



Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente



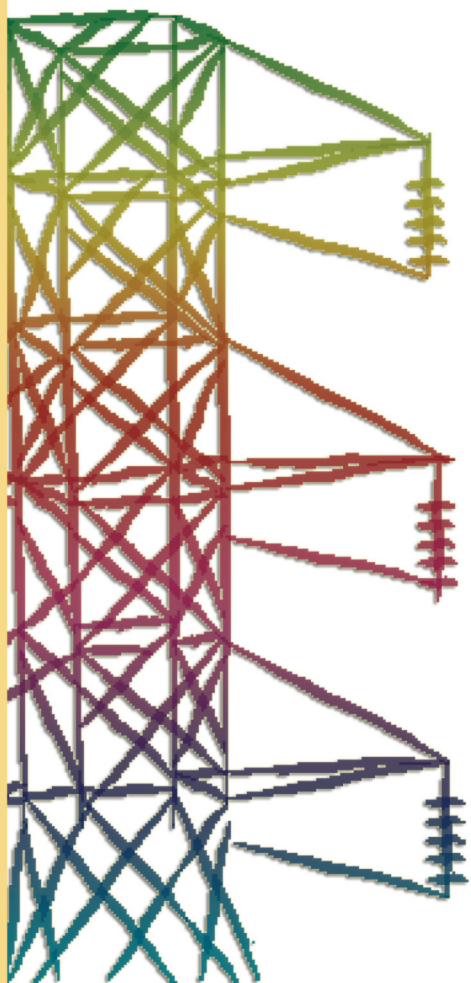
*Ministero dello Sviluppo Economico*

## **RICERCA SISTEMA ELETTRICO**

---

### **Progettazione realizzazione e sviluppo di una catena di misura anemometrica**

**M. Furrer, M. Presaghi, F. Romanello, A. Scotini, M. Sica**





Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA SISTEMA ELETTRICO

# Progettazione realizzazione e sviluppo di una catena di misura anemometrica

*M. Furrer, M. Presaghi, F. Romanello, A. Scotini, M. Sica*

PROGETTAZIONE REALIZZAZIONE E SVILUPPO DI UNA CATENA DI MISURA ANEMOMETRICA

M. Furrer, M. Presaghi, F. Romanello, A. Scotini, M. Sica (ENEA)

Marzo 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA

## 1. PREMESSA

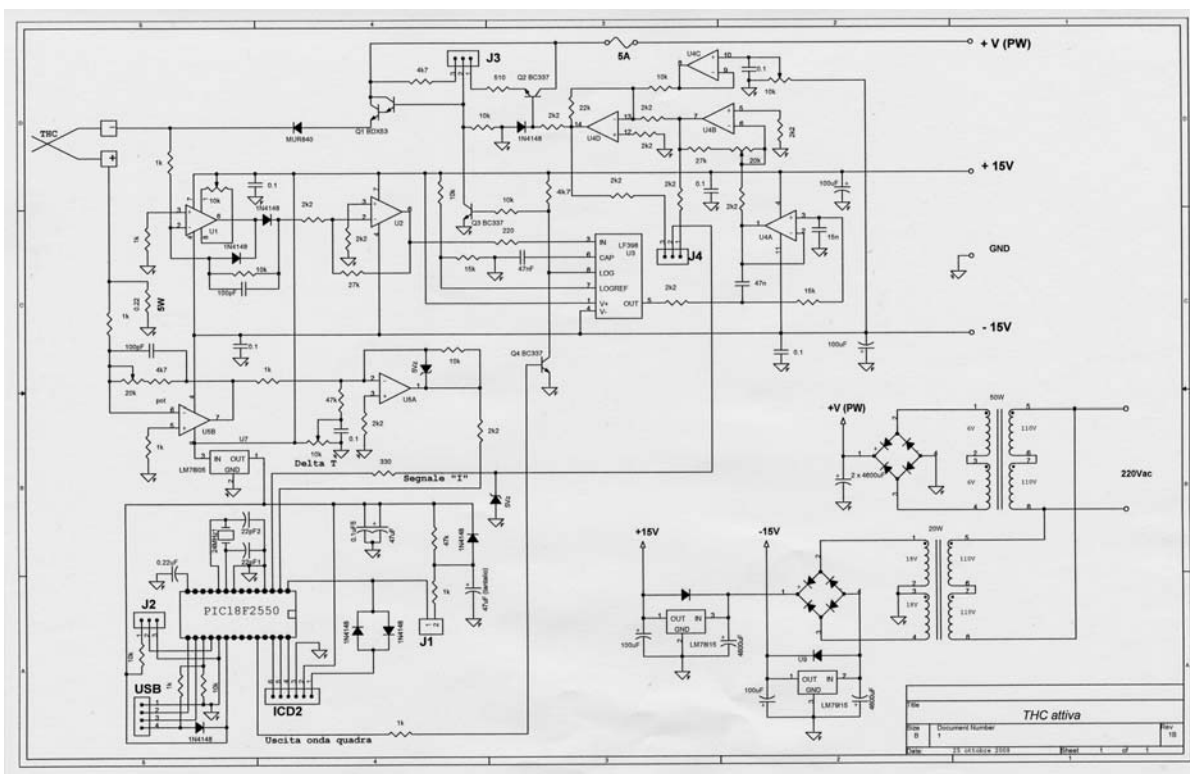
La necessità di misurare velocità di fluidi ad alte temperature e pressioni per studi di fluidodinamica del reattore nucleare di quarta generazione, ha fatto scaturire l'idea di realizzare una catena anemometrica partendo dai già buoni risultati ottenuti con la catena di misura di livello a termocoppia a riscaldamento diretto sviluppata per misure di livello in componenti di impianti nucleari. Questi sensori sono stati testati e qualificati alle severe condizioni ambientali.

Le caratteristiche peculiari di questa catena di misura sono quelle, oltre della resistenza a condizioni ambientali severe quali 360 °C e 180 bar, quelle di una ottima risposta ai transitori in quanto le particolari dimensioni e geometrie della sonda e le soluzioni elettroniche adottate gli conferivano risposte dell'ordine di 20 ms nella transizione aria-acqua e 40 ms nella transizione acqua-aria. Inoltre le ridottissime dimensioni fisiche e i relativi esigui ingombri assicuravano bassissime perturbazioni durante la misura.

## 2. STATO DELL'ARTE

La strumentazione a cui si è fatto cenno in precedenza è stata realizzata per misure di livello e di grado di vuoto in deflussi bifase per cui aveva caratteristiche ottimizzate per ottenere risposte ON – OFF (liquido – gas). E' stato necessario ora estendere il campo di sensibilità e nello stesso tempo garantire la linearità in un range di funzionamento più ampio.

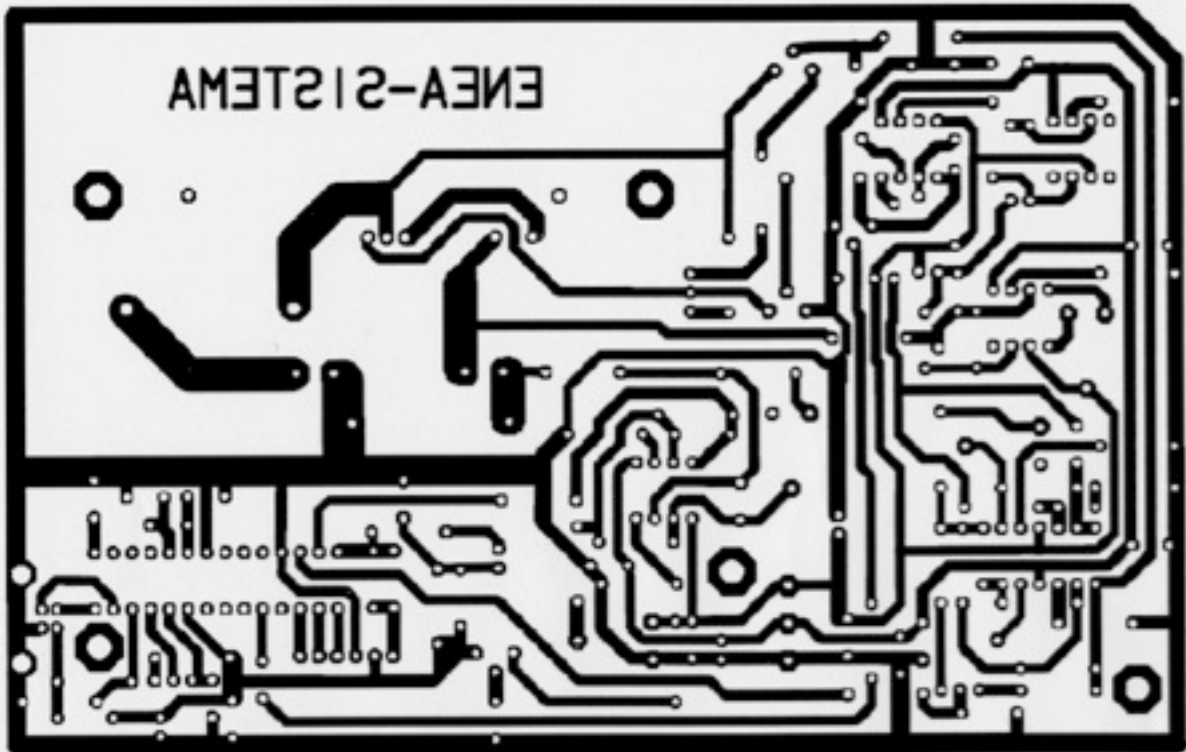
Si è quindi progettata nuovamente l'elettronica di gestione e controllo utilizzando la stessa filosofia circuitale. Il ciclo si chiude con un feedback in modo tale che la f.e.m. prelevata dal sensore termoelettrico piloti l'alimentazione della corrente di riscaldamento. Di seguito si riportano gli schemi elettrici dei circuiti. Sono riportati anche il circuiti stampati e i piani di montaggio sia dell'elettronica di controllo e trattamento che quella di alimentazione.



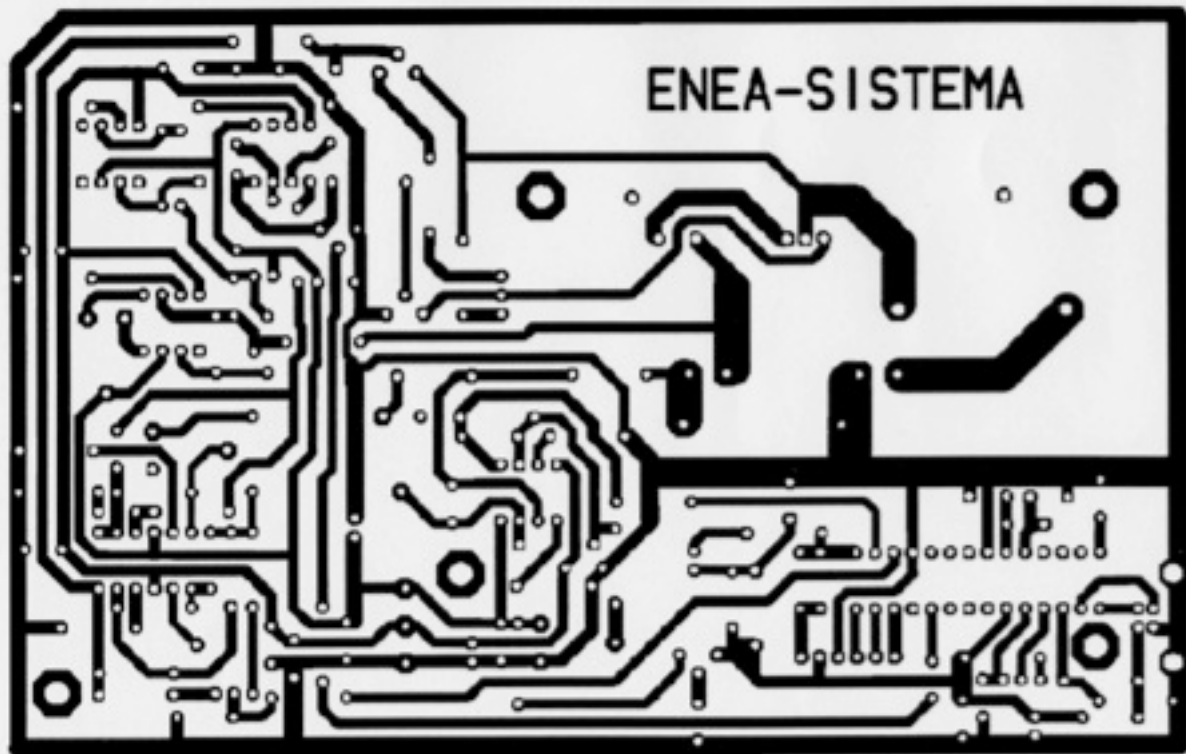
La necessità di lavorare con un circuito stampato anche in questa fase di sviluppo e di ottimizzazione è scaturita dalla obbligatorietà di ridurre al massimo le possibilità di captazione di rumori elettromagnetici anche in considerazione del fatto che si sono utilizzate amplificazioni con

guadagni di contro-reazione elevatissimi. Il rischio di instabilità ed oscillazioni è stato ridotto curando particolarmente lo studio dei circuiti stampati e l'inserimento di opportuni filtri.

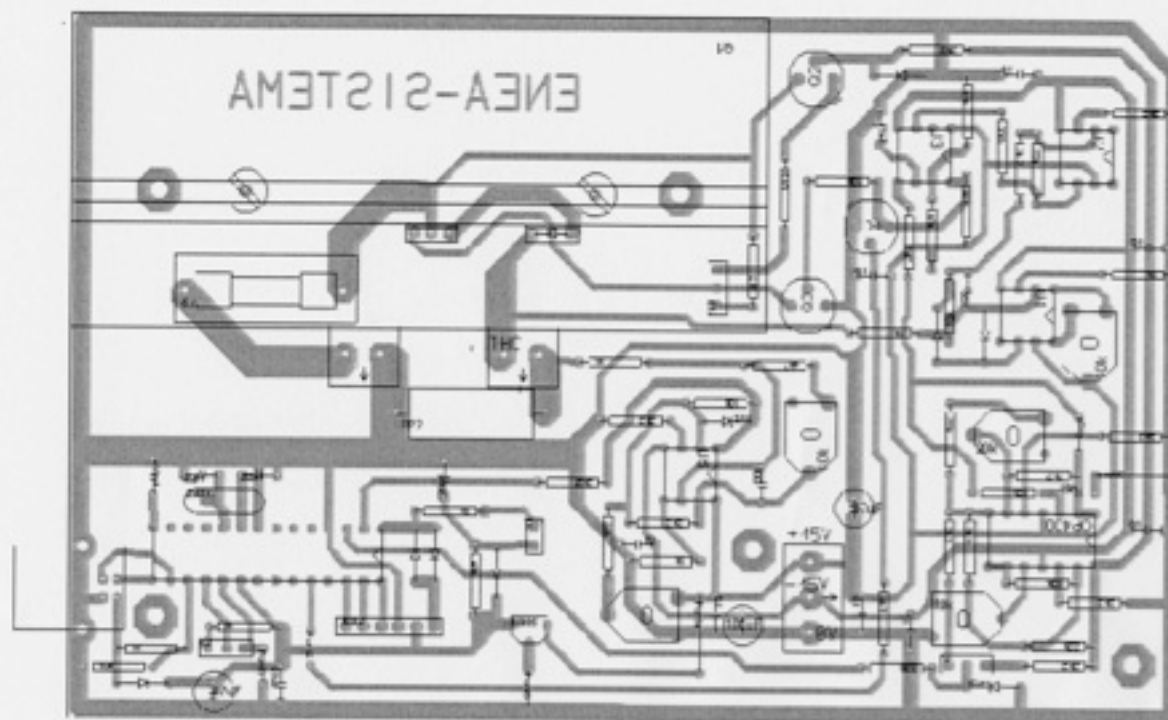
Circuito Stampato (visto in trasparenza)



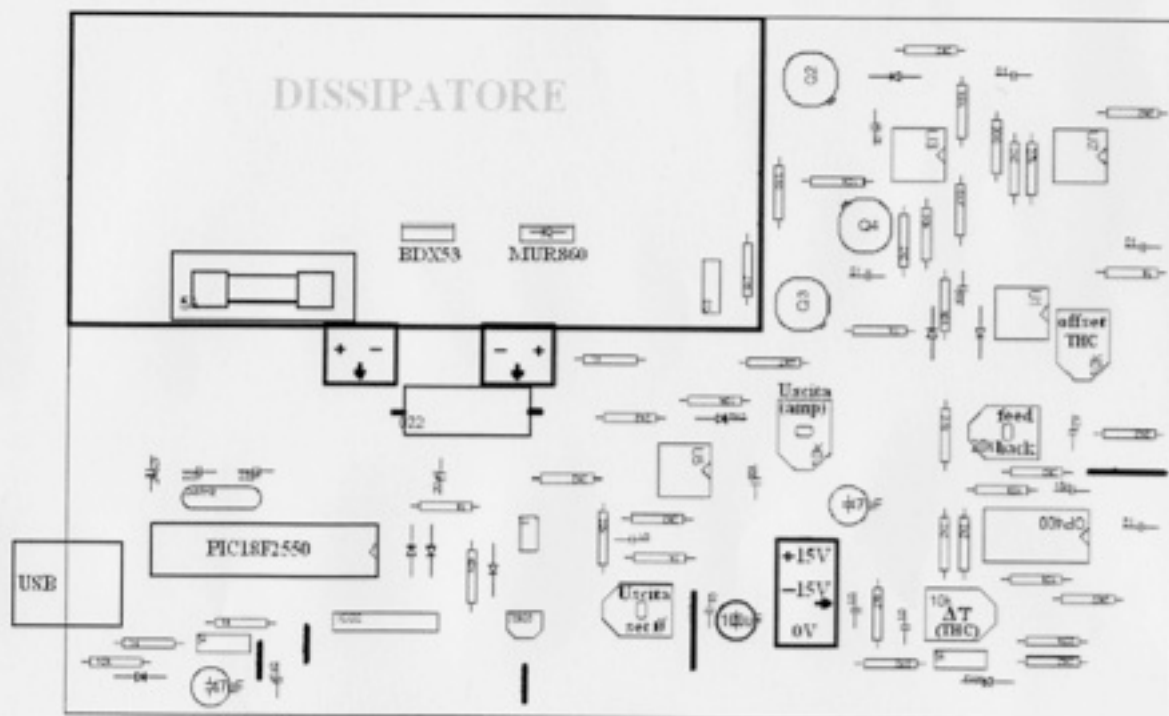
Lato saldature



## Componenti e connessioni

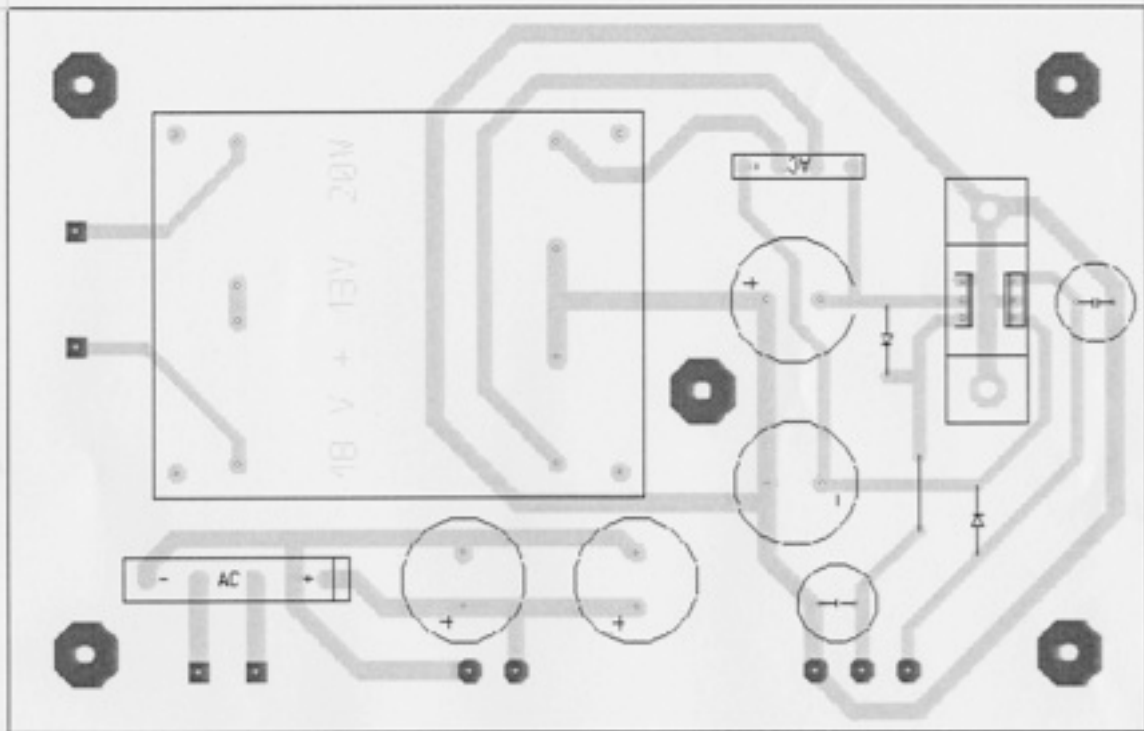


## Funzione dei Trimmer

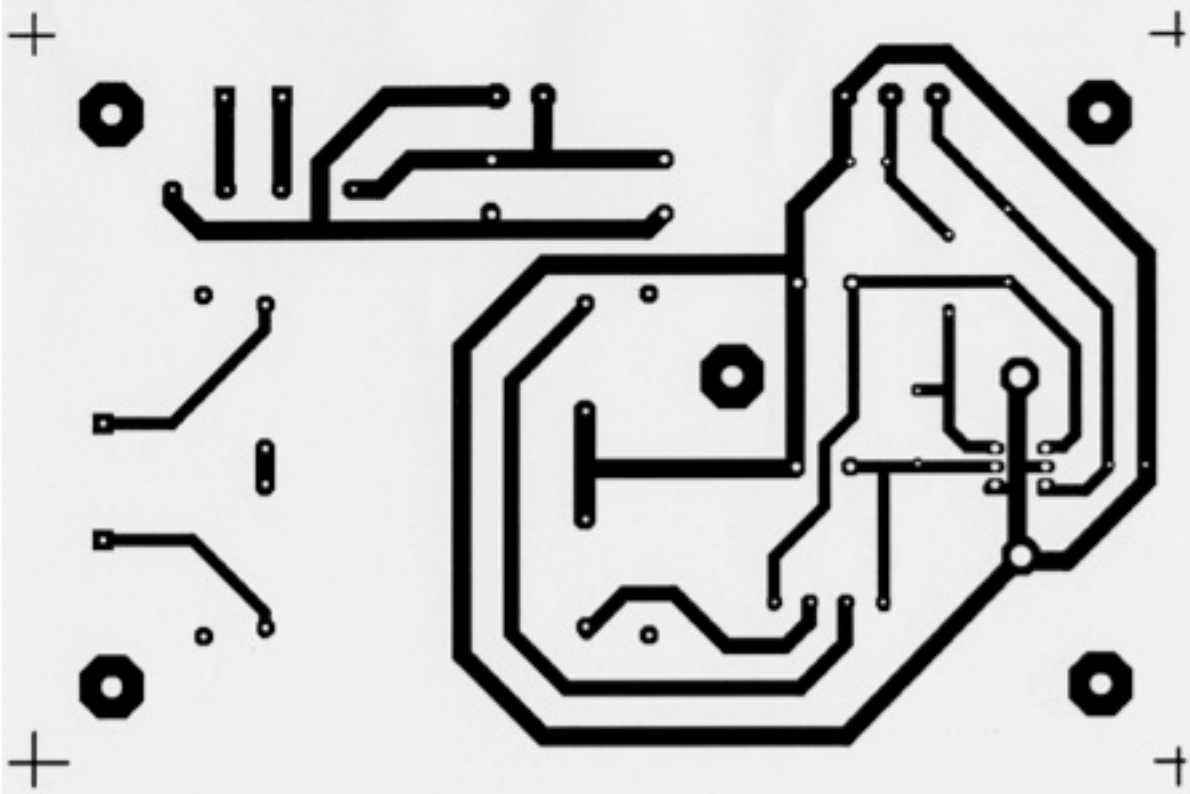


# Alimentatore THC

## Componenti



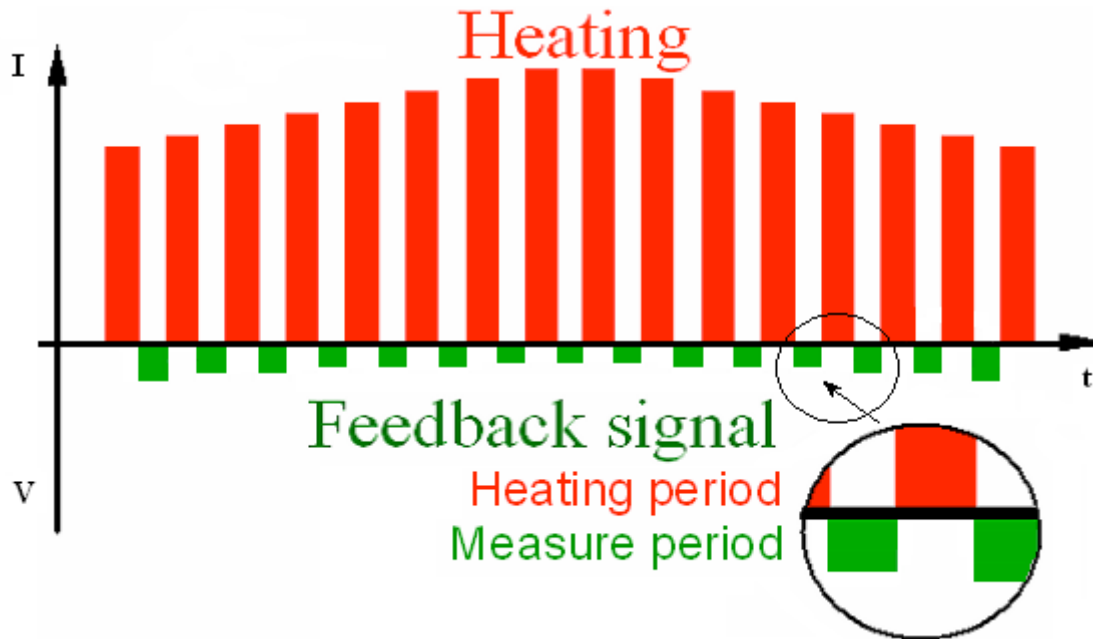
## Lato saldature



### 3. DESCRIZIONE DELLA CATENA DI MISURA PROGETTATA

La catena descritta è composta da una sonda e una elettronica di alimentazione e di controllo.

La sonda realizzata in varie forme e tipologie è una termocoppia riscaldata dalla corrente che scorre negli stessi fili termoelettrici grazie ad una gestione a divisione di tempo della termocoppia vista come elemento riscaldante e come sensore. In altre parole l'elettronica provvede a commutare l'alimentazione con una corrente ad onda quadra del "riscaldatore", con la lettura della temperatura, che risulta essere il segnale di feedback prelevato durante lo spegnimento del riscaldamento e che serve a pilotare la corrente di riscaldamento. Lo schema successivo descrive questo modo di operare.

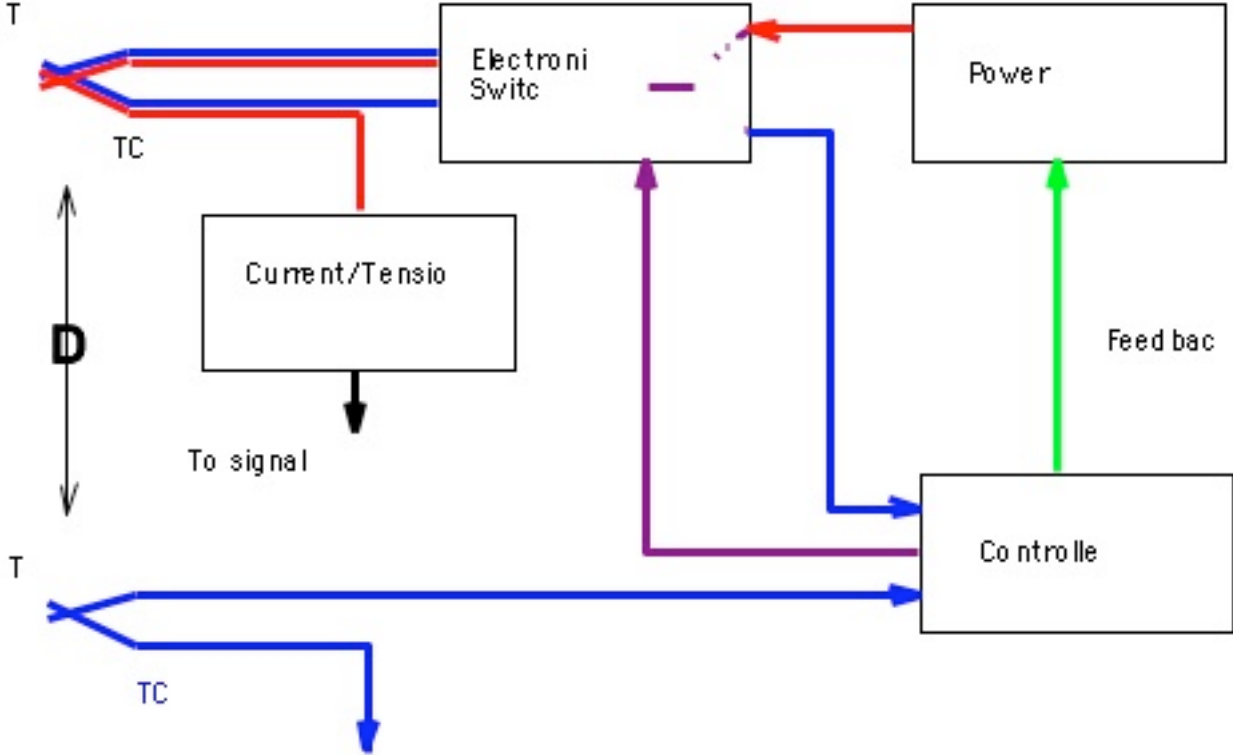


Lo schema a blocchi seguente descrive la filosofia di funzionamento, e le parti fondamentali della catena elettronica di misura. Si è lavorato su questo schema per studiare quali erano le possibilità di adattamento di questo strumento alla misura anemometrica. Si è infatti progettata una nuova elettronica in cui il feedback è ottimizzato pesando i guadagni degli amplificatori e ponendo particolare attenzione e cura ai rumori inevitabilmente captati dall'elettronica.

Il resto dell'elettronica provvede quindi a gestire la commutazione sul giunto termoelettrico dei circuiti di alimentazione e quelli di misura. Il trattamento dei segnali provenienti dal feedback realizzato tra il segnale di misura e il pilotaggio della corrente di riscaldamento è gestito da un microprocessore.



**SCHEMA A BLOCCHI DEL CIRCUITO ELETTRONICO**



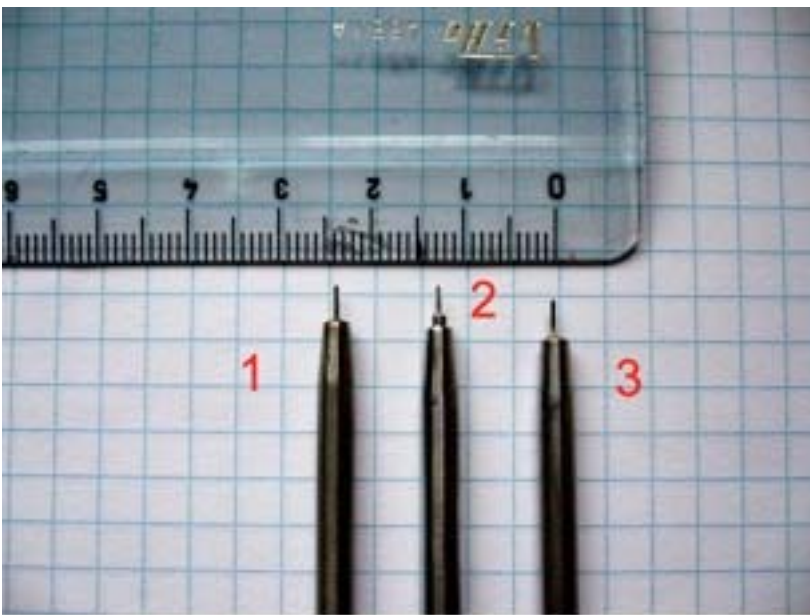
#### 4. LE SONDE A TERMOCOPPIA A RISCALDAMENTO DIRETTO

Il sensore è costituito da una micro – termocoppia che è usata in alternanza per la misura della temperatura e come riscaldatore della punta sensibile. In aggiunta a questa termocoppia si prevede anche un giunto termoelettrico in grado di misurare la temperatura del fluido per compensare le sue variazioni. Sarà compito dell’elettronica, come è stato descritto in altro paragrafo, di commutare i circuiti di alimentazione della corrente di riscaldamento con quella di lettura della temperatura.

Queste sonde sono state già provate in condizioni ambientali severe 360 °C e 180 bar e hanno alle spalle molte ore di lavoro.

Di seguito sono riportate le foto di tutte le sonde realizzate per questa attività, che come si nota, si differenziano sia per dimensioni e disposizioni all’interno della guaina, che per il tipo di fili termoelettrici utilizzati.

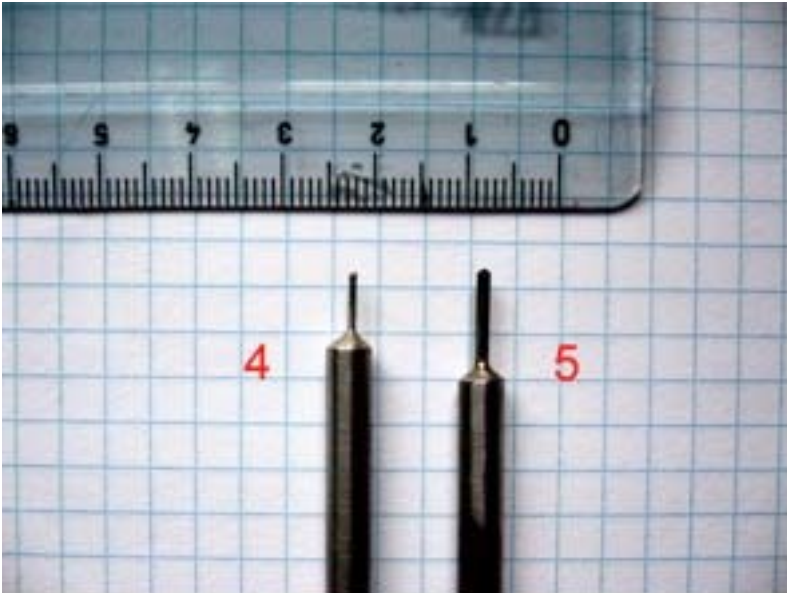
##### Sonde a termocoppia riscaldata



N° 1 Parte sensibile Ø 0,5 CR/AL. Il giunto caldo è stato realizzato isolato e immerso in nitrato di boro. Resistenza 3  $\Omega$ .

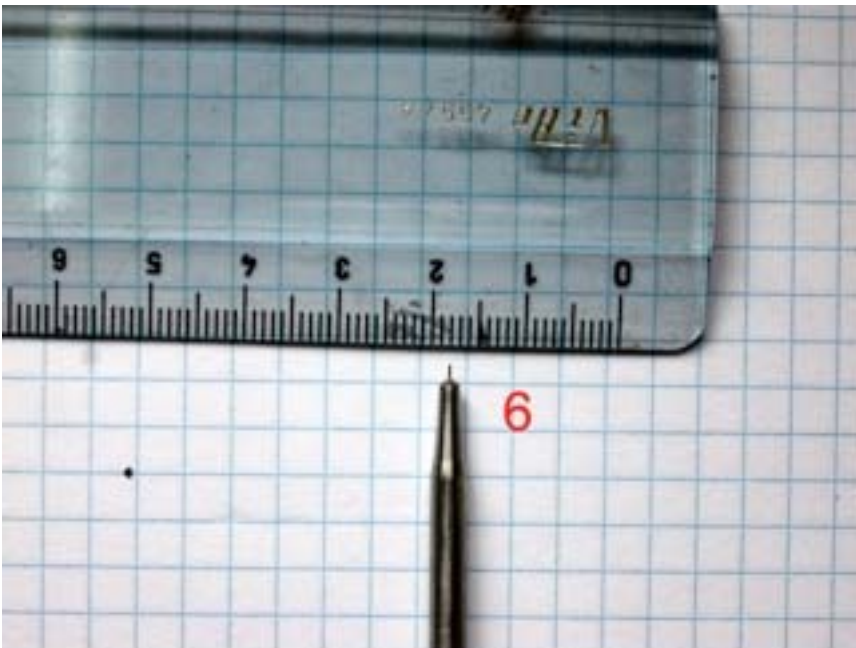
N° 2 Idem come N° 1 ma di Fe/Co. Resistenza 1,5  $\Omega$ .

N° 3 Idem come N° 1 col giunto caldo molto esposto all’interno della guaina. L’isolante di MgO è stato asportato per circa 1,5 mm all’interno della guaina. Resistenza 3  $\Omega$ .



N° 4 Sonda con parte sensibile  $\varnothing 0,8$  di CR/AL giunto caldo realizzato sempre con il contorno di nitruro di boro.

N° 5 Sonda realizzata con filo nudo CR/AL  $\varnothing 0,127$  mm immerso in nitruro di boro il tutto incapsulato con una guaina inox  $\varnothing$  est. 1.5 mm e  $\varnothing$  int. 1,3 mm.



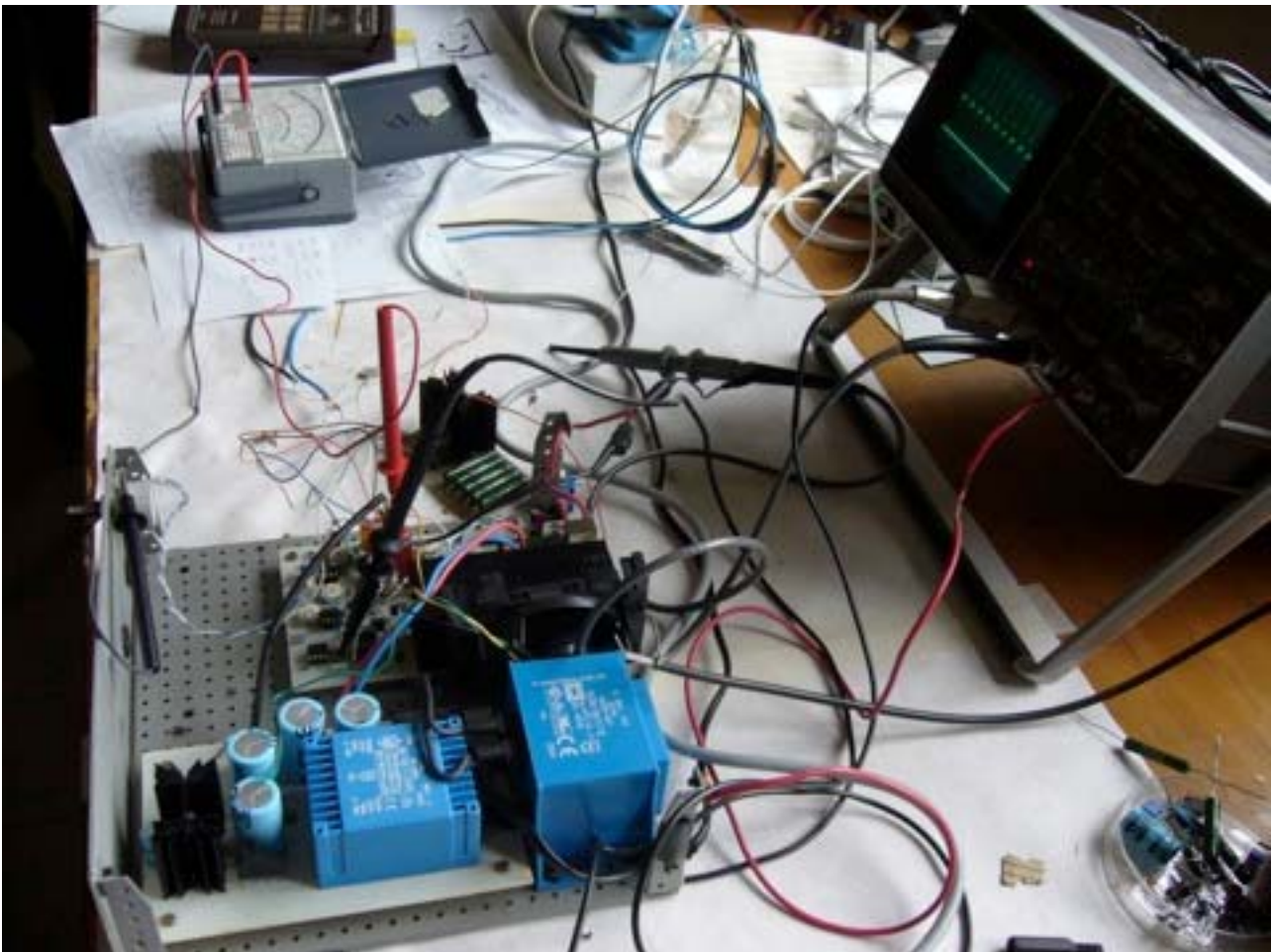
N° 6 Sonda particolare realizzata con termocoppia inguainata  $\varnothing 0,25$  mm.

## 5. PROVE SPERIMENTALI DI LABORATORIO

Una volta realizzata l'elettronica prototipale su circuito stampato, studiato, realizzato e fornito da SISTEMA s.r.l. si è provveduto al montaggio in un contenitore che prevedeva anche i circuiti di alimentazione. Si sono provate in successione tutte le sonde precedentemente descritte e con l'ausilio di strumentazione di laboratorio si è cercato di ottimizzare le tarature dei guadagni degli amplificatori e si è cercato di estrarre un segnale lineare utile capace di descrivere la variazione dello scambio termico della sonda al variare della velocità del fluido nel quale essa era immersa.

Queste prove, che hanno richiesto molte settimane di lavoro, non hanno portato a risultati soddisfacenti in quanto il rapporto segnale utile/rumore era così basso che richiedeva guadagni talmente alti da rendere difficoltosa la gestione della stabilità e l'insensibilità ai rumori. Queste esperienze hanno avuto come ricaduta quella di acquisire sul campo quella sensibilità di comprensione ed interiorizzazione dei problemi incontrati e grazie a questo studio si sono compresi i motivi dell'insuccesso, preziosa guida per il prosieguo dell'indagine che è tuttora in atto.

### ELETTRONICA, SONDA E STRUMENTAZIONE DURANTE LE PROVE SPERIMENTALI



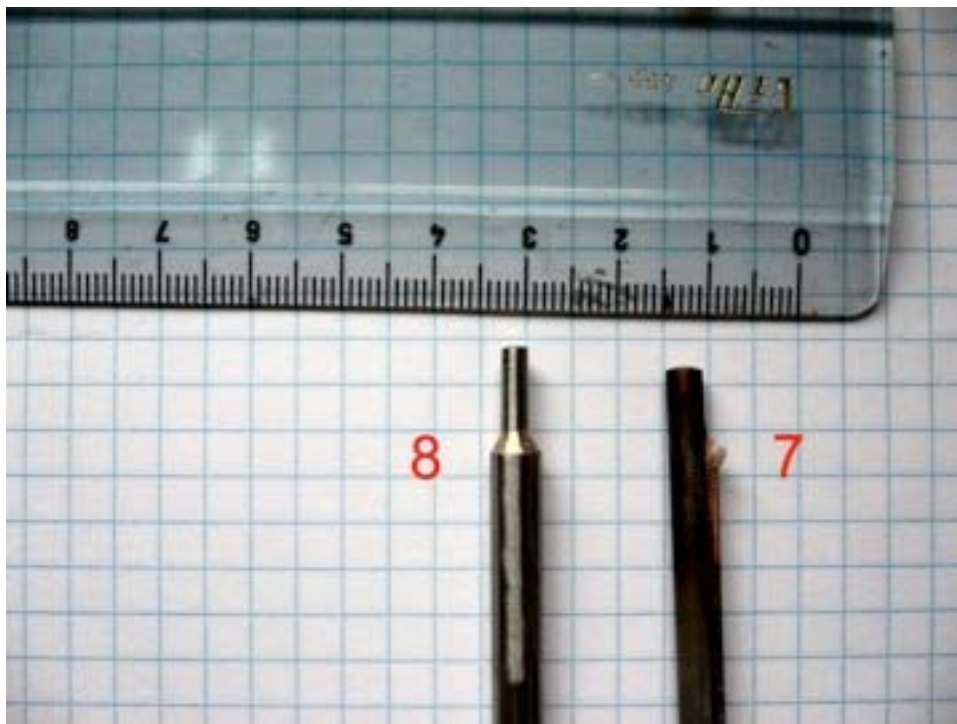
## 6. PROPOSTE DI REVISIONE E RIPROGETTAZIONE

L'esperienza acquisita con l'attività di sviluppo della strumentazione descritta in precedenza avente come sensore quello a termocoppia riscaldata, è servita ad acquisire quelle informazioni necessarie per apportare adeguate modifiche al circuito elettronico e guidare le scelte realizzative di un nuovo sensore a termoresistenza in grado di fornire rapporti segnale / rumore ottimali e capaci di non esigere guadagni ai limiti della possibilità di gestione, ottimizzando i livelli dei segnali e i guadagni degli alimentatori.

E' stato commissionato a Sistema s.r.l. lo studio di un nuovo circuito da aggiungere a quello realizzato per le prove con le termocoppie riscaldate. Dopo la connessione di questo nuovo circuito si sono iniziate le prove sperimentali in laboratorio per verificare se l'aggiunta di questo circuito in configurazione tipica rispondeva alle attese. Dopo una fase di messa a punto e di taratura si è cominciato ad avere risultati che lasciano un maggiore ottimismo per la sperimentazione e pongono le basi per mettere in pratica le esperienze ottenute nella prima fase.

Di seguito sono descritte le sonde realizzate in questa seconda fase di studio che saranno prossimamente ulteriormente ottimizzate nei materiali, nelle geometrie e nelle dimensioni.

### Sonde a termoresistenza



N° 7 Termoresistenza realizzata con filo di platino  $\varnothing$  0,15 avvolto a spirale su tondo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\varnothing$  1,5 mm. Resistenza 3  $\Omega$ . Avvolgimento fermato con cemento alta temperatura misto con nitrato di boro il tutto incapsulato in una guaina inox  $\varnothing$  est. 4 mm e  $\varnothing$  int. 3,5 mm.

N° 8 Termoresistenza realizzata con filo di platino  $\varnothing$  0,1 mm. La costruzione equivale alla sonda N° 7 ma le dimensioni della parte sensibile  $\varnothing$  est. 3 mm e  $\varnothing$  int. 2,5 mm

## **7. PROGRAMMI DI SVILUPPO E OTTIMIZZAZIONE**

Attualmente si sta procedendo su due strade parallele:

- si stanno realizzando, alla luce delle esperienze acquisite nella prima fase di studio da poco conclusa, alcuni nuovi sensori ottimizzati a termoresistenza;
- è in prova una nuova architettura circuitale revisionata ed adattata al funzionamento con sensori a termoresistenza che utilizza, come descritto, con l'aggiunta di un nuovo circuito, quello realizzato in precedenza, al quale inoltre sono state apportate piccole modifiche per adattare i diversi livelli dei segnali. A questo circuito si prevede di sostituire alcuni componenti più indicati e quindi con caratteristiche migliori che dovrebbero esaltare la risposta dell'intera catena di misura.

Le prime prove dimostrano un netto miglioramento delle risposte della intera catena e se le ottimizzazioni che si intende portare avanti daranno i risultati sperati, sicuramente si potrà disporre di uno strumento in grado di fare misure anemometriche quasi stazionarie in range di velocità adeguate e corrispondenti alle specifiche richieste.