



# Rapporto delle misure effettuate al Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano per il progetto Prometheus/Stormreactor (16-20 maggio 2022)

Prof. Stefano Giulini Castiglioni Agosteo  
Prof. Andrea Pola  
Ing. Davide Bortot  
Prof. Fabio Rinaldi  
Prof. Alberto Fazzi

## Introduzione

STORMREACTOR è un dispositivo portatile alimentato elettricamente che ha l'obiettivo di innescare una reazione di trasmutazione nucleare a temperatura ambiente. In particolare, lo scopo presunto dello STORMREACTOR è la produzione di isotopi di fluoro radioattivi, ovvero  $^{17}\text{F}$  o  $^{18}\text{F}$  a seconda del reagente iniziale, ovvero acqua o acqua deuterata.

Il layout schematico di STORMREACTOR, presentato nella figura 1, è composto da:

1. un alimentatore, alimentato dalla rete (240 V AC) collegata tramite due cavi ad una camera di reazione
2. un variac e un misuratore di potenza per il controllo dell'elettronica
3. camera del reattore comprendente una valvola per l'ingresso dell'aria compressa e con un tubo in gomma da collegare al misuratore HF
4. un manometro e un trasduttore piezoelettrico per la misura della pressione
5. una batteria da 12 V.

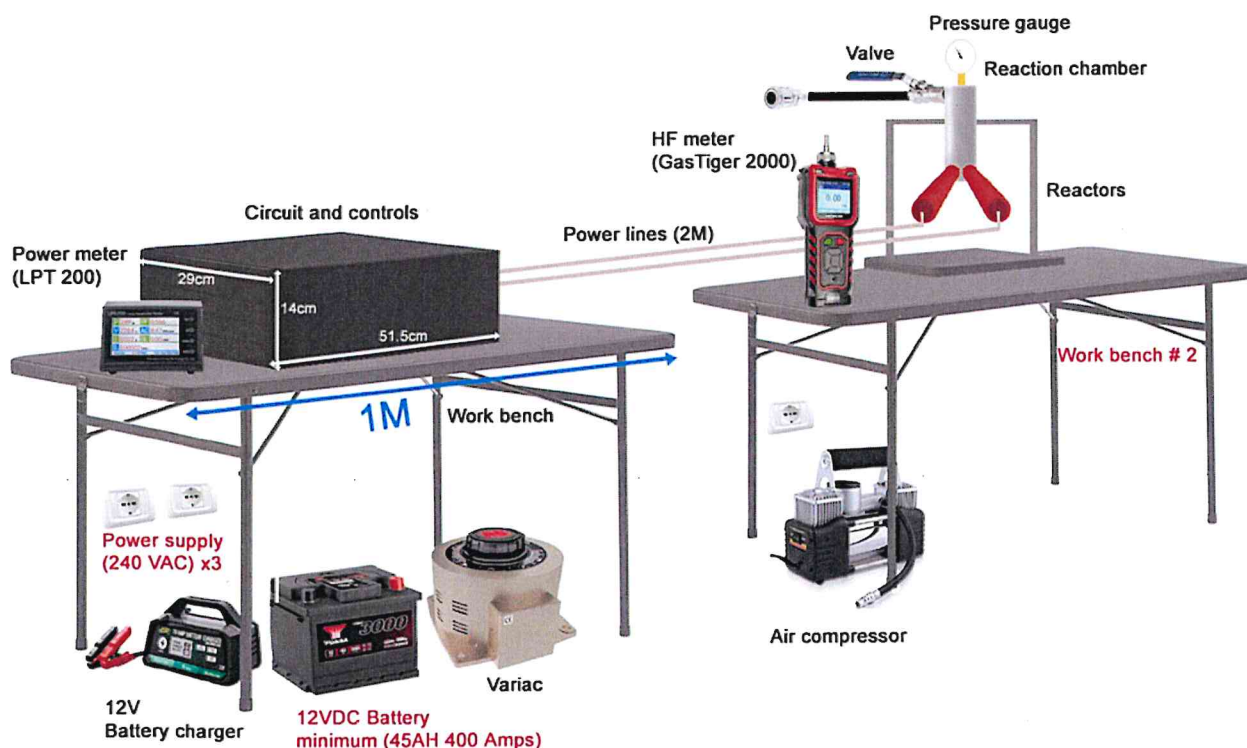


Figura 1 Schema dello STORMREACTOR

Il principio di funzionamento dello STORMREACTOR si basa sull'applicazione di campi elettrici a due elettrodi che contengono una piccola quantità di reagente, acqua o acqua deuterata. La reazione innescata dovrebbe portare alla produzione di acido fluoridrico (HF) contenente gli isotopi del fluoro radioattivi citati in precedenza.

## Misure effettuate e risultati

Di seguito sono riportate le caratteristiche dei rivelatori di radiazione impiegati e i risultati delle misure effettuate. Sono stati utilizzati rivelatori per neutroni e rivelatori per radiazione gamma.

Sono state eseguite molteplici misure nelle giornate del 18/05/2022 e del 19/05/2022, riassunte di seguito:

- 1) Misure del fondo ambientale relativo alla componente neutronica e alla componente gamma.
- 2) Misura del rateo di conteggio dei neutroni termici all'atto di ciascuna scarica innescata nello STORMREACTOR.
- 3) Misura dello spettro gamma all'atto di ciascuna scarica innescata nello STORMREACTOR.

### *Rivelatore all' $^3\text{He}$*

Il rivelatore proporzionale all' $^3\text{He}$  (mod. 65NH54, Xeram, Gruppo Pechiney, Francia), ha diametro 2.5 cm e lunghezza 100 cm. La sensibilità del rivelatore all' $^3\text{He}$  utilizzato è 65 cps per unità di rateo di fluena di neutroni termici ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). È stato acquisito lo spettro differenziale degli impulsi, che è caratterizzato da un picco di neutroni prevalentemente termici, ed anche epitermici (fino a circa 40 keV, propri della risoluzione del picco) e da una coda, dovuta alla rivelazione di neutroni veloci (fino a circa 2 MeV) e ad altri effetti secondari. Il limite di rivelazione in rateo di fluena di neutroni termici è pari a  $0.02 \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

I risultati relativi alle diverse misure in termini di conteggi al secondo, tempo di misura e incertezze associate sono riportati nella Tabella 1.

Non sono state riscontrate differenze tra la misura di fondo ambientale e le misure eseguite all'atto delle scariche innescate nello STORMREACTOR.

<i>Riferimento misura neutroni</i>	<i>Tempo di misura [s]</i>	<i>Conteggi al secondo integrali</i>	<i>Incertezza sui conteggi (<math>K=2</math>)</i>
<i>Fondo ambientale</i>	1916	0.44	0.03
<i>Scarica #1</i>	70	0.37	0.15
<i>Scarica #2</i>	42	0.40	0.20
<i>Scarica #3</i>	30	0.37	0.22
<i>Scarica #4</i>	105	0.50	0.14
<i>Scarica #5</i>	130	0.43	0.12

**Tabella 1: Risultati delle misure del rateo di conteggio dei neutroni termici all'atto di ciascuna scarica innescata nello STORMREACTOR.**

### *Rivelatore al germanio iperpuro (ISOCS – Canberra)*

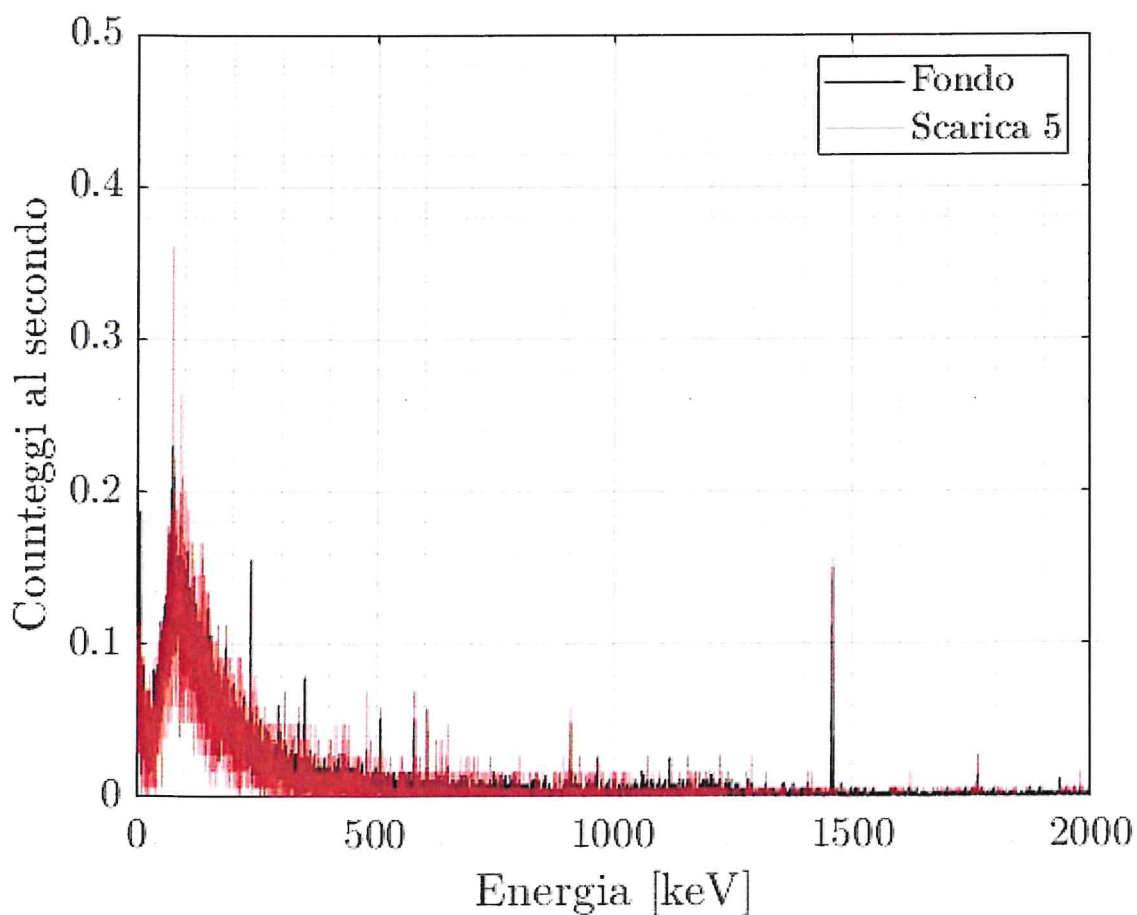
Le misure di spettrometria gamma sono state effettuate con un rivelatore al germanio iperpuro (HPGe) trasportabile, modello ISOCS (In Situ Object Counting System) di Canberra, in modalità in situ. Il rivelatore, modello Broad Energy Germanium (BE5030) è caratterizzato da una risoluzione di 1.76 keV a 1.33 MeV del  $^{60}\text{Co}$ , come da Quality Assurance Data Sheet del produttore.

I risultati relativi alle diverse misure in termini di conteggi al secondo, tempo di misura e incertezze associate sono riportati nella Tabella 2. Tutte le misure effettuate sono statisticamente equivalenti e equivalenti al fondo ambientale. A titolo di esempio, nella Figura 1, è riportato il confronto tra lo spettro del fondo ambientale e la misura corrispondente alla scarica #5. Gli spettri sono equivalenti

e mostrano le righe di emissione gamma tipiche del fondo ambientale. Non sono state riscontrate differenze tra la misura di fondo ambientale e le misure eseguite all'atto delle scariche innescate nello STORMREACTOR all'energia pari a 511 keV, caratteristica del decadimento di radionuclidi  $\beta^+$  emettitori.

<i>Riferimento misura gamma</i>	<i>Tempo di misura [s]</i>	<i>Conteggi al secondo integrali</i>	<i>Incertezza sui conteggi (K=2)</i>
<i>Fondo ambientale</i>	360	101.1	1.1
<i>Scarica #1</i>	66	100.5	2.5
<i>Scarica #2</i>	36	102.6	3.4
<i>Scarica #3</i>	31	100.1	3.6
<i>Scarica #4</i>	93	101.8	2.1
<i>Scarica #5</i>	123	100.8	1.8

**Tabella 2: Risultati delle misure dello spettro gamma all'atto di ciascuna scarica innescata nello STORMREACTOR.**



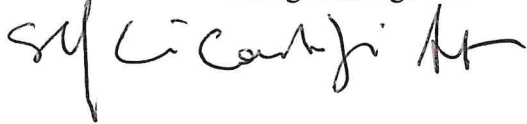
**Figura 1: Confronto tra uno spettro gamma di fondo e lo spettro relativo alla scarica #5.**



## Conclusioni

Le misure effettuate non evidenziano alcun contributo diverso rispetto alla radiazione di fondo ambientale.

Prof. Stefano Giulini Castiglioni Agosteo



Prof. Andrea Pola



Ing. Davide Bortot



## Misure di temperatura

### Introduzione

Questo resoconto di prova contiene le informazioni relative alle misurazioni di temperatura effettuate sul dispositivo portatile denominato STORMREACTOR.

Sono state eseguite tre misurazioni di temperatura: due il giorno 18 Maggio 2022 ed una il 19 Maggio.

### Strumentazione utilizzata

Per le misurazioni si è utilizzata una catena termometrica con termoresistenza a 4 fili, tarata nel campo di temperatura compreso tra 0 °C e 90 °C. L'incertezza estesa di misura della catena e sull'intero campo di taratura è compresa entro 0,07°C. Si riporta in allegato il Rapporto di Taratura 22-001 del 11/05/2022.

In accordo con il committente la termoresistenza è stata posta in prossimità della camera di reazione del dispositivo.

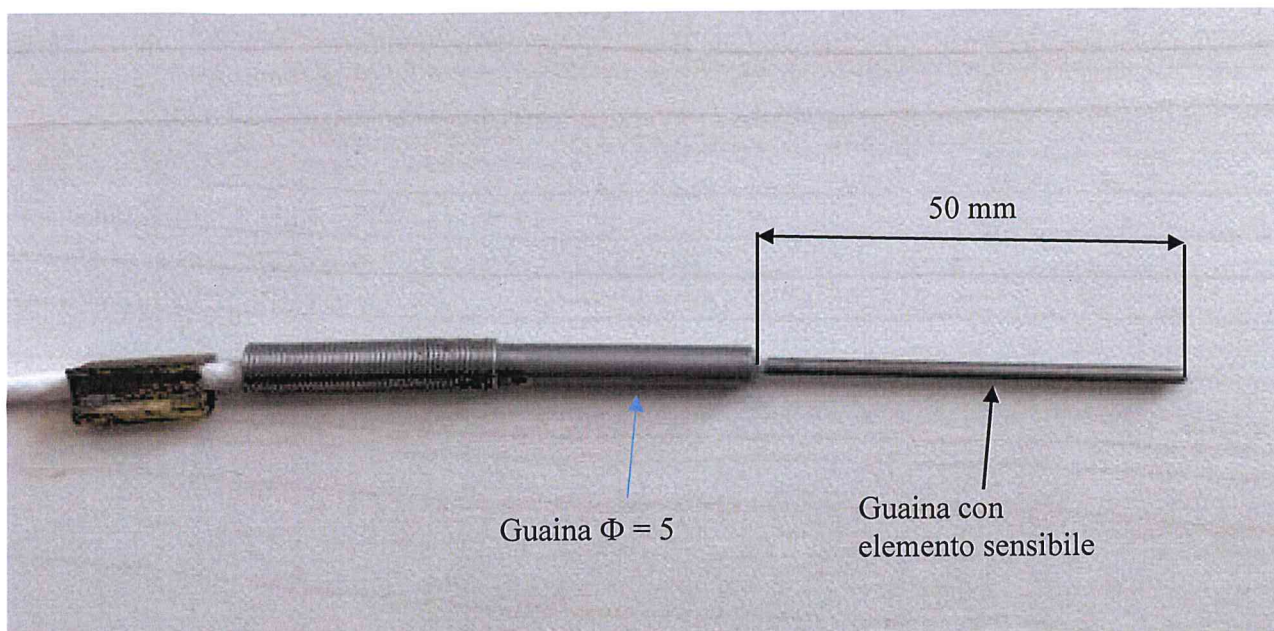


Figura 1 – Termoresistenza a 4 fili utilizzata per le misurazioni.

### Risultati delle misurazioni

I risultati vengono riportati in forma grafica, nelle seguenti figure 2, 3 e 4.

E' possibile notare che, in ogni prova, è stato misurato un picco di temperatura dell'ampiezza di 0,44 °C subito dopo l'innesco della scintilla.

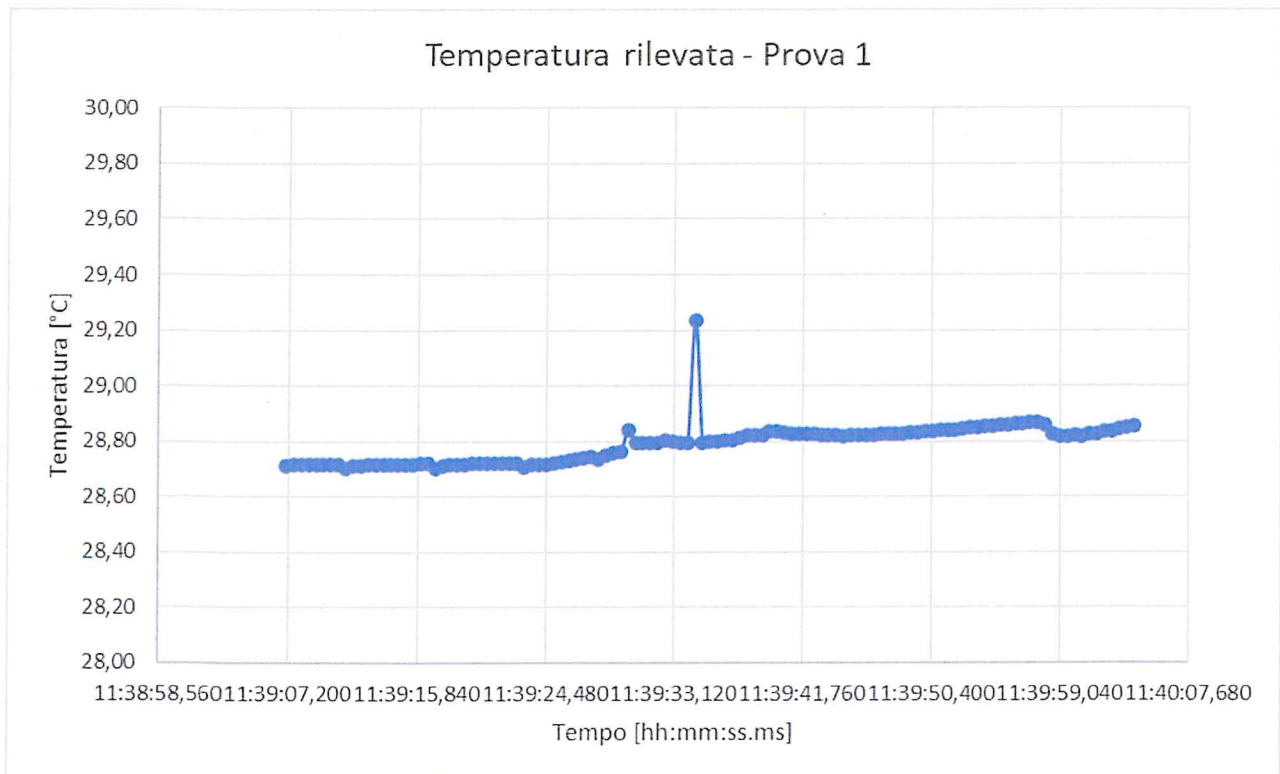


Figura 2 – Temperatura misurata nella prima prova del 18 Maggio 2022.

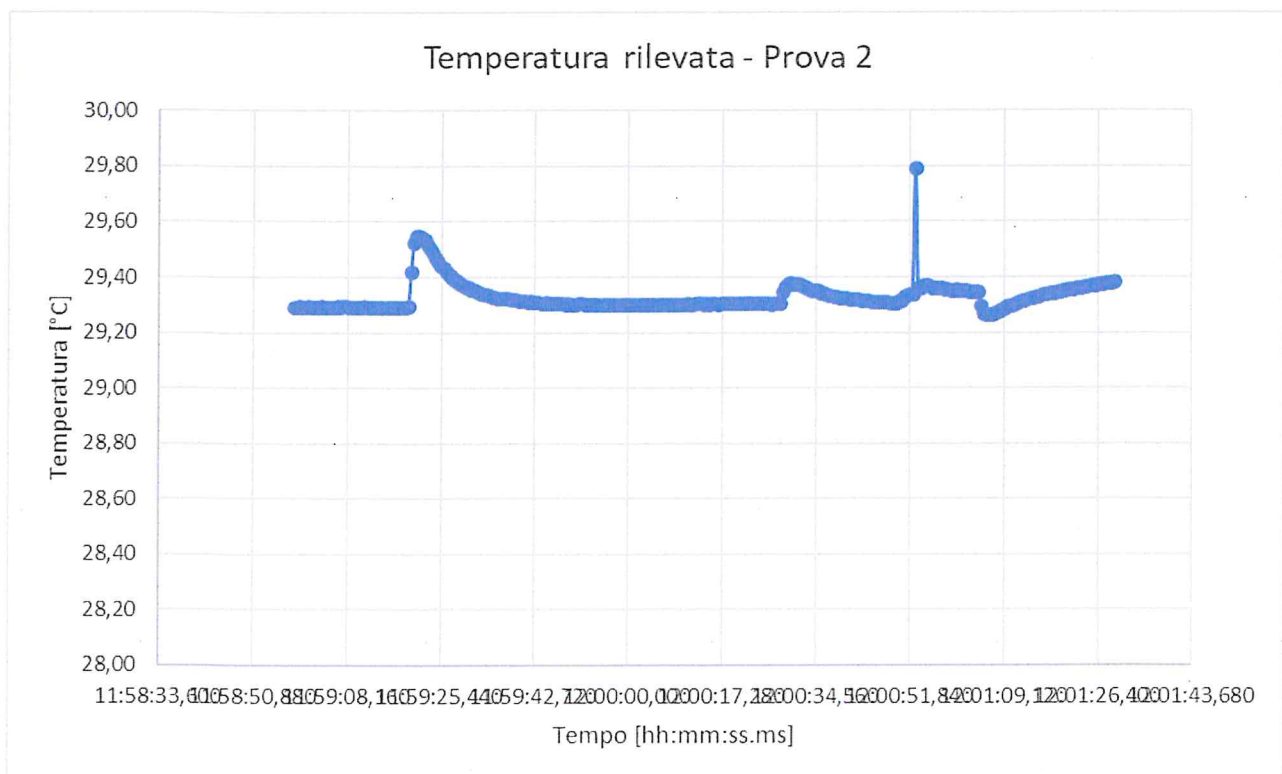


Figura 3 – Temperatura misurata nella seconda prova del 18 Maggio 2022.

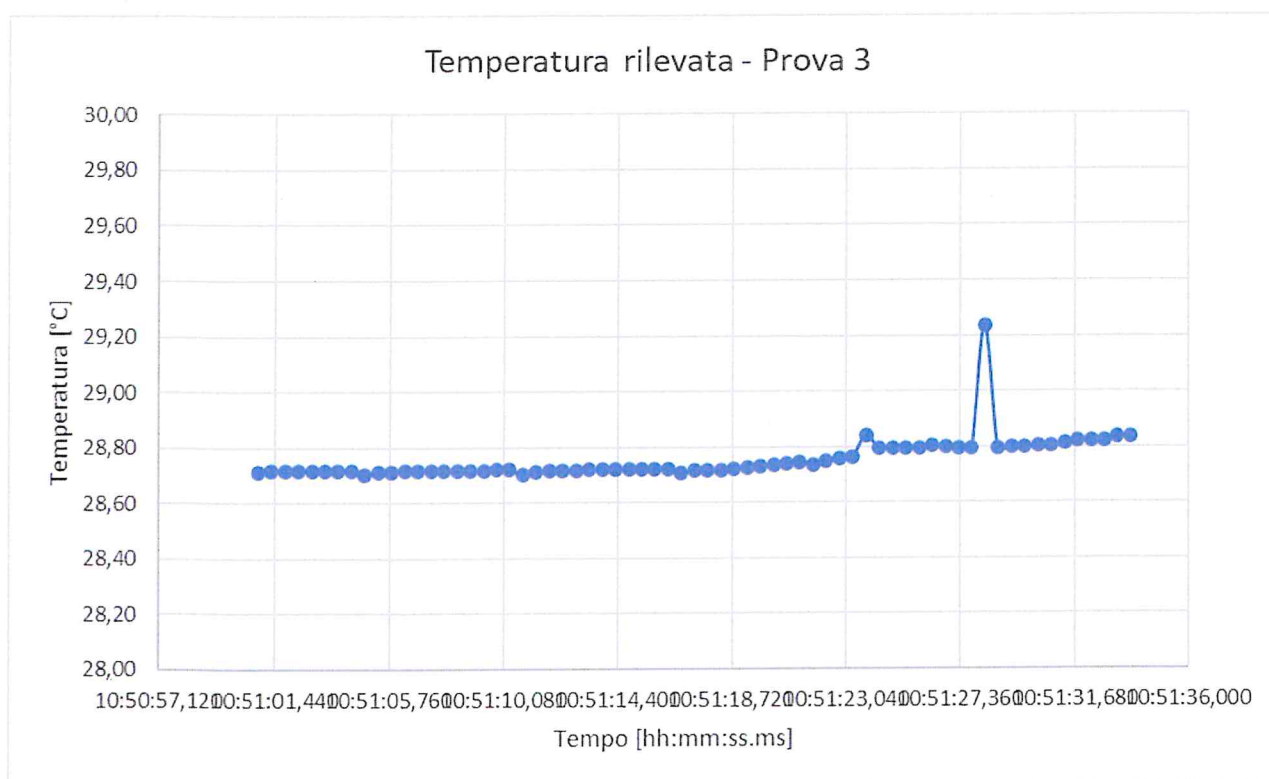


Figura 4 – Temperatura misurata nella prova del 19 Maggio 2022.

Prof. Fabio Rinaldi



# Allegato – Rapporto di taratura



Dipartimento di Energia  
Laboratorio Tarature Termometriche  
Settore Temperatura  
Via Lambruschini 4  
20156 Milano  
Tel. 02.23993841

## Rapporto di taratura n° 22-001 Report of Calibration No.

data di emissione date of issue	11-05-2022
cliente customer	Lab. LTT – Dip. Energia - Politecnico di Milano Via Lambruschini, 4 20156 - Milano
destinatario receiver	Lab. LTT – Dip. Energia - Politecnico di Milano Via Lambruschini, 4 20156 - Milano
richiesta application	Interna
data richiesta date application	02-05-2022
<u>Si riferisce a</u> referring to	Catena termometrica con TR Pt100 a 4 fili
oggetto item	Datalogger Agilent Modello LXI Data Acquisition/Switch Unit 34972 - Scheda acquisizione dati Agilent modello 34901A s/n MY41075039 - Personal computer HP modello EliteBook 6930p s/n: 2CE905F4C5 sistema operativo: Microsoft Windows Vista Business s/n D7HH4-CW7C7-38J3Y-PHQFM-WV72W - Cavo USB di collegamento tra pc e datalogger s/n: 8120-8485 - Software di acquisizione dati Agilent Technologies BenchLink Datalogger Pro versione 3.3 Licenza n° D3W3-AA4A-4MJA-GF7P
costruttore manufacturer	Agilent
Modello sonda model	Termoresistenza Pt100 a 4 fili
matricola serial number	S.D22L05.70
data ricevimento oggetto date of receipt of item	05-05-2022
data delle misure date of measurements	11-05-2021

I risultati di misura riportati nel presente Rapporto sono stati ottenuti utilizzando la camera climatica citata nella pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni di prima linea da cui inizia la catena di riferibilità del Laboratorio e i rispettivi certificati di taratura, in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.

*The measurement results reported in this Certificate were obtained following the procedures given in the following page, where the reference standards are indicated as well, from which starts the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in their course of validity. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.*

Questo rapporto non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Laboratorio.  
*This report may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Laboratory.*

Il Responsabile di Settore  
Head of the Sector  
Prof. Ing. Fabio Rinaldi

Il Responsabile delle prove  
Operator  
p.i. Roberto Bassan

**Rapporto di taratura n° 22-001**  
Report of Calibration No.

La catena di riferibilità ha inizio dai campioni di prima linea N. SQuA.TE.ST.01.08  
*Traceability is through first line standards*  
muniti di certificati validi di taratura rispettivamente N. 21-0565-01 emessi dall'I.N.R.I.M.  
*validated by certificates of calibration No.*

**Condizioni di Taratura**

**Condizioni ambientali:**

Temperatura:  $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$

Umidità:  $50\% \text{ U.r.} \pm 10\% \text{ U.R.}$

Taratura effettuata alle seguenti temperature:  $0\text{ °C}$ ;  $20\text{ °C}$ ;  $30\text{ °C}$ ;  $40\text{ °C}$ ;  $50\text{ °C}$ ;  $60\text{ °C}$ ;  $70\text{ °C}$ ;  $80\text{ °C}$ ;  $88\text{ °C}$

**Condizioni di taratura dello strumento:**

$0\text{ °C}$  In dewar con una miscela di ghiaccio ed acqua deionizzata satura d'aria, immersione di 350 mm.

$0\text{ °C} \div 100\text{ °C}$  In bagno termostatico ad acqua deionizzata per confronto con termometro campione a resistenza di platino.

**Dati relativi allo strumento: .**

Costruttore: Elsi

Modello: Termoresistenza Pt100 a 4 fili

Matricola: S.D22L05.70

Risoluzione:  $0,01\text{ °C}$

**RISULTATI DELLA TARATURA**

Punto n°	T riferimento [°C]	T indicata [°C]	Differenza Tind. - Trif. [°C]	Incertezza estesa [°C]
1	0,00	0,04	0,04	0,05
2	20,02	20,04	0,02	0,05
3	30,02	30,05	0,03	0,05
4	40,10	40,14	0,04	0,05
5	50,03	50,08	0,05	0,05
6	59,55	59,60	0,05	0,05
7	70,10	70,15	0,05	0,05
8	79,95	80,00	0,05	0,05
9	88,12	88,13	0,01	0,05
10	0,00	0,04	0,04	0,05

## Misure elettriche

### Attività svolta

Oggetto della prestazione è la caratterizzazione dell'attività elettrica alle due coppie di morsetti dell'alimentatore dell'apparato denominato STORMREACTOR durante il funzionamento dello stesso.

La prima coppia di morsetti è collegata alla rete elettrica monofase (Fase-Neutro) attraverso un variatore, la seconda è collegata ad una batteria al piombo per autovetture (12V nominali, morsetto positivo (+) e morsetto negativo (-)).

Per ciascuna coppia di morsetti sono misurate le seguenti variabili elettriche: differenza di potenziale e corrente elettrica (secondo la convenzione degli utilizzatori):

VL e IL per la connessione alla rete elettrica o variatore,

VB e IB per la connessione alla batteria.

### Tempistica

Le misure elettriche sono state effettuate nelle giornate di:

18 maggio 2022, 19 maggio 2022 e 12 luglio 2022 nel bunker del Dipartimento di Energia, edificio B18.

18/5: prove preliminari per verificare la configurazione di misura e in particolare osservare gli intervalli dei valori assunti dalle grandezze elettriche da misurare, a priori ignoti.

19/5: sessione di misura. Dopo un'ora si manifestano difficoltà al prototipo, difficoltà che si protraggono fino alle ore 16 con la definitiva interruzione della sessione.

12/7: sessione di misura straordinaria. Registrazione con doppio sistema di misura (oscilloscopio e data logger) delle quattro variabili elettriche di interesse durante scariche singole. Presentazione ai presenti dei risultati preliminari. Registrazione (con data logger) delle variabili durante una successione di scariche.

### Configurazione di misura e strumentazione approntata.

#### *-1- Presa di rete.*

Una apposita unità è stata realizzata per monitorare la tensione e la corrente di linea. Un partitore resistivo, inserito in parallelo, ed un amplificatore opportuno generano un segnale isolato di tensione pari alla tensione di linea VL divisa per il fattore 52. La corrente di fase IL è misurata con pinze amperometriche attive isolate (alimentate a batteria) di diversa sensibilità, portata e banda.

Chauvin Arnoux EN3: 10mV/A, 100Apk, 100kHz.

LEM PR430: 1mV/A, 400Apk, 20kHz,

LEM PR1030: 1mV/A, 1000Apk, 20kHz

*-2- Morsetti collegati alla batteria.*

La differenza di potenziale  $V_B$  è misurata mediante una sonda differenziale a larga banda connessa ai due morsetti. La corrente  $I_B$  è misurata mediante uno shunt calibrato (1mV/A), inserito in serie al morsetto positivo. Ai capi dello shunt la tensione è misurata con una seconda sonda differenziale a larga banda.

Teledyne LeCroy AP031: 10:1, 25MHz

Pico Technology TA043: 10:1, 100MHz

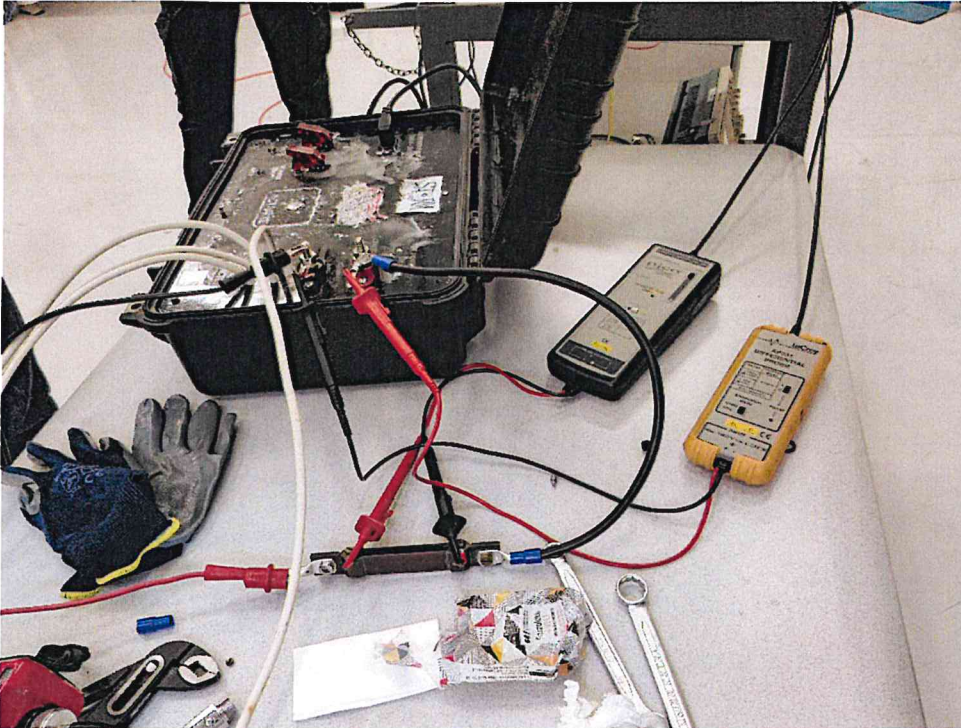


Foto della configurazione di misura. Ai morsetti connessi alla batteria sono collegati i terminali della sonda differenziale AP031. La caduta di tensione ai capi shunt, in serie al morsetto positivo della batteria, è misurata dalla sonda TA043.

*-3- Acquisizione e registrazione*

Le quattro variabili elettriche  $V_L$ ,  $I_L$ , e  $V_B$ ,  $I_B$  sono trasdotte nei quattro segnali isolati di tensione che sono campionati e visualizzati da un oscilloscopio digitale a larga banda (Agilent DSO 6054, 4 canali, 500MHz) e memorizzati da un digitalizzatore da banco (Picoscope 4824, 8 canali, 12 bit, 20MHz) controllato da un software custom.

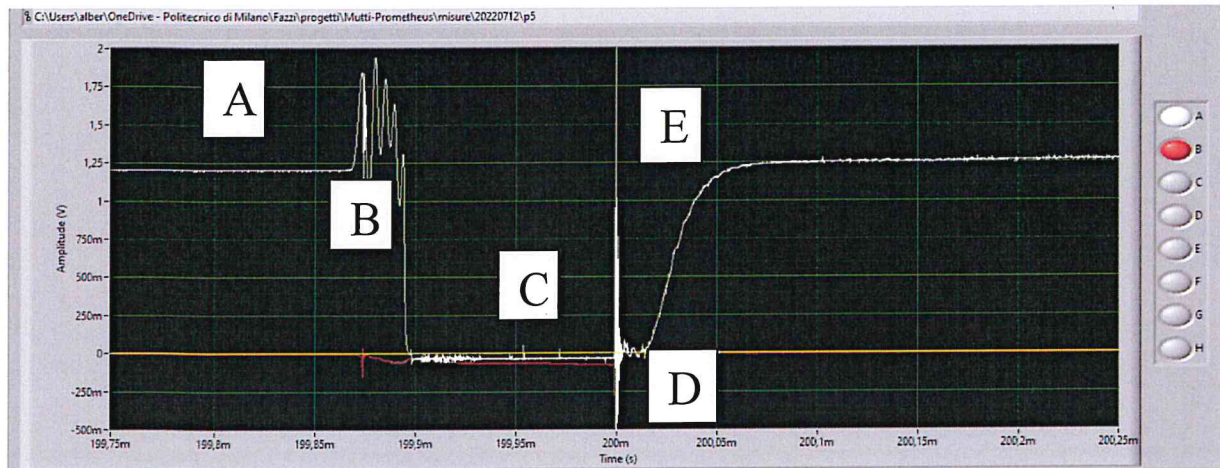
## Analisi delle misure

L'istante associato alla singola scarica del reattore, in mancanza di un riferimento temporale, è identificato sulle tracce stesse dalla discontinuità presente sulla corrente  $I_B$  unita ad una forte di disturbo che interessa tutte le tracce. Tale istante è denominato  $T_0$ .

Gli andamenti temporali delle variabili durante le scariche registrate il 12/7 hanno la medesima struttura temporale, con una certa variabilità nella durata degli intervalli relativi alla stessa struttura.



Nelle figure è riportata la traccia di **VB** (in bianco, 10V/V) e **IB** (in rosso, 0.1mV/A) della misura p5 e sono indicati i diversi intervalli qui definiti per l'analisi.



A: intervallo che comincia alla pressione del pulsante manuale, durata circa 190ms. Valore di VB costante pari a 12.1V.

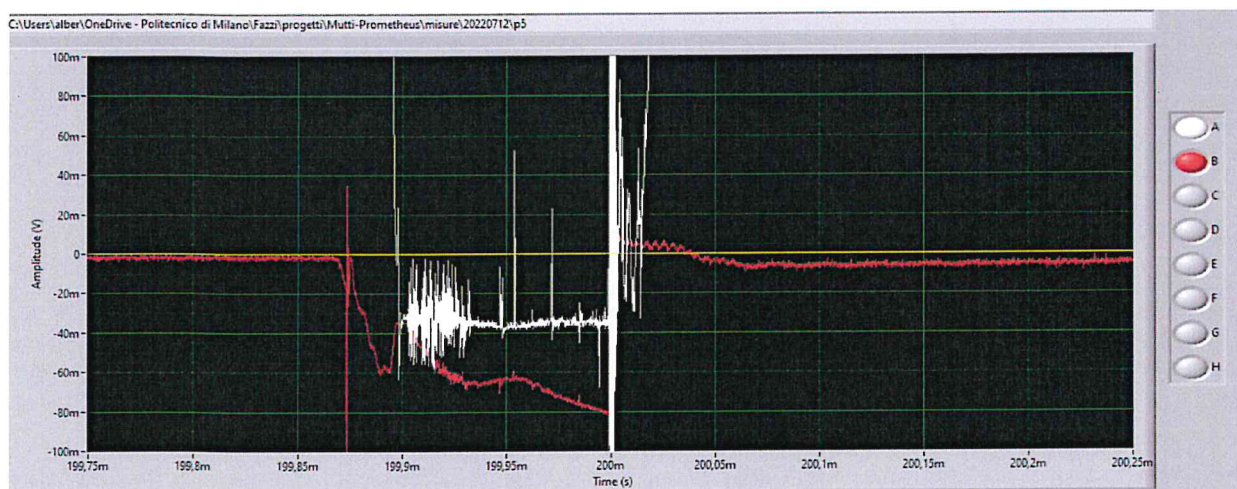
B: valore di VB aumentato di circa 300mV, durata di circa 30us.

C: brusca commutazione di VB al valore negativo di circa -350 mV, costante fino a T0, durata 50-150us.

D: salita di VB a circa 0V per una durata di circa 10 us.

E: successivo ritorno di VB a livello costante di 12.8V con andamento continuo in circa 50 us.

La corrente **IB** è sincrona a VB.



A: corrente positiva relativamente piccola, circa 20A, e costante.

B: corrente negativa, cresce fino a circa -200 -600A

C: corrente negativa, cresce fino a circa 800A, commutazione brusca a T0 con fronte positivo fino al valore tipico di +100 +300A, con alcune eccezioni.

D: corrente positiva.

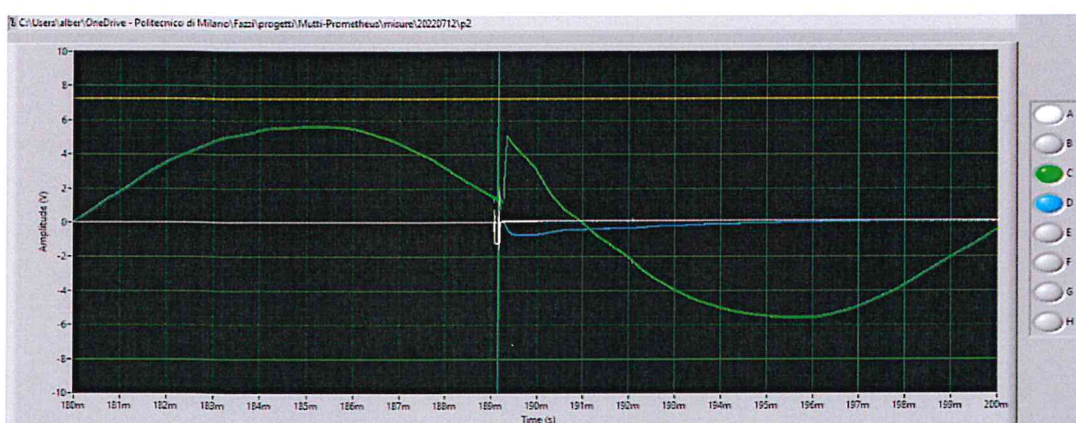
E: corrente positiva, diminuisce fino a zero

E' interessante notare che la potenza scambiata alla coppia di morsetti cambia segno più volte.

Nell'intervallo A la energia è fornita dalla batteria, in B alla batteria, in C di nuovo dalla batteria, in D è trascurabile ed in E di nuovo alla batteria.

Dall'analisi della sequenza di scariche si rivela che prima di ogni scarica, per circa 200ms, VB si abbassa di 800mV a 12.1V e IB cresce a circa 20A. In tale intervallo la batteria fornisce energia per. circa 50J alla potenza di 240W. Questo è il termine di gran lunga dominante.

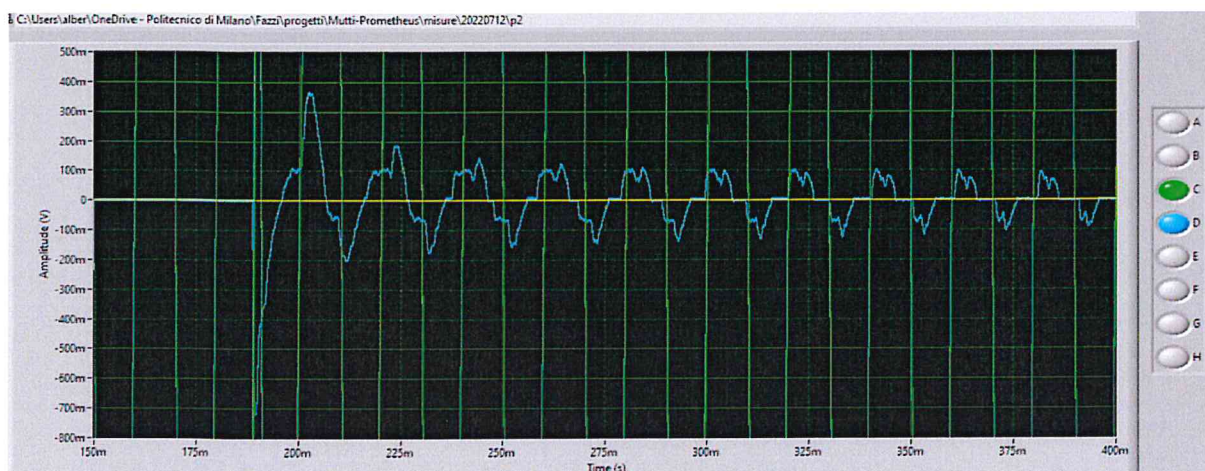
Passando ora alla seconda coppia di morsetti, la tensione VL (in verde, 52V/V) è alternata sinusoidale pari a  $4.52\text{Vac} \times 52 = 235\text{Vac}$  eccetto che per un transitorio che inizia a  $T_0 + 100\mu\text{s}$ .  $T_0$  è asincrono rispetto alla fase di VL e perciò il valore di VL a  $T_0$  è casuale. Il transitorio presenta una salita veloce ( $\tau = 75\mu\text{s}$ ) di ampiezza dipendente dal valore iniziale di VFN. La durata del transitorio è di 2-3ms.



La corrente IL (in azzurro, 1mV/A) è correlata alla VL.

IL presenta un primo transitorio negativo di ampiezza tra 0 e -200A e durata circa 2ms in corrispondenza al transitorio di VL. (La ampiezza sembra seguire il valore di VL a  $T_0$  rispettivamente tra il massimo e il minimo,). Quindi cominciano una serie di picchetti di segno uguale al segno della semi onda di rete (tipico assorbimento di circuiti raddrizzatori a doppia semionda).

Dopo il primo transitorio a seguito di  $T_0$ , IL si ripete periodicamente per decine di cicli di VL, via via smorzandosi.





## Discussione

La unità di alimentazione del reattore si presenta come una rete tempo variante con violente commutazioni che interessano elementi conservativi immagazzinanti notevole energia e, presumibilmente, elementi dissipativi, attivi e passivi.

Non è possibile, perciò, ricavare la energia fornita dall'alimentatore al reattore durante la scarica attraverso la misura della energia scambiata alle due coppie di morsetti connessi alle sorgenti.

Inoltre, alle due coppie di morsetti viene scambiata notevole potenza elettrica nei due versi con la rete e con la batteria e ciò rende comunque non praticamente percorribile la strada suddetta.

La caratterizzazione dell'attività elettrica alla coppia di morsetti connessi alle sorgenti ha mostrato un comportamento così sintetizzabile: la pressione del pulsante comincia una prima fase di prelievo di energia dalla batteria. Al termine di questa avviene la fase di scarica con moderato scambio di energia. Segue quindi una terza fase nella quale è la rete che fornisce energia per ripristinare le condizioni di partenza.

## Conclusione

Le misure eseguite il 12/7 rilevano un comportamento elettrico dell'unità di alimentazione del reattore ragionevolmente ripetibile.

Le tensioni e correnti alle due coppie di morsetti sono state registrate ed analizzate.

I risultati ottenuti possono essere utilmente confrontati con i risultati dell'analisi circuitale dell'alimentatore stesso. Possono inoltre essere utilizzati per validare eventuali simulazioni elettriche dello stesso circuito.

Nota 1. Le misure preliminari del 18 e 19/5 presento una struttura temporale significativamente diversa da quella rilevata il 12/7 e non sono state considerate in questa relazione. Ad esempio, la zona della traccia VB denominata C non è presente, segno di un circuito riparato e/o modificato.

Nota 2. Si segnala che la registrazione della sequenza di scariche ha messo in rilievo la presenza, in ben cinque scariche su otto, di andamenti di tipo "doppio impulso".

Prof. Alberto Fazzi

