



UNIVERSITA'  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze  
Anno Accademico 2015-2016

# Studio della stabilità termica di minerali considerati tipici della superficie di Mercurio

Laurea Triennale in Scienze Geologiche

Relatore: Prof. Fabrizio Nestola

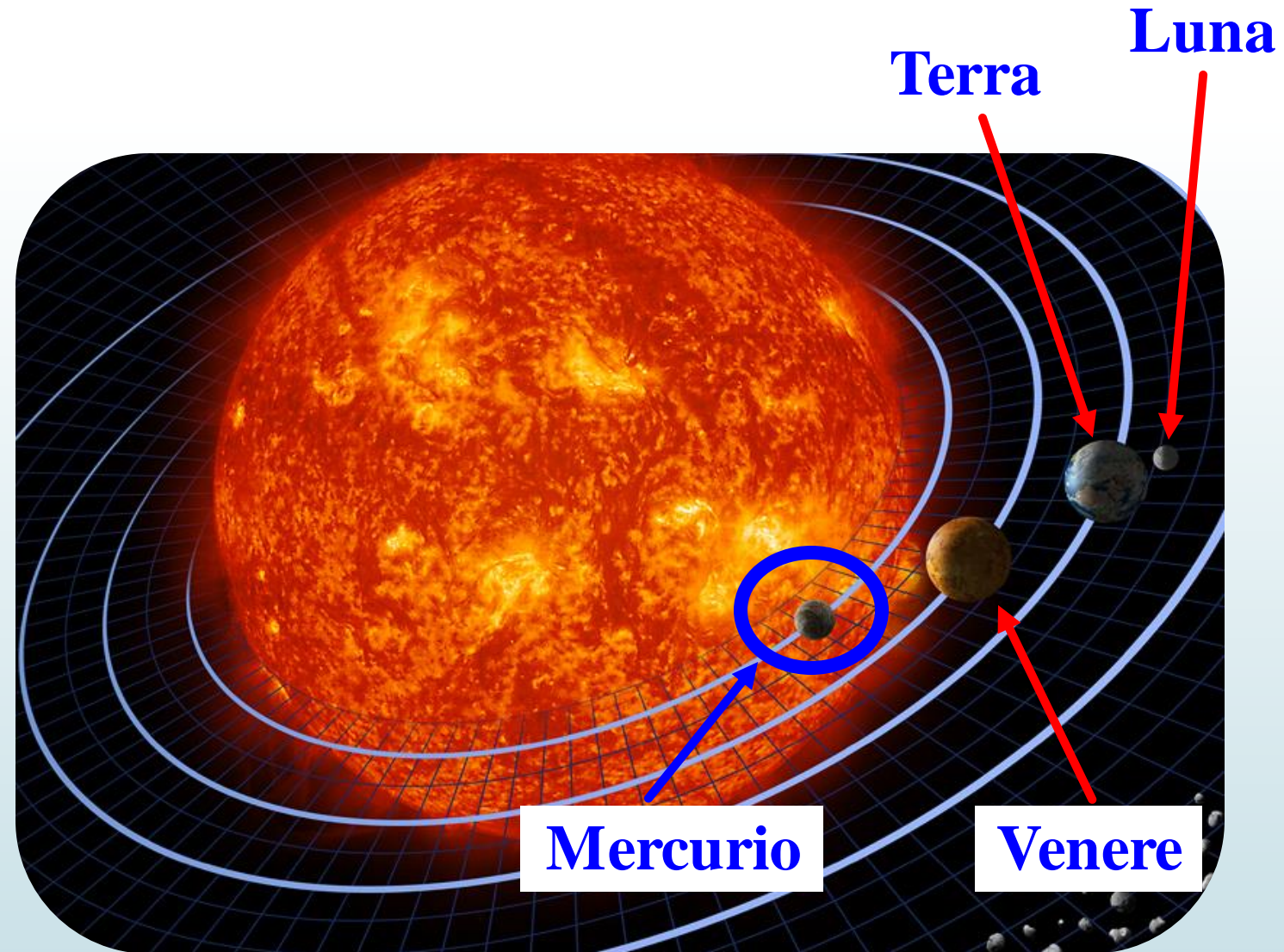
Laureanda: Anna Barbaro

# SCOPO DEL LAVORO

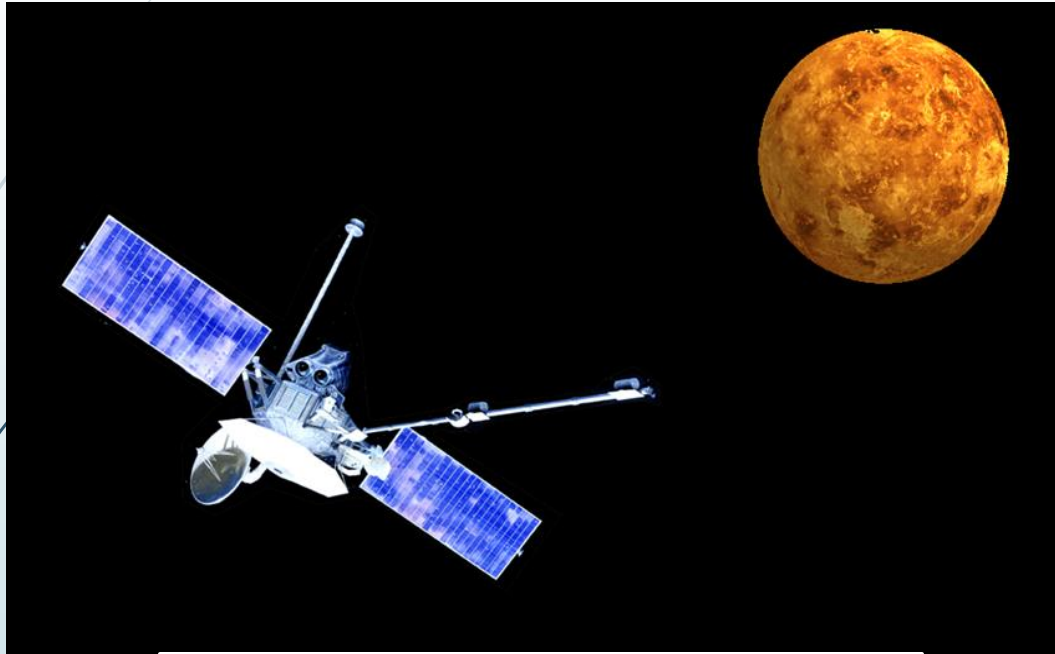
Determinare il comportamento di alta temperatura, in situ, del solfuro di calcio, CaS, sottoposto alle stesse temperature che si possono generare sulla superficie di Mercurio con lo scopo di validare la sua possibile presenza sul pianeta

# MERCURIO

- Pianeta roccioso del sistema solare. Primo in ordine di distanza dal Sole.
- Raggio: 2440 km
- Densità stimata molto vicina a quella terrestre:  $5.43 \text{ g/cm}^3$
- Moto di Rotazione: 58 giorni
- Moto di Rivoluzione: 88 giorni

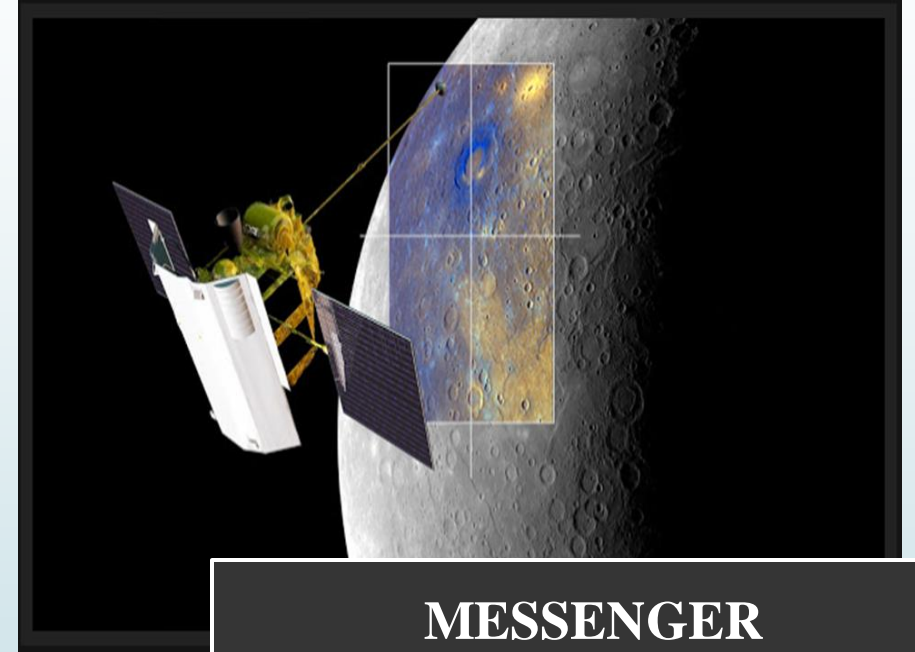


## Sonde che hanno investigato il pianeta



**Mariner10 (1974-1975)**

- **45% della superficie del pianeta fotografata.**
- **Rilevò la presenza di un campo magnetico sul pianeta.**
- **Studio delle caratteristiche fisiche della superficie di Mercurio.**



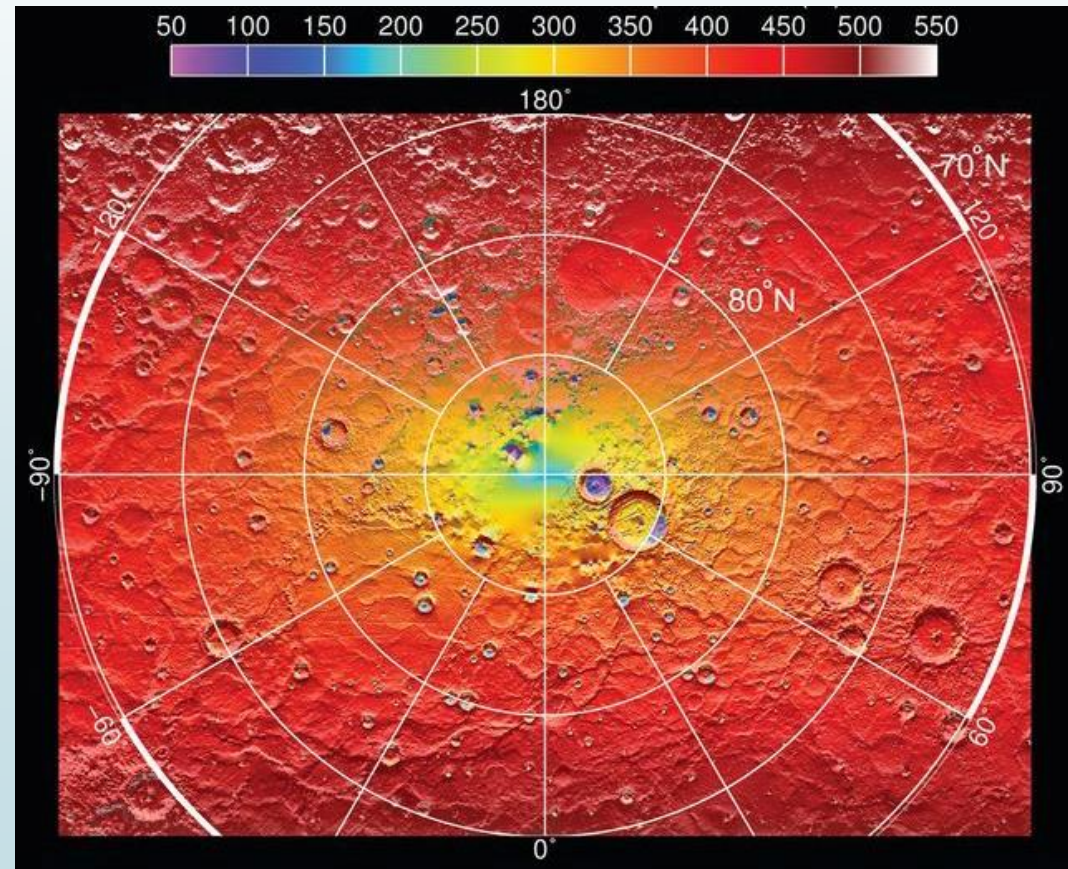
**MESSENGER  
(2004-2015)**

- **Acquisizione migliore delle immagini**
- **Spettrometro XRS e MASCS (Mercury Atmospheric and Surface Composition)**

# Variazione di temperatura sulla superficie di Mercurio

Grazie alle informazioni derivanti dalle sonde è stato possibile stimare che la temperatura sulla superficie di Mercurio oscilla tra circa  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una variazione di circa  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tali variazioni si possono avere sia in funzione della latitudine che dell'orario giornaliero.

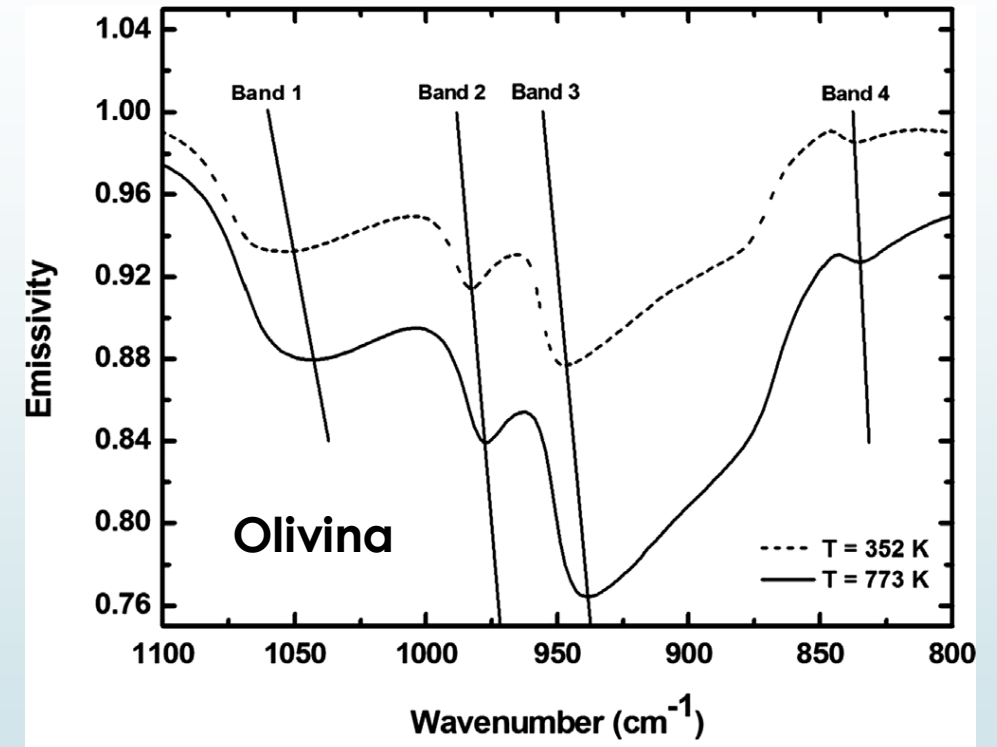
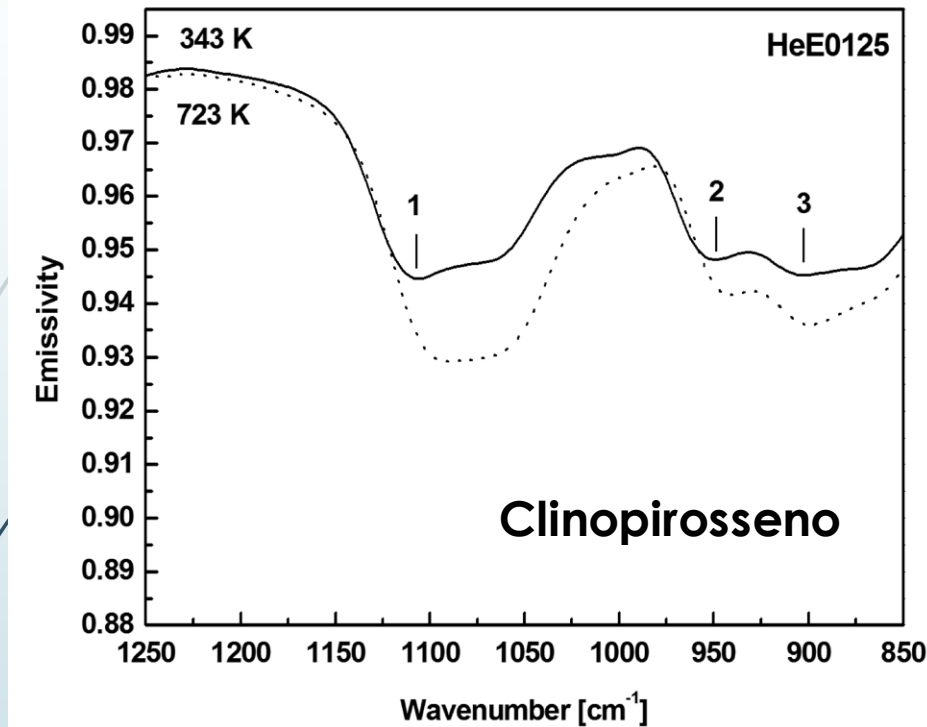
Gli effetti della temperatura sulla struttura e la densità dei minerali e delle rocce presenti sulla superficie del pianeta possono essere estremamente importanti e invalidare qualsiasi tentativo di identificazione mineralogica tramite la prossima missione BepiColombo che verrà lanciata nel 2017 con arrivo in orbita di Mercurio nel 2024.



**Esempio di mappatura  
calcolata  
delle temperature (in K)  
in funzione della latitudine  
sulla superficie di Mercurio**

# Mineralogia di Mercurio (sulla base dei dati ottenuti da Messenger)

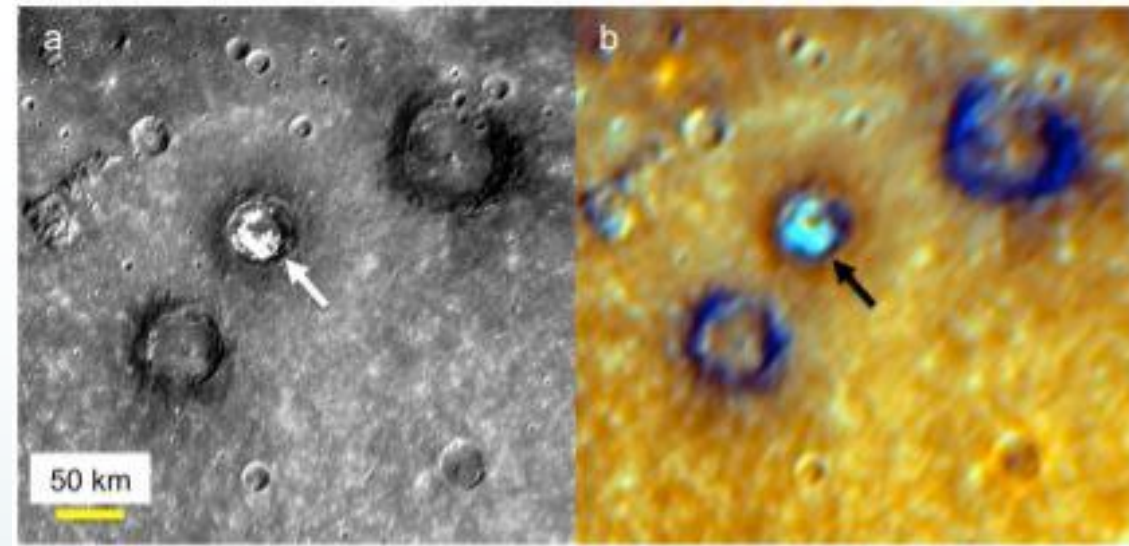
- Minerali candidati: Feldspati, Clinopirosseni, Olivina, Solfuri.



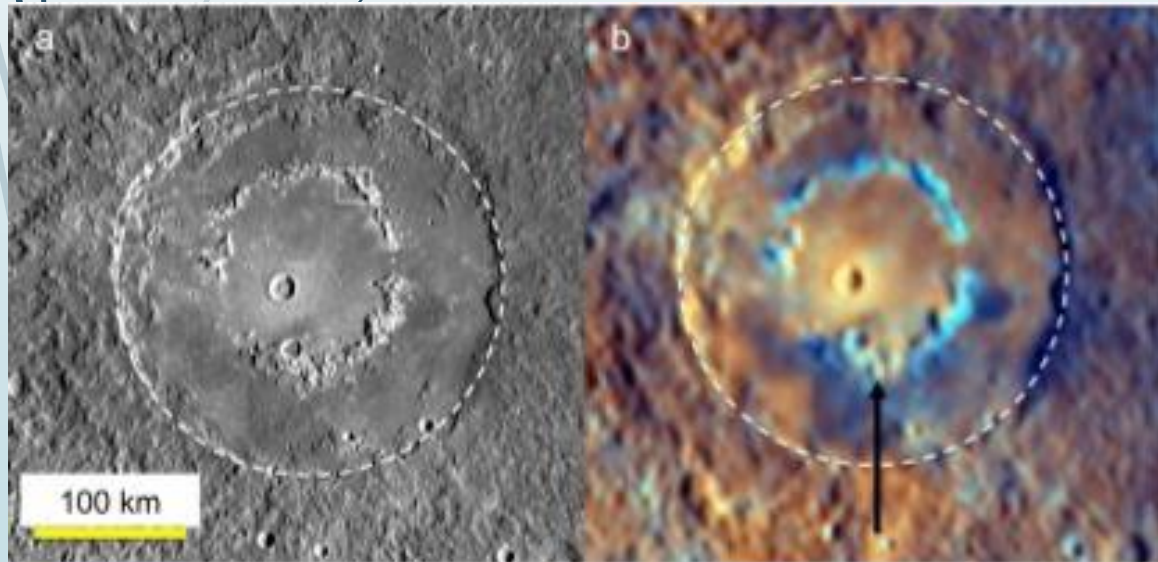
Mentre feldspati, clinopirosseni e olivina, in relazione alla loro possibile presenza sulla superficie di Mercurio, sono stati estensivamente studiati, i solfuri al contrario sono stati raramente studiati...

## SOLFURI e MERCURIO

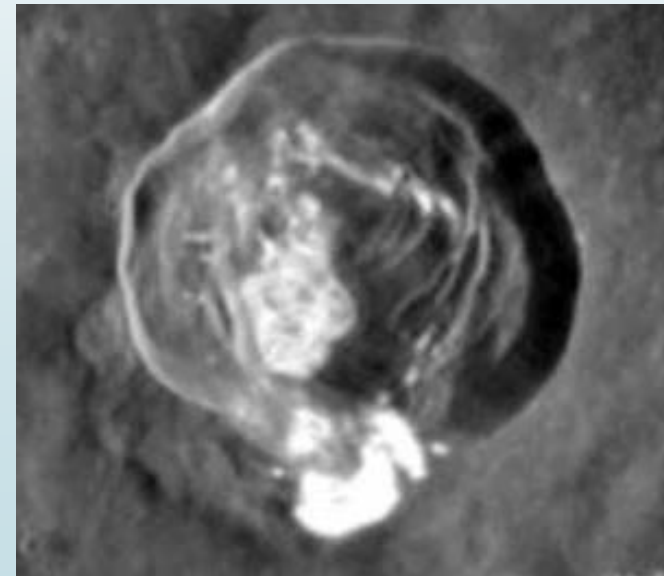
Vilas et al. (2016) e molte referenze citate in questa recente pubblicazione propongono che i solfuri di Mg e Ca, MgS e CaS, siano le fasi mineralogiche molto comuni in porzioni importanti di moltissimi crateri.



**Cratere Sander**  
(47 km di diametro, 42°N 155°E)



**Cratere Raditladi**  
(265 km di diametro, 27°N 119°E)



**Cratere Dominici**  
(20 km di diametro, 1°N 323°E)

Vilas et al. (2014) affermano che una combinazione costituita dal 20% di MgS e 80% di CaS fornirebbero valori di riflettanza molto simili a quelli ottenuti durante la missione MESSENGER per il cratere Dominici

## SOLFURI e MERCURIO

**Possono davvero essere stabili  
i solfuri di Mg e Ca  
alle condizioni di temperatura  
tipiche  
della superficie di Mercurio?**

**Attualmente, non esistono dati di espansione termica sul CaS ma Helbert et al. (2013) riportano che il CaS si decompone già prima di raggiungere i 500°C in vuoto**



Immagine di campione contenente  
oldhamite naturale (Ca,Mg)S  
(sorgente: [www.mindat.org](http://www.mindat.org))



**NEL PRESENTE LAVORO DI TESI E' STATO STUDIATO  
IL COMPORTAMENTO IN ALTA TEMPERATURA DEL  
SOLFURO DI CALCIO  
IN UN RANGE DI TEMPERATURE CHE VANNO DA 25 A 650 °C**

**OLDHAMITE**

**CaS**

**Gruppo spaziale: *Fm3m***



**LO STUDIO E' STATO ESEGUITO IN DIFFRAZIONE A RAGGI X  
SULLO STESSO CAMPIONE INVESTIGATO  
DALL'INSTITUTE OF PLANETARY RESEARCH DI BERLINO**

# ANALISI E RISULTATI



Analisi in diffrazione RX polveri  
in condizioni ambientali



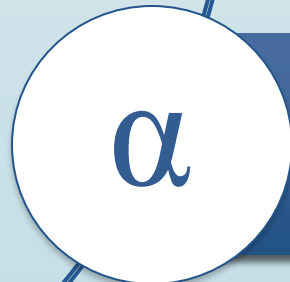
Analisi in diffrazione RX polveri  
in camera calda



In  $N_2$



In aria

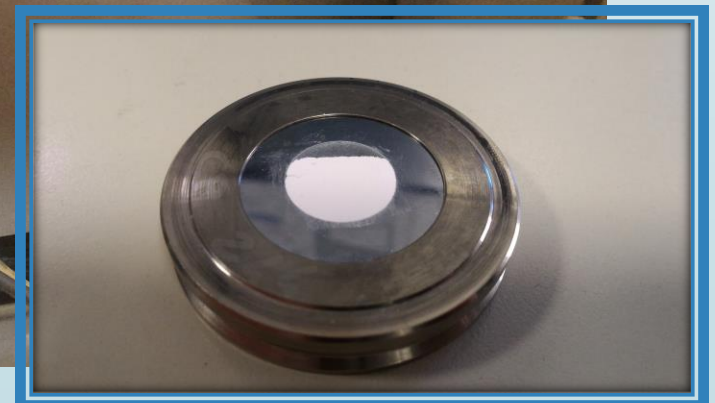
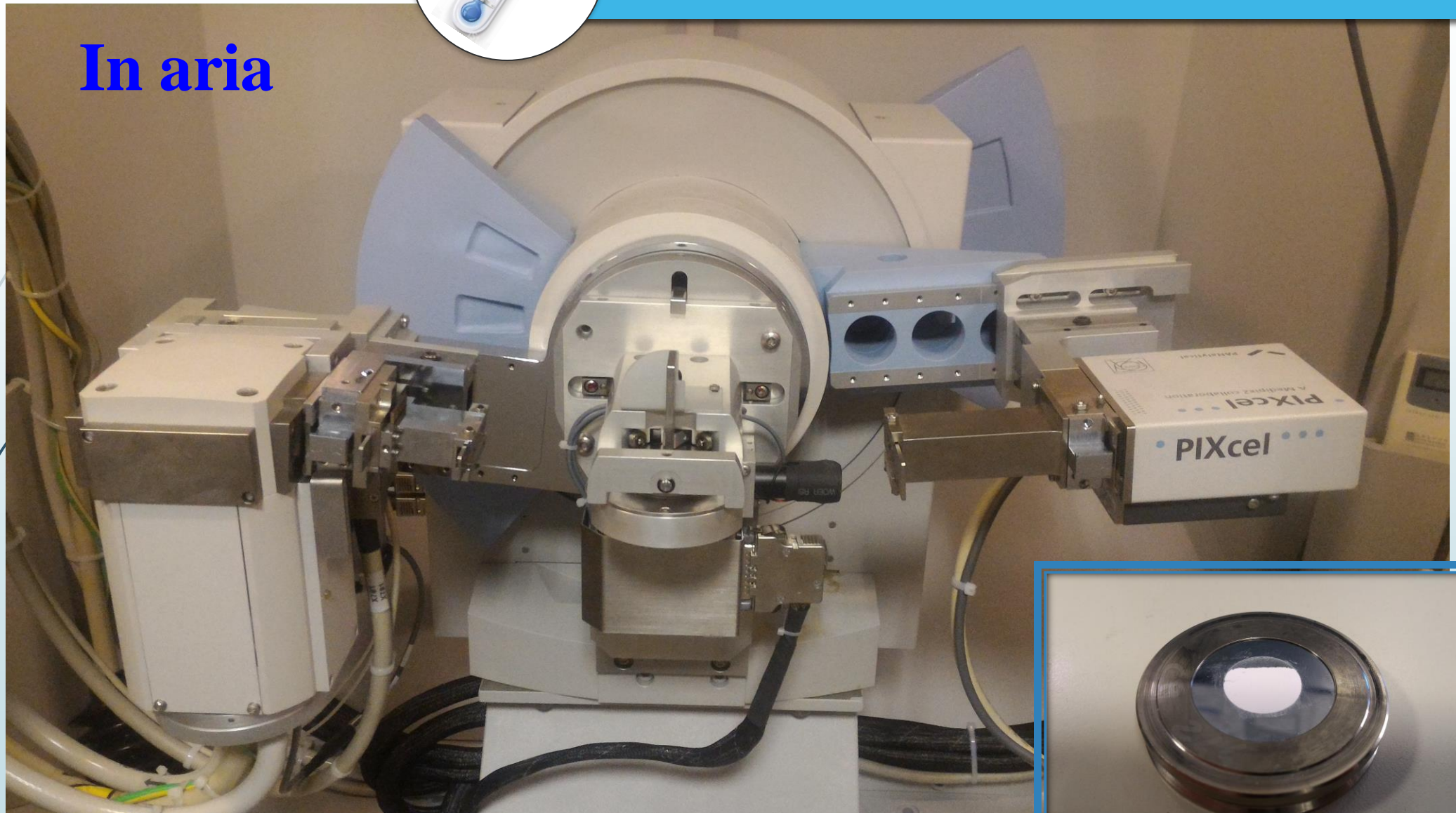


Espansione termica del CaS

# Analisi in diffrazione RX polveri in condizioni ambientali

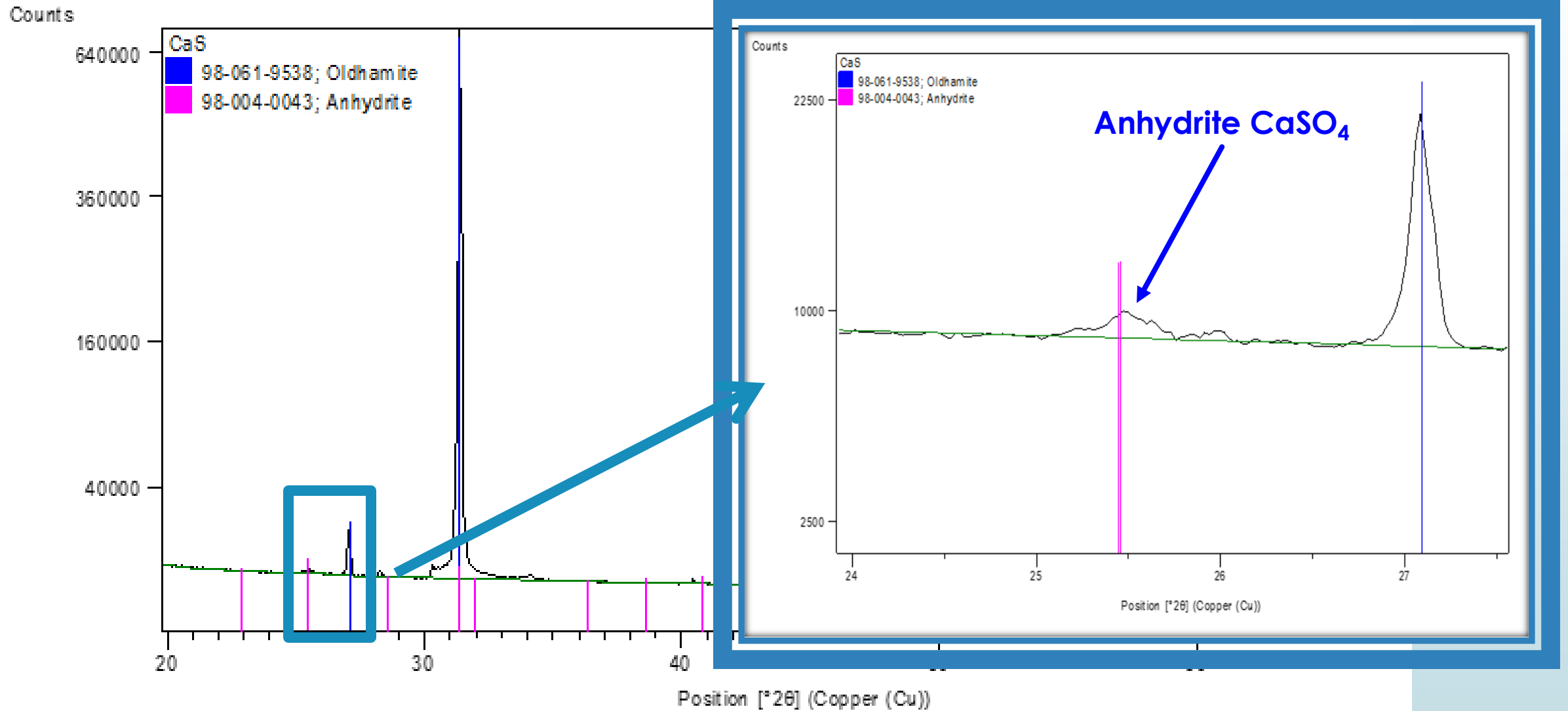


In aria





# Analisi in diffrazione RX polveri in condizioni ambientali



# Analisi in diffrazione RX polveri in camera calda



## In flusso di $N_2$

$\lambda_{Co} = 1.7890$

Rampa di 25°C da T ambiente a 525 °C

**Condizioni analitiche nella camera calda:** flusso di azoto (0.6 l/min).

**Condizioni ambientali del laboratorio:** 25 gradi e 18% di umidità.

Instrument	Panalytical X'Pert Pro (Bragg Brentano geometry, theta-theta)
Tube type and settings	Long Fine Focus tube with Co anode, 40kV e 40mA
Detector	X'Celerator
Sample support	Platinum foil upon platinum heating strip
Sample stage	High Temperature Chamber (model: HTK 1600, Anton Paar)
Optical elements	divergent slit 1/2°, antiscatter slit 1°, soller slit 0.04 rad,
Acquisition range and rate	6-74° 2theta, virtual step 0,033° 2theta, 100s x step.

In flusso di  $N_2$



Analisi in diffrazione RX polveri  
in camera calda



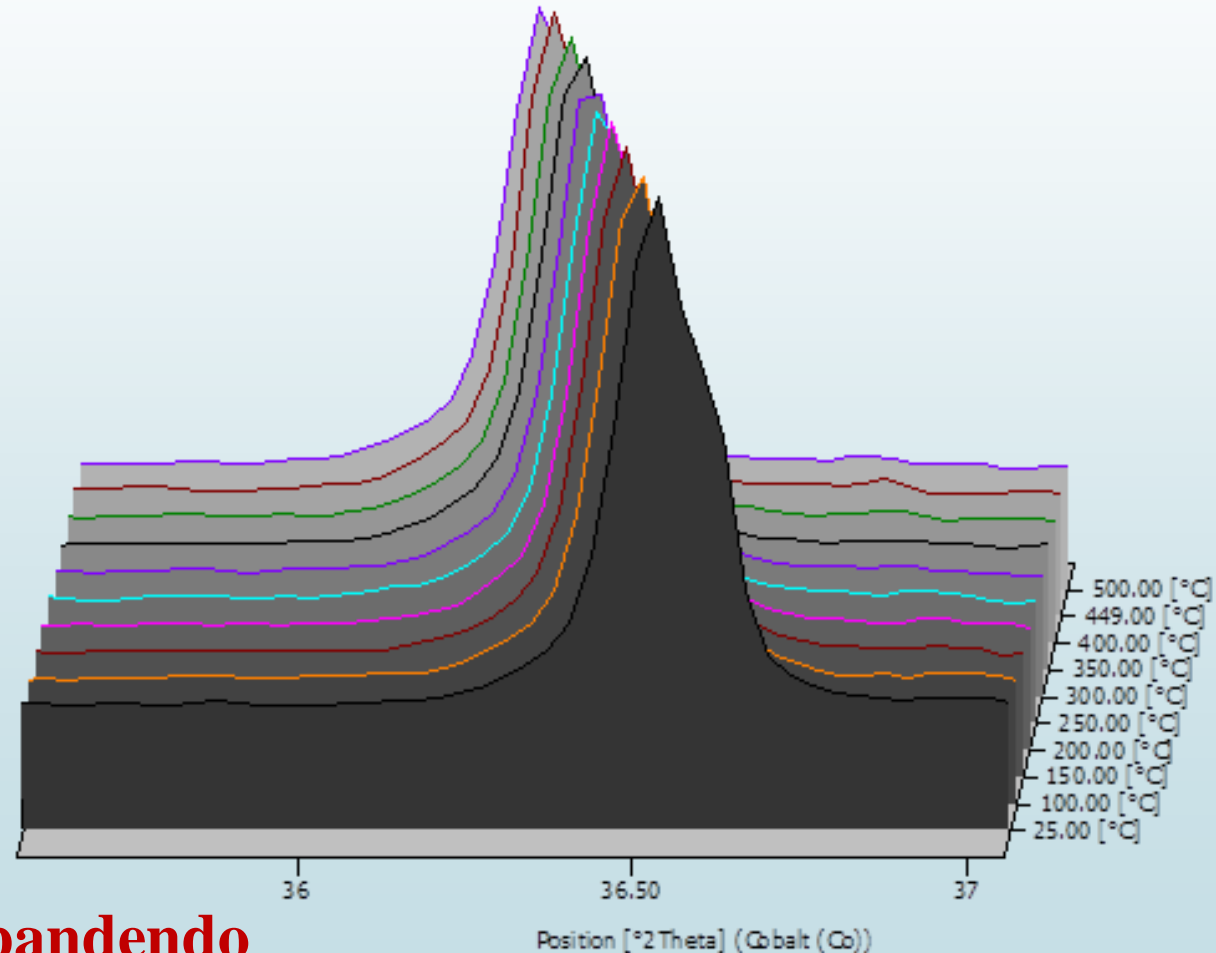


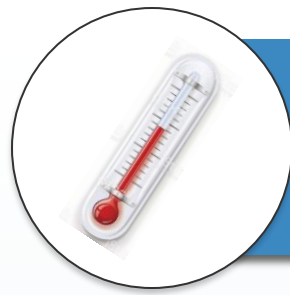
## Analisi in diffrazione RX polveri In camera calda in situ

**Evoluzione del picco di diffrazione più intenso della oldhamite (200) in funzione della temperatura**

**Si osserva uno shift significativo e lineare verso valori inferiori di  $2\theta$  (tipico comportamento di un innalzamento di temperatura sul campione)**

**L'assenza di discontinuità nello shift indica che nel range di temperature investigato non si verificano transizioni di fase e che la cella elementare si sta fortemente espandendo**



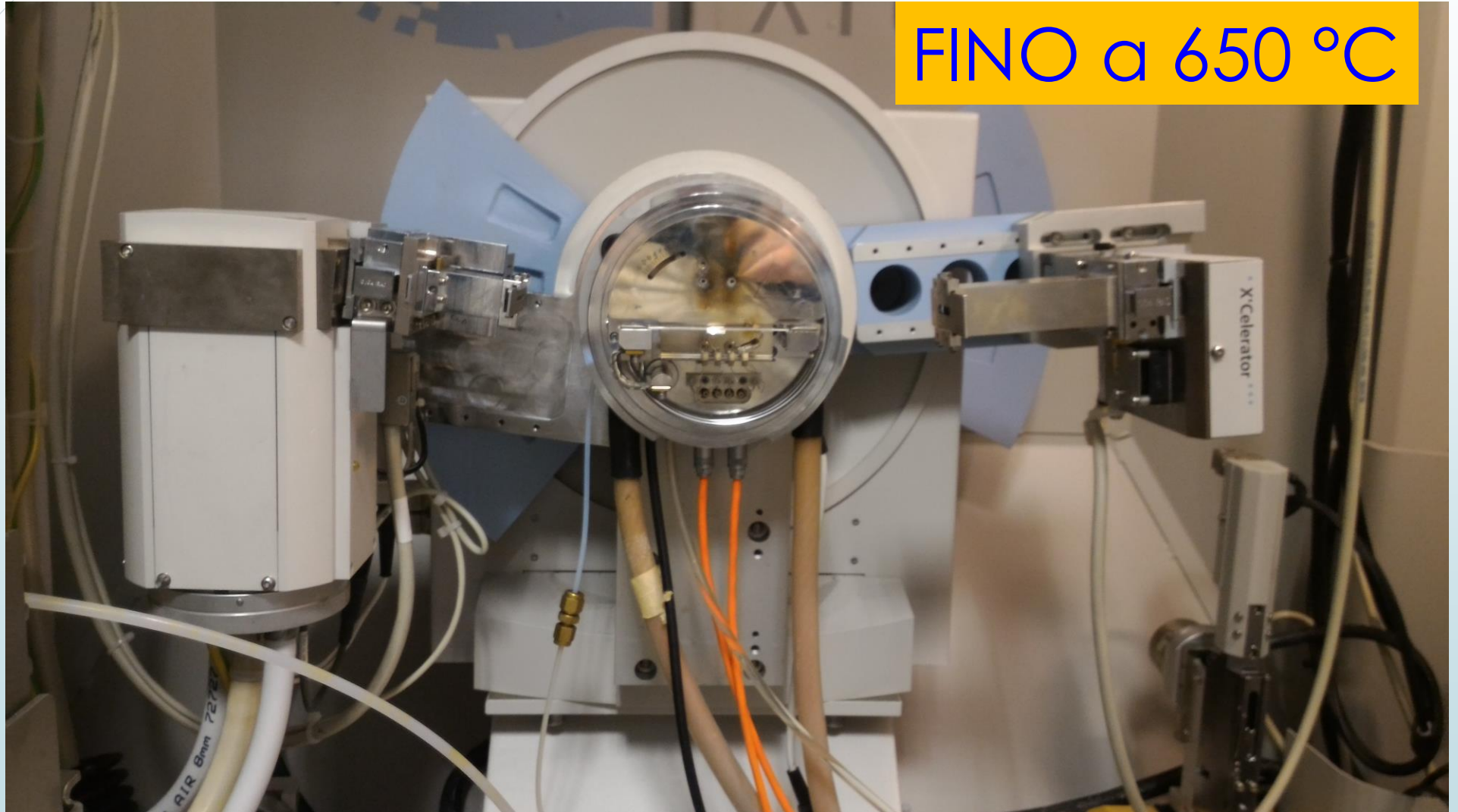


# Analisi in diffrazione RX polveri in camera calda

In aria

$\lambda_{Co} = 1.7890$

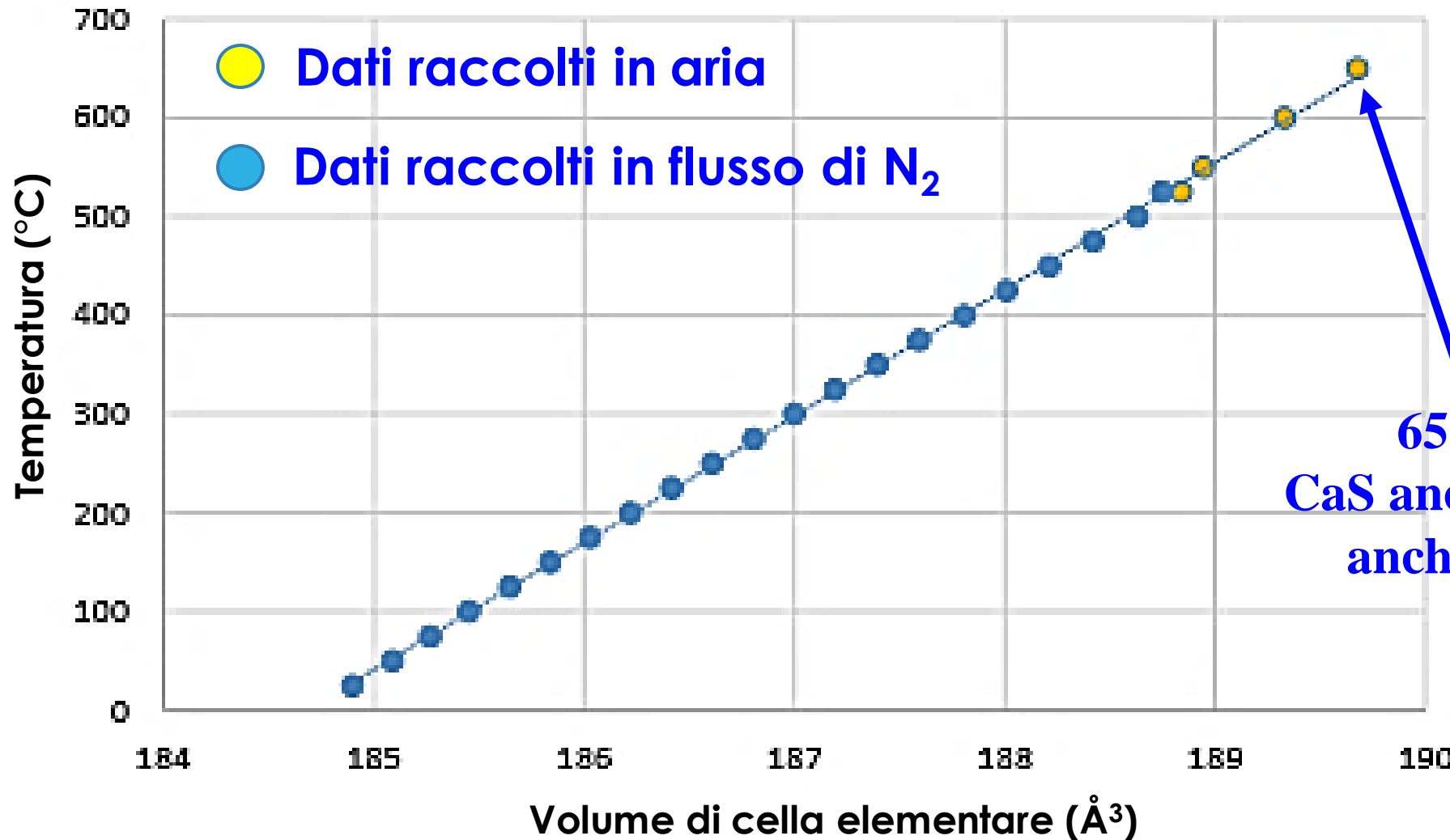
FINO a 650 °C





$\alpha$

## Espansione termica del CaS

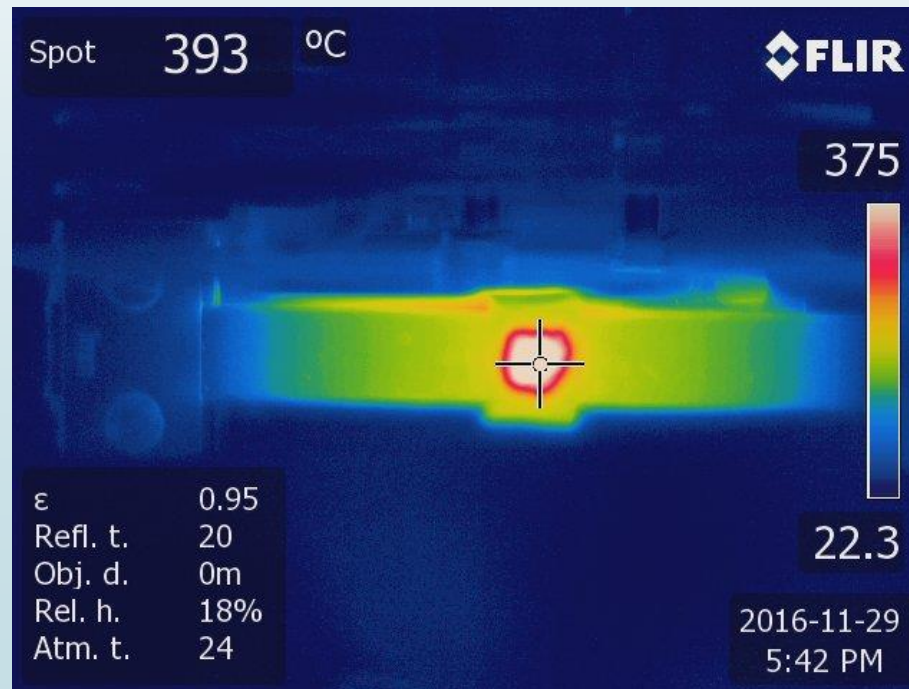


$\alpha$

## Espansione termica del CaS

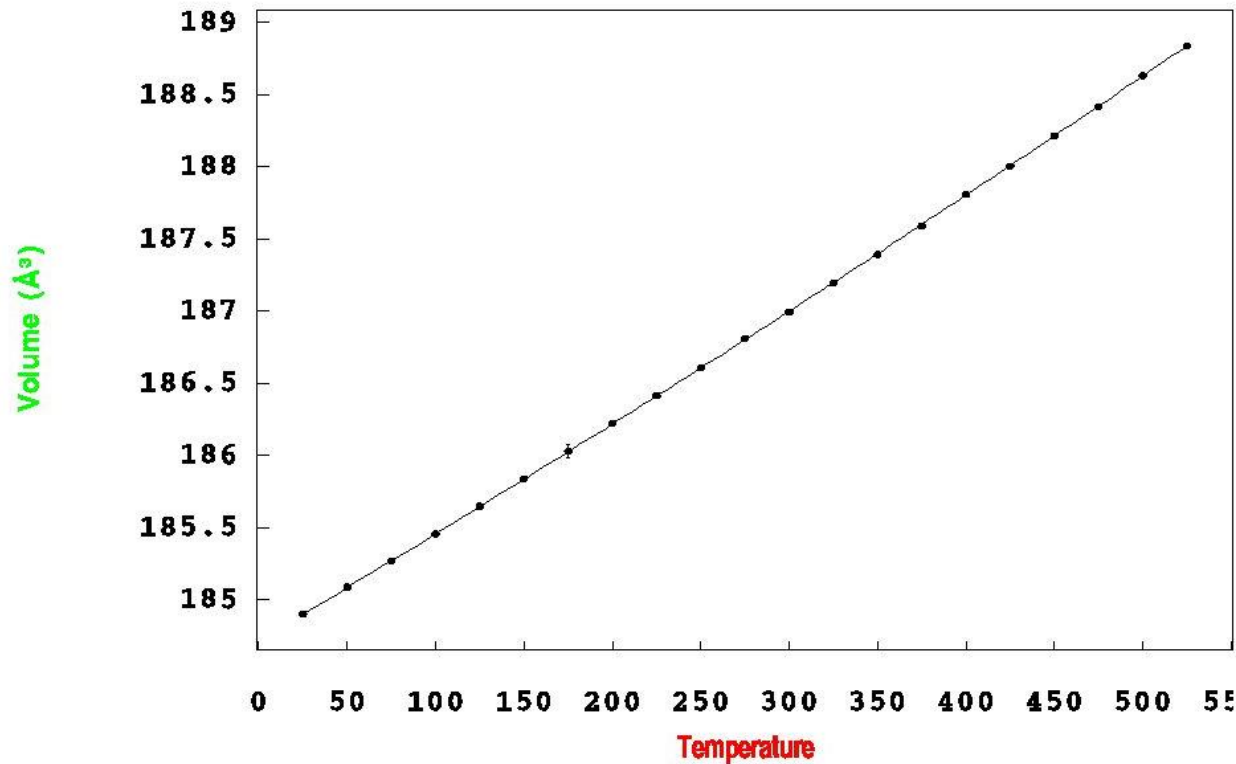
**TERMOCAMERA A EMISSIVITA': un approccio promettente**

**Una volta nota l'emissività di un campione in studio e ben calibrando la termocamera presente presso il Dipartimento di Geoscienze si potrebbero ottenere dati di temperatura in situ in modo indipendente e senza standard interni al campione.**



$\alpha$ 

## Espansione termica del CaS



Trattazione dei dati tramite il software  
**EoSFit7GUI (Angel et al. 2016).**

L'equazione di stato di **Berman** descrive al meglio il campione alle condizioni fisiche utilizzate.

**Parametri ottenuti dall'equazione di stato**  
(solo utilizzando i dati in flusso di N<sub>2</sub>)

$$V_0 = 184.900(5) \text{ \AA}^3$$

$$\alpha_0 = 3.97(3) 10^{-5}/\text{K}$$

$$\alpha_1 = 1.17(11)$$

L'altissima qualità dei dati è testimoniata dalla differenza tra il volume a T ambiente sperimentale e quello dato dall'equazione di stato

$$\Delta V = 0.001 \text{ \AA}^3$$

(differenza minore dell'incertezza sperimentale)

$\alpha$ 

## Espansione termica del CaS: un confronto

Espansione termica ( $\alpha_0$  in  $10^{-5}\text{K}^{-1}$ ) di alcuni solfuri:

CuS	1.2-2.1	Selivanov et al. (2007)
FeS	1.02	Selivanov et al. (2008)
ZnS	0.69-1.03	Roberts et al. (1981)
Ag <sub>2</sub> S	2.2-2.4	Sadovnikov et al. (2016)
PbS	1.3	Skelton et al. (2014)
CdS	0.42	Lakshmi e Ramanchadran (2006)

**CaS in questo studio**  
 $\alpha_0 = 3.97(3) 10^{-5}\text{K}^{-1}$

**Il CaS subisce un'espansione termica molto maggiore rispetto ad altri solfuri**

# CONCLUSIONI

- **Il solfuro di Ca, CaS, è senza dubbio stabile nel range di temperature presenti sulla superficie di Mercurio**
- **La sua espansione termica è decisamente superiore a quella di molti altri solfuri e mostra un valore  $\alpha_V = 3.96 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$**
- **Il materiale di partenza studiato in condizioni ambientali e ad una umidità del 18% e 25°C mostra percentuali di CaSO<sub>4</sub> inferiori a 1-2%. Durante la fase di riscaldamento e fino alla massima temperatura raggiunta di 650°C anche in aria tale percentuale non è aumentata. Questo potrebbe indicare una forte stabilità del CaS almeno fino a temperature ben superiori a quelle presenti sulla superficie di Mercurio**
- **Un tale coefficiente di espansione termica può causare significativi shift nei picchi degli spettri IR, spettri che verranno raccolti dalla prossima missione su Mercurio BepiColombo e che verranno utilizzati per l'identificazione mineralogica sul pianeta**

# Future spedizioni nell'orbita di Mercurio

**Missione Bepi Colombo, missione dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea) in collaborazione con la JAXA (Agenzia Spaziale Giapponese)**

**Lancio nel 2017**

**Inserzione nell'orbita di Mercurio per il 2024**

Tra i suoi compiti ci sarà quello di indagare la superficie di Mercurio.



**Verranno raccolti spettri IR della superficie con lo scopo di identificare i minerali presenti. Nella loro interpretazione dovrà certamente essere considerata l'espansione termica dei minerali e ancor di più del CaS che mostra espansioni molto maggiori di altri silicati.**

Grazie per la vostra  
attenzione...

34.8



16.0

$\epsilon$	0.88
Ref. t.	20
Obj. d.	0m
Rel. e.	210%