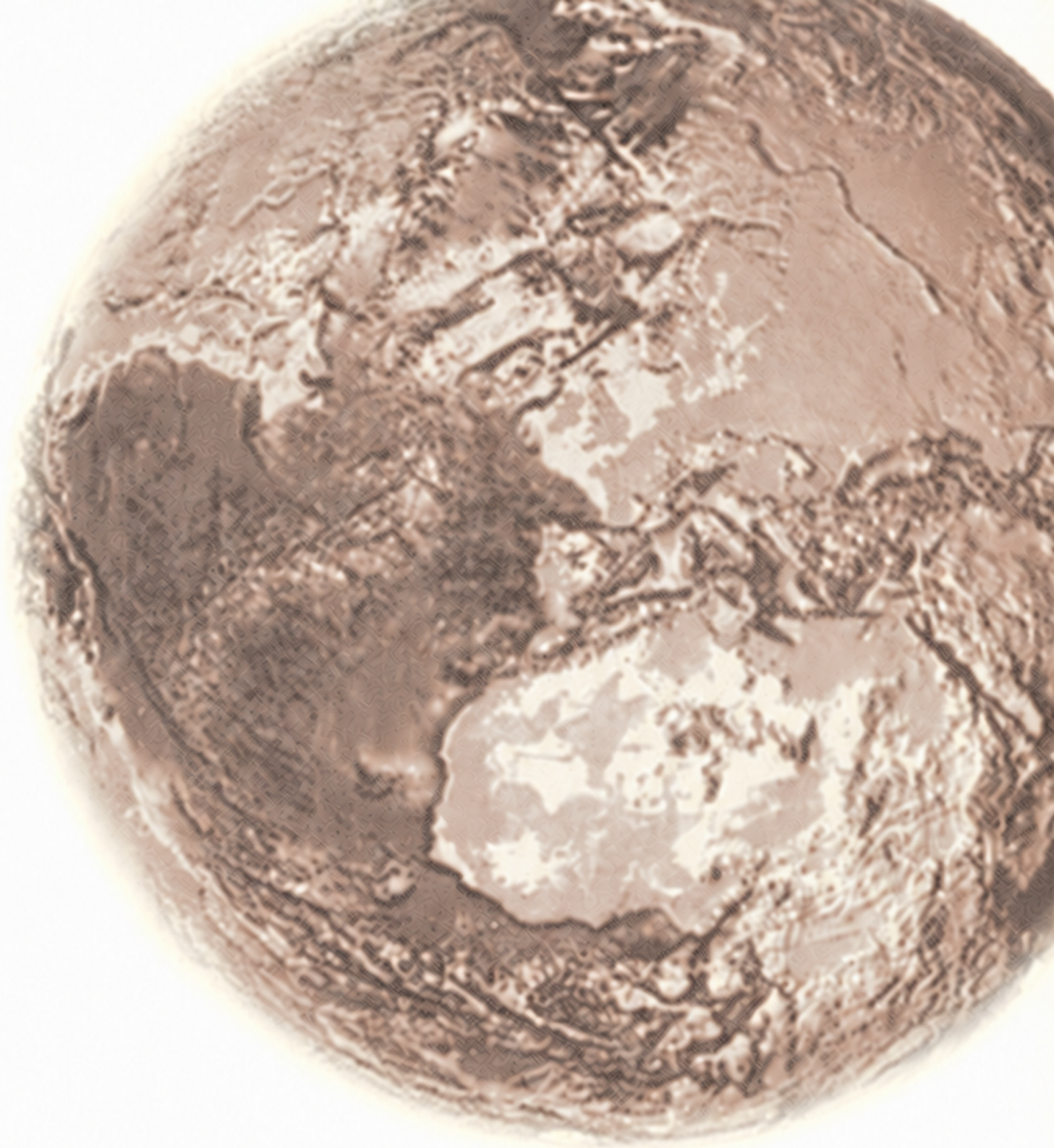




2003

Controllo di unità TRIAC di potenza.

Iarocci A., P. Benedetti

N. 19

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel. 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it



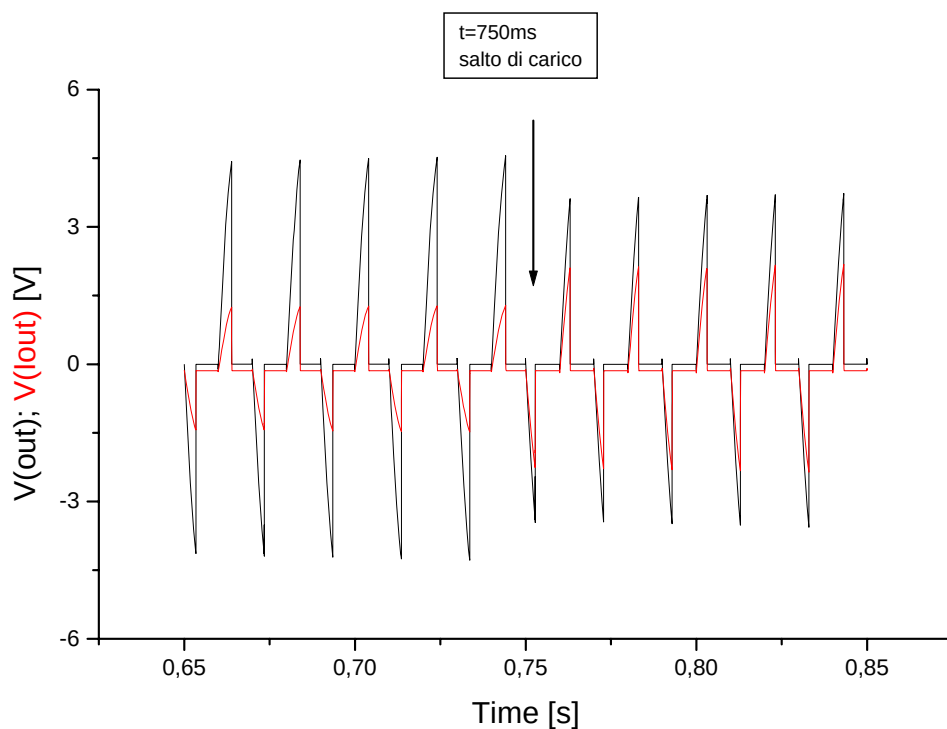


Figura 4-6

Bibliografia

Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P., *POWER ELECTRONICS Converters, Applications and Design*, John Wiley & Sons Inc. (1995).

Application Notes AN-268, *Rms-to-DC Converters Ease Measurement Tasks*, Analog Devices.

Application Notes AN-213, *Low Cost, Two Chips, Voltage Controlled Amplifier and Video Switch*, Analog Devices (1985).

Xu Y., Shankland T.J. & POE B.T. (2000) - *Laboratory-based electrical conductivity in the Earth's mantle*. J.Geophys. Res., 105: 27865-27875.

C. Freda, D.R. Baker, C. Romano, P. Scarlato - (2003) *Water diffusion in natural potassic melt. In Volcanic Degassing: experiments, models, observations and impacts* (eds. Oppenheimer C., Pyle D.M., Barclay J.). Geological Society, London, 213: 53-62.

C. Freda, D.R. Baker, L. Ottolini (2001) - *Reduction of water loss from gold-palladium capsules during piston-cylinder experiments by use of pyrophyllite powder*. Am. Mineral., 86:234-237.

Nella simulazione che viene di seguito analizzata, si suppone che al tempo $t = 0$ il segnale del regolatore di temperatura (V_{man}) inizi a crescere linearmente fino al tempo $t = 1$ s. Per verificare il corretto funzionamento del sistema si impone ad esempio che al tempo $t = 750$ ms il carico si dimezzi, passando da 20Ω a 10Ω (ciò viene ottenuto chiudendo l'interruttore U5 presente nello schema di fig. 4-1). Il grafico della figura 4.5 mostra gli andamenti del segnale di comando del regolatore di temperatura [V_{man}], del segnale proporzionale alla potenza erogata sul carico [V_{pwr}] e della tensione sul carico [V_{out}]. Analizzando tali andamenti si evince che il sistema non risente del brusco cambiamento di carico e continua ad erogare la stessa potenza.

Nella figura 4-6 (con scala dei tempi espansa nell'intorno del salto di carico a $t = 750$ ms) sono mostrati gli andamenti dei segnali proporzionali alla tensione e alla corrente sul carico. Si può notare come in seguito al salto del carico segua quasi istantaneo l'adattamento del sistema sulla tensione, per far sì che la potenza erogata rimanga la stessa.

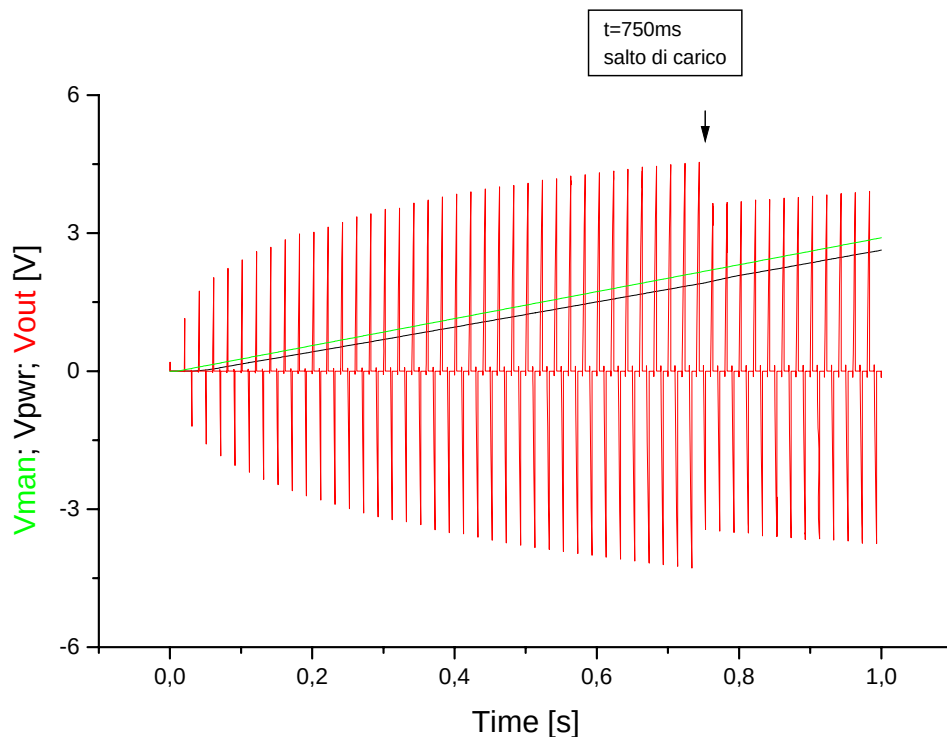


Figura 4-5

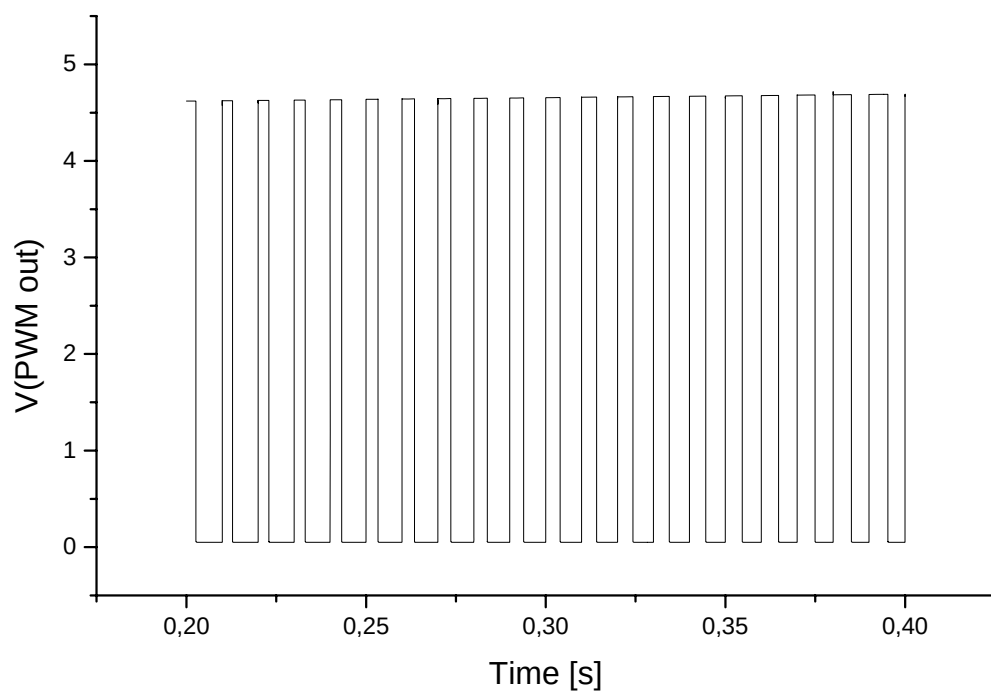


Figura 4-3

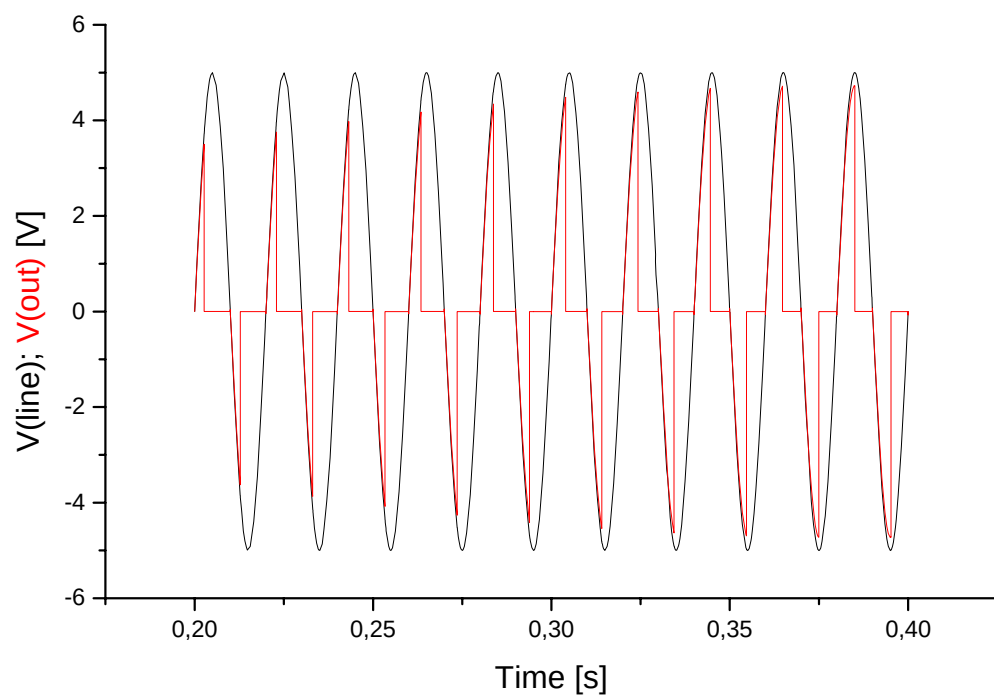


Figura 4-4

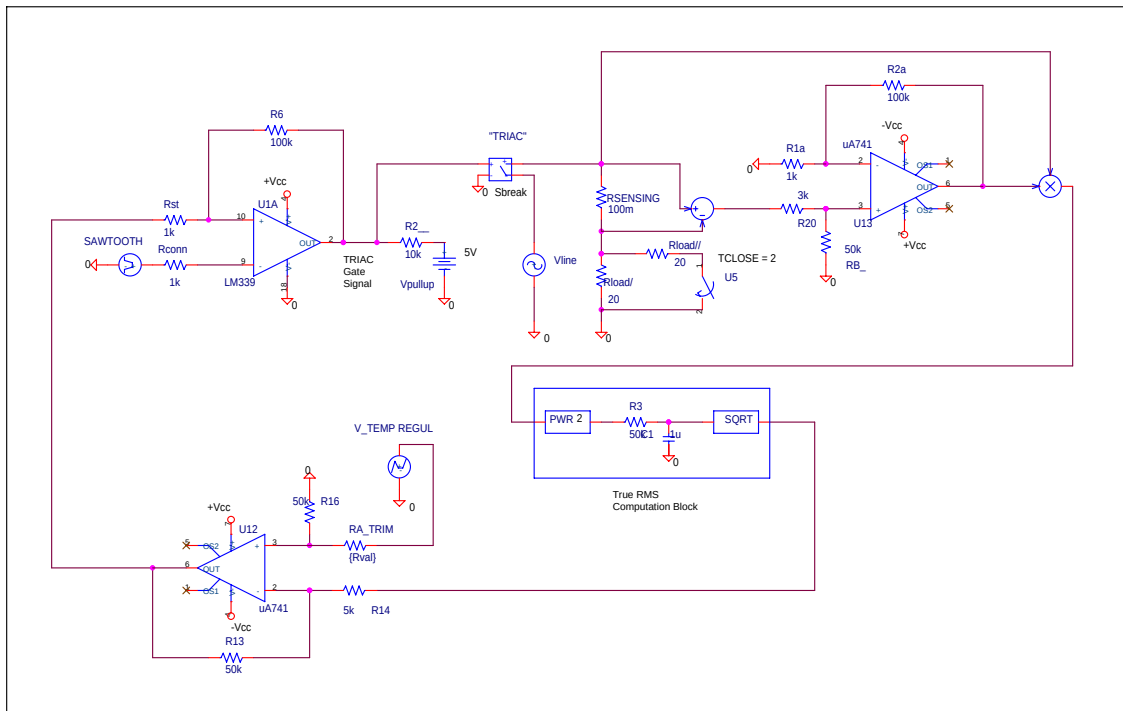


Figura 4-1 Schema elettrico del modello Pspice del sistema

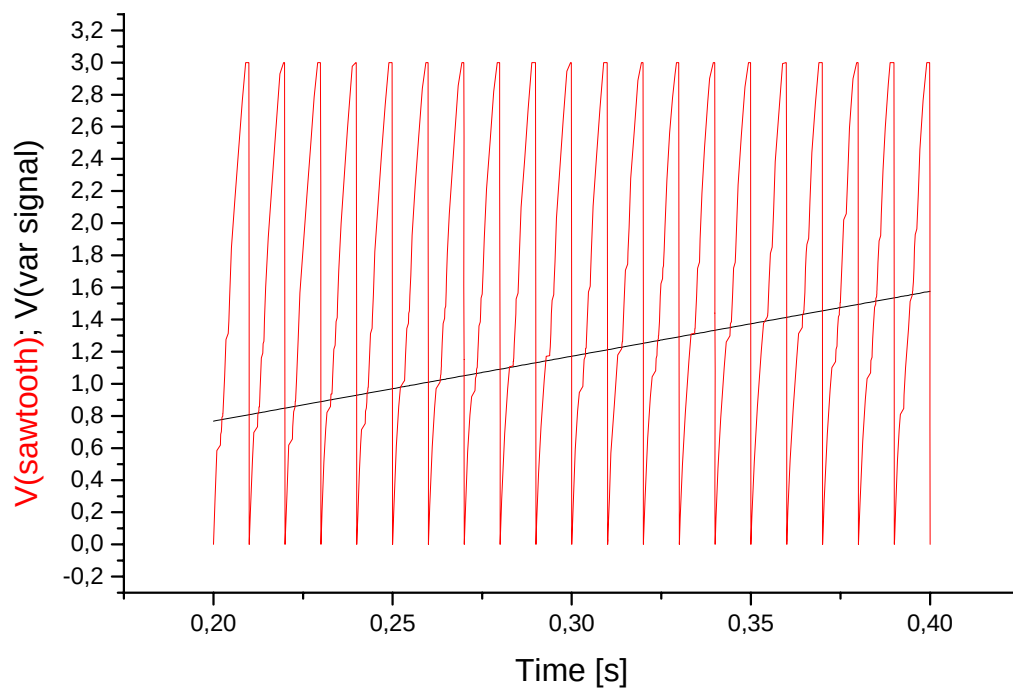


Figura 4-2

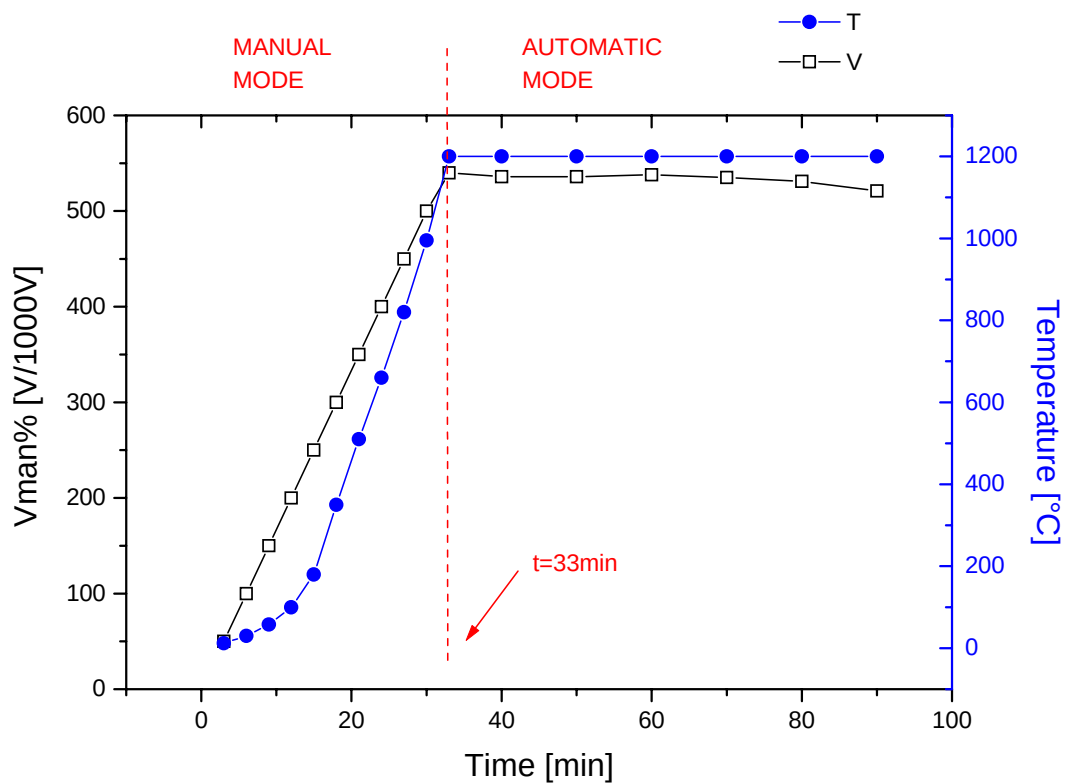


Figura 3-5 Andamenti della temperatura nel campione e del segnale del regolatore di temperatura durante l'esperimento.

4 Modello Pspice

Durante la fase di progettazione del sistema ci si è avvalsi del contributo del software Pspice. A tal fine si è resa necessaria la creazione di un modello che potesse riprodurre il più fedelmente possibile il comportamento del sistema. Il modello a cui si è giunti è quello illustrato nella figura 4.1.

L'unità di potenza TRIAC è stata sostituita con un interruttore ideale bidirezionale comandato con una tecnica *PWM* (pulse width modulation). Tale tecnica consiste nel produrre un treno di impulsi (di frequenza uguale a quella della tensione che verrà parzializzata dall'interruttore) la cui larghezza dipende dalla comparazione di un segnale a dente di sega con un segnale variabile nel tempo. Il principio di funzionamento della tecnica *PWM* è mostrato nella figure 4.2, 4.3 e 4.4.

Per sostituire l'integrato (AD536A) che esegue il calcolo del valore efficace, si è fatto ricorso a blocchi ABM (Analog Behavioral Modeling) che implementano funzioni matematiche. In particolare si è fatto uso del blocco PWR^2 , che esegue il quadrato del segnale in ingresso, e del blocco SQRT che ne esegue la radice quadrata. In questo modo se un segnale periodico attraversa il blocco PWR^2 , un filtro RC (avente costante di tempo sufficientemente più grande di 20ms) e il blocco SQRT, si riesce ad ottenere in uscita un segnale che rappresenta con buona approssimazione il valore efficace del segnale di ingresso.

Dalla figura si evince per esempio che per far erogare sul carico 470W, è necessario scegliere il valore di R_{var} pari a $60k\Omega$.

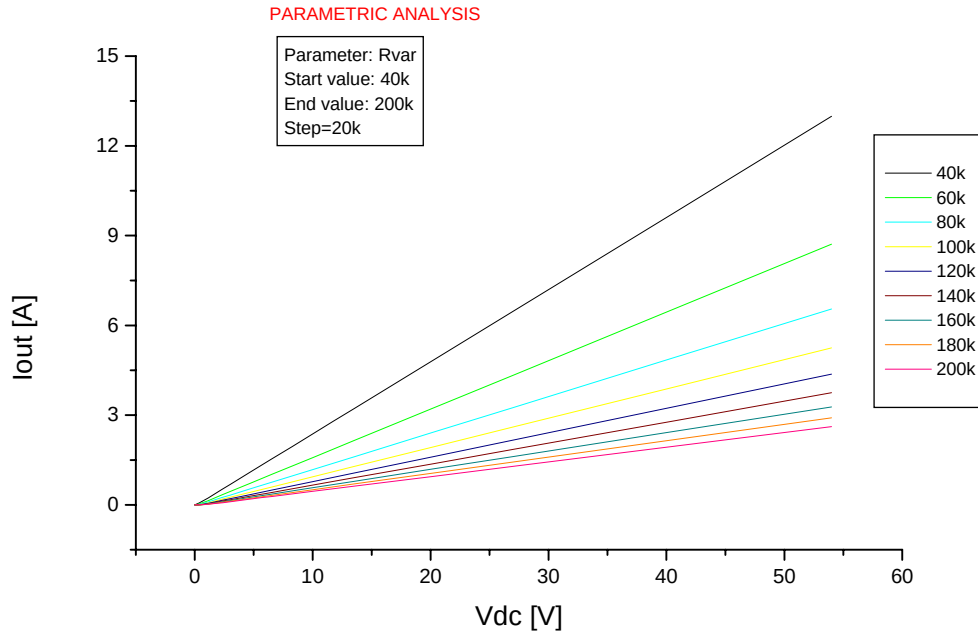


Figura 3-4 Caratteristica tensione-corrente al variare del parametro R_{var}

3.3 Risultati sperimentali

I risultati riportati in questa sezione si riferiscono ad un esperimento effettuato su un campione di biossido di silicio (SiO_2) inserito in un forno di grafite. Nella prima fase la pressa ha esercitato sul campione una pressione di 5GPa per un tempo pari a 120 minuti. Nella successiva fase si è provveduto ad effettuare il riscaldamento in manuale del campione, generando nel regolatore di temperatura un segnale linearmente crescente ($V_{man}\%$). La temperatura voluta ($1200^\circ C$) è stata raggiunta in circa 33 minuti. A questo punto il regolatore è stato commutato nella modalità automatica al fine di mantenere costante la temperatura per un tempo di 60 minuti circa.

Dal grafico di figura 3.5 si può notare come il sistema sia riuscito ad esercitare sul campione, tranne un transitorio iniziale, un riscaldamento con buona approssimazione lineare.

3.2 Carico resistivo variabile

Per poter disporre di un carico resistivo variabile, adatto alle esigenze di testing di laboratorio, si è deciso di realizzare un carico a mosfets di potenza, pilotati opportunamente a feedback.

Lo schema elettrico del carico è mostrato in figura 3-3. Anzitutto si è fatto uso di un ponte raddrizzatore per consentire ai mosfets di lavorare con la giusta polarità. La tensione continua fornita dal ponte (indicata con V_{dc}) viene quindi applicata a N mosfets in parallelo (con N dipendente dalla potenza che si vuole fare erogare sul carico) che confluiscono in una resistenza di sensing, la quale consentirà di prelevare un segnale proporzionale alla corrente totale erogata.

Il feedback è costituito da un differenziale avente nell'ingresso positivo un segnale proporzionale alla tensione e nell'ingresso negativo un segnale proporzionale alla corrente erogata dai mosfets. Lo sbilanciamento può essere variato agendo sulla resistenza R_{var} . L'uscita del differenziale è la tensione gate-source (indicata con V_{gs}) che viene applicata ai mosfets.

Il sistema così concepito si comporta come una resistenza, infatti ad esempio un aumento della tensione V_{dc} produce un aumento della V_{gs} tale che la corrente erogata segue linearmente la tensione V_{dc} .

Agendo sulla resistenza variabile R_{var} è possibile variare la pendenza della caratteristica tensione-corrente ovvero variare R .

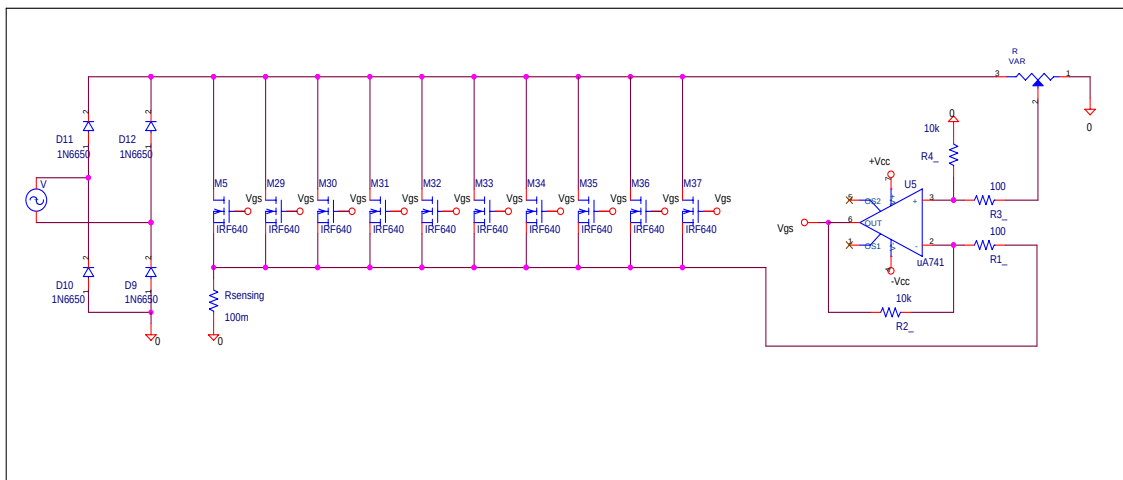


Figura 3-3 Schema elettrico del carico a mosfets

Tali considerazioni trovano conferma nelle simulazioni Pspice effettuate sul circuito di figura 3-3.

L'analisi che viene eseguita è di tipo parametrica: per ogni valore impostato del parametro R_{var} viene lanciata una simulazione, facendo variare la tensione in uscita dal ponte raddrizzatore da 0 a 54Vdc.

Il risultato delle simulazioni è mostrato in figura 3-4: è rappresentato l'andamento lineare della corrente totale erogata dai mosfets in funzione della tensione continua fornita dal ponte raddrizzatore; ciascuna caratteristica è riferita ad un certo valore della resistenza R_{var} .

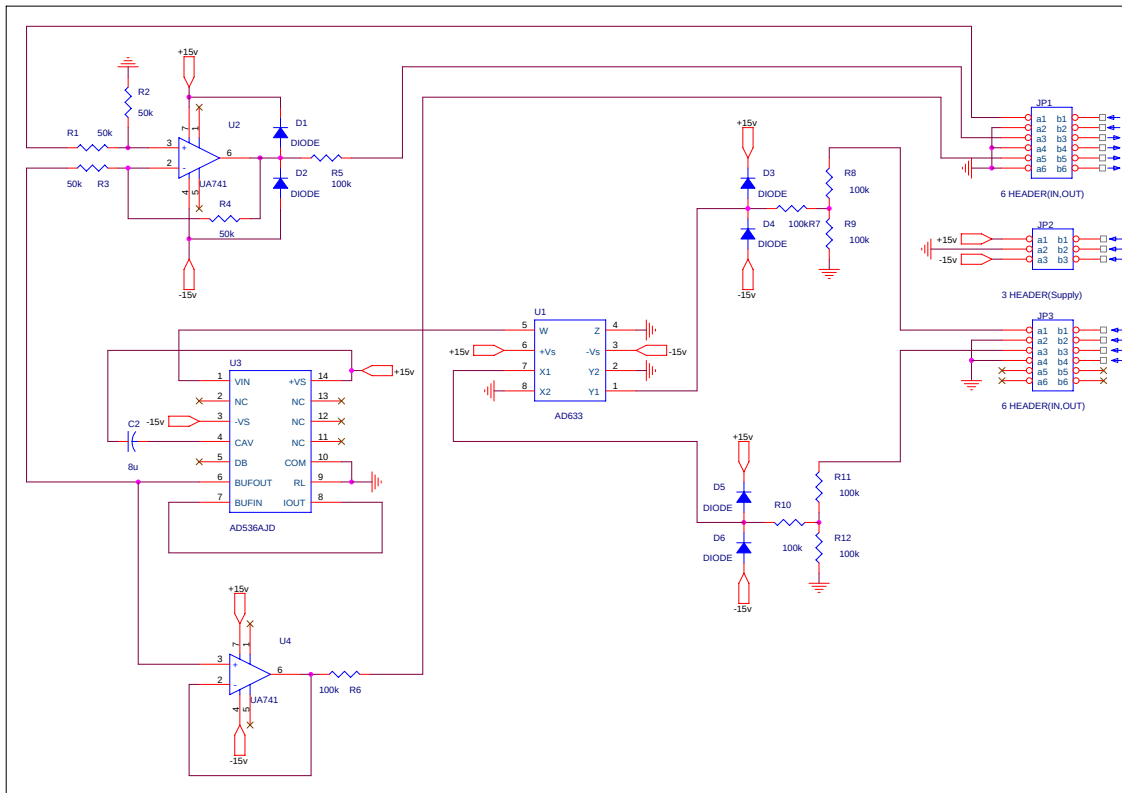


Figura 3-1 Schema elettrico della scheda Feedback

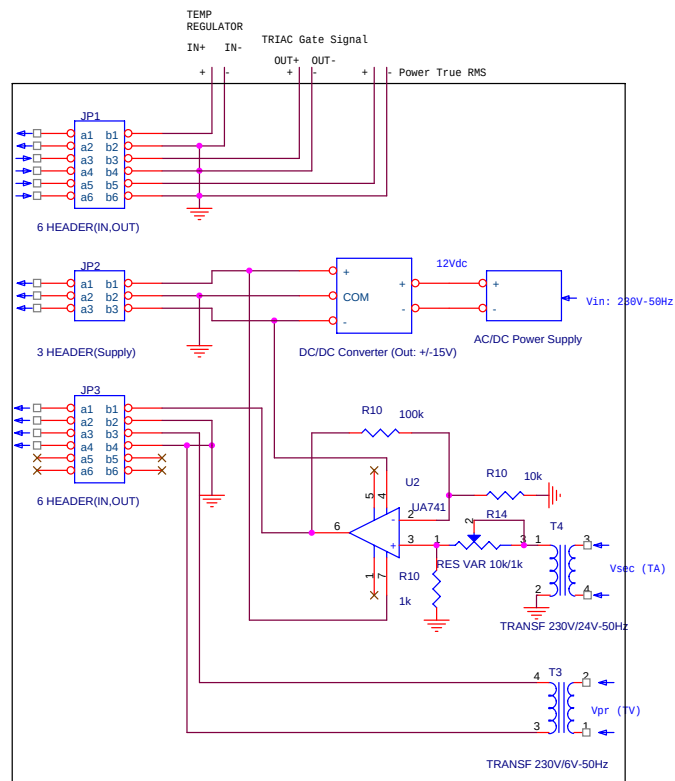


Figura 3-2 Schema elettrico della scheda di Pick Up

Tale segnale, sinusoidale con frequenza 50 Hz, viene quindi inviato ad un circuito integrato (AD536A), il quale calcola il vero valore efficace della grandezza di ingresso e fornisce in uscita un segnale continuo ad esso equivalente.

La funzione di trasferimento dell'integrato è:

$$V_{out} = \sqrt{avg(V_{in})^2}$$

Il feedback viene chiuso da un amplificatore differenziale (U2) in cui la tensione V_{out} rappresenta l'ingresso invertente, mentre l'ingresso non invertente è rappresentato dal segnale proveniente dal regolatore di temperatura.

Se il differenziale U2 viene sbilanciato opportunamente, ad esempio imponendo:

$$\frac{R4}{R3} = 25\% \cdot \left(\frac{R2}{R1} \right)$$

il segnale di uscita del differenziale, che sarà pari a :

$$V_{out_diff} = \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \cdot \left(\frac{R4}{R4 + R3} \right) \cdot V_+ - \frac{R2}{R1} \cdot V_-$$

terrà conto di eventuali variazioni della resistenza di carico e conseguenti variazioni della potenza erogata, e quindi farà erogare all'unità TRIAC sempre la stessa potenza.

Nella figura 3-1 è mostrato lo schema della scheda, mentre nella figura 3-2 è mostrata la scheda di Pick Up. In essa si trovano la parte di alimentazione e i trasformatori di misura. Al fine di potere effettuare calibrazioni del sistema, è previsto un partitore variabile sul secondario del TA. Il segnale che giunge dal partitore viene quindi opportunamente amplificato.

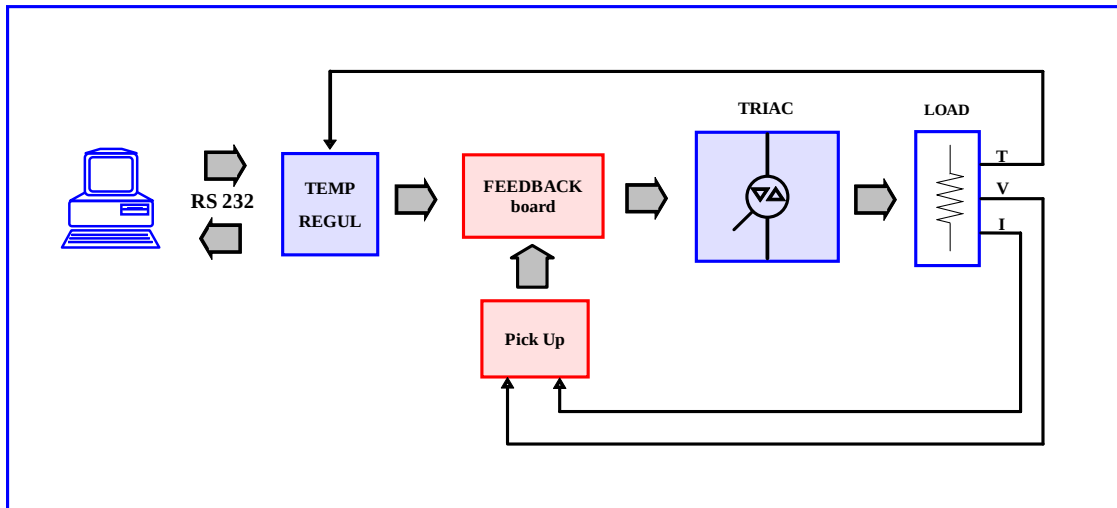


Figura 2-1 Schema a blocchi del sistema

La procedura che si segue durante lo svolgimento di un esperimento “tipo”, dopo che il campione è stato portato alla pressione stabilita, consiste nel generare manualmente un andamento a gradini (approssimabile ad un andamento lineare), di ampiezze uguali, del segnale del regolatore di temperatura, in cui ogni gradino ha la stessa durata ΔT (dell’ordine di qualche minuto) sufficiente a far sì che il campione raggiunga il nuovo equilibrio termico. È durante questa fase che la resistenza del campione può variare (tenderà a diminuire), ma il controllo a feedback fa sì che il sistema non ne risenta. In tal modo si riesce ad ottenere una crescita quasi lineare della temperatura del campione. Una volta raggiunta la temperatura stabilita si commuta il regolatore nella modalità automatica per far mantenere costante la temperatura del campione; la durata di questa fase del processo è dell’ordine di diverse ore (naturalmente dipendente dal tipo di esperimento).

3 Feedback board

3.1 Descrizione della scheda

Compito della scheda Feedback è quello di fornire il segnale di gate al TRIAC in modo che la potenza da esso erogata non cambi in seguito a variazioni del carico. Per raggiungere tale scopo è necessario poter disporre di un segnale proporzionale alla potenza erogata sul carico. Ciò si ottiene introducendo sul carico due trasformatori di misura; il primo (indicato in fig. 3.2 con TV) fornisce un segnale proporzionale alla tensione sul carico, mentre il secondo (indicato in fig. 3.2 con TA), avendo il primario connesso ai capi di una resistenza di sensing posta in serie al carico, fornisce un segnale proporzionale alla corrente del carico. Tali segnali vengono inviati ad un moltiplicatore analogico (AD633), che fornirà in uscita il segnale:

$$W = \frac{(X1 - X2) \cdot (Y1 - Y2)}{10V} + Z$$

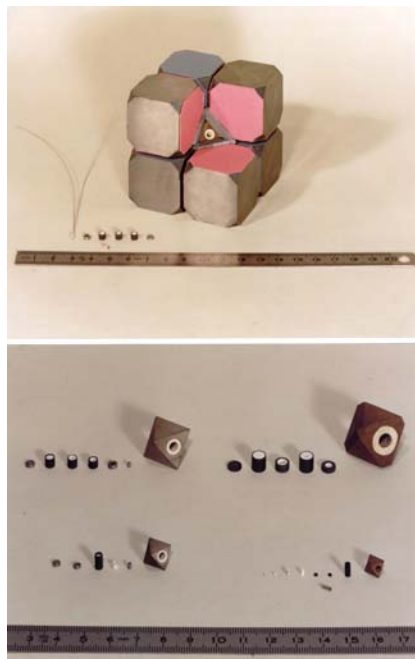


Figura 1-3: il campione è posto in un cilindro di MgO a sua volta inserito in un forno di grafite o LaCrO_3 (in nero nella parte inferiore della foto). Il forno è inserito in un ottaedro di MgO a sua volta posizionato tra 8 cubi di carburo di tungsteno (parte superiore della foto). Gli ottaedri (e il campione) hanno dimensioni variabili a seconda del valore di pressione che si vuole applicare al campione: maggiore è la pressione, minori saranno le dimensioni del campione.

2 Descrizione del sistema

Il sistema è composto da un'unità Triac di potenza, regolata da un regolatore di temperatura e da una scheda di controllo a feedback, che alimenta il riscaldatore, il cui valore resistivo non è costante.

L'obiettivo è quello di avere il sistema immune, dal punto di vista della potenza erogata in uscita, alle variazioni del carico.

La modalità di accensione dei tiristori per ottenere potenza variabile è quella ad angolo di fase variabile. Il segnale di gate del Triac è l'uscita del regolatore di temperatura opportunamente elaborata dalla parte di controllo a feedback, la quale riceve segnali proporzionali alla tensione e alla corrente presenti nel carico. Sul carico è prevista una termocoppia per permettere il rilevamento del valore della temperatura raggiunta dal carico.

Lo schema a blocchi è mostrato nella figura 2-1; è prevista anche la possibilità di controllo da remoto del regolatore di temperatura.

Il regolatore di temperatura è provvisto di due modalità di funzionamento, automatica e manuale. In automatico la potenza erogata sul carico dal Triac è modificata automaticamente per mantenere il valore di temperatura impostato (set-point); in manuale invece si può modificare l'uscita indipendentemente dal valore di set-point.

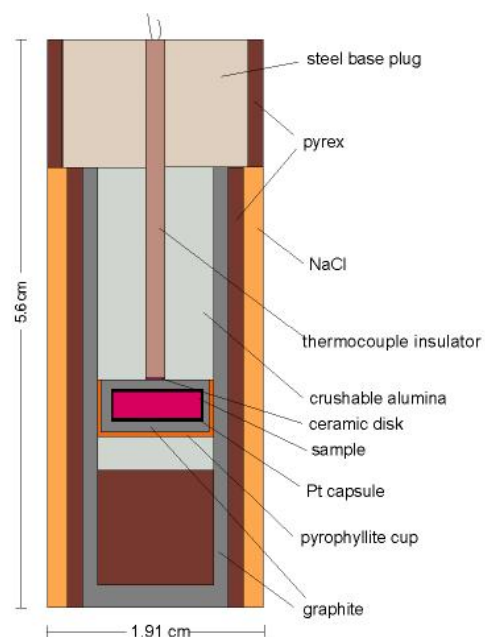


Figura 1-1 esempio schematico di portacampione per piston cylinder (il campione è rappresentato con il colore fucsia). Il portacampione viene inserito in un'autoclave (il cilindro) e compresso tramite un pistone.

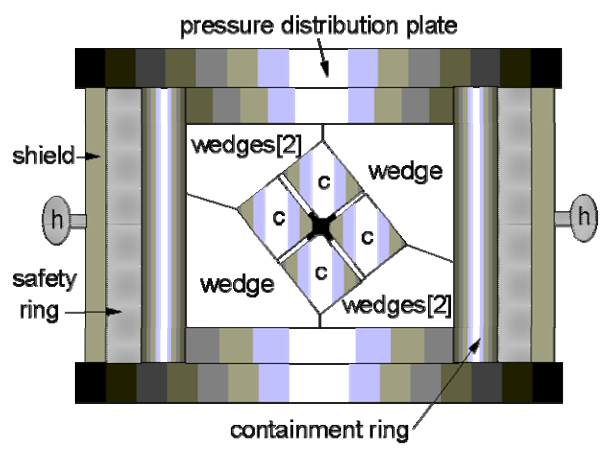


Figura 1-2: schema di un sistema multi anvil tipo Walker. Al centro della figura in nero è rappresentato l'ottaedro portacampione circondato da cubi di carburo di tungsteno (vedi figura 1-3).

1 Descrizione del laboratorio HP - HT

Lo scopo del laboratorio HP - HT (High Pressure - High Temperature) è quello di ottenere informazioni sul comportamento meccanico e sulle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce e dei magmi in condizioni di pressione e temperatura tipiche della crosta e del mantello (fino a circa 700 km di profondità). Entrando più nel dettaglio, i campi di applicazione di tale disciplina sperimentale sono molteplici; tra i più importanti vanno segnalati le misure di densità e viscosità in fusi magmatici, lo studio delle relazioni di fase all'interno di una serie magmatica, lo studio delle proprietà elettriche ed elastiche nei fusi e nelle rocce.

Il laboratorio è fornito di una pressa a mezzo solido (con moduli *multianvil* e *piston cylinder*) che offre la possibilità di utilizzo in un ampio spettro di pressioni e temperature (pressioni fino a 25 GPa e temperature fino a 3000 K), consentendo inoltre l'applicazione di diversi sensori per lo studio di proprietà e processi chimico-fisici che avvengono nei campioni durante gli esperimenti.

Con il modulo *multi anvil* tipo Walker si riescono ad effettuare esperimenti fino a pressioni di 25 GPa e temperature fino a 3000 K; mentre con il modulo *piston cylinder* si effettuano esperimenti fino a 4 GPa e 2000 K.

Le presse a mezzo solido si basano sul principio molto semplice secondo il quale la pressione viene generata dall'opposizione di due pistoni tra cui viene posto il campione. Contrariamente alle apparecchiature sperimentali in cui il mezzo di pressione è un gas (autoclavi a riscaldamento esterno o interno), in questo caso la pressione non è idrostatica, ma unidirezionale. Per ovviare a questo problema, il campione viene posizionato utilizzando particolari configurazioni geometriche (ottaedriche o cubiche) e/o circondato da materiali (cloruro di sodio, talco ecc.) le cui caratteristiche siano tali da trasmettere al campione la pressione nel modo più uniforme possibile. Esisterà comunque una componente di stress differenziale di cui bisognerà tenere conto nell'interpretazione del risultato sperimentale, tale componente si riduce comunque sensibilmente durante esperimenti condotti ad alta temperatura (magmatica).

Il modulo *piston cylinder* (figura 1-1), grazie al grande volume a disposizione per il campione e alla capacità di mantenere condizioni di alta pressione e alta temperatura per tempi lunghi (fino ad alcune settimane), è particolarmente indicato per lo studio delle relazioni di fase e delle proprietà chimico-fisiche di solidi e liquidi silicatici.

La pressa con modulo *multianvil* (figura 1-2), è in grado di mantenere le condizioni omogenee imposte sul campione per periodi anche lunghi (alcuni giorni). In questa apparecchiatura le dimensioni del campione variano a seconda del valore di pressione che si vuole raggiungere: maggiore è la pressione, minori saranno le dimensioni del campione (figura 1-3).

Per il raggiungimento delle alte temperature si ricorre a correnti elettriche fatte circolare in un forno di grafite (riscaldatore), che permette al campione di raggiungere temperature dell'ordine dei 2000K. Per il raggiungimento di temperature più elevate, dell'ordine di 3000K, si fa ricorso a forni di cromato di Lantanio (LaCrO_3). Tramite una termocoppia si riesce a misurare e a controllare la temperatura del campione.

Lo scopo del sistema qui presentato è proprio quello di controllare la temperatura del campione agendo sulla tensione che va ad alimentare il forno.

INDICE

1	Descrizione del laboratorio HP – HT	3
2	Descrizione del sistema	5
3	Feedback board.....	6
3.1	Descrizione della scheda	6
3.2	Carico resistivo variabile	9
3.3	Risultati sperimentali.....	10
4	Modello Pspice	11
	Bibliografia.....	15

