



Montesissa Marco (645704)

Tagliaferri Paolo (646468)

Cremona 14/04/2003

**Progetto da 1 credito CFU di**  
**Ingegneria e Tecnologia dei Sistemi**  
**di Controllo**  
**Controllo di Temperatura**

**Esperimento 3**

**Compensazione diretta di un disturbo**

## **1. Introduzione**

### **1.1 Svolgimento**

Il progetto è stato svolto in parte durante le esercitazioni di laboratorio, in parte in ore extracurricolari. Si è suddiviso il carico di lavoro in 3 parti essenziali.

La prima, svolta completamente in laboratorio, è la parte più sperimentale ed empirica del progetto, ovvero l'analisi del processo, e la sperimentazione manuale e abbastanza grossolana, dei parametri di controllo (per quanto riguarda il PID, e la compensazione in Feed Forward). Tutti queste sperimentazioni, testing e relative risposte del sistema sono state registrate per successiva analisi.

La seconda parte, svolta parte in laboratorio, consiste nell'analisi dei risultati ottenuti e nella progettazione dei parametri del Pid e della modellizzazione della funzione di trasferimento della  $C(S)$ , funzione appunto del feed-forward. Dopodiché si procede alla creazione di grafici delle varie risposte e rispettive tarature, tramite lo strumento MatLab.

La terza parte, è la stesura della suddetta relazione, la quale permette un riordino e corredo di spiegazione tutti i dati raccolti durante la fase sperimentale di laboratorio e loro relativa elaborazione elettronica. Nella parte finale della relazione, si rivede il progetto in toto e si traggono le opportune conclusioni finali.

Per quanto riguarda la suddivisione dei compiti, la parte di sperimentazione è stata svolta in egual modo con collaborazione mentre la parte elaborativa in matlab è stata svolta maggiormente da Tagliaferri mentre Montesissa si è occupato della stesura della relazione.

## 1.2 Descrizione del problema

Il Sistema, prevede il controllo della temperatura della piastra  $T_p$  tramite la variabile di controllo  $Q_1$  che appunto è la potenza erogata al primo transistor.

Il sistema, ovviamente modellizzato, si può supporre abbia due principali fonti di disturbo, la prima è la temperatura ambiente e quindi lo scambio di calore con l'ambiente, la seconda, molto più vistosa è lo scambio di calore con il secondo transistor appunto  $Q_2$  (Ciò è determinato dall'ordine di grandezza maggiore del coefficiente di trasmissione del calore Piastra-Transistor rispetto a quello Piastra-Aria).

Nel caso in cui non ci sia disturbo da parte del secondo transistor ( $Q_2$ ), si può supporre che, visto che la temperatura ambiente è generalmente costante o comunque ha dei transitori molto lunghi ed escursioni contenute, il solo PID basti per controllare in anello chiuso in modo soddisfacente.

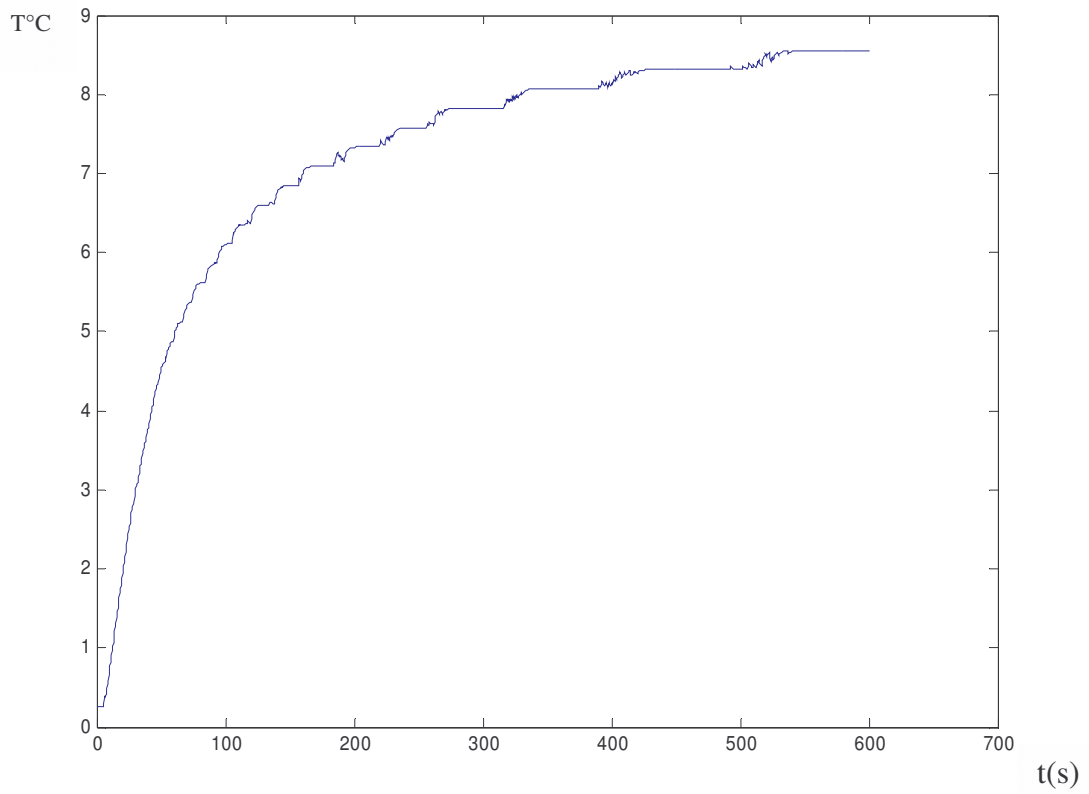
Nel caso in cui, però ci sia l'effetto del disturbo  $Q_2$ , il PID controlla ovviamente il processo, ma potrebbe non soddisfare certe specifiche richieste dal sistema (ad esempio, potrebbe esserci una risposta poco efficiente ed un transitorio eccessivamente lungo, che nel nostro caso non porterebbero eccessivi danni ma se pensiamo ad altri processi in cui la temperatura è level-critical allora il solo PID non basta.).

Di conseguenza come è possibile controllare il processo senza modificare eccessivamente i parametri del PID rischiando di avere risposte troppo brusche sulla variabile di controllo  $Q_1$ ? Semplice, **il problema diventa meno complesso utilizzando un semplice controllo in Feed-Forward unito all'azione del PID.** Infatti se è possibile misurare la variazione di temperatura su  $Q_2$  è anche possibile tramite appunto il controllo in Feed-Forward anticipare su  $Q_1$  la compensazione e di conseguenza avere una risposta molto più efficiente ed un transitorio molto più rapido. Addirittura se  $C(S) = 1$  allora la compensazione sarebbe efficiente al 100% cioè il sistema non risentirebbe più del disturbo  $Q_2$ .

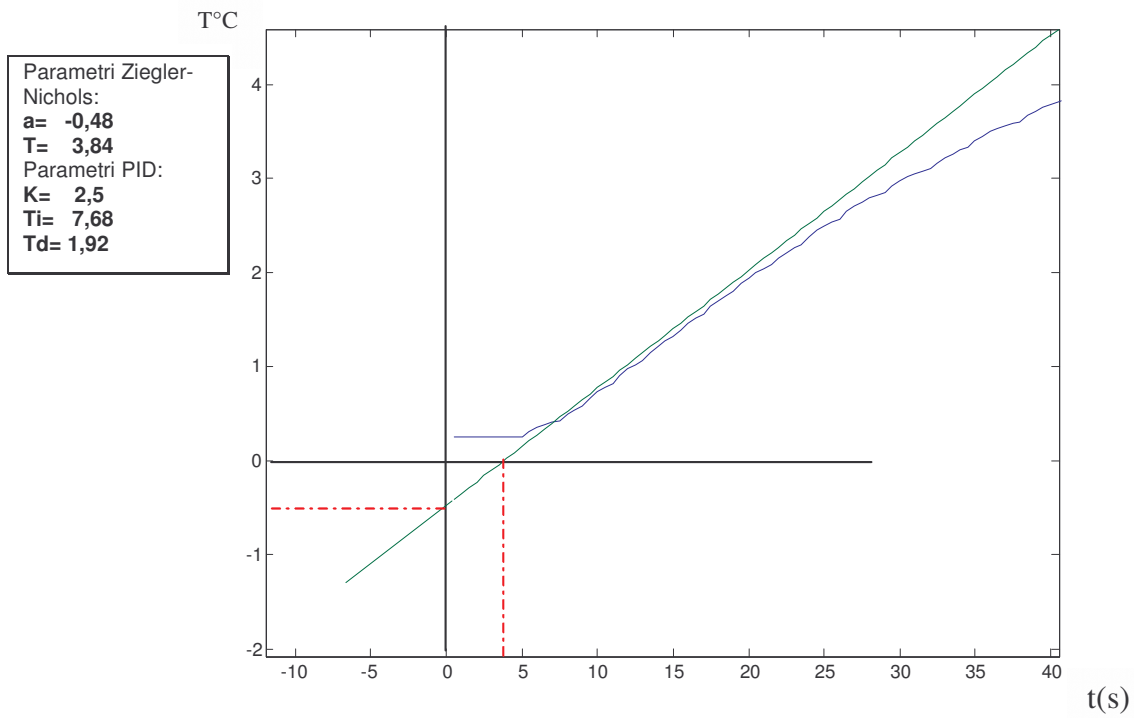
## 2. Progettazione e Misurazione

### 2.1 Analisi del sistema e taratura PID

La prima parte del progetto è l'analisi del sistema al fine della taratura dei parametri del PID. Visto che il metodo di taratura richiesto è quello di Ziegler-Nichols, la prima fase sarà impostare la F.d.t. del PID = 1 e  $C(S)=0$ . Cioè in poche parole analizzare il sistema in anello aperto, ed in particolare la risposta a scalino.



Risposta allo scalino del sistema in anello aperto.

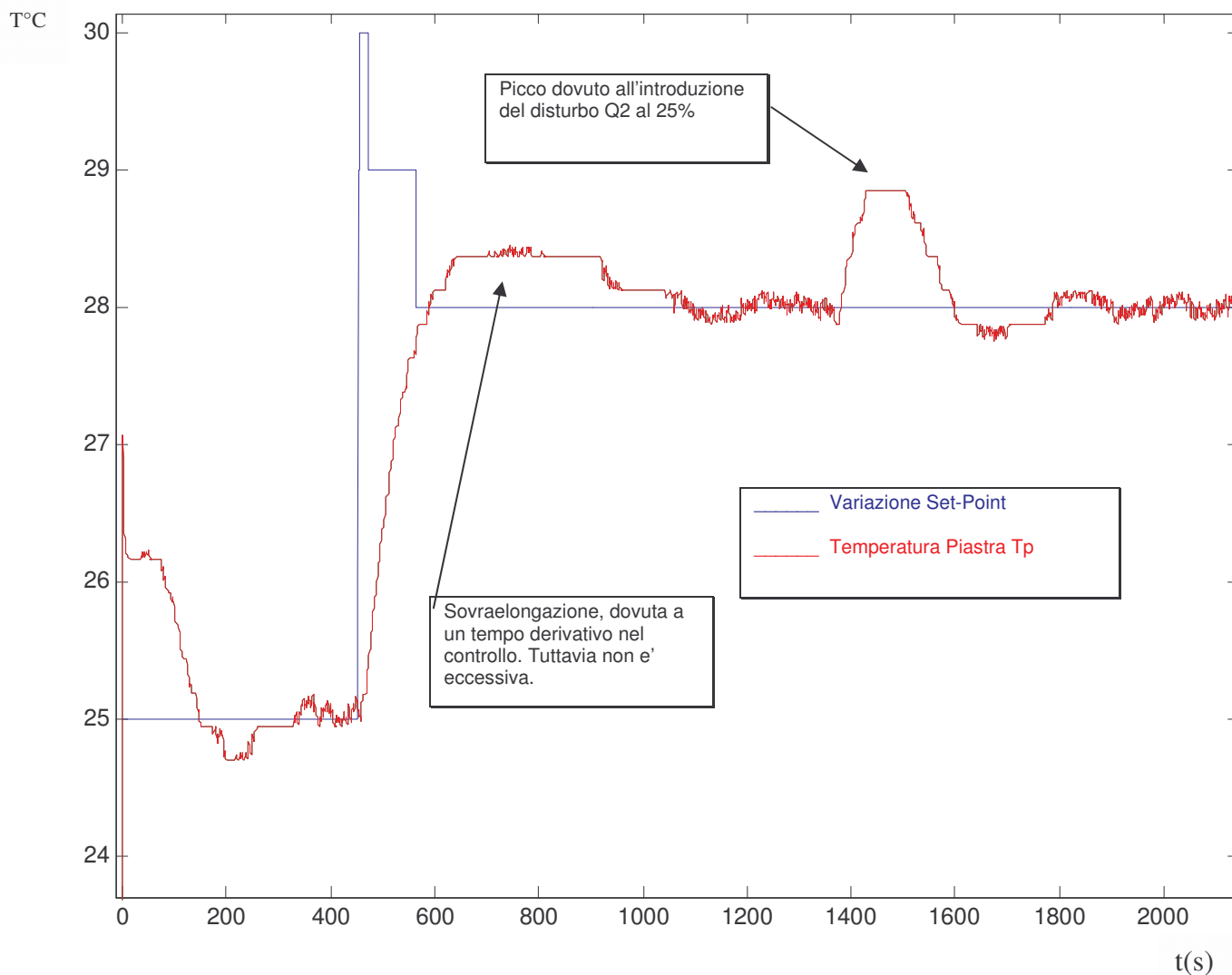


Particolare della risposta allo scalino con la retta per rilevare i parametri di Ziegler-Nichols

## 2.2 Analisi del sistema con PID attivo

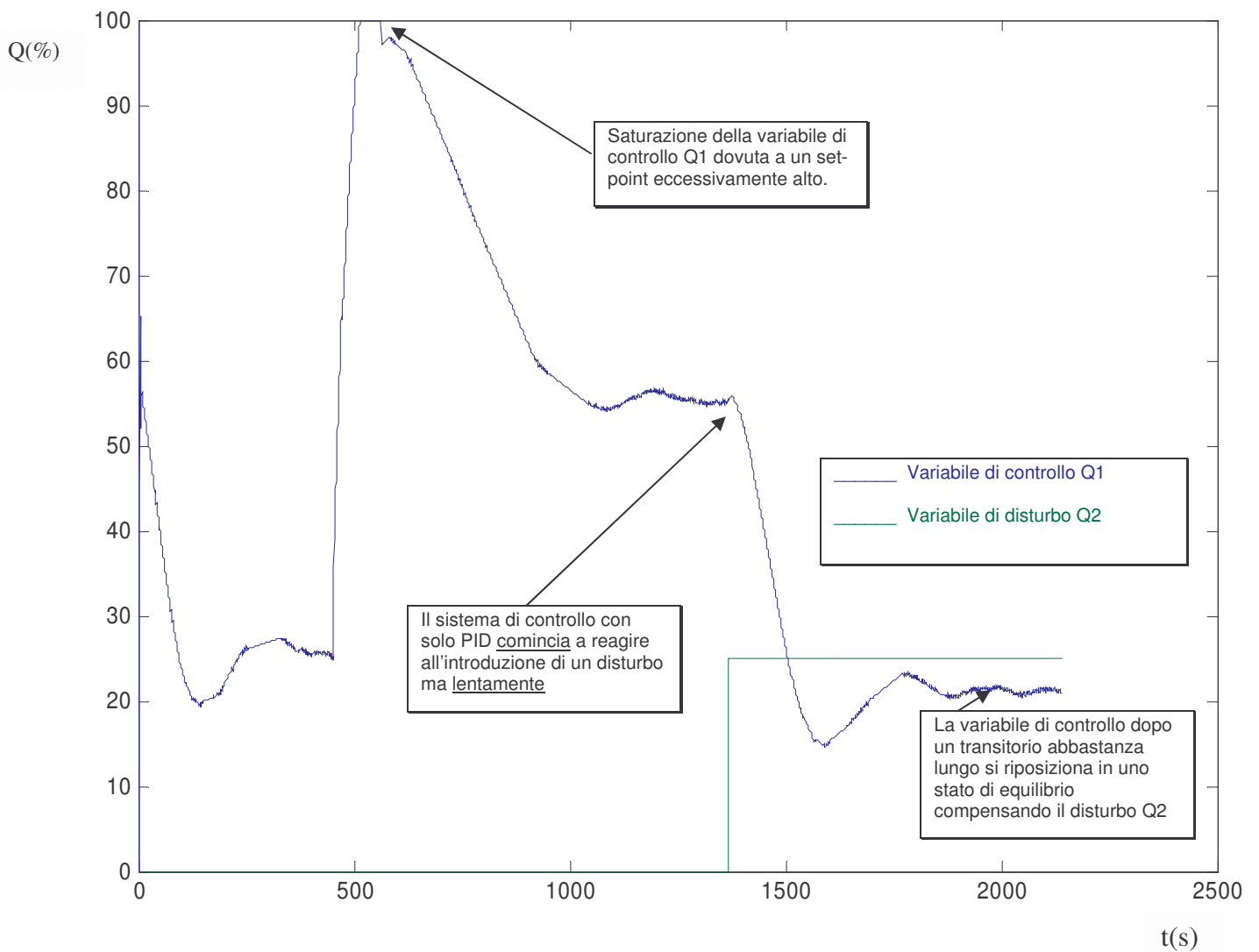
Effettuata la taratura del PID, si procede ad analizzare il comportamento che questo mostra nell'anello chiuso.

Si analizzano quindi la risposta alla variazione del set point e poi l'introduzione di un disturbo  $Q_2$  pari a 25%.



Temperatura della piastra al variare della temperatura di set point e del disturbo  $Q_2$

Come evidenzia il grafico, escludendo un transitorio iniziale, il sistema insegue abbastanza bene le variazioni di set point, con tempi di risposta inferiori a 200 secondi e con delle sovravelongazioni di circa 0,5  $^{\circ}\text{C}$ .



Variation of the **control variable**  $Q_1$  and the **disturbance**  $Q_2$  referred to the testing of PID in a closed loop.

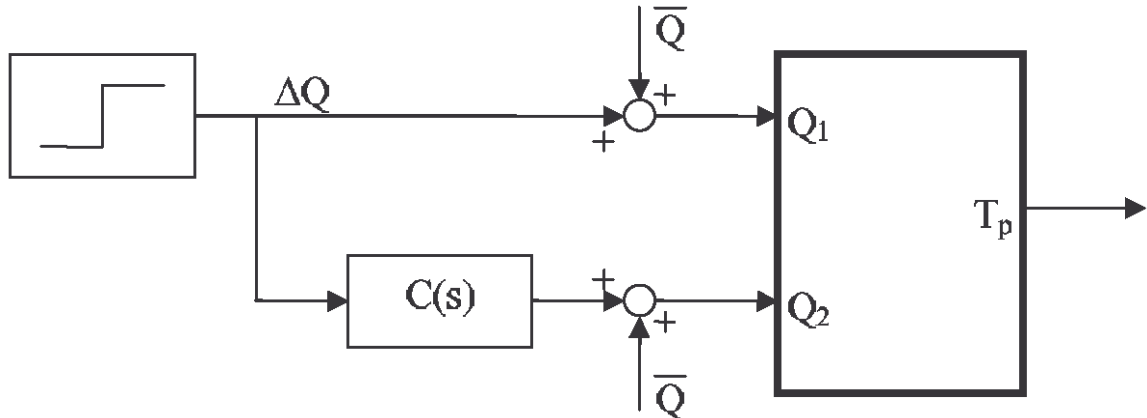
When a disturbance represented by  $Q_2$  occurs, the system tends to react slowly and generally poorly.

It is therefore possible to make the control variable  $Q_1$  more "ready" to react?

In the following parts, a control in Feed-Forward will be inserted to compensate the disturbance  $Q_2$ .

## 2.3 Progettazione e taratura controllo in Feed-Forward

Per trovare una funzione che compensasse al meglio il disturbo  $Q_2$  utilizzando  $Q_1$  si potrebbe pensare, visto che i transistor sono uguali e molto simili tra di loro, e visto che la piastra si trova posizionata simmetricamente sopra i due transistor che  $Q_2$  ha la stessa influenza che ha  $Q_1$ . Quindi basterebbe che  $Q_1$  inseguisse  $-Q_2$ . Cioè che  $Q_1 = -Q_2$ . In Verità non è esattamente così in quanto il sistema non si comporta in modo lineare, e ha die transistori differenti. Quindi  $C(S)$  non sarà semplicemente  $-1$ . Per calibrare  $C(S)$  quindi si è utilizzato il seguente schema.



Schema per rilevare la miglior funzione di trasferimento per tentativi.

Di conseguenza dopo un po di tentativi e calibrazioni sulla f.d.t.  $C(S)$ , si è ottenuto che un valore accettabile per la  $C(S)$  fosse:

$$C(S) = - \frac{1}{1 + 10s}$$

Questo valore sostituito nel controllo sopra illustrato ha determinato un grafico delle due variabili  $Q_1$  e  $Q_2$  del tipo:

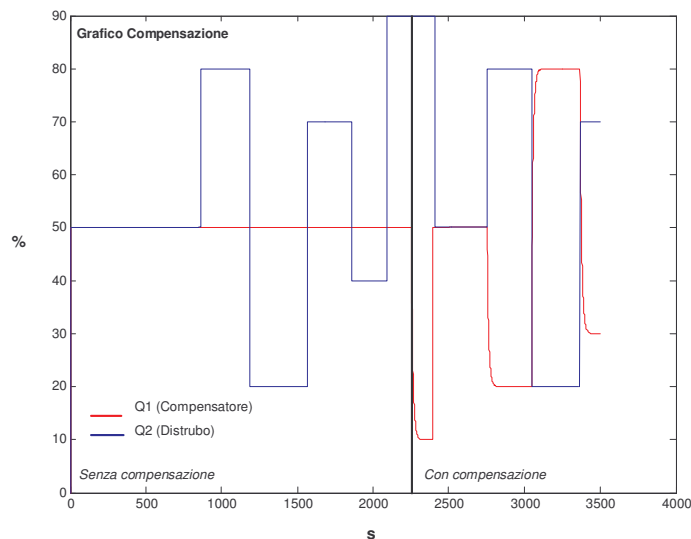


Grafico dell'azione sulla variabile di controllo della compensazione e senza compensazione

## 2.4 Verifiche finali sugli effetti del compensatore e del PID

Infine, per verificare un miglioramento delle prestazioni, ecco i grafici delle 3 temperature misurate ( $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_p$ ) con la variazione del disturbo sempre riferito all'esperimento di prima. Senza compensazione, il solo PID interviene per riportare  $T_p$  al set-point desiderato, quindi si evidenzia un transitorio relativamente più lungo ed uno sbalzo di temperatura dovuta al disturbo maggiore che con l'uso di un sistema con compensazione del disturbo  $Q_2$ . Il set-point è settato in modo costante a  $26^\circ\text{C}$ .

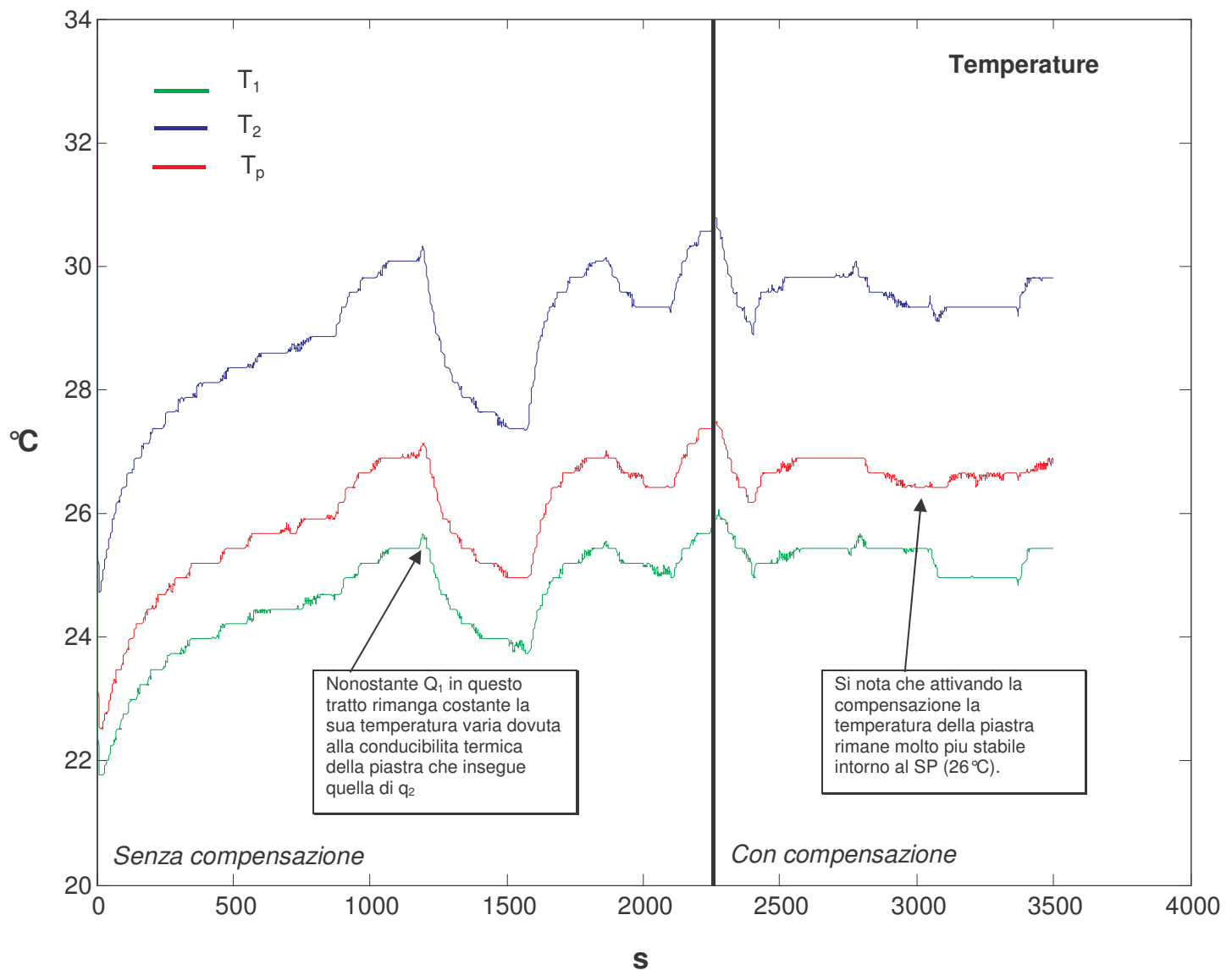


Grafico delle variazioni delle temperature del **Transistor1** e del **Transistor2** e della **Piastra**

### 3. Tests Finali e Conclusioni

#### 3.1 Verifiche finali sugli effetti del compensatore e del PID

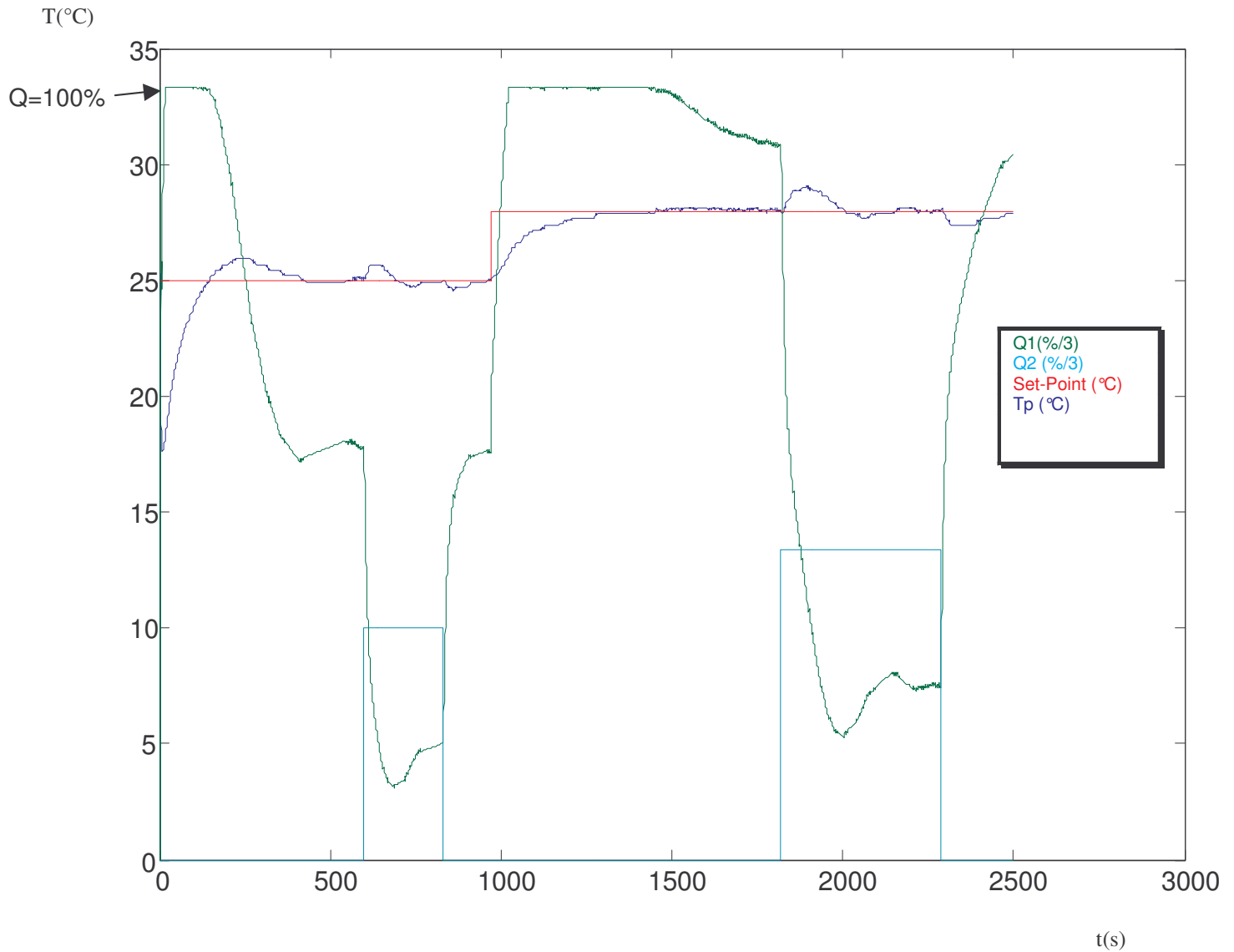


Grafico test finale del sistema con PID e compensatore attivi..

Come si puo evidenziare dal grafico, il sistema risponde abbastanza bene secondo quanto erano le previsioni. Si puo notare che e' molto più evidente la reazione quasi "istantanea" di  $Q_1$  rispetto ad una variazione di  $Q_2$ , questo appunto e' un fattore positivo dovuto all'introduzione della compensazione.

## 3.2 Conclusioni

Si può dire, ovviamente con un certo margine di errore, che l'esperimento di laboratorio e sua successiva elaborazione, hanno mostrato l'effettiva necessità e i conseguenti vantaggi dell'introduzione di un controllo che compensi direttamente l'azione di un disturbo.

Questo infatti, sia riduce l'ampiezza degli sbalzi termici, sia velocizza i transitori che quindi portano ad un migliore inseguimento del set-point da parte del sistema e una maggiore "robustezza" ai disturbi esterni.

Ovviamente tutto è stato realizzato tenendo conto dei vari e non trascurabili disturbi dovuti a varie imperfezioni e fattori esterni (un disturbo sulla sensibilità dei sensori di temperatura che provocano oscillazioni ad alta frequenza visibili sui grafici, il trasformatore interno che altera la temperatura del sistema in quanto "scalda" anche lui).

Il calcolo di alcuni parametri (soprattutto per quanto riguarda la f.d.t di  $C(S)$ ) sono stati effettuati per via "empirica" cioè effettuando una serie di tentativi, anziché procedendo per via matematica attraverso i modelli forniti dal sistema. Questo potrebbe significare che gli stessi parametri siano "buoni" ma non certamente "ottimali" per il sistema, ma visto la complessità e la delicatezza dell'operazione, e contando gli eventuali fattori parassiti che nel caso di un calcolo tramite il modello potrebbero non essere tenuti conto, si è preferito procedere per tentativi.

Concludendo, si può affermare che l'esperienza di laboratorio ha avuto un esito positivo per quanto riguarda la dimostrazione dell'effettivo funzionamento di un controllo PID in temperatura. Ancor di più si è dimostrata utile l'introduzione di un controllo in compensazione.