



*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Sezione di Padova*



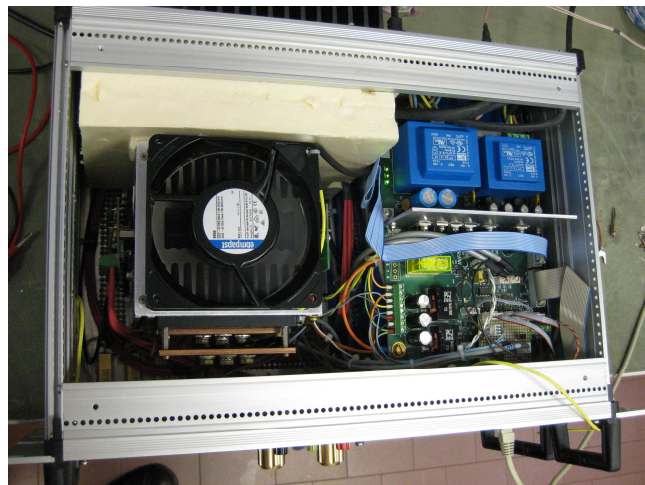
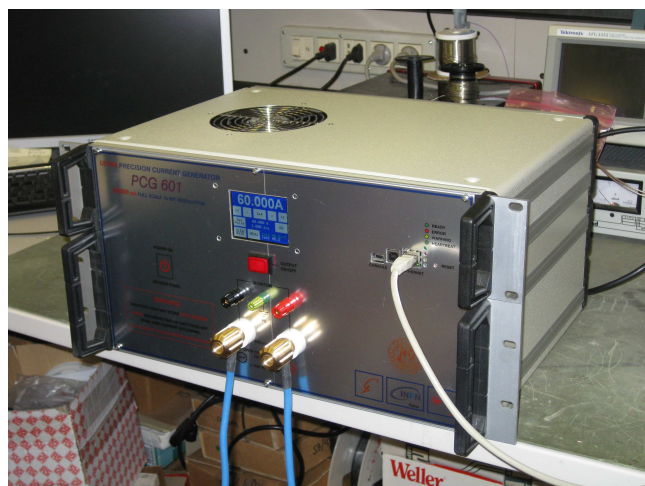
**Dipartimento  
di Fisica  
e Astronomia  
Galileo Galilei**

*Università degli Studi di Padova Italy*

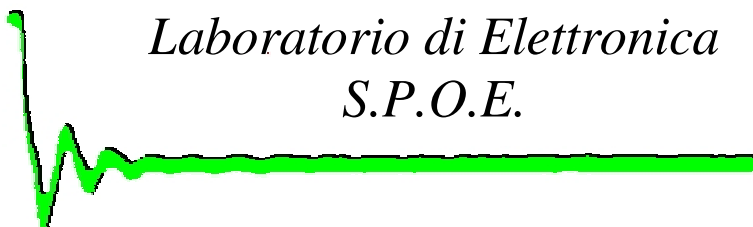
## *QUAX Experiment*

### *60 A “1 mA step” Ultra-Precision Current Generator*

### *Manuale Utente*



*Laboratorio di Elettronica  
S.P.O.E.*





# *QUAX Experiment*

## *60,000 mA 1 mA step Ultra-Precision Current Generator*

Autori e costruttori	<i>Giampaolo Galet e Lorenzo Castellani</i>
Circuiti stampati e schemi	<i>Marco Bettini</i>
Parti meccaniche	<i>Alberto Pitacco (Off. Mecc. I.N.F.N)</i>
Versione Manuale	<i>SPOE-MN-GPLC-0001-2018 Rev. 0.1</i>
Esperimento	<i>QUAX c/o L.A.E. Building Laboratori Nazionali I.N.F.N. di Legnaro Padova PD ITALY</i>
Referente	<i>Dr. Giovanni Carugno</i>
Data	<i>Aprile 2018</i>

**Note :** Secondo esemplare prototipale costruito presso il Servizio Progettazione Officina Elettronica S.P.O.E. del Dipartimento di Fisica Galileo Galilei dell'Università degli Studi di Padova e della Sezione di Padova dell'I.N.F.N, con il contributo sulle parti meccaniche dell'Officina Meccanica della sez. I.N.F.N di Padova.

# INDICE

- *L'esperienza QUAX*
- *Il Progetto*
- *Informazioni di sicurezza generali* 
- *Presentazione dell'apparecchio*
- *Nozioni di base sul funzionamento e sull'operatività*
- *Manutenzione*
- *Specifiche tecniche*
- *Sicurezza del Magnete* 
- *Schema del circuito di protezione esterna e ricircolazione di corrente del Magnete*
- *Schema a blocchi*
- *Schemi elettrici*
- *Manuale del Magnete CRYOGENIC*

# L'Esperimento *QUAX*

*QUAX (QUaere Axions) è un esperimento per la ricerca di assioni quali componenti di materia oscura. L'assione è una particella introdotta per risolvere il problema della CP "forte", e successivamente proposta come componente di materia oscura. L'alone di materia oscura che permea la Galassia viene visto da un osservatore sulla Terra come un "vento"; infatti la Terra si muove rispetto alla Galassia (e quindi rispetto la materia oscura) con una velocità di circa 270 km/s.*

*Assumendo che gli assioni siano il maggior componente dell'alone, è possibile misurare tale vento assionico...*

*Infatti questo agisce in maniera simile ad un campo magnetico sugli spin del materiale, modulandone la magnetizzazione..*

*Tale segnale ha una modulazione giornaliera ed una propria figura di merito.*

*Per evitare il problema del "radiation dumping" il materiale viene inserito in una cavità a microonde, mentre per selezionare la massa dell'assione da testare il materiale viene permeato da un campo magnetico uniforme.*

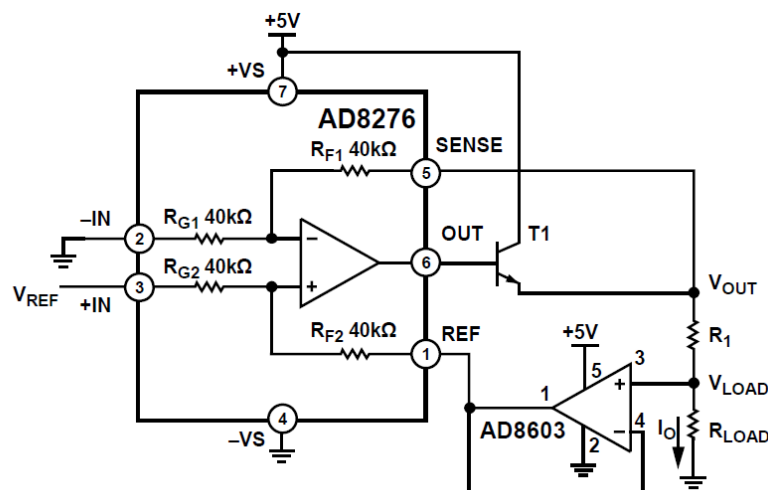
*Tale campo deve essere stabile almeno al livello di  $1/Q$ , dove  $Q$  è il fattore di qualità del modo di lettura. Per questo proposito è necessario avere un generatore di corrente per un magnete superconduttore che sia il più stabile possibile, consentendo un lungo tempo di integrazione.*

*Il segnale prodotto dagli "spin flip" indotti dagli assioni, che decadono rapidamente formando fotoni, verrà poi raccolto da antenne RF e misurato da una catena di amplificatori o da un "quantum counter" adatto...*

## Il Progetto.....

Alcuni anni fa, un “team” di ingegneri/ricercatori, ha presentato un “paper”, per conto dell’Analog Device, su di una particolare applicazione del circuito integrato AD8276, impiegato come “controllore” per Generatori di Corrente di alta precisione.

L’AD8276 è un Amplificatore Differenziale a guadagno unitario caratterizzato da un elevatissimo rapporto di reiezione tra il funzionamento a “differenziale” e quello a “modo comune” (86 dB), dovuto principalmente alla calibrazione ultra-precisa, con tecnica “al laser”, delle 4 resistenze a semiconduttore integrate, che, in questa applicazione cui si farà riferimento, costituiscono un “ponte” di Wheatstone praticamente insensibile alle variazioni di temperatura.. Lo studio evidenzia, per la topologia circuitale adottata e schematicamente sotto rappresentata, come la precisione e la stabilità della corrente d’uscita possa essere elevatissima (4° cifra decimale) e garantita in tutto l’intervallo di alimentazione del suddetto Circuito Integrato. Per chi ne fosse interessato si rimanda all’articolo **“Difference Amplifier Forms Heart of Precision Current Source”** di Neil Zhao, Reem Malik e Wenshuai Liao, ripreso dalla stessa Analog Devices, nel Circuit Note CN-0099, che ne riporta lo schema seguente:



Le caratteristiche dell’AD8276 che lo hanno reso il “candidato” ideale per questo progetto (1mA di regolazione su 60000) sono essenzialmente, l’elevata tensione di alimentazione di  $\pm 18V$  o 36V, un CMRR di ben 86dB garantito almeno fino a 10kHz, una figura di rumore molto bassa e, soprattutto, variazioni sull’offset di tensione e sul guadagno dovute alle variazioni termiche fra le piu’ basse in assoluto.

A tal proposito si rimanda al Data Sheet specifico dell’AD8276.

Le caratteristiche dell’Apparecchio che viene, così, realizzato, traendo spunto dallo schema proposto dal suddetto Applicativo, opportunamente elaborato, per la particolare applicazione in QUAX, sono:

- Tipologia circuitale ad “un quadrante e mezzo”: l’apparecchio eroga e controlla SOLO corrente positiva sul “primo quadrante” con escursione di

tensione fino a circa 8 V, “sconfinando” nel secondo quadrante per tensione negativa fino a circa -1 V. Nel range di funzionamento regolare, quindi, l'alimentatore è da intendersi ad elevatissima impedenza d'uscita. L'assorbimento di corrente positiva o negativa forzata dall'esterno non è controllabile ed è possibile solo tramite un circuito interno passivo a resistori di potenza opportunamente dimensionati. Per evitare le situazioni di instabilità della tensione di uscita su particolari carichi reattivi si è inserito internamente, sulle boccole d'uscita, un “abbassatore di impedenza” costituito da una grossa capacità formata da un banco di condensatori a diversa tecnologia di fabbricazione, montato su una “board” opzionale e disinseribile...

- Operabilità a tensione zero o “quasi” zero alle boccole di uscita: il Generatore è in grado di “lavorare” in “corto circuito” “puro”!
- Esecuzione “floating” di tutta l'elettronica con la possibilità di messa a terra di una qualsiasi delle due boccole d'uscita;
- Protezione interna da extratensioni o inversioni di polarità provocate da carichi reattivi (induttivo, nello specifico): intervento con “crowbar” a SCR a circa 12V positivi e a circuito di potenza D-R per tensioni inverse (negative).

*L'Apparecchio non viene dotato di QUENCH DETECTOR della particolare condizione di funzionamento anomalo delle bobine superconduttrici operanti ad elevatissimi campi magnetici in elio liquido a pochi gradi Kelvin che, negli Alimentatori Specifici porterebbe al cortocircuito comandato, tramite relè, dei terminali di uscita: la corrente disponibile (60A) non è da ritenersi pericolosa per quelle condizioni che possono essere “distruttrici” o pregiudicare l'integrità dell'Apparato nel suo complesso (con la bobina 2T Cryogenic): il circuito D-R e Crowbar interno è sufficiente (si vedano gli schemi elettrici). E' necessario, però, dotare il Magnete di diodi esterni di ricircolo ( pag. 20, 21, 22).*

Lo schema adottato, consente, inoltre, un semplice interfacciamento digitale-analogico con il Processore interno di gestione che sovraintende al funzionamento dei convertitori DAC, dei sensori termici e del pannello-display di comando.

Le elevate prestazioni del circuito e dell'AD8276 dipendono, tuttavia, dallo “shunt” di corrente utilizzato che è il componente più critico di tutto l'Apparecchio e che necessita di un particolare lavoro di alloggiamento, supporto meccanico, dissipazione e di isolamento termico per la necessaria termostatazione (indicato con R1 sullo schema sopra riportato). Si può sostenere, in linea di principio, che l'accuratezza e precisione dell'Apparecchio dipendono quasi esclusivamente dalla stabilità termica e precisione dello shunt!



*E' stato scelto uno shunt dal TCR, ovvero il Coefficiente di variazione resistiva per grado centigrado di variazione termica, molto basso,.... di sole poche parti per milione intorno allo zero.*

*Il modello utilizzato è il PSB-X-R010-B della serie PSB degli "ultra precision shunt resistor" da 40W dell'Alpha Electronics, da 10mohm di resistenza. Con 60 A la sua potenza dissipata massima risulta di 36W.*

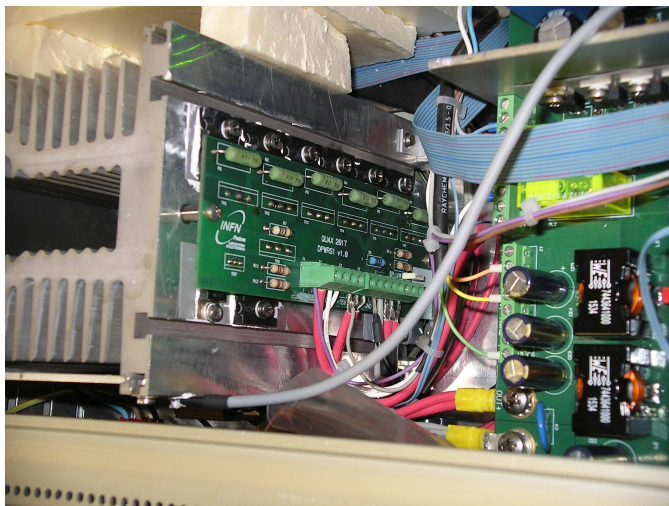
*Con riferimento allo schema illustrato sullo "sheet" 2, tutta la parte di gestione analogica e di controllo della corrente operata dall'AD8276 e dal doppio DAC AD5663 viene montata su un circuito stampato dedicato (di misura uguale alle dimensioni fisiche dello shunt e montato di fianco ad esso), che risulta completamente "optoisolato" nei comandi dal resto dell'apparecchiatura.*

*La scheda e' provvista di una sonda termica di precisione PT100 che, assieme a quella principale di termostatazione montata sullo shunt, "mostra" sul display di gestione la condizione termica di corretta operabilità e consente al software di gestione di compensare (con DAC dedicato) le variazioni termiche dell'elettronica. Tutto il sistema meccanico di fissaggio, di dissipazione, di riscaldamento indiretto dello shunt e di idoneo isolamento termico dal resto del contenitore costituisce la parte principale dell'Apparecchio, cosi come parzialmente evidenziato dalle foto allegate.*

*Lo shunt è fissato su un "blocco" di alluminio pieno, pesante, perfettamente levigato sulle due superfici principali che costituisce "massa termica inerziale", a sua volta unito meccanicamente al "corposo" dissipatore posto sul retro dell'apparecchiatura (vedi foto).*

*Il riscaldatore è costituito da un insieme di 14 resistori metallici fissati regolarmente sul perimetro esterno del blocco di alluminio per una potenza riscaldante massima di circa 45W, modulabile in "continuo" fino a zero dal sistema di controllo.. La temperatura di lavoro e di termoregolazione è posta a  $45^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . L'alimentazione è garantita da un alimentatore switching dedicato, da 100W, che viene connesso direttamente al riscaldatore tramite relè (bypassando il Driver di controllo) nella prima fase di riscaldamento (accelerata!).*

*In condizioni medie di temperatura ambiente la termostatazione avviene in un tempo compreso tra i 20 ed i 30 minuti. In questo tempo l'Apparecchiatura e' da intendersi funzionante, ma in fase di "riscaldamento" e quindi NON in condizione di massima precisione sulla corrente erogata..*



*Driver di potenza*

Lo “sheet 1” mostra lo schema della “board” del singolo Driver di Potenza (la foto precedente mostra la scheda del Generatore da 20A) che viene raddoppiata in questo Generatore con le 2 schede (12 transistors finali) montate sui lati opposti del dissipatore interno al contenitore. La dissipazione dell’insieme così costituito avviene per convezione naturale a “camino” verticale con “aiuto” forzato da un ventilatore interno al cassetto. I due stadi (Driver di Corrente d’uscita del Generatore indicato da T1 sullo schema di principio) e il Driver del riscaldatore sono costituiti da finali a transistor bipolari di ultima generazione a tecnologia “planare epitassiale a tripla diffusione”, definiti “beta sustaining” per l’elevato e costante guadagno ( $\geq 100$ ) in pressochè tutta la caratteristica di corrente di collettore.

I circuiti “darlington” costituenti i due Driver a transistor sono, quindi, in grado di “elaborare” correnti elevate con un pilotaggio estremamente basso e gestibile da normali OP-AMP.



*L'alimentatore COTEK*

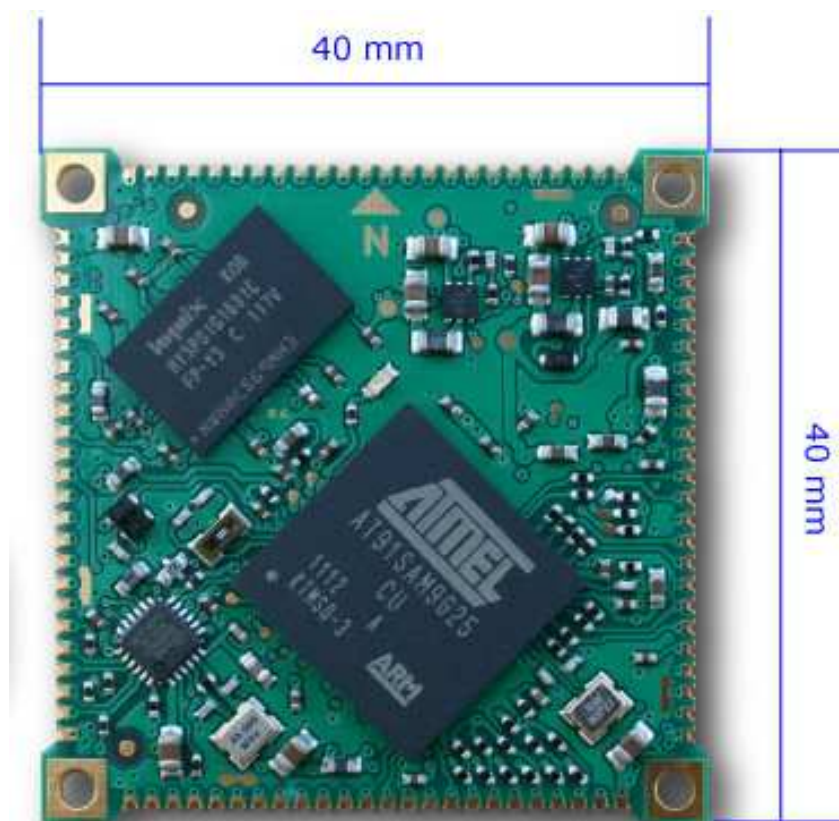
Importante attenzione è stata riservata alla scelta dell’”Alimentatore Primario di Potenza” interno all’Apparecchio. Alimentatore che, per la condizione gravosa e particolare del carico (60A con tensione alle boccole prossima allo 0) non poteva che essere a tensione d’uscita variabile. Un alimentatore di tipo lineare, di facile realizzazione e probabilmente meno “rumoroso”, avrebbe comportato, però, un rendimento elettrico molto basso con un costo e dispendio di materiale non conveniente. Oltre al fatto di non poter essere rispondente, per la potenza assorbita dalla rete elettrica (> di 75W) alle recenti Normative Elettriche che richiedono la presenza, verso la rete a 230V, di un adeguato circuito di rifasamento PFC.

La scelta è “caduta” su di un doppio “Alimentatore Switching” di ultima generazione caratterizzato dalla non comune caratteristica di essere regolabile in tensione d’uscita e corrente a partire da zero. Gli Alimentatori sono dei COTEK AE-800-12 da 12V, 66,7A e 800W del Gruppo KEPKO, collegati in parallelo, che,



come evidenziato dalla corrente di ciascuno, sono MOLTO sovradimensionati (uno solo basterebbe!), per il contenimento del “rumore” di commutazione e la salvaguardia della loro durata (vita operativa in migliaia di ore) che, in relazione al minor carico gravoso cui sono sottoposti è molto più lunga. Per migliorare ulteriormente il rumore residuo di commutazione dei due “switching” è stato inserito in serie alla loro uscita, un filtro passivo a doppia cella  $\Pi$ , su entrambi i rami di alimentazione, da 60A, opportunamente dissipato (vedi schema). Gli “switching” sono programmati e gestiti assieme, con linea seriale, direttamente dal Processore interno dell’apparecchiatura. La peculiare caratteristica di regolabilità in tensione di questi alimentatori (praticamente da zero) assieme alla bassa perdita in tensione di saturazione del Driver sopra descritto rende, di fatto, molto elevato il rendimento elettrico globale dell’Apparecchiatura, tenendo bassa la dissipazione in calore. Il Processore è, quindi, in grado di adeguare la tensione di partenza dagli switching in base alle “strette” necessità del carico in uscita applicato alle boccole.

La parte digitale di controllo, i vari circuiti di servizio e il gruppo dei piccoli alimentatori di servizio sono montati su un circuito stampato (detto il “principale”) che sovrintende a tutta la funzionalità dell’Apparecchiatura tramite il Modulo Embedded a micro-processore ARIA G25 dell’Acme System (foto sotto) che integra tutte le parti necessarie alla gestione del display touch-screen, della memoria, delle 3 sonde termiche, delle comunicazioni interne tra le schede ed esterne tramite USB o rete Ethernet e contiene il software di gestione su base LINUX.





## *Informazioni di sicurezza generali*

*Questa apparecchiatura è stata progettata e costruita ESCLUSIVAMENTE come prototipo unico per un utilizzo TEMPORANEO in un Laboratorio di Ricerca applicata in Fisica, specificatamente come apparato per l'esperimento QUAX e deve essere utilizzata SOLO ed ESCLUSIVAMENTE a tale scopo e da personale autorizzato e competente, con formazione e informazione adeguati alla natura del rischio che l'impiego di apparecchiature elettriche comporta. Prima del collegamento e dell'utilizzo dell'apparecchio è OBBLIGATORIO leggere queste informazioni ed avvertenze ed il Manuale di Utilizzo per prevenire danni al prodotto ed evitare rischi e lesioni personali.*

*Le caratteristiche dell'apparecchio IMPLICANO l'osservanza necessaria delle seguenti indicazioni:*

- *Utilizzare un cavo di alimentazione da rete a norma e certificato.*
- *Assicurarsi del corretto collegamento di terra del cavo di alimentazione che garantisce la messa a terra del contenitore, dei connettori di collegamento e dell'intero apparato (sul retro dell'apparecchio è presente un "vitone" di terra per il collegamento diretto al rack e/o ad altri apparati).*
- *Assicurarsi che TUTTI i componenti e gli strumenti elettronici ad esso collegati siano dotati di SICURA messa a terra.*
- *Assicurarsi che gli eventuali cavi coassiali e i connettori coassiali siano adeguati alla tensione di funzionamento e che i collegamenti da e verso gli apparati/componenti/impianti e cablaggi esterni siano correttamente eseguiti e sicuri.*
- *Assicurarsi dei corretti spazi e distanze di isolamento elettrico da tutti gli altri apparati/componenti operanti nelle vicinanze e non direttamente e fisicamente collegati.*
- *NON CI SONO PARTI O COMPONENTI INTERNI ALL'APPARECCHIO SOGGETTI A SERVIZIO, MANUTENZIONE O SOSTITUZIONE DA PARTE DELL'UTILIZZATORE.*
- *E' VIETATA l'apertura e la manomissione/modifica dell'apparecchio al personale utilizzatore. E' VIETATA la messa in funzione dell'apparecchio con il coperchio o pannelli aperti o il contenitore smontato. Per qualsiasi esigenza riferirsi al personale del Laboratorio costruttore.*
- *Non mettere in funzione l'apparecchio se si sospettano malfunzionamenti. Riferirsi al personale del Laboratorio di costruzione.*
- *Non mettere in funzione l'apparecchio in presenza di acqua e umidità e in presenza di atmosfera potenzialmente esplosiva o infiammabile.*
- *Assicurarsi che la ventilazione dell'apparecchio sia garantita e appropriata.*
- *Non permettere l'utilizzo dell'apparato e l'accesso al Laboratorio dove risiede il "sistema" a persone NON competenti, informate e autorizzate.*
- *I MAGNETI SUPERCONDUTTORI collegabili a questo Generatore possono entrare in una situazione CRITICA di lavoro e "quenchar" con correnti elevate. Osservare scrupolosamente le istruzioni del Costruttore del magnete e prendere le adeguate precauzioni sulle condizioni di lavoro del DEWAR e dell'elio liquido..*  
*L'Alimentatore/Generatore NON è provvisto di "QUENCH DETECTOR" ....*  
*ASSICURARSI CHE IL CIRCUITO PROTETTORE A DIODI SIA COLLEGATO..*

# PRESENTAZIONE DELL'APPARECCHIO

Questa apparecchiatura è stata progettata appositamente per un'applicazione specifica nell'apparato dell'Esperimento di Fisica Sperimentale QUAX e riguarda il pilotaggio, con una corrente continua "ultrastabile", a step di 1mA e fino a 60A, di una bobina speciale realizzata con filo in lega di rame-ibco impregnata, da circa 10H di induttanza, resa superconduttrice per immersione in elio liquido criogenico a circa 4°K, che "crea" un campo magnetico di circa 2,3 Tesla.....

Trattandosi di un GENERATORE di CORRENTE continua completamente isolato da terra, per l'applicazione suddetta la tensione sviluppata in uscita all'apparecchiatura in erogazione della corrente massima è molto bassa, e, di norma, non supera il centinaio di millivolt, collegamenti compresi.... L'apparecchio è quindi in grado di operare praticamente in condizione di "corto circuito" in uscita con qualunque dei due terminali d'uscita collegabili a terra.

In queste condizioni la potenza elettrica erogata, si attesta intorno a pochi Watts..

La massima tensione erogabile a vuoto è di circa 10V che, a pieno carico (60A), per altre e più generiche applicazioni, si riduce a circa 8V...

L'inversione di polarità forzata dall'esterno è limitata internamente da un minimo di circa 0,3V (a caldo) e fino ad un massimo di circa -3V a 60A.

## **ATTENZIONE:**

Data la natura del carico **FORTEMENTE INDUTTIVA** che l'apparecchio alimenta e la notevole energia immagazzinata nel campo magnetico generato è **importante** rispettare le seguenti linee guida per la SICUREZZA e la salvaguardia di tutte le apparecchiature e l'attrezzatura coinvolta:

**MAI** spegnere lo strumento tramite l'interruttore principale quando questo sta erogando corrente.... E' assolutamente necessario procedere allo spegnimento tramite il pulsante ON/OFF sul frontale e attendere che la corrente visualizzata arrivi a zero secondo la rampa impostata. (I tempi possono essere anche lunghi!)

A quel punto è possibile spegnere o togliere corrente all'apparecchio tramite l'interruttore principale o scollegando il cavo di alimentazione...

**MAI** collegare o scollegare il carico al "volo", con lo strumento acceso, anche in assenza di erogazione... Bisogna assicurarsi che il pulsante ON/OFF sul frontale sia in posizione OFF e che la corrente visualizzata sia o si porti a zero. **Sono OBBLIGATORI i diodi di ricircolo in antiparallelo collegati sulle bacchette di alimentazione del Magnete in ingresso al DEWAR (vedi schema pag. 22).**

Lo strumento è PROTETTO internamente da imprevisti distacchi della tensione di alimentazione, ma vanno assolutamente evitate tutte quelle manovre accidentali che possano sottoporre a "stress" i componenti interni dell'apparecchio e la bobina superconduttrice. Particolare attenzione va posta sulla gestione manuale dello switch superconduttore (bypass) di "ricircolazione" (persistent mode) assieme alla condizione di erogazione/spegnimento/distacco del Generatore.

# NOZIONI DI BASE SUL FUNZIONAMENTO E SULL'OPERATIVITA'

Lo strumento è un Generatore di Corrente da 0 a 60A (60.000 mA) con risoluzione di 1mA (valore digitalizzato) e con impedenza d'uscita "artificialmente" tenuta bassa per la massima stabilità in tensione su carichi fortemente induttivi.

I comandi e la selezione in corrente avvengono tramite display touch-screen posto sul pannello frontale o remotamente tramite rete Ethernet o USB.

Come riportato al paragrafo precedente è importante attenersi alle linee guida per la corretta operatività nella condizione di collegamento del carico alle bocche di uscita e di spegnimento dell'apparecchio che vengono riassunte così:

**MAI** spegnere lo strumento tramite l'interruttore principale (sul frontale o sul retro dell'apparecchio) quando questo risulta in erogazione di corrente.

E' assolutamente necessario spegnere lo strumento tramite il pulsante luminoso ON/OFF sul pannello e attendere che la corrente arrivi a zero...

E' possibile, quindi, spegnere completamente lo strumento con l'interruttore principale posto sul retro dell'apparecchio..

**MAI** collegare o scollegare il carico con lo strumento acceso. E' assolutamente necessario spegnere lo strumento tramite il pulsante luminoso ON/OFF sul pannello e attendere che la corrente arrivi a zero.



Il display dello strumento, presenta, sotto l'indicatore della corrente d'uscita erogata, 5 pulsanti touch-screen con le seguenti funzionalità:

- Il pulsante centrale con indicazione "1mA", "10mA", "100mA" o "1bit", serve per impostare lo "step" di corrente dei restanti 4 pulsanti. La risoluzione di un bit di DAC equivale a circa 1mA.
- Pulsante ">>" incremento continuo del setpoint della corrente a passi indicati dal pulsante centrale quindi la corrente d'uscita raggiungerà il setpoint con lo slewrate indicato sul display.

- Pulsante “<<” decremento continuo del setpoint della corrente a passi indicati dal pulsante centrale quindi la corrente d’uscita raggiungerà il setpoint con lo slewrate indicato sul display...
- Pulsante “+” singolo incremento del setpoint della corrente a passi indicati dal pulsante centrale quindi la corrente d’uscita raggiungerà il setpoint con lo slewrate indicato sul display...
- Pulsante “-“ singolo decremento del setpoint della corrente a passi indicati dal pulsante centrale quindi la corrente d’uscita raggiungerà il setpoint con lo slewrate indicato sul display...

Sotto ai 5 pulsanti sopra descritti ci sono altri 2 pulsanti ed un indicatore:

- Pulsante “Set Point” viene utilizzato per impostare un valore di corrente che viene visualizzato nell’indicatore centrale.
- Pulsante “GO” viene utilizzato per portare la corrente d’uscita al valore visualizzato dell’indicatore “Set Point” con la rampa selezionata (fino ad 1A/sec).

Una volta premuto il pulsante “GO” esso assume la funzione di STOP permettendo di stoppare l’incremento o decremento di corrente in qualsiasi istante.

Scendendo ancora sono visualizzati altri due pulsanti:

- Pulsante SLEW RATE che permette di selezionare la rampa di corrente in salita ed in discesa più indicata al magnete alimentato (da 10mA ad 1A/sec.) Allo spegnimento, la corrente d’uscita viene decrementata fino a zero con un rate di “xx” mA/sec, quindi vengono spenti gli alimentatori switching principali che alimentano il generatore di corrente. In caso venga ripremuto il pulsante la rampa viene bloccata al valore assunto in quel momento e il generatore rimane quindi acceso..
- Pulsante MENU’ permette di accedere alla configurazione delle interfacce di rete Ethernet eth0 e usb0.

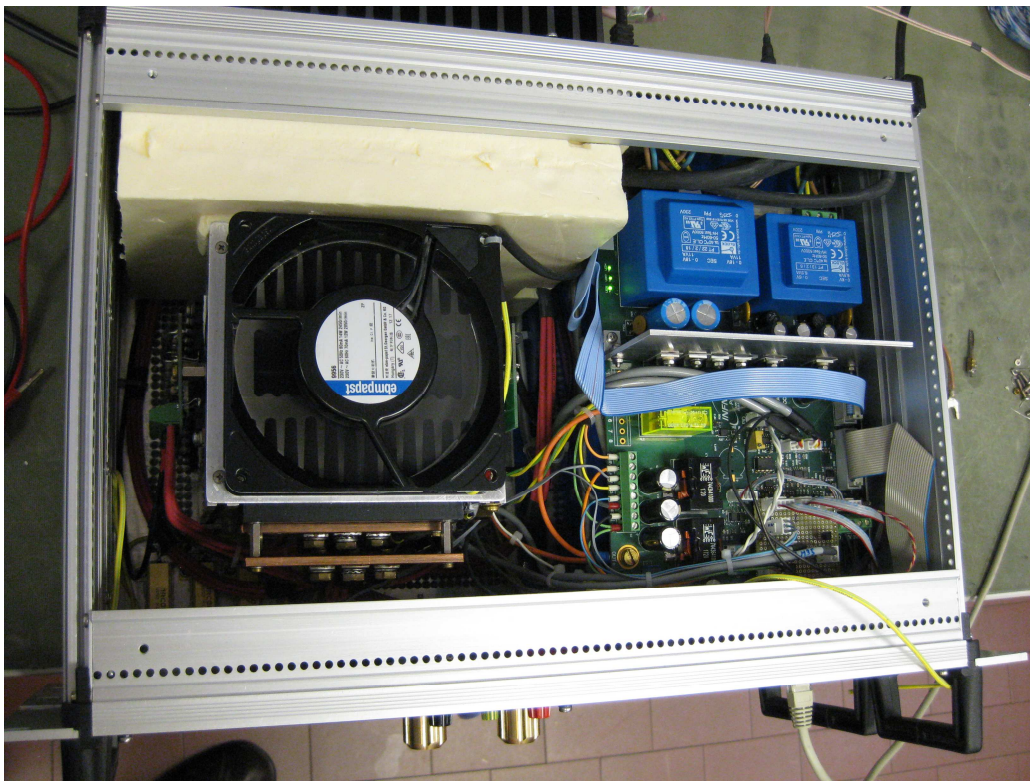
A destra del pulsante MENU’ è presente un indicatore doppio a rotazione (tramite un “touch” sul display) che visualizza due parametri interni dello strumento alla volta.

Parametri visualizzabili (descrizione in inglese):

- Tpid: is the “current control electronic board” temperature
- Tgen: is the temperature measured on the “PRIMARY HEATSINK” for the “current generator’s” power transistors.
- Ipwr1: is the output current of the first SWITCHING power supply.
- Ipwr2: is the output current of the second SWITCHING power supply.
- Vchg: is the voltage measured on the output of the current generator.
- Igen: is the total current of the output measured by two power supply.

- *Ipid*: is the current used for SHUNT thermostation.
- *Vpwr*: is the SWITCHING power supply output voltage.
- *DAC*: is the DAC value set on the current generator.
- *Ilim*: is the current limit set on the SWITCHING power supply.
- *Tsht*: is the temperature of the shunt.
- *Noise*: is RMS noise measured on the output terminal between 0,5Hz- 1kHz bandwidth.
- *Vpp*: is Vpp noise measured on the output terminal between 0,5Hz- 1kHz bandwidth.

*Per avere un valore stabile di corrente in uscita entro la precision di 1mA, una volta acceso il Generatore (col pulsante luminoso sul pannello), è necessario aspettare la stabilizzazione della temperatura della “scheda elettronica del controllo di corrente” visualizzata sull’indicatore a rotazione dal parametro Tpid. La “scheda elettronica del controllo di corrente” è stabilizzata in temperatura a  $45^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  quando questo parametro assume la colorazione verde senza lampeggio. Da freddo (temperatura ambiente) lo strumento impiega circa 30 minuti per stabilizzarsi... Lo strumento può funzionare anche durante la fase di preriscaldamento, ma la corrente erogata non sarà precisa al “mA” e l’errore dipenderà dalla temperatura ambiente iniziale dei componenti interni.*



*La foto mostra il ventilatore posto sopra al dissipatore interno del doppio Driver di potenza a 12 transistor e il “blocco” di polistirene che isola termicamente la scheda dei DAC, del controllo di corrente e lo shunt di potenza. La scheda principale, con le alimentazioni di servizio si intravede sulla destra. I tre alimentatori switching di potenza (i 2 COTEK da 800W l’uno ed il Mean Well da 150W del riscaldatore) sono posti assieme al Filtro a doppia cella a P-greco da 60A sotto alla scheda e schermati magneticamente da lamiera di ferro.*

# MANUTENZIONE

*L'apparecchiatura non necessita di manutenzione ordinaria e periodica se utilizzata in ambiente asciutto e pulito e nel rispetto delle caratteristiche tecniche di progetto.*

*Tuttavia esiste la possibilità di mancato o malfunzionamento per interruzione o intervento termico di uno o più fusibili interni a causa di stress elettrico da accensioni e spegnimenti ripetuti nel tempo o di intervento della protezione termica interna per malfunzionamento o intasamento di uno o più ventilatori.*

*In questo caso l'assistenza e la manutenzione devono essere eseguiti presso il Laboratorio di Costruzione dell'INFN di Padova.*

***NESSUNA MANUTENZIONE E' RICHIESTA ALL'UTILIZZATORE.***

***NON CI SONO PARTI O COMPONENTI INTERNI ALL'APPARECCHIO SOGGETTI A SERVIZIO, MANUTENZIONE O SOSTITUZIONE DA PARTE DELL'UTILIZZATORE.***

***E' necessario, altresì, assicurarsi, che la ventilazione forzata interna sia libera da occlusioni o coperture esterne, nella parte inferiore, superiore e posteriore dell'apparecchio.***

*La riparazione o sostituzione di parti esterne dell'apparecchiatura soggette a rotture o a usura devono essere eseguite presso il Laboratorio di Costruzione dell'INFN di Padova (S.P.O.E. con Resp. Marino Nicoletto)*

*SEGNALARE prontamente anomalie e possibili malfunzionamenti al Laboratorio di Costruzione ed evitare l'uso non sicuro dell'apparecchio.*

*I tecnici di riferimento sono Giampaolo Galet e Lorenzo Castellani..*

*La gestione dell'Apparato e la sua supervisione presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell'I.N.F.N. in sede dell'Esperimento QUAX è del Dr. Giovanni Carugno.*

# SPECIFICHE TECNICHE

## ■ ALIMENTAZIONE

Da rete 230V  $\pm 10\%$  50/60Hz 1735VA Max con fusibile esterno rapido da 10A. Potenza assorbita in condizioni di lavoro a  $V_{out} = 0V$  e  $I_{out} = 60A$  con termostatazione avvenuta  $\rightarrow$  circa 500VA

## ■ BOCCOLE FRONTALI DI USCITA

Corrente continua da 0 a 60A in step da 1mA con tensione massima a vuoto di 10V e a pieno carico di circa 8V. Uscita "floating" rispetto terra. Boccola ausiliaria di terra per il libero collegamento a terra di uno dei due poli. Protezione contro l'inversione di polarità con circuito di potenza "diodo-resistenza" e contro l'extratensione sopra ai 12V con THYRISTOR e resistori di potenza. Abbassamento dell'impedenza d'uscita con circuito capacitivo. Boccole in parallelo di servizio per il collegamento di strumenti esterni.

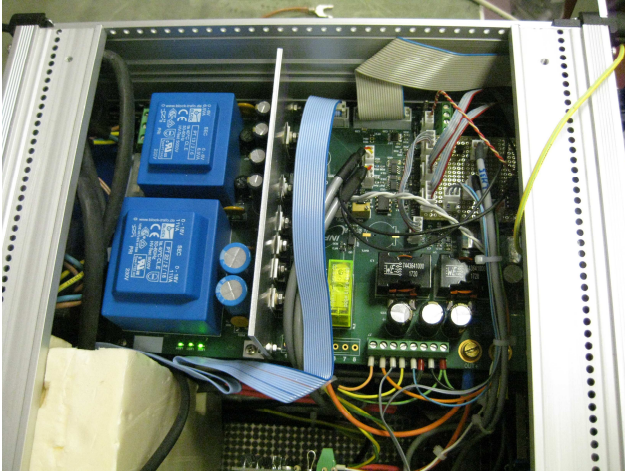


*Griglie di aspirazione posteriori. Non coprire!*



## ■ CASSETTO

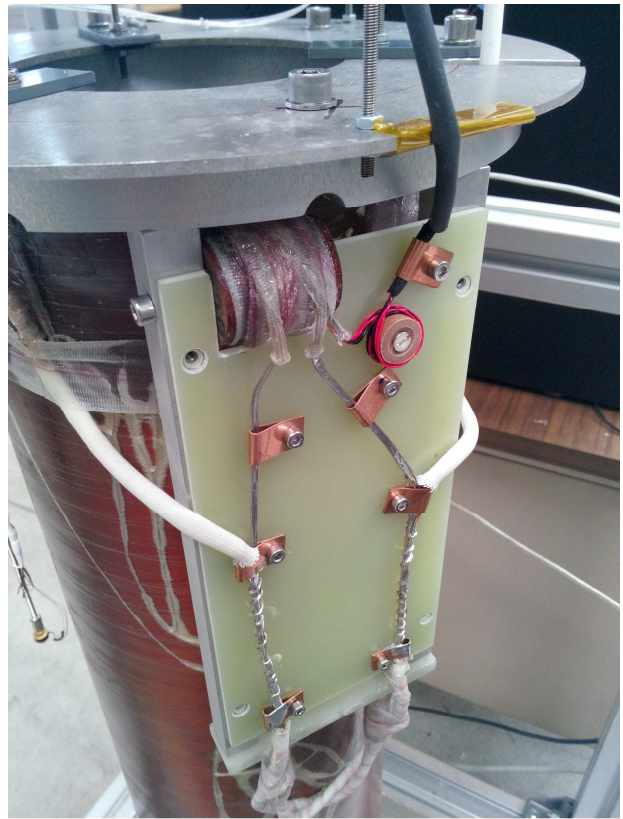
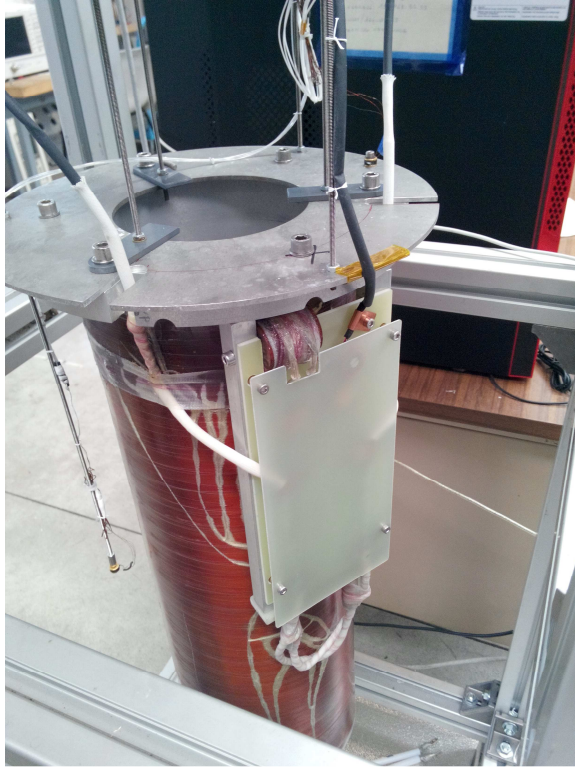
Cassetto rack 19" a 5 unità con profondità di 31 cm e maniglie frontali.  
Ventilazione d'uscita sul lato superiore e d'aspirazione sul lato posteriore.



*Griglia di uscita superiore. Non coprire od ostruire! Superficie calda!*



*BOBINA SUPERCONDUTTRICE 2T CRYOGENIC IN FASE DI INSTALLAZIONE*



*Foto del magnete da 2 Tesla della CRYOGENIC inglese in adattamento e montaggio sul telaio che verrà “calato” in elio liquido nel DEWAR.  
Nelle due foto piccole soprastanti si nota il circuito dell’interruttore “termico” di ricircolo della corrente (bypass) in superconduzione..  
La sua alimentazione viene gestita manualmente con alimentatore dedicato esterno regolato per una corrente di circa 50 mA.*



## SICUREZZA DEL MAGNETE

Dalle specifiche fornite dal Costruttore, il Magnete utilizzato ha un'induttanza di 10,6 H e permette la creazione di un Campo Magnetico (nel centro geometrico del solenoide) di 2 Tesla con una corrente di 52A.

Sebbene il Magnete sia nelle condizioni di operare con Campi Magnetici fino a oltre 5 Tesla prima di entrare in una situazione pericolosa di “quench”, e' sempre necessario proteggerlo “dissipando” esternamente ed in modo controllato la grande energia contenuta nel Campo Magnetico in seguito a situazioni di emergenza o di inconveniente improvviso (ad esempio il distacco dei cavi di alimentazione) **che, oltre alla immediata distruzione del Magnete stesso, crea pericolosissime sovrappressioni per evaporazione dell'elio liquido e pericolo conseguente per le apparecchiature e gli operatori in prossimita' del dewar..**

Per la protezione del Magnete, quindi, **(oltre al controllo strumentale del livello dell'elio e alla presenza di adeguata valvola di sovrappressione)** si utilizzano circuiti esterni di “clamp” di tensione (ben fissati localmente all'uscita delle bacchette di rame dal Dewar) che impediscono al Magnete di sviluppare tensioni elevate (che possono superare facilmente il kV, a vuoto) dovute all'interruzione improvvisa e accidentale della corrente circolante e che evitano l'irreparabile danneggiamento dell'isolamento interno e dei conduttori di rame..

Questo circuito di “clamp” non deve, però, interagire con il Generatore di alimentazione collegato e deve essere, quindi, dotato di adeguata “soglia” di intervento in tensione (di norma qualche volt).

Se, poi, per scelta di progetto, la tensione sviluppata ai capi del circuito di clamp rimane bassa anche ad alte correnti, il tempo di esaurimento dell'energia del Magnete da dissipare risulterà più lungo, “stressando” e “scaldando” poco l'avvolgimento per variazione dinamica della rampa di corrente (eddy currents)...

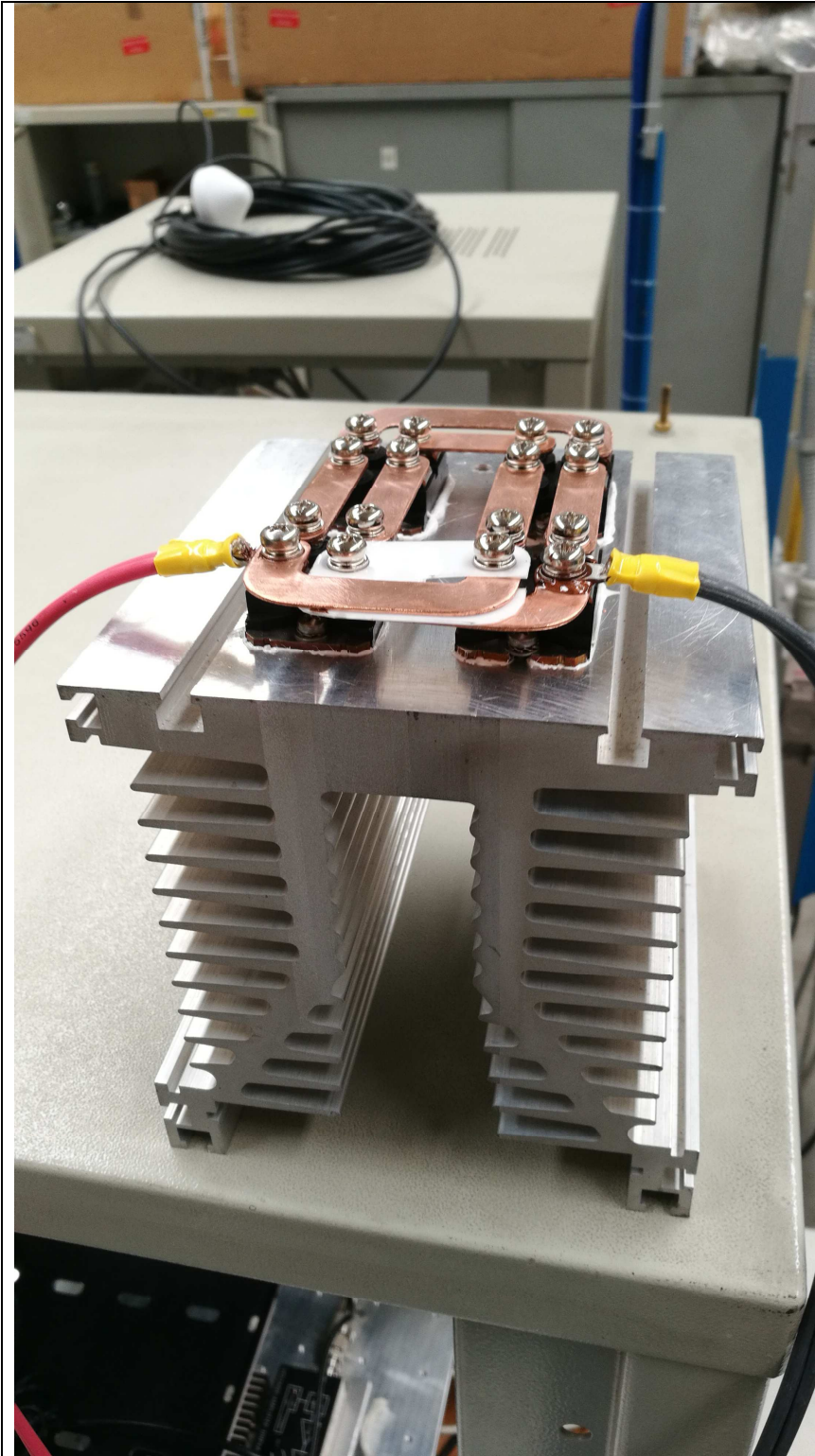
In questo caso specifico, si sono usate 2 serie di diodi veloci al silicio, di potenza, collegate in antiparallelo e composte da 4 diodi ciascuna.

Si sono usati 4 moduli a doppio diodo della Vishay da 280A, 400V, collegati in modo che in entrambi i sensi di conduzione (garantiti dal collegamento in antiparallelo) sia sempre interessato almeno un diodo per modulo a garanzia della migliore suddivisione della potenza termica da dissipare (si veda il disegno sottostante). In questa condizione la corrente sopportabile dal singolo diodo e' di 170A con una dissipazione di oltre 200W (si rimanda al Data Sheet del VS-UFB280FA40..

Con una corrente di 52A per un Campo Magnetico di 2T, l'energia “contenuta” dal magnete e' di  $(1/2LI*I)$ , circa 14330 J, che diventa di 19080 J con la corrente massima di 60A del Generatore.

Con un valore iniziale di corrente di ricircolo sui diodi esterni di tali entita', la tensione sviluppata ai capi del circuito di “clamp” (o, in questo caso, di “snubber”) si attesta intorno ai 4,0V a temperatura ambiente o leggermente inferiore (3,5V) per temperature ambientali tipicamente “estive”.

La potenza dissipata sui diodi, “iniziale”, si attesta, quindi, a circa 200 – 250W. Dal momento che la tensione ai capi dei diodi rimane pressoché costante fino a valori di corrente di pochi amperes, si può considerare, in prima approssimazione, che la corrente si esaurisca a rampa discendente “lineare” azzerandosi in tempi dati dalla relazione  $L \cdot I/V$ . Per le due correnti considerate i tempi di scarica risultano compresi tra circa 130 e 160 secondi.



I 4 doppi diodi di ricircolo sono montati su un “blocco” di alluminio di 1,9 kg di peso e collegati tra loro da barrette di rame (foto). Il dissipatore è alettato per aumentare lo scambio termico con l’ambiente..

Dal momento che il Calore Specifico dell’alluminio è di circa 0,9 J per grammo per grado centigrado di aumento di temperatura, con i 20000 Joule di energia da dissipare, la temperatura del blocco di alluminio aumenterà di circa 12°C rispetto alla temperatura ambiente. Non ci sono, quindi, problemi di posizionamento “a vista” del circuito di protezione del Magnete che viene fissato localmente alla flangia superiore del Dewar e collegato sulle barrette di “accesso” al Magnete.

*SCHEMA DEL CIRCUITO DI PROTEZIONE ESTERNA  
E RICIRCOLAZIONE DI CORRENTE DEL MAGNETE*