



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica
Dicembre 2021

Implementazione Hardware e Software di nuove funzionalità per il Banco Prova Servocomandi Volo

Acquisizione di segnali di tensione e corrente da motore elettrico
trifase

Relatori:

Sorli Massimo
Gaidano Matteo
De Martin Andrea
Mauro Stefano

Candidato:

Romanini Riccardo

Abstract

Nell'attività progettuale i fattori legati alla affidabilità e sicurezza sono fondamentali e assumono tanta più rilevanza quanto più l'ambito che le riguarda coinvolge direttamente l'incolumità delle persone, un esempio su tutti potrebbe essere l'aeromobile commerciale. Applicazioni di questo genere richiedono standard di affidabilità e sicurezza elevatissimi, di modo tale che la probabilità che si verifichi un guasto sia prossima allo zero.

A tale scopo è stato realizzato un banco per condurre prove su attuatori di comandi di volo elettromeccanici, che ha lo scopo di valutare lo stato di salute, l'affidabilità e la sicurezza di questi ultimi effettuando test su attuatori opportunamente degradati artificialmente o sbarcati dopo un percorso di vita operativa.

Per poter ottenere informazioni riguardo ai concetti sopra citati è necessario monitorare i segnali in uscita dal banco, questo è stato possibile inserendo sensori e moduli che hanno il compito rispettivamente di rilevare ed acquisire la grandezza di interesse.

In questa specifica tesi è stato costruito un codice in ambiente *Labview*, che va a completare quello preesistente. Il codice aggiornato ora permette di acquisire da due nuovi moduli (NI 9223), installati sul c-RIO 9039, i segnali di tensione e di corrente dal motore elettrico trifase, che movimentata l'attuatore elettromeccanico. I segnali acquisiti vengono poi mostrati in una interfaccia utente presente su PC e possono anche essere salvati su file. Oltre all'implementazione Hardware e Software è stato svolto un lavoro di documentazione riguardo il tema della prognostica negli attuatori elettromeccanici e tutti i componenti del banco descrivendone le caratteristiche e le funzionalità.

SOMMARIO

INDICE DELLE FIGURE	6
INDICE DELLE TABELLE.....	9
SIMBOLOGIA	10
1. CAPITOLO 1- INTRODUZIONE.....	11
2. CAPITOLO 2 - PANORAMICA DEL BANCO	15
3. CAPITOLO 3 - COMPONENTI	18
3.1 Componenti interni al banco	19
3.1.1 Attuatore Idraulico (HLA).....	19
Corsa dello stelo	20
Area di spinta.....	20
Forza di stallo teorica	20
3.1.2 Servovalvola (SV).....	21
Portata nominale.....	23
Ricoprimento	24
3.1.3 Valvola di shut-off (SOV).....	24
3.1.4 Attuatore elettromeccanico e servomotore (LEMC).....	24
3.1.4.1 Attuatore elettromeccanico (EMA).....	26
3.1.4.2 Servomotore Lenze	27
Motori elettrici.....	27
Motore Brushless	29
Motore Brushless DC trifase	30
Motore Brushless AC trifase	31
3.1.4.3 Sistema di trasmissione	33
3.1.5 Sensoristica.....	35
3.1.5.1 Cella di carico LC-METIOR CVC 50 KN	35
3.1.5.2 Trasduttore di velocità LVT-TRANSTEK	36
3.1.5.3 Encoder angolare incrementale AE- RENISHAW	37
3.1.5.4 Sensori di pressione-GEFRAIN TPSA.....	38
3.1.5.5 Rack Tensione-Corrente	38
3.1.5.6 Sensori di corrente DaniSense DS50UB-10V	40
3.1.5.7 Sensore di tensione VeriVolt IsoBlock-V4c.....	40
3.2 Componenti di integrazione al banco	41
3.2.1 ACC (Acquisition and Control Cabinet)	42
Layout ACC.....	42
Comunicazioni ACC.....	43
3.2.2 User station (US)	45
3.3 Hardware di controllo e acquisizione.....	46

3.3.1	Panoramica	46
3.3.2	c-RIO 9039	46
3.3.3	Modulo di input analogico NI 9205 (Segnale LVT)	47
3.3.4	Modulo di misura universale NI 9218 (Segnale LC)	48
3.3.5	Modulo di output analogico NI 9263 (Comando SV)	49
3.3.6	Modulo I/O digitale NI 9401 (Segnale AE)	49
3.3.7	Modulo I/O digitale NI 9375	50
3.3.8	Modulo relè NI 9482 (Comando SOV)	51
3.3.9	2x Modulo analogico NI 9223 (Tensione e corrente motore elettrico)	51
3.3.10	Servo-Drive Lenze 9400 (DEMA)	52
	Resolver RV03	54
	Funzionamento Driver	54
4.	CAPITOLO 4 - LABVIEW	57
4.1	Introduzione a Labview	57
4.2	Architettura dell'applicazione	58
4.2.1	Codice FPGA	59
4.2.1.1	MAIN FPGA VI	59
	Initialization, acquisition and control loop	60
	Angular Encoder Reading loop	61
	Security and Booleans Management loop	63
	To RT Target loop	64
	Electrical signal acquisition loop	64
4.2.2	Codice RT TARGET (c-RIO 9039)	65
4.2.2.1	Codice RT TARGET (c-RIO 9039)	68
	Initialization loop	69
	Enable/disable parameters loop	70
	Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop	71
	FPGA Booleans Management loop	71
	Generation loop	72
	Acquired Signals DMA Reading e Network Stream: Data to Host	74
4.2.3	Codice HOST (Windows PC)	77
4.2.3.1	Interfaccia utente (Front panel)	77
	Target Connection	79
	ACC State	79
	SET Signals Type	80
	SET Generator	80
	Data Logging	80
	Slider	81
	Stop Host Interface	81
	Load Control Parameters e NET enable	82
	Update Graphs	82
4.2.3.2	MAIN HOST VI	83
	Inizializzazione	84
	Main Event Case Structure loop & Update Graphs loop	84
	Shared Variables To RT MAIN loop	88
	Network Stream: RT to HOST & Data Logging loop	88
	Update Units loop	91

5. CAPITOLO 5 – PROVE DI VERIFICA DELLA FUNZIONALITÀ DEL CODICE	92
Variazione della frequenza	94
Variazione dell'ampiezza	96
Variazione della forma dell'onda	98
6. CAPITOLO 6 – SVILUPPI FUTURI	100
7. CAPITOLO 7 - CONCLUSIONI	103
APPENDICE A: CODICE LABVIEW	105
APPENDICE B: MANUALE DI ACCENSIONE ED UTILIZZO DEL BPSV	124
APPENDICE C: MANUALE DI ACCENSIONE CENTRALE IDRAULICA.....	147
BIBLIOGRAFIA.....	155

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-Comandi di volo primari e secondari	12
Figura 2- Banco prova Astib	15
Figura 3-Schema a blocchi banco Astib.....	16
Figura 4-Armadio di controllo e acquisizione e postazione utente	17
Figura 5-Attuatore idraulico.....	17
Figura 6-Centrale idraulica	18
Figura 7-Manifold.....	18
Figura 8-Schema impianto idraulico	19
Figura 9-Forza di stallo	20
Figura 10-Servovalvola (SV).....	21
Figura 11-Torque motor.....	22
Figura 12-Flapper nozzle	22
Figura 13-Valvola a cassetto e feedback meccanico	22
Figura 14-Simbolo servovalvola	23
Figura 15-Caduta di pressione sulle bocche di andata e di ritorno della servovalvola.....	23
Figura 16-Ricoprimenti delle valvole.....	24
Figura 17-Simbolo valvola di shut-off.....	24
Figura 18-Schema a blocchi LEMC	25
Figura 19-LEMC.....	25
Figura 20-Identificativo di targa LEMC.....	26
Figura 21-Schema di un motore elettrico	28
Figura 22-Schema di un motore elettrico DC.....	28
Figura 23-Disposizione dei magneti permanenti nei motori Brushless.....	29
Figura 24-Disposizione degli avvolgimenti in uno statore.....	29
Figura 25-Disposizione degli avvolgimenti e fasi di un Brushless DC	31
Figura 26-Fasi di un motore Brushless AC.....	32
Figura 27-Caratteristica di coppia Brushless AC.....	32
Figura 28-Andamento tensione e corrente di un motore Brushless AC.....	33
Figura 29-Vista laterale LEMC	33
Figura 30-Sistema di trasmissione a cinghia e due pulegge	34
Figura 31-Modello con rulli satelliti	35
Figura 32-Cella di carico LC-METIOR CVC 50 KN	36
Figura 33-Trasduttore di velocità LVT-TRANSTEK	36
Figura 34-Encoder angolare incrementale AE- RENISHAW	37
Figura 35-Sensori di pressione-GEFRAIN TPSA.....	38
Figura 36-Schema del RACK	38
Figura 37-Schema attuale del Rack (non definitivo).....	39
Figura 38-Rack vista interna.....	40
Figura 39- Sensore di corrente.....	40
Figura 40-Sensore di tensione	41
Figura 41-Componenti dell'intero banco prova	41
Figura 42-ACC vista interna e posteriore	42
Figura 43-Pannello di controllo elettromeccanico	43
Figura 44-Comunicazione ACC-Postazione utente.....	44

Figura 45-Comunicazione ACC-Banco prova.....	44
Figura 46-Comunicazione Rack-ACC	45
Figura 47-Comunicazione ACC-Armadio di potenza	45
Figura 48-Postazione utente	46
Figura 49- C-RIO 9039	47
Figura 50-Modulo di input analogico NI 9205 (Segnale LVT)	48
Figura 51-Modulo di misura universale NI 9218 (Segnale LC).....	48
Figura 52-Modulo di output analogico NI 9263 (Comando SV)	49
Figura 53-Modulo I/O digitale NI 9401 (Segnale AE).....	50
Figura 54-Modulo I/O digitale NI 9375	50
Figura 55-Modulo relè NI 9482 (Comando SOV).....	51
Figura 56-Modulo analogico NI 9223 (Tensione e corrente motore elettrico)	51
Figura 57-Servo-Driver Lenze 9400 (DEMA).....	52
Figura 58-Componenti del Driver.....	53
Figura 59-Controllo EMA.....	53
Figura 60-Resolver RV03	54
Figura 61-Schema generale Driver.....	55
Figura 62-Percorso della corrente	55
Figura 63-Funzionamento PWM	56
Figura 64-Schema di comunicazione tra i vari ambienti Labview.....	58
Figura 65-Comunicazione FPGA VI RT VI.....	59
Figura 66-Initialization, acquisition and control loop.....	61
Figura 67-Loop di inizializzazione memorie	61
Figura 68-Segnali prodotti dall'encoder	62
Figura 69-Angular Encoder Reading loop.....	63
Figura 70-Security and Booleans Management loop	64
Figura 71-To RT Target loop.....	64
Figura 72-Electrical signal acquisition loop	65
Figura 73-Comunicazioni dell'RT target	66
Figura 74-Funzioni di interfacciamento tra FPGA e RT.....	66
Figura 75-Principio di funzionamento DMA FIFO.....	67
Figura 76-Network Published Shared Variables	67
Figura 77-Network Streams: Endpoint Reader e Writer	68
Figura 78-Fase 1: inizializzazione	69
Figura 79-Fase 2: Apertura della referenza dell'FPGA VI	69
Figura 80-Fase 3: inizializzazione Shared Variables.....	70
Figura 81- Caso falso: disabilitazione comandi	70
Figura 82-Caso vero: abilitazione comandi	71
Figura 83-Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop	71
Figura 84-FPGA Booleans Management loop	72
Figura 85-Caso falso: impostazione dei SET mediante slider	72
Figura 86-Caso vero: caricamento dei SET customizzati	73
Figura 87-Gestione del segnale customizzato.....	73
Figura 88-Caso vero: caricamento di un segnale standard	74
Figura 89-Caso vero: invio dei segnali di SET mediante un Timed Loop	74
Figura 90-Acquired Signals DMA, TC Reading e Network Stream: Data to Host	75

Figura 91-Connect: viene stabilita la connessione tra endpoint reader e writer	76
Figura 92-Log: i dati vengono scritti all'interno della Stream.....	76
Figura 93-Close: invio di tutti i dati rimasti nello stream all'endpoint reader; chiusura dello stream.....	76
Figura 94-interfaccia utente: comandi di avvio e visualizzazione dei risultati.....	77
Figura 95-Interfaccia utente: comandi di gestione del controllo	78
Figura 96-Update Graph	78
Figura 97- Connessione al Target.....	79
Figura 98-Stato dell'ACC	79
Figura 99-Impostazione dei SET	80
Figura 100-Generazione dei SET	80
Figura 101-Data Logging	81
Figura 102-Slider di gestione dei SET di forza e posizione	81
Figura 103-Stop User Interface	82
Figura 104-Load Control Parameters e NET enable	82
Figura 105-Update Graphs.....	83
Figura 106-Inizializzazione VI e Shared Variables.....	84
Figura 107-Open CSC: viene aperta l'interfaccia per la creazione del segnale di SET customizzato	84
Figura 108-Codice di creazione del segnale di SET customizzato	85
Figura 109-Caricamento del segnale di SET customizzato nelle Network Published Shared Variables.....	85
Figura 110-Estrazione dei segnali di SET da un file	86
Figura 111-Create a File: creazione del file in cui vengono depositati i segnali di SET.....	86
Figura 112-Update graph.....	87
Figura 113_Evento Start acquisition	87
Figura 114-Stop Program	88
Figura 115-Shared Variables To RT MAIN loop	88
Figura 116-Network Stream: RT to HOST & Data Logging loop.....	89
Figura 117-Conversione e plot dei segnali fisici	89
Figura 118-Conversione e plot segnali elettrici.....	90
Figura 119-Scrittura dei due file: segnali fisici ed elettrici	90
Figura 120-Scrittura terzo file riguardante i dettagli delle due acquisizioni.....	91
Figura 121-Update Units loop.....	91
Figura 122-Sistema Generatore-Oscilloscopio.....	92
Figura 123-Generatore di segnali.....	92
Figura 124-Oscilloscopio	93
Figura 125-collegamento mediante morsetti a coccodrillo tra generatore di segnali e modulo NI 9223.....	93
Figura 126-Oscilloscopio 100Hz-10 V Peak to Peak mostrata dall'oscilloscopio	94
Figura 127-Labview onda 100Hz-10 V Peak to Peak	94
Figura 128-Oscilloscopio 300Hz-10 V Peak to Peak	95
Figura 129- Labview 300Hz-10 V Peak to Peak	95
Figura 130-Oscilloscopio 500Hz-10 V Peak to Peak	96
Figura 131-Labview 500Hz-10 V Peak to Peak	96
Figura 132-Oscilloscopio 100Hz-5V Peak to Peak	97
Figura 133-Oscilloscopio 100Hz-12 V Peak to Peak	97
Figura 134-Labview 100Hz-5 V Peak to Peak	98
Figura 135-Labview 100Hz-12 V Peak to Peak	98
Figura 136-Onda quadra 100Hz-10V Peak to Peak	99

Figura 137-Dente di sega 100Hz-10 V Peak to Peak	99
Figura 138-Schema a blocchi banco prova servocomandi volo	100
Figura 139-Layout banco prova servocomandi volo	100
Figura 140-Banco T/C accesi, driver abilitato, oscilloscopio collegato	101
Figura 141-Banco acceso, Rack T/C spento, driver abilitato, oscilloscopio collegato	101
Figura 142-Banco acceso, Rack T/C spento, driver abilitato, oscilloscopio collegato	101
Figura 143-misura tensioni di fase rispetto al neutro del motore	102

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1- Legenda segnali	16
Tabella 2-Caratteristiche tecniche della servovalvola	21
Tabella 3-Componenti costituenti l'LEMC.....	26
Tabella 4-Descrizione nomenclatura.....	26
Tabella 5-Parametri principali dell'EMA.....	27
Tabella 6-Dati di targa dell'attuatore a rulli satelliti	35
Tabella 7-Caratteristiche cella di carico	36
Tabella 8-Caratteristiche trasduttore di velocità	36
Tabella 9-Caratteristiche encoder incrementale.....	37
Tabella 10-Caratteristiche trasduttori di pressione	38
Tabella 11-Caratteristiche c-RIO 9039	47
Tabella 12- specifiche tecniche del modulo NI 9205	48
Tabella 13-specifiche tecniche del modulo NI 9218	49
Tabella 14-specifiche tecniche del modulo NI 9263	49
Tabella 15-specifiche tecniche del modulo NI 9401	50
Tabella 16-specifiche tecniche del modulo NI 9375	51
Tabella 17-specifiche tecniche del modulo NI 9223	52
Tabella 18-Caratteristiche driver	52
Tabella 19-Dati di targa resolver	54
Tabella 20-Descrizione comandi presenti nella User interface	79

SIMBOLOGIA

ACC	<i>Armadio di acquisizione e controllo (Acquisition and Control Cabinet)</i>
AE	<i>Encoder Angolare incrementale (Angular Encoder)</i>
AI	<i>Analog input</i>
AO	<i>Analog output</i>
AUT	<i>Attuatore sotto test (Actuator Under Test)</i>
BOB	<i>BreackOut Box</i>
DC	<i>Corrente continua</i>
DEMA	<i>Driver dell'EMA</i>
DI	<i>Digital input</i>
DO	<i>Digital output</i>
DSV	<i>Driver della Servovalvola</i>
EHSA	<i>Electro Hydraulic Servo Actuator</i>
EMA	<i>Electro Mechanical Actuator</i>
EMA_{in}	<i>Segnale di comando dell'EMA a valle del DEMA</i>
EMA_{out}	<i>Segnale di comando dell'EMA a monte del DEMA</i>
EPC	<i>Armadio di potenza dell'EMA (EMA Power Cabinet o DEMA)</i>
FEMCA	<i>Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
HLA	<i>Attuatore idraulico lineare di banco (Hydraulic Load Actuator)</i>
HW	<i>Hardware</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
LC	<i>Cella di carico (Load Cell)</i>
LC_{out}	<i>Segnale in uscita dalla LC</i>
LEMC	<i>Linear Electro-Mechanical cilinder</i>
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
LVT	<i>Linear Variable Velocity</i>
LVT_{out}	<i>Segnale in uscita dall'LVT</i>
NI	<i>National Instruments</i>
PWM	<i>Pulse width modulation</i>
RT	<i>Real Time</i>
SOV	<i>Valvola di Shut-Off</i>
SV	<i>Servovalvola (ServoValve)</i>
SV_{in}	<i>Segnale di comando della SV a valle del DSV</i>
SV_{in0}	<i>Segnale di comando della SV a monte del DSV</i>
SW	<i>Software</i>
TB	<i>Banco prova servocomandi (Test-Bench)</i>
UI	<i>User interface</i>
US	<i>User station</i>
VI	<i>Virtual instruments</i>

1. Capitolo 1- Introduzione

Con il passare degli anni gli attuatori elettromeccanici (*Electro-Mechanical Actuators*, EMA) hanno acquisito una sempre maggiore popolarità, grazie al loro aumento di potenza ed efficienza, consentendone così la diffusione in un crescente numero di ambiti. I settori in cui la loro presenza è fondamentale sono quello manifatturiero (impiego nelle macchine CNC) e robotico (movimentazione dei giunti e manipolatori), e in campo ferroviario sono arrivati a sostituire gli attuatori pneumatici nei sistemi di sospensione attivi per il controllo del rollio delle carrozze in treni ad alta velocità. Attualmente gli EMA non sono ancora riusciti a farsi spazio nel settore aerospaziale, all'interno del quale vengono utilizzati solo per i comandi di volo secondari. A limitarne la diffusione sono le tematiche legate all'affidabilità e alla sicurezza, aspetto predominante in questo settore.

I concetti di affidabilità e sicurezza sono due aspetti di cruciale importanza dell'attività progettuale, poiché sono requisiti necessari alla messa in atto del sistema. Questi temi vengono presi in considerazione perché negli attuatori elettromeccanici esistono le seguenti problematiche:

- Il *Jamming* è il fenomeno di grippaggio dell'attuatore che comporta un bloccaggio della superficie di controllo e di conseguenza l'impossibilità di controllarla.
- Il fenomeno del *flutter* è una vibrazione aeroelastica autoeccitata che si instaura in una superficie in moto relativo rispetto a un fluido e si verifica quando si guasta il motore che movimenta tale superficie.
- Difficoltà di disperdere calore, dovuta al fatto che il motore dell'EMA ha elevate resistenze negli avvolgimenti.
- A volte risulta essere troppo ingombrante, per esempio se viene montato nelle estremità delle ali.
- Probabilità di grippaggio di 1 ogni 40 milioni.

A causa di questi problemi al momento in applicazioni aeronautiche vengono utilizzati gli attuatori idraulici, poiché oltre a presentare una probabilità di grippaggio di molto inferiore rispetto a quella degli elettromeccanici (1 ogni 1 miliardo di ore di volo), gli attuatori idraulici consentono di poter essere messi in sicurezza in caso di failure e quindi la superficie di controllo risulta essere sempre manovrabile. Di contro questi ultimi vorrebbero essere sostituiti perché presentano problematiche legate alle perdite di olio, elevato peso, elevati consumi ed elevati costi di manutenzione.

Alla luce di quanto appena detto è necessario ricorrere a metodi di prevenzione del guasto, che più nel dettaglio si basano su tecniche di prognostica, ovvero di anticipazione di un futuro malfunzionamento mediante l'analisi continua di parametri del sistema monitorato. I componenti sotto esame vengono controllati da dei sensori, collegati a dei moduli di acquisizione, che secondo la loro frequenza di campionamento rilevano la quantità da esaminare (ad esempio: correnti, tensioni, forze, posizione, velocità, ecc....). Dalle variazioni o anomalie negli andamenti di queste grandezze è possibile risalire non solo alla presenza di un fenomeno di danneggiamento in atto, ma anche alle eventuali cause scatenanti. Mediante questa indagine si ha dunque il duplice vantaggio di consentire l'individuazione di future criticità e di fornire lo spunto per un'evoluzione tecnologica mirata al superamento del difetto origine della criticità stessa.

Attualmente gli attuatori elettromeccanici vengono utilizzati nell'ambito di comandi di volo secondari, per i quali i criteri di affidabilità sono meno stringenti, questo tipo di comandi non è considerato "*flight critical*" e non compromette la manovrabilità del velivolo. Per esempio, se dovesse presentarsi il fenomeno del *jamming*, il bloccaggio dell'organo di volo nell'ultima configurazione assunta rappresenta la miglior strategia di gestione del guasto stesso, poiché esclude la presenza del fattore d'imprevedibilità derivante dalle azioni aerodinamiche agenti sulla superficie interessata dall'inconveniente, questo fa sì che gli EMA siano particolarmente indicati per questi comandi di volo. Nello specifico gestiscono:

- Flap.
- Aerofreni.
- Spoilers.

I comandi di volo primari, dove gli EMA non sono ancora adoperati, invece vengono utilizzati per manovrare il velivolo in un sistema di riferimento a tre assi e sono costituiti da:

- Alettoni (rollio).
- Equilibratore o elevatore (beccheggio).
- Timone di direzione (imbardata).

I comandi di volo primari e secondari vengono mostrati nella Figura 1:

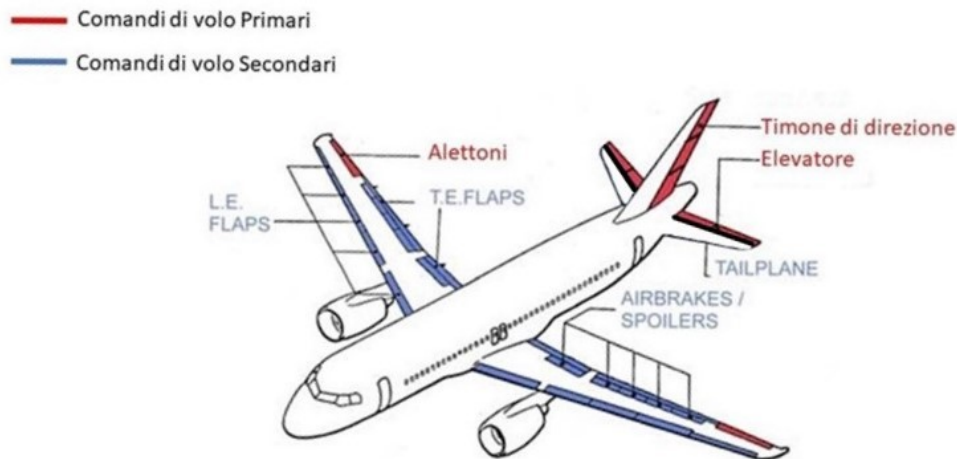


Figura 1-Comandi di volo primari e secondari

Nel campo degli aeromobili commerciali, gli attuatori elettromeccanici trovano un posto anche nei sistemi di frenatura e nelle applicazioni per il controllo di valvole di flusso. Non vengono invece utilizzati nei sistemi di fuoriuscita e rientro dei carrelli di atterraggio, poiché se si dovesse verificare un guasto, non verrebbe garantita dal sistema la fuoriuscita del carrello, la quale deve essere invece regolata da un modello di discesa libera smorzata, non realizzabile nel caso degli EMA. Un analogo discorso vale per i sistemi di sterzaggio, per i quali è necessario che gli attuatori malfunzionanti operino esclusivamente come smorzatori, consentendo quindi alle ruote di allinearsi alla direzione del moto, prevenendo una eventuale perdita di controllo.

L'obiettivo è dunque quello di diffondere l'utilizzo degli EMA anche per comandi di volo primari, in modo tale da realizzare il progetto *All-Electric Aircraft*, secondo il quale tutti i sistemi di bordo possono essere progettati come utenze di un impianto elettrico. In tale contesto, notevoli sforzi sono stati profusi dalla comunità scientifica per lo sviluppo di attuatori elettromeccanici allo scopo di sostituire i tradizionali attuatori idraulici nella movimentazione dei comandi di volo, sia primari che secondari.

Differenze attuatore idraulico ed elettromeccanico

Gli attuatori idraulici sono sistemi fluidodinamici, basati sul movimento di liquidi o gas, tale tecnologia è sul mercato da più di 120 anni, ed è nota per essere notevolmente affidabile. In generale l'attuazione idraulica è caratterizzata da un cilindro cavo in cui è inserito un pistone, il quale viene spostato grazie alla forza esercitata dall'olio in pressione, che viene fornito da una centrale idraulica. Per maggiori informazioni sull'attuazione idraulica vedere il *paragrafo 3.1.1*. La soluzione idraulica viene ancora utilizzata per i comandi primari di volo, poiché notevolmente più affidabile rispetto a quella elettrica.

I servocomandi idraulici garantiscono infatti i seguenti requisiti:

- Posizione neutra di centro: il pistone si trova in equilibrio al centro del cilindro, questa condizione viene ottenuta mediante il blocco idraulico.
- Tecnologia ad inseguimento: permette di collocare le superfici in posizioni intermedie, stabilite dai comandi dati in cabina di pilotaggio.

Il funzionamento che viene messo in atto è il seguente: il pilota dà il comando che aziona una valvola a cassetto, collegata all'attuatore, la quale apre il passaggio all'olio, che raggiunge le camere del cilindro (a doppio effetto) in cui è presente il pistone. L'olio si sposta nelle camere e spinge il pistone in una specifica direzione. Il ritorno del pistone è gestito sempre dalla stessa valvola, questo viene effettuato invertendo l'alimentazione e quindi collegando a scarico la camera in cui prima c'era l'alimentazione. Il movimento del corpo attuatore rispetto al cassetto di distribuzione porta progressivamente a chiudere le luci della valvola e crea di nuovo le condizioni di blocco idraulico.

La tecnologia elettromeccanica è invece più recente e risale circa agli anni 50. Negli attuatori elettromeccanici, cilindri o assi lineari, viene utilizzato un motore per controllare il movimento e un sistema di trasmissione per convertire il moto rotativo originale in movimento lineare. Il tipo di motore e di azionamento da scegliere dipende dai requisiti dell'applicazione e dai carichi richiesti. Nel caso di studio di questa tesi è stato utilizzato un servomotore asincrono con una trasmissione vite madrevite a rulli satelliti, il quale verrà descritto più nel dettaglio nei capitoli successivi (*paragrafo 3.1.4.2*).

La tecnologia dei servosistemi elettromeccanici è preferibile rispetto a quella idraulica, perché quest'ultima presenta le seguenti complicazioni: trafilamenti, gestione del fluido, smaltimento dell'olio esausto. Altri svantaggi sono dovuti ai costi, sia di messa in atto, sia di manutenzione inoltre sono molto voluminosi ed ingombranti e molto difficili da progettare e costruire. Gli attuatori elettromeccanici invece, da un punto di vista impiantistico, presentano notevoli vantaggi, questi non richiedono la presenza di una centrale idraulica, deputata alla generazione di olio ad una determinata pressione e temperatura, non prevedono l'utilizzo di un manifold per la gestione del fluido, ma hanno bisogno della sola sorgente elettrica. Questo comporta notevole risparmio economico e un minore ingombro.

Tipologia di guasto negli EMA

Nonostante i vantaggi enunciati precedentemente, gli attuatori elettromeccanici presentano dei fenomeni di danneggiamento che non possono essere trascurati poiché vanno ad inficiare sulla sicurezza e sull'affidabilità del sistema. Le cause di guasto possono essere suddivise in quattro categorie:

- Guasti alle parti elettriche ed elettroniche.
- Guasti al motore.
- Guasti ai componenti meccanici.
- Guasti ai sensori.

La principale causa di guasto dell'attuatore elettromeccanico è dovuta all'utilizzo di organi meccanici rotanti deputati alla trasmissione del moto, come ad esempio le viti a rulli o a sfere. Il contatto metallo-metallo tra questi elementi provoca un danneggiamento della superficie di scorrimento tra i due componenti in moto relativo. La conseguenza di questo fenomeno è il *jamming* (bloccaggio, inceppamento) dell'attuatore. In generale si tratta di un evento che ha una probabilità di presentarsi molto bassa, dell'ordine di 1 ogni 40 milioni di ore di volo; tuttavia, per applicazioni aeronautiche gli standard di sicurezza sono estremamente severi, richiedendo probabilità di *jamming* inferiori a 1 ogni 1 miliardo di ore di volo. L'inceppamento tra organi meccanici può avvenire per vari motivi, ad esempio se si è raggiunta la durata limite, per contaminazione dei contatti tra gli organi rotanti, per lubrificazione insufficiente. In ogni caso data l'elevata pericolosità dell'evento, è necessario monitorarlo costantemente.

Per evitare di incorrere in questo fenomeno, è buona norma controllare non solo i carichi che vengono scambiati tra i corpi, ma anche l'attività termica (per applicazioni in movimento continuo). Infatti, lo strisciamento del rullo/sfera nella pista genera un aumento locale di temperatura rispetto al caso di puro rotolamento.

Un altro requisito che deve avere un attuatore è possedere un'adeguata capacità di smorzamento delle vibrazioni per prevenire il fenomeno del *flutter* sulla superficie di controllo. Questo evento si verifica quando il motore elettrico va in avaria, in questo caso la superficie rimane sotto l'azione delle sole forze aeroelastiche,

senza esercitare nessuna azione di contrasto a tali carichi. Per un attuatore idraulico il problema non si pone in quanto lo smorzamento necessario è garantito da una portata di bypass che passa tra le due camere, attraverso un orifizio.

Un altro aspetto da non sottovalutare è la sensibilità al calore dell'intero sistema. Il prolungato utilizzo del motore elettrico porta ad un aumento locale di temperatura e quindi si deve considerare il problema della dissipazione del calore generato. In un attuatore idraulico il calore viene dissipato grazie al fluido, mentre in un attuatore elettromeccanico il calore localizzato che si genera viene dissipato per convezione naturale. Il motore elettrico e il *power controller* sono i componenti che vengono influenzati maggiormente da questo fenomeno. Una possibile soluzione potrebbe essere quella di posizionarli in luoghi strategici all'interno del velivolo, ad esempio in zone condizionate o in ambienti a bassa temperatura.

Risoluzione del guasto (Approccio FMECA)

Una volta individuati i vari tipi di guasti è necessario catalogarli in base alla loro criticità. Nella pratica ingegneristica si utilizza uno strumento denominato FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* - Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti). È un approccio induttivo, guidato dai dati, consiste nell'analizzare tre aspetti: effetto del guasto, modalità di guasto e cause/meccanismi.

Quando un guasto si verifica, interviene subito l'esperienza di un utente/cliente, che giudica il suo l'effetto nell'applicazione. Al giudizio dell'osservatore segue la descrizione del guasto tecnico, il passo successivo è capire il perché tale situazione si sia verificata, introducendo le cause che determinano la modalità di guasto. Ad ogni modalità di guasto viene associata una probabilità e ad ogni causa un tasso di guasto. Una volta effettuata questa analisi viene assegnato un punteggio in base alla gravità dell'inconveniente secondo le seguenti caratteristiche:

- *Frequenza del riscontro*: probabilità che si presenti un difetto di entità tale da causare anomalie di funzionamento.
- *Gravità del guasto*: indica la situazione di pericolo in cui ci si troverebbe se il guasto si verificasse.
- *Testabilità*: indica la capacità di osservare il manifestarsi del guasto. Ci sono infatti dei danneggiamenti che non vengono individuati, fino a che non diventano critici.
- *Sostituibilità*: indica la necessità, a seconda del tipo di guasto, di sostituire l'attuatore con uno nuovo.

Da analisi FMECA si è visto che le principali cause di danneggiamento sono legate ai componenti elettronici, che presentano una affidabilità inferiore a quelli meccanici; tuttavia, non deve essere trascurato il comportamento di questi ultimi, che in determinate condizioni di carico sono soggetti ad usura, diminuendo l'affidabilità del sistema. Maggiori informazioni sullo sviluppo di modalità di identificazione del guasto per finalità di prognostica su componenti meccanici possono essere trovate nell'information report SAE: "SAE AIR8012 - Prognostics and Health Management Guidelines for Electro-Mechanical Actuators" (De Martin & Jacazio).

In conclusione, nell'ambito di questo progetto, per valutare l'efficienza e l'affidabilità degli attuatori elettromeccanici è stato realizzato un banco prova servocomandi volo elettromeccanici, definito nel contesto del programma di ricerca Clean Sky 2 H2020 – ASTIB (*Development of Advanced Systems Technologies and hardware/software for the flight simulator and Iron Bird ground demonstrators for regional aircraft*, Banco Astib). Il banco è stato realizzato per condurre prove su attuatori di comandi di volo. Gli obiettivi del progetto e del banco sono due:

- Prestazionale: volto a ottimizzarne le performance del comando di volo.
- Valutare lo stato di salute, effettuando test su attuatori opportunamente degradati artificialmente o sbarcati dopo un percorso di vita operativa.

Affinché si possano valutare gli obiettivi sopra citati è necessario monitorare i segnali in uscita dal banco, a tale scopo è stato costruito un codice in ambiente *Labview* in grado di acquisire i segnali provenienti dai sensori e mostrarne l'andamento su di una interfaccia utente. In questa specifica tesi è stato implementato un

aggiornamento al codice in grado di monitorare i segnali di tensione e corrente in uscita dal motore elettrico che movimenta l'attuatore elettromeccanico. Variazioni anomale di correnti e tensioni, testimoniano la presenza di difetti o imperfezioni che compromettono l'affidabilità e le performance del componente in questione.

Nei prossimi capitoli, dunque, si passa in rassegna a descrivere tutti i componenti del banco *Astib*, al fine di comprenderne il suo funzionamento, successivamente viene descritto nel dettaglio il codice in grado di acquisire i segnali in uscita da esso.

2. Capitolo 2 - Panoramica del banco

Il banco *Astib* è mostrato nelle Figura 2.

La sua composizione comprende parti meccaniche, idrauliche ed elettriche montate su una intelaiatura che ne permette il fissaggio. Il telaio del banco è formato da un supporto (in blu nella figura) sul quale è ancorata, tramite giunzione filettata, una culla (in nero) in grado di ospitare l'attuatore idraulico (HLA), i sensori, una biella (in giallo) e una piastra di supporto per l'attuatore sotto test.

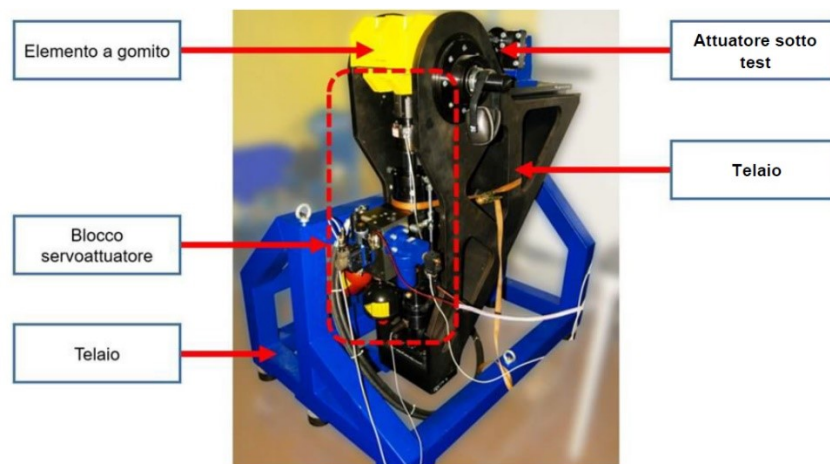


Figura 2- Banco prova Astib

La figura seguente mostra invece lo schema a blocchi del banco, dove vengono messe in evidenza tutte le comunicazioni tra i vari componenti:

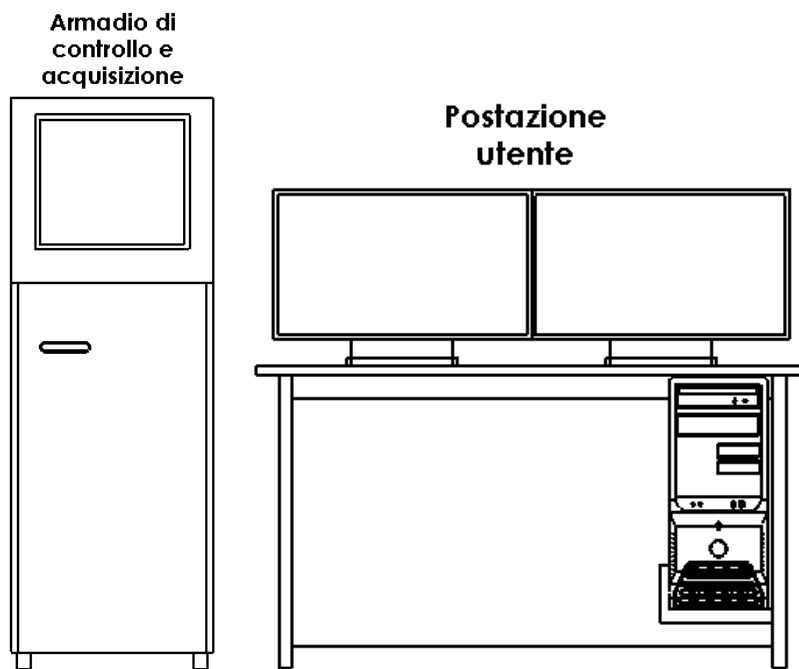


Figura 4-Armadio di controllo e acquisizione e postazione utente

All'interno del blocco servoattuatore è presente l'attuatore idraulico (Figura 5), collocato verticalmente a lato del banco. Esso è atto a generare e applicare forze all'attuatore elettromeccanico sotto test, posto in orizzontale nella parte superiore del banco. I due attuatori sono collegati mediante un giunto rotoidale (elemento a gomito in grado di ruotare sull'asse della cerniera, vincolata al telaio).

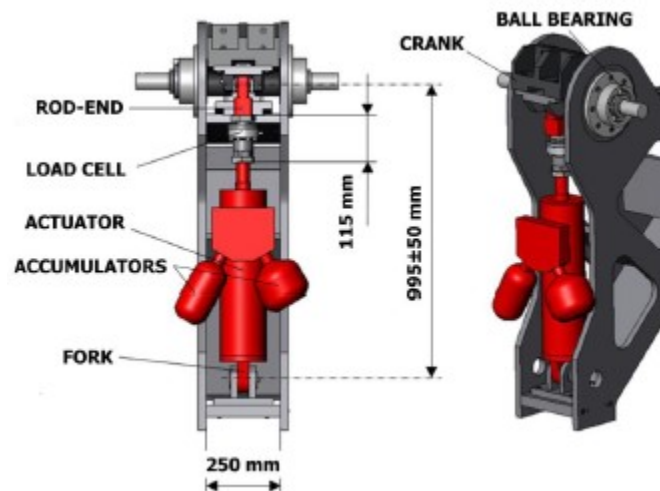


Figura 5-Attuatore idraulico

Il banco prova per funzionare utilizza l'elettricità prelevata dalla rete elettrica e l'olio in pressione che deve essere fornito da una centrale idraulica, la quale è disposta all'esterno del laboratorio, per una questione di sicurezza. La centrale che alimenta il banco ha dimensioni superiori al banco prova, ed è in grado di fornire olio fino ad una pressione massima di 27 MPa.

Attualmente si impiega una pressione di alimentazione di 140 bar (14 Mpa) ad una temperatura di circa 40°C.

Nella Figura 6 è visibile una immagine della centrale idraulica.

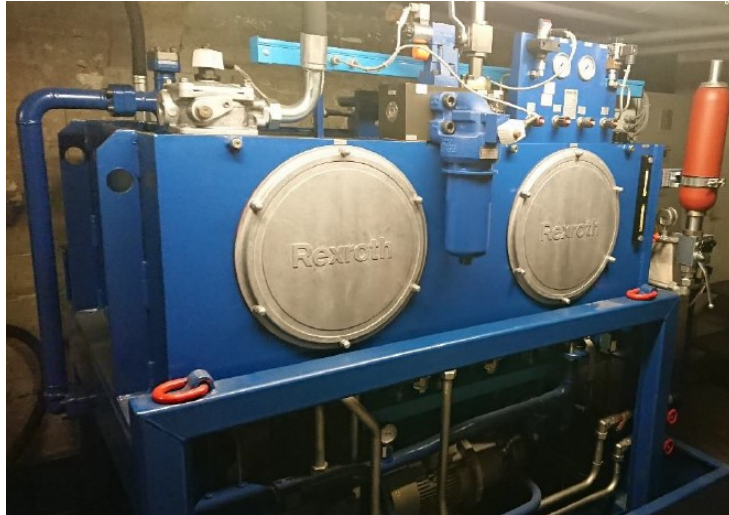


Figura 6-Centrale idraulica

La regolazione della potenza idraulica in ingresso all'attuatore idraulico viene effettuata all'interno di un manifold disposto in prossimità del banco (Figura 7), questo ha il compito di gestire la pressione di alimentazione, ed è costituito da filtri ed eventuali dispositivi di sicurezza.



Figura 7-Manifold

3. Capitolo 3 - Componenti

In questo capitolo vengono descritti tutti i componenti costituenti il banco Astib.

Per una maggiore chiarezza questi sono stati suddivisi in componenti interni e di integrazione al banco. Per "componenti interni al banco" si intende tutti quei dispositivi che si trovano all'interno della gabbia e sono:

- Attuatore idraulico controllo forza (HLA).
- Servovalvola (SV).
- Valvola di shut-off (SOV).
- Complessivo LEMC (*Linear Electro-Mechanical cilinder*)
- Sensori.
- Manifold.

I "componenti di integrazione al banco" vengono collocati all'esterno della gabbia e sono:

- Armadio di controllo e acquisizione (ACC).
- User station (US).
- Armadio di potenza e controllo (EPC).

- Centrale idraulica.
- Servo-Driver Lenze 9400.
- Rack tensione-corrente.

3.1 Componenti interni al banco

3.1.1 Attuatore Idraulico (HLA)

L'HLA è un cilindro idraulico a basso attrito con idro-sostentamento dello stelo prodotto dalla *Bosch Rexroth*. Il componente ospita all'interno dello stelo un sensore di velocità del tipo LVT, con interfaccia elettrica situata nella parte inferiore dell'attuatore. È presente una cella di carico per il feedback di forza, che è stata installata sullo stelo. Entrambi i sensori verranno descritti più nel dettaglio nel *paragrafo 3.1.5*.

Lo schema idraulico dell'HLA viene riportato nella Figura 8:

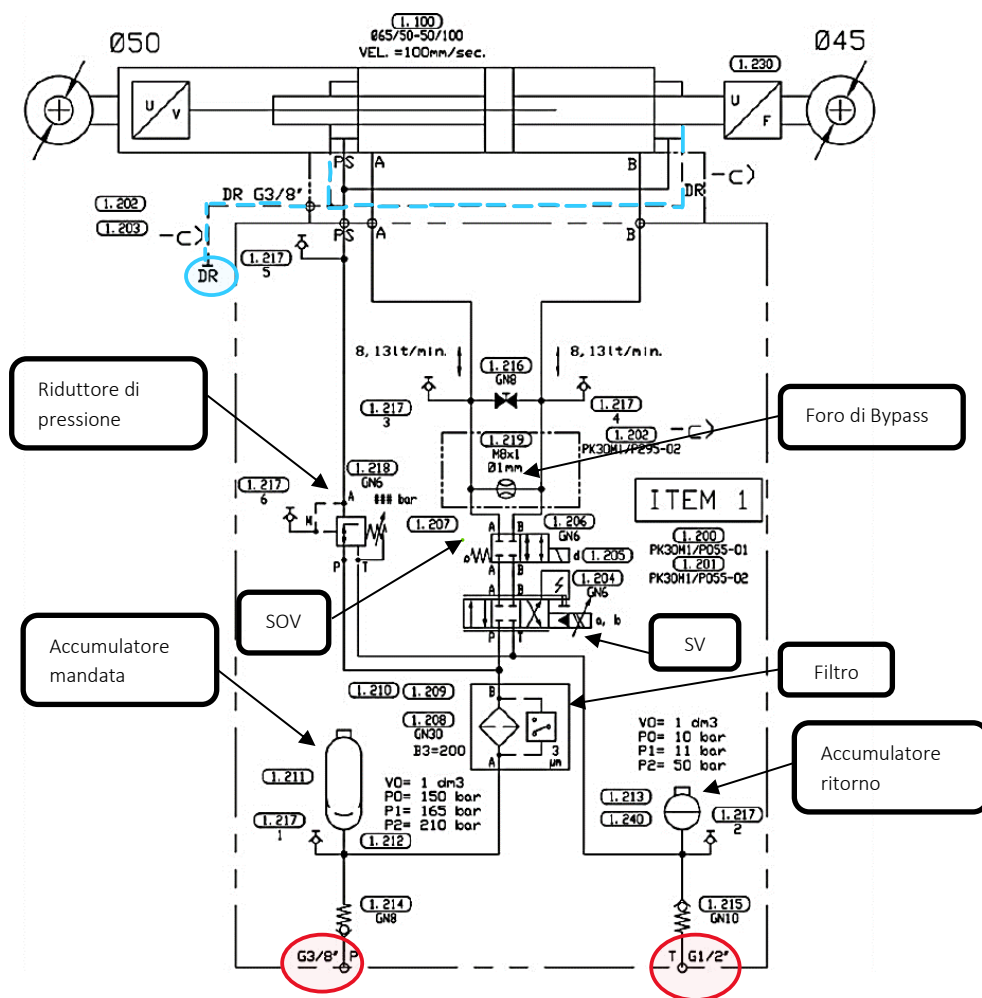


Figura 8-Schema impianto idraulico

In basso sono presenti le porte di mandata e di scarico, indicate rispettivamente con le lettere P e T (cerchiate in rosso nella Figura 8), le quali sono collegate al manifold mediante delle condotte idrauliche. Il flusso d'olio scorre sulla linea di mandata, dove sono presenti una valvola di non ritorno, che garantisce la direzione del fluido in una sola direzione, un accumulatore, con lo scopo di ridurre le oscillazioni di portata e quindi di avere un sistema più stabile ed un filtro. Il flusso, una volta filtrato, si divide in due parti di cui una va nella bocca di alimentazione della servovalvola (SV) e la rimanente attraverso un riduttore di pressione, utilizzato per l'idro-sostentamento dello stelo. Uscito dalla servovalvola il fluido entra nelle camere del cilindro (A e B). Quando la

camera A viene alimentata, lo stelo si estende, mentre quando l'alimentazione va in B, la camera A si contrae. Prima di entrare nelle camere il flusso attraversa un foro di Bypass, che ha la funzione di non far lavorare la valvola nell'intorno dello zero, funge quindi da smorzatore e rende il sistema più stabile. È inoltre presente una linea DR (linea tratteggiata in azzurro nella Figura 8), che svolge il compito di drenaggio dell'aria, la quale potrebbe a malfunzionamenti, se fosse presente nelle camere del cilindro.

Infine, sono presenti delle valvole di emergenza anche dette shut off (SOV), che garantiscono di poter mettere in sicurezza l'impianto, bloccando l'afflusso di olio alla servovalvola.

Di seguito si riportano per completezza alcune delle principali specifiche tecniche dell'attuatore idraulico.

Corsa dello stelo

La corsa nominale dell'HLA è di 100 mm, con una extra corsa di 20 mm e conseguente corsa totale di 120 mm.

Area di spinta

L'alesaggio del cilindro è di 65 mm, mentre il diametro dello stelo è di 50 mm. Segue che l'area utile di spinta è di $1,355 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Forza di stallo teorica

La forza di stallo teorica dell'HLA è rappresentata nella figura seguente al variare della pressione di alimentazione PP , assumendo le seguenti ipotesi:

1. Pressione di ritorno $PT = 0$ bar.
2. Forze d'attrito interne al cilindro trascurabili.
3. Leakage attraverso le camere ed attraverso il by-pass nullo.

Nella Figura 9 è possibile vedere l'andamento della forza di stallo:

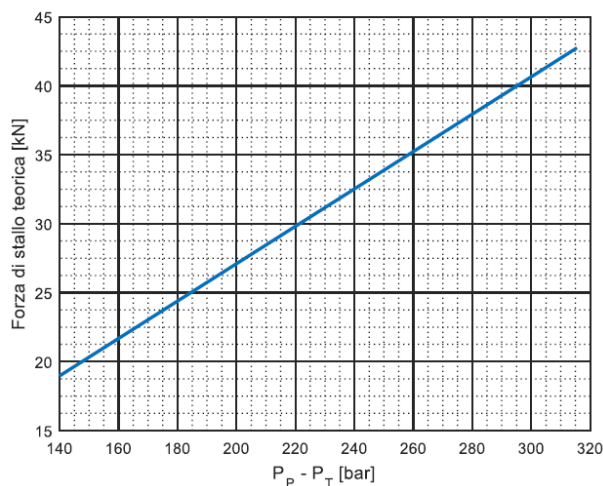


Figura 9-Forza di stallo

3.1.2 Servovalvola (SV)

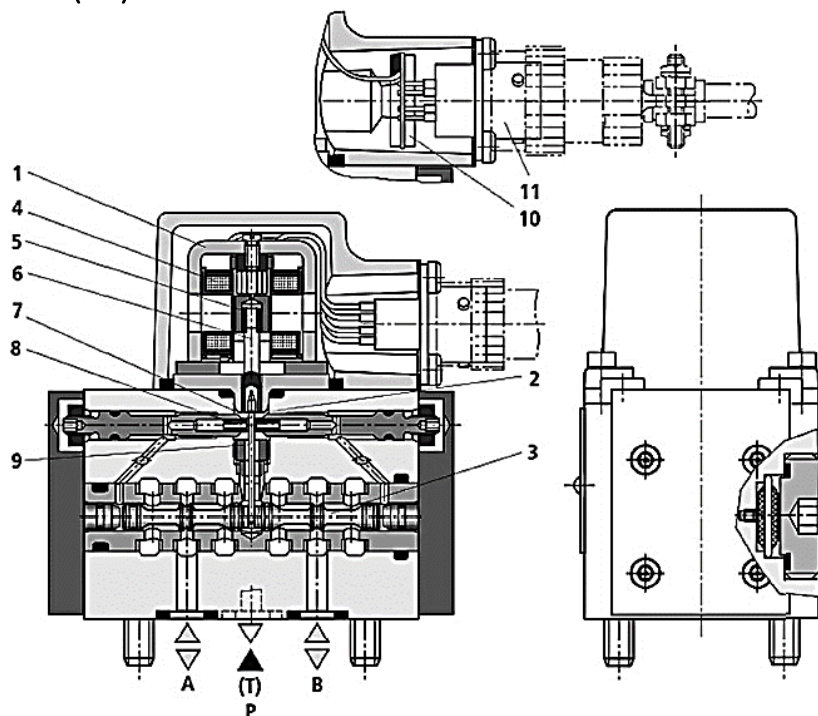


Figura 10-Servovalvola (SV)

Il modello della SV, prodotta dalla *Bosch Rexroth*, è il 4WSE2EM-6-2X-20-8-ET-315-K17-E-V. La Tabella 2 seguente mostra le caratteristiche della servovalvola:

Designazione	Significato
4WSE2EM	Controllo elettronico integrato (OBE) con feedback meccanico
6	Taglia
2X	Componente della serie da 20 a 29
20	Portata nominale espressa in l/min
8	Controllo integrato con segnale di comando pari a ± 10 mA
ET	Pilotaggio interno
315	Massima pressione di alimentazione in bar
K17	Componente venduto senza connettore elettrico
ET	Ricoprimento negativo (da 0 a 0,5%)
V	Guarnizioni FKM adatte ad oli minerali HL e HLP secondo la norma DIN 51524

Tabella 2-Caratteristiche tecniche della servovalvola

Con riferimento alla Figura 10, la servovalvola è dotata di un convertitore elettromeccanico *torque motor* (1) e di un amplificatore idraulico *flapper nozzle* (2), connesso al *torque motor* tramite un feedback meccanico. Le figure seguenti mostrano più nel dettaglio lo schema costitutivo del *torque motor* e del *flapper nozzle*.

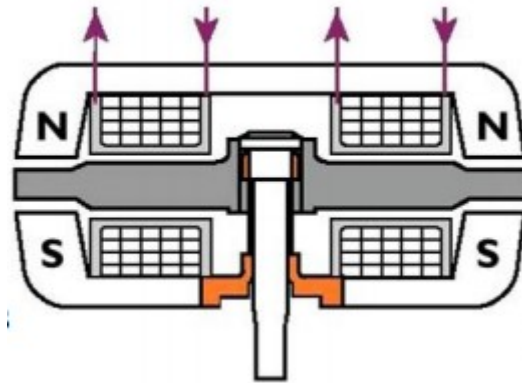


Figura 11-Torque motor

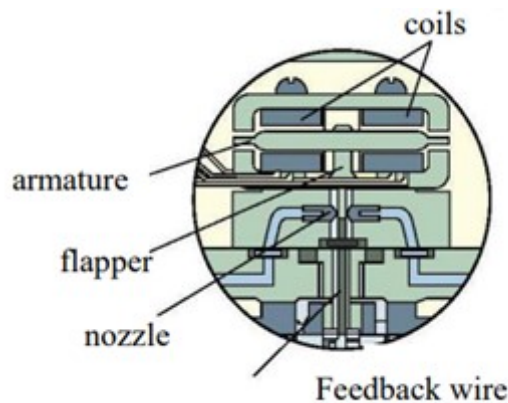


Figura 12-Flapper nozzle

Viene fornito un segnale d'ingresso elettrico sulle bobine (4) del motore di comando, che produce, tramite un magnete permanente, una forza sull'ancora (5), la quale, grazie alla presenza del tubo di curvatura (6), genera una coppia. In questo modo, la piastra valvola a cerniera (7), collegata mediante un perno con il tubo di curvatura, viene spostata dalla posizione centrale di riferimento tra i due ugelli di controllo (8) e si genera una pressione differenziale sui lati frontali del pistone di comando (3).

La pressione differenziale comporta una variazione della posizione del pistone. Il pistone di comando è collegato alla piastra valvola a cerniera (a sua volta collegata al motore di comando) con una molla di curvatura, che ha la funzione di feedback meccanico (9).

Si ha variazione della posizione del pistone finché la coppia (forza per braccio) generata dalla molla di curvatura e la coppia elettromagnetica del motore di comando non sono in equilibrio, in questo caso la differenza di pressione sul sistema a ugelli è nulla.

La Figura 13 mostra lo schema costituente il feedback meccanico ed il cassetto.

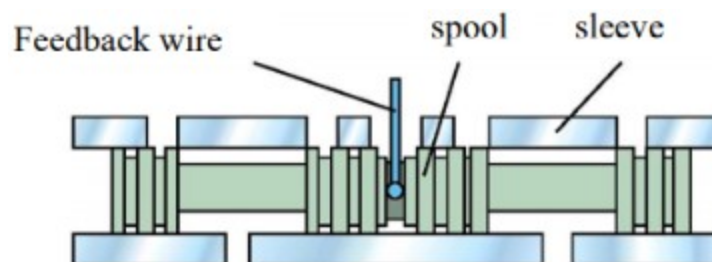


Figura 13-Valvola a cassetto e feedback meccanico

La corsa del pistone di comando e quindi la portata della servovalvola viene regolata in proporzione al segnale d'ingresso elettrico.

Il segnale d'ingresso analogico di corrente può essere amplificato mediante il controllo elettronico (10), che è integrato alla valvola ed è connesso al connettore maschio (11) nel coperchio del *torque motor*.

Il simbolo idraulico del componente è il seguente (Figura 14):

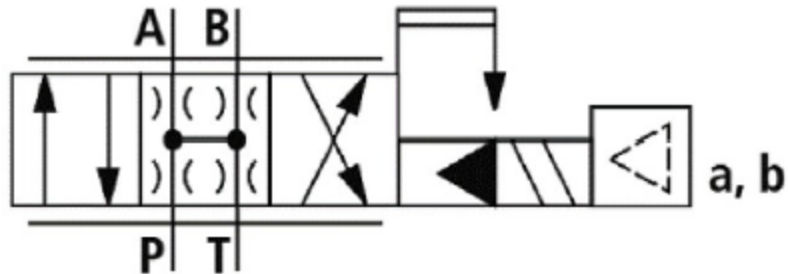


Figura 14-Simbolo servovalvola

Le caratteristiche principali della servovalvola sono:

- Portata nominale.
- Ricoprimento.

Portata nominale

La portata nominale della servovalvola viene calcolata ipotizzando un differenziale di pressione di valvola pari a 70 bar, tale Δp può essere calcolato mediante la seguente formula:

$$\Delta p = P_p - P_T - \Delta p_L$$

Dove:

- P_p pressione di alimentazione.
- P_T pressione di ritorno.
- Δp_L differenza di pressione sul carico.

Supponendo che P_p sia pari a 70 bar e P_T sia 0 bar, in assenza di carico ($\Delta p_L = 0 \text{ bar}$) la pressione differenziale di valvola vale 70 bar.

La portata nominale della valvola, corrispondente a tale Δp viene fornita dal costruttore ed è pari a 20 l/min.

A parità di condizioni enunciate in precedenza e supponendo che le portate di andata e ritorno siano uguali si può affermare che la caduta di pressione su ciascuna linea è la stessa e pari a 35 bar.

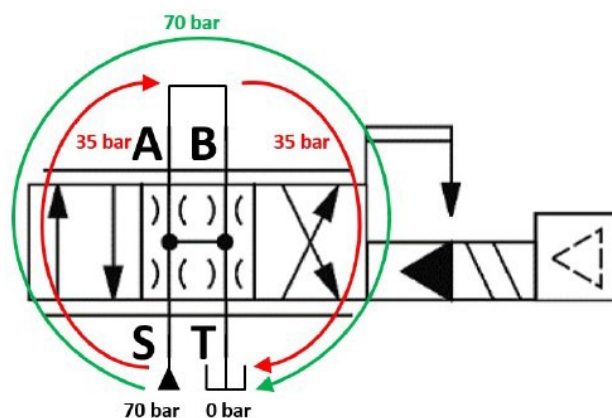


Figura 15-Caduta di pressione sulle bocche di andata e di ritorno della servovalvola

La servovalvola viene comandata da un segnale elettrico di corrente proveniente dal driver della servovalvola (DSV) collocato all'interno dell'armadio di acquisizione e controllo.

Il modulo di controllo della servovalvola invia un segnale in tensione al DSV e quest'ultimo manda una corrente opportuna, che aziona la SV, la quale a sua volta regola la portata di olio da inviare all'attuatore idraulico. Per maggiori informazioni riguardo al driver della servovalvola fare riferimento al "Capitolato tecnico" (Chiavaroli, 2017).

Ricoprimento

Sulla base delle indicazioni di catalogo, la SV presenta un ricoprimento negativo che va dallo 0 al 5% sia sulla parte di mandata che su quella di ritorno.

La Figura 16 mostra le varie tipologie di ricoprimento adottabili, la configurazione scelta è quella a centri aperti ed è evidenziata mediante un rettangolo nero.

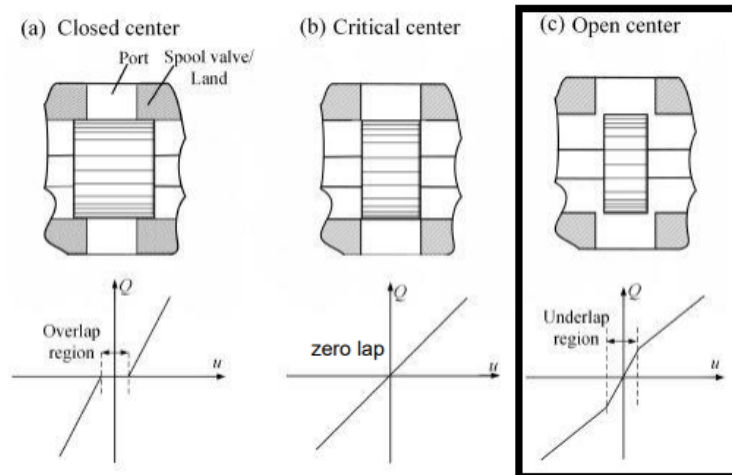


Figura 16-Ricoprimenti delle valvole

3.1.3 Valvola di shut-off (SOV)

Anche questa valvola è prodotta dalla *Bosch Rexroth*, il suo identificativo è 6-E63- 3X-E-G24-N9-K4.

Il componente mostrato nella Figura 17 ha il compito di interrompere il flusso di olio diretto all'attuatore idraulico, proveniente dalla servovalvola. Se dovesse attivarsi, l'olio non andrebbe più verso l'attuatore e quest'ultimo si arresterebbe.

È una valvola normalmente chiusa e viene azionata elettricamente mediante solenoide quando si presenta una condizione di emergenza o un guasto.

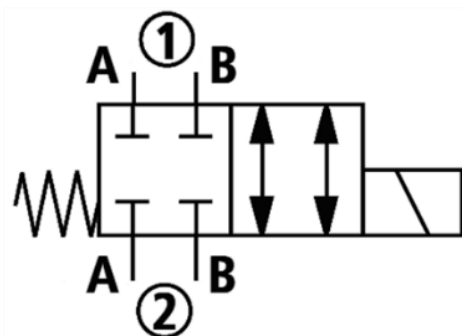


Figura 17-Simbolo valvola di shut-off

3.1.4 Attuatore elettromeccanico e servomotore (LEMC)

Il dispositivo, collocato nella parte superiore del banco, denominato *Linear Electro-Mechanical cylinder* (LEMC) è formato da:

- Un servomotore sincrono a corrente alternata AC brushless della *Lenze*.
- Un organo di trasmissione a cinghia.

- Un sistema vite-madrevite a rulli satelliti.
- Un driver (*Servo-Drive Lenze 9400*) per la gestione e il controllo del motore elettrico.

La Figura 18 mostra uno schema blocchi del sistema di attuazione elettromeccanico:

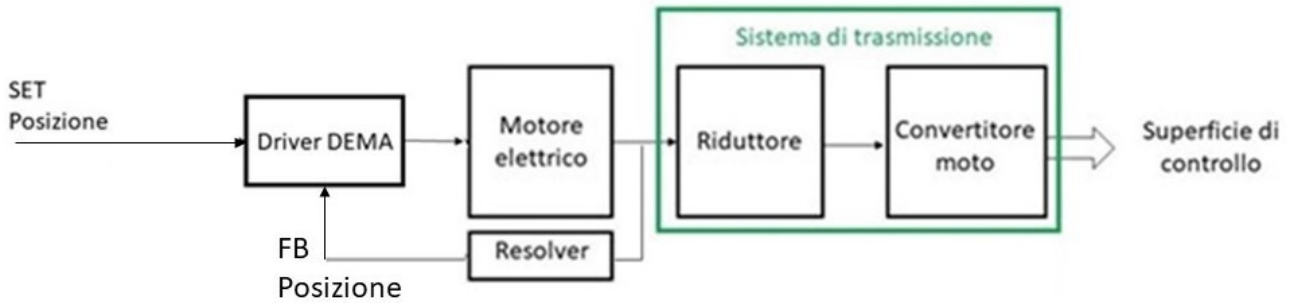


Figura 18-Schema a blocchi LEMC

L'elettronica di controllo presente nel driver si occupa della gestione dei segnali di set e feedback. Il segnale di set proviene dall'ACC mentre il feedback dal resolver presente sul motore. Il segnale di errore, generato dalla differenza tra il set e feedback viene inviato al motore elettrico.

In Figura 19 è visibile il sottoassieme LEMC:

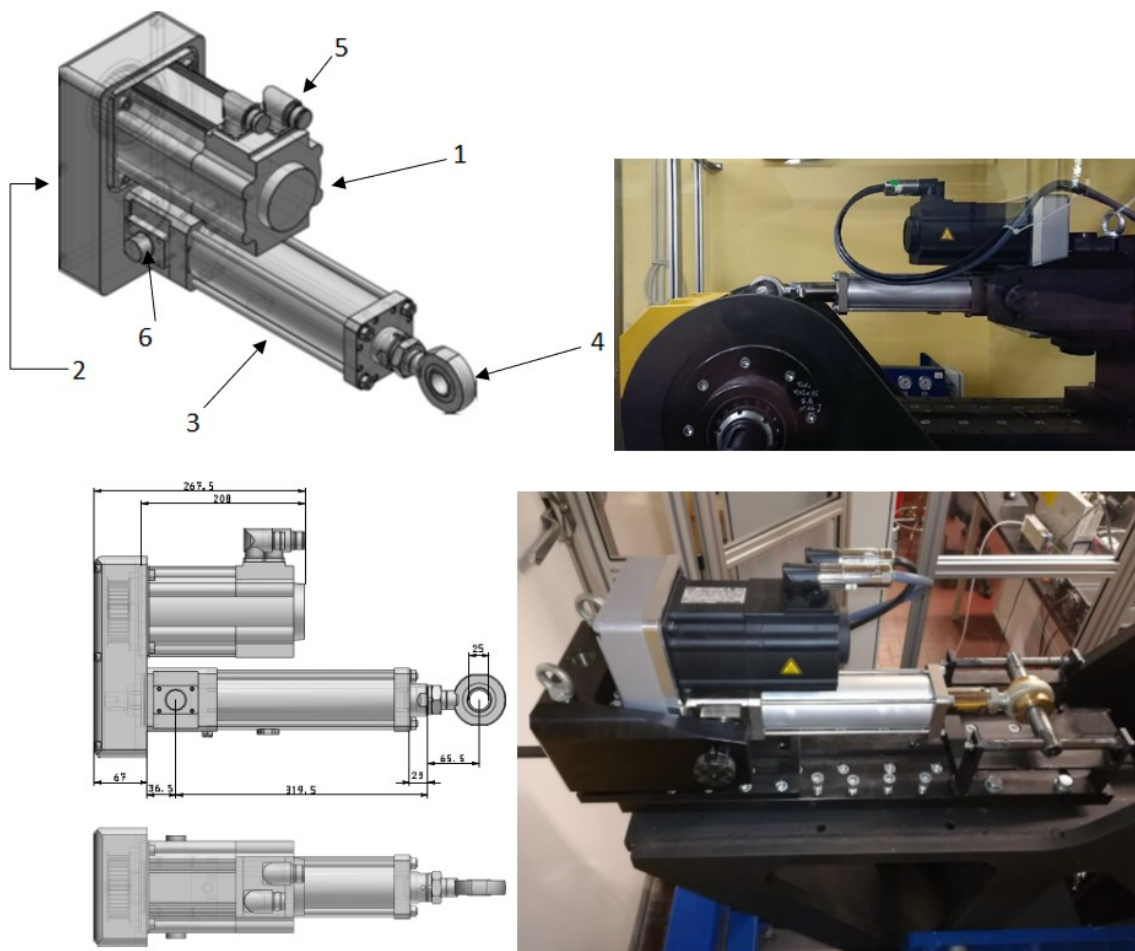


Figura 19-LEMC

La Tabella 3 riporta una leggenda dei componenti che contraddistinguono il sottoinsieme LEMC.

Indicativo	Nome
1	Servomotore Lenze
2	Trasmissione a cinghia dentata
3	Attuatore lineare a vite con rulli a satelliti SKF
4	Rod end
5	Plug cavo motore e resolver
6	Perni di appoggio LEMC

Tabella 3-Componenti costituenti l'LEMC

Il sistema LEMC è fissato ad un supporto mediante due boccole contrapposte e perni di appoggio, dall'altro lato della struttura invece è presente un *rod end*. Il *rod end* ha il compito di sostenere l'attuatore e fungere da dispositivo anti-rotazione.

L'identificativo di targa dell'LEMC è mostrato nella Figura 20, seguita dalla Tabella 4 che ne riporta il suo significato.

LEMCS2105-0100-TRNN-P10LA11BYG1

Ⓛ
Ⓛ
Ⓛ
Ⓛ

Figura 20-Identificativo di targa LEMC

Indicativo	Descrizione
1	S=Servomotore; 21=diametro vite [mm]; 05= passo della vite
2	100= corsa dell'attuatore
3	T=perni con supporto inferiore; R= presenza del Rod end; N=dispositivo anti-rotazione non incorporato; N=sensori di fine corsa non presenti
4	P= LEMC in configurazione ad interfaccia parallela; 10=rappporto 1:1 della trasmissione a cinghia; 1=resolver; B=freno a DC 24V; Y= driver compreso; G= comunicazione Profibus; 1= lunghezza dei cavi motore e resolver.

Tabella 4-Descrizione nomenclatura

3.1.4.1 Attuatore elettromeccanico (EMA)

L'EMA è composto da un motore elettrico sincrono trifase AC Brushless che ha il compito di movimentare un sistema vite madrevite, il quale trasforma il moto rotatorio del motore in lineare, attraverso un sistema di trasmissione a rapporto unitario. L'attuatore elettromeccanico in questione viene controllato in posizione dal driver DEMA (*Servo-Drive Lenze 9400*).

Il controllo viene effettuato mediante la ricezione di due segnali:

- SET di posizione (proveniente dall'ACC).
- FEEDBACK di posizione (proveniente dal resolver del motore elettrico).

La Tabella 5 riporta i parametri principali che contraddistinguono l'attuatore elettromeccanico (EMA).

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro della vite	21	mm
Passo	5	mm
Massima forza assiale	40	KN
Massima velocità di traslazione	500	mm/s
Massima velocità rotativa	6000	rpm
Corsa nominale	100	mm
Momento d'inerzia parti rotanti	4,00E-04	Kgm ²
Coppia nominale	5,5	Nm
Coppia massima	18	Nm
Potenza nominale	1,1	kW
Corrente nominale	2,6	A
Corrente massima	10	A

Tabella 5-Parametri principali dell'EMA

3.1.4.2 Servomotore Lenze

Il servomotore utilizzato è un motore elettrico Brushless sincrono trifase AC (corrente alternata) a magneti permanenti della *Lenze* con sistema di retroazione costituito da un resolver, il quale verrà trattato più nel dettaglio nel *paragrafo* 3.3.10.

Motori elettrici

I motori elettrici funzionano grazie al principio di interazione tra correnti elettriche e campi magnetici, attraverso i quali si generano una coppia (espressa in Newton metro) ed una velocità (espressa in rpm giri al minuto), queste due grandezze identificano le prestazioni del motore.

Tutti i motori rotanti sono composti da tre parti:

- *Statore.*
È un cilindro cavo ferromagnetico esterno e fisso, affacciato al rotore, che ha il compito di creare un campo magnetico rotante al traferro. Tale campo viene generato dalla presenza di correnti che scorrono negli avvolgimenti statorici, allocati in delle cave.
- *Traferro.*
Zona d'aria compresa tra statore e rotore, è il principale responsabile della generazione di forza magneto motrice.
- *Rotore.*
È un cilindro ferromagnetico interno rotante che può essere costituito da avvolgimenti rotorici (circuito d'eccitazione) o da magneti permanenti.

In Figura 21 è riportato uno schema di un motore elettrico generico in cui è possibile notare le tre parti appena descritte.

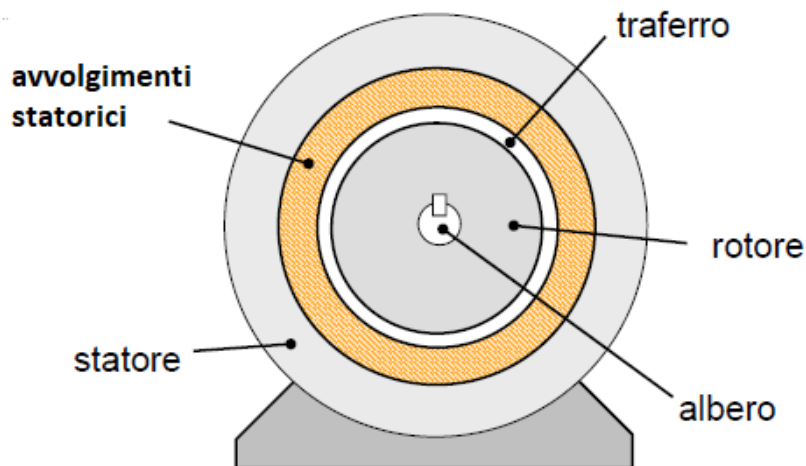


Figura 21-Schema di un motore elettrico

Esistono vari tipi di motore e si distinguono tra loro per come vengono generati i campi magnetici:

- **Motori in corrente continua (DC):** campo statico, generato da magneti o da avvolgimenti fissi nello statore e avvolgimenti rotanti nel rotore.

Il metodo con cui viene generata la potenza dipende dall'applicazione: per motori piccoli, lo statore può essere dotato di magneti permanenti (ad esempio ferriti); per motori che richiedono un quantitativo di potenza medio alta, vengono utilizzati degli avvolgimenti disposti nelle cave (campo avvolto).

La potenza così generata viene trasferita al rotore tramite collettori rotanti e spazzole, che sono soggette ad usura, e quindi necessitano di interventi di manutenzione periodici.

I motori a corrente continua hanno buone caratteristiche di robustezza e affidabilità, sono semplici da costruire e da controllare; infatti, per monitorare la coppia è sufficiente controllare la corrente fornita al motore, per monitorare la velocità basta controllare la tensione che l'inverter eroga.

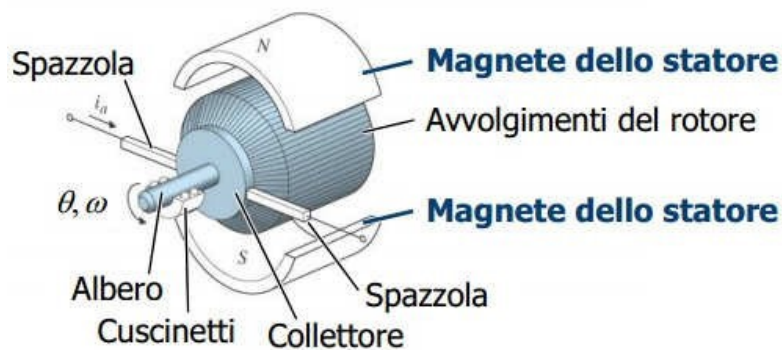


Figura 22-Schema di un motore elettrico DC

I motori in corrente continua vengono utilizzati per applicazioni dove è richiesta una generazione di potenza anche considerevole, oltre i 100 kW e per applicazioni che non richiedono inversioni rapide del senso di rotazione.

- **Motori in corrente alternata (AC):** campo dinamico, generato dall'interazione tra i due campi prodotti dalle correnti dello statore e del rotore. Questi motori vengono utilizzati per applicazioni che non richiedono una elevata coppia allo spunto e quando non è richiesta una regolazione accurata della velocità di rotazione.
- **Motori Brushless:** campo statico, generato da magneti che ruotano, fissati sul rotore. I motori brushless vengono utilizzati quando si richiedono rapide accelerazioni o inversioni del moto, posizionamento rapido e accurato, regolazione fine e controllo dei movimenti (applicazioni per macchine utensili), generazione potenza con efficienze elevata.

Motore Brushless

Il motore utilizzato per movimentare l'attuatore elettromeccanico è del tipo brushless SPM (*Surface Permanent Magnet*).

È costituito da magneti che sono incollati sul rotore e sono protetti da un bendaggio metallico o in fibra, questi hanno il compito di produrre un flusso d'eccitazione sempre presente al traferro e ciò comporta una immediata disponibilità di coppia motrice. Se si utilizzano materiali magnetici ad alta densità di flusso, come leghe neodimioferro-boro (NdFeB) o altre terre rare, è possibile costruire, a parità di coppia disponibile all'albero, motori leggeri, compatti e con basso momento di inerzia rotorico. La presenza dei magneti comporta inoltre l'assenza delle perdite per effetto Joule dovute al circuito di eccitazione, il quale non è presente perché non ci sono avvolgimenti rotorici. Non sono tra l'altro presenti contatti striscianti, che nelle macchine sincrone tradizionali (corrente continua) sono necessari per alimentare il circuito di eccitazione.

I magneti vengono disposti sul rotore e la loro collocazione può essere di vario tipo:

- *Superficiale.*
- *Interna al rotore.*

La Figura 23 mostra tre diverse tipologie di disposizione dei magneti nel rotore:

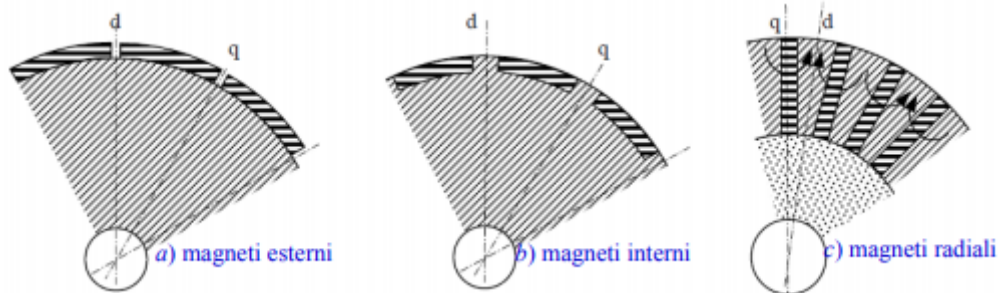


Figura 23-Disposizione dei magneti permanenti nei motori Brushless

Nei casi a e b, i magneti vengono disposti in corrispondenza del traferro. Nel caso c, i magneti sono collocati radialmente nel rotore.

Lo statore invece mantiene generalmente la forma tipica delle macchine sincrone e asincrone, con un avvolgimento trifase distribuito nelle cave (Figura 24).

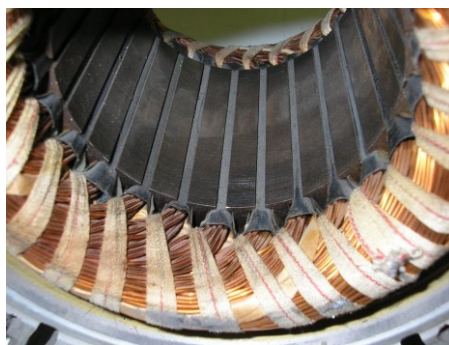


Figura 24-Disposizione degli avvolgimenti in uno statore

Come detto in precedenza il funzionamento dei motori elettrici è correlato all'interazione tra campo magnetico del rotore e dello statore. Il campo magnetico dello statore viene prodotto, secondo la legge della circuitazione, da un passaggio di corrente all'interno di un solenoide, mentre il campo magnetico del rotore è generato dai magneti permanenti.

L'interazione tra i due campi genera una coppia, descritta dalla seguente equazione:

$$C_M \propto B_{rot} * B_{stat} * \sin(\vartheta)$$

Nei motori brushless trifase il campo prodotto dai magneti permanenti rotorici e quello prodotto dalle correnti circolanti nei tre avvolgimenti statorici è rotante, quest'ultimo è mantenuto mediamente in anticipo di 90° elettrici, grazie dall'azione del controllo del servo-inverter DEMA, che alimenta il motore (per maggiori

informazioni sul driver DEMA fare riferimento al 3.3.10). Per ottenere questo risultato, gli avvolgimenti statorici sono alimentati dal driver, il quale invia al motore tre correnti (pari al numero delle fasi del motore), il cui valore dipende dalla posizione del rotore, che viene individuata grazie al resolver. In questo modo, la distribuzione delle correnti statoriche si modifica in sincronia con la posizione del rotore e quindi il campo magnetico rotante statorico risulta (idealmente) in anticipo di 90° elettrici rispetto a quello rotorico, in qualsiasi condizione di funzionamento. Un angolo di fase corrispondente a 90° garantisce una coppia motrice massima, come si può notare dalla equazione precedente.

I motori brushless oltre che dalla posizione dei magneti si distinguono anche dalla forza contro elettromotrice, che dipende dalla forma delle correnti. I motori brushless possono essere di due tipi:

- *Brushless DC* (trapezio).
- *Brushless AC* (sinusoide).

Motore Brushless DC trifase

La maggior parte dei servosistemi elettromeccanici impiega i motori brushless DC (a corrente continua) a discapito delle macchine in corrente continua, perché queste ultime presentano degli inconvenienti dovuti alla presenza del sistema a spazzole, come è stato detto in precedenza, a causa del loro scorrimento si usurano e degradano con il tempo. Lo strisciamento relativo tra spazzole e collettore può innescare scintille molto pericolose se nelle vicinanze sono presenti materiali infiammabili.

Ricorrere ad un motore brushless permette enormi vantaggi in termini di ingombro e soprattutto non vengono utilizzate le spazzole, di conseguenza la commutazione avviene elettronicamente in funzione della posizione del rotore.

Lo statore è costituito da avvolgimenti trifase che individuano le tre fasi del motore (U, V, W), sfasati di 120° elettrici lungo la periferia. I gradi elettrici (ϑ_E) corrispondono alla posizione angolare del rotore (ϑ_M) moltiplicata per il numero di paia poli (p), secondo la seguente equazione:

$$\vartheta_E = \vartheta_M * p$$

La forza contro elettromotrice generata dai due campi viene determinata mediante la legge di Faraday:

$$A_{U,V,W} = (B_{rot} \times v) * l * N$$

Dove:

- $A_{U,V,W}$ è la forza contro elettromotrice prodotta dalle tre fasi del motore.
- B_{rot} è il campo magnetico prodotto a rotore dai magneti permanenti.
- v è la velocità di rotazione del campo.
- l è la lunghezza degli avvolgimenti statorici.
- N numero di spire della singola fase.

Come si può notare dalla equazione di Faraday la forza contro elettromotrice dipende dall'orientazione e dal modulo dell'induzione magnetica B_{rot} , che è funzione della posizione angolare del rotore e del numero di poli. Nei motori brushless DC la forza contro elettromotrice ha un andamento trapezoidale, così come le tensioni e le correnti. La Figura 25 riporta l'andamento della forza contro elettromotrice per le tre fasi del motore, come si può vedere queste risultano essere sfasate di 120° l'una rispetto all'altra.

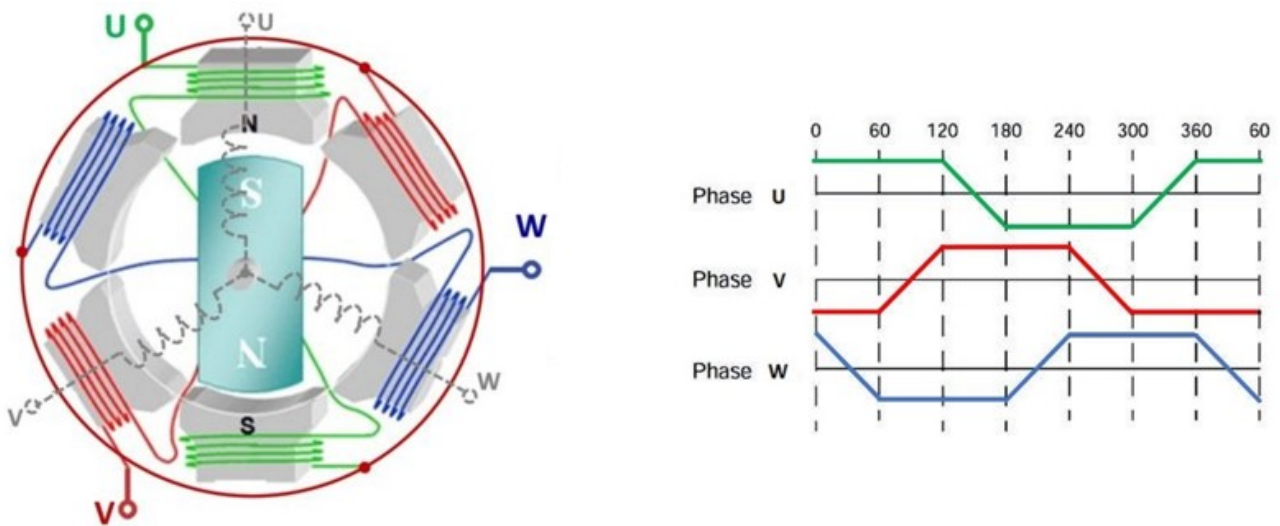


Figura 25-Disposizione degli avvolgimenti e fasi di un Brushless DC

Lo svantaggio di questo motore è la presenza di *ripple* (discontinuità) di coppia dovuti alla forma trapezoidale della forza controelettrica. Per questo motivo, nelle applicazioni in cui si richiede elevata precisione si utilizzano motori brushless sincroni trifase in corrente alternata (AC).

Motore Brushless AC trifase

Il motore brushless AC trifase sincrono a magneti permanenti ha elevate prestazioni e può essere considerato come l'evoluzione del brushless DC. Questa particolare tipologia di motore viene utilizzata per movimentare l'attuatore elettromeccanico presente nel banco Astib.

In questo caso la forza controelettrica, così come le correnti delle tre fasi, ha andamento sinusoidale, il che consente una commutazione della corrente più fluida e l'assenza di *ripple* di coppia.

Per ottenere questo tipo di motore, gli avvolgimenti vengono distribuiti il più possibile sinusoidalmente, di conseguenza, anche l'induzione al traferro è sinusoidale.

È necessario avere una coppia costante con la rotazione del rotore, per ottenere ciò, il campo magnetico statorico deve ruotare in sincronismo con il rotore. La macchina è allora realizzata con avvolgimenti trifasi che, alimentati con un sistema trifase di correnti equilibrate, generano un campo magnetico rotante.

Le equazioni che descrivono le correnti per le tre fasi del motore (U, V, W) sono:

$$i_U = i * \sin(\vartheta + 90)$$

$$i_V = i * \sin(\vartheta + 90 + 120)$$

$$i_W = i * \sin(\vartheta + 90 + 240)$$

L'andamento della forza controelettrica e delle correnti viene riportato nella Figura 26, come si può notare anche in questo caso le grandezze sono sfasate di 120° elettrici.

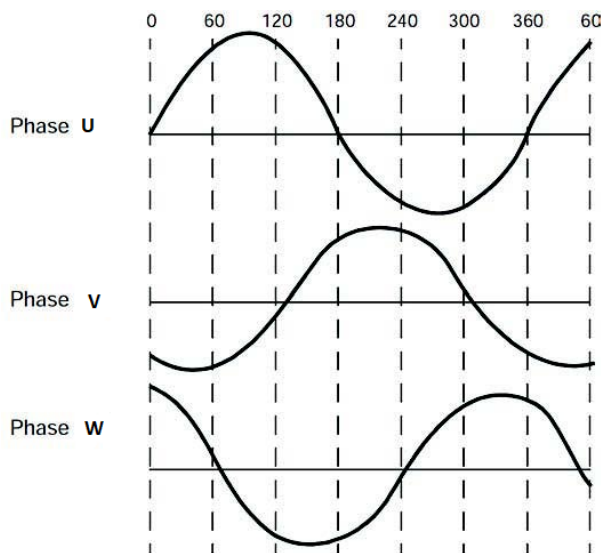


Figura 26-Fasi di un motore Brushless AC

Un aspetto fondamentale dei motori brushless sinusoidali è che la forza controelettrica indotta in ogni fase dell'avvolgimento dalla rotazione dei magneti deve essere una funzione sinusoidale dell'angolo di rotore(θ). La forma di questa funzione dipende parzialmente dalla distribuzione del flusso prodotto dai magneti, che deve essere il più possibile sinusoidale, e parzialmente dalla distribuzione dell'avvolgimento di statore. Se l'avvolgimento fosse perfettamente distribuito sinusoidalmente, non si avrebbero concatenamenti con le armoniche spaziali della distribuzione del flusso prodotto dai magneti. Ma poiché nella pratica gli avvolgimenti non sono perfettamente distribuiti sinusoidalmente, è importante rendere più sinusoidale possibile la distribuzione del flusso dei magneti.

Come tutti i motori elettrici anche i brushless AC hanno una caratteristica di coppia, che è riportata in Figura 27.

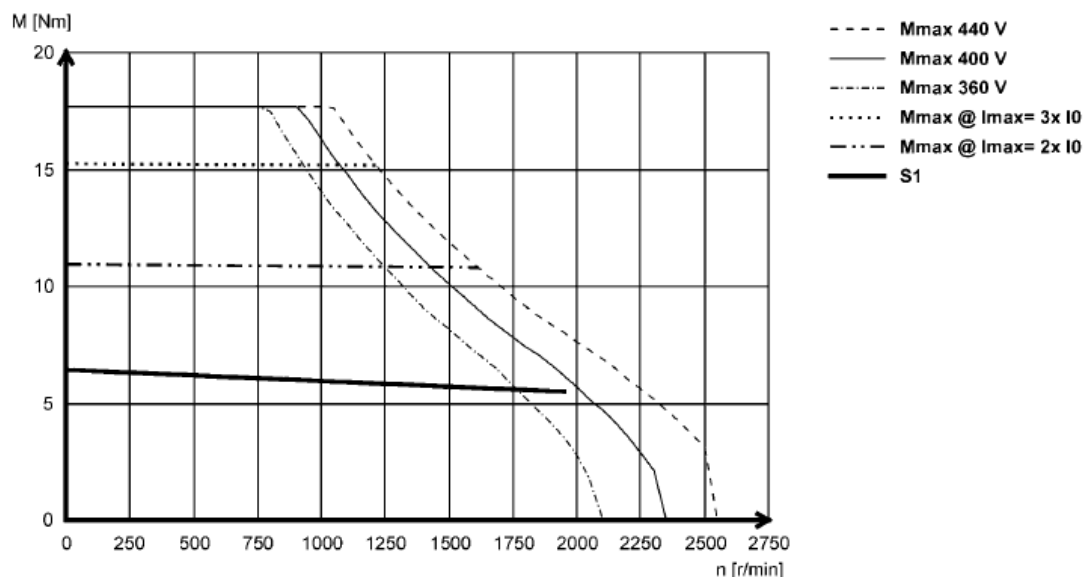


Figura 27-Caratteristica di coppia Brushless AC

Alimentando con una sequenza opportuna le tre fasi dello statore, è possibile far sviluppare al motore la coppia massima. Questa condizione si ha quando le correnti sono in fase con le forze elettromotrici indotte (Figura 28). Per far sì che ciò si verifichi, è necessario conoscere la posizione del rotore in ogni istante e utilizzare questa informazione per comandare l'inverter in modo da ottenere la situazione desiderata per le correnti di

statore (il loro campo magnetico risultante deve formare con il campo magnetico rotorico un angolo prossimo a 90°, affinché la coppia sviluppata sia massima).

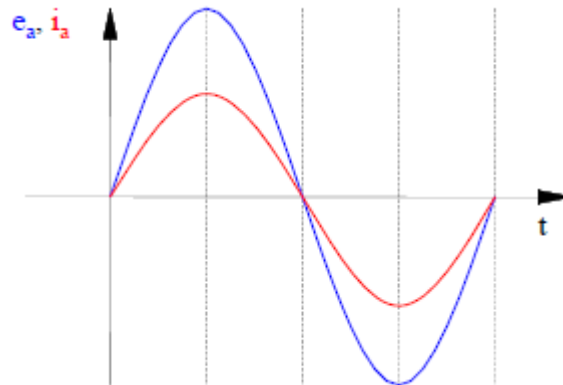


Figura 28-Andamento tensione e corrente di un motore Brushless AC

I motori brushless AC o DC attualmente sono molto utilizzati, poiché presentano enormi vantaggi rispetto ai motori tradizionali in corrente continua. I vantaggi sono i seguenti:

- Ridotta manutenzione.
- Maggiore affidabilità.
- Campo di variazione della velocità più ampio.
- Maggiore rendimento.
- Asportazione del calore più agevole, in quanto, essendo gli avvolgimenti disposti sullo statore, è minore la resistenza termica incontrata dal calore da essi generato.
- Dimensioni più piccole a parità di potenza.
- Ridotta inerzia perché ci sono i magneti permanenti, che rendono più compatta la macchina.
- Elevate prestazioni dinamiche per la presenza sul rotore di magneti permanenti; infatti, quando è presente l'avvolgimento di eccitazione sul rotore, bisogna mettere in conto la costante di tempo L/R di tale avvolgimento.
- Minore rumore acustico.

I rendimenti dei motori brushless, a parità di taglia, sono mediamente più alti di quelli dei motori asincroni o in corrente continua: per potenze elevate (decine e centinaia di kW) si può arrivare a rendimenti del 98%.

3.1.4.3 Sistema di trasmissione

Il sistema di trasmissione si trova nella parte posteriore dell'LEMC come è possibile vedere dalla Figura 29.

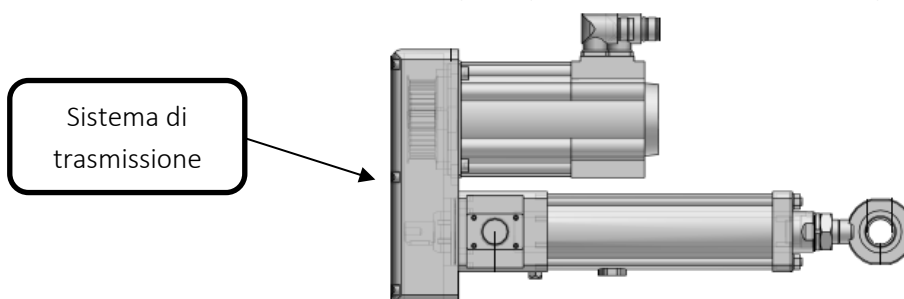


Figura 29-Vista laterale LEMC

È costituito da:

- Due pulegge (una nel lato motore, una nel lato attuatore).
- Una cinghia dentata.
- Un attuatore a vite con rulli satelliti SKF.

Sul motore elettrico è calettata una puleggia, la quale, ruotando insieme ad esso, grazie ad una cinghia dentata con rapporto di trasmissione unitario, porta in rotazione una seconda puleggia, che è collegata all'attuatore lineare.

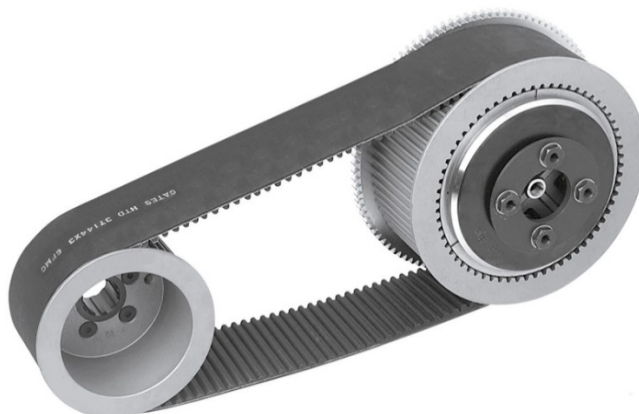


Figura 30-Sistema di trasmissione a cinghia e due pulegge

L'accoppiamento tra la seconda puleggia e l'attuatore lineare avviene attraverso un sistema vite-madrevite, con la differenza che tra di loro sono interposti dei rulli a satelliti. Il moto rotatorio proveniente dalla trasmissione a cinghia viene trasformato in moto lineare dell'attuatore a vite mediante il sistema a rulli satelliti SKF.

Questo genere di trasmissione (Figura 31) è reso possibile dalla presenza di una *madrevite* interna, di *rulli satelliti*, di una *vite* e di una *gabbia*.

La *madrevite* è accoppiata con la puleggia del lato attuatore e trasmette il moto alla vite mediante i rulli satelliti.

I *rulli satelliti* sono filettati e questo comporta un trasferimento del moto analogo a quello derivante dall'utilizzo delle sfere, queste ultime non vengono utilizzate perché con la tecnologia a rulli satelliti si ottengono vantaggi non trascurabili tra cui quello di avere una maggiore superficie di contatto per la trasmissione del carico, il che permette una maggiore durata della vita del meccanismo, alti carichi ed alte velocità.

Una ulteriore alternativa è quella di utilizzare un meccanismo a ricircolo di rulli, in questo caso i rulli presentano una filettatura con angolo d'elica nullo, il che comporta la presenza di fenomeni di attrito di strisciamento tra rulli stessi e madrevite, poiché quest'ultima a differenza dei rulli presenta un angolo d'elica diverso da zero.

Questi fenomeni indesiderati possono essere eliminati mediante l'utilizzo di rulli satelliti, che presentano un angolo d'elica diverso da zero e coincidente a quello della madrevite.

La soluzione a rulli satelliti risulta essere particolarmente vantaggiosa per le applicazioni che richiedono elevate velocità lineari, carichi elevati e condizioni ambientali critiche.

Gli ultimi due componenti costituenti il sistema di trasmissione sono la *vite* e la *gabbia*.

La *vite* rappresenta l'effetto utile, infatti il movimento lineare dell'attuatore coincide con la traslazione della vite.

La *gabbia* ha il duplice compito di racchiudere tutto il sistema e di mantenere la posizione relativa tra i rulli satelliti costante.

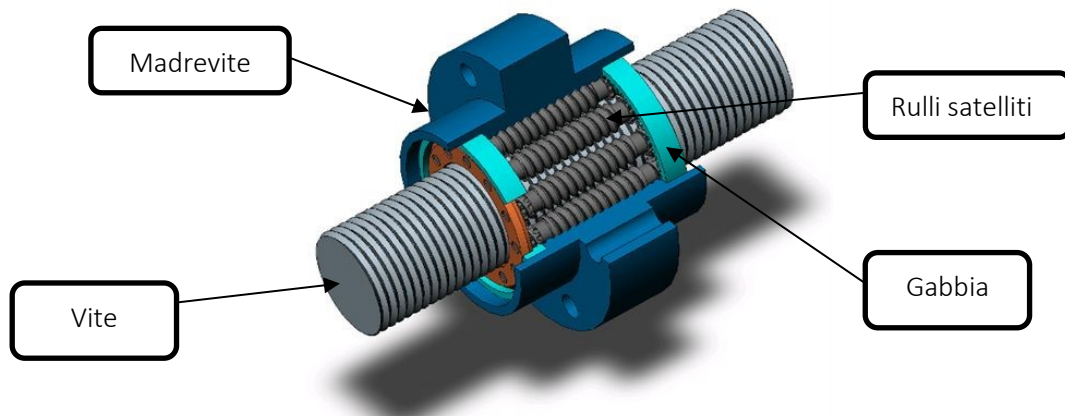


Figura 31-Modello con rulli satelliti

La Tabella 6 riporta i dati di targa dell'attuatore a vite con rulli a satelliti:

Descrizione	Valore	Unità di misura
Numero principi del filetto della vite	4	-
Diametro della vite	21	mm
Passo della vite	5	mm
Angolo d'elica della vite	4.33	°
Numero di rulli	9	-
Carico dinamico	50,55	kN
Carico statico	8,20E+01	kN
Gioco assiale minimo	0,02	mm
Massa madrevite	0,4	kg
Massa della vite/metro	2,7	kg/m
Inerzia madrevite	141,2	kgmm ²
Inerzia rulli	6,5	kgmm ²

Tabella 6-Dati di targa dell'attuatore a rulli satelliti

3.1.5 Sensoristica

I sistemi di misura presenti sul banco sono:

- Cella di carico (LC)-METIOR CVC 50 KN.
- Trasduttore lineare di velocità (LVT)-TRANSTEK.
- Encoder angolare incrementale (AE)-RENISHAW.
- Trasduttori di pressione GEFRAIN TPSA.
- Rack tensione-corrente (T/C).
 - Sensori di corrente DaniSense DS50UB-10V.
 - Sensori di Tensione Verivolt modello IsoBlock V4-4c.

3.1.5.1 Cella di carico LC-METIOR CVC 50 KN

La LC è posta tra l'HLA (*Hydraulic load Actuator*) e l'elemento a gomito, viene utilizzata per misurare la forza esercitata dall'attuatore idraulico, che in questa applicazione risulta essere un disturbo per la posizione dell'attuatore elettromeccanico (EMA).

Il modello attuale, prodotto dalla *Metior*, è il CVS 50 KN.

La Figura 32 e la Tabella 7 riportano rispettivamente una immagine della LC e alcune sue specifiche.



Figura 32-Cella di carico LC-METIOR CVC 50 KN

Cella di carico-METIOR CVC 50 KN	
Forza massima misurabile	50000 N
Sensibilità nominale	2 mV/V
Accuratezza	0.1 % FS
Larghezza di banda (-3dB)	10 kHz

Tabella 7-Caratteristiche cella di carico

Il modulo di condizionamento della LC che riceve in ingresso il segnale *LCout* è l'NI 9218, tale modulo verrà descritto più nel dettaglio in seguito.

3.1.5.2 Trasduttore di velocità LVT-TRANSTEK

L'LVT (*linear velocity transducer*), trasduttore elettro-dinamico prodotto dalla TRANSTEK e integrato nel corpo dell'attuatore idraulico, misura la velocità dello stelo, che nel controllo forza appare come disturbo.



Figura 33-Trasduttore di velocità LVT-TRANSTEK

LVT-TRANSTEK	
Velocità massima misurabile	100 mm/s
Sensibilità nominale	10 mV/(mm/s)
Larghezza di banda (-3dB)	400 Hz

Tabella 8-Caratteristiche trasduttore di velocità

Il modulo di condizionamento dell'LVT che riceve in ingresso il segnale *LVTout* è l'NI 9205, il quale verrà trattato più nel dettaglio in seguito.

3.1.5.3 Encoder angolare incrementale AE- RENISHAW

L'AE consente di misurare la posizione angolare dell'elemento a gomito, in funzione della quale è possibile determinare la posizione sia dello stelo dell'attuatore di carico, sia di quello dell'EMA.

È stato installato un AE di tipo ottico prodotto dalla *Renishaw*.

L'anello è realizzato internamente in acciaio inossidabile, sul suo perimetro esterno sono ricavate due tracce da 20 μm , corrispondenti ai segnali A e B (segnali in uscita dal lettore ottico). Sulla sua circonferenza sono ricavate delle tacche, maggiore è il numero di esse, tanto grande sarà la sua risoluzione. Questo anello è dotato di 18000 tacche ed una risoluzione di 0.02°. È presente anche un segnale Z relativo alla tacca di zero.

Un lettore ottico *VIONiC* interroga l'encoder con una frequenza stabilita, individuando le tracce da 20 μm . Il segnale in uscita dal lettore è un segnale digitale. Affinché si abbia un corretto funzionamento la frequenza con cui il lettore deve interrogare l'anello deve essere al contempo maggiore della massima velocità di rotazione dell'anello e minore della frequenza di acquisizione propria del modulo NI 9401 (modulo utilizzato per acquisire i segnali provenienti dall'encoder angolare).

Per maggiori informazioni sul funzionamento dell'encoder si veda il *paragrafo 4.2.1.1* ("*Angular Encoder Reading Loop*").

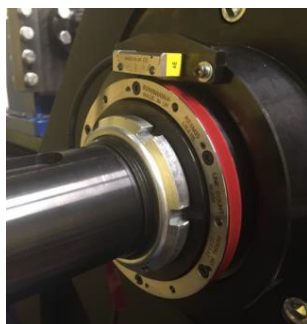


Figura 34-Encoder angolare incrementale AE- RENISHAW

Encoder Incrementale-RENISHAW	
Optical ring-REsM	
Diametro	115 mm
Numero di linee	18000
Optical reader-VIONiC	
Risoluzione (X4 Interpolazione)	18" di grado

Tabella 9- Caratteristiche encoder incrementale

3.1.5.4 Sensori di pressione-GEFRAIN TPSA

Sono presenti tre sensori di pressione montati sul blocco idraulico dell'HLA, che misurano rispettivamente, la pressione di alimentazione in ingresso alla servovalvola, a monte dell'attuatore, e le pressioni nelle due camere del cilindro dell'HLA.

Le caratteristiche e foto dei sensori di pressione sono riportati rispettivamente nella Tabella 10 e nella Figura 35.



Figura 35-Sensori di pressione-GEFRAIN TPSA

Trasduttore di Pressione-GEFRAIN TPSA	
Pressione massima misurabile	35 Mpa
Sensibilità nominale	2.8 mV/Mpa
Larghezza di banda (-3dB)	160 Hz

Tabella 10-Caratteristiche trasduttori di pressione

3.1.5.5 Rack Tensione-Corrente

Il Rack T/C è un dispositivo custom interposto tra driver *Lenze* e motore elettrico, fisicamente è una scatola che ingloba all'interno gli elementi necessari alla rilevazione dei segnali di corrente e di tensione.

Lo schema del Rack T/C è riportato in Figura 36.

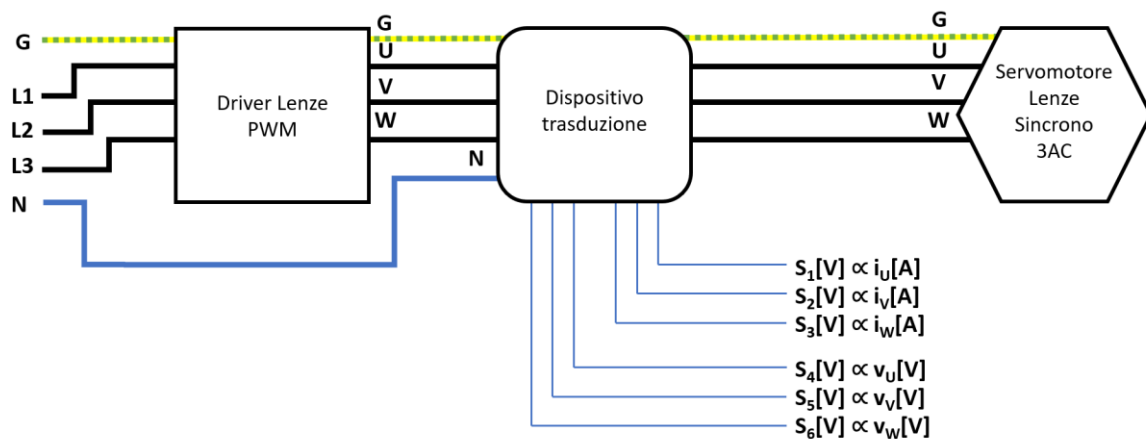


Figura 36-Schema del RACK

Il Rack serve quindi ad ottenere sei segnali, tre dei quali sono correnti e corrispondono alle tre fasi del motore (U, V, W). Gli altri tre segnali sono di tensione e corrispondono alle tre fasi rispetto al neutro, che viene preso dalla rete. In un motore elettrico il neutro non viene collegato per evitare sbilanciamenti, quindi, la misura delle tensioni può essere fatta rispetto al neutro della rete o ad un neutro virtuale realizzato direttamente all'interno del rack utilizzando tre resistenze di potenza montate a stella rispetto le fasi.

Attualmente il sistema con il Rack T/C installato è in fase di perfezionamento, infatti quando si accende il driver, si notano picchi e andamenti anomali su tutte le grandezze, frutto di disturbi elettromagnetici; pertanto, è importante sapere che tutte le immagini riportate in questo paragrafo, che riguardano il sistema di acquisizione tensione-corrente, non sono definitive, ma rappresentano la configurazione attuale del Rack.

La Figura 37 riporta uno schema funzionale del Rack, mostrandone vari i sensori.

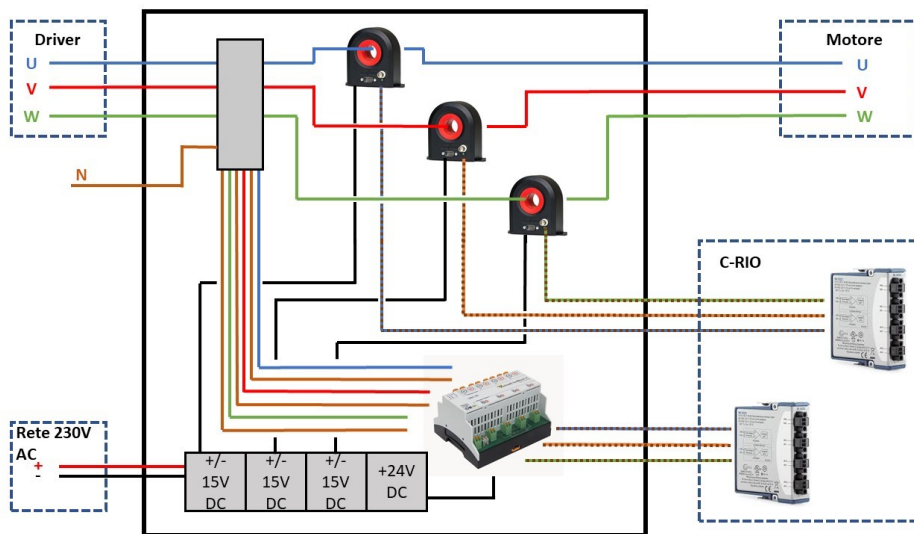


Figura 37-Schema attuale del Rack (non definitivo)

I dispositivi contenuti all'interno del Rack (Figura 38) sono:

- Tre sensori di corrente *DaniSense DS50UB-10V*.
- Tre cavi DSUB.
- Tre cavi BNC.
- Tre alimentatori *MBRD-0-A-XX*.
- Morsettiera.
- Un sensore di tensione *VeriVolt IsoBlock-V4c*.
- Alimentazioni del trasduttore di tensione.

I sensori di corrente *DaniSense DS50UB-10V* sono collegati mediante dei cavi DSUB ai rispettivi alimentatori *MBRD-0-A-XX* (indicati in blu nella Figura 38). Si inserisce un alimentatore per ogni sensore al fine di aumentare la stabilità del sistema. Da ogni sensore esce un cavo nero che contiene la corrente di fase. Tale segnale si divide andando da una parte ai terminali del sensore (nella Figura 38 sono in basso a sinistra, indicati in arancione) e dall'altra alla morsettiera (in azzurro nella figura), che ha il compito di convogliare le tre fasi del motore, il neutro (silo blu) e il ground (filo giallo e verde). È presente poi un sensore di tensione *VeriVolt IsoBlock-V4c*, alimentato dagli elementi cerchiati in rosso nella Figura 38. Il sensore di tensione raccoglie attraverso altri tre fili neri le fasi del motore (U, V, W), le quali vengono portate sui terminali in basso a destra, cerchiati in arancione nella Figura 38.

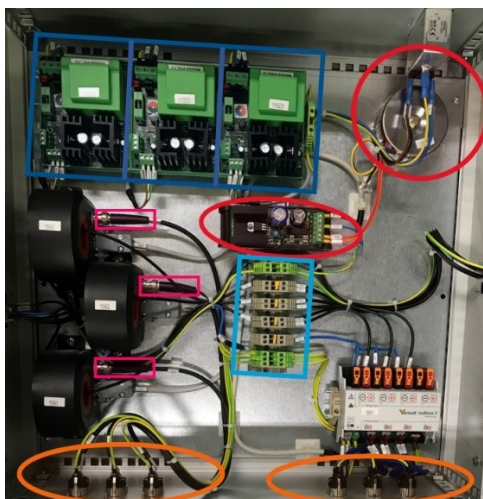


Figura 38-Rack vista interna

3.1.5.6 Sensori di corrente DaniSense DS50UB-10V

Trasduttore di corrente della serie DS ultra-stabile e ad alta precisione (classe ppm) per la misurazione della corrente CC e CA non intrusiva e isolata fino a 50 A.

La Figura 39 riporta alcune specifiche tecniche del sensore di corrente:

Specification highlights	Symbol	Unit	Min	Typ	Max
Nominal primary AC current	I_{pk} AC	A _{rms}			36
Nominal primary DC current	I_{pk} DC	A	-50		50
Measuring range	I_{me}	A	-55		55
Primary / secondary ratio		V/kA	200,000		200,000
Linearity error	ϵ_L	ppm	-24		24
Offset current (including earth field)	I_{oc}	ppm	-100		100
Ratio error @23°C	ϵ_C	ppm	-25		25
DC-10Hz Overall accuracy @23°C (= $\epsilon_L + I_{oc}$)	acc ϵ	ppm	-149		149
AC Maximum gain error 10Hz to 3kHz	ϵG	%			±0.01
Operating temperature range	T_a	°C	-40		85
Power supply voltages	U_c	V	±14.25		±15.75



Figura 39- Sensore di corrente

I sensori DS50UB-10V sono collegati agli alimentatori MBRD-0-A-XX mediante dei cavi DSUB.

3.1.5.7 Sensore di tensione VeriVolt IsoBlock-V4c

Il modulo *IsoBlock V* è stato progettato per fornire misurazioni di tensione differenziale isolata di alta qualità per applicazioni che richiedono la messa in scala di tensioni elevate, nonché un isolamento superiore. Ciascuna unità *IsoBlock V* ospita quattro canali isolati separati.

La Figura 40 riporta una immagine del sensore di tensione e le sue specifiche tecniche:

Electrical	
Accuracy (percentage of reading)	$\pm(0.2\% \text{ of reading} + 0.005\% \text{ range})$ or $\pm(0.1\% \text{ of reading} + 0.005\% \text{ range})$
Max total phase shift at 60Hz	$< 0.05^\circ$
Max Input delay (100kHz versions)	$< 2.8 \mu\text{s}$
Isolation voltage from primary to secondary	$> \pm 1500 \text{ V}$
Withstanding common mode surge voltage	$\pm 5000 \text{ V}$
Withstanding differential mode surge voltage	$\pm 2500 \text{ V}$
Mechanical	
Mounting Type	DIN Rail
Connectivity (Connector for power in and signal out to/from the sensor)	Spring Cage connector
Outer Dimensions	3.9" x 3.5" x 2.5"
Channels	4 channels
Weight	198 g (7.0 oz)

Performance	
Input-Output non-linearity	$< \pm 0.04\%$
Integrated channel noise (Referenced to output)	$< 1.2 \text{ mV}$
Output voltage	$\pm 10\text{V} (\pm 5\text{V custom})$
Gain temperature drift	$\pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Common mode rejection at 60Hz	112 dB
Power Supply Voltage *	12V to 28 V
Output type	Differential pair
Output Offset Voltage (Referenced to output)	2 σ $< \pm 500 \mu\text{V}$ (typical) 4 σ $< \pm 1 \text{ mV}$ (limit)
Differential Input Impedance	$> 10 \text{ M}\Omega$
Insulation impedance	$> 10 \text{ G}\Omega \parallel 2\text{pF}$
Output impedance	100 Ω
Environmental	
Operating temperature	$-25 \text{ to } 70 \text{ }^\circ\text{C}$
Storage temperature	$-40 \text{ to } 80 \text{ }^\circ\text{C}$

* New powering voltage range since January of 2020



Figura 40-Sensore di tensione

I segnali di tensione e corrente descritti in precedenza vengono acquisiti utilizzando due schede di acquisizione NI 9223, le quali verranno descritte in seguito.

3.2 Componenti di integrazione al banco

La Figura 41 mostra in vista frontale i componenti che costituiscono l'intero banco prova. In questo paragrafo l'attenzione viene rivolta ai componenti esterni al banco prova vero e proprio, il quale invece è stato descritto nei paragrafi precedenti.

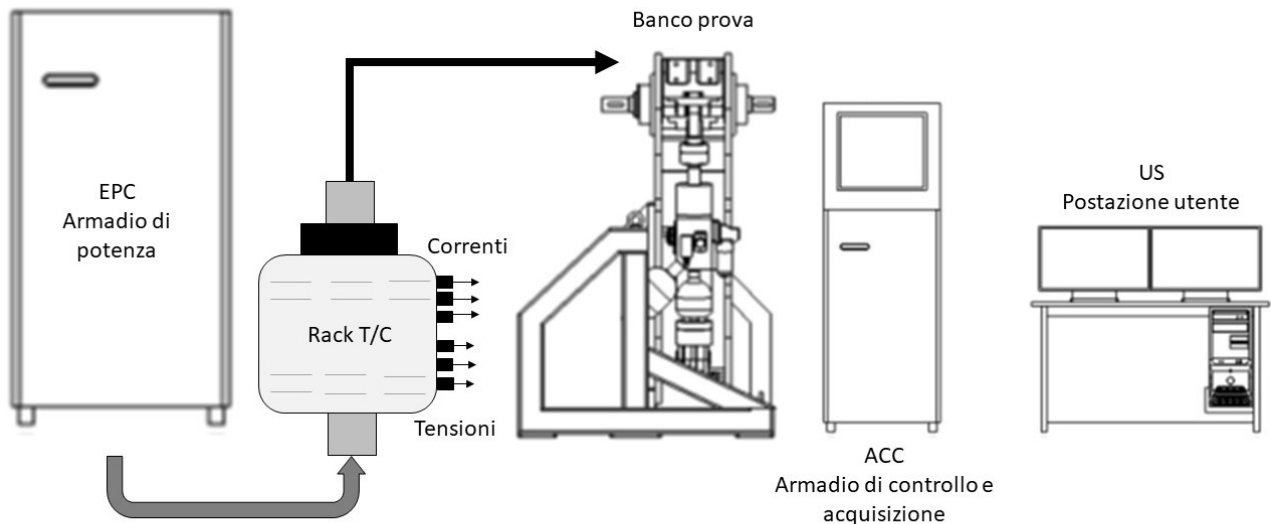


Figura 41-Componenti dell'intero banco prova

I componenti di integrazione al banco sono i seguenti:

- L'armadio elettrico ospitante l'elettronica di controllo e acquisizione, denominato "ACC" (Acquisition And Control Cabinet).

- L'armadio contenente l'elettronica di potenza, denominato "EPC" (EMA Power Cabinet o DEMA).
- La postazione utente, denominata "US" (User Station).
- Il Rack contenente i sensori di tensione e corrente.

3.2.1 ACC (Acquisition and Control Cabinet)

L'ACC, collocato a fianco della postazione dell'utente e non incluso del perimetro di protezione, riceve tutti i segnali provenienti dal campo ed ospita al suo interno i seguenti componenti:

- Il touch-screen (TSM) da 17 pollici.
- Il c-RIO 9039 e relativi moduli.
- Diverse *breakout box* (BOB).
- Il driver della SV.
- Tutti i relè necessari a gestire le emergenze.
- Un alimentatore da 24 VDC.

Layout ACC

La Figura 42 mostra l'organizzazione interna e posteriore dell'ACC:

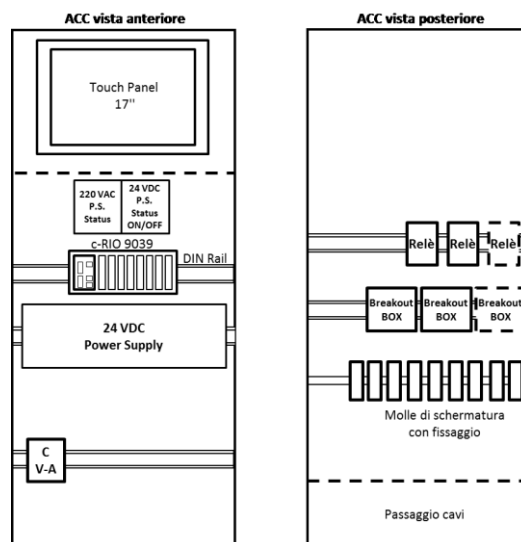


Figura 42-ACC vista interna e posteriore

Nella configurazione a porte chiuse dell'ACC è presente il pannello touch screen (17 pollici), utilizzabile da una persona disposta in piedi. La maggior parte delle volte viene utilizzata, come interfaccia grafica, quella del pc, poiché più comoda rispetto al pannello touch screen, inoltre quest'ultimo essendo gestito dal c-RIO può mostrare solo l'interfaccia Real Time e FPGA e non user interface.

Sotto lo schermo touch screen è presente un pannello di controllo elettromeccanico costituito da una pulsantiera (Figura 43), che ha il compito di mettere in sicurezza il banco e successivamente avviare l'applicazione.



Figura 43-Pannello di controllo elettromeccanico

Nel pannello di controllo elettromeccanico sono presenti i seguenti pulsanti:

- Inserzione ausiliari: comanda gli accessori di chiusura delle porte e i relè.
- Apertura ripari: comanda l'apertura delle porte del banco, affinché ci si possa accedere.
- Avvio ciclo/Stop ciclo: comandano rispettivamente l'avviamento e l'arresto della prova.
- Inserzione della servovalvola: abilita la servovalvola.
- Pulsante a fungo rosso: comanda l'arresto del banco sia a livello software (segnale al microcontrollore) sia meccanico (valvola di shut-off).
- Ripristino sicurezze: una volta che l'emergenza è stata rilevata bisogna confermare attraverso questo pulsante che le emergenze sono state riattivate.

Aperto l'ACC frontalmente, partendo dall'alto sono presenti due *box* disposte una a fianco all'altra. La prima da sinistra mostra mediante un indicatore che l'armadio è raggiunto da una 220 VAC, mentre l'altra mostra lo stato dell'alimentatore da 24 VDC, includendo inoltre un controllo che permette di spegnere l'alimentatore stesso. Sotto le due *box* si colloca il c-RIO 9039, sul quale sono installati tutti i moduli NI. Procedendo, si ha l'alimentatore da 24 VDC. Sotto l'alimentatore è collocato il driver della SV.

L'alimentatore da 24 VDC provvede all'alimentazione dei seguenti componenti:

- c-RIO 9039.
- Pannello touch da 17".
- Driver della SV.
- Valvola di shut-off alimentata attraverso i relè.
- Eventuali interlock alimentati attraverso i relè.

Posteriormente al banco (Figura 42) sono presenti le *breakout box* (BOB), che hanno il compito di facilitare il cablaggio dei cavi che trasportano i segnali provenienti dal banco ai moduli (ogni modulo ha una sua BOB), fungono da interfaccia con i segnali provenienti dal banco e con i relè, i quali sono disposti sempre posteriormente all'ACC.

Comunicazioni ACC

L'ACC comunica con la *User Station* (US) mediante due connessioni (Figura 44):

- Cavo ethernet tra c-RIO 9039 e PC.
- Comunicazione meccanica tramite il pulsante a fungo.

Attraverso il pulsante a fungo vengono stoppate le comunicazioni sia a livello hardware che meccanico, attivando la valvola di shut-off (normalmente chiusa), che interrompe l'efflusso di olio verso l'attuatore idraulico.

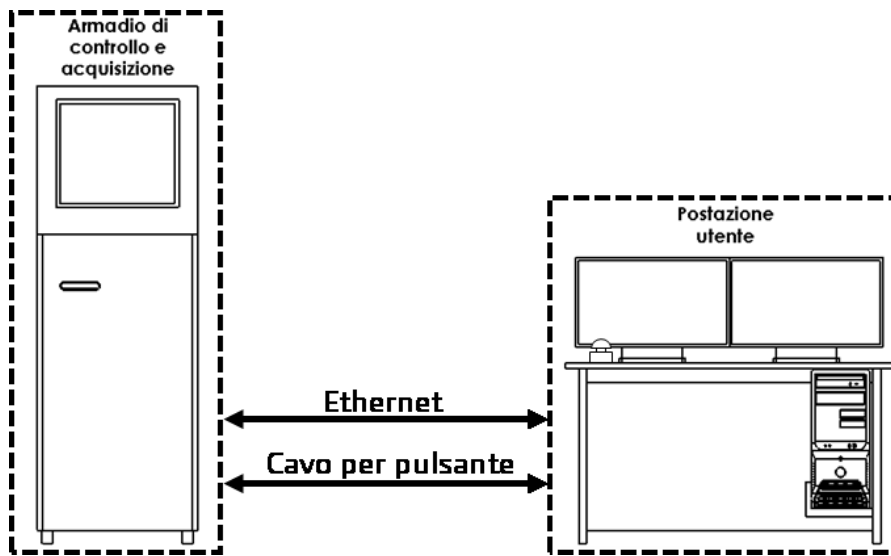


Figura 44-Comunicazione ACC-Postazione utente

L'ACC comunica con il banco prova acquisendo i segnali provenienti dai sensori montati su di esso e inviando segnali per il controllo dello stesso (Figura 45).

I segnali che arrivano e provengono dal banco sono:

- Encoder angolare.
- Cella di carico (LC).
- Valvola di shut-off (SOV).
- Servovalvola.
- LVT.
- Tensioni.
- Correnti.

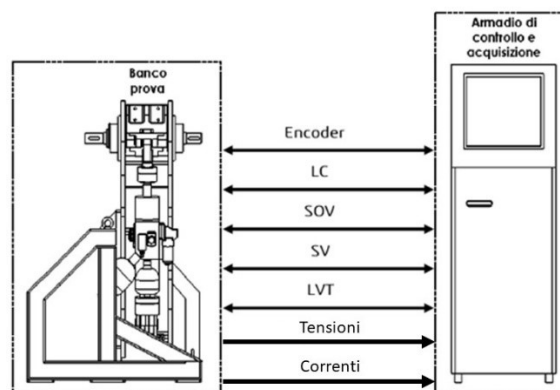


Figura 45-Comunicazione ACC-Banco prova

I segnali che provengono dal Rack T/C sono:

- Tensioni di fase del motore elettrico.
- Correnti di fase del motore elettrico.

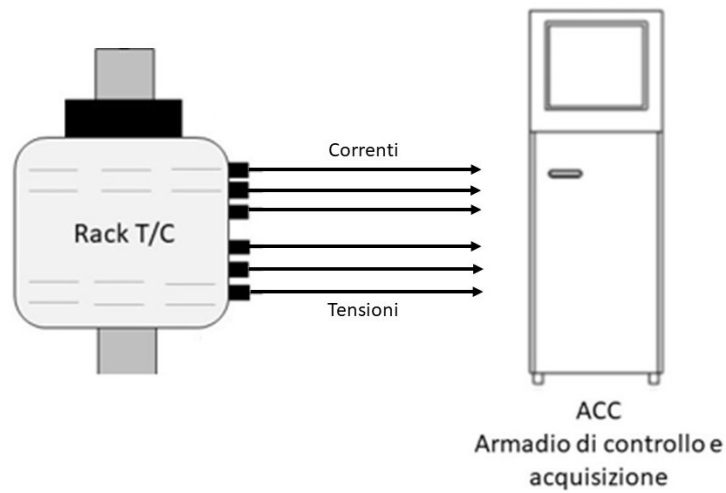


Figura 46-Comunicazione Rack-ACC

L'ACC comunica con l'armadio di potenza (DEMA) mediante morsettiere analogico/digitali, come visibile nella figura seguente:

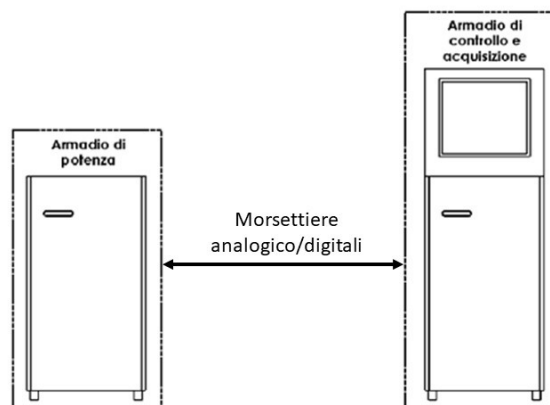


Figura 47-Comunicazione ACC-Armadio di potenza

3.2.2 User station (US)

La *user interface* è mostrata nella Figura 48. È formata da:

- Due monitor da 25" operanti in modalità estesa.
- Un PC di host connesso mediante Ethernet al c-RIO 9039.

- Un mouse.
- Una tastiera.
- Un pulsante a fungo per la gestione di emergenze (interruttore *single-pole*).



Figura 48-Postazione utente

3.3 Hardware di controllo e acquisizione

3.3.1 Panoramica

I componenti principali che svolgono la funzione di controllo e acquisizione sono: il c-RIO 9039 e il driver DEMA (*Servo-Drive Lenze 9400*).

In realtà il c-RIO svolge il duplice compito di acquisizione e di controllo, mentre il driver DEMA (esterno al banco e all'ACC) svolge la unica funzione di controllo del motore elettrico.

All'interno del controller c-RIO sono collocati in appositi slot i diversi moduli, i quali hanno il compito di acquisire i segnali provenienti dal banco attraverso i sensori descritti nei paragrafi precedenti.

Il c-RIO 9039 ha il compito di:

- Acquisire i segnali provenienti dal banco.
- Controllare continuamente l'HLA, attraverso il set di forza che comanda la SV.
- Generare segnali di SET di forza e posizione.

3.3.2 c-RIO 9039

Questo controller Compact RIO (Figura 49) è dotato di otto slot per moduli I/O C Series per fornire un sistema di controllo e monitoraggio a prestazioni avanzate in un formato compatto, robusto, ideale anche per gli ambienti più difficili.

Il controller supporta doppi ingressi di alimentazione con un intervallo da 9 VDC a 30 VDC, questo assicura un'operatività affidabile in applicazioni *mission-critical*.

Include due porte Gigabit Ethernet, due USB *Hi-Speed host*, una USB *device* e due porte seriali.



Figura 49- C-RIO 9039

La Tabella 11 riporta ulteriori specifiche tecniche del controllore in questione.

c-RIO 9039	
Processore	quad-core Intel Atom E3845 da 1,92 GHz con 2MB di cache
Memoria	16 GB (non volatile) espandibile fino 32 GB con SD
SO (Sistema operativo)	NI Linux Real-Time
FPGA	Xilinx Kintex-7 7K328T
Alimentazione	continua da 9-30 V
Consumo massimo	46W

Tabella 11-Caratteristiche c-RIO 9039

L'interfaccia utente embedded di *NI Linux Real-Time* permette l'implementazione di una HMI (*human machine interface*) locale per semplificare lo sviluppo delle applicazioni.

Labview è il software che viene utilizzato per trasportare i dati acquistati dai moduli. Si serve della tecnologia FPGA, che ha una bassa memoria, ma una elevatissima velocità di calcolo. Le informazioni raccolte in *Labview* FPGA vengono inviate al *Real time Target* attraverso la tecnologia *Labview Real Time*, la quale garantisce affidabilità e temporizzazione precisa per i sistemi *stand-alone*.

I dati elaborati da *Labview Real Time* vengono poi inviati al PC, dove è presente l'interfaccia utente, con la quale l'interlocutore può comunicare. Maggiori informazioni sul flusso dei dati attraverso piattaforma *Labview* vengono fornite nel capitolo successivo.

3.3.3 Modulo di input analogico NI 9205 (Segnale LVT)

L'NI 9205 (Figura 50) è un modulo di ingresso analogico da 16 canali differenziali per la misura di segnali in tensione. Questo modulo ha il compito di acquisire il segnale in uscita dall'LVT, il suo range di lavoro è di ± 1 V.

La Tabella 13 riporta alcune specifiche tecniche del modulo NI 9218:

NI 9218	
Risoluzione	24 bit
Frequenza di campionamento	51.2 KS/s
Connettore	due connettori maschio D-SUB a 9 pin
Canali	2

Tabella 13-specifiche tecniche del modulo NI 9218

3.3.5 Modulo di output analogico NI 9263 (Comando SV)

L'NI 9263 (Figura 52) è un modulo di output analogico da 4 canali per la generazione di segnali in tensione nel range di ± 10 V. Il modulo è utilizzato per generare il segnale di comando della SV.



Figura 52-Modulo di output analogico NI 9263 (Comando SV)

La Tabella 14 riporta alcune specifiche tecniche del modulo NI 9263:

NI 9263	
Risoluzione	16 bit
Frequenza di aggiornamento	100 KS/s
Corrente massima	+/- 1mA per canale
Connettore	Screw-terminal spring-terminal
Canali	4

Tabella 14-specifiche tecniche del modulo NI 9263

3.3.6 Modulo I/O digitale NI 9401 (Segnale AE)

L'NI 9401 (Figura 53) è un modulo di I/O digitale (in questa applicazione verrà utilizzato come input) da 8 canali che lavora sulle tensioni di 0 V e 5 V. È utilizzato per l'acquisizione dei segnali provenienti dall'encoder angolare.

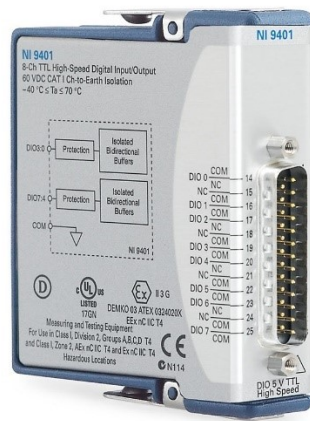


Figura 53-Modulo I/O digitale NI 9401 (Segnale AE)

La Tabella 15 riporta alcune specifiche tecniche del modulo NI 9401:

NI 9401	
Frequenza di aggiornamento	10 MHz-100ns
Intervallo di input	0-5V
Intervallo di output	0-5V
Canali	8
Connettore	Connessione DSUB

Tabella 15-specifiche tecniche del modulo NI 9401

3.3.7 Modulo I/O digitale NI 9375

L'NI 9375 (Figura 54) è un modulo di I/O digitale da 24V con 16 canali di input e 16 canali di output. Tale modulo è utilizzato per gestire segnali di interfacce di sicurezza: avvio ciclo, stop ciclo, reset allarmi, emergenza ripristinata, presenza allarmi, apertura ripari ecc....



Figura 54-Modulo I/O digitale NI 9375

La Tabella 16 riporta alcune specifiche tecniche del modulo NI 9375:

NI 9375	
Frequenza di aggiornamento	7 μ s in ingresso; 500 μ s in uscita
Canali	16
Connettore	DSUB o push-in style spring terminal connectivity

Tabella 16-specifiche tecniche del modulo NI 9375

3.3.8 Modulo relè NI 9482 (Comando SOV)

L'NI 9482 (Figura 55) è un modulo di output digitale a 4 canali. Ogni canale è dotato di un LED per indicare lo stato del canale. Il modulo viene utilizzato per chiudere/aprire il circuito di alimentazione della SOV e di altri sistemi di sicurezza.



Figura 55-Modulo relè NI 9482 (Comando SOV)

3.3.9 2x Modulo analogico NI 9223 (Tensione e corrente motore elettrico)

L'NI 9223 (Figura 56) è un modulo di input di tensione C Series a 4 canali, ingresso simultaneo, ± 10 V, 1 MS/s, a 16 bit, dispone di ingresso analogico differenziale.

Questi moduli vengono utilizzati per acquisire i segnali di tensione e di corrente provenienti dal driver dell'EMA.



Figura 56-Modulo analogico NI 9223 (Tensione e corrente motore elettrico)

La Tabella 17 riporta alcune specifiche tecniche del modulo NI 9223:

NI 9223	
Risoluzione	16 bit
Frequenza di campionamento	1 MS/s
Canali	4
Connettore	BNC or screw-terminal connectivity

Tabella 17-specifiche tecniche del modulo NI 9223

3.3.10 Servo-Drive Lenze 9400 (DEMA)

Il driver che viene utilizzato per l'azionamento del motore elettrico e per il controllo della posizione dell'attuatore elettromeccanico è il *Servo-Drive Lenze 9400* (Figura 57).



Figura 57-Servo-Driver Lenze 9400 (DEMA)

L'identificativo di targa è E94ASHE0044. Le principali caratteristiche del driver sono riportate nella Tabella 18.

Specifiche	Valore	Unità di misura
Dati in ingresso		
Rete	3/PE AC	-
Tensione	400	V
Frequenza	50	Hz
Corrente nominale	5.5	A
Numero di fasi	3	-
Dati in uscita		
Rete	3/PE AC	-
Tensione	0-400	V
Frequenza	0-599	Hz
Corrente nominale	4	A
Numero di fasi	3	-

Tabella 18-Caratteristiche driver

Il driver è un servoinverter composto principalmente da due parti a sé stanti: il driver e la base di montaggio.

La base funge da componente di potenza, su di essa sono ricavati dei terminali di collegamento utili all'interfacciamento con la parte funzionale vera e propria che è il driver.
 Nella Figura 58 è possibile vedere i due componenti che costituiscono il servoinverter.

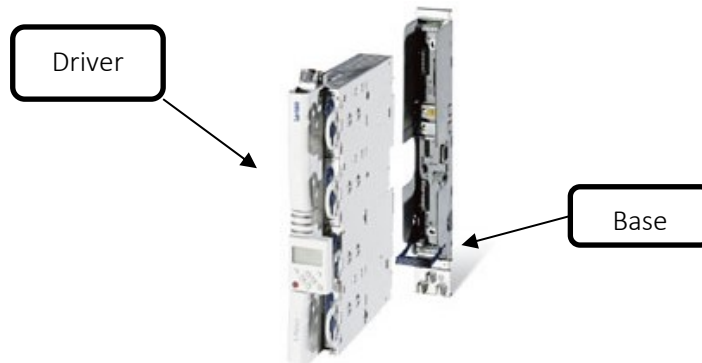


Figura 58-Componenti del Driver

Il driver ha due principali compiti:

- Azionare il motore.
 Il driver invia delle correnti opportunamente dimensionate in modo tale da regolare la velocità del motore.
- Controllare in posizione l'EMA.
 Conoscendo la posizione angolare del motore (attraverso un resolver) è possibile conoscere la posizione lineare dell'attuatore.

Nella Figura 59 è possibile notare il flusso che seguono le informazioni, affinché sia garantito il controllo di posizione dell'EMA.

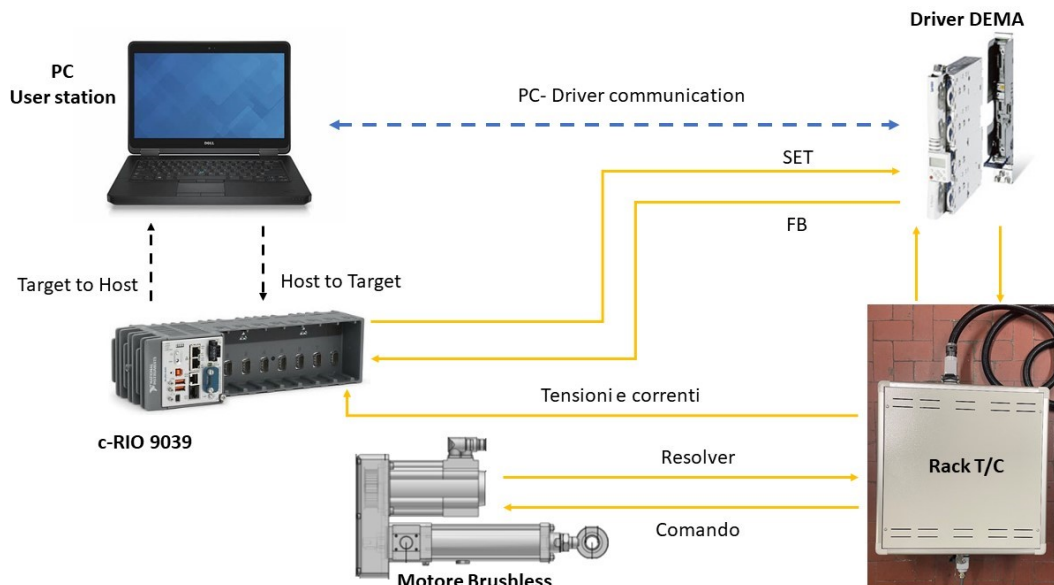


Figura 59-Controllo EMA

Il driver DEMA riceve un segnale di set di posizione dall'ACC e un segnale di feedback di posizione da un resolver montato sul motore. All'interno del driver è implementata una logica di controllo ad anello chiuso, grazie alla quale, viene generato un segnale di errore, che va a comandare il motore elettrico variando la sua velocità, la sua posizione angolare e di conseguenza la posizione dell'EMA.

Resolver RV03

Il segnale di feedback di posizione proviene da un resolver (identificativo RV03), i cui dati di targa vengono mostrati nella Tabella 19.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Risoluzione	0.8	-
Accuratezza	± 10	V
Posizionamento assoluto	1	giro
Massimo voltaggio in input	10	V
Massima frequenza in input	4	kHz
Numero paia poli	1	-

Tabella 19-Dati di targa resolver

Il resolver è un trasduttore elettromagnetico di posizione angolare utilizzato nei controlli automatici di macchinari, in particolare di macchine utensili a controllo numerico.

È sostanzialmente costituito da uno statore con due avvolgimenti "a" e "b" disposti a 90° , e un rotore con avvolgimento monofase c. Alimentando "a" e "b" con un sistema bifase di tensioni si genera un campo magnetico rotante che induce in "c" una forza elettromotrice E, la cui fase dipende dalla posizione angolare α del rotore; confrontando tale fase con quella della tensione applicata ad "a" si può controllare la posizione angolare del rotore.

In Figura 60 è riportata l'immagine di un resolver e uno schema del suo circuito elettrico:

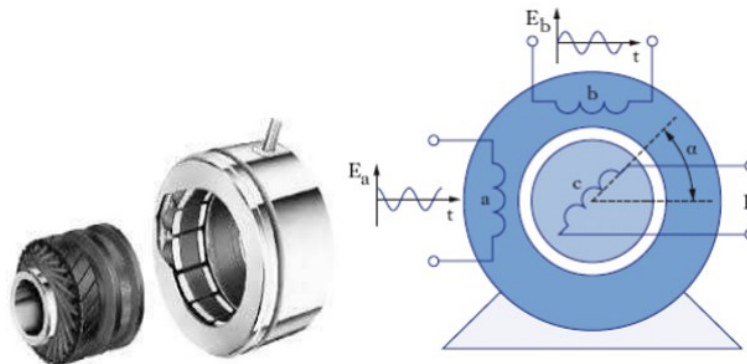


Figura 60-Resolver RV03

Funzionamento Driver

Tornando al driver, in Figura 61 è riportato lo schema generale, dal quale si può capire il principio del suo funzionamento.

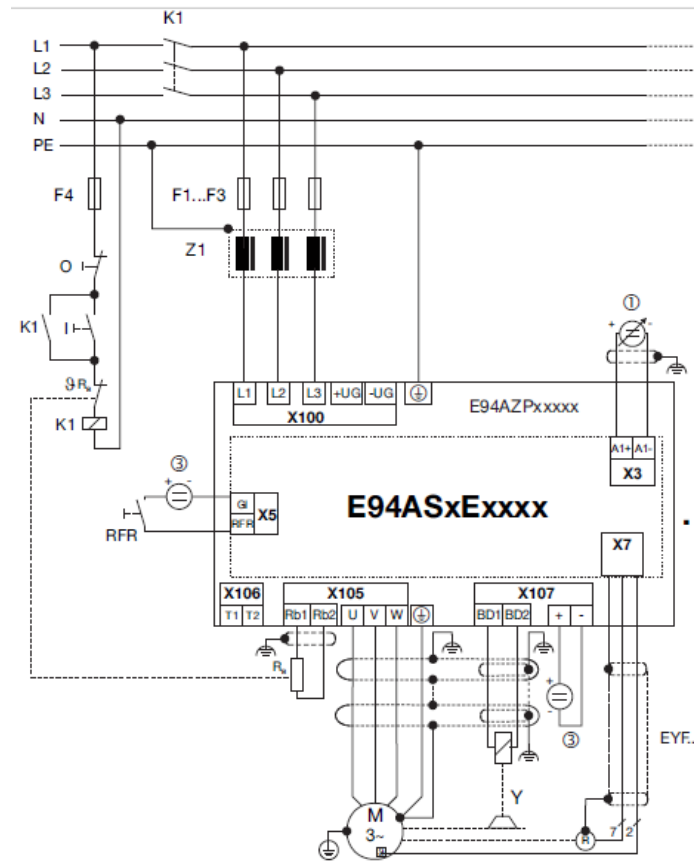


Figura 61-Schema generale Driver

Viene prelevata dalla rete elettrica (a 50 Hz) la corrente alternata trifase (L1, L2, L3) mediante una presa pentapolare (L1, L2, L3, N, G). Tale corrente segue il percorso indicato nella Figura 62.

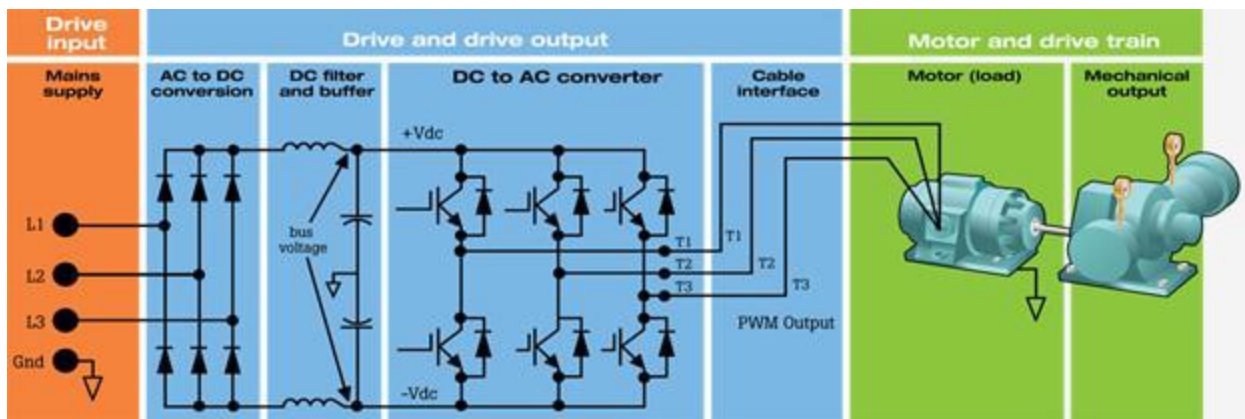


Figura 62-Percorso della corrente

La corrente alternata proveniente dalla rete viene convertita in corrente continua grazie ad un raddrizzatore, successivamente attraversa un DC bus link in cui sono presenti delle resistenze e delle capacità, che la filtrano e riducono i *ripple* (la corrente potrebbe presentare ancora un comportamento alternato anche dopo il raddrizzamento).

La corrente passa poi in un ponte ad "H" formato da sei transistor (tasti elettronici), che hanno il compito di convertirla da continua ad alternata, con frequenza e ampiezza desiderate sulle tre fasi del motore.

La variazione della frequenza e dell'ampiezza avviene mediante la tecnica di modulazione PWM (*Pulse Width Modulation*), che permette di avere frequenze di commutazione dell'ordine dei kHz. Tale modulazione è di

tipo digitale e permette di ottenere una tensione media variabile dipendente dal rapporto tra la durata dell'impulso positivo e dell'intero periodo. La durata dell'impulso positivo è t_{ON} , mentre il periodo è definito con T.

Nella Figura 63 è riportato uno schema del funzionamento del PWM:

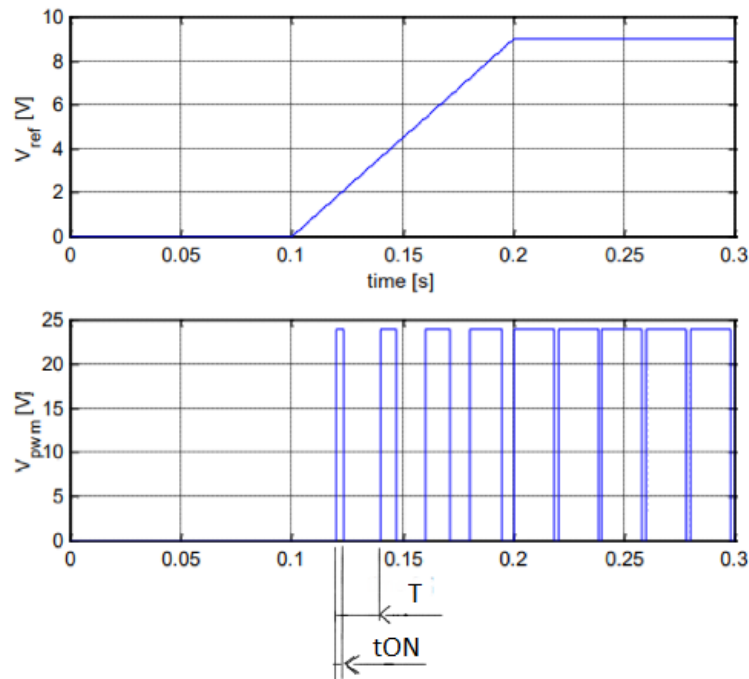


Figura 63-Funzionamento PWM

Ogni istante di tempo T interrogo il segnale analogico V_{ref} e lo trasformo in segnale digitale, dividendo il valore massimo che la tensione V_{ref} raggiunge (V_{refMAX}), per la V_{ref} ottenuta in quell'istante di tempo. Tale rapporto è noto come duty cycle:

$$dc = \frac{V_{ref}}{V_{refMax}} = \frac{t_{ON}}{T}$$

La corrente alternata, trifase e modulata in uscita dal PWM raggiunge infine le tre fasi U, V e W del motore attraverso l'apposito cavo.

4. Capitolo 4 - Labview

Come detto nel *paragrafo 3.3.2*, la manipolazione dei segnali provenienti dal banco è effettuata dal c-RIO 9039, con l'aiuto di moduli montati nel suo chassis e mediante una applicazione realizzata in ambiente Labview, programmata e gestita attraverso l'interfaccia utente del PC.

In questo capitolo si introduce la programmazione in ambiente *Labview* che si è utilizzata per la realizzazione dell'applicazione.

4.1 Introduzione a Labview

Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) è un ambiente di programmazione sviluppato dalla NI (*National Instruments*), che offre un approccio di programmazione grafica, che aiuta a visualizzare ogni aspetto dell'applicazione, inclusa la configurazione hardware, i dati di misura e il debug.

Labview fornisce un ambiente di programmazione di tipo grafico ad oggetti denominato "*G Language*", il quale consente di realizzare programmi in forma di diagrammi a blocchi.

L'utente di *Labview* non opera con un linguaggio interpretato, il quale prima dell'esecuzione, traduce ogni istruzione in linguaggio macchina, ma con un linguaggio compilato, che prevede una fase di compilazione durante la quale si creano gli elementi caratteristici del codice ed una successiva fase di link che li collega tra loro, creando in questo modo il programma eseguibile.

Tutte queste operazioni avvengono in modo trasparente; il programmatore ha la sensazione di operare con un linguaggio interpretato (immediata operatività in fase di correzione del codice e grande facilità nelle operazioni di debug del programma) ma ha a disposizione i grandi vantaggi in termini di velocità di esecuzione del codice che può fornire solo un linguaggio compilato.

Labview è un ambiente di sviluppo per applicazioni principalmente orientate:

- All'acquisizione di dati.
- All'analisi ed elaborazione dei segnali.

Questo ambiente permette di costruire programmi che prendono il nome di strumenti virtuali (*Virtual Instrument, VI*). Un *Virtual Instrument* assicura una interazione tra calcolatore e strumentazione fornendo contemporaneamente all'utente una interfaccia grafica per controllare il VI stesso.

Se ad esempio l'obiettivo dell'utente fosse quello di acquisire un segnale attraverso un sensore, il suo rispettivo modulo e un controllore (come ad esempio un c-RIO), dopo aver costruito il codice (diagramma a blocchi), egli può interagire con il pannello frontale, può impostare i parametri della misura, quali la frequenza di acquisizione, il numero di campioni ecc..

Una volta mandato in esecuzione il programma, è possibile plottare a schermo le acquisizioni e manipolare i dati, tutti attraverso la *user interface*.

Sono quindi evidenti i vantaggi che offre un *Virtual Instrument* rispetto ad un banco di misura reale, infatti il VI permette di avere:

- Interazione indiretta con più strumenti attraverso mouse, tastiera, touch screen.
- Pannello frontale dipendente dal programma.
- Possibilità di elaborazione dei dati o di coordinare le azioni di più strumenti.

4.2 Architettura dell'applicazione

L'architettura dell'applicazione è strutturata su tre livelli che presentano una comunicazione bidirezionale mediante diverse metodologie di trasmissione del segnale.

I livelli sopra citati corrispondono a tre macro-VI, i quali hanno ognuno una funzione specifica, l'utente finale è a contatto con il VI disponibile nel PC, con il VI del real time e dell'FPGA, questi ultimi due sono accessibili sia dal monitor touch screen sia da PC.

I tre VI sono:

- MAIN HOST VI

In questa sezione l'utilizzatore può interagire attivamente con il programma infatti dispone di una interfaccia grafica in cui è possibile avviare il programma, gestire il controllo, salvare i risultati e visualizzare i segnali provenienti dai trasduttori. In questo livello le operazioni svolte non sono deterministiche, il che vuol dire che nessun codice scritto al suo interno ha una priorità critica. Il non-determinismo è implicato dal fatto che il PC svolge contemporaneamente numerose operazioni in background atte a garantire il suo funzionamento, per cui potrebbe presentarsi il fenomeno della saturazione della CPU. Se così fosse si genererebbero ritardi nel trattamento dei segnali, nonché una perdita di affidabilità del programma.

- MAIN RT TARGET VI (*Real Time Target*)

Questa parte di codice è gestita da controllore c-RIO 9039, funge da canale di comunicazione tra MAIN HOST VI e FPGA VI (Figura 65). In questa sezione possono essere svolte operazioni deterministiche (alta priorità), questo garantisce che una determinata operazione venga svolta in un preciso intervallo di tempo specificato dal programmatore.

- FPGA VI

Parte di codice in cui vengono acquisiti i segnali dai sensori ed eseguiti i calcoli dal sistema di controllo attraverso i moduli montati sul c-RIO, le informazioni acquisite nell'FPGA VI vengono trasferite al MAIN RT VI.

I livelli e le comunicazioni sono riassunti in Figura 64.

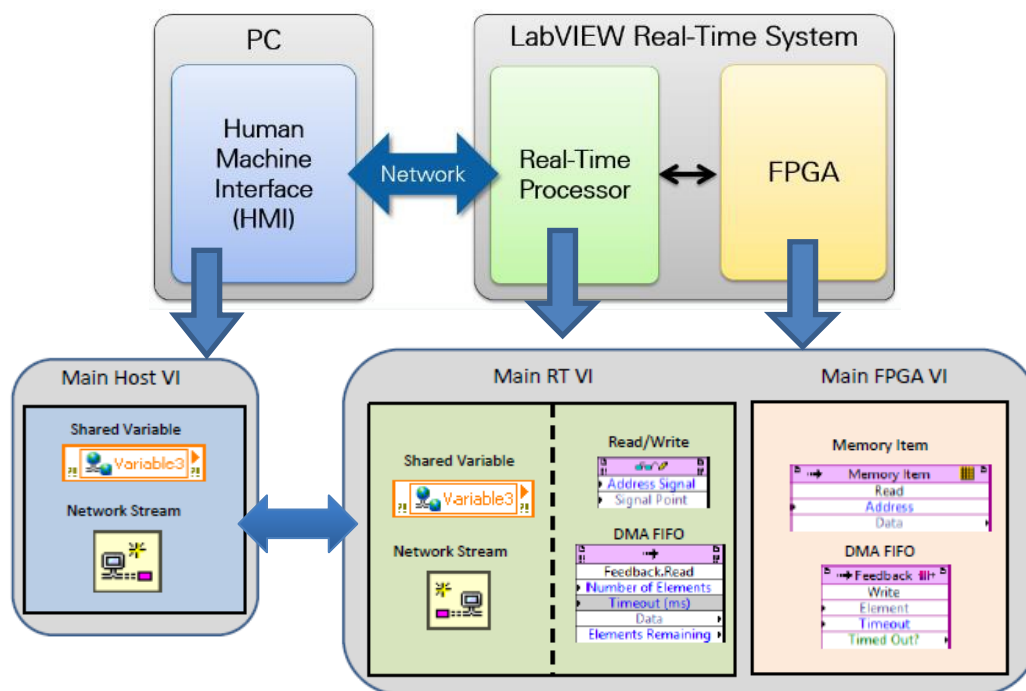


Figura 64-Schema di comunicazione tra i vari ambienti Labview

4.2.1 Codice FPGA

Il codice FPGA è quello che si interfaccia direttamente con il sistema di acquisizione, costituito dai sensori e dai moduli. Il codice viene implementato direttamente nel chip FPGA situato all'interno del c-RIO 9039.

L'FPGA VI come detto in precedenza può dialogare solamente con il MAIN RT VI attraverso diverse soluzioni. In particolare, in questo caso si è scelto che il metodo di comunicazione più consono è il *DMA FIFO*. Per scambiare informazioni tra cicli diversi all'interno dell'FPGA VI è stata utilizzata la *Memory items*.

La Figura 66 mostra uno schema raffigurante la metodologia di comunicazione tra i due canali:

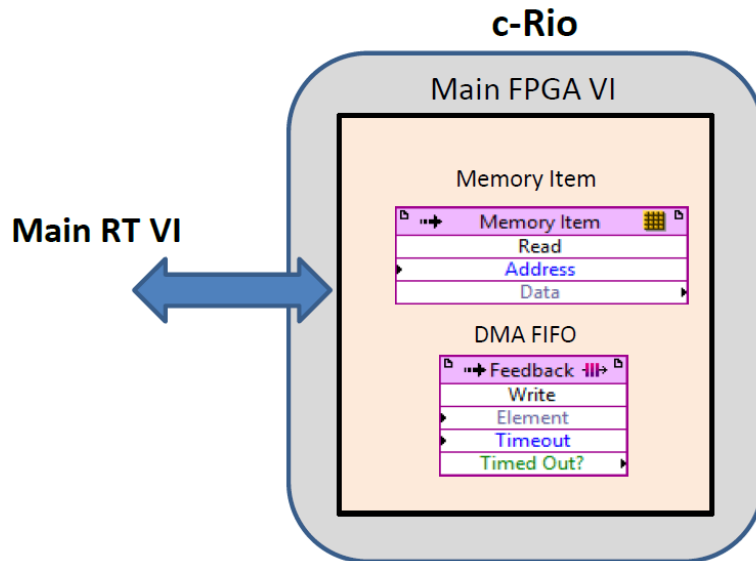


Figura 65-Comunicazione FPGA VI RT VI

I valori in uscita o in ingresso ai moduli analogici, presenti in questo codice hanno una rappresentazione del tipo FXP (*Fixed Point*), si è adottata questa tipologia di dato perché nelle piattaforme FPGA il numero di bit necessario a rappresentare un numero influisce in maniera non trascurabile sulla memoria allocata nel dispositivo stesso. Di conseguenza per ottenere un corretto funzionamento e non esaurire le risorse dell'FPGA è necessario utilizzare una rappresentazione a virgola fissa, ovvero una tipologia di dato che mantenga sempre lo stesso numero di bit.

È molto importante cercare di preservare le risorse dell'FPGA, questo viene fatto mantenendo il numero di controllori e indicatori al numero più basso possibile e scegliere, per rappresentare un numero, la configurazione con meno bit possibili.

Rispettare questi due criteri garantisce la massima velocità di calcolo e l'affidabilità desiderata.

4.2.1.1 MAIN FPGA VI

Gli obiettivi principali del MAIN FPGA VI sono:

- Acquisire i segnali provenienti dai moduli dei sensori.
- Inviare un segnale al modulo del driver della servovalvola.
- Gestire i segnali digitali del banco.
- Eseguire la logica di controllo del set di forza.

Il codice a livello FPGA è suddiviso in cinque loop principali. Il metodo di trasferimento delle informazioni tra i loop avviene mediante le *Memory Items*. In particolare, le memorie utilizzate sono quattro ed ognuna di esse ha uno scopo principale:

- *Acquired Signals Memory*
Ha il compito di immagazzinare all'interno di ogni suo indirizzo (11 indirizzi) uno specifico valore in uscita dal modulo.
- *Increments Memory*
Questa memoria ha il compito di gestire il segnale incrementale proveniente dagli encoder, tale segnale viene aggiornato ogni 25 ns, ma interrogato ogni 200 μs.
- *Consents Memory*
Possiede due indirizzi nei quali sono contenuti i segnali di consenso che vengono inviati ai moduli digitali della servovalvola e dell'EMA.
- *Boolen data*
Contiene due indirizzi per la gestione dei segnali digitali riguardanti il "manual/automatic" e "avvio ciclo".

I loop che costituiscono il codice FPGA VI sono:

- *Initialization, acquisition and control loop.*
- *To RT Target loop.*
- *Angular Encoder Reading loop.*
- *Security and Booleans Management loop.*
- *Electrical signal acquisition loop.*

Initialization, acquisition and control loop

Questa prima parte di codice ha il compito di:

1. Inizializzare le memorie.
2. Acquisire i segnali analogici fisici provenienti dai moduli.
3. Verificare se le emergenze sono state ripristinate e in tal caso effettuare il controllo.
4. Inserire gli output ottenuti da acquisizione e controllo nella memoria "*Acquired Signals Memory*".

Come si può vedere il blocco è formato da due *while loop*. Quello esterno gira più lentamente di quello interno ed ha il principale scopo di inizializzare le memorie (Figura 67). Il loop interno invece viene fatto girare a 200 μs, il che vuol dire che ogni volta che passa questo intervallo di tempo la parte di codice compresa al suo interno si ripete.

Il blocco adibito all'acquisizione dei segnali analogici fisici è evidenziato in verde nella Figura 66. In input richiede i segnali di SET di forza sull'attuatore idraulico e posizione dell'EMA, quest'ultima viene poi salvata in un modulo analogico di output.

Nel caso in cui si verificano le condizioni di "*ripristino delle emergenze*", "*stop ciclo*" e "*manual automatic*", allora è possibile effettuare il controllo sulla forza dell'attuatore attraverso il blocco evidenziato in giallo in Figura 66. L'output ottenuto mediante il controllo forza è un segnale che va a comandare il driver della servovalvola.

In conclusione, il loop interno ogni 200 μs estrae in totale 11 valori, 10 di questi provengono dai moduli, l'ultimo deriva dal controllo ed è il segnale da inviare alla servovalvola. I valori fisici acquisiti sono:

1. SET Load [N].
2. FB Load [N].
3. LVT [mm/s].
4. SV Command [V].
5. PA [bar].
6. PB [bar].
7. PP [bar].
8. Angular Position [deg].
9. EMA SET Position [mm].
10. EMA FB Position [mm].
11. EMA FB Ausiliario [mm].

Gli 11 valori vengono inseriti uno per uno nei rispettivi indirizzi della memoria "Acquired Signals Memory".

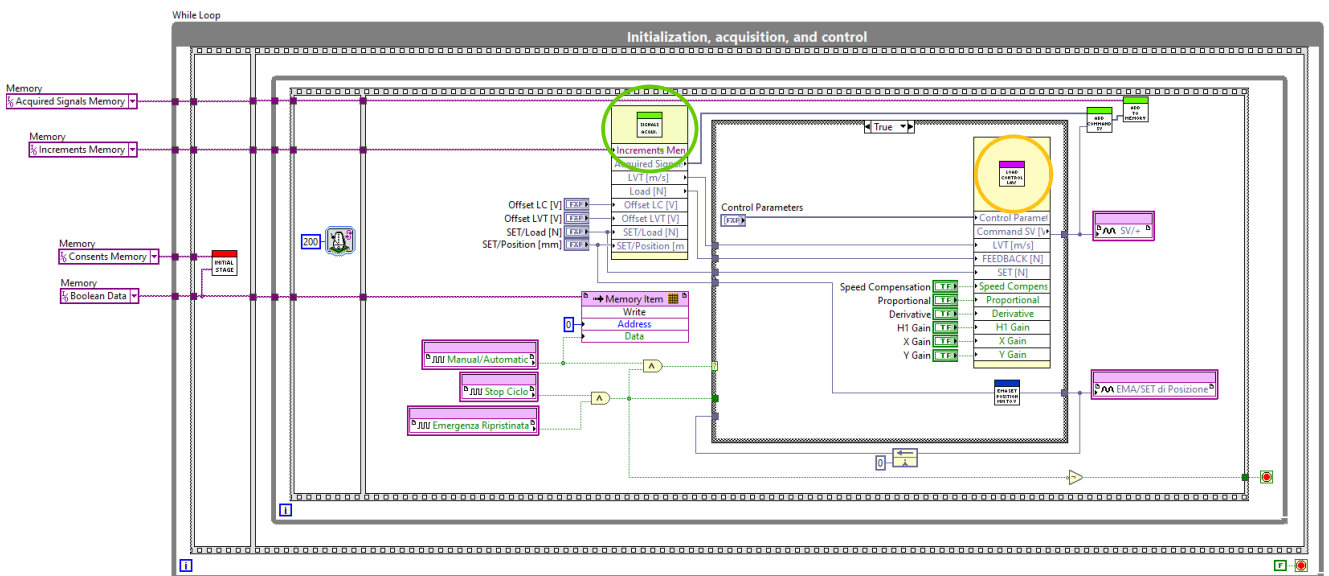


Figura 66-Initialization, acquisition and control loop

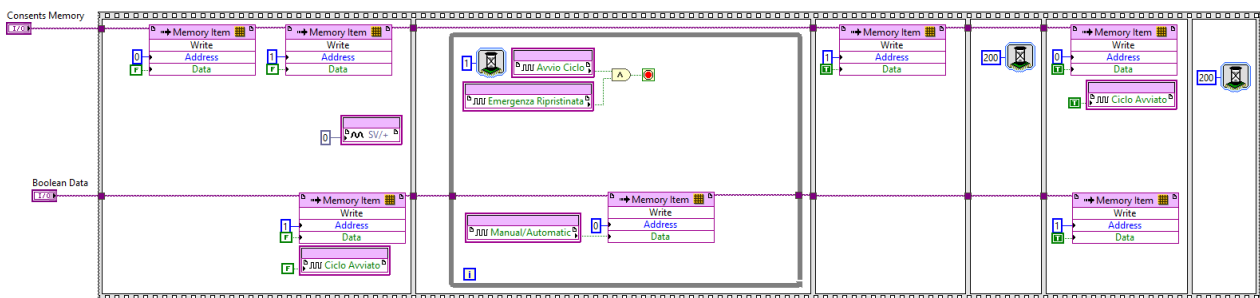


Figura 67-Loop di inizializzazione memorie

Angular Encoder Reading loop

Questo tipo di ciclo è denominato *Single Cycle Timed Loop* (SCTL). La particolarità di questo loop è di eseguire il codice al suo interno con un solo tick del clock dell’FPGA. In questo caso il clock tick è impostato su 40 MHz (Figura 69). Questa informazione ci permette di ricavare, attraverso l’equazione seguente, il tempo di esecuzione di una iterazione, ovvero il tempo necessario affinché venga eseguito un tick.

$$t = \frac{1}{40 \cdot 10^{-6} \text{Hz}} = 25 \text{ ns}$$

Pertanto, impostando una frequenza di 40 MHz il tempo di esecuzione di un tick del clock è di 25 ns.

Il loop mostrato in Figura 69 ha il compito di gestire i segnali provenienti dall'encoder angolare incrementale (AE). L'AE permette di misurare la posizione angolare dell'giunto a gomito, in funzione della quale è possibile ricavare la posizione dell'attuatore idraulico (HLA) e dell'attuatore elettromeccanico (EMA). Sul banco prova è montato un AE di tipo ottico della *Renishaw*, il quale è costituito da un anello in acciaio e un lettore ottico.

Il codice è basato sulla presenza di tre segnali digitali: A, B e Z. I segnali A e B vengono forniti dall'encoder sotto forma di onde quadre sfasate l'una rispetto all'altra di 90° (quadratura). È disponibile anche un ulteriore segnale chiamato canale Z o zero, che fornisce la posizione assoluta di zero dell'encoder. Questo segnale si presenta sotto forma di impulso quadro con fasatura e larghezza centrata sul segnale A.

La presenza di due segnali A e B permette di conoscere il verso di rotazione dell'encoder. In base a quale segnale si manifesta prima, si capisce il verso di rotazione. In particolare, il verso di rotazione risulta essere antiorario se la combinazione dei segnali è la seguente: A=1 e B=0, A=1 e B=1, A=0 e B=1; mentre risulta essere orario se la combinazione è: B=1 e A=0, B=1 e A=1, A=1 e B=0.

Seguendo la logica binaria appena descritta il codice implementato in questo ciclo fa sì che una variabile numerica intera venga incrementata di una unità ogni qual volta si manifesti la combinazione binaria che rappresenta la rotazione oraria. Viene invece decrementata di una unità ogni volta che si manifesta la combinazione binaria rappresentante la rotazione antioraria. Ovviamente se l'encoder restasse fermo, le combinazioni binarie rimarrebbero invariate da un ciclo all'altro del *timed loop*, di conseguenza la variabile numerica intera non viene né incrementata né decrementata, proprio perché non viene registrata nessuna rotazione dell'encoder.

Successivamente tale variabile viene inviata alla "Increments Memory", dalla quale viene poi estrapolata e convertita in gradi.

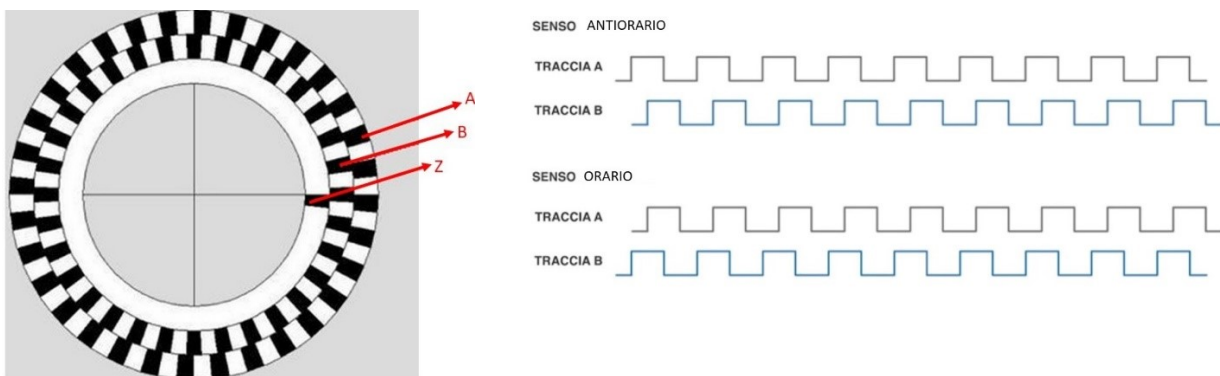


Figura 68-Segnali prodotti dall'encoder

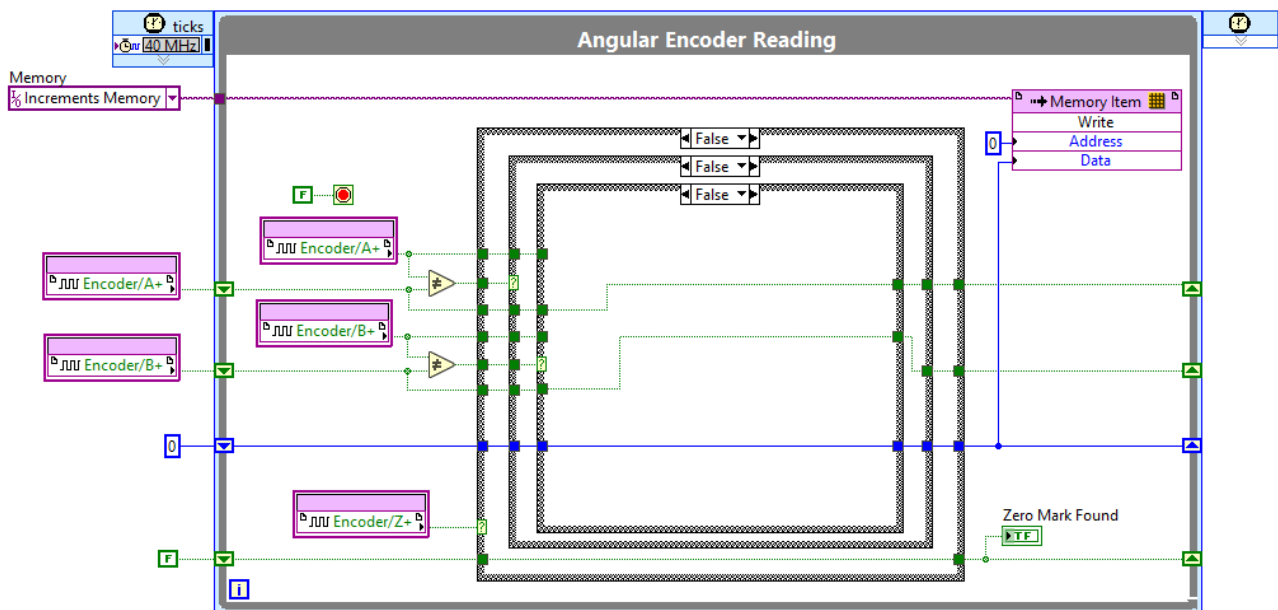


Figura 69-Angular Encoder Reading loop

Security and Booleans Management loop

Il ciclo mostrato in Figura 70 ha il compito di gestire i moduli digitali, che sono stati salvati nella memoria "Consents Memory". In particolare, ogni ms vengono estratti dei valori digitali dalla memoria sopra citata e vengono inseriti nei moduli digitali di gestione del banco.

La memoria contiene due indirizzi: 0 e 1. Nell'indirizzo 0 è contenuto il segnale digitale di abilitazione della servovalvola, il quale una volta estratto viene inviato al modulo corrispettivo. Nell'indirizzo 1 sono contenuti due segnali che hanno il compito di abilitare/disabilitare l'applicazione del driver (l'abilitazione del driver viene ottenuta mediante un pulsante a fungo).

Sono inoltre presenti altri due segnali, denominati funzioni di *Homing*, le quali sono gestite da due switches meccanici ON /OFF presenti sull'ACC. Per l'attivazione dell'*Homing* è necessario che il driver sia offline per questioni di logica di controllo di quest'ultimo; quindi, la sequenza di attivazione consiste dapprima nel premere il pulsante a fungo disabilitando il driver, poi a quel punto si attivano gli *switches* che consentono le funzioni *Homing*.

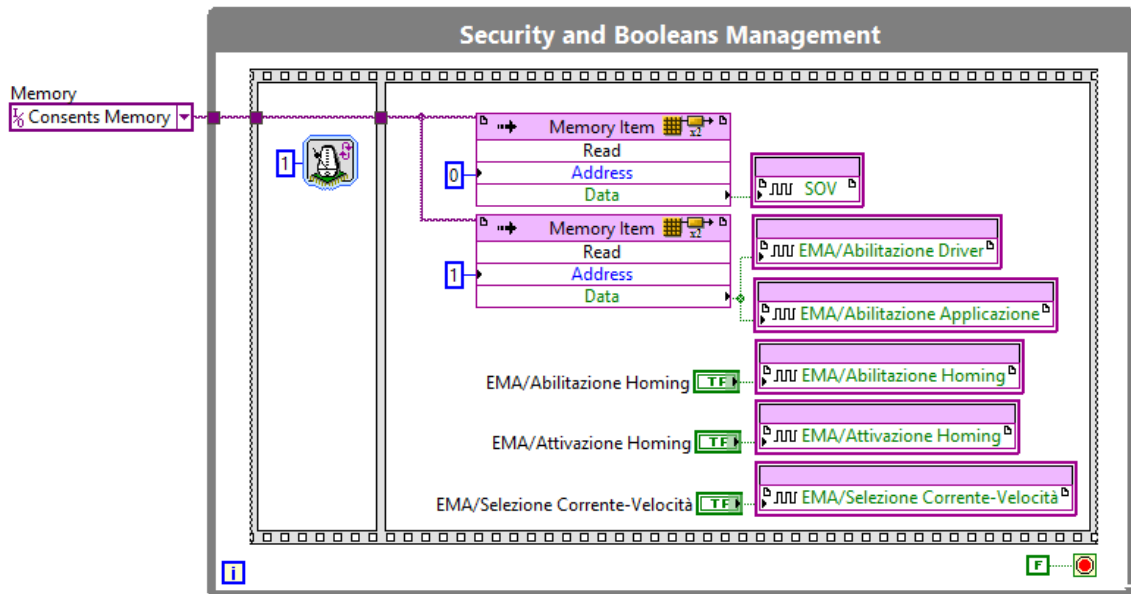


Figura 70-Security and Booleans Management loop

To RT Target loop

Questo ciclo viene fatto eseguire ogni $1000 \mu s$ (1 ms) ed ha il compito di prendere i valori presenti nella memoria "Acquired Signals DMA" ed inserirli all'interno di un DMA FIFO, opportunamente dimensionato affinché non ci sia la possibilità che si riempia e quindi che si sovrascrivano valori.

Il DMA FIFO immagazzina i dati fisici letti dai moduli e li trasferisce all'RT MAIN VI.

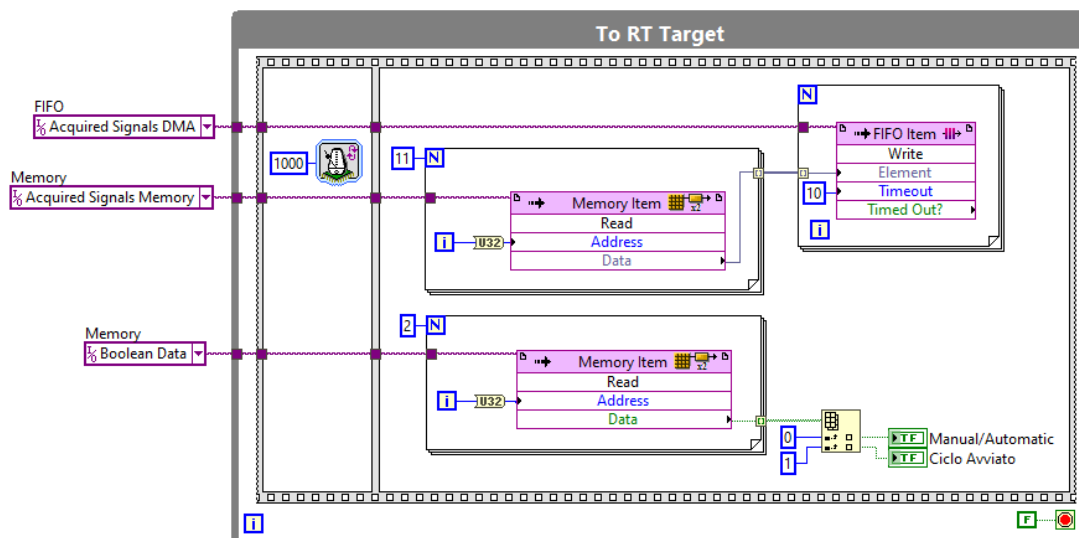


Figura 71-To RT Target loop

Electrical signal acquisition loop

Il ciclo mostrato nella Figura 72 ha il compito di acquisire i segnali elettrici provenienti dalle tre fasi del motore; pertanto, attraverso i moduli NI 9223 e i relativi sensori vengono acquisiti tre segnali di tensione e tre di corrente. Questi vengono poi inseriti in un vettore, il quale entra in un ciclo for, settato a girare un numero di volte pari alla lunghezza del vettore, e spedisce i dati all'interno di un nuovo FIFO, che si occupa della sola gestione dei segnali elettrici.

Il ciclo while adibito all'acquisizione dei segnali elettrici è impostato in modo tale da estrarre sei valori ogni 1 μ s (sfruttando alla sua massima potenza il modulo NI 9223), il che vuol dire che ogni 10 ms verranno scritti all'interno del DMA FIFO "TC" 60000 valori, questa informazione è utile per il corretto dimensionamento del DMA FIFO.

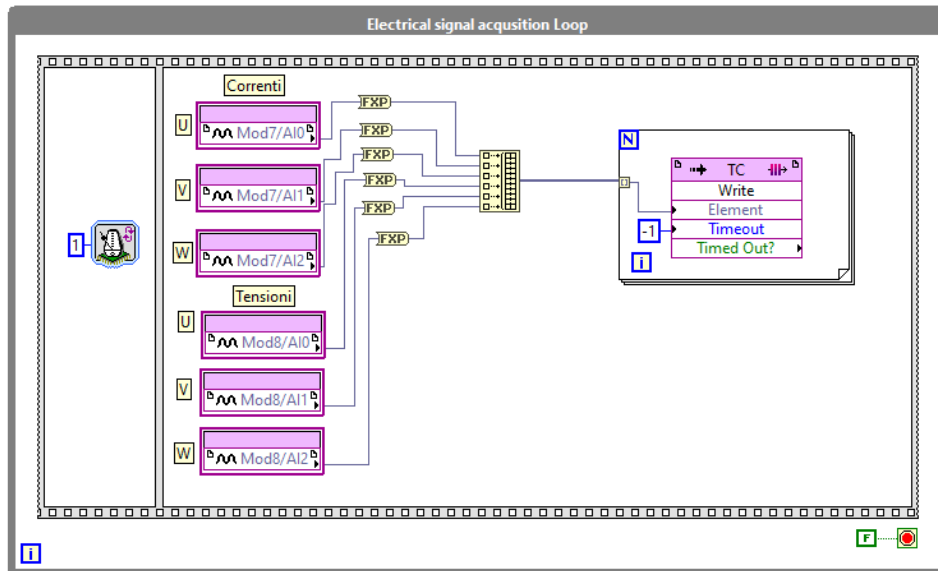


Figura 72-Electrical signal acquisition loop

4.2.2 Codice RT TARGET (c-RIO 9039)

Il codice inserito nell'RT Target ha due compiti principali:

1. Comunicare con FPGA e HOST PC
2. Generare il segnale di SET di posizione e forza

I segnali di SET vengono generati in base alle specifiche presenti nell'HOST PC VI, la parte di codice deputata a tale compito viene impostata in modo tale da avere elevata priorità.

Come detto precedentemente la comunicazione è bilaterale, il codice a livello RT comunica continuamente e contemporaneamente con l'FPGA VI e con il MAIN HOST VI, ricevendo e inviando informazioni.

I metodi di comunicazione analizzati vengono mostrati nella Figura 73.

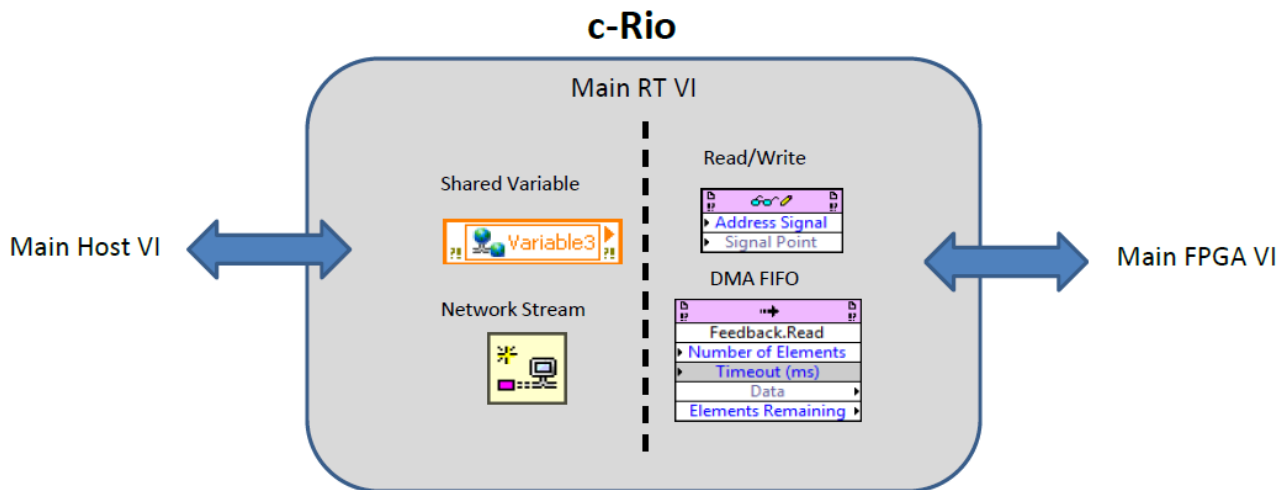


Figura 73-Comunicazioni dell'RT target

La comunicazione tra MAIN RT VI e FPGA VI viene realizzata mediante la presenza di due elementi:

- *VI Reference (Read/Write Control).*
- *DMA FIFO (Direct access memory).*

La VI Reference viene utilizzata per inviare o ricevere l'ultimo valore in questione al/dal FPGA VI, per creare questo tipo di collegamento si utilizza una funzione denominata *Open FPGA VI Reference*, per scrivere o ricevere informazioni si usa il *Read/Write Control*. Le funzioni appena citate vengono mostrate in Figura 74.

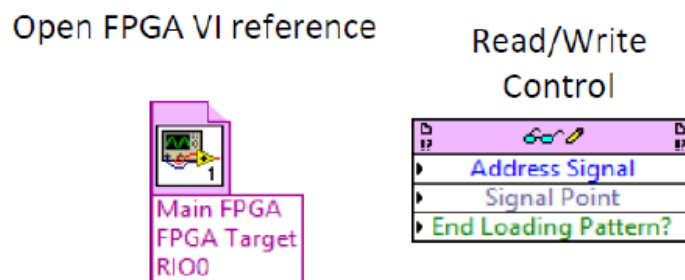


Figura 74-Funzioni di interfacciamento tra FPGA e RT

Per ricevere i segnali provenienti dai sensori non può essere utilizzata la *VI Reference*, è quindi necessario utilizzare uno o più *DMA FIFO*.

Il *DMA FIFO* consente di trasferire buffer di dati ad elevata frequenza, questo metodo ci consente di ricevere tutte le informazioni evitando il problema indesiderato dell'overflow (sovrascrivere dati). In questo caso il flusso delle informazioni è unidirezionale: vengono scritti i valori nel *DMA Write* presente nell'FPGA VI e vengono letti gli stessi nel *DMA Read* collocato nell'RT MAIN VI.

La Figura 75 mostra il principio di funzionamento del *DMA FIFO*:

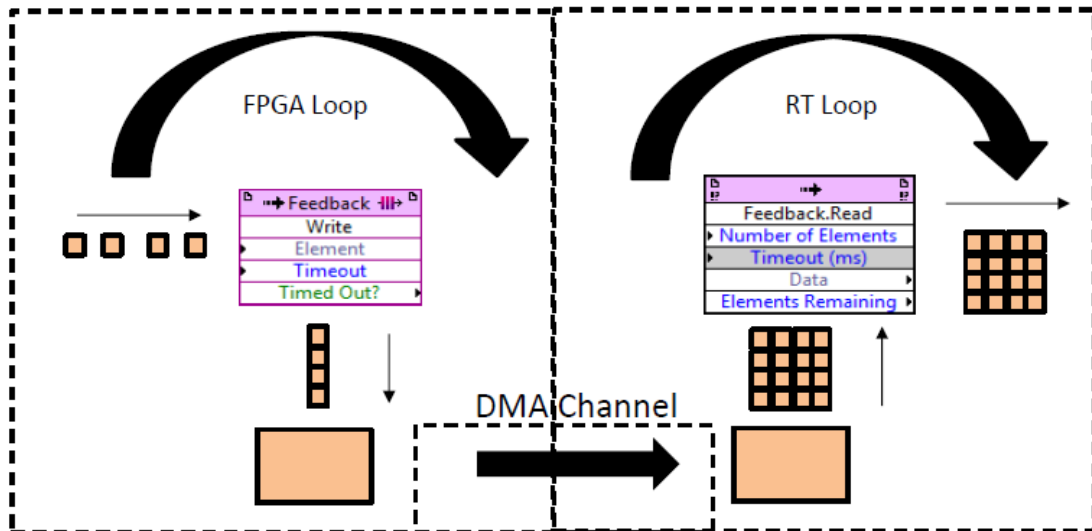


Figura 75-Principio di funzionamento DMA FIFO

Il buffer del DMA presente nell'FPGA VI è più piccolo di quello nell'RT MAIN VI, perché invia istantaneamente i valori a quest'ultimo, il quale li accumula ed ogni tempo specificato ne estrae tanti quanti ne vengono specificati in ingresso.

La comunicazione tra MAIN RT VI e MAIN HOST VI viene realizzata mediante la presenza di due elementi:

- *Network Published Shared Variables.*
- *Network Streams.*

Le *Network Published Shared Variable* vengono utilizzate per inviare o ricevere dati che non variano frequentemente. Se adeguatamente impostate possono inviare anche buffer di dati, ma non è il modo ottimale per utilizzarle, soprattutto per il caso in questione.

Gli usi più comuni sono:

- Parametri del segnale di set come ampiezza, frequenza e offset nel caso di un set sinusoidale e ampiezza e pendenza nel caso di un segnale a rampa;
- Controlli booleani di vario genere come l'avvio, lo stop, l'emergenza ecc....;

La Figura 76 riporta una immagine rappresentativa delle *Network Published Shared Variable*:

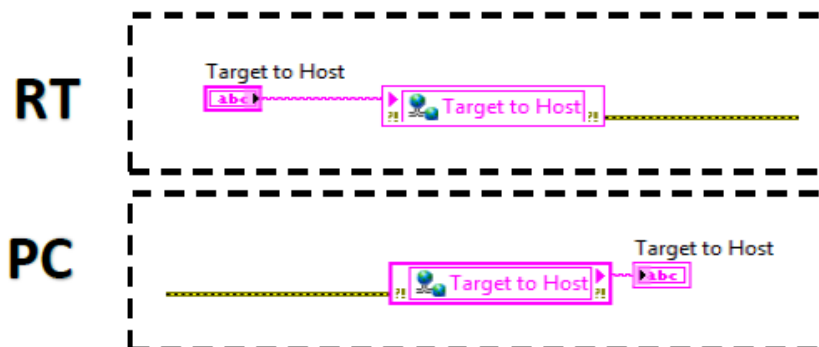


Figura 76-Network Published Shared Variables

Queste variabili vengono impostate in funzione del tipo di comunicazione che devono avere, del tipo di dato e della dimensione del dato stesso.

Le *Network Streams* sono state progettate affinché si abbia una comunicazione dati ad alta produttività, come ad esempio i dati acquisiti dall'FPGA VI, utilizzano un modello di comunicazione a senso unico per trasmettere dati tra piattaforme diverse.

In questa applicazione vengono usate per trasmettere buffer di dati dall'RT MAIN VI al MAIN HOST VI.

Affinché si abbia una corretta comunicazione tra i due ambienti, devono essere creati due *Endpoint*: Il primo ha il compito di scrivere i dati provenienti dai *DMA FIFO (Writer Endpoint)* ed è collocato nell'RT MAIN VI, il secondo leggere i dati (*Reader Endpoint*).

L'*endpoint* può essere di due tipi:

- Attivo (client)
Endpoint su cui è specificato l'URL, è quello che origina la prima connessione, nel progetto l'*endpoint* attivo è quello presente nel MAIN HOST VI.
- Passivo (server)
Non viene specificato l'URL, aspetta la richiesta di connessione dall'*endpoint* attivo, nel progetto l'*endpoint* passivo è quello presente nell'RT MAIN VI.

La Figura 77 riporta i due *endpoint* sopra descritti:

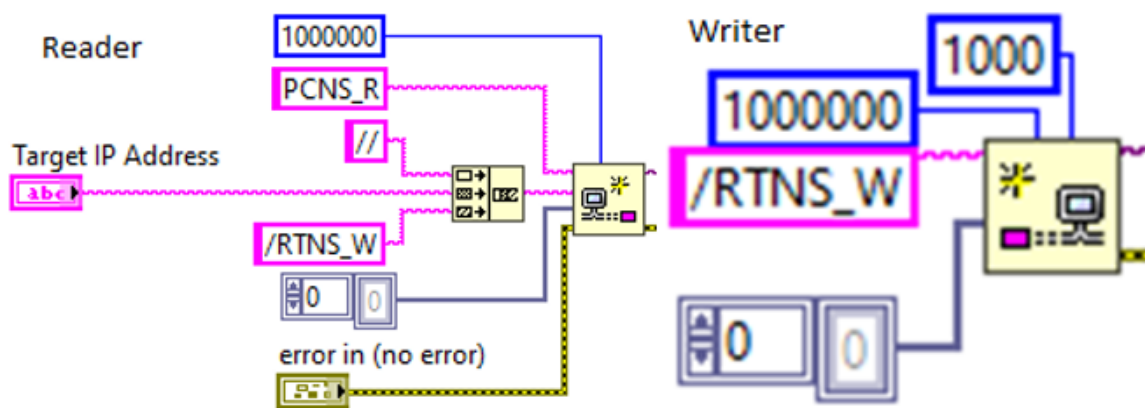


Figura 77-Network Streams: Endpoint Reader e Writer

4.2.2.1 Codice RT TARGET (c-RIO 9039)

Il codice implementato a livello RT è formato da sette principali *while loop*, ognuno dei quali svolge una specifica funzione. Come detto in precedenza, l'RT MAIN VI, essendo virtualmente disposto tra MAIN HOST VI e FPGA MAIN VI, ha il compito di trasferire informazioni tra le due parti.

Le funzioni implementate in questo codice sono le seguenti:

1. Inizializzazione (VI, variabili condivise), creazione della referenza con l'FPGA VI.
2. Abilitazione/ disabilitazione comandi nel front panel.
3. Inviare e ricevere informazioni dall'FPGA VI.
4. Generare segnali di SET di posizione e forza.
5. Inviare informazioni al MAIN HOST VI

I loop che costituiscono l'RT MAIN VI sono:

- Initialization loop.
- Enable/disable parameters loop.
- Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction.
- FPGA Booleans Management.
- Generation Loop.
- Acquired Signals DMA Reading.
- Network Stream: Data to host.

Initialization loop

Questo ciclo è formato da un *while loop* al cui interno è presente una struttura particolare denominata “*state machine*”, la quale permette di effettuare un compito diverso ad ogni interazione del *while*. In particolare, le iterazioni che vengono effettuate sono tre, dopo di che il ciclo viene arrestato.

Il numero di iterazioni è pari al numero di compiti che questo ciclo deve svolgere: alla prima iterazione vengono inizializzate le variabili presenti nel VI al loro valore di default; alla seconda viene generata la referenza dell'FPGA; alla terza si effettua l'inizializzazione delle *Shared Variables*.

Una volta portati a compimento questi tre compiti il ciclo viene arrestato. La durata complessiva dell'*initialization loop* è di 30 ms, poiché ogni iterazione è impostata per durarne 10 ms.

Le Figure 78, 79, 80 riportano le tre fasi appena descritte dell'*initialization loop*:

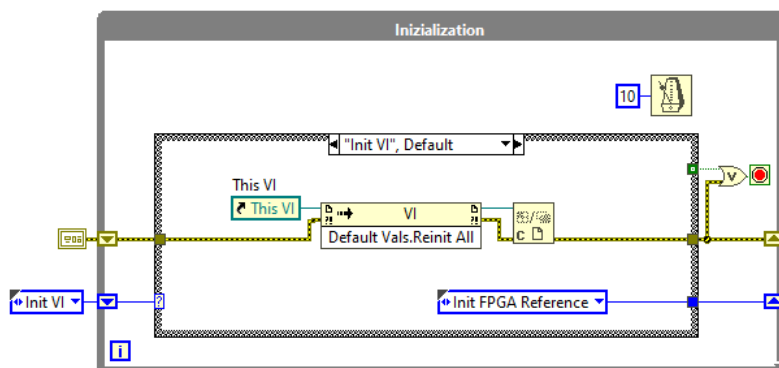


Figura 78-Fase 1: inizializzazione

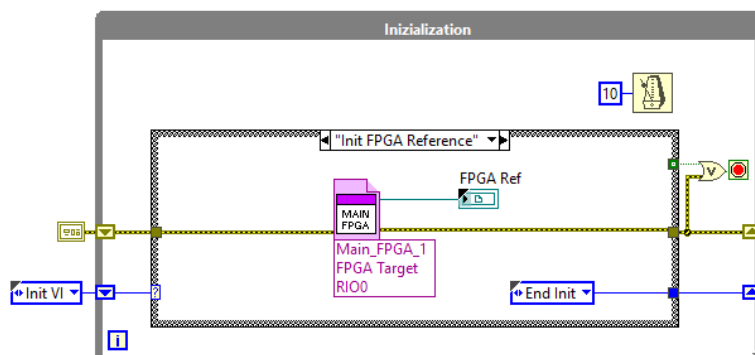


Figura 79-Fase 2: Apertura della referenza dell'FPGA VI

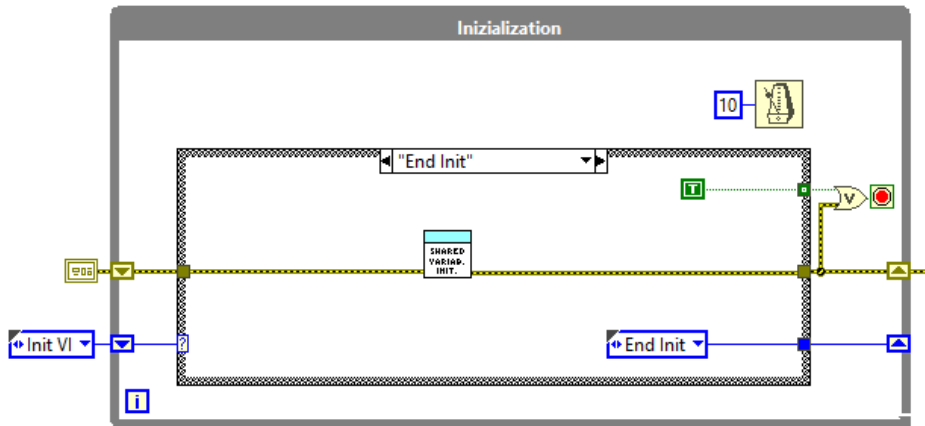


Figura 80-Fase 3: inializzazione Shared Variables

Enable/disable parameters loop

Questo loop ha il compito di abilitare/disabilitare i parametri presenti nel front panel dell'RT MAIN VI. L'abilitazione e quindi una eventuale modifica di questi ultimi viene abilitata nel caso in cui non è stata ancora stabilita una connessione tra RT MAIN VI e HOST MAIN VI. Una volta stabilita la connessione mediante le *Network Streams*, l'accesso ai parametri, inviati all'RT MAIN VI grazie alle *Shared Variables*, viene disabilitato e l'accensione di un led conferma l'effettiva la buona riuscita della connessione.

Le Figure 81, 82 mostrano il loop appena descritto:

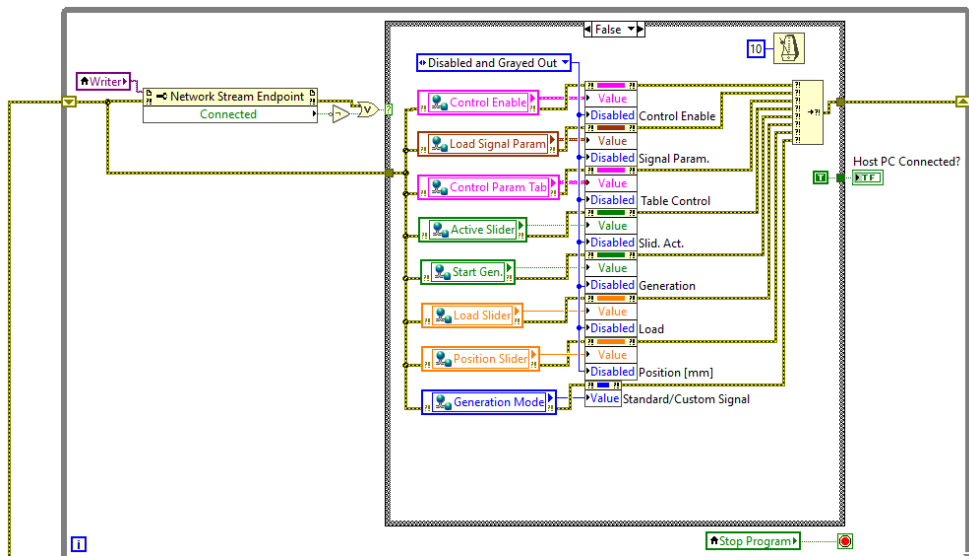


Figura 81- Caso falso: disabilitazione comandi

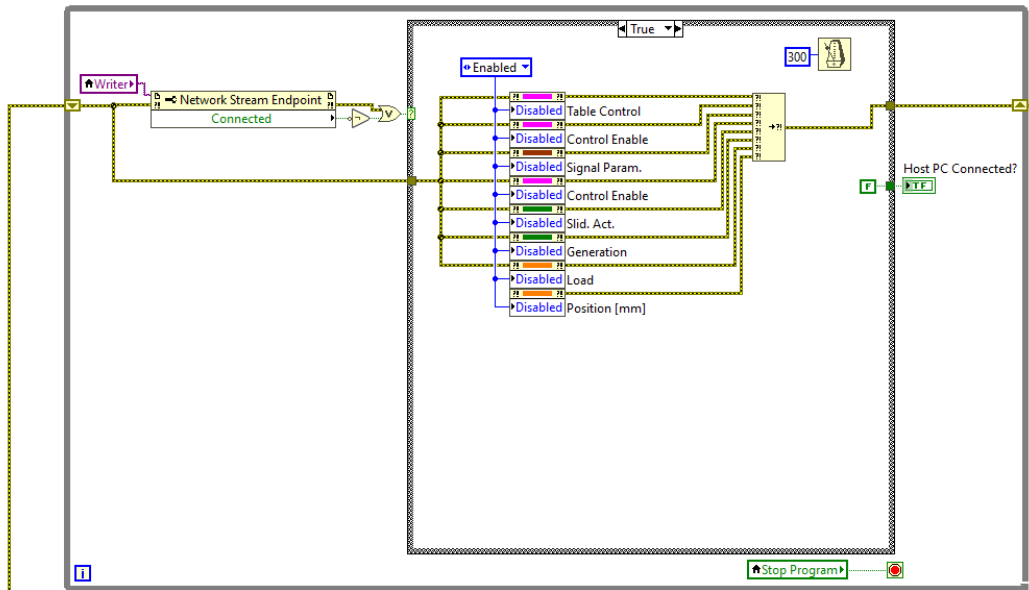


Figura 82-Caso vero: abilitazione comandi

Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop

Il loop mostrato nella Figura 84 ha il compito di aggiornare ed inviare all’FPGA VI, mediante una referenza, i parametri necessari ad effettuare il controllo forza dell’attuatore idraulico (svolto nel MAIN FPGA VI) e gli offset di forza e velocità.

Il blocco “CONTROL PARAMETERS”, evidenziato in rosso nella Figura 83, ha l’obiettivo di generare un vettore che contiene al suo interno i parametri del controllo. Il vettore viene realizzato mediante una funzione denominata “MathScript Node”, contenuta nella libreria di Labview, grazie alla quale è possibile inserire un codice *matlab*, che elabori i dati in maniera più compatta rispetto uno schema a blocchi.

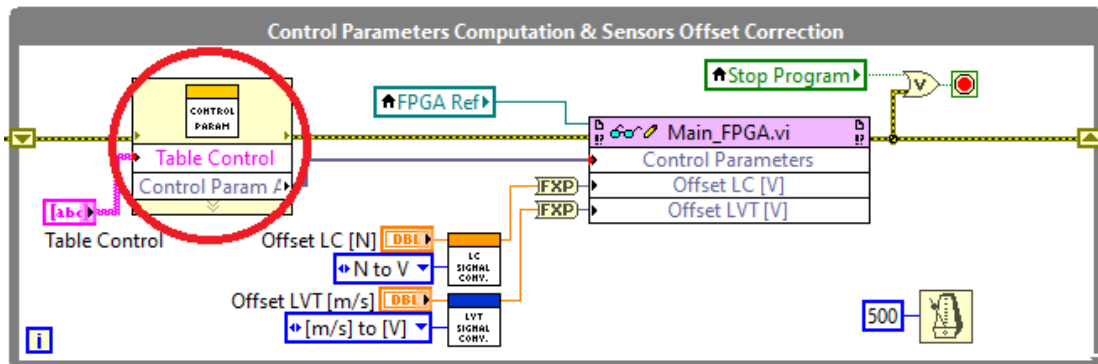


Figura 83-Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop

FPGA Booleans Management loop

Questo ciclo è complementare al precedente, infatti mentre il “Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop” trasferisce i valori numerici che caratterizzano il controllo, “l’FPGA Booleans Management loop” ha il compito di comunicare all’FPGA VI quali tra i tanti valori caratterizzanti il controllo deve essere abilitato per determinare il segnale da inviare al modulo della servovalvola.

Il ciclo è mostrato in Figura 84.

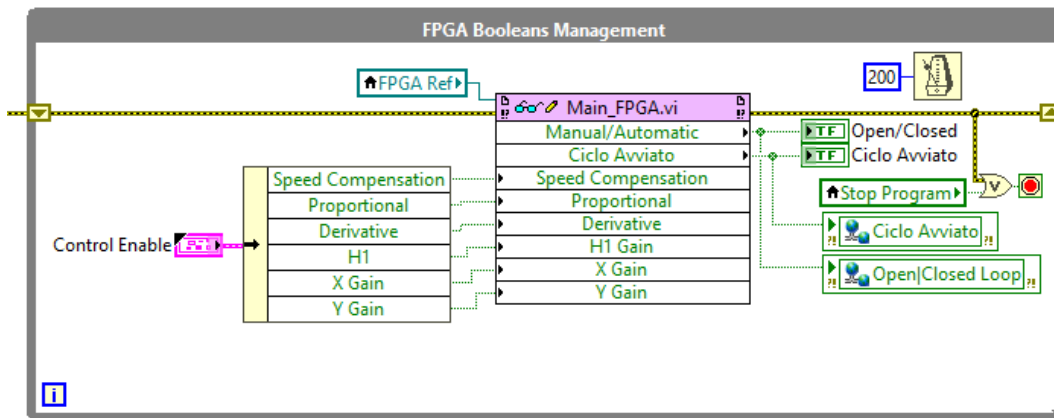


Figura 84-FPGA Booleans Management loop

Generation loop

Il "Generation loop" permette di ottenere i segnali di SET di forza e posizione da inviare al FPGA mediante una referenza. Tali segnali possono essere ricavati con tre metodi:

- Manualmente attraverso gli sliders di forza e posizione
 Il segnale di attivazione degli sliders viene interrogato ogni 10 ms ed i valori che vengono impostati manualmente vengono trasferiti direttamente all'FPGA VI. Sono presenti anche due sotto blocchi (cerchiati in rosso nella Figura 85) che hanno il compito di portare a zero il SET di forza precedente ed inserire quello successivo. In sostanza, fungono da condizione iniziale per il nuovo SET di forza.

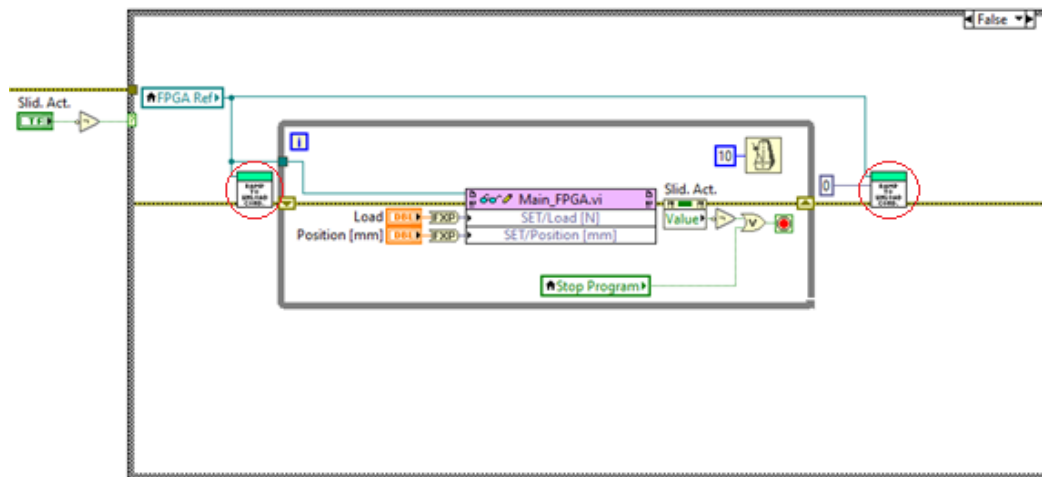


Figura 85-Caso falso: impostazione dei SET mediante slider

- Attraverso segnale customizzato
 Il segnale customizzato viene definito a piacere dall'utente, può essere ottenuto come somma e sottrazione di vari tipi di onde, l'utente può anche impostare ampiezza e frequenza dell'onda, nonché il numero di campioni necessari a descriverla. Tale segnale viene preso direttamente da due *Network Published Shared Variables* (SET di forza e posizione), che sono state costruite nel MAIN HOST VI. Nelle figure seguenti sono mostrate le *Network Published Shared Variables* sopra descritte e la parte di codice deputata alla gestione del segnale customizzato.

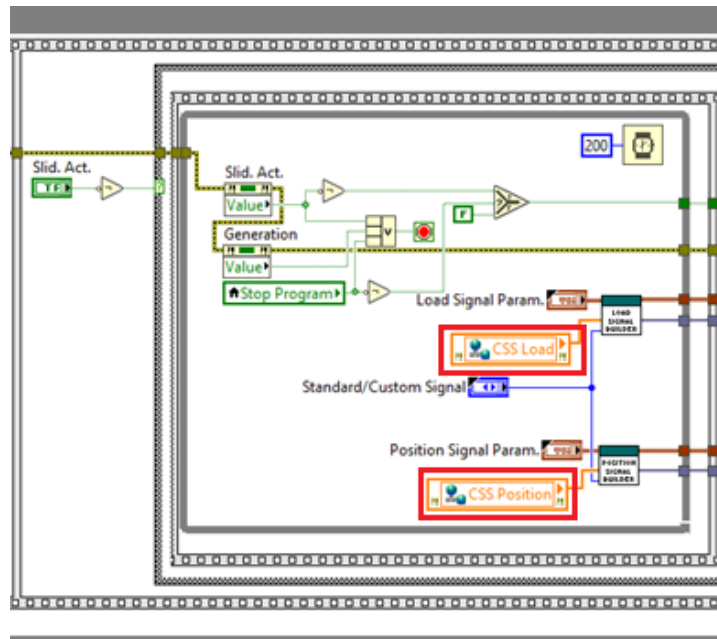


Figura 86-Caso vero: caricamento dei SET customizzati

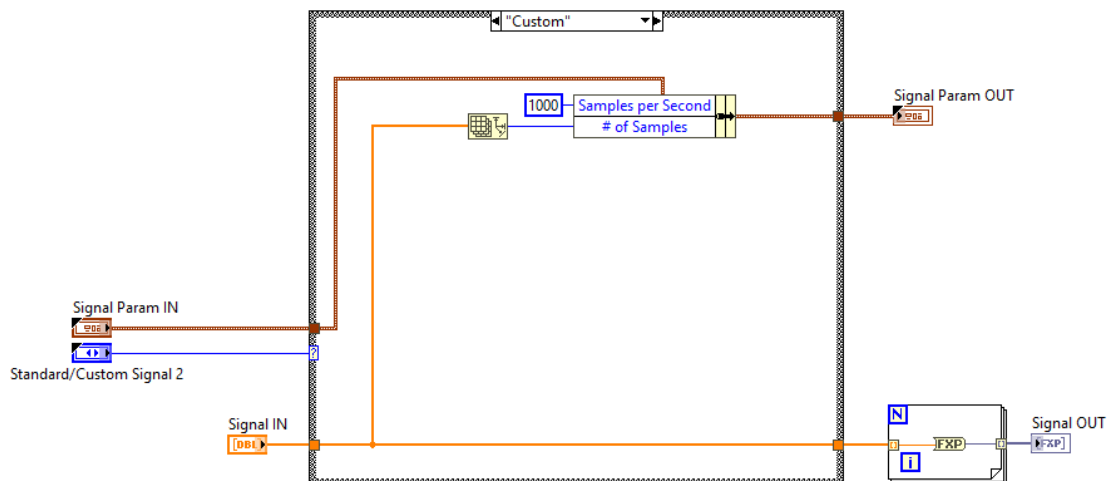


Figura 87-Gestione del segnale customizzato

- Attraverso segnale standard
 Come si può vedere nella Figura 88 il segnale customizzato ("Signal IN") non interviene in questa parte di codice, questo perché l'utente non vuole utilizzare un segnale personalizzato, ma uno standard ad esempio seno, coseno, rampa, sawtooth, ecc...
 In particolare, l'utente non deve far altro che scegliere il tipo di onda che si vuole utilizzare come SET di posizione e forza e inserirne i suoi parametri caratteristici (ampiezza, durata, fase, ecc..).
 Il codice in Figura 88 riceve i valori e costruisce l'onda di SET.

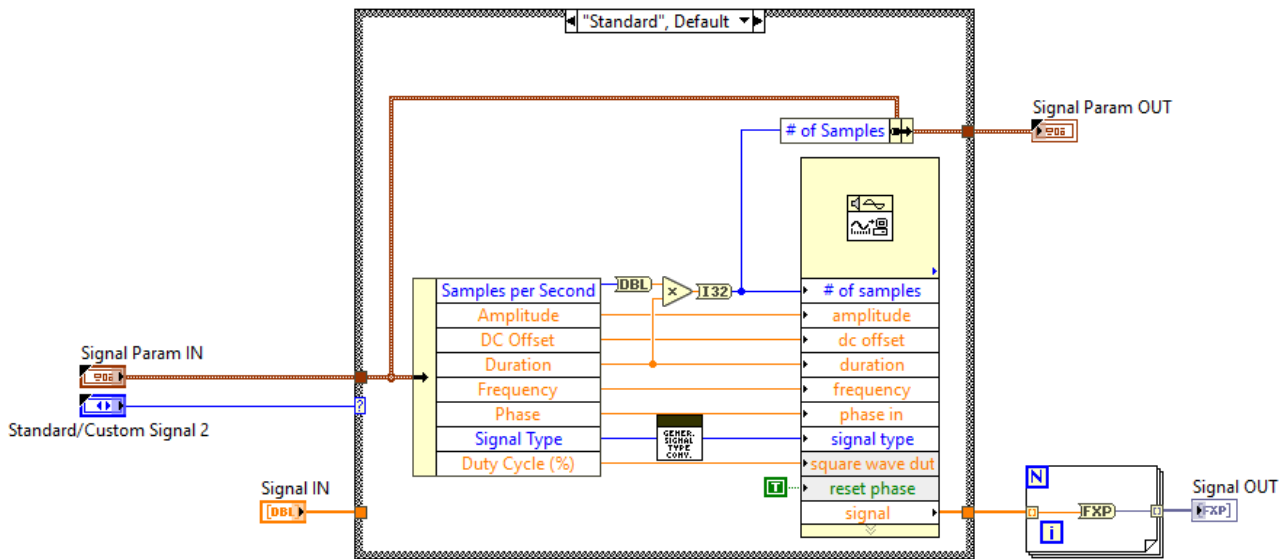


Figura 88-Caso vero: caricamento di un segnale standard

Nei due casi, standard e customizzato, i parametri che definiscono i segnali di SET di forza e posizione vengono inviati attraverso un *Timed loop* (priorità 100) all’FPGA VI grazie ad una referenza (Figura 89).

Il *Timed loop* è settato per lavorare ad una frequenza maggiore degli altri cicli presenti nell’RT MAIN VI ed ha anche una priorità maggiore, il che vuol dire che questo loop ha la precedenza rispetto a tutti gli altri. La presenza del *Timed loop* è necessaria per garantire in qualunque situazione un SET di forza e posizione all’FPGA per effettuare il controllo.

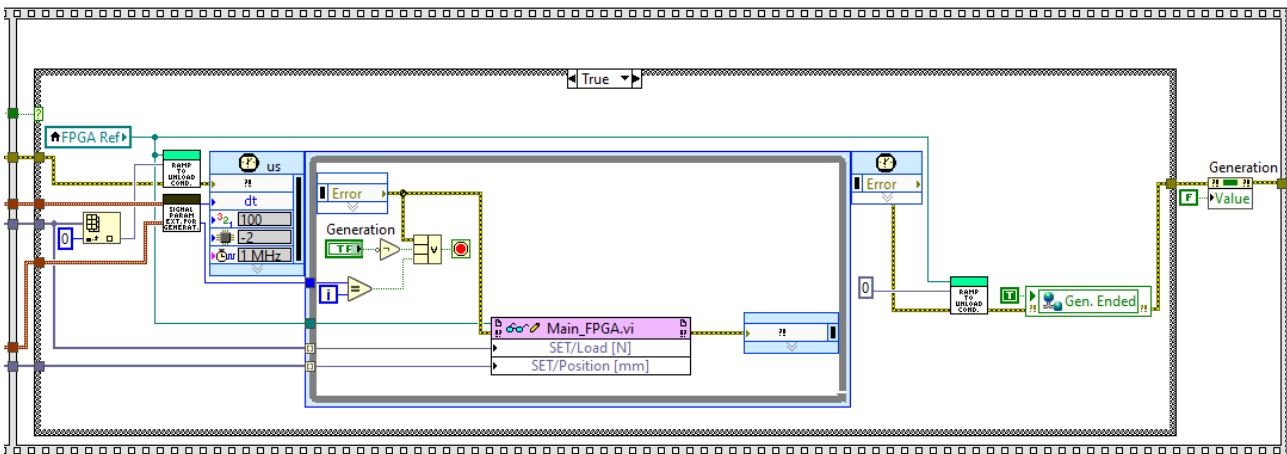


Figura 89-Caso vero: invio dei segnali di SET mediante un Timed Loop

Acquired Signals DMA Reading e Network Stream: Data to Host

I cicli mostrati nella Figura 90 hanno il compito di comunicare i valori acquisiti dai moduli nell’FPGA VI al MAIN HOST VI.

Come detto in precedenza sono presenti due DMA FIFO: “Acquired Signals DMA” e “TC”. Il primo ha il compito di immagazzinare i segnali fisici provenienti dal banco, mentre il secondo quelli elettrici provenienti dal Rack T/C.

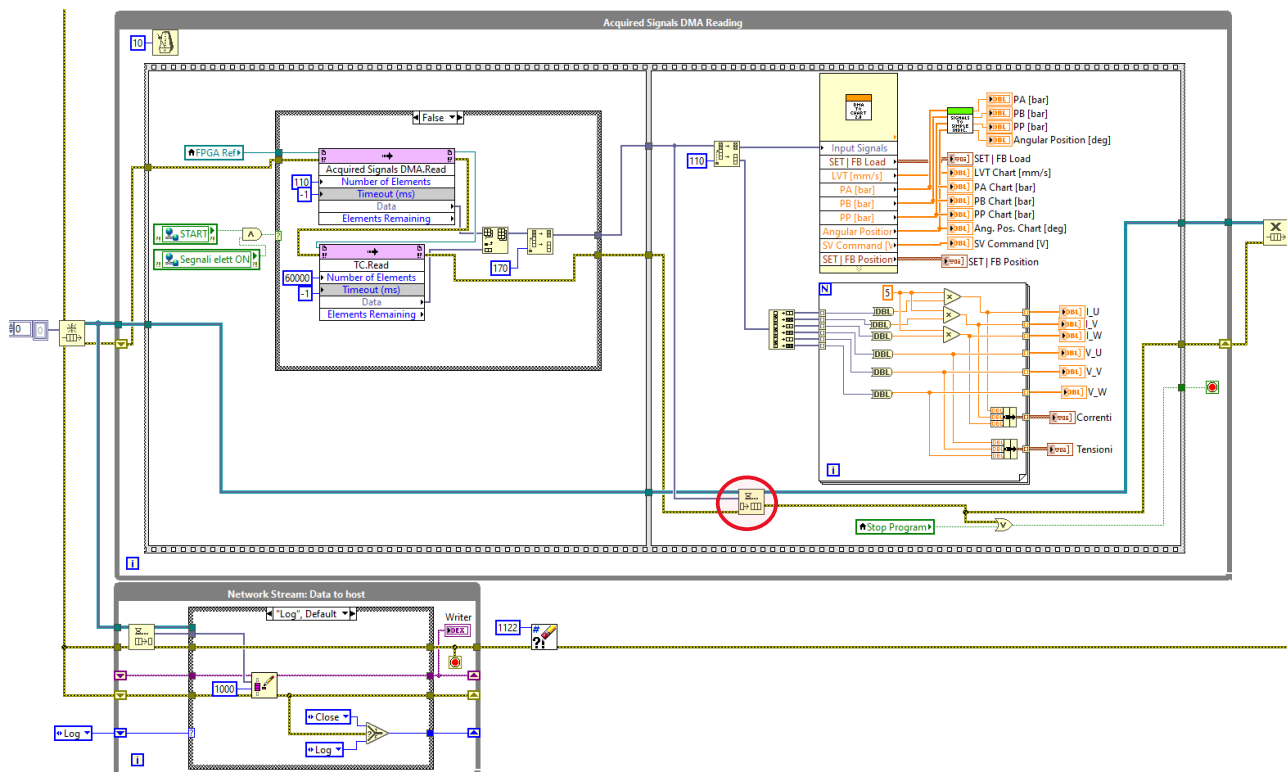


Figura 90-Acquired Signals DMA, TC Reading e Network Stream: Data to Host

“L’acquired Signals DMA, TC Reading loop” è il primo dei due a dover girare ed ha la funzione di estrarre i dati dall’acquired Signals DMA a coppie di 110 valori e dal TC a coppie di 60000 valori ogni 10 ms, questo solo se l’utente ha premuto il pulsante “Start Acquisition” e abilitato i segnali elettrici. Nel caso in cui non si volesse fare ancora l’acquisizione, il codice effettua un solo campionamento estraendo comunque dal DMA FIFO TC 60000 valori ma di questi ne invia solo 60 al PC.

In entrambi i casi tutti i segnali (sia fisici che elettrici) vengono inseriti in un vettore, il quale viene depositato in una coda grazie alla funzione “Enqueue element” (cerchiata in rosso nella Figura 91), successivamente le grandezze vengono plottate nel front panel dell’RT MAIN VI.

Appena sono depositati elementi in una coda la funzione “Dequeue element”, presente nel “Network Stream: Data Host loop”, estrae i valori e li inserisce nella Network Stream.

Come detto nel paragrafo precedente la Network Stream crea un collegamento tra RT MAIN VI e HOST MAIN VI, attraverso questo ponte è possibile inviare buffer di dati. Affinché La Network Stream funzioni correttamente è necessario che vengano rispettati i seguenti passi:

- **Connect:**
viene creato un endpoint (in questo caso, siccome ci troviamo nell’RT MAIN VI è presente un Reader endpoint passivo).
- **Log:**
se la connessione va a buon fine è possibile scrivere i valori provenienti dalla coda all’interno dello stream.
- **Close:**
questo caso si verifica se è presente un errore durante il collegamento con il MAIN HOST VI, oppure semplicemente se viene interrotta la comunicazione tra i due ambienti. Nel caso in cui una delle due

eventualità dovrebbe verificarsi, tutti i dati presenti nello stream vengono immediatamente trasferiti all'endpoint writer (presente nel MAIN HOST VI) e lo stream viene cancellato, dopo di che si ritenta la connessione fino a quando questa non verrà ristabilita.

Nelle figure riportate sotto vengono mostrati i processi trasferimento dati utilizzando la *Network Stream*.

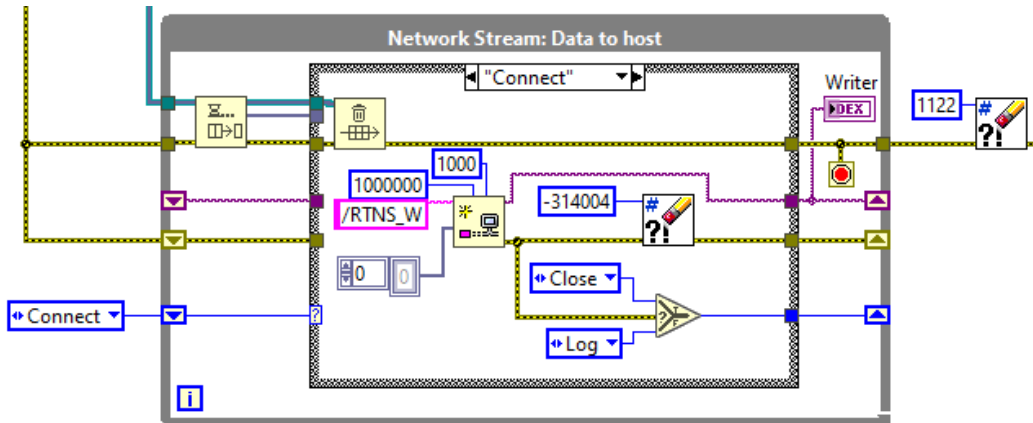


Figura 91-Connect: viene stabilita la connessione tra endpoint reader e writer

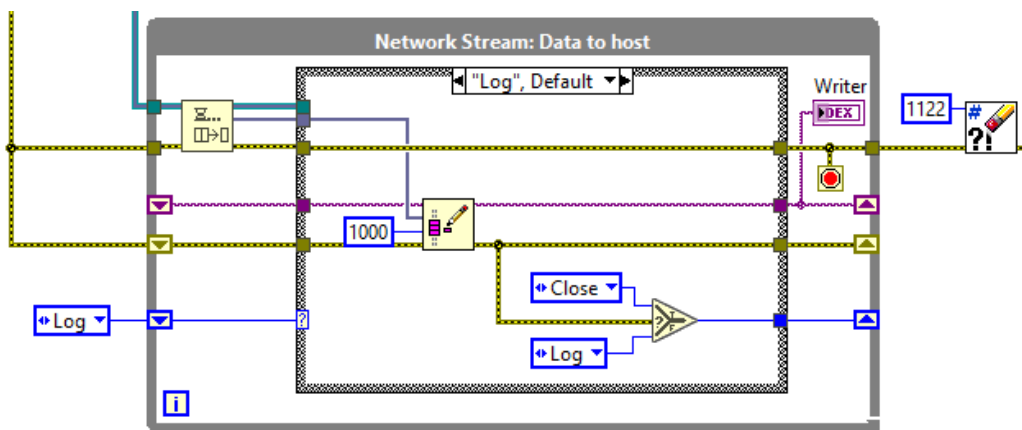


Figura 92-Log: i dati vengono scritti all'interno della Stream

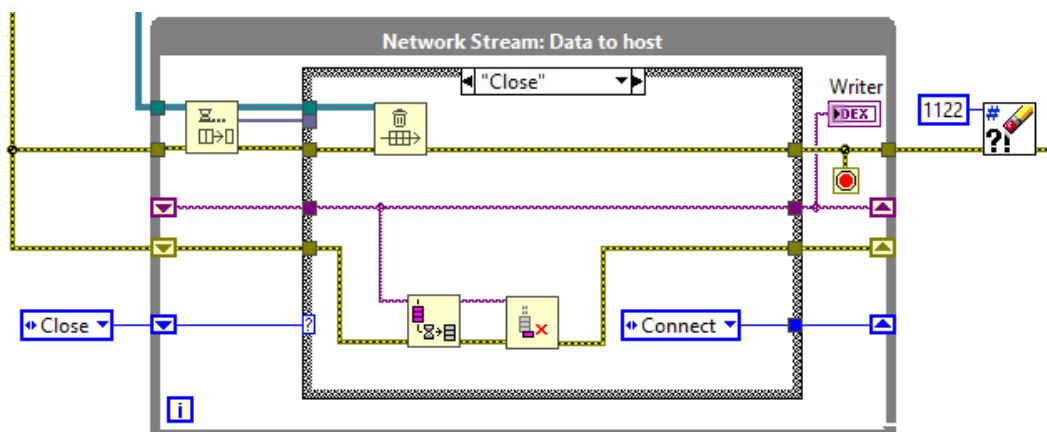


Figura 93-Close: invio di tutti i dati rimasti nello stream all'endpoint reader; chiusura dello stream

4.2.3 Codice HOST (Windows PC)

Labview permette di utilizzare svariate metodologie per il trasferimento dati tra c-RIO e un PC. I metodi utilizzati per il trasferimento dati sono i seguenti:

- *Network Published Shared Variables.*
- *Network Streams.*

Questi due metodi sono stati descritti nei paragrafi precedenti.

Il compito principale del MAIN HOST VI è quello di creare una comunicazione interattiva tra utente e applicazione tramite una interfaccia grafica su cui è possibile impostare parametri, visualizzare le acquisizioni e salvarle.

4.2.3.1 Interfaccia utente (Front panel)

L'interfaccia utente viene mostrata nelle Figure 94, 95 e 96. È lo strumento con cui l'utente interagisce per interfacciarsi con l'applicazione.

È popolata da due tipi di elementi:

- Comandi e controlli.
- Grafici.

Attraverso l'interfaccia l'utente è possibile stabilire la connessione tra RT TARGET e PC, generare un SET di forza e posizione o caricarlo da file, variarlo attraverso uno slider, iniziare l'acquisizione, salvare i dati in un file, abilitare i parametri del controllo e variarne il loro valore, visualizzare i risultati su grafici ed eventualmente realizzare una istantanea di essi in un preciso istante di tempo.

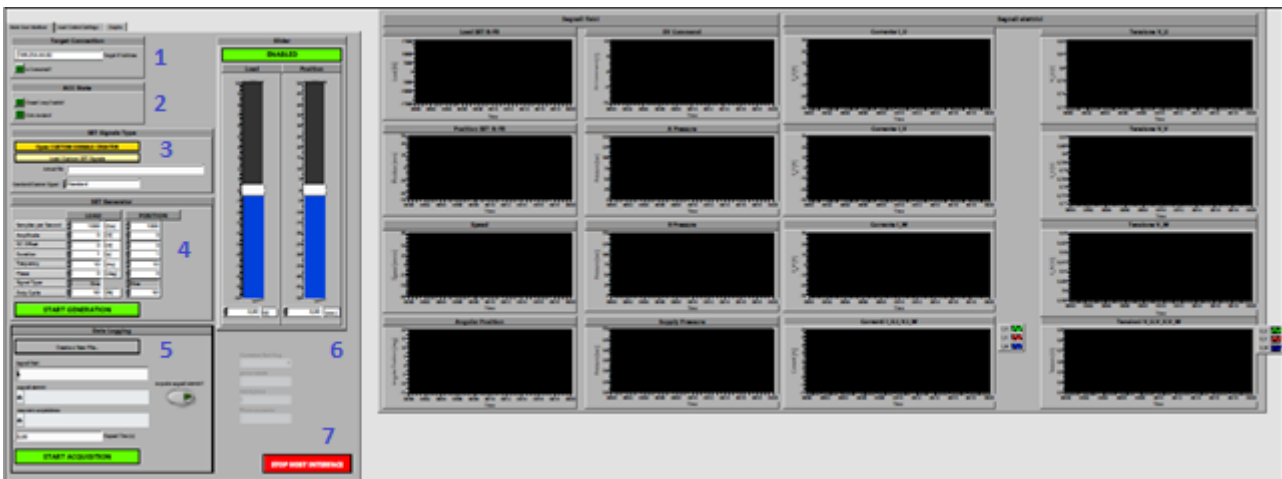


Figura 94-interfaccia utente: comandi di avvio e visualizzazione dei risultati

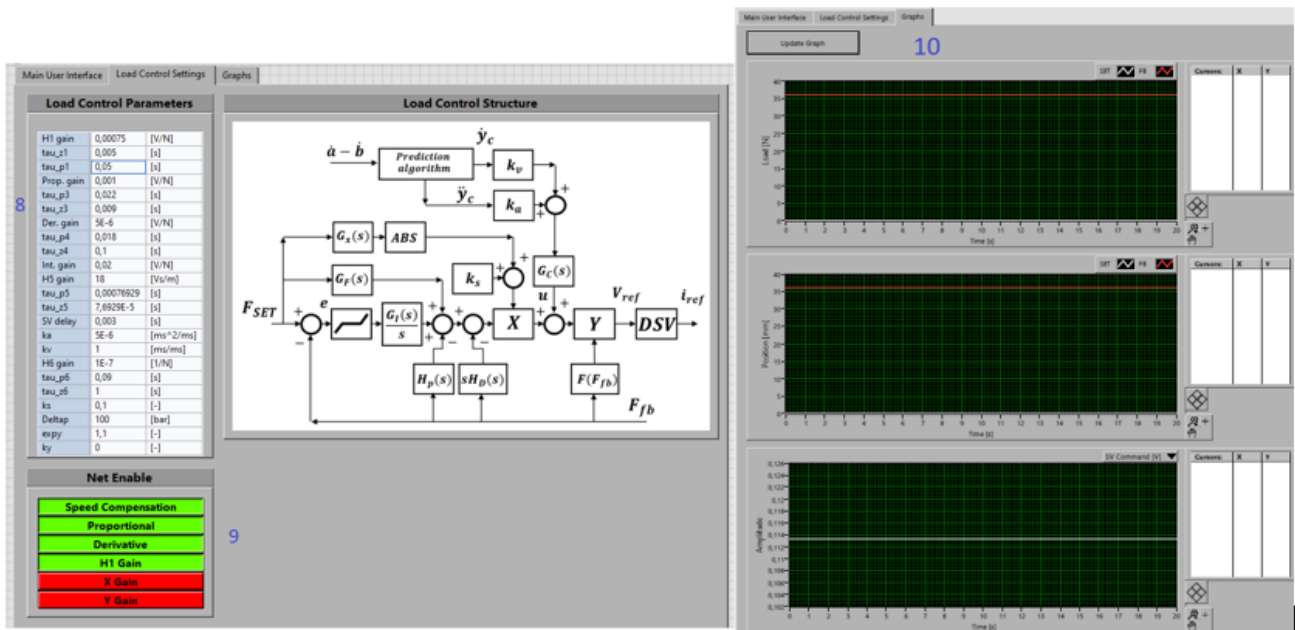


Figura 95-Interfaccia utente: comandi di gestione del controllo

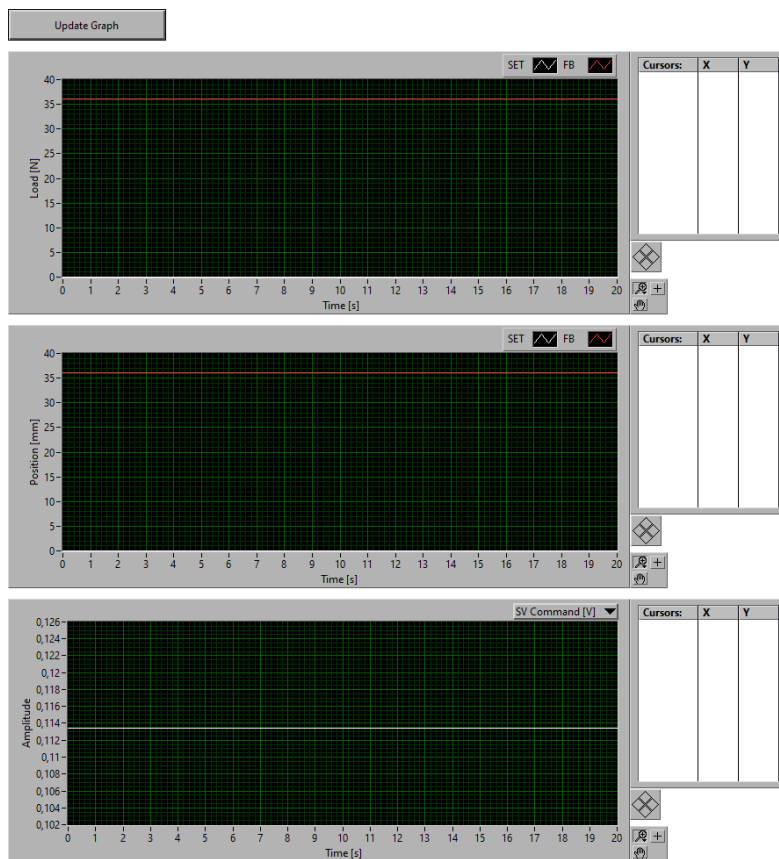


Figura 96-Update Graph

La Tabella 20 riporta una breve descrizione dei vari comandi presenti nel front panel, i quali saranno poi descritti in seguito in maniera più approfondita.

Indicativo	Nome	Descrizione
1	Target Connection	Stabilisce la connessione tra PC e RT target
2	ACC State	Stabilisce il tipo di controllo e se il ciclo è stato avviato
3	Set Signals Type	Permette di creare un segnale di SET customizzato e salvarlo su un file
4	Set Generator	Permette di generare un segnale di SET impostando manualmente i parametri caratteristici di una onda, inoltre permette di avviare la generazione
5	Data logging	Permette di salvare l'acquisizione in più file a seconda dei segnali che si vogliono acquisire
6	Slider	Permette di variare i parametri di SET attraverso uno Slider
7	Stop User Interface	Permette di arrestare il funzionamento dell'applicazione
8	Load Control Parameters	Permette di variare i parametri di controllo
9	Control Enable	Permette di abilitare i parametri di controllo
10	Update Graphs	Permette di visualizzare una istantanea dei grafici

Tabella 20-Descrizione comandi presenti nella User interface

Target Connection

L'utente inserisce l'IP Address del Target e tenta la connessione ad esso, se questa va a buon fine, il led "is connected?" si accende, le network streams sono collegate tra loro ed il flusso di dati inizia a circolare tra RT Target e PC.

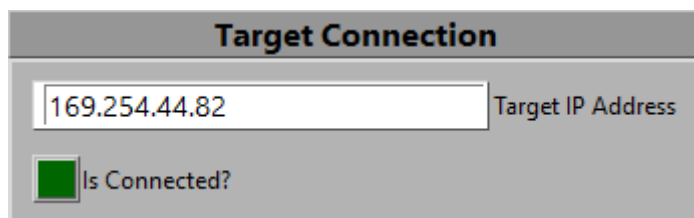


Figura 97- Connessione al Target

ACC State

Questo blocco (Figura 98) consente di vedere se il controllo in *closed loop* è abilitato e vedere se il ciclo è stato avviato, l'utente non comanda questo blocco, ma riceve solo informazioni da esso.

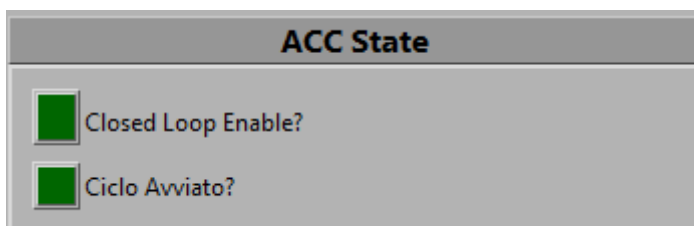


Figura 98-Stato dell'ACC

SET Signals Type

Premendo "Open CUSTOM SIGNALS CREATOR" (Figura 99) si apre una finestra di dialogo che mi permette di costruire onde miste, come combinazione di più segnali standard (ad esempio rampa+sinusoide), semplicemente sommandoli. I segnali che vengono sommati possono anche avere frequenze o ampiezze diverse, il tutto viene impostato manualmente dall'utente. L'onda risultante viene caricata in un file.

Premendo il pulsante "Load Custom SET Signals" viene caricato il file con il segnale che è stato appena costruito, oppure un segnale "reale". È possibile quindi raccogliere i dati provenienti da un vero velivolo e caricarli mediante un file txt, scrivendo il suo nome in "Actual file".

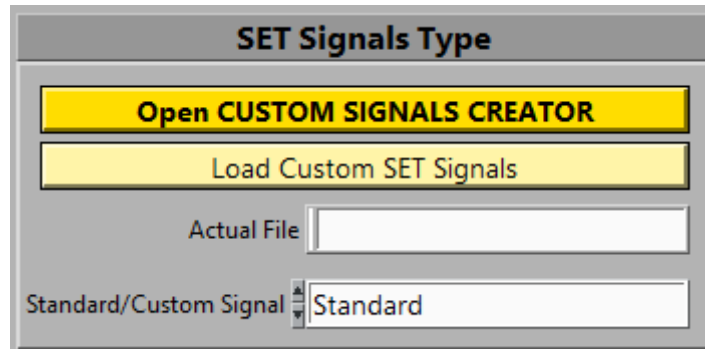


Figura 99-Impostazione dei SET

SET Generator

L'utente può imporre manualmente i campioni al secondo, le proprietà dell'onda e il tipo di onda di SET che si desidera, in base ai parametri inseriti viene generato il segnale risultante di posizione e forza. Premendo il tasto "START GENERATION", viene avviata la generazione del segnale.

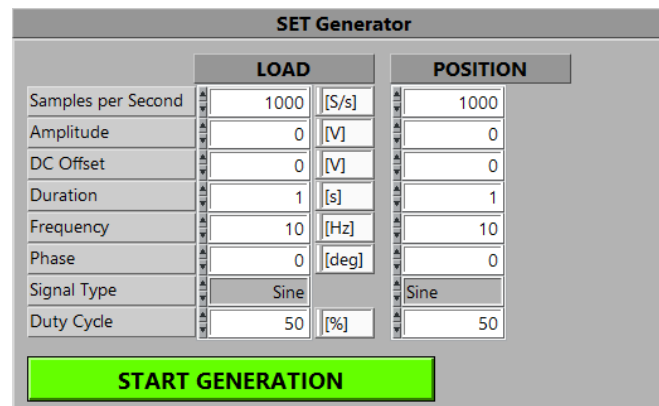


Figura 100-Generazione dei SET

Data Logging

Questa sezione (Figura 101) permette, una volta premuto il pulsante "START ACQUISITION" di salvare le acquisizioni su tre file:

- Segnali fisici: questo file è composto da undici colonne corrispondenti alle undici grandezze fisiche acquisite.
- Segnali elettrici: tale file viene generato solo se si preme il pulsante "Acquisire segnali elettrici". È composto da sei colonne corrispondenti alle sei grandezze elettriche acquisite.

- Resoconto acquisizione: questo file contiene le specifiche di acquisizione, il tipo di segnali acquisiti, l'ora e la data in cui tale acquisizione è stata effettuata e la frequenza di campionamento.

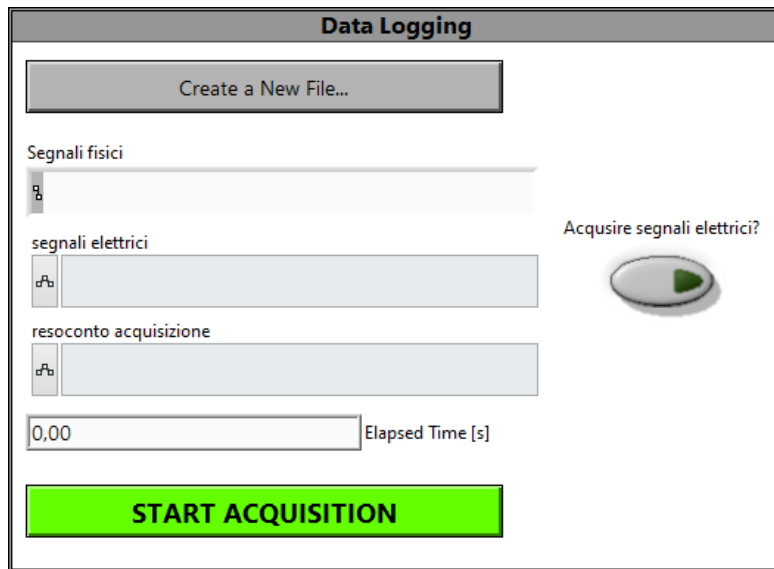


Figura 101-Data Logging

Slider

Gli slider (Figura 102) di posizione e forza servono per cambiare manualmente la forza agente sull'attuatore idraulico e la posizione su quello elettromeccanico.

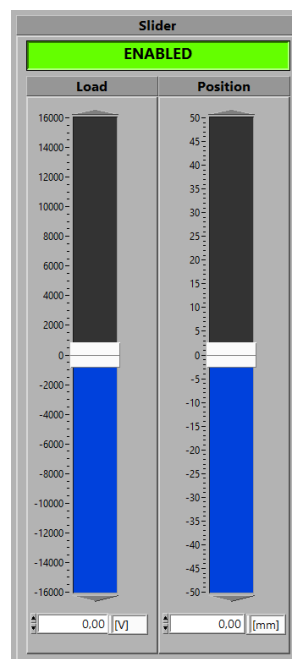


Figura 102-Slider di gestione dei SET di forza e posizione

Stop Host Interface

Una volta premuto il pulsante "STOP HOST INTERFACE" (Figura 103), tutti i controlli vengono disabilitati e l'utente non può più interagire con la *user interface*. Per far ripartire l'applicazione è necessario riavviarla con il pulsante "run" del *front panel*.

STOP HOST INTERFACE

Figura 103-Stop User Interface

Load Control Parameters e NET enable

Questo blocco è un cluster (scatola al cui interno possono essere contenuti tutti i tipi di dati), che racchiude tutti i guadagni e le costanti di tempo necessari ad effettuare il controllo. Lo schema a blocchi che effettua il controllo è mostrato nella Figura 104.

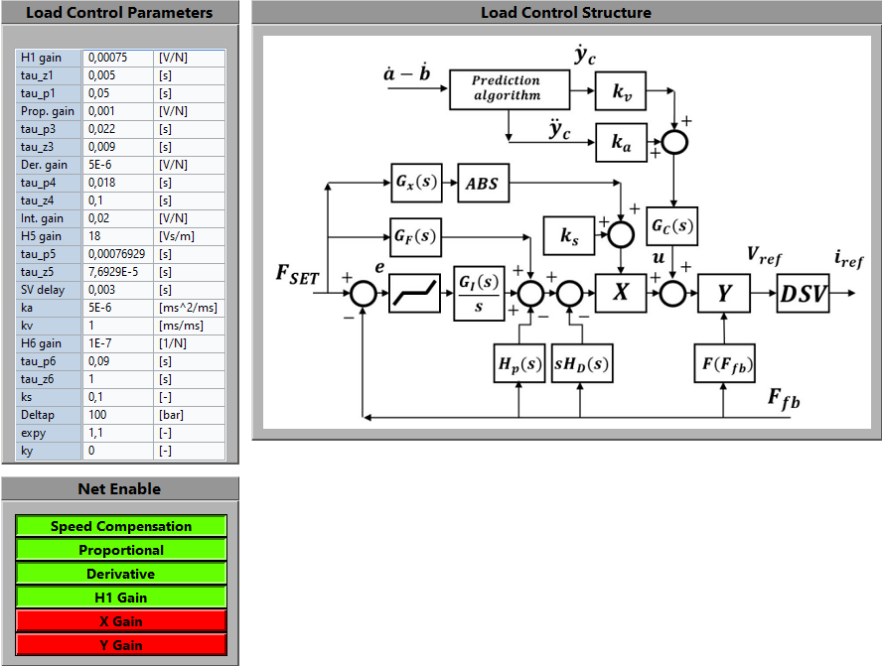


Figura 104-Load Control Parameters e NET enable

Il blocco "Net Enable" permette all'utente di scegliere quali guadagni utilizzare per il controllo.

Update Graphs

Premendo il pulsante "Update Graphs", l'utente riceve una istantanea schermo dei tre grafici presenti nella pagina (Figura 105), visualizzandone i relativi valori.

Utilizzando la tendina in basso a destra, l'utente può inoltre scegliere quali tra i dieci grafici visualizzare.

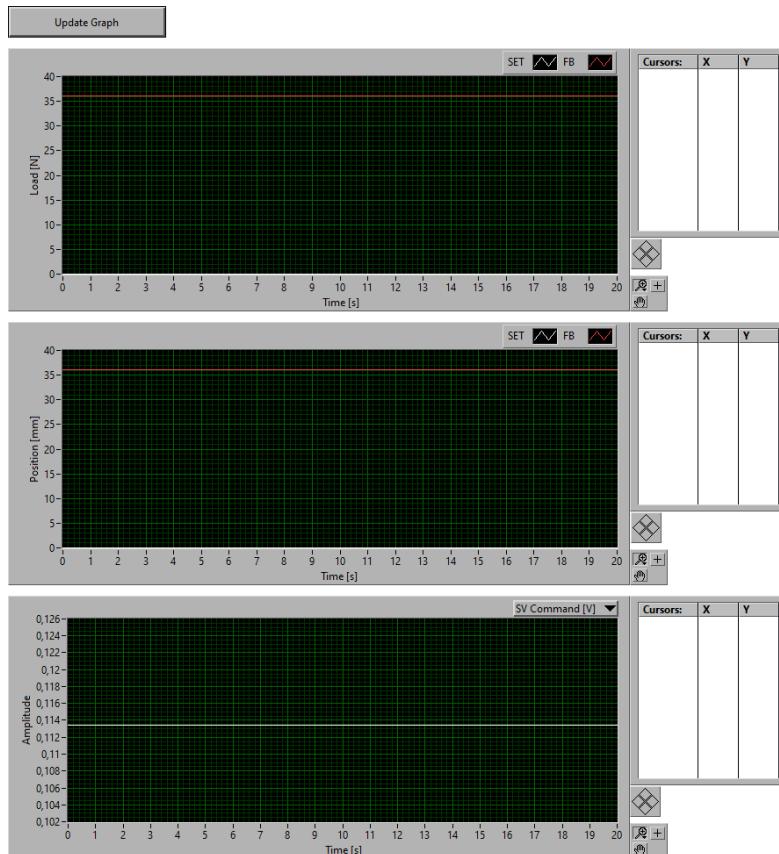


Figura 105-Update Graphs

4.2.3.2 MAIN HOST VI

Il MAIN HOST VI come gli altri VI è formato da un *front panel* e un *block diagram*. Nello specifico caso del MAIN HOST VI il *front panel* è di fondamentale importanza, perché l'utente finale si interfaccia con questo e non con il codice scritto nel *block diagram*.

Nel *front panel* è presente la *user interface*, il cui funzionamento è una diretta conseguenza del codice implementato nel *block diagram*.

Le funzioni svolte dal MAIN HOST VI sono:

1. Creare un ponte di comunicazione tra PC e RT TARGET (*Network Streams, Network Published Shared Variable*).
2. Plottare i grafici nella *user interface* e salvare i dati in un file.
3. Generare segnali di SET customizzati.

Il MAIN HOST VI comprende una prima parte di inizializzazione dell'applicazione e sei loop, ognuno deputato ad una differente funzione. I cicli in questione sono i seguenti:

- *Main Event Case Structure.*
- *Update Graphs.*
- *Shared Variables to RT MAIN.*
- *Network Stream: RT to HOST.*
- *Data Logging.*
- *Update Units.*

Inizializzazione

La Figura 106 mostra la prima parte di codice che esegue, quando l'applicazione viene fatta partire. Lo scopo principale è quello di inizializzare tutti i parametri al loro valore di default presenti nel MAIN HOST VI, e le *Network Published Shared Variables*.

Il processo di inizializzazione delle variabili condivise viene effettuato dal *subVI* cerchiato in rosso nella figura.

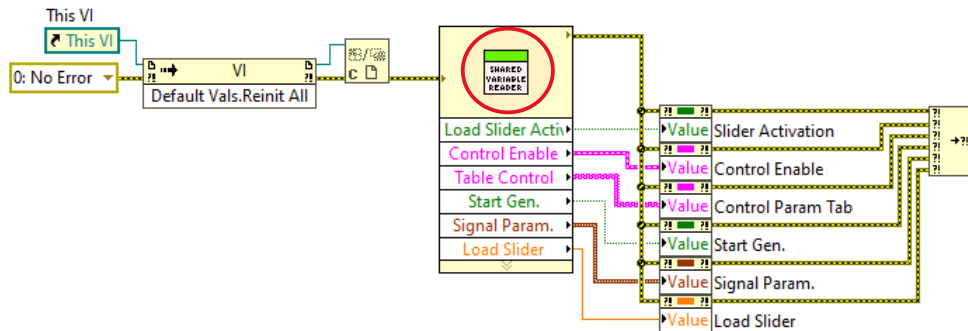


Figura 106-Inizializzazione VI e Shared Variables

Main Event Case Structure loop & Update Graphs loop

Il "Main Event Case Structure loop" è caratterizzato dalla presenza di una funzione denominata "Event Structure". Questa struttura aspetta che si verifichi un evento per svolgere un determinato compito, ad esempio l'utente preme il pulsante apposito nella *User interface* per salvare i dati in un file.

L'utente può scegliere di:

1. Creare un segnale di SET customizzato.

Per creare i segnali di SET l'utente preme il pulsante "Open CUSTOM SIGNALS CREATOR", si apre di conseguenza una interfaccia in cui è possibile scegliere il tipo di segnale, l'ampiezza, l'offset, la frequenza, la durata e il duty cycle. È possibile generare un segnale come somma o sottrazione di onde di tipo diverso (es: senoide + rampa, ecc....).

Il codice deputato alla generazione del segnale customizzato dei SET è mostrato nella figura seguente.

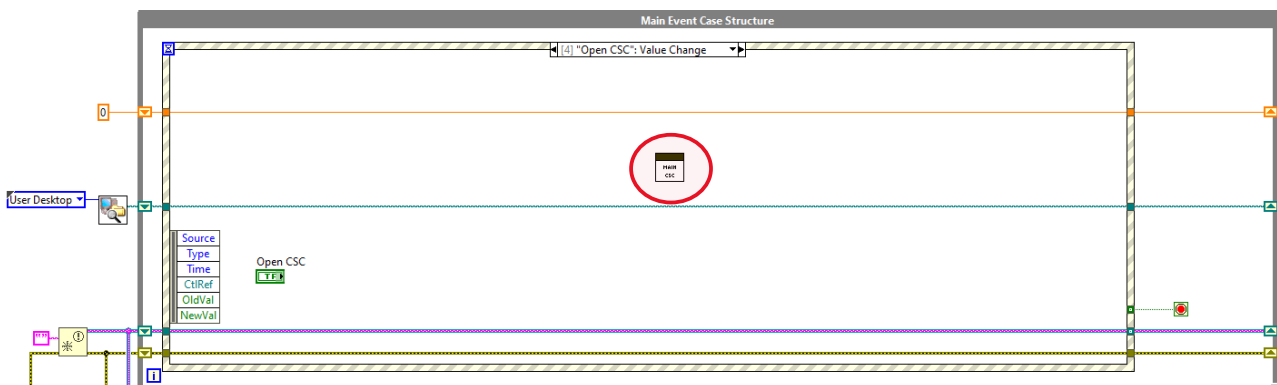


Figura 107-Open CSC: viene aperta l'interfaccia per la creazione del segnale di SET customizzato

Come si può vedere dalla Figura 107 all'interno del frame "Open CSC" è presente un unico sottosistema (*subVI*). Il codice all'interno di questo *subVI* è mostrato nella Figura 108.

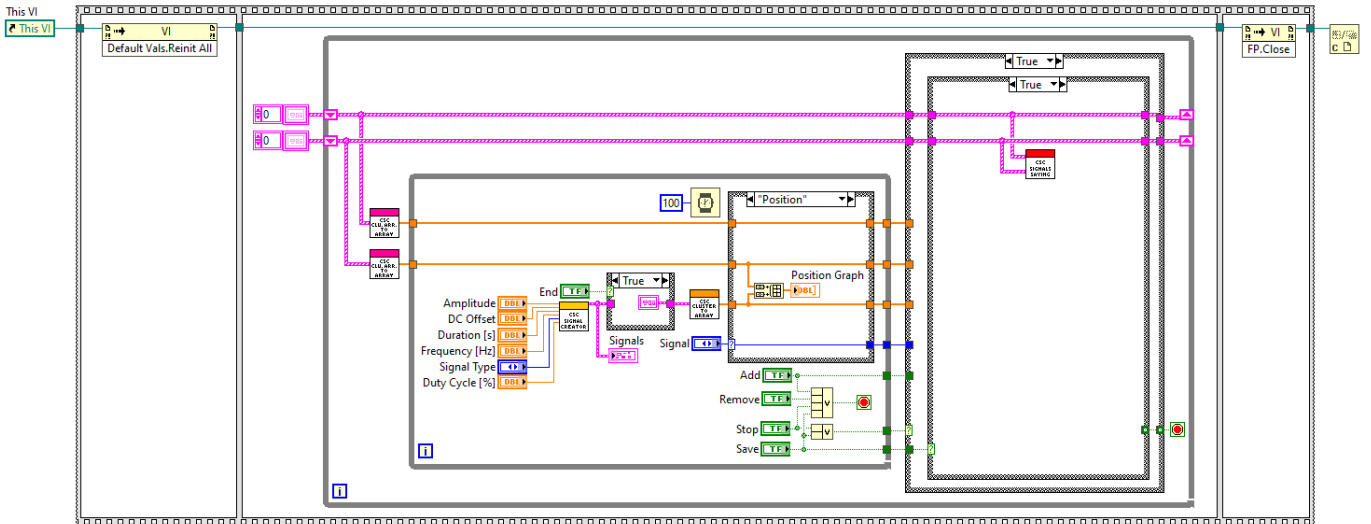


Figura 108-Codice di creazione del segnale di SET customizzato

Il sistema riceve in ingresso i parametri caratteristici dell'onda (ampiezza, frequenza, ecc...), poi in base alle istruzioni fornite dall'utente con i tasti "Add, Remove", genera il segnale desiderato e allo stesso tempo lo plotta a schermo. Infine, l'onda risultante può essere salvata in un file. Terminata la generazione, si esce dal ciclo e l'interfaccia "Open CSC" viene chiusa automaticamente.

2. Caricare un segnale di SET proveniente da un file.

L'utente preme sul pulsante "Load Custom SET Signals" con l'intento di caricare il segnale di SET desiderato da un file.

Il frame della Event Structure che ha il compito di gestire questo comando è mostrato nella figura sottostante.

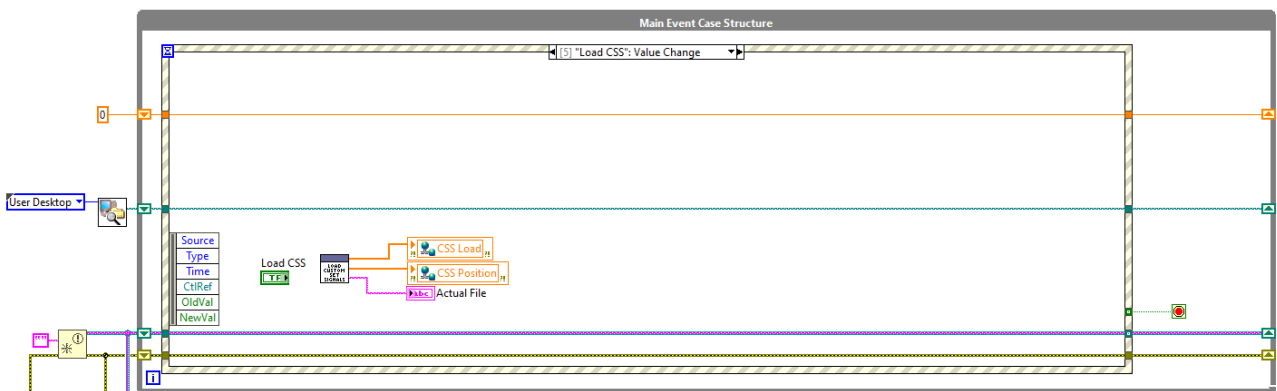


Figura 109-Caricamento del segnale di SET customizzato nelle Network Published Shared Variables

Il codice scritto all'interno del subVI della figura sottostante ha il compito di aprire un file, il cui nome viene inserito dall'utente nella user interface, estrarre i valori e inserirli nelle rispettive Network Published Shared Variables di forza e posizione. Il codice contenuto all'interno del subVI è mostrato nella Figura 110.

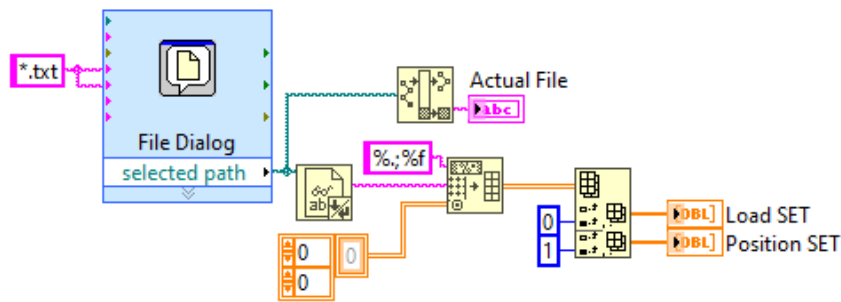


Figura 110-Estrazione dei segnali di SET da un file

3. Creare un file in cui salvare le acquisizioni.
Premendo il tasto "Create a New File", nella sezione "Data Logging", è possibile generare tre file (descritti in precedenza) in cui è possibile salvare le acquisizioni, cioè i dati che vengono plottati nei grafici presenti nella *user interface*.
Nella Figura 111 è riportato il frame della *Event Structure* appena descritto.

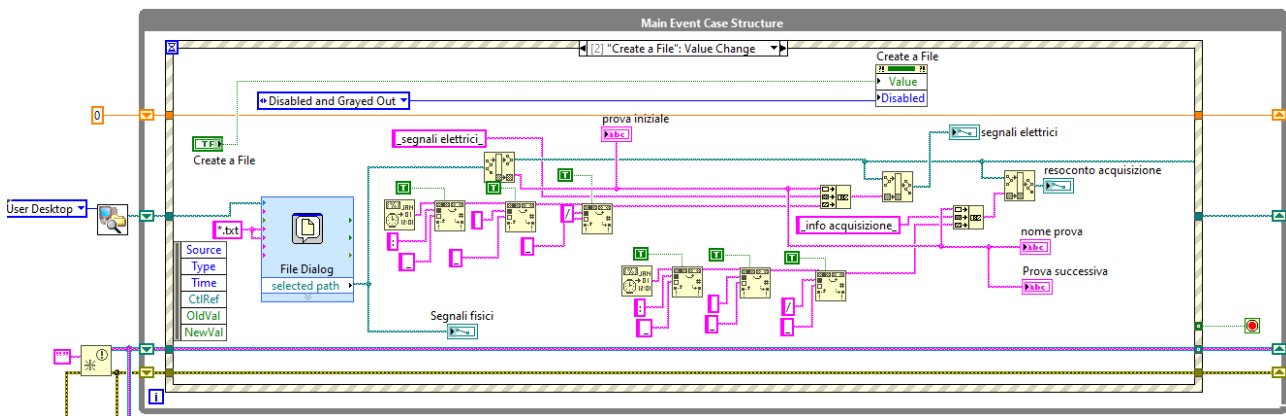


Figura 111-Create a File: creazione del file in cui vengono depositati i segnali di SET

4. Realizzare una istantanea schermo dei grafici presenti nel *front panel*.
Il codice a livello MAIN HOST VI è implementato in modo tale che se volesse, l'utente può realizzare una istantanea schermo dei grafici presenti nel front panel, premendo il pulsante "Update Graph". Questo è possibile grazie alla cooperazione di due loop: "Main Event Case Structure loop" e "Update Graphs loop" (Figura 112).
Quando viene premuto il tasto "Update Graph", il primo ciclo nella figura invia una notifica a quello sottostante, attraverso la funzione "Send Notification", quest'ultimo inizia quindi a girare e salva le storie dei grafici che l'utente ha selezionato nel *front panel*.

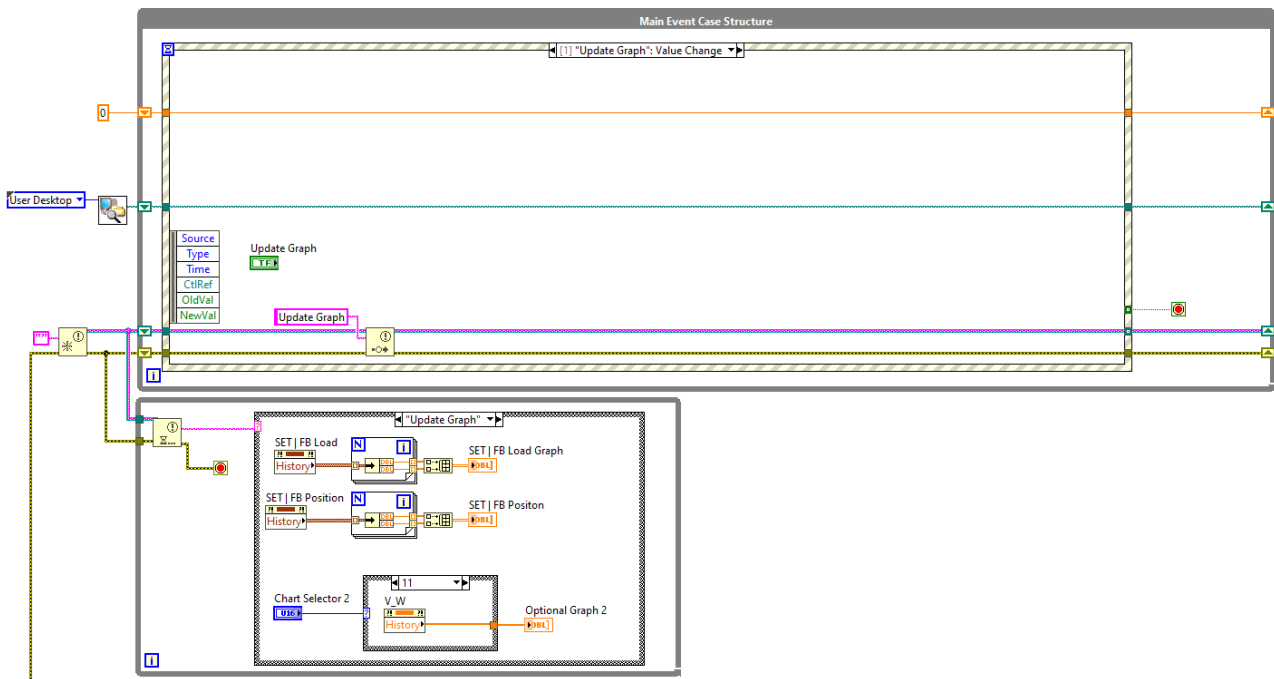


Figura 112-Update graph

5. Monitorare il pulsante “Start acquisition”

Questo frame permette di monitorare quante volte viene premuto il pulsante “Start acquisition”. Ogni volta che l’utente lo preme infatti viene fatto incrementare un indicatore, grazie al quale viene cambiato il nome della prova di acquisizione che si sta compiendo. Nella figura seguente è riportato il codice adibito a tale compito.

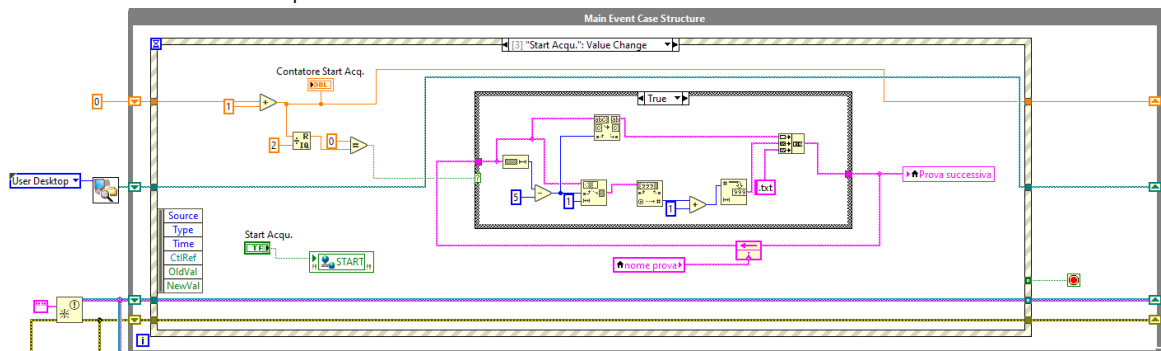


Figura 113_Evento Start acquisition

6. Arrestare il codice

Nel momento in cui l’utente fosse intenzionato a interrompere l’applicazione, può cliccare sul pulsante “Stop Host Interface”, questo comporta l’interruzione di ogni ciclo presente nel MAIN HOST VI e la disconnessione con l’RT Target.

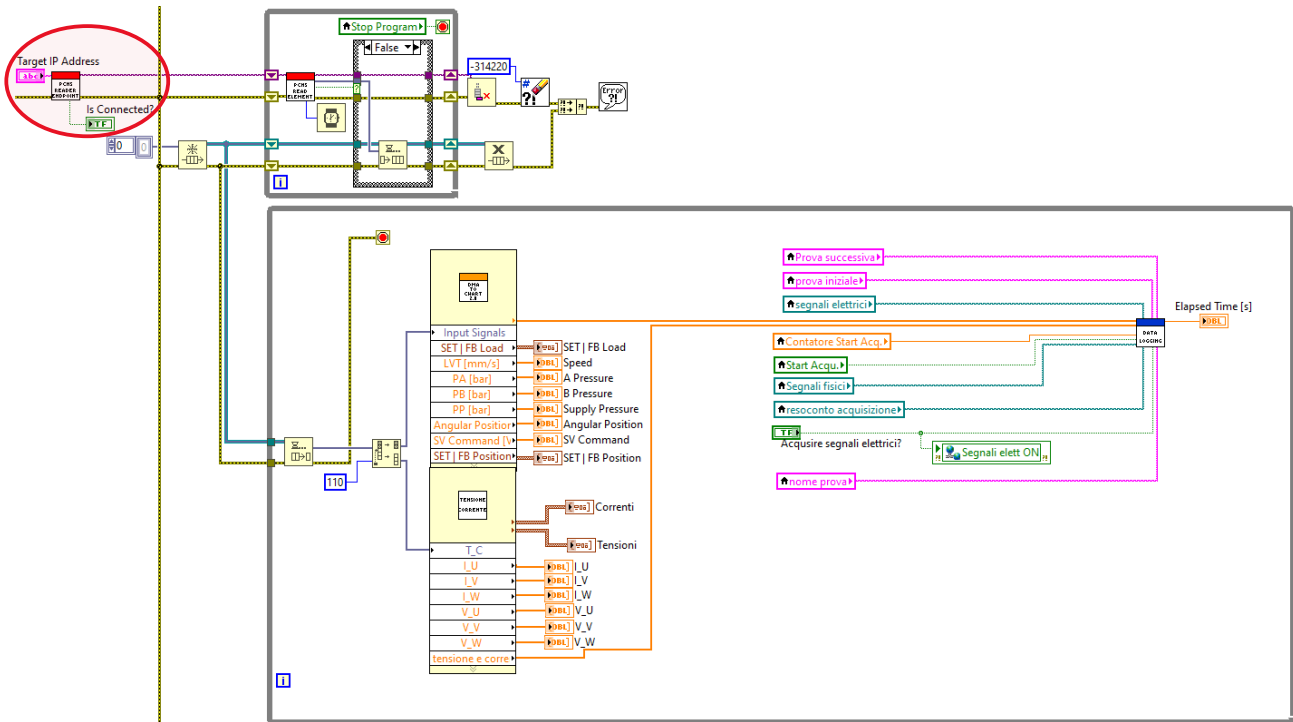


Figura 116-Network Stream: RT to HOST & Data Logging loop

Nelle figure sottostanti si riportano i codici dei sub VI presenti nel loop precedente:

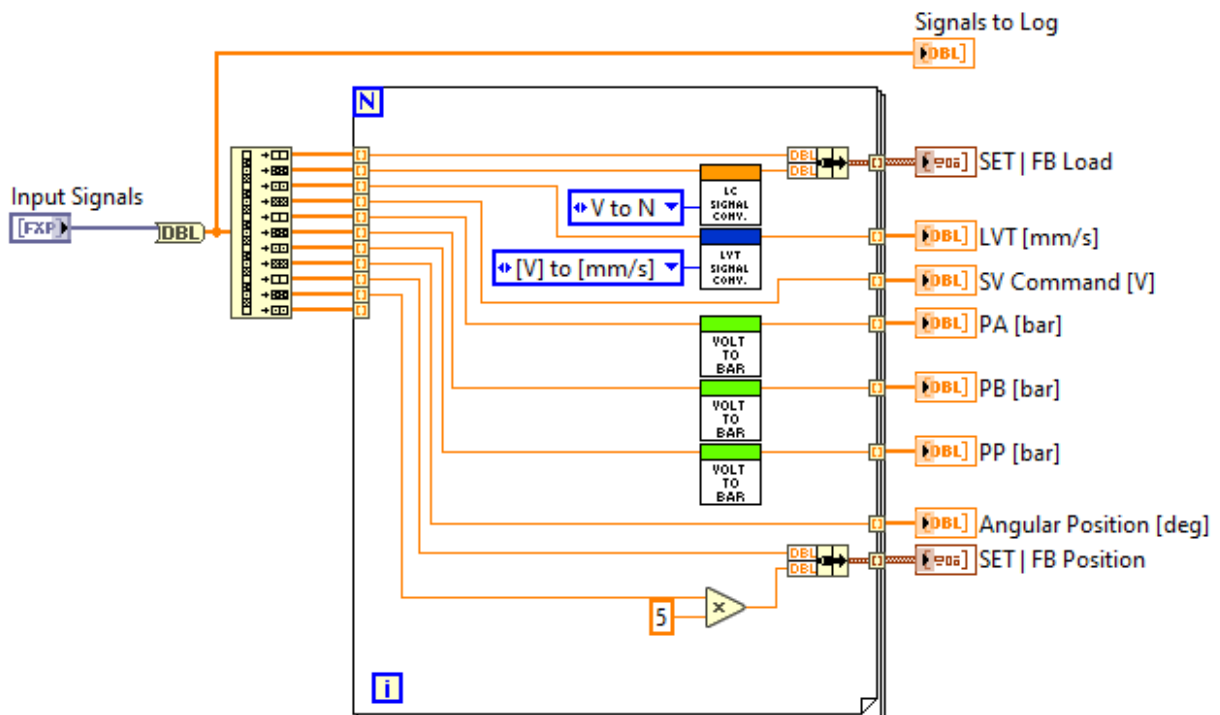


Figura 117-Conversione e plot dei segnali fisici

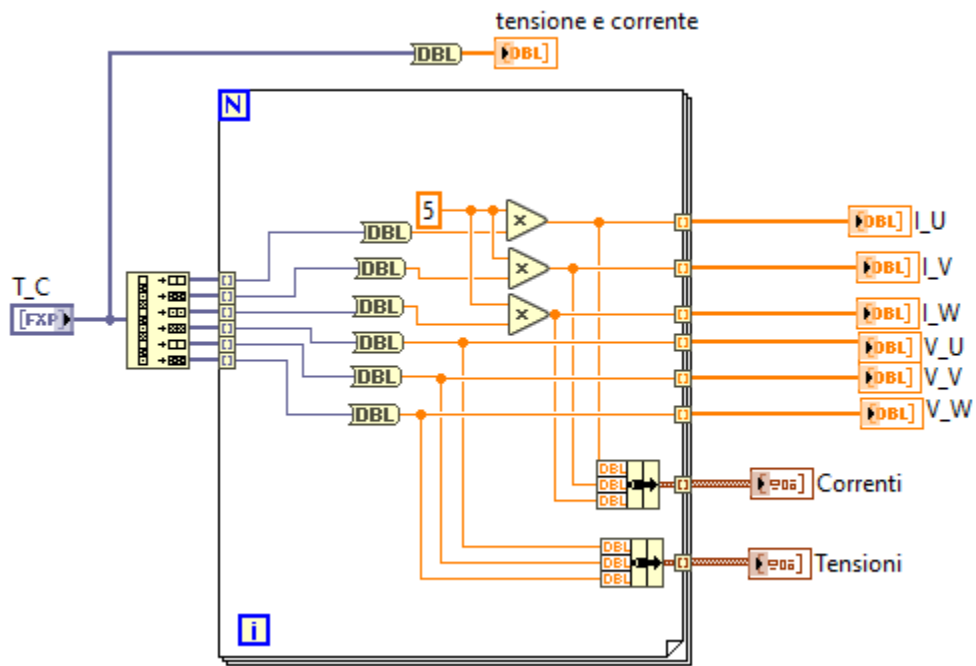


Figura 118-Conversione e plot segnali elettrici

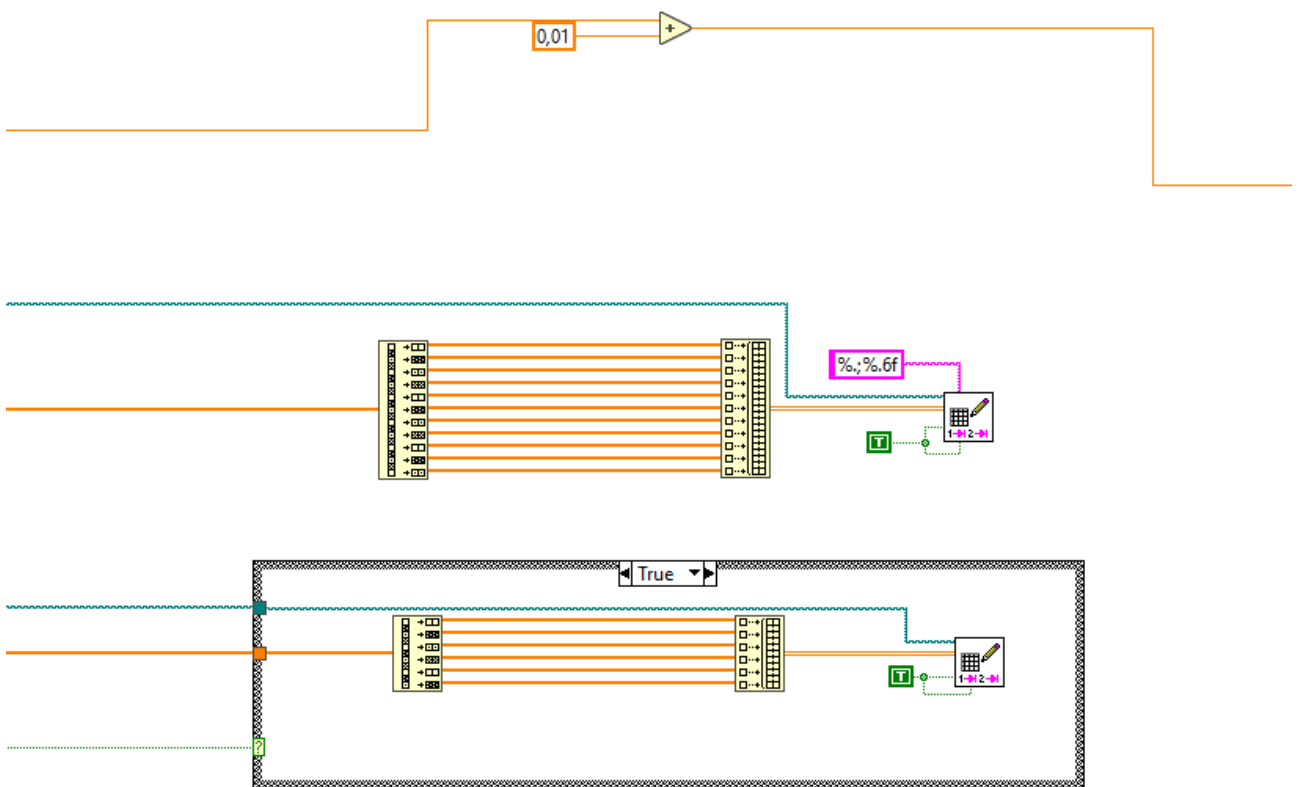


Figura 119-Scrittura dei due file: segnali fisici ed elettrici

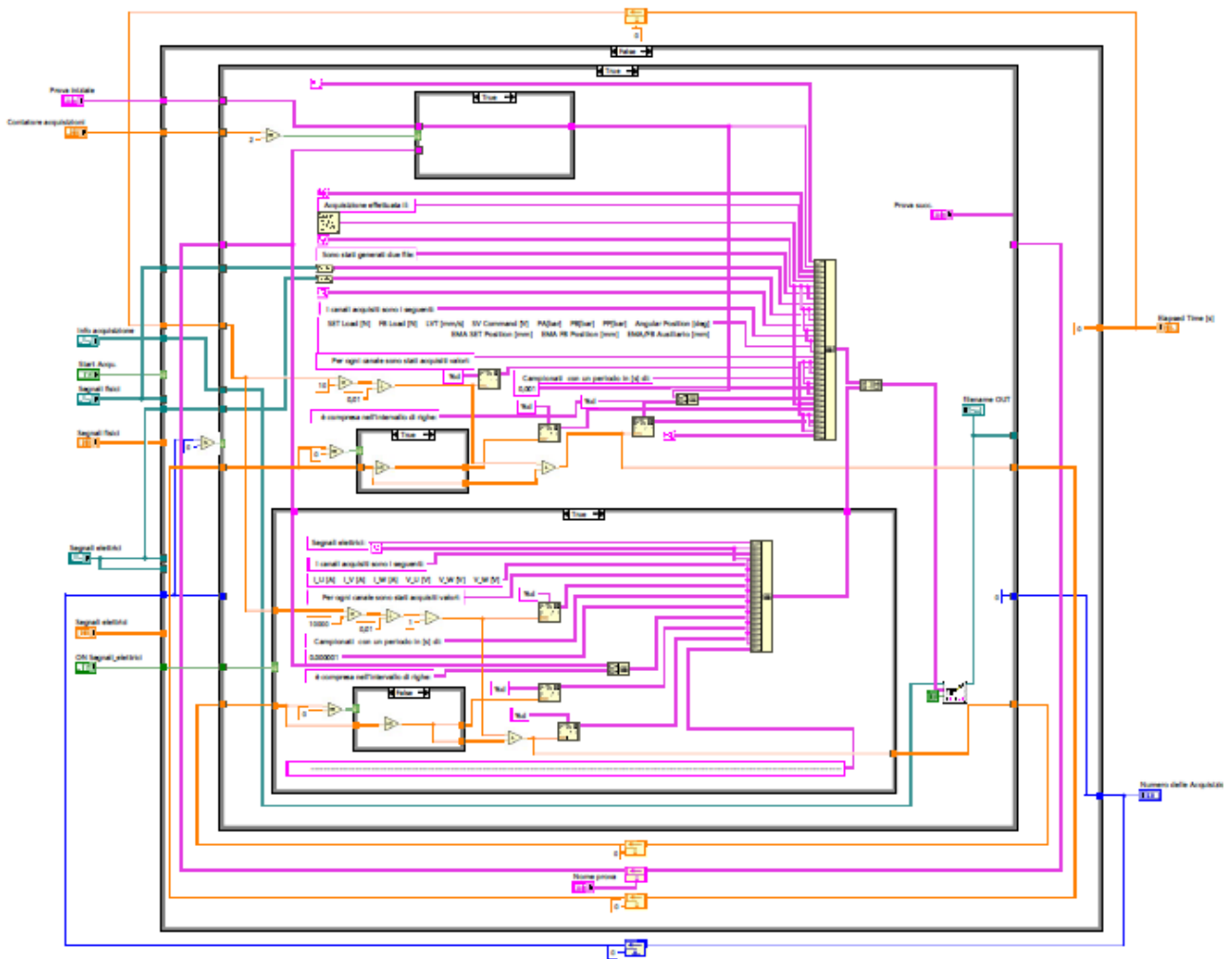


Figura 120-Scrittura terzo file riguardante i dettagli delle due acquisizioni

Update Units loop

Il loop mostrato in Figura 121 ha il compito di aggiornare le unità di misura dei parametri del *SET Generator* e degli slider in funzione della presenza o meno del segnale digitale "Open/Closed Loop".

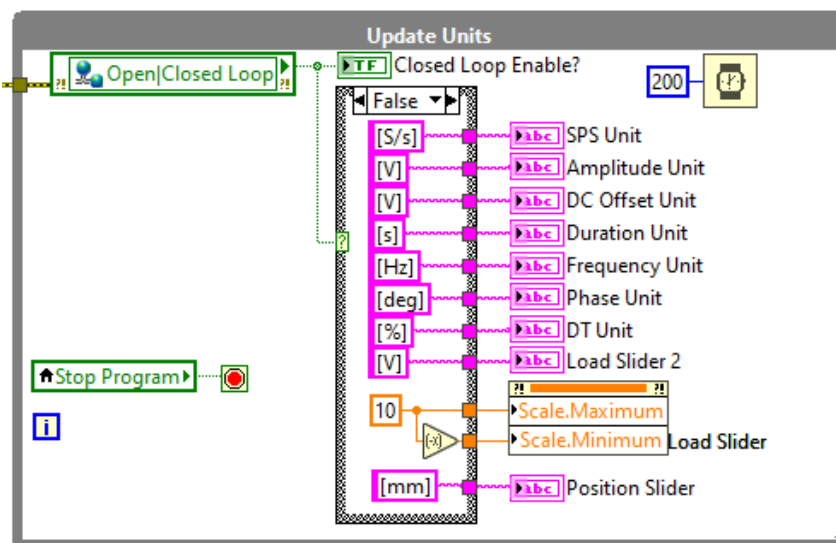


Figura 121-Update Units loop

5. Capitolo 5 – Prove di verifica della funzionalità del codice

Lo scopo di questo capitolo è quello di testare l'effettiva funzionalità del codice effettuando delle prove sperimentali per vedere se vengono acquisite le forme d'onda conferite in ingresso ai moduli.

Gli strumenti che sono stati utilizzati per effettuare le prove sono:

- Generatore di segnali.
- Oscilloscopio.
- Connettore BNC.
- Connettore banana-cocodrillo.

Il sistema generatore-oscilloscopio è mostrato nelle Figure 122, 123 e 124:

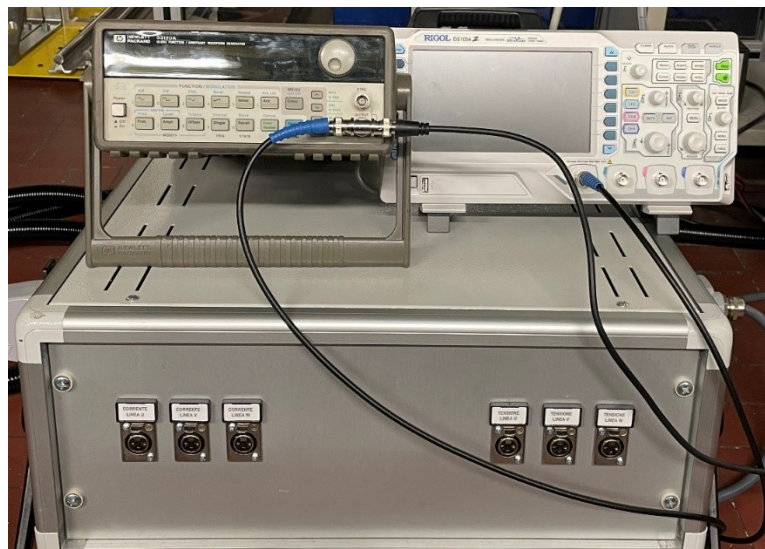


Figura 122-Sistema Generatore-Oscilloscopio

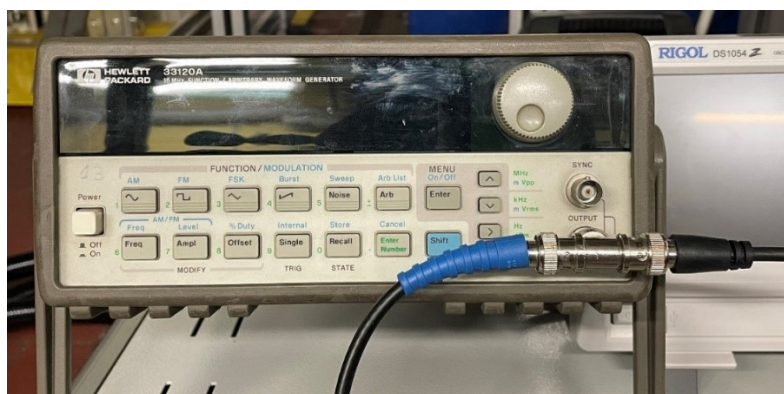


Figura 123-Generatore di segnali

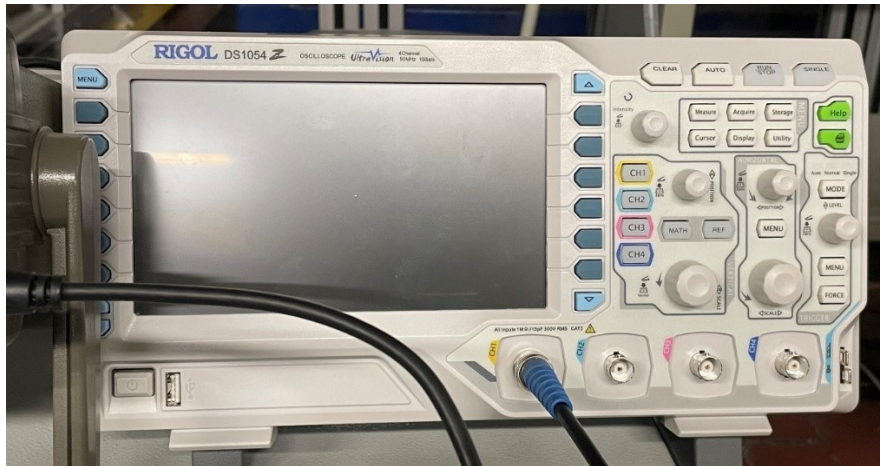


Figura 124-Oscilloscopio

Nella Figura 125 è invece riportato il metodo di collegamento tra il generatore di segnale e i moduli NI 9223 di tensione e corrente, in questo caso il generatore è stato collegato solo al modulo di corrente, attraverso dei morsetti banana-coccodrillo (cerchiati in rosso nella figura).

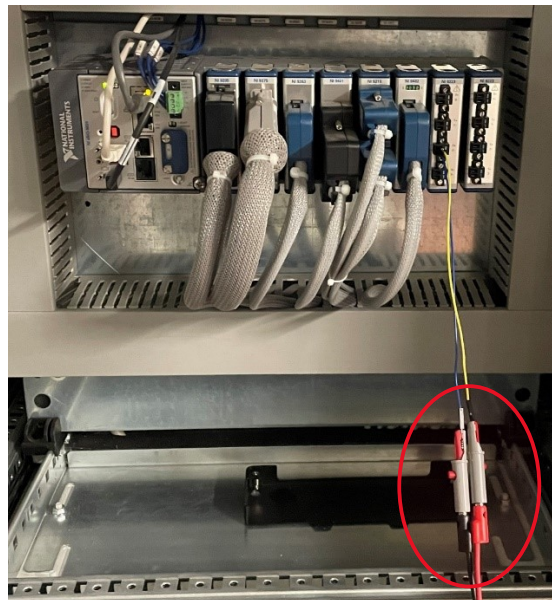


Figura 125-collegamento mediante morsetti a coccodrillo tra generatore di segnali e modulo NI 9223

Il generatore permette di creare un segnale impostando l'offset, ampiezza, frequenza e il tipo di onda (sinusoide, quadra, dente di sega, ecc...). A tale dispositivo possiamo collegare, attraverso un connettore BNC a due uscite sia l'oscilloscopio, che ci permette di visualizzare l'andamento del segnale che è stato costruito mediante il generatore, sia il modulo NI 9223.

Una volta montato il sistema, è stato possibile effettuare delle prove variando la forma dell'onda, la frequenza e l'ampiezza picco-picco.

Per comodità, nelle pagine seguenti si riportano solo i grafici della corrente della terza fase del motore, infatti si vedranno non trascurabili solo gli andamenti relativi alla I_W. Tuttavia, siccome il codice deve funzionare per tutti i casi, in laboratorio sono stati testati entrambi i moduli (tensione e corrente) e tutti i relativi canali.

Variazione della frequenza

La forma d'onda utilizzata per questo tipo di prova è la sinusoidale. Sono state effettuate tre prove variando la frequenza (100Hz, 300Hz, 500Hz) e mantenendo costante l'ampiezza Volt Peak to Peak al valore di 10.

Una volta impostati i parametri nel generatore di segnali è possibile visualizzare l'andamento sull'oscilloscopio. La figura seguente riporta una onda sinusoidale di ampiezza 10 V Peak to Peak e frequenza 100Hz.

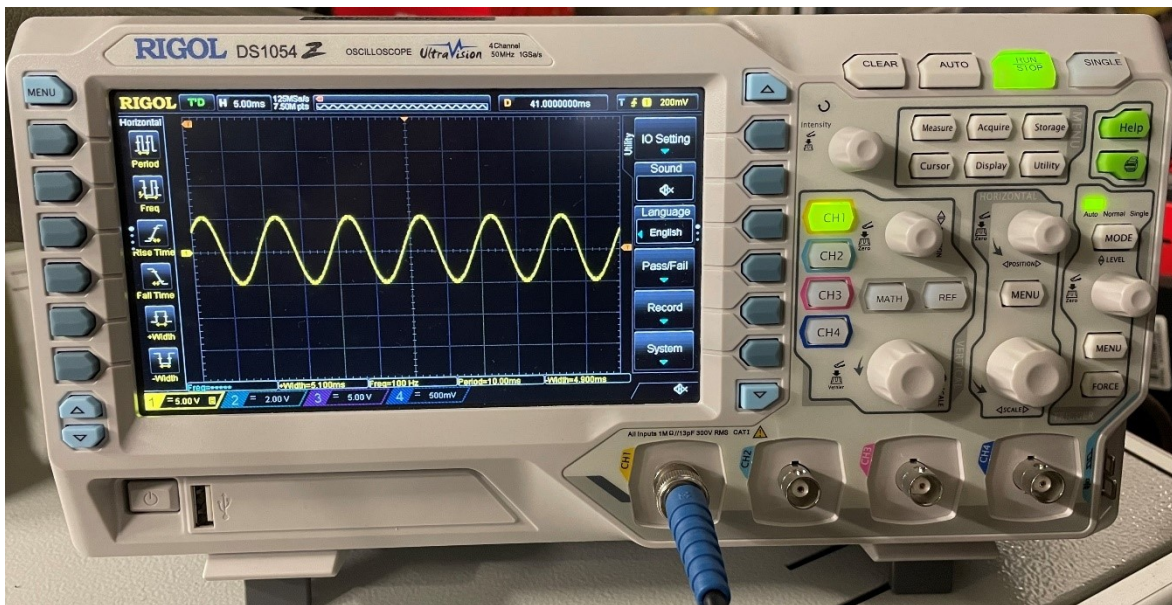


Figura 126-Oscilloscopio 100Hz-10 V Peak to Peak mostrata dall'oscilloscopio

La figura seguente mostra invece l'andamento che si ottiene in Labview, che deve essere necessariamente lo stesso visto nell'oscilloscopio. Osservando il grafico sottostante si può notare che l'ampiezza dell'onda è pari a 25 A, questo perché una ampiezza di 10 V Peak to Peak corrisponde a 5 V, che va moltiplicata per 5 per ottenere il segnale in Ampere.

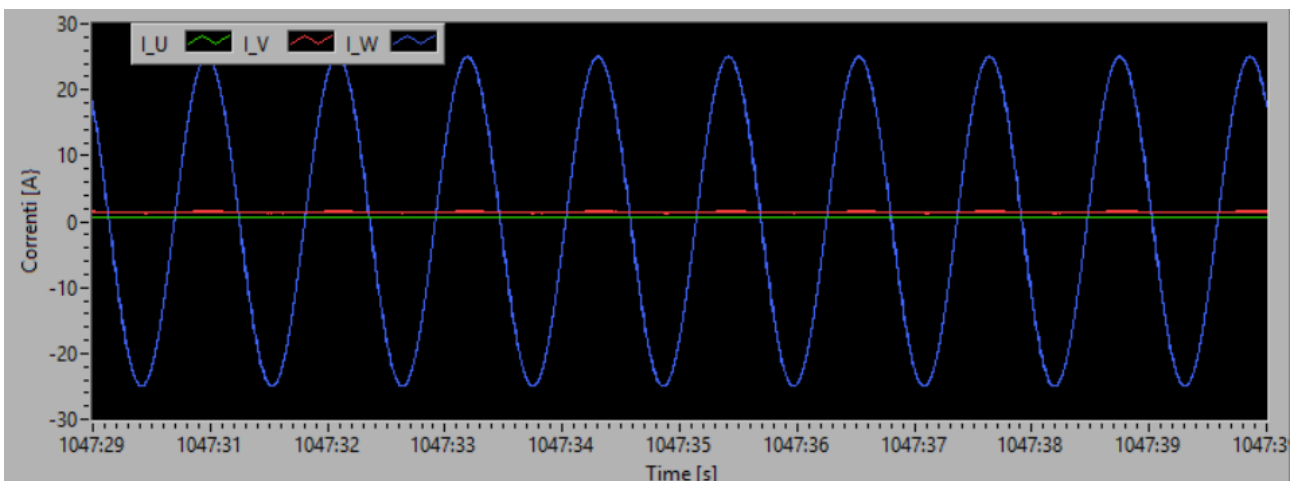


Figura 127-Labview onda 100Hz-10 V Peak to Peak

Nelle figure sottostanti si riportano rispettivamente le forme d'onda ottenute prima con l'oscilloscopio e poi con Labview alle frequenze di 300 Hz e 500 Hz.

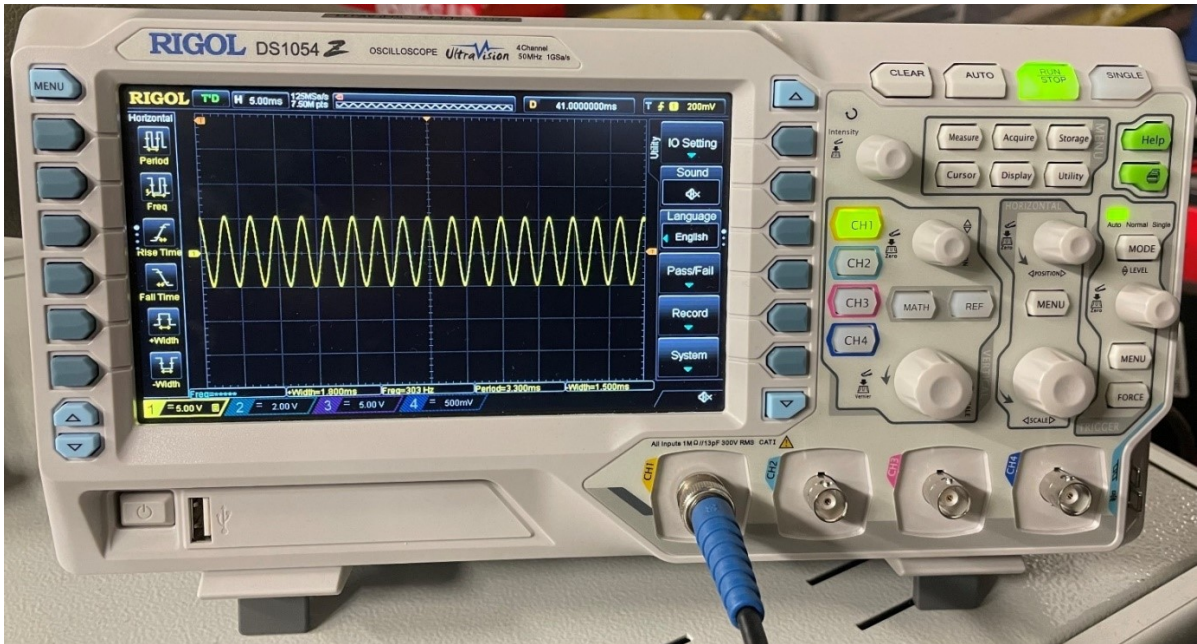


Figura 128-Oscilloscopio 300Hz-10 V Peak to Peak

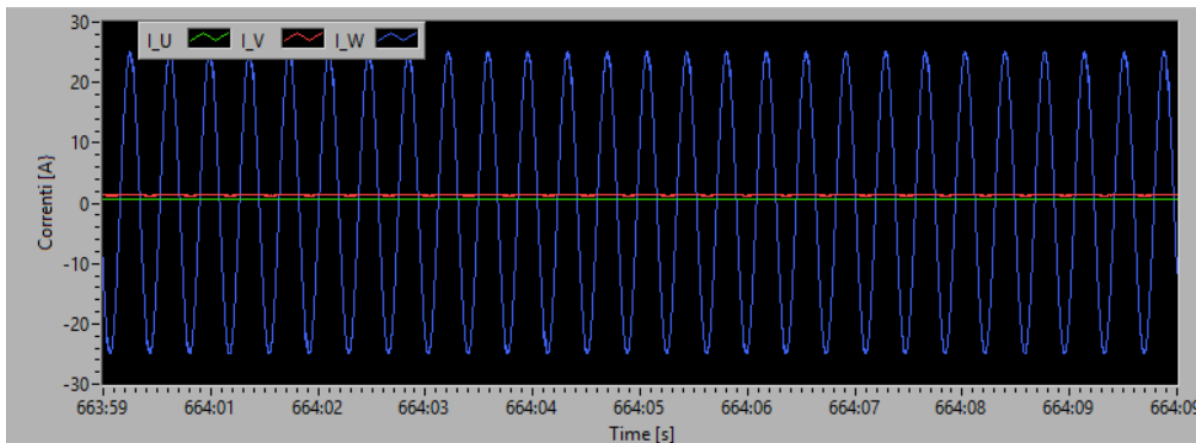


Figura 129- Labview 300Hz-10 V Peak to Peak

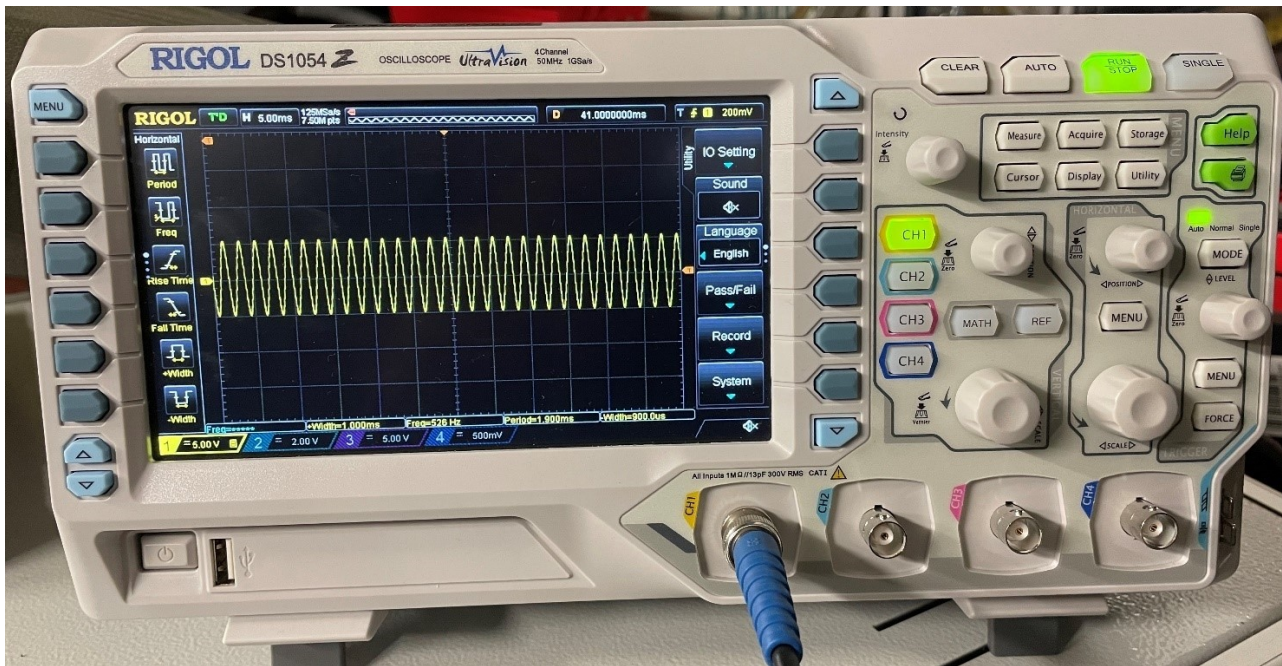


Figura 130-Oscilloscopio 500Hz-10 V Peak to Peak

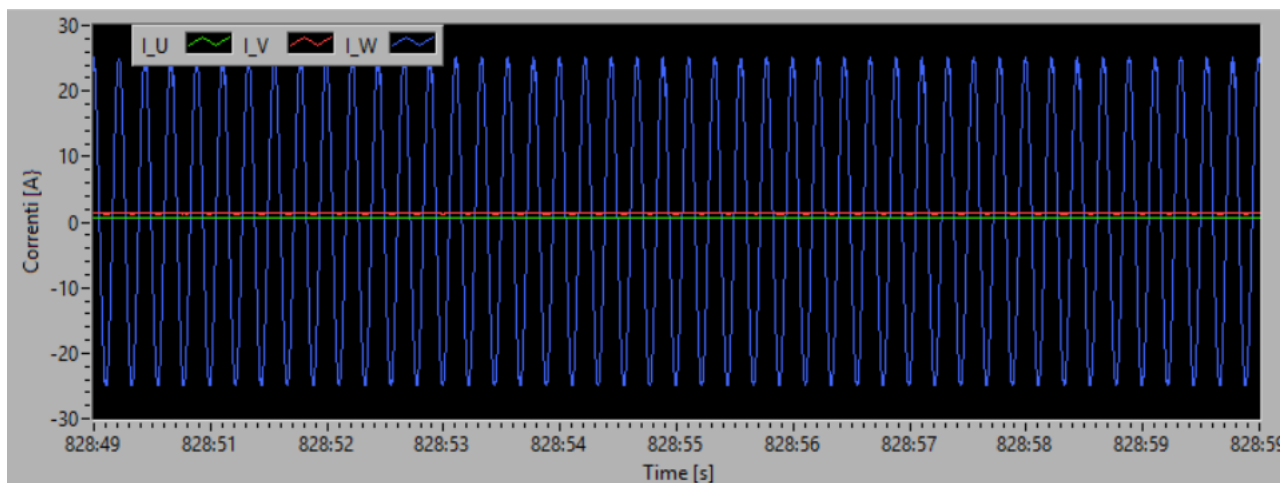


Figura 131-Labview 500Hz-10 V Peak to Peak

Variazione dell'ampiezza

Anche in questo caso è stata utilizzata come forma d'onda una sinusoidale, della quale è stata variata l'ampiezza Volt Peak to Peak, mantenendo costante la frequenza al valore di 100Hz. Le ampiezze prese in considerazione sono:

- 10 V Peak to Peak (corrispondenti a 25 A).
- 5 V Peak to Peak (corrispondenti a 12,5 A).
- 12 V Peak to Peak (corrispondenti a 30 A).

Di seguito si riportano i grafici per le tre diverse ampiezze viste sia dall'oscilloscopio sia da Labview:

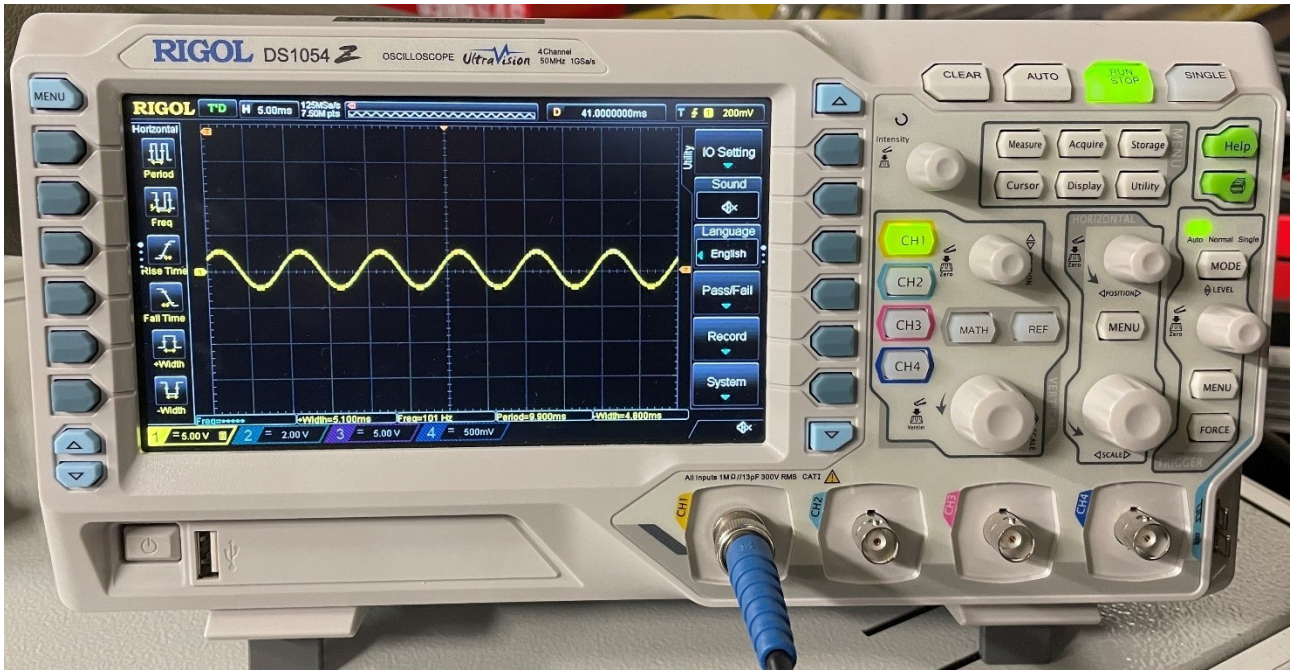


Figura 132-Osciloscopio 100Hz-5V Peak to Peak

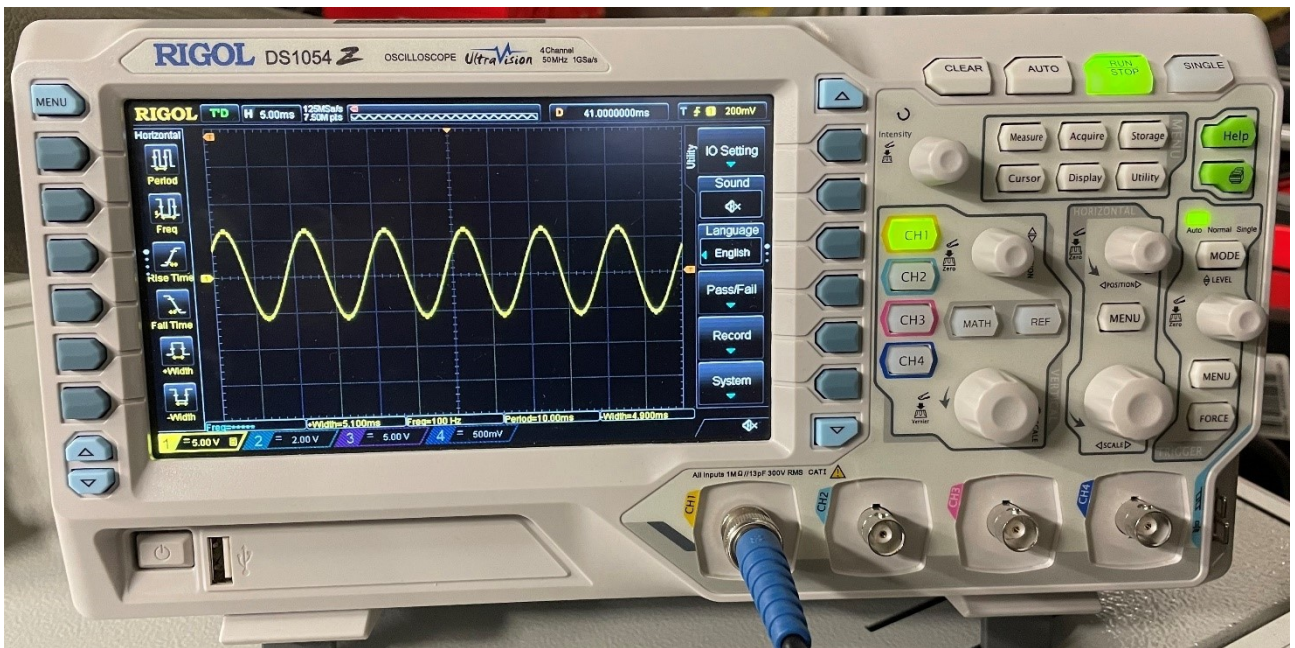


Figura 133-Osciloscopio 100Hz-12 V Peak to Peak

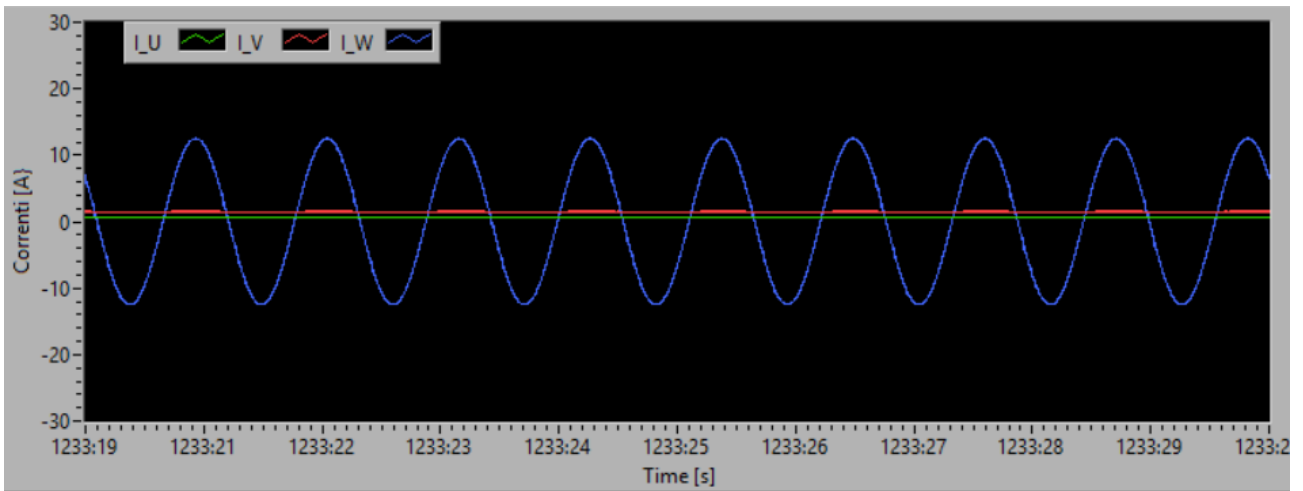


Figura 134-Labview 100Hz-5 V Peak to Peak

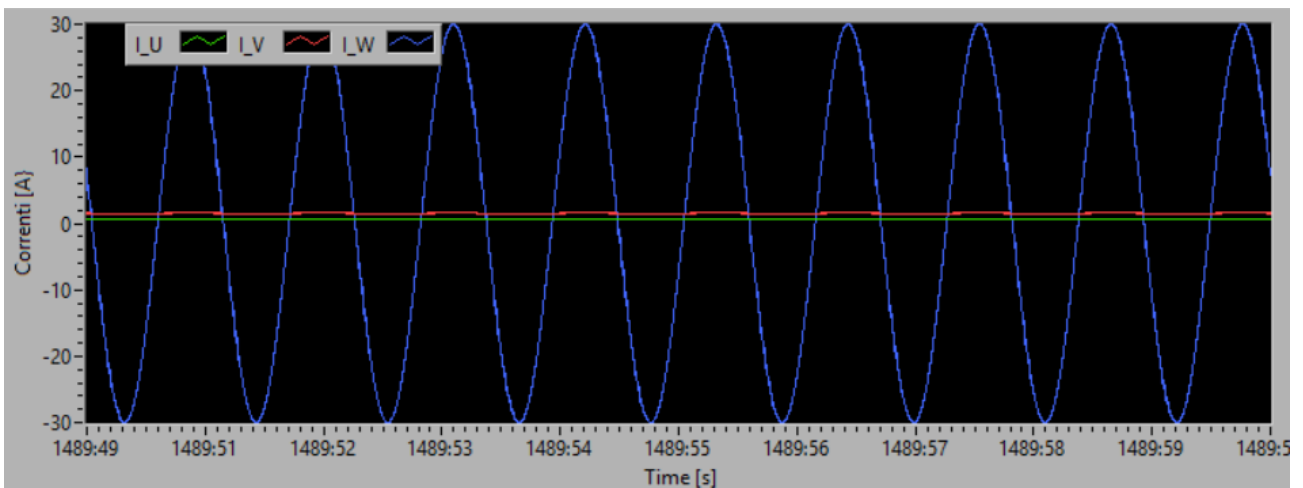


Figura 135-Labview 100Hz-12 V Peak to Peak

Variazione della forma dell'onda

In conclusione, è stata variata la forma d'onda mantenendo costante ampiezza e frequenza ai valori rispettivamente di 10 Volt Peak to Peak e 100Hz. Le onde prese in considerazione sono:

- Onda quadra.
- Dente di sega.

Nelle figure seguenti si riportano gli andamenti mostrati in *Labview*:

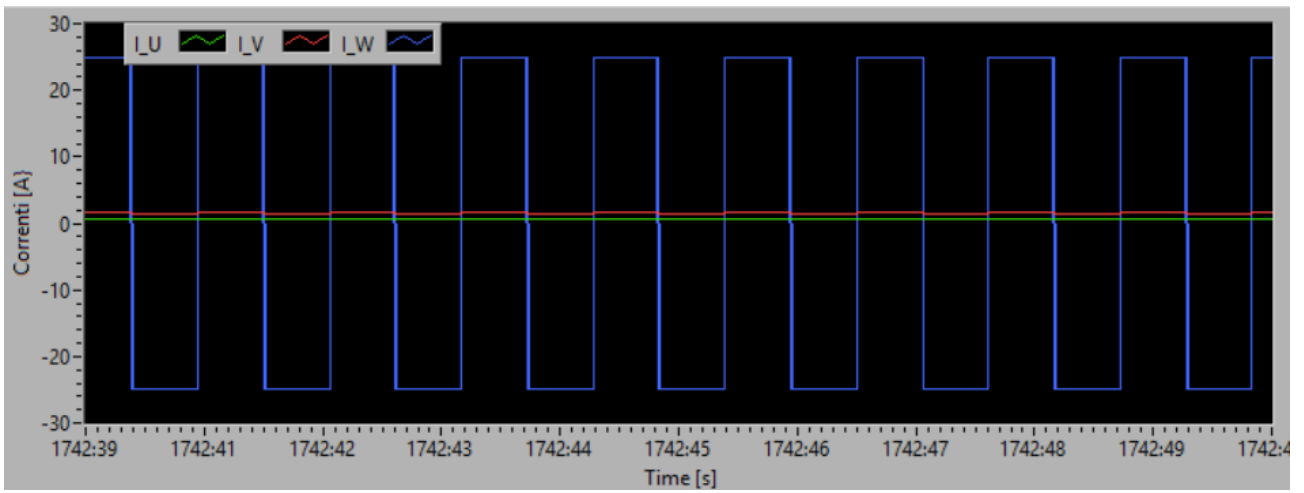


Figura 136-Onda quadra 100Hz-10V Peak to Peak

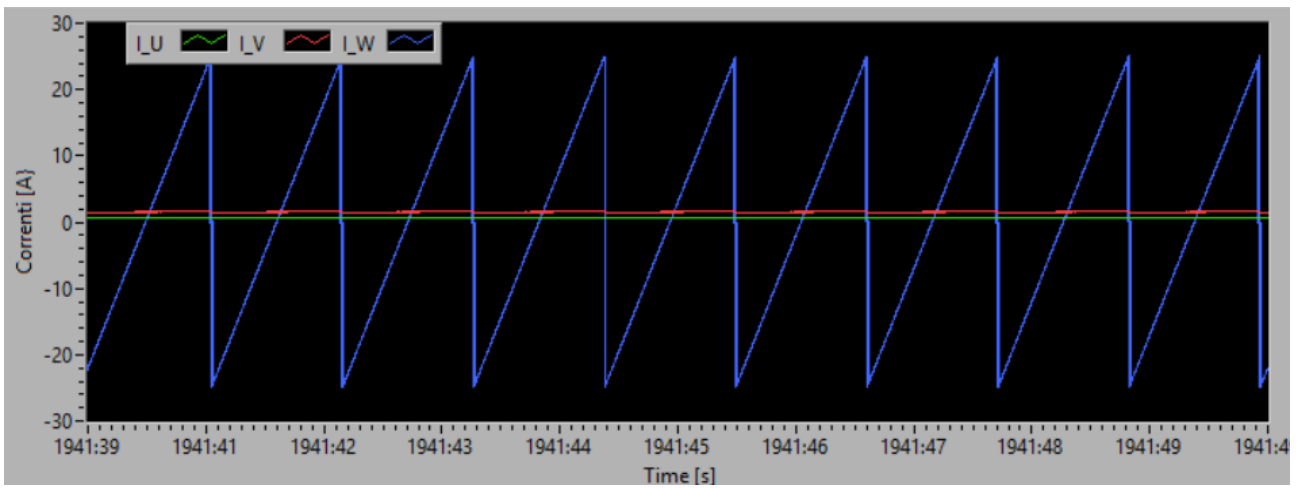


Figura 137-Dente di sega 100Hz-10 V Peak to Peak

6. Capitolo 6 – Sviluppi futuri

Allo stato attuale il banco presenta dei problemi legati alla incompatibilità elettromagnetica, causa di questi è il nuovo sistema di acquisizione tensione corrente (Rack T/C). Il dispositivo, essendo un prototipo, è affetto da disturbi elettromagnetici che dovranno essere risolti.

La configurazione del banco allo stato attuale è mostrata nelle figure seguenti:

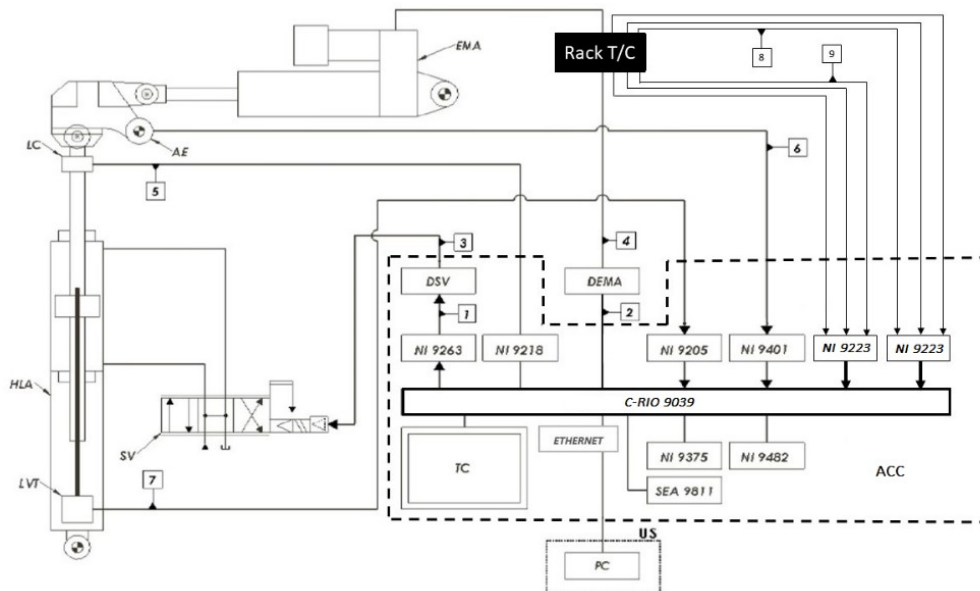


Figura 138-Schema a blocchi banco prova servocomandi volo

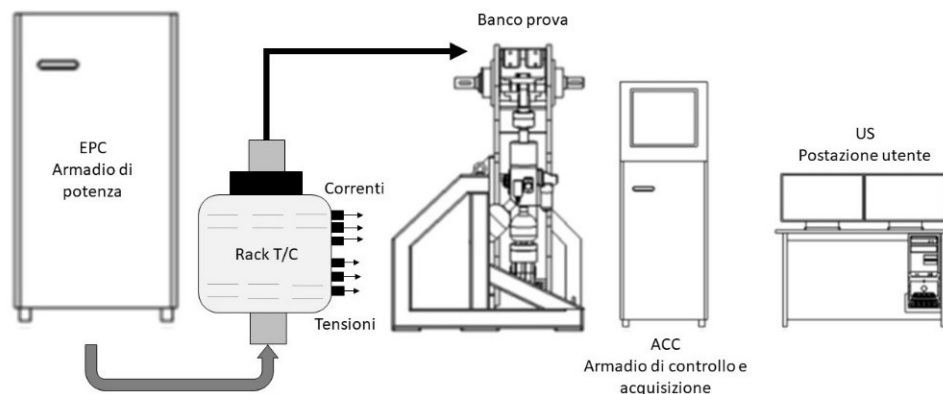


Figura 139-Layout banco prova servocomandi volo

Le anomalie sopra elencate, sono sorte solo dopo aver collegato il Rack T/C al banco. Le figure seguenti mostrano le entità dei disturbi che si presentano nelle varie configurazioni di accensione dei componenti. In particolare, si è notata la presenza di picchi di natura elettromagnetica quando il driver viene abilitato e alimenta gli avvolgimenti del motore utilizzando la modulazione PWM. Tali disturbi non sono mai stati riscontrati prima della modifica nonostante le medesime condizioni di utilizzo.

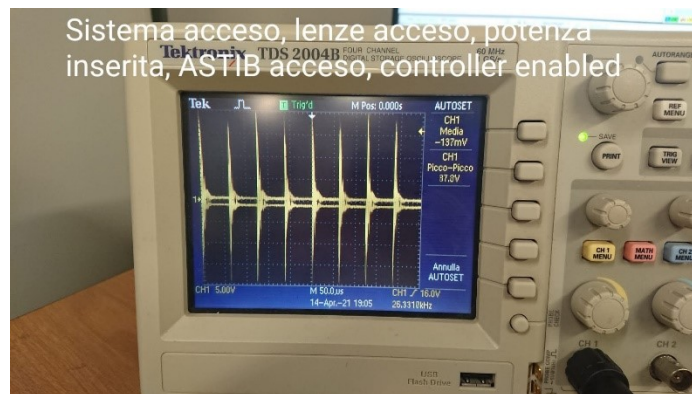


Figura 140-Banco T/C accesi, driver abilitato, oscilloscopio collegato

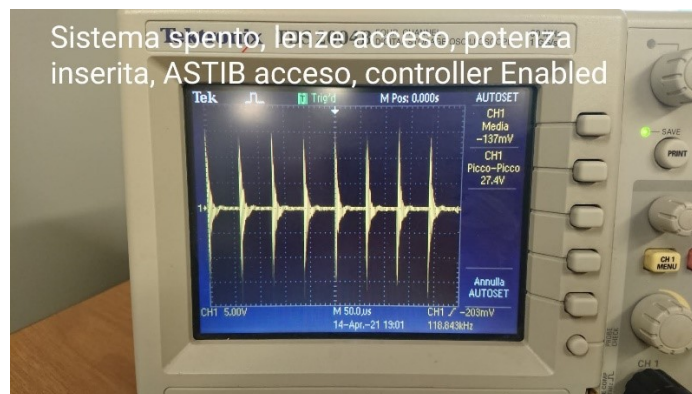


Figura 141-Banco acceso, Rack T/C spento, driver abilitato, oscilloscopio collegato



Figura 142-Banco acceso, Rack T/C spento, driver abilitato, oscilloscopio collegato

È stato richiesto l'intervento di un tecnico specializzato, che una volta presentatosi in sede ed osservato il sistema, ha suggerito di misurare la tensione delle tre fasi del motore rispetto al neutro del motore e non al neutro prelevato dalla rete elettrica (Figura 143).

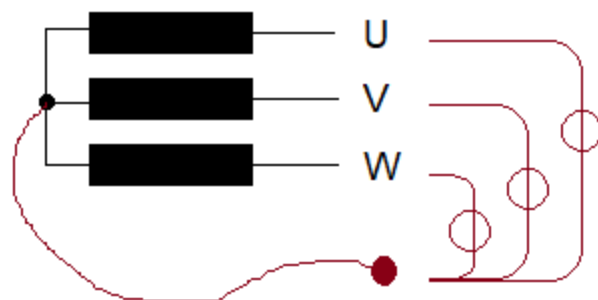


Figura 143-misura tensioni di fase rispetto al neutro del motore

Tuttavia, il motore non permette tale soluzione in quanto il collegamento interno non è disponibile. Quindi una possibile ipotesi da valutare sarebbe quella di misurare tutti i segnali rispetto al ground.

Al momento non è possibile risolvere i problemi legati ai disturbi elettromagnetici, dovuti alla presenza del dispositivo di acquisizione tensione-corrente; quindi, è necessario cercare di bypassare il Rack, di modo che tutti i segnali non passino all'interno di esso.

Per fare ciò sono stati proposti due metodi:

1. Cambiare una delle due prese a pannello ed esterna (cerchiate in rosso in figura), di modo che le due prese esterne possano collegarsi tra di loro.

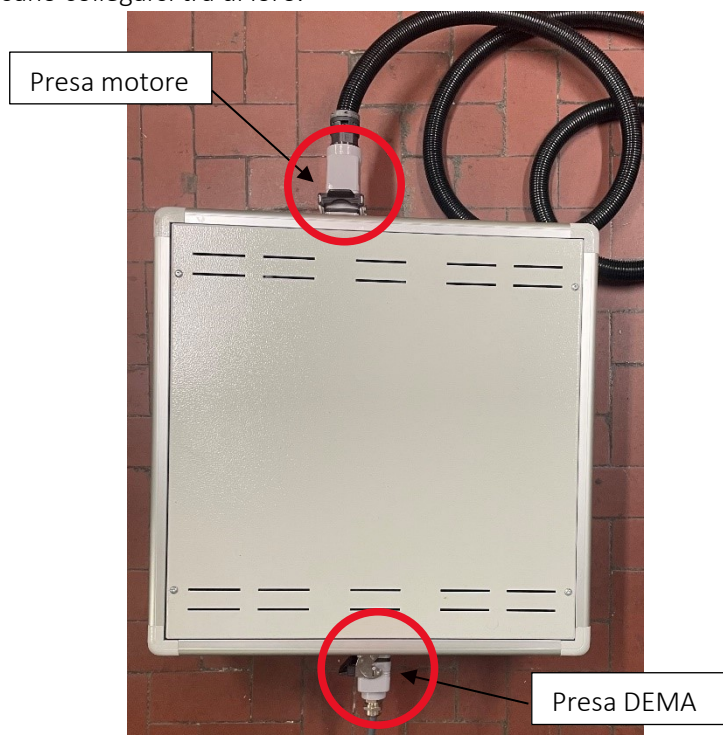


Figura 144-Rack contenente i sensori di tensione e di corrente

2. Considerare l'idea di potere prendere un adattatore in cui sono presenti le stesse prese maschio-femmina, di modo da poter collegare il driver DEMA direttamente al motore elettrico senza l'interposizione del Rack T/C.

Mediante uno di questi due metodi è possibile bypassare il Rack T/C e quindi è garantita l'acquisizione dei segnali fisici senza alcun disturbo. Per acquisire i segnali di tensione e corrente in entrata al motore elettrico è necessario ricollegare il Rack T/C e risolvere il problema che causa i disturbi nelle acquisizioni.

7. Capitolo 7 - Conclusioni

In questa sezione conclusiva viene riassunto in breve quanto detto nei capitoli precedenti, rievocando i concetti riguardanti l'utilizzo e lo sviluppo degli attuatori elettromeccanici in campo aeronautico e successivamente sarà descritto il lavoro eseguito durante il percorso di tesi.

I sistemi a potenza idraulica sono le soluzioni tradizionalmente più utilizzate per gli impianti a bordo velivolo; tuttavia, si riscontra attualmente una forte spinta verso l'ottimizzazione energetica dei sottosistemi. Da tale esigenza prende spunto il progetto descritto nell'introduzione noto come *All Electric Aircraft*, secondo il quale tutti i sistemi di bordo possono essere progettati come utenze di un impianto elettrico. In tale contesto, notevoli sforzi sono stati impiegati dalla comunità scientifica per lo sviluppo di attuatori elettromeccanici (EMA) con l'obiettivo di sostituire i tradizionali attuatori servoidraulici nella movimentazione dei comandi di volo, sia primari che secondari, lo scopo è infatti quello di ottenere sistemi di controllo cosiddetti Power-By-Wire (PBW), alternativi ai tradizionali Fly-By-Wire (FBW), basati sull'uso di attuatori idraulici. Il passaggio da una tecnologia all'altra non è immediato, infatti, è necessario porre l'attenzione sull'affidabilità del sistema elettrico, sulla sicurezza del sistema in volo, sulla rigidità dello stesso, sulla capacità termica e sulla dissipazione del calore e sull'ottenimento delle stesse prestazioni che si raggiungono con un sistema idraulico.

Gli obiettivi che si vuol tentare di raggiungere con l'adozione di attuatori elettromeccanici sono:

- Riduzione del peso: rimuovendo i sistemi idraulici e sostituendoli con quelli elettrici si guadagna molto in termini di riduzione di peso ed ingombri.
- Riduzione dei costi: è legata alla diminuzione del peso globale e di conseguenza alla riduzione dei consumi di carburante.
- Utilizzo di una unica fonte di energia: l'utilizzo della sola energia elettrica comporta una semplificazione di realizzazione e di installazione dell'intero impianto e di conseguenza una riduzione dei costi di manutenzione; non occorre infatti personale specializzato per le diverse tipologie di sistemi e non è necessaria una manutenzione periodica come per gli impianti idraulici. L'eliminazione di quest'ultimo comporta che non è più necessario alimentare gli attuatori idraulici con i flussi di leakage, con conseguente dissipazione di energia "a vuoto". Nel sistema elettrico, invece, viene erogata potenza solo quando c'è un'effettiva necessità di movimentare le superfici di controllo.
- Ecocompatibilità: l'introduzione dell'impianto elettrico oltre ai pregi definiti precedentemente ha anche lo scopo di salvaguardare l'ambiente. Negli impianti tradizionali idraulici, invece, il fluido esausto va smaltito in maniera corretta e ciò richiede ulteriori complicazioni impiantistiche e di manutenzione.

In questa ottica, il banco ASTIB è stato realizzato con l'obiettivo di testare l'efficienza e l'affidabilità dell'attuatore elettromeccanico, valutandone sia lo stato di salute dopo un percorso di vita operativa, sia le sue prestazioni, di modo che in un futuro più prossimo esso possa essere utilizzato per i comandi di volo primari. In questa specifica tesi sono stati acquisiti i segnali di tensione e di corrente (attraverso il dispositivo Rack) dal motore elettrico che movimentava il banco. Dall'elaborazione di questi dati è possibile effettuare un vero e proprio check up dell'attuatore, valutando la necessità di intervento e/o sostituzione con un certo margine di anticipo rispetto all'occorrenza dei primi segni di decadimento delle prestazioni o, peggio, al presentarsi di malfunzionamenti. È così possibile intervenire in tempo con un piano di manutenzione.

Il tempo impiegato per la realizzazione della tesi è stato di nove mesi, almeno tre di questi sono stati utilizzati per studiare un nuovo linguaggio di programmazione, necessario per sviluppare un codice in ambiente *Labview*. Sono stati infatti frequentati i seguenti corsi online, offerti dalla *National Instruments*:

- *Labview Core 1.*
- *Labview Core 2.*
- *Labview Core 3.*
- *Labview Real Time 1.*
- *Labview Real Time 2.*
- *Labview FPGA.*

Una volta imparato ad utilizzare il programma è stato investito del tempo nel prendere confidenza con dispositivi hardware (c-RIO 9074) e con i moduli di acquisizione, gentilmente offerti dal Politecnico di Torino. In questo periodo di pratica sono stati realizzati numerosi codici, simili a quelli implementati nel banco ASTIB, con l'obiettivo di diventare un buon programmatore in ambiente *Labview*. Una volta terminata questa fase preliminare di approccio al problema è stato possibile recarsi al laboratorio del DIMEAS, presente nella sede centrale del Politecnico di Torino, per effettuare il vero e proprio lavoro sul banco prova. È stato quindi implementato il codice in grado di acquisire i segnali di tensione e corrente dal motore elettrico.

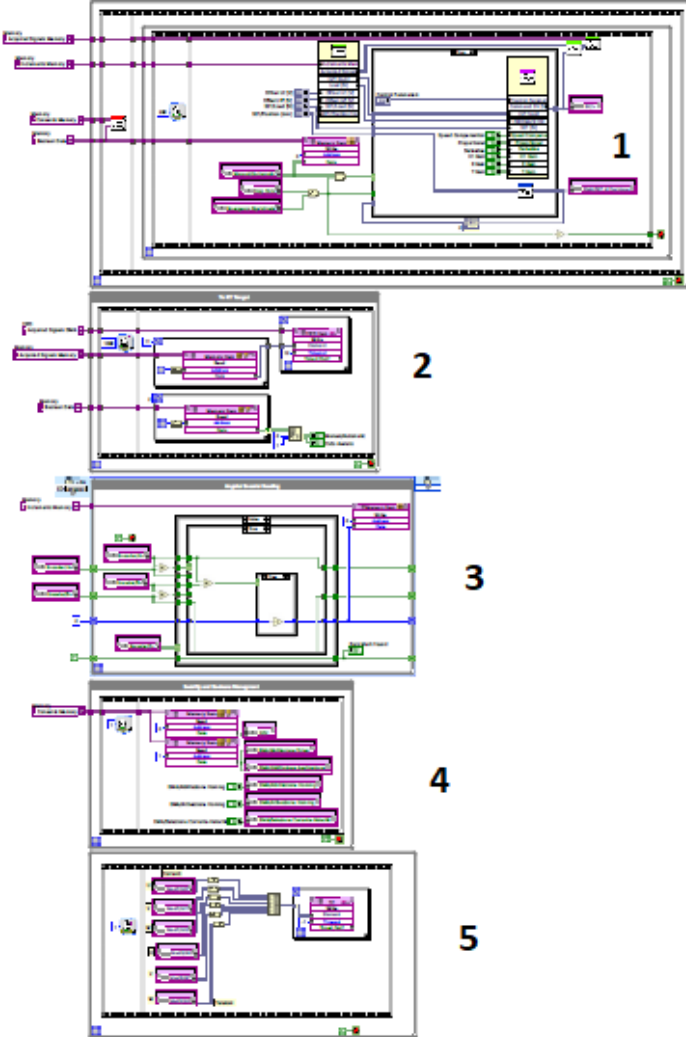
Meno pratico, ma di grande interesse è stato quello di svolgere tutto il lavoro di documentazione riguardante i componenti, il funzionamento e gli obiettivi del banco prova.

La costruzione dell'intero codice che gestisce il banco ASTIB è stata descritta nel capitolo quattro, di modo tale che chi proseguirà il lavoro di implementazione si ritroverà con una documentazione dettagliata di ogni passaggio.

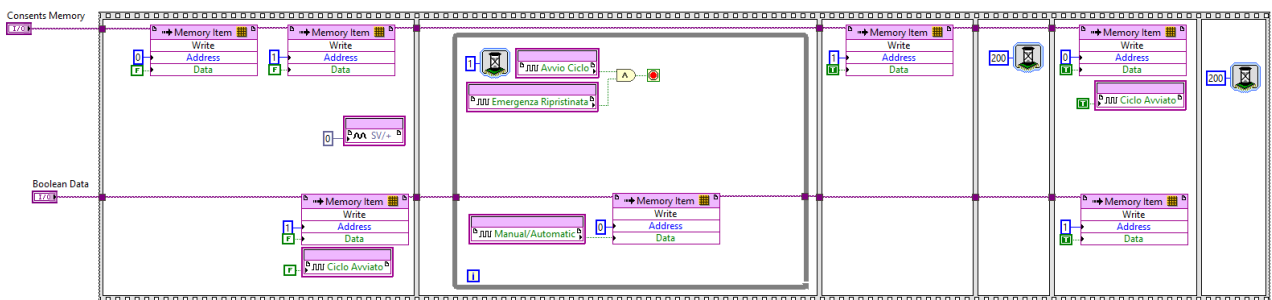
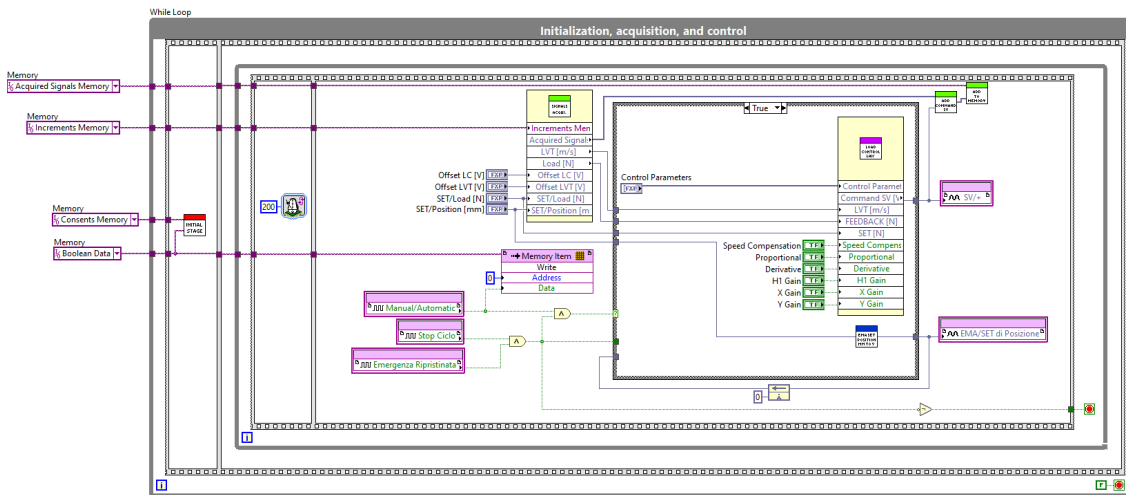
APPENDICE

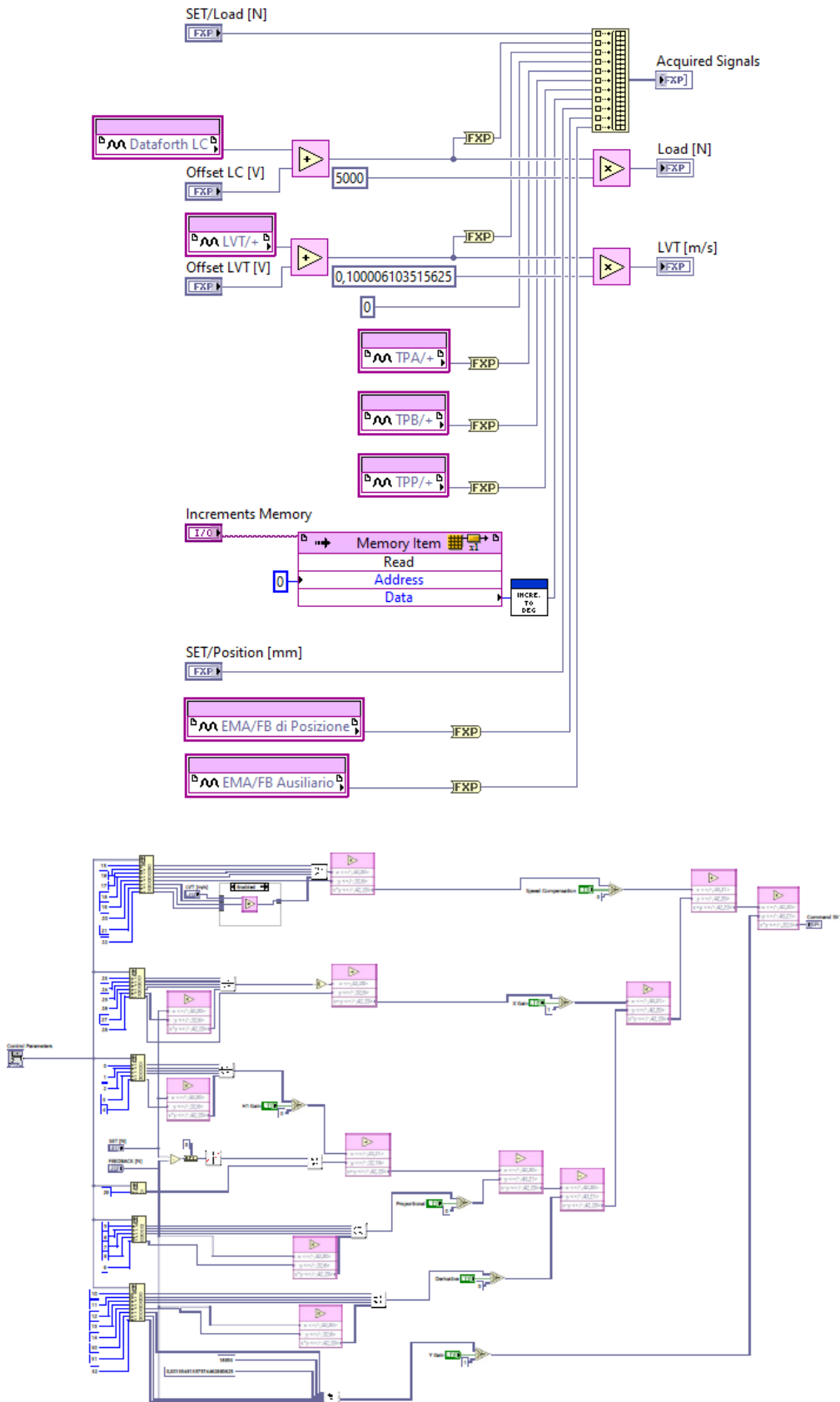
Appendice A: Codice LABVIEW

Codice FPGA VI

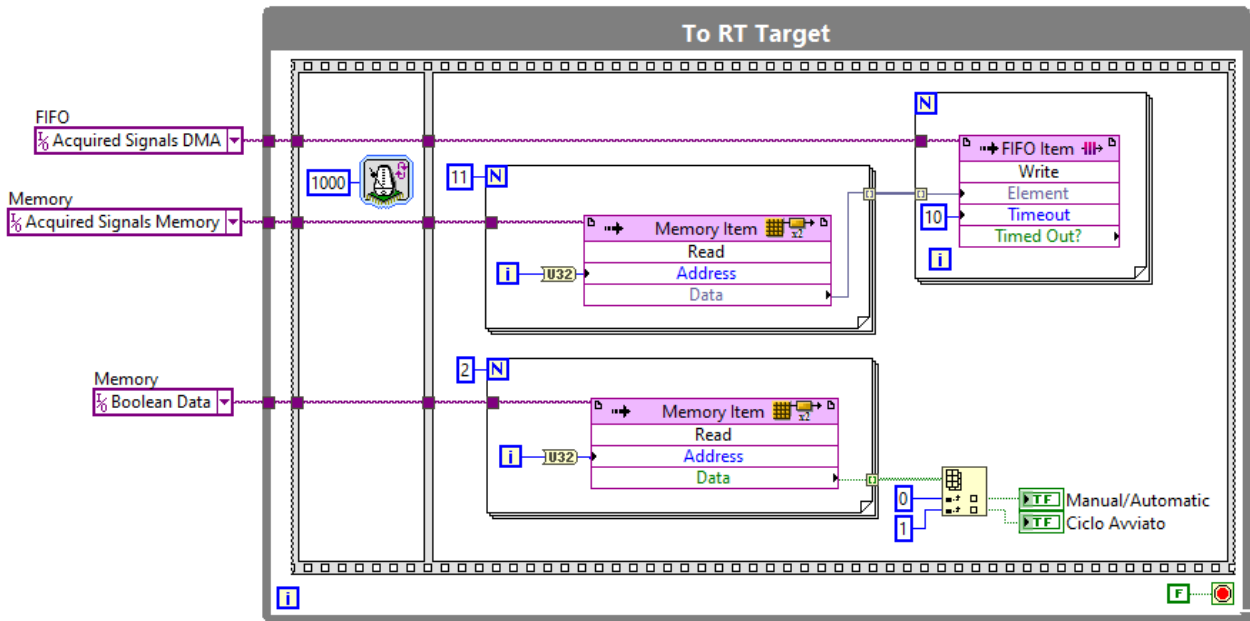


1) Inizialization, acquisition and control loop

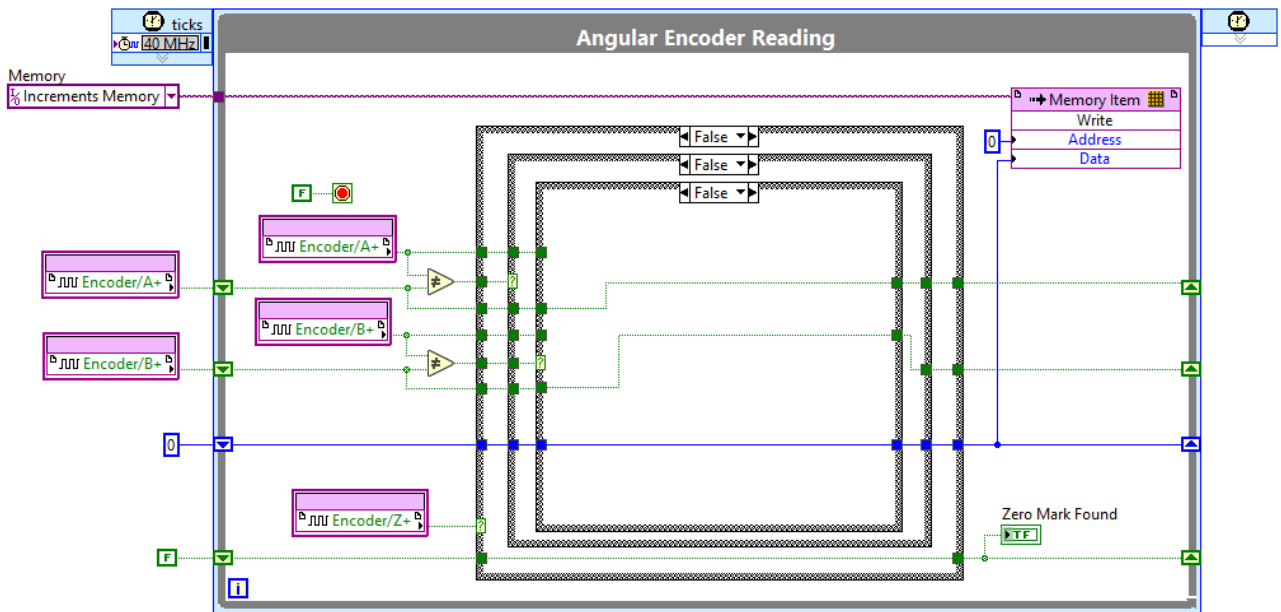




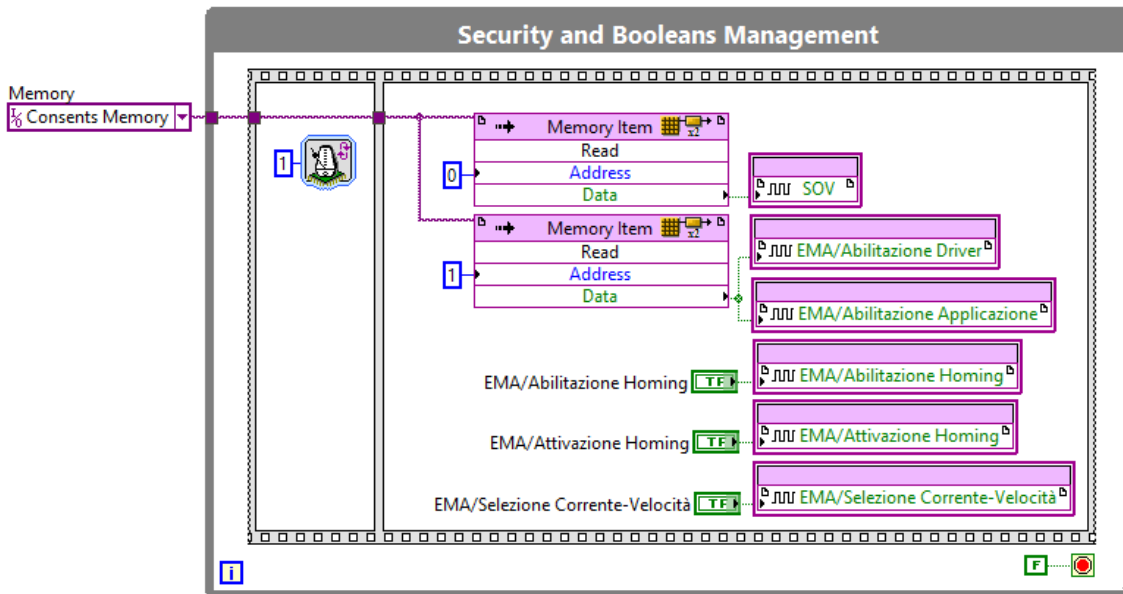
2) To RT Target



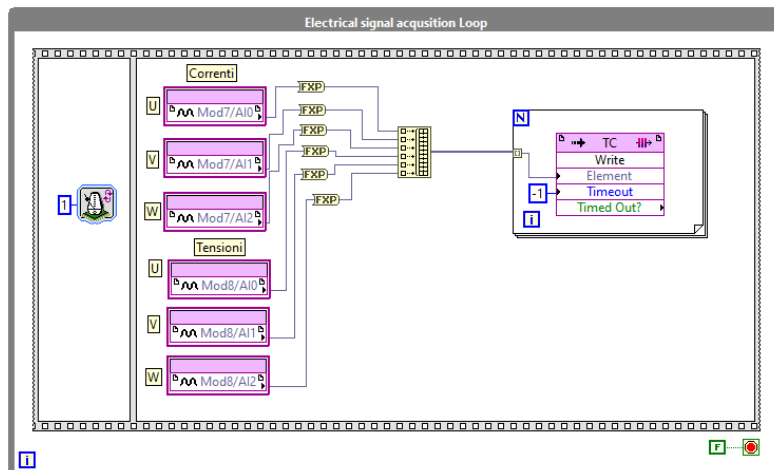
3) Angular encoder and reading loop



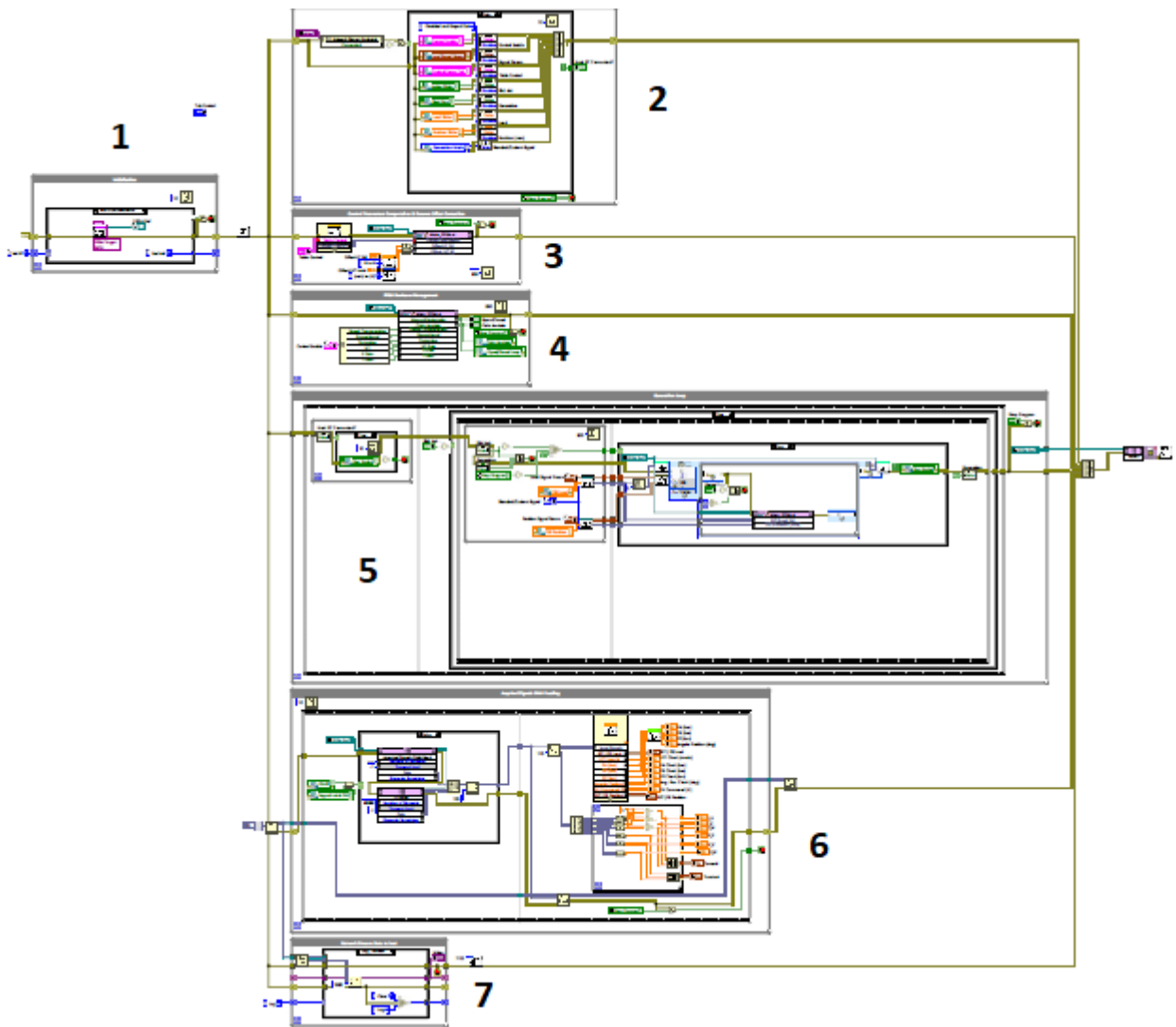
4) Security and Booleans Management



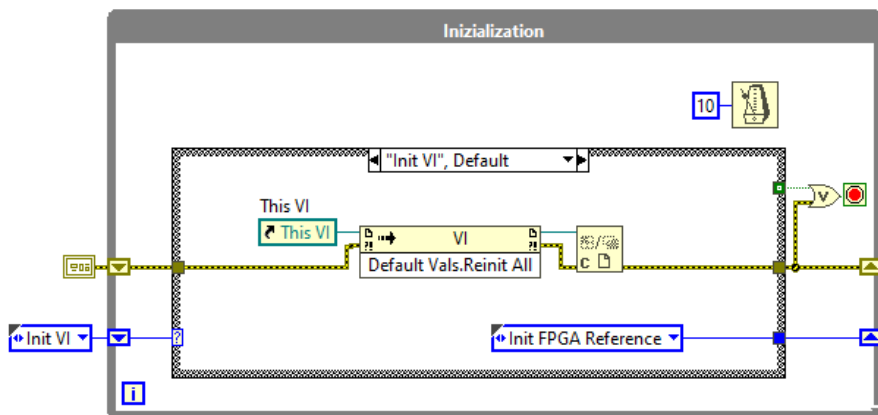
5) Electrical signal acquisition loop

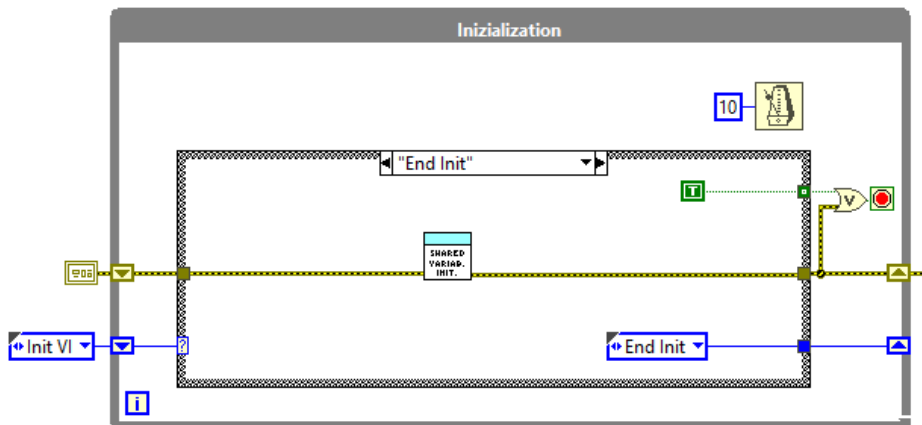
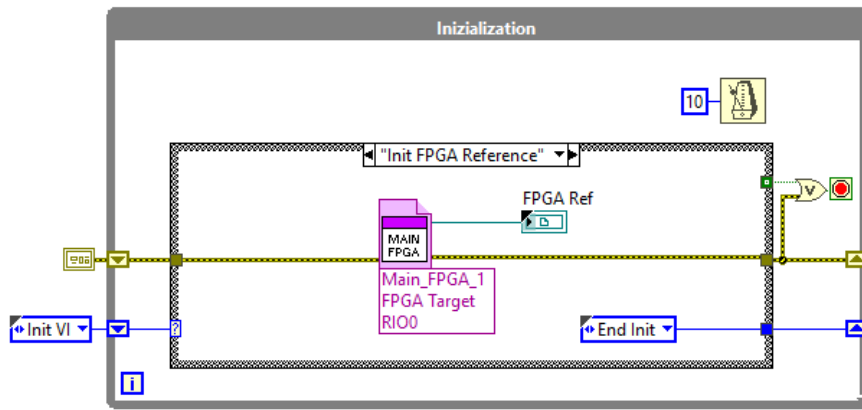


Codice RT MAIN VI

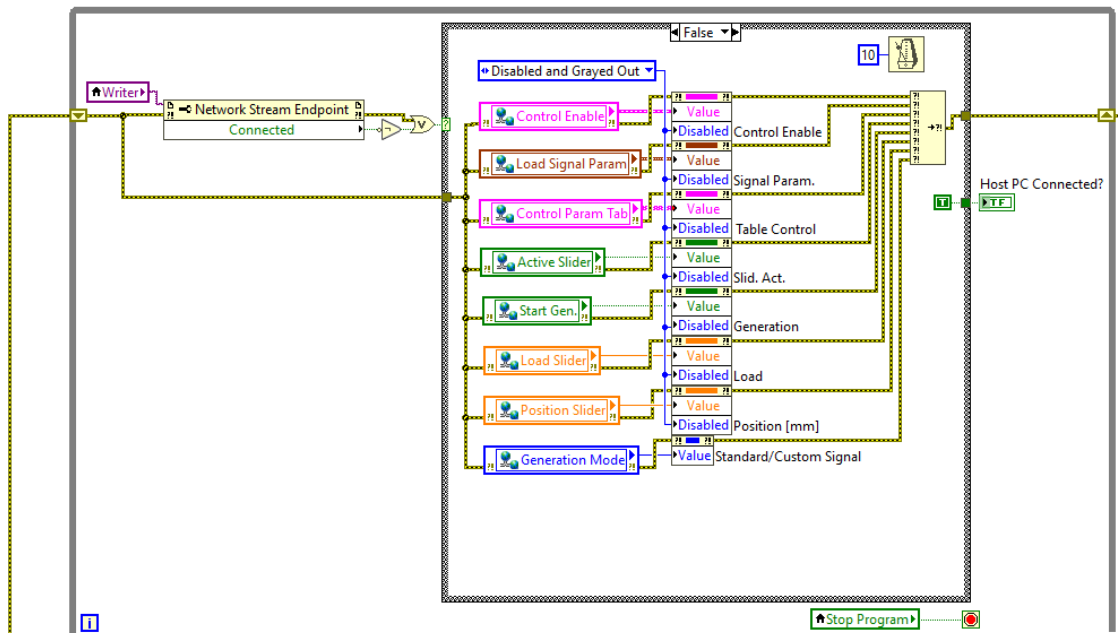


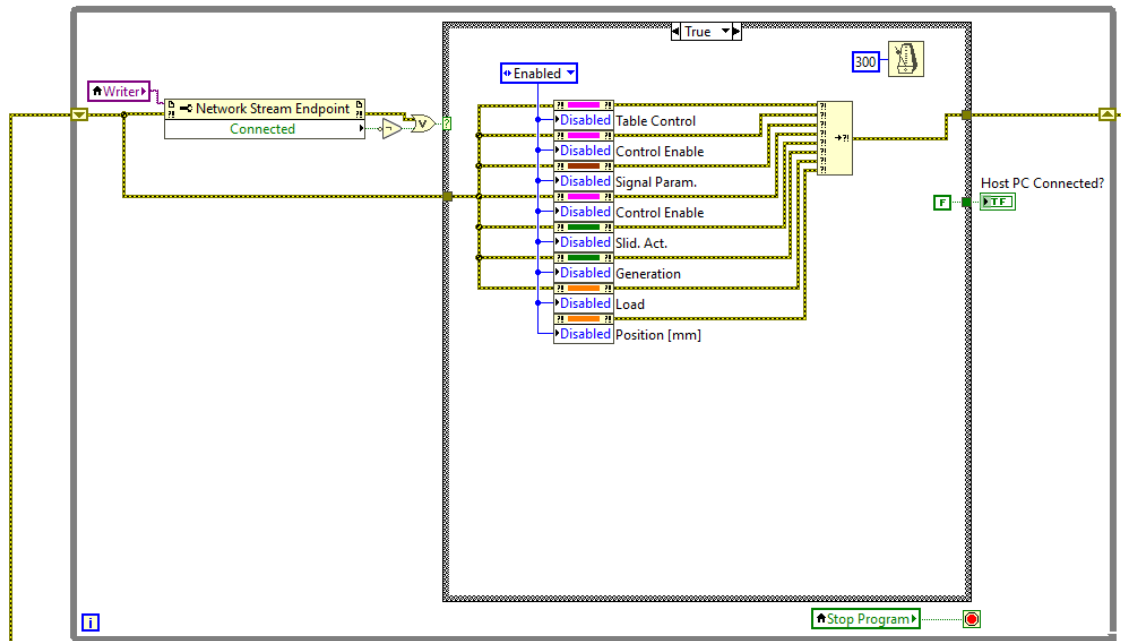
1) Initialization loop



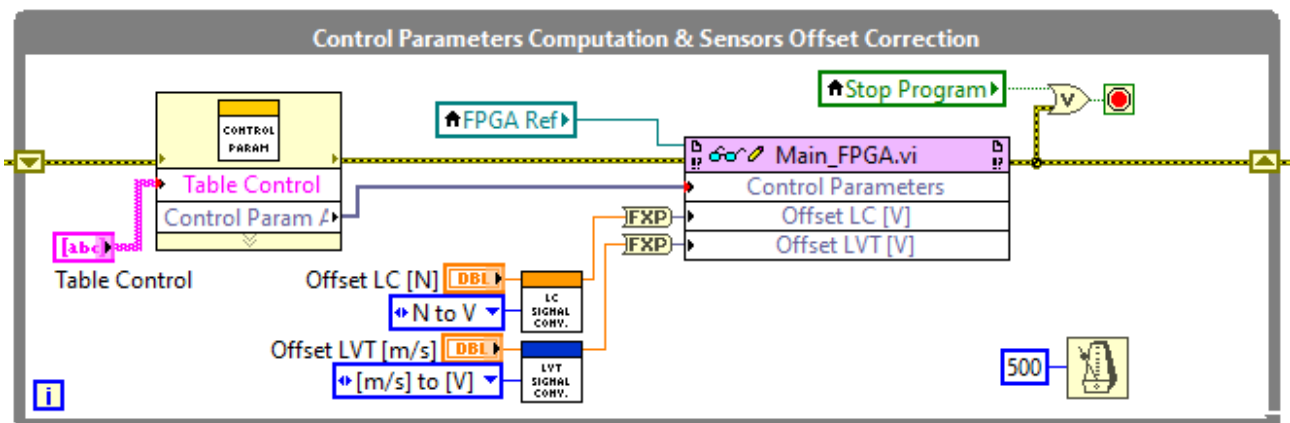


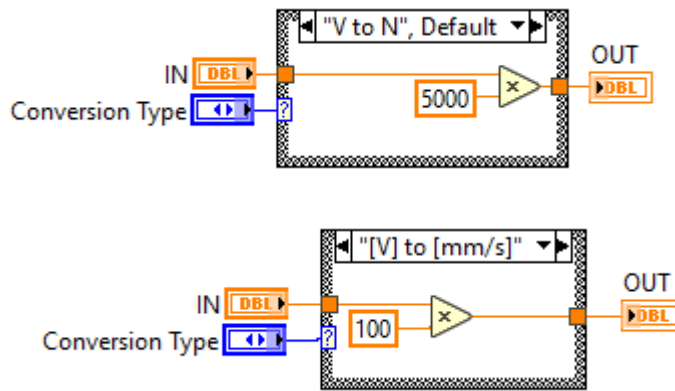
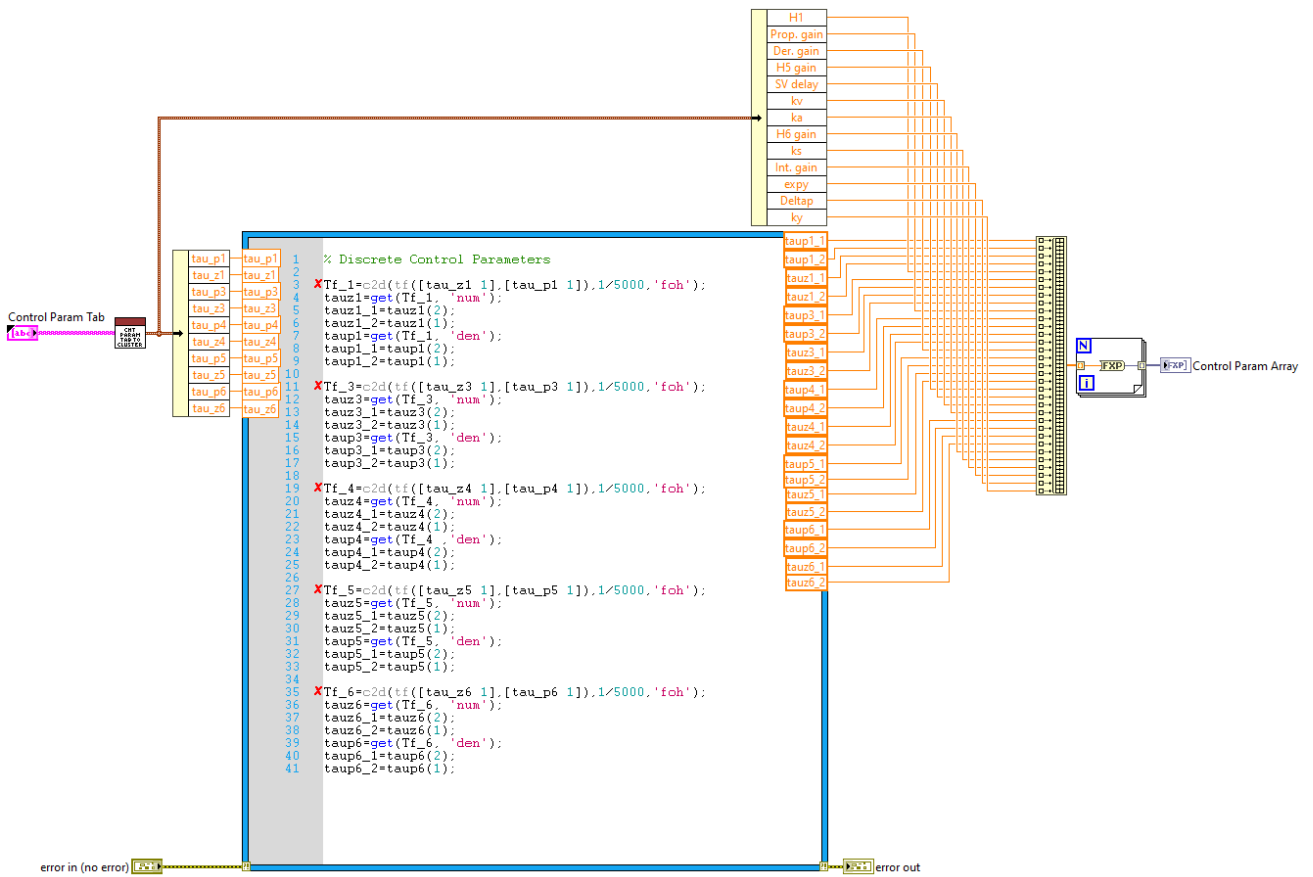
2) Enable/disable parameters loop



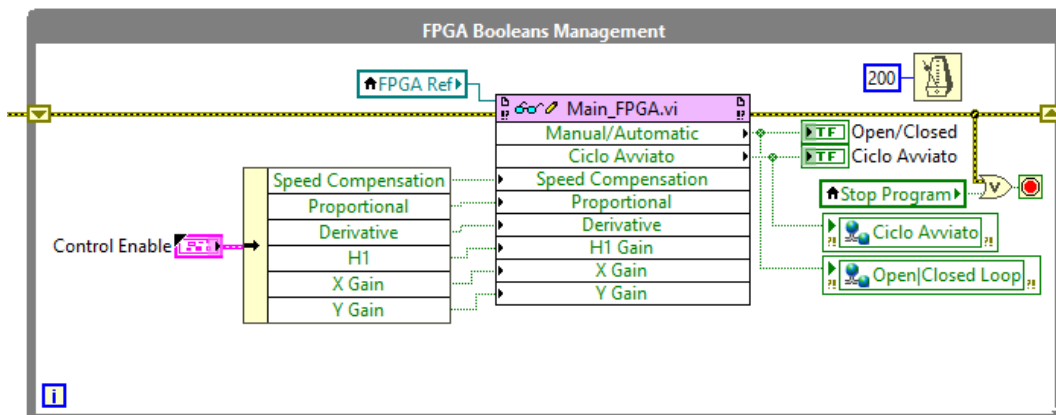


3) Control Parameters Computation & Sensors Offset Correction loop

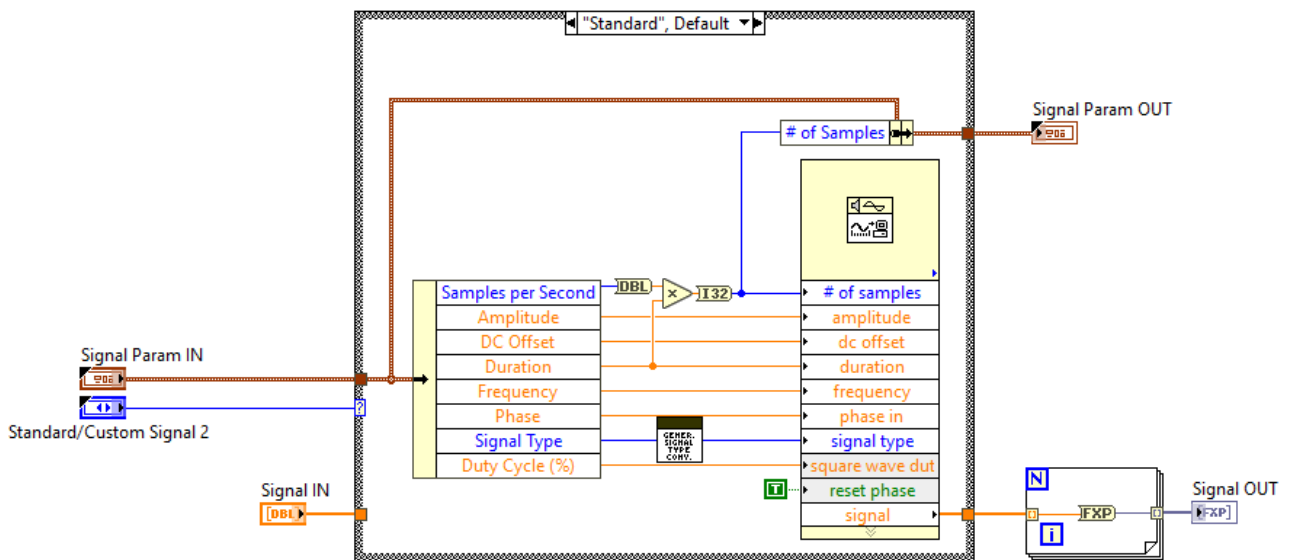
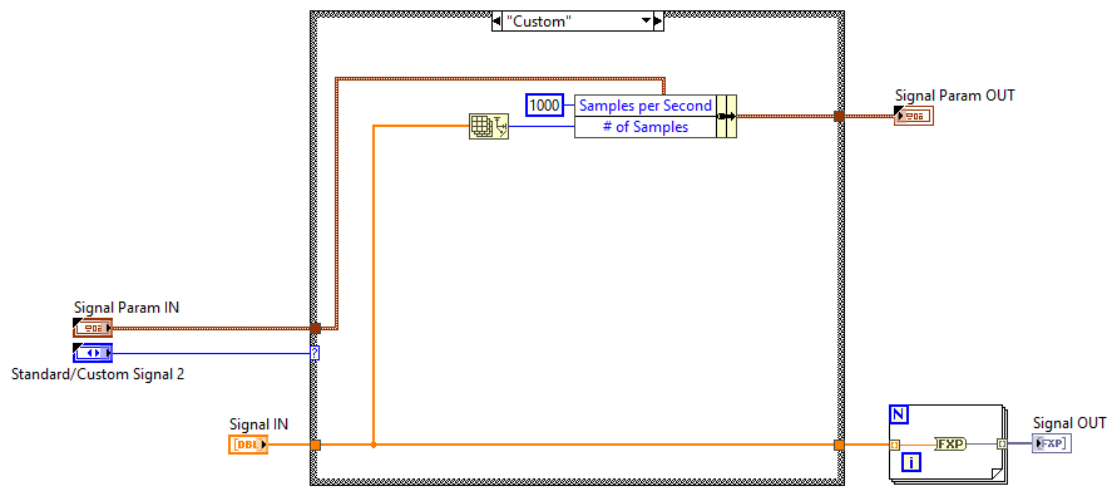
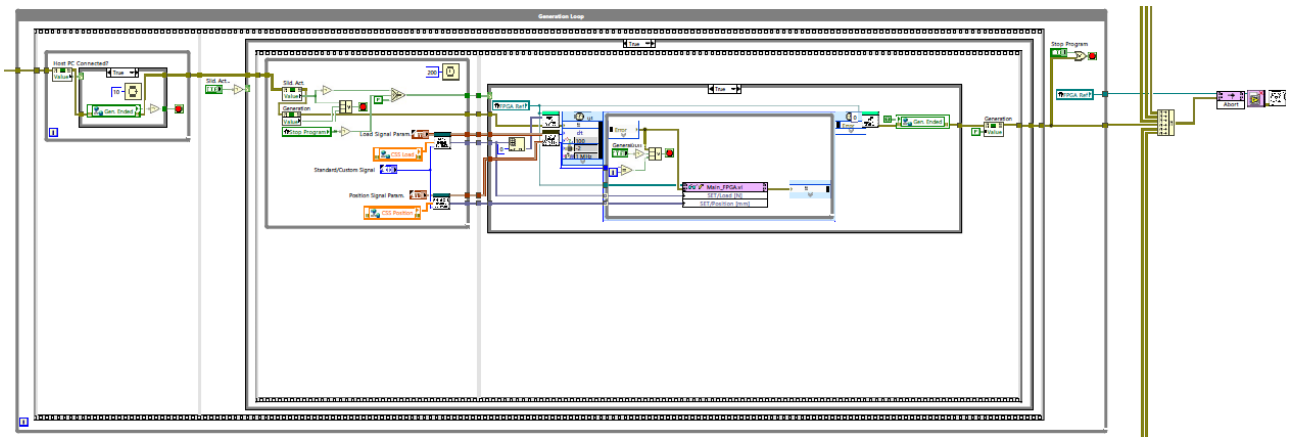


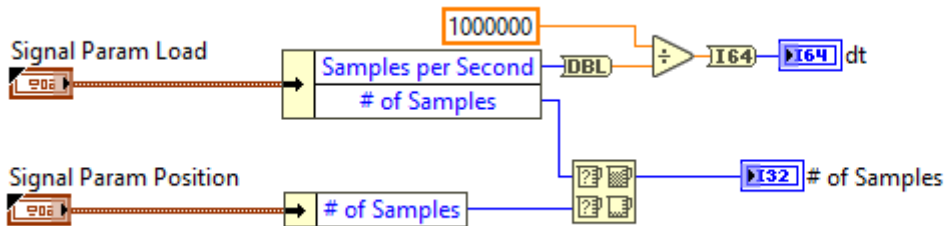
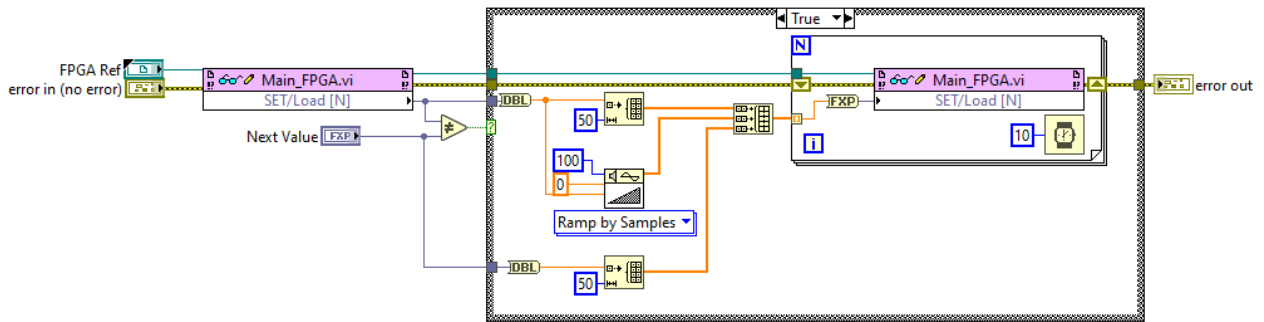


4) FPGA Booleans Management loop

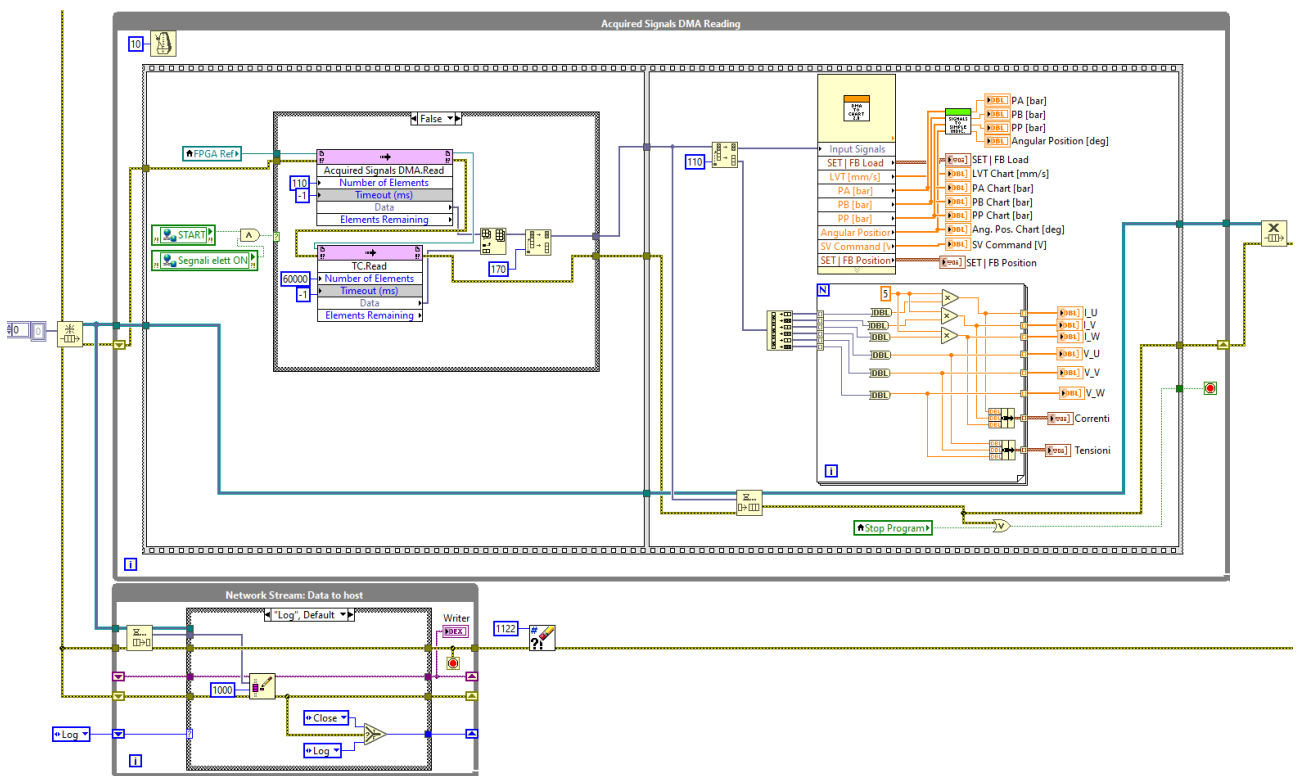


5) Generation loop

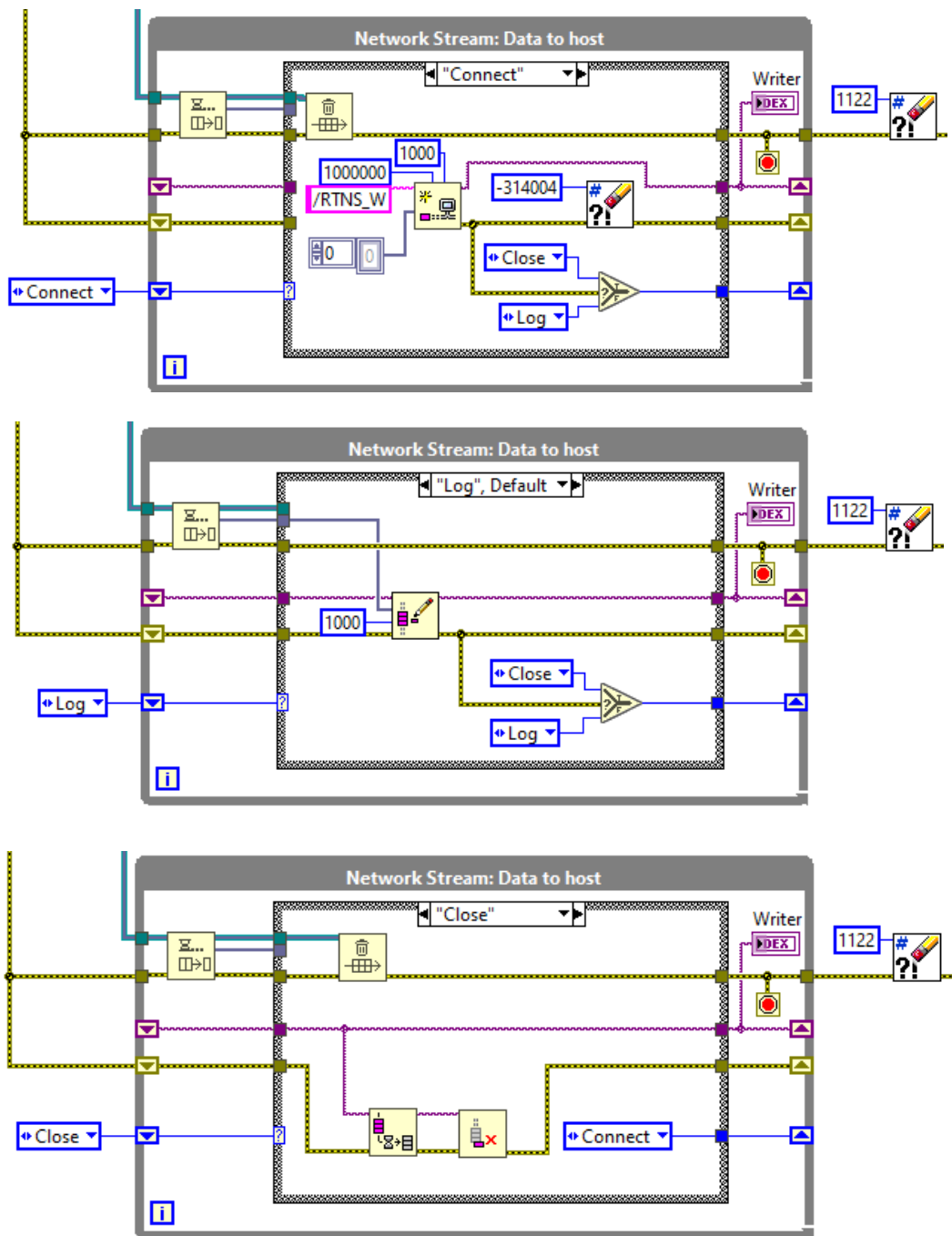




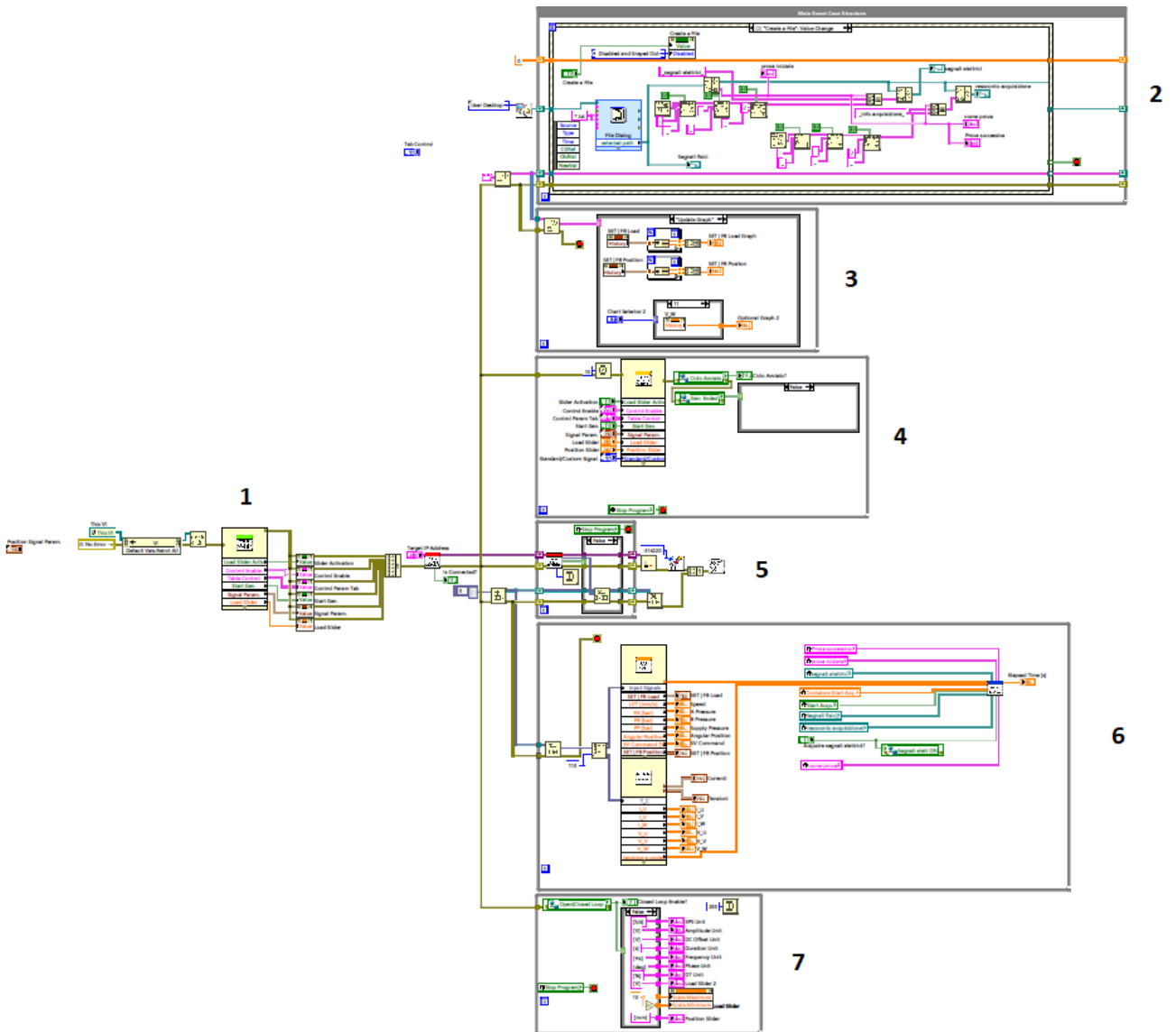
6) Acquired Signals DMA Reading & Network Streams: Data to Host



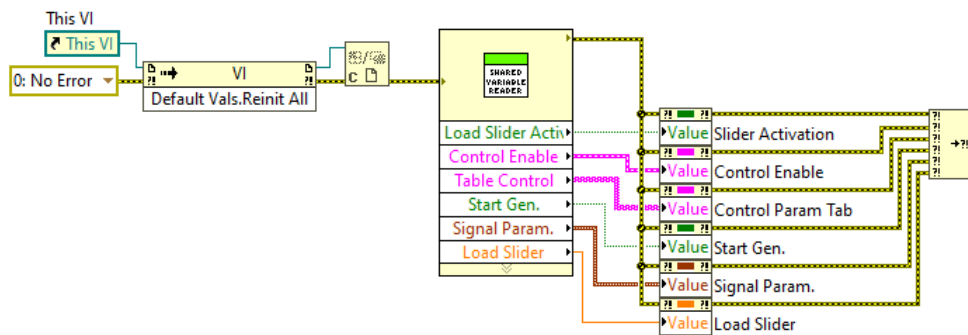
7) Network Streams: Data to Host



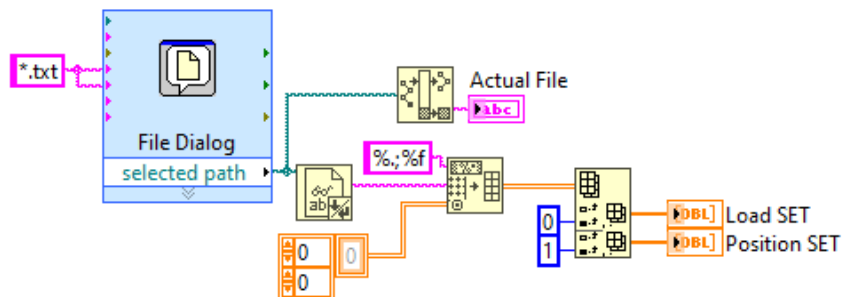
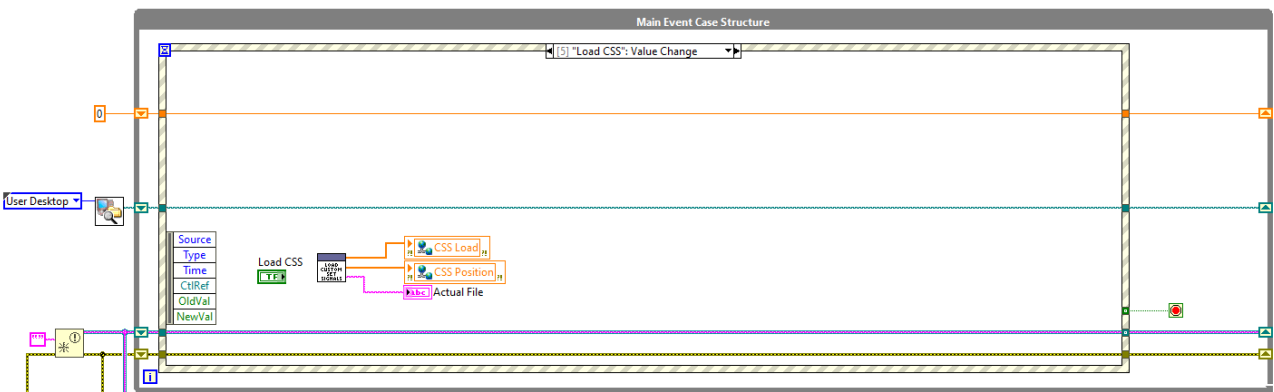
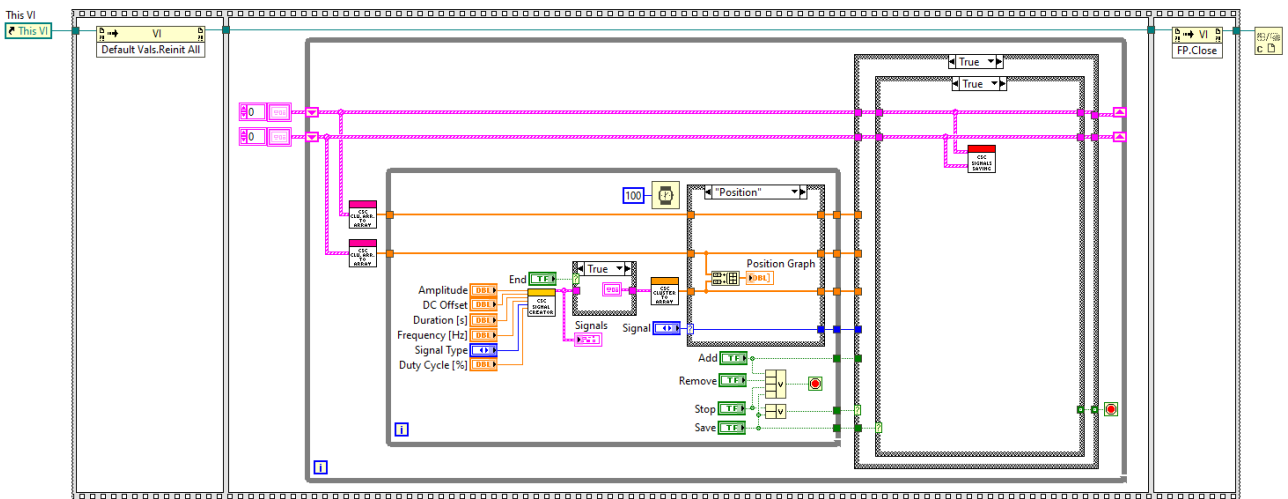
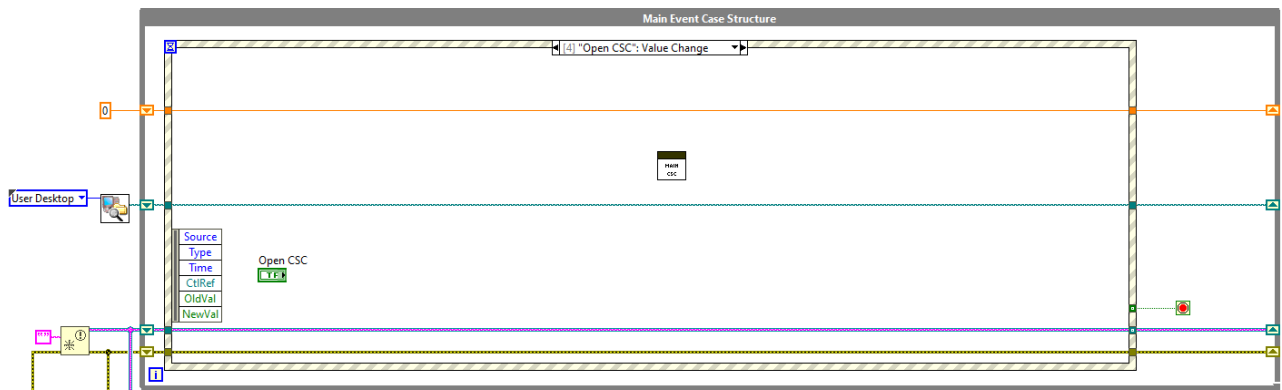
Codice HOST MAIN VI

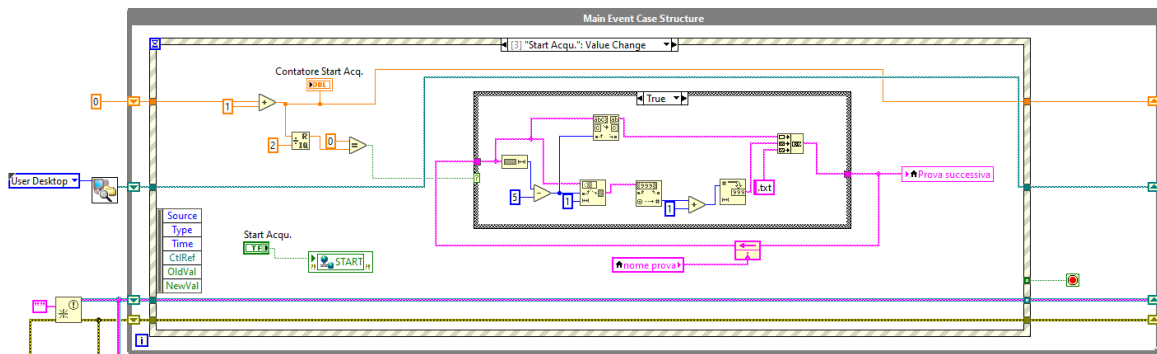
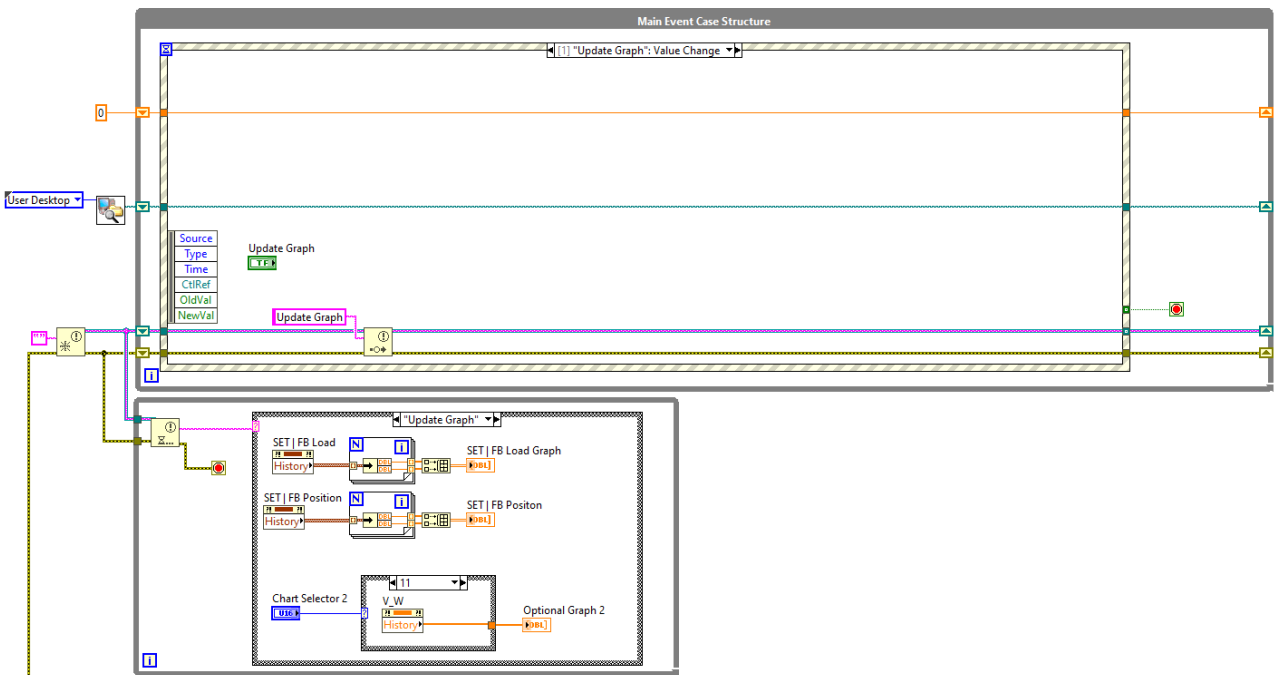
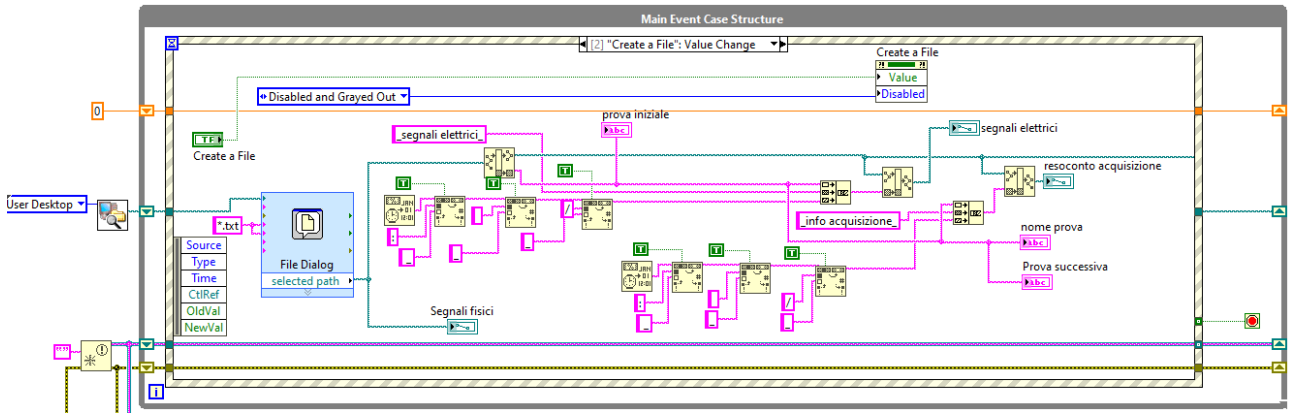


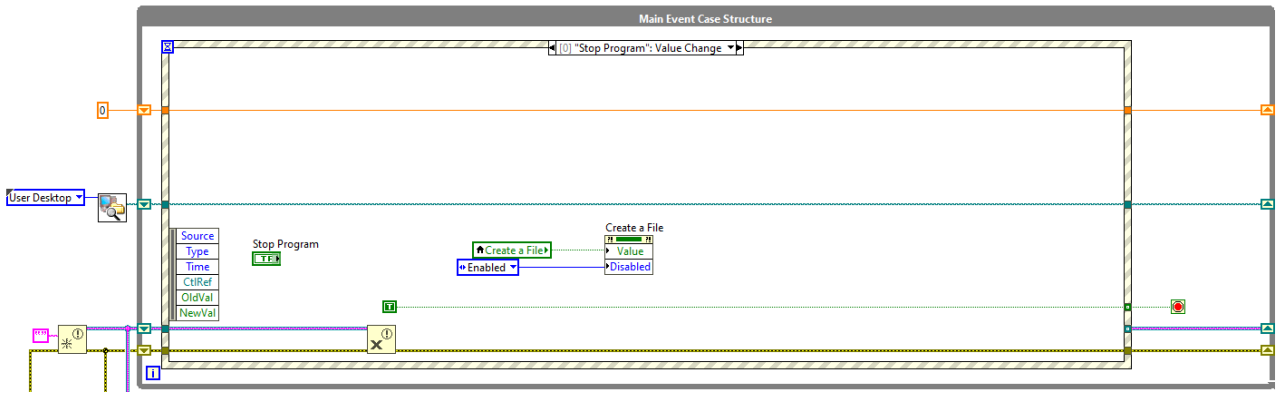
1) Initialization



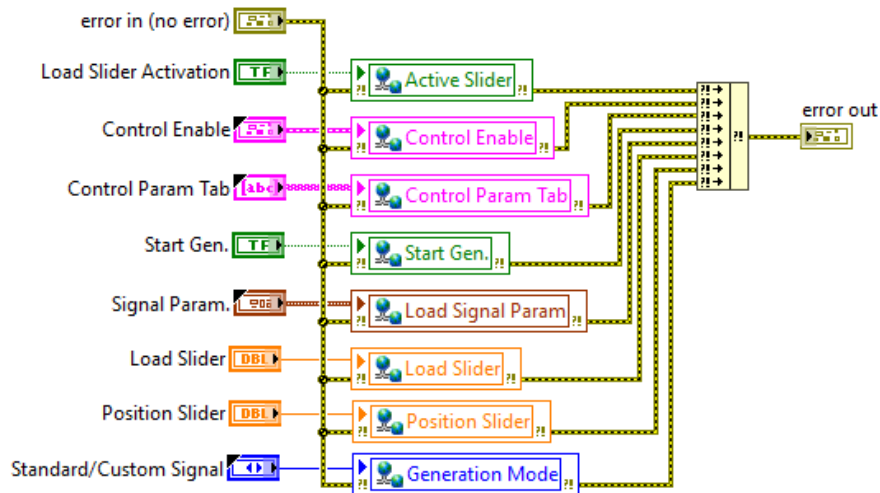
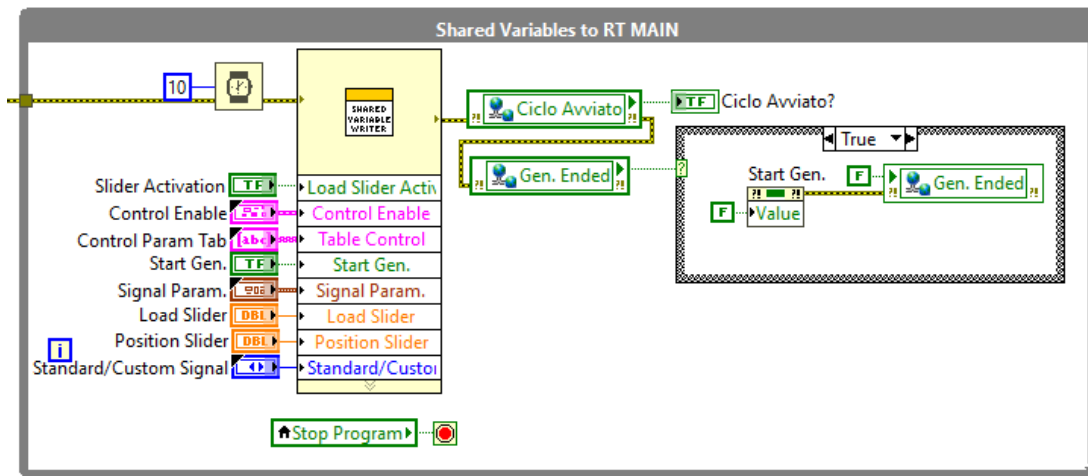
2) Main Event Case Structure loop & Update Graphs loop



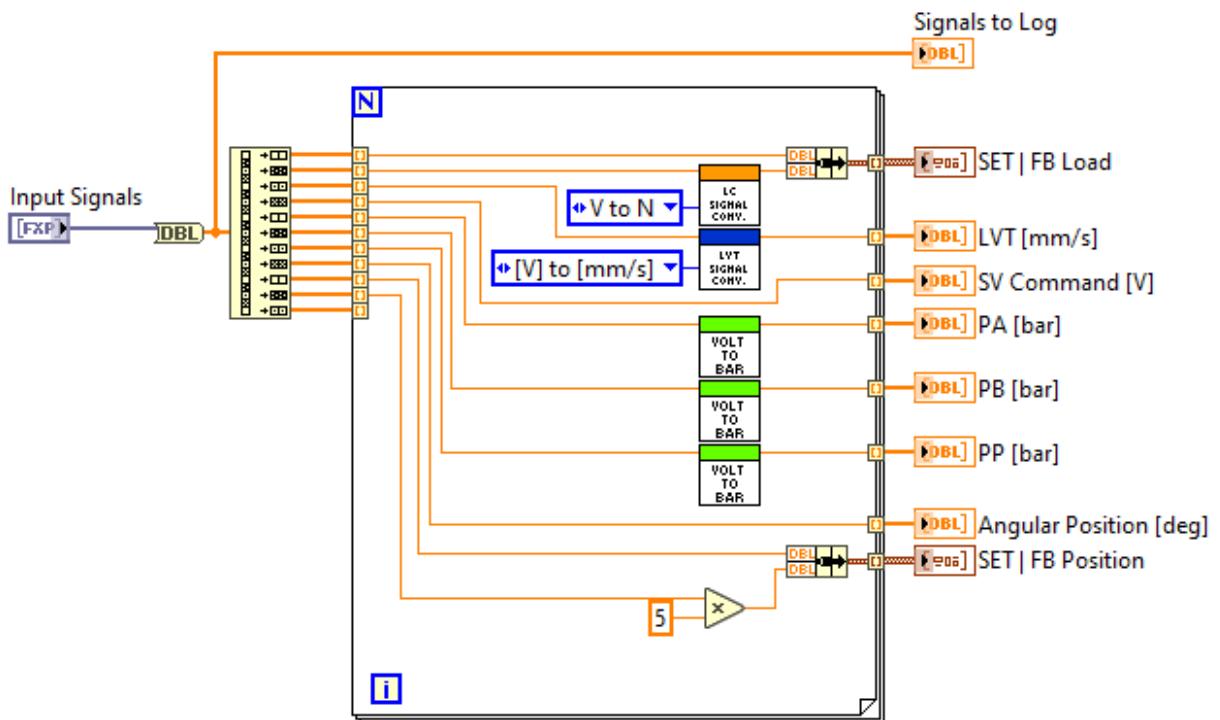
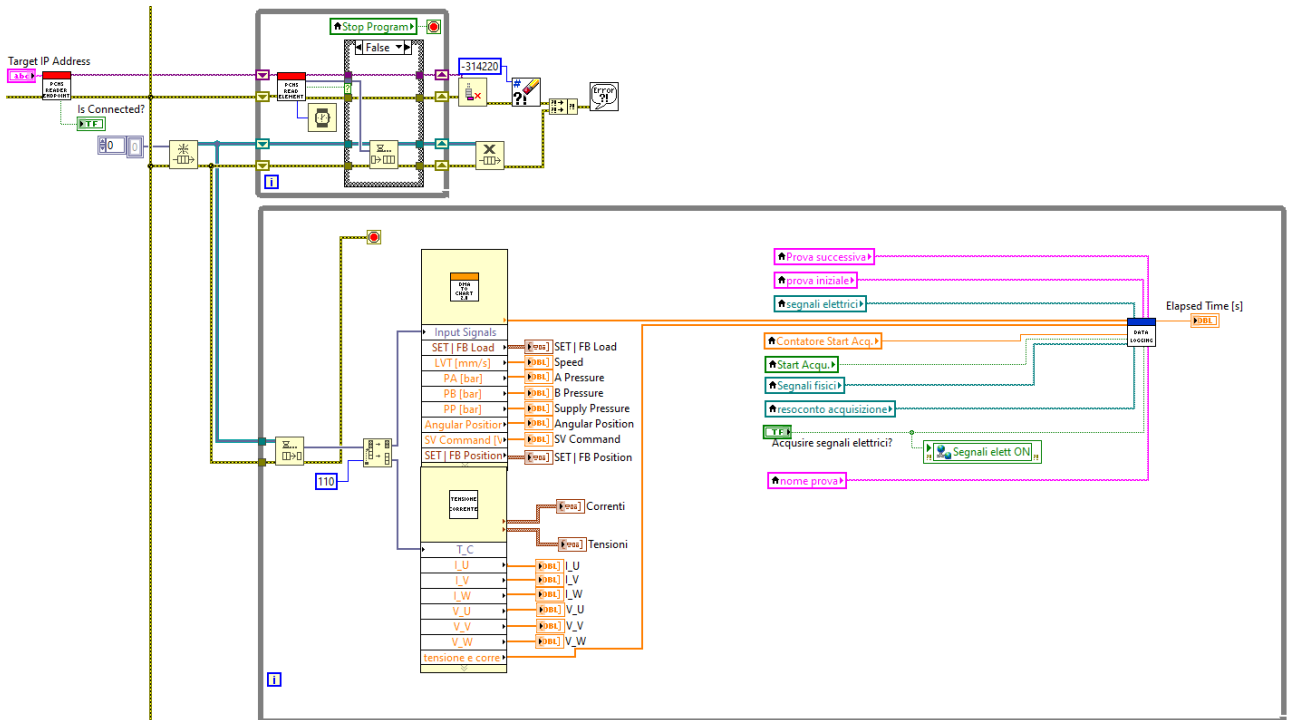


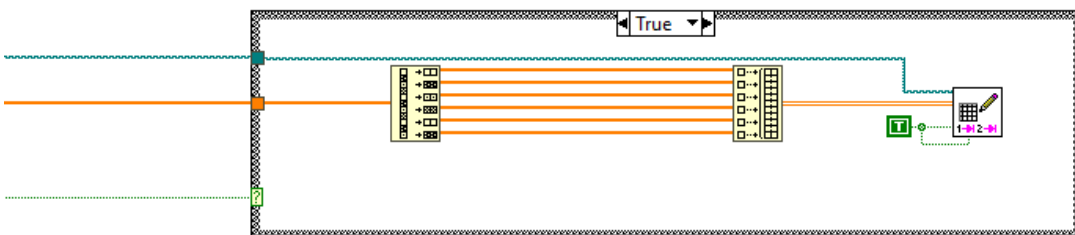
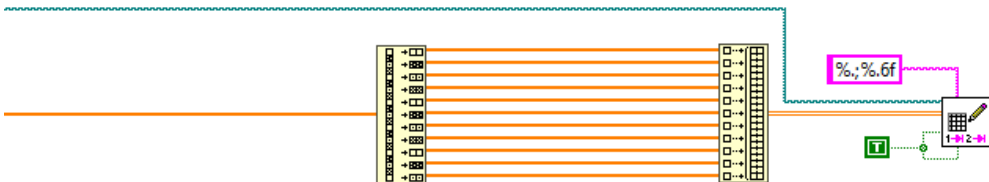
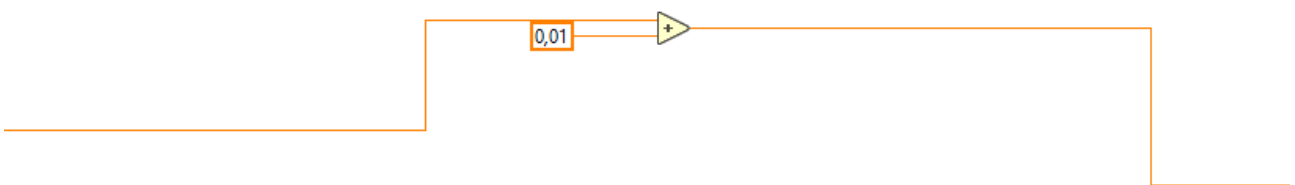
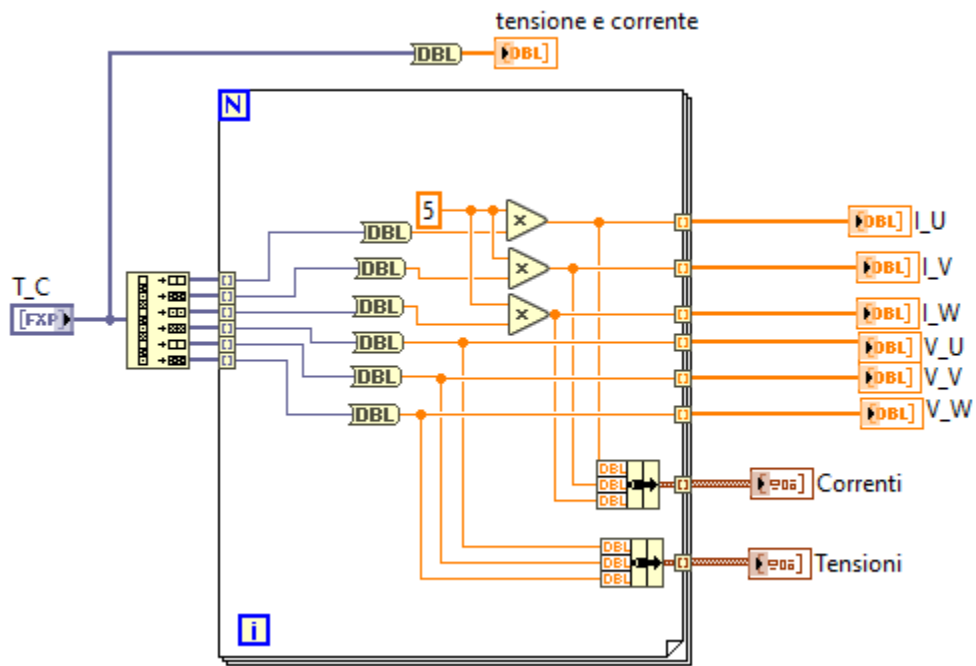


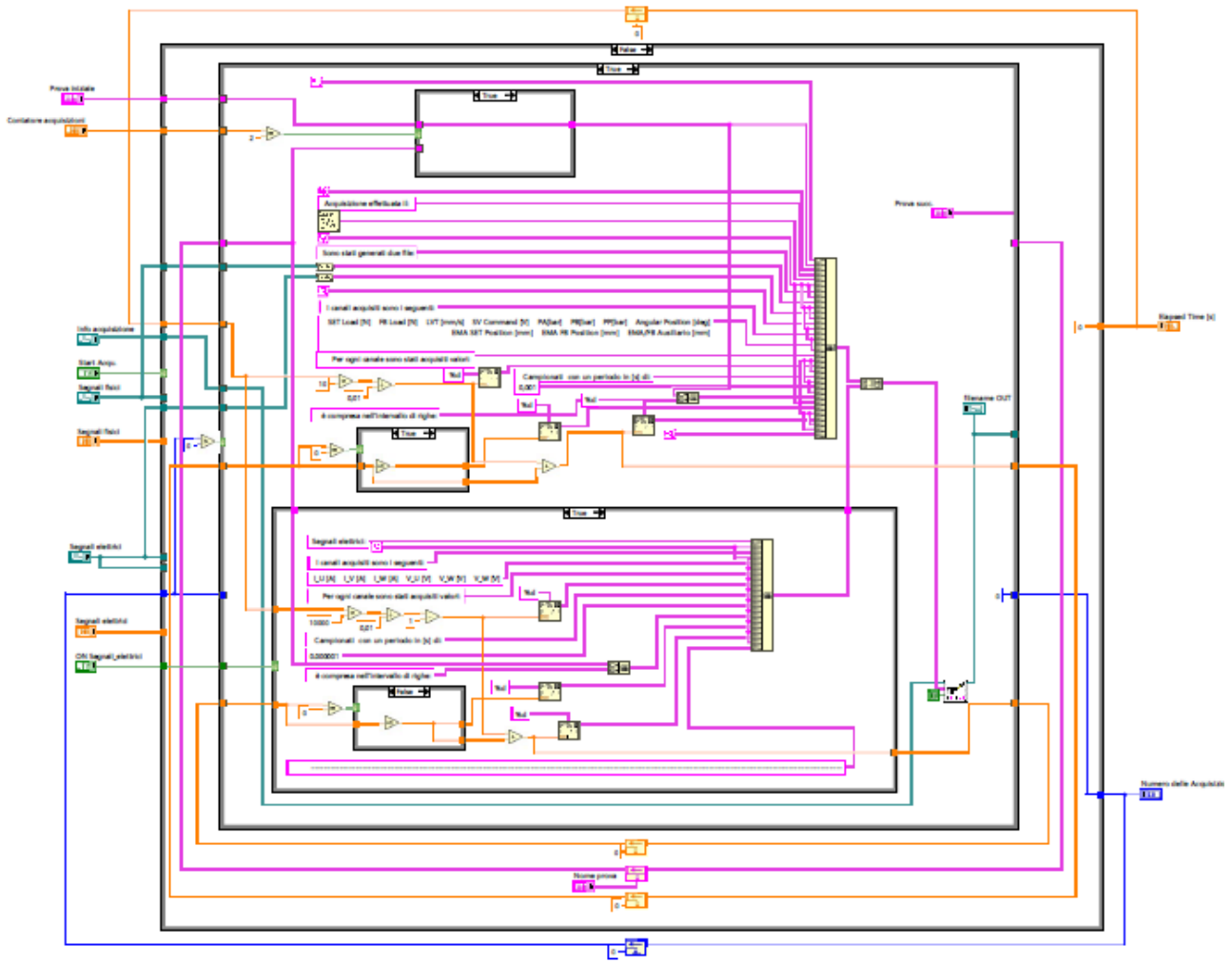
4) Shared Variables To RT MAIN loop



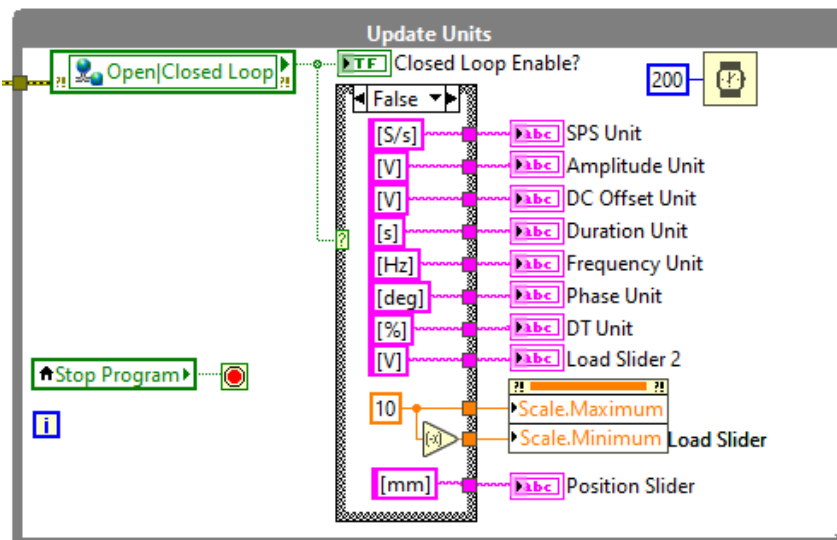
5)-6) Network Stream: RT to HOST & Data Logging loop







7) Update units loop



Appendice B: Manuale di accensione ed utilizzo del BPSV

Introduzione

Questo manuale descrive in maniera sintetica e pratica il processo di accensione del Banco Prova Servocomandi di Volo e l'utilizzo del suo programma di gestione.

Verrà inoltre descritto nel processo anche l'avvio dell'attuatore di prova LEMC-S-2105 della SKF.

Non verrà invece descritto il processo di accensione della centrale idraulica, necessaria all'alimentazione del Banco di Prova, poiché già descritto in maniera esaustiva in: "Guida alla messa in funzione della Centrale Idraulica per l'utilizzo del TOTEM e del Banco Prova Servocomandi di Volo – Descrizione dell'impianto, descrizione del software "Centrale Bosh" e guida alla messa in funzione" di Piergiorgio Chiavaroli, 25/02/2019.

Non verrà inoltre descritto, né il sistema meccanico, né l'hardware elettronico.

D'ora in poi i seguenti acronimi verranno utilizzati nel manuale per semplicità di lettura:

- BPSV – Banco Prova Servocomandi di Volo
- EMA – Attuatore Elettro Meccanico (LEMC-S-2105)
- DIMEAS – Dipartimento di Meccanica ed Aerospazio
- RT – Real Time
- GCIB – Guida alla messa in funzione della Centrale Idraulica per l'utilizzo del TOTEM e del Banco Prova Servocomandi di Volo – Descrizione dell'impianto, descrizione del software "Centrale Bosh" e guida alla messa in funzione
- NI – National Instrument

1- Descrizione impianto

Il BPSV si trova al piano -1 dei laboratori del DIMEAS del Politecnico di Torino.

L'impianto è composto da un banco di prova meccanico alimentato a fluido, *Figura 1 e 2*, e controllato da un cabinet realizzato ad hoc della Nazional Instrument. Infine, un computer permette di interfacciarsi con il cabinet per comandarlo e riprogrammarlo, e con il driver dell'EMA, *Figura 3*.

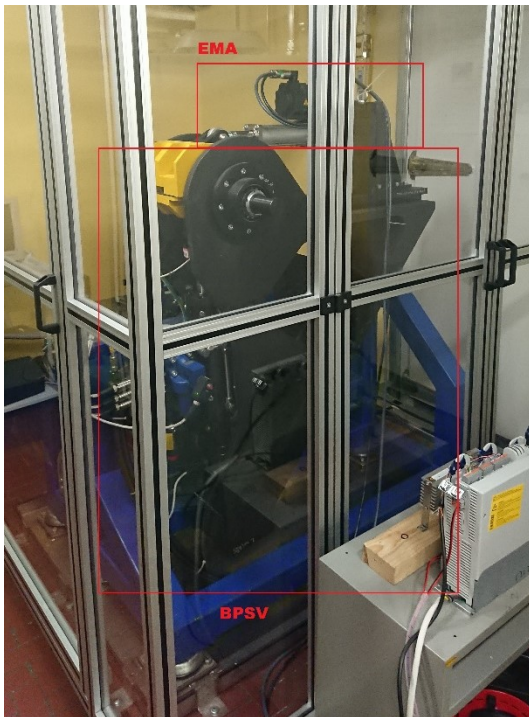


Figura 2 - BPSV

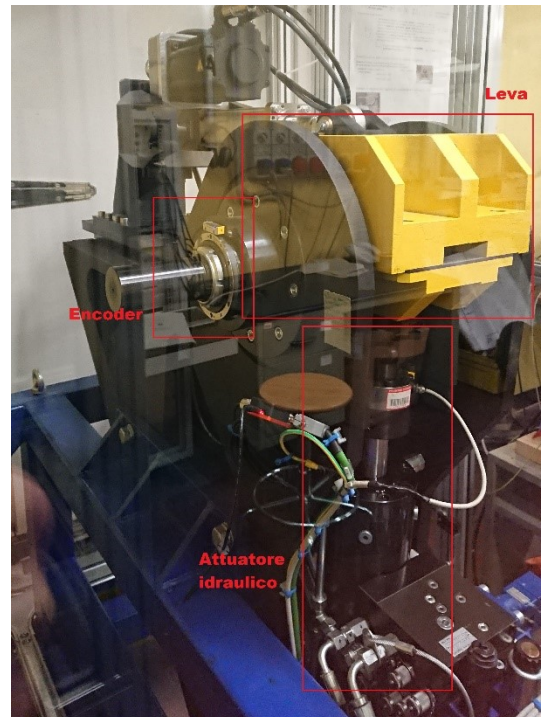


Figura 1 - BPSV



Figura 3 - Controller BPSV

A parte il programma del driver dell'EMA, che è realizzato con LENZE, i programmi del BPSV sono tutti SubVI di un workspace LabView NI.

Il BPSV ha come scopo quello di testare gli EMA, controllati in posizione, *Figura 4*, sollecitandoli con un attuttore idraulico controllato in forza, *Figura 5*.

N.B. La struttura fa comunicare i due attuatori mediante una leva che aggiunge una componente non lineare all'interno del modello del sistema, in funzione dell'elongazione dell'EMA. Tale componente non è ancora modellizzata nel controllore del BPSV, ma se l'EMA viene posizionato in maniera opportuna la non linearità della leva rimane trascurabile come del caso dell'EMA di prova.

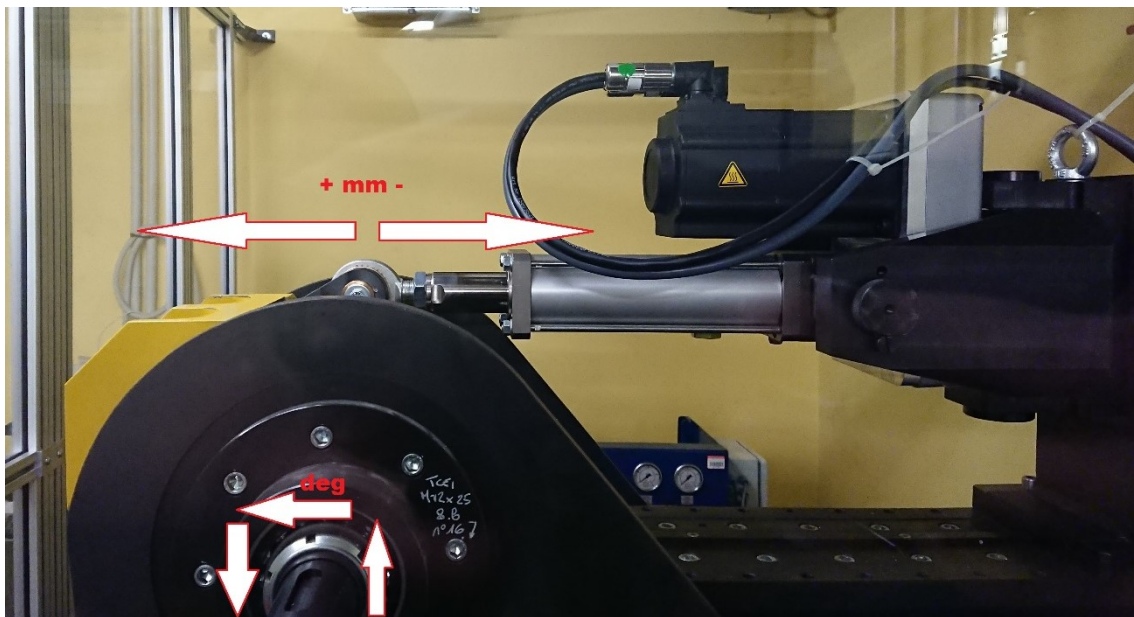


Figura 4 - BPSV Controllo in posizione dell'EMA

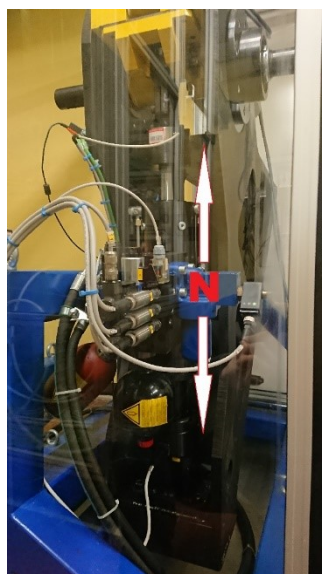


Figura 5 - BPSV, Controllo in Forza dell'Attuttore Idraulico

2 - Accensione del BPSV

La seguente sequenza dovrà essere eseguita ogni volta che si vorrà utilizzare il BPSV.

1. Centrale Idraulica Bosh

Eeguire fino allo step 12 la GCIB.

N.B.1 ATTENDERE PER LO STEP 13!!!

N.B.2 Visto che l'accensione della centrale idraulica può richiedere anche un'ora si suggerisce di sfruttare il tempo morto per andare a prendersi un caffè con un amico.

2. Login al computer

Il computer è sempre acceso per poterci lavorare anche a distanza con TeamViewer. Una volta accesi i monitor effettuare il Login con:

Username: _____

Password: _____

N.B. Anche il cabinet è sempre acceso poiché in passato ha causato alcuni problemi che non sono stati ancora risolti. Se spento, all'avvio potrebbe portare un errore relativo all'avvio dell'FPGA. L'unica soluzione attualmente trovata al problema è la ricompilazione dell'FPGA; operazione che richiede parecchio tempo.

3. Programma NI

Aprire l'icona "RUI HTRFSC[REV002b][PC_MAIN_FPGA]" posizionata sul desktop, *Figura 6*, che porta all'albero del programma su LaibView, *Figura 7*.

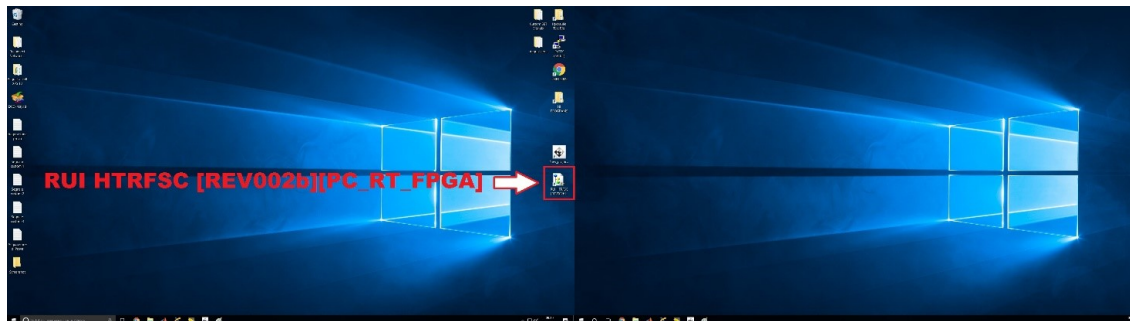


Figura 6 - Desktop, Programma NI

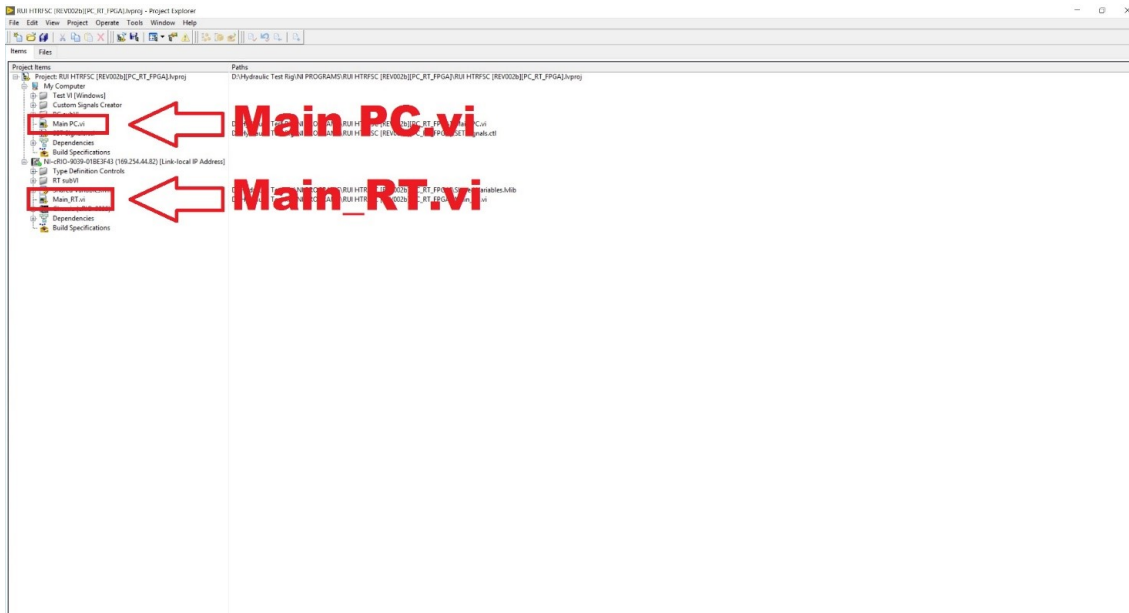


Figura 7 - Albero Sub VI NI

4. EMA

È ora possibile attivare l'EMA. Vedere sezione "3 – Accensione dell'EMA" per il modello LEMC-S-2105. N.B. Verificare mediante il programma dedicato che le etichette nella verifica di connessione siano tutte verdi eccetto "Controllo Inibito" che rimarrà spenta fino all'Avvio Ciclo.

5. Main_RT

Sull'albero dei programmi selezionare "Main_RT" e lanciarlo usando l'icona play di LabView, *Figura 8*. Dopo l'apertura, anche se come programma è perfettamente funzionante, non verrà più utilizzato per lasciare spazio al "Main_PC" che è più evoluto.

È comunque necessario aprirlo poiché è il programma di controllo che risiede sul controllore RT e che a sua volta apre, anche se non visibile, il programma caricato sull'FPGA.

N.B. Se il monitor touchscreen del cabinet funzionasse, il BPSV potrebbe funzionare anche senza l'ausilio del computer usando come programma il "Main_RT". Purtroppo per il momento il monitor presenta un errore di taratura del touchscreen.

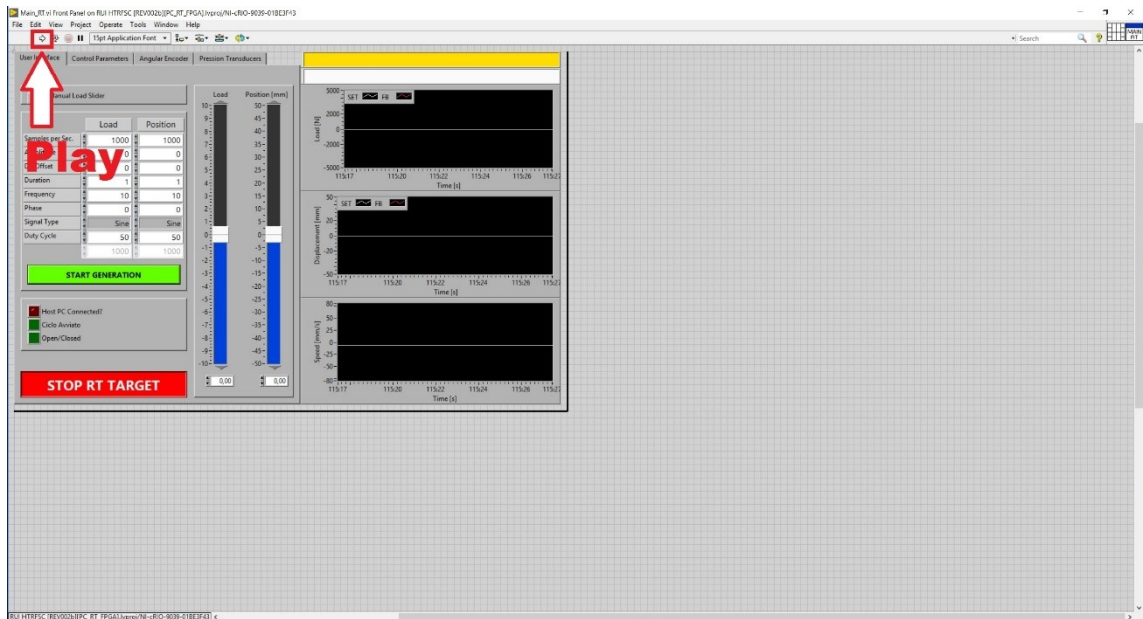


Figura 8 - "RT_Main", Play

6. Main PC

Una volta lanciato il "Main_RT" è possibile attivare e lanciare il "Main PC". Questo secondo programma risiede sul computer ed è un'interfaccia più evoluta rispetto al "Main_RT" per poter controllare il BPSV.

7. Attivare i driver delle servo valvole

Ruotare l'interruttore in *Figura 9* in senso orario per attivare la servo-valvola che controlla il pistone idraulico del BPSV. La spia verde alla sua destra si illuminerà.

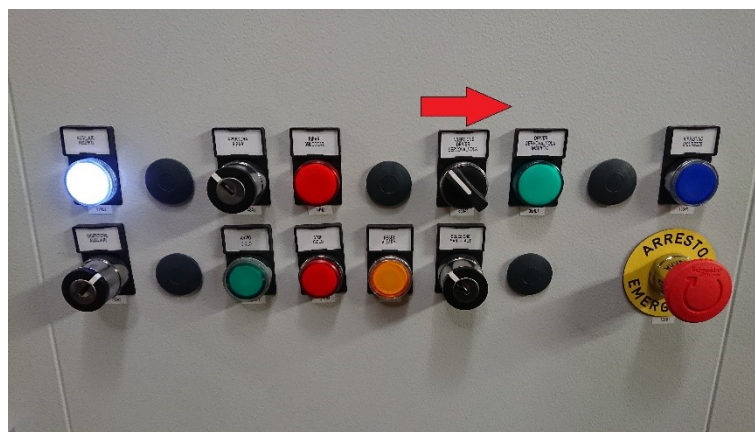


Figura 9 - Pannello di Controllo, Driver Servo Valvola

8. Riattivare le funzionalità

Se il tasto in *Figura 10* non è illuminato (blu), bisogna verificare che i pulsanti di emergenza siano disinseriti e premere il tasto Riavviare Funzionalità, che si illuminerà (blu).



Figura 10 - Pannello di Controllo, Riattivare Funzionalità

Questa operazione deve essere eseguita ogni volta che si preme uno dei pulsanti di emergenza; infatti, nonostante i pulsanti vengano disinnescati il BPSV non funzionerà finché non si riattiveranno le funzionalità.

N.B. è buona norma quando si spegne il sistema premere uno dei pulsanti di emergenza così da aggiungere una sicurezza in più durante l'avvio.

9. Avviare ciclo

Premendo il pulsante "Avvio ciclo", Figura 11, si illuminerà (verde). Questa operazione attiverà il controllo della servo-valvola, darà inizio all'acquisizione di dati da parte di tutti i sensori e disabiliterà i freni dell'EMA.



Figura 11 - Pannello di Controllo, Avvio Ciclo

N.B. 1 Controllare su "New_projectsolo_position_follower" che l'EMA sia funzionante, vedi sezione "3 – Accensione dell'EMA".

N.B. 2 Nonostante ora l'impianto di controllo del BPSV sia funzionante non potremo ancora comandare il pistone idraulico poiché manca l'alimentazione. È buona norma, su qualsiasi dispositivo, che il controllo sia attivato sempre prima dell'alimentazione, in modo da evitare movimenti incontrollati durante l'inizializzazione di uno dei due.

10. Alimentazione idraulica

Eseguire lo step 13 della GCIB.

N.B. Ora il BPSV è attivo e funzionante, ma il controllo dell'attuatore idraulico è ancora in anello aperto. Questo è riscontrabile anche nell'unità di misura (Volt) presente sullo slider del "Main PC".

11. Controllo in forza

Per passare dal controllo ad anello aperto al controllo ad anello chiuso in forza dell'attuatore idraulico è necessario ruotare la chiave, *Figura 12*, in senso orario.



Figura 12 - Pannello di Controllo, Controllo in Forza

N.B.1 Si consiglia di tenere il pulsante di emergenza sottomano in caso di nervosismi improvvisi da parte del sistema.

N.B.2 Non essendo la legge di controllo perfettamente funzionante, verificare che nella voce "Load Control Setting" i blocchi "X Gain" e "Y Gain" siano disabilitati, vedere "4 - Come usare il BPSV da "Main PC"".

3 - Accensione dell'EMA

Ogni EMA avrà un suo driver e quindi un suo diverso metodo di controllo. Diversi EMA richiedono la riprogrammazione di una parte del codice per soddisfare i requisiti dell'EMA stesso.

Ora però verrà descritto l'avvio del LEMC-S-2105, l'EMA di prova montato sul BPSV al momento della stesura del manuale.

1. Alimentare il driver

Il driver dovrebbe essere alimentato da due diversi alimentatori da 24V, che alimentano rispettivamente il controllore ed il freno d'emergenza.

Attualmente un unico alimentatore, che si accende mediante il tasto di alimentazione posto sul retro, *Figura 13*, alimenta entrambi.

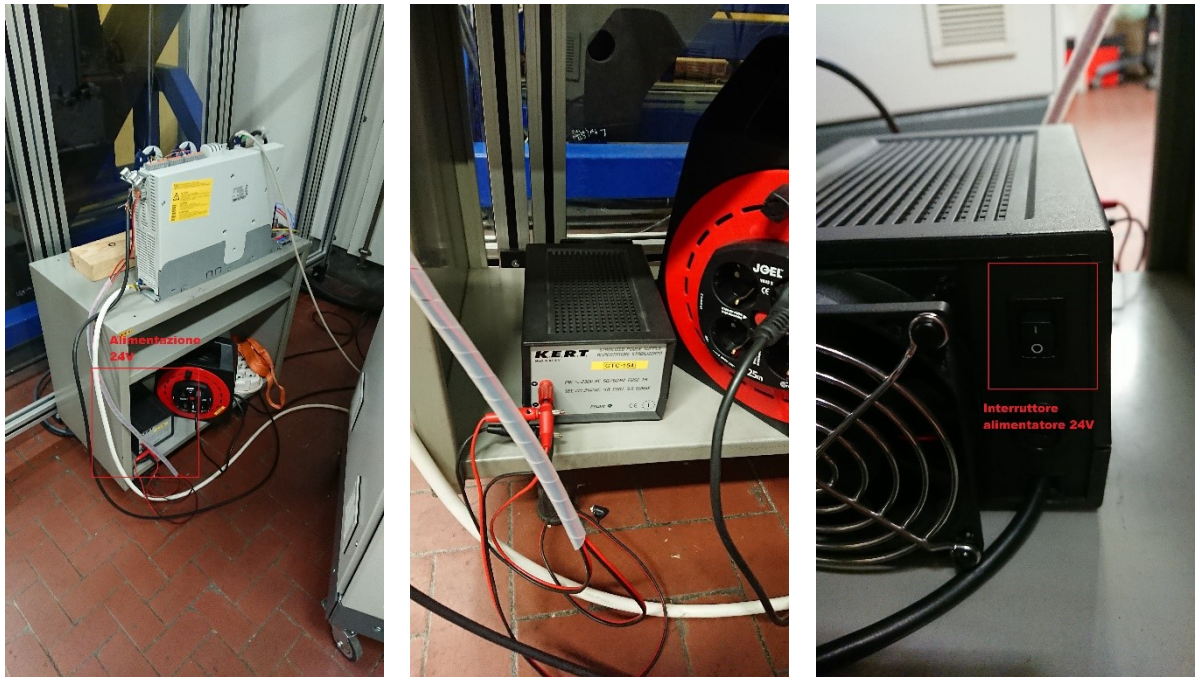


Figura 13 - Driver, Alimentatore 24V, Interruttore

2. Alimentare la potenza

L'EMA per funzionare necessita di un'alimentazione a 320V che viene fornita dalla presa collocata sopra il computer, *Figura 3*. Per alimentarla ruotare l'interruttore in senso orario, *Figura 14*.



Figura 14 - Alimentazione EMA

3. Programma Lenze

Accendere il programma “New_projectsolo_position_follower” sul desktop, *Figura 15*.

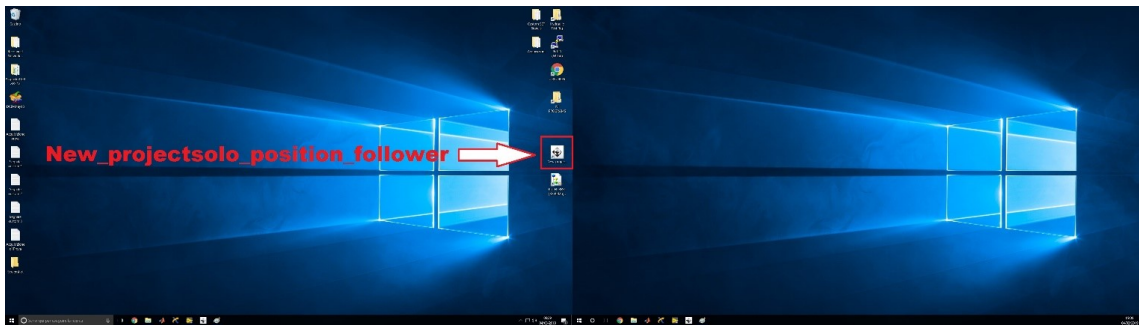


Figura 15 - Desktop, Programma Lenze

4. Albero Lenze

Selezionare “9400 highline” sull’albero per poter andare online ed avere una panoramica del sistema, *Figura 16*.

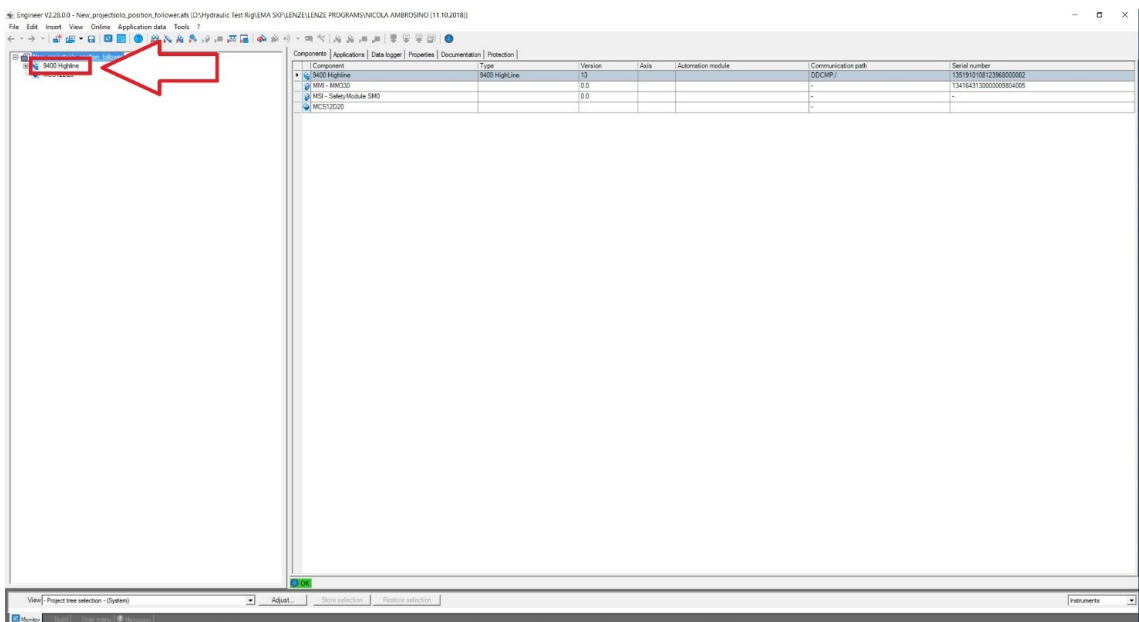


Figura 16 - Albero Lenze, 9400 Highline

5. Andare online

Se il driver dell’EMA è alimentato l’icona “Go online” si illuminerà e sarà possibile premerla, *Figura 17*. Una volta online il programma mostrerà una serie di parametri. Non verranno descritti su questo manuale poiché non necessario, ma in caso di necessità si potranno trovare informazioni dettagliate nella tesi di laurea magistrale di Nicola Ambrosino – “Implementazione di un servomotori elettromeccanico lineare a rulli planetari: progettazione del software, modellizzazione e verifiche sperimentali”, relatore Prof. Massimo Sorli, DIMEAS del Politecnico di Torino.

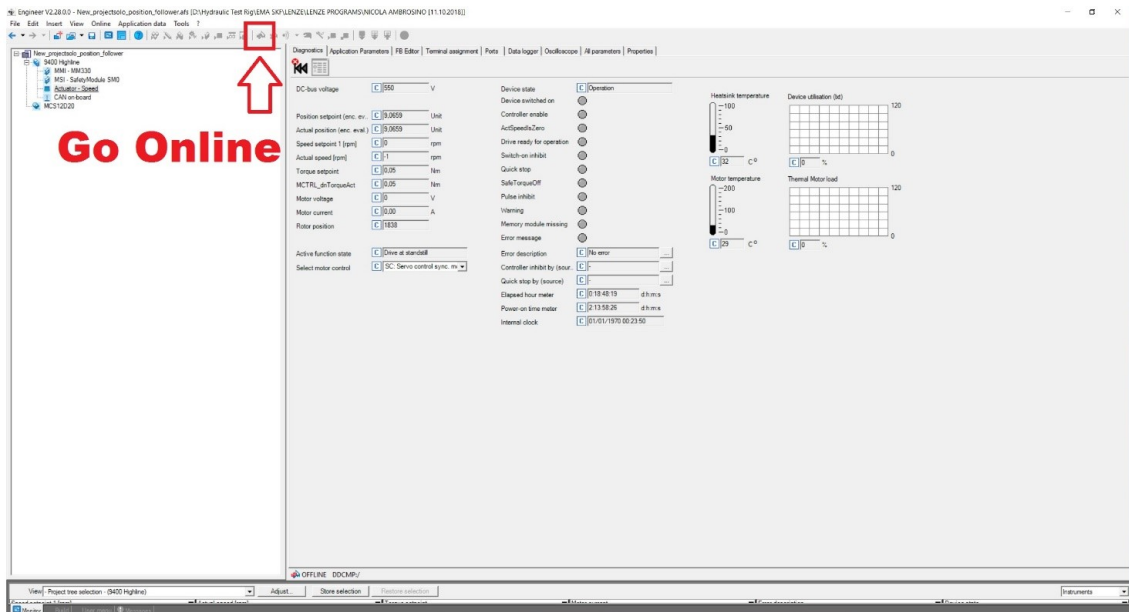


Figura 17 - Programma Lenze, Go Online

6. Verifica di connessione

Una volta Online, nella sezione “Diagnostica” in basso è possibile vedere gli stati di connessione e funzionamento dell’EMA.

In caso di alimentazione dell’EMA attiva e ciclo avviato, punto 9 della sezione “Accensione del BPSV”, tutte le etichette saranno illuminate di verde, *Figura 18*.

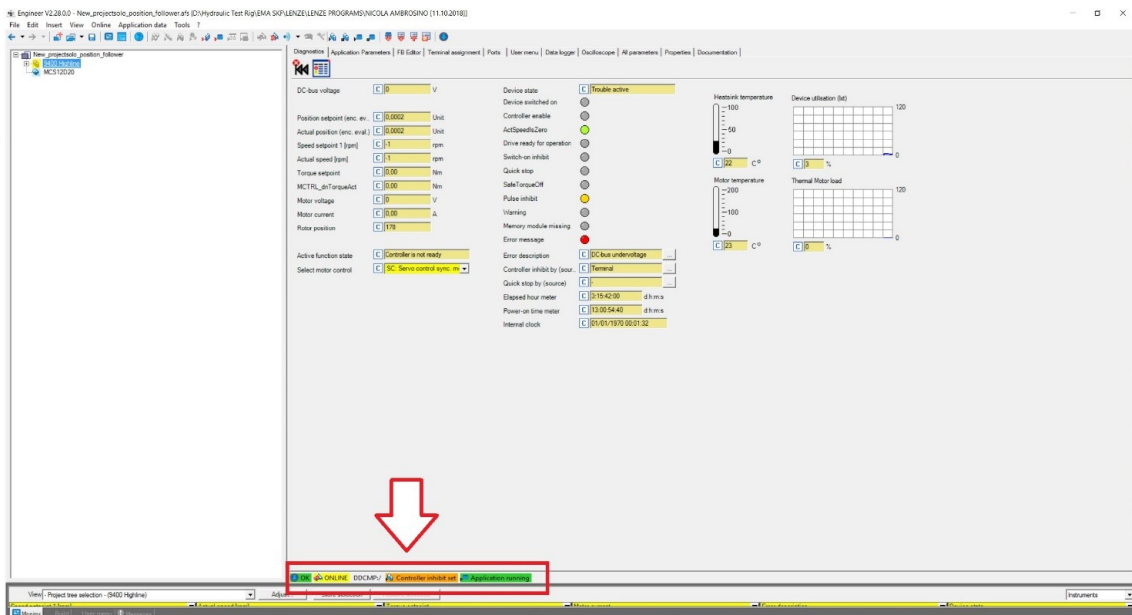


Figura 18 - Programma Lenze, Info Utili

4 - Come usare il BPSV da "Main PC"

Il SubVI "Main PC", *Figura 19*, è un'interfaccia per controllare il BPSV. Dispone di 3 voci: Main User Interface, Load Control Setting, Graphs.

1. Main User Interface

È l'interfaccia di comando principale del BPSV e permette di controllarlo mediante gli slider o dei segnali realizzati in precedenza.

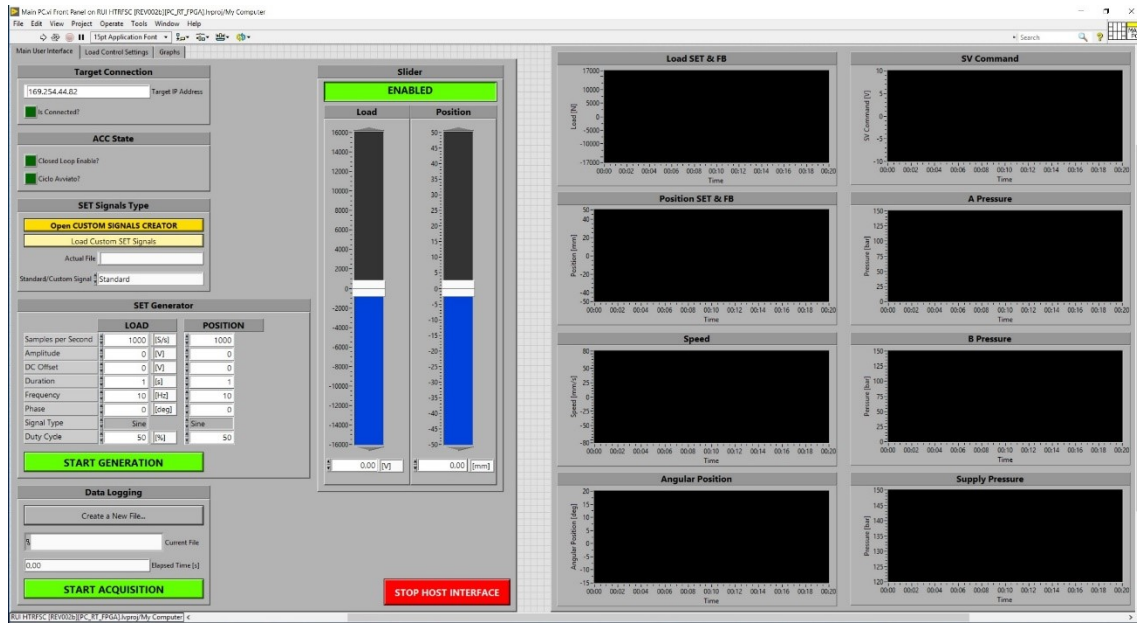


Figura 19 - "Main PC"

I due slider permettono di controllare rispettivamente la forza applicata dall'attuatore idraulico del BPSV e la posizione dell'EMA. Quando il controllo del BPSV è posizionato su manuale (controllo aperto) lo slider di sinistra fornisce all'attuatore come riferimento un voltaggio ed infatti anche l'unità di misura sottostante segnerà [V]. Viceversa, quando il controllo ad anello chiuso è attivo, e la legge di controllo in forza agisce, è possibile selezionare la forza [N] che l'attuatore idraulico applicherà sull'EMA.

In alternativa è possibile fornire un segnale di riferimento più o meno complesso sia all'attuatore idraulico sia all'EMA.

Se si decide la seconda alternativa per prima cosa sarà necessario disabilitare gli slider premendo sul pulsante ENABLED che diventerà rosso, *Figura 20*.

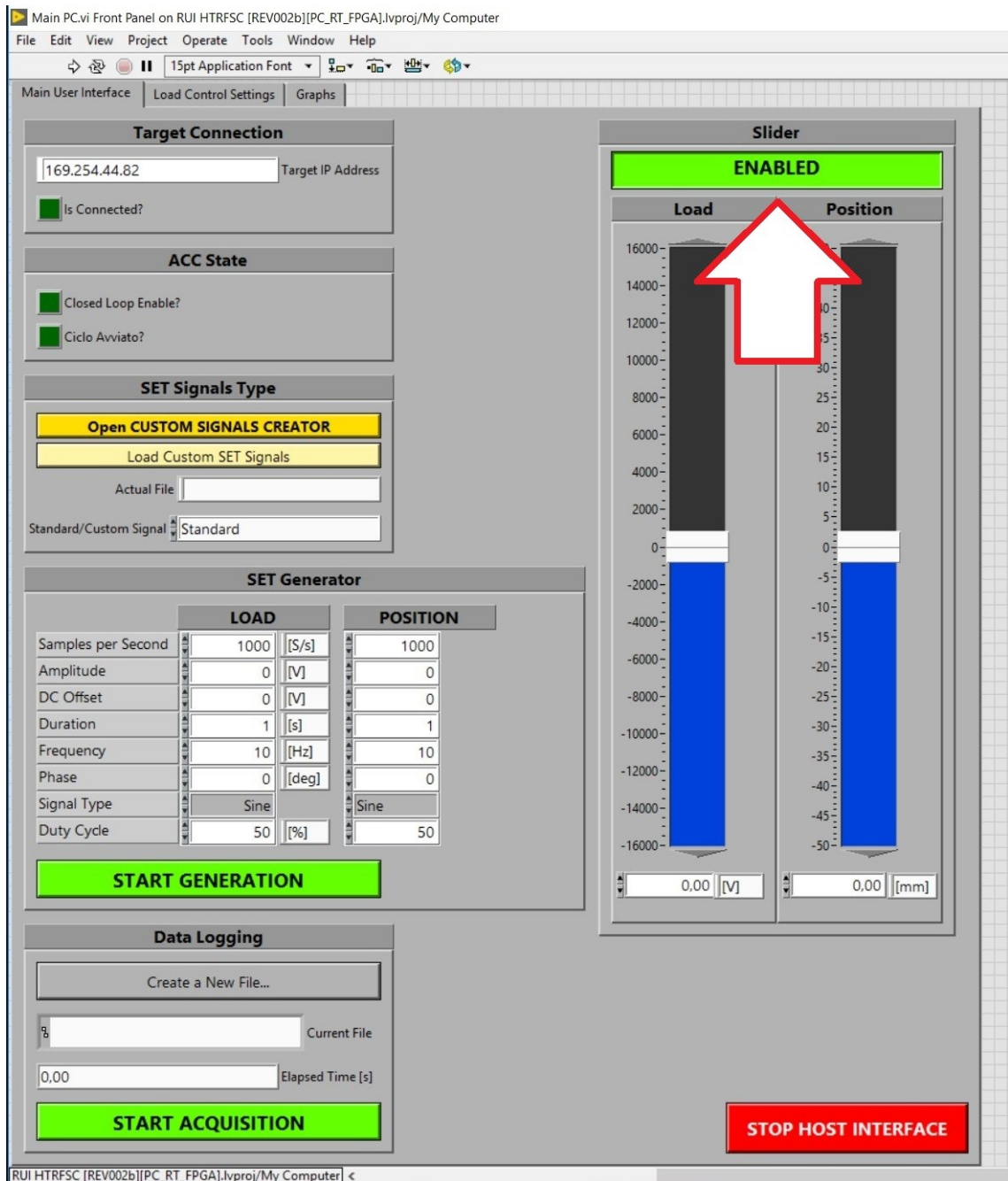


Figura 20 – “Main PC”, Abilitare/Disabilitare Slider

Dopo di che abbiamo 3 diversi metodi per fornire un segnale di riferimento. Il primo consiste nell'impostare i parametri all'interno del "SET Generator", selezionare "Standard" in "Standard/Custom Signal" ed infine premere "START GENERATION" per far partire il test, *Figura 21*.

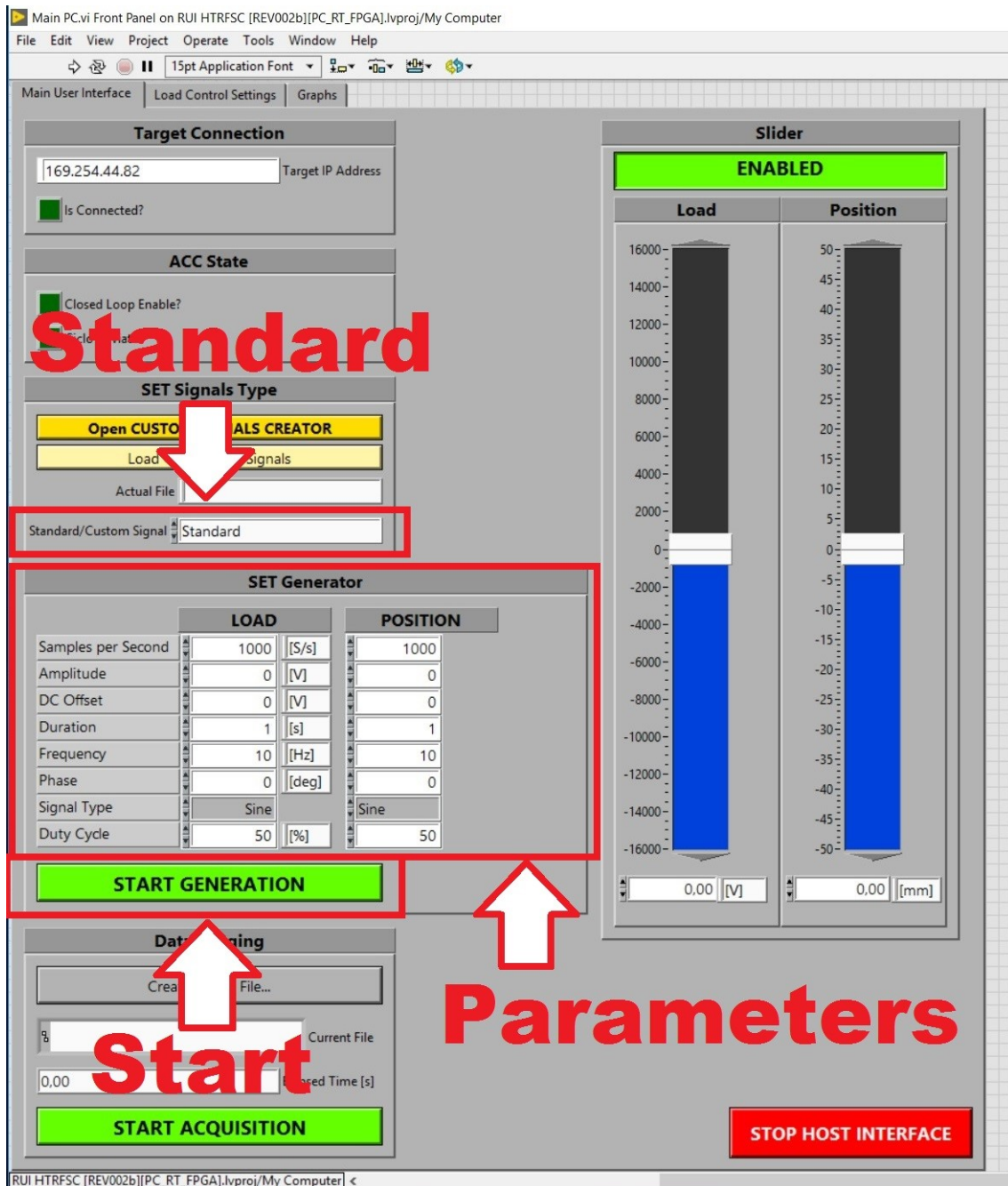


Figura 21 - "Main PC", Standard Signal Generator

In questa modalità è possibile impostare il carico e la posizione secondo delle funzioni di base precaricate: seno, coseno, triangolare, rampa crescente, rampa decrescente.

Il secondo metodo invece consiste nel generare una sequenza di segnali base usando una funzione aggiuntiva del programma chiamata "CUSTOM SIGNALS CREATOR", Figure 22 e 23.

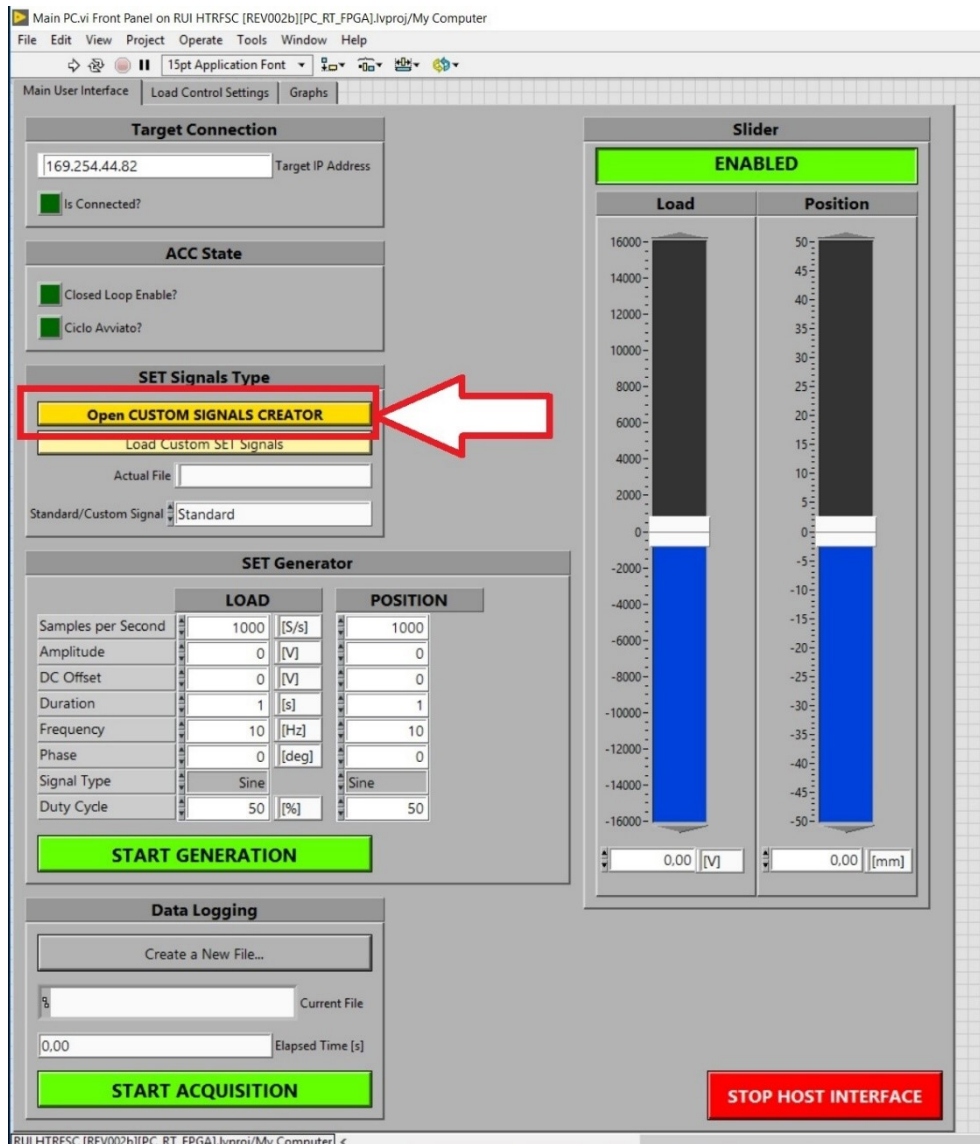


Figura 22 - "Main PC", Open Custom Signal Generator

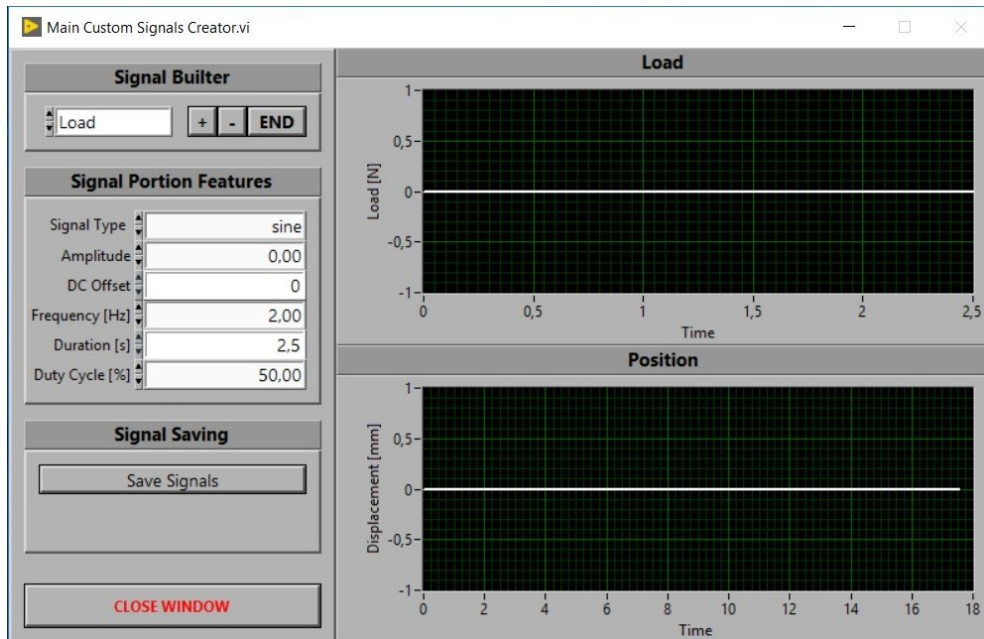


Figura 23 - Custom Signal Generator

Una volta aperto e selezionato quale segnale impostare, se il carico (Load) o la posizione (Position) mediante “Signal Portion Builder”, è possibile decidere tutti i parametri della porzione di sequenza da impostare in “Signal Portion Features”, Figura 24.

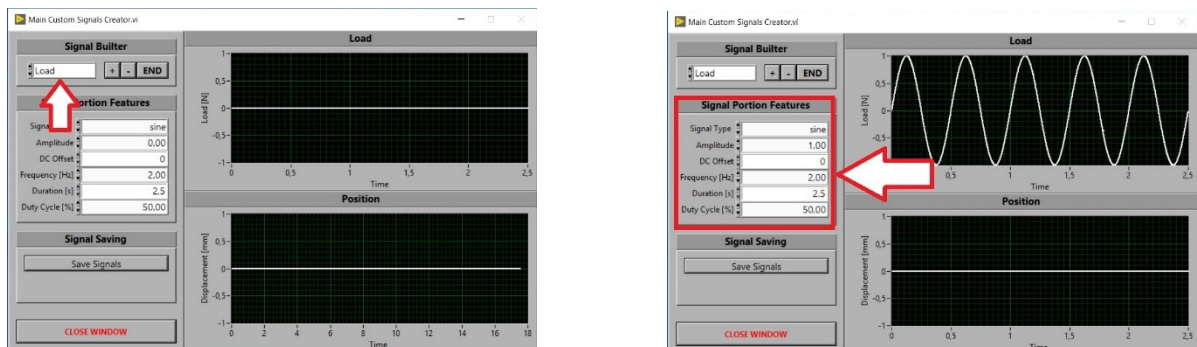


Figura 24 – Custom Generator, Load/Position, Signal Parameter

Il segnale verrà mostrato in tempo reale sul grafico. Una volta deciso premendo su “+” verrà aggiunto alla sequenza Figura 25.

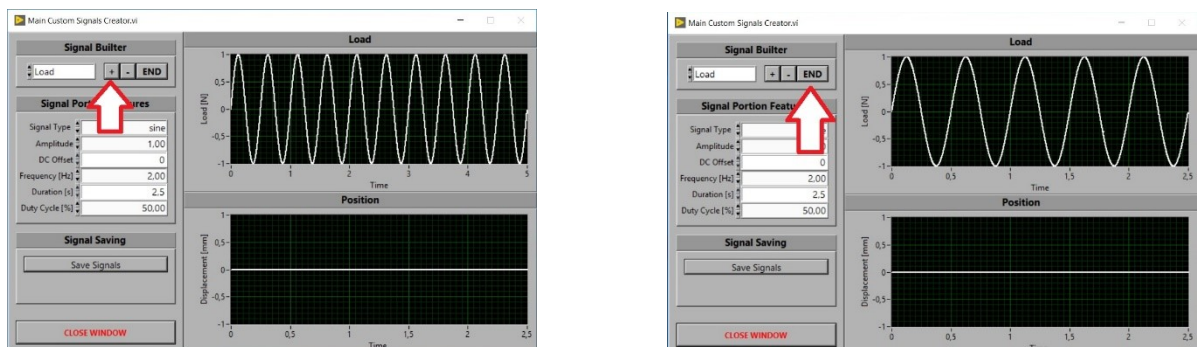


Figura 25 - Custom Generator, Add/ Remove, END

N.B. Ogni volta che si aggiungerà una porzione alla serie, sul grafico ne apparirà un quantitativo doppio!!! Non è un errore, è che il programma sta visualizzando sul grafico la nuova porzione, che finché non riceverà modifiche sarà uguale a quella appena caricata.

Una volta finita la sequenza bisogna premere su “END” per terminarla. Il grafico a questo punto rappresenterà la serie di segnali che si desidera generare, senza ulteriori aggiunte.

Per concludere salvare la sequenza con “Save Signal”. Verrà generato un file di testo (.txt) che potrà essere nominato e salvato nella cartella che si desidera.

Dopo di che chiudere la finestra con “CLOSE WINDOW”, *Figura 26*.

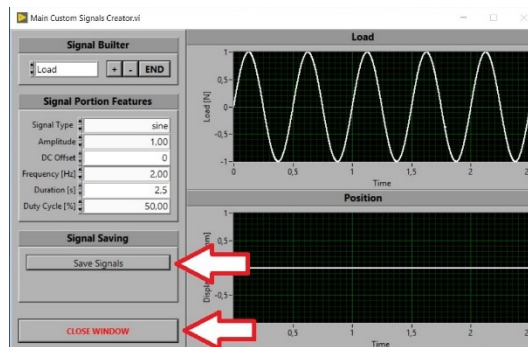


Figura 26 - Save and Close

Una volta chiusa la finestra sarà possibile caricare il file appena generato con “LOAD CUSTOM SET SIGNAL”, selezionare su “Standard/Custom Signal” -> “Custom” e premere “START GENERATION” per far partire il test, *Figura 27*.

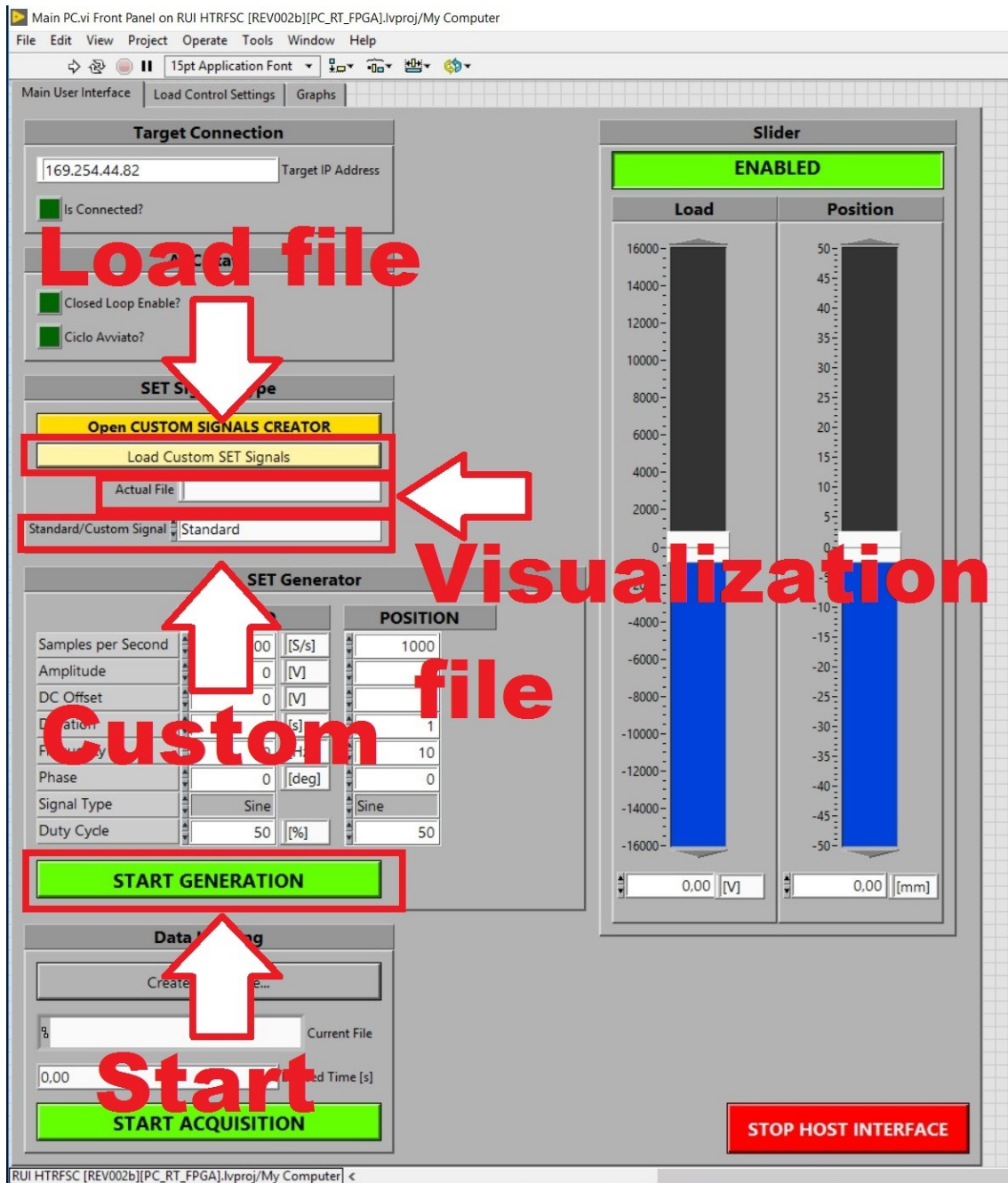


Figura 27 - "Main PC", Custom Signal Generator

Il terzo ed ultimo metodo è quello di creare un file di testo con un segnale complesso quanto si vuole usando un programma esterno (es. Matlab) e caricarlo con "Load Custom SET Signals". Il resto della procedura sarà uguale al secondo metodo.

N.B. I valori di forza verranno letti in newton e i campioni saranno letti a 1kHz.

Per terminare la prima voce del "Main PC" una funzione di acquisizione dati ci permette, se interessati, di acquisire i dati misurati dai vari sensori posti sul BPSV, *Figura 28*, poco importa il metodo utilizzato per generare i segnali.

Dopo aver selezionato o creato il file sul quale salvare i dati acquisiti, premendo "START ACQUISITION" partirà l'acquisizione dati. Durante l'acquisizione il pulsante cambierà colore e comparirà la scritta "STOP ACQUISITION" che se ripremuto fermerà l'acquisizione dati.

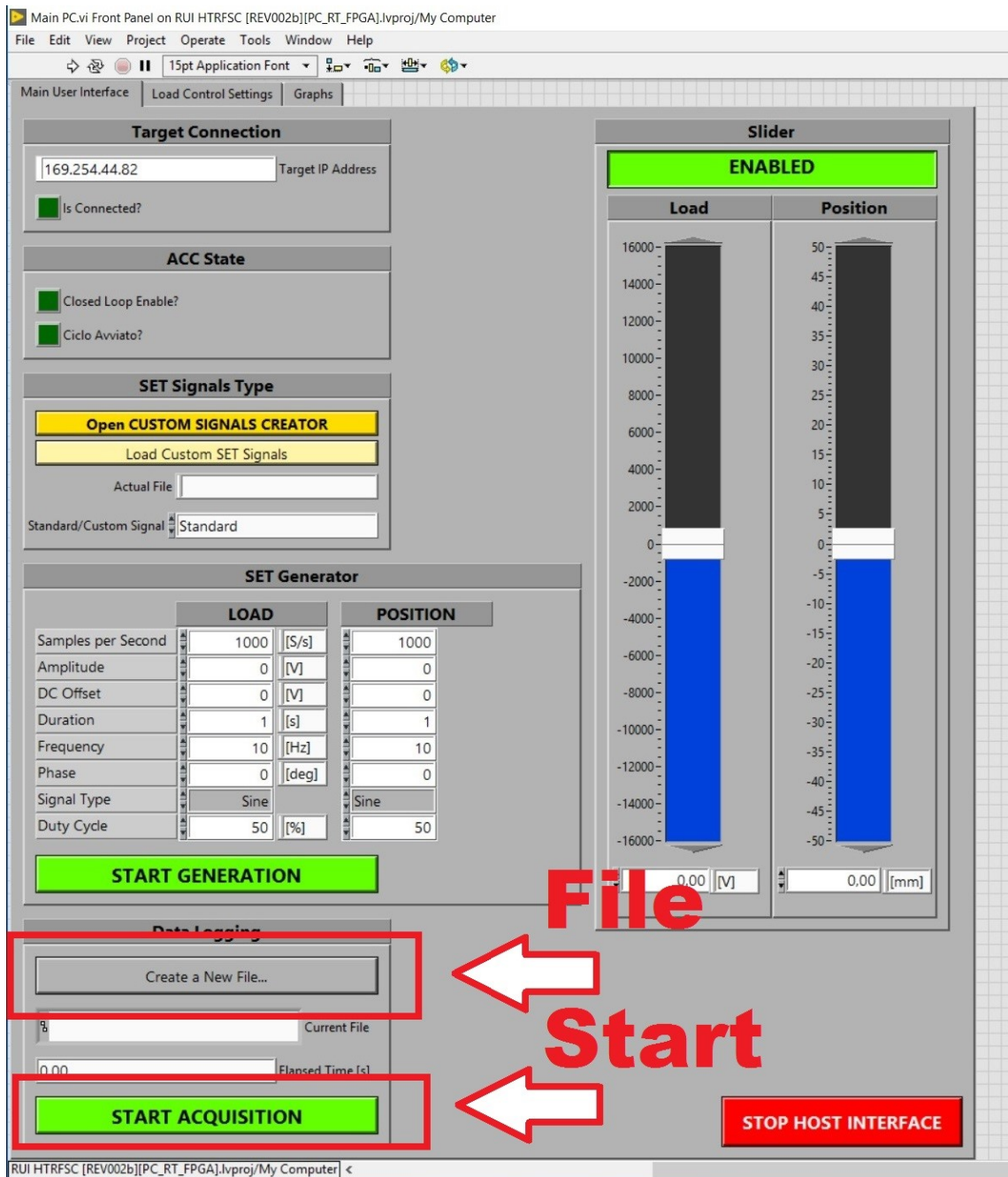


Figura 28 - "Main PC", Acquisition Data

N.B. L'acquisizione dati non è sincronizzata con la generazione dei dati! Si ricorda quindi di far partire l'acquisizione prima della generazione.

2. Load Control Setting

In questa voce è possibile vedere lo schema della legge di controllo di forza che agisce sull'attuatore idraulico, cambiarne i parametri e attivarne o disattivarne dei moduli, *Figura 29*.

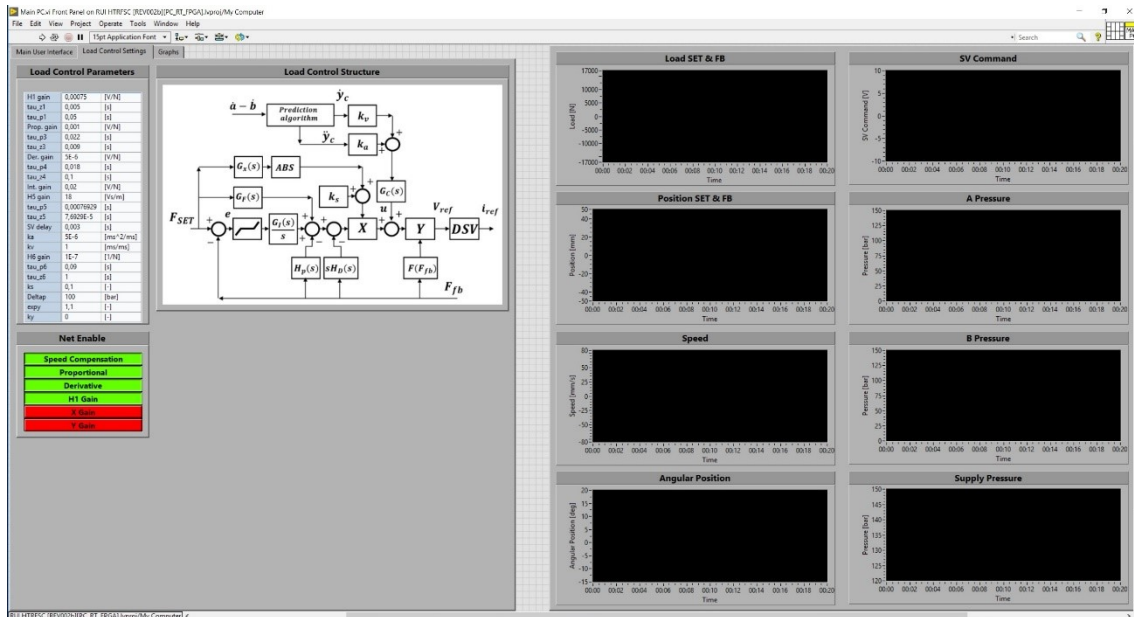


Figura 29 - "Main PC", Load Control Setting

Ogni volta che il programma viene aperto carica dei valori di default, *Figura 30*.

N.B. Tali valori sono stati testati e permettono un controllo stabile!!! In particolare, i blocchi "X Gain" ed "Y Gain" sono ancora in fase di test e se attivati portano all'instabilità del controllo.

H1 gain	0,00075	[V/N]
tau_z1	0,005	[s]
tau_p1	0,05	[s]
Prop. gain	0,001	[V/N]
tau_p3	0,022	[s]
tau_z3	0,009	[s]
Der. gain	5E-6	[V/N]
tau_p4	0,018	[s]
tau_z4	0,1	[s]
Int. gain	0,02	[V/N]
H5 gain	18	[Vs/m]
tau_p5	0,00076929	[s]
tau_z5	7,6929E-5	[s]
SV delay	0,003	[s]
ka	5E-6	[ms^2/ms]
kv	1	[ms/ms]
H6 gain	1E-7	[1/N]
tau_p6	0,09	[s]
tau_z6	1	[s]
ks	0,1	[-]
Deltap	100	[bar]
expy	1,1	[-]
ky	0	[-]



Figura 30 - Default Parameters

Se si volessero salvare dei nuovi valori come parametri di default è necessario, una volta inseriti i nuovi valori, andare su "Edit" -> "Make current value default", *Figura 31*.

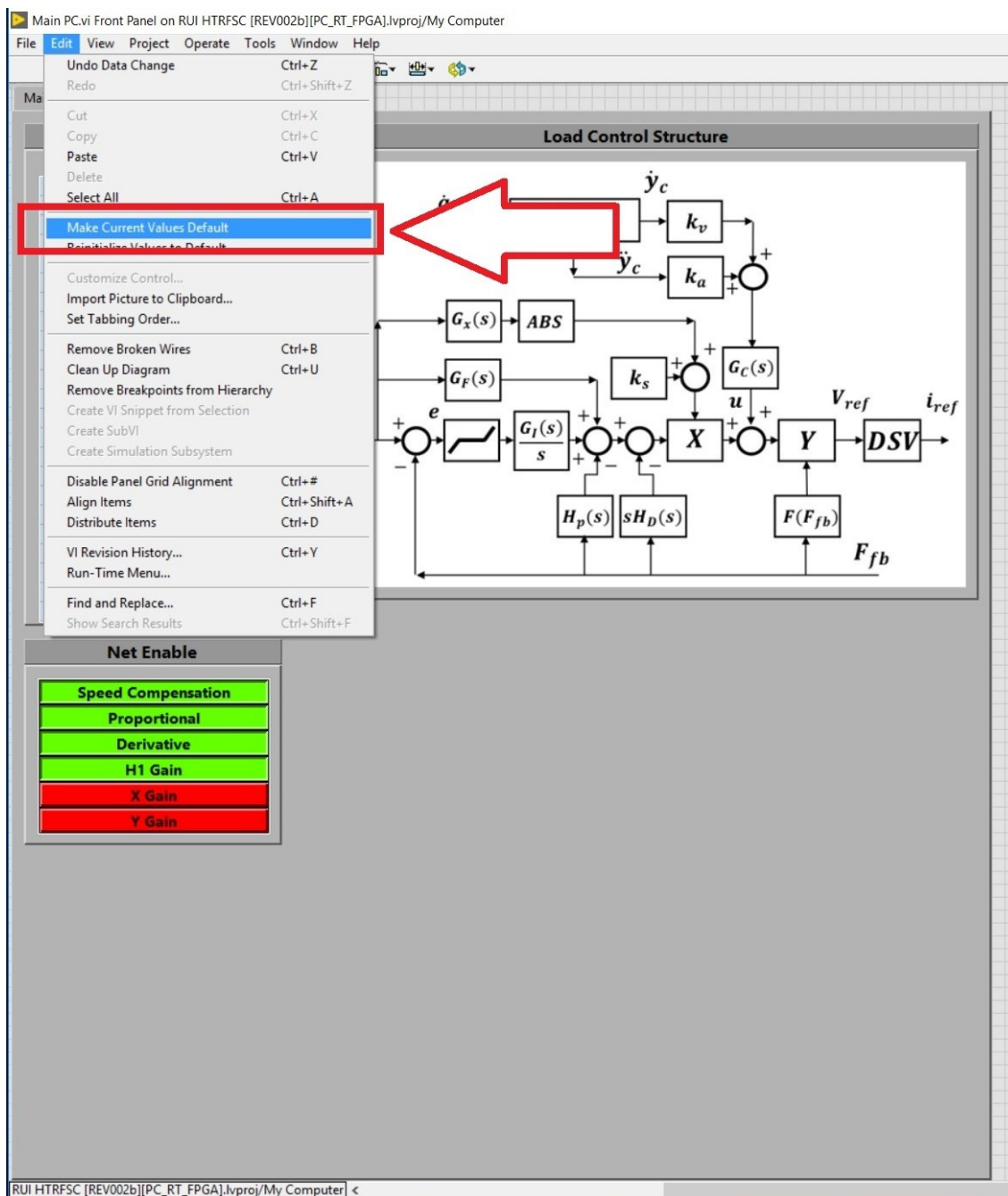


Figura 31 - SET Default Parameter

3. Graphs

In questa voce è possibile effettuare un fermo immagine di tre grafici durante il funzionamento premendo "Update Graph", Figura 32.

I primi due sono relativi al carico dell'attuatore idraulico ed alla posizione dell'EMA, mentre l'ultimo possiamo sceglierlo tra gli altri grafici a disposizione.



Figura 32 - "Main PC", Graphs

Per ognuna delle tre voci sul lato destro avremo sempre otto grafici, *Figura 33*, che mostreranno l'andamento del BPSV in tempo reale.

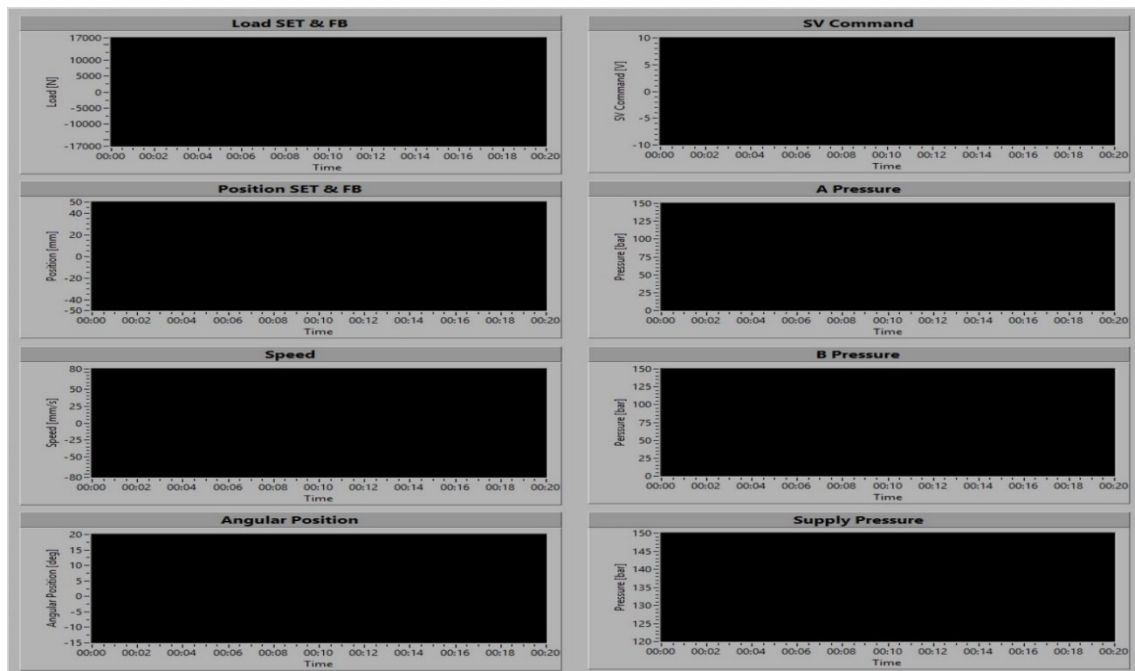


Figura 33 - "Main PC", Side Graphs

In ordine dall'alto verso il basso, da sinistra a destra:

- Load SET & FB [N] – Il valore di riferimento del carico dell'attuatore idraulico ed il suo feedback.
- Position SET & FB [mm] – Il valore di riferimento della posizione dell'EMA ed il suo feedback.
- Speed [mm/s] – La velocità dell'EMA
- Angular Position [deg] – La velocità angolare misurata dall'encoder sulla cerniera del BPSV. N.B. L'encoder è di tipo incrementale, di conseguenza è necessario che all'inizio, usando gli slider lo si faccia passare per la tacca di zero in modo che si resett.
- SV Command [V] – È il voltaggio che arriva alla servovalvola che controlla l'attuatore idraulico.
- A Pressure [bar] – È la pressione della camera A dell'attuatore idraulico. N.B. L'attuatore è a doppio stelo con due camere separate A e B.
- B Pressure [bar] – È la pressione della camera B dell'attuatore idraulico. N.B. L'attuatore è a doppio stelo con due camere separate A e B.
- Supply Pressure [bar] – È la pressione di mandata a monte dell'attuatore idraulico.

Appendice C: Manuale di accensione centrale idraulica

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

La Figura 1 mostra una rappresentazione semplificata in pianta del primo piano interrato del laboratorio DIMEAS.

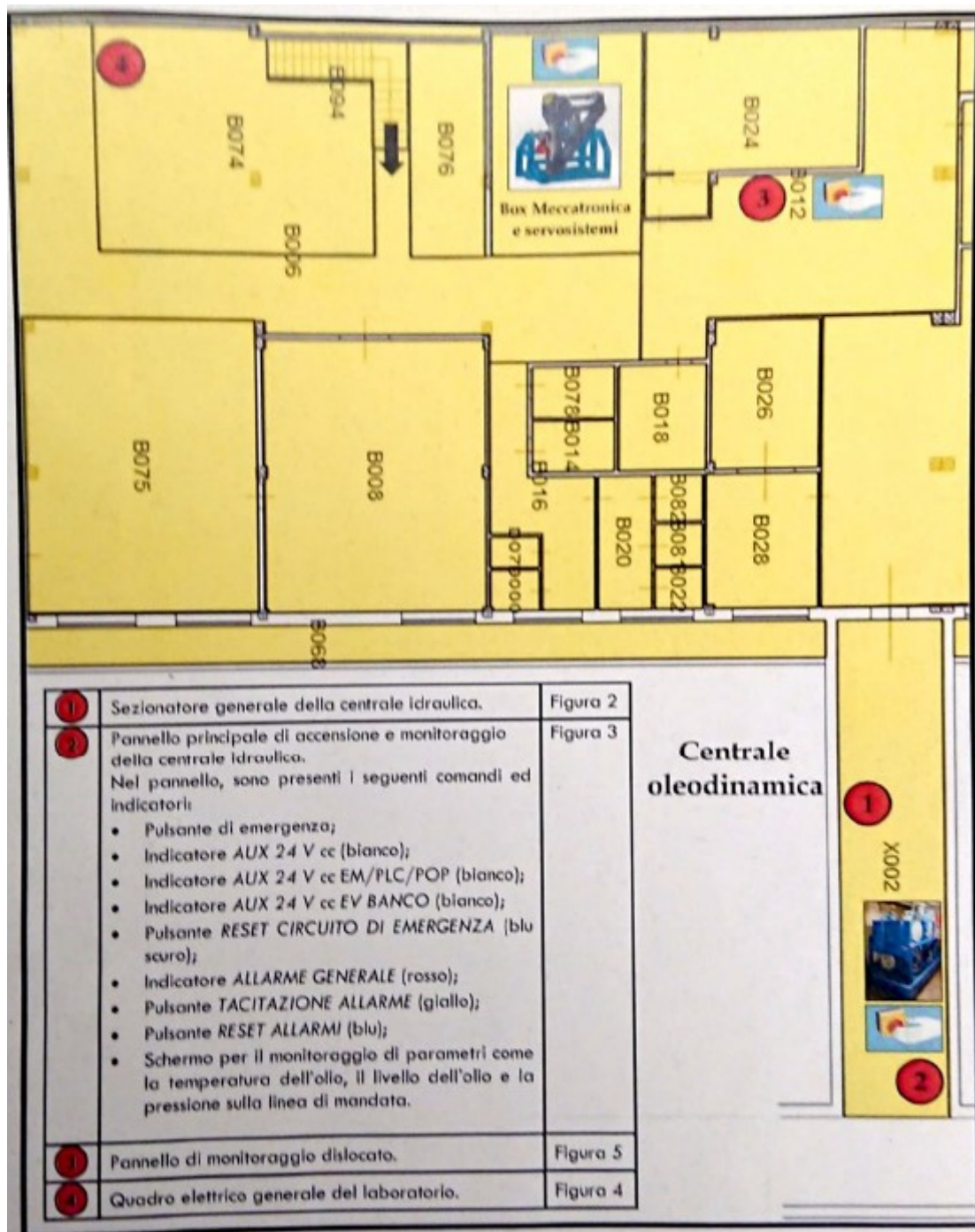


Figura 1-Ubicazione dei componenti principali dell'impianto



Figura 2: Sezionatore generale



Figura 3: Pannello principale per l'accensione e il monitoraggio della centrale



Figura 4: Quadro elettrico generale



Figura 5: Pannello di monitoraggio dislocato

DESCRIZIONE GENERALE DEL SOFTWARE “CENTRALE BOSCH”

Il software presenta un'interfaccia grafica interattiva sul quale è stato riprodotto, in maniera abbastanza semplificata, lo schema idraulico dell'intero impianto. La Figura 6 mostrala *Home Page* del software.

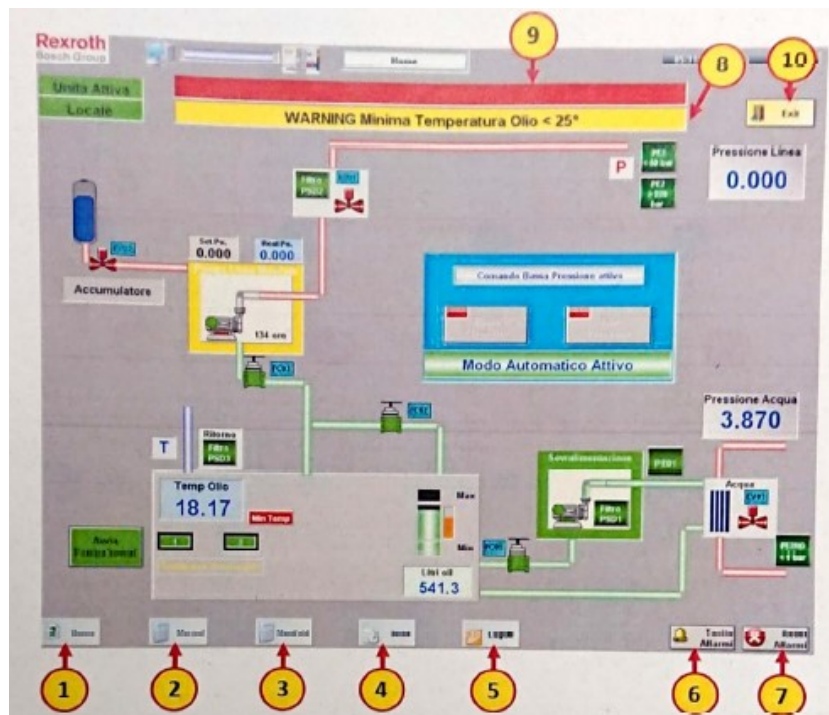


Figura 6: Sezione Home

Nella tabella seguente sono elencati i principali comandi ed indicatori evidenziati in Figura 6.

Numero	Pulsante	Funzionalità
1	Home	Pagina principale con sinottico impianto
2	Manual	Si attiva una pagina da dove è possibile monitorare lo stato dei Bit per gli Input/Output digitali ed i valori di riferimento degli Input/Output analogici
3	Manifold	Gestione delle Manifold per l'alimentazione del banco prova
4	SetUP	Pagina protetta dove è possibile modificare i valori di setting dell'impianto
5	Log ON/Log OFF	Consente l'immissione di Username e Password abilitando l'accesso alla pagina di SetUP
6	Tacita Allarmi	Disattiva la sirena di segnalazione di allarme ma non annulla o resetta l'anomalia
7	Reset Allarmi	Resetta la segnalazione di allarme memorizzata, se l'allarme non è più attivo viene annullata la segnalazione e riattivate le condizioni per il riavvio della centrale
8	Allarmi attivi	All'interno della riga rossa, sarà indicato l'allarme o gli allarmi attivi. Con più di un allarme, con rotazione a tempo, saranno segnalati tutti. La segnalazione deve essere resettata in quanto non scompare con l'annullamento della causa
9	Preallarmi Attivi	All'interno della riga gialla sarà indicato il messaggio o i messaggi attivi. Con l'annullamento della causa la segnalazione scompare.
10	Exit	Per uscire e disattivare l'applicativo

Tabella 1: comandi e indicatori

MESSA IN FUNZIONE DELLA CENTRALE IDRAULICA

STEP 1

Accendere Il PC collocato nel BOX di Meccatronica e Servosistemi tre il banco TOTEM ed Il Banco Prova per Servocomandi di Volo.

STEP 2

Eeguire il Login al PC. Al momento, soltanto l'account del responsabile del laboratorio Davide Negro è abilitato all'utilizzo del software "Centrale Bosch": l'accesso al PC con altre credenziali non consente di lanciare il software.

STEP 3

Lanciare il software "Centrale Bosch".

STEP 4

Recarsi nel locale della centrale idraulica.

STEP 5

Attivare Il sezionatore generale mostrato in Figura 2 agendo sulla leva rossa. Verificare che l'interruttore in basso a sinistra sia su ON.

STEP 6

Aprire la valvola sulla linea dell'acqua diretta allo scambiatore della centrale.

STEP 7

Alimentare il pannello di controllo della centrale (Figura 3) agendo sulla leva nera ed attendere (circa 30 secondi) fino a quando il lampeggiante rosso collocato sopra il quadro non si attiva.

STEP 8

Premere in sequenza, sul pannello di controllo, i pulsanti RESET CIRCUITO DI EMERGENZA e RESET ALLARMI, è possibile che in seguito al comando RESET CIRCUITO DI EMERGENZA venga attivata una sirena, questa cesserà con il comando RESET ALLARMI. Ignorare l'eventuale preallarme "WARNING Minima Temperatura Olio < 25°" sul pannello LCD.

STEP 9

Tornare al PC nel BOX di Meccatronica e Servosistemi e sull'interfaccia del software premere il pulsante **LogON** per inserire le credenziali di accesso.

STEP 10

Premere il pulsante **SetUp** e selezionare l'opzione **Locale** nel riquadro "Attiva Controllo Locale" (Figura 7).

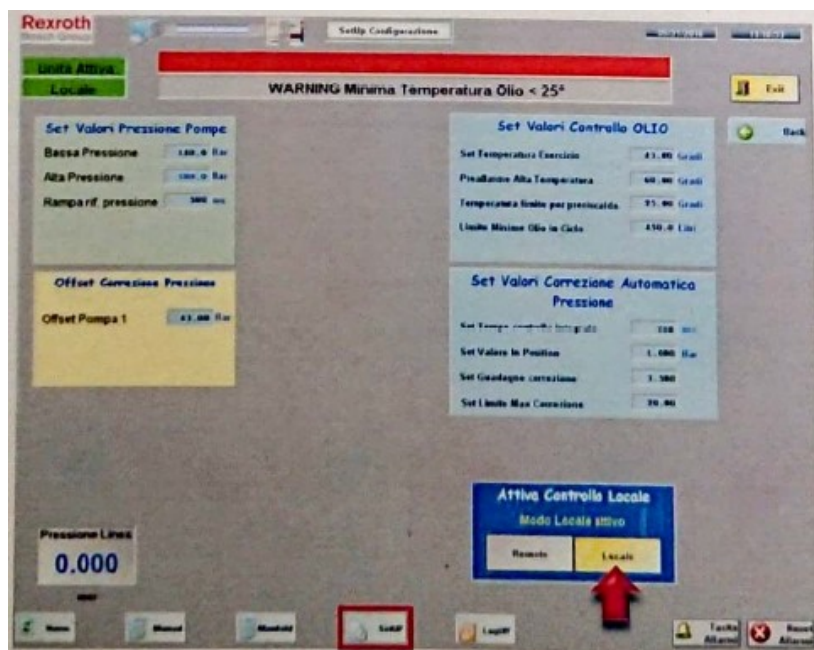


Figura 7: Sezione SetUP

STEP 11

Premere il pulsante Home e attivare la pompa di sovralimentazione premendo il pulsante **“Avvia PompaSovral”** se il preallarme "WARNING Minima Temperatura Olio < 25°" è attivo (Figura 8). Se la temperatura dell'olio risulta essere maggiore o uguale a 25°C, il preallarme non verrà mostrato e non sarà necessario compiere altre operazioni in questo STEO; in caso contrario, attendere che l'olio si riscaldi e che il preallarme scompaia.

NOTA 1

Se la temperatura dell'olio è al disotto dei 14°C circa, è possibile che dopo qualche secondo dall'attivazione della pompa di sovralimentazione appaia un allarme relativo all'intasamento del filtro della pompa stessa. In questo caso, attendere che l'olio raggiunga una temperatura 14°C o poco più tramite le sole resistenze di preriscaldamento. In seguito, premere il pulsante **Reset Allarmi** in basso a sinistra ed avviare di nuovo la pompa di sovralimentazione.

NOTA 2

Lo stato dei gruppi motopompa principale e sovralimentazione è indicato dal colore della cornice:

- Blu: pompa non avviata.
- Rossa: presenza di un allarme e la pompa non può essere avviata.
- Gialla: presenza di un preallarme; se la pompa è attiva non viene arrestata ma può essere attivata.

NOTA 3

Nella maggior parte dei casi, anche nei mesi estivi, l'olio della centrale dopo circa un giorno di inutilizzo si porta al di sotto del 25°C, temperatura al di sotto della quale la pompa di mandata non può essere avviata. Al termine dello STEP 8, se la temperatura dell'olio risultava essere inferiore a 25°C, la centralina di controllo della centrale ha automaticamente attivato le resistenze di preriscaldamento. Arrivati in questa fase, è quindi necessario avviare la pompa di sovralimentazione tramite l'apposito pulsante per velocizzare il processo di riscaldamento.

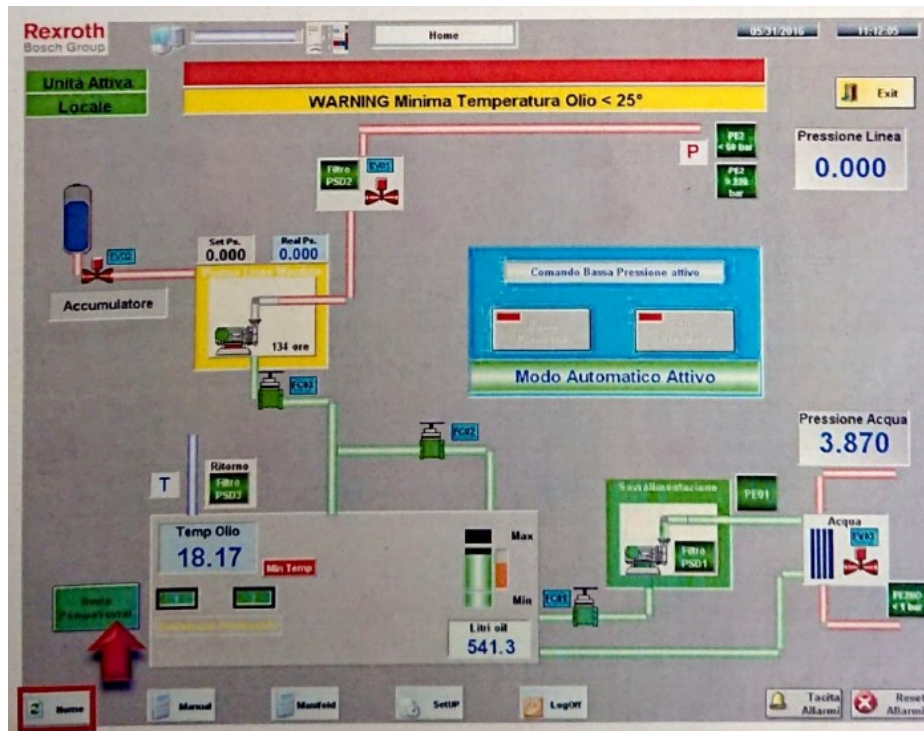


Figura 8: Avviamento della pompa di sovralimentazione

STEP 12

Avviare la pompa di mandata premendo il pulsante Bassa Pressione ed attendere che la pressione della linea raggiunga un valore di circa 140 bar (Figura 9). A questo punto è possibile passare allo step successivo oppure premere il pulsante **Alta Pressione** (nel caso, attendere che la pressione della linea raggiunga un valore di circa 180 bar).

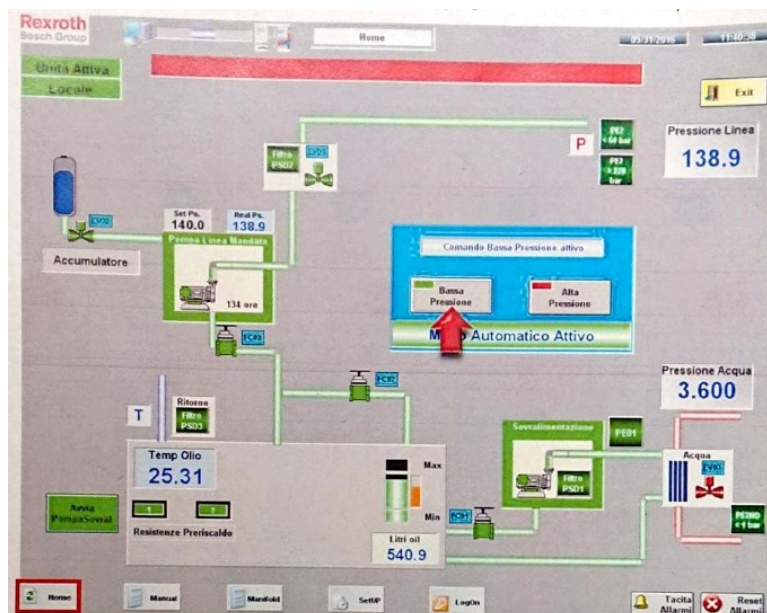


Figura 9: Attivazione della modalità bassa pressione

STEP 13 (SOLO PER BANCO PROVA SERVOCOMANDI DI VOLO)

Premere il pulsante **Manifold**: la pagina si mostrerà come indicato in Figura 10. Attivare in sequenza i seguenti pulsanti.

Bassa portata/Bassa pressione (flusso chiuso)



Bassa portata/Bassa pressione (flusso aperto)



Bassa portata/Alta pressione (flusso aperto)



Alta portata/Alta pressione (flusso strozzato)



Alta portata/Alta pressione (pieno flusso)



Figura 10: Manifold

BIBLIOGRAFIA

- Bertolino, C. A., Iannotti, P., & Sorli, M. (2019/2020). *Validazione di un modello multibody di vite a ricircolo di sfere nell'ambito dello sviluppo di tecniche di prognostica su attuatori elettromeccanici*. Torino: Politecnico di Torino.
- Chiavaroli, P. (2017). *Capitolato tecnico*. Torino: Politecnico di Torino.
- De Martin, A., & Jacazio, G. (s.d.). *SAE AIR8012 - Prognostics and Health Management Guidelines for Electro-Mechanical Actuators*.
- Di Rito, G., Galatolo, R., & La Placa, V. (2007/2008). *Definizione di architettura, progettazione e analisi della rigidità strutturale di un attuatore elettromeccanico fault-tolerant per comandi di volo*. Pisa: Università degli studi di Pisa.
- Ambrosino, N., Chiavaroli, P., Evangelista, G., & Sorli, M. *Implementazione di un servoattuatore elettromeccanico lineare a rulli planetari: progettazione dei software, modellazione e verifiche sperimentali*. Torino: Politecnico di Torino.
- De Martin, A., Gaidano, M., & Sorli, M. (2020). *Sperimentazione su banco prova servocomandi EMA (prj ASTIB Clean Sky H2020)*. Torino: Politecnico di Torino.
- Sorli, M., 2010. *Dispense del corso di mecatronica*. Torino: Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale
- Frosini, L. *Il motore brushless (1° parte): principi di funzionamento*. Pavia: Università di Pavia.
- Talpone, F. *Motori Brushless, Motori DC e Motori AC*.
- Ferraris, L. *Macchine elettriche: il campo magnetico rotante*. Torino: Politecnico di Torino.
- Gaidano, M. *Manuale di accensione ed utilizzo del Banco Prova Servocomandi di Volo*. Torino: Politecnico di Torino.
- Chiavaroli, P. *Guida alla messa in funzione della Centrale Idraulica per l'utilizzo del TOTEM e del Banco Prova Servocomandi di Volo*. Torino: Politecnico di Torino.
- National Instruments, 2014. *LabVIEW Core 1 - Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, 2014. *LabVIEW Core 2 - Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, 2014. *LabVIEW Real Time 1- Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, 2014. *LabVIEW Real Time 2- Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, 2014. *LabVIEW FPGA - Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, 2014. *Embedded Control and Monitoring Using LabVIEW - Participant Guide*. s.l.: National Instruments.
- National Instruments, *NI 9205 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/374188a_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9218 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/376918a_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9223 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/374223a_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9263 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/373781b_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9375 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/378026b_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9401 Datasheet*, <https://www.ni.com/pdf/manuals/374068a_02.pdf>.
- National Instruments, *NI 9482 Datasheet*, <<https://www.ni.com/pdf/manuals/373948b.pdf>>.

Danisense, *Sensore di corrente DS50UB-10*, < <https://www.danisense.com/images/pdf/0-600A/DS50UB-10V.pdf>>.

Verivolt, *Sensore di tensione IsoBlock-V4c*, <<https://www.verivolt.com/web/content/14979/IsoBlock%20V-4%20spec%20sheet.pdf>>.