

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica  
Electronics for Industrial Applications

Tesi di Laurea Magistrale

# Analisi dei sistemi di misura e progetto di un controllore di temperatura

Per impianti di condizionamento degli elicotteri S92 e NH90



**Relatori**

prof. COSTANZO Giovanni Antonio  
MAINERO Daniele

**Studente**

Diego PENNAZIO

**Supervisore aziendale**  
CAFFARATTI Alessandro

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

# Sommario

Nel documento sono illustrate alcune parti del lavoro finalizzato alla ristrutturazione del banco prova per la qualifica di uno dei sottosistemi dell'ECS (Environmental Control System) dei modelli di elicottero S92 e NH90: l'impianto di condizionamento. Sono descritte alcune parti dell'impianto in prova, analizzata la struttura del banco e riportati i passaggi svolti per la progettazione di un nuovo sistema di controllo per il riscaldamento di alcuni ambienti del banco, in due differenti versioni.

In particolare, sono state analizzate l'unità di controllo centralizzata dell'impianto chiamata DTCU (Digital Temperature Control Unit) e la sua interfaccia con l'impianto, il circuito del liquido refrigerante e le funzionalità di alcune delle valvole presenti. Le sezioni del rack di controllo del banco trattate principalmente comprendono gli schemi elettrici per la parte di potenza, la struttura dei pannelli che simulano i cruscotti degli elicotteri, i rack per il condizionamento dei segnali e il rack DTCU.

E' stato quindi modificato il sistema di controllo della potenza fornita ai riscaldatori elettrici di banco, utilizzati per la qualifica del sistema in prova nelle possibili condizioni operative. L'obiettivo è quello di centralizzare il controllo, renderlo configurabile e flessibile. Utilizzando un PLC sono stati interfacciati i controllori automatici di temperatura con i vari regolatori di potenza, gli interruttori di sicurezza e di attivazione, generando un'uscita con modulazione PWM con Duty cycle proporzionale alla potenza desiderata.

E' stata avanzata un'ulteriore proposta di miglioramento di questa sezione del banco prova: si tratta della sostituzione dei moduli di controllo di temperatura automatici, precedentemente utilizzati nel banco ma non necessariamente ancora funzionanti, con la logica di controllo di temperatura implementata direttamente su PLC.

Per simulare il comportamento reale del sistema, sono stati misurati i principali parametri fisici del vecchio riscaldatore, modellando tramite calcolo delle capacità e resistenze termiche dei principali elementi costituenti "l'impianto" e costruendone la funzione di trasferimento in ambiente Matlab. Anche la catena di misura della temperatura nel volume, rappresentata da una Pt100, il condizionatore di segnale e il modulo di acquisizione Analogico/Digitale, è stata rappresentata sotto forma di funzione di trasferimento.

Dopo aver verificato su Simulink che la risposta del sistema fosse simile a quella ipotizzata e coerente con quella che aveva il precedente sistema, si è costruita la catena di controllo di temperatura ad anello chiuso ed è stato progettato il controllore. Si tratta di un controllore di tipo PI, si è applicata la tecnica della cancellazione zero/polo impostando lo zero del controllore pari al polo principale del sistema e si sono impostati i parametri al fine di evitare un'eccessiva saturazione della potenza (il comando dell'impianto) nelle peggiori condizioni operative possibili.

Gli obiettivi preposti per il comportamento del controllore, cioè la stabilità, l'assenza di sovraelongazione e il tempo di salita dell'ordine di alcuni minuti sono rispettati. Sono inoltre riportati nel documento alcuni degli schemi elettrici che si utilizzano nel banco e la struttura dei principali sistemi che fanno parte dell'impianto di condizionamento dell'aria.

# Ringraziamenti

Giunto al termine di questo percorso di studi, è doveroso ringraziare tutte le persone che mi hanno dato il loro supporto, vitale al raggiungimento di tale traguardo.

Innanzitutto ringrazio coloro che hanno contribuito al lavoro di tesi, in particolare il relatore prof. Costanzo Giovanni Antonio, che mi ha seguito con grande costanza e puntualità in questo semestre e il prof. Malan Stefano, i cui consigli sono stati fondamentali per la comprensione di alcuni aspetti del progetto del controllore.

Ringrazio l'azienda Microtecnica e tutti coloro che mi hanno dato suggerimenti e informazioni sul loro lavoro, in particolare Mainero Daniele, colui che mi ha seguito quotidianamente con preziosi consigli tecnici e non solo.

Ringrazio quindi tutti coloro che mi hanno supportato in questi 18 anni, a partire dalla scuola primaria fino alla laurea Magistrale. In particolare il migliore compagno di studi del mondo e tutti gli amici/parenti con cui ho condiviso le ore sui libri, le persone che ci sono sempre state prima di tutti gli esami ed eventi importanti, con semplici consigli e anche ascoltando l'argomento da presentare, quelle che hanno alimentato la mia motivazione e che mi hanno moralmente supportato e coloro che sono riusciti ad aiutarmi riguardo ognuno degli aspetti precedenti.

# Indice

Elenco delle tabelle	7
Elenco delle figure	8
<b>I Prima Parte</b>	<b>9</b>
1 Introduzione generale	11
2 Descrizione del Sistema in prova	13
2.1 Interfaccia della DTCU con il sistema	13
2.2 Circuito Liquido Refrigerante	15
2.3 Valvole nel sistema	17
3 Analisi del Rack di Banco	19
3.1 Rack 1,2,3	21
3.2 Struttura generale Rack S92 e NH90	24
3.3 DTCU simulata	25
3.3.1 Regolazione temperatura Cabin/Cockpit	25
3.3.2 Comando valvole H MV	26
3.4 Sistema di misura circuito dell'aria	27
3.5 Condizionamento dei segnali	28
3.6 Catene di misura del banco	30
3.6.1 Accorgimenti per le misure	30
<b>II Seconda Parte</b>	<b>33</b>
4 Controllo Riscaldatori con controllore Automatico	35
4.1 Obiettivi	35
4.2 Implementazione del programma su PLC	36
4.3 Validazione e test	39
5 Simulazione sistema di stabilizzazione termica con controllore simulato tramite Matlab	41
5.1 Test del controllore implementato su PLC	42

5.2	Schema di controllo . . . . .	43
5.2.1	Impianto $G_s(s)$ . . . . .	44
5.2.2	Sistema di misura e acquisizione $H(s)$ . . . . .	49
5.2.3	Controllore PI . . . . .	50
5.3	Simulazione su Simulink del comportamento del sistema modellato . . . . .	52
	<b>Conclusioni</b>	<b>57</b>
	 <b>III Terza Parte</b>	 <b>59</b>
	<b>Appendices</b>	
	<b>A Codice sorgente PLC</b>	<b>61</b>
A.1	Controllo potenza con controllore Gefran . . . . .	62
A.2	Controllo potenza con controllore progettato . . . . .	77
	<b>B Codice sorgente Matlab</b>	<b>95</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>105</b>

# Elenco delle tabelle

5.1	Calcolo Capacità termica sistema riscaldatori . . . . .	44
5.2	Calori specifici e Densità per calcolo Capacità termica sistema riscaldatori	45
5.3	Calcolo Resistenza termica sistema riscaldatori . . . . .	46
5.4	Resistenze termiche sistema riscaldatori . . . . .	47

# Elenco delle figure

2.1	Interfaccia DTCU con il sistema . . . . .	14
2.2	Ciclo Frigorifero . . . . .	15
2.3	Circuito liquido refrigerante NH90 . . . . .	16
2.4	Circuito liquido refrigerante S92 . . . . .	16
3.1	Allarmi Pressione . . . . .	21
3.2	Schema elettrico Riscaldatori . . . . .	22
3.3	Schema elettrico comando contattore Riscaldatore B . . . . .	23
3.4	Schema a blocchi Rack DTCU S92 . . . . .	24
3.5	Amplificatore da strumentazione INA114 . . . . .	25
3.6	Apertura e chiusura valvole HMV . . . . .	26
3.7	Circuito dell'aria simulato, Cabin . . . . .	27
3.8	National Instruments, schema proveniente dal datasheet del modulo 5B per Pt-100 . . . . .	29
3.9	Struttura della catena di misura del banco . . . . .	30
4.1	Configurazione PLC . . . . .	36
4.2	Ingressi digitali PLC . . . . .	37
4.3	Uscite digitali PLC . . . . .	38
4.4	Ingressi analogici PLC . . . . .	38
4.5	PWM Gefran potenza massima 7.5kW e 12kW . . . . .	39
4.6	PWM Gefran modalità Manuale . . . . .	40
4.7	PWM Gefran modalità Automatica . . . . .	40
5.1	PWM, Controllo con PLC con temperatura variabile . . . . .	42
5.2	Schema generale sistema riscaldatore con controllore . . . . .	43
5.3	Risposta al gradino, temperatura massima raggiungibile . . . . .	48
5.4	Diagramma di Bode Funzione di trasferimento retroazione . . . . .	50
5.5	Tecnica cancellazione zero-polo . . . . .	51
5.6	Anello chiuso: errore di temperatura e rispettivo comando in potenza . . . . .	52
5.7	Anello chiuso: Andamento Temperatura con massimo valore di gradino . . . . .	53
5.8	Comando in PWM con potenza massima = 8kW . . . . .	54
5.9	Comando in PWM: particolare dell'utilizzo della potenza massima 8kW . . . . .	54
5.10	Comando in PWM: Andamento della temperatura utilizzando la potenza massima 8kW . . . . .	55

Parte I  
Prima Parte



# Capitolo 1

## Introduzione generale

Il sistema di controllo ambientale (ECS - Environmental Control System) di un elicottero ha il ruolo fondamentale di mantenere le condizioni di temperatura e umidità adatte al benessere di equipaggio, passeggeri e al corretto funzionamento dell'elettronica di bordo, ed è essenziale che rimanga operativo in ogni condizione ambientale in cui il mezzo si possa trovare. In questi mesi è iniziato il lavoro per rimettere in funzione il banco prova per la qualifica di uno dei sottosistemi dell'ECS, per i modelli di elicottero S92 e NH90: l'impianto di condizionamento dell'aria.

La tesi è stata svolta nell'azienda Collins Aerospace e in particolare nella sede "Microtecnica" di Luserna san Giovanni. Tale società ha una storia quasi centenaria: nacque come azienda per le lavorazioni meccaniche di precisione, alternò periodi in cui le principali commesse erano militari con altri in cui la produzione era principalmente orientata a prodotti cinematografici quali proiettori, lenti meccaniche, bussole per la marina ecc.. Negli ultimi anni è stata acquistata da varie multinazionali, ultime in ordine di tempo sono state la UTC, United Technologies Corporation e la Collins Aerospace, della quale fa parte tutt'ora. Collins Aerospace è nata dalla fusione, nel 2018, di UTC Aerospace Systems e Rockwell Collins. Mentre la prima aveva la fama di produrre componenti aerospaziali, come eliche e tute spaziali, la Rockwell Collins nacque come compagnia radiofonica e sviluppava la produzione di sistemi e servizi avionici e informatici.

Per quanto riguarda la Microtecnica, a livello italiano la produzione di componenti e sistemi in ambito aeronautica e aerospazio è principalmente concentrata nella sede di Torino, mentre gli altri due allocamenti, Brugherio e Luserna, sono adibiti soprattutto ai collaudi e in parte all'assemblaggio delle componenti.

In questo documento verrà inizialmente descritto il sistema in prova, con la focalizzazione sul ruolo dell'unità di controllo, sul circuito del liquido refrigerante e su alcune altre parti che lo compongono. Quindi sarà analizzato il banco prova da ristrutturare, con maggiore attenzione al rack, ai circuiti elettrici ed elettronici e alle misure sul banco.

A proposito, è importante contestualizzare il tipo di banco e la sua finalità: si tratta di un banco di Sistema, atto a testare un intero impianto e non solo le singole componenti. L'obiettivo principale è quello di concludere delle prove di qualifica, cioè simulare l'intera vita operativa del sistema, riproducendo le peggiori condizioni riscontrabili in un elicottero e verificando la tenuta di ognuna delle componenti e la corretta risposta degli elementi di controllo.

Nella parte finale della tesi verranno apportate alcune modifiche alla sezione di controllo di alcuni riscaldatori di banco.

Nel documento verranno citati sovente la cabin e il cockpit: corrispondono ai volumi su cui agirà l'impianto di condizionamento dell'aria e sono rispettivamente la cabina passeggeri dell'elicottero e la cabina di pilotaggio, la quale comprende anche lo spazio adibito all'avionica e l'elettronica di bordo. Le principali componenti che influenzano la temperatura, oltre ai contributi provenienti dall'esterno, sono i passeggeri per quanto riguarda la cabin e l'elettronica di bordo (oltre ai piloto) nel caso del cockpit.

## Capitolo 2

# Descrizione del Sistema in prova

La conoscenza dettagliata del sistema oggetto di test è un aspetto fondamentale della progettazione di un banco prova. In questa sezione verrà descritto il funzionamento dell'impianto di condizionamento, inizialmente dal punto di vista della "DTCU", Digital Temperature Control Unit, cioè l'unità di controllo dell'intero impianto, quindi si entrerà più nello specifico, analizzando uno dei principali sottosistemi: il circuito del liquido refrigerante.

Un altro sottosistema integrato all'interno del banco è quello dell'air-bleed, cioè l'aria pressurizzata ad alta temperatura. Sull'elicottero si tratta dell'aria direttamente proveniente dal motore, mentre per simularla in Microtecnica viene utilizzato un serbatoio di aria a 40 bar, opportunamente scaldata e portata alla pressione corretta. La sua funzione è quella di cedere calore alla cabin o al cockpit per portarli alla temperatura desiderata.

Infine il circuito dell'aria dell'abitacolo: sull'elicottero è controllato dai ventilatori (a loro volta comandati dalla DTCU) ed è indirizzato negli scambiatori con l'aria "Bleed" e in quelli del liquido refrigerante, cioè gli evaporatori.

### 2.1 Interfaccia della DTCU con il sistema

Il microcontrollore chiamato DTCU è uno delle componenti per cui è stato costruito il banco prova descritto in questo documento.

L'interfaccia con il sistema descritta riguarda quella dell'elicottero S92, che è comunque simile a quella del NH90, a parte la presenza del comando delle HMV e l'assenza del pannello per il controllo remoto, si può suddividere in 2 parti funzionalmente e spazialmente separate:

- Comandi dal cruscotto dell'elicottero
- Impianto di condizionamento



## 2.2 Circuito Liquido Refrigerante

Cardine del sistema VCS è il circuito del liquido refrigerante, il Freon. Innanzitutto la pressione del freon viene incrementata dal compressore, il gas caldo e in pressione attraversa il condensatore, dove cede calore all'ambiente esterno con l'ausilio di un ventilatore. Quindi, sotto forma di gas misto a liquido, attraversa un riduttore di pressione. Entra nel cosiddetto Flash tank, cioè un serbatoio che ha la funzione di separare il gas dal liquido. Mentre il primo torna al compressore dalla linea dell'economizzatore, il liquido attraversa il Bench subcooler, cioè un condotto dove avviene scambio termico tra il fluido caldo (che diventa perciò completamente liquido e diminuisce ulteriormente l'entalpia) e il fluido freddo in uscita dall'evaporatore, dove l'entalpia aumenterà. Infine la valvola di espansione (TEV, o valvola di laminazione) riporta il liquido alla pressione minima e gli permette l'ingresso nell'evaporatore, dove il liquido freddo "acquisirà" parte del calore della cabina o del cockpit dell'elicottero. In figura 2.2 si può notare il ciclo frigorifero.

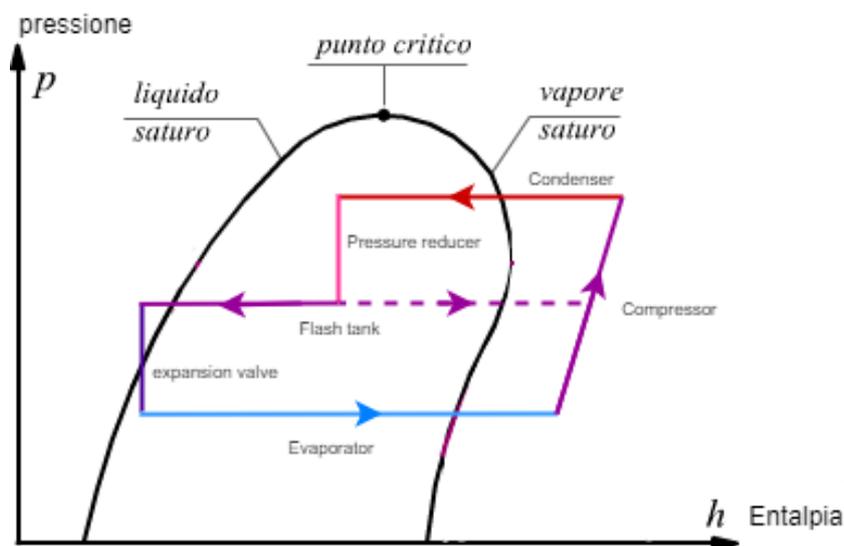


Figura 2.2. Ciclo Frigorifero

In Figura 2.3 e 2.4 sono invece descritti i circuiti del liquido refrigerante e i sensori montati per il monitoraggio e controllo da parte della DTCU, rispettivamente dei sistemi di condizionamento dell' NH90 e S92. Si può notare la somiglianza fra i due sistemi; la principale differenza è infatti la disposizione dei compressori: per quanto riguarda l'NH90 i circuiti per cockpit e cabin sono indipendenti, quindi i compressori sono separati e attuati

tramite due frizioni elettromagnetiche indipendenti (si tratta di compressori trascinati). Nel caso dell'S92 invece i compressori sono posti in "parallelo" e i circuiti per il raffreddamento di cabina e cockpit si suddividono solo successivamente alla compressione del liquido refrigerante. Anche tali compressori sono attuati separatamente, ma dal sistema di alimentazione a 200V, 400Hz e non direttamente dal rotore principale dell'elicottero, come avviene per il modello NH90.

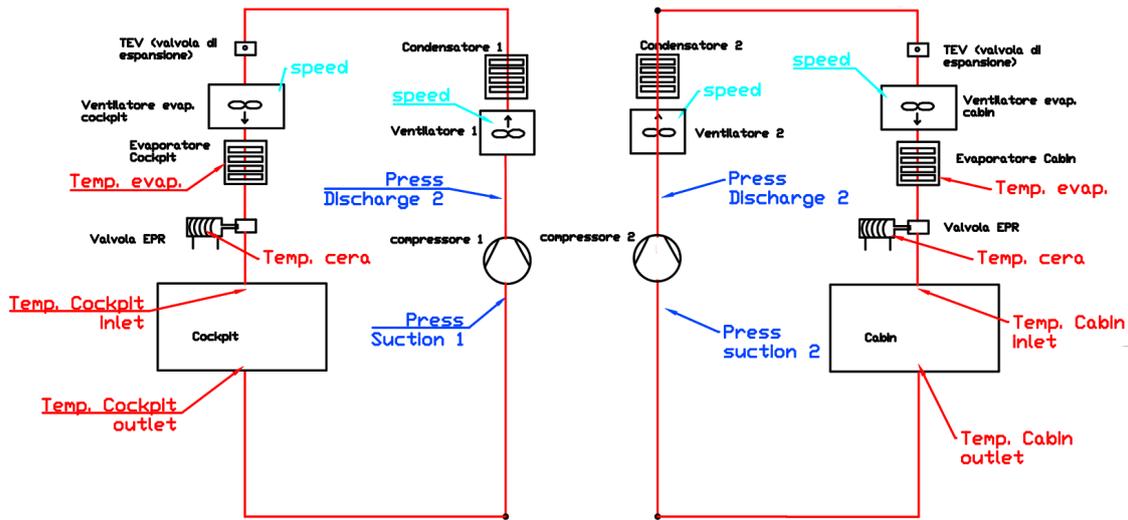


Figura 2.3. Circuito liquido refrigerante NH90

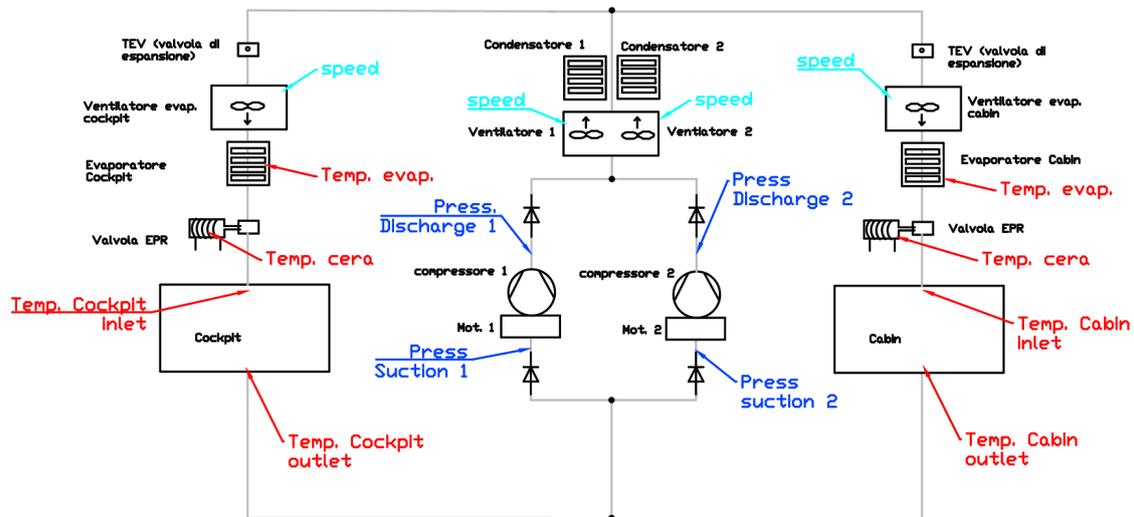


Figura 2.4. Circuito liquido refrigerante S92

## 2.3 Valvole nel sistema

Nel sistema di condizionamento sono presenti alcune valvole a farfalla utilizzate per regolare il flusso del fluido. Si possono suddividere in 4 principali categorie:

- **FAIV**, Fresh Air Intake Valve
- **EPR**, Evaporator Pressure Regulator
- **HMV**, Heating Modulation Valve
- **SOV**, Shut Off Valve

Le valvole FAIV, Fresh Air Intake Valve, si occupano di regolare il flusso d'aria proveniente dall'esterno dell'abitacolo. Il loro funzionamento è attuato da un motore elettrico DC. In base alla polarità della tensione applicata il motore ruoterà nel verso corrispondente, aprendo o chiudendo la valvola. Oltre a valvola completamente aperta e completamente chiusa, è definita una terza posizione di equilibrio, che corrisponde a circa i  $\frac{3}{4}$  dell'apertura completa. Per determinare tale posizione è presente un interruttore interno all'elettronica di controllo della valvola, che comunica alla DTCU tale stato di "posizione intermedia".

La valvola EPR, Evaporator Pressure Regulator, hanno il compito di regolare la pressione del liquido refrigerante in ingresso all'evaporatore. Il principio di funzionamento è basato sulla proprietà di dilatazione termica della cera contenuta all'interno di un volume. La temperatura è controllata dalla DTCU tramite un sensore di temperatura di tipo NTC e il comando è attuato da una resistenza che avvolge il contenitore della cera. La dilatazione della cera causa la movimentazione di un pistone, il quale ostruisce il condotto del liquido refrigerante, regolandone la pressione.

Le valvole HMV, Heating Modulation Valve, sono esclusivamente presenti nel modello NH90; hanno la funzione di controllare il flusso di aria calda proveniente dai condotti dell'air bleed, in modo indipendente verso il cockpit e la cabin. Sono attuate da un motore elettrico DC, alimentato a 28V. Il rotore del motore è collegato a una valvola a farfalla, il cui asse di rotazione non è posizionato perpendicolarmente rispetto alla normale al condotto dell'aria, ma è inclinato di alcuni gradi. La precisa angolazione minimizza l'attrito tra farfalla e condotto e riduce il rischio di blocco del movimento. La modulazione è ottenuta dall'apertura/chiusura completa della valvola, non possiede infatti posizioni intermedie stabili per una modulazione continua del fluido. Il circuito elettrico di comando delle HMV, costruito nel banco sistema è illustrato in figura 3.6

La valvola SOV, Shut Off Valve, è posizionata a monte delle due valvole HMV e ha la funzione di interrompere il passaggio dell'aria calda (air bleed) verso i circuiti di cabin e cockpit. Anche tale valvola è presente esclusivamente nell'elicottero NH90.



## Capitolo 3

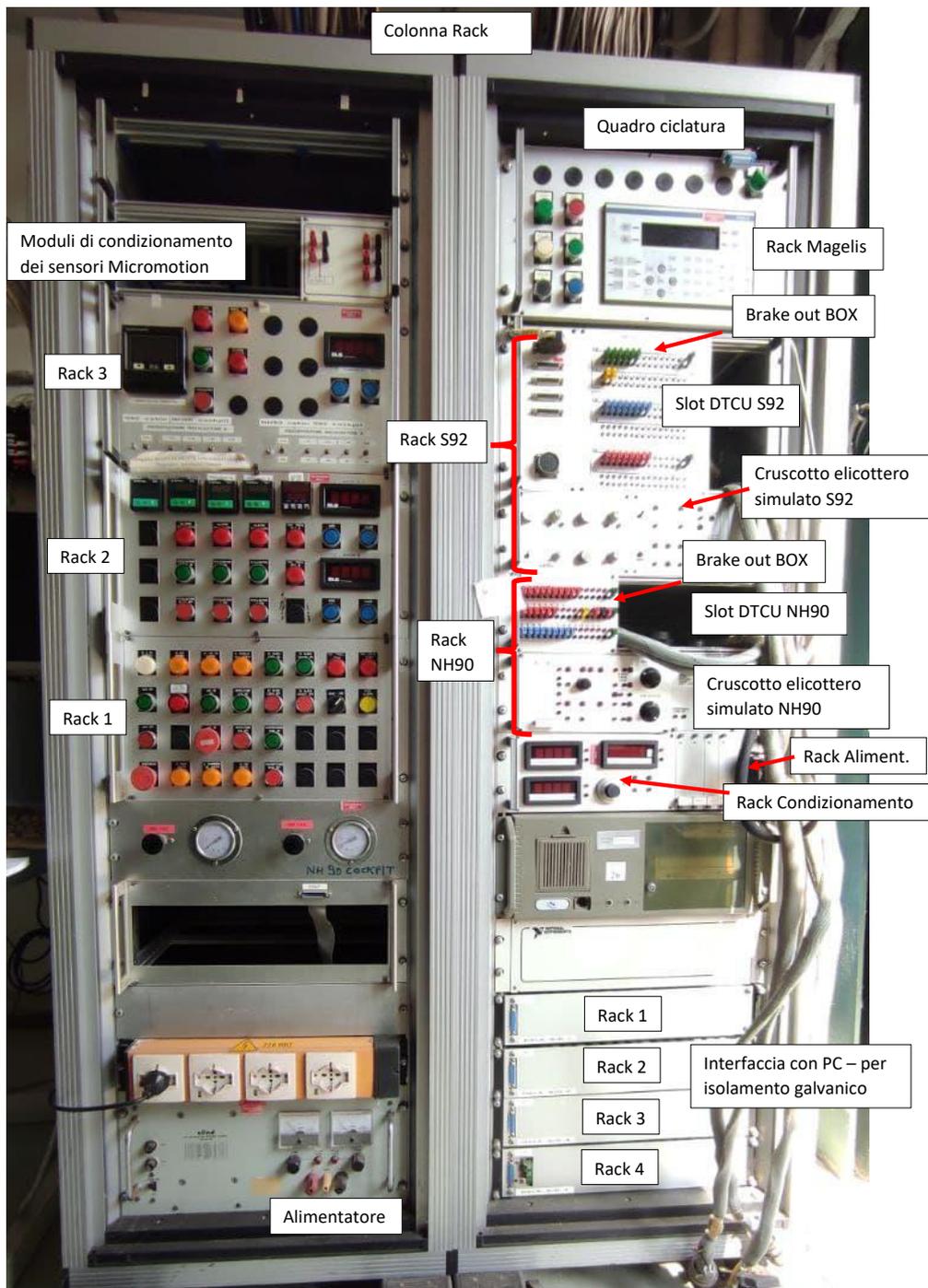
# Analisi del Rack di Banco

La struttura esterna del rack è quasi totalmente rappresentata dalla foto nella pagina successiva, le uniche parti escluse sono il rack di smistamento (nel quale si interfacciano il Rack principale con il banco) e quello contenente il PLC per la ciclatura; tali sezioni non vengono prese in considerazione nella tesi.

Le parti principali del rack sono le seguenti:

- [Micromotion](#)
- [Rack 1, 2, 3](#)
- [Alimentatore 1](#)
- [Quadro ciclatura \(Rack Magelis\)](#)
- [Rack S92 e Rack NH90](#)
- [Rack alimentatore 2 e condizionamento Vapour cycle](#)
- [PC industriale con moduli A/D](#)
- [Rack per il condizionamento dei segnali](#)

in questo documento e più in generale nei mesi trascorsi in azienda, sono analizzati in maniera superficiale le sezioni di Micromotion, degli alimentatori, dei quadri per la ciclatura e del Computer industriale con i rispettivi moduli di acquisizione A/D, mentre saranno dedicate apposite sezioni alle altre parti del rack.



### 3.1 Rack 1,2,3

I rack chiamati 1, 2 e 3 rappresentano l'interfaccia con l'operatore del banco per quanto riguarda gli allarmi (di pressione e temperatura), la possibilità di inserire/disinserire i riscaldatori, comandare le valvole e attivare le alimentazioni di potenza.

Entrando nel dettaglio delle funzioni del Rack 1, si notano i segnalatori luminosi per l'iserimento dell'alimentazione 24V DC e alcuni pulsanti luminosi per il controllo di diversi relè ausiliari, Per esempio vi è l'interfaccia per la gestione dei ventilatori di banco. Ci sono inoltre l'interruttore per la selezione del tipo di elicottero in prova, il reset degli allarmi e i segnalatori di allarme pressione( minima e massima) Viene riportato in figura 3.1 come esempio il circuito per la gestione di questi ultimi.

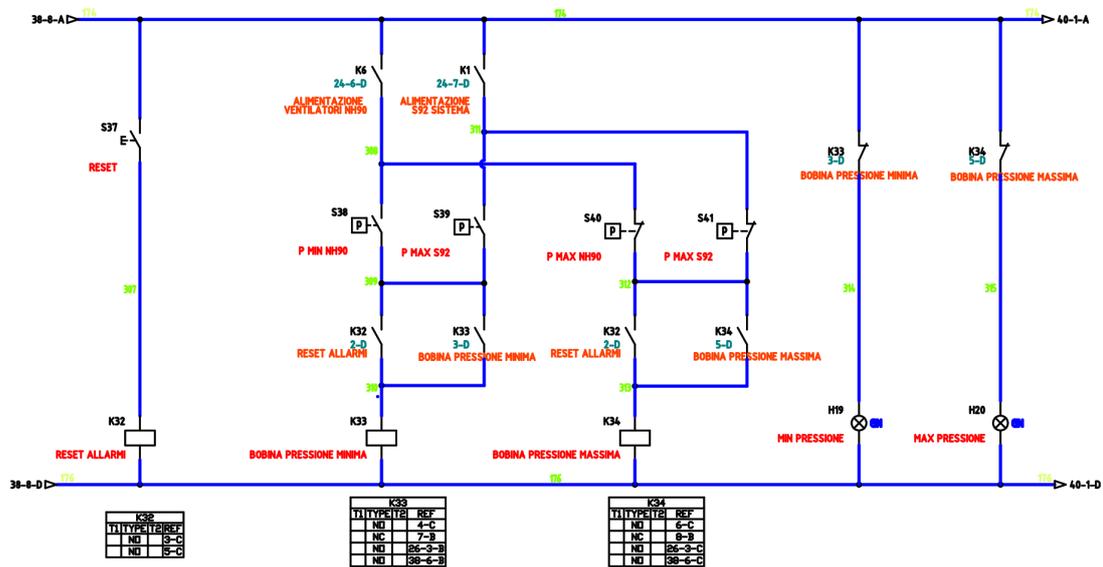


Figura 3.1. Allarmi Pressione

Si nota che l'allarme di pressione minima entra in funzione nel momento in cui il target di minima pressione non è raggiunto; è segnalato da un pressostato che, in condizioni normali, mantiene il circuito chiuso (e quindi l'alimentazione al relè corrispondente alla disattivazione dell'allarme) al raggiungimento di tale target. Funzionamento inverso per la segnalazione della pressione massima: il circuito di alimentazione della bobina per la disattivazione dell'allarme di massimo si apre quando si rileva il valore di pressione critica.

Una sezione che cattura particolarmente l'attenzione è l'interfaccia con l'operatore dell'abilitazione dei "400Hz"; si tratta della parte di alimentazione dei componenti di potenza del sistema. Infatti sugli elicotteri si utilizza la tensione alternata a 400Hz, 200V. Il motivo dell'utilizzo di una frequenza maggiore rispetto agli standard "a terra" AC a 50 o 60 Hz è dovuto alle diverse esigenze su aerei, navi, sottomarini e veicoli spaziali e alle diverse proprietà che l'alta frequenza induce; la qualità principale è la riduzione di peso dei motori

elettrici, fondamentale in questo tipo di applicazioni.

Il Rack 2 riguarda il controllo di temperatura dei volumi del banco e la gestione di 2 valvole. Queste presentano i comandi per l'apertura e la chiusura, oltre a 2 display della percentuale di apertura delle stesse. La scheda di interfaccia con i display acquisisce il valore analogico proveniente da 2 potenziometri montati direttamente sulla valvola.

La sezione di sinistra del rack presenta 4 controllori automatici di temperatura. Mentre il primo è solamente utilizzato per segnalare l'allarme di temperatura, gli altri gestiscono in modo automatico l'energia termica all'interno dei componenti riscaldati del banco, quali il circuito dell'aria "bleed" e i volumi "A" e "B". Uno degli obiettivi della tesi è l'eliminazione dei controllori "A" e "B", rendendo più snella l'interfaccia.

Nello schema 3.2 è rappresentato il comando di potenza sulle resistenze dei riscaldatori, con le modifiche introdotte dal candidato. Mentre la parte del riscaldatore Bleed rimane invariata, e non viene trattata nell'analisi dei sistemi di controllo, i rimanenti riscaldatori presentano 3 resistenze in configurazione a stella, le quali a massimo regime sviluppano 15 kW di potenza termica. I regolatori di potenza che si potranno utilizzare saranno dei contattori appositi, con funzione automatica di "zero crossing" e altre caratteristiche che garantiscano sicurezza ed efficienza.

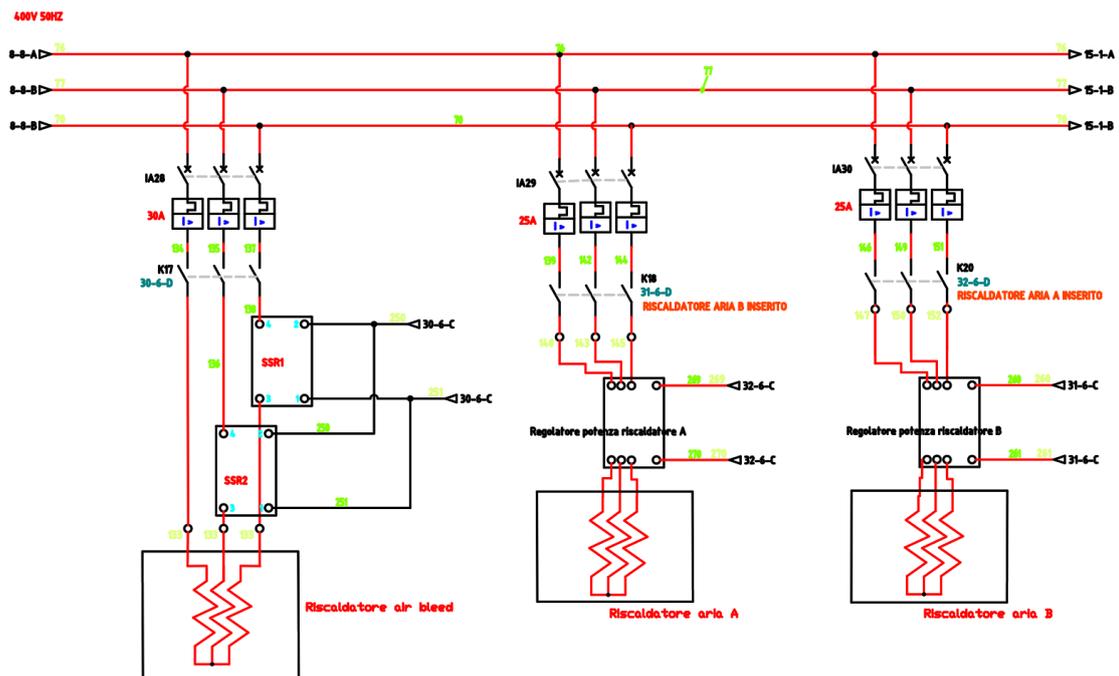


Figura 3.2. Schema elettrico Riscaldatori

Invece in Figura 3.3 vi è lo schema di montaggio dei controllori automatici di temperatura, già presente sul vecchio banco in formato cartaceo, portato in formato digitale dal candidato (insieme a tutti gli altri schemi della parte elettromeccanica) con l'ausilio del software Autocad Electrical. Presenta una tripla ridondanza per quanto riguarda la disattivazione d'emergenza: tramite termostato di sicurezza, tramite logica interna del controllore automatico e attraverso lo spegnimento manuale di banco.

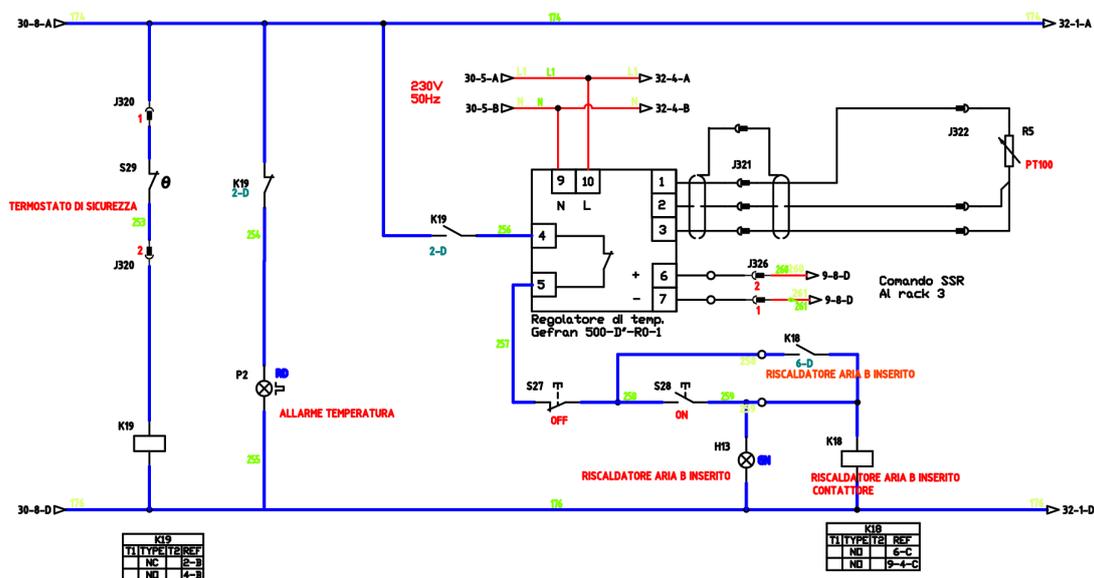


Figura 3.3. Schema elettrico comando contattore Riscaldatore B

Infine il rack 3: possiede, oltre all'interfaccia per il controllo di un'altra valvola di banco, gli strumenti per la regolazione della temperatura dell'aria nei condensatori e gli interruttori per la selezione della potenza riscaldante dei volumi A e B. Anche quest'ultima potrà essere snellita e migliorata attraverso l'introduzione di 2 soli potenziometri per la regolazione in un dominio continuo della potenza. Un'altra possibile modifica sostanziale delle parti del rack analizzate in questa sezione sarà probabilmente la sostituzione della maggior parte dei pulsanti fisici con la loro rappresentazione in formato software e visualizzati su un touch screen digitale.

### 3.2 Struttura generale Rack S92 e NH90

I rack predisposti per il collaudo del sistema di condizionamento dei due elicotteri sono composti da tre sezioni: uno slot per posizionare la DTCU dell'elicottero, collegata alle componenti montate nel banco per mezzo di connettori SRC, una parte che simula il cruscotto in cabina del velivolo e la Break-out box.

Quest'ultima permette l'interruzione di alcuni segnali per simulare il comportamento della DTCU in caso di guasti dei sensori o rotture di collegamenti. Inoltre la Break-out Box è un'utile interfaccia per controllare manualmente il comportamento della DTCU.

Il rack DTCU S92 in figura 3.4, che è simile a quello del NH90, si interfaccia con il banco grazie a una morsettiera, dove arrivano i segnali dei sensori e i comandi per i componenti del sistema.

La Break-out Box è anche connessa ad alcuni monitor per la visualizzazione dello stato del sistema.

Successivamente un interruttore permette la selezione di uno dei 2 modi di funzionamento: DTCU o Manuale. Si tratta rispettivamente della possibilità di controllare i componenti del sistema in prova in modo "automatico", cioè come avverrebbe sull'elicottero, utilizzando la DTCU di sistema o in modo manuale, per mezzo di una DTCU simulata all'interno del rack, chiamata DTCU a relè. Nel caso di controllo per mezzo della DTCU a relè, anche le EPR<sup>1</sup> esterne vengono simulate.

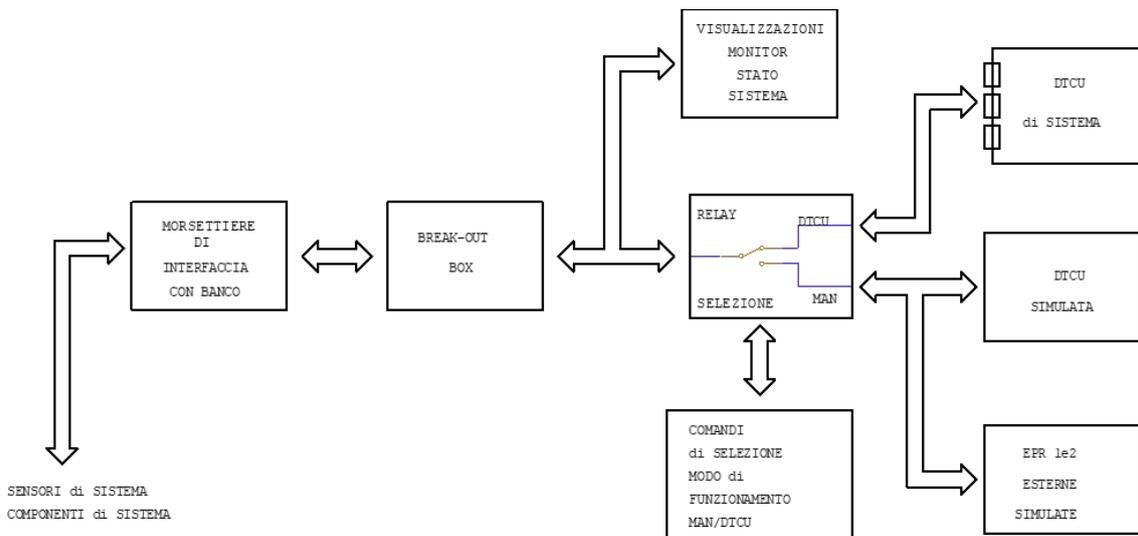


Figura 3.4. Schema a blocchi Rack DTCU S92

<sup>1</sup>Evaporator Pressure Regulating valves, valvole per regolazione della pressione (e di conseguenza la portata) del liquido refrigerante nell'evaporatore

### 3.3 DTCU simulata

Al fine di simulare il comportamento del componente di volo Digital Control Temperature Unit, nella parte posteriore ai pannelli che si vedono in figura 3 sono presenti varie basette millefori con circuiti elettronici saldati a mano. Alcune contengono i relè a stato solido necessari alla selezione della modalità (DTCU di sistema o simulata) e altre elementi per l'interfaccia tra le componenti del sistema e il pannello rack. La funzione di tale interfaccia è di permettere ai collaudatori di inviare gli stessi comandi che potrebbe mandare il pilota alla DTCU di sistema (o a quella simulata). I predetti schemi elettronici sono stati capiti e studiati dal candidato, per poter intervenire in modo mirato in previsione di un possibile guasto o nella necessità di una calibrazione. Alcuni degli schemi sono riportati nei prossimi paragrafi.

#### 3.3.1 Regolazione temperatura Cabin/Cockpit

Per regolare le temperature presenti in cabina e nel cockpit il pilota utilizza 2 manopole per potenziometri. Il valore in uscita, oltre ad entrare come ingresso nella DTCU, deve essere amplificato e il circuito del potenziometro deve essere disaccoppiato dall'uscita. per ottenere tali risultati si utilizza un amplificatore da strumentazione. Il componente utilizzato è INA114 e la sua struttura interna è descritta in figura 3.5.

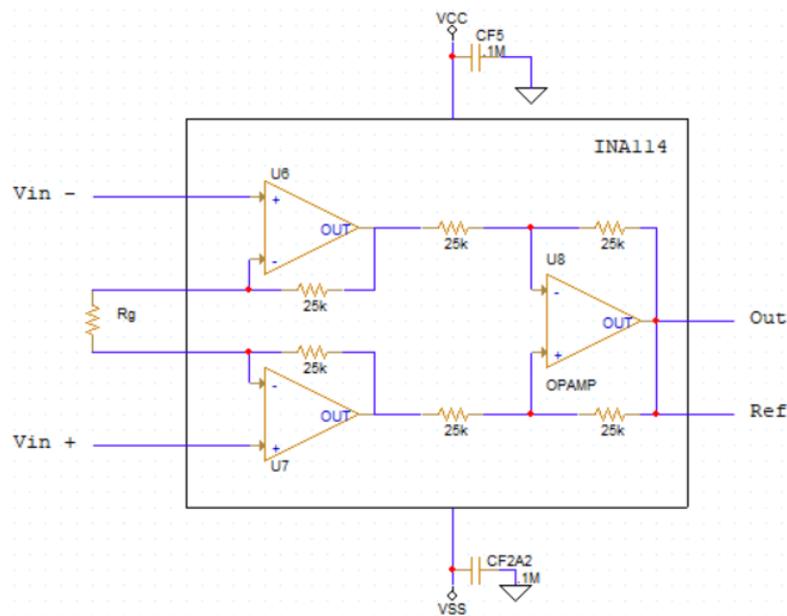


Figura 3.5. Amplificatore da strumentazione INA114

La funzione di trasferimento dell'amplificatore, utilizzando la resistenza  $R_g = 49k\Omega$  è:

$$\frac{V_u}{V_{in}} = 1 + \frac{2 \cdot 25k\Omega}{R_g} \approx 1$$

### 3.3.2 Comando valvole HMV

Una delle funzioni del rack "DTCU a Relè" dell'NH90 è il comando manuale delle valvole HMV. Utilizzando 2 interruttori posizionati sul rack si seleziona l'azione di apertura o chiusura delle 2 valvole di Cabin e cockpit. In figura 3.6 si nota che per chiudere la valvola si fornisce un tensione positiva al motore elettrico. Il motore sarà eccitato finchè il finecorsa di chiusura non modificherà la tensione del motore da +28V a 0V, evitando eccessivo sforzo del motore e facendo accendere il led "CLOSED" sul rack del banco.

Comportamento speculare avviene per la fase di apertura della valvola. In questo caso la tensione fornita al motore è negativa finchè il finecorsa di apertura non interrompe il passaggio di corrente dal motore e causa l'accensione del led "OPENED" sul rack del banco.

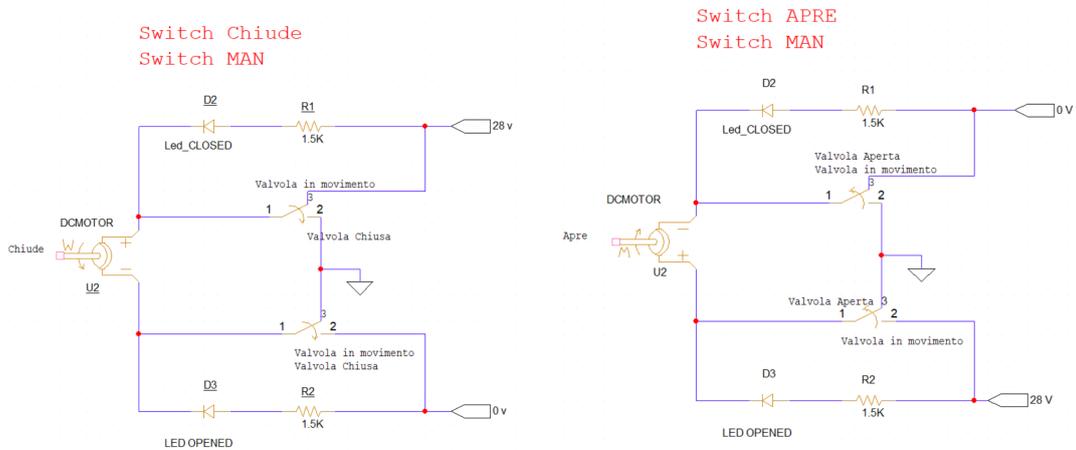


Figura 3.6. Apertura e chiusura valvole HMV

### 3.4 Sistema di misura circuito dell'aria

Il circuito di banco principalmente preso in considerazione all'interno della tesi è quello dell'aria.

Nel banco i volumi della cabin e del cockpit dell'elicottero sono simulati utilizzando volumi con caratteristiche termiche simili a quelle che si ritrovano sull'aeromobile. Il flusso d'aria che entra nel volume simulato è modulato da una valvola a farfalla, attraversa i riscaldatori e viene umidificato con l'inserimento della corretta quantità di vapore. In uscita dal volume attraversa l'evaporatore, dove cede calore al liquido refrigerante. In questa fase i sensori acquisiscono alcuni parametri dell'aria come la pressione e la temperatura, (oltre alla velocità di rotazione del ventilatore). In Figura 3.7 sono indicati i sensori di banco presenti sul circuito dell'aria nella cabin del S92, utili per il controllo dei parametri dell'aria. I circuiti dell'aria sia per l'S92 che per l'NH90, che simulano cabin e cockpit, hanno struttura simile.

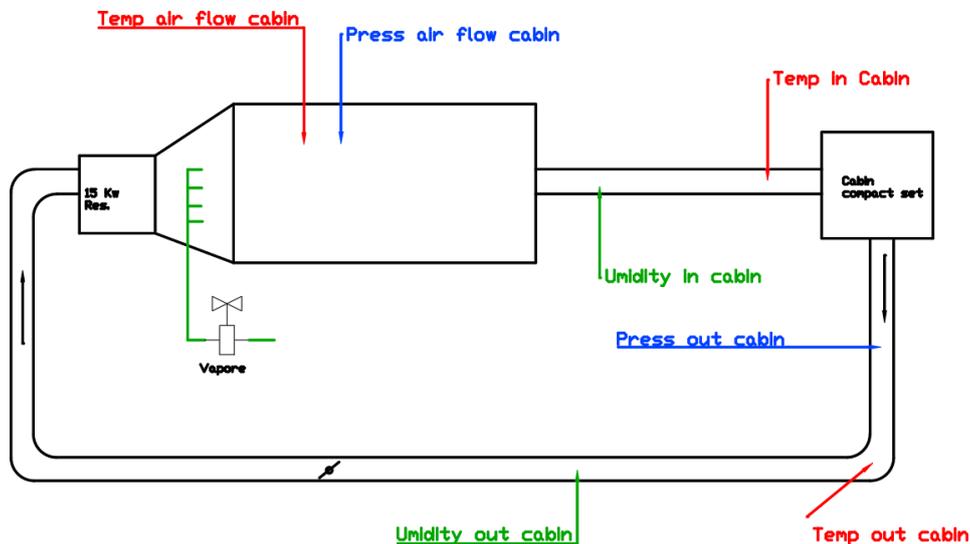


Figura 3.7. Circuito dell'aria simulato, Cabin

## 3.5 Condizionamento dei segnali

La maggior parte dei segnali provenienti dai sensori del banco devono essere condizionati per poter sfruttare l'intera dinamica disponibile sul convertitore ADC e il PC deve essere isolato galvanicamente dal banco. La soluzione adottata è l'utilizzo dei moduli 5B della National Instruments. I rack 1,2,3,4 di condizionamento presentano al loro interno delle batterie composte da 16 moduli 5B, ognuno adibito al condizionamento di un particolare tipo di segnale. I modelli usati nel banco sono

- 5B34-01  
Per la misura di temperatura da una pt100 nel range  $[-100, +100]$  °C
- 5B34-02  
Per la misura di temperatura da una pt100 nel range  $[0, +100]$  °C
- 5B34-03  
Per la misura di temperatura da una pt100 nel range  $[0, +200]$  °C
- 5B34-04  
Per la misura di temperatura da una pt100 nel range  $[0, +600]$  gradi
- 5B31-02  
Per la misura di tensione nel range  $[-5, +5]$ V
- 5B32-01  
Per la misura di corrente nel range  $[-4, +20]$ mA
- 5B45-02  
Per la misura di frequenza inferiore a 1kHz

Lo schema elettrico del modulo 5B34 per la misura della temperatura è rappresentato in 3.8.

Il modulo di condizionamento rappresentato dal diagramma a blocchi funzionale presenta un generatore di corrente che eccita la termoresistenza ed un'altro identico che genera una corrente attraverso un'altra resistenza trimmerata a laser (Rz). Questa ha lo stesso valore della RTD<sup>2</sup> quando l'uscita dal modulo 5B è zero. Quindi, siccome sia le correnti che attraversano le due resistenze sono uguali, nel caso in cui la Pt100 assume il valore minimo rappresentabile dal modulo di condizionamento, l'amplificatore differenziale misurerà una tensione nulla. Completano la descrizione funzionale dell'acquisizione dei segnali dal sensore le protezioni da sovratensioni fino a 240Vrms e opportuni filtri sull'ingresso. L'uscita presenta un interruttore che permette la possibilità di disabilitare la lettura. I trasformatori dei circuiti di input e output sono comandati dall'uscita prodotta da un oscillatore, alimentato con la tensione continua d'ingresso. Il modulo presenta tre porte fluttuanti: l'ingresso, l'uscita e l'alimentazione, per evitare problemi di anelli di massa e rumori generati dall'alimentatore

---

<sup>2</sup>Resistance Temperature Detector, cioè la termoresistenza

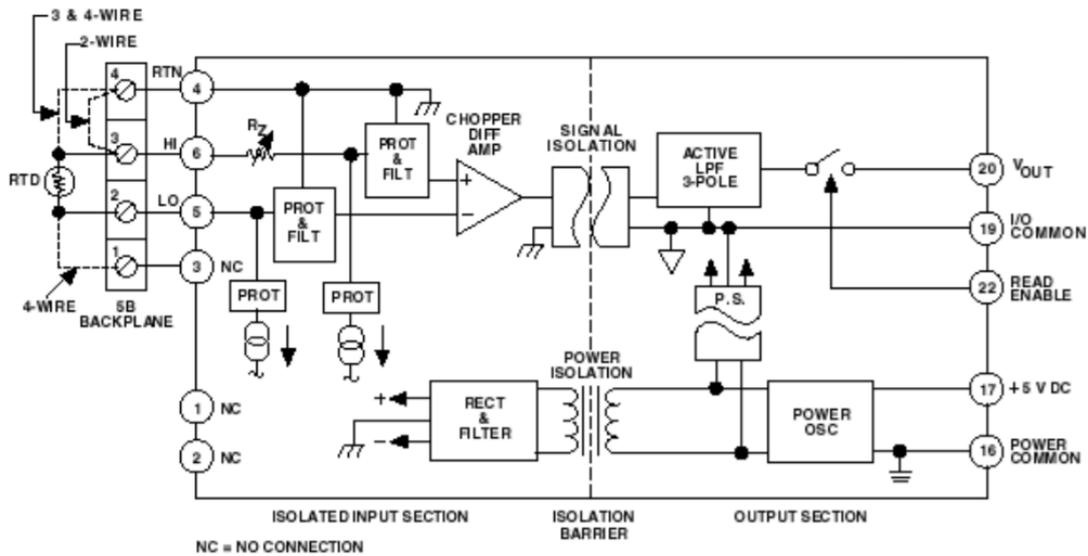


Figura 3.8. National Instruments, schema proveniente dal datasheet del modulo 5B per Pt-100

Il sistema di misura utilizzato per le resistenze pt100 è il cosiddetto "sistema di misura a 4 fili". Permette una maggiore precisione della misurazione, in quanto la corrente costante "di prova" che percorre la pt100 non percorre gli stessi fili utilizzati per la misurazione della caduta di tensione sulla termoresistenza. Questi ultimi infatti sono percorsi da una quantità minima di corrente (essendo l'impedenza alta per effettuare la misura di tensione) e quindi la resistenza parassita dei 2 fili di misura risulta poco influente sulla misura di temperatura.

Per quanto riguarda invece la misura di pressioni, si utilizza un trasduttore che genera una corrente nel range industriale 4-20 mA, proporzionale alla pressione misurata. Tale tipo di segnale è meno soggetto a disturbi e interferenze di un segnale in tensione; non si ha infatti la necessità di utilizzare cavi schermati, anche per la distanza di qualche decina di metri, che separa il banco dal rack.

### 3.6 Catene di misura del banco

La maggior parte dei banchi della microtecnica hanno struttura simile, i componenti sono in molte occasioni intercambiabili da un banco all'altro. Il vantaggio di tale soluzione è la riduzione dei costi e la possibilità di riutilizzare componenti nel caso alcuni banchi vengano dismessi o modificati. In riferimento soprattutto al banco trattato in questo documento, si rappresentano alcune tipiche catene di misura.

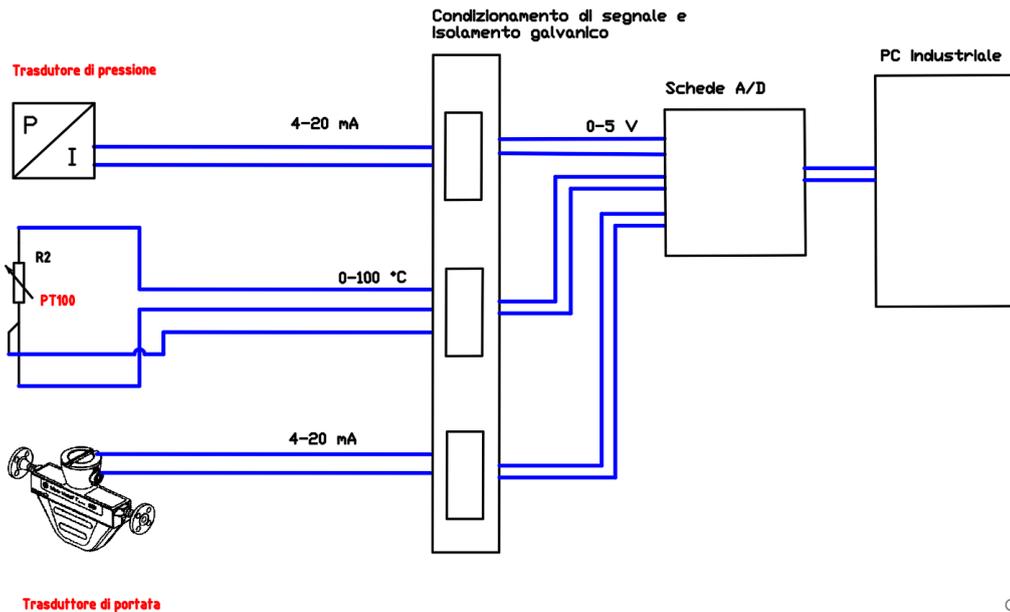


Figura 3.9. Struttura della catena di misura del banco

I trasduttori hanno funzione di elaborare un segnale di ingresso, trasformandolo in un segnale di uscita con caratteristiche diverse. Nel caso in cui il trasduttore sia in diretto contatto con il sistema da misurare e il segnale di ingresso sia la stessa grandezza fisica da misurare, l'oggetto in questione è chiamato sensore.

#### 3.6.1 Accorgimenti per le misure

Siccome sul banco le distanze percorse dai cavi di collegamento tra sensore e rack sono sull'ordine delle decine di metri, si utilizza principalmente un segnale in corrente (tipicamente nel range industriale 4-20 mA), il quale è maggiormente esente dai disturbi. L'uscita dei moduli di condizionamento 5B della National Instruments, normalizzata su 0-5 V, sarà quindi trasformata in un segnale digitale dalle schede di acquisizione A/D e verrà trasmessa al computer industriale per l'elaborazione.

All'interno di un banco prova complesso come quello del VCS NH90/S92 è fondamentale applicare alcuni accorgimenti per evitare la presenza di eccessivo rumore nelle misure e i

segnali di norma devono essere opportunamente condizionati.

E' indispensabile evitare la creazione di anelli di massa che possano raccogliere i disturbi influenzando negativamente le misurazioni. Infatti è buona norma effettuare i collegamenti tra le masse di vari componenti in prova e del banco in punti precisi e definiti in fase di progetto.

Inoltre è necessario suddividere i canali di trasmissione di potenza e di segnale; nonostante nel banco prova di cui mi sono occupato non si trattino segnali ad alte frequenze, in quanto le variabili misurate (temperatura, pressione, umidità, portata) non necessitano misurazioni a frequenze maggiori di alcune decine di Hz, le canaline per i cavi di potenza sono separate e schermate da quelle per il segnale. Inoltre a livello di acquisizione sono utilizzati filtri passabasso per scongiurare problematiche relative a disturbi ad alta frequenza.



Parte II  
Seconda Parte



## Capitolo 4

# Controllo Riscaldatori con controllore Automatico

### 4.1 Obiettivi

I riscaldatori dei volumi simulati di cabin, cockpit e dell' air bleed sono una parte del banco prova del sistema di condizionamento dell'aria degli elicotteri S92 e NH90 necessariamente da sostituire, in quanto le resistenze riscaldanti sono rovinate dalla ruggine. Congiuntamente a tale modifica è stata avanzata un'ipotesi di snellimento dell'interfaccia del rack dei riscaldatori, dei cablaggi e di aumento dell'automazione, introducendo un nuovo sistema di controllo della potenza termica tramite un PLC. Il nuovo controllo, a differenza del vecchio sistema che aveva 4 interruttori per selezionare il gruppo di resistenze corrispondente alla potenza desiderata, permette la modulazione della stessa tramite un comando PWM, il cui segnale di controllo proviene da un potenziometro. Oltre alla possibilità di impostare la potenza termica sviluppata dai riscaldatori in modo manuale, è stato mantenuto un controllore di temperatura automatico di tipo "Gefran 100"; tale controllore agisce in ogni caso sulla massima potenza termica disponibile (selezionata manualmente) e l'azione di controllo del Gefran può essere disattivata tramite un interruttore.

## 4.2 Implementazione del programma su PLC

Il controllo della potenza termica è stato implementato in linguaggio Ladder sul PLC già esistente sul vecchio banco, il modello TSX Premium della Schneider. La configurazione del PLC è rappresentata in figura 4.1.

Il PLC è composto in ordine da un'alimentatore, un modulo contenente la CPU e le memorie, un modulo di Input Digitale, uno di Output Digitale e un modulo di Input Analogico.

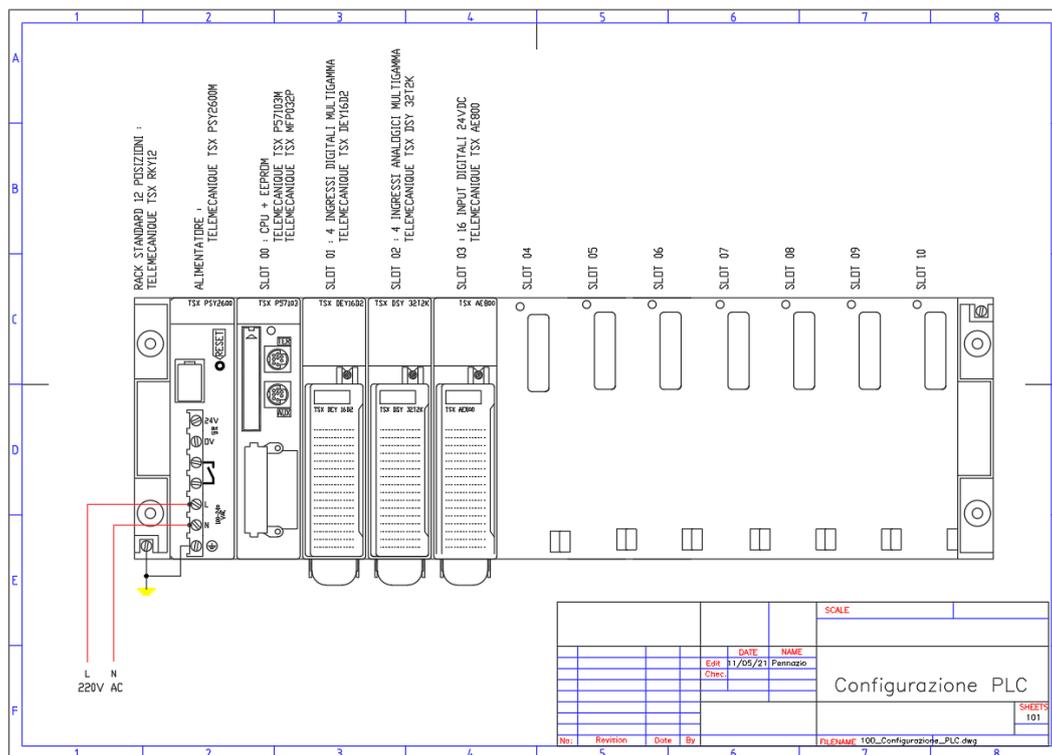


Figura 4.1. Configurazione PLC

I successivi 3 schemi rappresentano nello specifico l'utilizzo dei moduli di Input/Output e i loro collegamenti con le diverse parti del banco.

Gli ingressi digitali in figura 4.2 sono interruttori, contatti e pulsanti. L'interruttore "Automatico" permette la selezione della modalità, escludendo la modulazione da parte del contatto "Gefran". I pulsanti "Allarme temperatura", "Riscaldatore ON" e "Riscaldatore OFF" erano già presenti nel banco e il loro comportamento era gestito direttamente da un hardware "ad hoc".

Tali ingressi digitali sono duplicati per avere due riscaldatori indipendenti, che agiscono sui due volumi indipendenti che simulano il cockpit e la cabin.

In figura 4.3 è rappresentata la configurazione del modulo di output digitale "TSX DSY32T2K". In questo caso ogni uscita utilizzata comanda un relè che agisce sulle parti di potenza oppure comanda direttamente le luci dei pulsanti presenti sul rack.

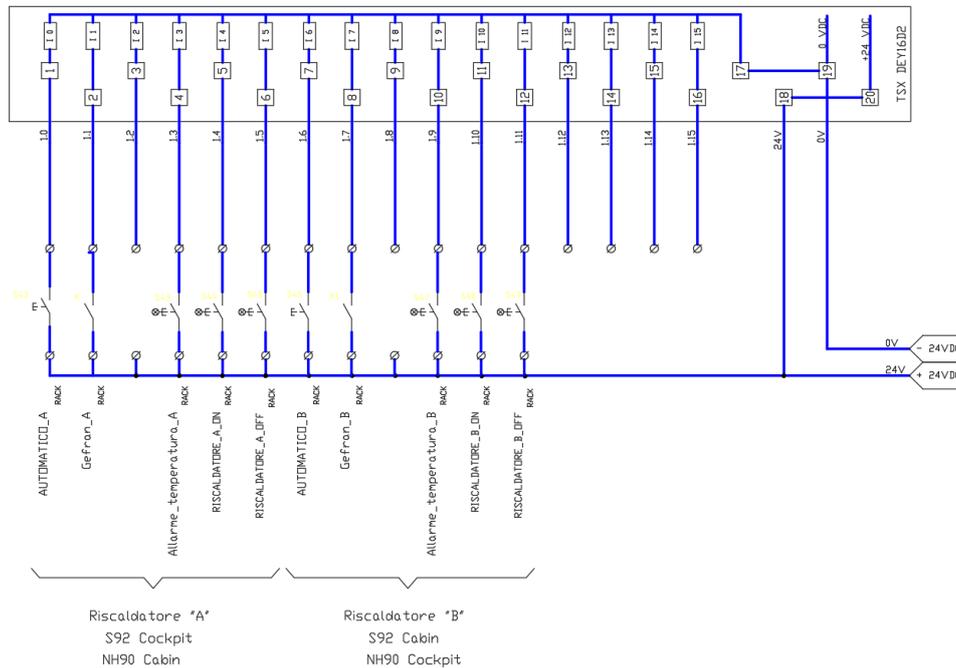


Figura 4.2. Ingressi digitali PLC

In particolare il programma sul PLC gestisce l'accensione dell'indicatore luminoso che segnala la modalità di funzionamento automatico, il riscaldatore in funzione e l'eventuale allarme di temperatura. Infine le uscite Q2.4 e Q2.11 corrispondono ai segnali di ingresso del relè di potenza che gestirà direttamente la corrente nei riscaldatori.

Per quanto riguarda gli ingressi analogici (figura 4.4), corrispondono ai segnali provenienti da due potenziometri con range di tensione 0-10000 mV, utili per definire la percentuale di potenza massima da utilizzare nei riscaldatori. Anche in questo modulo del PLC, come nei precedenti, ogni ingresso/uscita è duplicato, per rendere indipendenti i 2 riscaldatori "A" e "B".

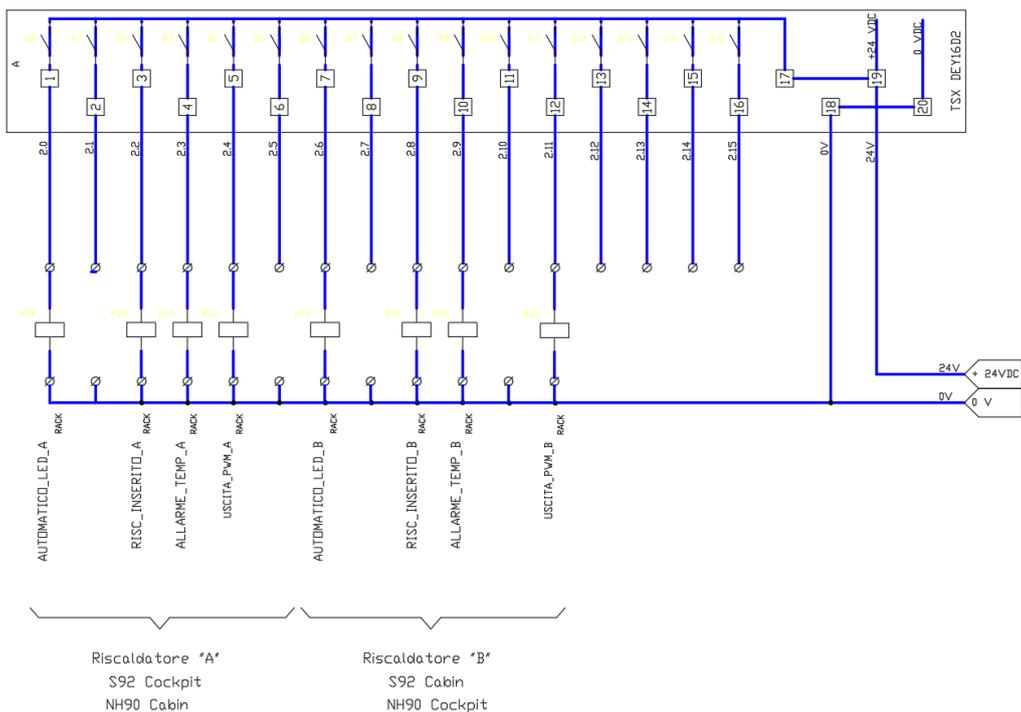


Figura 4.3. Uscite digitali PLC

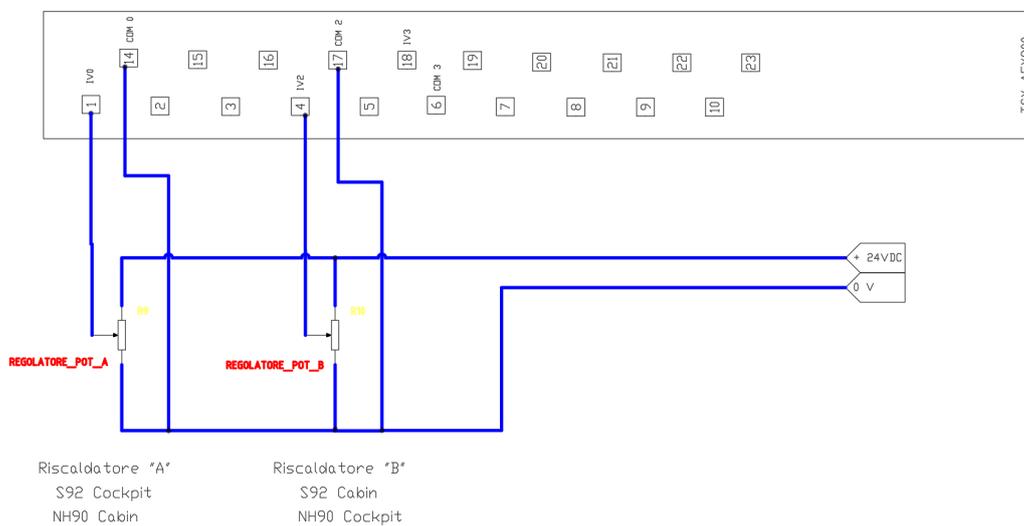


Figura 4.4. Ingressi analogici PLC

### 4.3 Validazione e test

Per verificare il funzionamento del sistema di controllo di temperatura completo si è ricostruito in laboratorio il rack, simulando l'uscita del controllore Gefran con un interruttore. Innanzitutto è stato verificato che l'uscita PWM abbia un Duty cycle proporzionale al valore di ingresso dei potenziometri. Si può notare dalla figura 4.5 che quando il potenziometro è in corrispondenza della potenza di 7.5kW, cioè la metà della potenza massima utilizzabile di 15kW, il duty cycle del comando in uscita è del 50%, mentre si ha un duty cycle dell'80% quando viene ruotato il potenziometro sul valore di 12kW. Infiniti valori di potenza intermedi sono selezionabili e l'accuratezza sulla corrente fornita alle resistenze dei riscaldatori è data principalmente dalla corretta regolazione del valore di uscita dal potenziometro e dal tempo di risposta del relè allo stato solido comandato dall'uscita del PLC.

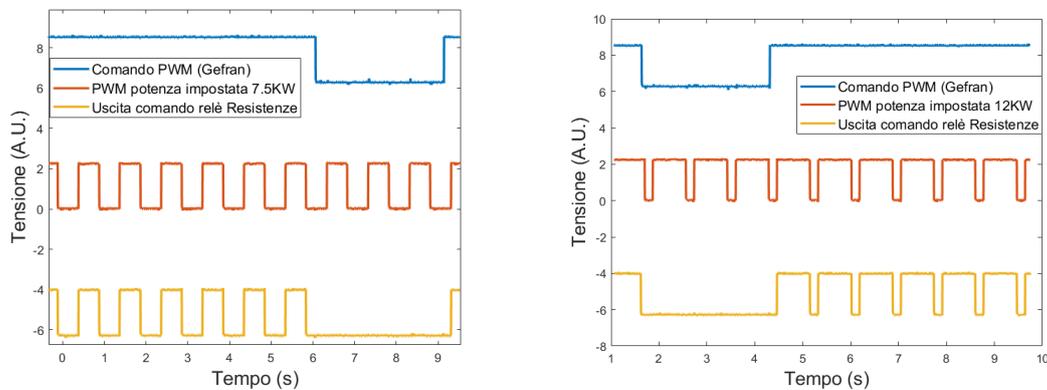


Figura 4.5. PWM Gefran potenza massima 7.5kW e 12kW

Quindi, per entrambi i riscaldatori, si è verificato il comportamento degli interruttori di accensione e di spegnimento, degli allarmi di temperatura e degli interruttori di selezione modalità Automatica/Manuale (figure 4.6 e 4.7). In particolare questi ultimi permettono di inserire/disinserire il controllore automatico. Nel caso di funzionamento manuale, infatti, la potenza fornita ai riscaldatori è esclusivamente selezionata tramite il potenziometro descritto in precedenza; i riscaldatori vengono disattivati solamente dal comando "Riscaldatore\_OFF" o dall'intervento dell'allarme di temperatura. La modalità automatica, al contrario, permette la regolazione della temperatura tramite il Controllore, il quale interviene direttamente sugli SSR.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Solid state relay, relè allo stato solido: maggiormente veloci e longevi dei relè meccanici

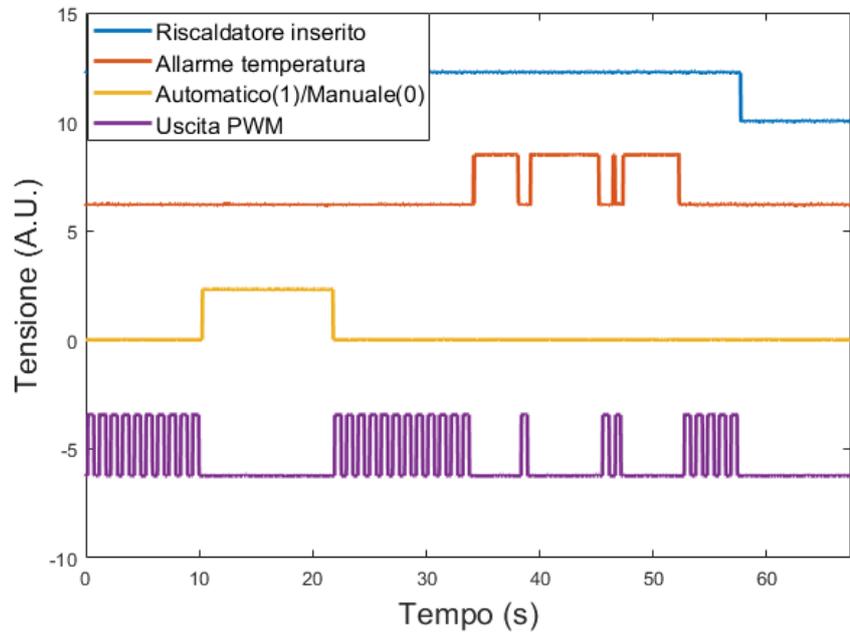


Figura 4.6. PWM Gefran modalità Manuale

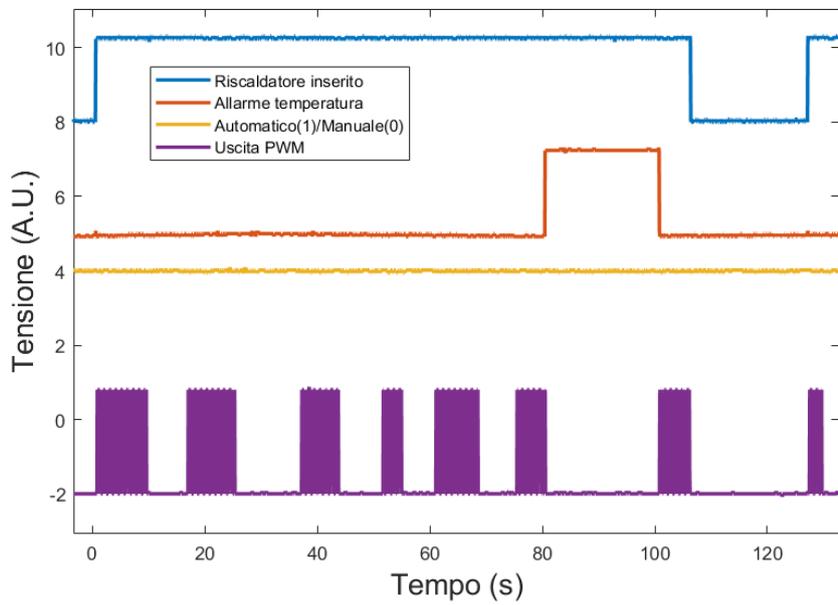


Figura 4.7. PWM Gefran modalità Automatica

## Capitolo 5

# Simulazione sistema di stabilizzazione termica con controllore simulato tramite Matlab

Un' ulteriore proposta di modifica del sistema di controllo di temperatura è la sostituzione del controllore "Gefran" con un controllore direttamente implementato sul PLC. Tale ipotesi è motivata dal vantaggio di centralizzare maggiormente il controllo dell'intero sistema, nonché da un possibile risparmio economico, in quanto i controllori automatici presenti nel banco potrebbero non essere più tutti funzionanti.

Anche questa possibilità è stata implementata in linguaggio Ladder su PLC, modificando il codice e gli schemi di collegamento, come descritto dal codice sorgente e dalla configurazione degli Input/Output in appendice. Le modifiche principali sono l'esclusione degli ingressi digitali "*Gefran<sub>A</sub>*" e "*Gefran<sub>B</sub>*" dalla Figura 4.2, l'aggiunta degli ingressi analogici provenienti dai sensori di temperatura Pt100, opportunamente condizionati dai moduli 5B34-03 e l'implementazione del controllore PI che agisce sull'errore di temperatura  $e = Temp_{des} - Temp_{mis}$

Per quanto riguarda il progetto dei parametri del controllore di temperatura, i dipendenti Microtecnica consiglierebbero di effettuarlo con il sistema in funzione, regolando i valori con metodi di "approssimazioni successive". In questo caso, siccome non sarà possibile disporre del banco in funzione, si è pensato di simulare il sistema su Simulink, utilizzando molti parametri fisici direttamente misurati sul vecchio banco e alcuni parametri ricavati da datasheet di componenti che potrebbero essere utilizzati durante la prossima ristrutturazione.

## 5.1 Test del controllore implementato su PLC

La prima fase della validazione del progetto è stata la misura dell'uscita PWM del PLC. L'implementazione del codice per la generazione del corretto comando delle resistenze è visualizzabile nella sezione "allegati" e la configurazione del rack di test è descritta nel precedente paragrafo. La termoresistenza è stata sostituita con una decade resistiva, la quale simula la resistenza variabile della Pt100 di banco. In Figura 5.1 è stata verificata la risposta del sistema di controllo ad un segnale variabile di ingresso (che simula una variazione rapida della temperatura misurata) e l'anello chiuso di controllo è stato simulato in modo manuale, ipotizzando un aumento di temperatura proporzionale al duty cycle dell'uscita del PLC. In questa fase non è ovviamente ancora possibile testare la bontà del controllore e la correttezza dell'inseguimento del valore di temperatura desiderato, in quanto i parametri del controllore sono stati scelti in modo arbitrario (seppur coerente con i range di valori accettabili) e la risposta del sistema fisico non è ancora disponibile. Questi ultimi parametri non disponibili saranno rispettivamente progettati e simulati nei prossimi paragrafi della trattazione.

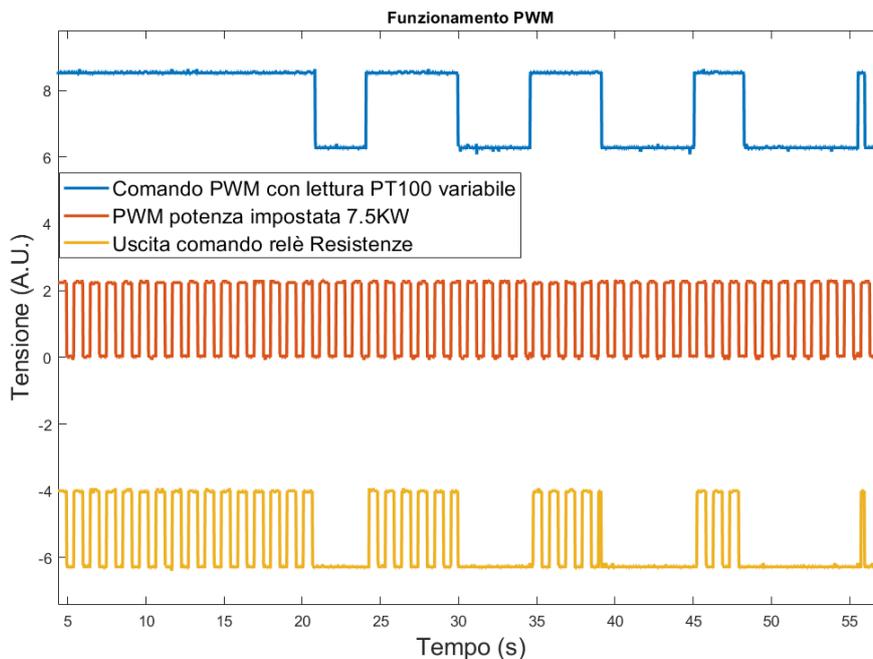


Figura 5.1. PWM, Controllo con PLC con temperatura variabile

## 5.2 Schema di controllo

Lo schema del sistema simulato, con controllore PI implementato via software sul PLC è descritto in figura 5.2

Si tratta, come già accennato, di un controllo in temperatura. La variabile  $\theta$ , cioè la temperatura interna del volume che simula il cockpit viene confrontata con il valore di temperatura desiderato  $\theta_{des}$ , generando l'errore  $E$ . L'errore ottenuto è l'ingresso del controllore PI. Viene generato quindi un valore di potenza  $U$  che rappresenta l'ingresso dell'impianto. L'uscita dell'impianto  $\Delta\theta$  corrisponde con la differenza tra la temperatura all'interno del volume e la temperatura esterna. Infine la funzione di trasferimento  $H(s)$  simula in prima approssimazione il comportamento della catena di misura della temperatura, formata da una termoresistenza di tipo Pt100, un modulo per il condizionamento del segnale e il PLC. Ognuno dei blocchi funzionali citati sarà analizzato nel dettaglio nei prossimi paragrafi e verranno descritti i parametri fisici dei componenti che hanno portato al progetto delle rispettive funzioni di trasferimento.

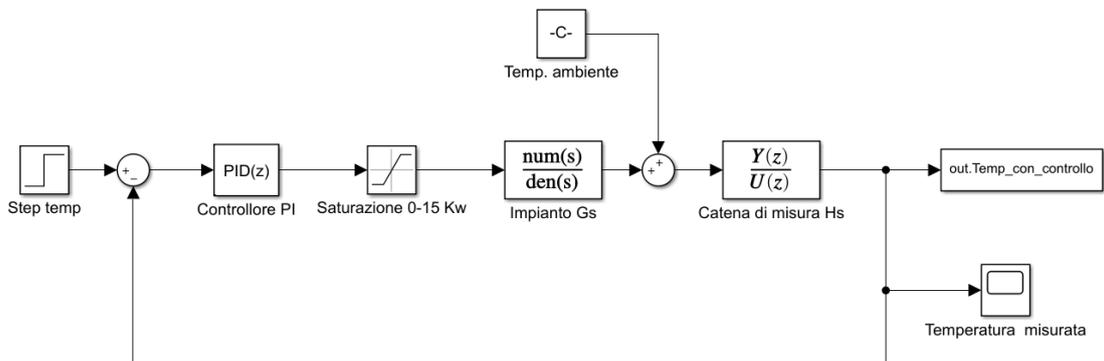
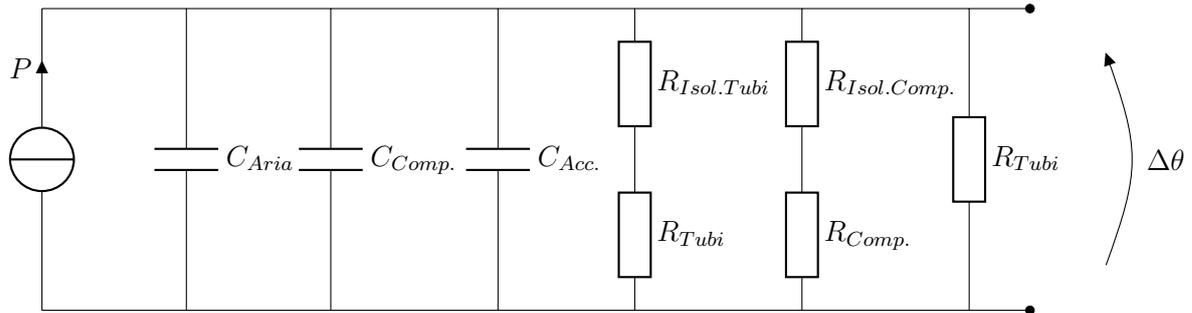


Figura 5.2. Schema generale sistema riscaldatore con controllore

### 5.2.1 Impianto Gs(s)

L'impianto Gs è stato modellato come un generatore di corrente che rappresenta la potenza fornita al sistema, tre condensatori in parallelo che equivalgono alle capacità termiche presenti e 5 resistenze che sono le resistenze termiche delle pareti del volume e dei componenti interni.



Considerando i parametri fisici in Tabella 5.1, si calcolano le capacità termiche dell'aria, delle pareti in compensato, delle resistenze riscaldanti e delle pareti dei condotti per il ricircolo dell'aria tra il cockpit e l'evaporatore con:

$$C_i = V_i * cp_i * d_i$$

dove i indica l'-iesimo materiale.

Caratteristiche fisiche 1		
Quantità	Simbolo	Unità di misura
Calore specifico	cp	$\frac{J}{kg * K}$
Densità	d	$\frac{kg}{m^3}$
Volume	V	$m^3$
Capacità termica	C	$\frac{W * s}{K}$

Tabella 5.1. Caratteristiche fisiche sistema riscaldatori per calcolo capacità termica.

Si utilizzano i seguenti valori di volume, misurati direttamente sul banco o stimati per come potrà essere il banco in futuro:

$$V_{ariaTubi} = (0.08m)^2 \pi * 3m + (0.18m)^2 \pi * 2m = 0.26m^3$$

$$V_{ariaVolume} = 2m^3$$

$$V_{compensato} = 10m^2 * 0.02m$$

$$V_{resistenze} = V_{AcciaioTubi} = 0.002m^3$$

In Tabella 5.2 sono invece riportati i valori dei calori specifici e delle densità dei vari elementi presi in considerazione.

Quindi, definendo i volumi:

$$V_{AcciaioTot} = V_{resistenze} + V_{AcciaioTubi}$$

$$V_{AriaTot} = V_{ariaVolume} + V_{ariaTubi}$$

e calcolando le capacità termiche con la formula precedentemente illustrata, si ottiene:

$$C_{totale} = C_{ariaTot} + C_{compensato} + C_{AcciaioTot} = 2.78 \frac{kJ}{K} + 82 \frac{J}{K} + 15.86 \frac{kJ}{K}$$

<b>Calori specifici e Densità</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Calore specifico</b> $[\frac{J}{kg \cdot K}]$	<b>Densità</b> $[\frac{kg}{m^3}]$
Aria	1005	1.225
Compensato	1.03	400
Acciaio	502	7900

Tabella 5.2. Valori dei calori specifici e densità per il calcolo della Capacità termica.

La capacità termica dell'impianto ottenuta è quindi  $C_{totale} = 18.7 \frac{kJ}{K}$

La resistenza termica rappresenta la difficoltà del sistema a dissipare calore all'esterno. Nella simulazione sono state considerati principalmente 3 contributi: quello del "volume" del riscaldatore, che vanta i contributi della gomma isolante "K-Flex" e del pannello in compensato, quello del percorso dei tubi con isolante "K-Flex" e un'ultima parte formata da condotti privi di isolamento. Come è descritto nello schema del circuito elettrico equivalente, tali 3 resistenze termiche sono da considerarsi "in parallelo", perciò per il calcolo della resistenza equivalente totale si sommano le "ammettenze" e si inverte il risultato.

$$R_{Tot} = \frac{1}{G_{Volume} + G_{TubiIsolati} + G_{TubiScoperti}}$$

con:

$$G_{Volume} = \frac{1}{R_{Compensato} + R_{K-Flex-volume}}$$

$$G_{TubiIsolati} = \frac{1}{R_{TubiIsolati} + R_{K-Flex-Tubi}}$$

$$G_{TubiScoperti} = \frac{1}{R_{TubiScoperti}}$$

La resistenza termica dei vari materiali si ottiene utilizzando i parametri fisici (misurati direttamente sul banco o ricavati dai datasheet dei materiali), raccolti in tabella 5.3. Vengono utilizzate le seguenti relazioni:

$$R_i = \frac{1}{G_i} = \frac{1}{g_i * A_i}$$

dove:

$$g_i = \frac{Kt_i}{d_i}$$

dove i indica l'-iesimo materiale.

<b>Caratteristiche fisiche 2</b>		
<b>Quantità</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Unità di misura</b>
Conduttività	$K_t$	$\frac{W}{m \cdot K}$
Spessore	d	m
Trasmittanza termica	g	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Superficie	A	$m^2$
Resistenza termica	R	$\frac{K}{W}$
"Ammetenza" termica	G	$\frac{W}{K}$

Tabella 5.3. Caratteristiche fisiche sistema riscaldatori per calcolo Resistenza termica.

In tabella 5.4 sono invece riportati i valori di resistenza termica dei vari elementi considerati come contributi al mantenimento della temperatura desiderata all'interno del riscaldatore:

<b>Resistenze Termiche</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Resistenza termica [<math>\frac{K}{W}</math>]</b>
Isolante K-Flex Riscaldatore	0.0528
Compensato Riscaldatore	0.0154
Isolante K-Flex Tubi	0.14
Tubi acciaio	$3.5 * 10^{-5}$
Tubi senza isolamento	0.013

Tabella 5.4. Valori delle resistenze termiche dei vari elementi che compongono il riscaldatore.

Sommando le resistenze termiche delle coperture con doppio strato di isolamento, si ottengono i seguenti valori:

$$R_{Riscaldatore\ Isolato} = R_{Isol.Comp} + R_{Comp} = 0.0682 \frac{K}{W}$$

$$R_{Tubi.Isolati} = R_{Isol.Tubi} + R_{Tubi} = 0.14 \frac{K}{W}$$

$$R_{Tubi.Non.Isolati} = 0.013 \frac{K}{W}$$

La resistenza termica dell'impianto è perciò  $R_{totale} = 0.0103 \frac{K}{W}$ .

La funzione di trasferimento dell' "impianto" è quindi:

$$Gs(s) = \frac{\Delta\theta}{P_{in}} = \frac{R}{1+\tau s}$$

dove  $\tau = RC = 192.7s$  rappresenta la costante di tempo.

Dalla figura 5.3 si può notare la risposta al gradino della massima potenza disponibile (15 kw), in anello aperto.

La temperatura massima raggiungibile dal sistema, considerando le perdite dovute alla resistenza termica non infinita delle pareti, è di poco inferiore ai 180°C e tale temperatura viene raggiunta a regime con un tempo di salita  $T_{rise(0.1-0.9)} = 422s = 7\text{minuti}$ . Confrontando i risultati ottenuti dalla simulazione con i ricordi dei lavoratori della Microtecnica a proposito del comportamento del riscaldatore quando era operativo, si è ottenuta un incremento di circa 40°C sulla temperatura massima a regime. Il motivo principale è che in simulazione è stata aumentata la percentuale di condotti ricoperti da isolante di gomma "K-Flex", per incrementare la resistenza termica R e migliorare le prestazioni, in termini di massima temperatura raggiungibile, ma soprattutto di tempo di risposta.

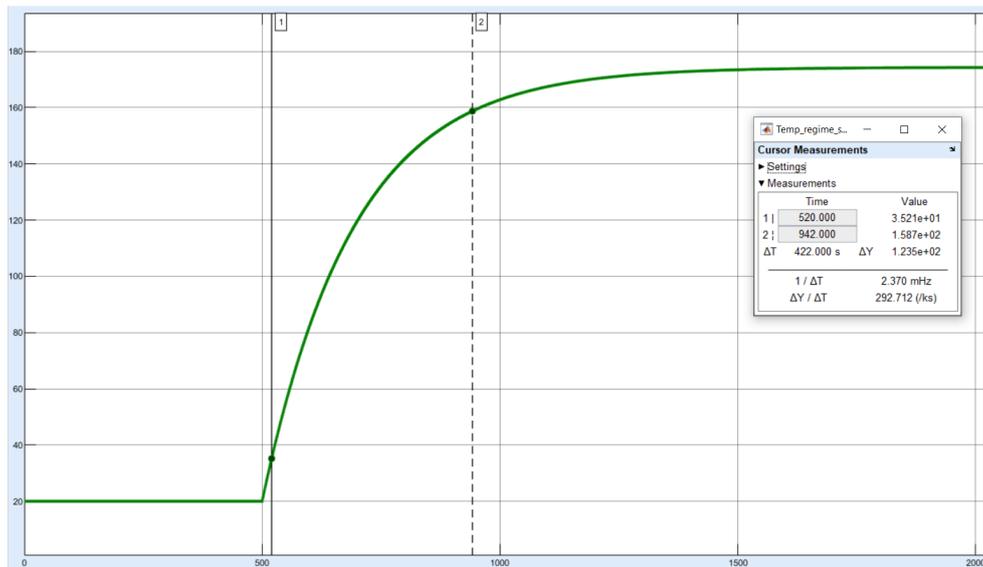


Figura 5.3. Risposta al gradino, temperatura massima raggiungibile

### 5.2.2 Sistema di misura e acquisizione $H(s)$

Per quanto concerne la parte di misurazione della temperatura, sono stati modellati i comportamenti del sensore Pt100, del condizionatore del segnale e dell'acquisizione e discretizzazione del segnale condizionato sul PLC.

Per quanto riguarda il sensore Pt100, si tratta di una termoresistenza con costante di tempo  $\tau_s = 8s$ , il polo della funzione di trasferimento del primo ordine  $H$  sarà quindi  $|p| = \frac{1}{\tau_s}$ . Otteniamo perciò:

$$H_s(s) = \frac{1}{8s+1}$$

Anche il modulo 5B per il condizionamento di segnale è stato modellato con un passabasso del primo ordine. Siccome la dinamica di ingresso del modulo è  $[0,200^\circ\text{C}]$  e quella di uscita è  $[0,5\text{V}]$ , si è considerato un guadagno in banda di  $\frac{1}{40} = -32\text{dB}$ . Da datasheet si è ottenuta la costante di tempo di  $\tau_{5B} = 0.25s$ . La funzione di trasferimento è quindi:

$$H_{5B}(s) = \frac{\frac{1}{40}}{\tau_{5B}s+1} = \frac{0.025}{0.25s+1}$$

Come previsto il contributo del modulo 5B rispetto alla catena diretta è quasi irrilevante in quanto il polo

$$|p_{5B}| = \frac{1}{\tau_{5B}} = 4 \frac{\text{rad}}{s}$$

è a una frequenza abbastanza elevata rispetto ai poli di  $H_s$  e soprattutto dell'impianto  $G_s$ .

Infine la funzione di trasferimento del PLC è semplicemente la discretizzazione del valore di tensione (da 0 a 5V) da parte dei 12 bit dell'ADC della scheda e il guadagno di 40, che consente di tornare dal valore di tensione alla rispettiva Temperatura.

Il periodo di campionamento dell'ADC del PLC è di 27ms. Ma siccome non è necessaria una frequenza di campionamento tanto elevata per un controllo di temperatura con una rilevante costante di tempo (poco meno di 200 secondi), si è pensato di acquisire tutti i campioni possibili, alla massima frequenza, e poi effettuare il controllo di temperatura considerando la media di 10 valori, quindi il parametro "periodo di campionamento" della simulazione sarà

$$T_s = T_{sADC} * 10 = 0.27s$$

Utilizzando quindi i seguenti comandi, si crea la funzione di trasferimento  $H_{PLC}$  a tempo discreto:

$$H_{PLC} = tf(40,1)$$

$$H_{PLC}(z) = c2d(H_{PLC}, T_s, 'zoh')$$

in Figura 5.4 sono rappresentati le funzioni di trasferimento dei componenti del blocco "H" e quella totale ( $H_{Tot}$ )

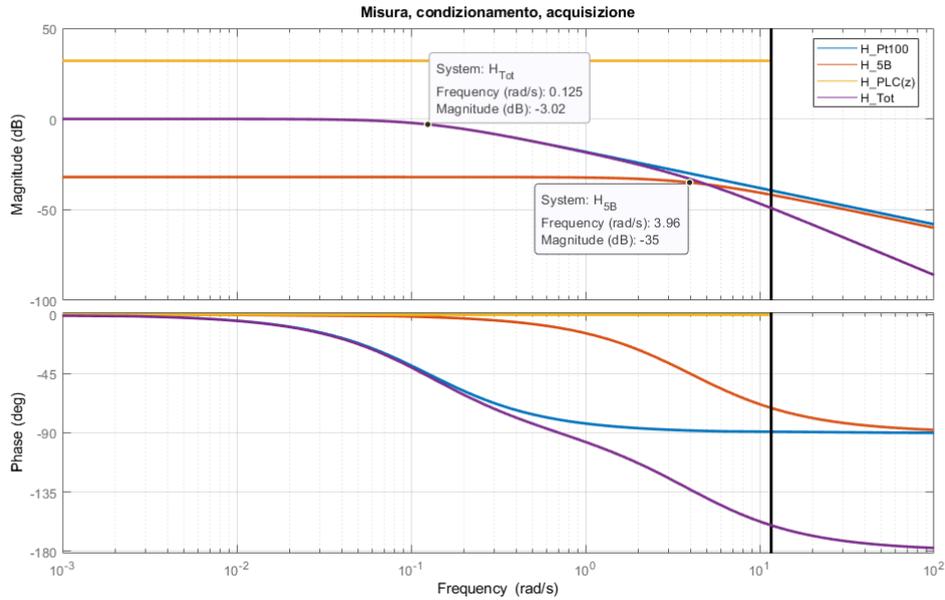


Figura 5.4. Diagramma di Bode Funzione di trasferimento retroazione

### 5.2.3 Controllore PI

Per quanto riguarda la progettazione del controllore PI, si è utilizzata la tecnica della cancellazione zero-polo.

La funzione di trasferimento del controllore è:

$$G_c(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = Kp \frac{\frac{Ki}{Kp} + s}{s}$$

Per quanto riguarda il sistema, è stato preso in considerazione il polo principale, cioè quello relativo alla costante di tempo RC del volume, non considerando in questo caso la funzione  $H_{Tot}$

$$G_s(s) = \frac{R * p_s}{p_s + s}$$

con

$$p_s = \left| \frac{1}{\tau_s} \right| = 0.0052 \frac{rad}{s}$$

Imponendo lo zero del controllore uguale al polo principale del sistema,  $Z_c = \frac{Ki}{Kp} = p_s$ , la funzione di trasferimento a catena aperta (continuando a non considerare il contributo del condizionatore di segnale e della quantizzazione introdotta dal PLC), è rappresentata da:

$$G_o(s) = Kp \frac{\frac{Ki}{Kp} + s}{s} \frac{R * p_s}{p_s + s} = \frac{R * Kp * p_s}{s} = \frac{R * Kp * \frac{Ki}{Kp}}{s} = \frac{R * Ki}{s}$$

Definito il rapporto tra il guadagno del controllo proporzionale e di quello integrativo, è stato impostato un guadagno proporzionale pari a  $Kp = 200 \frac{W}{C}$  per evitare un'eccessiva saturazione della potenza massima, cioè 15KW, nella situazione di maggiore criticità ( $\Delta T_{emp} = 80^{\circ}C$ ).

Il guadagno dell'integratore assume perciò il valore  $Ki = 1.03 \frac{W}{C*s}$

In figura 5.5, si può verificare come il polo principale del sistema, cioè quello della funzione di trasferimento  $G_s$ , che è stata identificata come "impianto" sia in corrispondenza dello zero della funzione di trasferimento del controllore.

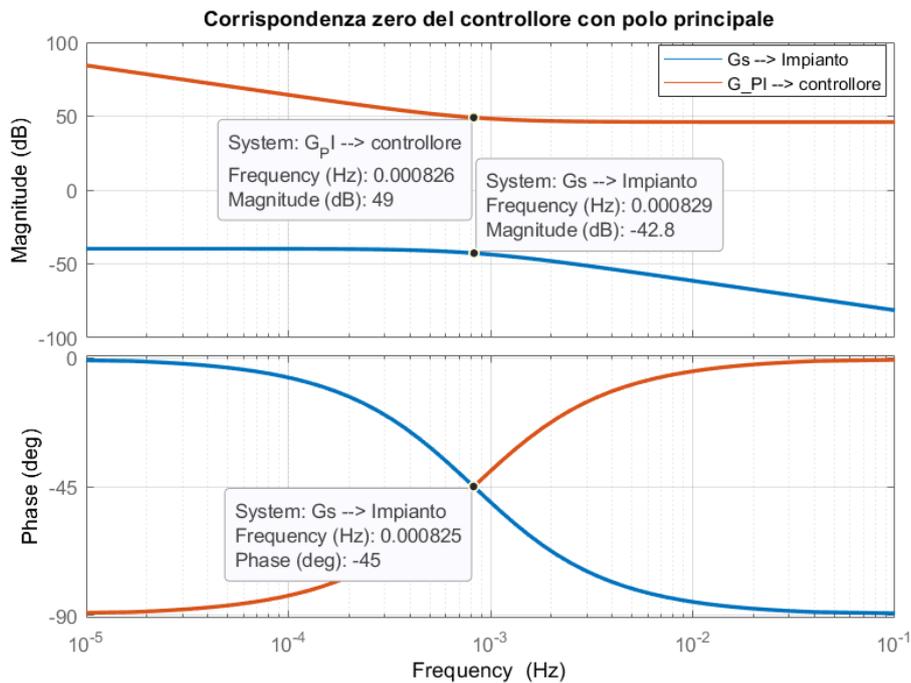


Figura 5.5. Tecnica cancellazione zero-polo

### 5.3 Simulazione su Simulink del comportamento del sistema modellato

Nelle successive figure 5.6 e 5.7, si notano rispettivamente gli andamenti dell'errore tra le temperature desiderata e misurata, la conseguente potenza fornita al sistema da parte del controllore PI e l'andamento della temperatura misurata. Questi grafici sono ottenuti nel caso in cui la temperatura desiderata sia uno step da 20 gradi a 100 gradi. Si tratta del massimo gradino impostabile nel riscaldatore del banco, ma l'andamento della temperatura e la bontà del controllore si possono verificare anche con altri valori di ingresso. Il valore del guadagno proporzionale del controllore causa una saturazione sul valore di potenza fornita, ma è tollerata in quanto, essendo un sistema molto stabile, non può causare oscillazione o altri comportamenti indesiderati.

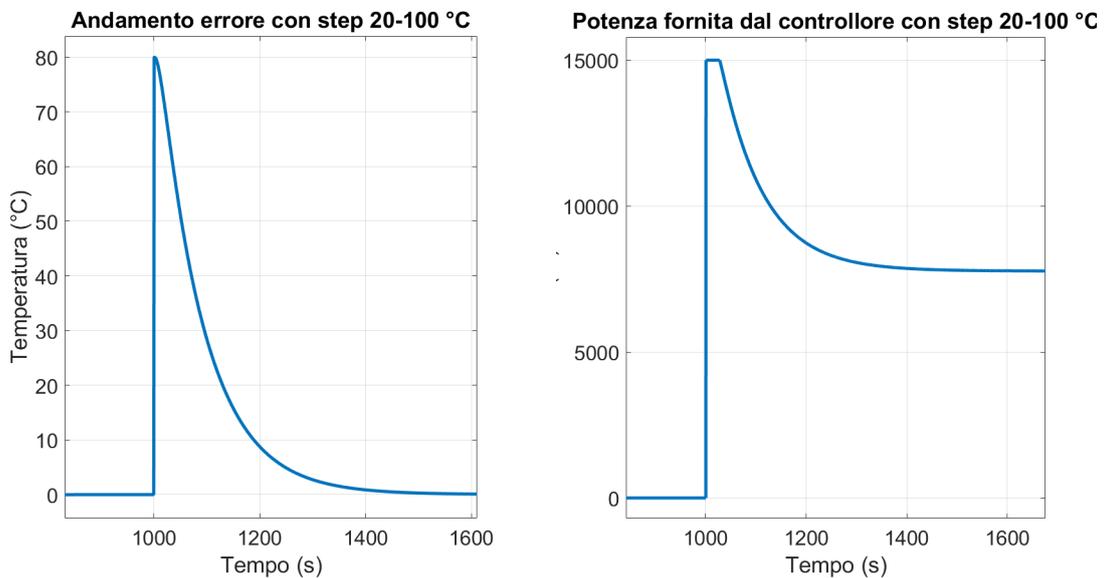


Figura 5.6. Anello chiuso: errore di temperatura e rispettivo comando in potenza

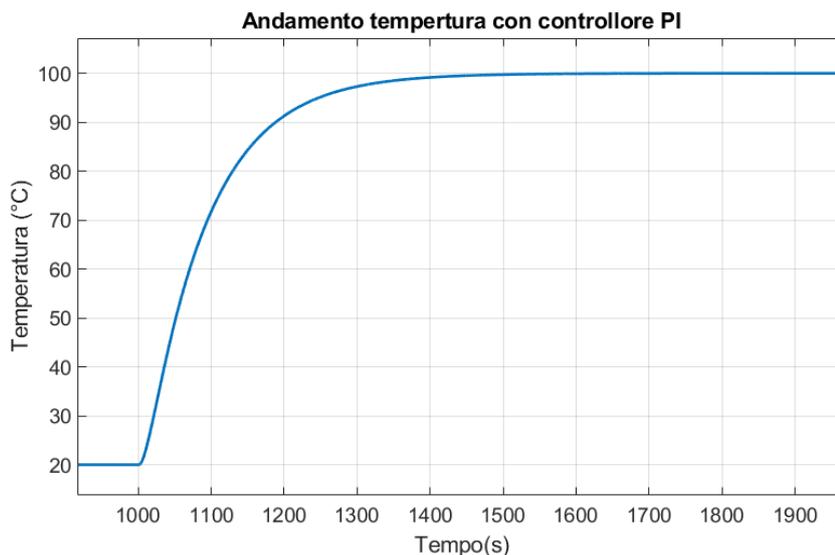


Figura 5.7. Anello chiuso: Andamento Temperatura con massimo valore di gradino

Per rappresentare il comportamento del sistema in modo più realistico, sono state simulate su Simulink le due modulazioni in PWM che sono state precedentemente illustrate e testate con l'oscilloscopio: la modulazione PWM con periodo 1 secondo permette l'impostazione della massima potenza utilizzabile, mentre quella con periodo 10 secondi è utile ai fini del controllo di temperatura. Il duty cycle della prima sarà definito tramite i potenziometri precedentemente illustrati, mentre quello della seconda sarà generato sul PLC partendo dal valore di comando proveniente dal regolatore PI. Nelle successive figure viene simulato il comportamento della catena di controllo in una situazione tipica di funzionamento: la potenza massima utilizzabile è 8kW e la temperatura che si vuole raggiungere, partendo dalla temperatura ambiente di 20°C, è 50 °C.

Nelle figure 5.8 e 5.9 sono rappresentati alcuni dettagli del comando in potenza fornito al riscaldatore di banco; si può notare che all'istante di tempo corrispondente a 1000s viene fornito il target di temperatura di 50°C e il duty cycle proporzionale al valore in uscita dal regolatore diventa quasi massimo. Diminuirà solo quando l'errore di temperatura sarà inferiore, evitando il fenomeno della sovraelongazione. In figura 5.9 si nota invece un particolare della modulazione della potenza massima, che in questo caso è del 53%.

Infine si riporta in figura 5.10 l'andamento della temperatura: si nota la presenza di oscillazioni causate dalla modulazione in PWM della potenza. Siccome il sistema ha una grande inerzia termica, svolge la funzione di un passabasso, portando l'ampiezza dell'oscillazione ad assumere un valore di molto inferiore a 1°C.

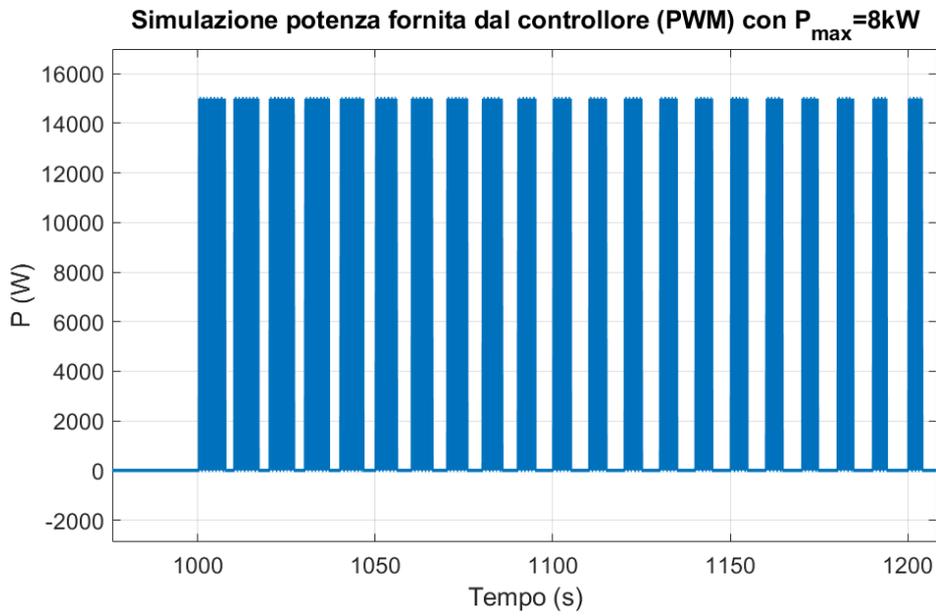


Figura 5.8. Comando in PWM con potenza massima = 8kW

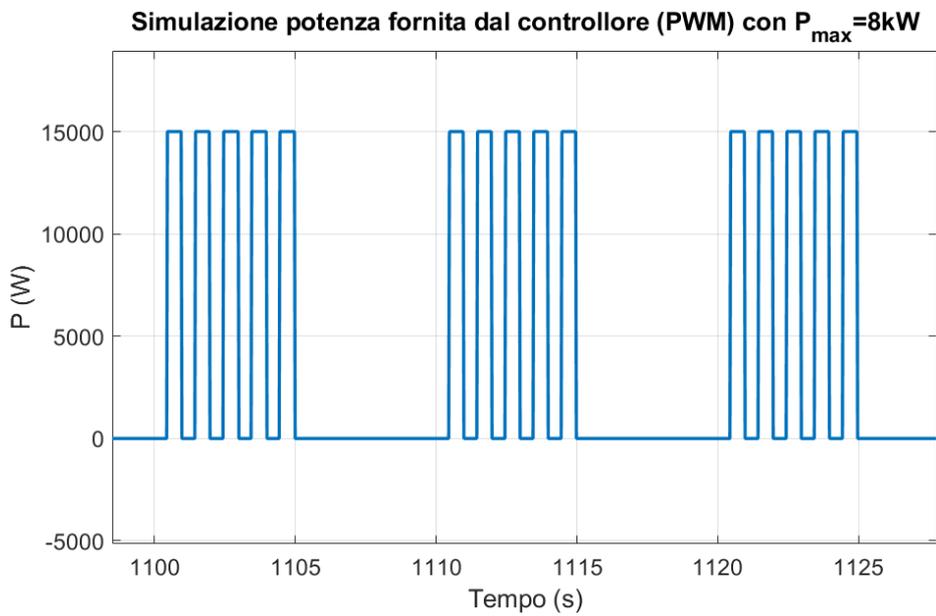


Figura 5.9. Comando in PWM: particolare dell'utilizzo della potenza massima 8kW

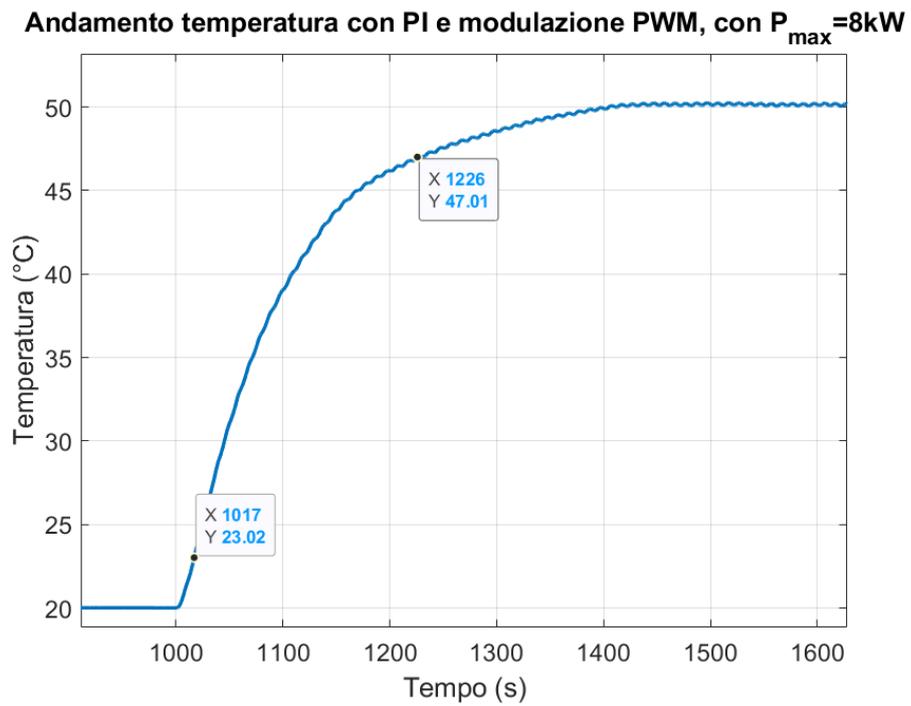


Figura 5.10. Comando in PWM: Andamento della temperatura utilizzando la potenza massima 8kW



# Conclusioni

La Tesi di laurea Magistrale svolta in questi mesi rappresenta, a mio avviso, un ottimo punto di partenza per il prossimo lavoro di ristrutturazione del banco prova del sistema di condizionamento dell'aria degli elicotteri S92 e NH90.

La descrizione degli impianti che lo compongono è una panoramica creata per comprendere la funzione dei vari elementi; mi sono soffermato particolarmente sull'aspetto di misura dei parametri fisici per poter apprendere la struttura del banco prova, contenuto nella seconda parte dell'elaborato. Per quanto riguarda il banco, l'attenzione è stata focalizzata sulla parte elettronica di interfaccia tra l'operatore, la DTCU ed il sistema fisico. Infine è iniziato il lavoro di centralizzazione del controllo del rack: l'obiettivo è quello di avere un'interfaccia operatore più semplice, che permetta l'implementazione di funzioni più avanzate.

Per esempio, centralizzando il controllo di temperatura dei riscaldatori di banco sul PLC, ora si ha la possibilità di configurare delle prove con cicli di temperatura variabili, senza dover impostare manualmente la temperatura desiderata sui controllori automatici.

Le due possibilità implementate, quella che comprende l'utilizzo dei controllori automatici già presenti e quella che centralizza anche il controllore su PLC, permettono la doppia scelta in base al tipo di prove di qualifica che saranno richieste.

Il codice Matlab/Simulink di modellizzazione dei riscaldatori permetterà, nel momento in cui il banco sarà in funzione, rapide modifiche dei parametri del controllore in funzione della dinamica richiesta. La naturale prosecuzione del lavoro svolto vedrà lo sviluppo di una maggiore centralizzazione del controllo di altri elementi del banco, come la parte di gestione delle valvole di sistema e la sostituzione della pulsantiera del rack con un monitor configurabile.

Si conclude qui l'elaborato, con la speranza e la concreta consapevolezza che l'analisi dell'impianto in questione e del suo banco di prova possano essere di supporto a qualcuno in futuro e confidando che parte delle modifiche proposte potranno essere messe in atto quando il progetto entrerà nella fase operativa.



**Parte III**  
**Terza Parte**



# Appendice A

## Codice sorgente PLC

Nelle pagine seguenti si riportano i codici sorgente dei programmi scritti dal candidato. Il codice è stato testato in laboratorio, dove è stato assemblato un rack che simula la parte di banco coinvolta.

## **A.1 Controllo potenza con controllore Gefran**

Si riporta il programma di controllo della potenza massima dei riscaldatori interfacciato con il controllore di temperatura "Gefran 100".

## CONFIGURAZIONE DEI RACK

Numero di rack: 0

Riferimento rack: TSX.RKY 6EX

Riferimento alimentazione: TSX.PSY 2600

Alloggiamento	Famiglia	Riferimento
0	Premium	TSX 57103
1	Digitale	TSX DEY 16D2
2	Digitale	TSX DSY 32T2K
3	I/O Analogici	TSX AEY 800
4	I/O Analogici	TSX ASY 800

<b>Autore:</b>	<b>3.1 Configurazione fisica</b> <b>3.1.1 Configurazione dei rack</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX 57103 [RACK 0 POSIZIONE 0]

### Identificazione del modulo:

Codice prodotto: TSX 57103  
Indirizzo: 000

Designazione: PROCESSORE TSX P 57103

### Caratteristiche memoria:

RAM interna: 32 KPAROLE

Cartuccia: NESSUNA

### Parametri dei task:

#### Task MAST:

ciclico: SI  
periodo: 0 ms  
watchdog: 250 ms

#### Task FAST:

periodo: 5 ms  
watchdog: 100 ms

### Modo di funzionamento:

Run/Stop : NO  
Protezione memoria: : NO  
Avvio automatico in Run: NO  
Azzeramento delle %Mwi su riavvio a freddo: SI

Autore:	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
Servizio:		Indice:
PLC destinazione: TSX 57103		Foglio: 3.1.2 - 1

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX 57103 [RACK 0 POSIZIONE 0]

### Identificatore del modulo:

<b>Codice prodotto</b>	TSX 57103	<b>Designazione:</b>	PROCESSORE TSX P 57103
<b>Indirizzo:</b>	000	<b>Simbolo:</b>	

### Parametri del canale 0

<b>Assegnazione task/canale:</b>	<b>MAST</b>	<b>Simbolo canale:</b>	
<b>Tipo di canale:</b>	Porta terminale		
<b>Funzione specifica:</b>	CONNESSIONE UNI-TELWAY		
<b>Velocità trasm.:</b>	19200 bit/s	<b>Ritardo:</b>	30ms
<b>Tipo di modulo:</b>	Master	<b>Parità:</b>	dispari
<b>Numero di Slave:</b>	8		

### Parametri del canale 1

Canale non configurato

<b>Autore:</b>	<b>3.1 Configurazione fisica</b> <b>3.1.2 Parametri di moduli</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.2 - 2</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX DEY 16D2 [RACK 0 POSIZIONE 01]

### Identificatore del modulo

Rif. commerciale : TSX DEY 16D2      Designazione : 16I 24VCC SINK BL. TER.  
 Indirizzo : 01      Simbolo :

### Parametri dei canali d'ingresso

Canale	Variabile	Simbolo	Err. alim.	Task
0	%I1.0	Automatico_a	Attivo	MAST
1	%I1.1	Gefran_a_on	Attivo	MAST
2	%I1.2		Attivo	MAST
3	%I1.3	Termostato_sicurezza_a	Attivo	MAST
4	%I1.4	Risc_a_on	Attivo	MAST
5	%I1.5	Risc_a_off	Attivo	MAST
6	%I1.6	Automatico_b	Attivo	MAST
7	%I1.7	Gefran_b_on	Attivo	MAST
8	%I1.8		Attivo	MAST
9	%I1.9	Termostato_sicurezza_b	Attivo	MAST
10	%I1.10	Risc_b_on	Attivo	MAST
11	%I1.11	Risc_b_off	Attivo	MAST
12	%I1.12		Attivo	MAST
13	%I1.13		Attivo	MAST
14	%I1.14		Attivo	MAST
15	%I1.15		Attivo	MAST

<b>Autore:</b>	<b>3.1 Configurazione fisica</b> <b>3.1.2 Parametri di moduli</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.2 - 3</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX DSY 32T2K [RACK 0 POSIZIONE 02]

### Identificatore del modulo

Rif. commerciale : TSX DSY 32T2K Designazione : 320 24VCC 0,1A CON.  
 Indirizzo : 02 Simbolo :

### Parametri dei canali d'uscita

Canale	Variabile	Simbolo	Err. alim.	Task	Riarmo	Mod. default	Pos. Sicur.
0	%Q2.0	Automatico_led_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
1	%Q2.1		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
2	%Q2.2	Risc_inserito_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
3	%Q2.3	Allarme_temp_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
4	%Q2.4	Uscita_pwm_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
5	%Q2.5		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
6	%Q2.6	Automatico_led_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
7	%Q2.7		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
8	%Q2.8	Risc_inserito_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
9	%Q2.9	Allarme_temp_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
10	%Q2.10		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
11	%Q2.11	Pwm_risc_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
12	%Q2.12		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
13	%Q2.13		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
14	%Q2.14		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
15	%Q2.15		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
16	%Q2.16		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
17	%Q2.17		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
18	%Q2.18		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
19	%Q2.19		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
20	%Q2.20		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
21	%Q2.21		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
22	%Q2.22		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
23	%Q2.23		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
24	%Q2.24		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
25	%Q2.25		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
26	%Q2.26		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
27	%Q2.27		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
28	%Q2.28		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
29	%Q2.29		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
30	%Q2.30		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
31	%Q2.31		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0

Autore:	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
Servizio:		Indice:
PLC destinazione: TSX 57103		Foglio: 3.1.2 - 4

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX AEY 800 [RACK 0 POSIZIONE 3]

### Identificazione del modulo:

Codice prodotto: TSX AEY 800  
Indirizzo: 003

Designazione: 8 INGRESSI ANALOG.  
Simbolo:

### Parametri comuni

Tipo: Ingresso  
Ciclo: Normale

Controllo connessioni: Inattivo

### Parametri dei canali

Canale	Variabile	Simbolo	Campo	Scala	Min	Max	Filtraggio	Task	Usato
0	%IW3.0	Reg_pot_a	0..10V	%..	0	10000	0	MAST	SI
1	%IW3.1		0..10V	User	0	2000	0	MAST	SI
2	%IW3.2	Reg_pot_b	0..10V	%..	0	10000	0	MAST	SI
3	%IW3.3	Pt100_b	0..10V	User	0	2000	0	MAST	SI
4	%IW3.4		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
5	%IW3.5		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
6	%IW3.6		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
7	%IW3.7		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI

<b>Autore:</b>	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
<b>Servizio:</b>		Indice:
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		Foglio: 3.1.2 - 5

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX ASY 800 [RACK 0 POSIZIONE 4]

### Identificazione del modulo:

Codice prodotto: TSX ASY 800  
Indirizzo: 004

Designazione: 8 USCITE ANALOG.  
Simbolo:

### Parametri comuni

Tipo: Uscita  
Alimentazione : Esterna

Controllo connessioni : Inattivo  
Controllo Alimentazione : Inattivo

### Parametri dei canali

Canale	Variabile	Simbolo	Campo	Min	Max	Inf.	Test.	Sup.	Test.	Task	Pos. secur/mantieni
0	%QW4.0		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
1	%QW4.1		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
2	%QW4.2		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
3	%QW4.3		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
4	%QW4.4		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
5	%QW4.5		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
6	%QW4.6		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
7	%QW4.7		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0

Autore:	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
Servizio:		Indice:
PLC destinazione: TSX 57103		Foglio: 3.1.2 - 6

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

### CONFIGURAZIONE BIT, PAROLE E BLOCCHI FUNZIONE

BITS		PAROLE		BLOCCHI FUNZIONE	
Interno (%M)	256	Interno (%MB,%MW,%MD,%MF)	512	Timer (%TM)	64
Sistema (%S)	128	Sistema (%SW,%SD)	256	Timer serie 7 (%T)	0
		Comune (%NW)	0	Monostabile(i) (%MN)	8
		Costanti (%KB,%KW,%KD,%KF)	128	Contatore(i) (%C)	32
				Registro(i) (%R)	4
				Drum (%DR)	8

<b>Autore:</b>	<b>3 Configurazione 3.2 Configurazione software</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.2 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## STRUTTURA APPLICAZIONE

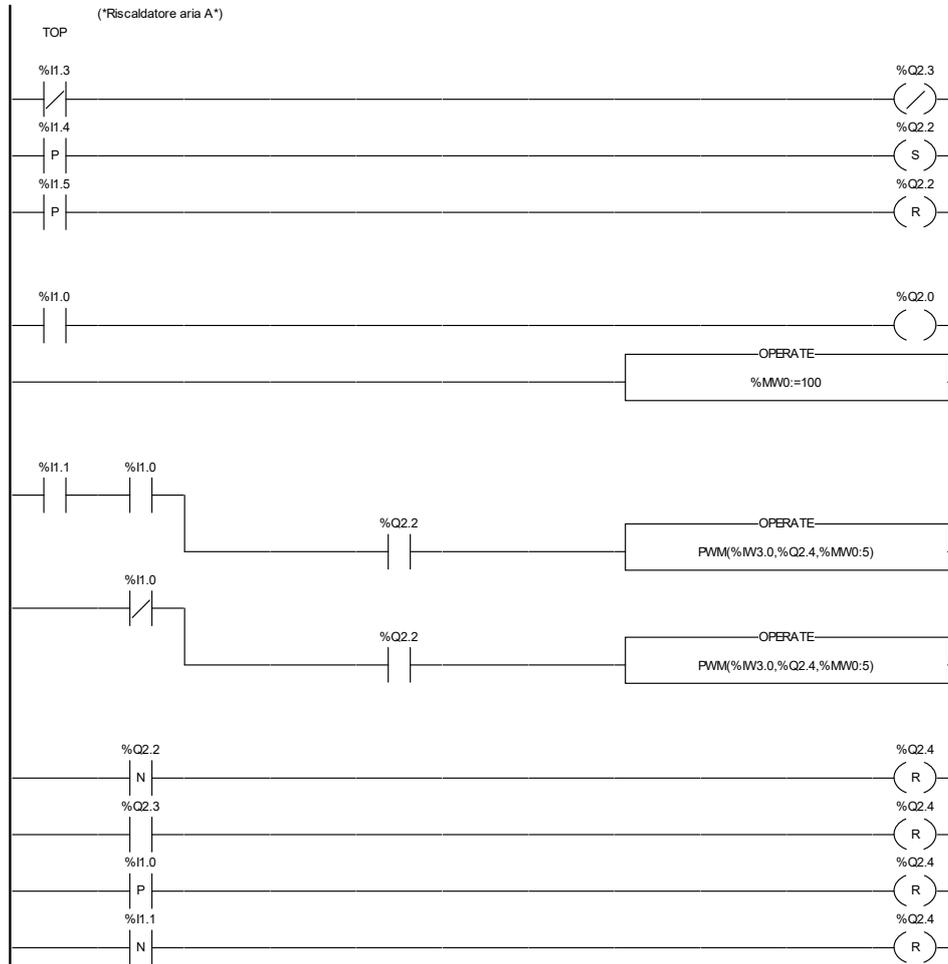
Task	Sezione	Modulo	Linguaggio
MAST	PRINCIPALE	PRINCIPALE	LADDER (LD)

<b>Autore:</b>	<b>4 Programma</b> <b>4.1 Struttura applicazione</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**

Commento:

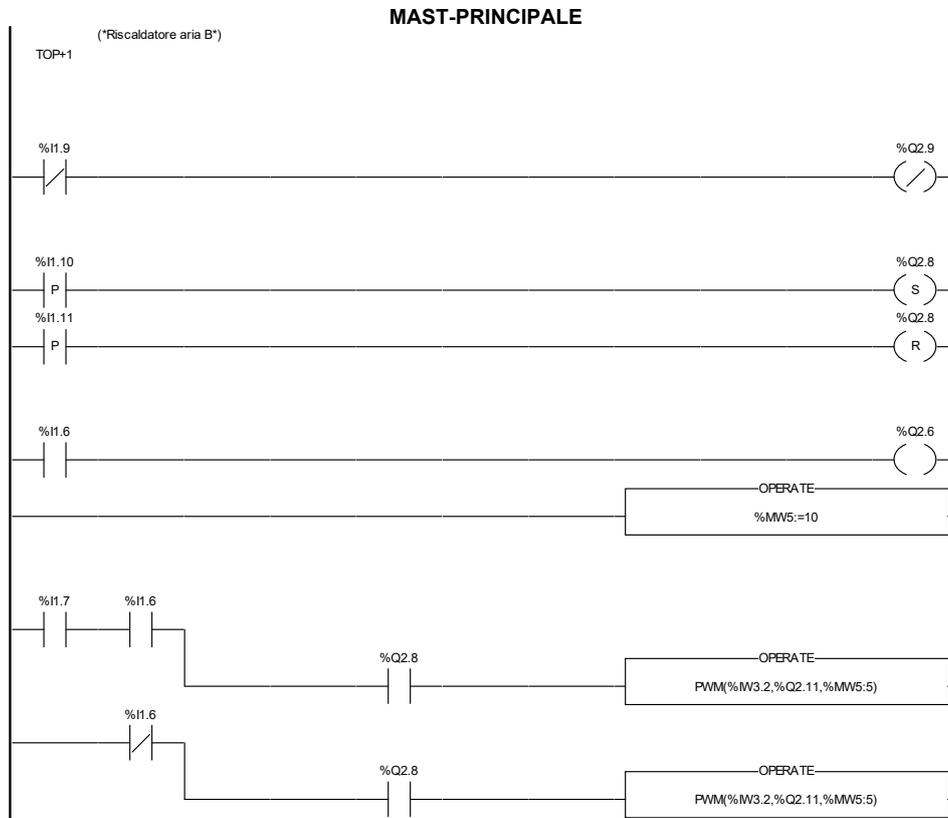


Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%I1.3	Termostato_sicurezza_a	
%Q2.3	Allarme_temp_a	
%I1.4	Risc_a_on	
%Q2.2	Risc_inserito_a	
%I1.5	Risc_a_off	
%I1.0	Automatico_a	
%Q2.0	Automatico_led_a	
%MMW0	Periodo_a	
%I1.1	Cefran_a_on	
%IW3.0	Reg_pot_a	
%Q2.4	Uscita_pwm_a	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.



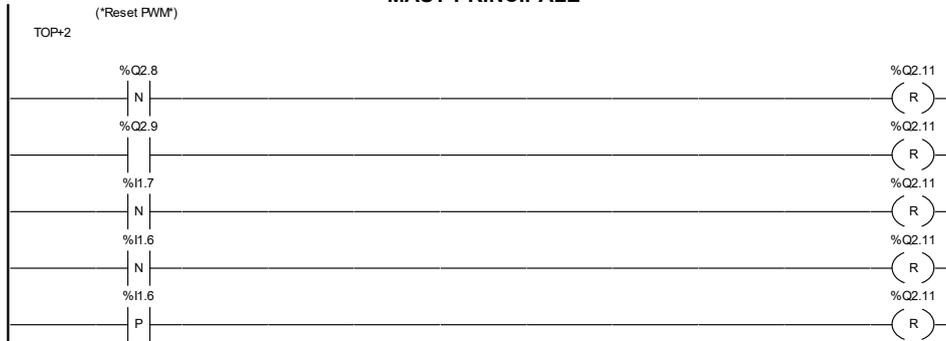
Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABLE	SIMBOLO	COMMENTO
%I1.9	Termostato_sicurezza_b	
%Q2.9	Allarme_temp_b	
%I1.10	Risc_b_on	
%Q2.8	Risc_inserito_b	
%I1.11	Risc_b_off	
%I1.6	Automatico_b	
%Q2.6	Automatico_led_b	
%MW5	Periodo_b	
%I1.7	Gefran_b_on	
%IW3.2	Reg_pot_b	
%Q2.11	Pwm_risc_b	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 2</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**



Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%Q2.8	Risc_inserito_b	
%Q2.11	Pwm_risc_b	
%Q2.9	Allarme_temp_b	
%I1.7	Gefran_b_on	
%I1.6	Automatico_b	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 3</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**PAROLA/E INTERNA/E**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%MW0 .....	Periodo_a MAST	Principale	TOP	W
%MW0:5 .....	MAST	Principale	TOP	In/Out(2)
%MW5 .....	Periodo_b MAST	Principale	TOP+1	W
%MW5:5 .....	MAST	Principale	TOP+1	In/Out(2)

**MODULO @1**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%I1.0 .....	Automatico_a MAST	Principale	TOP	R(4)
%I1.1 .....	Gefran_a_on MAST	Principale	TOP	R(2)
%I1.3 .....	Termostato_sicurezza_a MAST	Principale	TOP	R
%I1.4 .....	Risc_a_on MAST	Principale	TOP	R
%I1.5 .....	Risc_a_off MAST	Principale	TOP	R
%I1.6 .....	Automatico_b MAST MAST	Principale Principale	TOP+1 TOP+2	R(3) R(2)
%I1.7 .....	Gefran_b_on MAST MAST	Principale Principale	TOP+1 TOP+2	R R
%I1.9 .....	Termostato_sicurezza_b MAST	Principale	TOP+1	R
%I1.10 .....	Risc_b_on MAST	Principale	TOP+1	R
%I1.11 .....	Risc_b_off MAST	Principale	TOP+1	R

**MODULO @2**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%Q2.0 .....	Automatico_led_a MAST	Principale	TOP	W
%Q2.2 .....	Risc_inserito_a MAST MAST	Principale Principale	TOP TOP	W(2) R(3)
%Q2.3 .....	Alarme_temp_a MAST MAST	Principale Principale	TOP TOP	W R
%Q2.4 .....	Uscita_pwm_a MAST MAST	Principale Principale	TOP TOP	Out(2) W(4)
%Q2.6 .....	Automatico_led_b MAST	Principale	TOP+1	W
%Q2.8 .....	Risc_inserito_b MAST MAST MAST	Principale Principale Principale	TOP+1 TOP+1 TOP+2	W(2) R(2) R

<b>Autore:</b>	<b>5 Riferimenti incrociati Ordinamento per variabile</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>	
<b>Servizio:</b>			<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>			<b>Foglio: 5 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

*Codice sorgente PLC*

---

VARIABILE	SIMBOLO		
	VARIABILE	ETICHETTA	USO
%Q2.9 .....	Alarme_temp_b		
	MAST Principale	TOP+1	W
%Q2.11 .....	MAST Principale	TOP+2	R
	Pwm_risc_b		
%Q2.11 .....	MAST Principale	TOP+1	Out(2)
	MAST Principale	TOP+2	W(5)

**MODULO @3**

VARIABILE	SIMBOLO		
	VARIABILE	ETICHETTA	USO
%IW3.0 .....	Reg_pot_a		
	MAST Principale	TOP	In(2)
%IW3.2 .....	Reg_pot_b		
	MAST Principale	TOP+1	In(2)

<b>Autore:</b>	<b>5 Riferimenti incrociati Ordinamento per variabile</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 5 - 2</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## **A.2 Controllo potenza con controllore progettato**

Si riporta il programma di controllo della potenza massima dei riscaldatori con il controllore di temperatura integrato nel PLC TSX 57103.

## CONFIGURAZIONE DEI RACK

Numero di rack: 0

Riferimento rack: TSX.RKY 6EX

Riferimento alimentazione: TSX.PSY 2600

Alloggiamento	Famiglia	Riferimento
0	Premium	TSX 57103
1	Digitale	TSX DEY 16D2
2	Digitale	TSX DSY 32T2K
3	I/O Analogici	TSX AEY 800
4	I/O Analogici	TSX ASY 800

<b>Autore:</b>	<b>3.1 Configurazione fisica</b> <b>3.1.1 Configurazione dei rack</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX 57103 [RACK 0 POSIZIONE 0]

### Identificazione del modulo:

**Codice prodotto:** TSX 57103  
**Indirizzo:** 000

**Designazione:** PROCESSORE TSX P 57103

### Caratteristiche memoria:

**RAM interna:** 32 KPAROLE

**Cartuccia:** NESSUNA

### Parametri dei task:

#### **Task MAST:**

**ciclico:** SI  
**periodo:** 0 ms  
**watchdog:** 250 ms

#### **Task FAST:**

**periodo:** 5 ms  
**watchdog:** 100 ms

### Modo di funzionamento:

**Run/Stop :** NO  
**Protezione memoria :** NO  
**Avvio automatico in Run:** NO  
**Azzeramento delle %Mwi su riavvio a freddo:** SI

<b>Autore:</b>	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.2 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX 57103 [RACK 0 POSIZIONE 0]

### Identificatore del modulo:

<b>Codice prodotto</b>	TSX 57103	<b>Designazione:</b>	PROCESSORE TSX P 57103
<b>Indirizzo:</b>	000	<b>Simbolo:</b>	

### Parametri del canale 0

<b>Assegnazione task/canale:</b>	<b>MAST</b>	<b>Simbolo canale:</b>	
<b>Tipo di canale:</b>	Porta terminale		
<b>Funzione specifica:</b>	CONNESSIONE UNI-TELWAY		
<b>Velocità trasm.:</b>	19200 bit/s	<b>Ritardo:</b>	30ms
<b>Tipo di modulo:</b>	Master	<b>Parità:</b>	dispari
<b>Numero di Slave:</b>	8		

### Parametri del canale 1

Canale non configurato

<b>Autore:</b>	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.2 - 2</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX DEY 16D2 [RACK 0 POSIZIONE 01]

### Identificatore del modulo

Rif. commerciale : TSX DEY 16D2      Designazione : 16I 24VCC SINK BL. TER.  
 Indirizzo : 01                              Simbolo :

### Parametri dei canali d'ingresso

Canale	Variabile	Simbolo	Err. alim.	Task
0	%I1.0	Automatico_a	Attivo	MAST
1	%I1.1	Gefran_a_on	Attivo	MAST
2	%I1.2		Attivo	MAST
3	%I1.3	Termostato_sicurezza_a	Attivo	MAST
4	%I1.4	Risc_a_on	Attivo	MAST
5	%I1.5	Risc_a_off	Attivo	MAST
6	%I1.6	Automatico_b	Attivo	MAST
7	%I1.7	Gefran_b_on	Attivo	MAST
8	%I1.8		Attivo	MAST
9	%I1.9	Termostato_sicurezza_b	Attivo	MAST
10	%I1.10	Risc_b_on	Attivo	MAST
11	%I1.11	Risc_b_off	Attivo	MAST
12	%I1.12		Attivo	MAST
13	%I1.13		Attivo	MAST
14	%I1.14		Attivo	MAST
15	%I1.15		Attivo	MAST

<b>Autore:</b>	<b>3.1 Configurazione fisica</b> <b>3.1.2 Parametri di moduli</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.1.2 - 3</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**TSX DSY 32T2K [RACK 0 POSIZIONE 02]****Identificatore del modulo**

Rif. commerciale : TSX DSY 32T2K Designazione : 320 24VCC 0,1A CON.  
 Indirizzo : 02 Simbolo :

**Parametri dei canali d'uscita**

Canale	Variabile	Simbolo	Err. alim.	Task	Riarmo	Mod. default	Pos. Sicur.
0	%Q2.0		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
1	%Q2.1	Automatico_led_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
2	%Q2.2	Risc_inserito_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
3	%Q2.3	Allarme_temp_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
4	%Q2.4	Pwm_potenza_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
5	%Q2.5	Pwm_contr_a	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
6	%Q2.6	Risc_a_tot	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
7	%Q2.7		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
8	%Q2.8		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
9	%Q2.9	Automatico_led_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
10	%Q2.10	Risc_inserito_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
11	%Q2.11	Allarme_temp_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
12	%Q2.12	Pwm_potenza_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
13	%Q2.13	Pwm_contr_b	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
14	%Q2.14	Risc_b_tot	Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
15	%Q2.15		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
16	%Q2.16		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
17	%Q2.17		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
18	%Q2.18		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
19	%Q2.19		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
20	%Q2.20		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
21	%Q2.21		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
22	%Q2.22		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
23	%Q2.23		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
24	%Q2.24		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
25	%Q2.25		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
26	%Q2.26		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
27	%Q2.27		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
28	%Q2.28		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
29	%Q2.29		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
30	%Q2.30		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0
31	%Q2.31		Attivo	MAST	Program.	Pos.sicur.	0

Autore:	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
Servizio:		Indice:
PLC destinazione: TSX 57103		Foglio: 3.1.2 - 4

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

### TSX AEY 800 [RACK 0 POSIZIONE 3]

**Identificazione del modulo:**

**Codice prodotto:** TSX AEY 800  
**Indirizzo:** 003

**Designazione:** 8 INGRESSI ANALOG.  
**Simbolo:**

**Parametri comuni**

**Tipo:** Ingresso  
**Ciclo :** Normale

**Controllo connessioni :** Inattivo

**Parametri dei canali**

Canale	Variabile	Simbolo	Campo	Scala	Min	Max	Filtraggio	Task	Usato
0	%IW3.0	Reg_pot_a	0..10V	%..	0	10000	0	MAST	SI
1	%IW3.1	Pt100_a	0..10V	User	0	2000	0	MAST	SI
2	%IW3.2	Reg_pot_b	0..10V	%..	0	10000	0	MAST	SI
3	%IW3.3	Pt100_b	0..10V	User	0	2000	0	MAST	SI
4	%IW3.4		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
5	%IW3.5		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
6	%IW3.6		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI
7	%IW3.7		+/-10V	%..	-10000	10000	0	MAST	SI

<b>Autore:</b>	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
<b>Servizio:</b>		Indice:
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		Foglio: 3.1.2 - 5

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## TSX ASY 800 [RACK 0 POSIZIONE 4]

### Identificazione del modulo:

Codice prodotto: TSX ASY 800  
Indirizzo: 004

Designazione: 8 USCITE ANALOG.  
Simbolo:

### Parametri comuni

Tipo: Uscita  
Alimentazione : Esterna

Controllo connessioni : Inattivo  
Controllo Alimentazione : Inattivo

### Parametri dei canali

Canale	Variabile	Simbolo	Campo	Min	Max	Inf.	Test.	Sup.	Test.	Task	Pos. secur/mantieni
0	%QW4.0		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
1	%QW4.1		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
2	%QW4.2		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
3	%QW4.3		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
4	%QW4.4		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
5	%QW4.5		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
6	%QW4.6		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0
7	%QW4.7		+/-10V	-10000	10000	-10500	Si	10500	Si	MAST	0

<b>Autore:</b>	3.1 Configurazione fisica 3.1.2 Parametri di moduli	Stampato il 07/05/2021
<b>Servizio:</b>		Indice:
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		Foglio: 3.1.2 - 6

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

### CONFIGURAZIONE BIT, PAROLE E BLOCCHI FUNZIONE

BITS		PAROLE		BLOCCHI FUNZIONE	
Interno (%M)	256	Interno (%MB,%MW,%MD,%MF)	512	Timer (%TM)	64
Sistema (%S)	128	Sistema (%SW,%SD)	256	Timer serie 7 (%T)	0
		Comune (%NW)	0	Monostabile(i) (%MN)	8
		Costanti (%KB,%KW,%KD,%KF)	128	Contatore(i) (%C)	32
				Registro(i) (%R)	4
				Drum (%DR)	8

<b>Autore:</b>	<b>3 Configurazione 3.2 Configurazione software</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 3.2 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## STRUTTURA APPLICAZIONE

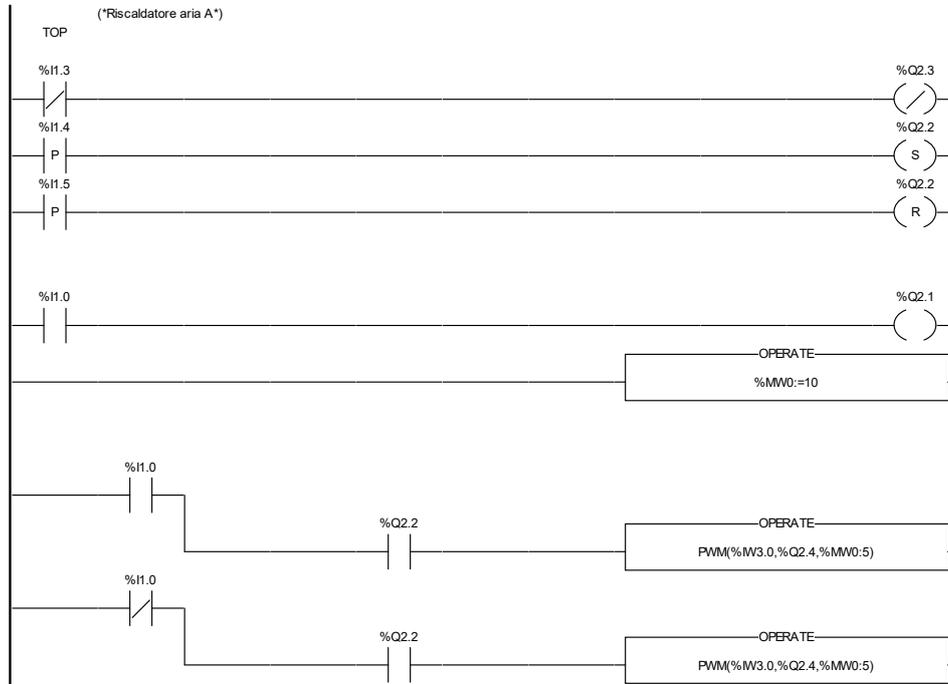
Task	Sezione	Modulo	Linguaggio
MAST	PRINCIPALE	PRINCIPALE	LADDER (LD)

<b>Autore:</b>	<b>4 Programma</b> <b>4.1 Struttura applicazione</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**

Commento:



Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%I1.3	Termostato_sicurezza_a	
%Q2.3	Alarme_temp_a	
%I1.4	Risc_a_on	
%Q2.2	Risc_inserito_a	
%I1.5	Risc_a_off	
%I1.0	Automatico_a	
%Q2.1	Automatico_led_a	
%MW0	Periodo_a	
%IW3.0	Reg_pot_a	
%Q2.4	Pwm_potenza_a	



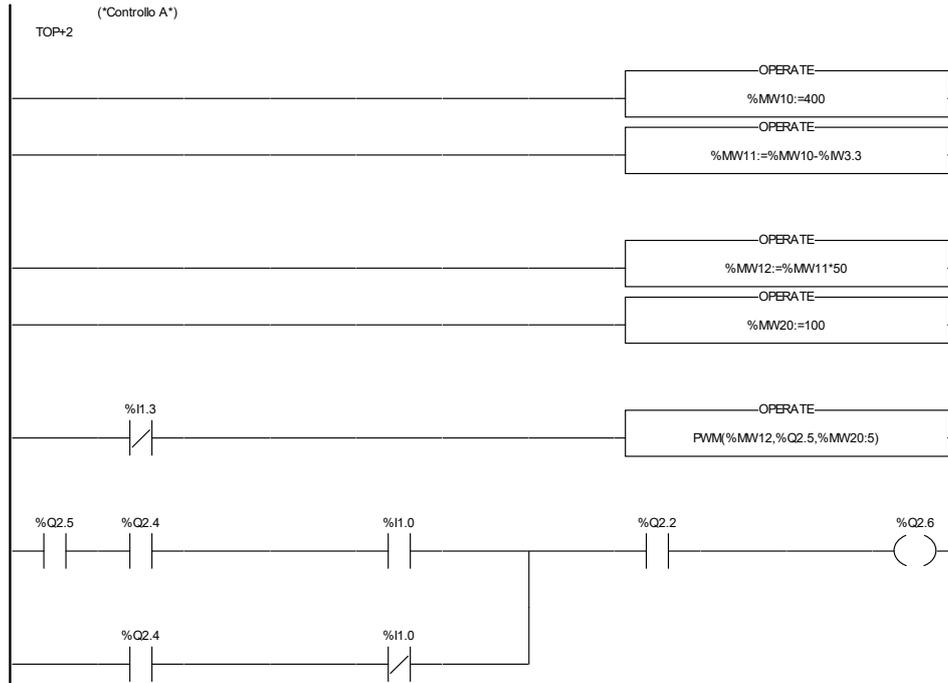
<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**

Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%Q2.2	Risc_inserito_a	
%Q2.4	Pw_m_potenza_a	
%Q2.3	Alarme_temp_a	
%I1.0	Automatico_a	
%I1.1	Gefran_a_on	

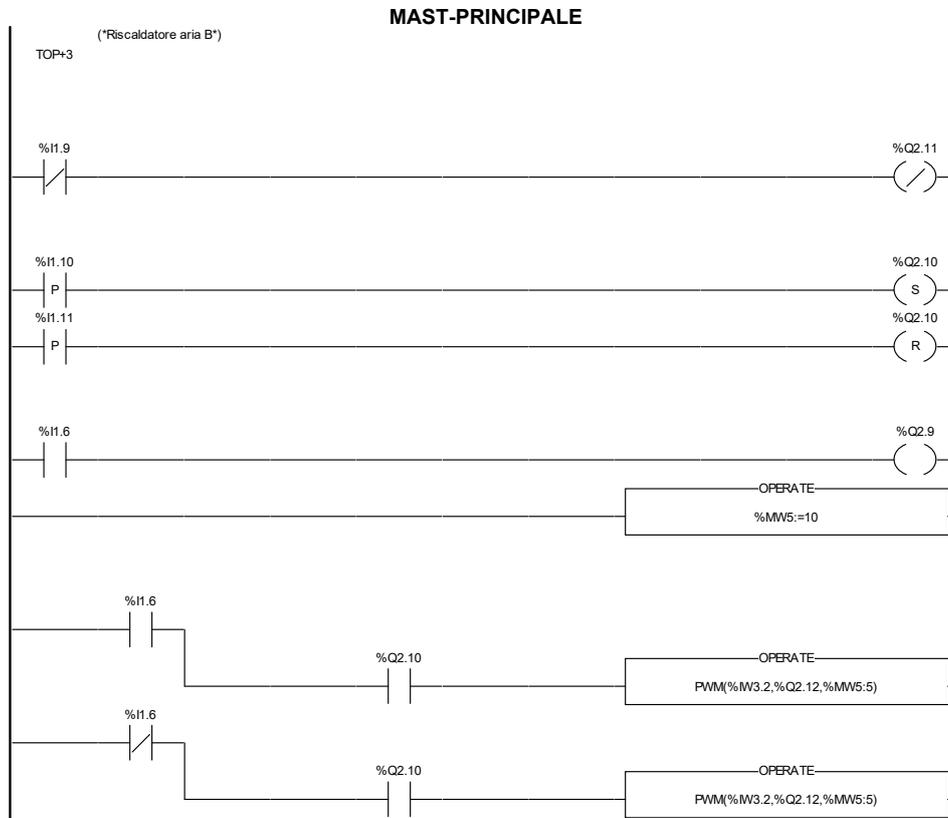


Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%MW10	Temp_impostata_decimi_grado_a	
%IW3.3	Pt100_b	
%MW11	Errore_a	
%MW12	Uscita_prop_a	
%MW20	Periodo_a_contr	
%I1.3	Termostato_sicurezza_a	
%Q2.5	Pw_m_contr_a	
%Q2.4	Pw_m_potenza_a	
%I1.0	Automatico_a	
%Q2.2	Risc_inserito_a	
%Q2.6	Risc_a_tot	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 2</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.



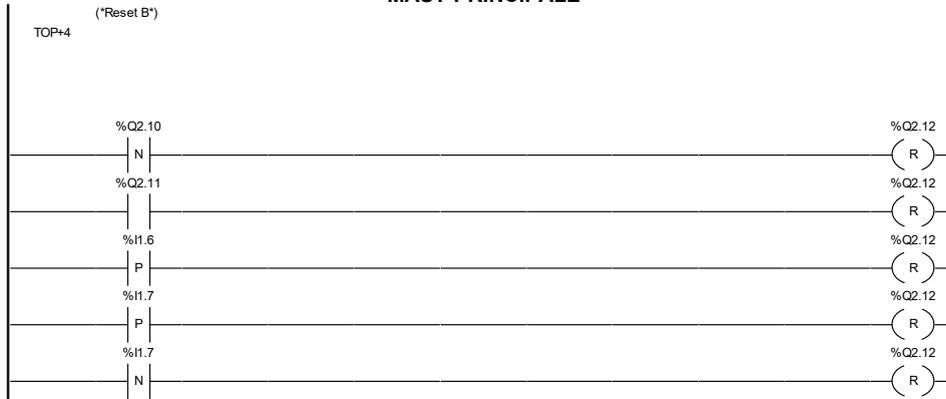
Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABLE	SIMBOLO	COMMENTO
%I1.9	Termostato_sicurezza_b	
%Q2.11	Allarme_temp_b	
%I1.10	Risc_b_on	
%Q2.10	Risc_inserito_b	
%I1.11	Risc_b_off	
%I1.6	Automatico_b	
%Q2.9	Automatico_led_b	
%MW5	Periodo_b	
%IW3.2	Reg_pot_b	
%Q2.12	Pwm_potenza_b	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 3</b>

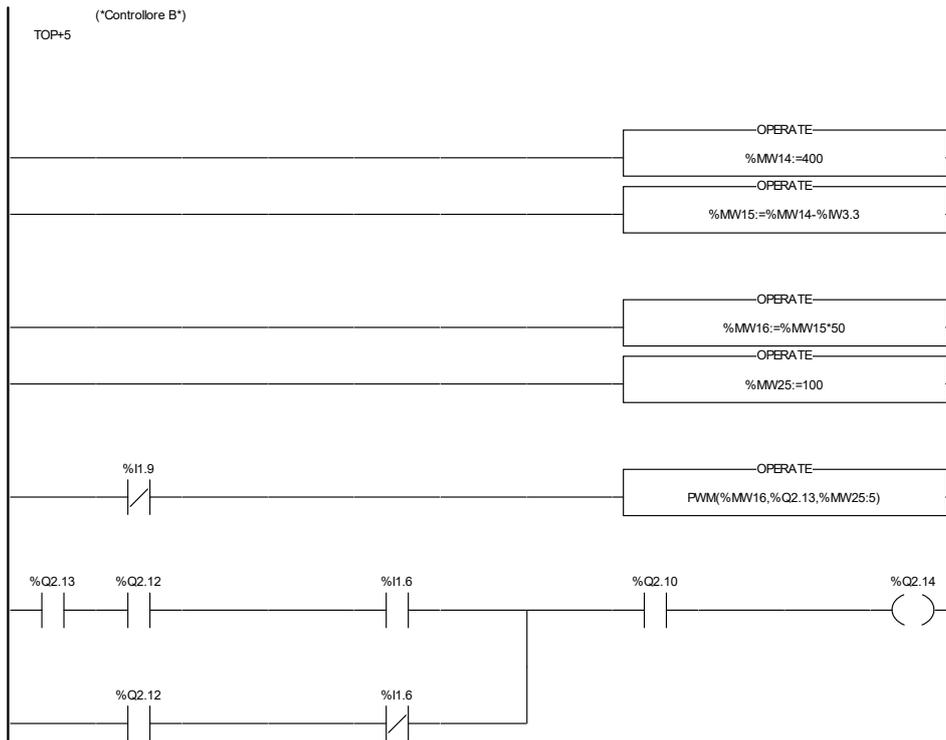
Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**



Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABILE	SIMBOLO	COMMENTO
%Q2.10	Fisc_inserito_b	
%Q2.12	Pw_m_potenza_b	
%Q2.11	Allarme_temp_b	
%I1.6	Automatico_b	
%I1.7	Gefran_b_on	



<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 4</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

**MAST-PRINCIPALE**

Lista di Variabili utilizzate nel rung:

VARIABLE	SIMBOLO	COMMENTO
%MW14	Temp_impostata_decimi_grado_b	
%MW3.3	Pt100_b	
%MW15	Errore_b	
%MW16	Uscita_prop_b	
%MW25	Periodo_b_contr	
%I1.9	Termostato_sicurezza_b	
%Q2.13	Pwm_contr_b	
%Q2.12	Pwm_potenza_b	
%I1.6	Automatico_b	
%Q2.10	Risc_inserito_b	
%Q2.14	Risc_b_tot	

<b>Autore:</b>	<b>4.2.1 Sezioni</b> <b>4.2.1.1 MAST-Principale</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 4.2.1.1 - 5</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

Codice sorgente PLC

**PAROLA/E INTERNA/E**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%MW0 .....	Periodo_a MAST	Principale	TOP	W
%MW0:5 .....	MAST	Principale	TOP	In/Out(2)
%MW5 .....	Periodo_b MAST	Principale	TOP+3	W
%MW5:5 .....	MAST	Principale	TOP+3	In/Out(2)
%MW10 .....	Temp_impostata_decimi_grado_a MAST MAST	Principale Principale	TOP+2 TOP+2	W R
%MW11 .....	Errore_a MAST MAST	Principale Principale	TOP+2 TOP+2	W R
%MW12 .....	Uscita_prop_a MAST MAST	Principale Principale	TOP+2 TOP+2	W In
%MW14 .....	Temp_impostata_decimi_grado_b MAST MAST	Principale Principale	TOP+5 TOP+5	W R
%MW15 .....	Errore_b MAST MAST	Principale Principale	TOP+5 TOP+5	W R
%MW16 .....	Uscita_prop_b MAST MAST	Principale Principale	TOP+5 TOP+5	W In
%MW20 .....	Periodo_a_contr MAST	Principale	TOP+2	W
%MW20:5 .....	MAST	Principale	TOP+2	In/Out
%MW25 .....	Periodo_b_contr MAST	Principale	TOP+5	W
%MW25:5 .....	MAST	Principale	TOP+5	In/Out

**MODULO @1**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%I1.0 .....	Automatico_a MAST MAST MAST	Principale Principale Principale	TOP TOP+1 TOP+2	R(3) R R(2)
%I1.1 .....	Gefran_a_on MAST	Principale	TOP+1	R(2)
%I1.3 .....	Termostato_sicurezza_a MAST MAST	Principale Principale	TOP TOP+2	R R
%I1.4 .....	Risc_a_on MAST	Principale	TOP	R
%I1.5 .....	Risc_a_off MAST	Principale	TOP	R
%I1.6 .....	Automatico_b MAST MAST MAST	Principale Principale Principale	TOP+3 TOP+4 TOP+5	R(3) R R(2)
%I1.7 .....	Gefran_b_on			

<b>Autore:</b>	<b>5 Riferimenti incrociati Ordinamento per variabile</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>	
<b>Servizio:</b>			<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>			<b>Foglio: 5 - 1</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

A.2 – Controllo potenza con controllore progettato

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
	MAST	Principale	TOP+4	R(2)
%I1.9 .....	Termoslato_sicurezza_b			
	MAST	Principale	TOP+3	R
	MAST	Principale	TOP+5	R
%I1.10 .....	Risc_b_on			
	MAST	Principale	TOP+3	R
%I1.11 .....	Risc_b_off			
	MAST	Principale	TOP+3	R

**MODULO @2**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%Q2.1 .....	Automatico_led_a			
	MAST	Principale	TOP	W
%Q2.2 .....	Risc_inserito_a			
	MAST	Principale	TOP	W(2)
	MAST	Principale	TOP	R(2)
	MAST	Principale	TOP+1	R
	MAST	Principale	TOP+2	R
%Q2.3 .....	Allarme_temp_a			
	MAST	Principale	TOP	W
	MAST	Principale	TOP+1	R
%Q2.4 .....	Pwm_potenza_a			
	MAST	Principale	TOP	Out(2)
	MAST	Principale	TOP+1	W(5)
	MAST	Principale	TOP+2	R(2)
%Q2.5 .....	Pwm_contr_a			
	MAST	Principale	TOP+2	Out
	MAST	Principale	TOP+2	R
%Q2.6 .....	Risc_a_tot			
	MAST	Principale	TOP+2	W
%Q2.9 .....	Automatico_led_b			
	MAST	Principale	TOP+3	W
%Q2.10 .....	Risc_inserito_b			
	MAST	Principale	TOP+3	W(2)
	MAST	Principale	TOP+3	R(2)
	MAST	Principale	TOP+4	R
	MAST	Principale	TOP+5	R
%Q2.11 .....	Allarme_temp_b			
	MAST	Principale	TOP+3	W
	MAST	Principale	TOP+4	R
%Q2.12 .....	Pwm_potenza_b			
	MAST	Principale	TOP+3	Out(2)
	MAST	Principale	TOP+4	W(5)
	MAST	Principale	TOP+5	R(2)
%Q2.13 .....	Pwm_contr_b			
	MAST	Principale	TOP+5	Out
	MAST	Principale	TOP+5	R
%Q2.14 .....	Risc_b_tot			
	MAST	Principale	TOP+5	W

**MODULO @3**

VARIABILE	SIMBOLO		ETICHETTA	USO
	VARIABILE			
%IW3.0 .....	Reg_pot_a			
	MAST	Principale	TOP	In(2)
%IW3.2 .....	Reg_pot_b			
	MAST	Principale	TOP+3	In(2)
%IW3.3 .....	Pt100_b			

<b>Autore:</b>	<b>5 Riferimenti incrociati Ordinamento per variabile</b>	<b>Stampato il 07/05/2021 Indice: Foglio: 5 - 2</b>
<b>Servizio:</b>		
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

Codice sorgente PLC

---

VARIABILE	SIMBOLO		
	VARIABILE	ETICHETTA	USO
	MAST Principale	TOP+2	R
	MAST Principale	TOP+5	R

<b>Autore:</b>	<b>5 Riferimenti incrociati</b> <b>Ordinamento per variabile</b>	<b>Stampato il 07/05/2021</b>
<b>Servizio:</b>		<b>Indice:</b>
<b>PLC destinazione: TSX 57103</b>		<b>Foglio: 5 - 3</b>

Questo documento è di proprietà della società XXX e non può essere riprodotto o comunicato senza la sua autorizzazione preventiva.

## Appendice B

# Codice sorgente Matlab

Nell'Appendice B si riporta il codice Matlab utilizzato per la costruzione del modello del riscaldatore, per la progettazione del sistema di controllo e per la creazione dei grafici precedentemente descritti. Il file Simulink creato non viene riportato negli allegati, ma gli schemi a blocchi principali sono già stati illustrati nel capitolo "Simulazione sistema con controllore".

---

09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 1 of 8

---

```

%% ----- Parametri R e C Riscaldatore -----
clear all; close all; clc

%----- R -----
% Isolante K-Flex Volume

conduttivita_k= 0.036; % W/(m*K)
spessore_k= 0.019; % m
trasmissione_specifica_k= conduttivita_k/spessore_k; % W/✓
(m^2*K)
superficie_k= 10; % m^2
trasmissione_tot_k= trasmissione_specifica_k*superficie_k; % W/K
resistenza_tot_k=1/trasmissione_tot_k;

% Compensato (Esempio Pino)

conduttivita_comp= 0.13; % W/(m*K)
spessore_comp= 0.02; % m
trasmissione_specifica_comp= conduttivita_comp/spessore_comp; ✓
% W/(m^2*K)
superficie_comp= 10; % m^2
trasmissione_tot_comp= trasmissione_specifica_comp*superficie_comp; ✓
% W/K
resistenza_tot_comp=1/trasmissione_tot_comp; % K/W

% Volume: compensato_K + Flex

resistenza_tot_vol_comp_K= resistenza_tot_k + resistenza_tot_comp; % ✓
K/W

%----- Isolante K-Flex Tubi -----

conduttivita_k_tubi= 0.036; % W/(m*K)
spessore_k_tubi= 0.019; % m
trasmissione_specifica_k_tubi= conduttivita_k_tubi/spessore_k_tubi; ✓
% W/(m^2*K)
superficie_k_tubi= 2*pi*0.08*3 + 2*pi*0.18*2; % m^2

trasmissione_tot_k_tubi= ✓
trasmissione_specifica_k_tubi*superficie_k_tubi; % W/K
resistenza_tot_k_tubi=1/trasmissione_tot_k_tubi;

% Tubi acciaio

```

---

09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 2 of 8

---

```

conduttivita_tubi= 15; % W/(m*K)
spessore_tubi= 0.002; % m
trasmissione_specifica_tubi= conduttivita_tubi/spessore_tubi; ✓
% W/(m^2*K)
superficie_tubi=2*pi*0.08*3 + 2*pi*0.18*2; % m^2

trasmissione_tot_tubi= trasmissione_specifica_tubi*superficie_tubi; ✓
% W/K
resistenza_tot_tubi=1/trasmissione_tot_tubi; % K/W

% Tubi SCOPERTI

conduttivita_tubi= 0.15; % W/(m*K)
spessore_tubi= 0.002; % m
trasmissione_specifica_tubi= conduttivita_tubi/spessore_tubi; ✓
% W/(m^2*K)
superficie_tubi_scoperti=2*pi*0.08*2; % m^2

trasmissione_tot_tubi_scoperti= ✓
trasmissione_specifica_tubi*superficie_tubi_scoperti; % W/K
resistenza_tot_tubi_scoperti=1/trasmissione_tot_tubi_scoperti; % ✓
K/W

% Tubi: Acciaio + K-Flex

resistenza_tot_tubi_piu_K= resistenza_tot_tubi + ✓
resistenza_tot_k_tubi; % K/W
trasmissione_tot_tubi_piu_K=1/resistenza_tot_tubi_piu_K;
% Somma trasmissioni Volume+tubi

trasmissione_tot_A= 1/resistenza_tot_vol_comp_K + ✓
trasmissione_tot_tubi_piu_K + trasmissione_tot_tubi_scoperti;

resistenza_tot_vol_A= 1/trasmissione_tot_A;

% ----- C -----

cp_aria=1005; % J/(kg*K) calore specifico aria
dens_aria= 1.225; % Kg/(m^3) densità aria
V_aria_cassa=2; % m^3
V_aria_tubi=0.08^2*pi*3 + 0.18^2*pi*2 ; % m^3
V_cabina_aria_tot=V_aria_tubi + V_aria_cassa;

```

---

 09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 3 of 8
 

---

```

C_aria= V_cabina_aria_tot*cp_aria*dens_aria;    % capacità termica✓
[J/K] oppure [W*s/K]

cp_compensato=1.03;          % J/(kg*K)  calore specifico legno pino
dens_compensato= 400;       % Kg/(m^3)  densità compensato
V_compensato=10*0.02;      % m^3
C_compensato= V_compensato*cp_compensato*dens_compensato;    %✓
capacità termica [J/K] oppure [W*s/K]

cp_resistenze=502;         % J/(kg*K)  calore specifico acciaio inox
dens_resistenze= 7900;     % Kg/(m^3)  densità acciaio inox
V_resistenze=0.002;       % m^3
C_resistenze= V_resistenze*cp_resistenze*dens_resistenze;    %✓
capacità termica [J/K] oppure [W*s/K]

cp_acciaio_tubi=502;       % J/(kg*K)  calore specifico acciaio✓
inox
dens_acciaio_tubi= 7900;   % Kg/(m^3)  densità acciaio inox
V_acciaio_tubi=0.002;     % m^3
C_acciaio_tubi= V_acciaio_tubi*cp_acciaio_tubi*dens_acciaio_tubi;    %✓
capacità termica [J/K] oppure [W*s/K]

C=C_compensato + C_aria + C_resistenze + C_acciaio_tubi

%% ----- Controllo -----
close all; clc

s=tf('s');

max_potenza=15000;

R= resistenza_tot_vol_A; % resistenza termica

T_esterna = 20; %in °C
Temp_des = 100; %in °C

%----- G(s): Attuatore + processo -----

Ts= 0.27;          % time sampling dato da media di 10 valori con✓
input_scan=27ms
tau_G= R*C
Gs= (R/(1+tau_G*s) )          % da verificare

```

---

09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 4 of 8

---

```

DC_gain_Gs= 20*log10(dcgain(Gs));    %DC gain dell'attuatore + processo

[Gs_num, Gs_den] = tfdata(Gs);

% Gs_z=c2d(Gs,Ts,'zoh');
% [Gs_z_num, Gs_z_den]=tfdata(Gs_z,'V');

figure(7)
bode(Gs)
title("Gs: Impianto")
grid
%----- H(s):  Sensore  -----

tau_sens=8    %s

Hs= 1/(1+tau_sens*s)    %funz trasf sensore
[Hs_num, Hs_den] = tfdata(Hs);

Hs_z=c2d(Hs,Ts,'zoh');
[Hs_z_num, Hs_z_den]=tfdata(Hs_z,'V');

%----- HB(s):  5B  -----

banda_5B=4;          %Hz
tau_5B= banda_5B^-1  %secondi

K_5B=1/40;
H5B= K_5B/(1+tau_5B*s)    %funz trasf 5B
[H5B_num, H5B_den] = tfdata(H5B);

H5B_z=c2d(H5B,Ts,'zoh');
[H5B_z_num, H5B_z_den]=tfdata(H5B_z,'V');

%----- HPLC(s):  PLC  -----

HPLC= tf(40,1);    %funz trasf PLC
HPLC_z=c2d(HPLC,Ts,'zoh')
[HPLC_z_num, HPLC_z_den]=tfdata(HPLC_z,'V');

%----- HTot(s):  totale di sensore+5B+PLC  -----

HTot= Hs*H5B*HPLC    %funz trasf sensore+5B+PLC

```

---

 09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 5 of 8
 

---

```

HTot_z=c2d(HTot,Ts,'zoh');
[HTot_z_num, HTot_z_den]=tfdata(HTot_z,'V');

figure(8)
bode(HTot)
hold on
bode(HTot_z)
title("Htot: Pt100+5B+PLC")
legend("Tempo Continuo","Tempo discreto")
grid
%-----Controllore -----
Kp=200;
Ki=Kp*abs(pole(Gs)); % per avere zero-pole cancellation

G_PI= (Kp*s +Ki)/s

%----- Incertezza quantizzazione PLC -----

max_meas_PLC= 10; %V
min_meas_PLC= 0; %V
n_bit_PLC=12;

quant_error_PLC= (max_meas_PLC-min_meas_PLC)/(2^n_bit_PLC)

%% ----- simulink -----

open_system('Controllo_Temp')
a = sim('Controllo_Temp');

Temp_con_controllo = a.get('Temp_con_controllo');
assignin('base','b',Temp_con_controllo);

time=linspace(1,2000,length(Temp_con_controllo));
figure(4)
h= plot(time,Temp_con_controllo)
set(h,'linewidth',2')
set(gca,'fontsize',14)
xlabel("Tempo(s)")
ylabel("Temperatura (°C)")
grid on
title("Andamento tempertura con controllore PI")

```

---

09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 6 of 8

---

```
Temp_senza_controllo = a.get('Temp_senza_controllo');
assignin('base','c',Temp_senza_controllo);

figure(5)
h=plot(time,Temp_senza_controllo)
set(h,'linewidth',2')
set(gca,'fontsize',14)
xlabel("Tempo (s)")
ylabel("Temperatura (°C)")
grid on
title("Dinamica con massima potenza riscaldante, anello aperto ")

Errore = a.get('Errore');
assignin('base','d',Errore);

figure(6)

time_err=linspace(1,2000,length(Erore));
h=plot(time_err,Errore)
set(h,'linewidth',2')
set(gca,'fontsize',14)
xlabel("Tempo (s)")
ylabel("Temperatura (°C)")
grid on
title("Andamento errore con step 20-100 °C")

uscita_sat = a.get('Uscita_saturata');
assignin('base','d',uscita_sat);

figure(7)
h=plot(time,uscita_sat)
set(h,'linewidth',2')
set(gca,'fontsize',14)
xlabel("Tempo (s)")
ylabel("P (W)")
grid on
title("Potenza fornita dal controllore con step 20-100 °C")

%% ----- Plot Bode continuous time ✓
-----
%%-----Bode H-----
```

---

 09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 7 of 8
 

---

```

figure(1)
bode(Hs,H5B,HPLC_z,HTot)
grid on
legend("H_{Pt100}", "H_{5B} ", "H_{PLC}(z) ", "H_{Tot}")
title("Misura, condizionamento, acquisizione")
set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',2)

%-----Bode Anello chiuso e aperto-----

G= G_PI* Gs* HTot

W= G/(1+G*1);
W= minreal(W)

figure(2)
grid on
bode(W)
hold on
bode(G)
margin(G)
legend("W --> anello chiuso", "G --> anello aperto")
set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',2)

%-----Bode Con controllore-----

figure(12)
grid on
bode(Gs)
hold on
bode(G_PI)
legend("Gs --> Impianto", "G_PI --> controllore")
set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',2)
grid on
title("Corrispondenza zero del controllore con polo principale")
h = gcr
setoptions(h, 'FreqUnits', 'Hz')
%% ----- Plot Bode discrete time -----

G_PI_z=c2d(G_PI,Ts, 'zoh');

G_open= G_PI* Gs* HTot
G_open_z= c2d(G_open,Ts, 'zoh')

W= G/(1+G*1);

```

09/07/21 15.04 C...\Controllo temperatura.m 8 of 8

```
W_z= c2d(W,Ts,'zoh');
%W_z= minreal(zpk(W_z))

figure(3)
bode(Gs_z)
hold on
grid on
bode(G_PI_z)
hold on
bode(Hs_z)
hold on
bode(HTot_z)
hold on
bode(W_z)
hold on
bode(G_open_z)
legend("Gs(z) --> Attuatore + processo","G_PI(z) --> Controllore","Hs
(z) --> Pt100","HTot(z) --> Acquisizione","W(z) --> anello chiuso","G_
{open}(z) --> anello aperto")
set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',2)

%% ----- PROVA open loop con solo Gs -----

figure(55)
bode(R*Ki/s);
hold on
bode(Gs*G_PI)

legend("R*Ki/s","Controllore + Impianto")
```



# Bibliografia

- [1] Gianfranco Cattabriga, *Valvola d'espansione termostatica funzionamento, applicazioni, selezione*, Ottobre 2015.
- [2] Gianfranco Cattabriga, *Stabilità interna e analisi della risposta*, Ottobre 2015.
- [3] Luigi Crovini, *Misure di Temperatura*, Luglio 1986.
- [4] Luigi Mascolo, *Nozioni fondamentali di tecnica Aeronautica*
- [5] Ladispe-Polito, *Risposte sistemi I II ordine*
- [6] Analog Devices, *The 5B series user's manual*, 1987.
- [7] Giorgi Giorgio, *Impianti di bordo*, 2007.
- [8] Cesare Saccani, Augusto Bianchini, Marco Pellegrini, Alessandro Guzzini, *Misuratori di temperatura*.
- [9] Risatti instruments, <http://www.risatti.it/collaudifunzionali/misura-resistenza-ohmica>
- [10] <https://www.lakeshore.com/docs/default-source/product-downloads/f038-00-00.pdf?sfvrsn=f24186e93>
- [11] <https://datasheetspdf.com/pdf/900325/Baumer/Pt100/1>
- [12] [https://www.tertid.it/files/documentoprodotto/2020/1\\_Termoresistenze\\_uP7ULK.pdf](https://www.tertid.it/files/documentoprodotto/2020/1_Termoresistenze_uP7ULK.pdf)
- [13] <https://www.dataforth.com/isolated-signal-conditioners.aspx>