



Ricerca di Sistema elettrico

Implementazione di un software in ambiente LabView per l'elaborazione automatica delle perdite e del rendimento, con relative incertezze dei motori asincroni

E. Fiorucci, A. Ometto, F. Ciancetta



Università
dell'Aquila
D.I.I.I.E.

IMPLEMENTAZIONE DI UN SOFTWARE IN AMBIENTE LABVIEW PER L'ELABORAZIONE AUTOMATICA DELLE PERDITE E DEL RENDIMENTO, CON RELATIVE INCERTEZZE, DEI MOTORI ASINCRONI

E. Fiorucci, A. Ometto, F. Ciancetta (Università dell'Aquila)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Processi e macchinari industriali

Obiettivo: Potenziamento della facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Implementazione di un software in ambiente labview per l'elaborazione automatica delle perdite e del rendimento, con relative incertezze, dei motori asincroni"*

Responsabile scientifico ENEA: ing. Maria-Anna Segreto

Responsabile scientifico Unil'Aquila: prof. Edoardo Fiorucci

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 L'AMBIENTE DI SVILUPPO NI LABVIEW: CARATTERISTICHE PRINCIPALI	5
1.1 FRONT PANEL	6
1.2 BLOCK DIAGRAM	7
1.3 PROJECT	7
1.4 DATAFLOW	8
1.5 ARRAYS AND CLUSTERS	8
1.6 FUNCTION E SUBVI	9
1.7 COMPILAZIONE ED INSTALLER	9
2 STRUTTURE DATI IMPIEGATE E <i>SUBVI</i>	10
2.1 IL CLUSTER DATI IN INGRESSO	10
2.2 IL CLUSTER DATI IN USCITA.....	12
2.3 IMPLEMENTAZIONE DEI SUBVI	14
2.4 CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEGLI AVVOLGIMENTI DI STATORE CON INCERTEZZA.....	14
2.5 CALCOLO DELLA POTENZA MECCANICA EROGATA CON INCERTEZZA	15
2.6 CALCOLO DEL FATTORE DI RIPORTO ALLA TEMPERATURA DEL FLUIDO DI RAFFREDDAMENTO CON INCERTEZZA	16
2.7 CALCOLO DELLE PERDITE NEGLI AVVOLGIMENTI DI STATORE CON INCERTEZZA.....	18
2.8 CALCOLO DELLE RESISTENZE INTERPOLATE NELLA PROVA A CARICO VARIABILE CON INCERTEZZA	19
2.9 CALCOLO DELLE RESISTENZE INTERPOLATE NELLA PROVA A VUOTO CON INCERTEZZA	20
2.10 CALCOLO DELLE PERDITE COSTANTI CON INCERTEZZA	22
2.11 CALCOLO DELLE PERDITE PER ATTRITO E VENTILAZIONE ALLA VELOCITÀ DI SINCRONISMO E INCERTEZZE.....	23
2.12 CALCOLO DELLE TENSIONI INTERNE PER LA DETERMINAZIONE DELLE PERDITE NEL FERRO E INCERTEZZE	25
2.13 CALCOLO DELLE PERDITE NEL FERRO CON INCERTEZZA	26
2.14 CALCOLO DELLE SCORRIMENTO CORRETTO IN TEMPERATURA CON INCERTEZZA.....	28
2.15 CALCOLO DELLE PERDITE DI ROTORE CORRETTE IN TEMPERATURA CON INCERTEZZA	29
2.16 CALCOLO DELLE PERDITE PER ATTRITO E VENTILAZIONE CON INCERTEZZA.....	30
2.17 CALCOLO DELLE PERDITE RESIDUE CON INCERTEZZA	31
2.18 CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE E DI CORRELAZIONE PER LE PERDITE ADDIZIONALI CON INCERTEZZA.....	32
2.19 CALCOLO DELLE PERDITE ADDIZIONALI A CARICO CON INCERTEZZA	34
2.20 CALCOLO DELLA POTENZA IN INGRESSO CORRETTA IN TEMPERATURA CON INCERTEZZA.....	35
2.21 CALCOLO DEL RENDIMENTO INDIRETTO CON INCERTEZZA	36
2.22 CALCOLO DEL RENDIMENTO DIRETTO CON INCERTEZZA.....	38
3 STRUTTURA DELL'APPLICATIVO COMPLESSIVO DI CALCOLO DEL RENDIMENTO INDIRETTO CON INCERTEZZA COMPOSTA	39
3.1 DIAGRAMMA DI FLUSSO.....	39
3.2 DATAFLOW DELL'APPLICATIVO	39
4 STRUTTURA DEL <i>FRONT PANEL</i>	57
5 STRUTTURA DEL PROJECT	59
6 COMPILAZIONE DELL'APPLICAZIONE	59
7 CREAZIONE DELL'INSTALLER	61
8 CONCLUSIONI.....	61
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	62
10 CURRICULA.....	63

Sommario

In questo documento è descritto l'applicativo software, sviluppato in ambiente National Instruments LabVIEW[®], per il calcolo delle grandezze necessarie alla determinazione del rendimento indiretto, corredate delle loro incertezze composte.

L'attività svolta è estensione e completamento di quanto già espletato e descritto nella relazione "Definizione di procedure e sviluppo di algoritmi per la stima delle incertezze di misura delle grandezze di interesse del costituendo laboratorio per la sorveglianza del mercato elettrico in accordo con ISO/IEC 17025 e JCGM 100:2008 (GUM)" [1], cui si rimanda per le considerazioni metrologiche ed algoritmiche che sono alla base dell'applicativo sviluppato.

In particolare sono stati sviluppati dei *SubVI (sub Virtual Instrument)* che implementano la libreria di funzioni già elaborata, i quali sono poi stati integrati in un *VI (Virtual Instrument)* strutturato secondo il diagramma di flusso complessivo già proposto nella relazione [1].

Una volta inseriti i risultati delle misurazioni eseguite secondo le modalità indicate nella relazione [1], l'applicativo consente di effettuare separatamente le seguenti perdite, con le relative incertezze: i) perdite negli avvolgimenti di statore, ii) perdite negli avvolgimenti di rotore; iii) perdite nel ferro; iv) perdite per attrito e ventilazione e v) perdite addizionali; sono inoltre elaborate le grandezze ulteriori necessarie alle elaborazioni delle perdite, come le resistenze di statore interpolate nelle prove a carico variabile ed a vuoto, nonché le tensioni interne per la determinazione delle perdite nel ferro ed i coefficienti di correzione delle varie grandezze in funzione della temperatura del fluido di raffreddamento.

Al termine dell'elaborazione, l'operatore ha a disposizione i grafici dell'andamento dei singoli contributi di perdita in funzione della potenza meccanica erogata, e l'andamento del rendimento in funzione della stessa; tali grafici possono essere esportati immediatamente in ambiente Microsoft Excel[®].

E' possibile inoltre salvare tutti i dati elaborati in forma di testo, per la loro conservazione o successiva ulteriore elaborazione.

Introduzione

Lo sviluppo di un applicativo software dedicato all'implementazione di procedure di calcolo complesse può essere effettuato in diversi ambienti di programmazione; poiché le attività di ricerca presentate nel presente documento e nei precedenti sono focalizzate su temi di misure elettriche, la scelta di implementare l'applicativo in ambiente LabVIEW[®] risulta particolarmente efficace [2, 3]. Tale ambiente è stato sviluppato per soddisfare le esigenze di ricercatori e tecnici che si occupino di problematiche di test e di elaborazione di dati sperimentali, in praticamente tutti i settori scientifici e tecnologici moderni. Consente di programmare in modo grafico, con codice strutturato e di facile lettura e manutenibilità. Inoltre consente di poter interfacciare direttamente la strumentazione; questa possibilità consentirà in futuro di automatizzare ulteriormente le elaborazioni dei dati nelle attività previste nel Laboratorio.

1 L'ambiente di sviluppo NI LabVIEW: caratteristiche principali

L'ambiente LabVIEW[®] sviluppato da National Instruments (Fig.1) consente di implementare applicativi software in modalità grafica, con la realizzazione di interfacce utenti efficaci, mediante l'utilizzo di icone e collegamenti intuitive tra le stesse.

Attualmente LabVIEW[®] è considerato come un ambiente di riferimento per lo sviluppo di applicazioni di misura, test e controllo; può funzionare su diversi sistemi operativi ed è compatibile con diversi dispositivi target. LabVIEW[®] consente inoltre di sviluppare applicativi per interfacciare migliaia di dispositivi hardware e fornisce centinaia di librerie integrate per analisi e visualizzazione dati avanzate. Le prestazioni ed il numero di tali librerie è in aumento costante, grazie al numero elevato di sviluppatori di applicazioni in ambiente LabVIEW[®] [2, 3].



Fig 1 – Il logo di LabVIEW[®] e di National Instruments

Parte significativa del successo dell'uso di LabVIEW[®] è insito nella possibilità di sviluppare interfacce grafiche intuitive, che emulino l'aspetto e il funzionamento degli strumenti fisici, quali oscilloscopi e multimetri; i programmi sviluppati in LabVIEW[®] sono detti strumenti virtuali o, più comunemente, VI.

L'interfaccia utente viene sviluppata nel *front panel*, nel quale sono collati ingressi ed uscite; il *block diagram* contiene il codice vero e proprio, nel quale sono realizzati i collegamenti tra funzioni, controlli e sotto programmi (*subVI*). Il codice sul diagramma a blocchi è un codice grafico, conosciuto anche come codice G o codice del diagramma a blocchi (Fig. 2).

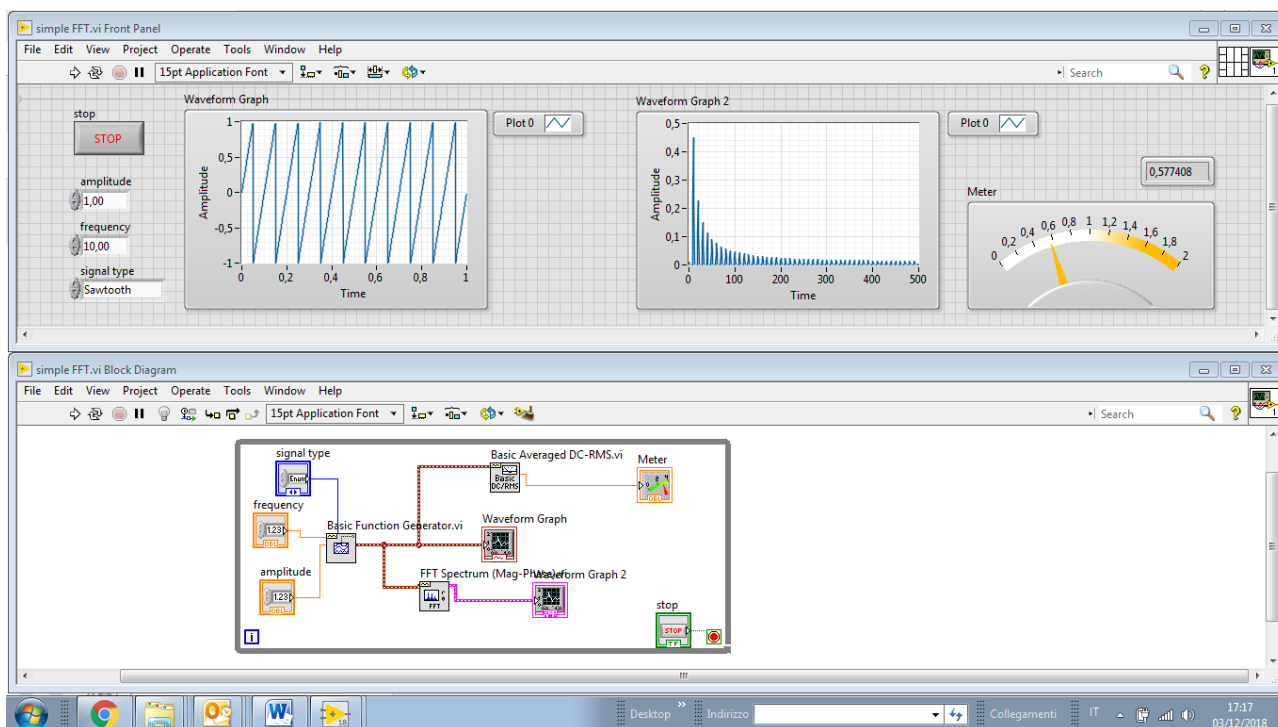


Fig 2 – Applicativo in LabVIEW®, comprendente un Front Panel ed un Block Diagram

1.1 Front panel

Il *front panel* viene sviluppato in modo da emulare uno strumento reale; con tale finalità sono disponibili diverse librerie di oggetti grafici da posizionare su di esso. Si tratta di *controls*, che fungono di input, ed *indicators*, che fungono da output. Ciascun tipo di *control* o *indicator* può essere di tipo numerico, booleano, stringa, cluster, array ecc. In Fig.3 è riportata la *controls palette*, a titolo di esempio. Sul pannello frontale possono inoltre essere collocate righe di testo, decorazioni od immagini che permettano un uso più intuitivo dell'applicativo, o ne rendano più gradevole l'estetica.

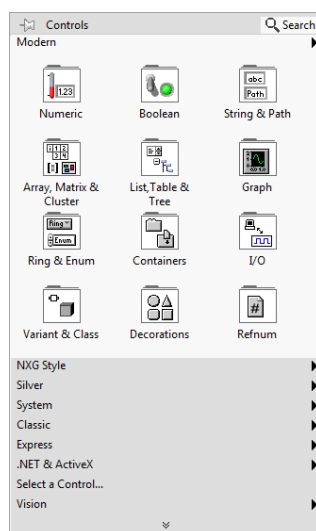


Fig 3 – Controls palette, da utilizzare per inserire controls and indicators sul front panel.

1.2 Block diagram

Il *block diagram* rappresenta lo spazio nel quale si sviluppa il codice, sotto forma di schema con collegamenti tra i vari blocchi. *Controls* e *indicator* presenti sul *front panel* appaiono sotto forma di *terminals* nel *block diagram*; dai *terminal* dei *controls* partono i collegamenti, *wires*, e terminano verso i *terminal* degli *indicators*, usualmente. Sul *block diagram* possono essere collocati inoltre le costanti, le *function*, i *subVI*, le strutture (*for loop*, *while loop*, *case structure*, *sequence structure* ecc), e righe di testo a commento del codice. Le *funzioni* ed i *subVI* disponibili nell'ambiente LabVIEW® a seconda del tipo di pacchetto software acquistato, e spaziano dalle funzioni elementari di algebra, gestione di stringhe, array e cluster fino a librerie per la gestione della strumentazione, elaborazione di segnali, bus industriali, visione artificiale ecc (Fig. 4).

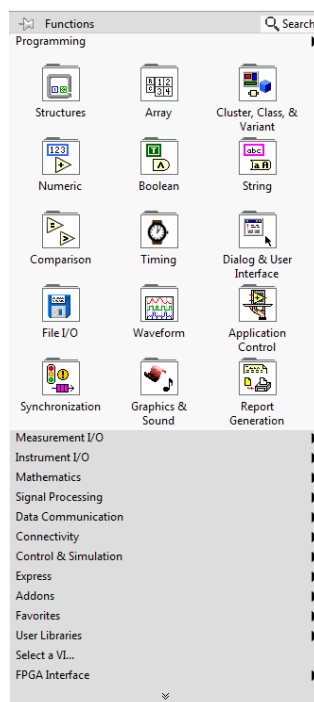


Fig 4 – Functions palette, da utilizzare per inserire functions e subVI nel block diagram.

1.3 Project

Nello sviluppo di un applicativo software in ambiente LabVIEW® si può implementare un singolo *VI*, nel caso non si tratti di software molto complesso. In generale è invece preferibile sviluppare un *Project*, nel quale inserire l'applicativo principale, e tutte le librerie di eventuali *subVI*, variabili globali o *shared*, ed altro come *target*, risultati di compilazioni ed *installer*. Il *Project* non deve essere confuso con una semplice cartella, in quanto rappresenta una collezione di riferimenti a tutti i file necessari per il corretto funzionamento di un applicativo.

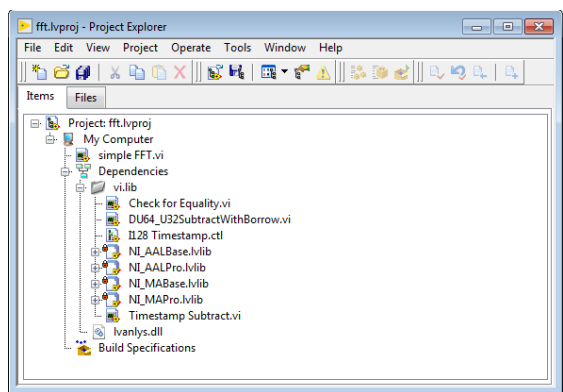


Fig 5 – Esempio di LabVIEW® project

1.4 Dataflow

Il funzionamento degli applicativi in ambiente LabVIEW® si basa sul concetto di *dataflow*, inteso come flusso di dati che rende l'esecuzione del codice ordinata; un blocco sul *block diagram* è eseguito solo quando sono disponibili tutti i suoi ingressi. Quando a sua volta il blocco ha terminato le sue operazioni, rilascia le sue uscite che possono a loro volta essere ingressi di ulteriori nodi del codice. Tipicamente il *dataflow* prevede graficamente un flusso di informazioni da sinistra verso destra; può essere visualizzato in fase di debugging con l'opzione *High Execution*, attivabile solo sulla *toolbar* del *block diagram*.

1.5 Arrays and clusters

Le strutture dati più utilizzate in ambiente LabVIEW® sono *array* e *cluster*; gli *array* sono analoghi ai vettori che si studiano in algebra, anche se possono essere costituiti anche da tipi di grandezze non numeriche, quali stringhe o booleani. In breve, gli *array* si impiegano quando si debbano operare operazioni matematiche sui singoli elementi, o, in generale, si possano eseguire indicizzazioni ed operazioni iterative tra grandezze necessariamente omogenee. In alternativa, i *cluster* sono invece analoghi ai record, in quanto sono insiemi di dati disomogenei che permettono di raggruppare informazioni diverse che debbano essere correlate; pertanto le operazioni che possono essere eseguite sui *cluster* sono tipicamente di *bundle*, quando si crea un cluster, e di *unbundle* quando esso venga spacchettato. Una volta che i singoli elementi di un cluster sono stati estratti, è possibile manipolarli con le usuali funzioni disponibili. In Fig. 6 sono riportati alcuni *array* ed un *cluster*, con i relativi *terminals* sul *bock diagram*.

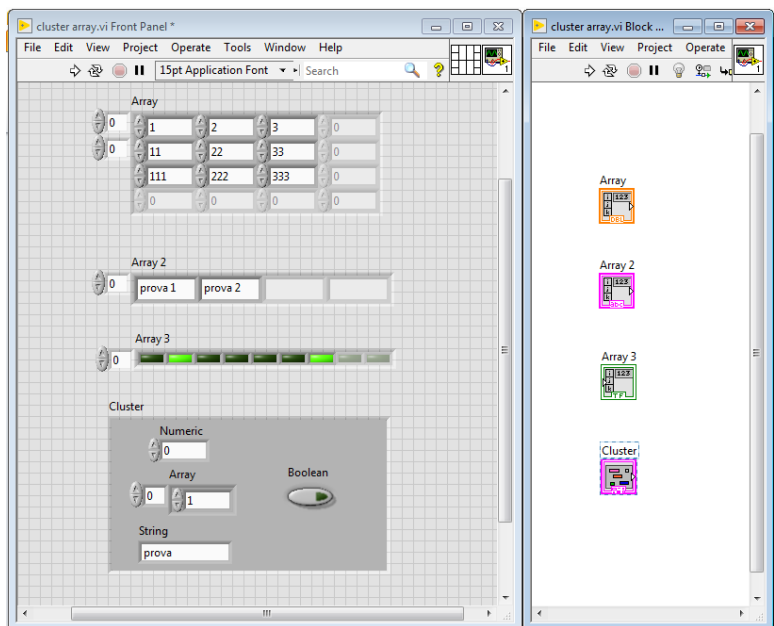


Fig 6 – Esempi di array e cluster.

1.6 Function e subVI

Un applicativo sviluppato in LabVIEW[®] contiene *function* e *subVI*; le *function* si presentano come blocchi di colore giallo pallido nella *block diagram*, e non posseggono a loro volta un *front panel* e un *block diagram*, in quanto eseguono operazioni di livello basso e non possono essere modificate dal programmatore. I *subVI* sono invece dei *VI* che sono sviluppati per implementare operazioni complesse costituite da una struttura di altri *subVI* e *function*. Ogni *VI* può essere convertito in un *subVI*, con l'accortezza di gestire correttamente i *reference* ai *control*, le variabili locali e globali; si dovrà inoltre definire correttamente il *connector pane* e l'*icon*. Il *connector pane* rappresenta la mappa dei collegamenti agli ingressi ed alle uscite, e ne può contenere un massimo di 32, con alcuni di essi solitamente riservati. L'*icon* è opportuno venga disegnata in modo da rendere il codice più leggibile. In Fig. 7 è riportato un *VI* all'interno del quale vi è un *subVI*, con il rispettivo *front panel* e *block diagram*, completo di *connector pane* ed *icon*.

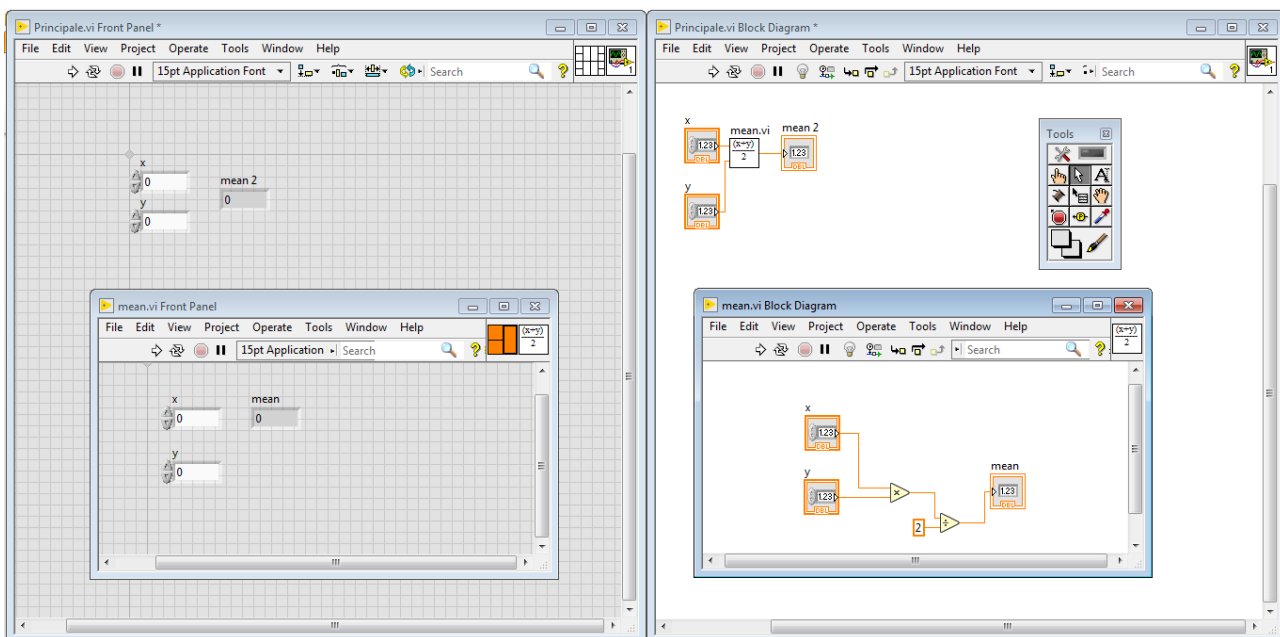


Fig 7 – Esempi di programma con subVI.

1.7 Compilazione ed Installer

In ambiente in LabVIEW[®] è possibile utilizzare gli applicativi sviluppati rimanendo all'interno dell'ambiente, con la evidente possibilità di apportare modifiche e variazioni del codice a seconda di nuove esigenze; tuttavia, è possibile anche procedere ad elaborare un applicativo eseguibile, mediante la compilazione del codice, che consente l'utilizzo dell'applicativo senza che sia installato LabVIEW[®] sul PC sul quale l'applicativo verrà installato. Ciò comporta diversi vantaggi, tra i quali vi sono la possibilità di limitare l'uso di licenze software ai soli PC sui quali gli applicativi verranno sviluppati e la distribuzione di applicativi in cui il sorgente non sia disponibile all'utente finale in modo da garantire che esso non verrà modificato in maniera non autorizzata. Gli applicativi per poter funzionare hanno bisogno di un software aggiuntivo, che National Instruments ha sviluppato e denominato LabVIEW[®] Run-Time Engine; se l'applicativo compilato viene lanciato su un PC sul quale è presente l'ambiente LabVIEW[®], l'applicativo funzionerà senza particolare necessità di sviluppare un installer dedicato perché il LabVIEW[®] Run-Time Engine è già installato di default. Qualora invece l'applicativo venga installato su un PC nel quale non vi sia già presente l'ambiente LabVIEW[®] o altri ambienti di National Instruments, sarà necessario realizzare un *installer* specifico per l'applicativo considerato, con l'inserimento anche delle librerie necessarie per eventuali target o sistemi di acquisizione dati.

2 Strutture dati impiegate e subVI

2.1 Il cluster dati in ingresso

Il cluster *dati in ingresso* contiene 138 ingressi, relativi alle misurazioni con le relative incertezze ottenute con le misurazioni a carico nominale, a carico variabile e con le prove a vuoto; si aggiungono a queste si aggiungono le informazioni sul materiale di cui sono costituiti gli avvolgimenti di statore (rame o alluminio) ed il numero di coppie polari del motore in prova. Si riporta di seguito il cluster dati in ingresso, così come appare sul front panel in modalità control (Fig. 7a, 7b e 7c). Le grandezze contenute nel cluster *dati in ingresso* vengono utilizzate nell'applicativo come ingressi per i subVI che effettuano le elaborazioni delle grandezze in uscita e delle corrispondenti incertezze. Per accedere alle grandezze scalari contenute nel cluster considerato, viene utilizzata la funzione *unbundle by name* che consente di identificare ed estrarre una grandezza in base alla sua *label*. Di seguito si riporta (Fig. 8), a titolo esemplificativo, l'icona del cluster connessa con tre differenti funzioni *unbundle by name* che sono caratterizzate da uscite di tipo scalare *double precision*. Il vantaggio dell'uso di un cluster invece di un set di grandezze scalari separate o di un array è insito nella natura del cluster medesimo, che permette di aggregare grandezze correlate concettualmente con modalità tipiche del *record*; nella filosofia di programmazione di un linguaggio quale LabVIEW, l'uso del cluster consente di conseguire la scalabilità necessaria qualora sia richiesto l'inserimento di ulteriori grandezze di misura, senza necessità di stravolgere l'intera struttura dell'applicativo.

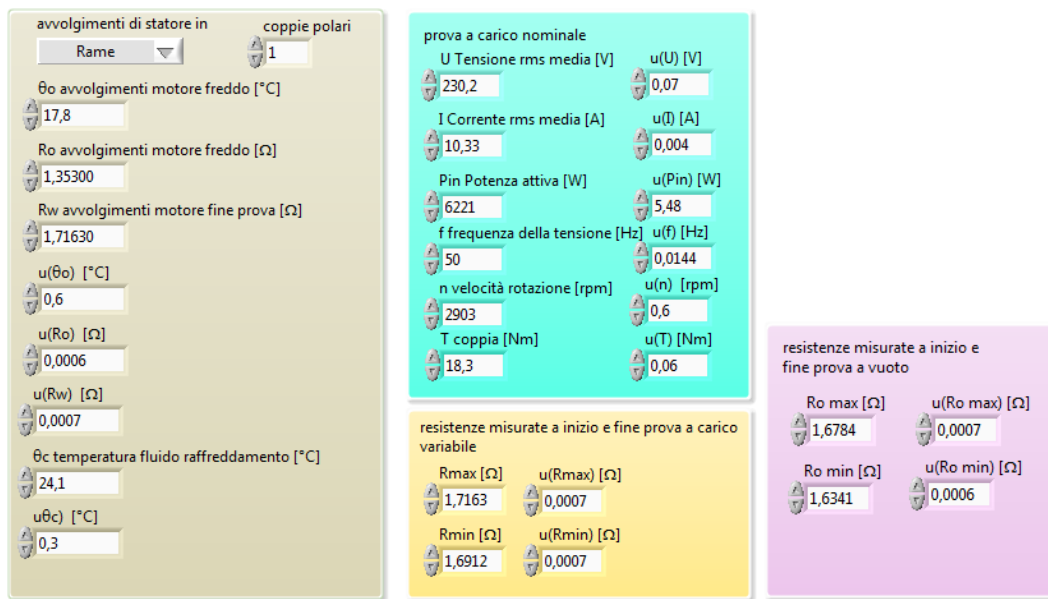


Fig 7a – Prima sezione del cluster dati in ingresso

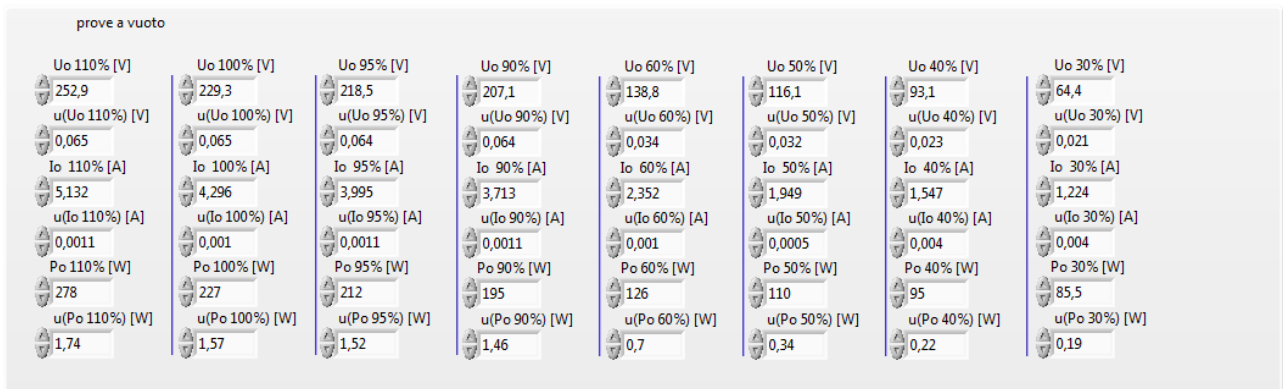


Fig 7b – Seconda sezione del cluster dati in ingresso

prove a carico variabile

U 125% [V]	U 115% [V]	U 100% [V]	U 75% [V]	U 50% [V]	U 25% [V]
229,5	229,9	229,7	230,3	230,9	231,2
u(U 125%) [V]	u(U 115%) [V]	u(U 100%) [V]	u(U 75%) [V]	u(U 50%) [V]	u(U 25%) [V]
0,065	0,065	0,065	0,065	0,22	0,065
I 125% [A]	I 115% [A]	I 100% [A]	I 75% [A]	I 50% [A]	I 25% [A]
12,38	11,31	10,32	8,04	6,39	4,99
u(I 125%) [A]	u(I 115%) [A]	u(I 100%) [A]	u(I 75%) [A]	u(I 50%) [A]	u(I 25%) [A]
0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002
P 125% [W]	P 115% [W]	P 100% [W]	P 75% [W]	P 50% [W]	P 25% [W]
7657	6924	6209	4509	3132	1691
u(P 125%) [W]	u(P 115%) [W]	u(P 100%) [W]	u(P 75%) [W]	u(P 50%) [W]	u(P 25%) [W]
5,69	5,58	5,47	3,16	3,98	2,8
n 125% [rpm]	n 115% [rpm]	n 100% [rpm]	n 75% [rpm]	n 50% [rpm]	n 25% [rpm]
2879	2894	2903	2930	2952	2971
u(n 125%) [rpm]	u(n 115%) [rpm]	u(n 100%) [rpm]	u(n 75%) [rpm]	u(n 50%) [rpm]	u(n 25%) [rpm]
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
T 125% [Nm]	T 115% [Nm]	T 100% [Nm]	T 75% [Nm]	T 50% [Nm]	T 25% [Nm]
22,3	20,2	18,2	13,2	9	4,6
u(T 125%) [Nm]	u(T 115%) [Nm]	u(T 100%) [Nm]	u(T 75%) [Nm]	u(T 50%) [Nm]	u(T 25%) [Nm]
0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Fig 7c – Terza sezione del cluster dati in ingresso

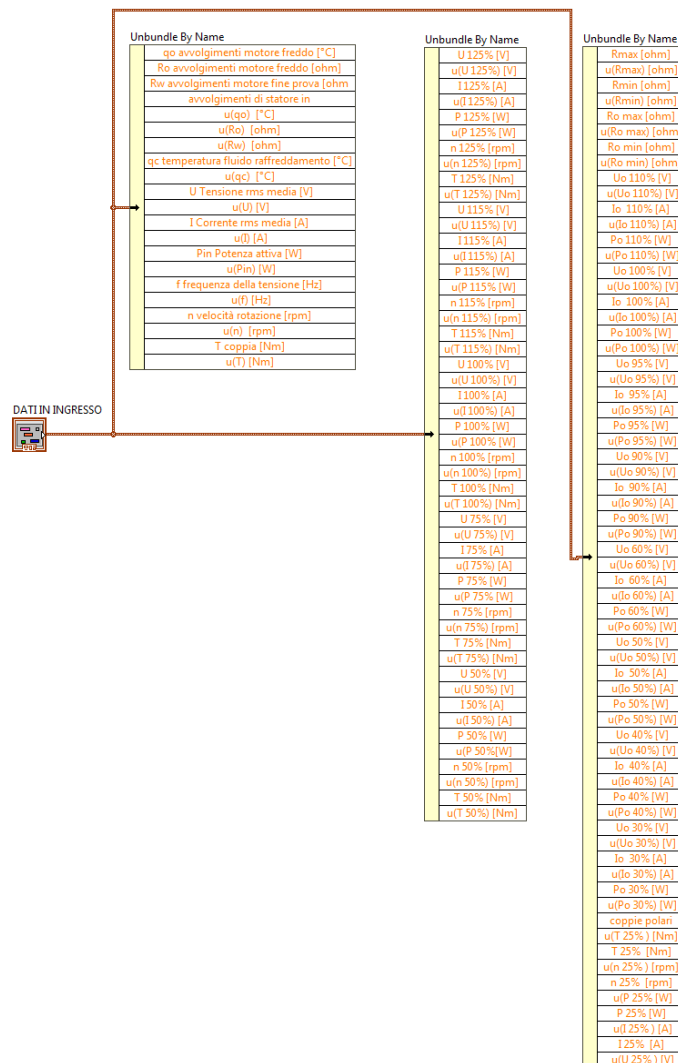


Fig 8 – Cluster dati in ingresso e function unbundle by name

2.2 Il cluster dati in uscita

Analogamente a quanto affermato sul cluster *dati in ingresso*, è stato introdotto un cluster *dati in uscita*, che contiene i risultati delle elaborazione delle grandezze necessarie alla valutazione dei vari contributi di perdita con le relative incertezze; tale cluster contiene 162 grandezze. Il cluster viene inizializzato con valori di default pari a 0, i quali vengono inseriti nel cluster con la funzione *bundle by name* e/o estratti con la funzione *unbundle by name* per essere utilizza insieme ai valori del cluster *dati in ingresso* a seconda degli ingressi ed uscite dei singoli *subVI* presenti nell'applicativo. Di seguito sono riportati, in gruppi coerenti con le diverse prove, le grandezze che costituiscono il cluster *dati in uscita* (Fig. 9a, 9b, 9d, e 9e).

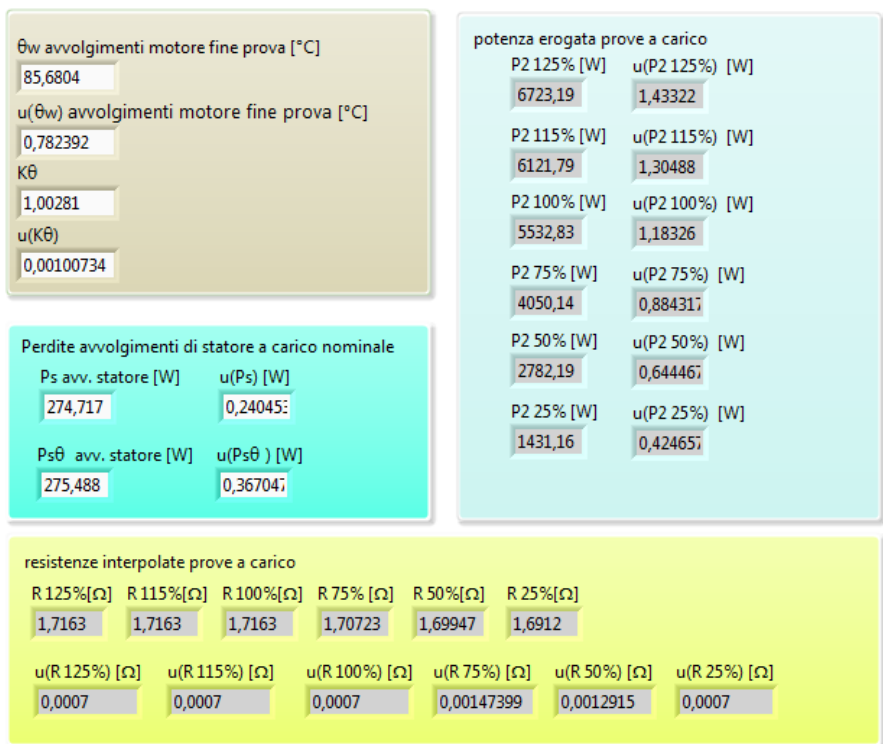


Fig 9a – Prima sezione del cluster dati in uscita

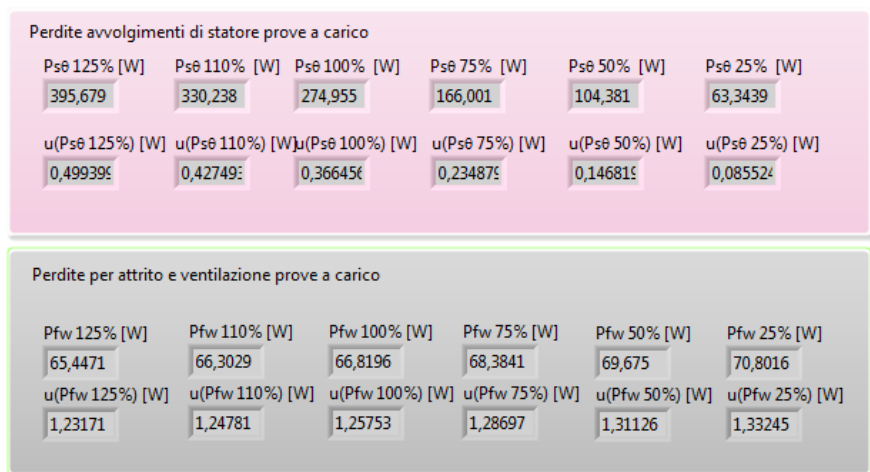


Fig 9b – Seconda sezione del cluster dati in uscita

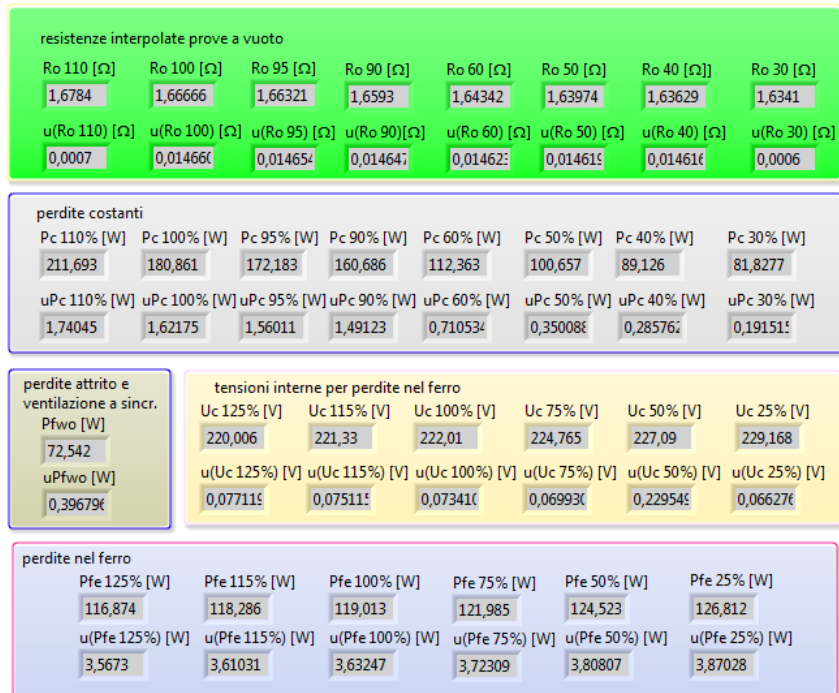


Fig 9c – Terza sezione del cluster dati in uscita

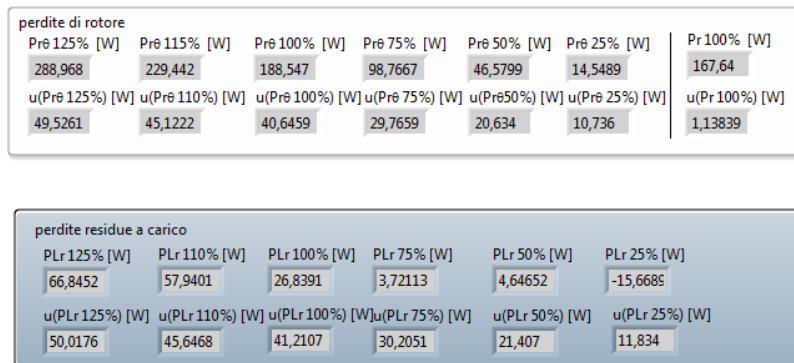


Fig 9d – Quarta sezione del cluster dati in uscita

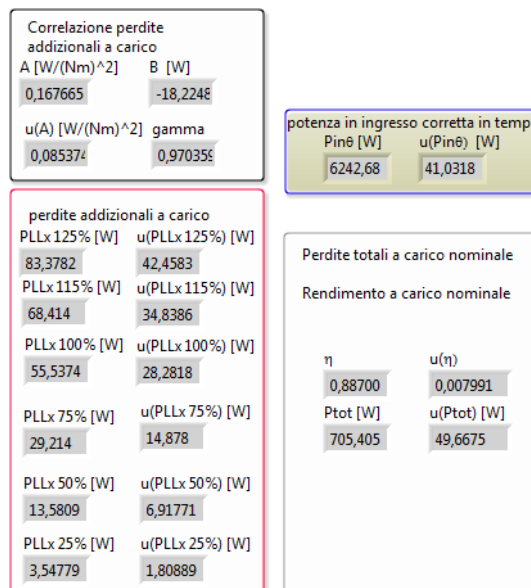


Fig 9e – Quinta sezione del cluster dati in uscita

L'impiego del cluster dati in uscita è illustrato dal *block diagram* sotto riportato (Fig. 10); il cluster dati in ingresso è di sola lettura, mediante utilizzo della funzione *unbundle by name*. Il cluster dati in uscita è utilizzato in lettura e scrittura, mediante le funzioni *unbundle by name* e *bundle by name*, le quali consentono di leggere, scrivere o sovrascrivere le varia grandezze identificabili dalle singole *label*. Si osserva che la funzione *unbundle by name* richiede come ingresso il cluster medesimo, per poter acquisire le *label* ed il formato delle grandezze contenute nel cluster.

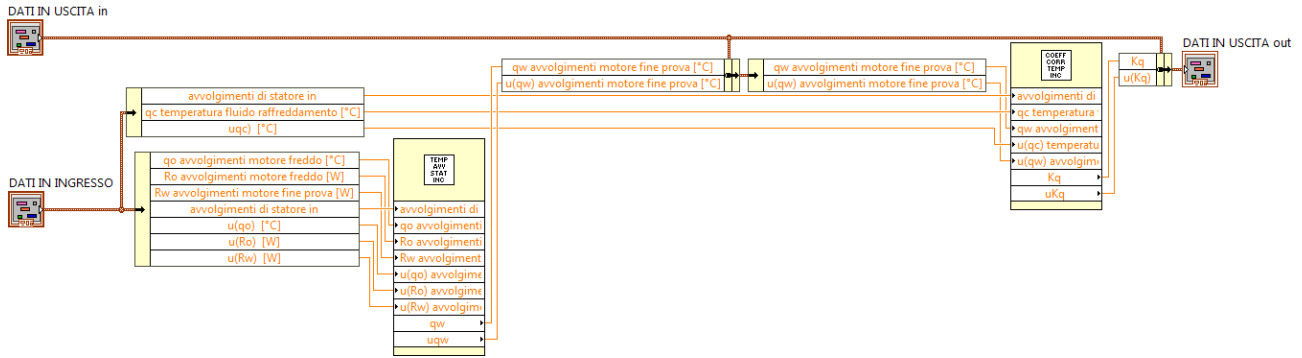


Fig 10 – Esempi di uso della function *bundle by name* ed *unbundle by name*.

2.3 Implementazione dei subVI

Lo sviluppo dell'applicativo è stato coerente con quanto riportato nella relazione [1], mediante implementazione di un *subVI* dedicato ad ogni funzione presentata nella libreria nel Capitolo 8.

I *subVI* si identificano con *connector pane* ed *icon*; nel *block diagram* l'*icon* può essere visualizzata in forma estesa, rendendo più intuitivo lo sviluppo del *data flow* del codice, mediante collegamento di ingressi ed uscite dei *subVI* con le grandezze estratte dai cluster *dati in ingresso* e *dati in uscita*, od inviate a quest'ultimo.

2.4 Calcolo della temperatura degli avvolgimenti di statore con incertezza

Il *subVI* denominato "temp stat avv inc" è dotato dei seguenti *connector pane* ed *icon*:

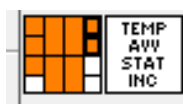


Fig 11 – Sub VI "temp stat avv inc": icon e *connector pane*

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

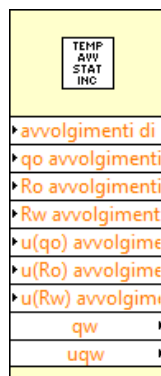


Fig 12 – Sub VI "temp stat avv inc": icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

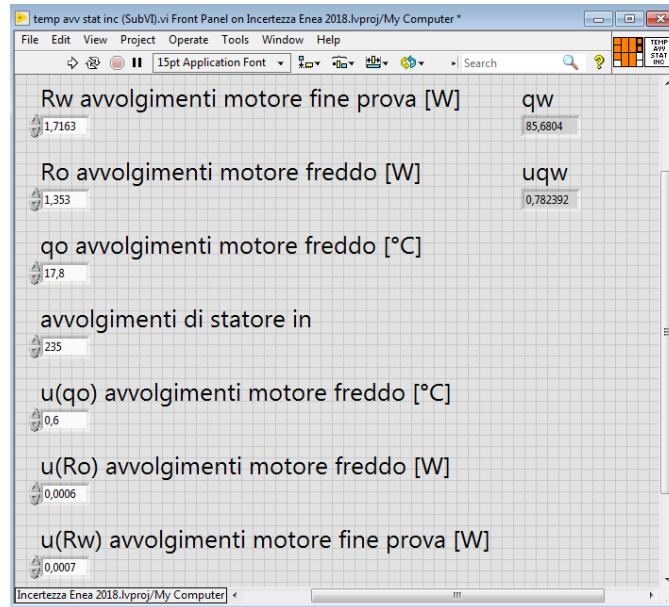


Fig 13 – Sub VI “temp stat avv inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

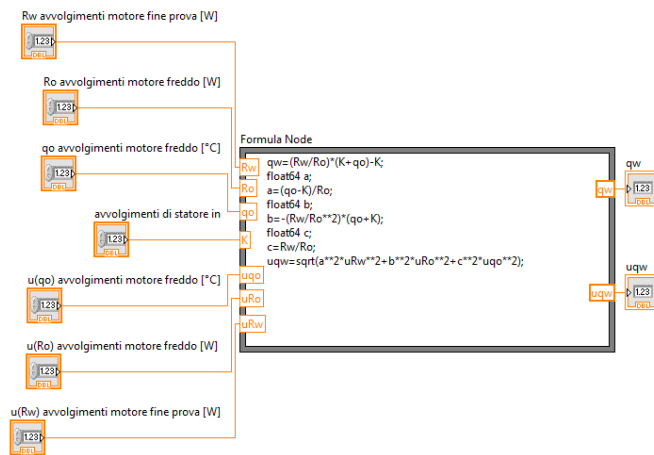


Fig 14 – Sub VI “temp stat avv inc”: block diagram

2.5 Calcolo della potenza meccanica erogata con incertezza

Il subVI denominato “pot mec erog inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 15 – Sub VI “pot mec erog inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

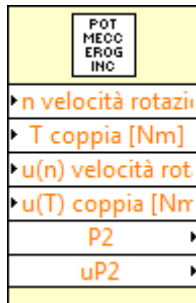


Fig 16 – Sub VI “pot mec erog inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

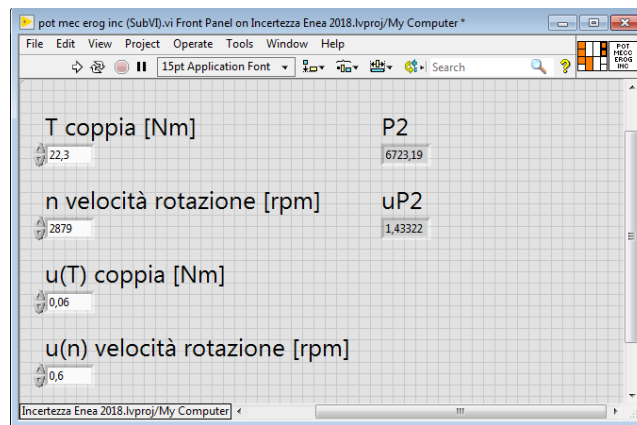


Fig 17 – Sub VI “pot mec erog inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

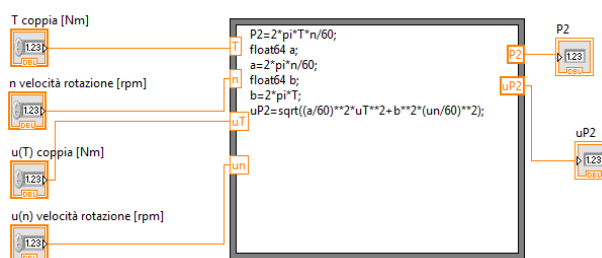


Fig 18 – Sub VI “pot mec erog inc”: block diagram

2.6 Calcolo del fattore di riporto alla temperatura del fluido di raffreddamento con incertezza

Il subVI denominato “coeff corr temp inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 19 – Sub VI “coeff corr temp inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

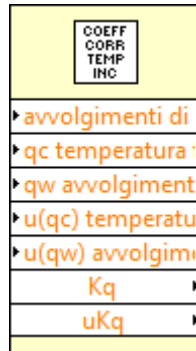


Fig 20 – Sub VI “coeff corr temp inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

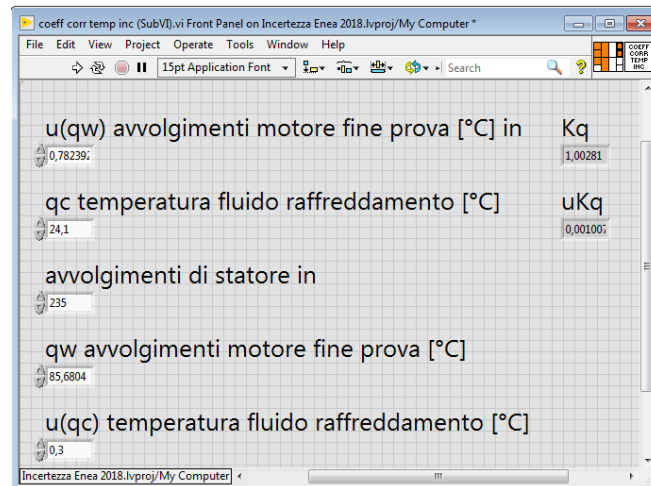


Fig 21 – Sub VI “coeff corr temp inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

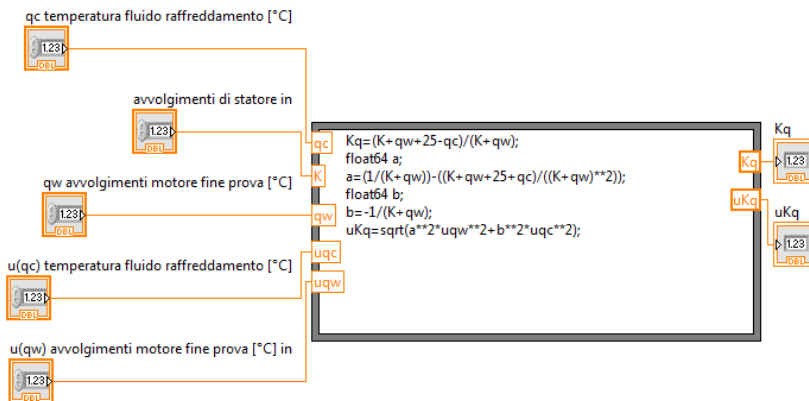


Fig 22 – Sub VI “coeff corr temp inc”: block diagram

2.7 Calcolo delle perdite negli avvolgimenti di statore con incertezza

Il subVI denominato “*perd avv stat inc*” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 23 – Sub VI “*perd avv stat inc*”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).



Fig 24 – Sub VI “*perd avv stat inc*”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

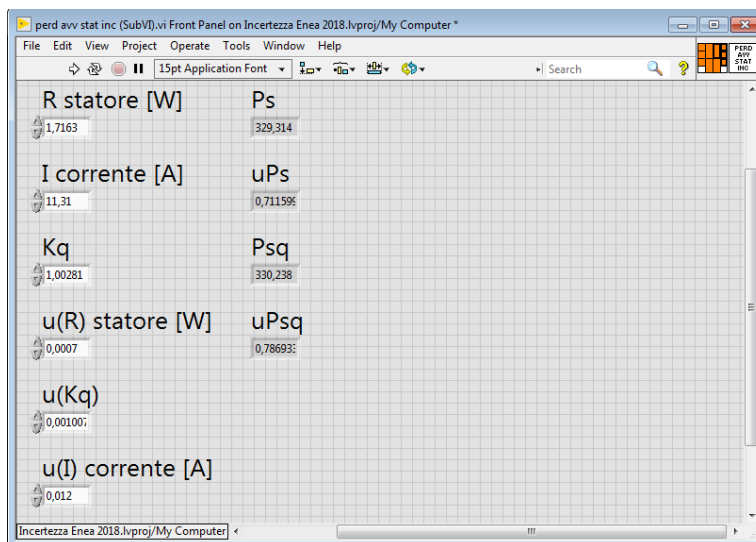


Fig 25 – Sub VI “*perd avv stat inc*”: front panel

Ed il seguente block diagram:

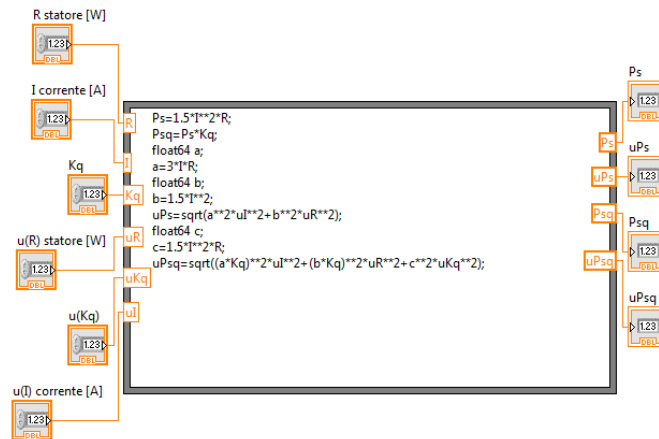


Fig 26 – Sub VI “perd avv stat inc”: block diagram

2.8 Calcolo delle resistenze interpolate nella prova a carico variabile con incertezza

Il subVI denominato “resist interp carico incert” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 27 – Sub VI “resist interp carico incert”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

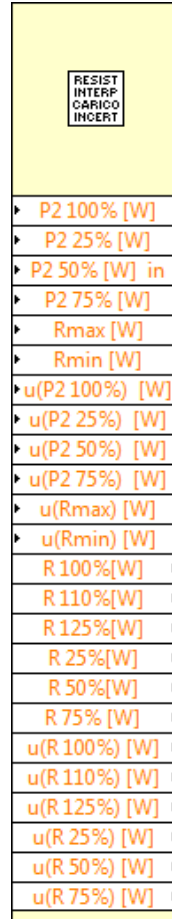


Fig 28 – Sub VI “resist interp carico incert”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

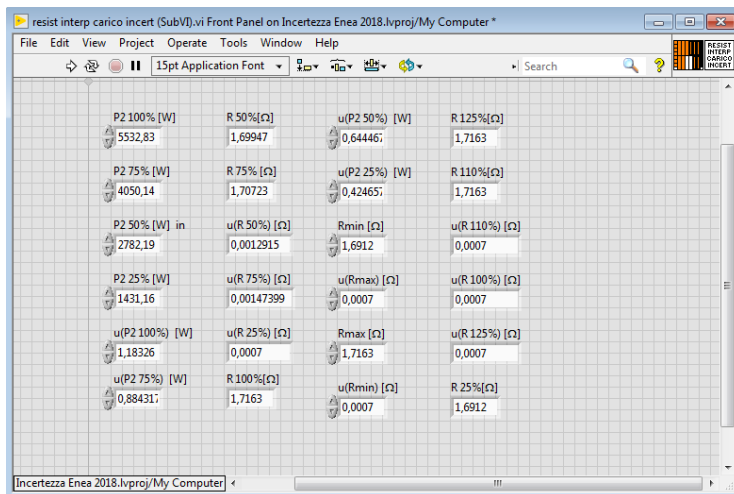


Fig 29 – Sub VI “resist interp carico incert”: front panel

Ed il seguente block diagram:

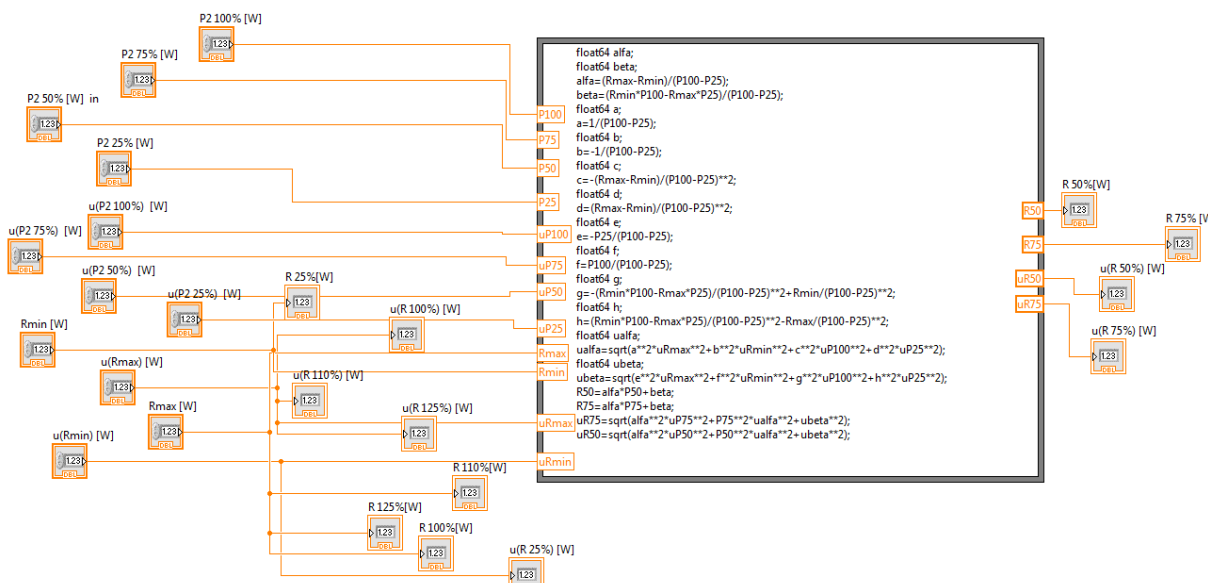


Fig 30 – Sub VI “resist interp carico incert”: block diagram

2.9 Calcolo delle resistenze interpolate nella prova a vuoto con incertezza

Il subVI denominato “resist interp vuoto incert” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 28 – Sub VI “resist interp vuoto incert”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

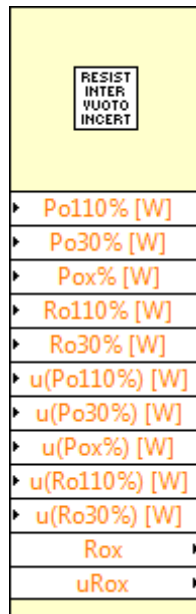


Fig 29 – Sub VI “resist interp vuoto incert”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

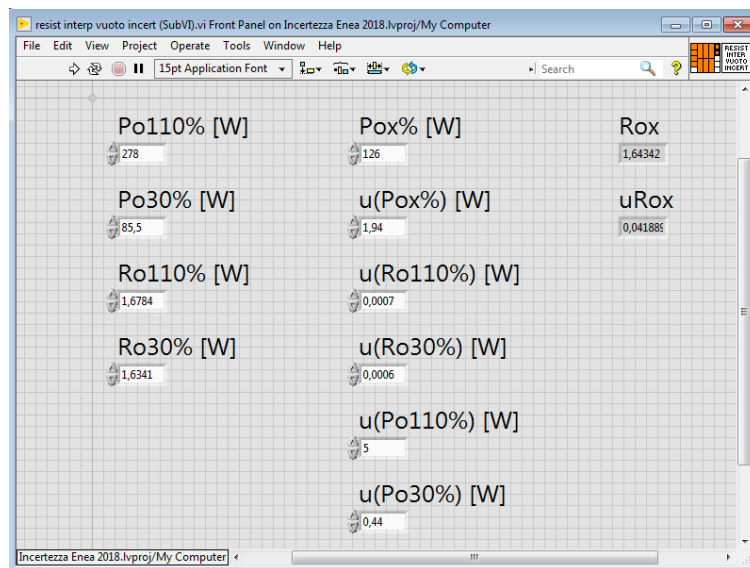


Fig 30 – Sub VI “resist interp vuoto incert”: front panel

Ed il seguente block diagram:

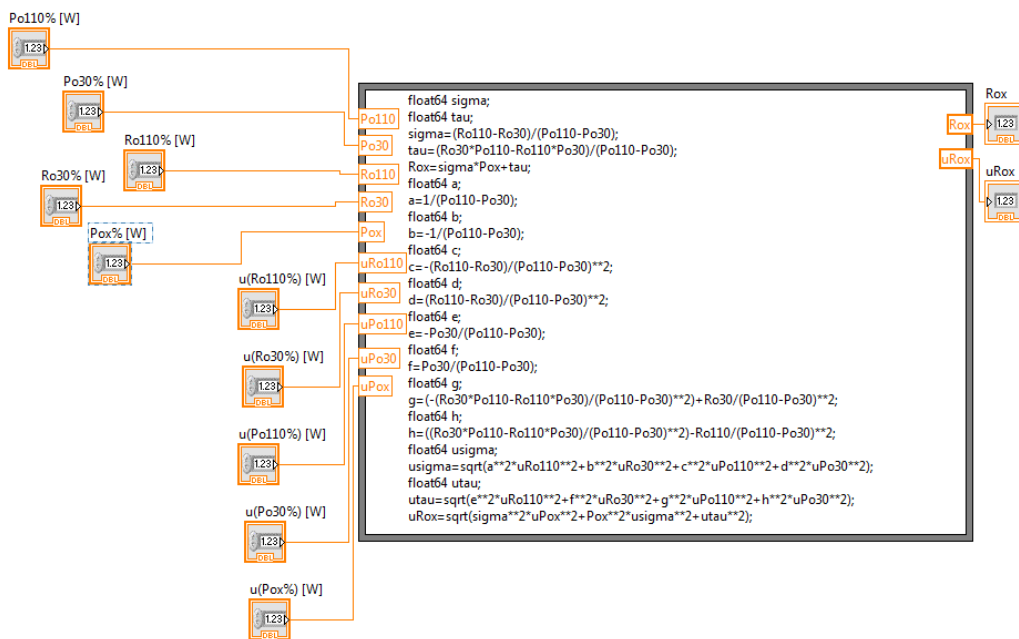


Fig 31 – Sub VI “resist interp vuoto incert”: block diagram

2.10 Calcolo delle perdite costanti con incertezza

Il subVI denominato “perd cost inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 32 – Sub VI “perd cost inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

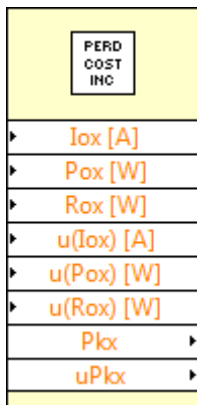


Fig 33 – Sub VI “perd cost inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

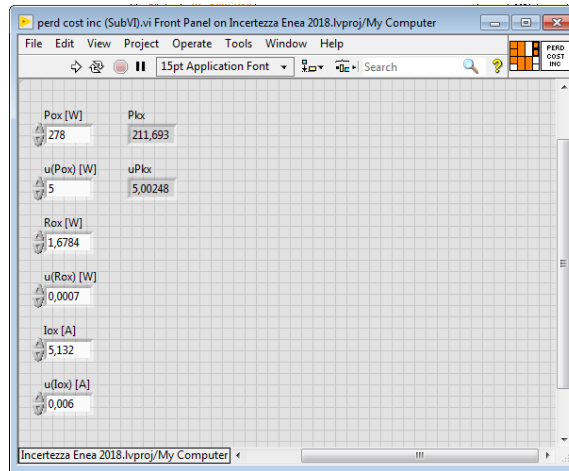


Fig 34 – Sub VI “perd cost inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

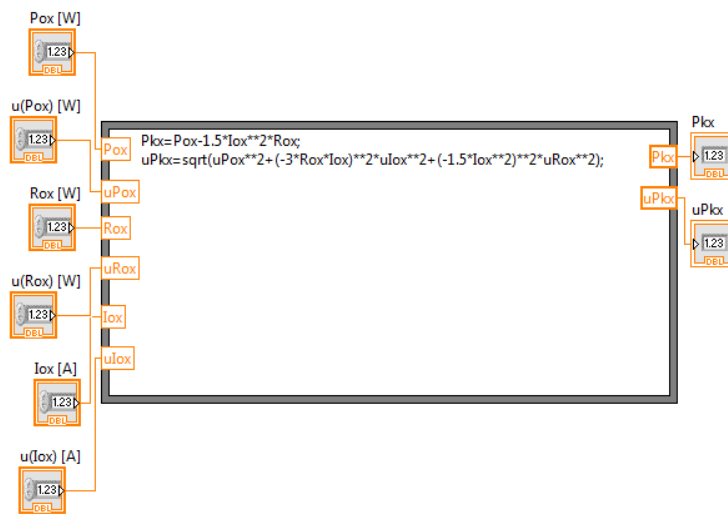


Fig 35 – Sub VI “perd cost inc”: block diagram

2.11 Calcolo delle perdite per attrito e ventilazione alla velocità di sincronismo e incertezze

Il subVI denominato “perd attr vent inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 36 – Sub VI “perd attr vent inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

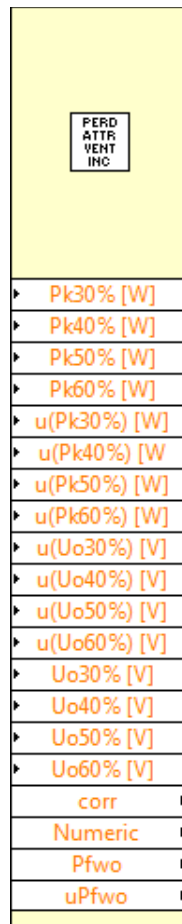


Fig 37 – Sub VI “perd attr vent inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

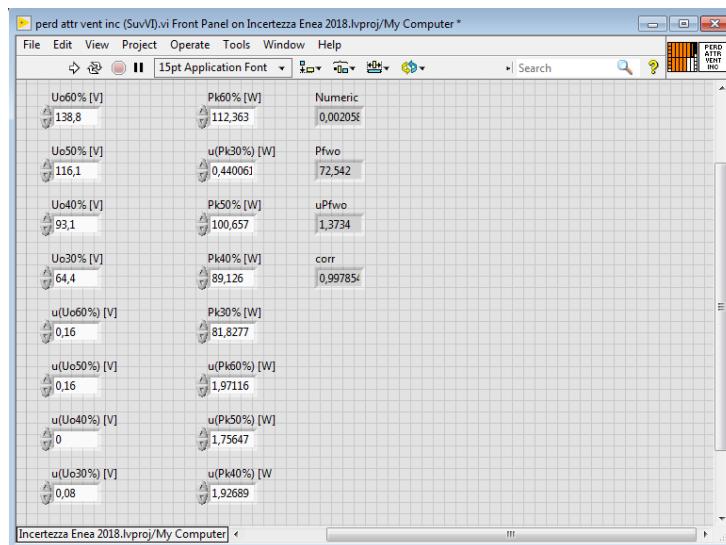


Fig 38 – Sub VI “perd attr vent inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:



Fig 38 – Sub VI “perd attr vent inc”: block diagram

2.12 Calcolo delle tensioni interne per la determinazione delle perdite nel ferro e incertezze

Il subVI denominato “tens int p fer inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:

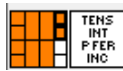


Fig 39 – Sub VI “tens int p fer inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

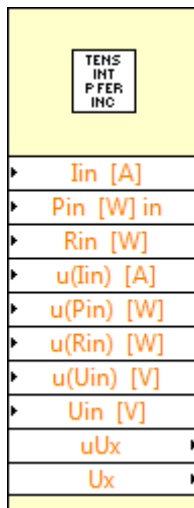


Fig 40 – Sub VI “tens int p fer inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

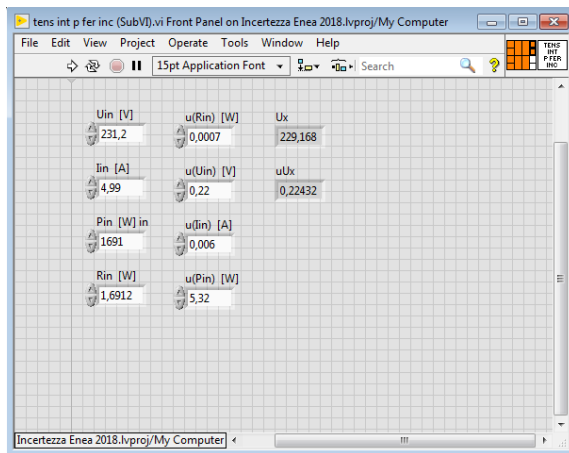


Fig 41 – Sub VI “tens int p fer inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

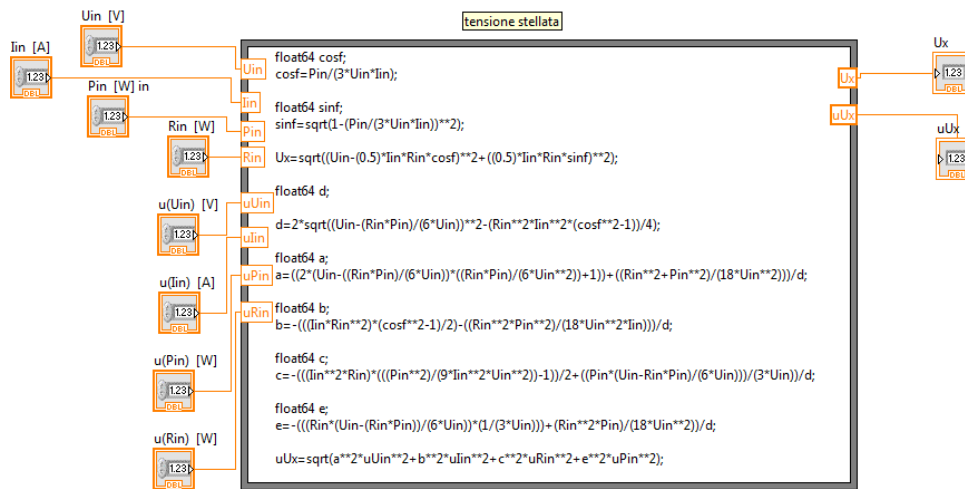


Fig 42 – Sub VI “tens int p fer inc”: block diagram

2.13 Calcolo delle perdite nel ferro con incertezza

Il subVI denominato “perd ferr inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 43– Sub VI “perd ferr inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

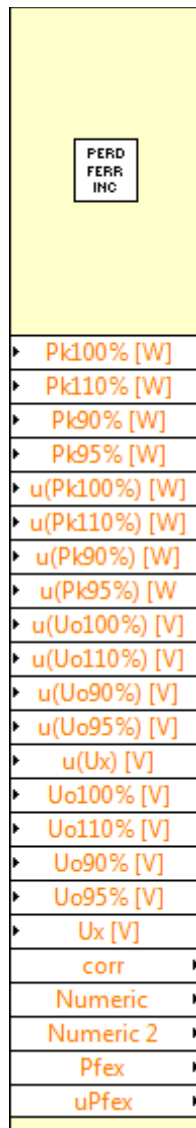


Fig 44– Sub VI “perd ferr inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

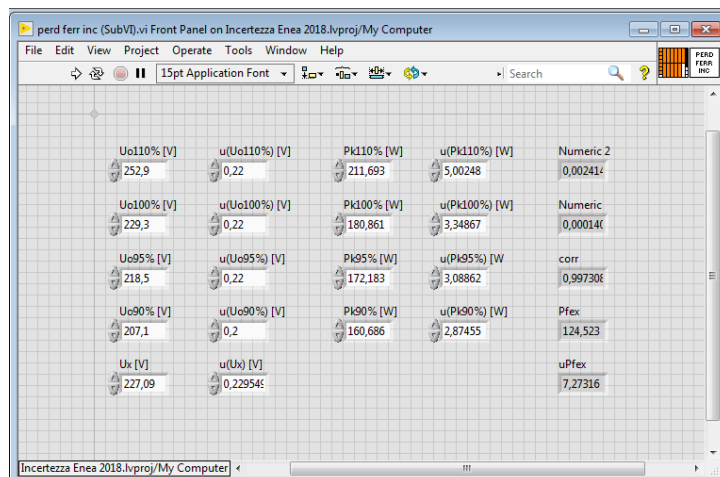


Fig 45– Sub VI “perd ferr inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:



Fig 46 – Sub VI “perd ferr inc”: block diagram

2.14 Calcolo delle scorrimento corretto in temperatura con incertezza

Il subVI denominato “scorr corr temp inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 47 – Sub VI “scorr corr temp inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

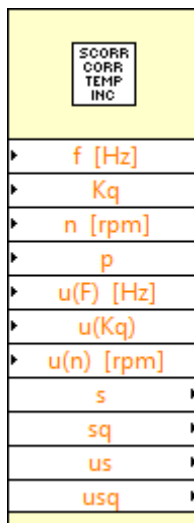


Fig 48 – Sub VI “scorr corr temp inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

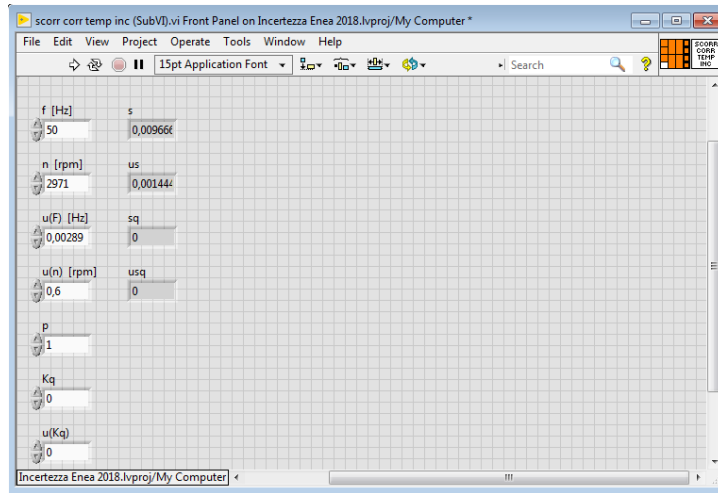


Fig 49 – Sub VI “scorr corr temp inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

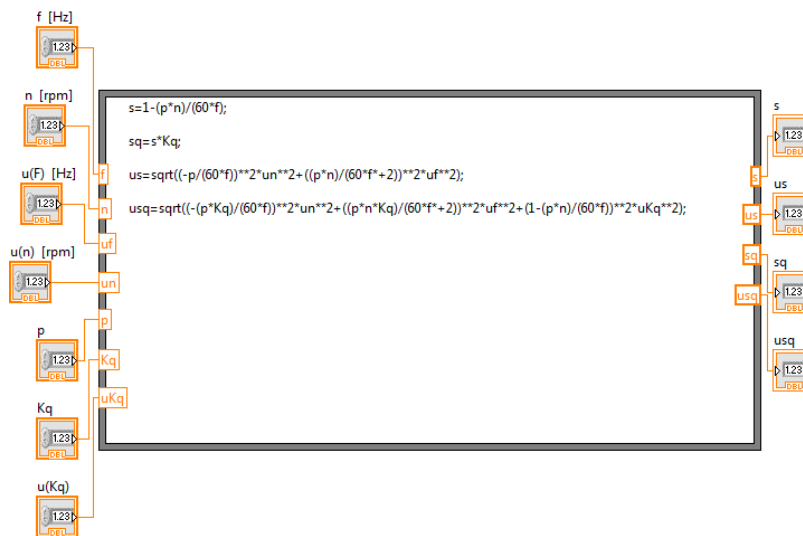


Fig 50 – Sub VI “scorr corr temp inc”: block diagram

2.15 Calcolo delle perdite di rotore corrette in temperatura con incertezza

Il subVI denominato “perd rot corr inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 51 – Sub VI “perd rot corr inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

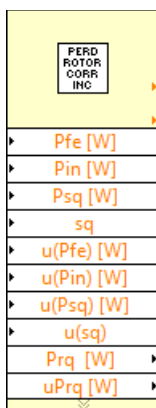


Fig 52 – Sub VI “perd rot corr inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

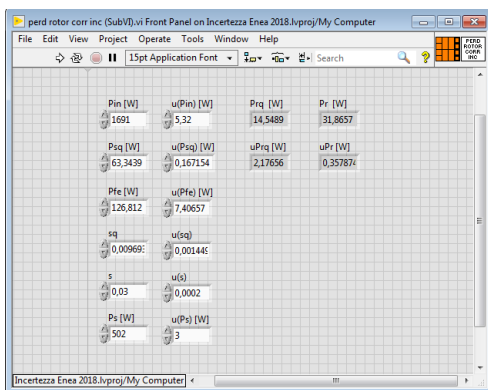


Fig 53 – Sub VI “perd rot corr inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

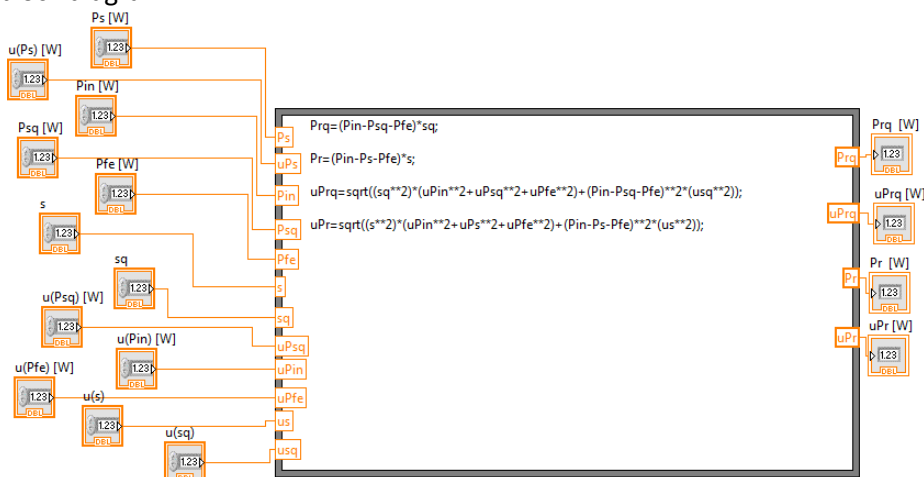


Fig 54 – Sub VI “perd rot corr inc”: block diagram

2.16 Calcolo delle perdite per attrito e ventilazione con incertezza

Il subVI denominato “perd attr vent scorr inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 55 – Sub VI “perd attr vent scorr inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

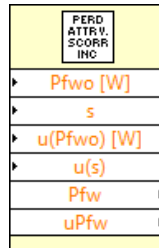


Fig 56 – Sub VI “perd attr vent scorr inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

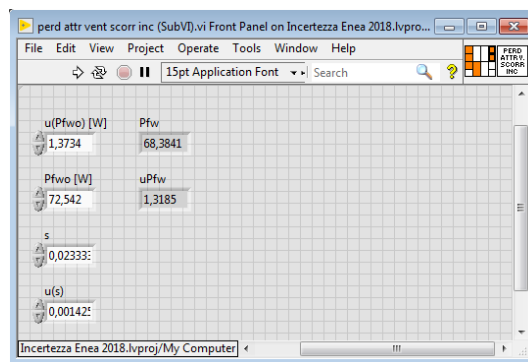


Fig 57 – Sub VI “perd attr vent scorr inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

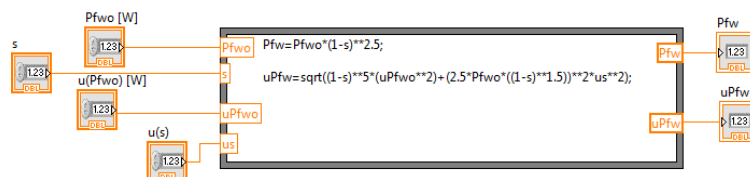


Fig 57 – Sub VI “perd attr vent scorr inc”: block diagram

2.17 Calcolo delle perdite residue con incertezza

Il subVI denominato “perd resid inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 58 – Sub VI “perd resid inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

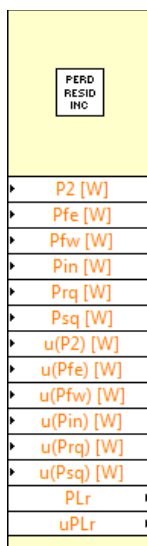


Fig 59 – Sub VI “perd resid inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

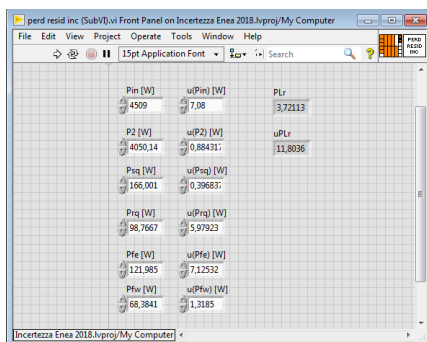


Fig 60 – Sub VI “perd resid inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

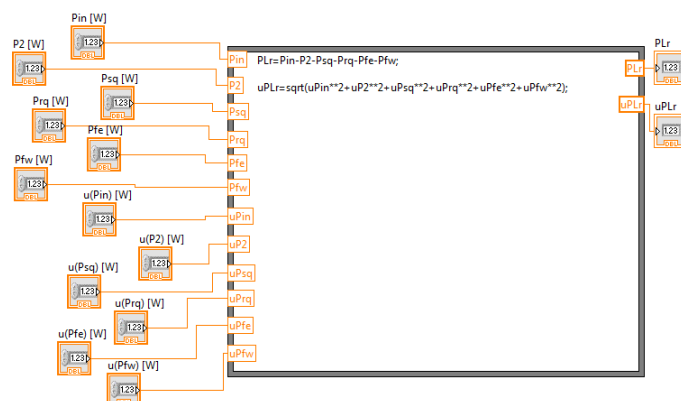


Fig 61 – Sub VI “perd resid inc”: block diagram

2.18 Calcolo dei coefficienti di regressione e di correlazione per le perdite addizionali con incertezza

Il subVI denominato “coeff perd add inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 62 – Sub VI “coeff perd add inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

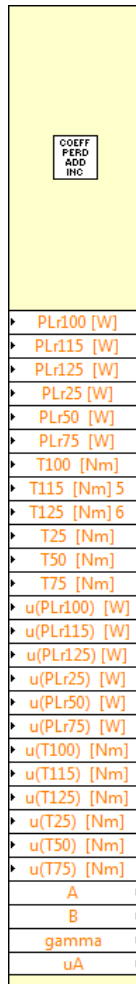


Fig 63 – Sub VI “coeff perd add inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

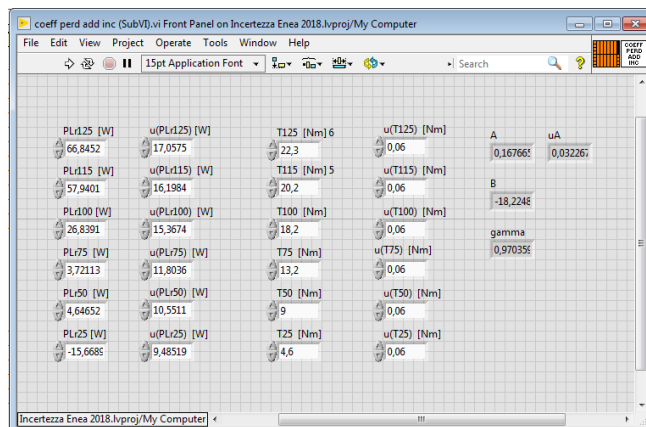


Fig 64 – Sub VI “coeff perd add inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

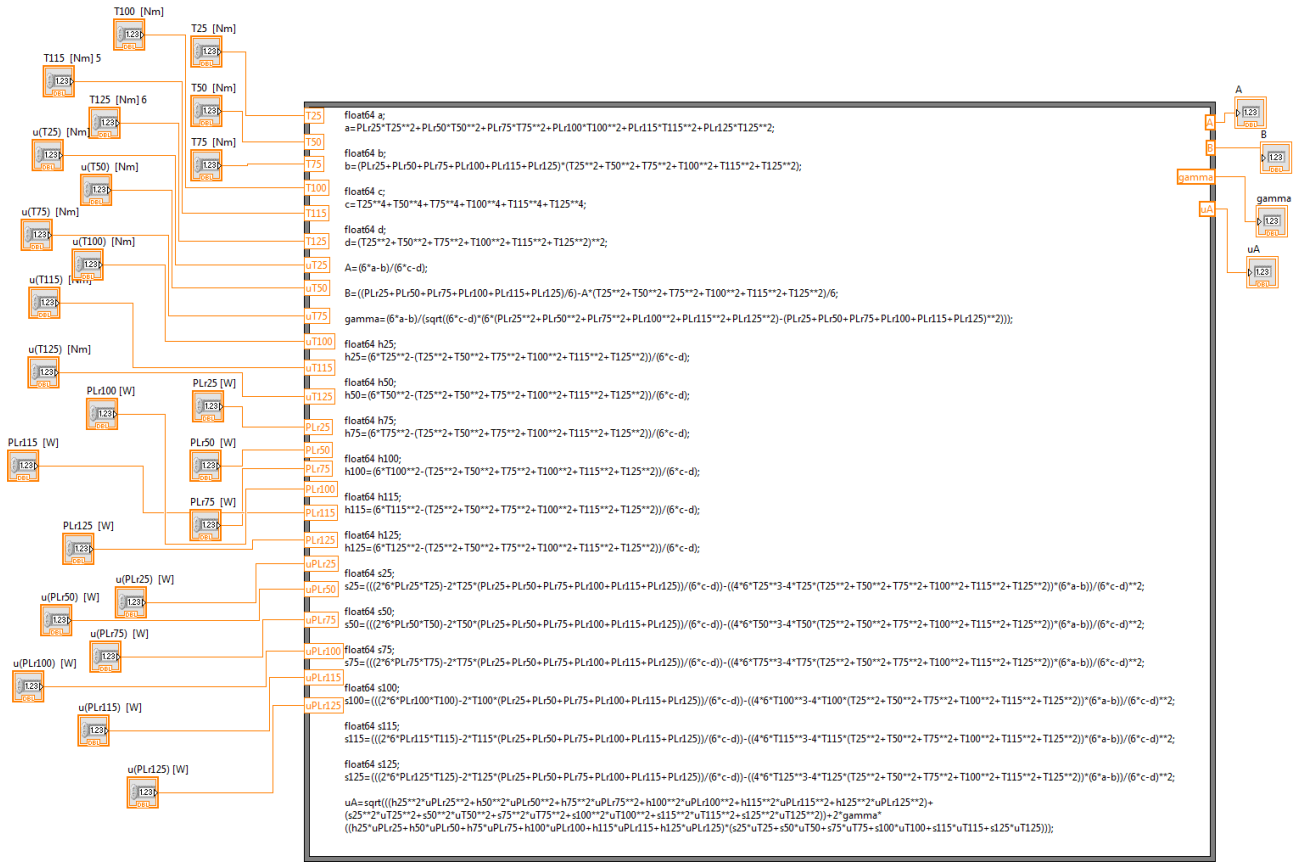


Fig 65 – Sub VI “coeff perd add inc”: block diagram

2.19 Calcolo delle perdite addizionali a carico con incertezza

Il subVI denominato “perd add carico inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 66 – Sub VI “perd add carico inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

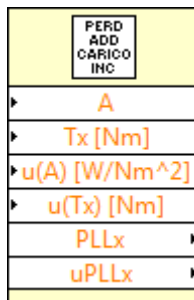


Fig 67 – Sub VI “perd add carico inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

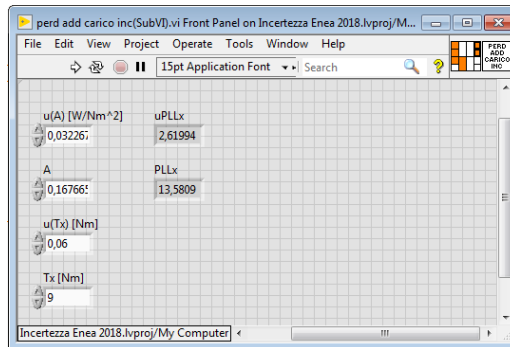


Fig 67 – Sub VI “perd add carico inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

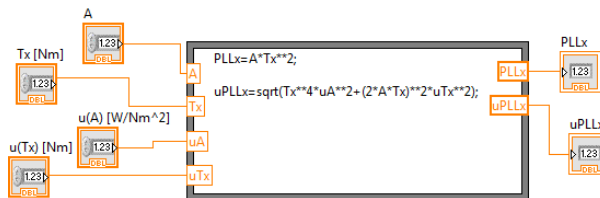


Fig 68 – Sub VI “perd add carico inc”: block diagram

2.20 Calcolo della potenza in ingresso corretta in temperatura con incertezza

Il subVI denominato “pot ingr corr inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:

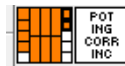


Fig 69 – Sub VI “pot ingr corr inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).



Fig 70 – Sub VI “pot ingr corr inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

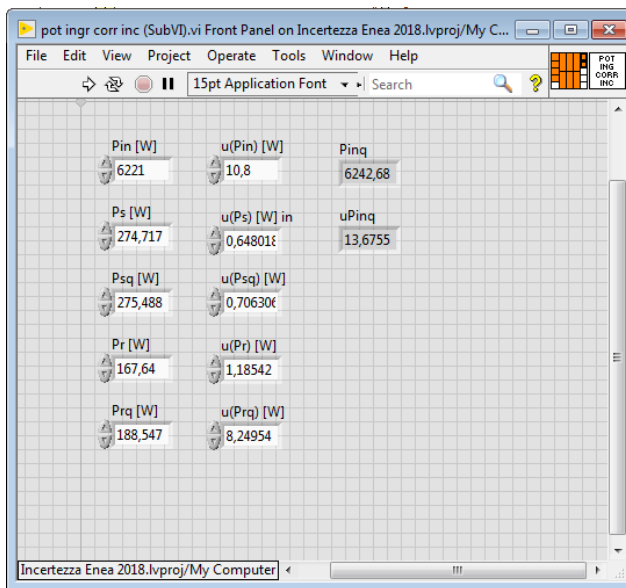


Fig 71 – Sub VI “pot ingr corr inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

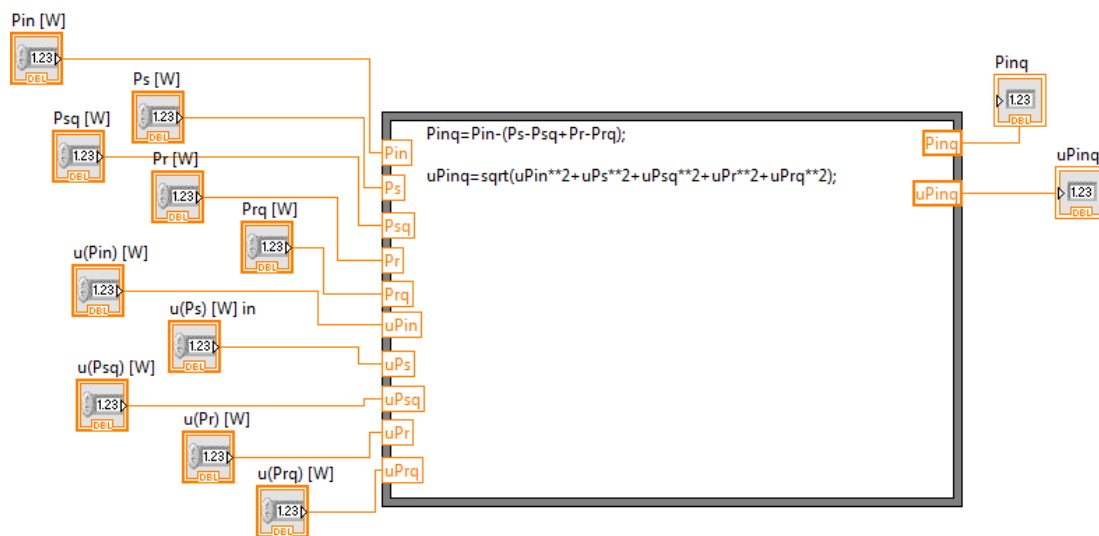


Fig 72 – Sub VI “pot ingr corr inc”: front panel

2.21 Calcolo del rendimento indiretto con incertezza

Il subVI denominato “rend indir inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:

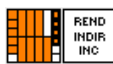


Fig 73 – Sub VI “rend indir inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l'icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

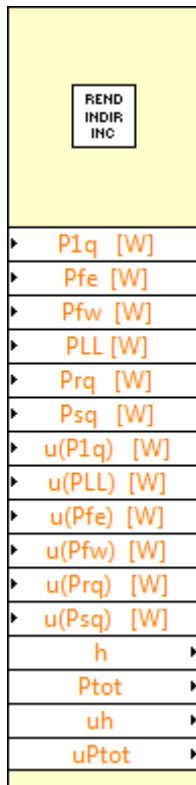


Fig 74 – Sub VI “rend indir inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

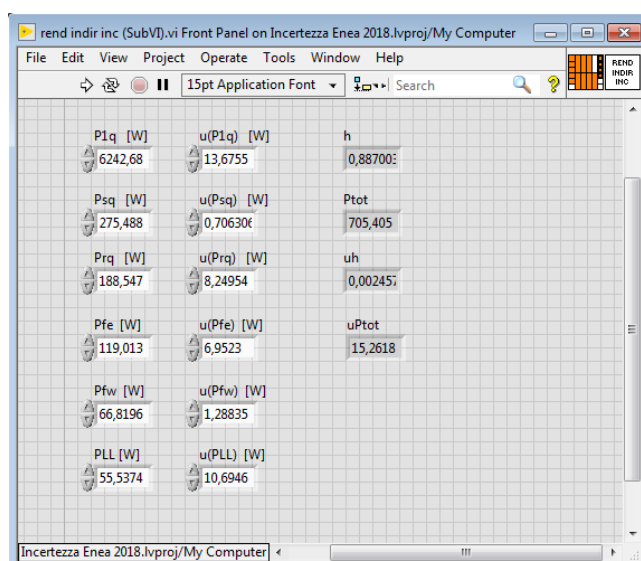


Fig 75 – Sub VI “rend indir inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

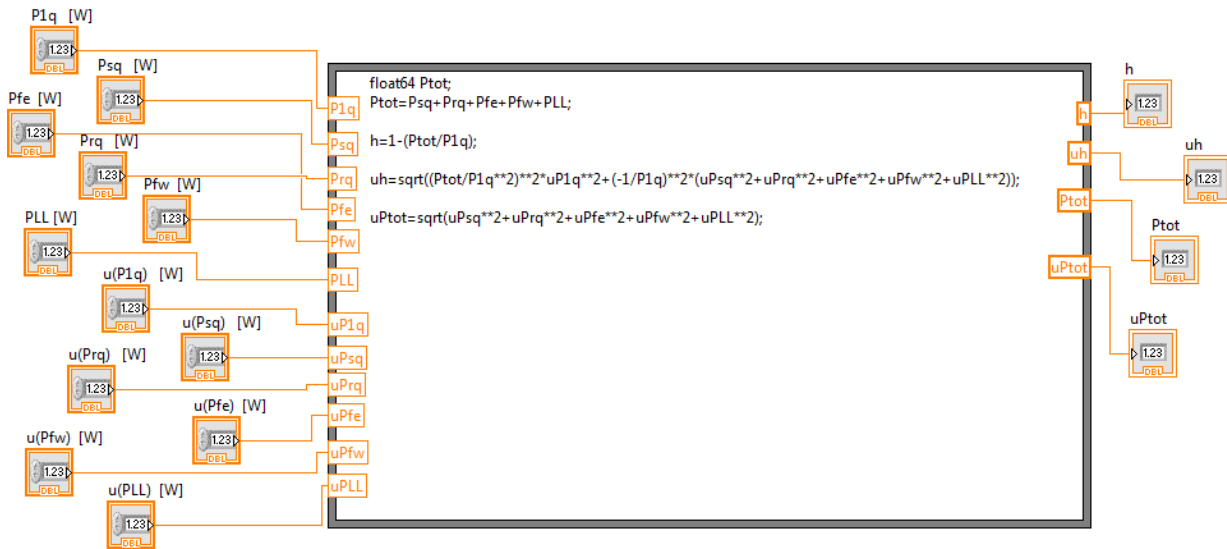


Fig 76 – Sub VI “rend indir inc”: block diagram

2.22 Calcolo del rendimento diretto con incertezza

Il subVI denominato “rend dir temp inc” è dotato dei seguenti connector pane ed icon:



Fig 77 – Sub VI “rend dir temp inc”: icon e connector pane

Inserendo in un VI generale l’icona in forma estesa, si possono visualizzare in dettaglio gli ingressi e le uscite in formato di grandezze scalari double precision (64 bit).

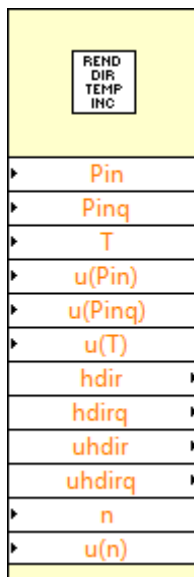


Fig 78 – Sub VI “rend dir temp inc”: icon estesa

Il subVI presenta il seguente front panel:

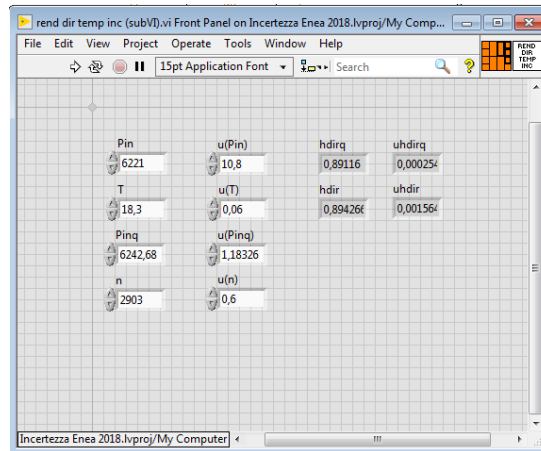


Fig 79 – Sub VI “rend dir temp inc”: front panel

Ed il seguente block diagram:

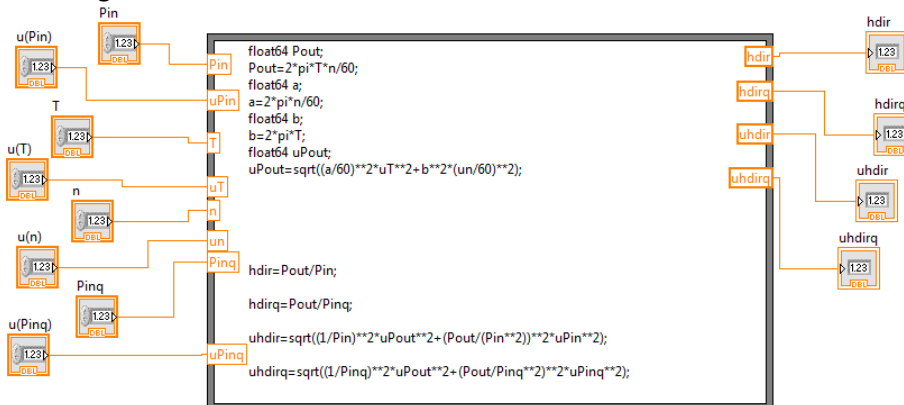


Fig 80 – Sub VI “rend dir temp inc”: block diagram

3 Struttura dell’applicativo complessivo di calcolo del rendimento indiretto con incertezza composta

3.1 Diagramma di flusso

Come già ampiamente discusso nella relazione [1] i singoli *subVI* sopra descritti devono essere strutturati in una applicativo che assume la forma del diagramma di flusso già presentato, e riportato in Fig.81. Essenziale è il rispetto della sequenzialità corretta delle operazioni di calcolo, in quanto le grandezze in uscita di alcune funzioni sono utilizzate da altre come ingresso insieme alle grandezze misurate.

3.2 Dataflow dell’applicativo

Il *dataflow* è stato implementato utilizzando una struttura *flat sequence*, la cui utilità è insita nel rendere sequenziali le operazioni di lettura dei dati presenti nei cluster, di elaborazione e successivo aggiornamento del cluster dati in uscita.

Con questo approccio si ottiene un codice leggibile, in cui si evidenziano i passaggi relativi alle singole elaborazioni come descritti nella relazione [1], e si ha la certezza che non si verifichino *race conditions*, in termini di accesso non sequenziale, nell’aggiornamento dei dati nel cluster considerato.

Di seguito si riportano i singoli *frame* della struttura *sequence* implementata; in totale sono stati sviluppati 17 *frame*, denominati sinteticamente nel modo seguente e così posti in sequenza (Fig. 82-96):

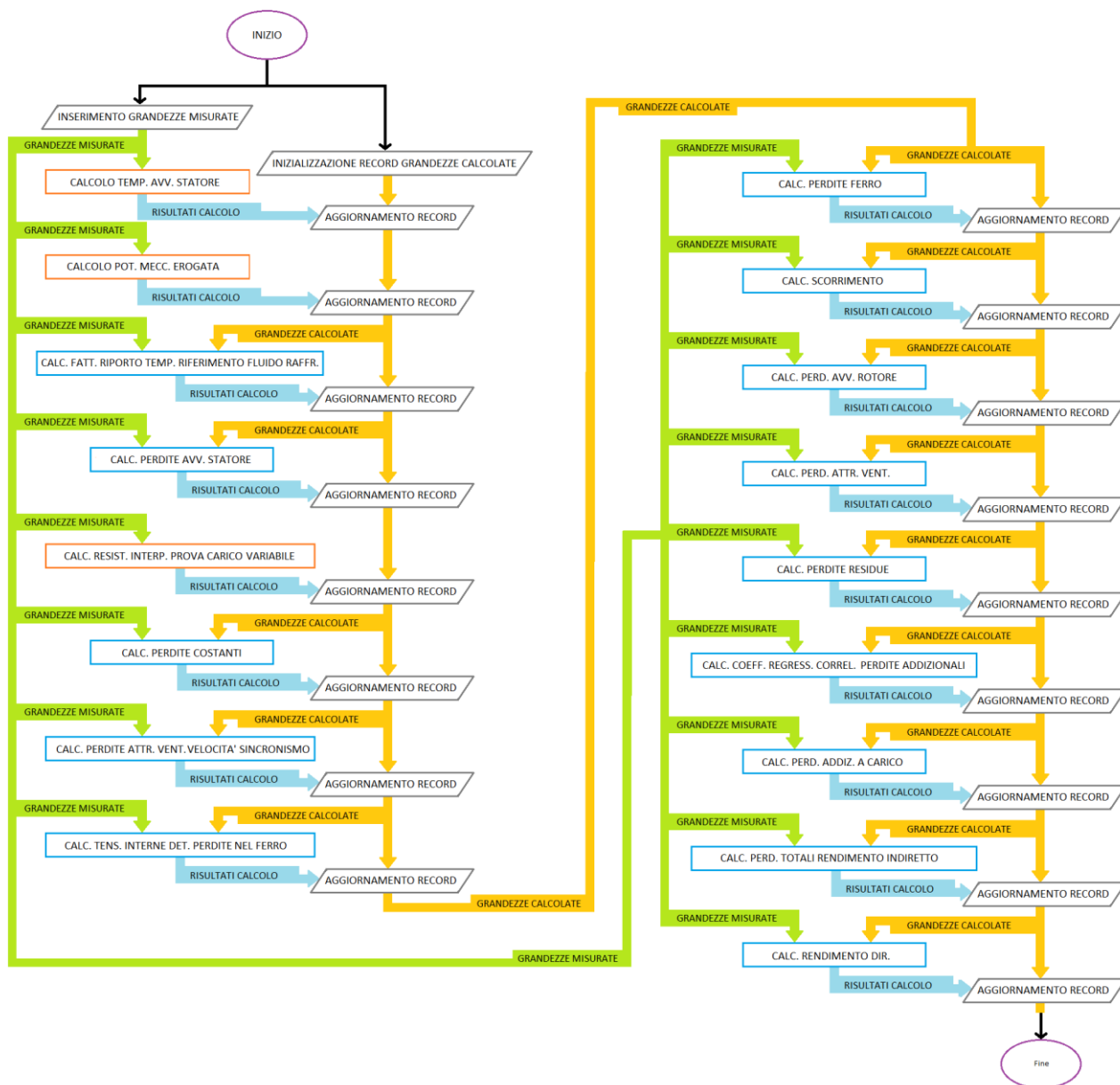


Fig 81 - Diagramma di flusso dell’algoritmo complessivo.

- 1) temperatura avvolgimenti fine prova nominale
- 2) potenza meccanica erogata prove a carico - coefficiente riporto temperatura del fluido di raffreddamento - perdite avvolgimenti di statore prove a carico nominale
- 3) resistenze interpolate prove a carico
- 4) perdite avvolgimenti di statore prova a carico
- 5) resistenze interpolate prove a vuoto
- 6) perdite costanti
- 7) perdite attrito e ventilazione a vuoto
- 8) tensioni corrette per perdite a vuoto
- 9) perdite nel ferro
- 10) perdite di rotore corrette
- 11) perdite per attrito e ventilazione a carico
- 12) perdite residue a carico
- 13) perdite addizionali a carico
- 14) potenza in ingresso corretta in temperatura

- 15) perdite totali e rendimento
- 16) tracciamento dei grafici di perdite totali e rendimento indiretto
- 17) conversione del cluster dati in uscita in stringa - salvataggio in formato di testo

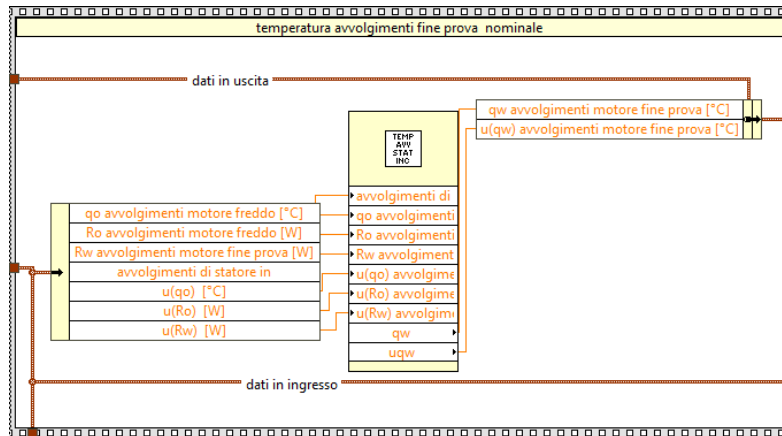


Fig 82 – Frame: temperatura avvolgimenti fine prova nominale

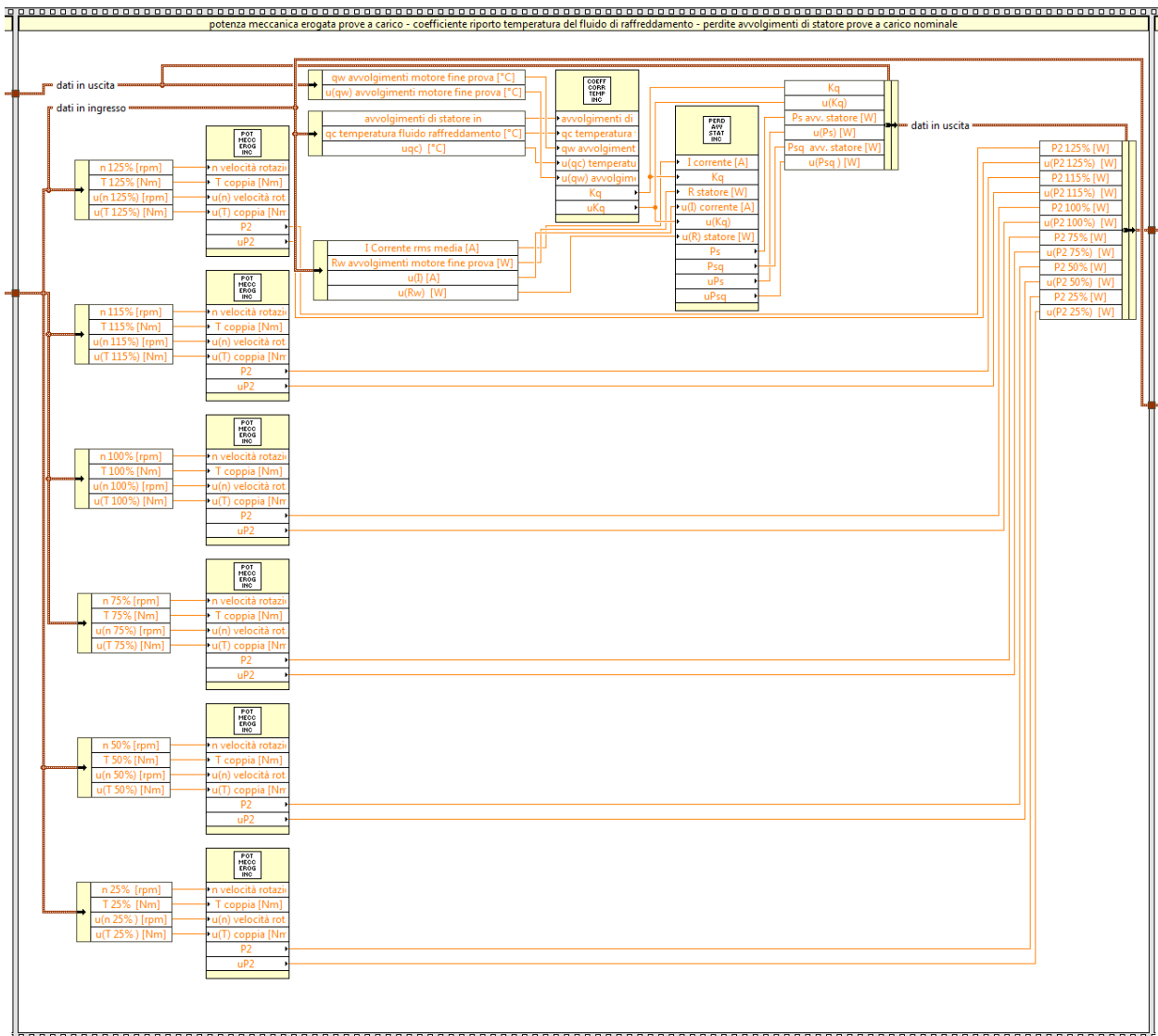


Fig 83 – Frame: potenza meccanica erogata prove a carico - coefficiente riporto temperatura del fluido di raffreddamento - perdite avvolgimenti di statore prove a carico nominale

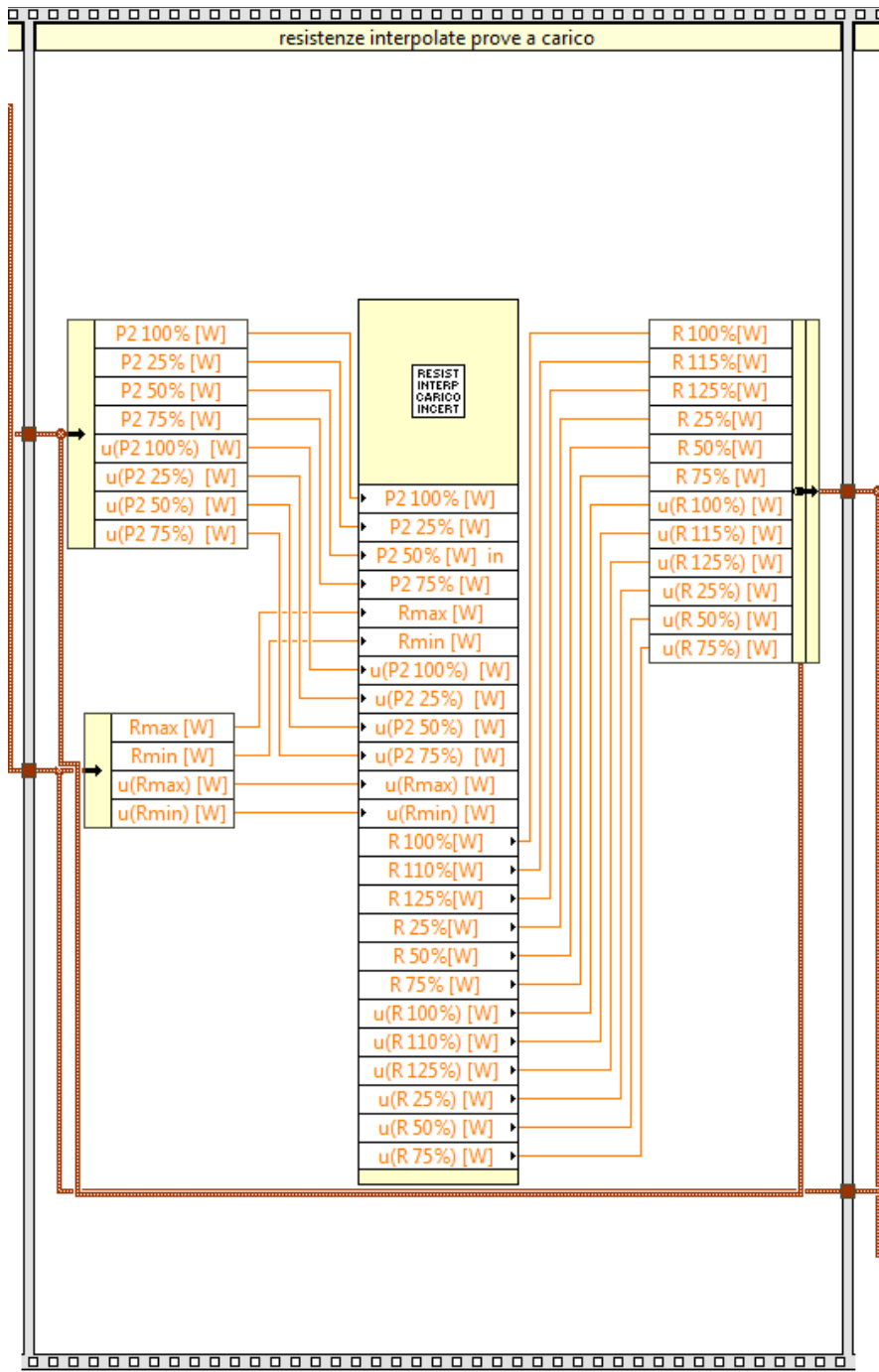


Fig 84 – Frame: resistenze interpolate prove a carico

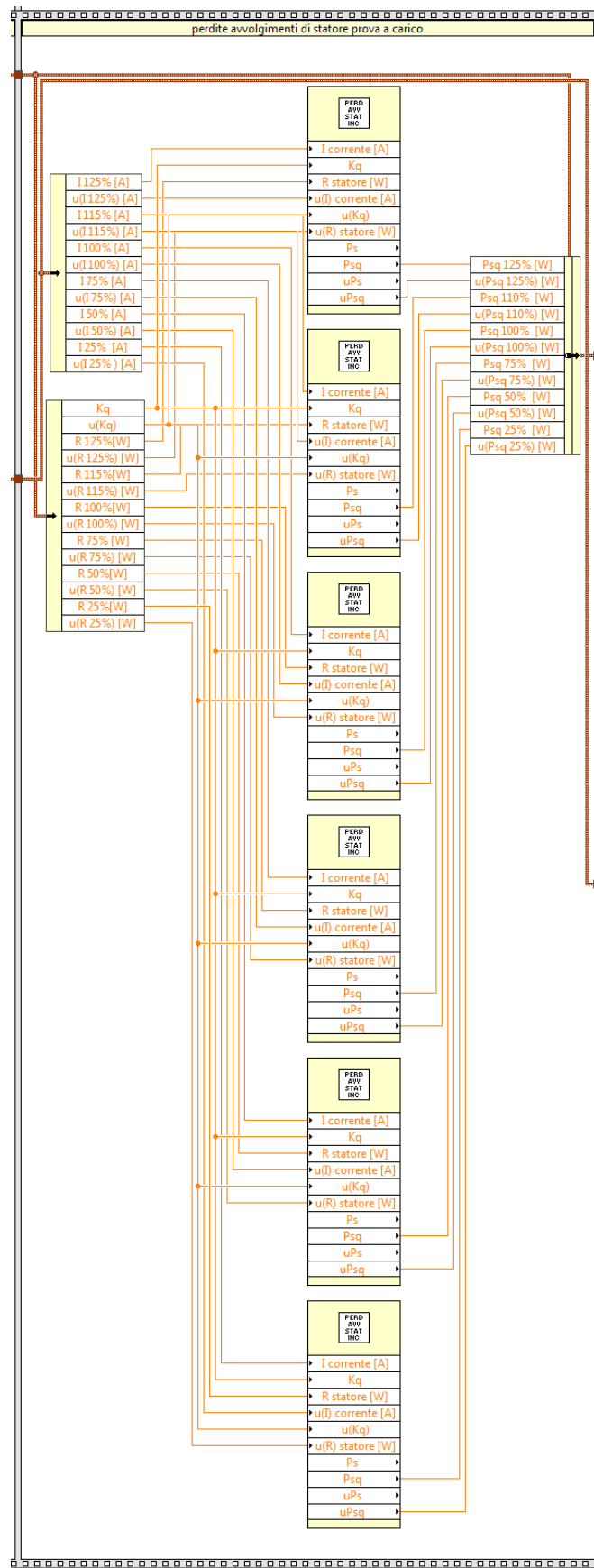


Fig 85 – Frame: perdite avvolgimenti di statore prova a carico

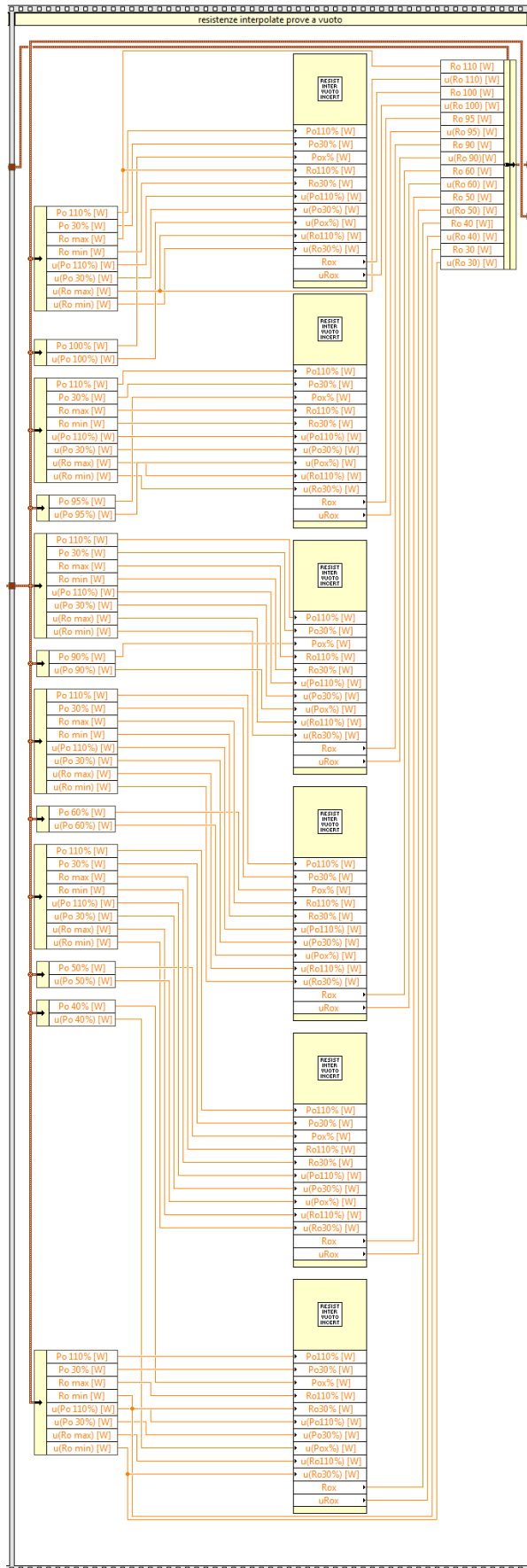


Fig 86 – Frame: resistenze interpolate prova a vuoto

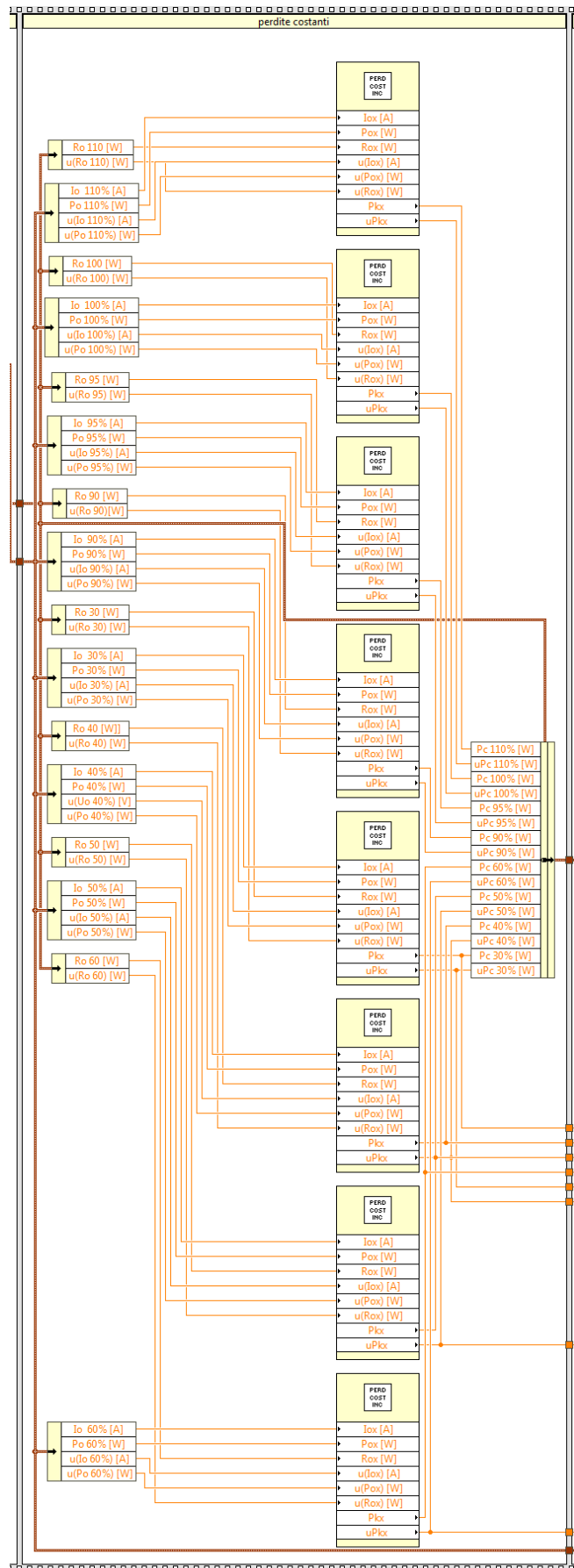


Fig 87 – Frame: perdite costanti

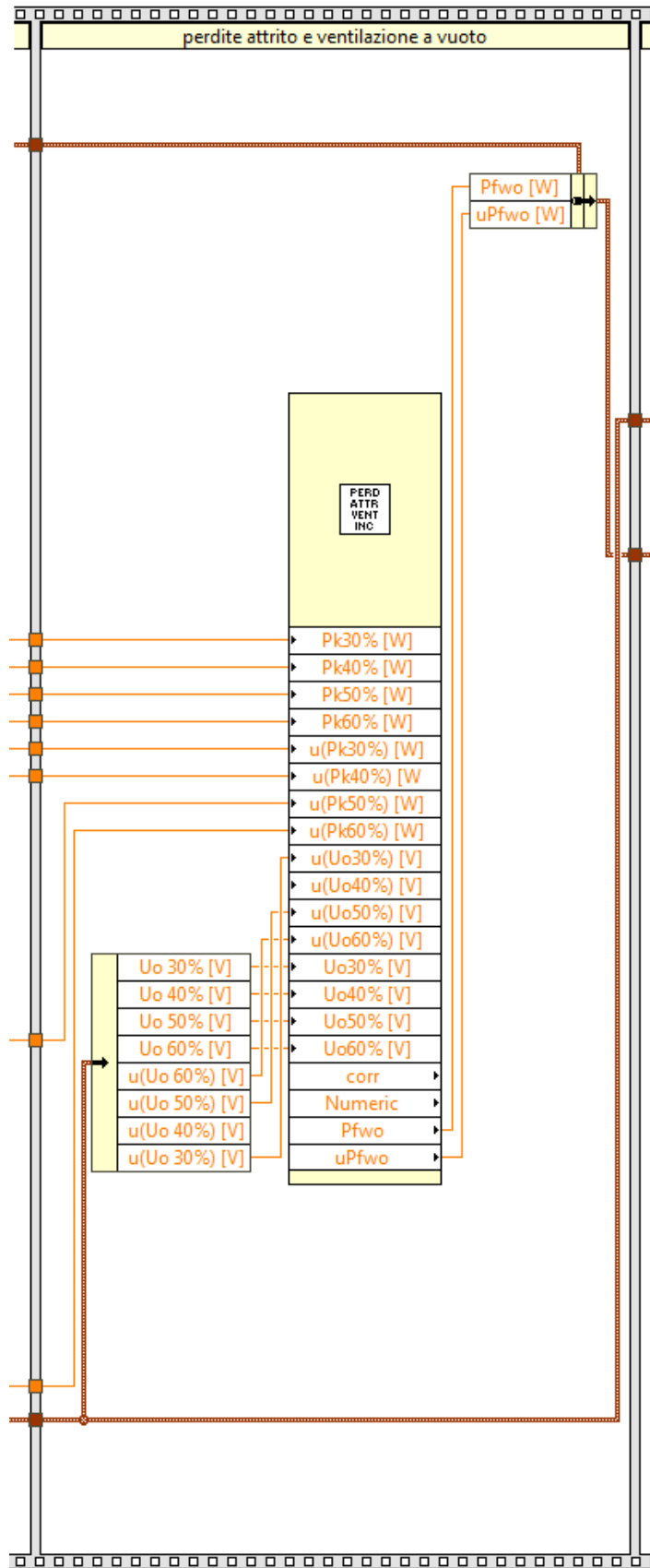


Fig 88 – Frame: perdite attrito e ventilazione

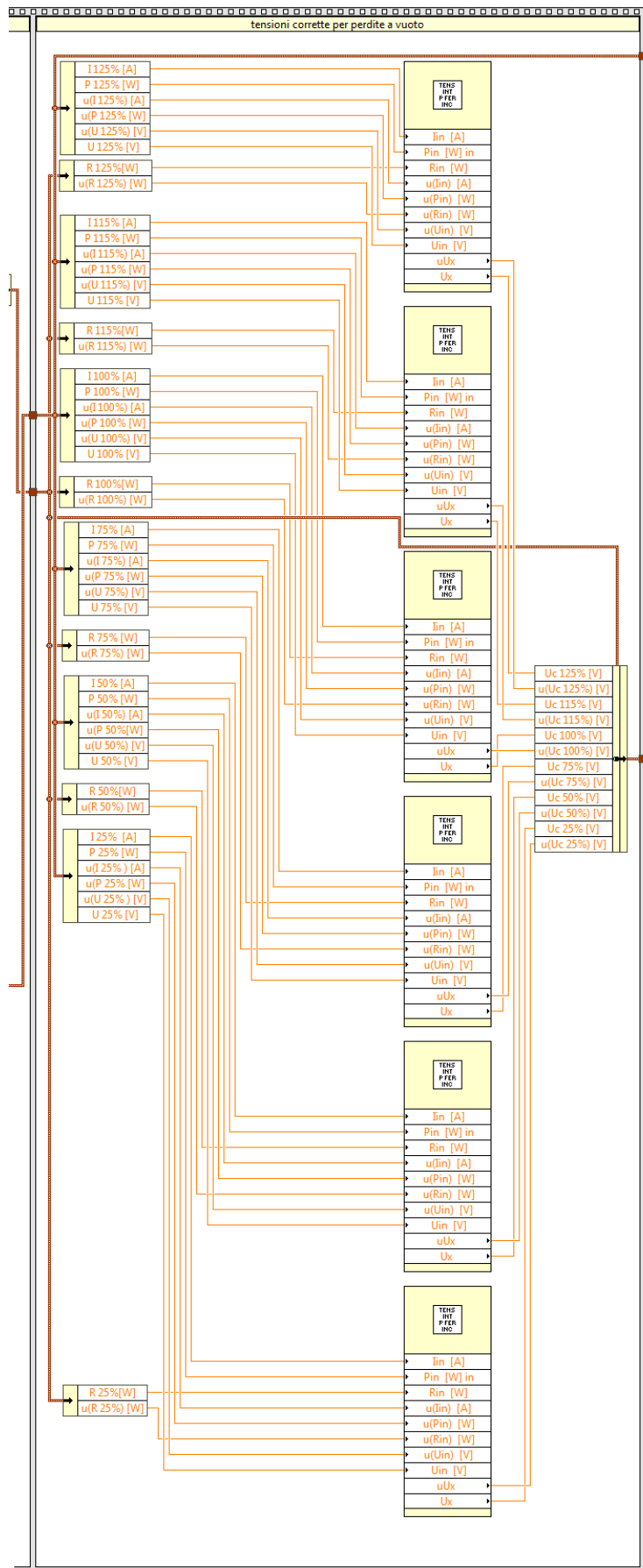


Fig 89 – Frame: tensioni corrette per perdite a vuoto

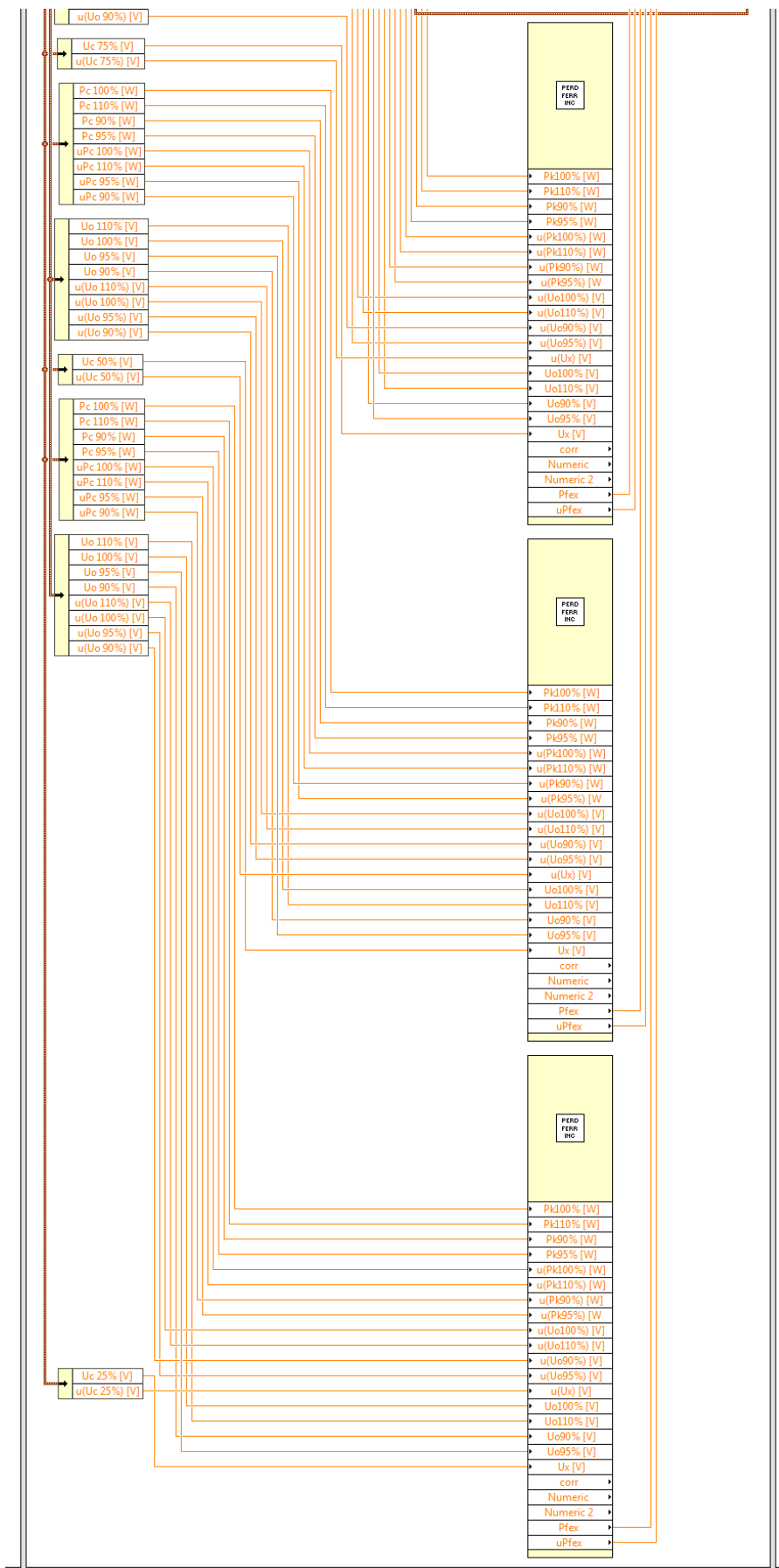


Fig 89 – Frame: perdite nel ferro

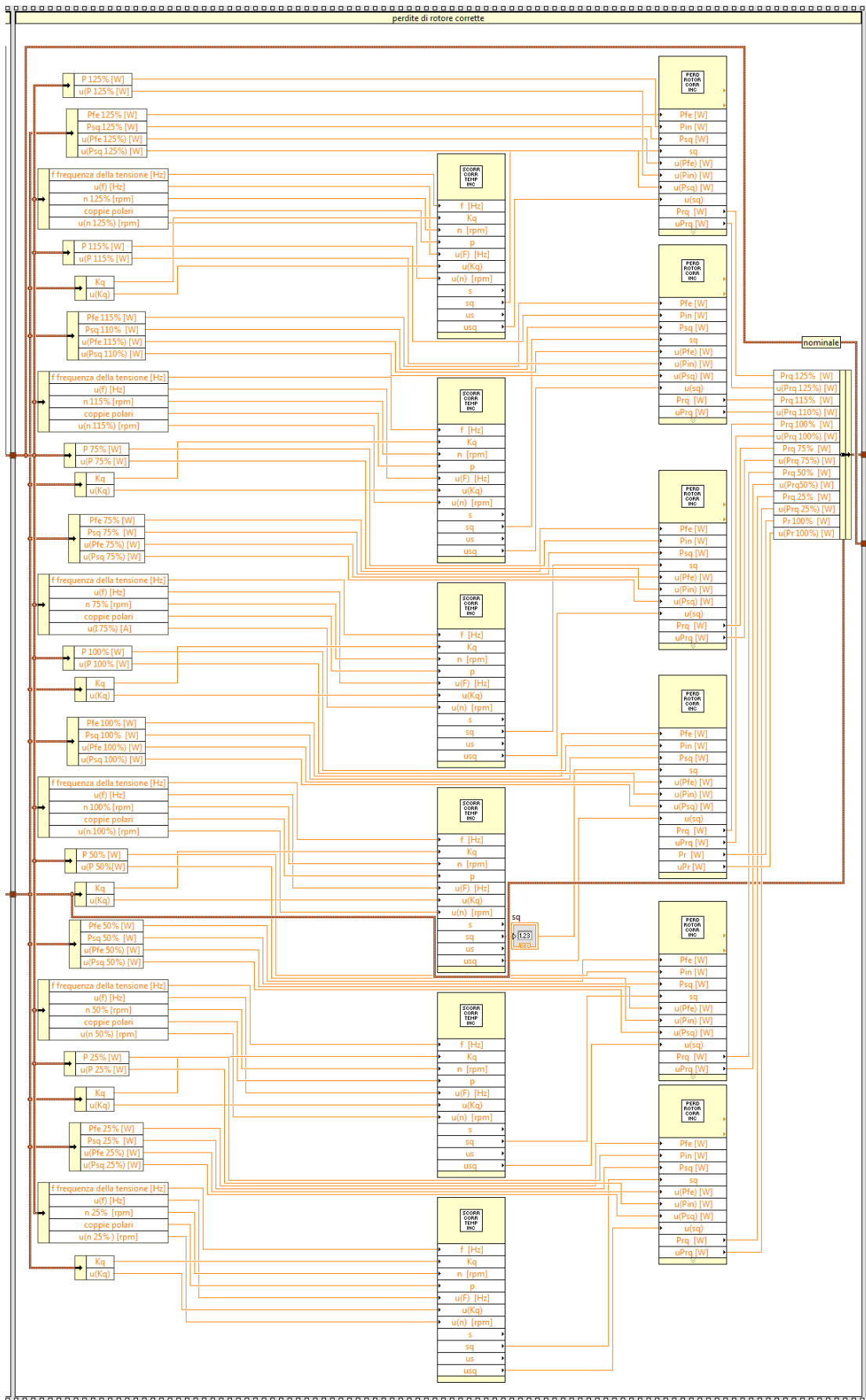


Fig 90 – Frame: perdite di rotore corrette

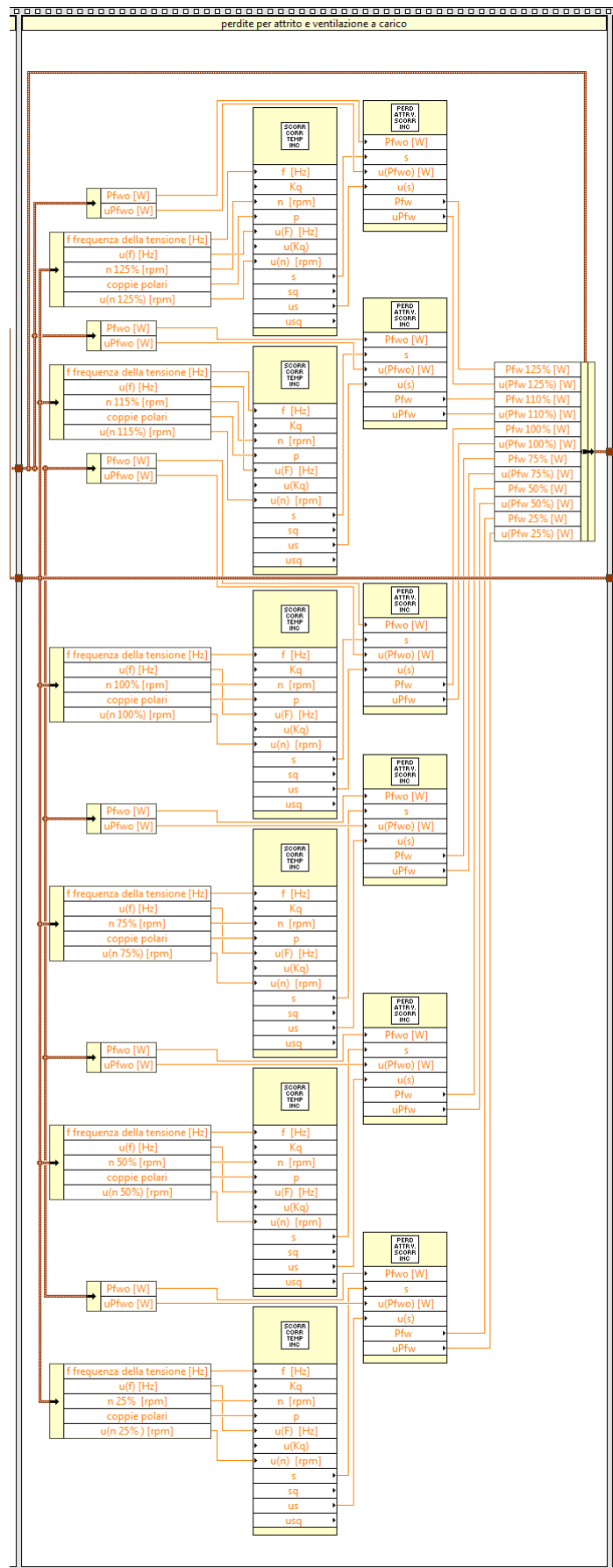
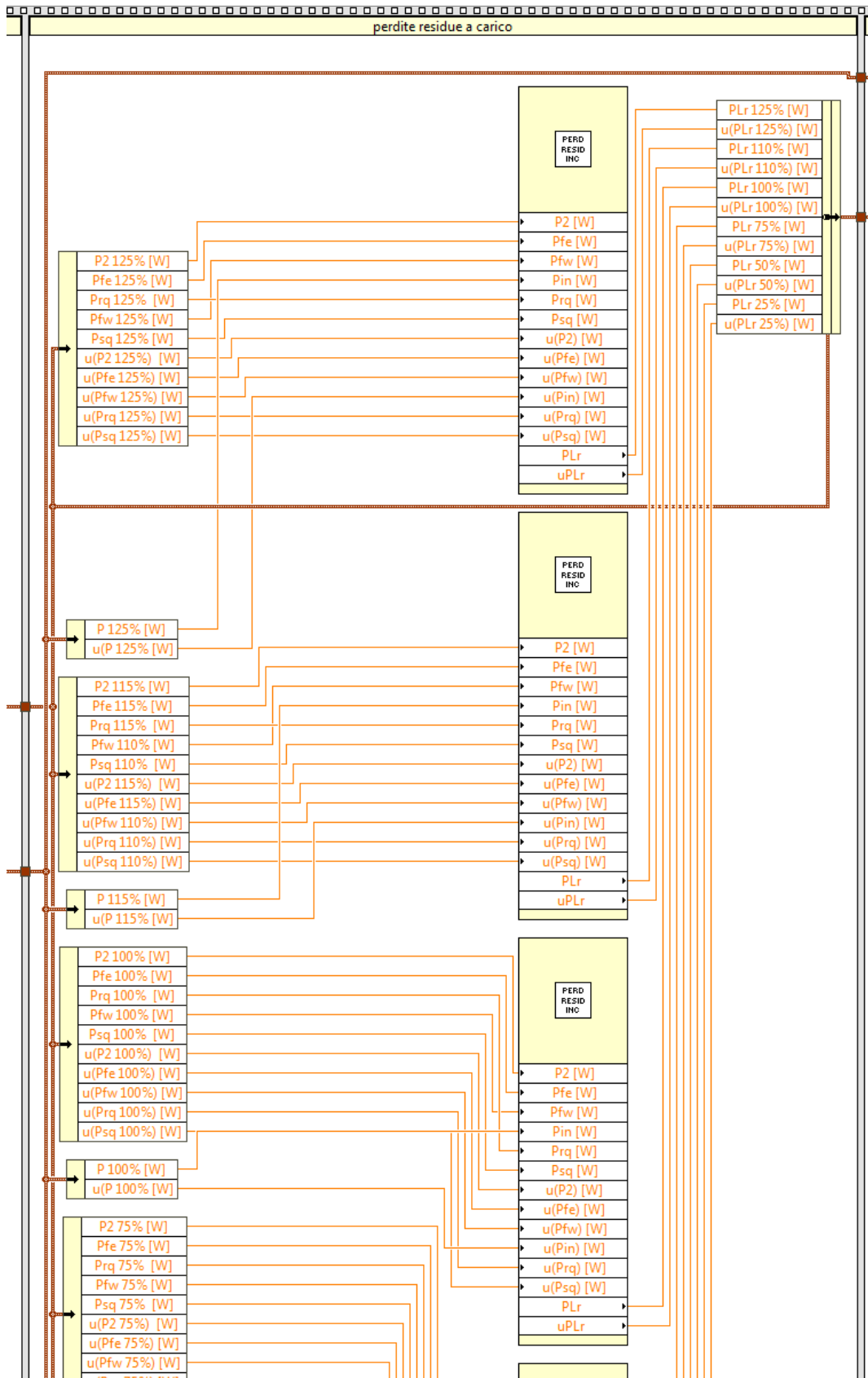


Fig 91 – Frame: perdite per attrito e ventilazione a carico



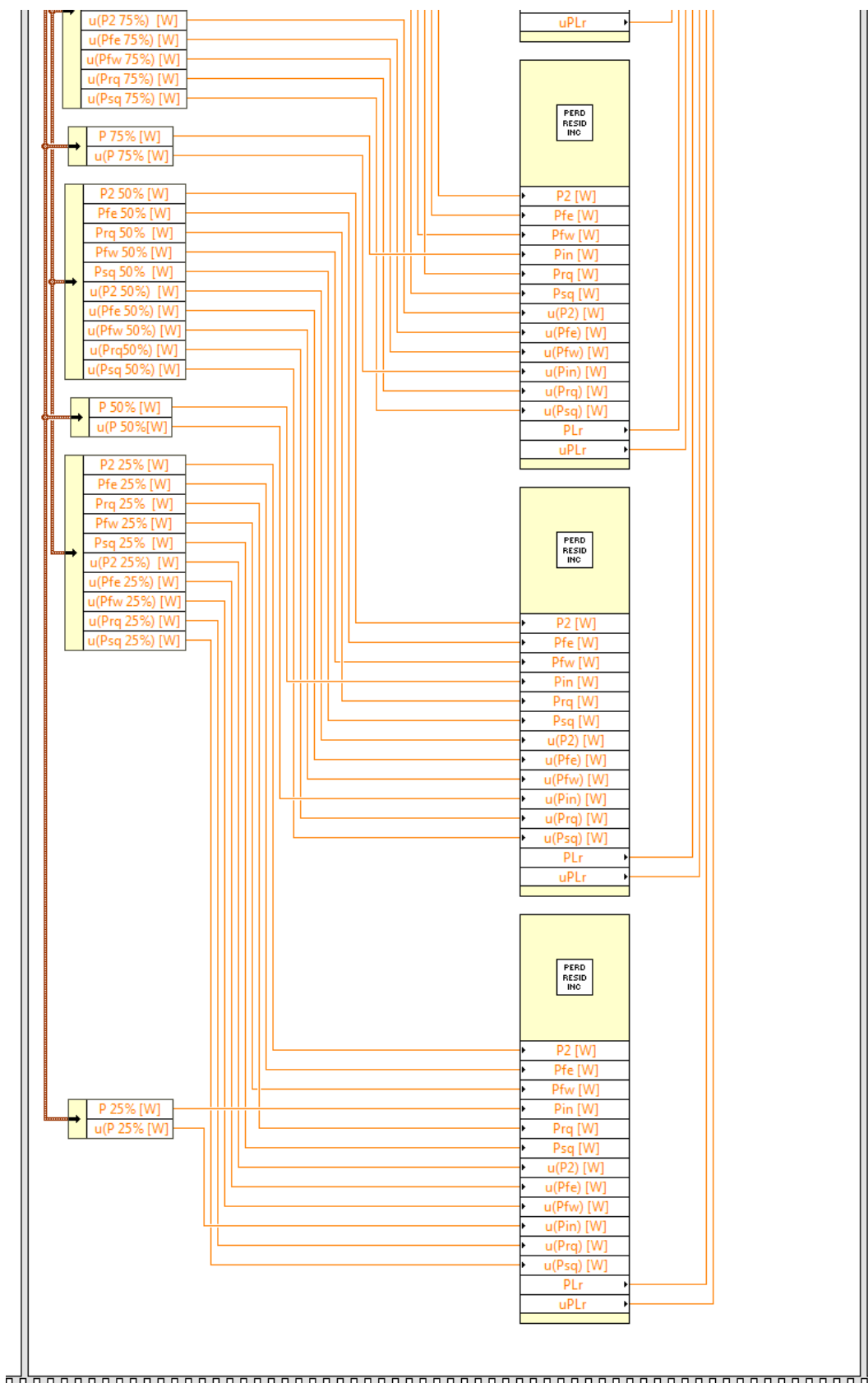


Fig 92 – Frame: perdite residue a carico

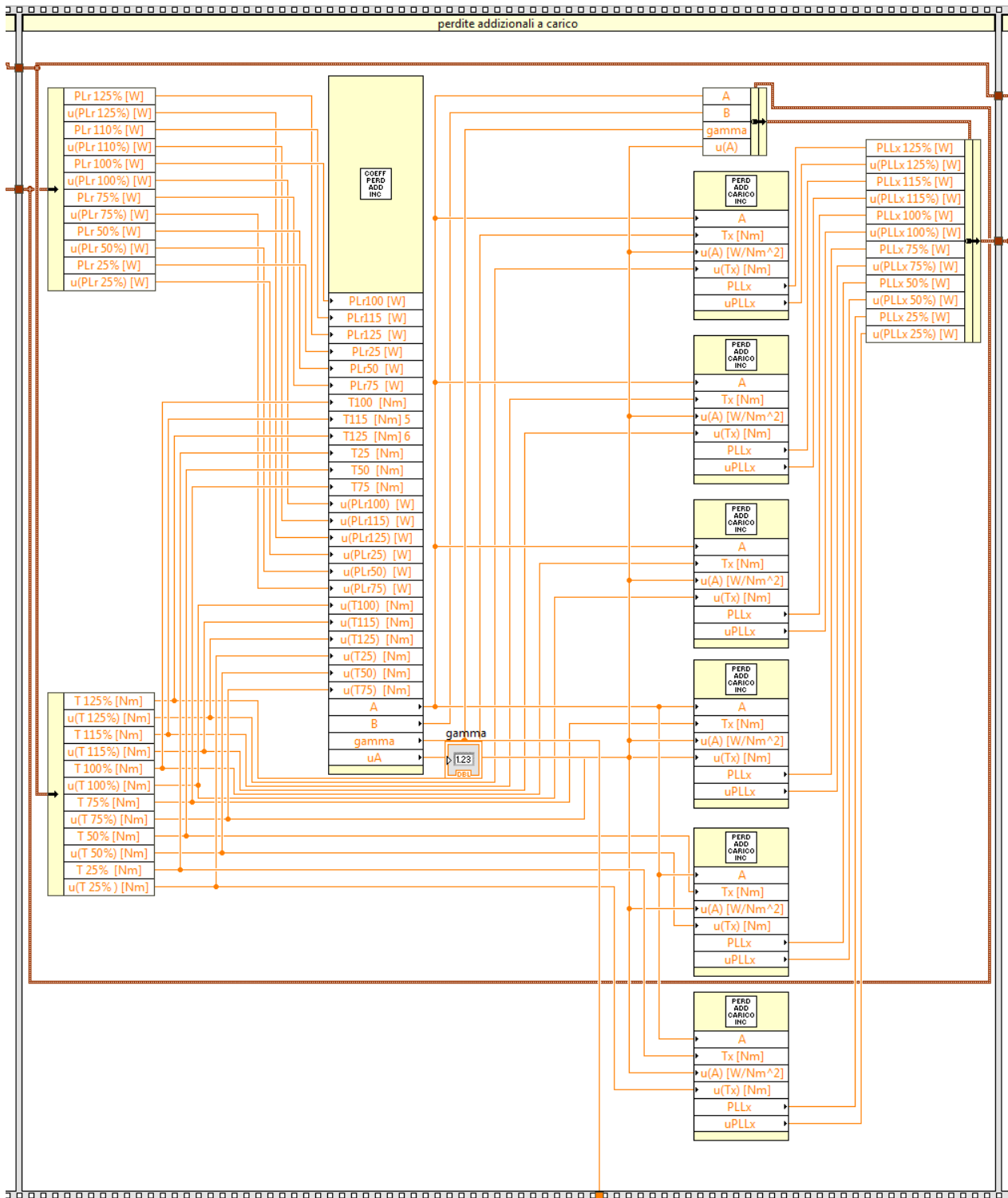


Fig 93 – Frame: perdite addizionali a carico

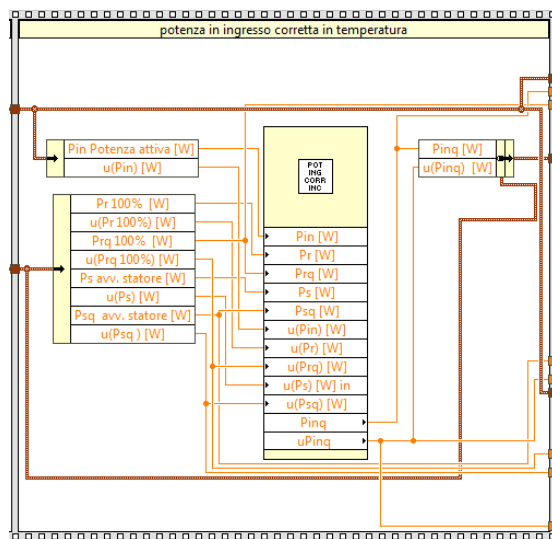


Fig 93 – Frame: potenza in ingresso corretta in temperatura

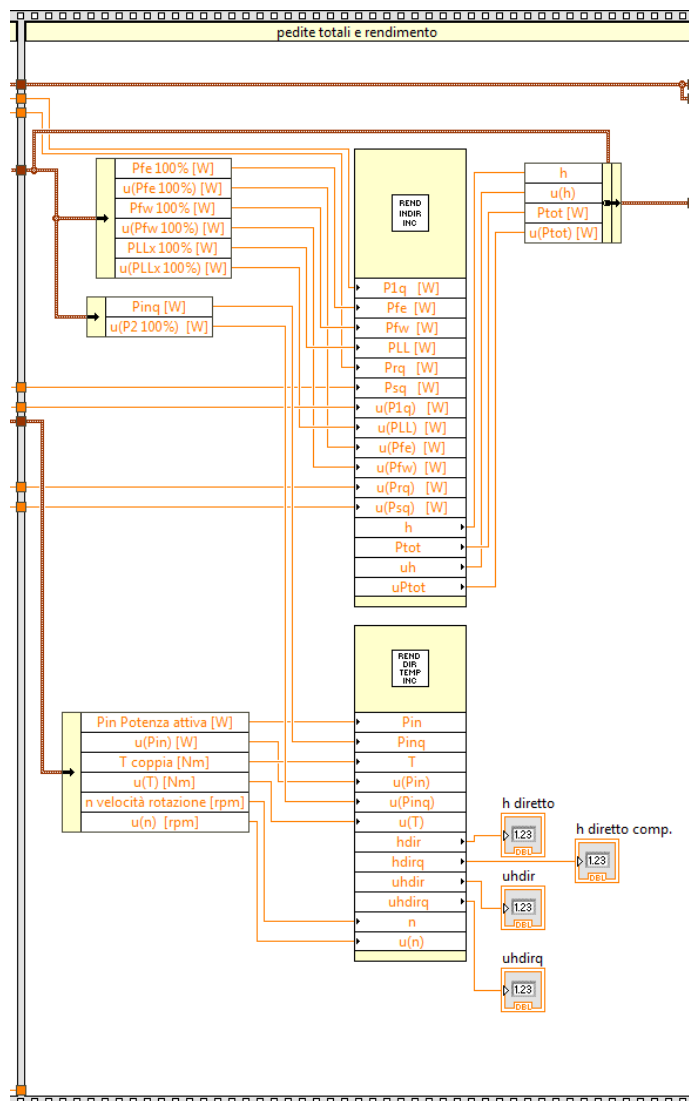


Fig 94 – Frame: perdite totali e rendimento

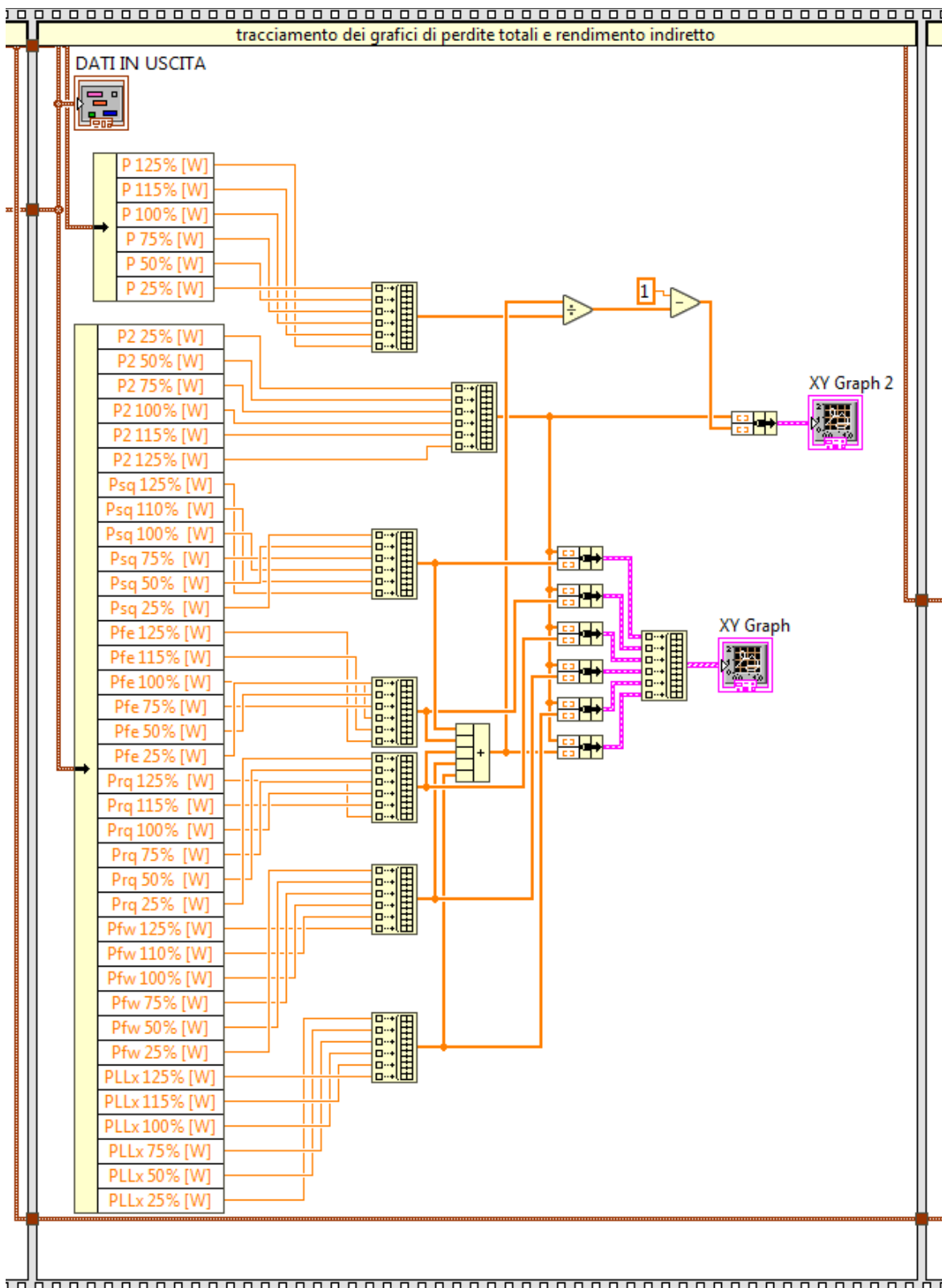


Fig 95 – Frame: tracciamento dei grafici di perdite totali e rendimento indiretto

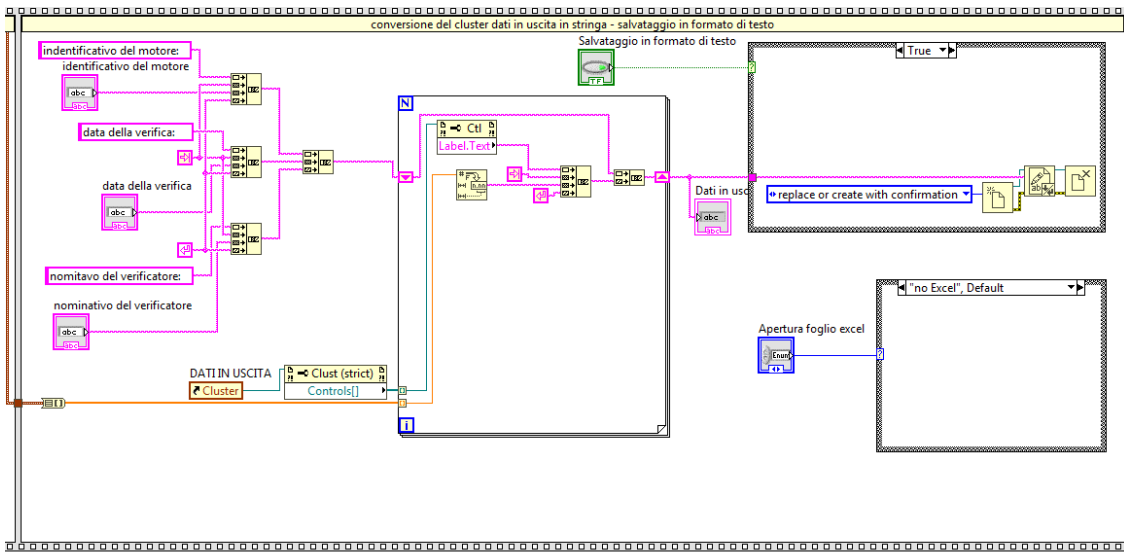


Fig 96 – Frame: conversione del cluster dati in uscita in stringa – salvataggio in formato di testo

4 Struttura del Front Panel

L'applicativo è dotato di un'interfaccia utente grafica, il *front panel*, che è stato strutturato su più schede mediante un *tab control*. Di seguito sono riportate le singole pagine. La prima in Fig. 97 è denominata *Dati in ingresso (Misure dirette ed incertezze)*; in questa pagina l'operatore dovrà inserire i dati ottenuti con le misurazioni dirette eseguite durante le prove sperimentali già descritte in [XX]; tali dati vanno a costituire le grandezze nel cluster *dati in ingresso*. La pagina *Dati in uscita (Risultati ed incertezze composte)* in Fig. 98 presenta i risultati delle elaborazioni che sono contenuti nel cluster *dati in uscita*.

Agencia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Univ. dell'Aquila - DIBE

APPLICATIVO PER IL CALCOLO DEL RENDIMENTO INDIRETTO
CON INCERTEZZA COMPOSTA - Motori asincroni
versione 1.0 - 2018
Autori: E. Fiorucci, A. Ometto, F. Ciancetta - DIIIIE Univaq

Dati in ingresso (Misure dirette ed incertezze)
Dati in uscita (Risultati ed incertezze composte)
Grafici
Salvataggio dati

<p>avvolgimenti di stator in coppie polari</p> <p>Rame: 1 R_o avvolgimenti motore freddo [°C]: 17,8000 R_o avvolgimenti motore freddo [ohm]: 1,35300 R_{iw} avvolgimenti motore fine prova [ohm]: 1,71630 u(Bc) [°C]: 0,6 u(Ro) [ohm]: 0,0006 u(Riw) [ohm]: 0,0007 θc temperatura fluido raffreddamento [°C]: 24,1 u(θc) [°C]: 0,3</p> <p>resistenze misurate a inizio e fine prova a vuoto</p> <p>R_o max [ohm]: 1,6784 u(Ro max) [ohm]: 0,0007 R_o min [ohm]: 1,6341 u(Ro min) [ohm]: 0,0006</p>	<p>prove a carico nominale</p> <p>U Tensione rms media [V]: 230,2 u(U) [V]: 0,07 I Corrente rms media [A]: 10,33 u(I) [A]: 0,004 Pin Potenza attiva [W]: 6221 u(Pin) [W]: 5,48 f frequenza della tensione [Hz]: 50 u(f) [Hz]: 0,0144 n velocità rotazione [rpm]: 2903 u(n) [rpm]: 0,6 T coppia [Nm]: 18,3 u(T) [Nm]: 0,06</p> <p>resistenze misurate a inizio e fine prova a carico variabile</p> <p>R_{max} [ohm]: 1,7163 u(R_{max}) [ohm]: 0,0007 R_{min} [ohm]: 1,6912 u(R_{min}) [ohm]: 0,0007</p>	<p>prove a carico variabile</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>U 125% [V]</th><th>U 115% [V]</th><th>U 100% [V]</th><th>U 75% [V]</th><th>U 50% [V]</th><th>U 25% [V]</th></tr> <tr> <td>229,5</td><td>229,9</td><td>229,7</td><td>230,3</td><td>230,9</td><td>231,2</td></tr> <tr> <td>u(U 125%) [V]</td><td>u(U 115%) [V]</td><td>u(U 100%) [V]</td><td>u(U 75%) [V]</td><td>u(U 50%) [V]</td><td>u(U 25%) [V]</td></tr> <tr> <td>0,065</td><td>0,065</td><td>0,065</td><td>0,065</td><td>0,22</td><td>0,065</td></tr> <tr> <th>I 125% [A]</th><th>I 115% [A]</th><th>I 100% [A]</th><th>I 75% [A]</th><th>I 50% [A]</th><th>I 25% [A]</th></tr> <tr> <td>12,38</td><td>11,31</td><td>10,32</td><td>8,04</td><td>6,39</td><td>4,99</td></tr> <tr> <td>u(I 125%) [A]</td><td>u(I 115%) [A]</td><td>u(I 100%) [A]</td><td>u(I 75%) [A]</td><td>u(I 50%) [A]</td><td>u(I 25%) [A]</td></tr> <tr> <td>0,004</td><td>0,004</td><td>0,004</td><td>0,002</td><td>0,002</td><td>0,002</td></tr> <tr> <th>P 125% [W]</th><th>P 115% [W]</th><th>P 100% [W]</th><th>P 75% [W]</th><th>P 50% [W]</th><th>P 25% [W]</th></tr> <tr> <td>7657</td><td>6924</td><td>6209</td><td>4509</td><td>3132</td><td>1691</td></tr> <tr> <td>u(P 125%) [W]</td><td>u(P 115%) [W]</td><td>u(P 100%) [W]</td><td>u(P 75%) [W]</td><td>u(P 50%) [W]</td><td>u(P 25%) [W]</td></tr> <tr> <td>5,69</td><td>5,53</td><td>5,47</td><td>3,16</td><td>3,98</td><td>2,8</td></tr> <tr> <th>n 125% [rpm]</th><th>n 115% [rpm]</th><th>n 100% [rpm]</th><th>n 75% [rpm]</th><th>n 50% [rpm]</th><th>n 25% [rpm]</th></tr> <tr> <td>2894</td><td>2903</td><td>2903</td><td>2903</td><td>2903</td><td>2971</td></tr> <tr> <td>u(n 125%) [rpm]</td><td>u(n 115%) [rpm]</td><td>u(n 100%) [rpm]</td><td>u(n 75%) [rpm]</td><td>u(n 50%) [rpm]</td><td>u(n 25%) [rpm]</td></tr> <tr> <td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td></tr> <tr> <th>T 125% [Nm]</th><th>T 115% [Nm]</th><th>T 100% [Nm]</th><th>T 75% [Nm]</th><th>T 50% [Nm]</th><th>T 25% [Nm]</th></tr> <tr> <td>22,3</td><td>20,2</td><td>18,2</td><td>13,2</td><td>9</td><td>4,6</td></tr> <tr> <td>u(T 125%) [Nm]</td><td>u(T 115%) [Nm]</td><td>u(T 100%) [Nm]</td><td>u(T 75%) [Nm]</td><td>u(T 50%) [Nm]</td><td>u(T 25%) [Nm]</td></tr> <tr> <td>0,06</td><td>0,06</td><td>0,06</td><td>0,06</td><td>0,06</td><td>0,06</td></tr> </table>	U 125% [V]	U 115% [V]	U 100% [V]	U 75% [V]	U 50% [V]	U 25% [V]	229,5	229,9	229,7	230,3	230,9	231,2	u(U 125%) [V]	u(U 115%) [V]	u(U 100%) [V]	u(U 75%) [V]	u(U 50%) [V]	u(U 25%) [V]	0,065	0,065	0,065	0,065	0,22	0,065	I 125% [A]	I 115% [A]	I 100% [A]	I 75% [A]	I 50% [A]	I 25% [A]	12,38	11,31	10,32	8,04	6,39	4,99	u(I 125%) [A]	u(I 115%) [A]	u(I 100%) [A]	u(I 75%) [A]	u(I 50%) [A]	u(I 25%) [A]	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	P 125% [W]	P 115% [W]	P 100% [W]	P 75% [W]	P 50% [W]	P 25% [W]	7657	6924	6209	4509	3132	1691	u(P 125%) [W]	u(P 115%) [W]	u(P 100%) [W]	u(P 75%) [W]	u(P 50%) [W]	u(P 25%) [W]	5,69	5,53	5,47	3,16	3,98	2,8	n 125% [rpm]	n 115% [rpm]	n 100% [rpm]	n 75% [rpm]	n 50% [rpm]	n 25% [rpm]	2894	2903	2903	2903	2903	2971	u(n 125%) [rpm]	u(n 115%) [rpm]	u(n 100%) [rpm]	u(n 75%) [rpm]	u(n 50%) [rpm]	u(n 25%) [rpm]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	T 125% [Nm]	T 115% [Nm]	T 100% [Nm]	T 75% [Nm]	T 50% [Nm]	T 25% [Nm]	22,3	20,2	18,2	13,2	9	4,6	u(T 125%) [Nm]	u(T 115%) [Nm]	u(T 100%) [Nm]	u(T 75%) [Nm]	u(T 50%) [Nm]	u(T 25%) [Nm]	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	<p>prove a vuoto</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Uo 110% [V]</th><th>Uo 100% [V]</th><th>Uo 95% [V]</th><th>Uo 90% [V]</th><th>Uo 60% [V]</th><th>Uo 50% [V]</th><th>Uo 40% [V]</th><th>Uo 30% [V]</th></tr> <tr> <td>252,9</td><td>229,3</td><td>207,1</td><td>188,8</td><td>116,1</td><td>93,1</td><td>64,4</td><td></td></tr> <tr> <td>u(Uo 110%) [V]</td><td>u(Uo 100%) [V]</td><td>u(Uo 95%) [V]</td><td>u(Uo 90%) [V]</td><td>u(Uo 60%) [V]</td><td>u(Uo 40%) [V]</td><td>u(Uo 30%) [V]</td><td></td></tr> <tr> <td>0,065</td><td>0,065</td><td>0,064</td><td>0,034</td><td>0,032</td><td>0,023</td><td>0,021</td><td></td></tr> <tr> <th>Io 110% [A]</th><th>Io 100% [A]</th><th>Io 95% [A]</th><th>Io 90% [A]</th><th>Io 60% [A]</th><th>Io 50% [A]</th><th>Io 40% [A]</th><th>Io 30% [A]</th></tr> <tr> <td>5,132</td><td>4,296</td><td>3,995</td><td>3,713</td><td>2,352</td><td>1,949</td><td>1,224</td><td></td></tr> <tr> <td>u(Io 110%) [A]</td><td>u(Io 100%) [A]</td><td>u(Io 95%) [A]</td><td>u(Io 90%) [A]</td><td>u(Io 60%) [A]</td><td>u(Io 50%) [A]</td><td>u(Io 40%) [A]</td><td>u(Io 30%) [A]</td></tr> <tr> <td>0,0011</td><td>0,001</td><td>0,0011</td><td>0,0011</td><td>0,0005</td><td>0,004</td><td>0,004</td><td></td></tr> <tr> <th>Po 110% [W]</th><th>Po 100% [W]</th><th>Po 95% [W]</th><th>Po 90% [W]</th><th>Po 60% [W]</th><th>Po 50% [W]</th><th>Po 40% [W]</th><th>Po 30% [W]</th></tr> <tr> <td>278</td><td>227</td><td>212</td><td>195</td><td>126</td><td>110</td><td>95</td><td></td></tr> <tr> <td>u(Po 110%) [W]</td><td>u(Po 100%) [W]</td><td>u(Po 95%) [W]</td><td>u(Po 90%) [W]</td><td>u(Po 60%) [W]</td><td>u(Po 50%) [W]</td><td>u(Po 40%) [W]</td><td>u(Po 30%) [W]</td></tr> <tr> <td>1,74</td><td>1,57</td><td>1,52</td><td>1,46</td><td>0,7</td><td>0,34</td><td>0,22</td><td>0,19</td></tr> </table>	Uo 110% [V]	Uo 100% [V]	Uo 95% [V]	Uo 90% [V]	Uo 60% [V]	Uo 50% [V]	Uo 40% [V]	Uo 30% [V]	252,9	229,3	207,1	188,8	116,1	93,1	64,4		u(Uo 110%) [V]	u(Uo 100%) [V]	u(Uo 95%) [V]	u(Uo 90%) [V]	u(Uo 60%) [V]	u(Uo 40%) [V]	u(Uo 30%) [V]		0,065	0,065	0,064	0,034	0,032	0,023	0,021		Io 110% [A]	Io 100% [A]	Io 95% [A]	Io 90% [A]	Io 60% [A]	Io 50% [A]	Io 40% [A]	Io 30% [A]	5,132	4,296	3,995	3,713	2,352	1,949	1,224		u(Io 110%) [A]	u(Io 100%) [A]	u(Io 95%) [A]	u(Io 90%) [A]	u(Io 60%) [A]	u(Io 50%) [A]	u(Io 40%) [A]	u(Io 30%) [A]	0,0011	0,001	0,0011	0,0011	0,0005	0,004	0,004		Po 110% [W]	Po 100% [W]	Po 95% [W]	Po 90% [W]	Po 60% [W]	Po 50% [W]	Po 40% [W]	Po 30% [W]	278	227	212	195	126	110	95		u(Po 110%) [W]	u(Po 100%) [W]	u(Po 95%) [W]	u(Po 90%) [W]	u(Po 60%) [W]	u(Po 50%) [W]	u(Po 40%) [W]	u(Po 30%) [W]	1,74	1,57	1,52	1,46	0,7	0,34	0,22	0,19
U 125% [V]	U 115% [V]	U 100% [V]	U 75% [V]	U 50% [V]	U 25% [V]																																																																																																																																																																																																																						
229,5	229,9	229,7	230,3	230,9	231,2																																																																																																																																																																																																																						
u(U 125%) [V]	u(U 115%) [V]	u(U 100%) [V]	u(U 75%) [V]	u(U 50%) [V]	u(U 25%) [V]																																																																																																																																																																																																																						
0,065	0,065	0,065	0,065	0,22	0,065																																																																																																																																																																																																																						
I 125% [A]	I 115% [A]	I 100% [A]	I 75% [A]	I 50% [A]	I 25% [A]																																																																																																																																																																																																																						
12,38	11,31	10,32	8,04	6,39	4,99																																																																																																																																																																																																																						
u(I 125%) [A]	u(I 115%) [A]	u(I 100%) [A]	u(I 75%) [A]	u(I 50%) [A]	u(I 25%) [A]																																																																																																																																																																																																																						
0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002																																																																																																																																																																																																																						
P 125% [W]	P 115% [W]	P 100% [W]	P 75% [W]	P 50% [W]	P 25% [W]																																																																																																																																																																																																																						
7657	6924	6209	4509	3132	1691																																																																																																																																																																																																																						
u(P 125%) [W]	u(P 115%) [W]	u(P 100%) [W]	u(P 75%) [W]	u(P 50%) [W]	u(P 25%) [W]																																																																																																																																																																																																																						
5,69	5,53	5,47	3,16	3,98	2,8																																																																																																																																																																																																																						
n 125% [rpm]	n 115% [rpm]	n 100% [rpm]	n 75% [rpm]	n 50% [rpm]	n 25% [rpm]																																																																																																																																																																																																																						
2894	2903	2903	2903	2903	2971																																																																																																																																																																																																																						
u(n 125%) [rpm]	u(n 115%) [rpm]	u(n 100%) [rpm]	u(n 75%) [rpm]	u(n 50%) [rpm]	u(n 25%) [rpm]																																																																																																																																																																																																																						
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6																																																																																																																																																																																																																						
T 125% [Nm]	T 115% [Nm]	T 100% [Nm]	T 75% [Nm]	T 50% [Nm]	T 25% [Nm]																																																																																																																																																																																																																						
22,3	20,2	18,2	13,2	9	4,6																																																																																																																																																																																																																						
u(T 125%) [Nm]	u(T 115%) [Nm]	u(T 100%) [Nm]	u(T 75%) [Nm]	u(T 50%) [Nm]	u(T 25%) [Nm]																																																																																																																																																																																																																						
0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06																																																																																																																																																																																																																						
Uo 110% [V]	Uo 100% [V]	Uo 95% [V]	Uo 90% [V]	Uo 60% [V]	Uo 50% [V]	Uo 40% [V]	Uo 30% [V]																																																																																																																																																																																																																				
252,9	229,3	207,1	188,8	116,1	93,1	64,4																																																																																																																																																																																																																					
u(Uo 110%) [V]	u(Uo 100%) [V]	u(Uo 95%) [V]	u(Uo 90%) [V]	u(Uo 60%) [V]	u(Uo 40%) [V]	u(Uo 30%) [V]																																																																																																																																																																																																																					
0,065	0,065	0,064	0,034	0,032	0,023	0,021																																																																																																																																																																																																																					
Io 110% [A]	Io 100% [A]	Io 95% [A]	Io 90% [A]	Io 60% [A]	Io 50% [A]	Io 40% [A]	Io 30% [A]																																																																																																																																																																																																																				
5,132	4,296	3,995	3,713	2,352	1,949	1,224																																																																																																																																																																																																																					
u(Io 110%) [A]	u(Io 100%) [A]	u(Io 95%) [A]	u(Io 90%) [A]	u(Io 60%) [A]	u(Io 50%) [A]	u(Io 40%) [A]	u(Io 30%) [A]																																																																																																																																																																																																																				
0,0011	0,001	0,0011	0,0011	0,0005	0,004	0,004																																																																																																																																																																																																																					
Po 110% [W]	Po 100% [W]	Po 95% [W]	Po 90% [W]	Po 60% [W]	Po 50% [W]	Po 40% [W]	Po 30% [W]																																																																																																																																																																																																																				
278	227	212	195	126	110	95																																																																																																																																																																																																																					
u(Po 110%) [W]	u(Po 100%) [W]	u(Po 95%) [W]	u(Po 90%) [W]	u(Po 60%) [W]	u(Po 50%) [W]	u(Po 40%) [W]	u(Po 30%) [W]																																																																																																																																																																																																																				
1,74	1,57	1,52	1,46	0,7	0,34	0,22	0,19																																																																																																																																																																																																																				

Fig 97 – Tab pagina: Dati in ingresso (Misure dirette ed incertezze)

La pagina *Grafici* in Fig.99 contiene due grafici, del tipo *XY graph*, nei quali sono presenti gli andamenti delle diverse tipologie di perdite al variare della potenza meccanica erogata dal motore in prova, ed il grafico del rendimento indiretto in funzione della potenza medesima.

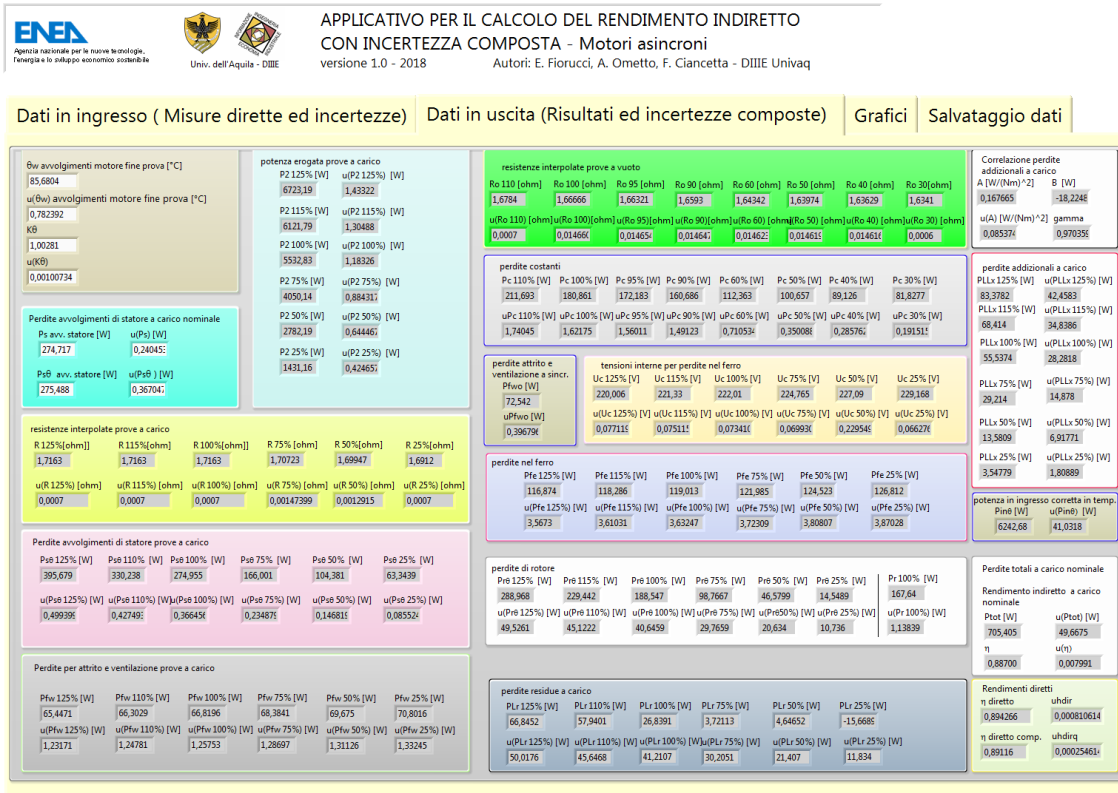


Fig 98 – Tab pagina: Dati in uscita (Risultati ed incertezze composte)

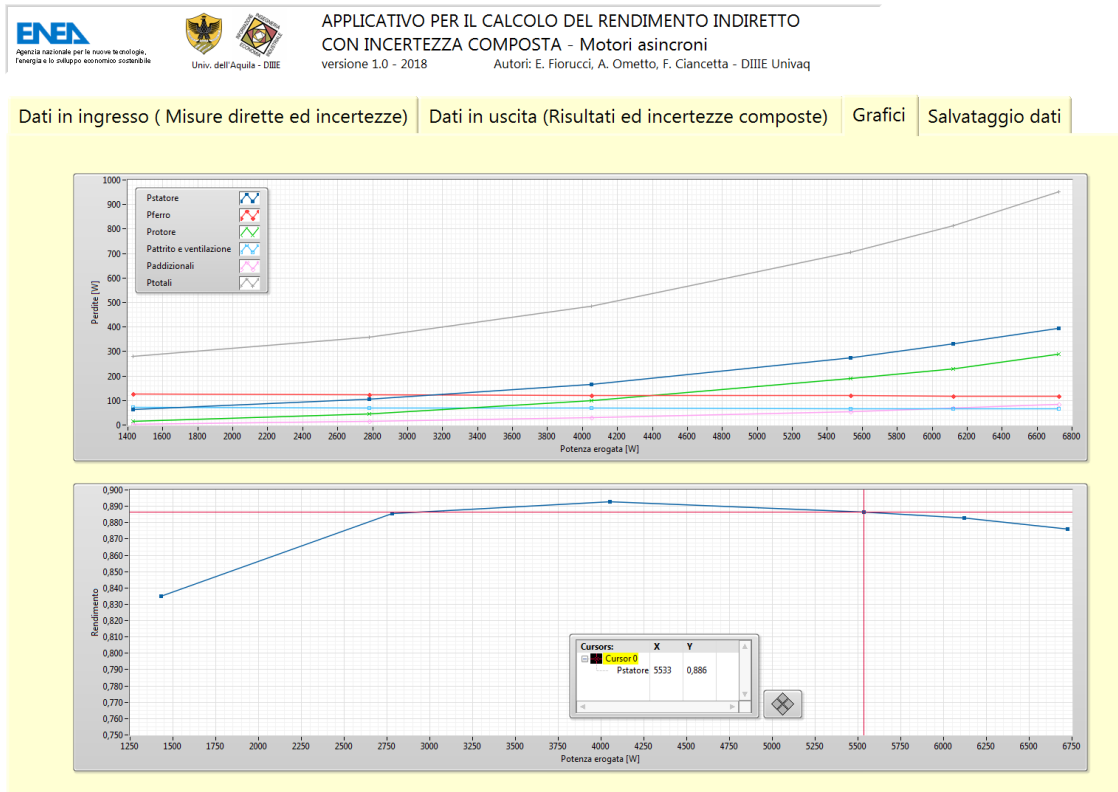


Fig 99 – Tab pagina: grafici

Si tratta delle due tipologie di grafico più rappresentativi delle prove e di più rapida lettura da parte dell'utilizzatore. La pagina *Salvataggio dati* in Fig. 100 consente di inserire l'identificativo del motore provato, la data della prova e dell'operatore e di generare un file di testo contenente i dati elaborati; consente inoltre di esportare in Microsoft Excel i dati dei grafici presenti nella pagina *Grafici*.

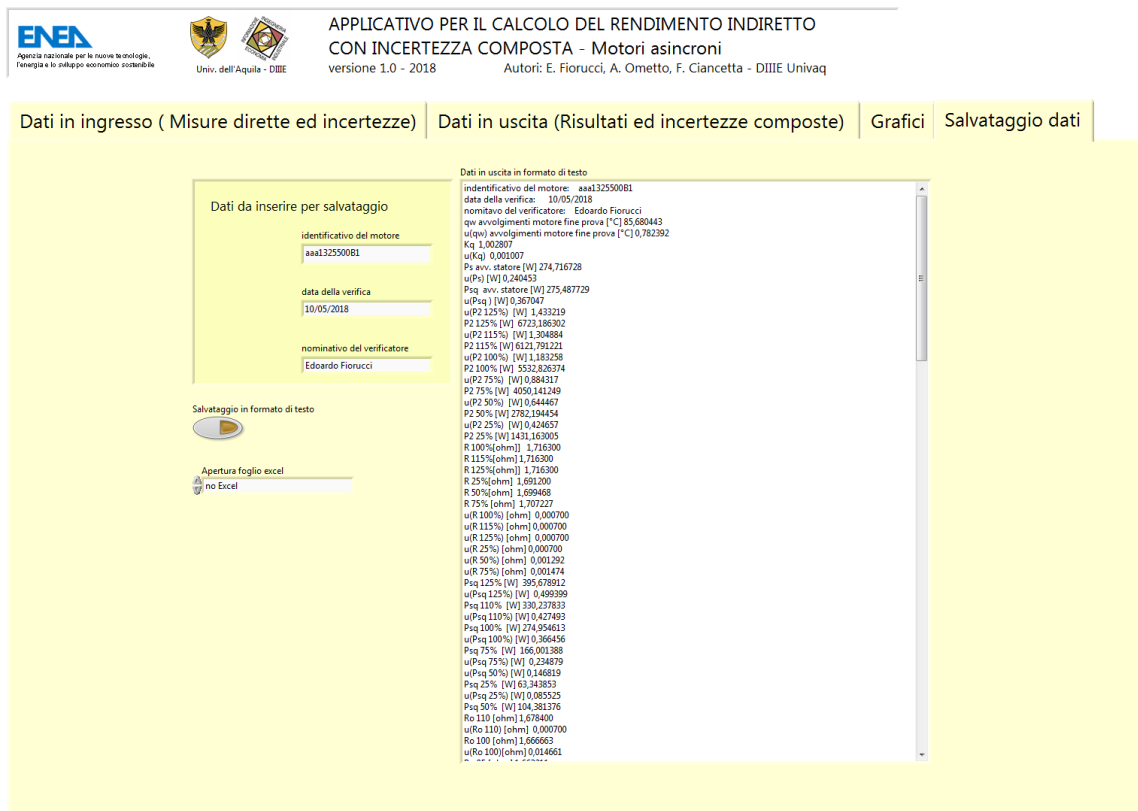


Fig 100 – Tab pagina: salvataggio dati

5 Struttura del Project

L'applicativo sviluppato è nel suo complesso strutturato in un LabVIEW project, illustrato in Fig. 101. Il project è denominato *software calcolo rendimento indiretto con incertezza.lvproj* ed è costituito di un VI principale denominato *incertezza 2018 rev. 1.0 finale.VI*, dai 19 subVI sopra già elencati e descritti, da l'applicativo compilato in forma di eseguibile, denominato *Calcolo rendimento indiretto con incertezza.exe* e dall'installer *Calcolo rendimento con Incertezza*.

6 Compilazione dell'applicazione

L'applicativo è stato sviluppato con l'*application builder* presente in ambiente LabVIEW®, il quale consente di definire in modo completo le caratteristiche e le funzionalità dell'applicativo una volta eseguita la compilazione. L'applicativo compilato ha estensione *.exe*, e ha dimensioni complessivo di circa 480 kB. La directory contenente tutti i file generati nella compilazione è illustrata in Fig. 102.

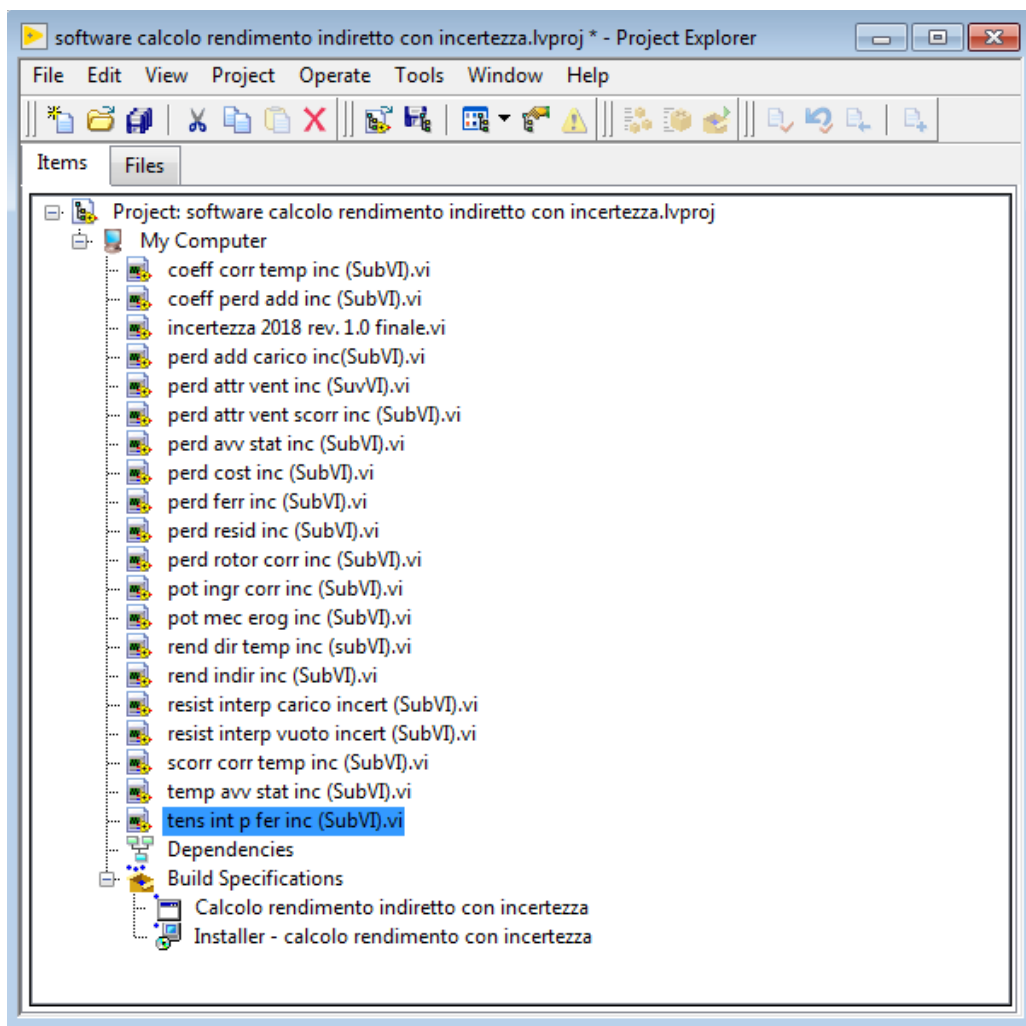


Fig 101 – LabVIEW Project: software calcolo rendimento indiretto con incertezza

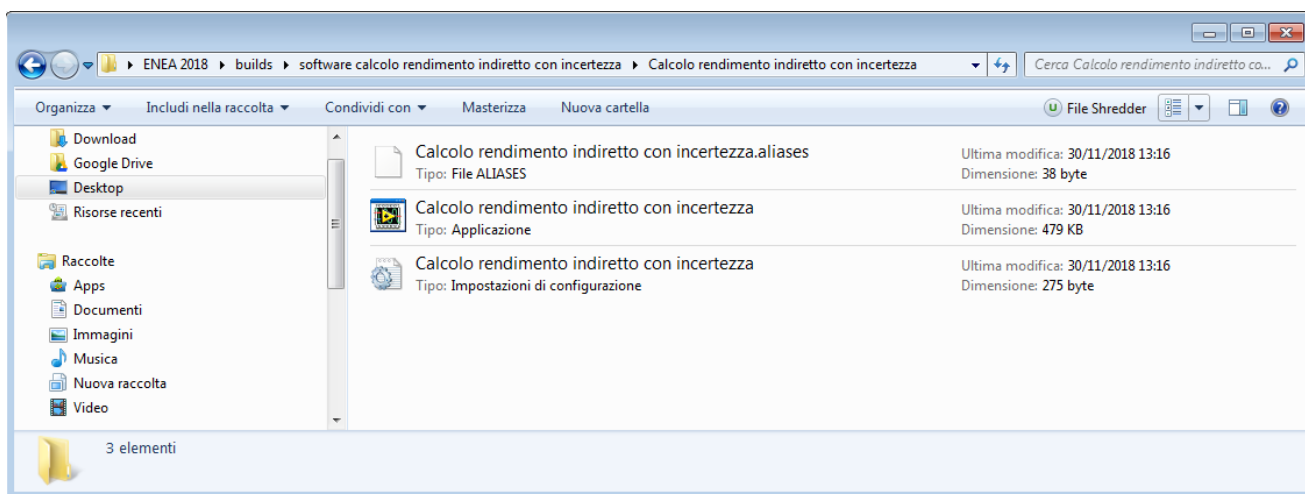


Fig 102 – Directory contenente i file compilati.

7 Creazione dell'Installer

Per l'installazione su PC sui quali non sia presente software di National Instrument, è necessario realizzare un installer, a partire dall'applicativo già compilato al quale si deve aggiungere il LabVIEW® Run-Time Engine e le librerie necessarie qualora vi siano target o sistemi di acquisizione dati. In questo caso si ottiene un volume contenente diverse sottocartelle, che sono visibili in Fig. 103. Il file Setup.exe ha dimensioni 1.39 MB, mentre complessivamente il volume ha dimensioni pari a 231 MB, la maggior parte dei quali occupati dal LabVIEW® Run-Time Engine.

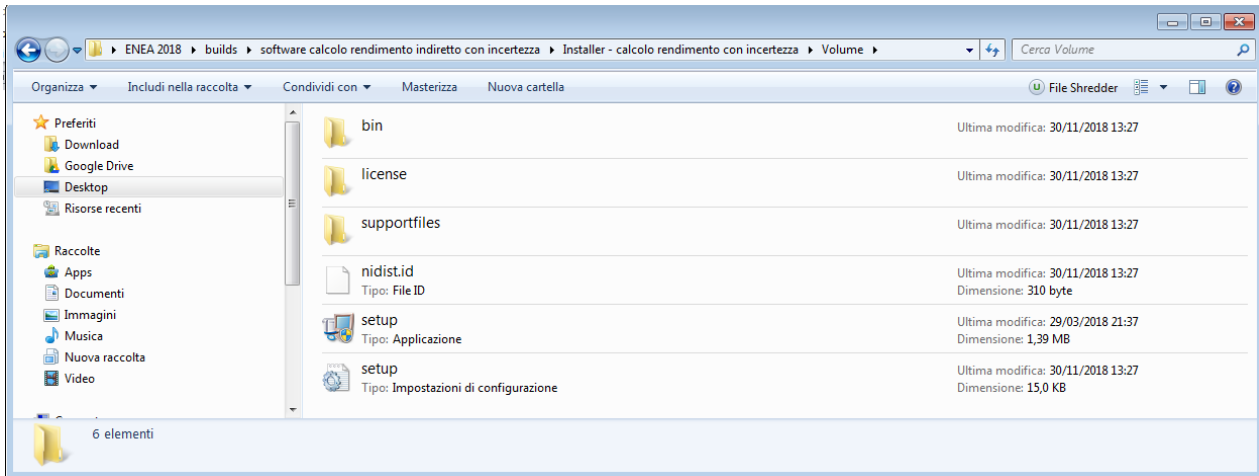


Fig 102 – Volume contenente i file e le sottocartelle dell'installer.

8 Conclusioni

L'applicativo software presentato in questo documento costituisce l'implementazione, in ambiente National Instruments LabVIEW®, degli algoritmi descritti nella relazione "Definizione di procedure e sviluppo di algoritmi per la stima delle incertezze di misura delle grandezze di interesse del costituendo laboratorio per la sorveglianza del mercato elettrico in accordo con ISO/IEC 17025 e JCGM 100:2008 (GUM)"; si tratta di un'attività a completamento di quella descritta in tale relazione.

L'applicativo consente di effettuare separatamente delle seguenti perdite, con le relative incertezze: i) perdite negli avvolgimenti di statore, ii) perdite negli avvolgimenti di rotore; iii) perdite nel ferro; iv) perdite per attrito e ventilazione e v) perdite addizionali; sono inoltre elaborate le grandezze ulteriori necessarie alle elaborazioni delle perdite, come le resistenze di statore interpolate nelle prove a carico variabile ed a vuoto, nonché le tensioni interne per la determinazione delle perdite nel ferro ed i coefficienti di correzione delle varie grandezze in funzione della temperatura del fluido di raffreddamento.

Al termine dell'elaborazione, l'operatore ha a disposizione i grafici dell'andamento dei singoli contributi di perdita in funzione della potenza meccanica erogata, e l'andamento del rendimento in funzione della stessa; tali grafici possono essere esportati immediatamente in ambiente Microsoft Excel®.

E' possibile inoltre salvare tutti i dati elaborati in forma di testo, per la loro conservazione o successiva ulteriore elaborazione.

In successive fasi di ricerca sarà possibile potenziare l'applicativo, rendendo possibile l'interfaccia dello stesso con la strumentazione del Laboratorio in modo che parte dell'inserimento dei dati di misura avvenga automaticamente; ciò richiederà lo sviluppo di ulteriori *subVI* dedicati alla comunicazione ed alla configurazione della strumentazione del Laboratorio.

9 Riferimenti bibliografici

- [1] E. Fiorucci, A. Ometto, M. Villani “Definizione di procedure e sviluppo di algoritmi per la stima delle incertezze di misura delle grandezze di interesse del costituendo laboratorio per la sorveglianza del mercato elettrico in accordo con ISO/IEC 17025 e JCGM 100:2008 (GUM)” - 2018 Report RdS / MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
- [2] LabVIEW® Core 1 Participant Guide - Course Software Version 2014 -November 2014 Edition Part Number 326292A-01
- [3] LabVIEW® Core 2 Participant Guide - Course Software Version 2014 -November 2014 Edition Part Number 326293A-01

10 Curricula

Curriculum Scientifico di EDOARDO FIORUCCI

Edoardo Fiorucci è nato nel 1974 a Popoli, in provincia di Pescara. Nel 2000 ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettrica, discutendo una tesi sperimentale dal titolo: "Stazione di misura numerica per la valutazione della qualità dell'alimentazione elettrica", presso l'Università degli Studi dell'Aquila, con la votazione di 110/110 e lode.

Dal 2006 al 2016 ha prestato servizio come ricercatore nel settore scientifico disciplinare ING-INF/07, Misure Elettriche ed Elettroniche, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università dell'Aquila, afferendo al Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione fino al giugno 2012, e presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia dell'Università dell'Aquila.

Nel 2016 ha preso servizio come Professore Associato, settore scientifico disciplinare ING-INF/07, ed afferisce al Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia dell'Università dell'Aquila. Nel 2017 ha conseguito l'abilitazione scientifica nazionale ASN per le funzioni di Professore Ordinario nel settore scientifico disciplinare ING-INF/07, Misure Elettriche ed Elettroniche.

Dal 2006, in qualità di Professore Aggregato prima e Professore Associato poi, è docente del corso di Collaudi di Macchine ed Impianti Elettrici nei corsi di laurea specialistica e di laurea magistrale in Ingegneria Elettrica ed Ingegneria Elettronica.

Edoardo Fiorucci:

- dal 2003 è Member della Instrumentation and Measurement Society, IMS, dell'Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE;
- nel gennaio 2012 è stato nominato Associate Editor nel comitato editoriale della rivista IEEE IMS Transactions on Instrumentation and Measurement;
- nel 2013 e 2015 e 2016 è stato menzionato dalla IEEE Instrumentation and Measurement Society tra gli "Outstanding Associate Editors".

Curriculum Scientifico di ANTONIO OMETTO

Ometto Antonio si è laureato in Ingegneria Elettrotecnica nell'a.a. 1985/86 presso l'Università degli Studi dell'Aquila. Nel 1986 è risultato vincitore della Borsa di Studio per il perfezionamento di ingegneri all'estero della Fondazione F. Filauro con conseguente permanenza a Sheffield (UK) nell'anno 1987, dove ha collaborato con il prof. M. McCormick dell'Università di Sheffield. Dal 1990 al 2002 è stato ricercatore del settore scientifico disciplinare ING-IND/32 presso l'Università dell'Aquila.

Nel 1993 è stato a Madison, Wisconsin (USA), dove ha collaborato con il Prof. T. Lipo dell'Università del Wisconsin. Dal 2002 è Professore Associato, prima presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione, attualmente presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia dell'Università dell'Aquila, S.S.D. ING-IND/32 ed ha tenuto corsi di macchine elettriche, elettronica di potenza, attuatori elettrici, modellistica dei sistemi elettromeccanici e sistemi elettrici per la mobilità.

Curriculum Scientifico di FABRIZIO CIANCETTA

Fabrizio Ciancetta ha conseguito nel 2003 la laurea in Ingegneria Elettronica, discutendo una tesi sperimentale dal titolo: "Sistema modulare di acquisizione dati in tempo reale tramite processore DSP TMS320C6701 con trasmissione wireless", presso l'Università degli Studi dell'Aquila, con la votazione di 110/110 e lode. Nel 2008 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in Ingegneria Elettrica e dell'Informazione, con una tesi sperimentale dal titolo: " Architectures of distributed measurement systems based on Web services", presso l'Università degli Studi dell'Aquila. Dal 2004 è cultore della materia ai fini dell'inclusione tra i membri della Commissione d'esame per il corso di "Elaborazione dei dati e delle

informazioni di misura” presso il Dipartimento Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia - Università degli Studi dell'Aquila. Dal 2005 ha svolto attività di ricerca presso istituti pubblici e aziende private nei settori ING-INF/07 occupandosi di misure distribuite, misure di potenza, fuel cell e algoritmi di elaborazione. Dal 2007 è membro della IEEE. Dal 2013 Fabrizio Ciancetta ha una qualifica di II livello per l'esecuzione di misure non distruttive con tecnica ultrasonica conforme alla norma UNI EN ISO 9712 rilasciato dal Centro Italiano di Certificazione per le Prove Non Distruttive e per i Processi Industriali con sede a via C. Pisacane 46, 20025, Legnano (MI). Dal 2013 Fabrizio Ciancetta è stato accreditato presso il Ministero dello Sviluppo Economico come verificatore/ispettore per il D.P.R. 462/01 Aree 1, 2 e 3. Dal 2014 Fabrizio Ciancetta è socio fondatore e consigliere nel cda dello spin-off universitario “R13 Technology srl” con sede in via G. Gronchi n.18, C.F. e P.I.V.A. 01926450667, iscritta al Registro Imprese di L'Aquila, REA n. AQ – 131569. Fabrizio Ciancetta è Member of the Editorial Board della rivista WSEAS Transactions on Power Systems- ISSN: 1790-5060 - E-ISSN: 2224-350X. È autore di oltre 100 articoli fra atti congressuali e riviste.