

# HEAT: evoluzione di un esperimento

Rosanna Depalo

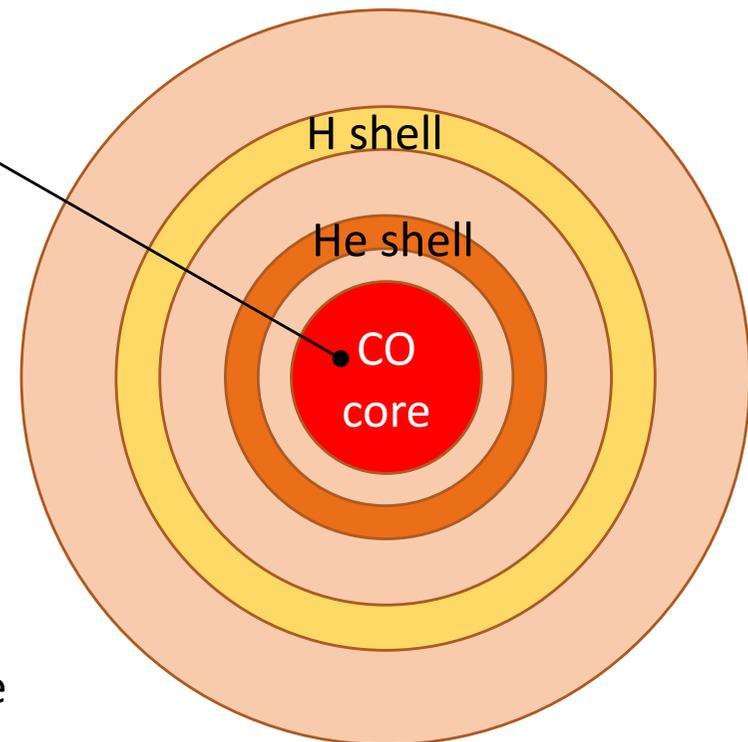
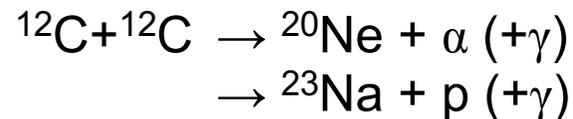
Università degli Studi di Milano e INFN Milano

# Indice

- **Introduzione:** Motivazione dell'esperimento
- **Fase 1:** Ideazione dell'esperimento e ricerca fondi
- **Fase 2:** Costruzione dell'apparato sperimentale
- **Fase 3:** Collaudo
- **Fase 4:** Presa dati e analisi dati

# Motivazione dell'esperimento: il bruciamento del carbonio nelle stelle

La fase di bruciamento del carbonio si attiva in stelle massicce (massa superiore a circa 8 masse solari).



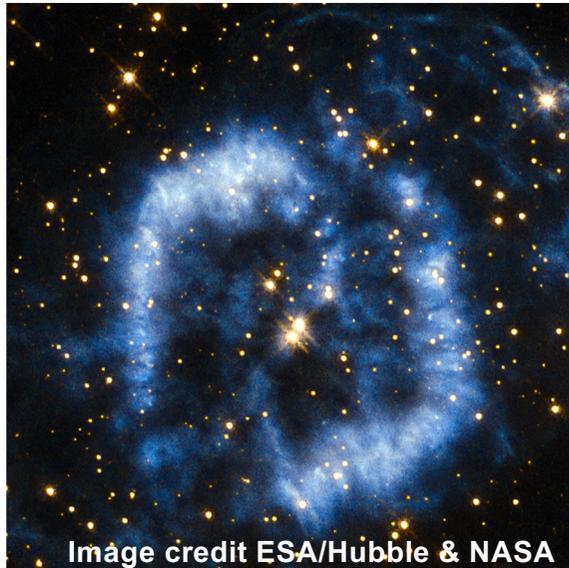
Il valore esatto della massa minima necessaria per accedere alla fase di bruciamento del carbonio dipende dalla **SEZIONE D'URTO** di queste reazioni nucleari, ovvero dalla probabilità che, una volta che due nuclei di carbonio si scontrano nel nucleo della stella, avvenga effettivamente la reazione di fusione.

# Motivazione dell'esperimento: il bruciamento del carbonio nelle stelle

La sezione d'urto della reazione  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  determina la durata della fase di bruciamento del carbonio, il tipo di elementi prodotti all'interno della stella ed il destino finale della stella

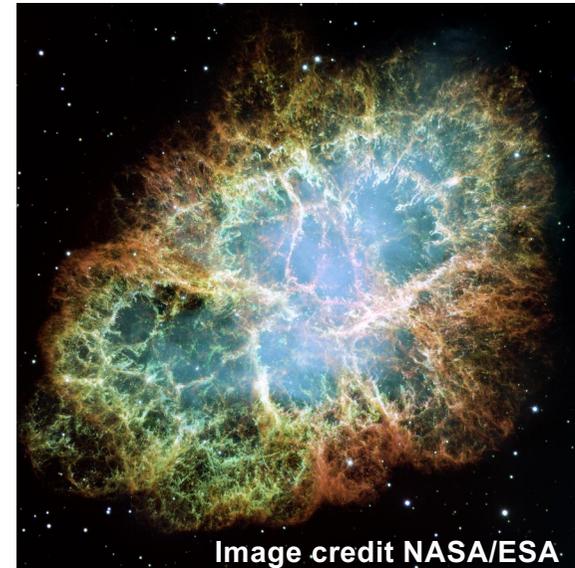
$$M < M_{\text{soglia}}$$

White dwarfs/classical novae



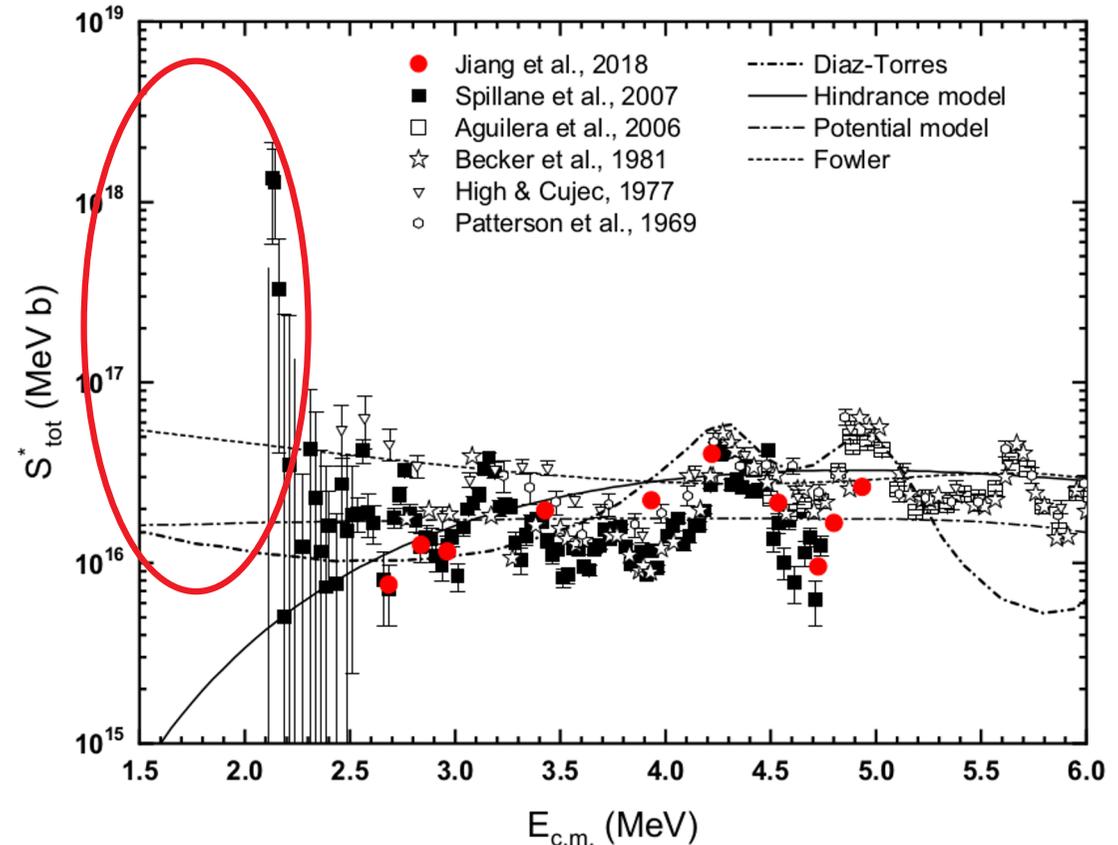
$$M > M_{\text{soglia}}$$

Supernovae → neutron stars  
and black holes



# Misure della sezione d'urto della reazione $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

Ad oggi, la sezione d'urto della fusione  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  non è mai stata misurata direttamente ad energie di interesse astrofisico

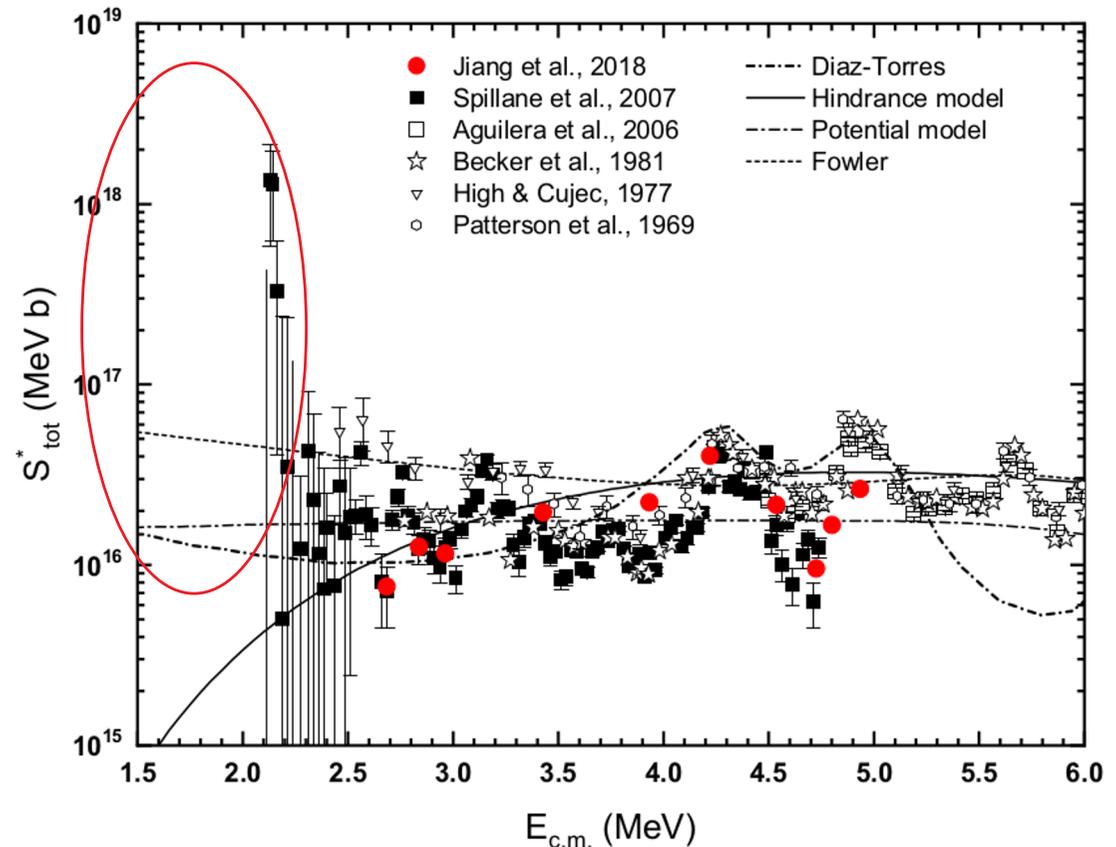


From J. Zickefoose et al. PRC97, 065806 (2018)

# Misure della sezione d'urto della reazione $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

Ad oggi, la sezione d'urto della fusione  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  non è mai stata misurata direttamente ad energie di interesse astrofisico

PERCHÉ?



From J. Zickefoose et al. PRC97, 065806 (2018)

# Misure della sezione d'urto della reazione $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

Come viene svolta la misura?



# Misure della sezione d'urto della reazione $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

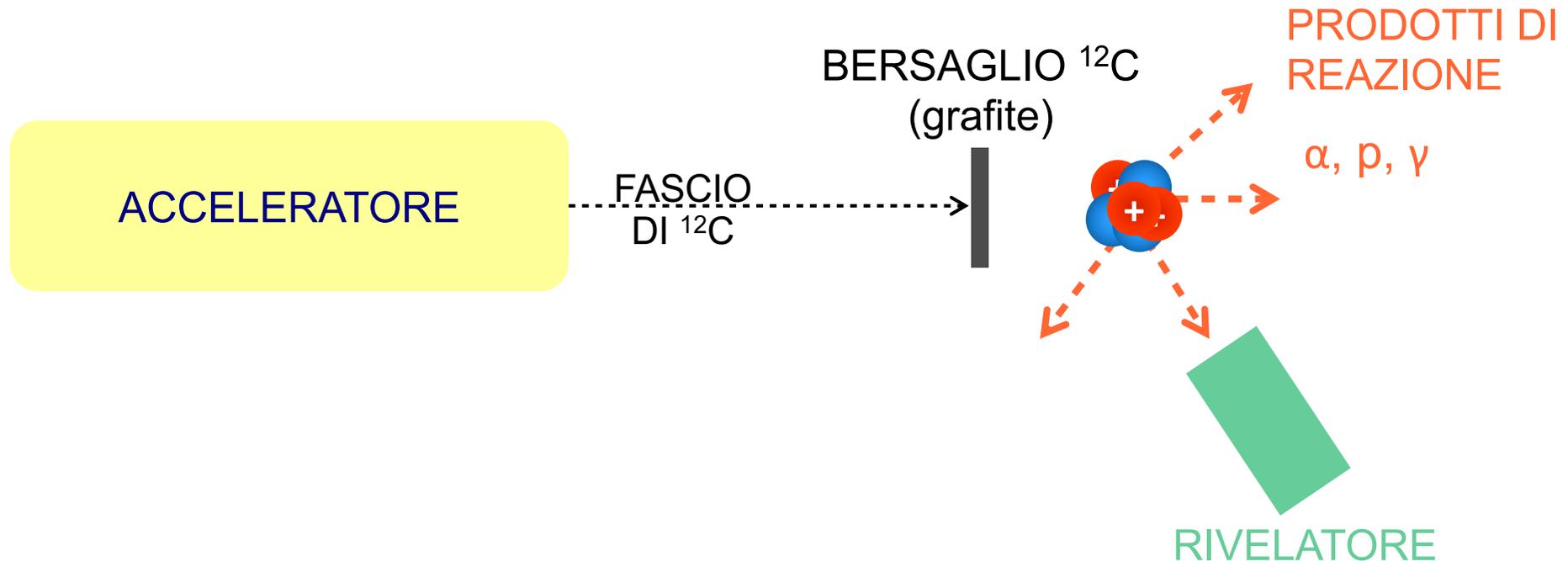
Come viene svolta la misura?



# Misure della sezione d'urto della reazione

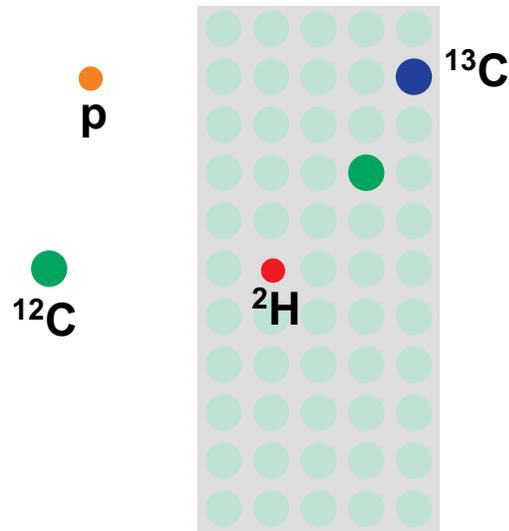
$$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$$

Come viene svolta la misura?



# Misure della sezione d'urto della reazione $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

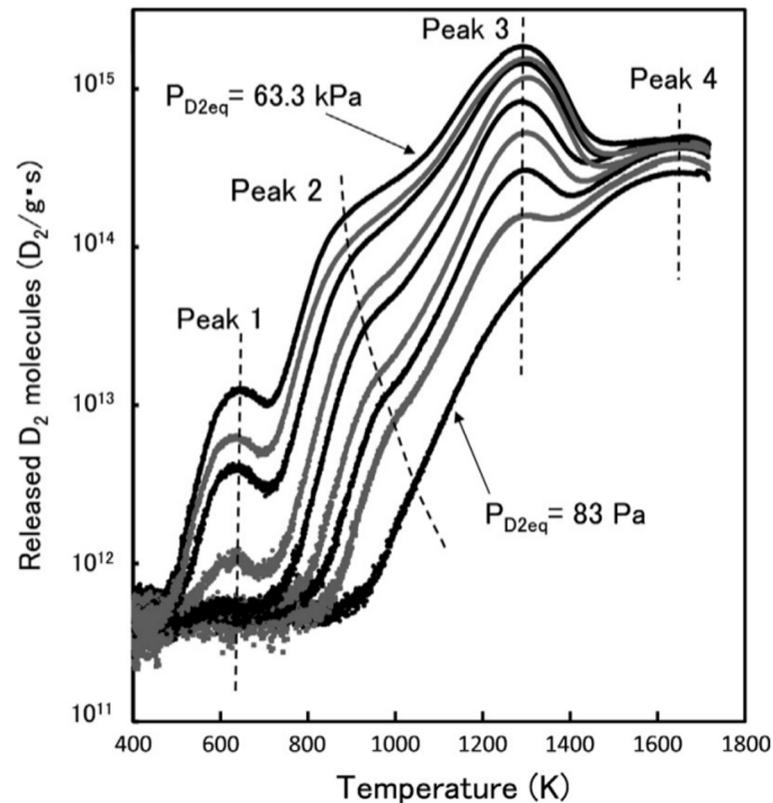
L'interazione del fascio di carbonio con impurità di  $^1\text{H}$  e  $^2\text{H}$  (abbondanza isotopica 0.01%) naturalmente presenti nella grafite produce un segnale di fondo che sovrasta quello della reazione



Spillane Phys. Rev. Lett. 98, 122501 (2007)

# Esperimento HEAT (Hydrogen dEsorption from cArbon Targets)

**IDEA DI BASE:** ridurre la contaminazione di idrogeno nei bersagli tramite riscaldamento



H. Atsumi et al. Journ. Nucl.  
Mat. 438, S963 (2013)

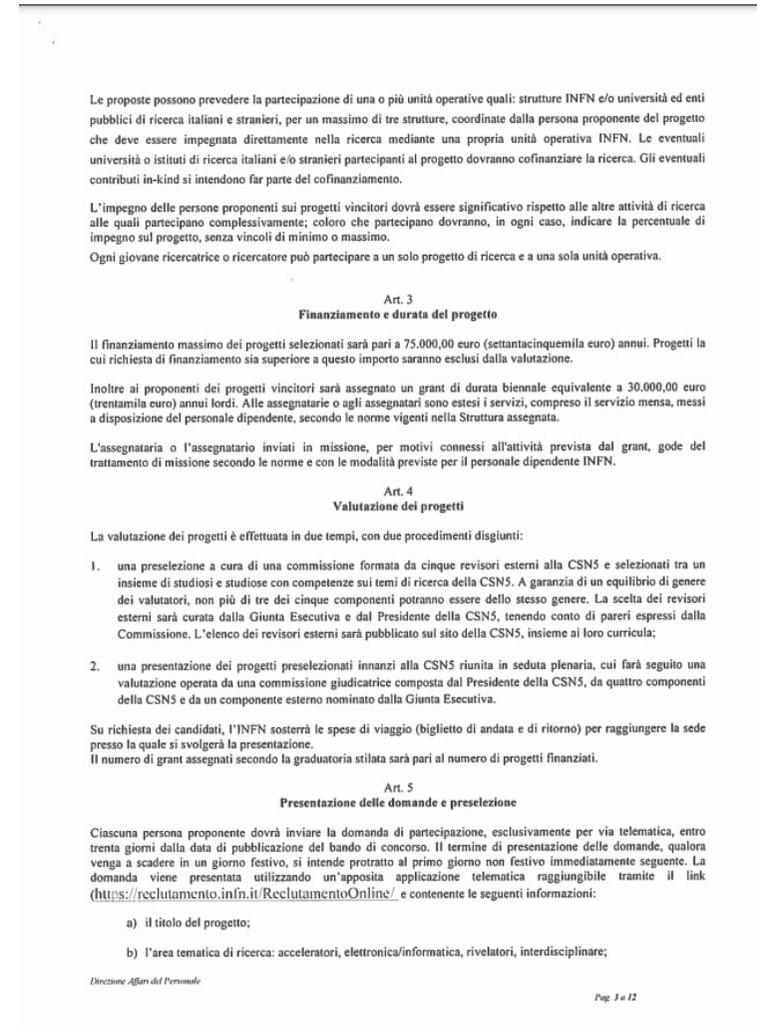
# Esperimento HEAT (Hydrogen dEsorption from cArbon Targets)

## INSIDIE NASCOSTE DIETRO L'IDEA DI BASE:

- Sviluppare un sistema in grado di riscaldare campioni ad alte temperature ( $\sim 1200^\circ\text{C}$ ) in maniera controllata e riproducibile
- Determinare una procedura efficace per il desorbimento di idrogeno (quale temperatura massima raggiungere? In quanto tempo? Ecc.)

Occorre quindi costruire un apparato che consenta di riscaldare i campioni ed analizzarli per verificare il contenuto di idrogeno prima e dopo il processo di desorbimento, il tutto in vuoto (per evitare che il campione assorba idrogeno dall'atmosfera)

# FASE 1: Ideazione dell'esperimento e ricerca fondi



# FASE 1: Ideazione dell'esperimento e ricerca fondi

Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

Le proposte possono prevedere la partecipazione di una o più unità operative quali: strutture INFN e/o università o istituti di ricerca italiani e stranieri, per un massimo di tre strutture, coordinate dalla persona proponente che deve essere impegnata direttamente nella ricerca mediante una propria unità operativa INFN. I contributi in-kind si intendono far parte del cofinanziamento.

L'impegno delle persone proponenti sui progetti vincitori dovrà essere significativo rispetto alle altre attività.



## Art. 3 Finanziamento e durata del progetto

Il finanziamento massimo dei progetti selezionati sarà pari a 75.000,00 euro (settantacinquemila euro) annui. Progetti la cui richiesta di finanziamento sia superiore a questo importo saranno esclusi dalla valutazione.

Inoltre ai proponenti dei progetti vincitori sarà assegnato un grant di durata biennale equivalente a 30.000,00 euro (trentamila euro) annui lordi. Alle assegnatarie o agli assegnatari sono estesi i servizi, compreso il servizio mensa, messi a disposizione del personale dipendente, secondo le norme vigenti nella Struttura assegnata.

L'assegnataria o l'assegnatario inviati in missione, per motivi connessi all'attività prevista dal grant, gode del trattamento di missione secondo le norme e con le modalità previste per il personale dipendente INFN.

La richiesta dei candidati, INFN, sostiene le spese di viaggio (biglietto di andata e di ritorno) per raggiungere la sede presso la quale si svolgerà la presentazione.

Il numero di grant assegnati secondo la graduatoria stilata sarà pari al numero di progetti finanziati.

### Art. 5

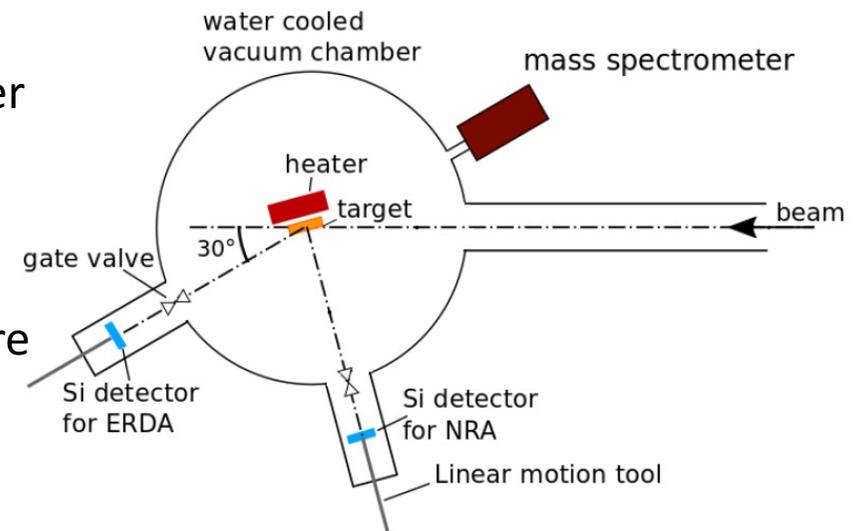
#### Presentazione delle domande e preselezione

Ciascuna persona proponente dovrà inviare la domanda di partecipazione, esclusivamente per via telematica, entro trenta giorni dalla data di pubblicazione del bando di concorso. Il termine di presentazione delle domande, qualora venga a scadere in un giorno festivo, si intende prorogato al primo giorno non festivo immediatamente seguente. La domanda viene presentata utilizzando un'apposita applicazione telematica raggiungibile tramite il link (<https://reclutamento.infn.it/ReclutamentoOnline/>) e contenente le seguenti informazioni:

- il titolo del progetto;
- l'area tematica di ricerca: acceleratori, elettronica/informatica, rivelatori, interdisciplinare;

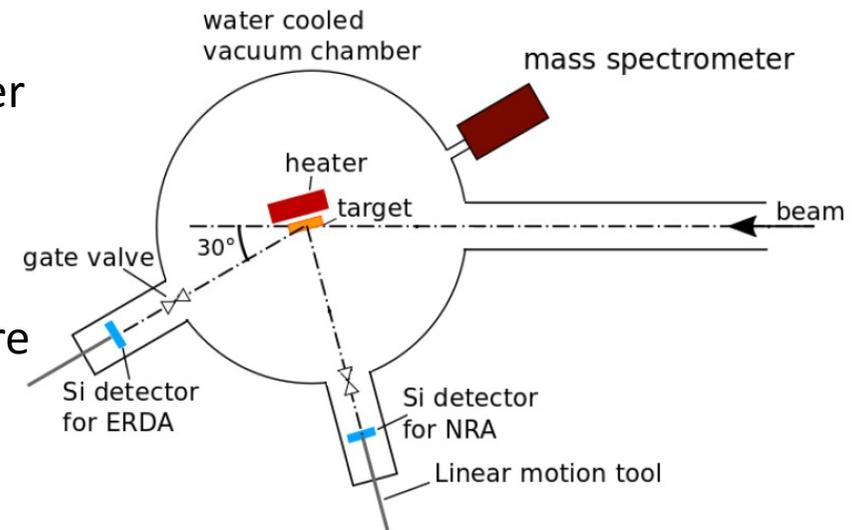
# FASE 1: Ideazione dell'esperimento e ricerca fondi

- Camera da vuoto con pareti raffreddate ad acqua e porte per l'installazione di rivelatori
- Sistema riscaldante per ultra-alto vuoto, programmabile, temperatura massima 1200°C (da acquistare)
- 2 diverse tecniche analitiche con fascio di ioni per determinare il contenuto iniziale/finale di idrogeno
- Diversi tipi di campioni di grafite, per determinare la tipologia intrinsecamente più pulita

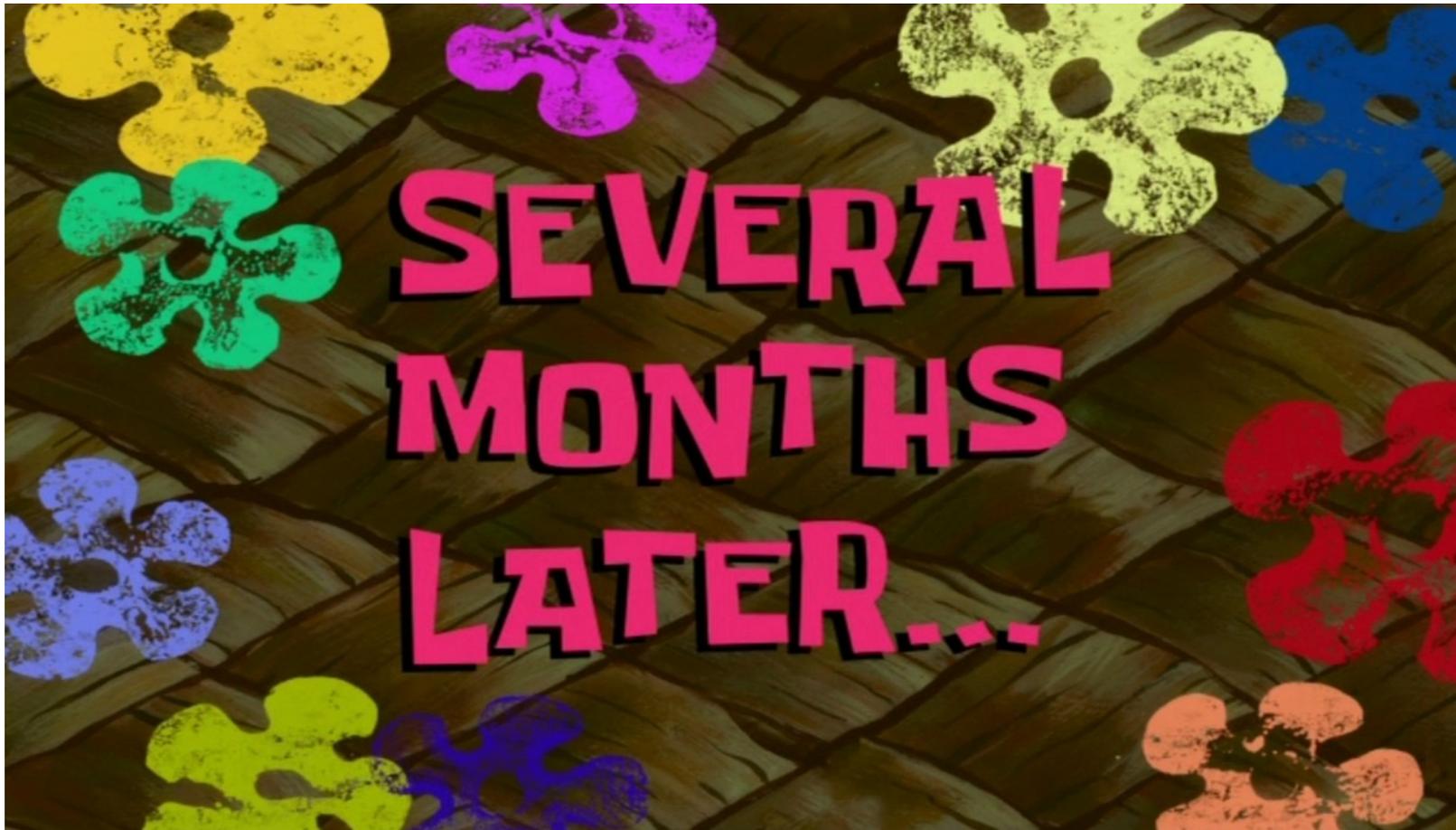


# FASE 1: Ideazione dell'esperimento e ricerca fondi

- Camera da vuoto con pareti raffreddate ad acqua e porte per l'installazione di rivelatori
- Sistema riscaldante per ultra-alto vuoto, programmabile, temperatura massima 1200°C (da acquistare)
- 2 diverse tecniche analitiche con fascio di ioni per determinare il contenuto iniziale/finale di idrogeno
- Diversi tipi di campioni di grafite, per determinare la tipologia intrinsecamente più pulita



**Il progetto deve includere anche aspetti come gestione del budget, organizzazione temporale e organizzazione della forza lavoro**

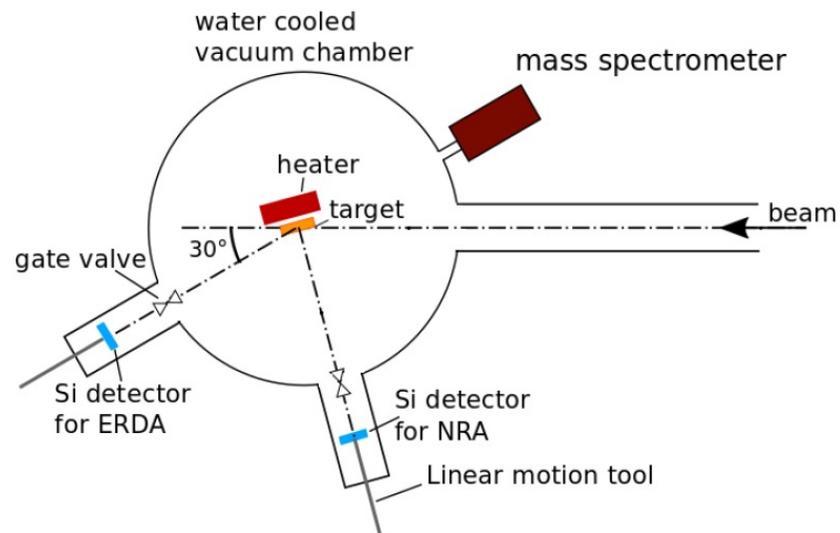


PROGETTO APPROVATO!

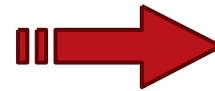


# FASE 2: Costruzione dell'apparato sperimentale

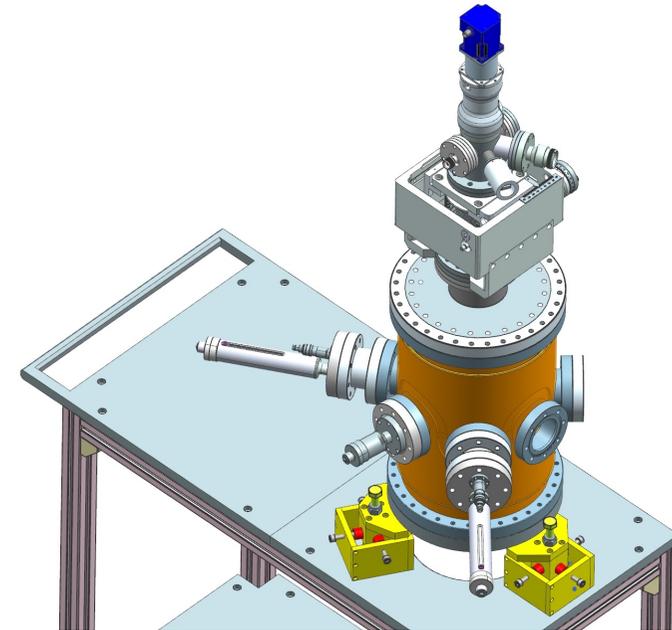
## IDEA INIZIALE



Lavoro con  
progettisti

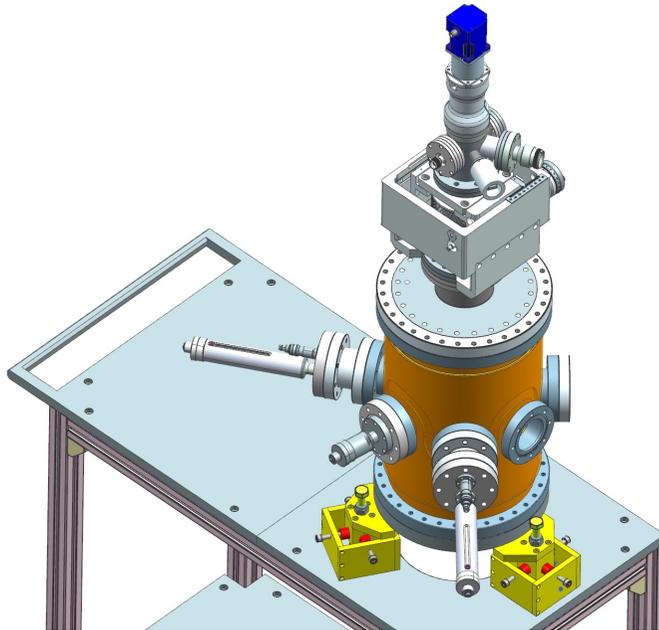


## MODELLO 3D



# Fase 2: Costruzione dell'apparato sperimentale

## MODELLO 3D

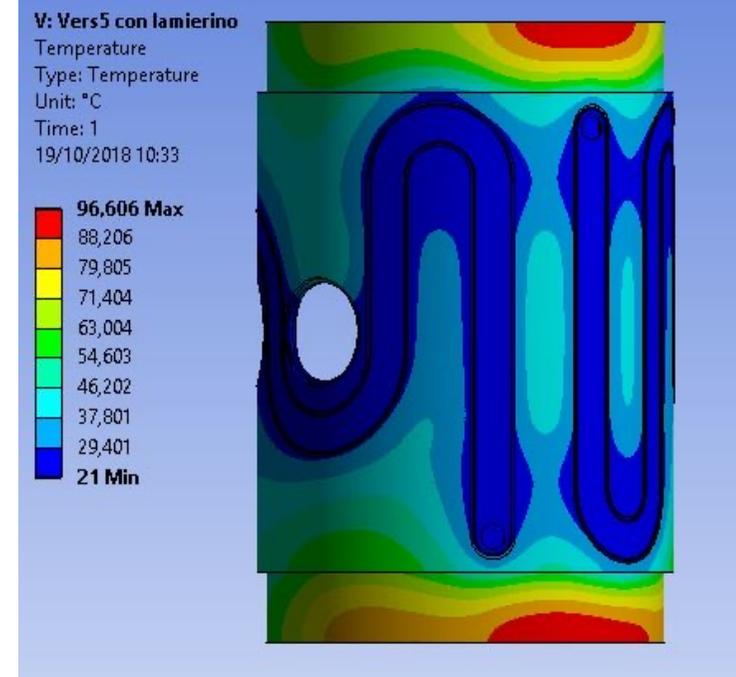


Lavoro con  
progettisti



e responsabile  
sicurezza

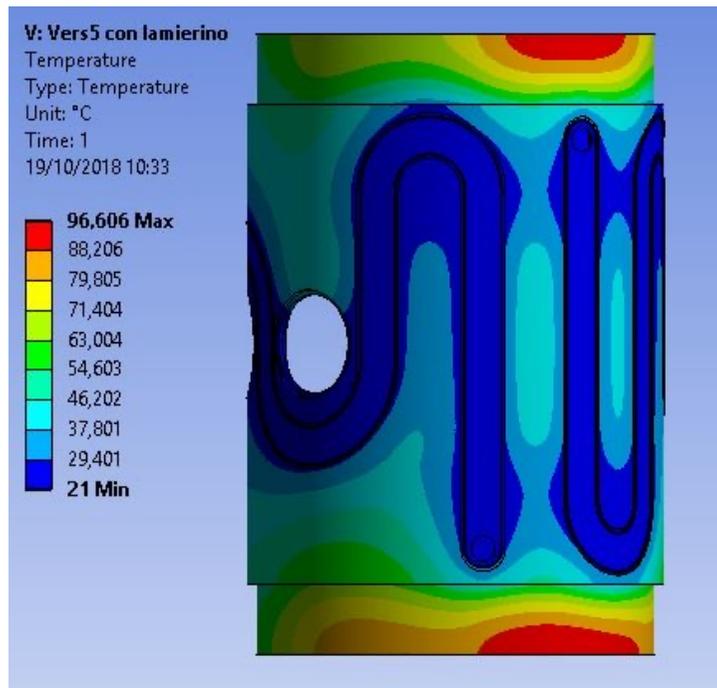
## SIMULAZIONI TERMICHE



Per garantire che, anche quando la sorgente di calore è a 1200°C, le pareti della camera restino a temperatura inferiore a 50°C (sicurezza per il personale e per i rivelatori)

# Fase 2: Costruzione dell'apparato sperimentale

## SIMULAZIONI TERMICHE



Lavoro con  
officina  
meccanica



Acquisto  
componenti

## CAMERA REALE

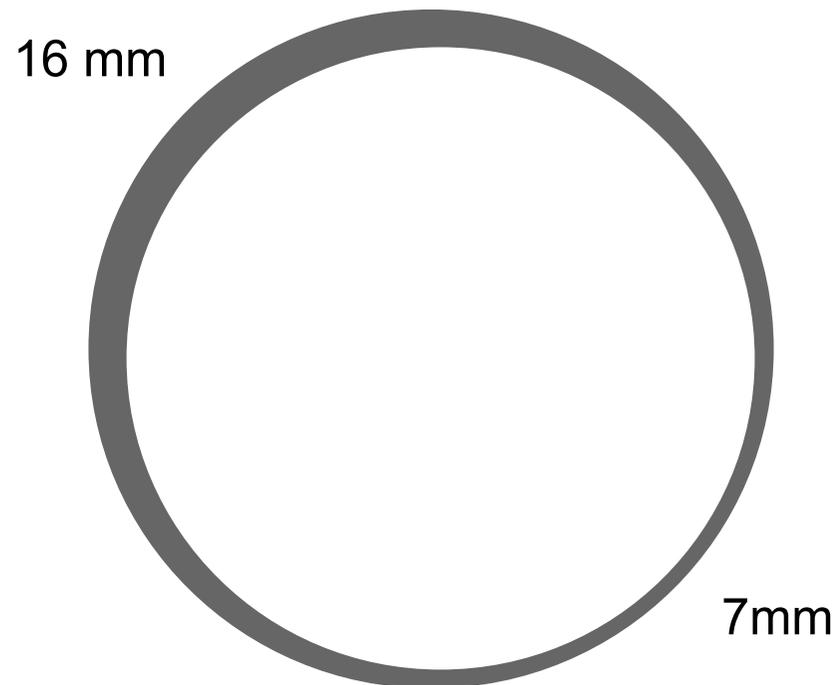


## Fase 2: Costruzione dell'apparato sperimentale

### **NON SEMPRE VA TUTTO PER IL VERSO GIUSTO...**

Tubo per costruzione corpo centrale della camera:  
secondo le specifiche, cilindro con spessore pareti 12 mm.

All'arrivo in officina:



# Fase 3: Collaudo

## PARTE 1: CAMERA DA VUOTO E SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO

- ✓ Installazione camera, misuratori vuoto, misuratori temperatura dell'acqua di raffreddamento e della parete della camera, chiller
- ✓ Test tenuta vuoto camera
- ✓ Test tenuta del sistema di raffreddamento



# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE

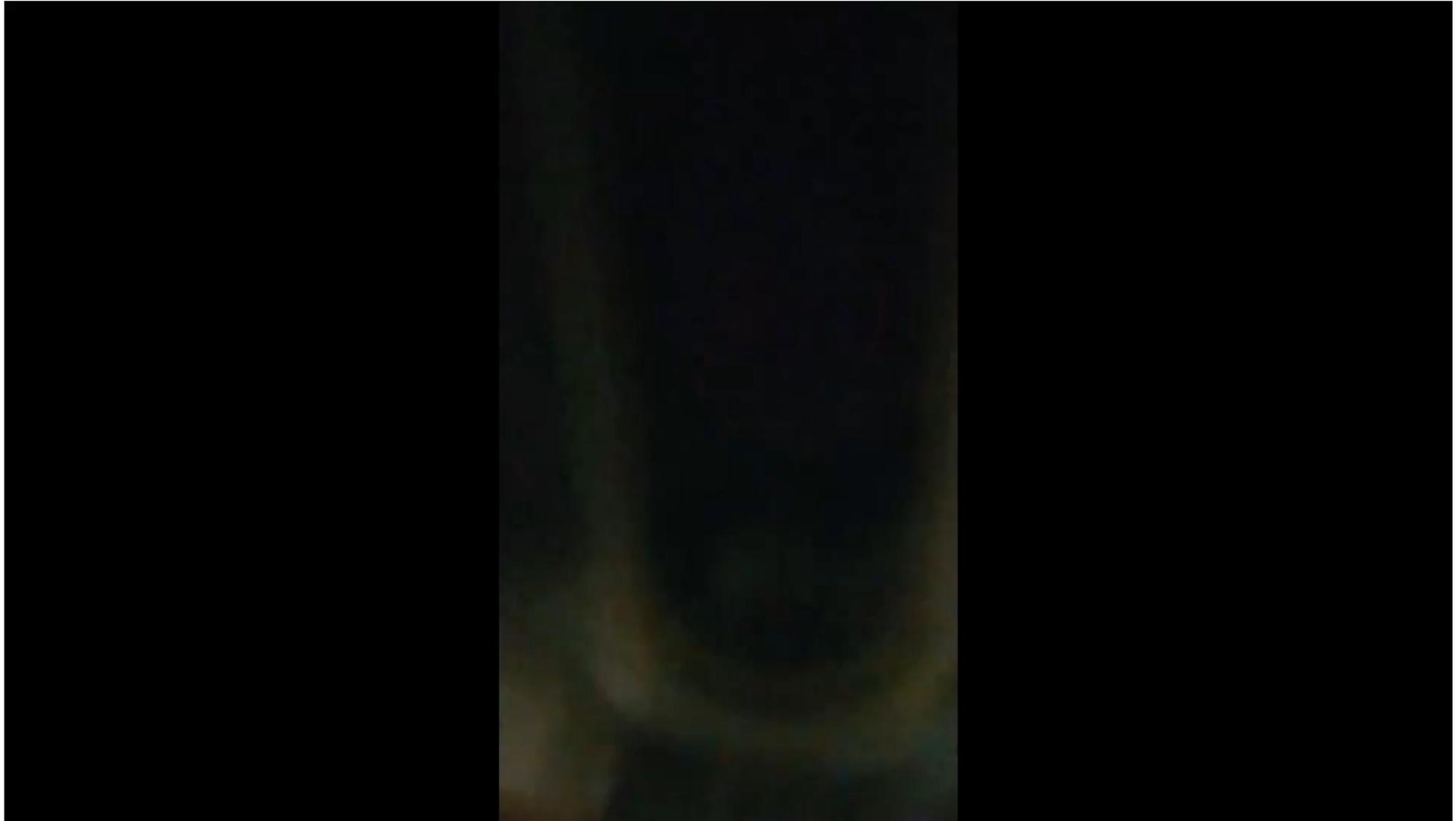


# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE

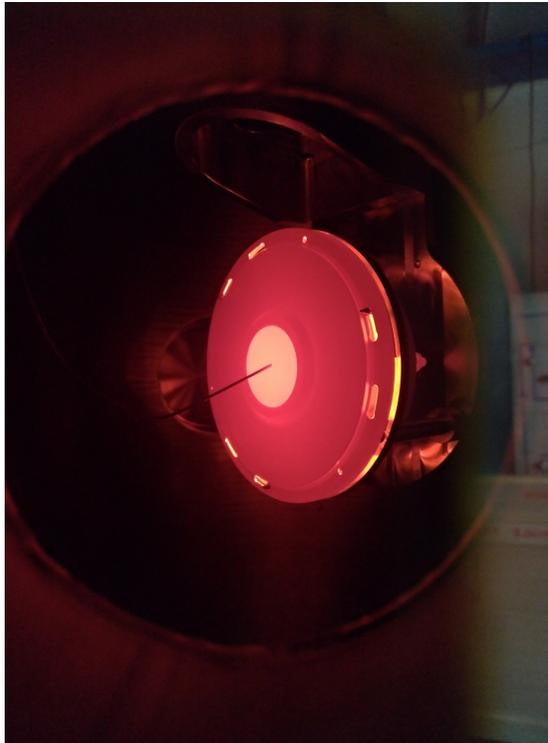


## Fase 3: Collaudo



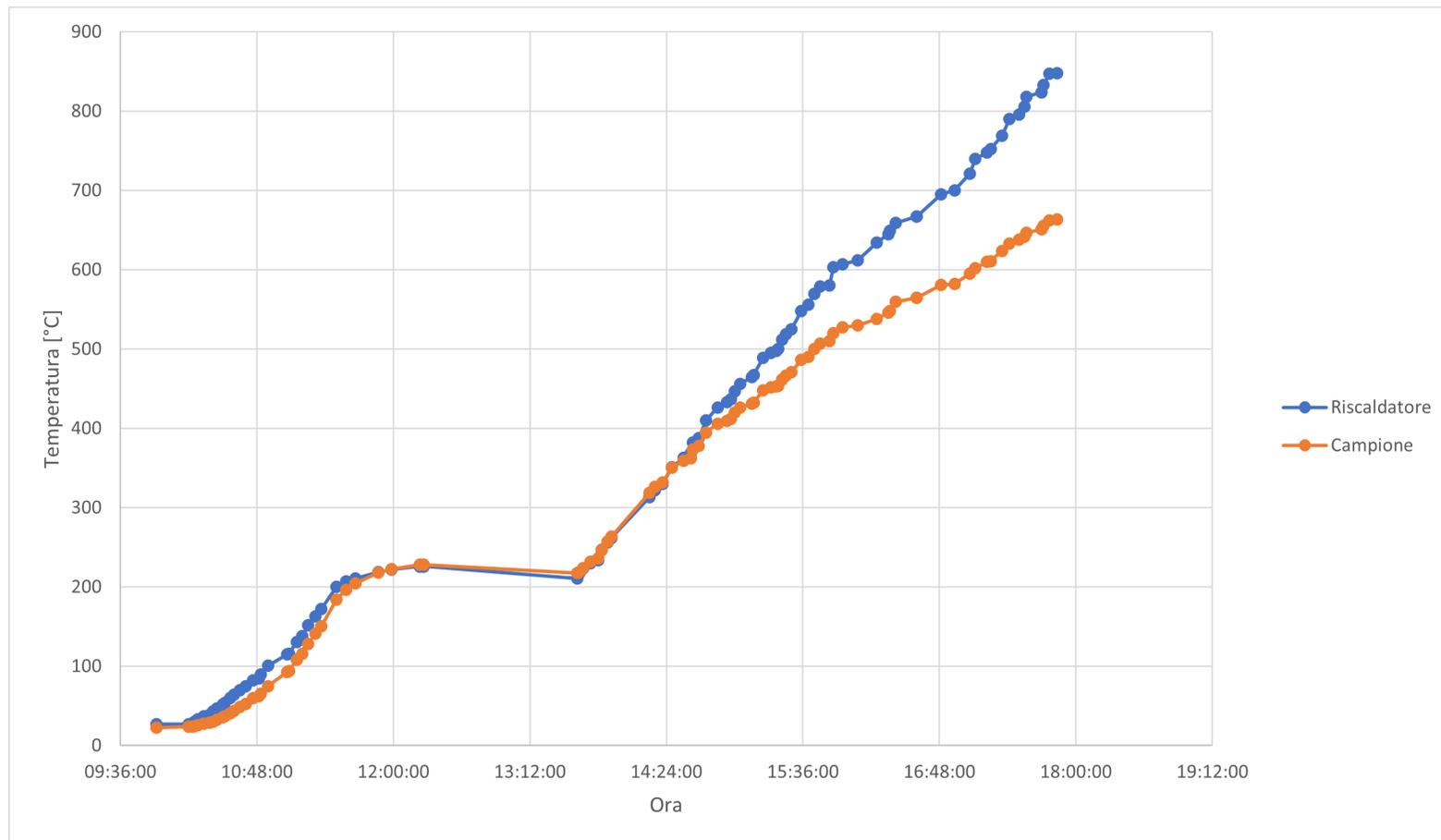
# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE



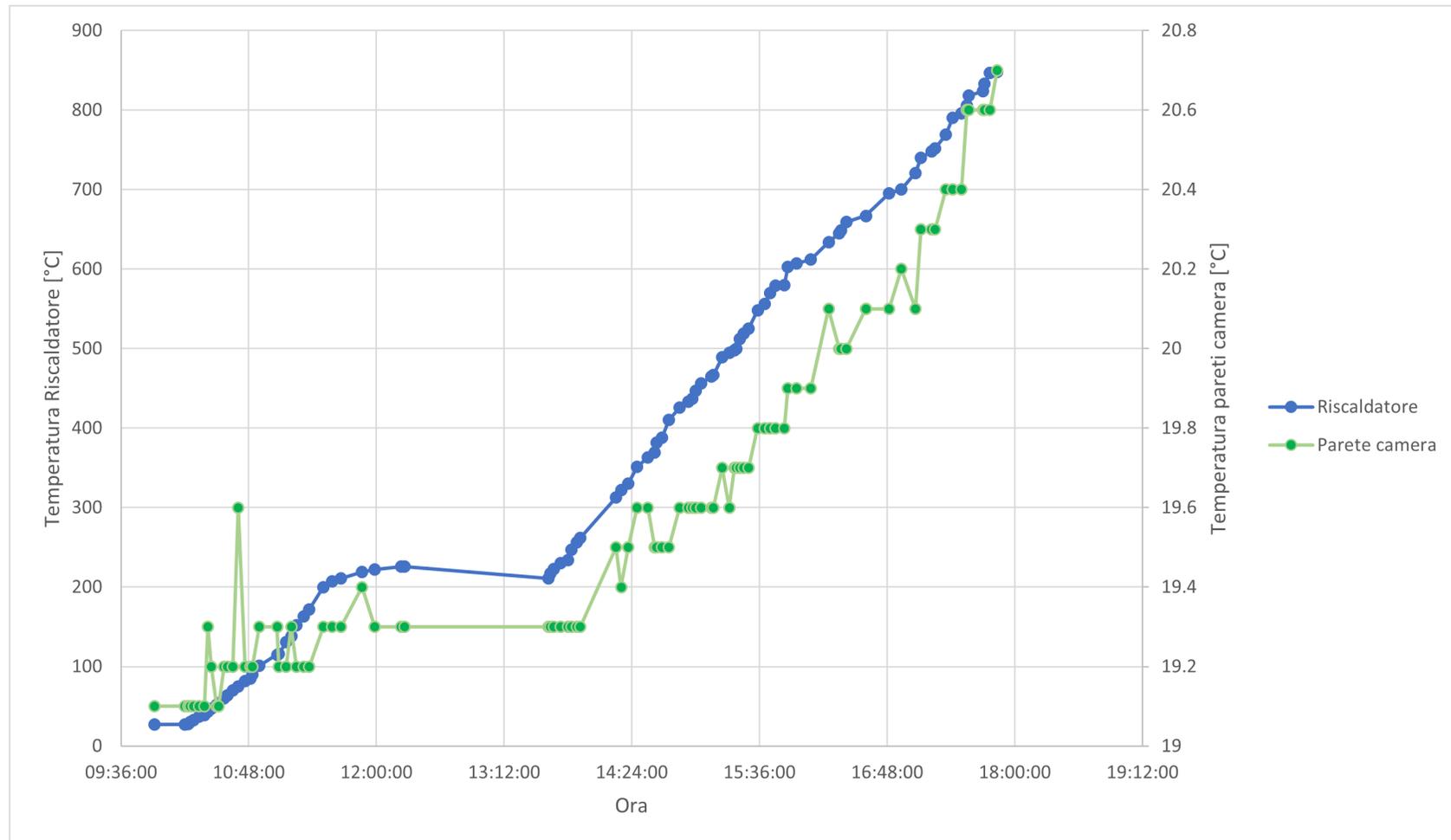
# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE: T riscaldatore vs T campione



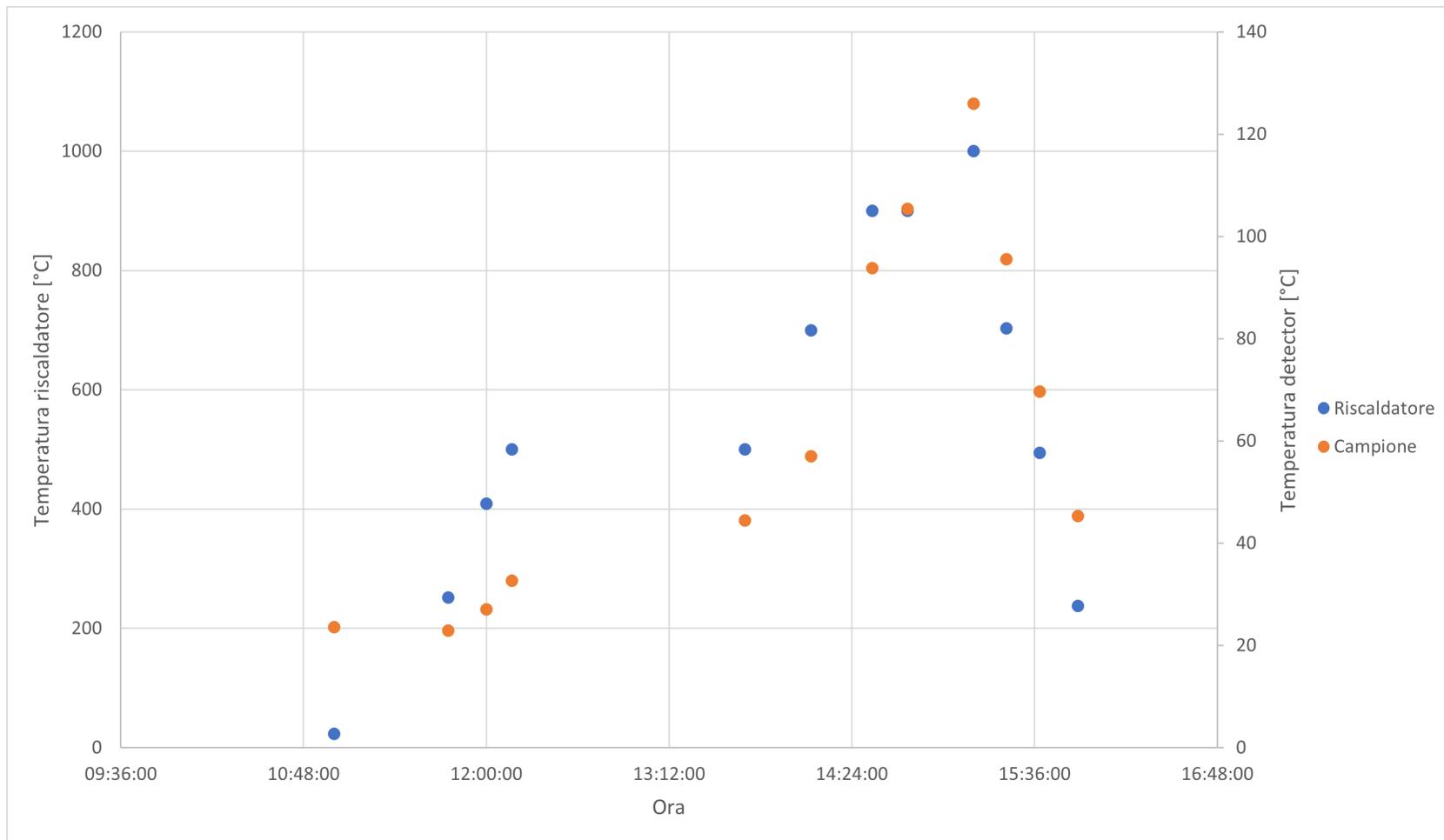
# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE : T riscaldatore vs T camera



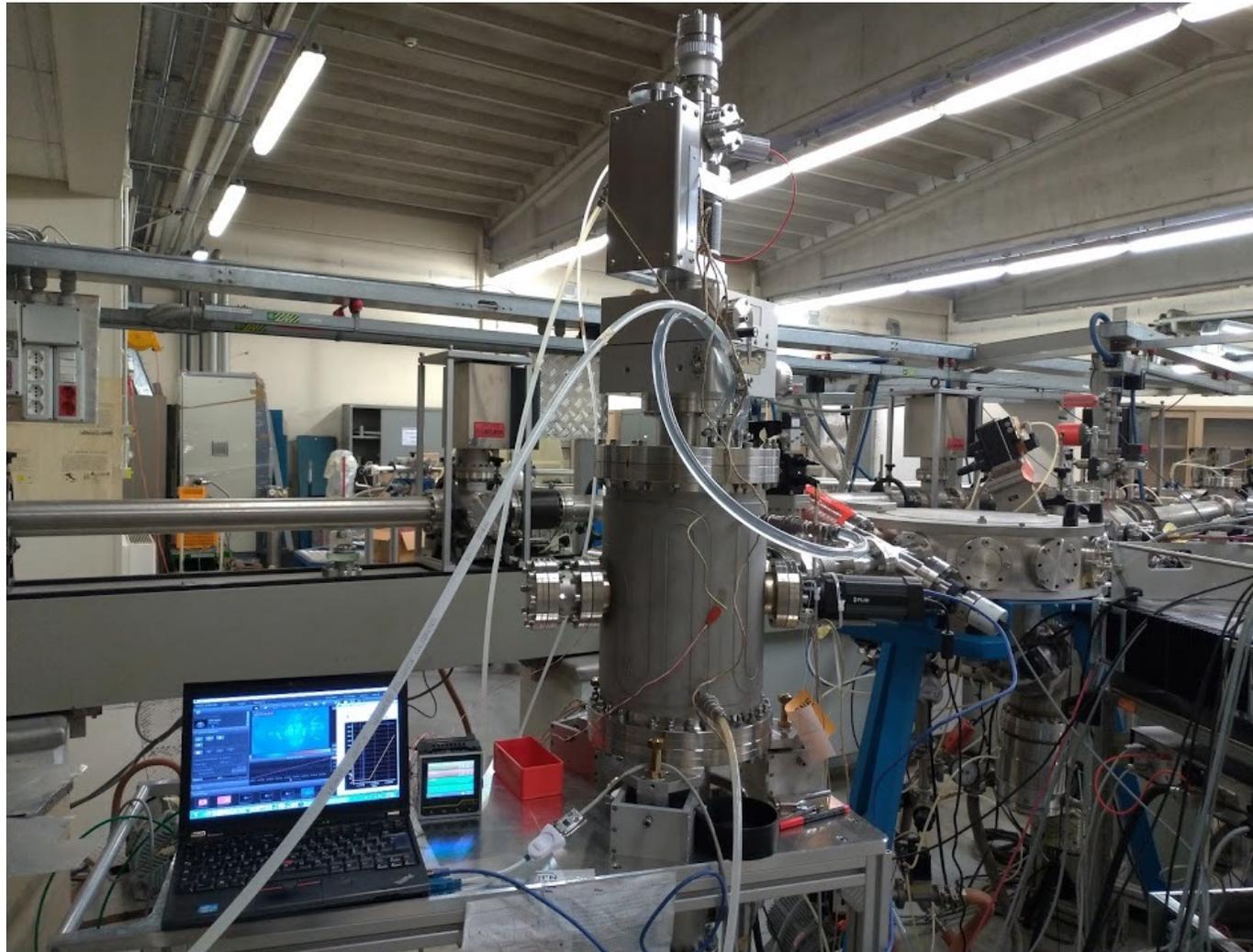
# Fase 3: Collaudo

## PARTE 2: SISTEMA RISCALDANTE : T riscaldatore vs T rivelatore



# Fase 4: Presa dati e analisi dati

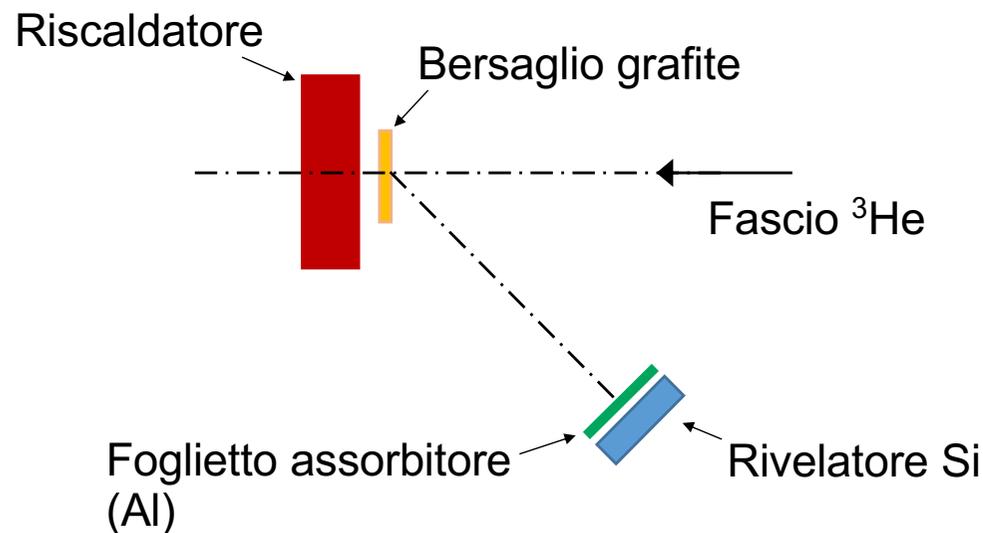
Apparato installato all'acceleratore AN2000 dei Laboratori Nazionali di Legnaro



## Fase 4: Presa dati e analisi dati

Reazione nucleare per la misura del contenuto di idrogeno:  ${}^2\text{H} + {}^3\text{He} \rightarrow \text{p} + {}^4\text{He}$

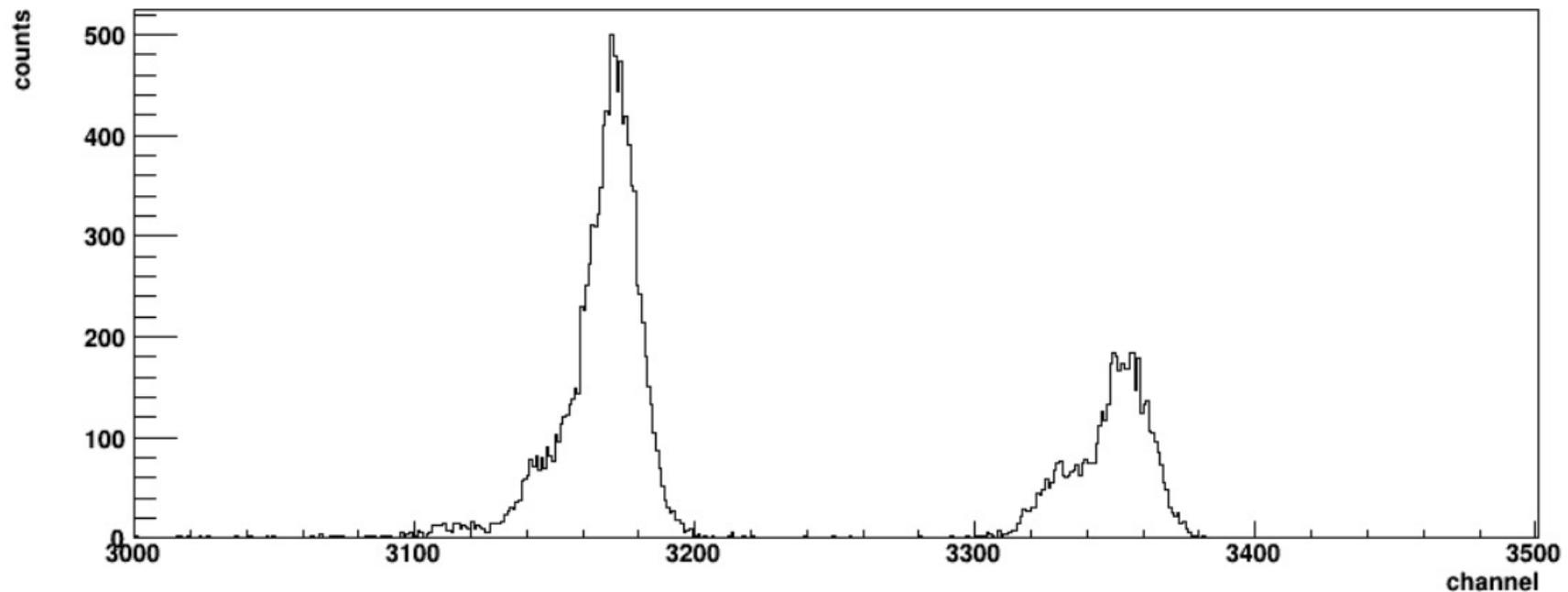
- deuterio presente nel bersaglio, assieme all'idrogeno, nella sua composizione isotopica naturale
- fascio di  ${}^3\text{He}$ ,  $E = 1 \text{ MeV}$ ,  $I \approx 50 \text{ nA}$
- la reazione produce protoni energetici ( $E \sim 13 \text{ MeV}$  @  $135^\circ$ )



# Fase 4: Presa dati e analisi dati

Calibrazione rivelatore al silicio: Sorgente di  $^{241}\text{Am}$  +  $^{244}\text{Cm}$

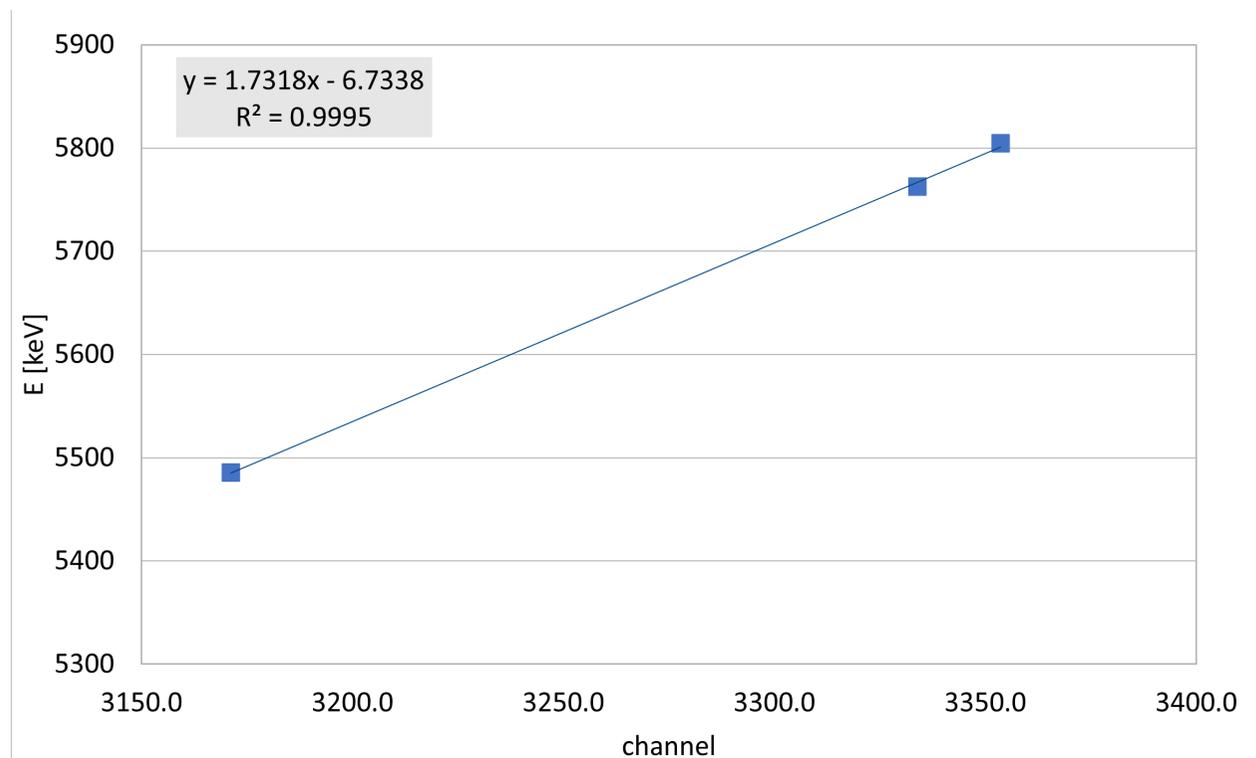
Sorgente	E [keV]	I
$^{241}\text{Am}$	5338.0	1.66%
$^{241}\text{Am}$	5442.8	13.10%
$^{241}\text{Am}$	5485.6	84.80%
$^{244}\text{Cm}$	5762.6	23.10%
$^{244}\text{Cm}$	5804.8	76.90%



# Fase 4: Presa dati e analisi dati

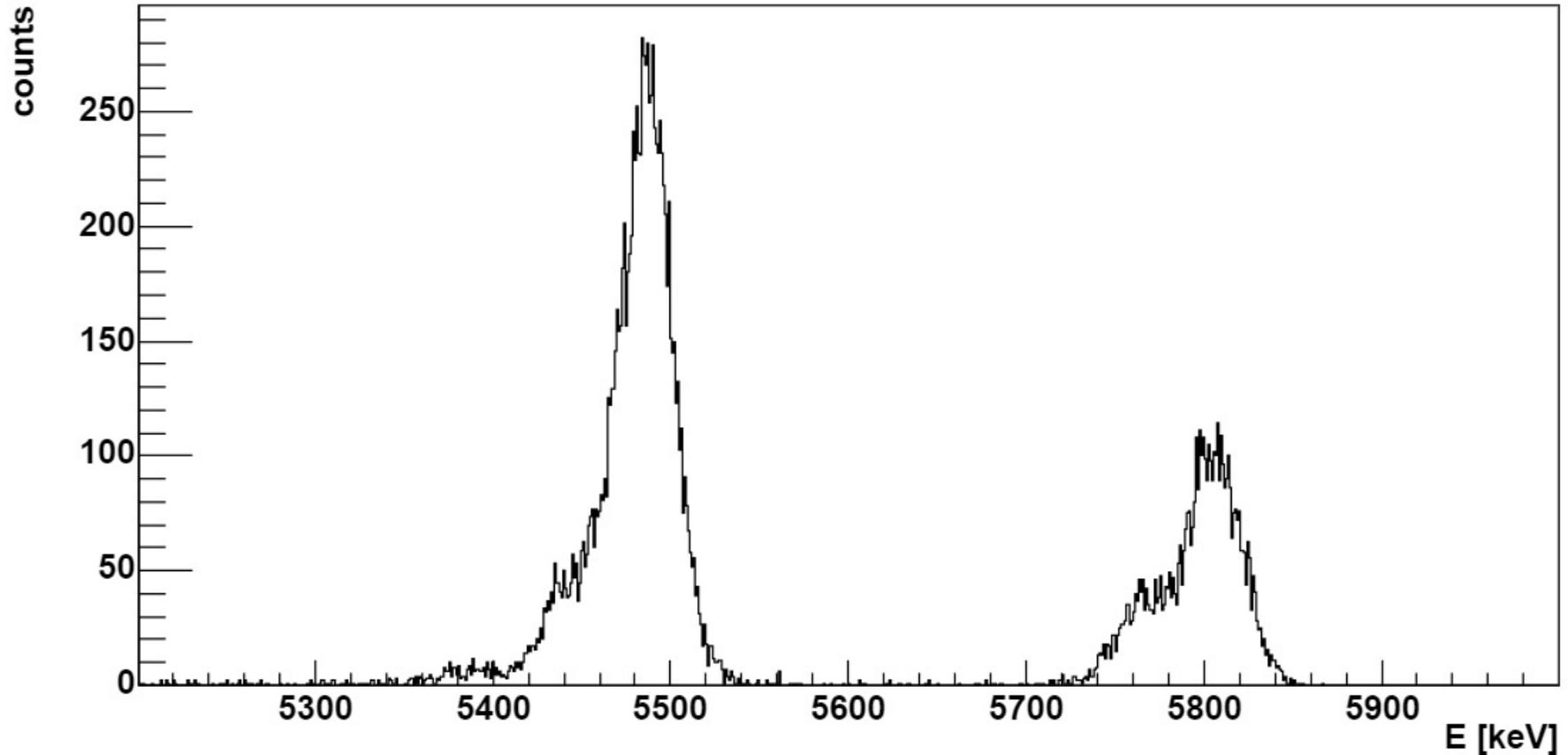
Calibrazione rivelatore al silicio: Sorgente di  $^{241}\text{Am}$  +  $^{244}\text{Cm}$

Sorgente	E [keV]	I
$^{241}\text{Am}$	5338.0	1.66%
$^{241}\text{Am}$	5442.8	13.10%
$^{241}\text{Am}$	5485.6	84.80%
$^{244}\text{Cm}$	5762.6	23.10%
$^{244}\text{Cm}$	5804.8	76.90%



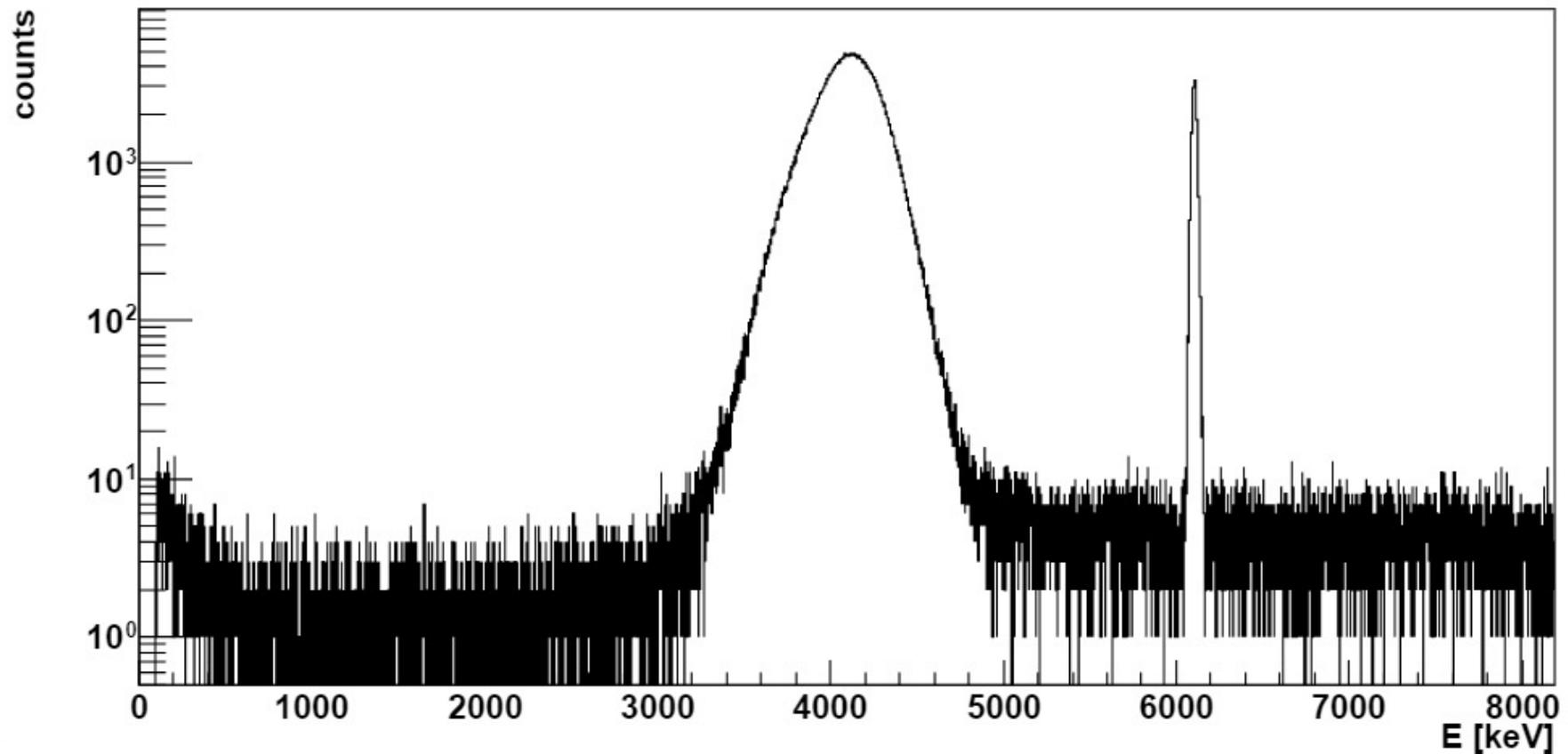
# Fase 4: Presa dati e analisi dati

Calibrazione rivelatore al silicio: Sorgente di  $^{241}\text{Am}$  +  $^{244}\text{Cm}$



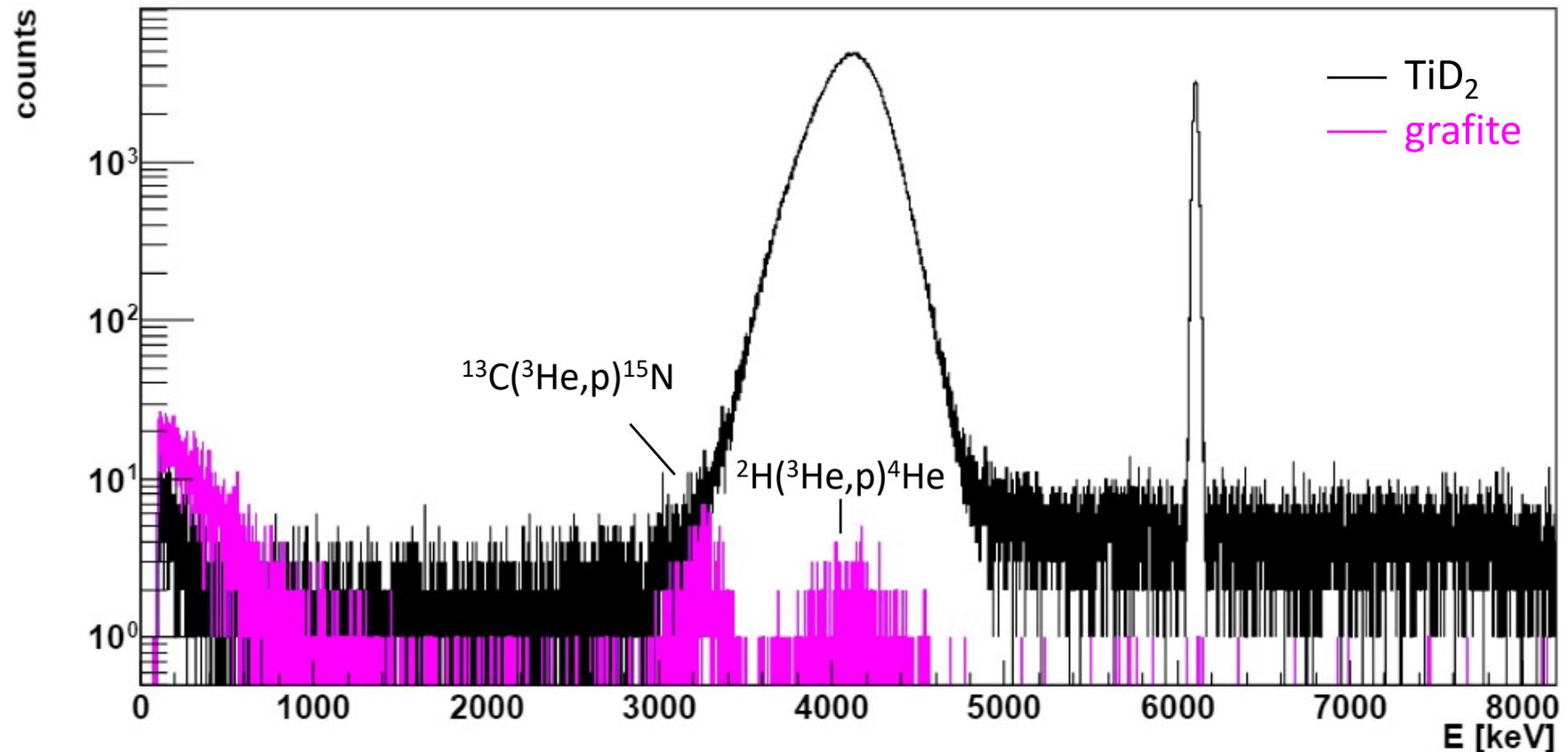
## Fase 4: Presa dati e analisi dati

Visto il contenuto ridotto di deuterio atteso nei campioni ( $\leq 0.1$  ppm), per individuare la regione di interesse nello spettro, primo run su bersaglio di  $\text{TiD}_2$



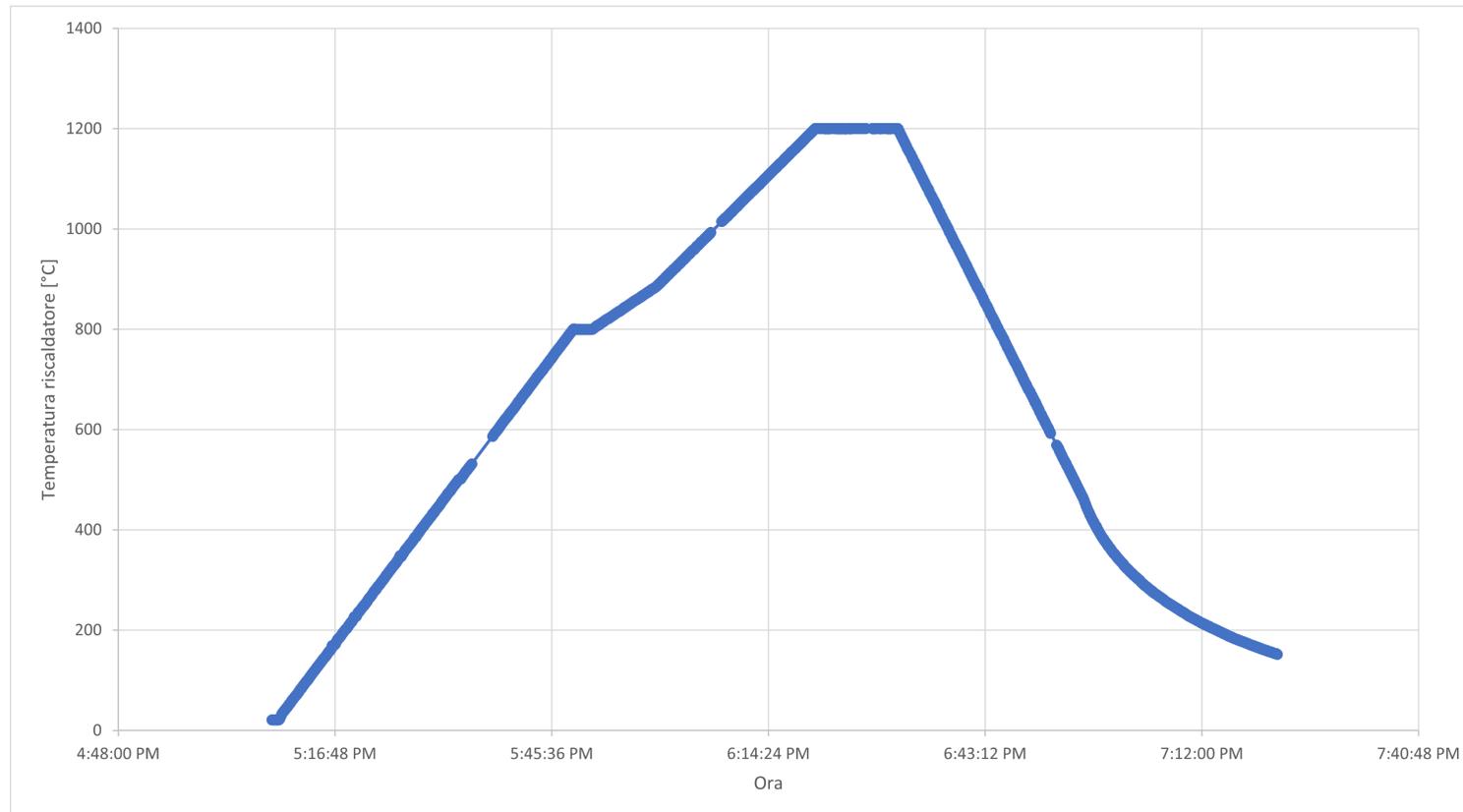
# Fase 4: Presa dati e analisi dati

Confronto tra  $\text{TiD}_2$  e grafite naturale, prima del riscaldamento



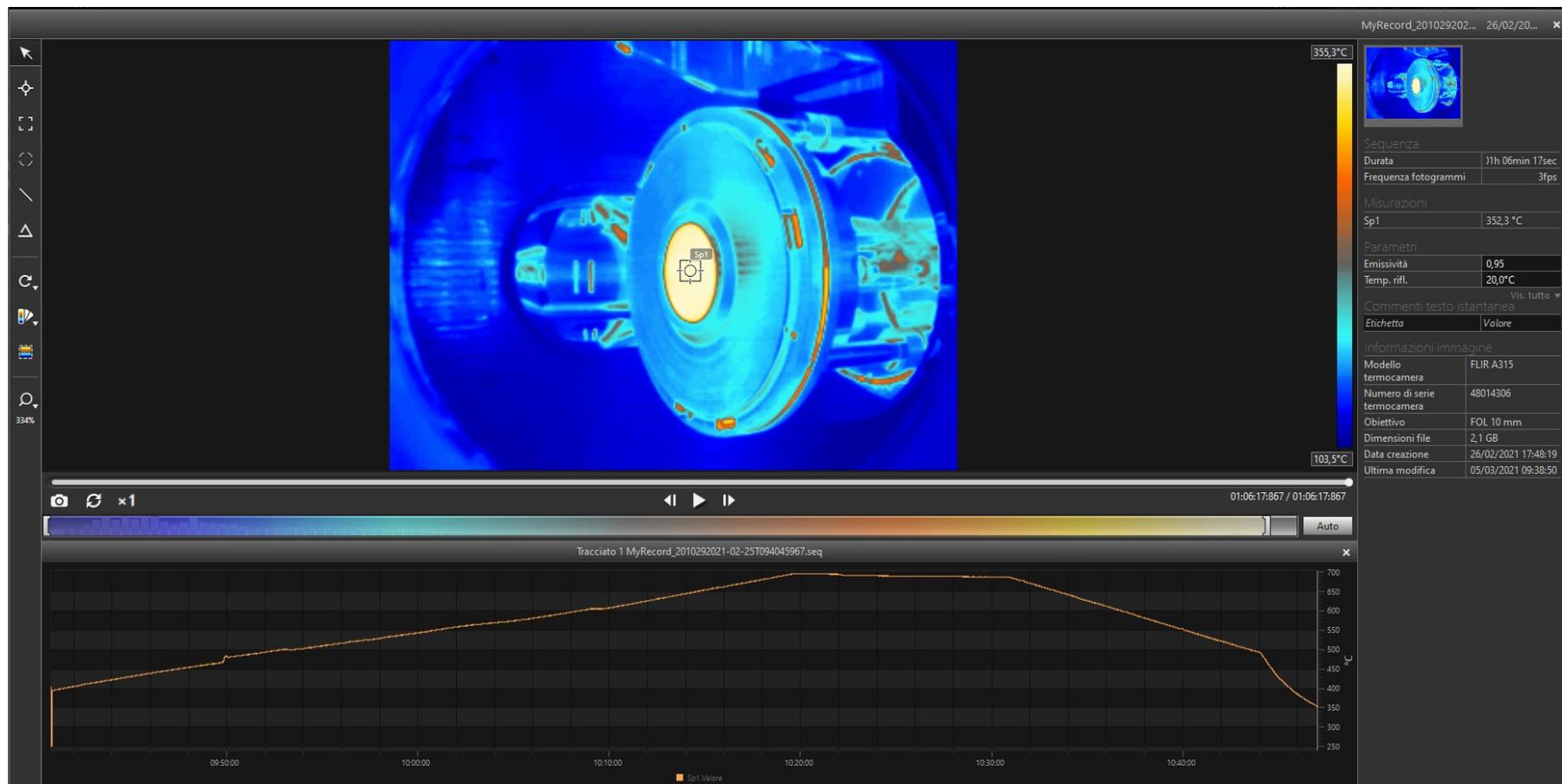
# Fase 4: Presa dati e analisi dati

## Riscaldamento campione



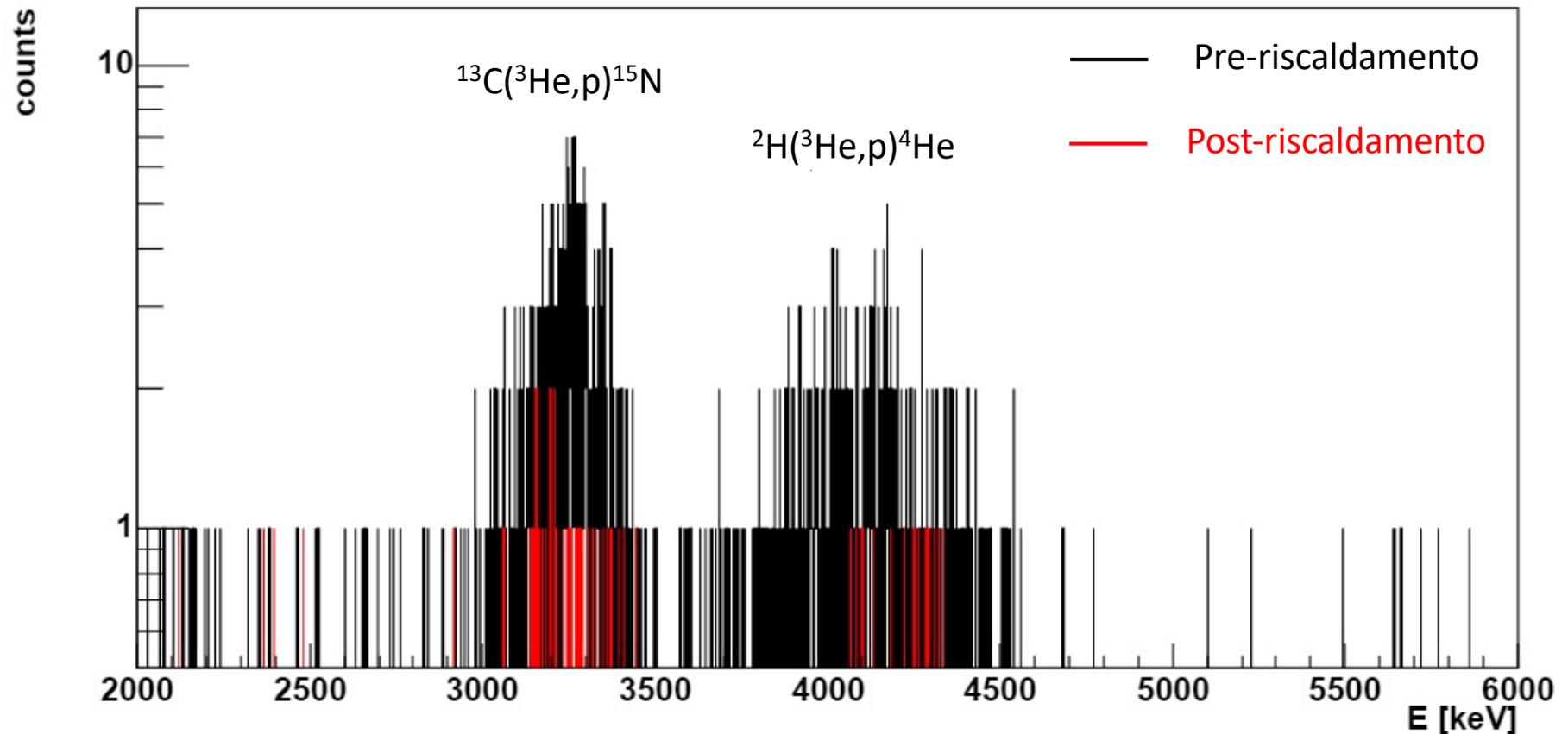
# Fase 4: Presa dati e analisi dati

Riscaldamento campione



# Fase 4: Presa dati e analisi dati

Confronto pre-post riscaldamento: riduzione contenuto H di un fattore 3



## In conclusione...

- La realizzazione di un esperimento coinvolge diversi aspetti, e richiede l'interazione con diverse figure professionali (progettisti, meccanici, elettronici, esperti tecniche vuoto, responsabili sicurezze ecc.)

## In conclusione...

- La realizzazione di un esperimento coinvolge diversi aspetti, e richiede l'interazione con diverse figure professionali (progettisti, meccanici, elettronici, esperti tecniche vuoto, responsabili sicurezze ecc.)
- Non è possibile prevedere a priori il risultato di una misura, e di questo bisogna tener conto in fase di progettazione

## In conclusione...

- La realizzazione di un esperimento coinvolge diversi aspetti, e richiede l'interazione con diverse figure professionali (progettisti, meccanici, elettronici, esperti tecniche vuoto, responsabili sicurezze ecc.)
- Non è possibile prevedere a priori il risultato di una misura, e di questo bisogna tener conto in fase di progettazione
- Non è sempre immediato ottenere dei risultati

## In conclusione...

- La realizzazione di un esperimento coinvolge diversi aspetti, e richiede l'interazione con diverse figure professionali (progettisti, meccanici, elettronici, esperti tecniche vuoto, responsabili sicurezze ecc.)
- Non è possibile prevedere a priori il risultato di una misura, e di questo bisogna tener conto in fase di progettazione
- Non è sempre immediato ottenere dei risultati
- Come nelle esperienze di laboratorio, il lavoro di squadra è fondamentale

