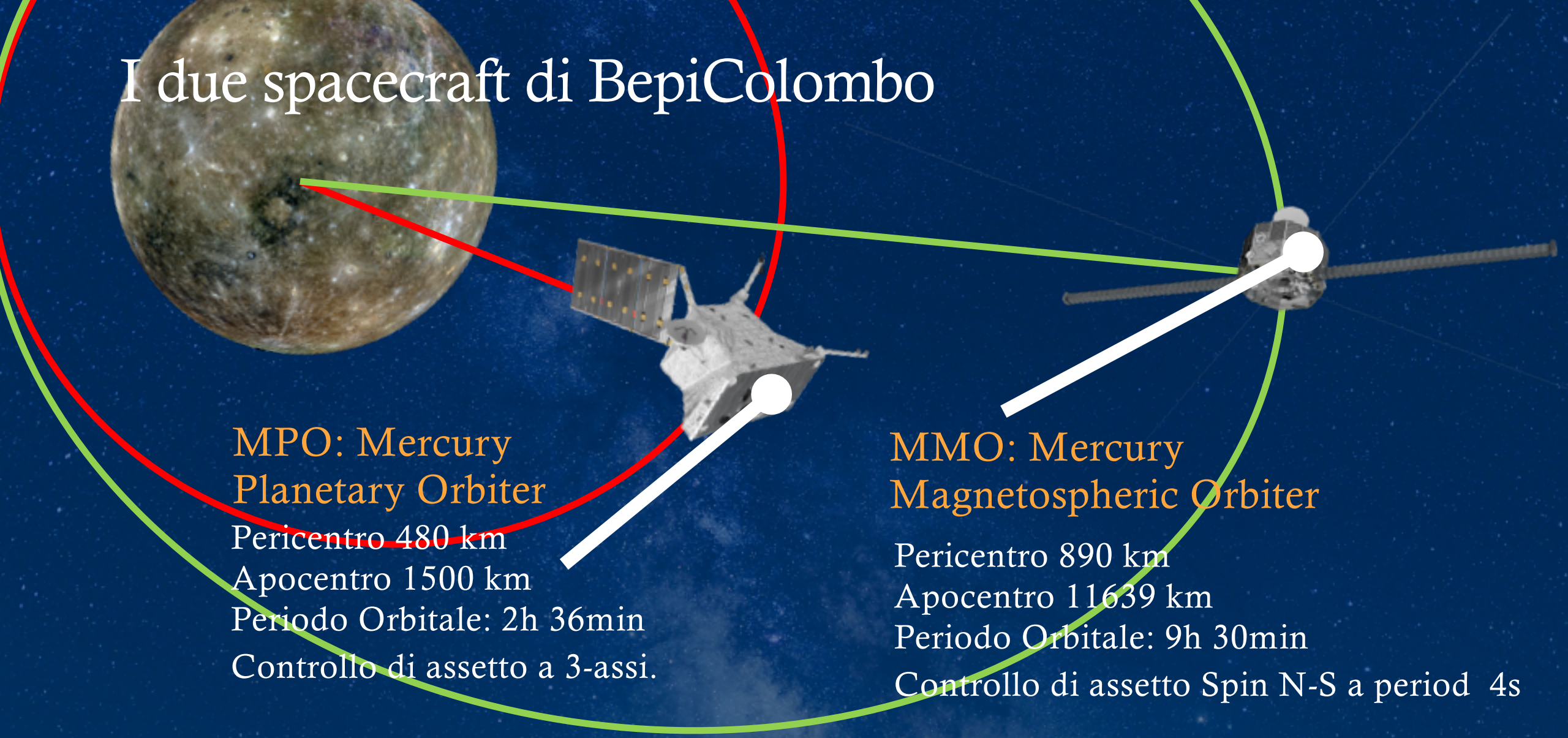
1x Flyby con la Terra

6x Flyby con la Mercurio

Partenza 19 Ottobre 2018

Arrivo 5 Dicembre 2025

I due spacecraft di BepiColombo



MPO: Mercury Planetary Orbiter

Pericentro 480 km
Apocentro 1500 km
Periodo Orbitale: 2h 36min
Controllo di assetto a 3-assi.

MMO: Mercury Magnetospheric Orbiter

Pericentro 890 km
Apocentro 11639 km
Periodo Orbitale: 9h 30min
Controllo di assetto Spin N-S a period 4s

Spacecraft: Principali caratteristiche

Il satellite sarà lanciato sottoforma di «composito» formato da 3 moduli più uno schermo solare ultraleggero

MCS Mercury Composit Spacecraft

Massa totale al lancio: 4100 Kg
propellente totale: circa 1400 kg
Altezza: circa 8 metri

MMO

Massa: 288 Kg

MPO

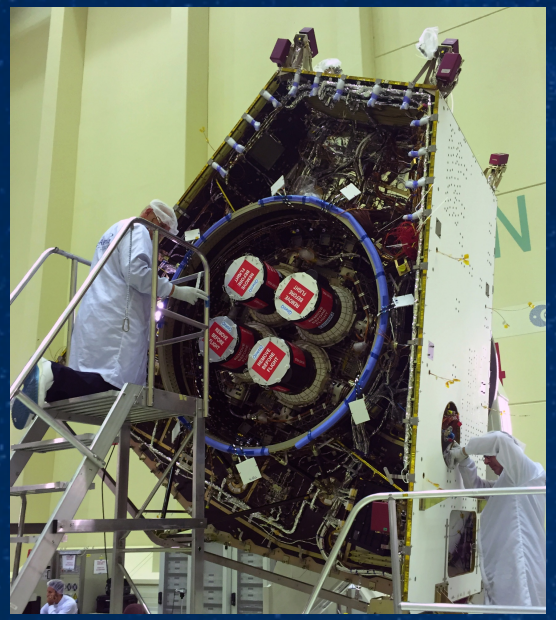
Massa: 1180 Kg
Batteria: 96Ah
Pannelli Solari: 1300 Watt
Data Storage: 47 GB
Downlink Data Rates sino a 350 kbps
Propellente: circa 100Kg

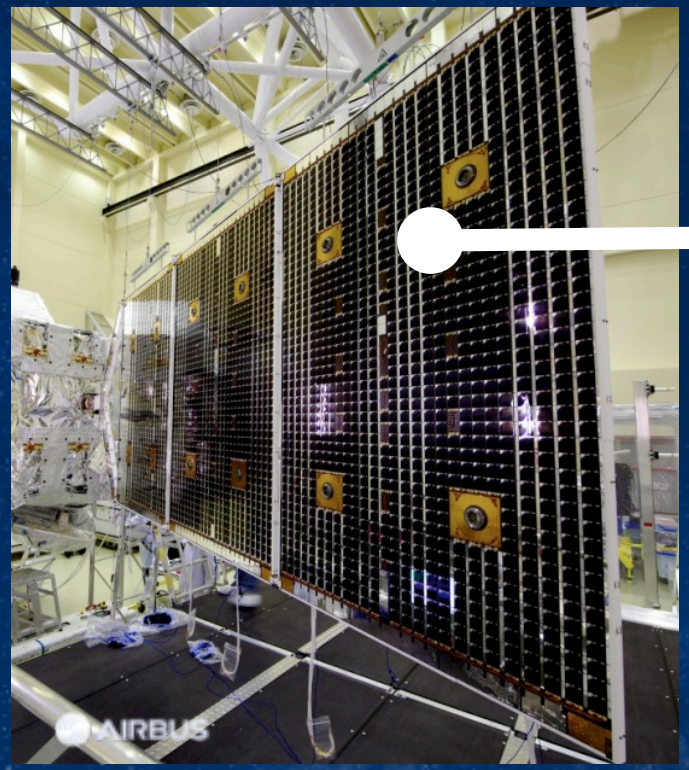
MTM

Massa: 1140 Kg
Batteria: 12Ah
Pannelli Solari: MTM 13000 Watt (2 ali)
Propellente: circa 1300Kg

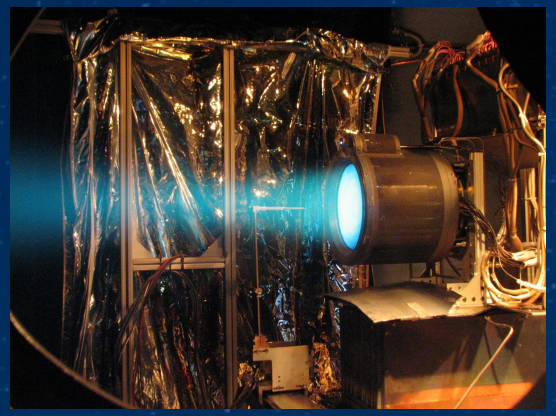
Tecnologia sviluppata ad-hoc

il 18% di tecnologia e componenti sono di nuova concezione e progettati appositamente per BepiColombo





Pannelli Solari resistenti alle alte temperature



Motori Elettrici a ioni.
42m² di pannelli (corrispondenti a 13 KW) alimenteranno i 4 motori a ioni che porteranno la sonda in orbita mercuriana.

MLI non contaminante

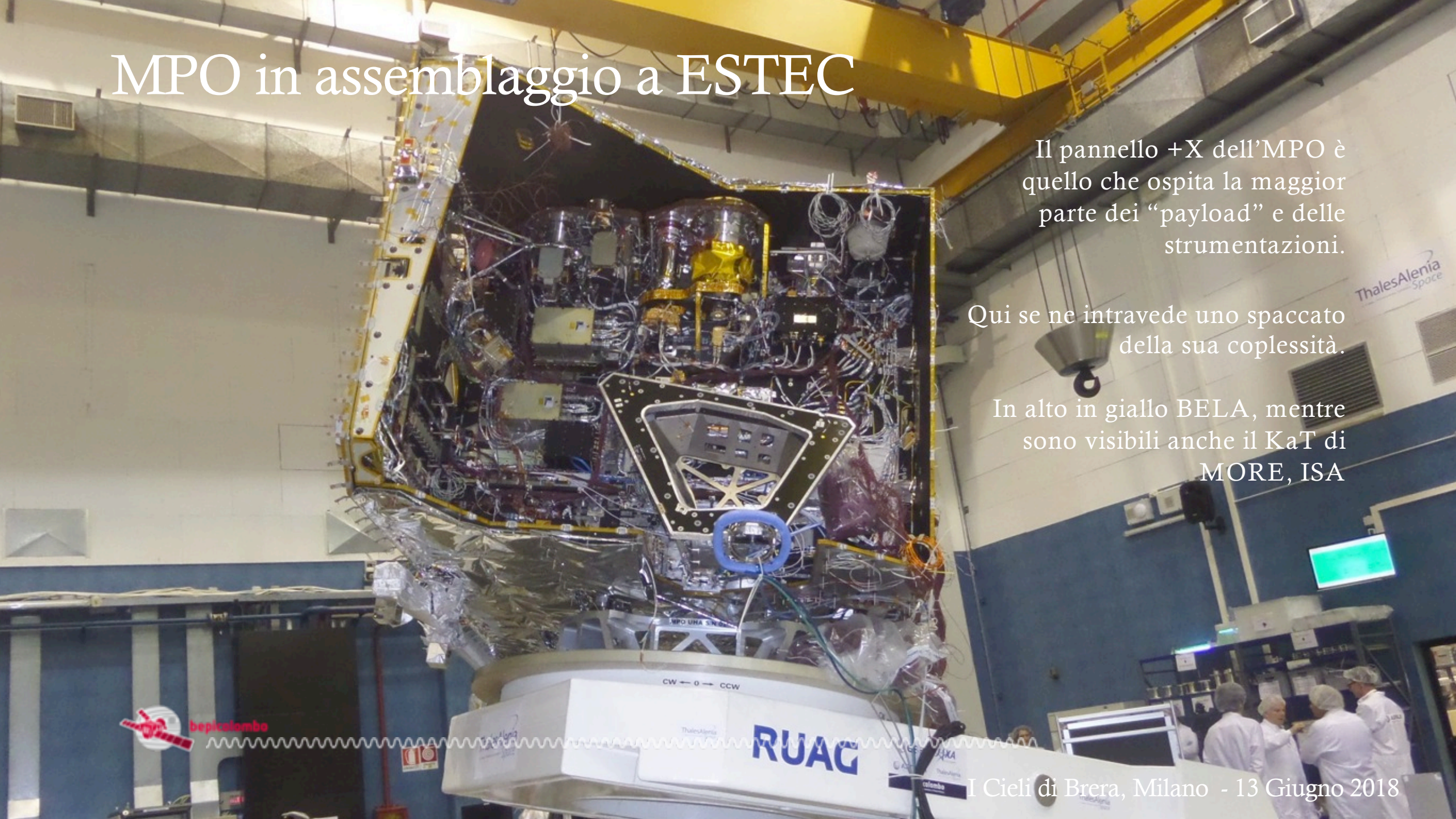
MPO in assemblaggio a ESTEC

Il satellite è stato assemblato da Thales Alenia Space prima a Torino e poi a ESTEC, sede dell'Ente Spaziale Europeo in Olanda.

Questa attività è durata anni e ha coinvolto un gruppo numerosissimo di persone specializzate in svariati campi.

Ogni passo dell'integrazione è stato seguito da test che hanno coinvolto la parte scientifica anche per un intero mese di seguito.

MPO in assemblaggio a ESTEC



Il pannello +X dell'MPO è quello che ospita la maggior parte dei "payload" e delle strumentazioni.

Qui se ne intravede uno spaccato della sua coplessità.

In alto in giallo BELA, mentre sono visibili anche il KaT di MORE, ISA

MPO nel Simulatore Solare di ESA

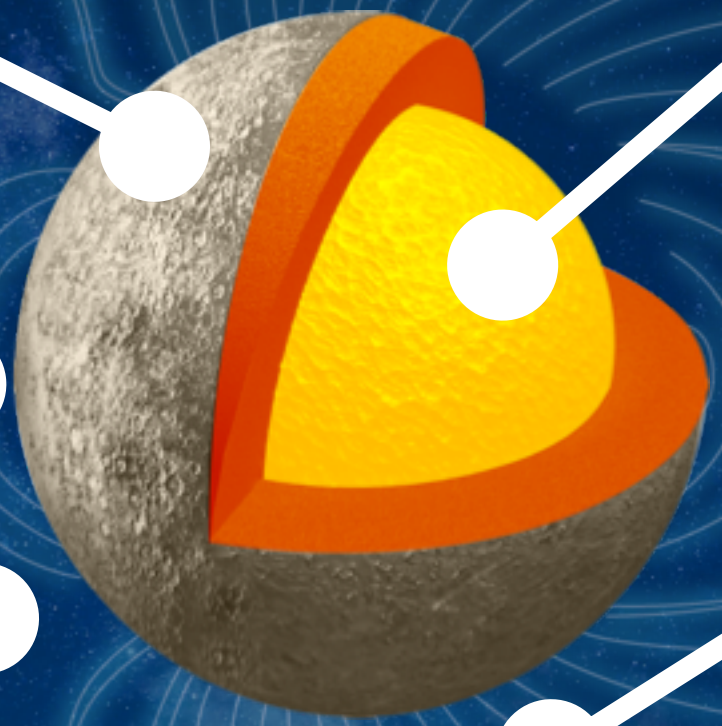
Il Large Space Simulator è la più grande camera a vuoto di Europa. È un cilindro alto 15 metri e largo 10 metri.
Il Simulatore è usato per riprodurre fedelmente le condizioni di insolazione e scambio termico dello spazio e testare i satelliti nella loro configurazione finale.

I Cieli di Brera, Milano - 13 Giugno 2018

BepiColombo: Scienza e obiettivi scientifici

Superfice
- Morfologia
- Topografia
- Composizione
- Temperatura

Interno
- Stato del Nucleo
- Rapporto Nucleo/Mantello
- Composizione
- Campo Magnetico



Magnetosfera
- Struttura
- Dinamica
- Interazione

Esosfera
- Composizione
- Dinamica
- Rilascio Superficiale
- Bilancio particelle sorgenti/assorbite

Relatività
- Misurare i parametri Post-Newtoniani

Gli Strumenti a Bordo dell'MPO

BELA	BepiColombo Laser Altimeter	Tilman Spohn Nick Thomas	Caratterizzazione della superficie e topografia di Mercurio
MORE	Mercury Orbiter Radio Science Experiment	Luciano Iess	Determinare la gravità e lo stato fisico del nucleo di Mercurio.
ISA	Italian Spring Accelerometer	Valerio Iafolla	Misurare le forze non gravitazionali agenti sull'MPO.
MPO-MAG	Mercury Magnetometer	Karl-Heinz Glassmeier	Descrivere il campo magnetico di Mercurio e le sue origini.
MERTIS	Mercury Thermal Infrared Spectrometer	Harald Hiesinger	Studiare la composizione mineralogica e produrre una mappa temperatura globale del pianeta.
MGNS	Mercury Gamma-ray and Neutron Spectrometer	Igor Mitrofanov	Capire la composizione della superficie di Mercurio e la distribuzione degli elementi volatili ai poli.
MIXS	Mercury Imaging X-ray Spectrometer	Emma Bunce	Sfrutta l'analisi della fluorescenza ai raggi-X per produrre una mappa globale della composizione atomica di Mercurio.
PHEBUS	Probing of Hermean Exosphere by Ultraviolet Spectroscopy	Eric Quemerais	Composizione della esosfera di Mercurio.
SERENA	Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances	Stefano Orsini	Studio delle interazioni tra superficie, esosfera, magnetosfera e vento solare.
SIMBIO-SYS	Spectrometers and Imagers for MPO Integrated Observatory System	Gabriele Cremonese	Fornisce una mappa globale, ad alta risoluzione e in IR della superficie di Mercurio
SIXS	Solar Intensity X-ray Spectrometer	Juhani Huovelin	Misura i raggi-X solari e altre particelle ad risoluzione temporale

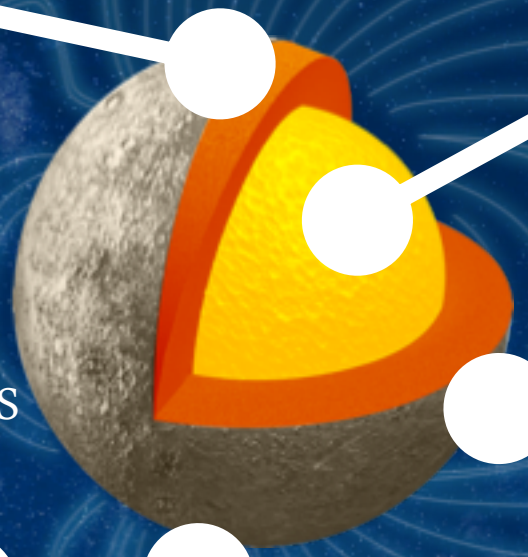
Contributo degli Strumenti agli Obiettivi Scientifici

Superfice

fotocamera Alta Risoluzione VIS -Fotocamera Stereo 3D	SIMBIO-SYS
spettrometro nel visibile e nel vicino IR	
Spettrometro Infrarossi	MERTIS
Laser Altimetro	BELA
MIPA - Analizzatore di particelle cariche	SERENA
Spettrometro raggi X Solar Monitor	MIXS - SIXS
Spettrometro a raggi Gamma	MGNS

Interno

SIMBIO-SYS	fotocamera Alta Risoluzione Fotocamera Stereo 3D
BELA	Laser Altimetro
MORE	Transponder in banda Ka
ISA	Accelerometro Alta Sensibilità
MPO-MAG	Magnetometro



Esosfera

SERENA	ELENA – Contatore di Particelle neutre STROFIO – Spettrometro a campo rotante PICAM Analizzarore Ionico MIPA - Analizzatore di particelle cariche
PHEBUS	Spettrometro UV

Magnetosfera

Magnetometro	MPO-MAG
PICAM - Analizzarore Ionico	SERENA

Relatività

MORE	Trasponder in banda Ka
ISA	Accelerometro Alta Sensibilità

SIMBIO-SYS-Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory SYStem

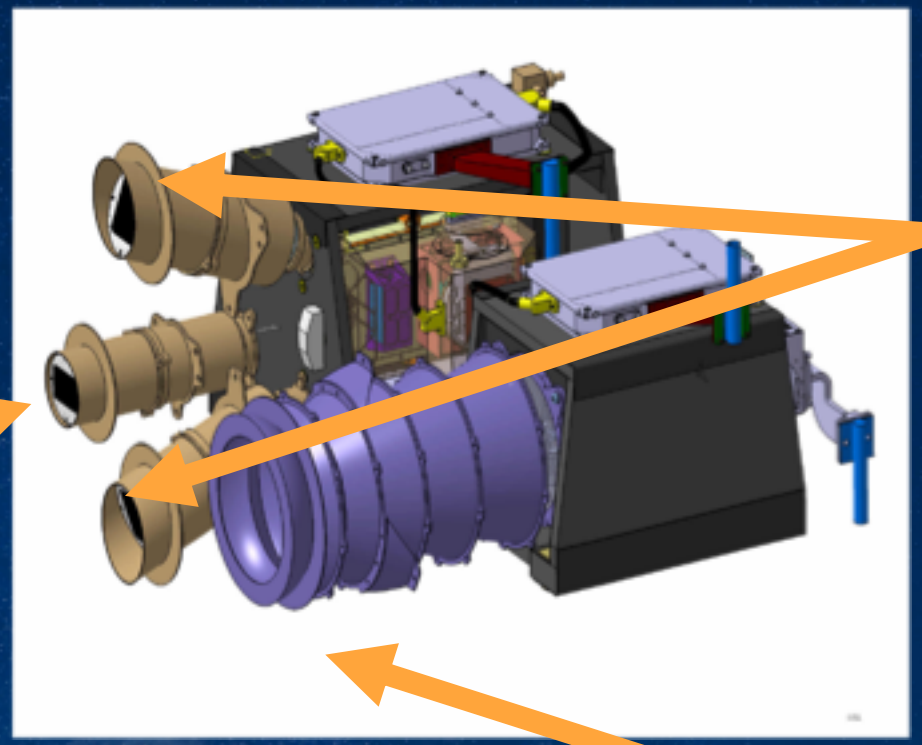
PI: Gabriele Cremonese

I principali obiettivi scientifici di SIMBIO-SYS sono:

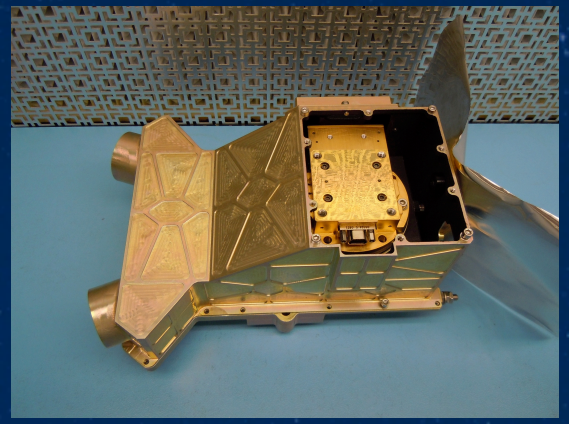
- Mappatura Globale del pianeta in modalità stereo nei primi 6 mesi di missione nominale.
- Mappatura Globale spettroscopica nei primi 6 mesi di missione nominale.
- Immagini ad alta risoluzione del 20% della superficie del pianeta.

A SIMBIO-SYS verrà allocato il 50% dell'intero data-volume della missione corrispondente a 750Gbit nel primo anno. La maggior parte del volume di dati verrà scaricato compresso con un fattore 7.

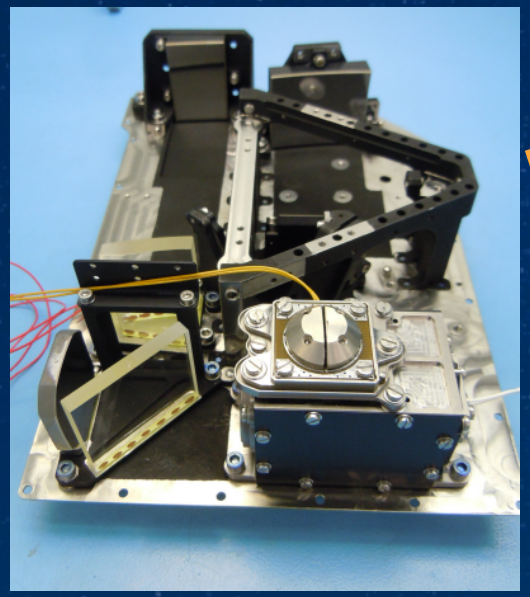
SIMBIO-SYS - Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory SYStem



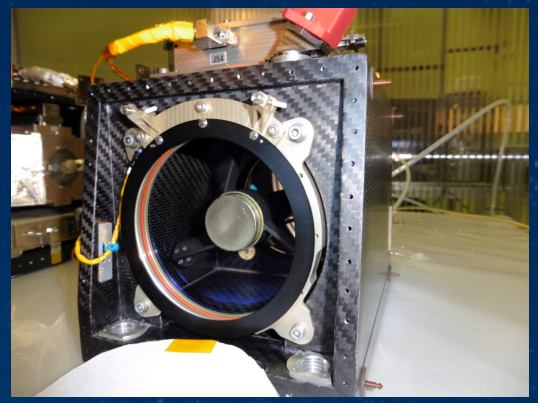
STC



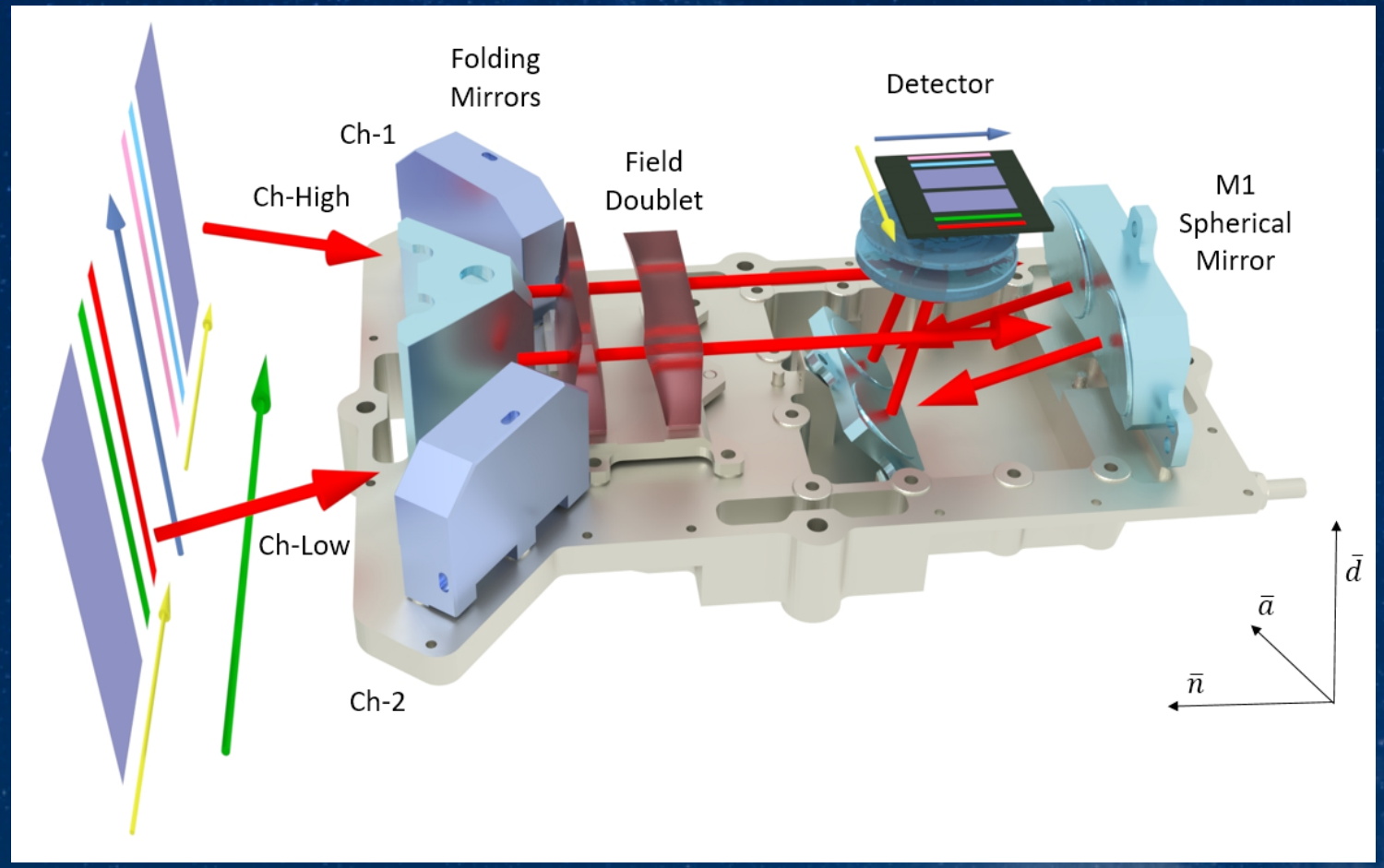
VIHI



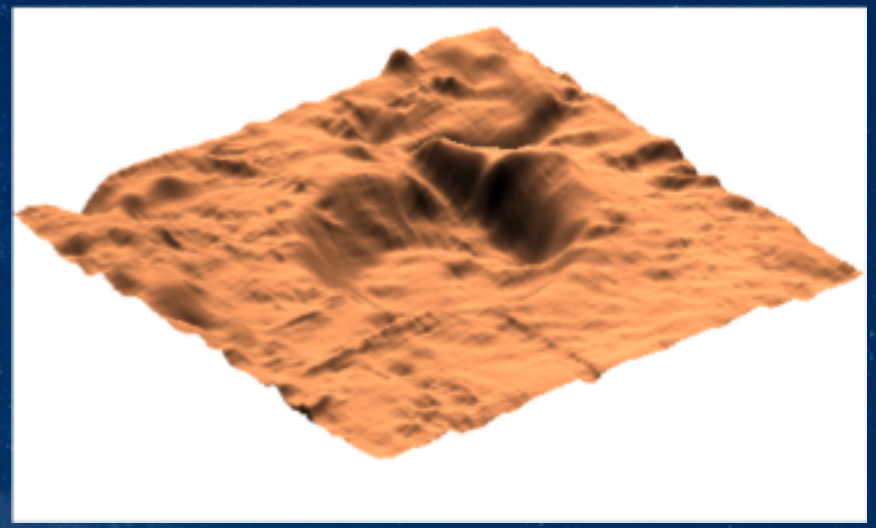
HRIC



STC- Stereo Imaging Channel



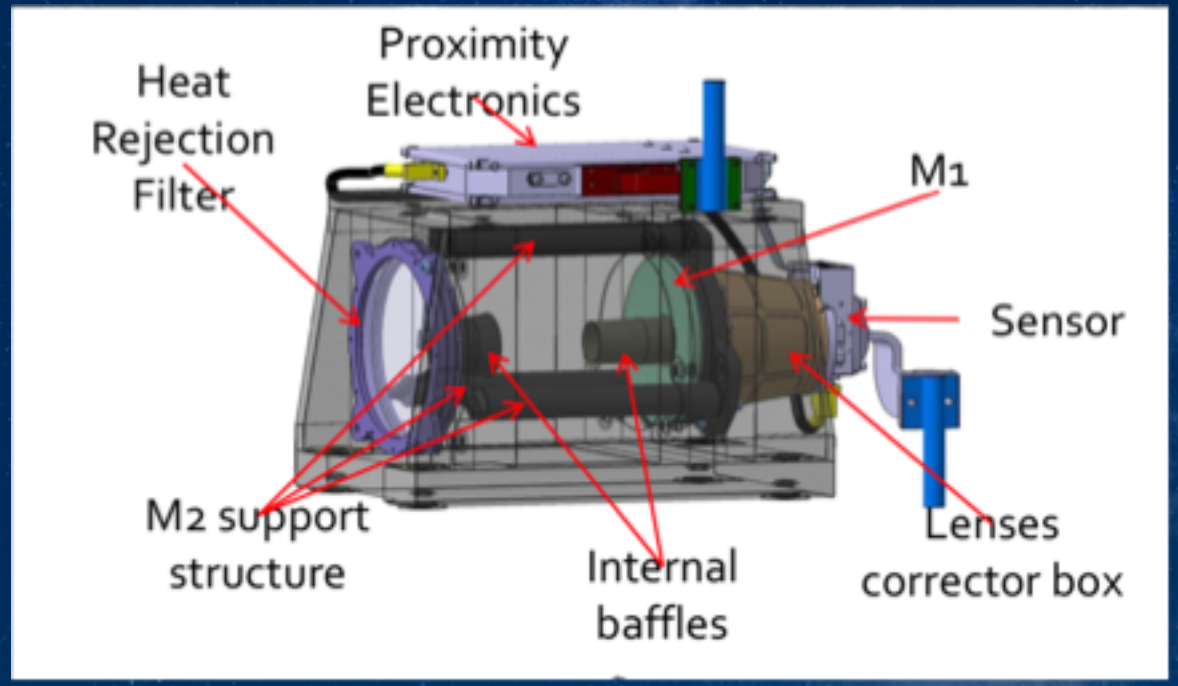
- Nuovo concetto di stereo camera
- Due teste ottiche un unico detector
- Angolo stereo rispetto al Nadir: ±20°
- Risoluzione spaziale: 58.2m/px al periermio a (480km)
- accuratezza dei Digital Terrain Model (DTM) di 80 m

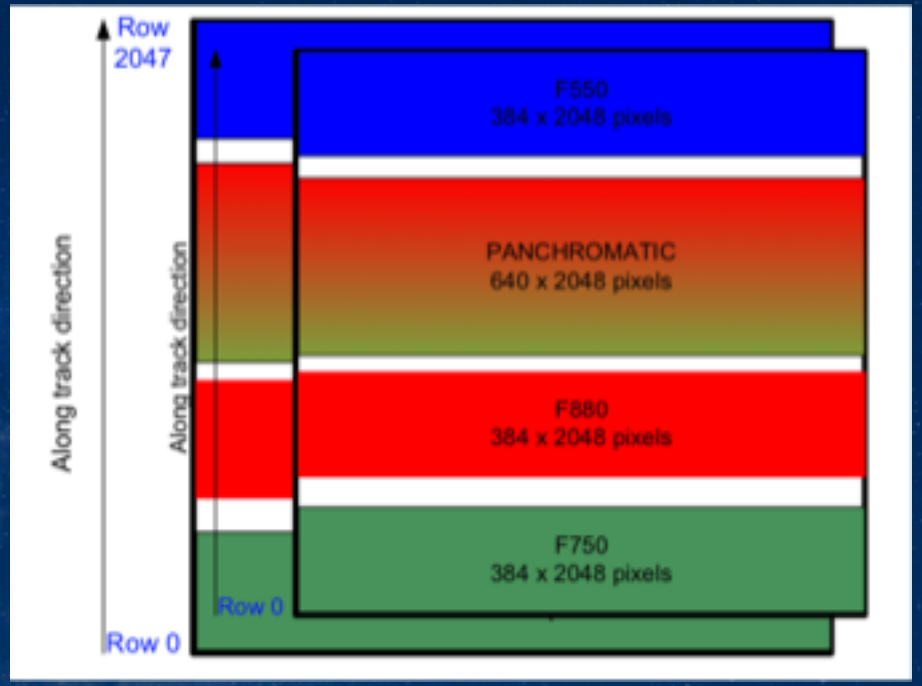


Acquisizione stereo di STC

SIMBIO-SYS HRIC – High Resolution Imaging Channel

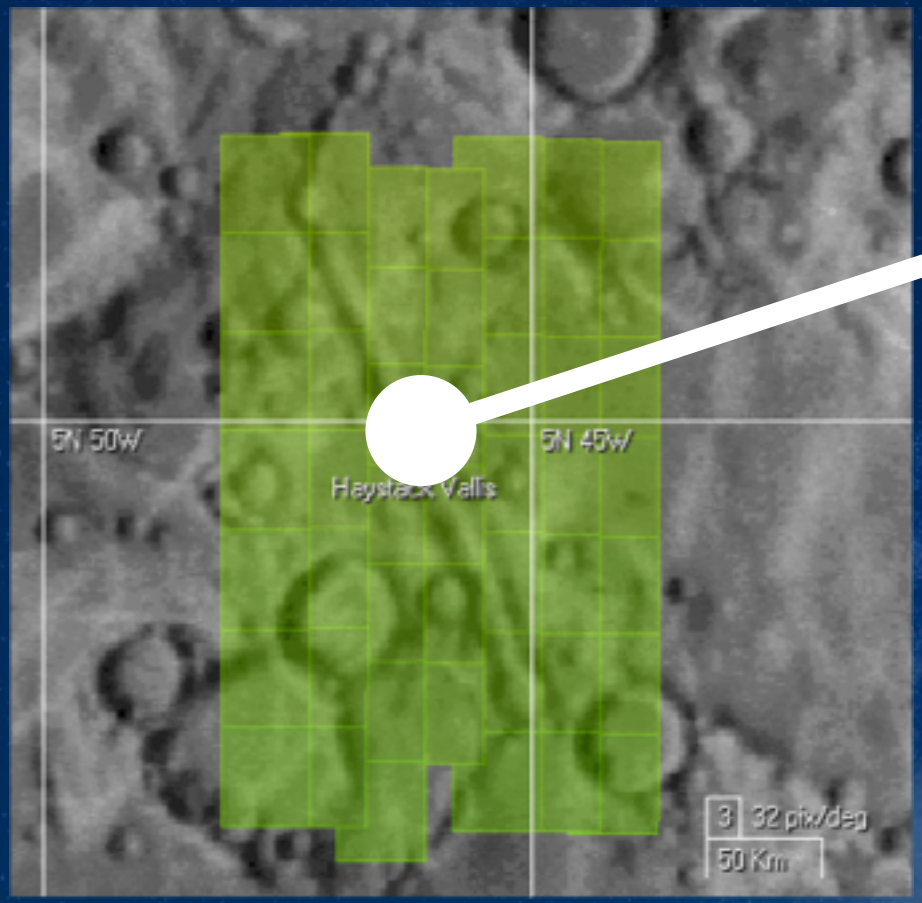
Canale di imaging ad alta risoluzione spaziale in quattro diverse bande. L'obiettivo principale di HRIC è la caratterizzazione di target di superficie ad alto interesse scientifico.





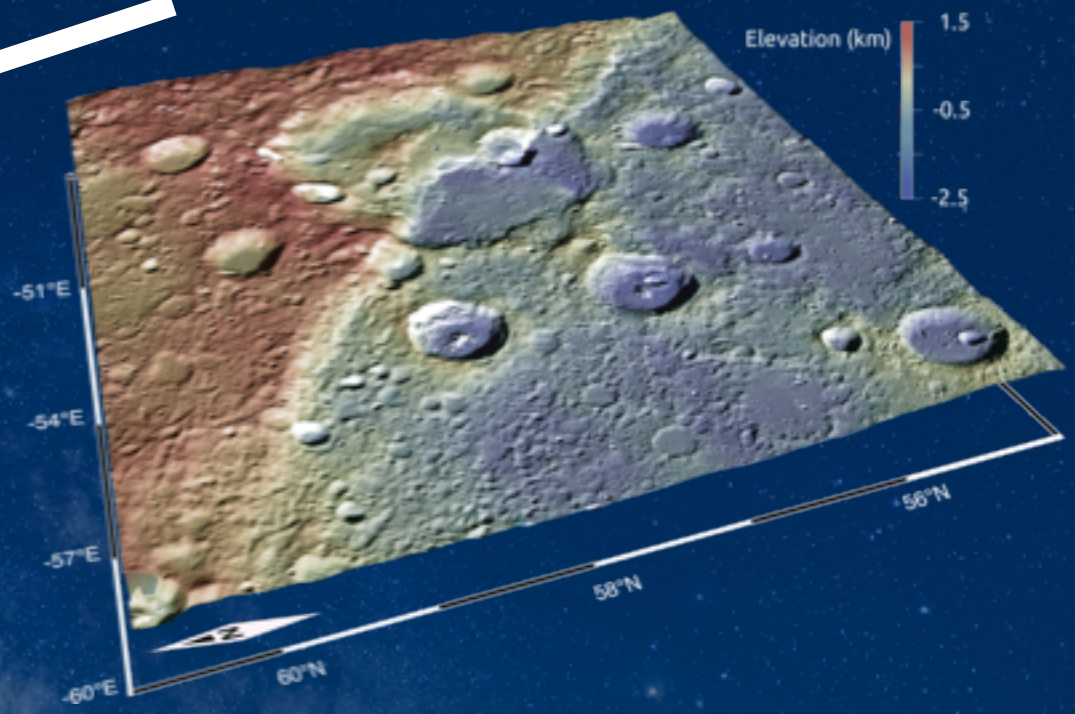
SIMBIO-SYS HRIC – High Resolution Imaging Channel

Questa simulazione di osservazione mostra la copertura completa di un possibile target selezionato.

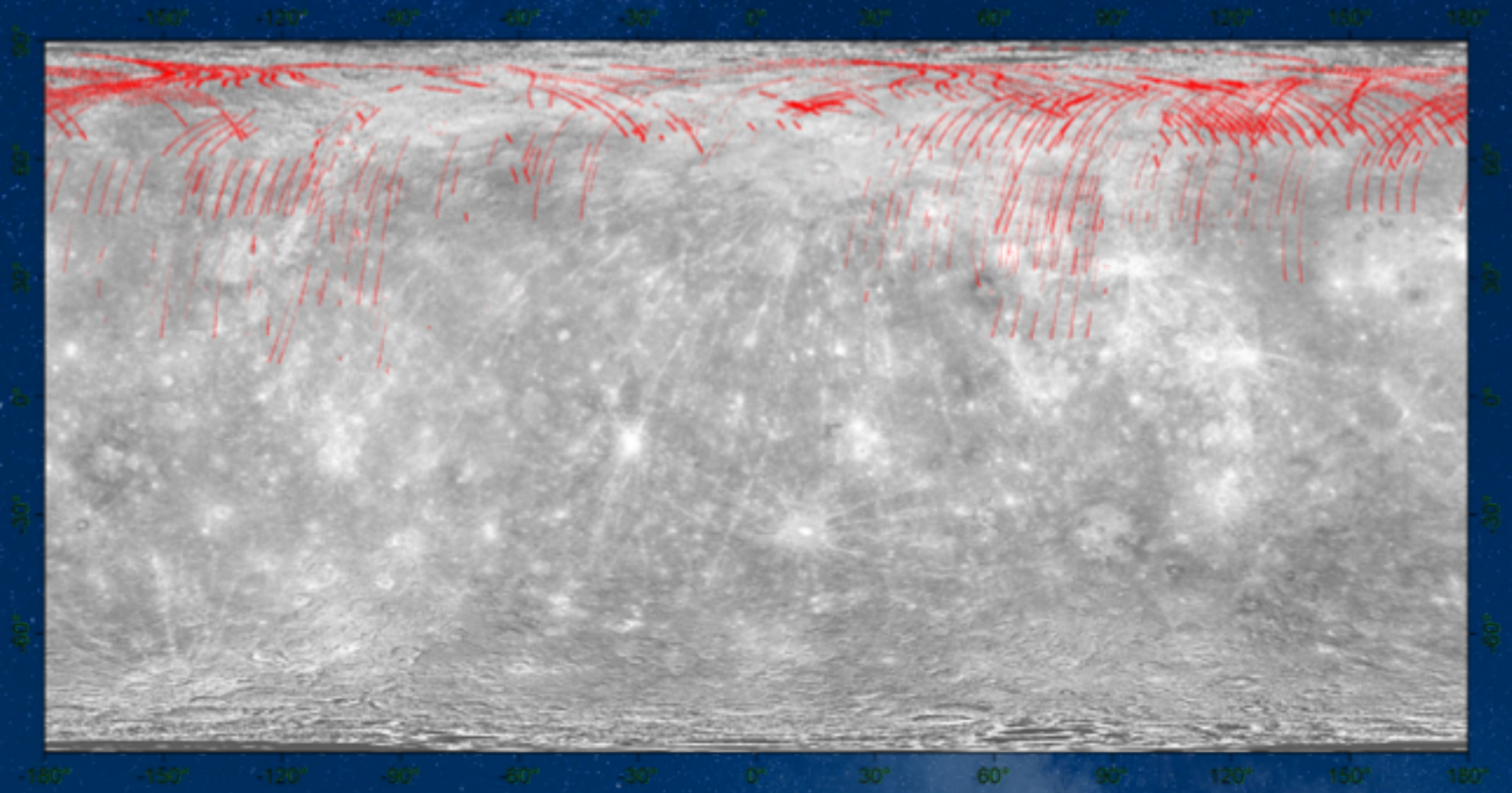


L'impronta sul terreno è di circa 36 km across-track.

Vallis Haystack.



SIMBIO-SYS Copertura MDIS-MESSENGER migliore di 12 m/px



MESSENGER

31.104 immagini NAC

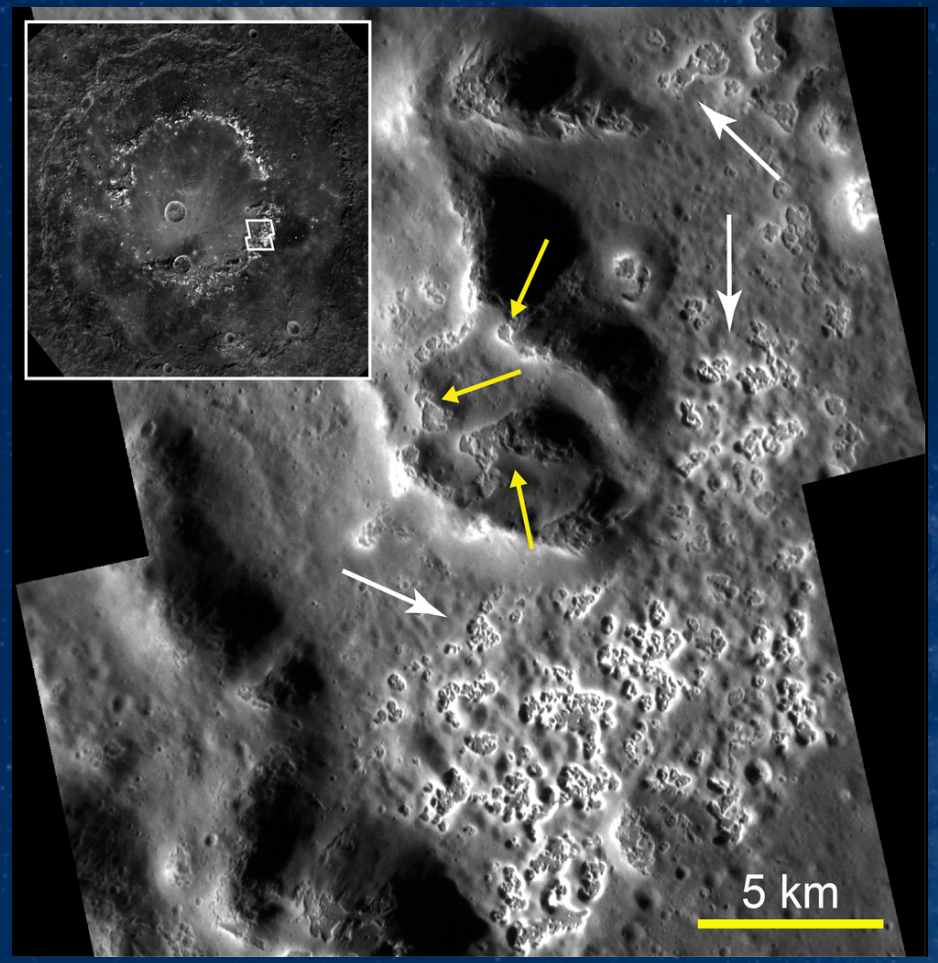
Copertura ~2.0%

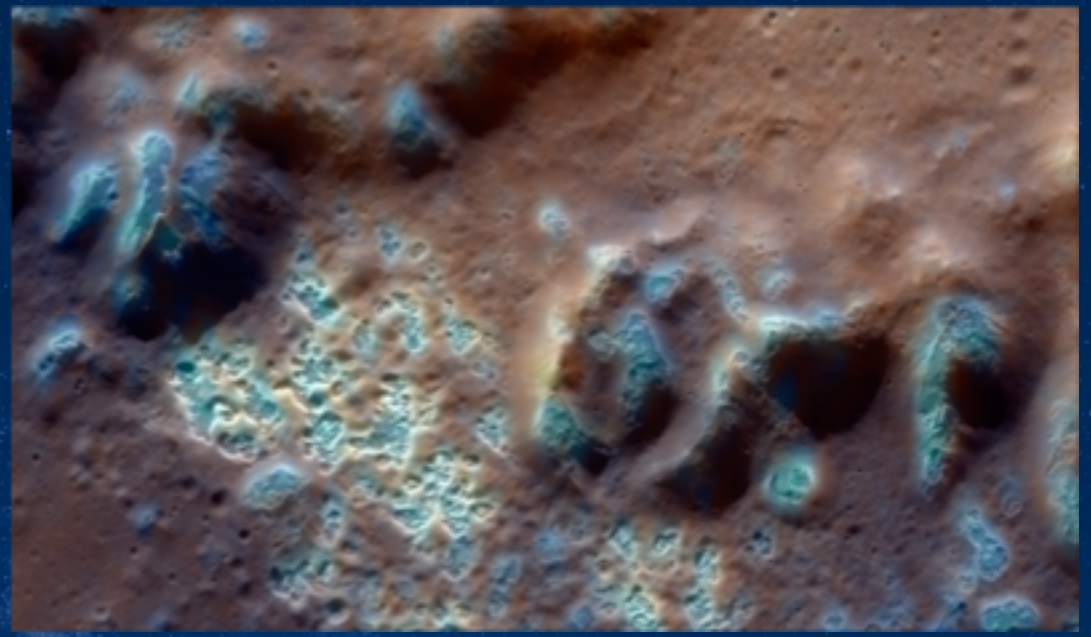
BepiColombo

HRIC/SIMBIO-SYS

Copertura > 20%

SIMBIO-SYS Gli Hollows

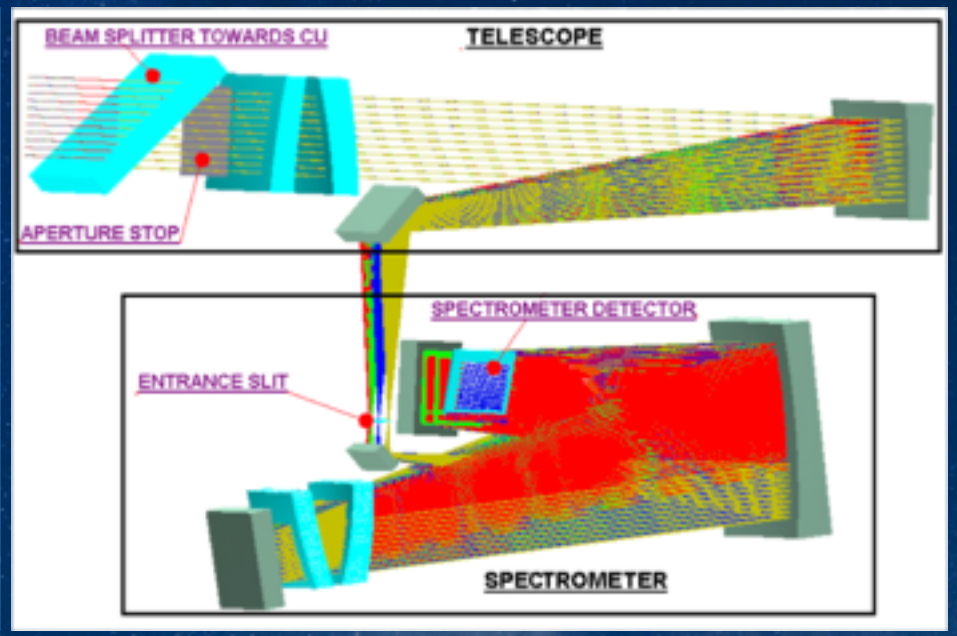




Superficiali, irregolari, privi di un bordo definito, fondo piatto e con interni brillanti e aloni, spesso si possono trovare sui bordi dei crateri o nel loro picco centrale, ma la loro vera natura non è ancora conosciuta.
(Blewett et al., 2011,2013).

SIMBIO-SYS VIHI-Visible Infrared Hyperspectral Imager Channel

VIHI è un imager iperspettrale nella gamma visibile e nel vicino infrarosso, che mapperà il pianeta al fine di fornire la composizione mineralogica globale della superficie.



Le caratteristiche spettrali e la capacità di imaging consentirà la correlazione incrociata della composizione superficiale con le caratteristiche morfologiche. Gli obiettivi principali sono di produrre una mappatura mineralogica globale, identificare le specie mineralogiche con un alto livello di confidenza e materiali correlati.

SERENA - Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundance

PI: S. Orsini (INAF-IAPS); CoPIs: S.Livi (STROFIO), H.Lichtenegger (PICAM), S.Barabash (MIPA)

SERENA studierà come risponde il pianeta alle sollecitazioni dell'ambiente esterno di Mercurio (vento e radiazione solari, micrometeoriti, plasma magnetosferico). E' composto da una suite di 4 rivelatori di particelle:

ELENA: Emitted Low-Energy Neutral Atoms

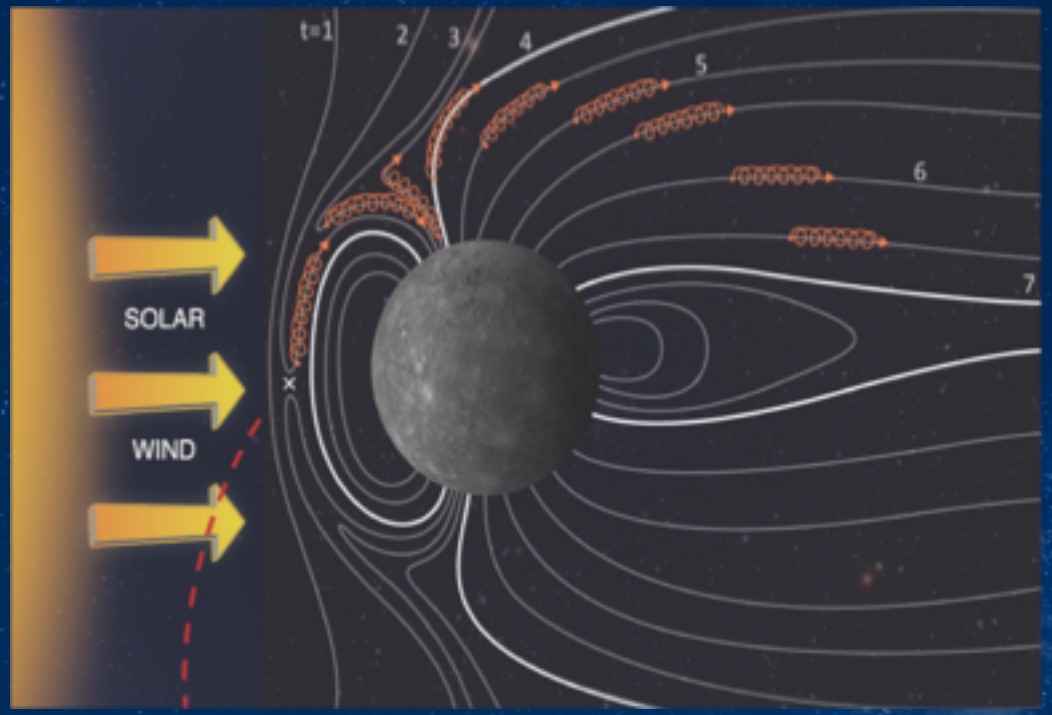
STROFIO: STart from a ROtating FIeld spectrOmeter

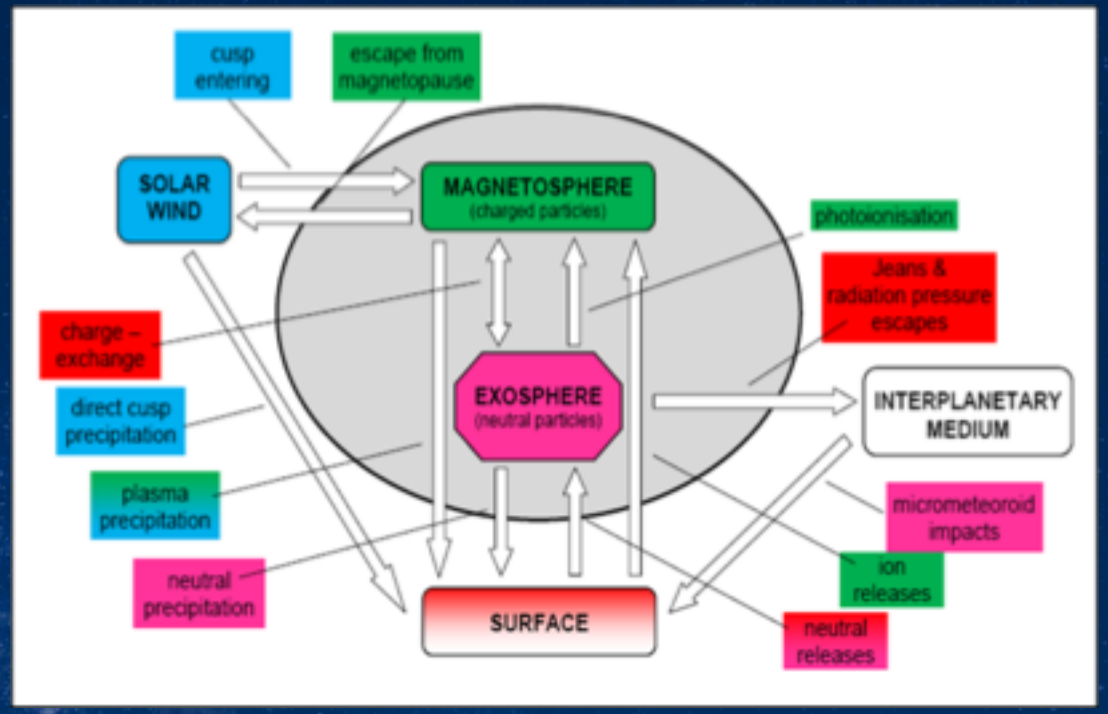
MIPA: Miniature Ion Precipitation Analyser

PICAM: Planetary Ion CAMera

SERENA e l'ambiente di Mercurio

Conoscere come funziona l'ambiente di Mercurio è importante per capire come sta evolvendo ora il pianeta, e come si è evoluto nella storia del Sistema Solare.

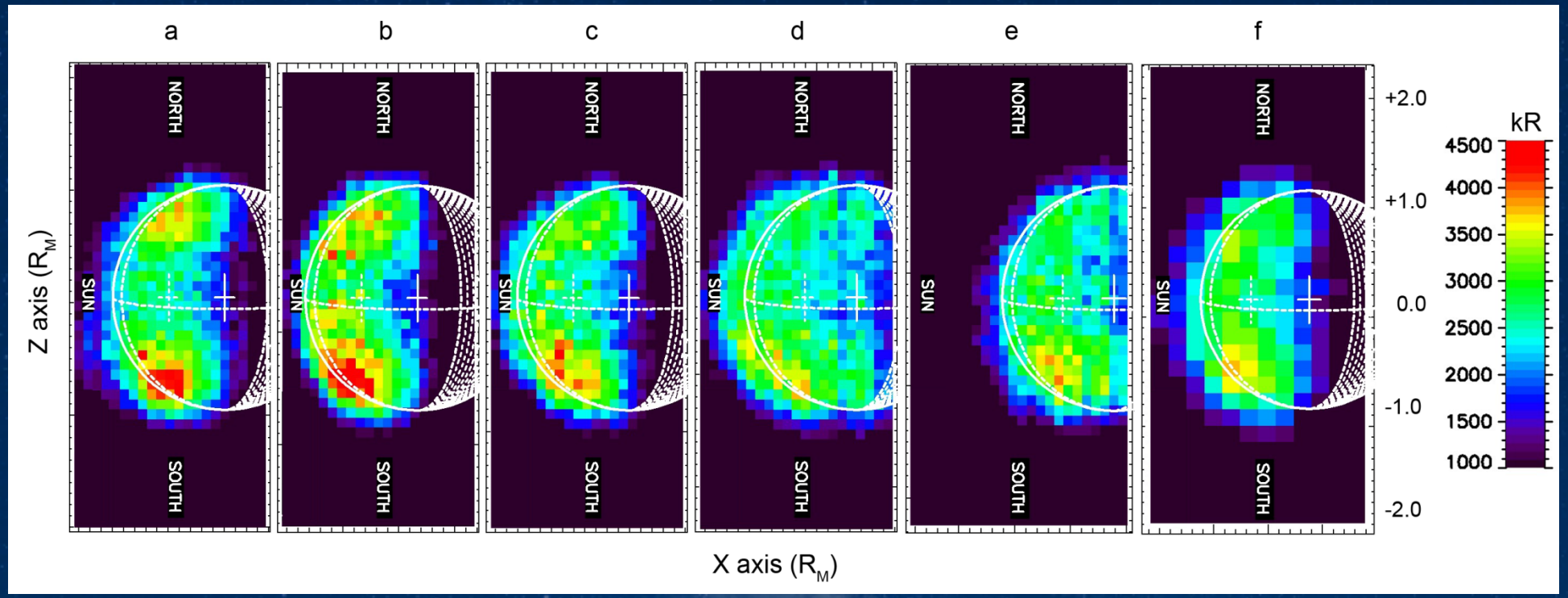




L'esosfera di Mercurio non è un sistema a sè stante, ma interagisce fortemente con la superficie da un lato, e con il campo magnetico dall'altro. Per questo motivo sarebbe più corretto parlare di "superficie-esosfera-magnetosfera" come i diversi aspetti di un unico ambiente.

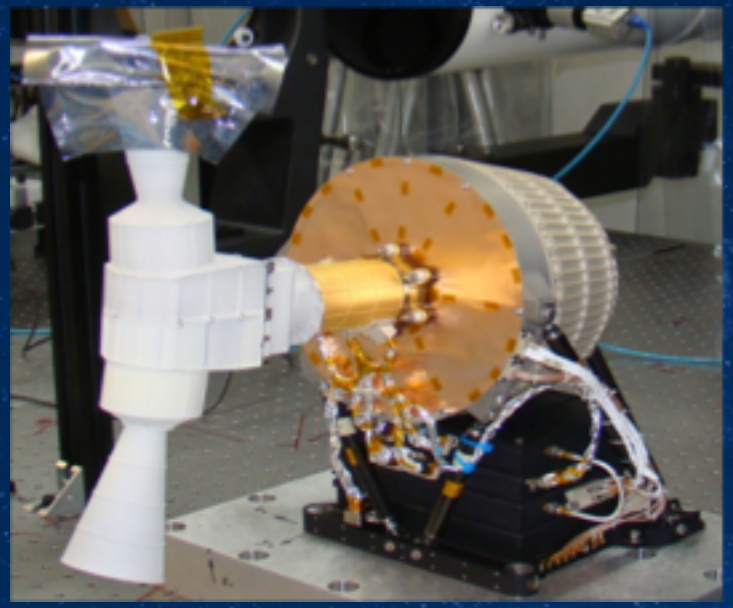
SERENA e l'ambiente di Mercurio

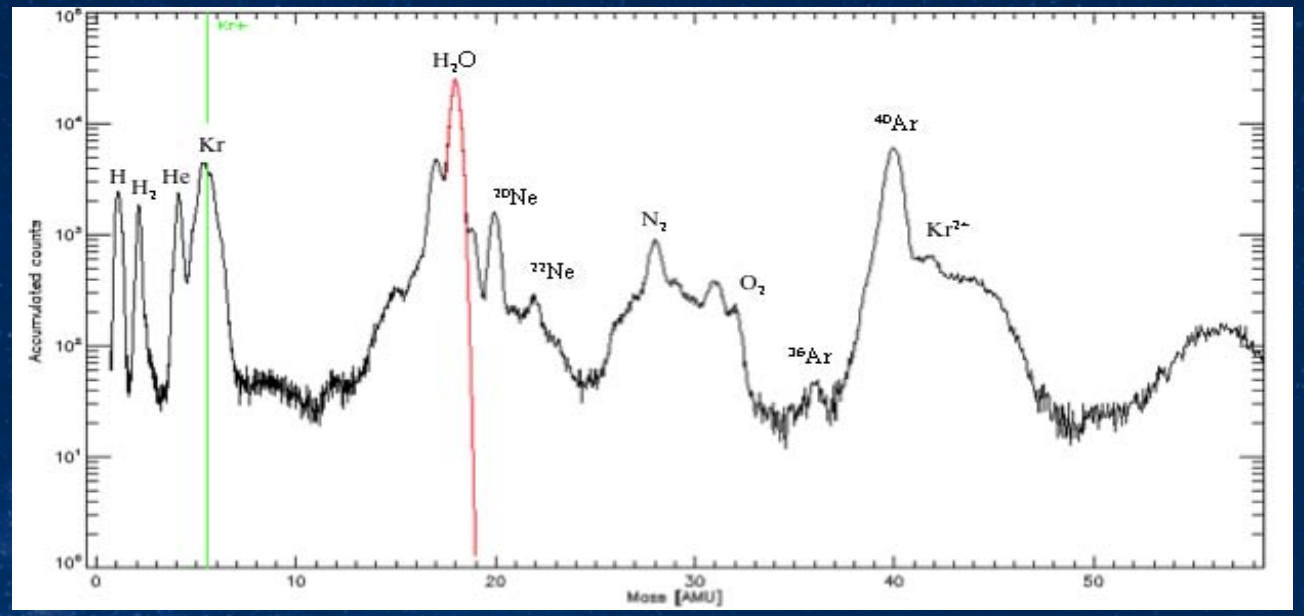
L'ambiente di Mercurio (magnetosfera+esosfera) è caratterizzato da un'alta variabilità, sia su scale temporali di minuti che stagionali (per la diversa posizione sull'orbita molto eccentrica).



Qui ad esempio si può vedere come cambia nel tempo (da sinistra a destra) l'esosfera di sodio (in falsi colori)

SERENA: STROFIO

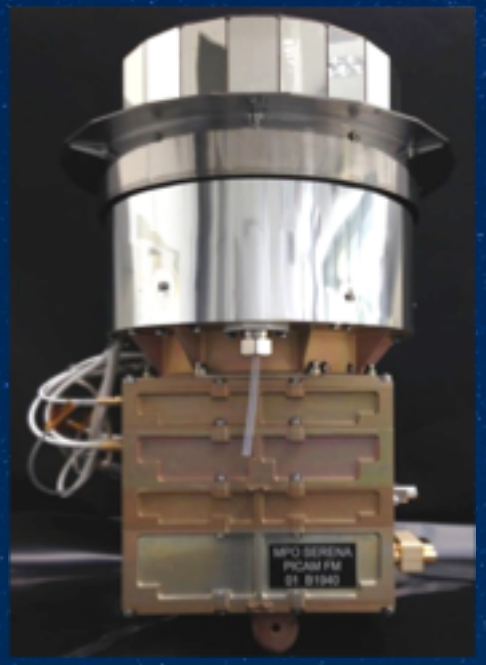




STROFIO osserverà l'esosfera determinando la sua composizione atomica e molecolare.

Determinerà le distribuzioni e le variazioni delle diverse specie per capire le correlazioni con l'esposizione alla luce solare, la precipitazione di meteoriti e di particelle cariche.

SERENA: PICAM e MIPA

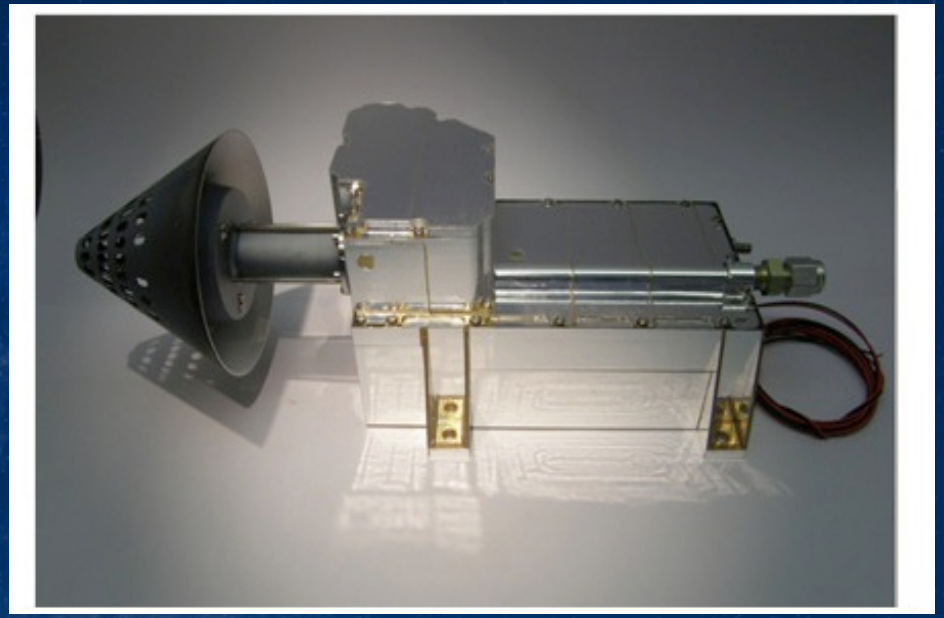


PICAM

osserverà le particelle cariche intorno a Mercurio determinando la loro composizione e la loro distribuzione. Sarà fondamentale per capire la circolazione e la perdita delle particelle di origine planetaria.

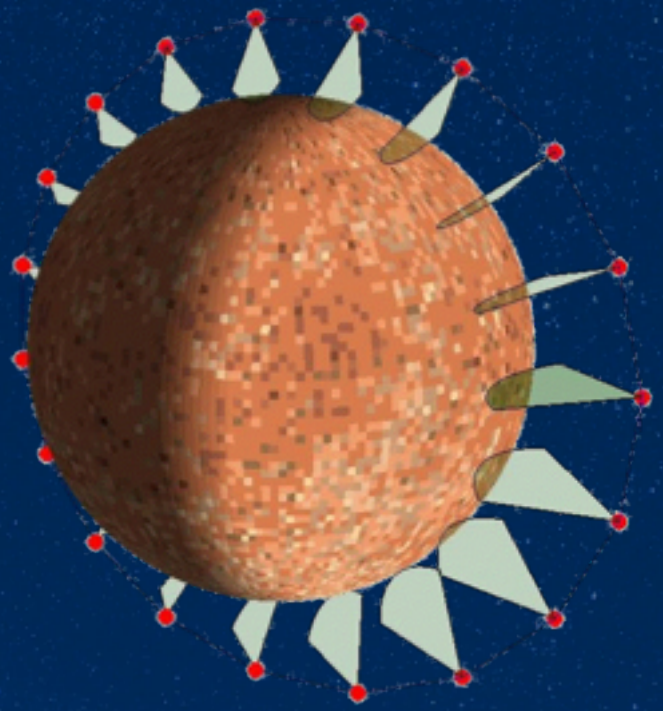
MIPA

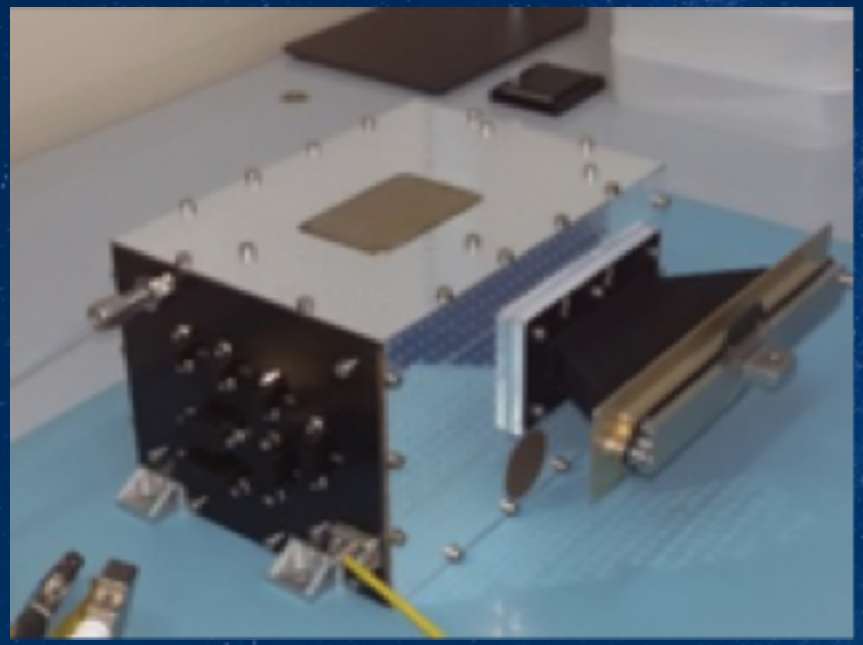
monitorerà l'intensa precipitazione del vento solare verso la superficie di Mercurio per capire insieme agli altri sensori di SERENA come risponde il pianeta.



SERENA: ELENA

ELENA farà la mappatura delle particelle neutre più energetiche che escono dalla superficie, correlando le variazioni con la precipitazione osservata da MIPA.

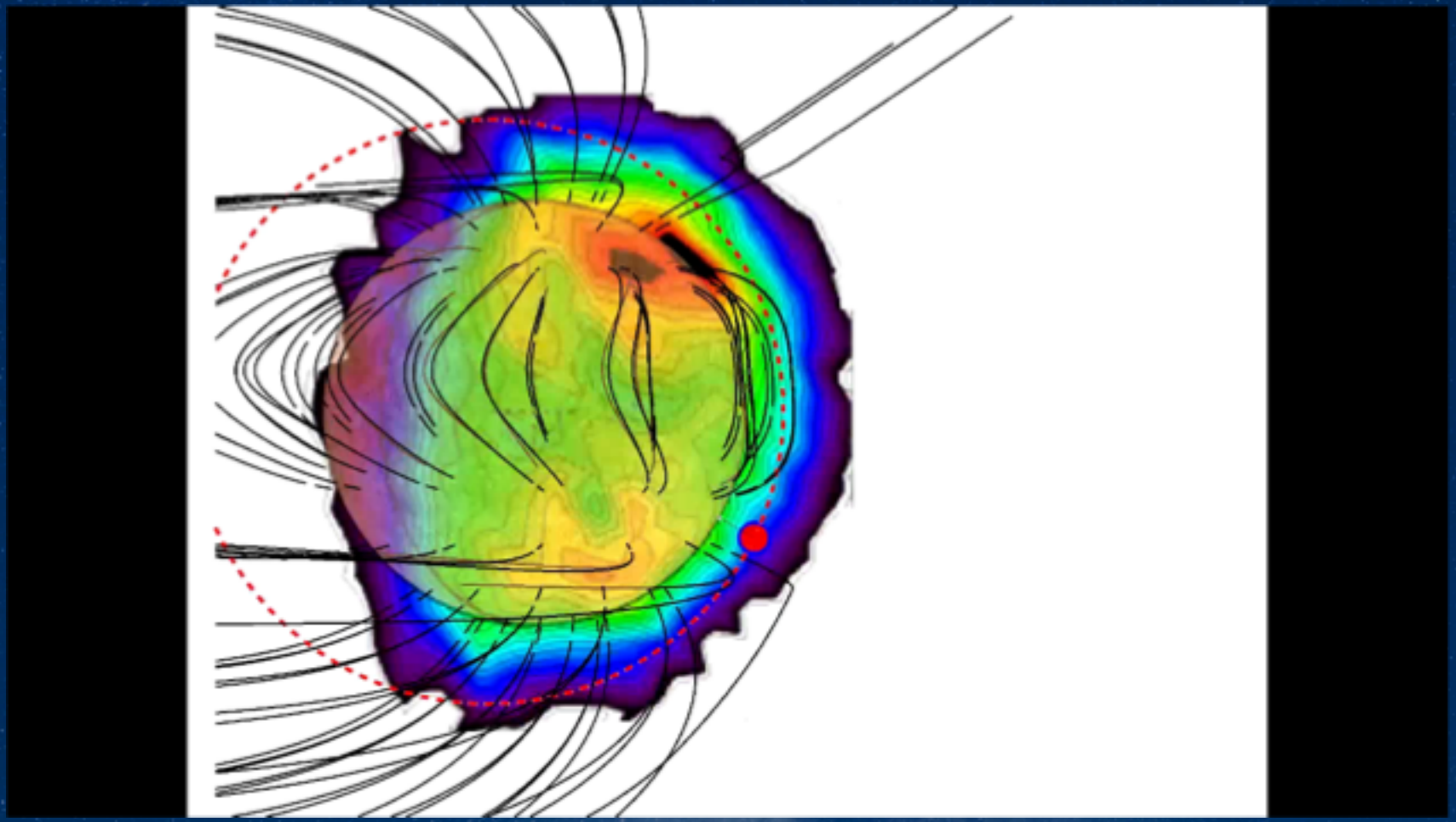




guarderà il pianeta verso il basso e, utilizzando il movimento del satellite, “spazzolerà” una fascia di superficie (vedi immagine a destra), collezionando il segnale di particelle neutre emesse da essa, e dirette verso l’alto.

SERENA: come e cosa misurerà

Mercurio con esosfera e campo magnetico



Legenda

MPO

Orbita

MORE: Mercury Orbiter Radioscience Experiment

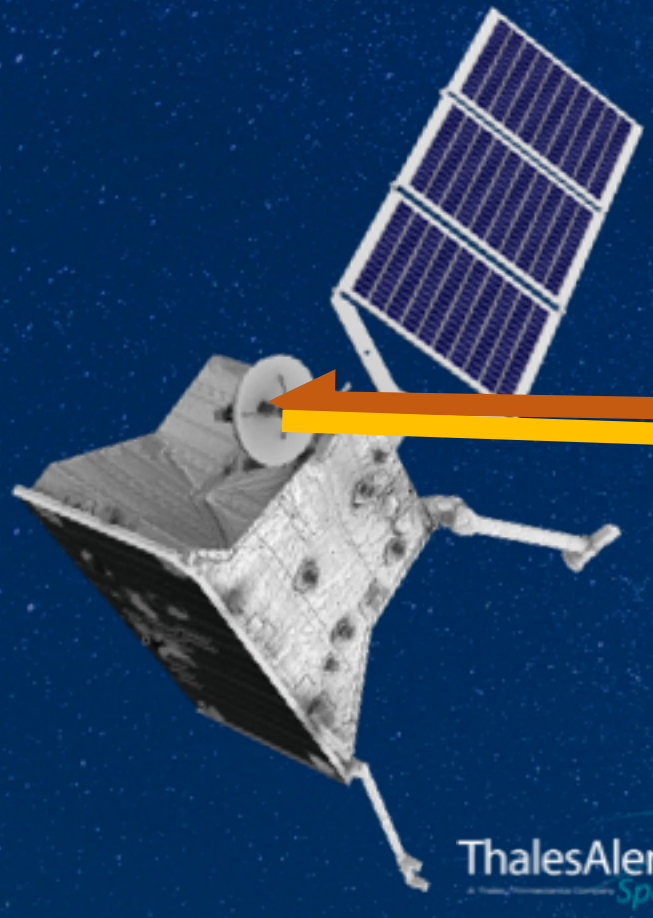
Obiettivi:

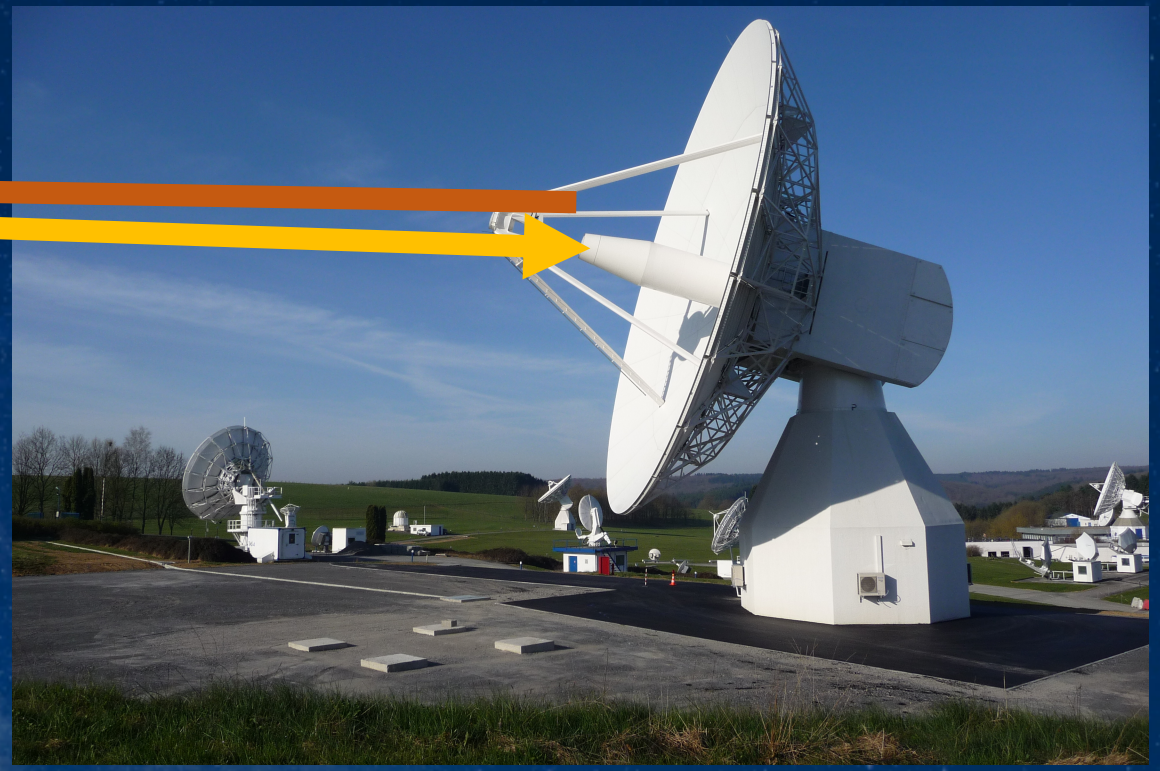
- Misura del campo di gravità di Mercurio.
- Misura dello stato di rotazione di Mercurio.
- Test della Relatività.

Lo strumento è il KaT: Ka-band transponder

MORE: Come vengono fatte le misure ?

Un segnale radio viene inviato alla sonda. Il KaT lo riceve e lo ritrasmette a terra





MORE: Misure molto precise

Il segnale ricevuto fornisce misure estremamente precise:

- distanza Terra-sonda (*range*) → Precisione di qualche cm.
- velocità relativa (*range-rate*). → Precisione di millesimi di mm al secondo.

Pari a circa 0,0000036 Km/h !!

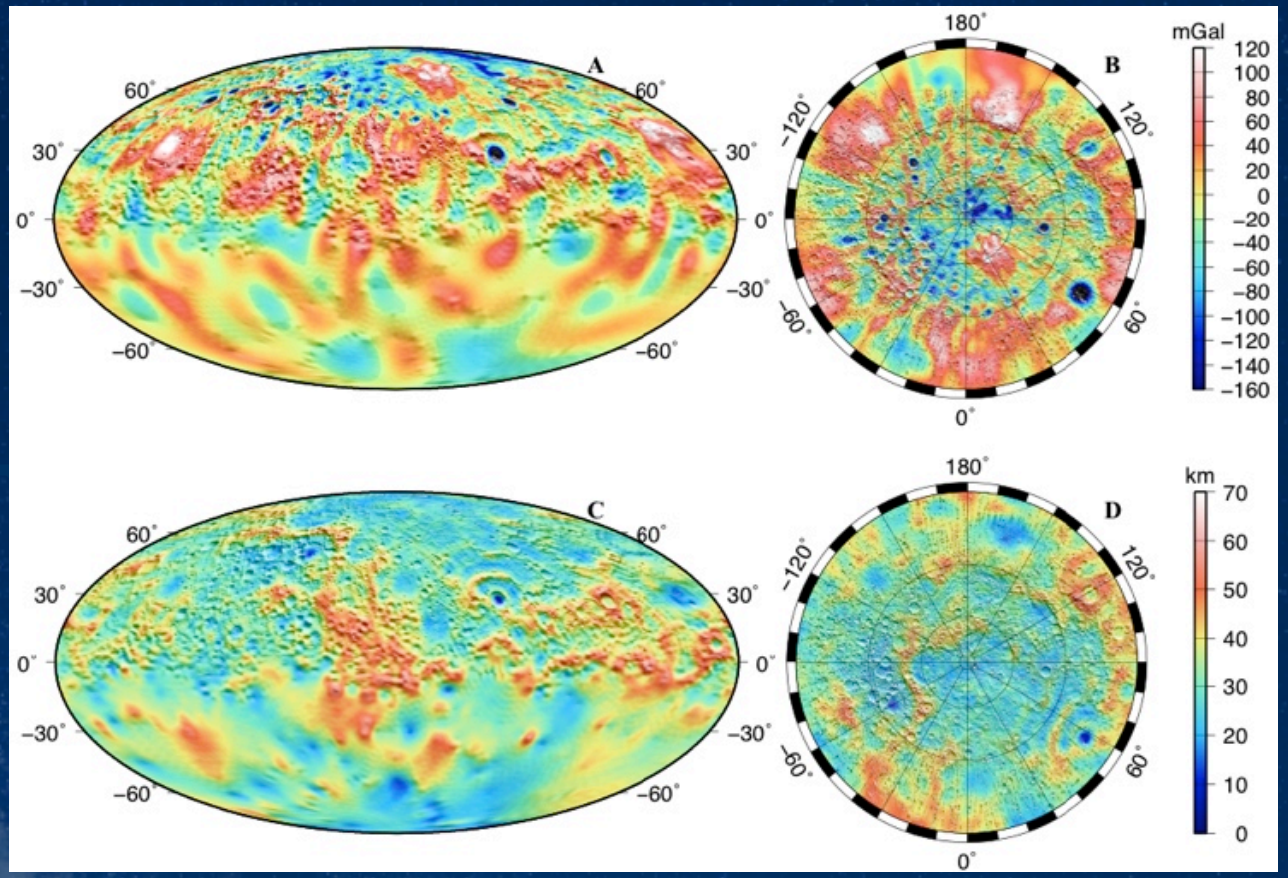
MORE: Campo di gravità di Mercurio

Grazie alle misure di **velocità** dell'MPO è possibile ricostruire la sua orbita attorno a Mercurio.

L'orbita del satellite non sarà perfettamente ellittica:
Sappiamo che le sue deviazioni saranno dovute (anche) alla distribuzione delle masse del pianeta.

Ad esempio lo schiacciamento dei poli, la presenza di un nucleo più pesante, al limite anche la presenza di avvallamenti e depressioni nella crosta.

In questo modo è possibile ricostruire il campo di gravità di Mercurio.



Credit: Mazarico et al (2018)

MORE: Rotazione di Mercurio

Sappiamo già che Mercurio compie 3 giri su se stesso ogni 2 orbite attorno al Sole (scoperto da **Giuseppe Colombo**).
Questo tipo di moto si chiama **risonanza spin-orbita 3:2**.

Nessun altro pianeta del Sistema Solare ruota in questo modo.

- Le misure di velocità radiale (*range rate*);
- le immagini della superficie prese da una camera ad alta risoluzione;
- i dati dal laser altimetro (BELA);

ci consentiranno di misurare nel dettaglio questo tipo di rotazione.

MORE: Esperimento di Relatività

Mercurio è il pianeta più vicino al Sole: si trova in una zona del Sistema Solare in cui gli effetti relativistici sono più evidenti.

L'esperimento di Relatività consiste nella misura precisa di alcuni parametri, detti "post-Newtoniani", i cui valori sono noti dalla teoria della Relatività.

In particolare parleremo di quelli relativi a:

η **principio di equivalenza**
parametro di Nordtvedt

γ **curvatura dello spazio**
parametro di Eddington.

Lo scopo è verificare se la Relatività vale anche al livello di precisione di MORE.

Perché ?

La Relatività **non è una teoria "definitiva"**, da anni si cerca di conciliarla con la meccanica quantistica.

Misurarne una "violazione" sarebbe un risultato molto importante.

MORE: Principio di equivalenza

"se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie discenderebbero con eguali velocità" Galileo Galilei

Ne derivano due conseguenze:

1. Un campo di gravità è localmente equivalente a un sistema accelerato ma lontano da corpi celesti.
2. all'interno di un sistema in caduta libera si sperimenta "l'assenza di gravità" (come nella ISS), proprio come se ci si trovasse lontano da tutti i corpi celesti.

Questo fenomeno si verifica solo con il campo gravitazionale!

Cos'ha la **gravità** di speciale rispetto alle altre forze ?

MORE: Principio di equivalenza

La soluzione è la teoria della Relatività Generale (1915).

Le masse curvano lo spazio e modificano lo scorrere del tempo.

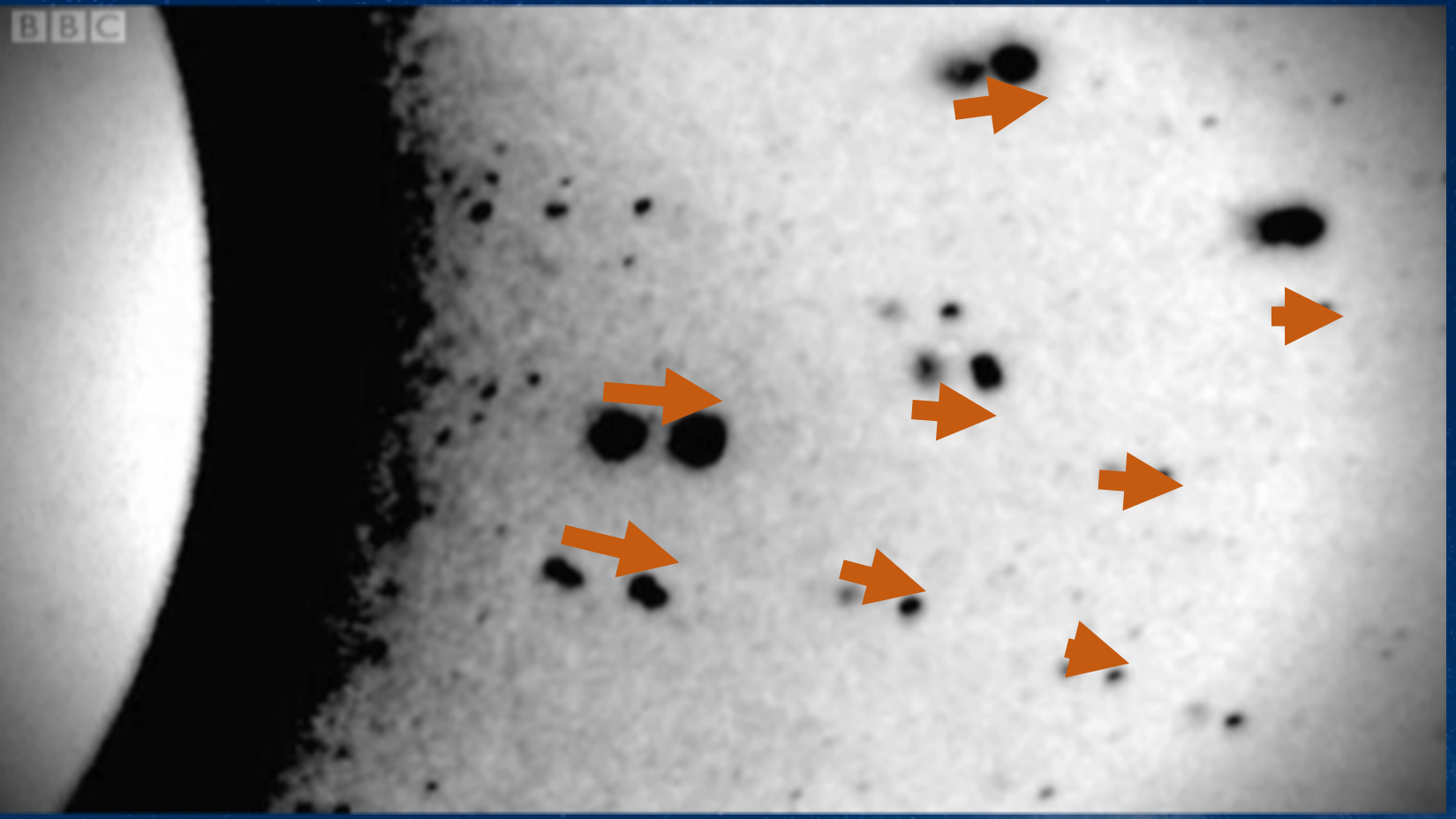
I pianeti non sono "attratti" dal Sole, semplicemente seguono la "forma" dello spazio curvo

Quindi, la gravità non è una forza, è un effetto "geometrico".

La gravità è la "geometria" dello spazio.

Nell'esperimento di Relatività di BepiColombo si farà una verifica del principio di equivalenza (forte) con la precisione di **una parte su centomila** (10 volte migliore dell'attuale accuratezza).

MORE: Deflessione gravitazionale della luce



https://briankoberlein.com/2014/05/19/einstein-eddington/

“lente gravitazionale”

Un raggio di luce, quando passa vicino al Sole viene deflesso, proprio come una lente.

Il fenomeno è stato oservato per la prima volta durante l’eclisse del 1919.

Le misure confermarono in pieno le previsioni di Einstein.

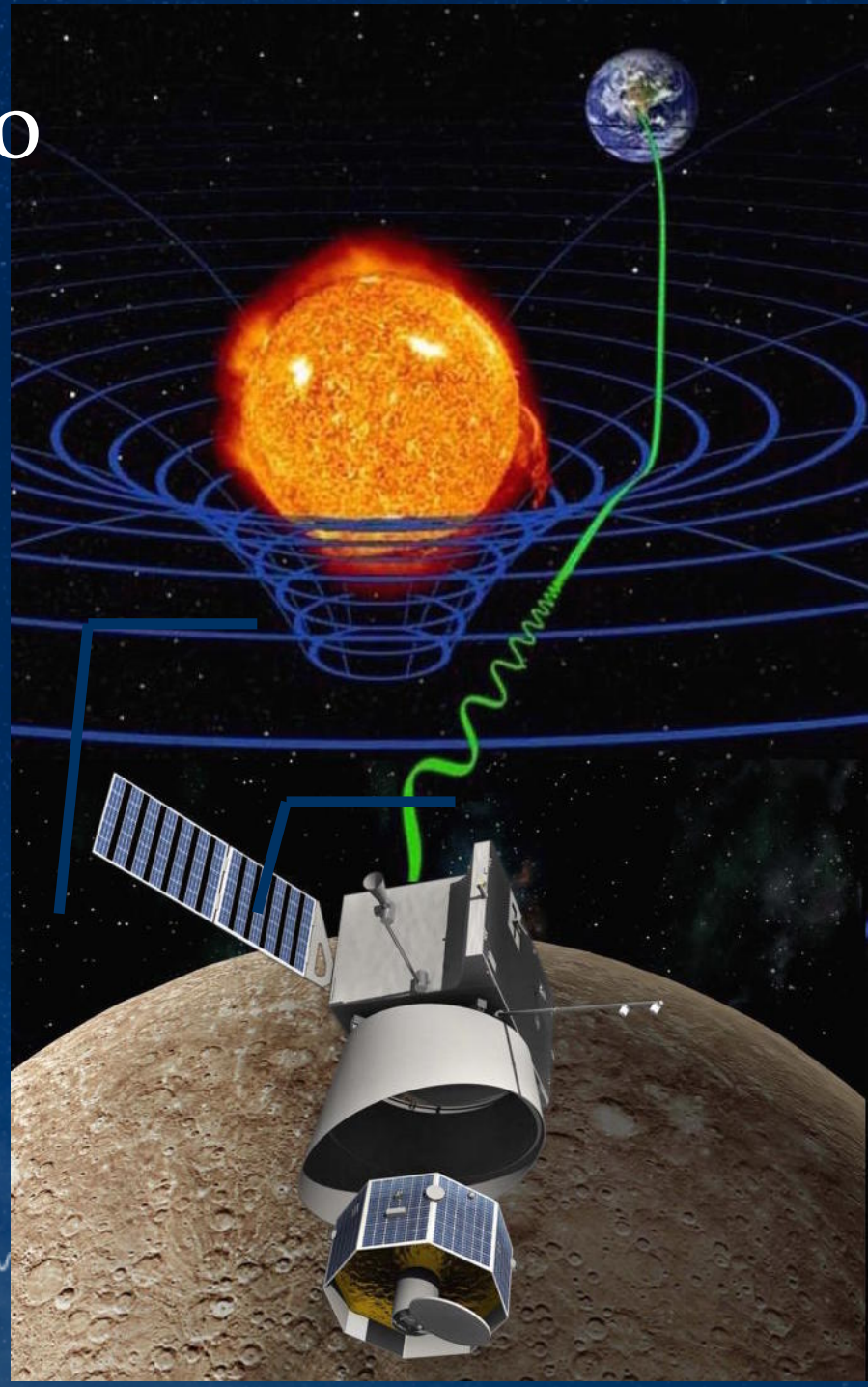
MORE: Deflessione del segnale radio

Lo stesso fenomeno avviene con le onde radio: si misura un “ritardo” nel tempo di percorrenza sorgente-ricevitore.

Nella fase di crociera si verificheranno alcuni allineamenti BepiColombo-Sole-Terra. In questi casi il segnale radio passa molto vicino al Sole ed è possibile misurarne il ritardo.

La teoria della Relatività ci dà una formula per l’ammontare del ritardo: E’ quindi possibile verificare sperimentalmente fino a che punto essa è corretta.

BepiColombo lo verificherà con la **precisione** di **una parte su un milione**.



ISA: Italian Spring Accelerometer

PI: prof. Valerio Iafolla IAPS/INAF, CO-PI: Dott. Francesco Santoli

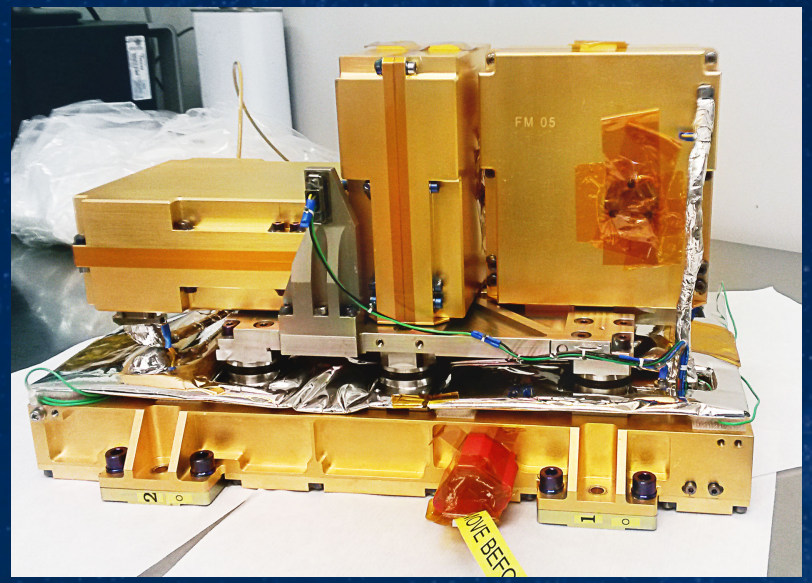
ISA è un accelerometro massa-molla ad alta sensibilità

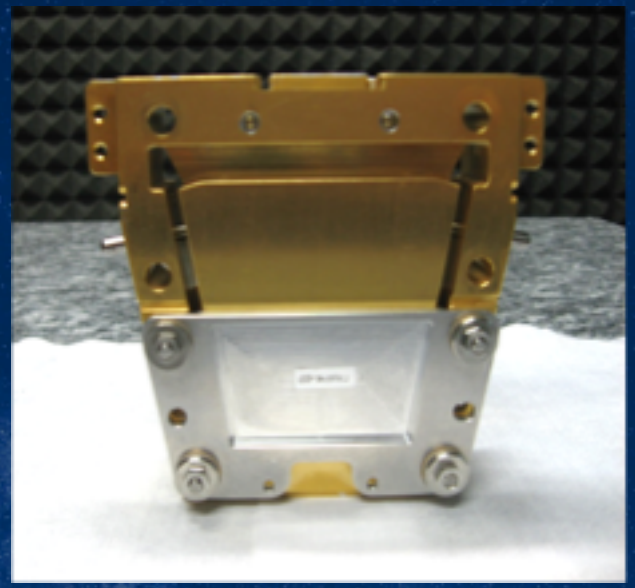
Primo accelerometro di questo tipo a essere bordo di una missione interplanetaria.

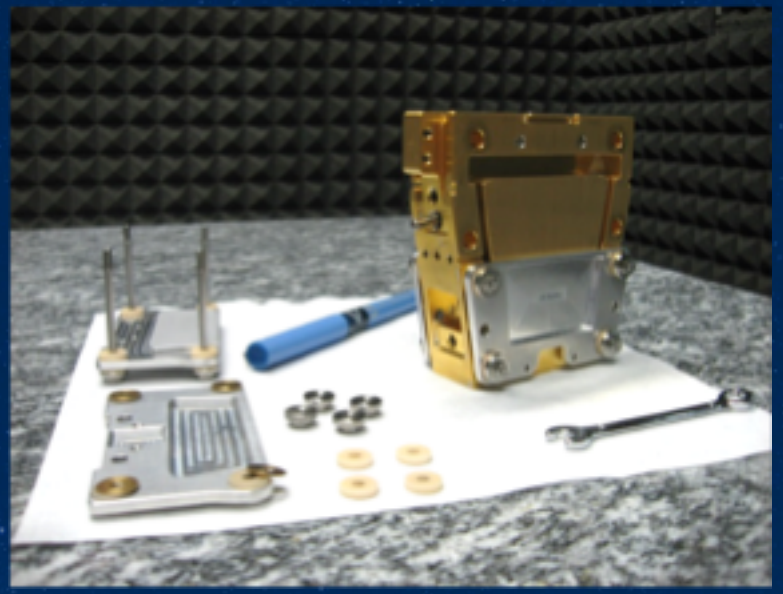
Sensibilità: 0.00000001 m/s^2

Obiettivo: misura delle accelerazioni non-gravitazionali.

ISA: Italian Spring Accelerometer



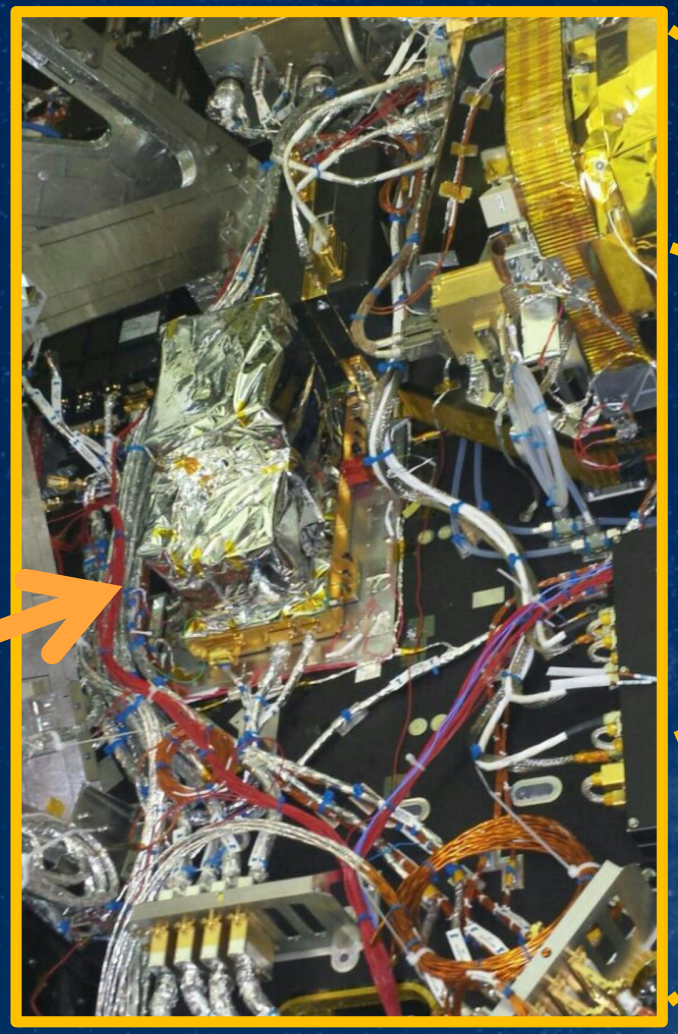




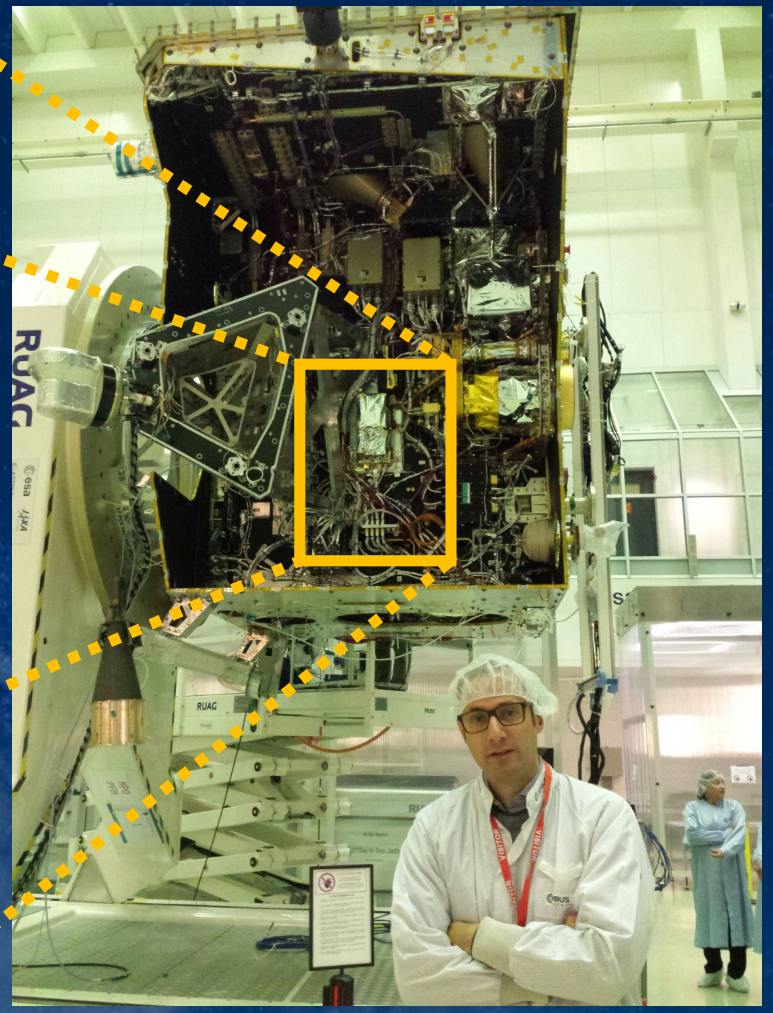
Le misure di ISA, combinate con l'esperimento MORE, permetteranno di determinare la **gravità di Mercurio** e verificare alcune **previsioni della Relatività Generale di Einstein.**

Principale perturbazione misurata: **pressione della radiazione solare**, ossia la spinta prodotta dalla luce del Sole sul satellite.

ISA: Italian Spring Accelerometer



ISA



MPO

ISA: Italian Spring Accelerometer

ISA e MORE, un esperimento in cooperazione.

Bep-it! Un gruppo di comunicazione italiano per BepiColombo

Bep-it
BEPICOLOMBO MISSION ITALIAN OUTREACH

Fabrizio De Marchi
Valentina Galluzzi
Valeria Mangano
Carmelo Magnafico
Cristina Re

La nostra mission:
Divulgazione di notizie e curiosità relative a BepiColombo.
Con particolare enfasi riguardo ai 4 strumenti italiani.

Seguiteci:

www.twitter.com@bepit_outreach

www.instagram.com@bepit_outreach

Grazie per l’attenzione.

Per le foto e i video un sentito grazie ad:

esa

asi agenzia spaziale italiana

INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

ThalesAlenia Space

bepicolombo