

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Elettrica**

Tesi di Laurea Magistrale

**L'esecuzione di prove di cicli termici su
apparecchiature elettriche in laboratorio
automatico**



Relatore:

prof.: GIANFRANCO CHICCO

Co-Relatore:

Ing.: PAOLO EMILIO ROCCATO

Candidato:

PASQUALE PICCARREDA

Indice

Indice delle figure	2
1. Introduzione.....	3
1.1 INRIM e Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti.....	4
1.2 Sistema normativo e prove su apparecchiature elettriche	5
1.2.1 Cicli termici e differenze tra norme dei componenti.....	6
2.Laboratorio e complesso di prova.....	10
2.1 Messa in sicurezza dell'area di prova.....	11
2.1.1 Barriera di protezione.....	11
2.1.2 Segnalazioni luminose	15
2.1 Descrizione progetto e posizionamento dei quadri	16
2.2 1 Quadro di controllo.....	17
2.2.2 Quadro secondario	17
3 Progetto dell'automazione e del controllo	20
3.1 Piattaforma hardware	20
3.2 Piattaforma software.....	21
4 Realizzazione del software RealTime e PC.....	26
4.1 Ingressi/Uscite del sistema.....	26
4.2 Software RealTime.....	27
4.3 Software PC (<i>Human Machine Interface</i>)	35
5 Conclusioni e sviluppi futuri	39
Appendice A.....	41
Software LabView	41
Bibliografia	44
Sitografia	44
Sitografia Immagini.....	44

Indice delle figure

Figura 1. Spinterometro del LATFC.....	5
Figura 2. Andamento qualitativo della temperatura durante un ciclo termico	7
Figura 3. Diagramma di flusso della procedura di prova relativa ai condotti sbarra	8
Figura 4. Diagramma di flusso della procedura di prova relativa ai giunti dei cavi MT	9
Figura 5. Piantina del seminterrato, in rosso la barriera di protezione	10
Figura 6. Quadro di regolazione dell'autotrasformatore	10
Figura 7. Autotrasformatore Hipotronics	11
Figura 8. Distanze di protezione contro i contatti diretti (Immagine tratta dalla Norma CEI EN 50191)	13
Figura 9. Barriera dopo il posizionamento	14
Figura 10. Esempio di torretta luminosa	15
Figura 11. Piantina del laboratorio con evidenziata la colonna dove si posizionerà il quadro secondario	18
Figura 12. Terminaliera.....	18
Figura 13. CompactDAQ 9137	20
Figura 14. Rappresentazione delle comunicazioni tra PC e cDAQ	22
Figura 15. Struttura base di un attore	23
Figura 16. Struttura dell'interfaccia utente	24
Figura 17. Base di una linea di script	26
Figura 18. Parametro per il comando di Heating	26
Figura 19. Conversione script testuale in lista di comandi eseguibili.....	28
Figura 20. Generica linea di script del comando Run	28
Figura 21. Block diagram del comando Run	28
Figura 22. Generica linea di script del comando Setpoint.....	29
Figura 23. Block diagram del comando Setpoint.....	29
Figura 24. Generica linea di script del comando heating	29
Figura 25. Block diagram del comando heating	30
Figura 26. Block diagram del SubVI ChkStability	31
Figura 27. Generica linea di script del comando cooling.....	31
Figura 28. Block diagram del comando cooling.....	32
Figura 29. Generica linea di script del comando ChkNcycle.....	32
Figura 30. Block diagram del comando ChkNcycle.....	32
Figura 31. Generica linea di script del comando Do.....	33
Figura 32. Block diagram del comando Do	33
Figura 33. Block diagram dell'attore ExecuteScript.....	33
Figura 34. Block diagram dell'attore controller	34
Figura 35. Block diagram dell'attore CheckSystem	34
Figura 36. Front Panel del software di supervisione	35
Figura 37. Block diagram del SubVI chk4do	36
Figura 38. Front panel dell'attore Configuration.Channels	36
Figura 39. Front panel dell'attore configuration.alarm.....	37
Figura 40. Front panel dell'attore allarmi.....	38
Figura 41. Linea di script dell'interprete realizzato	39
Figura 42. Generico Front Panel	41
Figura 43. Generico Block Diagram	42

1. Introduzione

Il presente elaborato è frutto del lavoro di tesi svolto presso il Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti (LATFC) dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) e descrive il progetto e la realizzazione di un nuovo sistema di controllo automatico, supervisione e misura delle prove relative a cicli termici su apparecchiature elettriche.

Il sistema, realizzato con il software LabView® di National Instruments, permette di automatizzare tutto il processo della prova imponendo la sequenza delle operazioni da svolgere tramite uno *script* in formato testo. Dunque il lavoro dell'operatore si riduce a:

- Configurazione iniziale del sistema: a livello hardware (collegamenti di termocoppie ed eventuali altri ingressi di misura) e a livello software (configurazione degli allarmi e dei canali analogici\digitali);
- Scrittura dello *script* in formato txt;
- Supervisione del corretto svolgimento della prova;
- Misure manuali quando richiesto.

L'obiettivo è stato quello di rendere quasi autonomo il sistema. Ogni singolo ciclo completo di una prova è composto da un riscaldamento ed un raffreddamento fino alle rispettive temperature di equilibrio. Questo processo può durare anche molte ore (ad esempio per i condotti sbarra, il singolo ciclo può durare dalle 4 alle 6 ore). Per questo motivo si richiede un sistema in grado di indicare, tramite segnalazioni luminose e notifiche su dispositivi elettronici, quando è richiesta la misura manuale: l'operatore può quindi essere impiegato in altre attività supportando lo svolgimento automatico della prova solo quando il sistema lo richiede.

Il sistema di controllo e misura è basato su un CompactDAQ 9137 RealTime di National Instruments, su cui è gestita automaticamente tutta la sequenza delle operazioni del test. L'applicazione che gestisce il sistema sarà composta da due parti: un eseguibile RealTime a cui sono demandate la funzione di dialogo con l'interfaccia utente sul computer, lo svolgimento della sequenza di operazioni e la verifica costante degli allarmi del sistema, e una *Human Machine Interface* (interfaccia utente) realizzata su computer, che permette l'impostazione e la visualizzazione di tutti i parametri di prova.

Lo studio è iniziato dalla messa in sicurezza della zona di laboratorio adibita a questo progetto secondo la vigente normativa internazionale e sulla scelta degli ingressi e delle uscite principali, necessari all'applicazione.

Nel secondo capitolo è descritta tutta la realizzazione del laboratorio, dalla scelta delle barriere di sicurezza fino al posizionamento dei quadri.

I capitoli successivi descrivono la piattaforma hardware, la piattaforma software ed il funzionamento del programma Real-Time e PC.

1.1 INRIM e Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti

L'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) è un Ente Pubblico di Ricerca scientifica, con sede a Torino, sotto la sorveglianza del Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca.

L'INRIM è l'Istituto Metrologico Primario, come tale:

- Realizza i campioni primari delle unità di misura fondamentali e derivate del Sistema Internazionale delle unità di misura (SI);
- Assicura il mantenimento di tali campioni e partecipa ai confronti internazionali;
- Garantisce e dissemina la riferibilità delle misurazioni italiane al SI;
- Rappresenta l'Italia a livello internazionale come ente metrologico.

L'attività metrologica è sostenuta e affiancata dalla ricerca di base e applicata in numerosi settori: la scienza dei materiali, le nanoscienze, l'ottica quantistica, lo sviluppo di tecnologie e strumenti di misura innovativi, gli studi sulle costanti fondamentali della fisica.

L'Istituto supporta l'innovazione tecnologica sia a livello nazionale che internazionale, partecipa ai programmi di ricerca europei sia attraverso le proprie strutture che in collaborazione con organismi pubblici o privati.

All'interno di INRIM si colloca il Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti (LATFC), con ubicazione nella sede storica dell'INRIM (ex Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris).

Il LATFC è un laboratorio di taratura e prova le cui attività sono prevalentemente rivolte alle apparecchiature elettriche, quali quadri, interruttori, fusibili, contattori, trasformatori e sistemi di misura, seguendo la vigente normativa. Il laboratorio svolge anche un grande lavoro di ricerca scientifica nell'ambito dell'elettromeccanica.

Il laboratorio è diviso in tre aree:

- Area Forti Correnti Transitorie;
- Area Forti Correnti Stazionarie;
- Area Alte Tensioni.

Le suddette aree si trovano al piano terra dell'edificio.

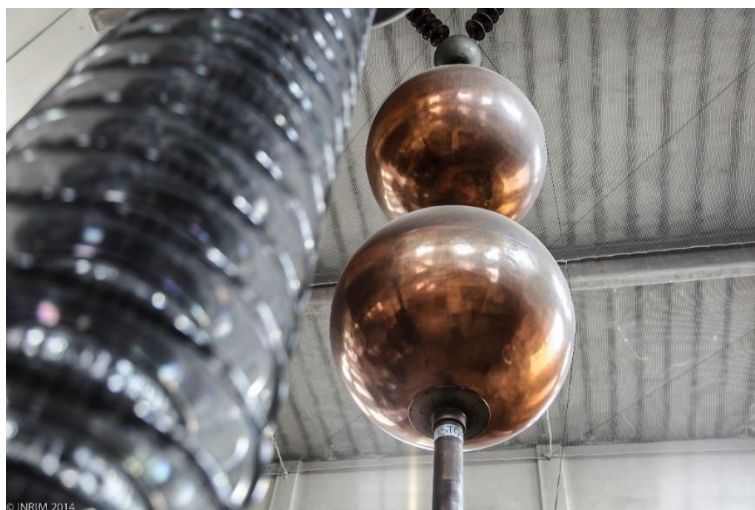


Figura 1. Spinterometro del LATFC

Il luogo adibito alla prova relativa con cicli termici, illustrata in questo elaborato, è invece al piano seminterrato del fabbricato. La scelta è dovuta a due motivazioni principali:

- **Dimensione del circuito di prova:** per questo tipo di test, il circuito di prova può raggiungere lunghezze molto elevate, fino a 40 m. Nell'edificio non sono presenti aree libere di tali dimensioni se non nel seminterrato.
- **Durata delle prove:** le prove dei cicli termici possono durare anche settimane e ciò avrebbe implicato una sospensione delle attività del laboratorio, impedendo l'esecuzione di altre commesse (con conseguente perdita economica).

1.2 Sistema normativo e prove su apparecchiature elettriche

L'avanzamento tecnologico nel settore elettrico ha reso il mercato delle componenti concorrenziale ed in continua evoluzione. In questo contesto, la definizione e l'applicazione delle norme sono fondamentali per garantire la compatibilità tra componenti di produttori differenti e soprattutto il rispetto dei vincoli di sicurezza.

L'organo internazionale che definisce queste norme tecniche è l'International Electrotechnical Commission (IEC). Tra i membri, quali Canada, Giappone e alcune nazioni dell'Europa centrale, vi è l'Italia, rappresentata dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI). L'ente CEI si occupa di definire, elaborare e recepire le normative dello IEC e del CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), comitato volto alla normalizzazione e alla standardizzazione nell'area dell'ingegneria elettrica a livello europeo.

Le norme esplicitano anche le prove da effettuare per il collaudo degli apparecchi elettrici e le modalità con cui queste prove, Prove Tipo e Prove Serie, devono essere eseguite. Le Prove Tipo collaudano il corretto progetto dell'apparecchio prima della messa in produzione, mentre le Prove Serie verificano il corretto funzionamento di campioni di lotti di produzione, o anche di tutti i

prodotti, prima dell'immissione sul mercato. Per quanto concerne le Prove Tipo, di cui si occupa specificatamente il LATFC, il prototipo dell'oggetto da collaudare viene inviato dal produttore al laboratorio di prova che ne verifica l'idoneità. Grazie all'emanazione delle procedure standard da seguire, il LATFC e i laboratori di tutto il mondo ottengono risultati comparabili e, soprattutto, garantiscono l'efficienza e la compatibilità del prodotto a livello internazionale. Ogni componente presenta la sua norma di riferimento in cui viene riportato come deve essere effettuato tutto l'iter di prova; ad oggetti diversi sono associate procedure, modalità di test e valutazione dei risultati molto differenti tra loro.

A tale proposito, all'interno della norma riferita ad un componente, vi è una sezione adibita alle prove elettriche/meccaniche a cui deve essere sottoposto l'oggetto, in cui, a seguito di un'introduzione dove si esplicita cosa si vuole andare a verificare, vengono specificati:

- le procedure da seguire per eseguire la prova;
- il metodo con cui effettuare le misure delle grandezze di riferimento;
- il modo di interpretare i risultati e soprattutto le condizioni ambientali ed al contorno che devono essere verificate per l'esecuzione;
- Gli intervalli di variazione accettabili della grandezza di riferimento citata nella norma per dichiarare il componente idoneo.

Nel corso del lavoro di tesi sono state studiate le norme relative ai cicli termici dei componenti a cui si darà particolarmente attenzione nel paragrafo successivo.

1.2.1 Cicli termici e differenze tra norme dei componenti

La prova dei cicli termici sottopone il componente a stress termico al fine di valutarne il comportamento in relazione ai continui cambiamenti di temperatura che il comune esercizio comporta.

Un ciclo completo (Figura 2) è costituito da:

- Riscaldamento: se non specificato diversamente nella norma, avviene alimentando il componente con la sua corrente nominale fino al raggiungimento dell'equilibrio termico;
- Raffreddamento: avviene spegnendo l'alimentazione e lasciando raffreddare il componente fino alla temperatura ambiente, liberamente oppure forzando l'aria attraverso ventilatori.

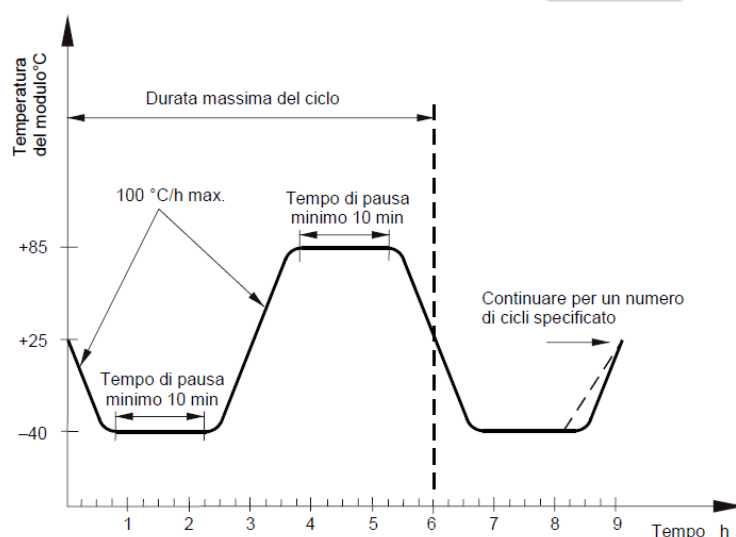


Figura 2. Andamento qualitativo della temperatura durante un ciclo termico

Per un sistema ad una certa temperatura e con date condizioni al contorno, si suole considerare raggiunto l'equilibrio termico quando tutte le variabili termodinamiche sono costanti nel tempo e subiscono variazioni solo a seguito di una modifica alle condizioni al contorno. In questa trattazione si considera raggiunto l'equilibrio termico quando la temperatura dell'oggetto in prova non varia più di 1 K/h.

Come già sottolineato nel paragrafo precedente, le procedure riportate in norma per ciascun componente risultano molto differenti tra loro e sono inoltre soggette a continui aggiornamenti e revisioni. Per ricavare una procedura automatizzata trasversale a qualsiasi oggetto si sono analizzate le seguenti norme relative a:

- CONDOTTI SBARRA: NORMA CEI EN 61439-6:2013-07;
- GIUNTI CAVI DI MEDIA TENSIONE (MT): IEC 60840: 2011-11;
- GIUNTI: NORMA CEI EN 61284:1999-06;
- CONNETTORI: NORMA CEI EN 61238-1:2004-05.

Si vogliono confrontare la norma relativa ai condotti sbarra con quella relativa ai giunti dei cavi di MT, analizzando solo le procedure di test relative al ciclo, tralasciando eventuali condizioni relative e montaggio e posizionamento dei componenti:

- NORMA CEI EN 61439-6:2013-07:

"[...] La corrente di prova è applicata fino a quando le temperature non si sono stabilizzate. Le temperature come specificato per la prova di sovratemperatura, sono registrate. Entrambe le correnti sono interrotte e il campione è lasciato ritornare alla temperatura ambiente.

Il campione è sottoposto quindi a 84 cicli, che a loro volta possono essere composti da:

1. 3h (ON) con corrente nominale e 3h (OFF) senza corrente;

2. 2h (ON) con corrente nominale e 2h (OFF) senza corrente, se le temperature misurate alla fine del periodo iniziale di 2h (ON) con corrente sono entro 5 K delle temperature registrate alla fine del periodo di stabilizzazione.

Le temperature prese dopo l'84-esimo ciclo non devono superare di 5 K le temperature registrate alla fine del periodo di stabilizzazione."

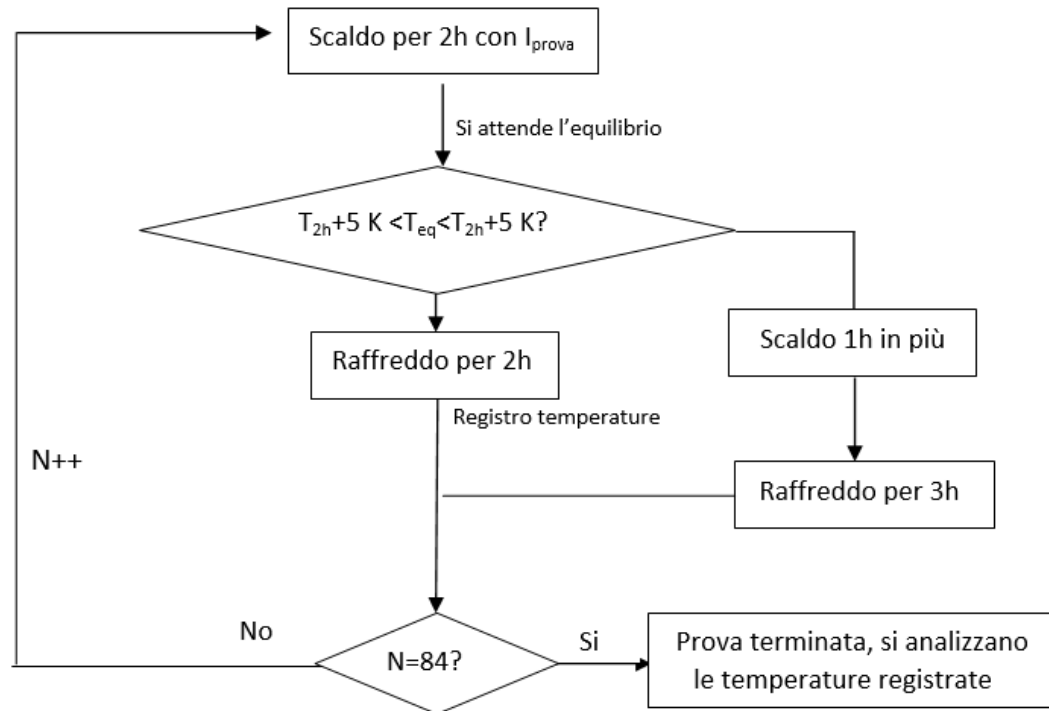


Figura 3. Diagramma di flusso della procedura di prova relativa ai condotti sbarra

- IEC 60840: 2011-11:

“Il sistema di prova deve essere riscaldato dalla sola corrente, che percorre il conduttore, fino ad una temperatura di equilibrio dai 5 K ai 10 K, superiore alla massima temperatura di esercizio del conduttore.

Il riscaldamento deve essere applicato per almeno 8h, la temperatura del conduttore deve essere mantenuta nei limiti dichiarati per almeno 2h, durante ogni periodo di riscaldamento. Il riscaldamento è seguito da almeno 16 ore di raffreddamento a temperatura ambiente, fino a che la temperatura del conduttore sia minore di 30°C o minore della temperatura ambiente più 10 K (viene assunta la maggiore delle due condizioni). Devono essere effettuati almeno 20 cicli completi. Durante tutto il periodo di prova deve essere costantemente applicata una tensione di 2 U_o (dato tabellato in funzione della tensione nominale) al sistema. [...] Al termine della prova si deve procedere ad una dissezione del campione e distacco di tutti gli accessori utilizzati per creare il

circuito di test. Un'attenta ispezione visiva del componente, senza ingrandimento, non deve rivelare alcun tipo di segno d'usura o di deterioramento”

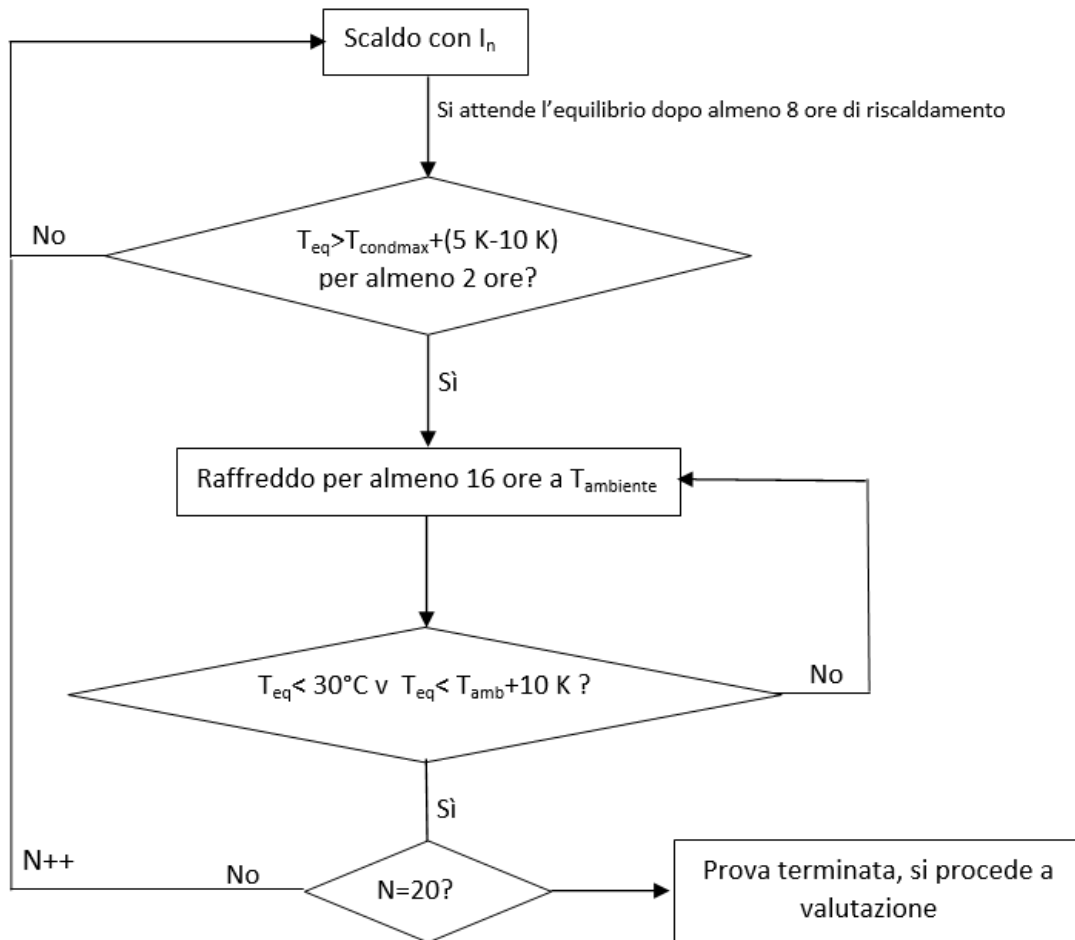


Figura 4. Diagramma di flusso della procedura di prova relativa ai giunti dei cavi MT

Valutando i flow chart dei due processi di prova (Figura 3-Figura 4), si riscontrano le diversità di approccio, di tempistiche, di modalità di riscaldamento e raffreddamento, e di vincoli da imporre per la realizzazione del ciclo. La differenza sostanziale riguarda soprattutto le grandezze di riferimento da misurare per valutare l'idoneità del componente. Se per i condotti sbarra si registrano ciclicamente le temperature e si effettua l'analisi dei risultati al termine della prova, per quanto attiene i giunti nei cavi MT abbiamo bisogno di sezionare il cavo e effettuare un'accurata ispezione finale. Per giunti e connettori l'approccio cambia ulteriormente: infatti si misura ciclicamente la resistenza ohmica valutando che, al termine della prova, non abbia subito una variazione superiore all'intervallo consentito prestabilito. Attraverso lo studio del sistema normativo quindi, l'obiettivo del lavoro è stato quello di astrarre, con il supporto dell'informatica e della programmazione, una procedura generale da poter implementare nel software al fine di ottenere un sistema che, configurato opportunamente, risulti applicabile per la prova di qualunque oggetto indipendentemente dalla diversità delle procedure.

2.Laboratorio e complesso di prova

L'area adibita a zona di laboratorio per i cicli termici, come già espresso nell'introduzione, si trova nel seminterrato della palazzina, di cui si riporta la planimetria (Figura 5).

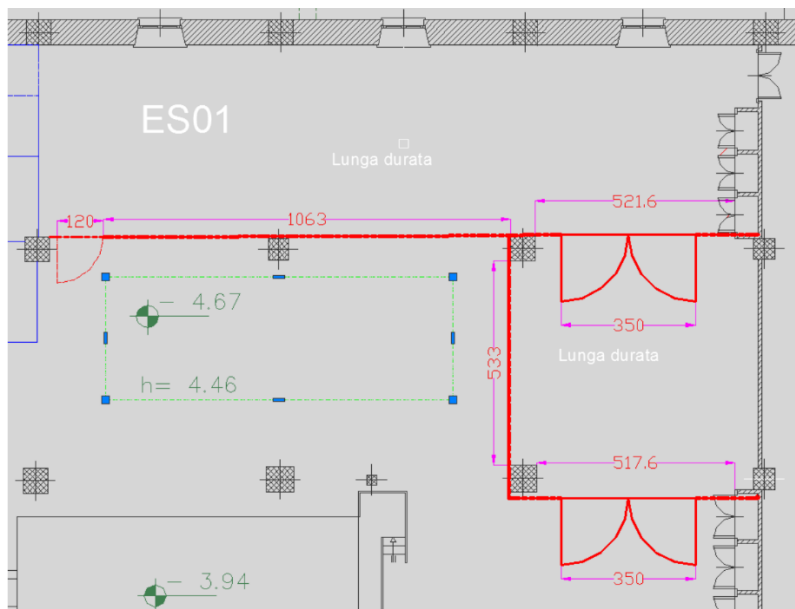


Figura 5. Piantina del seminterrato, in rosso la barriera di protezione

L'alimentazione delle parti attive è fornita da un autotrasformatore Hipotronics trifase (Figura 7) con nucleo a mantello con potenza nominale di 90 kVA e con regolazione da 0 a 400 V.

Il CompactDAQ è progettato per dialogare con il quadro di controllo dell'autotrasformatore (Figura 6) tramite l'esecuzione dell'applicazione sviluppata, generando segnali digitali in output del tipo ON\OFF e UP\DOWN, volti ad accendere\spegnere l'alimentazione e incrementare\diminuire la tensione per controllare la corrente in uscita. Il sistema di controllo è stato predisposto anche per l'interfacciamento con un generatore di alta tensione, nel caso le prove necessitino della verifica combinata in tensione e corrente. La tensione massima di prova raggiungibile è 340 kV.

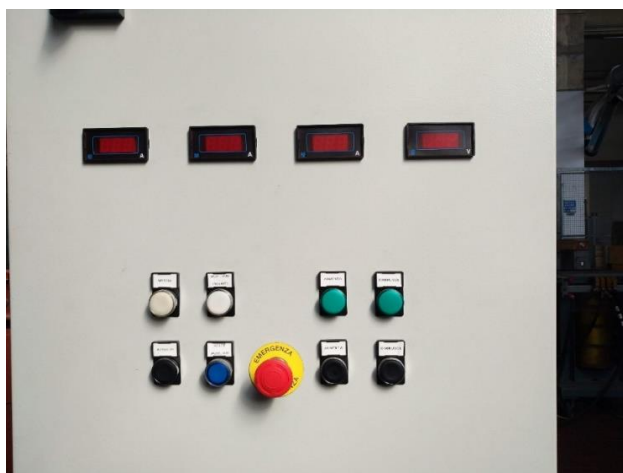


Figura 6. Quadro di regolazione dell'autotrasformatore



Figura 7. Autotrasformatore Hipotronics

2.1 Messa in sicurezza dell'area di prova

2.1.1 Barriera di protezione

La progettazione del laboratorio e del complesso di prova è perfettamente congrua con la Norma Europea CEI EN 50191 2011-09 "Installazione ed esercizio degli impianti elettrici di prova" a cui ci si riferisce nell'elaborato. Lo scopo di tale norma è fornire indicazioni di sicurezza riguardanti sia il luogo di svolgimento della prova che l'esercizio della prova stessa. La norma indica: "La zona inibita è il volume attorno alle parti attive che non dovrebbe essere penetrato se non è fornita una completa protezione contro i contatti diretti con dette parti. Il complesso di prova deve essere disposto e progettato in modo da assicurare la protezione contro i contatti diretti con l'isolamento delle parti attive, con coperture, con involucri, con ostacoli o con distanze di sicurezza. Una distanza di sicurezza è tale quando la persona che esegue la prova non può raggiungere la zona inibita con parti del suo corpo o con attrezzi".

Il confine della zona inibita viene determinato consultando la seguente tabella in funzione della tensione di prova (s è la distanza in aria delle parti attive).

Tensione alternata di prova 50\60 Hz (V _{rms})		Tensione a impulso atmosferico 1.2\50µs (V _{pk})		Tensione a impulso di manovra 250\2500 µs (V _{pk})	
U (kV)	s (mm)	U (kV)	s (mm)	U (kV)	s (mm)
<1	Nessun contatto	20	100	500	2000
3	20	40	175	600	2600
5	30	60	250	700	3300
6	35	80	325	800	4100
10	60	100	400	900	4900
15	85	150	550	1000	5800
20	115	200	700	1100	6800
25	140	250	850	1200	7800
30	170	300	1000	1300	8900
35	195	350	1100	1400	10000
40	225	400	1200	1500	11200
45	250	450	1300	1600	12500
50	280	500	1400		
55	305	600	1650		
60	335	700	1950		
70	390	800	2200		
80	450	900	2450		
90	510	1000	2700		
100	560	1100	2950		
110	620	1200	3250		
130	740	1300	3500		
150	860	1400	3750		
170	980	1500	4000		
190	1100				
210	1240				
220	1300				
260	1550				
300	1850				
340	2150				

Valori intermedi possono essere ottenuti mediante interpolazione, tuttavia, non è ammessa l'estrapolazione lineare oltre i valori massimi specificati

Per tensioni di prova fino a 1000 V in c.c., la distanza "s" deve essere conforme ai valori delle tensioni a impulso atmosferico

La tabella non è applicabile alle tensioni ad altra frequenza o ad altre tensioni oltre quelle qui specificate.

Le proprietà fondamentali che una barriera deve soddisfare da norma sono:

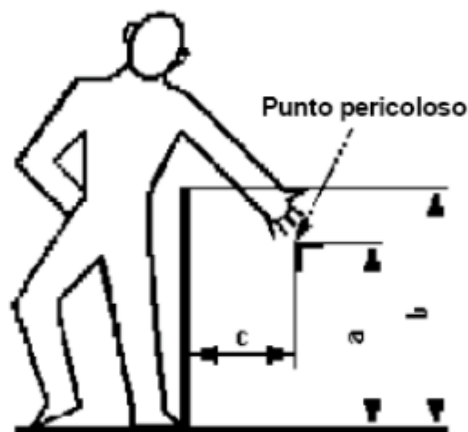
- Evitare l'accesso all'area di prova a persone diverse da quelle che eseguono la prova;
- Evitare che persone diverse da chi esegue la prova raggiungano la zona inibita;
- Evitare che persone al di fuori della barriera raggiungano i dispositivi in esercizio degli impianti di prova.

La distanza minima tra la barriera ed il confine della zona inibita si valuta consultando la seguente tabella, in cui le grandezze a , b e c sono descritte dalla Figura 8:

Distanza del punto di pericolo dal pavimento a	Altezza del bordo dei mezzi di protezione (barriera) b							
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
	Distanza orizzontale c tra i mezzi di protezione (barriera) e il punto di pericolo							
2400	100	100	100	100	100	100	100	100
2200	600	600	500	500	400	350	250	
2000	1100	900	700	600	500	350		
1800	1100	1000	900	900	600			
1600	1300	1000	900	900	500			
1400	1300	1000	900	800	100			
1200	1400	1000	900	500				
1000	1400	1000	900	300				
800	1300	900	600					
600	1200	500						
400	1200	300						
200	1100	200						

I valori inferiori a 1000 mm dal bordo " b " non sono specificati in quanto ciò non permetterebbe un maggior allungo della mano e in più vi sarebbe il rischio di cadere nell'area di prova

Le barriere, ad esempio nastri, corde, catene o barre, sono fissati tra 1000 mm e 1400 mm di distanza dal pavimento. La distanza minima da terra (sag) non scende sotto gli 800 mm.



Legenda

- a Distanza tra il punto di pericolo e il pavimento (il punto di pericolo è il punto del confine della zona inibita che ha la distanza più breve dal bordo dei mezzi di protezione)
- b Altezza del bordo dei mezzi di protezione
- c Distanza orizzontale tra il bordo dei mezzi di protezione e il punto di pericolo

Figura 8. Distanze di protezione contro i contatti diretti (Immagine tratta dalla Norma CEI EN 50191)

Alla luce del massimo livello di tensione della prova e degli altri parametri di sicurezza l'area del laboratorio è chiusa con una recinzione alta 2.2 m, a partire dal pavimento. L'area è dotata di una porta con luce utile di 120 cm, senza traverse superiori per il passaggio di carichi su transpallet

motorizzato, e due portoni a doppio battente con luce utile di 350 cm, necessariamente senza traverse superiori per il passaggio dei carichi.

La porta è dotata internamente di maniglione antipánico, mentre i portoni hanno chiusure fisse. Tutti i varchi sono dotati di chiavi con interblocco, in particolare la chiavi della porta sono inserite in apposita chiaviera con consenso elettrico al sistema di supervisione dell'impianto.

Sempre secondo la norma:

“Normalmente i mezzi di protezione contro i contatti diretti devono garantire almeno il grado di protezione IP3X conformemente alla norma EN 60529 e includere tutte le parti dell'oggetto in prova. Non deve essere possibile stabilire le tensioni di prova fino a quando i mezzi di protezione non siano completamente operativi e funzionanti in modo corretto. L'apertura dei mezzi di protezione deve scollegare automaticamente la tensione di prova e le tensioni residue devono essere ridotte automaticamente a un livello non pericoloso prima di poter toccare parti attive.”

Nel nostro caso però è stato possibile evitare il grado di protezione IP3X poiché l'involucro del complesso di prova è:

- Costituito da pareti solide alte almeno 1800 mm;
- Munito di dispositivi che non permettono l'apertura delle porte verso l'area di prova fino che la tensione di prova non sia stata spenta;

Nella Figura 5, è possibile notare la disposizione della barriera. I due ambienti separati (segnalati dalla scritta “Lunga durata”) sono quindi dotati di porte con sensori, per inviare un segnale di allarme qualora una di esse fosse aperta durante il test. La scelta di dividere lo spazio in queste due aree comunicanti è motivata dal fatto che alcune prove richiedono fino a 40 m di lunghezza di impianto e la sola zona 1 non li garantirebbe: qualora sia necessario, la porta tra i due ambienti può non essere chiusa offrendo l'ulteriore spazio richiesto dalla prova.



Figura 9. Barriera dopo il posizionamento

2.1.2 Segnalazioni luminose

La norma impone anche indicatori luminosi, segnali luminosi - rossi e verdi -, cartelli che indichino lo stato dei dispositivi di manovra e lo stato di funzionamento.

Le luci rosse indicano pericolo per l'intero laboratorio di prova ogni volta che lo stato di funzionamento "pronto per l'accensione" o "in esercizio" è presente in almeno una delle aree di prova. Lo stato "in esercizio" implica che tutti gli ingressi all'area di prova siano chiusi e le alimentazioni accese, mentre lo stato "pronto per l'accensione" implica che tutte le alimentazioni siano spente, tutti gli ingressi all'area di prova chiusi e le precauzioni di sicurezza non siano più in atto.

Le luci verdi indicano, invece, che il sistema è sicuro, tutte le alimentazioni sono spente ed il sistema è "pronto per l'esercizio", ciò significa che le alimentazioni per i circuiti di segnalazione e di comando di apparecchiature di manovra negli impianti di prova sono accese, tutte le alimentazioni per fornire tensione sono spente ed assicurate contro manovre involontarie e le precauzioni di sicurezza sono in atto.

I segnali luminosi consistono in torrette con luci che sono state configurate nel seguente modo:

- LUCE ROSSA: Indica che il sistema non è in sicurezza (presenza di tensione) e, se lampeggiante indica l'esistenza di un guasto segnalato da un allarme;
- LUCE VERDE: indica che il sistema è in sicurezza (alimentazione spenta) per cui permette l'ingresso degli addetti nella zona inibita senza alcun rischio;
- LUCE ARANCIONE: indica che il test è terminato, se lampeggiante, indica la necessità della misurazione.



Figura 10. Esempio di torretta luminosa

Le due torrette verranno poste in zone diverse al fine di poter garantire al personale di laboratorio, nonostante la non presenza fisica stabile di un addetto nel seminterrato, il monitoraggio costante dello stato del sistema. La prima sarà posizionata al piano superiore, mentre la seconda al piano inferiore all'ingresso dell'area di prova. Per la supervisione notturna è in progetto l'invio automatico di mail che segnalino all'addetto l'occorrenza di determinati eventi.

L'impianto, conformemente alla norma, possiede inoltre:

- mezzi per lo spegnimento di emergenza tali da togliere tutta l'energia elettrica che potrebbe risultare pericolosa;
- mezzi per la prevenzione dell'accensione non autorizzata e involontaria tramite l'utilizzo di una chiave di consenso senza la quale il quadro risulta completamente disabilitato;
- mezzi per la prevenzione della messa in tensione automatica;
- protezioni contro le tensioni residue ed il trasferimento di tensioni.

2.1 Descrizione progetto e posizionamento dei quadri

Il progetto dei quadri di controllo è iniziato dallo studio, in funzione del software, di tutti gli ingressi e le uscite del sistema, in modo tale da valutare la struttura, la lunghezza ed il posizionamento dei cablaggi.

Il sistema quindi sarà gestito da:

1. QUADRO di CONTROLLO: pulsantiera con tutti i comandi e gli indicatori luminosi;
2. QUADRO SECONDARIO: all'interno il CompactDAQ e sul pannello frontale indicatori luminosi ed il pulsante di emergenza.

La struttura dei quadri è stata realizzata in collaborazione con gli studenti dell'Istituto Tecnico Industriale Statale "Amedeo Avogadro".

Prima di procedere alla realizzazione dei pannelli frontali dei quadri, è stata fondamentale la scelta del posizionamento degli stessi in funzione di numerose variabili:

- spazio a disposizione;
- chiara e costante visibilità delle torrette con segnalazioni luminose;
- ergonomia del laboratorio ed eventuali interferenze con altre zone di prova;
- lunghezza dei cablaggi;
- massima efficienza della prova;
- rispondenza alle normative.

Si riporta, a seguito di un'accurata valutazione, la scelta della posizione dei quadri e la loro descrizione.

2.2 1 Quadro di controllo

Questo quadro è stato posizionato nella zona di laboratorio dove vengono effettuate le prove di sovratemperatura, sovrastante il laboratorio di prova dei cicli termici. La scelta è derivata prevalentemente dall'ergonomia del laboratorio. In quest'area si è pensato di posizionare anche una postazione con un computer per supervisione e controllo, che facilita l'organizzazione del lavoro e gestione della prova.

Il pannello frontale di questo quadro presenterà la pulsantiera con tutti i comandi, quali:

1. EMERGENZA: Pulsante, obbligatorio da norma, che serve a mettere fuori uso l'energia elettrica in situazioni pericolose;
2. START: pulsante che permette l'inizio della sequenza delle operazioni;
3. STOP/PAUSA: pulsante che permette lo stop della sequenza delle operazioni;
4. RESET AUSILIARI: pulsante che permette il reset e l'attivazione degli ausiliari di laboratorio;
5. CONSENSO: sblocco con chiave che non permette la messa in tensione involontaria o non autorizzata;
6. MISURA: pulsante che, effettuata la misura richiesta, permette la ripresa della sequenza di operazioni.

Gli indicatori luminosi invece saranno:

1. SPIA SISTEMA NON SICURO: stesso ruolo della luce di segnalazione rossa;
2. SPIA SISTEMA SICURO: stesso ruolo della luce di segnalazione verde;
3. SPIA ESEGUI MISURA: indica la necessità della misura;
4. SPIA AUSILIARI INSERITI: indica l'inserimento degli ausiliari del laboratorio.

2.2.2 Quadro secondario

All'interno di questo quadro verrà posizionato il CompactDAQ, il controllore verrà fissato ad un pannello metallico e posto orizzontalmente al centro del quadro, così come consigliato sul manuale dello strumento per una buona dissipazione del calore ed una massima efficienza. Il quadro secondario avrà solo funzione diagnostica, infatti presenterà solo alcuni indicatori luminosi e, come unico ingresso, il pulsante di emergenza.

Dopo un'attenta valutazione, si è deciso di collocare il quadro sulla colonna adiacente la porta di ingresso dell'area di prova. Il pilastro scelto è indicato nella Figura 11 dal cerchio nero.

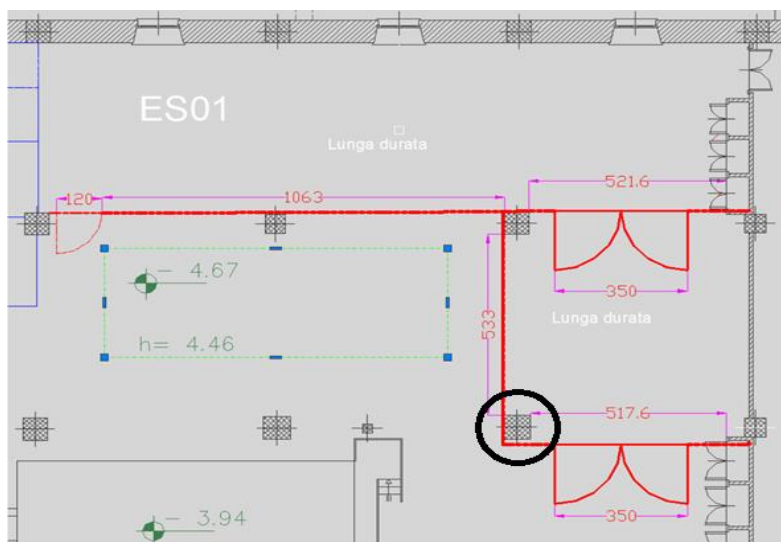


Figura 11. Piantina del laboratorio con evidenziata la colonna dove si posizionerà il quadro secondario

La scelta del punto di posizionamento è derivata dalla necessità di comunicazione tra il quadro principale e il CompactDAQ, agevolata dalla presenza di canaline già predisposte e di fori nel soffitto per il passaggio dei cavi al piano superiore e cablaggio del quadro principale. Collocare il quadro secondario all'esterno dell'area di prova permette facile accesso al CompactDAQ senza interruzione della prova.

Un altro fattore importante che ha influito sulla scelta è la lunghezza dei cablaggi (poiché è da questo quadro che partiranno tutte le connessioni di ingressi ed uscite del sistema). Le misure di temperatura utili per la prova saranno eseguite mediante termocoppie di tipo K, che, partendo dal quadro, raggiungeranno l'area di prova posta all'interno della zona recintata. Misurata la distanza tra colonna e zona delle parti attive, si è constatato che la soluzione più vantaggiosa è quella di cablare le termocoppie dal CompactDAQ sino ad una terminaliera (Figura 12) fissata all'interno dell'area di prova, con possibilità di inserire delle prolunghe per le misure di temperatura. L'utilizzo delle prolunghe rende molto più flessibile la configurazione delle prove in quanto il numero di misure richieste differisce tra i prodotti.

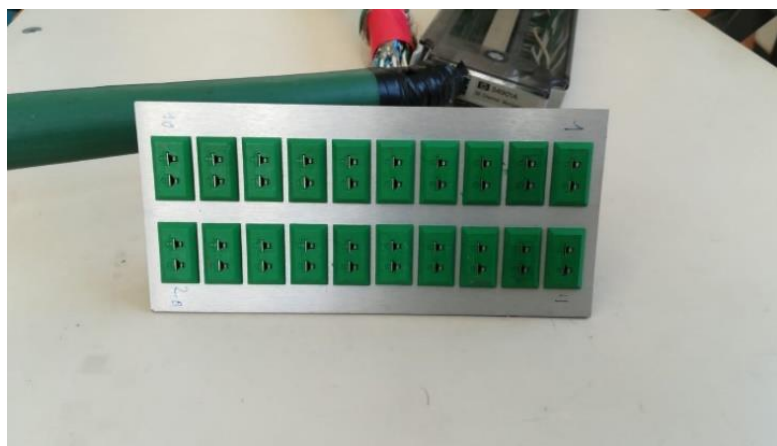


Figura 12. Terminaliera

La scelta di considerare un massimo di 20 termocoppie deriva dallo studio delle norme attualmente vigenti, all'uopo si è ritenuto che questo numero possa essere ampiamente sufficiente per sopperire ad ogni tipo di prova. Si riportano in seguito le uscite presenti sul quadro:

1. SPIA SISTEMA NON SICURO: stesso ruolo della luce di segnalazione rossa;
2. SPIA SISTEMA SICURO: stesso ruolo della luce di segnalazione rossa;
3. SPIA ESEGUI MISURA: indica la necessità della misura.

3 Progetto dell'automazione e del controllo

In questo capitolo vengono descritte le motivazioni alla base della scelta della piattaforma hardware e della piattaforma software utilizzate per il progetto del sistema di automazione.

La scelta della piattaforma hardware e software basata sui prodotti National Instruments è stata dettata dalla conoscenza dell'ambiente di sviluppo, dalla disponibilità in INRIM della licenza per questo ambiente e della flessibilità e scalabilità delle soluzioni hardware.

3.1 Piattaforma hardware

La scelta della piattaforma hardware da utilizzare era stata effettuata tenendo in considerazione i seguenti fattori: l'affidabilità, la scalabilità e la sicurezza della piattaforma e della sua implementazione software.

La scelta è ricaduta sul Controller CompactDAQ 9137 (Figura 13) a otto slot di National Instruments che garantisce un'estrema efficienza e soprattutto, tramite la logica RealTime, è in grado di gestire autonomamente la sequenza delle operazioni di prova. *NI LabVIEW RealTime Module* è un add-on di LabVIEW per lo sviluppo e il debug di applicazioni grafiche che possono essere scaricate ed eseguite su dispositivi hardware embedded come CompactRIO, CompactDAQ, PXI, sistemi di visione o PC di terze parti.



Figura 13. CompactDAQ 9137

La parte RealTime dell'applicazione progettata, eseguita dal CompactDAQ, sarà in grado di interpretare lo script testuale con i comandi da eseguire e di coordinare tutta la prova senza bisogno di un'interfaccia utente costantemente attiva. Questo implica che lo spegnimento del computer di supervisione non comporta l'interruzione della prova. Il CompactDAQ sarà in grado di comunicare con qualsiasi PC che si colleghi alla rete Ethernet rendendo così accessibile, a qualunque computer dotato dell'applicazione PC, la supervisione.

3.2 Piattaforma software

L'ambiente di sviluppo utilizzato, in virtù della piattaforma hardware scelta, è stato Labview 2017 SP1 di National Instruments. Nella scelta di eventuali librerie aggiuntive erano stati privilegiati la stabilità ed il supporto di National Instruments, con l'obiettivo di assicurare un sistema affidabile. Per garantire una maggiore flessibilità e manutenibilità del codice è stato utilizzato un framework, già implementato in INRIM, costituito da moduli chiamati "attori", comuni alle diverse piattaforme hardware presenti nel sistema.

Tuttavia, sia il computer per l'HMI e sia il controller RealTime condividono una serie di moduli, i quali gestiscono le funzioni base del sistema. Ogni piattaforma hardware avrà inoltre degli attori programmati a partire da un modulo generico, che permettono la specializzazione delle funzioni eseguite.

L'esecuzione degli attori necessari all'applicazione avviene tramite un modulo (LoadApp) caratterizzante per ogni esecuzione istanziata o piattaforma, ad esempio lato computer possono essere lanciate diverse esecuzioni (applicativi) differenti con funzioni specifiche, mentre normalmente le piattaforme RealTime gestiscono una singola applicazione con più moduli.

L'attore LoadApp provvede al caricamento ed avvio dinamico dei componenti richiesti ed alla loro chiusura al termine dell'esecuzione dell'applicazione, mediante una conoscenza degli attori messi in esecuzione, con una logica padre-figlio. Il caricamento dinamico permette l'esecuzione contemporanea dei diversi attori, garantendo la simultaneità delle operazioni. Al momento del lancio dei singoli moduli può essere verificata l'effettiva attivazione degli stessi in modo da garantire un ordine di avvio congruente con le registrazioni ed i messaggi scambiati tra le diverse parti. Per garantire la massima flessibilità del sistema ogni attore può essere esecutore di ulteriori attori, mantenendo la logica padre-figlio; la chiusura dell'applicazione è garantita da una catena di azioni per cui ogni modulo, prima di fermarsi, comanda la chiusura dei figli. Virtualmente l'albero gerarchico può essere molto esteso, ma nella pratica qualche livello è normalmente sufficiente nello sviluppo delle applicazioni.

La comunicazione tra gli attori, sia comuni che specializzati, è garantita da un modulo (Router) che riceve i messaggi inviati dai singoli attori e li inoltra ad una lista di distribuzione, basata sulla registrazione da parte dei singoli moduli per quel particolare messaggio. Questo metodo semplifica la gestione della comunicazione tra le diverse componenti del software e semplifica il debug. Abbinato al dialogo tramite l'attore di instradamento (Router), i valori lentamente variabili sono memorizzati su variabili globali (global) accessibili in sola lettura dagli altri attori interni all'applicazione/piattaforma. Questo permette una semplificazione nella gestione delle informazioni non complesse senza ridurre le possibilità di debug.

La comunicazione tra le diverse piattaforme è anch'essa basata, principalmente, sulla libreria AMC, inserita in un attore apposito AMCLink, e comunicante in modo trasparente con i dispositivi remoti tramite rete locale con protocollo UDP, sfruttando i collegamenti LAN disponibili sulle piattaforme RealTime. In Figura 14 sono schematizzati tutti i processi di comunicazione.

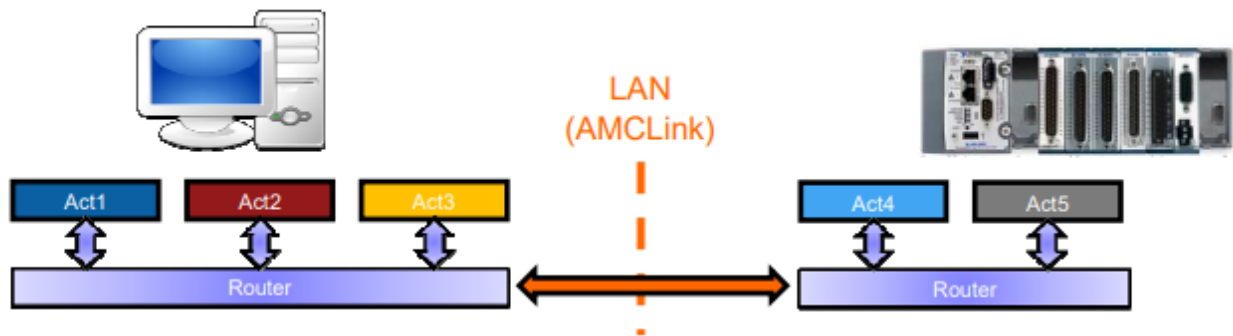


Figura 14. Rappresentazione delle comunicazioni tra PC e cDAQ

Nel dettaglio, l'attore di comunicazione invia i messaggi dal mittente al destinatario che ha sottoscritto la richiesta registrando il suo indirizzo IP per il particolare messaggio. Il modulo è anche in grado di inviare messaggi ad altri dispositivi che abbiano effettuato la registrazione, come già avviene in locale. In questo modo la modalità di dialogo è pressoché trasparente ed uno stesso messaggio può essere gestito sia su singola piattaforma che su hardware differenti senza necessità di essere strutturato in modo differente. Quando necessario, vengono instaurate delle logiche di watchdog tra i diversi dispositivi in maniera tale da attivare a stati di allarme e blocco in mancanza di comunicazione.

Il framework prevede ulteriori metodi di comunicazione, quali ad esempio webservices o modbus, sempre strutturati in maniera tale da apparire trasparenti e integrabili nella struttura esistente, che tuttavia non sono stati utilizzati attualmente per questo progetto. In particolare, i webservices possono essere utilizzati per il dialogo con applicazioni sviluppate con ambienti di sviluppo differenti da Labview o per la creazione di interfacce di comando e visualizzazione tramite piattaforma web, eventualmente gestibili anche attraverso dispositivi mobili.

La base per la generazione degli attori è una struttura Produttore-Consumatore (Producer-Consumer) basata sulla gestione di eventi, sia da interfaccia utente, per le componenti su computer, sia da eventi programmati via software, utilizzabili anche sulle piattaforme RealTime (Figura 15). Ad esempio, la chiusura degli attori viene eseguita con la generazione di un evento che accoda un messaggio riferito alla terminazione del modulo. Le funzioni di dialogo interne dell'attore e da/verso gli altri attori sono garantite da un sistema basato su sistema di gestione tramite code (Queued Message Handler) con comandi e messaggi a base testuale, gestito tramite la libreria AMC (Asynchronous Message Communication), supportata da National Instruments.

Gli attori comuni a tutte le piattaforme hardware risultano quindi essere: –

- LoadApp (parzialmente specializzato per garantire l'esecuzione dei moduli necessari)
- Router
- AMCLink

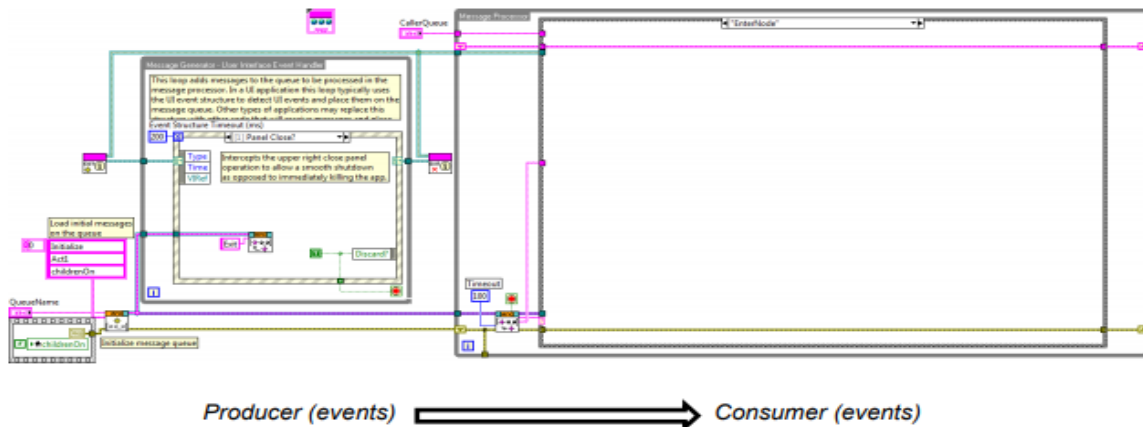


Figura 15. Struttura base di un attore

In funzione delle piattaforme hardware utilizzate sono poi stati creati alcuni attori semi-generici e riutilizzabili per altre applicazioni con modifiche di ridotta entità, volti a svolgere le funzioni specifiche per il dispositivo su cui sono eseguiti.

In particolare, per la piattaforma CompactDAQ è stato utilizzato l'attore *CheckSystem*. Esso è un attore generico per la verifica degli stati degli ingressi digitali e delle grandezze analogiche al fine di determinare condizioni di avviso o di allarme, i valori di soglia vengono impostati tramite HMI, ma salvati nella memoria del CompactDAQ al fine di garantire la possibilità di cambio dell'interfaccia di supervisione senza necessità di recupero delle impostazioni dell'impianto.

Per un canale analogico si ricerca, tramite il nome del canale fisico a cui l'allarme è riferito, il valore associato e si valuta se questo risulti compreso tra gli estremi dell'intervallo configurato. Se così non fosse si va ad attivare l'allarme registrando il nome dell'allarme ed accendendo una spia virtuale. Questi dati vengono continuamente inviati al software PC tramite *AMCLink* e verranno recepiti dall'attore *Allarmi* sul software PC.

Per un canale digitale invece, in primis si valuta la modalità di transizione impostata, successivamente si va a valutare se lo stato del canale, in un determinato lasso di tempo, segue la logica richiesta; se così non fosse accade la stessa cosa spiegata precedentemente per i canali analogici.

Per la componente PC, che ospita l'HMI, era stato sviluppato un attore generico per la gestione dell'interfaccia utente al fine di essere un contenitore per i moduli specifici.

La struttura prescelta, in linea con lo stile grafico della piattaforma Microsoft Windows, è quella ad 'albero', utilizzato per l'organizzazione e la selezione delle pagine del software di controllo da visualizzare, sovrastata da una barra degli strumenti (toolbar), disponibile per i controlli di utilizzo più frequente o comune alle diverse pagine e gli indicatori che necessitano di elevata visibilità (Figura 16). Questo attore, in virtù della scelta di visualizzazione, è stato denominato *Tree*. L'albero creato può essere articolato in diversi rami con una nidificazione configurabile programmaticamente; i singoli rami, principali o secondari, possono essere abilitati o disabilitati in funzione delle necessità di interfaccia, eventualmente anche in modo dinamico per gestire sezioni dell'interfaccia protette da password. La selezione delle diverse pagine nell'albero comporta la visualizzazione della pagina scelta, cioè del pannello frontale del corrispondente attore, in un sotto-pannello (subpanel) nella parte destra dell'interfaccia. L'avvio dell'attore *Tree* è gestito tramite LoadApp ed in particolare, per mantenere la generalità della struttura e quindi garantire la sua riutilizzabilità, viene lanciato dinamicamente e, una volta avviato, configurato programmaticamente tramite comandi esterni provenienti dal modulo LoadApp. In particolare, vengono caricate le differenti pagine dell'interfaccia e contemporaneamente costruito l'albero per la loro selezione. Da LoadApp viene anche lanciato l'attore di toolbar.

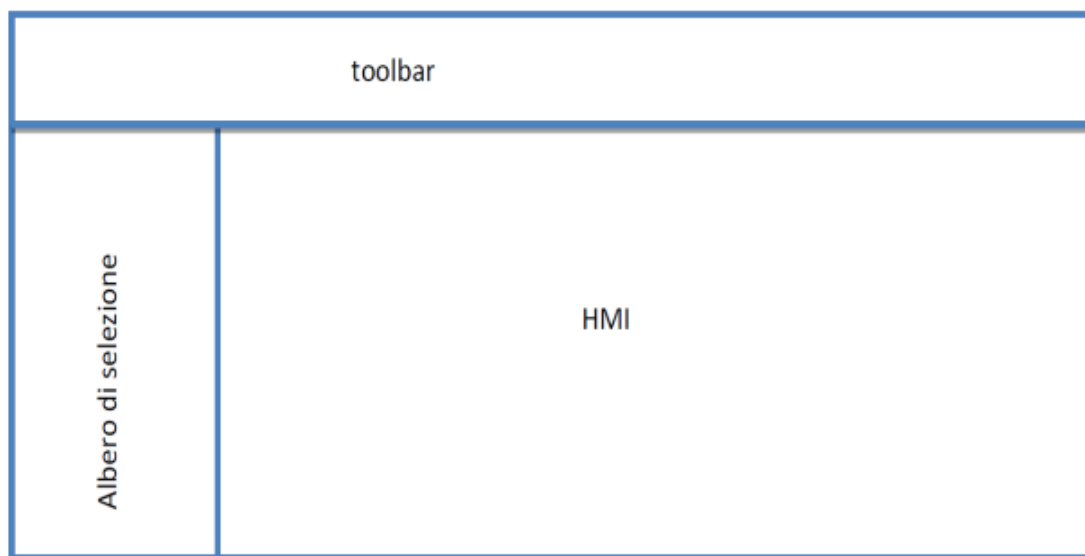


Figura 16. Struttura dell'interfaccia utente

I singoli moduli, specifici per l'applicazione, oggetto del presente elaborato saranno descritti nel capitolo successivo.

Il framework è inoltre dotato di alcuni strumenti per agevolare la programmazione senza necessità di riscrivere più volte lo stesso codice. In particolare:

- UserAuth: modulo per la gestione dell'autenticazione nell'interfaccia utente con lo scopo di abilitare funzioni di configurazione dell'impianto;

- ConfigFile: modulo per il salvataggio e la lettura delle impostazioni, generico per tutte le piattaforme. Le peculiarità di questo modulo sono l'utilizzo di una struttura a chiavi per l'archiviazione dei dati, utile per poter suddividere le impostazioni in base all'attore ed alla tipologia, ed il mantenimento in memoria dei dati, al fine di rendere più rapido e, se necessario, trasversale l'accesso agli stessi.

I vantaggi di questo framework con struttura modulare ad attori sono:

- La riutilizzabilità del codice, anche su hardware differenti;
- La scalabilità per l'implementazione di nuove funzioni;
- La manutenibilità del codice.

In particolare, con poche regole di gestione del codice, è possibile eliminare i banchi ed inserire nuove funzioni del framework anche in progetti già esistenti, senza la necessità di riscrivere le parti, ma semplicemente copiandole tra i differenti progetti.

4 Realizzazione del software RealTime e PC

In questo capitolo verranno descritte le funzionalità del software RealTime e PC passando in rassegna gli attori coinvolti e dando risalto alla comunicazione tra PC e CompactDAQ.

Il ciclo termico è una prova da effettuare su apparecchiature elettriche i cui passaggi sono operazioni (ad esempio Riscaldamento-Raffreddamento-Misura) che si ripetono ciclicamente per tutta la durata della prova. Questo tipo di approccio ben si confà all'idea di creare un sistema completamente automatizzato in quanto, una volta impostata in partenza la sequenza delle operazioni di un singolo ciclo, il sistema ripete la stessa il numero di volte richiesto. L'operatore di laboratorio ha quindi il compito della scrittura delle operazioni da svolgere, della supervisione del corretto svolgimento della prova e, qualora richiesto, delle misurazioni manuali.

Dunque il software RealTime, eseguito dal CompactDAQ indipendentemente dalla presenza di un'interfaccia utente attiva, gestirà autonomamente il ciclo termico. La parte PC dell'applicazione, invece, gestirà la visualizzazione della diagnostica della prova, permettendo di configurare alcuni aspetti del test come ad esempio gli allarmi ed i canali analogici\digitali.

La scelta di scrivere i comandi in uno script in formato testuale permette di comporre qualsiasi sequenza di operazioni così da ottenere qualunque tipo di ciclo.

%	line#	Command	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 5	Par 6	Par 7
	1								

Figura 17. Base di una linea di script

Come visibile in Figura 17 insieme ad ogni comando verranno dichiarati tutti i parametri (le variabili, le costanti, i vincoli ecc), utili alla sua esecuzione. Ad esempio, considerando il riscaldamento, sarà fondamentale riportare in script la condizione che la temperatura dell'oggetto in prova deve rispettare all'equilibrio per ritenere concluso il riscaldamento (Figura 18). Passando in rassegna i comandi nei paragrafi successivi sarà molto più chiaro il vantaggio che una struttura del genere offre per la genericità del sistema.

%	line#	Command	Par 1
	1	heating	Ttest>Tamb+30

Figura 18. Parametro per il comando di Heating

4.1 Ingressi/Uscite del sistema

Il sistema prevede un elevato numero di ingressi ed uscite, volte a controllare ed abilitare diverse funzioni dell'impianto di prova. In questo paragrafo vengono riportati, in forma tabellare, tutti gli ingressi e le uscite del sistema con una breve spiegazione della loro funzione.

Ingressi digitali:

CANALE	NOME CANALE	DESCRIZIONE
DI001	Emergency	Bottone di emergenza che conclude l'esecuzione del test
DI002	Start	Permette lo start della sequenza di operazioni
DI003	Stop	Permette lo stop della sequenza di operazioni
DI004	ResetAux	Permette il reset degli ausiliari del laboratorio
DI005	Door1	Quando una delle porte è aperte viene generato un segnale
DI006	Key	Chiave di consenso
DI007	DoMeasure	Dopo la misurazione permette la ripresa delle operazioni
DI008	Smog	Sensore di fumo

Uscite digitali:

Indicatori luminosi:

DO001	RedLight	Sistema non sicuro
DO002	GreenLight	Sistema sicuro
DO003	AuxtLight	Ausiliari inseriti
DO004	MeasLight	Richiesta misura

Sistema:

DO010	Up	Segnale all'Hipotronics di alzare la tensione
DO011	Down	Segnale all'Hipotronics di abbassare la tensione
DO012	InsertAuxHip	Segnale all'Hipotronics di inserire gli ausiliari
DO013	Marcia	Segnale all'Hipotronics di accensione alimentazione
DO014	Arresto	Segnale all'Hipotronics di spegnimento alimentazione

Gli ingressi/uscite analogici sono sempre variabili in relazione alle particolari applicazioni; ad esempio il numero di temperature da misurare dipende dall'oggetto in prova. L'unico ingresso certo è quello della temperatura ambiente che deve rispettare alcune condizioni al contorno riportate nelle norme e può tornare utile come variabile di confronto nelle condizioni relative a riscaldamento e raffreddamento.

Oltre quelli riportati ci sono numerosi altri canali liberi che lasciano libertà ad un'eventuale sviluppo futuro del sistema.

4.2 Software RealTime

Il software RealTime verrà eseguito in automatico dal CompactDAQ; a seguito del comando di START che può avvenire tramite l'HMI oppure tramite il pulsante fisico presente sul quadro di controllo, si dà inizio alla sequenza di operazioni.

La programmazione utilizzata da LabView è definita ad oggetti. Un oggetto è un membro di una classe mentre una classe definisce cosa è in grado di fare un oggetto, quali operazioni può effettuare (metodi) e quali proprietà ha. I comandi sono delle classi appartenenti all'attore *ExecuteScript*, progettati secondo criteri di genericità al fine di rendere questo software utilizzabile in qualunque circostanza.

The diagram illustrates the transformation of a single column of five 'Dofurito' blocks into two columns of three blocks each. A large black arrow points from the single column on the left to the two columns on the right. The blocks are arranged in two columns, with the first column containing five blocks and the second column containing three blocks. The blocks are labeled as follows:

- Column 1 (left): Dofurito CHIKEN, Dofurito HEATING, Dofurito HEATING, Dofurito RUM, Dofurito SETPOINT
- Column 2 (right): Dofurito DO, Dofurito END SCRIPT, Dofurito X REM

I comandi utilizzabili nello script sono:

- | % | line | Command | Par1 | Par2 | Par3 | Par4 | Par5 |
|---|------|---------|------|------|------|------|------|
| | 1 | run | T | | | | |

28

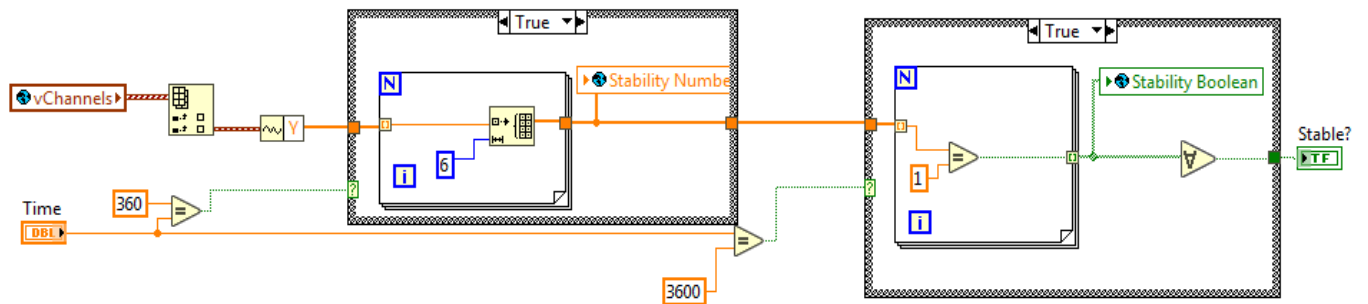


Figura 26. Block diagram del SubVI ChkStability

2. *TempConstraint*: questo VI è stato realizzato in modo tale da poter passare le condizioni sul riscaldamento come un unico parametro rappresentato direttamente da una formula. Essa verrà interpretata da alcune funzioni, create ad hoc, in grado di separare variabili e costanti e generare un booleano in *output*. Si possono inserire fino a tre formule.
 3. *Timeout*: se la temperatura durante la prova non aumenta in un intervallo di tempo ragionevolmente lungo, il funzionamento è compromesso e quindi è opportuno terminare il riscaldamento.
 4. *TimeCondition*: alcune applicazioni, come ad esempio quella dei condotti sbarra riportata nel capitolo 1, richiedono dei riscaldamenti a tempo e condizioni restrittive sul tempo di salita della temperatura. Per questo motivo, qualora fosse necessario, si comunica da script anche la durata del riscaldamento.
- *Cooling*: è il duale del riscaldamento, quindi gestisce il periodo di raffreddamento. Dopo *heating* viene passato il comando di *Run* che spegne l'alimentazione lasciando raffreddare l'apparecchiatura fino a determinate condizioni. Anche in tal caso possiamo passare queste condizioni sulla temperatura tramite formula, interpretate dagli stessi VI usati per *heating*. L'unica differenza con il comando di *heating* è legata alla variabile globale *NumCycle* che registra il numero dei cicli effettuati. Un ciclo completo è composto da un riscaldamento seguito da un raffreddamento per cui, al completamento del comando di *cooling*, viene incrementato di un'unità *NumCycle*.

%	line	Command	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6
	1	cooling	T2<T1	\	\	100000	0	100

Figura 27. Generica linea di script del comando cooling

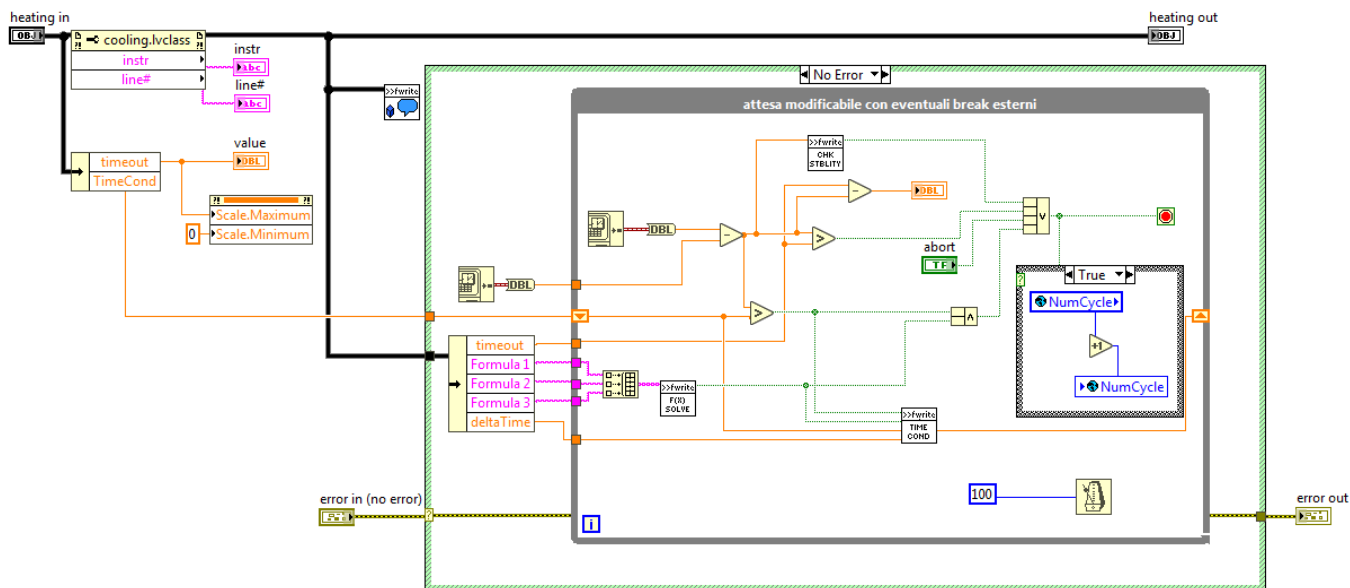


Figura 28. Block diagram del comando cooling

- *ChkNcycle*: è il comando che si attiva quando è richiesta la misura manuale. Questo comando riceverà da script il numero del ciclo al quale dovrà essere registrata la prima misura della variabile richiesta da norma (*nCycleMeas*) e successivamente ogni quanti cicli (*deltaCmeas*) deve essere riefettuata la misura. Quando *NumCycle* raggiunge il valore settato la sequenza delle operazioni del ciclo si blocca fino a quando la misura manuale non viene effettuata. Dopo aver registrato il valore misurato, per riprendere la sequenza delle operazioni, è necessario premere o il pulsante fisico “Misura effettuata” posto sul quadro di comando oppure quello virtuale sul Pc di supervisione.

%	line	Command	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5
	1	chkNcycle		2	50	500	

Figura 29. Generica linea di script del comando ChkNcycle

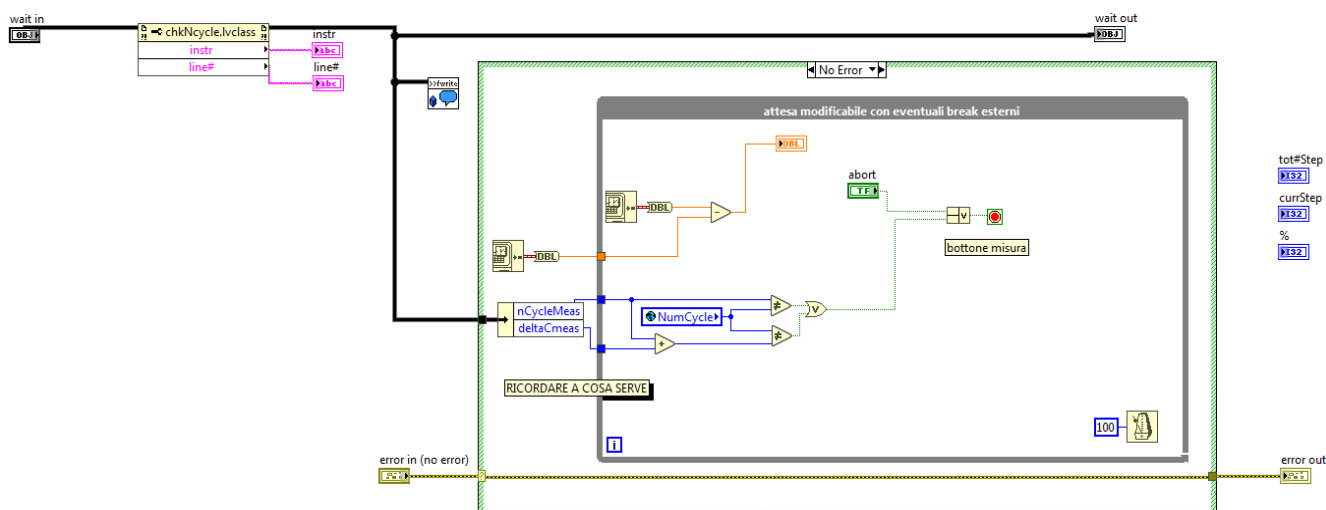


Figura 30. Block diagram del comando ChkNcycle

- *Do*: questo comando rende molto più semplice e veloce la scrittura dello script per l'operatore.

1. Numero dei cicli: *nCycles*;
2. Offset: *offset* (Indica dopo quante righe iniziano le operazioni da ripetere);
3. Numero di operazioni: *operations*.

Questi dati vengono inviati all'attore *ScriptReader* che ripete *nCycles* volte le operazioni comprese tra *offset* e *operations*. In questo modo è possibile scrivere nello script le operazioni del singolo ciclo, minimizzando la possibilità di errore che la scrittura di tante righe di script può comportare.

%	line#	Command	Par 1	Par 2	Par 3
	1	do	500	2	4

Figura 31. Generica linea di script del comando Do

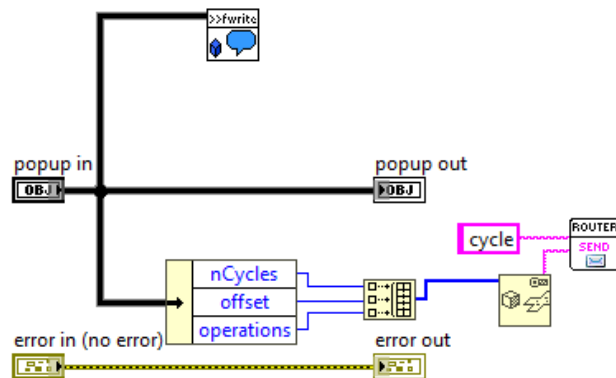


Figura 32. Block diagram del comando Do

A seguito della generazione e dell'interpretazione dello script completo da parte dello *ScriptReader* (attore del software PC), esso viene inviato *con AMCLink* al software RealTime ed eseguito dall'attore *ExecuteScript*.

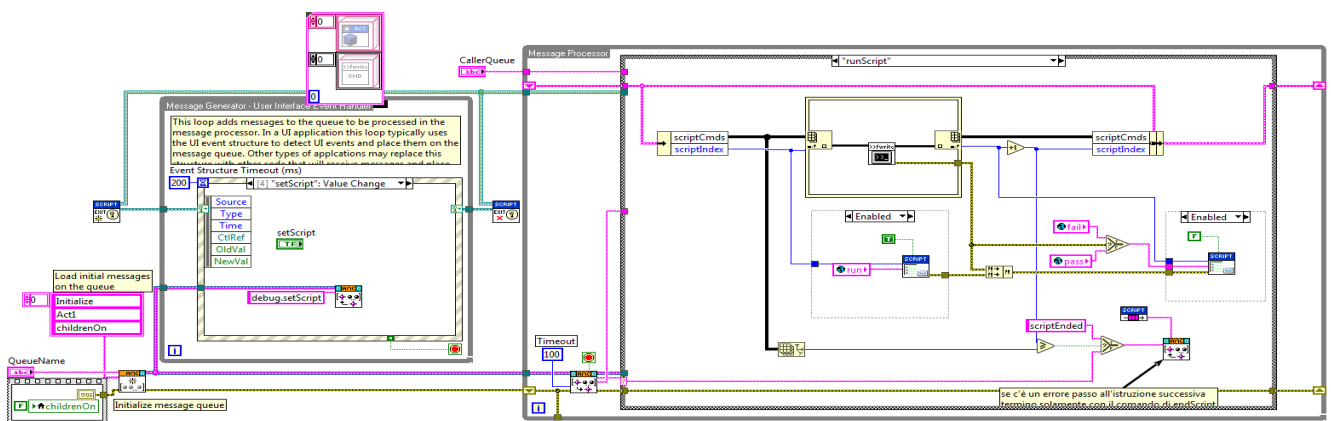


Figura 33. Block diagram dell'attore `ExecuteScript`

- **Controller:** gestisce il livello di corrente (agendo sulla tensione) dell'alimentazione. Tramite il comando *setpoint* e *run*, da script si attiva\disattiva l'alimentazione e si imposta il valore di corrente richiesto dalla particolare applicazione. Il sistema legge, attraverso un trasduttore (TA), la corrente erogata e comanda la salita e la discesa delle spazzole dell'Hipotronics regolando la tensione, affinché la corrente rimanga all'interno dell'intervallo determinato dal *setpoint* più o meno una banda morta (*deadband*).



- [illegible]

34

- *Configuration*: riceve in input dall'HMI le configurazioni dei canali analogico-digitali del CompactDAQ.

4.3 Software PC (*Human Machine Interface*)

L'applicativo sviluppato, svolge come unica funzione di controllo quella di *START* della sequenza di operazioni; esso rappresenta un'interfaccia utente per la configurazione e la diagnostica. La gestione del controllo della macchina è affidata in modo esclusivo al CompactDAQ.

Il modulo *Tree* è strutturato in quattro rami principali: *Diagnostica*, *Configurazione*, *ScriptReader* e *Allarmi*.

1. *Diagnostica*: questo attore riceve continuamente tramite *AMClink* i dati della prova dal CompactDAQ e li propone a video. E' riportato, ad esempio, l'andamento delle temperature del test e della temperatura ambiente sia graficamente che attraverso gli appositi indicatori numerici. La funzione di questo attore è quindi quella di supervisione della prova; si potrà conoscere anche la fase del ciclo corrente (riscaldamento\raffreddamento), il numero del ciclo, quanti cicli mancano prima della misura e se è richiesta la misura manuale dell'operatore.

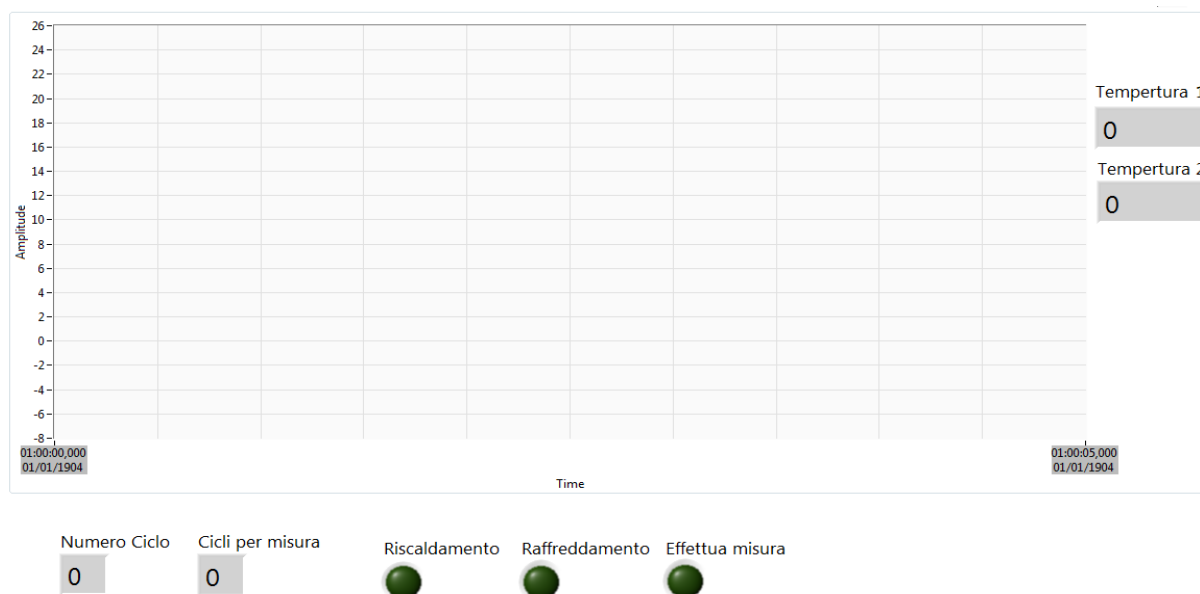


Figura 36. Front Panel del software di supervisione

2. *ScriptReader*: permette la conversione dello script testuale nella sequenza delle operazioni da svolgere da inviare al CompactDAQ. Consta di due parti fondamentali:
 - *Instructions*: acquisisce lo script.txt ed interpreta ogni riga andando a valutare prima se l'istruzione è un commento, poi se l'istruzione è valida ed infine ricerca tra tutti gli

oggetti di *executeScript* (cioè i comandi che è possibile utilizzare) quale corrisponde alla relativa istruzione salvandola in un vettore.

- *Chk4do*: Questo VI, creato appositamente per questo progetto, entra in gioco quando nelle righe dello script il software incontra l'istruzione *do*. Acquisisce da script i parametri di *do* citati in precedenza (*nCycles*, *operations* e *offset*) e ripete le istruzioni del ciclo *nCycles* volte. In questo modo si ha la serie completa dei comandi che devono essere svolti nell'arco di tutta la prova.

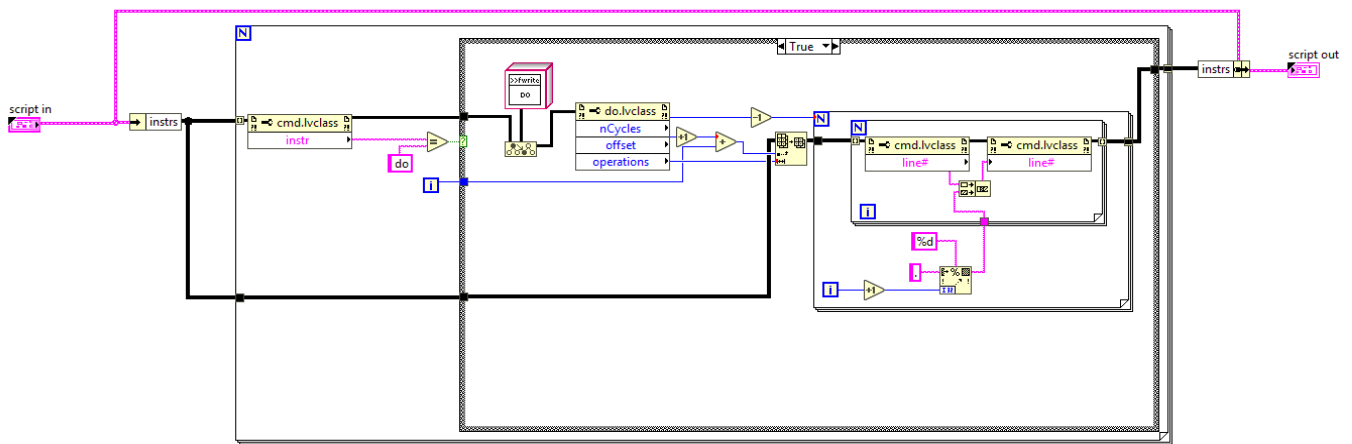


Figura 37. Block diagram del SubVI *chk4do*

3. *Configurazione*: questo modulo presenta due sottocasi quali allarmi e canali.

- *Configuration.Channels*: In questo attore verranno inseriti i nomi dei canali ed il relativo canale fisico corrispondente, permettendo quindi, a seguito dei collegamenti degli ingressi\uscite analogico\digitali, di configurare il CompactDAQ opportunamente.

Figura 38. Front panel dell'attore *Configuration.Channels*

- *Configuration.Alarm*: l'attore è utilizzato per la configurazione delle soglie per allarmi ed avvisi, la cui gestione, si ricorda, è demandata in tutte le sue funzioni al modulo *CheckSystem* del CompactDAQ.

Per allarmi ed avvisi relativi alle grandezze analogiche, viene impostato il nome del canale analogico a cui si riferisce l'allarme, il nome dell'allarme ed infine sono previsti un valore minimo ed un valore massimo ed una funzione di autoriconoscimento, per consentire la cancellazione automatica dell'anomalia (compresa la sua segnalazione) nel momento in cui il valore rientra spontaneamente tra i limiti impostati.

Per allarmi ed avvisi relativi ad ingressi digitali, oltre che al nome del canale di riferimento e dell'allarme, è prevista la scelta della modalità di transizione per la generazione dell'evento, di un'eventuale banda morta durante la quale l'allarme non viene attivato e la funzione di autoriconoscimento.

The image displays two configuration panels for an alarm system. The top panel, titled 'Soglie Analogiche', contains six identical columns for analog input (AI) channels. Each column includes a checkbox for 'Attiva?', a text field for 'Allarme Alto', a text field for 'Allarme Basso', a text field for 'Allarme', and a checkbox for 'Autoriconoscimento'. The bottom panel, titled 'Soglie Digitali', also contains six identical columns for digital input (DI) channels. Each column includes a checkbox for 'Attiva?', a radio button selection for 'Tipo' (Salita or Discesa), a text field for 'DeadBand [s]', a text field for 'Allarme', and a checkbox for 'Autoriconoscimento'. To the right of these panels are three buttons: 'Invia' (with a green arrow icon), 'Chiudi' (with a red X icon), and 'Reset' (with a red circle icon).

Figura 39. Front panel dell'attore *configuration.alarm*

4. *Allarmi*: è utilizzato per la visualizzazione degli allarmi e degli avvisi presenti sul sistema, per la loro cancellazione o tacitazione. Riceve continuamente dal CompactDAQ informazioni sullo stato degli allarmi impostati e li propone a video. Parallelamente, una

lista storica degli stati di anomalia si aggiorna, con registrazione degli istanti temporali di inizio e fine degli stessi.

The image shows a software interface for an alarm system, divided into three main sections: "Allarmi", "Warning", and "Storico allarmi".

- Allarmi:** A vertical list of 15 rows. Each row contains a text input field with a backslash character (\) and a circular status indicator.
- Warning:** A vertical list of 10 rows. Each row contains a text input field and a circular status indicator.
- Storico allarmi:** A vertical list of 10 rows. Each row contains a blue circular status indicator, a text input field, and a date/time field showing "00:00:00 DD/MM/YYYY".

At the bottom of the interface, there are two buttons:

- A "Reset Allarmi" button with a red 'X' icon.
- A "Cancella storico allarmi" button with a trash can icon.

Figura 40. Front panel dell'attore allarmi

5 Conclusioni e sviluppi futuri

Il progetto dell'applicazione è stato implementato nella sua interezza, seppur il software presenti alcuni aspetti da migliorare. Ad esempio, per quanto concerne la funzione adibita all'interpretazione delle formule dei vincoli sulle temperature si sono utilizzati alcuni add-on di LabView coperti da una licenza prova. Prima di procedere alla realizzazione di un interprete proprio si è preferito verificare che la restante parte del codice prodotto funzioni senza eccezioni. In ultima istanza si penserà quindi alla complessa implementazione di un algoritmo in grado di interpretare una formula in formato testuale capace di separare variabili e costanti. È stato iniziato lo sviluppo di un interprete ad hoc che però, al momento, permette solo di scrivere ogni elemento della formula come singolo parametro della linea di script come riportato in Figura 41.

%	line#	Command	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 5
	4	heating	T2	>	Tamb	+	30

Figura 41. Linea di script dell'interprete realizzato

Questo approccio rende poco lineare la scrittura dello script e per questo è stato accantonato nella realizzazione di questa versione del sistema. La sua realizzazione risulta comunque un ottimo punto di partenza da cui ricominciare l'implementazione.

Un primo collaudo dell'applicazione è stato effettuato realizzando un simulatore di interfaccia per emulare il laboratorio in fase di realizzazione. La simulazione è stata basata sulla compilazione di un generico script, utilizzando come sorgente di alimentazione un generatore di funzioni. L'obiettivo della simulazione è stato quello di verificare:

- L'interpretazione e conversione dello script nella sequenza di operazioni del ciclo
- Il funzionamento di tutti gli attori dell'interfaccia utente, dalla visualizzazione della diagnostica fino alla configurazione di canale ed allarmi;
- Il funzionamento del controllo di start e stop dall'interfaccia utente;
- La risposta del software al raggiungimento dei vincoli impostati per il riscaldamento e per il raffreddamento, con conseguente cambio di fase del ciclo;
- La generazione dei segnali digitali in uscita per il controllo dell'alimentazione;
- La corretta attivazione degli allarmi e avvisi configurati;
- Le funzioni di sicurezza del controller;
- La comunicazione tra CompactDAQ e PC.

L'applicazione si è rivelata efficiente sotto tutti questi punti di vista. Nei prossimi mesi, a seguito del completamento dell'interprete per le formule ed il perfezionamento di alcuni aspetti, l'applicazione sarà pronta per essere prima collaudata con l'Hipotronics e, successivamente,

utilizzata per prove reali. Il laboratorio sarà utilizzabile non appena saranno terminati i lavori per il posizionamento e cablaggio dei quadri secondo le disposizioni riportate in questo elaborato.

Un aspetto interessante per lo sviluppo futuro del sistema riguarda la realizzazione di un'applicazione smartphone o di una pagina web connessa ad un server, a cui ci si può collegare in tempo reale per valutare l'andamento della prova in qualunque momento e luogo. Questo renderebbe ancor più semplice il lavoro dell'operatore e soprattutto molto più efficace la supervisione. Questa soluzione è implementabile grazie alla nuova generazione di LabView realizzata da National Instruments, chiamata LabView NXG (Next Generation). La vera svolta, portata da questo nuovo software, è la possibilità di progettare interfacce web-based attraverso le quali è possibile accedere all'interfaccia di test ovunque, in qualsiasi momento e tramite qualunque piattaforma (PC, tablet o smartphone) senza la necessità di plugin o installer. L'avvento della comunicazione diretta tra LabView ed il web può rappresentare una vera e propria rivoluzione per il futuro della misura e dell'automazione.

Appendice A

Software LabView

LabVIEW (acronimo di Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) è l'ambiente di sviluppo prodotto da National Instruments fondato su di un linguaggio di programmazione G, di tipo grafico, che lo rende molto più intuitivo dei classici linguaggi testuali. Trova utilizzo principalmente nell'ambito dell'automazione industriale, ad esempio viene usato per programmi di acquisizione e analisi dati, controllo di processi, generazione di rapporti.

La creazione degli algoritmi avviene attraverso il collegamento tramite "fili" (wire) di icone e altri oggetti grafici, ognuno dei quali contiene funzioni diverse, in modo da formare una sorta di diagramma di flusso. Questo tipo di linguaggio viene definito dataflow (flusso di dati) in quanto la sequenza di esecuzione è definita e rappresentata dal flusso dei dati stessi attraverso i fili monodirezionali, che collegano i blocchi funzionali.

Nell'ambiente di sviluppo, i VI sono composti da tre parti principali:

- **PANNELLO FRONTALE (Front Panel):** costituisce l'interfaccia interattiva del VI, in quanto riproduce il pannello di uno strumento reale. Attraverso controlli ed indicatori possiamo gestire rispettivamente gli ingressi e le uscite dell'applicazione. I controlli sono potenziometri, manopole, quadranti, pulsanti, e molti altri mentre gli indicatori possono essere grafici, LED, tabelle e molti altri ancora. Attraverso il pannello frontale possiamo inserire quindi i dati ingresso e visualizzare i risultati ottenuti.

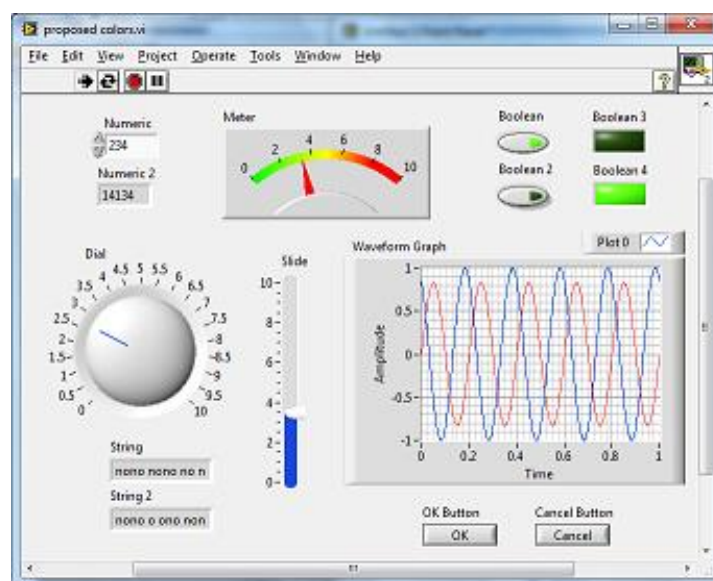


Figura 42. Generico Front Panel

- **SCHEMA A BLOCCHI:** lo schema a blocchi è il diagramma di flusso generato dal collegamento dei diversi VI e rappresenta il codice sorgente, in formato grafico. Gli oggetti

del pannello frontale sono terminali di ingresso o uscita nello schema a blocchi. Gli oggetti che possono comparire in uno schema a blocchi sono:

- Funzioni;
- Costanti;
- Strutture;
- SubVI;
- Fili di collegamento;
- Commenti testuali.

Le funzioni sono esse stesse dei VI, anche se non hanno un loro pannello frontale e un loro schema a blocchi. I fili di collegamento possono trasportare teoricamente qualunque mole di dati di qualunque tipo, anche aggregati (bundle) definiti dal programmatore. Al fine di distinguere la tipologia dei dati che scorrono sui vari fili, il software differenzia i collegamenti colorando i fili con colori differenti: ad esempio blu per i dati numerici, rosa per le stringhe, marrone per i waveform e così via.

Ciascun VI, inoltre, può essere eseguito singolarmente, la ricerca e l'eliminazione degli errori all'interno delle applicazioni (debugging) risulta molto più semplice e rapido. LabView mette a disposizione per il debugging strumenti molto potenti come ad esempio la possibilità di eseguire il programma un passo alla volta, di inserire breakpoints e sonde che permettono il controllo dei dati su ciascun filo.

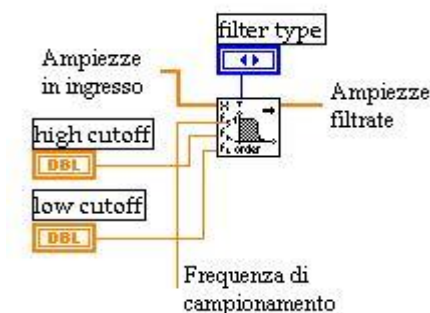


Figura 43. Generico Block Diagram

- **RIQUADRO CONNETTORI:** ciascun VI può essere utilizzato come subVI ed essere utilizzato per generare lo schema a blocchi di altri VI come una qualsiasi funzione; è necessario quindi impostare i relativi ingressi e uscite a cui collegare le linee di flusso. Il riquadro connettori serve appunto a definire come e dove vanno collegate le linee per permettere il passaggio dei dati e, da non sottovalutare, l'aspetto dell'icona. L'icona è fondamentale per il riconoscimento del subVI all'interno di un'applicazione più grande e permette una più ordinata realizzazione del codice.

A partire dai VI si possono anche creare eseguibili poiché LabView è un vero e proprio compilatore a 32 bit. Infatti, nella fattispecie di questo progetto, sono stati implementati:

- Un eseguibile RealTime, eseguito direttamente dal cDAQ che, utilizzando i dati acquisiti dalle opportune schede di acquisizione ospitate, è in grado eseguire uno script in maniera totalmente automatica gestendo il ciclo in tutto il suo sviluppo senza bisogno di alcun intervento di operatori, tranne per l'avvio e per l'effettuazione delle varie misure manuali;
- Un eseguibile PC che può essere utilizzato sia per mandare segnali di input al sistema sia per diagnostica.

Bibliografia

Norma CEI EN 61439-6:2013-07 *“Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Part 6: Busbar trunking systems (busways)”*;

IEC 60840: 2011-11 *“Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m=36$ kV) up to 150 kV ($U_m=170$ kV) – Test methods and requirements”*;

Norma CEI EN 61284:1999-06 *“Connettori a compressione e meccanici per cavi di energia per tensioni nominali fino a 36kV ($U_m=42$ kV)- Parte 1: Prescrizioni e metodi di prova”*

Norma CEI EN 61238-1:2004-05 *“Linee aeree- Prescrizioni e prove per le morsetterie”*

Norma CEI EN 50191: 2011-09 *“Installazione ed esercizio degli impianti elettrici di prova”*

Roccato P., Cirinnella L. *“Sistema di controllo per generatore per prove di cortocircuito Brown Boveri”*, Rapporto tecnico INRIM, Torino, Marzo 2016

Sitografia

<http://www.nt24.it/portal/1995/04/iec-cenelec-e-cei-chi-sono-e-cosa-fanno/>, 1\08\2018

<https://it.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, 25\07\2018

<https://www.inrim.it/lente/chi-siamo/missione>, 20\08\2018

https://it.wikipedia.org/wiki/Istituto_nazionale_di_ricerca_metrologica, 20\07\2018

http://www-3.unipv.it/lde/didattica_elettronica/LabviewIntroduzione.pdf, 16\08\2018

<http://www.ni.com/labview/realtime/i/>, 22\08\2018

<http://www.ni.com/it-it/shop/labview/labview-nxg.html>, 25\08\2018

Sitografia Immagini

Figura 1: <https://www.inrim.it/servizi/servizi-di-metrologia/elettricit -e-magnetismo/alte-tensioni-e-forti-correnti>

Figura 2: <http://labpvs.smart.altervista.org/wp-content/uploads/2015/04/Clico-termico.gif>

Figura 10: <http://www.delcodistribuzione.it/wp-content/uploads/2018/07/New-Elfin-Torretta-.png>

Figura 42: <http://forums.ni.com/t5/image/serverpage/image-id/8893i98724DF39996524F/image-size/original?v=mpbl-1&px=-1>

Figura 43: <https://digilander.libero.it/Cedekkas/LabView/Image7.jpg>