



Ricerca di Sistema elettrico

Studio teorico-sperimentale delle prestazioni di convertitori DC/DC per la ricarica rapida

Edoardo Fiorucci, Antonio Ometto



Università
dell'Aquila
D.I.I.I.E.

STUDIO TEORICO-SPERIMENTALE DELLE PRESTAZIONI DI CONVERTITORI DC/DC PER LA RICARICA RAPIDA

Edoardo Fiorucci, Antonio Ometto (Università dell'Aquila)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Obiettivo: Ricarica rapida in c.c.

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione per una attività di ricerca dal titolo *"Studio teorico sperimentale delle prestazioni di convertitori DC/DC per la ricarica rapida"*

Responsabile dell'accordo di collaborazione ENEA: Fernando Ortenzi

Responsabile dell'accordo di collaborazione Università de L'Aquila: Antonio Ometto

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	6
2.1 INDAGINE PRELIMINARE SULLE TECNOLOGIE E SULLA NORMATIVA INERENTI I SISTEMI DI RICARICA	6
2.1.1 <i>Stazione di ricarica</i>	6
2.1.2 <i>Modalità per la ricarica di veicoli elettrici</i>	6
2.1.3 <i>Connettori di ricarica per veicoli elettrici</i>	8
2.2 SVILUPPO E REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA AUTOMATICO DI COLLAUDO E DI TEST PER CONVERTITORI DI POTENZA DC/DC E AC/DC .	13
2.2.1 <i>Architettura hardware – trasduttori ed alimentazione</i>	13
2.2.2 <i>Architettura hardware –scheda di acquisizione dati</i>	19
2.2.3 <i>Architettura hardware –datalogger per la misurazione delle temperature</i>	20
2.2.4 <i>Software di misura ed elaborazione dei dati sperimentali</i>	21
2.2.4.1 Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC	22
2.2.4.2 Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione AC/DC	33
2.2.4.3 Sistema di acquisizione e salvataggio dei dati per prove di lunga durata, per sistemi di conversione DC/DC e AC/DC	50
2.2.4.4 Sistema di elaborazione e caratterizzazione in Post Processing per sistemi di conversione AC/DC e DC/DC	53
2.2.4.5 Sistema di acquisizione delle temperature	57
2.3 VERIFICA SPERIMENTALE DELLE PRESTAZIONI DI UN SISTEMA DI CONVERSIONE PER LA RICARICA RAPIDA.....	58
2.3.1 <i>Verifica delle prestazioni in condizioni stazionarie, con carico e convertitore in condizioni di regime.</i>	62
2.3.1.1 Prova con stato di carica residua al 28.1 %	63
2.3.1.2 Prova con stato di carica residua al 54.9 %	67
2.3.1.3 Prova con stato di carica residua al 90.0%	72
2.3.2 <i>Verifica delle prestazioni in condizioni dinamiche, con variazioni dell'assorbimento di potenza in condizioni di alimentazione costante (tensione DC costante), ed in condizioni di carico costante (corrente DC costante), con variazioni della tensione di alimentazione.</i>	76
2.3.2.1 Prova con sistema di conversione a vuoto	77
2.3.2.2 Prova con sistema di conversione in transitorio di avvio all'erogazione del carico, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)	79
2.3.2.3 Prova con sistema di conversione in modalità di funzionamento a corrente erogata costante, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)	81
2.3.2.4 Prova con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)	82
2.3.3 <i>Verifica delle prestazioni complessive, durante il processo di ricarica con analisi dei dati focalizzata alla visualizzazione degli andamenti complessivi nel tempo (condizioni realistiche).</i>	84
2.3.3.1 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale	85
2.3.3.2 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale	1066
2.3.3.3 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 90% di stato di carica iniziale	1277
CONCLUSIONI	148
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	148
CURRICULA	150

Sommario

Nel presente documento sono descritti risultati delle attività svolte, nell'ambito dell'attività inerente la verifica delle prestazioni di convertitori di potenza per la carica rapida di batterie di veicoli elettrici.

Gli obiettivi conseguiti con tale attività sono due. Il primo concerne lo sviluppo e la realizzazione di un sistema automatico di collaudo e di test per convertitori di potenza DC/DC, ed AC/DC; il secondo consiste nella verifica delle prestazioni di convertitori di potenza, in condizioni realistiche di funzionamento, tramite una campagna di misure da effettuata presso il Centro di Ricerca ENEA Casaccia, utilizzando il sistema di misura sviluppato. Il convertitore testato è il modello EQC-50 ENDESA Circutor, di potenza nominale 75 kW AC, equipaggiato con il sistema di ricarica rapida a standard CHAdeMO [1-5], ed è stato utilizzato per effettuare una serie di ricariche rapide per il pacco batterie dell'autoveicolo elettrico Nissan Leaf, a partire da differenti condizioni di carica residua.

Il sistema automatico di collaudo e di test consente di eseguire la misurazione di parametri elettrici, nonché termici, in ingresso ed in uscita dal sistema di conversione, con la possibilità di acquisire dati per lunghi intervalli di tempo, dell'ordine delle decine di minuti, nonché di effettuare misurazioni in linea e fuori linea per la valutazione delle prestazioni e del funzionamento del sistema sotto test.

I risultati delle misurazioni effettuate hanno evidenziato che il convertitore ha buone prestazioni in termini di erogazione di potenza, con rendimenti di conversione che si mantengono al di sopra del 90% in condizioni di funzionamento a corrente costante ed a tensione costante; tuttavia le correnti AC che il convertitore assorbe dalla rete in bassa tensione sono fortemente distorte, con valori di distorsione armonica che sono sempre superiori al 27 % con valori che possono superare il 60%. Ciò rende problematico l'utilizzo dello stesso nelle comuni reti in bassa tensione, senza l'inserimento di opportuni sistemi di filtraggio delle componenti armoniche di corrente.

1 Introduzione

La verifica sperimentale delle prestazioni di convertitori statici è una attività che consente di validare le caratteristiche dei convertitori mediante confronto tra i dati ottenuti sperimentalmente e quelli ottenuti in sede di progetto, e permette di elaborare le curve effettive inerenti le grandezze elettriche durante diverse condizioni di funzionamento realistiche, evidenziando eventuali criticità.

Il sistema di collaudo e di test necessario per tale applicazione è stato sviluppato come una stazione automatica di misura, basata su un PC equipaggiato con una scheda di acquisizione dati e con trasduttori di tensione, corrente e con un sistema di datalogging per le misurazioni della temperatura; per la acquisizione e l'elaborazione dei dati di misura è stato sviluppato un software dedicato in ambiente National Instruments LabVIEW. L'acquisizione dei valori di tensione e corrente all'ingresso ed all'uscita del convertitore è eseguita con campionamento ad elevata frequenza, in modo da poter valutare correttamente l'efficienza del convertitore anche in condizioni dinamiche. La misurazione della temperatura di più punti del convertitore e dell'ambiente consente di verificare l'efficiente smaltimento del calore generato dalle perdite del convertitore. I trasduttori di tensione e di corrente sono stati scelti privilegiando la precisione e la banda passante, con portate individuate a partire dalle specifiche del convertitore da collaudare.

Le procedure di collaudo e di test sono state individuate nelle seguenti tre tipologie: 1) verifica delle prestazioni in condizioni stazionarie, con carico e convertitore in condizioni di regime. Per brevi periodi, della durata di alcuni secondi, le condizioni del convertitore e delle batterie del veicolo possono considerati costanti, con buona approssimazione. Le prove sono state effettuate a partire da diversi livelli di carica residua dell'autoveicolo; 2) verifica delle prestazioni in condizioni dinamiche, con variazioni di dell'assorbimento di potenza in condizioni di alimentazione costante (tensione DC costante), ed in condizioni di carico costante (corrente DC costante), con variazioni della tensione di alimentazione.

In tali tipologie di verifica, sono analizzati i periodi transitori del funzionamento a tensione DC costante ed a corrente DC costante. 3) Verifica delle prestazioni complessive, durante il processo di ricarica con analisi dei dati focalizzata alla visualizzazione degli andamenti complessivi nel tempo (condizioni realistiche).

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Indagine preliminare sulle tecnologie e sulla normativa inerenti i sistemi di ricarica

Affinché il veicolo elettrico diventi competitivo e riesca a sostituire le vecchie automobili non basta pensare alle prestazioni del veicolo in sé (velocità, affidabilità, autonomia), ma è indispensabile costituire anche una rete di distribuzione adeguata simile a quella dei distributori di combustibili oggi presente, che garantisca un sistema di ricarica efficiente, sicuro e facilmente reperibile. Occorre tenere presente che questo passaggio dalle auto a combustibile alle auto elettriche riguarderà un'ampia parte della popolazione, che si troverà ad utilizzare mezzi nuovi e potenzialmente pericolosi. È necessario quindi studiare attentamente i vari aspetti riguardanti la sicurezza e l'unificazione dei sistemi di ricarica. Occorre perciò una normativa precisa, sia per quel che riguarda la costruzione dei veicoli, sia per quanto riguarda la sicurezza, poiché questi automezzi verranno usati da persone comuni che probabilmente non avranno una preparazione tecnica adeguata.

2.1.1 Stazione di ricarica

Una stazione di ricarica (Fig. 1) è un'infrastruttura costituita da uno o più punti di ricarica per veicoli elettrici e ibridi comunemente chiamati colonnine di ricarica. Il mercato dei veicoli elettrici è in continua espansione e vi è un crescente bisogno di stazioni di ricarica di pubblico accesso in grado di supportare un sistema di ricarica veloce con tensioni molto più alte rispetto quelle erogate da un impianto elettrico domestico. Gran parte delle stazioni di ricarica sono infrastrutture su strada fornite da aziende di servizi elettrici.



Fig. 1 – Stazione di ricarica rapida EQC-50 Endesa nei Laboratori ENEA –sede Casaccia

2.1.2 Modalità per la ricarica di veicoli elettrici

La normativa internazionale IEC 61851 [6-8] definisce gli standard per la ricarica conduttiva di veicoli elettrici; sono ammessi 4 Modi per la ricarica dei veicoli, e precisamente:

Modo 1: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A, (corrente alternata) ammessa solamente in ambiente domestico privato. È possibile utilizzare una semplice presa domestica o una presa industriale da 16 A (Fig. 2).



Fig. 2 – Modo 1 di ricarica

Modo 2: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A, (corrente alternata) ammessa in ambiente domestico e pubblico. Sul cavo di alimentazione del veicolo è presente un dispositivo denominato Control Box (Sistema di sicurezza PWM) che garantisce la sicurezza delle operazioni durante la ricarica. Le prese utilizzabili sono quelle domestiche o industriali fino a 16 A (Fig. 3).



Fig. 3 – Modo 2 di ricarica

Modo 3: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A o mediamente rapida (30 min-1 h) a 63 A, 400V (Modalità con sistema di sicurezza PWM), ammessa in ambiente domestico e pubblico. La ricarica deve avvenire tramite un apposito sistema di alimentazione dotato di connettori specifici (Fig. 4).



Fig. 4 – Modo 3 di ricarica

Modo 4: Ricarica ultra rapida (20 min) in corrente continua fino a 200 A, 400 V, ammessa solamente in ambiente pubblico. Con questo sistema è possibile ricaricare i veicoli in alcuni minuti, il carica batterie è esterno al veicolo. L'associazione che promuove il Modo 4 è nata in Giappone ed è denominata CHA.DE.MO. (Fig. 5).



Fig. 5 – Modo 4 di ricarica

Disponendo di stazioni di ricarica a corrente continua sulle nostre autostrade, con una capacità di ricarica fino a 75 kW, queste stazioni sono in grado di ricaricare le auto elettriche in 20-30 minuti, a differenza delle stazioni di ricarica a corrente alternata utilizzate finora che impiegano circa sei ore per ricaricare completamente una batteria di 3.5 kW.

In funzione del tipo di cavo di alimentazione tra veicolo e colonnina, la normativa individua i seguenti casi:

Caso A: il cavo è collegato stabilmente al veicolo;

Caso B: il cavo è scollegato sia dal veicolo che dalla colonnina;

Caso C: il cavo è collegato stabilmente alla colonnina di ricarica;

È inoltre in corso la sperimentazione di sistemi di ricarica a induzione, tramite impianti a pavimento, in grado di caricare i veicoli senza fili.

Le Norme o serie di Norme che devono essere considerate ai fini dei requisiti di “Sicurezza dei componenti” dei sistemi per la ricarica dei V.E. sono [9-12]

2.1.3 Connettori di ricarica per veicoli elettrici

La serie di Norme dove sono riportate le prescrizioni per i connettori (Fig. 6) dedicati alla ricarica conduttiva ed alla trasmissione di energia tra stazione di ricarica e il veicolo elettrico è la IEC EN 62196 [9] ed è divisa in 3 parti separate :

62196-1: requisiti generali e gradi di protezione IP;

62196-2: tipi di connettori in AC;

62196-3: tipi di connettori in DC.

Sono escluse da tale norma le prese fisse e le spine mobili del Modo 1 e Modo 2 di ricarica.

La modalità di ricarica più diffusa è quella in corrente alternata, in Modo 3 “PWM”, ed è utilizzato da quasi tutti i veicoli elettrici moderni. In Italia è il modo di ricarica obbligatorio in ambienti pubblici e nei luoghi privati aperti a terzi.

È basato sul protocollo “PWM”, definito nella norma IEC EN 61851-1/Annex A [6], con il quale avviene il dialogo fra il veicolo e la struttura fissa di ricarica. Per questo sistema si usano tre diversi formati di connettore, tutti definiti nella norma IEC 62196-2 [9]: tipo 1, tipo 2 e tipo 3C. Uno di questi, (tipo 2) è disponibile sia come connettore fisso sul veicolo (inlet), sia come presa fissa sulla colonnina di ricarica (socket outlet). Gli altri due, invece, sono in uso solo lato veicolo (tipo 1), oppure solo lato stazione di ricarica (tipo 3C).

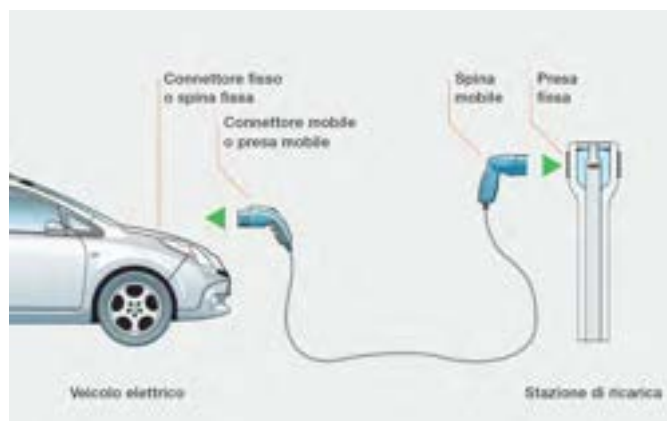


Fig. 6 - terminologia adottata per i diversi tipi di connettori

Dato che cavi di connessione con sezione molto diversa utilizzano i medesimi connettori, in base alla norma IEC/EN 61851-1/Annex A [6], sui connettori è inserito un resistore, tra un contatto ausiliario e il conduttore di protezione (resistore indicatore di potenza), il cui valore identifica la portata del cavo e permette alla stazione di ricarica e al veicolo di non generare sovraccarichi (Fig. 7).



Fig. 7 – Resistore inserito per controllare sovraccarichi

Oltre alle stazioni di ricarica dotate di presa fissa, vi sono anche quelle provviste di cavo di collegamento permanentemente collegato ad esse con connettore mobile per il veicolo (soluzione che è sempre adottata in caso di ricarica veloce). In ambito privato c'è anche la possibilità di ricarica da una presa domestica comune (Schuko), utilizzando un cavo fornito di dispositivo di protezione integrato (modo di ricarica 2), ma in questo caso la potenza di ricarica è limitata (Fig. 8).

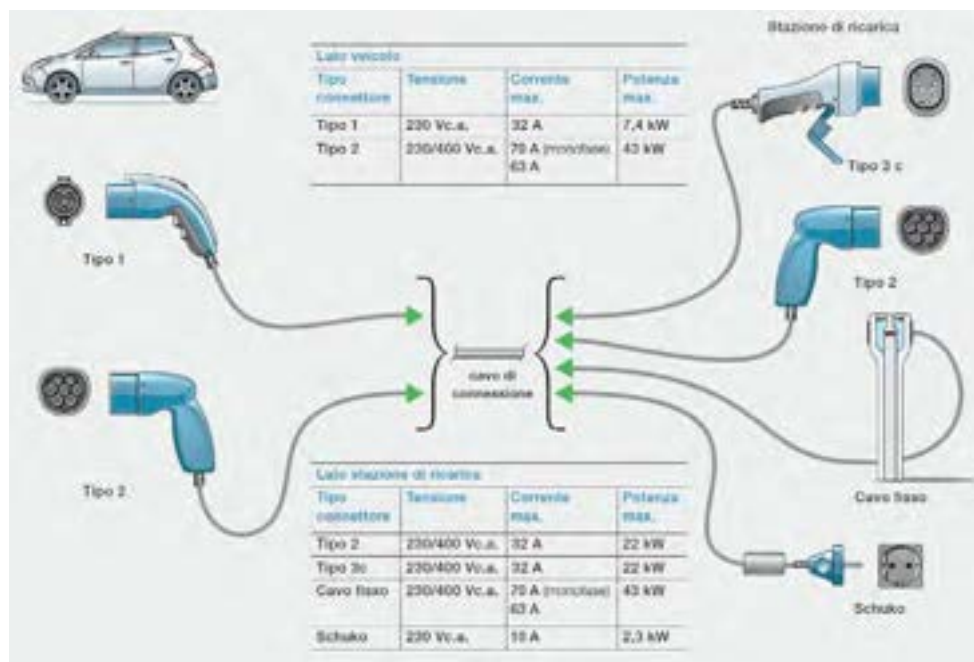


Fig. 8 - connessioni possibili per il modo 3

Le potenze di ricarica indicate vanno intese come quelle massime possibili con il corrispondente tipo di connessione. La potenza di ricarica effettiva dipende dalle caratteristiche del veicolo e della stazione di ricarica, dalla disponibilità della rete, etc.

Il Connettore tipo 1 (Fig. 9a) secondo la norma IEC 62196-2 [9 (corrispondente anche alla norma SAE J1772) è utilizzato solo sul lato veicolo. Si tratta del connettore per auto elettriche oggi fra i più diffusi al mondo. Il connettore tipo 1 è idoneo alla ricarica in corrente alternata monofase 32 A/230 V corrispondente a 7,4 kW di potenza massima di ricarica.

È dotato di cinque poli: due per i conduttori attivi, uno per la messa a terra e due ausiliari per le funzioni di controllo.

Connettore tipo 2 (Fig. 9b) secondo la norma IEC 62196-2 (corrispondente a VDE-AR-E 2623-2-2) [9].

Questo connettore è in uso sia sulle stazioni di ricarica, sia sui veicoli. Inoltre, a differenza del connettore di tipo 1, è un connettore utilizzabile anche in corrente trifase a 400 V, particolarmente idonea in Europa, dove la distribuzione trifase è ampiamente diffusa (questo connettore, perciò, dispone di sette contatti in totale). Con il connettore tipo 2 è possibile raggiungere valori di potenza di ricarica abbastanza elevati: con cavo fisso fino a 43 kW (63 A/400 V, la cosiddetta ricarica “fast AC”), con cavo staccabile fino a 22 kW (32 A/400 V).

Il connettore di tipo 2 è quello ufficialmente raccomandato dall’ACEA (European Automobile Manufacturers’ Association) e recentemente scelto dalla Commissione Europea come standard unico nei Paesi membri.

Come presa fissa sulle stazioni di ricarica, il connettore tipo 2 è oggi ampiamente diffuso in Europa, a eccezione della Francia. Per ciò che riguarda i veicoli, è previsto il progressivo passaggio al connettore tipo 2 sui nuovi modelli, man mano che verranno introdotti sul mercato europeo.

Il connettore tipo 3C (figura Fig. 9c) secondo la norma IEC 62196-2 [9] è in uso come presa fissa per la stazione di ricarica in Francia ma è diffuso anche in altri Paesi. Le caratteristiche sono simili a quelle della presa tipo 2 ma con quest’ultima è meccanicamente incompatibile. La peculiarità di questo tipo di connettore è quella di disporre di otturatori mobili sui contatti (“shutter” in lingua inglese) che garantiscono il grado di protezione IPXXD (impenetrabilità al filo di prova 1 mm) anche quando la spina è disinserita.



Fig. 9 – Tipi di connettori in AC

Bisogna però precisare che le norme indicano anche altri provvedimenti per ottenere un grado di protezione equivalente e che anche per la presa tipo 2 esistono esecuzioni che assicurano il grado di protezione IPXXD.

I tre connettori, tipo 1, 2 e 3C, anche se meccanicamente diversi, sono fra loro interoperabili e combinabili sui cavi di connessione, perché utilizzano il medesimo protocollo di comunicazione fra colonnina e autoveicolo, definito dalla norma IEC/EN 61851-1/Annex A [6].

La contemporanea diffusione sulle vetture dei due diversi connettori in alternativa, tipo 1 e tipo 2, richiede che le stazioni di ricarica pubbliche destinate a vetture diverse siano prive di cavo fisso e provviste di presa alla quale ogni utente si collegherà con il proprio cavo.

Sono perciò quattro le possibili combinazioni dei connettori sui cavi di connessione staccabili: tipo 1-tipo 2, tipo 2-tipo 2, tipo 1-tipo 3C, tipo 2-tipo 3C. Nel caso di veicoli dotati di connettore tipo 1, la ricarica ovviamente non potrà che avvenire in modalità monofase, anche se la stazione di ricarica fosse predisposta per quella trifase.

Nel caso di stazioni di ricarica domestiche, invece, si potrà anche usare una stazione di ricarica con il cavo fisso dotato del connettore mobile adatto al proprio veicolo (in caso di cambio del veicolo non sarà un problema per un tecnico sostituire il cavo).

Per ciò che riguarda la differenza fra i due formati di presa fissa, tipo 2 e tipo 3C, che si possono trovare nelle stazioni di ricarica, mancando ancora un accordo per un formato unico europeo, ci si trova in una situazione non dissimile da quella delle prese domestiche, dove coesistono diversi formati di presa (10 A, 16 A, Schuko etc.).

È quindi opportuno informarsi sul tipo di presa utilizzata nelle stazioni di ricarica che si intende utilizzare e, se necessario, dotarsi di un secondo cavo di connessione (esistono anche stazioni di ricarica dotate di entrambe le prese tipo 2 e tipo 3C).

La normativa riguardante la ricarica in DC si sta evolvendo nel corso di questi ultimi due anni. Sostanzialmente lo standard di riferimento è quello sviluppato in Giappone e denominato CHAdeMO [1-5]. Anche gli altri standard si stanno evolvendo inglobando dei pin ausiliari per la ricarica in DC. Sicuramente vincerà la legge del mercato per questo standard di ricarica. Esaminiamo lo standard CHAdeMO che è proprio quello che il Centro di Ricerca ENEA intende sviluppare nel suo progetto di ricerca per ricarica rapida in DC.

CHAdeMO (a volte CHAdeMO stilizzata, con lettera maiuscola greca lambda) è il nome commerciale di un metodo di ricarica veloce per i veicoli elettrici in grado di fornire fino a 62.5 kW in corrente continua tramite un connettore elettrico speciale. Si propone come standard di settore a livello mondiale da una associazione con lo stesso nome.

CHAdeMO è l'abbreviazione di "Charge de Move", equivalente a "carica per muoverti" (Fig. 10). Il nome è un gioco di parole per O cha demo ikaga desuka in giapponese, traducendo all'inglese come "Che ne dici di un po' di tè?", in riferimento al tempo che ci vuole per caricare un'auto. CHAdeMO può caricare un'auto in meno di mezz'ora.



Fig. 10 – logo di CHAdeMO

I veicoli elettrici (EV) hanno un caricatore a bordo che utilizza un circuito raddrizzatore per trasformare la corrente alternata dalla rete elettrica (rete VAC) a corrente continua (VDC) adatto per ricaricare il pacco batterie.

Costi e problemi termici limitano la quantità di potenza che il raddrizzatore è in grado di gestire, se quindi si superano valori di circa 240 VAC e 75 A è meglio usare una stazione di ricarica esterna per fornire corrente continua (DC) direttamente alla batteria del veicolo.

TEPCO ha sviluppato una tecnologia brevettata e specifica con alta tensione (fino a 500 VDC) e alta corrente (125 A) tramite un connettore di carica rapida JARI D (Fig. 11). Questa è la base per il protocollo CHAdeMO. Il connettore è specificato da JEVS (Japan Electric Vehicle standard) G105-1993 dalla Japan Automobile Research Institute.



Fig. 11 – Il connettore CHAdeMO

Oltre al connettore di potenza ci sono anche cavi di trasmissione dati che utilizzano il protocollo CAN bus. Questo esegue funzioni come ad esempio un blocco di sicurezza per evitare di alimentare il connettore prima che sia in sicurezza (simile a SAE J1772), trasmettendo i parametri della batteria per il caricamento alla stazione compreso quando smettere la carica, la tensione di riferimento, e la capacità totale della batteria, e durante la carica come la stazione dovrebbe variare la sua corrente di uscita (Fig. 12).

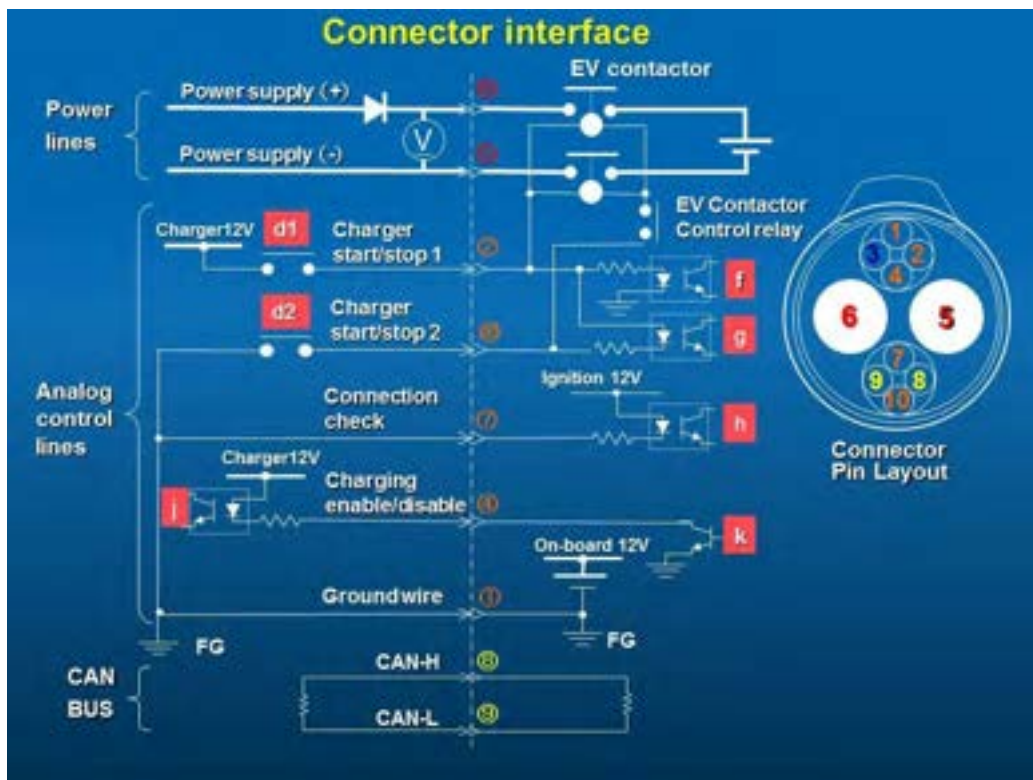


Fig. 12 – Specifiche del connettore CHAdeMO

2.2 Sviluppo e realizzazione di un sistema automatico di collaudo e di test per convertitori di potenza DC/DC e AC/DC

Lo sviluppo del sistema automatico di collaudo e di test si è svolto in due distinte fasi: nella prima è stata implementata l'architettura hardware del sistema; nella seconda è stato elaborato il pacchetto software in ambiente NI LabVIEW.

Lo sviluppo del sistema è stato effettuato nel laboratorio di Misure Elettriche ed Elettroniche del DIIE dell'Università degli Studi dell'Aquila.

Per garantire una migliore flessibilità di gestione del sistema, per applicazioni future, è stata utilizzata una architettura che permetta di effettuare caratterizzazioni sia di convertitori DC/DC che AC/DC trifase in bassa tensione, per la misurazione di valori di potenza elettrica erogata fino a 150 kW.

2.2.1 Architettura hardware – trasduttori ed alimentazione

Obiettivo del sistema è la misurazione dei parametri elettrici a monte e a valle di un convertitore AC/DC e di un convertitore DC/DC per la ricarica rapida di batterie.

La ricarica rapida implica che i convertitori erogano in uscita una corrente continua di valore medio elevato, per tempi ridotti, dell'ordine delle decine di minuti.

Le specifiche del sistema di ricarica indicate da parte di ENEA sono in accordo allo standard di ricarica CHAdeMO; il convertitore tipo che dovrà essere verificato deve poter erogare una corrente max di 150 A in uscita (DC) con una tensione max di 500 V (DC), con potenza complessiva di 75 kW.

In base alle specifiche date si è scelto di realizzare due sezioni di misura: la prima per la sezione DC o AC trifase in ingresso, la seconda per la sezione DC in uscita.

Sono stati utilizzati trasduttori ad effetto Hall per la misura di correnti e tensioni [13-16].

Si è scelto di privilegiare la modularità realizzando un unico sistema di trasduttori sia per il convertitore AC/DC che per il convertitore DC/DC. Ovvero si può utilizzare la parte in AC trifase in ingresso all'AC/DC anche per un uso in DC nel convertitore DC/DC utilizzando soltanto un trasduttore di tensione e un trasduttore di corrente lasciando scollegati gli altri 4 componenti. Ciò è possibile grazie alle caratteristiche dei trasduttori ad effetto Hall impiegati, che consentono la misura di tensioni e correnti continue ed alternate, con elevata banda passante.

Sono stati realizzati quindi tre blocchi per la misura di: tre tensioni AC o DC, tre correnti AC o DC, una tensione ed una corrente DC.

L'impiego di trasduttori ad effetto Hall consente di garantire al sistema di misura requisiti di sicurezza elettrica importanti, quali l'isolamento galvanico tra i circuiti di misura ed i conduttori di potenza, con un livello di isolamento fino ad alcuni kV, elevata banda passante grazie al funzionamento in tecnica a ciclo chiuso, possibilità di misura anche componenti significative in DC perché non basati sulla legge di Faraday – Newman- Lentz.

Nel seguito, per quanto concerne la descrizione del sistema, si farà riferimento alla configurazione per la misurazione di grandezze AC in ingresso, poiché rappresenta la configurazione più complessa del sistema.

Il blocco di misura delle tensioni AC costituito da tre trasduttori di tensione prodotti da LEM, modello LV100 ; In Tab. 1 ne sono riportate le specifiche più significative.

Tab. 1 – Parametri dei trasduttori LEM LV 100

Electrical data			
I_{PM}	Primary nominal r.m.s. current	10	mA
I_p	Primary current, measuring range	0 .. ± 20	mA
R_M	Measuring resistance with ± 15 V		$R_{M \min}$ $R_{M \max}$
		@ ± 10 mA _{max}	0 150 Ω
		@ ± 20 mA _{max}	0 50 Ω
I_{SM}	Secondary nominal r.m.s. current	50	mA
K_M	Conversion ratio	10000 : 2000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	10 + I_S	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test ¹⁾ , 50 Hz, 1 mm	6	kV
Accuracy - Dynamic performance data			
X_G	Overall Accuracy @ I_{PM} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.7	%
ϵ_L	Linearity	< 0.1	%
I_0	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	mA
I_{0T}	Thermal drift of I_0 $0^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$	± 0.2 ± 0.3	mA
t_r	Response time ²⁾ @ 90 % of $V_{P \max}$	20 .. 100	μs
General data			
T_A	Ambient operating temperature	0 .. +70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-25 .. +85	$^\circ\text{C}$
R_p	Primary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	1900	Ω
R_s	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	60	Ω
m	Mass	460	g
	Standards ³⁾	EN 50178	

I tre sensori, unitamente ad un circuito di alimentazione da rete con uscita ± 15 Vdc, sono stati inseriti in un contenitore per strumentazioni; l'alimentazione è da rete elettrica monofase a 230 V, con collegamento separato dalle connessioni di misura (Fig. 13)



Fig.13– Blocco di misura tensioni trifase lato AC

I terminali di misura sono stati collegati, mediante cavi coassiali, a tre prese con attacco BNC sulla parte esterna del contenitore

Nella parte posteriore del contenitore ci sono i connettori del tipo a boccia per la parte di potenza.

Il valore massimo di tensione applicabile nell'applicazione considerata è definito dalla resistenza R1; definita R1 il guadagno di ogni trasduttore è impostabile con la scelta della RM più appropriata (Fig. 14).

I trasduttori sono configurati per la misurazione di tensioni di fase, con valore nominale 230 Vrms in collegamento a stella. E' pertanto necessario che sia realizzato un centro-stella artificiale collegando in corto circuito le bocche indicate con segno (-) sul pannello di ingresso del blocco; tale centro-stella può essere lasciato flottante o collegato al conduttore di neutro, se disponibile nell'applicazione considerata.

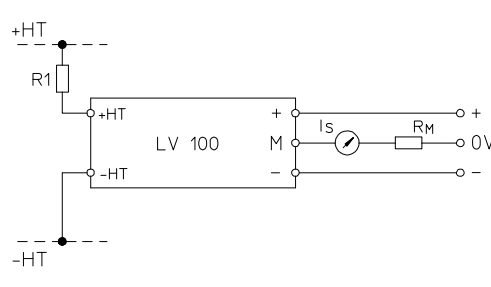


Fig.14– Schema di collegamento del singolo trasduttore di tensione LV 100.

Per la misura delle correnti sono stati adottati tre trasduttori LEM, modello LT 300, che consentono di misurare correnti AC, DC e pulsanti fino a un valore max di 300 A DC. In Tab. 2 ne sono riportate le specifiche più significative.

Gli LT 300 richiedono l'alimentazione della sezione di misura in modo duale, per valori che vanno da ± 12 V fino a ± 18 V. Al fine di utilizzare un'unica alimentazione sia per tali trasduttori che per i due trasduttori di tensione e corrente del terzo blocco lato DC successivamente descritto, è stata scelta un'alimentazione di ± 15 V tramite alimentatore esterno. Tale alimentatore presenta anche l'uscita a 0 V, da collegare con il morsetti di misura M dei singoli trasduttori, a valle delle resistenze campioni, secondo lo schema in Fig. 15.

Tab. 2 – Parametri dei trasduttori LEM LT 300

Electrical data					
I_{pn}	Primary nominal current rms	300	A		
I_{pr}	Primary current, measuring range	0 .. ± 500	A		
R_m	Measuring resistance	$R_{m,0}$	$R_{m,max}$		
			$R_{m,max}$		
		with ± 12 V	@ ± 300 A _{max}	0	30 Ω
			@ ± 500 A _{max}	0	5 Ω
with ± 18 V	@ ± 300 A _{max}	20	70 Ω		
	@ ± 500 A _{max}	20	25 Ω		
I_{sn}	Secondary nominal current rms	150	mA		
K_n	Conversion ratio	1 : 2000			
V_c	Supply voltage (± 5 %)	$\pm 12 .. 18$	V		
I_c	Current consumption	28 (@ ± 18 V) + I_s	mA		
Accuracy - Dynamic performance data					
X_n	Overall accuracy @ $I_p = I_n$, $T_a = 25^\circ\text{C}$		± 0.5 %		
		@ $I_p = I_n$, $T_a = -40^\circ\text{C}$	± 3 %		
E_L	Linearity error		< 0.1 %		
I_0	Offset current @ $I_p = 0$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max		
$I_{0,m}$	Magnetic offset current @ $I_p = 0$ and specified R_m after an overload of $3 \times I_{pn}$		± 0.3 mA		
			± 0.2 mA		
$I_{0,t}$	Temperature variation of I_0	-40°C .. -25°C	± 0.5 mA		
		-25°C .. +75°C	± 0.3 mA		
			± 0.5 mA		
t_r	Response time \Rightarrow to 90 % of I_{pn} step	< 1	μs		
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/ μs		
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150	kHz		
General data					
T_o	Ambient operating temperature	-40 .. +75	$^\circ\text{C}$		
T_s	Ambient storage temperature	-50 .. +85	$^\circ\text{C}$		
R_s	Secondary coil resistance @ $T_a = 75^\circ\text{C}$	35	Ω		
m	Mass	230	g		
	Standards	EN 50155: 1995			

Il valore di tale resistenza è stato scelto in base alla portata della scheda di acquisizione dati, descritta nel seguito.

Dato che essa accetta in ingresso tensioni con un valore max di ± 10 V, si è scelta una resistenza da 100 Ohm in modo da avere un segnale in tensione inferiore che rientri nel range dei 10V fino alla massima corrente misurabile. Il valore massimo di corrente misurabile impostato è di 150 Arms. Di seguito sono riportate alcune immagini del blocco di misura di corrente AC trifase realizzato contenente i trasduttori LEM LT 300 (Fig.16-17)

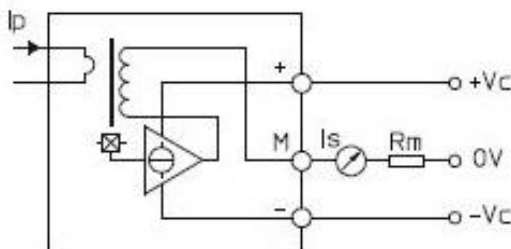


Fig.15– Schema di collegamento del singolo trasduttore di corrente LT 300.

Considerato un valore di corrente in ingresso a regime pari a 100 Arms, si è scelto di adottare un cavo elettrico dello spessore di 25 mm². Tali cavi sono stati inseriti dentro una tubo corrugato isolante per una lunghezza di un metro circa, sia lato ingresso che lato uscita.

Alle estremità i cavi sono stati dotati di capicorda per garantire un aggancio con i relativi morsetti che sia sicuro, con resistenze trascurabili e il più possibile modulare. Il tutto, come si evince dalle immagini, è stato inserito all'interno di una contenitore per apparati elettriche Gewiss.

Le interfacce per la misura sono n.3 connettori con attacco BNC, collegati tramite cavi coassiali ai rispettivi morsetti M dei trasduttori. Infine, le ultime tre connessioni sono quelle che prelevano le tensioni a valle dei trasduttori, mediante cavi elettrici in rame dello spessore di 2.5 mm² con attacchi a boccola.



Fig. 16- Blocco di misura delle correnti AC trifase, con connettori BNC e boccole per l'alimentazione.



Fig. 17- Vista dall'alto del blocco di misura delle correnti AC trifase

Per la misurazione delle grandezze DC di uscita dal sistema di ricarica, sono stati utilizzati due trasduttori LEM: un trasduttore di corrente LT 300, le cui prestazioni sono già state presentate, ed un trasduttore di tensione CV 3-500 (Fig. 18). Sono stati scelti in base alle specifiche di tensione e corrente del convertitore nel lato DC. I trasduttori sono stati scelti per soddisfare le specifiche di corrente DC massima 150 A, tensione DC massima 500 V, per una potenza nominale di 75 kW. E' possibile utilizzare gli stessi fino a valori di 150 kW, modificandone il guadagno del trasduttore di corrente.

Anche in questo caso, l'alimentazione richiesta è duale a ± 15 V, con 0 V centrale. Il trasduttore CV 3-500 non necessita dell'inserimento di alcuna resistenza esterna. Per quanto riguarda il trasduttore di corrente LT 300, è equipaggiato con la resistenza da 100 Ohm come negli altri LT 300 nel blocco di misura per le grandezze AC già presentato. I cavi di potenza, appositamente dotati di capicorda, sono della misura di 25 mm²; essi consentono di trasferire correnti superiori a 100 A in ambiente debitamente aerato. In Tab. 3 sono riportate i parametri principali del trasduttore CV 3-500. Lo schema di collegamento del trasduttore di tensione CV 3-500 è riportato in Fig. 19.



Fig. 18 - Blocco di misura di tensione e corrente lato DC

Tab. 3 – Parametri del trasduttore di tensione CV 3-500

Electrical data			
V_{PN}	Primary nominal r.m.s. voltage	350	V
V_p	Primary voltage, measuring range	0 .. ± 500	V
V_s	Secondary analog voltage @ $V_{p,max}$	10	V
K_N	Conversion ratio	500 V / 10 V	
R_L	Load resistance	≥ 1	k Ω
C_L	Capacitive loading	≤ 5	nF
V_c	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15	V
I_c	Current consumption	$32 + V_s/R_L$	mA
V_e	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	6	kV
V_p	R.m.s. voltage for partial discharge extinction @ 10 pC	2	kV

Accuracy - Dynamic performance data					
X_G	Overall accuracy @ $V_{p,max}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max	
		-40 $^\circ\text{C}$.. +85 $^\circ\text{C}$		± 0.2	%
V_G	Offset voltage @ $V_p = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 5.0	mV
		-40 $^\circ\text{C}$.. +85 $^\circ\text{C}$		± 13.0	mV
t_r	Response time @ 90 % of V_{PN}		0.3		μs
dv/dt	dv/dt accurately followed		500		V/ μs
f	Frequency bandwidth (-1 dB) @ V_{PN}		DC .. 300		kHz

General data			
T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85	$^\circ\text{C}$
T_s	Ambient storage temperature	-45 .. +90	$^\circ\text{C}$
P	Total primary power loss	3.1	W
R_1	Primary resistance	40	k Ω
m	Mass	560	g
	Standards ²⁾	EN 50155	

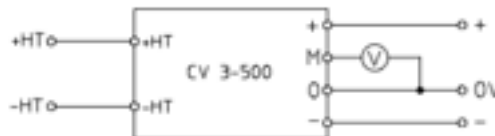


Fig. 19 - Schema di collegamento del trasduttore di tensione CV 3-500.

Per quanto concerne l'alimentazione dei traduttori sopra descritti, si ricorda che il blocco di misura delle tensioni trifase abbia già all'interno un convertitore AC/DC per l'alimentazione dei trasduttori, di potenza 30 W, in grado di erogare fino a 1 A di corrente.

Per gli altri blocchi di misura delle correnti in AC e della tensione e corrente DC, si è ricorsi ad un'unica modulare alimentazione esterna. Considerati gli assorbimenti complessivi dei trasduttori, nelle condizioni di massimo carico, pari a 550 mA, si è scelto un alimentatore di tipo Tracopower AC/DC Power Modules serie TMP 30215C, anch'esso di potenza 30 W con tensioni di uscita +/- 15 V, con 0 centrale. Poiché il convertitore è in tipologia a doppio isolamento, si è provveduto a dotare di un collegamento a terra mediante conduttore PE il morsetto di uscita centrale a 0 V, in modo da evitare distorsioni delle forme d'onda in uscita dai trasduttori alimentati. Il sovradimensionamento dell'alimentatore garantisce una corretta alimentazione anche in caso di sovraccarico, e permette di ridurre i rischi di surriscaldamento. L'alimentatore è stato inserito in una scatola per applicazioni elettrica la quale è stata forata per le connessioni; il collegamento con la rete di alimentazione a 230 V è ottenuto con cavo equipaggiato con una presa Schuko CEE 7/4, mentre le uscite di tensione DC (+15 V, -15 V, 0 V) si rendono disponibili con le connessioni a boccia realizzate all'esterno.

2.2.2 Architettura hardware –scheda di acquisizione dati

I trasduttori ad effetto Hall presentati nel paragrafo precedente generano, in uscita, segnali in tensione proporzionale alle forma d'onda di corrente e tensione da misurare. Per poter essere elaborati in remoto da un host PC, detti segnali analogici deve essere opportunamente acquisiti attraverso un sistema di acquisizione dati [13,16-19].

Per l'applicazione considerata, si è scelta una scheda prodotta da National Instruments, modello NI USB-6255; si tratta di un modulo DAQ di acquisizione dati multifunzione della Serie M a prestazioni elevate ottimizzato per ottenere maggiore accuratezza a frequenze di campionamento elevate. NI USB-6225 (Fig.20) è utilizzabile per le applicazioni come la registrazione dei dati ad elevato numero di canali e per le misure di segnali di uscita di sensori ad elevata banda passante, come nella applicazione presente. Le principali caratteristiche della scheda, relativamente alla misurazione di tensioni, sono riportate in Tab. 4. In Tab. 5 sono riportati i parametri di precisione della stessa. Per l'applicazione sviluppata, sono stati utilizzati 8 canali in configurazione differenziale, per ridurre gli effetti del rumore di modo comune.

Non si è ritenuto necessario l'utilizzo di una scheda ad effettivo campionamento simultaneo, vista possibilità di sviluppare un sistema di misura con frequenza di campionamento sufficientemente elevata da rendere trascurabile il ritardo introdotto dal multiplexer, a fronte di un consistente risparmio nei costi di sviluppo del sistema.



Fig.20 – Scheda di acquisizione dati NI USB – 6255

Tab. 4 – Principali caratteristiche della scheda NI USB-6225

Number of channels	40 differential or 80 single ended
ADC resolution	16 bits
Maximum Sampling rate	1.25 MS/s single channel 750 KS/s multi-channel (aggregate)
Minimum Sampling rate	No minimum
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	50 ns
Input coupling	DC
Input range	± 10 V, ± 5 V, ± 2 V, ± 1 V, ± 0.5 V, ± 0.2 V, ± 0.1 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode)	± 11 V of AI GND

CMRR (DC to 60 Hz)	100 dB
Input impedance Device on AI+ to AI GND	>10 GΩ in parallel with 100 pF
Input impedance Device on AI- to AI GND	>10 GΩ in parallel with 100 pF
Device off	
AI+ to AI GND	820 Ω
AI- to AI GND	820 Ω
Input bias current	±100 pA
Crosstalk (at 100 kHz) Adjacent channels	-75 dB
Crosstalk (at 100 kHz) Non-adjacent channels	-90 dB
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O

Tab. 5 – Parametri di precisione della scheda NI USB-6225

Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, σ (μ Vrms)	Absolute Accuracy at Full Scale1 (μ V)	Sensitivity (μ V)
Positive Full Scale	Negative Full Scale									
10	-10	60	13	1	20	21	60	280	1,920	112.0
5	-5	70	13	1	20	21	60	140	1,010	56.0
2	-2	70	13	1	20	24	60	57	410	22.8
1	-1	80	13	1	20	27	60	32	220	12.8
0.5	-0.5	90	13	1	40	34	60	21	130	8.4
0.2	-0.2	130	13	1	80	55	60	16	74	6.4
0.1	-0.1	150	13	1	150	90	60	15	52	6.0

2.2.3 Architettura hardware – datalogger per la misurazione delle temperature

Il sistema di misura è equipaggiato con datalogger per l’acquisizione opzionale dei dati di temperatura, rilevabili se i sistemi di carica rapida e le batteria sono costruiti con possibilità di inserimento di sonde, quali termocoppie o RTD. Il modello utilizzato è il Fluke HYDRA DATA LOGGER 2625A (Fig. 21); si tratta di un acquisitore di dati multicanale, esso è in grado di misurare tensioni (AC e DC), temperature (provenienti da Termocoppie o RTDs), resistenze e frequenze. La scelta di impiegare tale dispositivo è legata alla maggiore semplicità di configurazione del sistema di misura, in termini di condizionamento e di lettura delle uscite dei sensori di temperatura; con l’uso di questo data logger è possibile utilizzare fino a 21 sensori di temperatura, senza necessità di impiegare circuiti di condizionamento per ognuno di essi, e trasmettere i dati all’host PC mediante una connessione seriale di tipo RS 232. Inoltre, data la lenta dinamica dei fenomeni termici che si possono presentare nell’applicazione considerata, non sono necessarie frequenze di campionamento superiori ad 1 S/s. In Tab. 6 sono riportate le specifiche di precisione inerenti le misure di temperatura con differenti sensori commerciali.



Fig.21 – Fluke HYDRA DATA LOGGER 2625A

Tab. 6 – Parametri di precisione del Fluke HYDRA DATA LOGGER 2625A con diversi sensori

RTD (Pt 100)	Range:	-200 to 600°C
	Resolution	0.02°C
	Accuracy:	(3-Sigma)± 0.05°C
J Thermocouples	Range:	-100 to 760°C
	Resolution	0.1°C
	Accuracy:	(3-Sigma)± 0.39°C
K Thermocouples	Range:	-100 to 1372°C
	Resolution	0.1°C
	Accuracy:	3-Sigma)± 0.45°C
T Thermocouples	Range:	-25% to 400°C
	Resolution	0.1°C
	Accuracy:	(3-Sigma)± 0.39°C

2.2.4 Software di misura ed elaborazione dei dati sperimentali

Poiché il DIIE è sede di una National Instruments LabVIEW Academy, il software di misura ed elaborazione dei dati sperimentali è stato implementato in LabVIEW (abbreviazione di Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), l'ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale di National Instruments.

Tale ambiente viene utilizzato principalmente per acquisizione e analisi dati, controllo di processi, generazione di rapporti, o più generalmente per tutto ciò che concerne l'automazione industriale su diverse piattaforme come Windows, Solaris, Linux, Mac OS, e controllori National Instruments.

Il linguaggio di programmazione usato in LabVIEW si distingue dai linguaggi tradizionali perché grafico, e per questa ragione battezzato G-Language (Graphic Language). La definizione di strutture dati ed algoritmi avviene con icone e altri oggetti grafici, ognuno dei quali incapsula funzioni diverse, uniti da linee di collegamento (wire), in modo da formare una sorta di diagramma di flusso. Tale 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. Poiché i dati possono anche scorrere in parallelo attraverso blocchi e fili non consecutivi, il linguaggio realizza spontaneamente il multithreading senza bisogno di esplicita gestione da parte del programmatore.

I programmi in LabVIEW vengono chiamati virtual instruments, o VI, perché il loro aspetto e funzionamento è simile a quello di strumenti fisici, come oscilloscopi e multimetri. LabVIEW possiede un insieme completo di strumenti per l'acquisizione, l'analisi, la visualizzazione e la memorizzazione dei dati. I VI di LabVIEW possiedono due componenti principali, il pannello frontale (Front Panel) e il diagramma a blocchi (Block Diagram).

Il pannello frontale è l'interfaccia utente del VI. Dopo aver costruito il pannello frontale, si aggiunge il codice utilizzando delle rappresentazioni grafiche delle funzioni per il controllo degli oggetti del pannello frontale. Il diagramma a blocchi contiene questo codice sorgente grafico. Gli oggetti del pannello frontale appaiono come terminali sul diagramma a blocchi. Nel presente documento, i diversi applicativi sviluppati saranno presentati mediante figure che riportano sia i Front Panel che le sezioni più significative dei Block Diagram corrispondenti con l'obiettivo di descrivere le funzioni di acquisizione, elaborazione e gestione dati che sono state implementate.

Stati sviluppati diversi applicativi per eseguire le seguenti tipologie di prove:

1. Prove statiche, per monitorare i parametri elettrici durante il funzionamento dei convertitori AC/DC e DC/DC, in condizioni di regime.
2. Prove dinamiche, con acquisizione lunga dei dati e salvataggio con successivo post processing.

Per sistemi di conversione AC/DC sono stati creati tre VI:

1. Caratterizzazione AC DC in linea;
2. Caratterizzazione AC DC in post processing;
3. Acquisizione lunga e salvataggio AC DC.

Analogamente, per i sistemi di conversione DC/DC sono stati creati tre VI:

1. Caratterizzazione DC DC in linea;
2. Caratterizzazione DC DC in post processing;
3. Acquisizione lunga e salvataggio DC DC.

I due VI che caratterizzano i convertitori in linea consentono di monitorare le grandezze elettriche d'interesse durante l'effettivo funzionamento e consentono di salvare i dati in due formati, quello di testo (txt) e quello Excel (xls).

Se è richiesta una prova di durata maggiore, si è ritenuto più utile avere un VI che consenta di salvare i dati in formato TDMS (binario) e processarli in un altro VI una volta finita la prova. Ciò è effettuato distintamente per l'AC/DC e il DC/DC.

Questa seconda modalità di funzionamento consente di acquisire tutte le grandezze di interesse durante una prova di ricarica completa, della durata tipica non superiore ai 60 minuti, per l'esecuzione off-line delle misurazioni e delle elaborazioni dei dati.

2.2.4.1 Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

In Fig. 22 è riportata la schermata iniziale del Front Panel del "Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC". Tutte le varie funzioni sviluppate sono divise in diverse pagine (mediante l'uso di più Tab Control) per facilitarne l'uso ed evitare il ricorso ad un lungo scroll del mouse per ritrovare le informazioni; in totale sono disponibili 11 pagine che permettono:

- 1) “Leggimi” – Contiene alcune indicazioni sull’uso dell’applicativo (Fig. 22)
- 2) “Impostazioni” – Consente l’impostazione dei parametri di acquisizione e dei coefficienti dei trasduttori, nonché la scelta della modalità di simulazione (Fig. 23)
- 3) “Tensioni e Correnti IN – dominio del tempo” – Riporta i grafici nel dominio del tempo della tensione e della corrente in ingresso (Fig. 24)
- 4) “Tensioni e Correnti OUT – dominio del tempo” Riporta i grafici nel dominio del tempo della tensione e della corrente in uscita (Fig. 25)
- 5) “Tensioni e Correnti IN – armoniche” - Riporta gli spettri di ampiezza della tensione e della corrente in ingresso (Fig. 26)
- 6) “Tensioni e Correnti OUT – armoniche” - Riporta gli spettri di ampiezza della tensione e della corrente in uscita (Fig. 27)
- 7) “Misurazioni IN” – Riporta i valori medi delle grandezze in ingresso (Fig. 28)
- 8) “Misurazioni OUT” – Riporta i valori medi delle grandezze in uscita (Fig. 29)
- 9) “Potenza istantanea IN” – Riporta il grafico della potenza in ingresso (Fig. 30)
- 10) “Potenza istantanea OUT” - Riporta il grafico della potenza in uscita (Fig. 31)
- 11) “Rendimento” - Riporta il grafico del rendimento (Fig. 32)

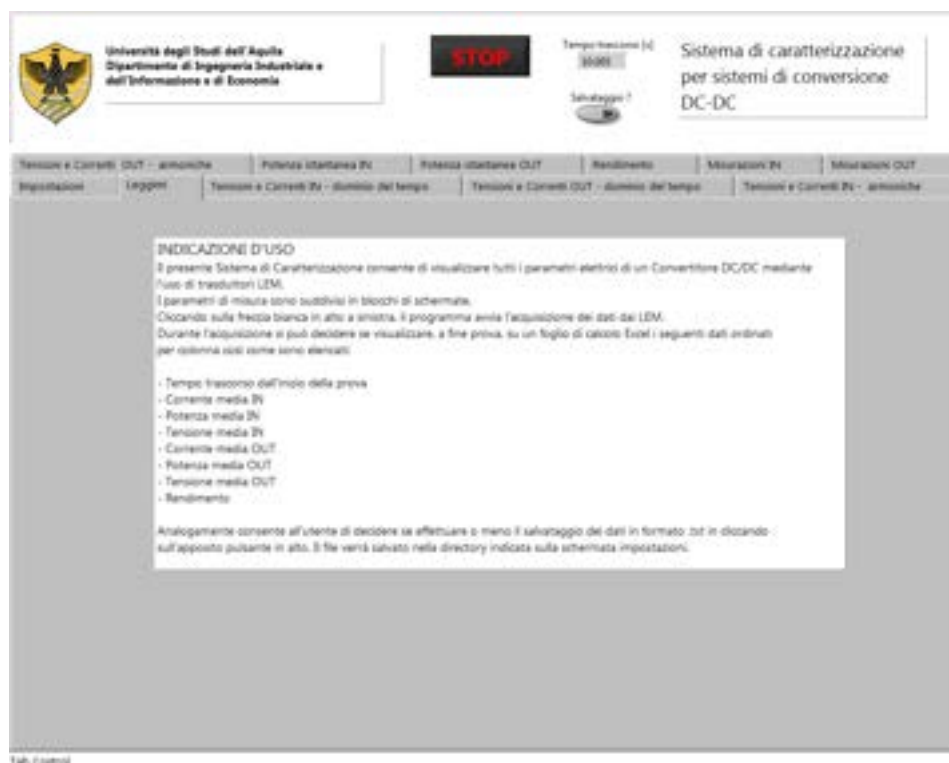


Fig. 22 – Pagina “Leggimi” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

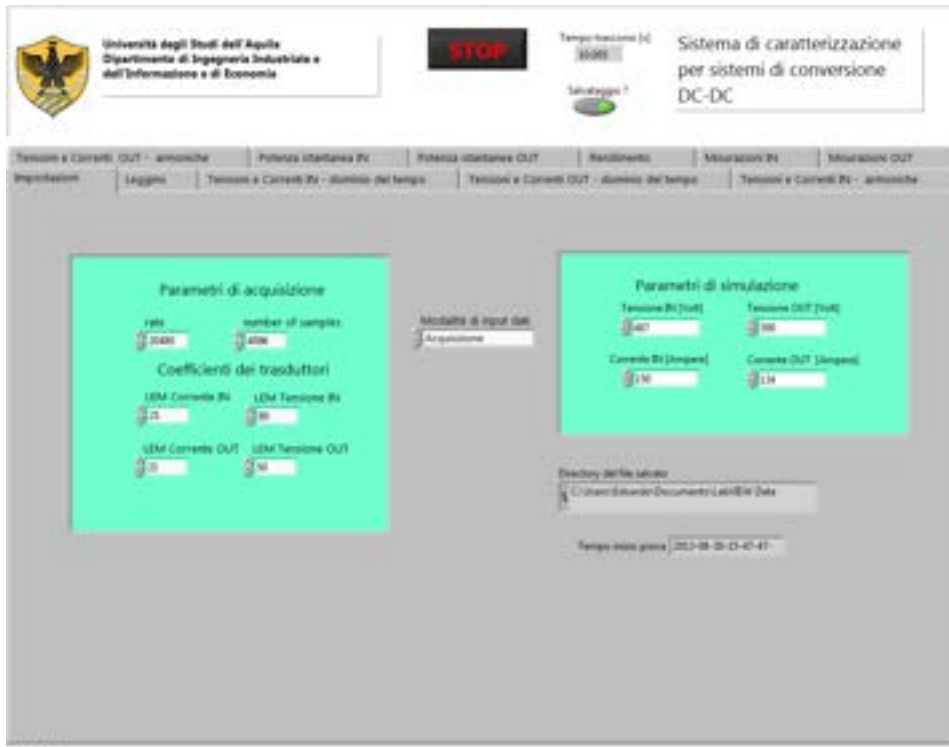


Fig. 23– Pagina “Impostazioni” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

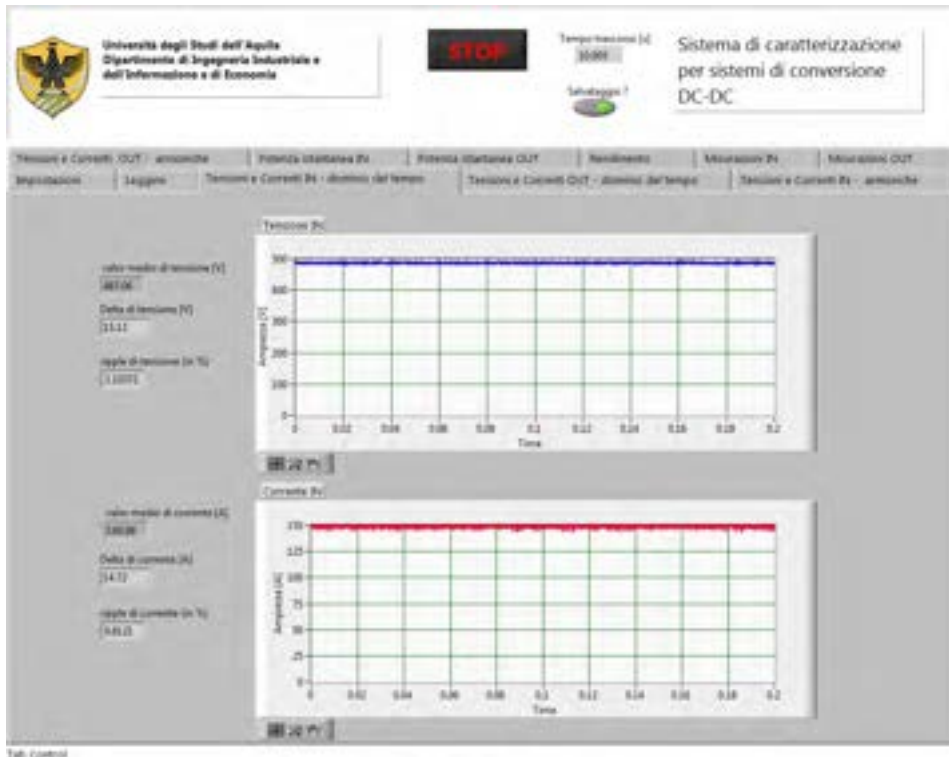


Fig. 24– Pagina “Tensioni e Correnti IN – dominio del tempo” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

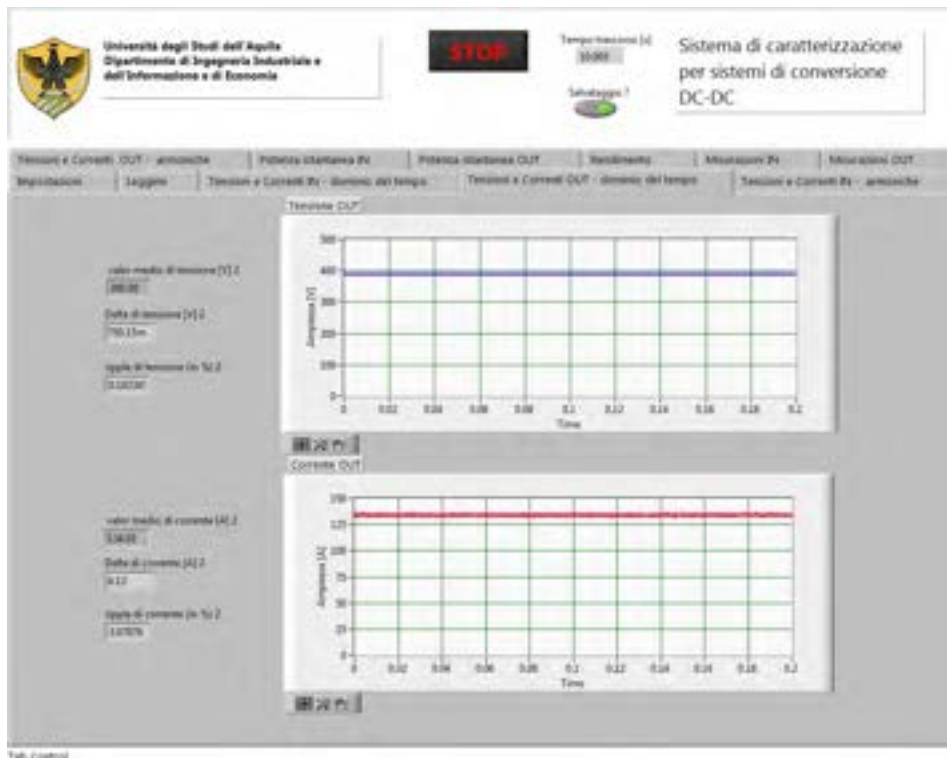


Fig. 25– Pagina “Tensioni e Correnti OUT – dominio del tempo” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

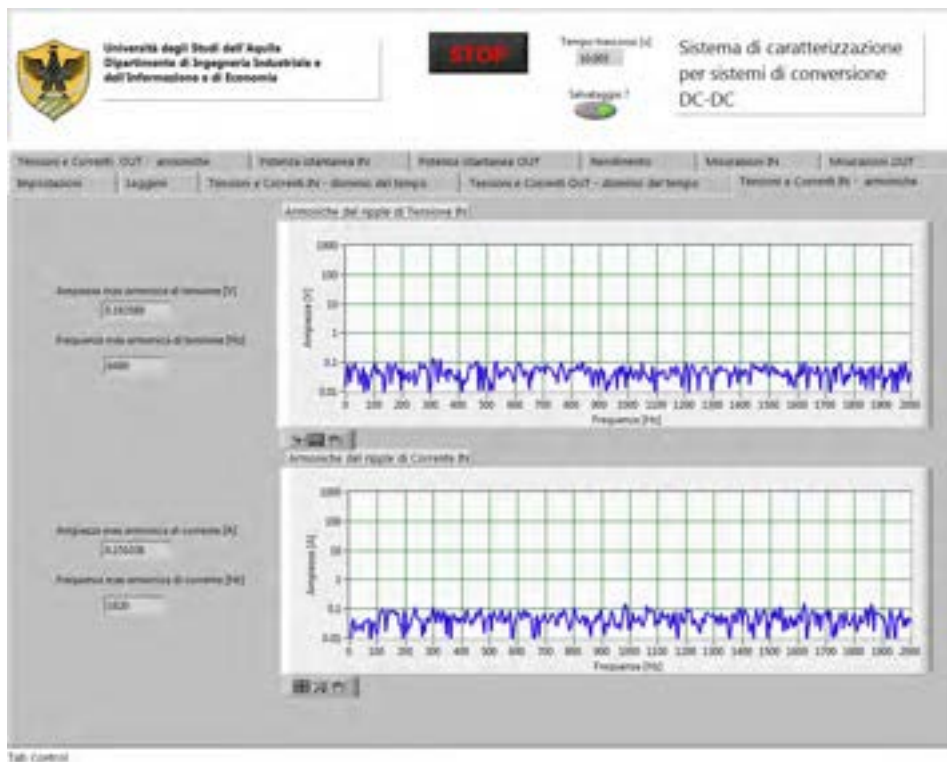


Fig. 26– Pagina “Tensioni e Correnti IN – armoniche” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

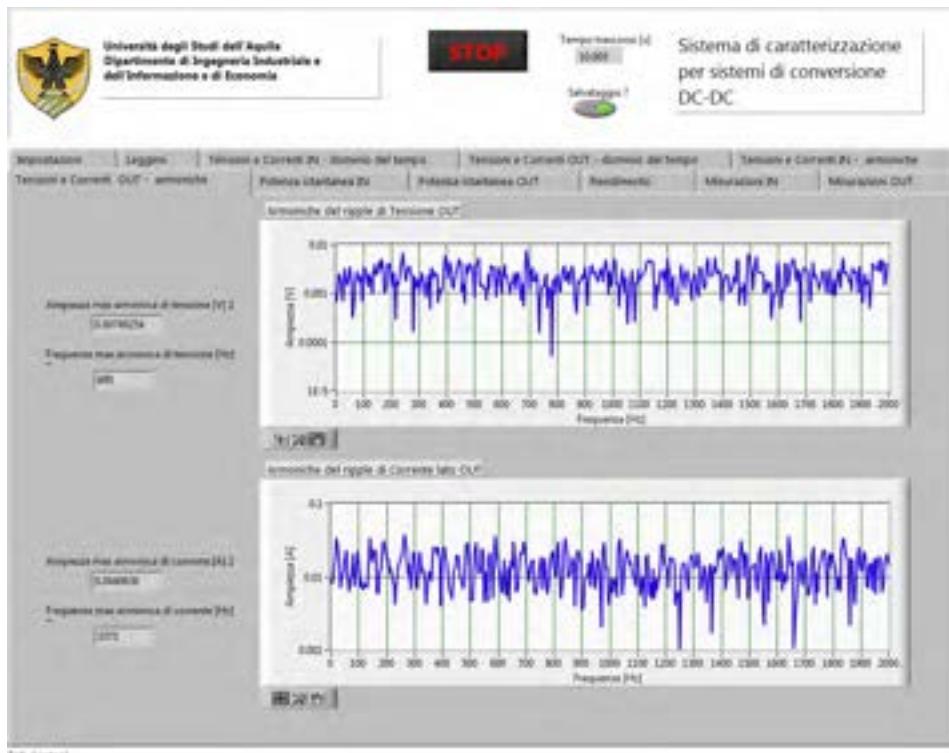


Fig. 27– Pagina “Tensioni e Correnti OUT – armoniche” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC



Fig. 28– Pagina “Misurazioni IN” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC



Fig. 29– Pagina “Misurazioni OUT” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

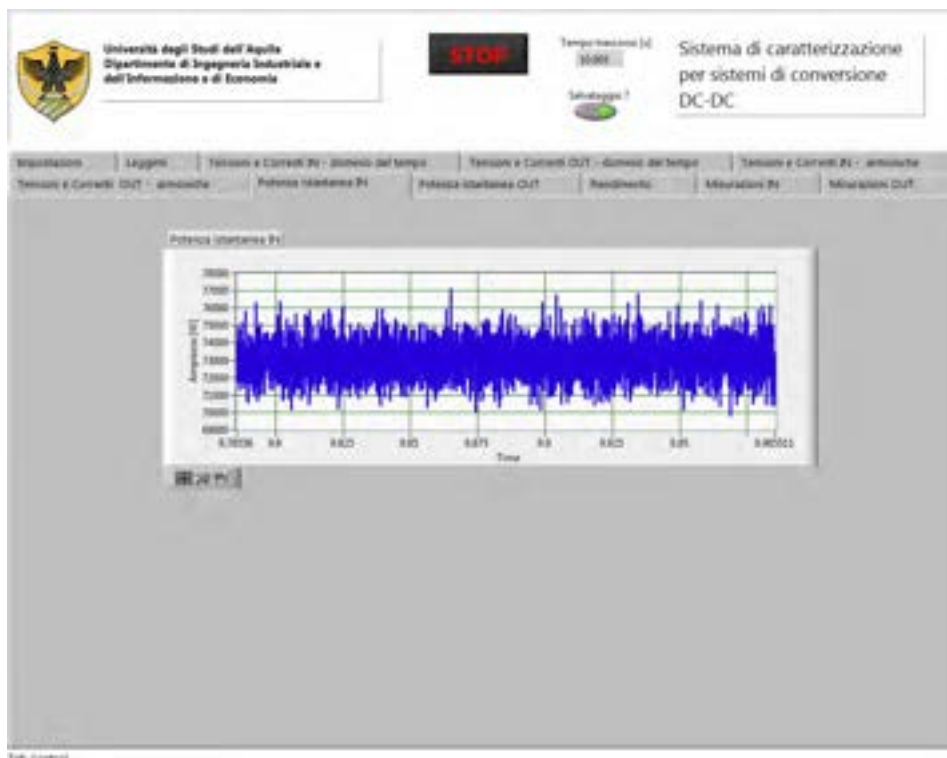


Fig. 30– Pagina “Potenza istantanea IN” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

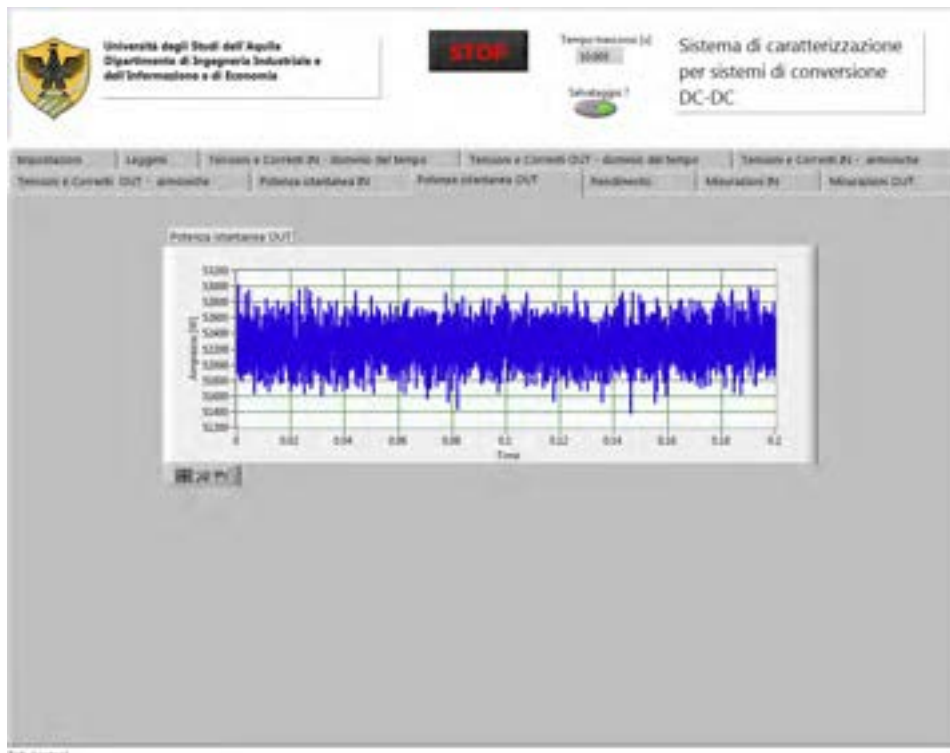


Fig. 31– Pagina “Potenza istantanea OUT” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC



Fig. 32– Pagina “Rendimento” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione DC/DC

Nella pagina “Impostazioni” si può scegliere la modalità di input dati:

- 1) Simulazione: nel block diagram vengono simulati i segnali di V e I mediante l’uso del VI Simulate Signal. I dati in uscita, dopo essere convertiti in dati dinamici, vanno a costruire un array di dati; tale array è mandato fuori il ciclo case e successivamente spaccettato per eseguire i vari calcoli. L’utente può inserire i valori di ampiezza negli appositi controlli sul front panel (Fig. 33). La modalità di input Simulazione è impostata come default all’avvio dell’applicazione
La scelta di inserire una modalità di simulazione è dovuta alla necessità di testare il software di elaborazione e di poter verificarne il corretto funzionamento, qualora alcuni valori rilevati sperimentalmente siano non ritenuti validi.

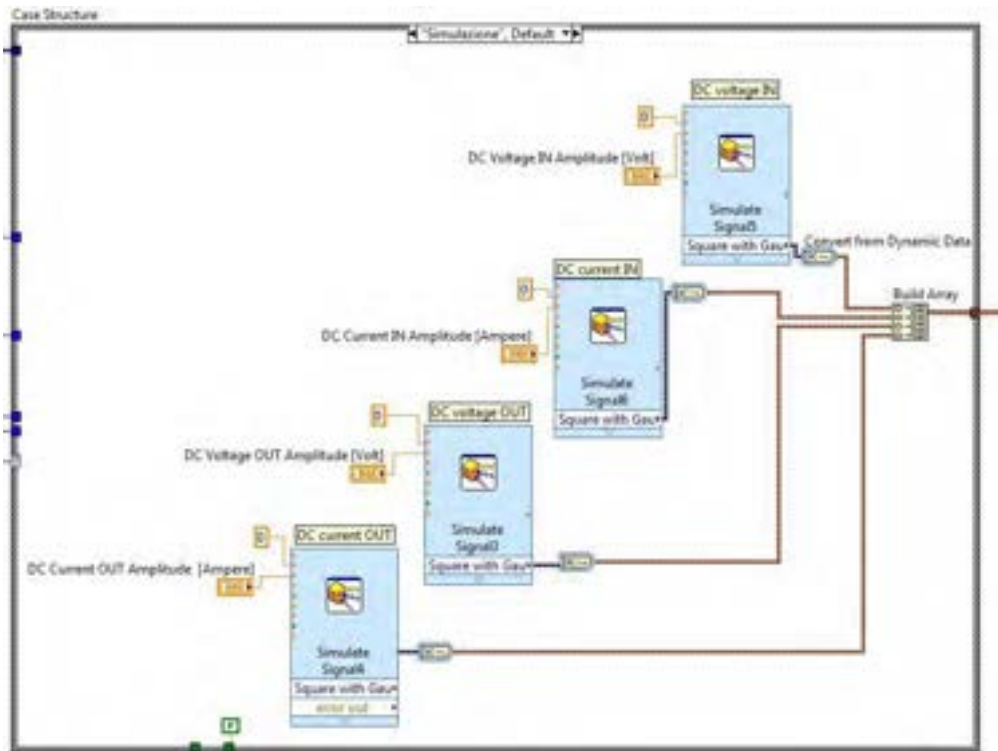


Fig. 33 – Block diagram della sezione di simulazione

- 2) Acquisizione: tramite la scheda di acquisizione dati NI 6255 vengono acquisiti le forma d’onda delle grandezze di interesse con l’Express VI denominato DAQ Assistant, dopo opportuno condizionamento. L’utente può inserire, dal front panel, i valori dei coefficienti dei trasduttori di tensione e corrente e i parametri di campionamento, quali sampling rate e number of samples. I segnali vengono inseriti in un unico Dynamic Data ed inviati fuori dal ciclo case per l’esecuzione delle successive elaborazioni. Poiché il VI considerato consente di monitorare tutte le grandezze elettriche di interesse, verranno nel seguito presentate le immagini delle singole parti del block diagram deputate alla loro elaborazione; le corrispondenti immagini sul Front Panel saranno riportate nel paragrafo dedicato alle prove di caratterizzazione (Fig. 34).

In Fig. 35 è riportato il codice per il tracciamento dei grafici di tensione e corrente lato ingresso nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio, il delta di tensione e corrente e il ripple (Delta/valor medio). Similmente, in Fig. 36 è riportato il codice per il tracciamento dei grafici di tensione e corrente lato uscita nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio, il Delta di tensione e corrente e il ripple (Delta/valor medio).

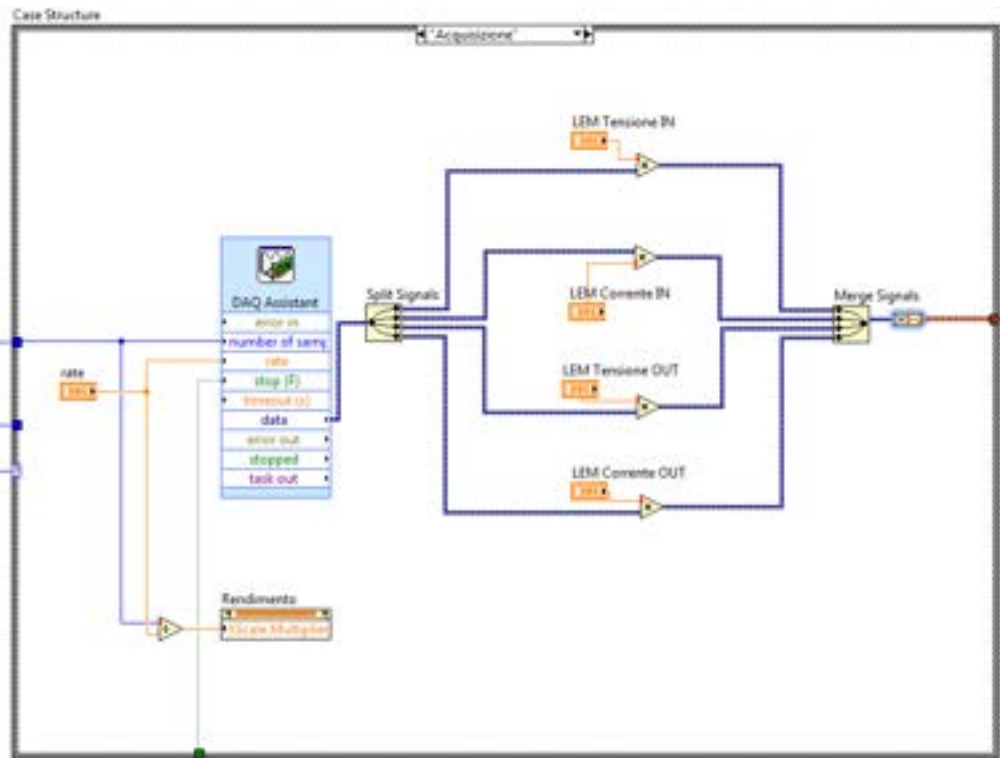


Fig. 34 – Block diagram della sezione di acquisizione

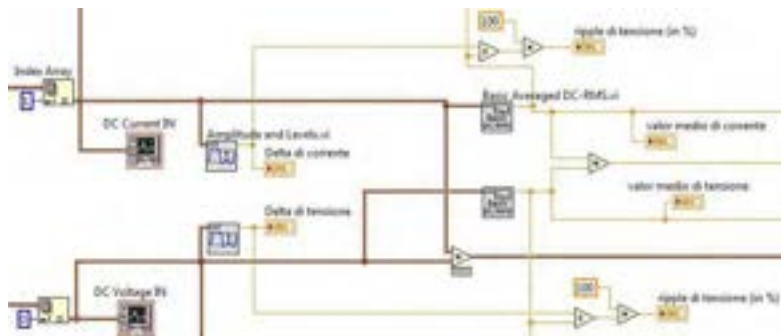


Fig. 35 – Grafici di tensione e corrente lato ingresso nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio, il Delta di tensione e corrente e il ripple (Delta/valor medio).

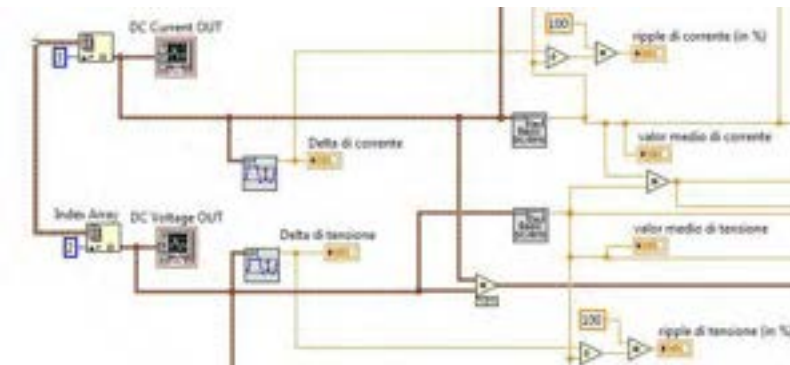


Fig. 36 – Grafici di tensione e corrente lato uscita nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio, il Delta di tensione e corrente e il ripple (Delta/valor medio).

I grafici di tensione e corrente lato ingresso nel dominio della frequenza, con il calcolo del valore di ampiezza e frequenza della armonica di ampiezza massima, di corrente e di tensione sono analoghi all'immagine del block diagram sono definiti con il codice riportato in Fig. 37. Il codice per la definizione delle analoghe grandezze in uscita è del tutto simile a quanto riportato in Fig. 37. In Fig. 38 è riportato il codice per il tracciamento dei rami della potenza istantanea nei due lati di ingresso e uscita, calcolo e grafico del rendimento medio. La visualizzazione dei valori medi delle grandezze in ingresso è effettuata con il codice in Fig. 39; analogo è il codice per la visualizzazione della analoghe grandezze in uscita.

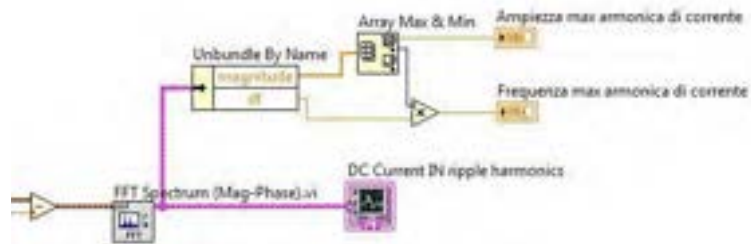


Fig. 37 – Grafici di tensione e corrente lato uscita nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio, il Delta di tensione e corrente e il ripple (Delta/valor medio).

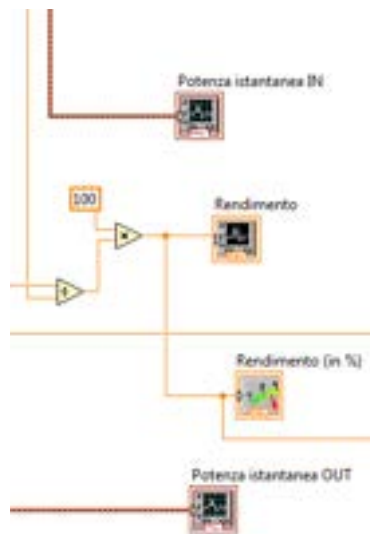


Fig. 38 – Grafici della potenza istantanea nei due lati di ingresso e uscita, calcolo e grafico del rendimento medio



Fig. 39 –Visualizzazione lato ingresso dei valori medi di corrente, tensione e potenza.

E stata implementata una sezione del VI che consente di monitorare il tempo trascorso dall'inizio della prova, misurato in secondi. Questa informazione è utile nel salvataggio del file, mediante memorizzazione dell'istante di elaborazione delle grandezze di interesse salvate.

Tali grandezze salvate sono le seguenti:

- Tempo trascorso dall'inizio della prova;
- Corrente media IN;
- Potenza media IN;
- Tensione media IN;
- Corrente media OUT;
- Potenza media OUT;
- Tensione media OUT;
- Rendimento.

Il salvataggio su un file di tipo SpreadSheet (estensione: .txt) consente di aprire con un software adatto, tipo Microsoft Excel, il file contenente i dati salvati.

Il nome del file è generato in maniera automatica dal programma, con il seguente paradigma:

anno-mese-giorno-ora-minuto-secondo\Conv-DC-DC-prova_in_linea.txt

Il VI consente all'utente di : i) esportare i dati direttamente su Excel senza salvarli, ii) salvarli e visualizzarli allo stesso tempo, ii) interrompere l'esecuzione premendo il pulsante STOP senza eseguire nessuna operazione.

In Fig. 40 e Fig. 41 sono riportati le due sezioni del block diagram che effettuano la definizione, il salvataggio e la visualizzazione del tempo trascorso dall'inizio della prova e dei dati elaborati, nonché i relativi comandi presenti nella schermata del Front Panel. La definizione del nome del file è eseguita prima dell'esecuzione del ciclo While. Quando il ciclo While ha terminato le sue iterazioni, ovvero quando l'utente ha premuto il pulsante di STOP, il programma esegue le istruzioni per il salvataggio. (Fig. 42)

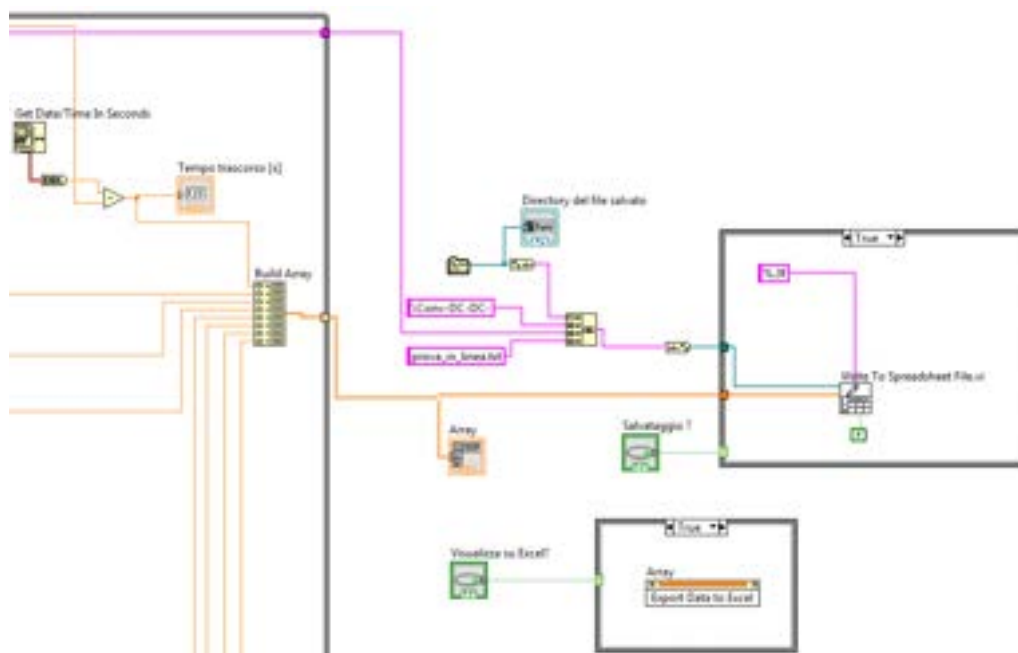


Fig. 40 - Codice di salvataggio e visualizzazione dei dati acquisiti.

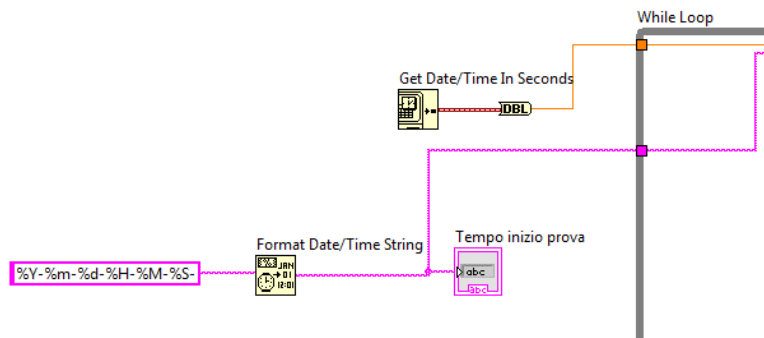


Fig. 41 - Codice di definizione dell'istante di inizio della prova



Fig. 42 - Pulsanti di comando e indicatori sul Front Panel

2.2.4.2 Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione AC/DC

Analogamente al sistema descritto sopra per applicazioni DC/DC, è stato sviluppato un VI maggiormente complesso per la misura dei parametri di sistemi di conversione che abbia un sistema trifase di tensioni e correnti come dati in ingresso. Tutte le varie funzioni sviluppate sono divise in diverse pagine (mediante l'uso di più Tab Control) per facilitarne l'uso ed evitare il ricorso ad un lungo scroll del mouse per ritrovare le informazioni; in totale sono disponibili 11 pagine che permettono:

- 1) "Leggimi" – Contiene alcune indicazioni sull'uso dell'applicativo (Fig. 43)
- 2) "Impostazioni" – Consente l'impostazione dei parametri di acquisizione e dei coefficienti dei trasduttori, nonché la scelta della modalità di simulazione (Fig. 44)
- 3) "Tensioni e Correnti lato AC – dominio del tempo" – Riporta i grafici nel dominio del tempo delle tensioni e delle correnti in ingresso (Fig. 45)
- 4) "Tensioni e Correnti lato DC – dominio del tempo" Riporta i grafici nel dominio del tempo della tensione e della corrente in uscita (Fig. 46)
- 5) "Tensioni e Correnti AC– THD armoniche" – Riporta il THD e gli spettri di ampiezza della tensione e della corrente in ingresso, (Fig. 47)
- 6) "Tensioni e Correnti DC – armoniche" - Riporta gli spettri di ampiezza della tensione e della corrente in uscita (Fig. 48)
- 7) "Misurazioni lato AC " – Riporta i valori delle grandezze in ingresso (Fig. 49)
- 8) "Misurazioni lato DC" – Riporta i valori medi delle grandezze in uscita (Fig. 50)
- 9) "Potenze istantanee lato AC " – Riporta i grafici della potenze in ingresso (Fig. 51)
- 10) "Potenza istantanea lato DC" - Riporta il grafico della potenza in uscita (Fig. 52)
- 11) "Rendimento" - Riporta il grafico del rendimento (Fig. 53)

Università degli Studi dell'Aquila
Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia

STOP

Tempo trascorso [s]
 100.117

Salvataggio ?

Sistema di caratterizzazione per sistemi trifase di conversione AC-DC

Tempi e Correnti DC - Armoniche | Potenze istantanee lato AC | Potenza istantanea lato DC | Rendimento | Misurazioni lato AC | Misurazioni lato DC
 Impostazioni | **Leggimi** | Tensioni e Correnti lato AC - dominio del tempo | Tensioni e Correnti AC - THD e armoniche | Tensioni e Correnti lato DC - dominio del tempo

ISTRUZIONI D'USO
 Il presente Sistema di Caratterizzazione consente di visualizzare tutti i parametri elettrici di un Convertitore AC/DC mediante l'uso di trasduttori LEM.
 I parametri di misura sono suddivisi in blocchi di schermate.
 Cliccando sulla freccia bianca in alto a sinistra il programma avvia l'acquisizione dei dati dai LEM.
 Durante l'acquisizione si può decidere se visualizzare, a fine prova, su un foglio di calcolo Excel i seguenti dati ordinati per colonna così come sono elencati:

- Tempo trascorso dall'inizio della prova
- Potenza apparente totale AC
- Potenza attiva totale AC
- Tensione rms AC fase A
- Tensione rms AC fase B
- Tensione rms AC fase C
- Corrente rms AC fase A
- Corrente rms AC fase B
- Corrente rms AC fase C
- Fattore di potenza fase A
- Fattore di potenza fase B
- Fattore di potenza fase C
- Rendimento istantaneo
- Corrente media DC
- Potenza media DC
- Tensione media DC

Analogamente consente all'utente di decidere se effettuare o meno il salvataggio dei dati in formato .txt cliccando sull'apposito pulsante in alto. Il file verrà salvato nella directory indicata sulla schermata impostazioni.
 Per interrompere l'esecuzione del programma premere il pulsante STOP in alto al centro.

Tab Control

Fig. 43– Pagina “Leggimi” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC



Università degli Studi dell'Aquila
Dipartimento di Ingegneria Industriale e
dell'Informazione e di Economia

STOP

Tempo trascorso [s]
100.217

Salvataggio ?



Sistema di caratterizzazione per
sistemi trifase di conversione AC-
DC

Tensioni e Correnti DC - Armoniche
Potenze istantanee lato AC
Potenza istantanea lato DC
Rendimento
Misurazioni lato AC
Misurazioni lato DC

Impostazioni
Leggi
Tensioni e Correnti lato AC - dominio del tempo
Tensioni e Correnti AC - THD e armoniche
Tensioni e Correnti lato DC - dominio del tempo

Parametri di acquisizione

rate: number of samples:

Coefficienti dei trasduttori

LEM Corrente AC Fase A [A/V]	<input type="text" value="30"/>	LEM Tensione AC Fase A [V/V]	<input type="text" value="30"/>
LEM Corrente AC Fase B [A/V]	<input type="text" value="30"/>	LEM Tensione AC Fase B [V/V]	<input type="text" value="30"/>
LEM Corrente AC Fase C [A/V]	<input type="text" value="30"/>	LEM Tensione AC Fase C [V/V]	<input type="text" value="30"/>
LEM Corrente DC [A/V]		LEM Tensione DC [V/V]	
<input type="text" value="21"/>		<input type="text" value="50"/>	

Modalità di input dati

Acquisizione

Parametri di simulazione

Tensioni AC rms [Volt]	<input type="text" value="230"/>	Tensione DC [Volt]	<input type="text" value="423"/>
Correnti AC rms [Ampere]	<input type="text" value="30"/>	Corrente DC [Ampere]	<input type="text" value="123"/>
Sfasamento delle correnti [deg]	<input type="text" value="-23"/>		

Directory del file salvato

C:\Users\Edoardo\Documents\LabVIEW Data

Tempo inizio prova: 2013-07-30-17-18-58

Tab Control

Fig. 44– Pagina “Impostazioni” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione trifase AC/DC

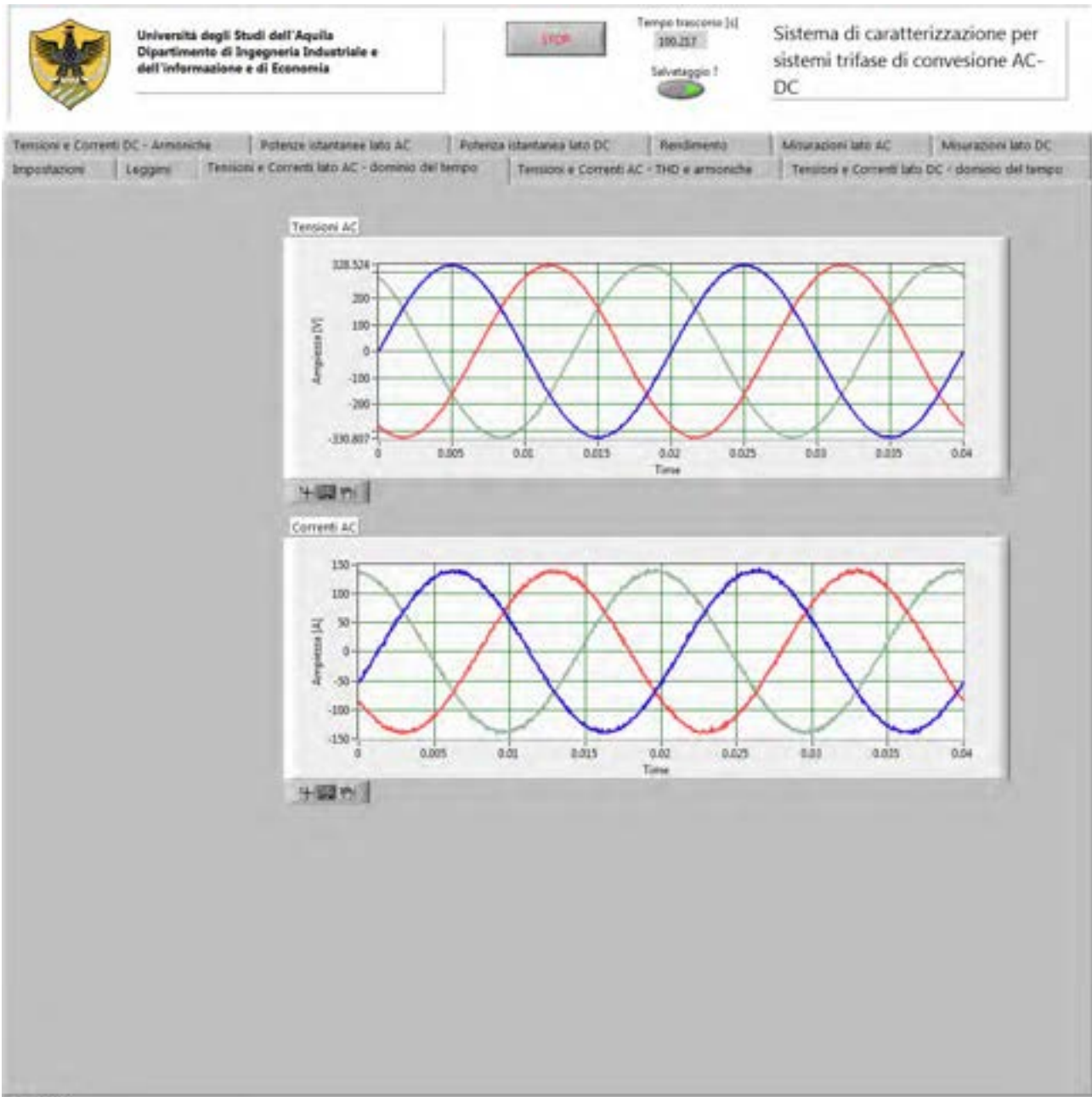


Fig. 45– Pagina “Tensioni e Correnti lato AC – dominio del tempo” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi di conversione AC/DC

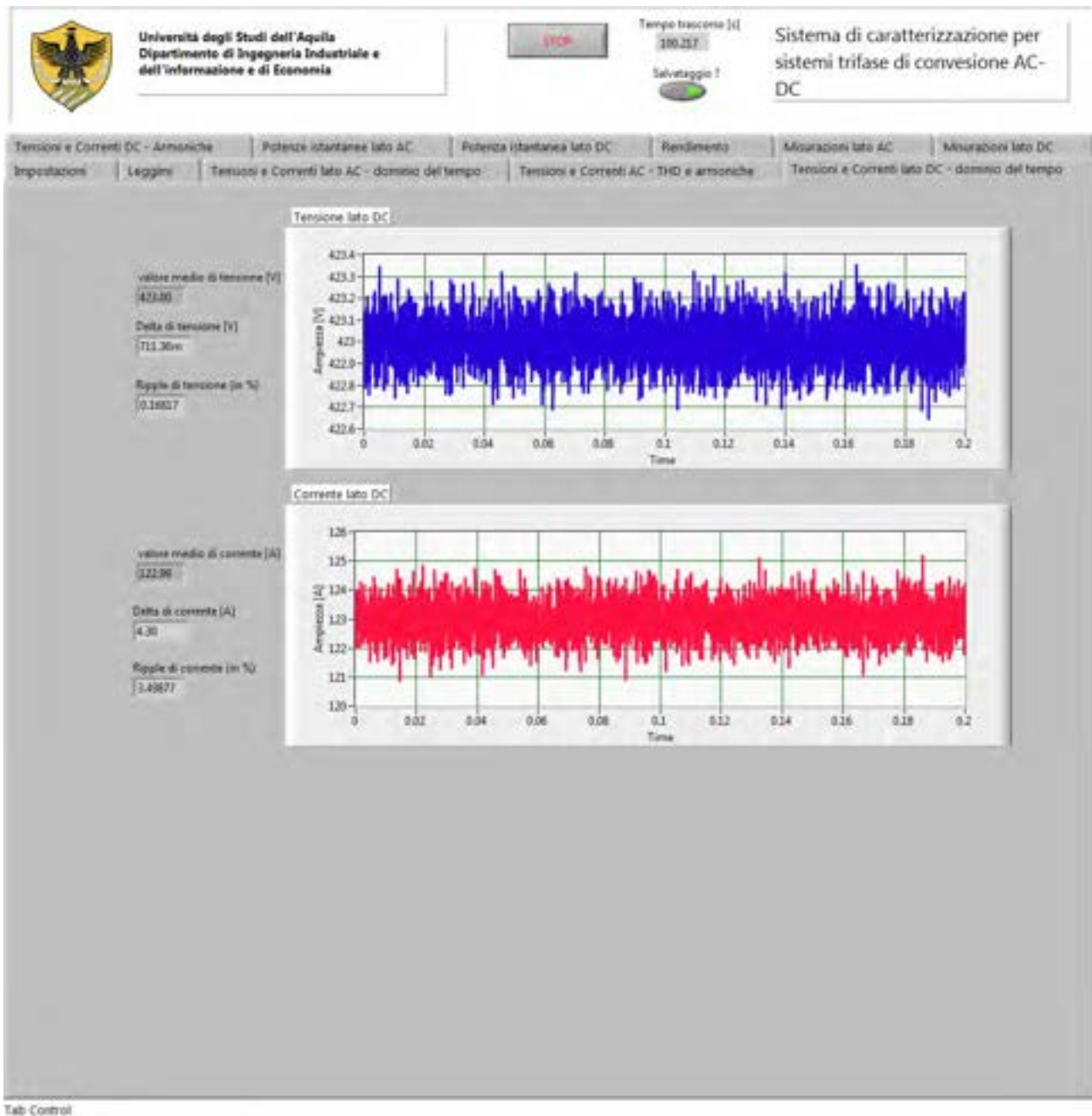


Fig. 46– Pagina “Tensioni e Correnti lato DC – dominio del tempo” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

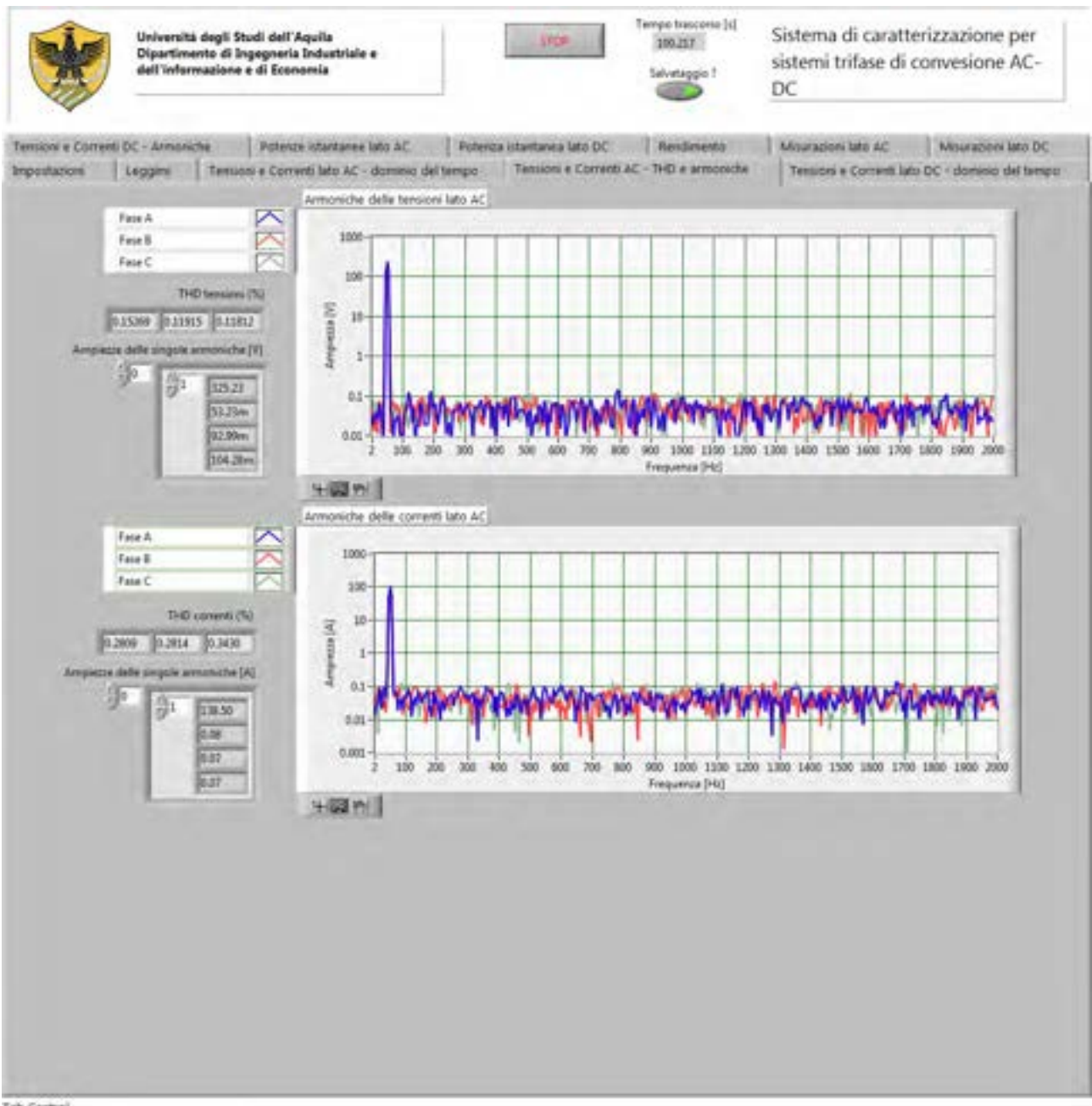


Fig. 47– Pagina “Tensioni e Correnti AC– THD armoniche” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

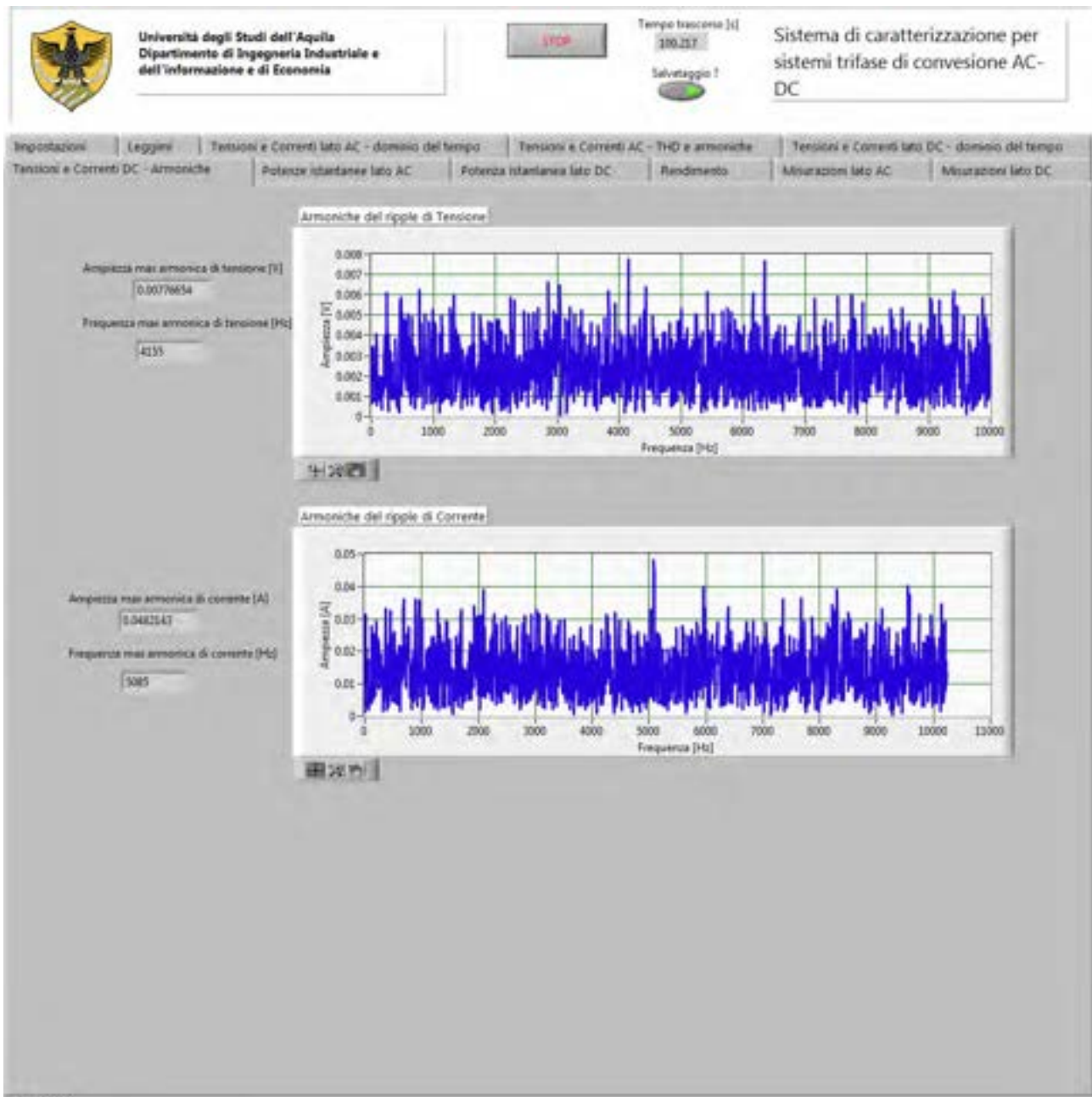


Fig. 48– Pagina “Tensioni e Correnti DC – armoniche” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC



Fig. 49 – Pagina “Misurazioni lato AC” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

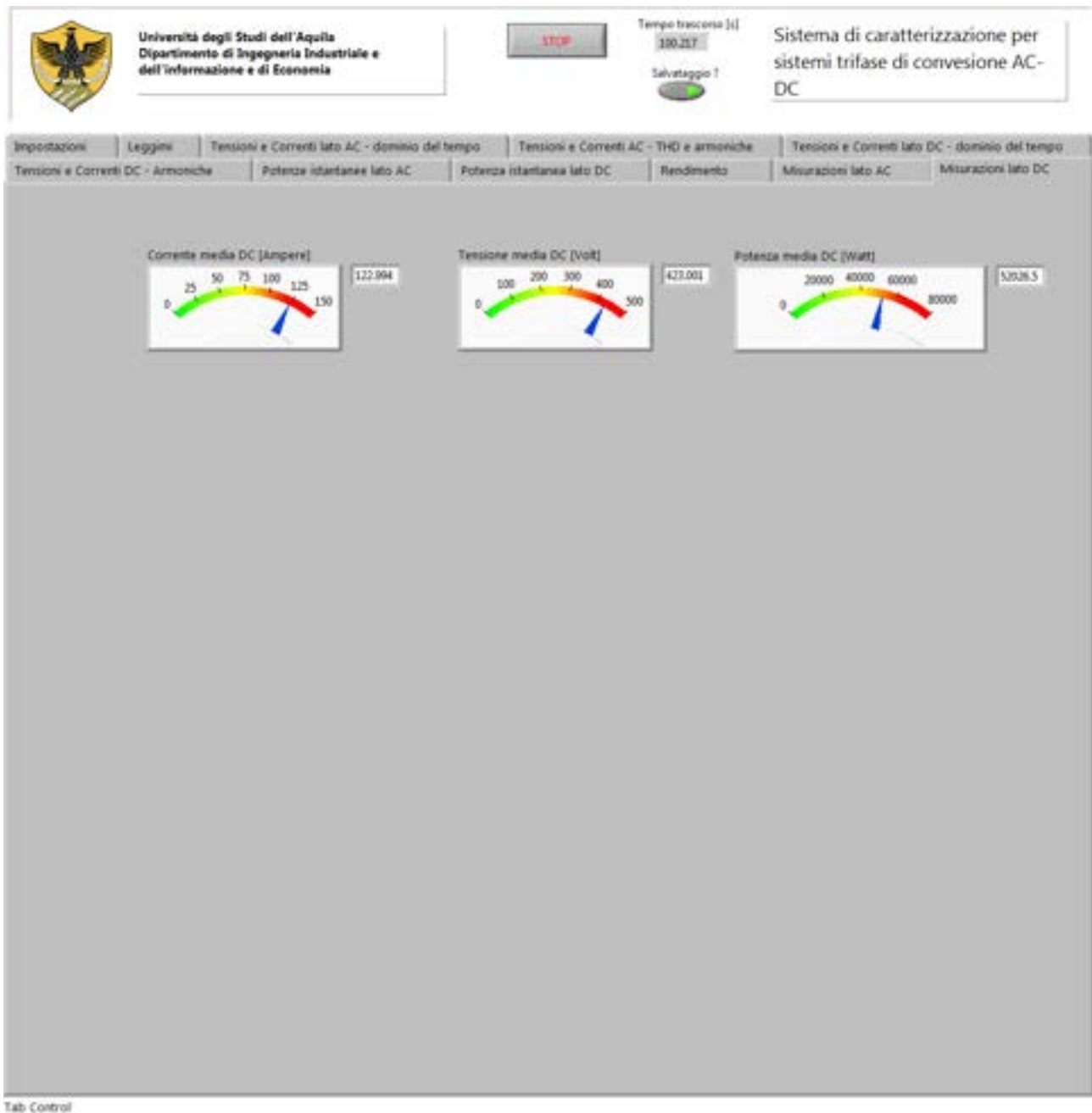


Fig. 50– Pagina “Misurazioni lato DC” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

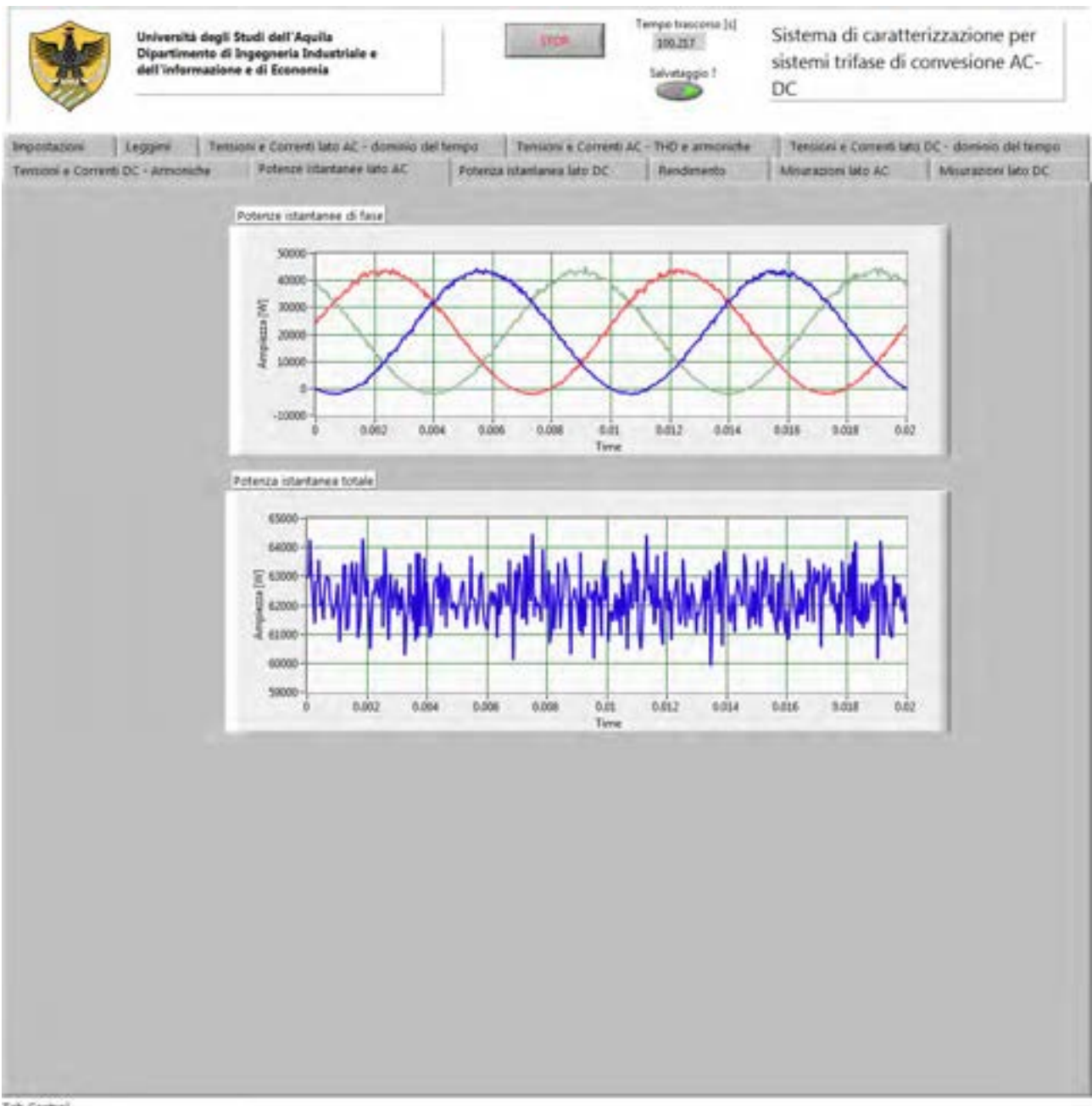


Fig. 51– Pagina “Potenze istantanee lato AC” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

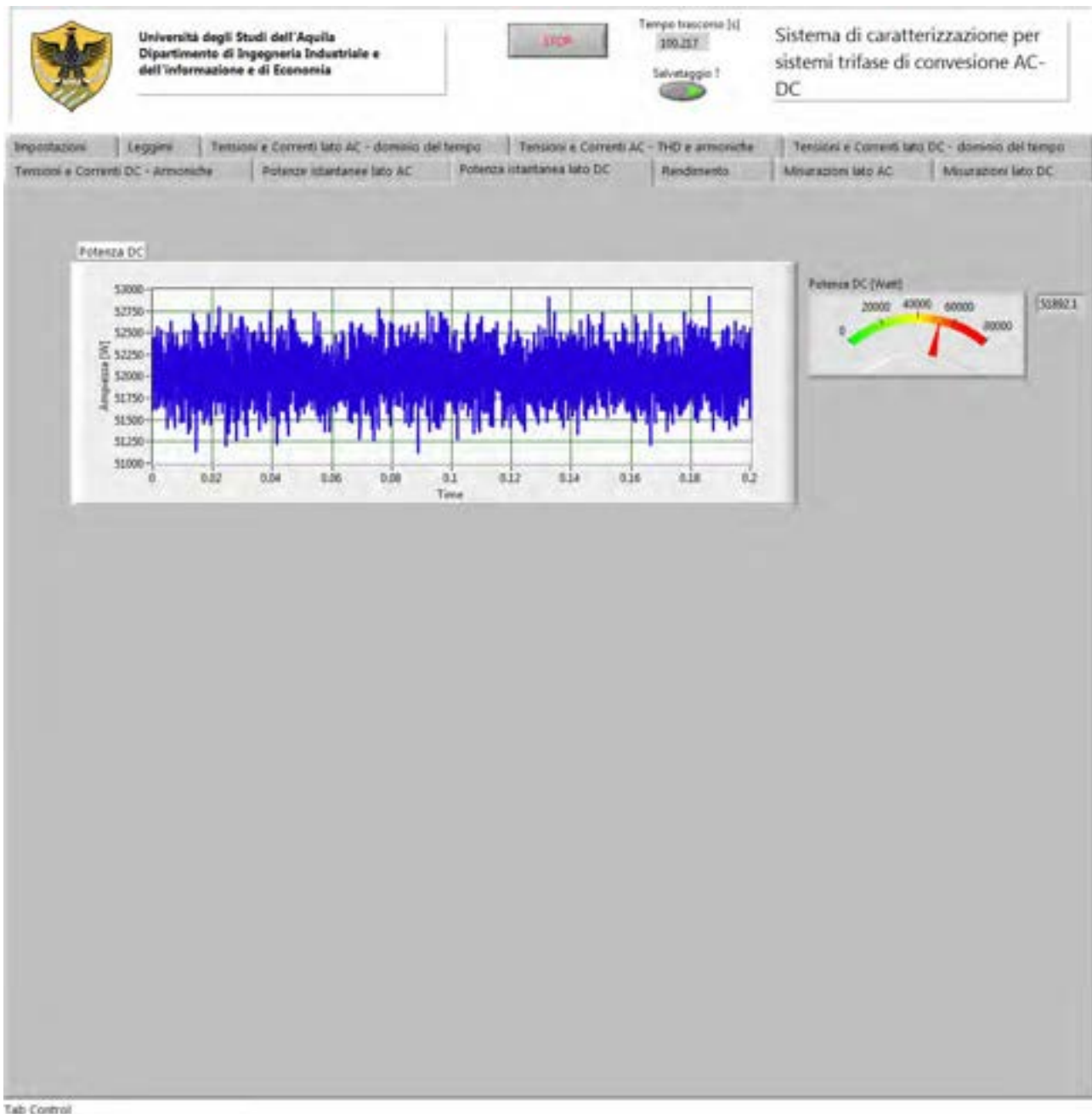


Fig. 52– Pagina “Potenza istantanea lato DC” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

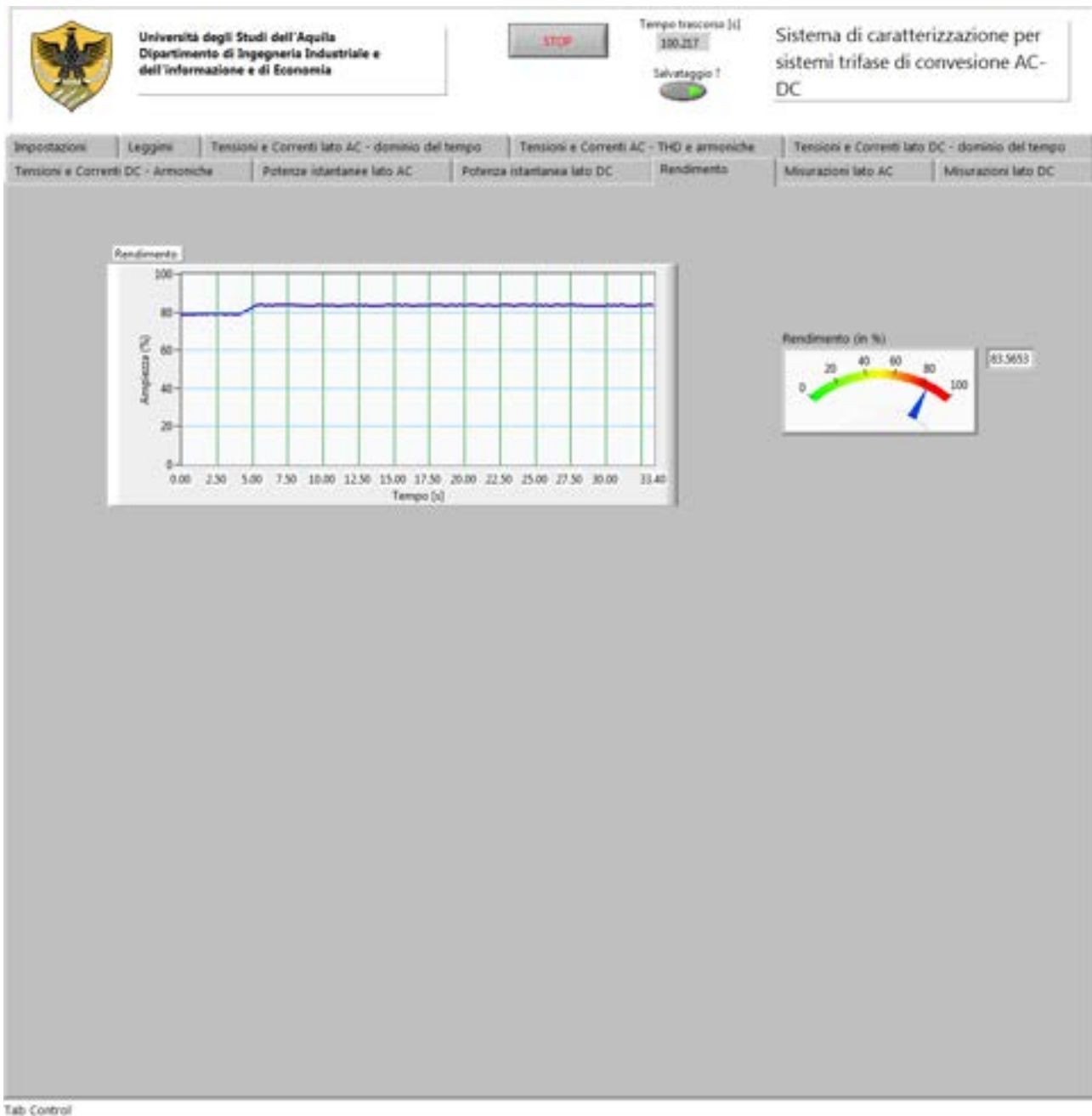


Fig. 53– Pagina “Rendimento” del Sistema di caratterizzazione in linea per sistemi trifase di conversione AC/DC

Nella pagina “Impostazioni” si può scegliere la modalità di input dati:

- 1) Simulazione: nel block diagram vengono simulati i segnali di V e I mediante l’uso del VI Simulate Signal. I dati in uscita, dopo essere convertiti in dati dinamici, vanno a costruire un array di dati; tale array è mandato fuori il ciclo case e successivamente spaccettato per eseguire i vari calcoli. L’utente può inserire i valori di ampiezza negli appositi controlli sul front panel. La modalità di input Simulazione è impostata come default all’avvio dell’applicazione. La scelta di inserire una modalità di simulazione è dovuta alla necessità di testare il software di elaborazione e di poter verificarne il corretto funzionamento, qualora alcuni valori rilevati sperimentalmente siano non ritenuti validi. I segnali in ingresso sono sinusoidali, ovvero tre tensioni e tre correnti sfasate tra di loro di 120 gradi, con la possibilità di impostare un angolo di sfasamento tra V e I ed un gaussian noise sovrapposto al segnale, per rendere maggiormente realistica la simulazione.

I segnali in uscita sono tensione e corrente continui, con gaussian noise sovrapposto anche in questo caso. In Fig. 54 è riportato il Block Diagram della struttura case impostata su “Simulazione”. Per generare il sistema trifase di tensioni e correnti è utilizzato un ciclo for con tre iterazioni.

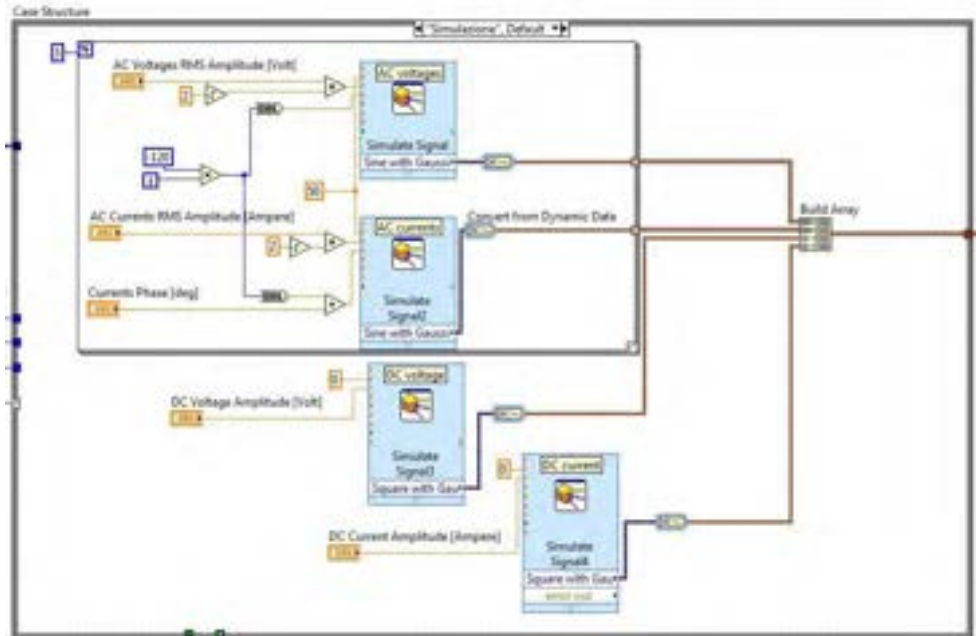


Fig. 54 - Block diagram della struttura case impostata su “Simulazione”.

- 2) **Acquisizione:** con tale modalità si acquisiscono i segnali in uscita dai trasduttori di tensione e corrente dalla scheda di acquisizione dati NI 6255 tramite il DAQ Assistant, un’interfaccia grafica per la configurazione di task di misura, canali e scale.

I segnali sono moltiplicati per i coefficienti dei trasduttori per risalire ai valori effettivi di tensioni e correnti. Il valore esatto dei coefficienti da inserire nei controlli del front panel è descritto nel capitolo sulle caratterizzazioni dei trasduttori di tensione e corrente. In Fig. 55 è riportato il Block Diagram della struttura case impostata su “Acquisizione”.

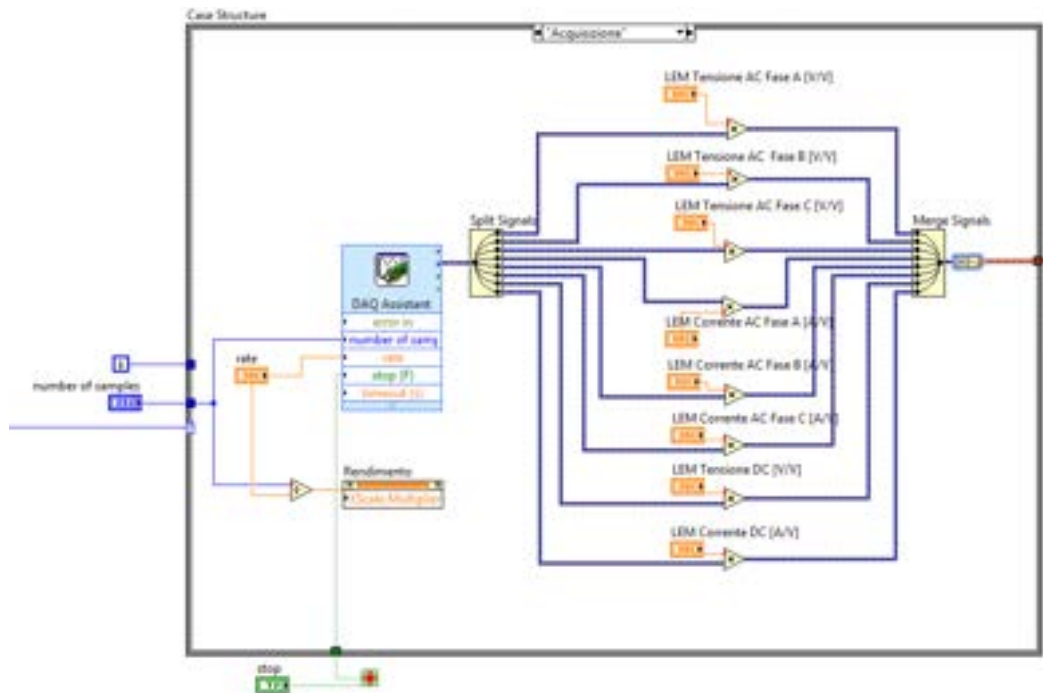


Fig. 55 - Block diagram della struttura case impostata su “Acquisizione”.

Di seguito, in Fig. 56 viene riportata la schermata del DAQ Assistant. La sua corretta configurazione è fondamentale per la comunicazione tra PC e scheda di acquisizione dati.

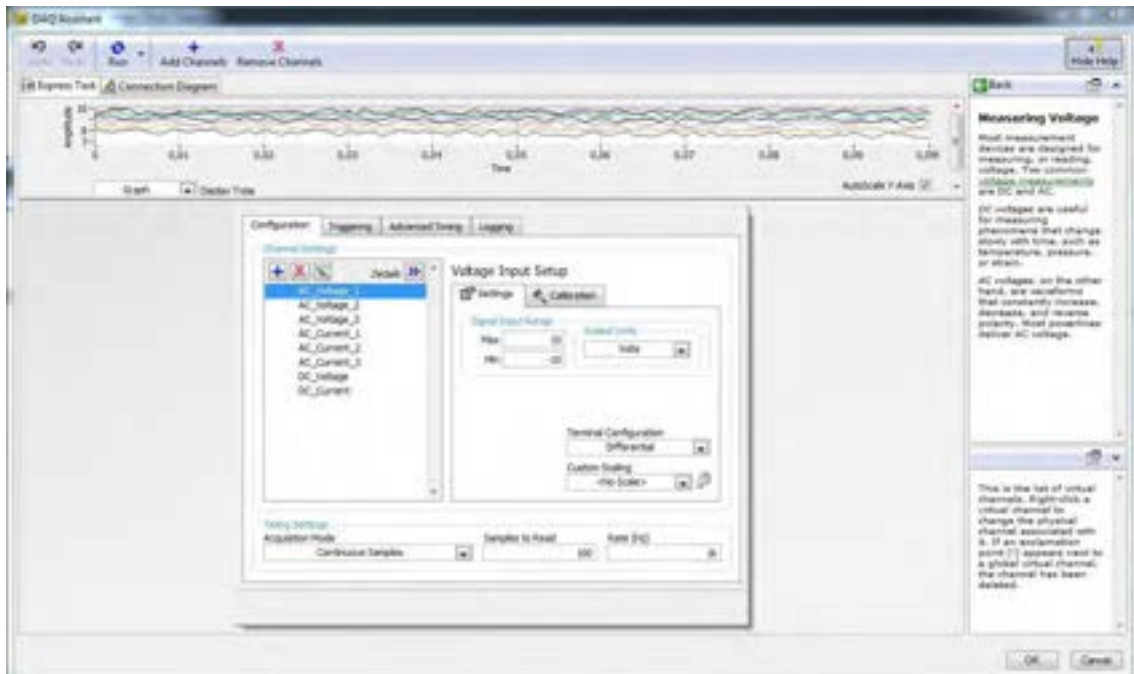


Fig. 56 – Schermata di configurazione del schermata del DAQ Assistant.

I segnali derivanti dai trasduttori di tensione e corrente vanno connessi sulla morsettiera della scheda, precisamente sui morsetti degli Analog Input (AI 0-7) in modalità Differential. Dal DAQ Assistant si assegnano i canali fisici dai quali andare a prelevare i segnali. Nell’applicazione specifica sono stati usati canali che vanno da ai0, ai1...fino ad ai7 per un totale di 8 canali. (Fig. 57)

Channel Settings

Order	Physical Channel	Device Type
0	Dev2/ai0	USB-6255
1	Dev2/ai1	USB-6255
2	Dev2/ai2	USB-6255
3	Dev2/ai3	USB-6255
4	Dev2/ai4	USB-6255
5	Dev2/ai5	USB-6255
6	Dev2/ai6	USB-6255
7	Dev2/ai7	USB-6255

Fig. 57 – Settaggio dei canali dal DAQ Assistant

Poiché il VI considerato consente di monitorare tutte le grandezze elettriche di interesse, verranno nel seguito presentate le sezioni del block diagram che deputate alla loro elaborazione.

In Fig. 58 è illustrata la sezione di codice deputata alla visualizzazione delle tre tensioni e delle tre correnti nel lato AC di ingresso nel dominio del tempo; in Fig. 59 quella inerente la visualizzazione di tensione e corrente nel lato DC di uscita nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio di V e I, il delta di V e I e il ripple percentuale di tensione e corrente. In Fig. 60 è riportata la sezione di codice deputata alla visualizzazione di tensioni e corrente nel lato AC di ingresso nel dominio della frequenza, con il calcolo del THD e le componenti di ampiezza delle armoniche.

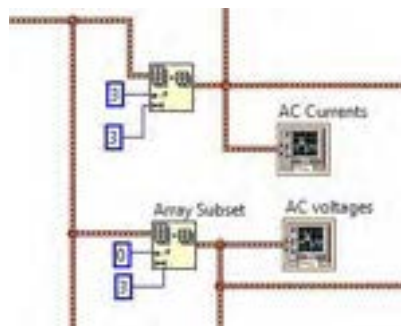


Fig. 58 – Visualizzazione delle tre tensioni e delle tre correnti nel lato AC di ingresso nel dominio del tempo

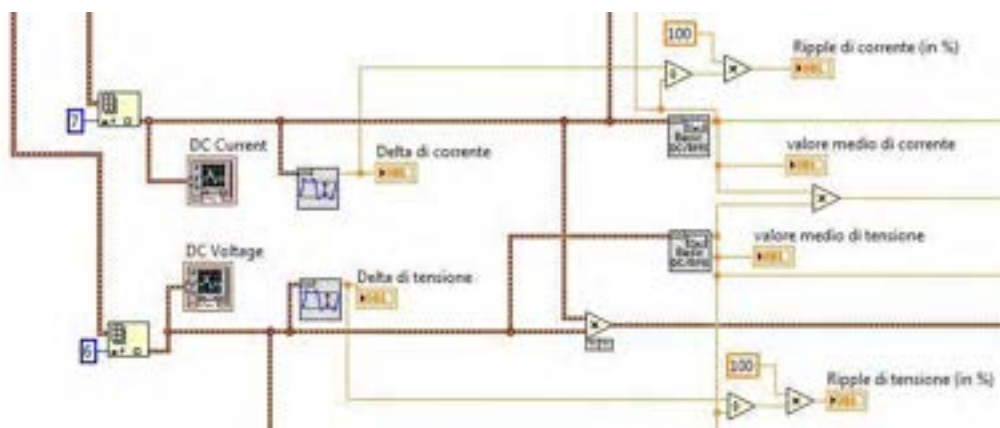


Fig. 59 – Visualizzazione di tensione e corrente nel lato DC di uscita nel dominio del tempo, con il calcolo del valor medio di V e I, il delta di V e I e il ripple percentuale di tensione e corrente.

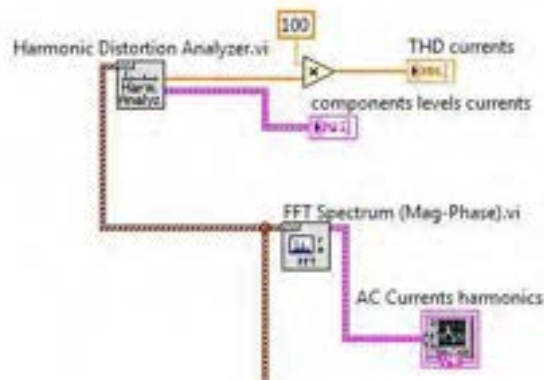


Fig. 60 – Visualizzazione di tensioni e corrente nel lato AC di ingresso nel dominio della frequenza, con il calcolo del THD e le componenti di ampiezza delle armoniche.

In Fig. 61 è riportata la sezione di codice inerente la visualizzazione di tensione e corrente nel lato DC di uscita nel dominio della frequenza, con il calcolo del valore di ampiezza e frequenza della armonica di massima ampiezza di V e I; in Fig. 62 è illustrata la sezione di codice che effettua la visualizzazione della potenza istantanea di fase e totale lato AC, della potenza istantanea lato DC, calcolo e visualizzazione del rendimento medio, misurazioni lato AC di valore efficace di correnti e tensioni, potenza attiva di fase e totale, potenza apparente di fase e totale, fattore di potenza di fase e medio. In Fig. 63 il codice illustrato effettua la visualizzazione dei valori medi di corrente, di tensione, e di potenza lato DC, e calcolo del rendimento.

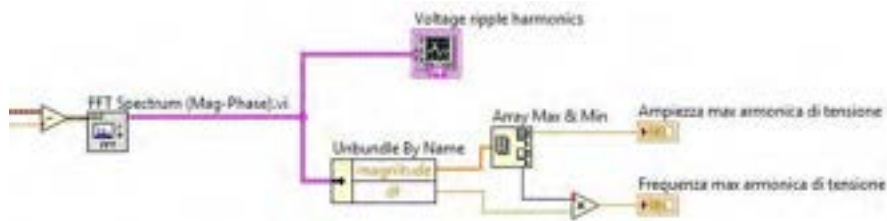


Fig. 61 – Visualizzazione di tensione e corrente nel lato DC di uscita nel dominio della frequenza, con il calcolo del valore di ampiezza e frequenza della armonica massima di V e I.

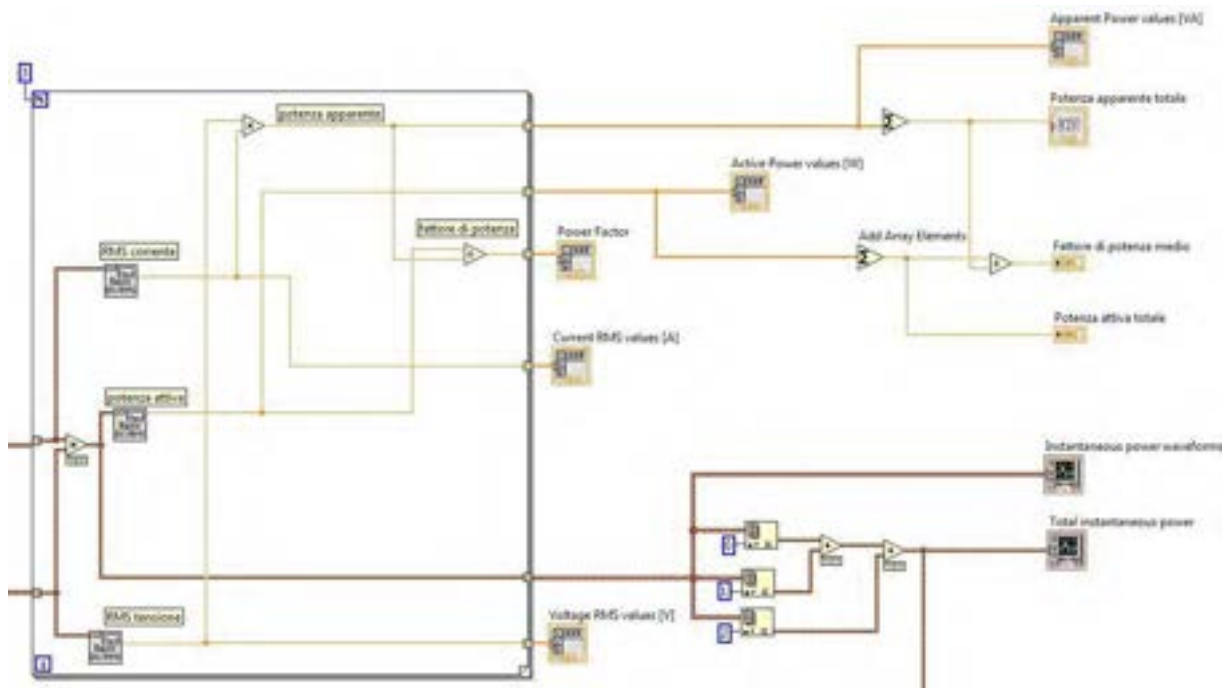


Fig. 62 – Visualizzazione della potenza istantanea di fase e totale lato AC, della potenza istantanea lato DC, calcolo e visualizzazione del rendimento medio, misurazioni lato AC di valore efficace di correnti e tensioni, potenza attiva di fase e totale, potenza apparente di fase e totale, fattore di potenza di fase e medio.

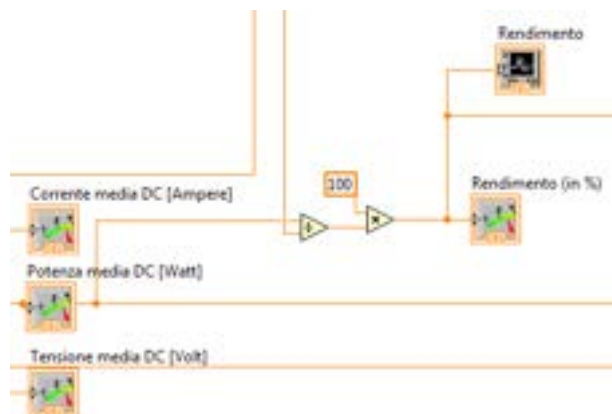


Fig. 63 – Visualizzazione dei valori medi di corrente, di tensione, e di potenza lato DC, e calcolo del rendimento.

E' stata implementata una sezione di codice che consente di monitorare il tempo trascorso dall'inizio della prova in secondi; complessivamente, le grandezze salvate sono le seguenti:

- Tempo trascorso dall'inizio della prova;
- Potenza apparente totale AC;
- Potenza attiva totale AC;
- Tensione rms AC Fase A;
- Tensione rms AC Fase B;
- Tensione rms AC Fase C;
- Corrente rms AC Fase A;
- Corrente rms AC Fase B;
- Corrente rms AC Fase C;

- Fattore di potenza Fase A;
- Fattore di potenza Fase B;
- Fattore di potenza Fase C;
- Rendimento;
- Corrente media DC;
- Potenza media DC;
- Tensione media DC.

Il salvataggio su un file di tipo SpreadSheet (estensione: .txt) consente di aprire con un software adatto, tipo Microsoft Excel, il file contenente i dati salvati.

Il nome del file è generato in maniera automatica dal programma, con il seguente paradigma:
 anno-mese-giorno-ora-minuto-secondo\Conv-AC-DC-prova_in_linea.txt

Il codice consente all'utente di: i) esportare i dati direttamente su Excel senza salvarli, ii) salvarli e visualizzarli allo stesso tempo, ii) interrompere l'esecuzione premendo il pulsante STOP senza eseguire nessuna operazione.

In Fig. 64 sono riportati a titolo di esempio alcuni dati salvati in formato .txt, che risulta facilmente utilizzabile con diversi applicativi.

0,960	7125,189	7172,858	232,494	232,168	233,134	10,449	10,385	10,597	0,978	0,980	0,980	87,117	28,170	6248,787	221,822
0,947	7125,590	7173,491	232,208	233,342	233,207	10,457	10,396	10,602	0,978	0,980	0,980	87,101	28,169	6248,180	221,822
0,448	7125,974	7174,169	232,189	231,150	233,184	10,484	10,398	10,605	0,978	0,980	0,980	87,102	28,171	6249,025	221,822
0,847	7124,827	7173,941	231,887	232,484	232,834	10,484	10,415	10,639	0,978	0,980	0,980	87,103	28,170	6248,734	221,820
0,847	7124,152	7173,478	231,866	232,184	232,185	10,491	10,421	10,638	0,978	0,980	0,980	87,109	28,170	6248,715	221,820
1,048	7124,824	7173,746	231,824	232,347	232,322	10,486	10,417	10,629	0,978	0,980	0,980	87,103	28,170	6248,536	221,820
1,237	7124,008	7172,746	231,975	232,741	232,704	10,475	10,407	10,622	0,978	0,980	0,980	87,109	28,168	6248,095	221,822
1,446	7125,324	7173,503	232,284	232,936	232,894	10,468	10,402	10,610	0,978	0,980	0,980	87,102	28,168	6248,293	221,822
1,652	7125,853	7173,928	232,498	233,120	233,169	10,455	10,390	10,606	0,978	0,980	0,980	87,110	28,171	6249,194	221,822
1,646	7126,638	7174,467	232,332	233,142	233,174	10,456	10,391	10,605	0,978	0,980	0,980	87,087	28,167	6248,014	221,822
1,654	7127,098	7175,207	232,410	232,961	233,067	10,462	10,402	10,608	0,978	0,980	0,980	87,088	28,170	6248,746	221,821
2,352	7124,989	7173,464	232,457	233,004	233,127	10,455	10,395	10,608	0,978	0,980	0,980	87,111	28,168	6248,264	221,823
2,455	7125,710	7173,131	232,426	233,010	233,171	10,457	10,394	10,606	0,978	0,980	0,980	87,100	28,168	6247,977	221,825
2,653	7126,924	7175,119	232,145	232,678	232,925	10,471	10,410	10,621	0,978	0,980	0,980	87,094	28,170	6249,104	221,818
2,846	7124,882	7172,989	232,175	232,868	233,128	10,459	10,397	10,611	0,978	0,980	0,980	87,124	28,171	6249,185	221,819
3,047	7126,819	7174,694	232,482	233,133	233,291	10,455	10,393	10,605	0,978	0,980	0,980	87,094	28,169	6248,734	221,829
3,146	7124,907	7172,236	232,295	233,051	233,226	10,458	10,398	10,602	0,978	0,980	0,980	87,102	28,168	6247,775	221,820
3,446	7125,477	7173,848	232,290	232,988	233,140	10,462	10,395	10,609	0,978	0,980	0,980	87,104	28,169	6248,756	221,831
3,637	7125,916	7173,589	232,466	233,143	233,268	10,455	10,393	10,599	0,978	0,980	0,980	87,105	28,168	6248,553	221,828
3,838	7127,018	7175,080	232,402	233,036	233,240	10,458	10,398	10,605	0,978	0,980	0,980	87,098	28,170	6249,219	221,840
4,048	7125,820	7173,947	232,143	232,776	233,029	10,469	10,403	10,617	0,978	0,980	0,980	87,100	28,168	6248,528	221,829
4,250	7126,629	7174,824	232,198	232,867	233,084	10,465	10,404	10,614	0,978	0,980	0,980	87,091	28,168	6248,630	221,832
4,447	7125,292	7173,189	232,235	232,920	233,171	10,459	10,399	10,606	0,978	0,980	0,980	87,108	28,168	6248,593	221,832
4,646	7126,132	7174,117	232,202	232,788	233,077	10,467	10,403	10,614	0,978	0,980	0,980	87,087	28,166	6247,889	221,824
4,849	7125,924	7174,869	232,154	232,628	232,915	10,471	10,407	10,622	0,978	0,980	0,980	87,100	28,169	6248,944	221,836
5,047	7125,520	7173,470	232,424	233,050	233,201	10,455	10,395	10,605	0,978	0,980	0,980	87,106	28,167	6248,493	221,835

Fig. 64 - esempio di spreadsheet file in formato txt

2.2.4.3 Sistema di acquisizione e salvataggio dei dati per prove di lunga durata, per sistemi di conversione DC/DC e AC/DC.

I precedenti applicativi sono stati sviluppati per un'analisi del sistema in linea che duri un tempo relativamente breve, in condizioni di regime. Qualora sia necessario svolgere un collaudo del sistema sotto test in svariate condizioni di lavoro, a vuoto, a carico, con carico variabile e l'analisi di transitori, è preferibile usare un VI che esegua soltanto l'acquisizione e salvataggio dei dati senza elaborazione in linea di dati di misura; questa modalità di gestione dei dati è preferibile quando si effettuino test di ricarica rapida completa delle batterie di un autoveicolo, poiché consente di memorizzare le forme d'onda non elaborate per successive valutazioni delle prestazioni del sistema.

L'obiettivo è la creazione di un file binario TDMS (un formato binario sviluppato da National Instruments) che sarà poi processato con un altro VI che eseguirà i calcoli al fine di ottenere i parametri elettrici di interesse per il collaudo dei convertitori.

Questa procedura di acquisizione lunga dei dati e salvataggio è effettuata è fatta sia per l'AC/DC che per il DC/DC, con due applicativi che sono differenti solo per il numero di canali in ingresso acquisiti.

I due applicativi sono equivalenti nella schermata del Front Panel, in Fig. 65 :



Fig. 65 : Front panel del sistema di acquisizione di lunga durata per conversione AC/DC

Come si vede la schermata è molto sintetica; consente di cambiare dai controlli il numero di campioni e la frequenza di campionamento e di immettere il file su cui andare a salvare i dati; infine è presente l'indicatore del tempo trascorso dall'inizio della prova; tale parametro è molto utile specialmente per prove di lunga durata, come quella di ricarica completa delle batterie, che è di circa 20-30 minuti, ma che può estendersi per alcune ore in particolari situazioni di prova.

Quello che si differenzia tra AC/DC e DC/DC è nel block diagram, ove vengono importati i canali analogici da acquisire e poi registrare nel file TDMS.

In Fig. 66 è riportato il Block Diagram del Sistema per caratterizzazione di sistemi con ingresso in AC trifase, in Fig. 67 Block Diagram per caratterizzazione di sistemi con ingresso in DC.

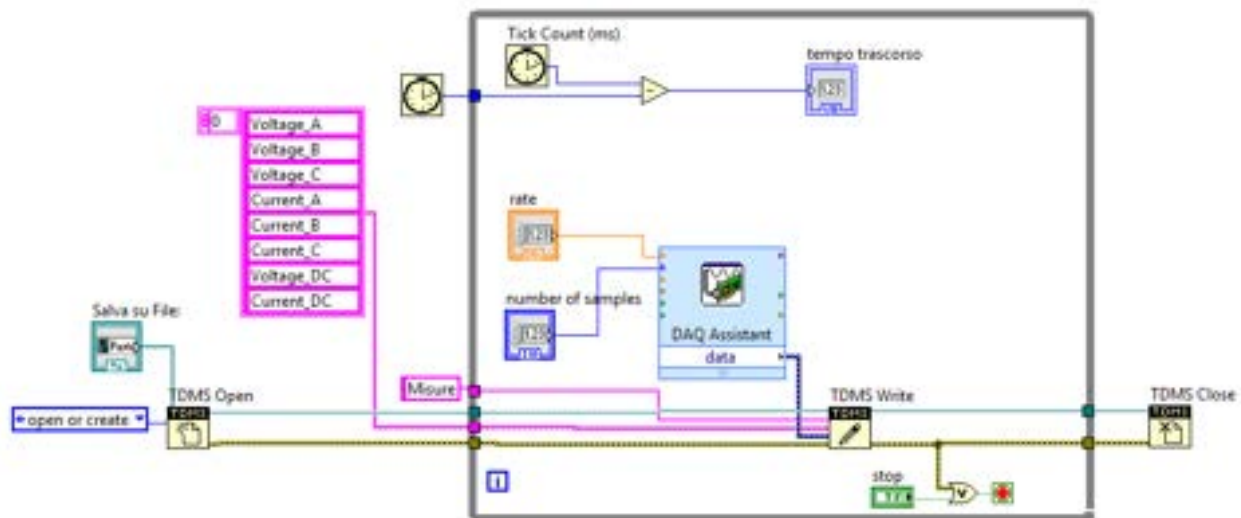


Fig. 66- Block Diagram del sistema di acquisizione di lunga durata con ingresso in AC trifase.

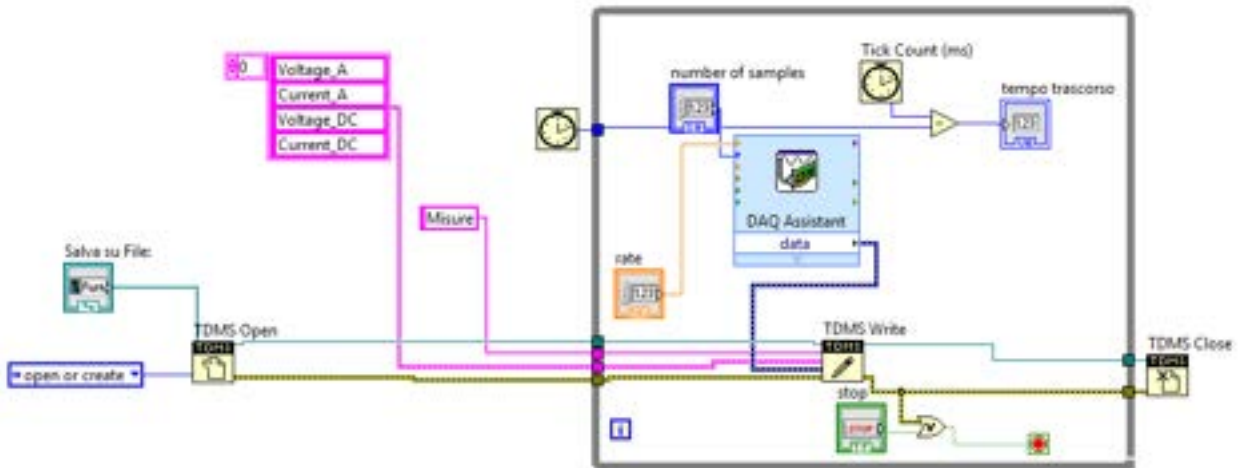


Fig. 67- Block Diagram del sistema di acquisizione di lunga durata con ingresso in DC.

Come già illustrato precedentemente, i segnali analogici in uscita dai trasduttori di tensione e corrente sono acquisiti dalla scheda di acquisizione dati NI 6255; essa comunica tramite porta USB con il software sviluppato in LabVIEW ed attivo sull’host PC.

Quest’ultimo preleva tali segnali mediante il blocco DAQ Assistant che, dopo aver eseguito diverse istruzioni, effettua il salvataggio dei dati su un file di misura in formato TDMS.

Questo formato di file è un tipo specifico di file binario creato per i prodotti National Instruments. Consiste in realtà in due diversi file, un file binario che contiene i dati e le proprietà dei dati e un file binario di indice che fornisce informazioni consolidate su tutti gli attributi e puntatori nel file binario.

Di seguito sono riportate due immagini, Fig. 68 e 69, di un file example.tdms aperto con il foglio di calcolo Excel; Nel secondo foglio di calcolo vengono riportati i valori dei canali acquisiti in funzione del tempo. nonostante sia un formato di dati sviluppato da National Instruments, è possibile installare gratuitamente applicazioni che consentono di usare i file TDMS in diversi ambienti, compreso Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description							
2	prova nuova				7								
3													
4	Group	Channels	Description										
5	Group Name	8											
6	Group Name #1	8											
7	Group Name #2	8											
8	Group Name #3	8											
9	Group Name #4	8											
10	Group Name #5	8											
11	Group Name #6	8											
12													
13	Group Name												
14	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	NI_ChannelName	NI_UnitDescription	wf_increment	wf_samples	wf_start_offset	wf_start_time
15	Voltage_A	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Voltage_A	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
16	Voltage_B	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Voltage_B	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
17	Voltage_C	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Voltage_C	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
18	Current_A	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Current_A	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
19	Current_B	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Current_B	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
20	Current_C	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Current_C	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
21	Voltage_DC	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Voltage_DC	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
22	Current_DC	DT_DOUBLE	Volts	9228288			Current_DC	Volts	0,0001953	1	0	24/06/2013 03:37:58,	
23													

Fig. 68 – Proprietà del file TDMS

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Voltage_A	Voltage_B	Voltage_C	Current_A	Current_B	Current_C	Voltage_DC	Current_DC
2	2,82636436	1,206280903	-4,03896938	0,063722968	-0,029073442	-0,057105687	1,188881508	0,364022618
3	3,038058961	0,961722857	-4,001915199	0,173918734	-0,030362281	-0,15119091	1,185014976	0,370466819
4	3,231387627	0,716198407	-3,938439786	0,252537955	-0,041961831	-0,231421101	1,187270453	0,370144609
5	3,411827951	0,446508404	-3,860142719	0,249638065	-0,036484266	-0,226910167	1,186626031	0,368533559
6	3,614823599	0,182940611	-3,785389982	0,164574647	-0,031006701	-0,140557992	1,186626031	0,370466819
7	3,754987441	-0,042284041	-3,703226432	0,083377766	-0,029073442	-0,05388359	1,186948242	0,370789029
8	3,862285381	-0,269441829	-3,583364346	0,007980677	-0,035839846	0,001214273	1,180504023	0,381421962
9	3,931239661	-0,492410789	-3,424192708	0,026668843	-0,030040071	0,005402999	1,182437288	0,37240008
10	3,998905113	-0,736323267	-3,244721927	0,002180902	-0,038095314	0,006369629	1,183403921	0,37368892
11	4,046915384	-0,99666833	-3,038507828	0,00411416	-0,023595877	0,015391502	1,183403921	0,369822399
12	4,097825626	-1,247347051	-2,827460669	-0,000718986	-0,025851345	0,015069292	1,191136985	0,371111239
13	4,096536759	-1,454849712	-2,648634505	0,002180902	-0,035517637	0,025380004	1,180826234	0,379166491
14	4,098470059	-1,710361508	-2,38410074	0,010236146	-0,030040071	0,022157907	1,187914875	0,380455331
15	4,085581389	-1,917219732	-2,149854697	0,00508079	-0,026495764	0,018935809	1,185337187	0,359189467
16	4,088159123	-2,12697785	-1,946540758	0,000892063	-0,027462394	0,029246522	1,187592664	0,368855769
17	4,101370011	-2,375401092	-1,6923178	-0,009096439	-0,021340409	-0,00812981	1,188881508	0,367244718
18	4,102981094	-2,618669044	-1,44131693	-0,002652244	-0,034873217	0,017002551	1,196614572	0,368211349
19	4,059804051	-2,847437649	-1,194826963	0,032468619	-0,076438269	0,025702214	1,203058793	0,368533559
20	4,002771711	-3,025941659	-0,961225319	0,127198303	-0,165368133	0,027635473	1,192425829	0,359189467
21	3,934784041	-3,197679328	-0,71183536	0,199695526	-0,233676568	0,025057795	1,182437288	0,37562218
22	3,842630196	-3,383916494	-0,442790537	0,187451549	-0,211444107	0,027313263	1,18630382	0,369177979
23	3,788820115	-3,585619815	-0,177934308	0,13396471	-0,170523487	0,019902438	1,184692765	0,371755659
24	3,734043409	-3,76637959	0,064045178	0,097877208	-0,124447509	0,027635473	1,18630382	0,365633668
25	3,595490667	-3,875286595	0,307635862	0,032146409	-0,06516093	0,017002551	1,184370554	0,368533559
26	3,435027438	-3,931028951	0,527060949	-0,035517637	0,000247643	0,018935809	1,183403921	0,368533559

Fig. 69 – Valori dei canali del file TDMS

2.2.4.4 Sistema di elaborazione e caratterizzazione in Post Processing per sistemi di conversione AC/DC e DC/DC

La caratterizzazione in post processing, come già descritto, è utile nell'analisi a posteriori di una prova lunga salvata con file TDMS; le dimensioni dei file considerati possono essere dell'ordine di 2 GByte, considerando 8 canali acquisiti con risoluzione 16 bit con frequenza di campionamento di 20480 S/s.

In base alle caratteristiche dei file TDMS (Fig. 70), che contengono al suo interno informazioni sulle loro proprietà, è stato sviluppato un codice che apre il file a step con approccio random: in questa modalità è possibile gestire file comunque grandi, senza perdere prestazioni in termini di capacità di elaborazione dei dati.

Nello specifico, se si divide la il numero totale di campioni di ogni canale N per il numero di campioni n che devono essere elaborati ad ogni iterazione; nel nostro caso abbiamo usualmente processato i dati con $n=4096$ ad una frequenza di campionamento di 20480 S/s, per elaborare 10 cicli della grandezze di rete a 50 Hz ad ogni iterazione. Dal rapporto N/n si ottiene il numero di iterazioni da compiere nel ciclo for. La lettura del file viene effettuata estraendo una finestra mobile n campioni, con un offset di $n*i$, con i contatore del ciclo for.

I due applicativi sviluppati due distinti applicativi, uno per i sistemi di conversione AC/DC ed un altro per i sistemi di conversione DC/DC; entrambi derivati dai due precedentemente illustrati nei paragrafi 2.2.4.1 e

2.2.4.2 per applicazioni di caratterizzazione in linea, poiché la modalità di lettura random implementata è compatibile con le elaborazioni dei dati in essi sviluppate.
 In questo paragrafo quindi verranno riportate sono due pagine tra quelle implementate, in Fig. 71 e 72 poiché le rimanenti sono del tutto analoghe a quelle riportate nelle figure da 22 a 32 per applicazioni di conversione DC/DC, e nelle figure da 43 a 43 per applicazioni di conversione AC/DC.

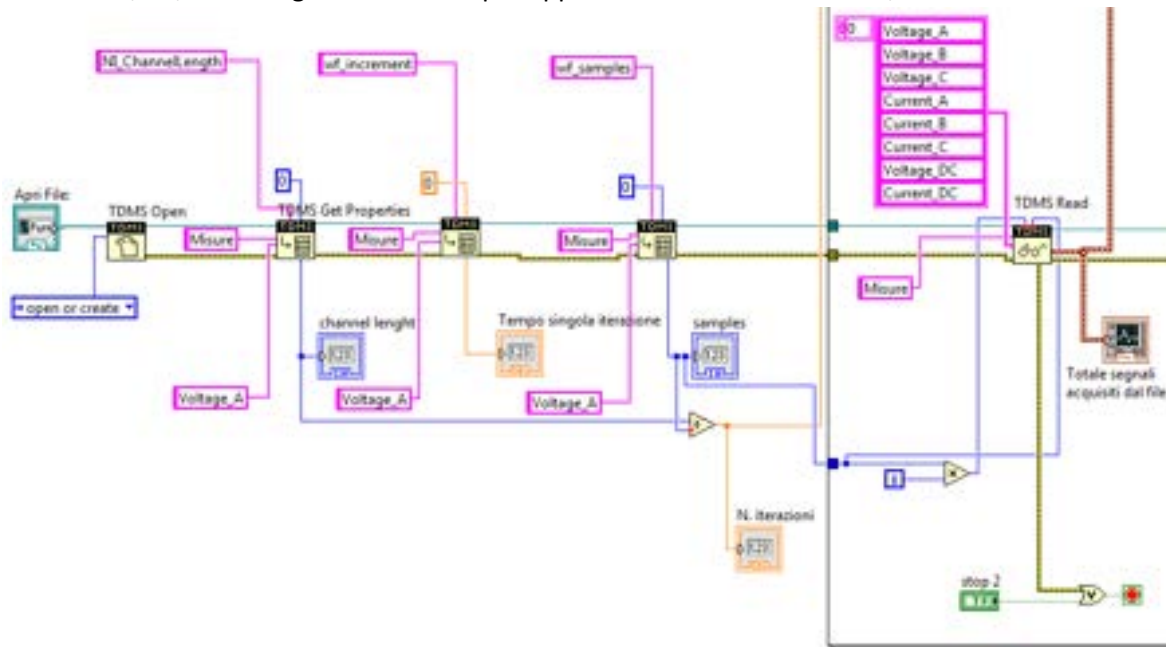


Fig. 70 – Block Diagram del codice di settaggio del file TDMS.

Fig. 71- Pagina “Impostazioni” del Sistema di elaborazione e caratterizzazione in Post Processing per sistemi di conversione DC/DC

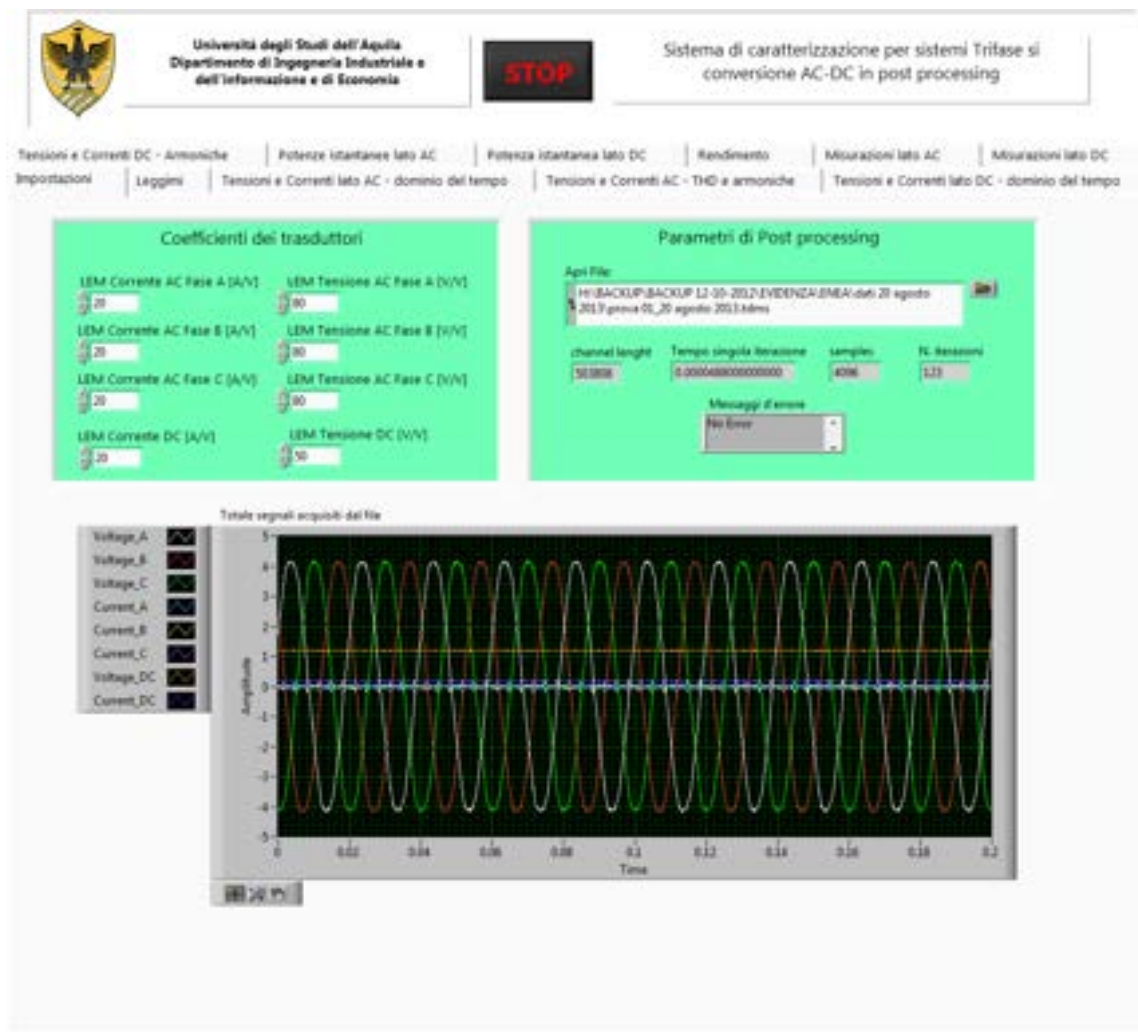


Fig. 72 Pagina “Impostazioni” del Sistema di elaborazione e caratterizzazione in Post Processing per sistemi trifase di conversione AC/DC

Per la visualizzazione complessiva degli andamenti temporali dei parametri di interesse, i due applicativi sono stati dotati di un secondo Tab Control, capace di riportare fino a 26 parametri, nella versione per applicazioni di conversione AC/DC. I parametri sono:

- 1) Componenti di potenza attiva – andamento nel tempo – Fase R
- 2) Componenti di potenza attiva – andamento nel tempo – Fase S
- 3) Componenti di potenza attiva – andamento nel tempo – Fase T
- 4) Armoniche di Tensione – andamento nel tempo – Fase R
- 5) Armoniche di Tensione – andamento nel tempo – Fase S
- 6) Armoniche di Tensione – andamento nel tempo – Fase T
- 7) Armoniche di Corrente – andamento nel tempo – Fase R
- 8) Armoniche di Corrente – andamento nel tempo – Fase S
- 9) Armoniche di Corrente – andamento nel tempo – Fase T
- 10) Tensione DC in uscita
- 11) Corrente DC in uscita
- 12) Tensione e corrente DC in uscita (confronto)

- 13) Correnti AC in ingresso
- 14) Tensioni AC in ingresso
- 15) Distorsione armonica delle tensioni AC in ingresso
- 16) Distorsione armonica delle correnti AC in ingresso
- 17) Fattori di potenza AC in ingresso
- 18) Fattore di potenza medio AC in ingresso
- 19) Potenza apparente AC in ingresso
- 20) Potenze apparenti AC in ingresso
- 21) Potenza attiva AC in ingresso
- 22) Potenze attive AC in ingresso
- 23) Potenza DC in uscita
- 24) Energia erogata
- 25) Rendimento
- 26) Rendimento/Potenza erogata

I grafici presenti nelle pagine del Tab Control sopra elencate sono presentati nella sezione inerente i dati sperimentali; per motivi di sintesi verrà solo riportata, in questo paragrafo, la pagina inerente i grafici di confronto per le tensione e corrent DC in Fig 73.

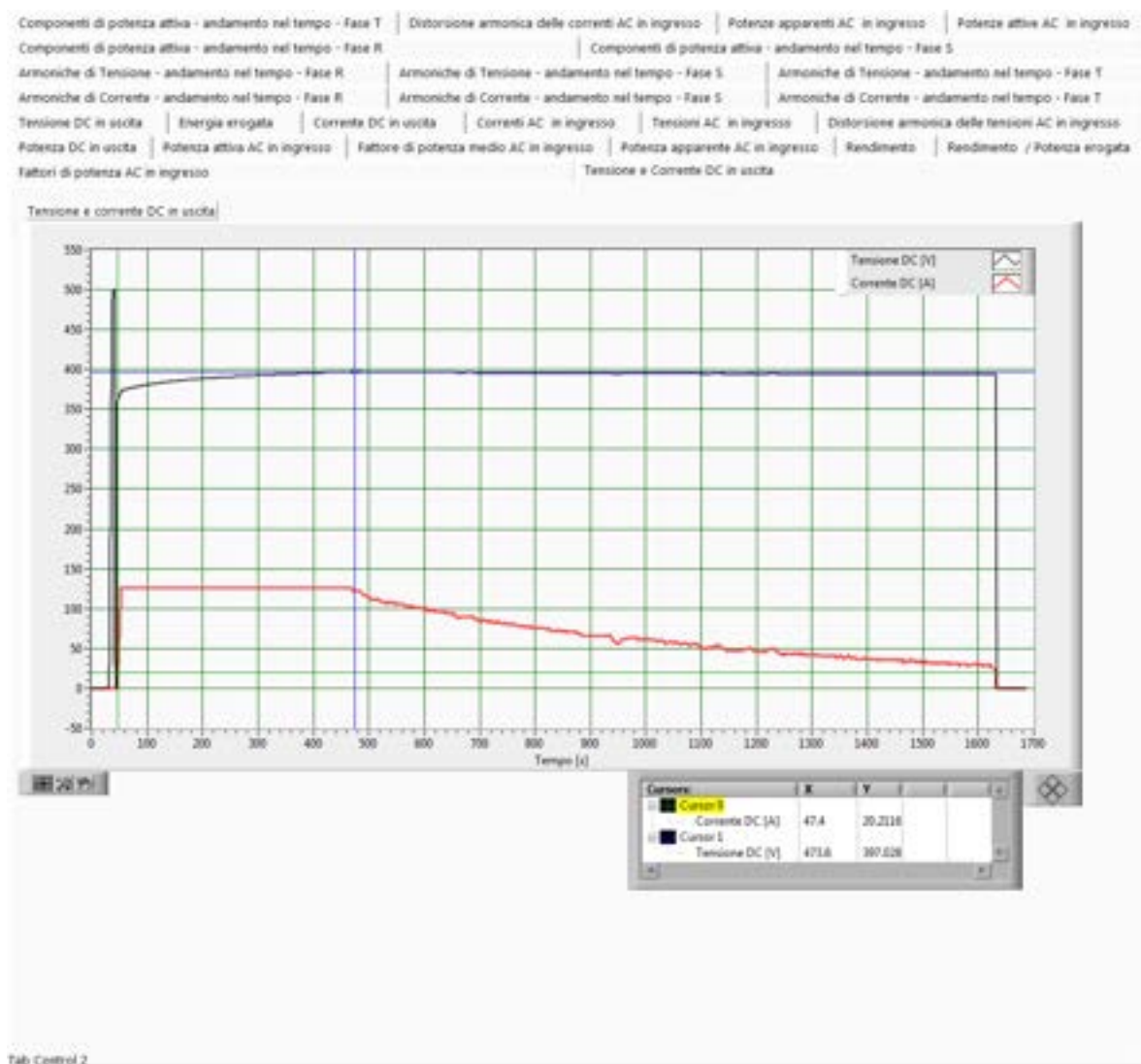


Fig. 73 - Pagina "Tensione e corrente DC in uscita (confronto)" del Sistema di elaborazione e caratterizzazione in Post Processing per sistemi trifase di conversione AC/DC

2.2.4.5 Sistema di acquisizione delle temperature

Durante l'esecuzione dei test è possibile effettuare l'acquisizione dei valori delle temperature di un numero massimo di 21 sensori, mediante l'applicativo dedicato "Sistema di acquisizione delle temperature", sviluppato per gestire ed acquisire dati dalle scansioni effettuate dal Fluke Hydra Datalogger 2625A. L'applicativo è stato sviluppato per poter essere avviato in parallelo con le acquisizioni dei parametri elettrici mediante, ed effettua la scansione con una frequenza minore, tipicamente 0.1 S/s. La comunicazione avviene mediante standard seriale; l'interfaccia utente è stata sviluppata con un Tab Control di 3 pagine, delle quali la prima è dedicata alle impostazioni di comunicazione e dei traduttori, la seconda visualizza i grafici delle temperature nel tempo, mentre la terza visualizza i valori istantanei. Nelle figure da 74 a 76 sono riportate le tre pagine, con l'applicativo impostato per un numero di 6 trasduttori di temperatura.

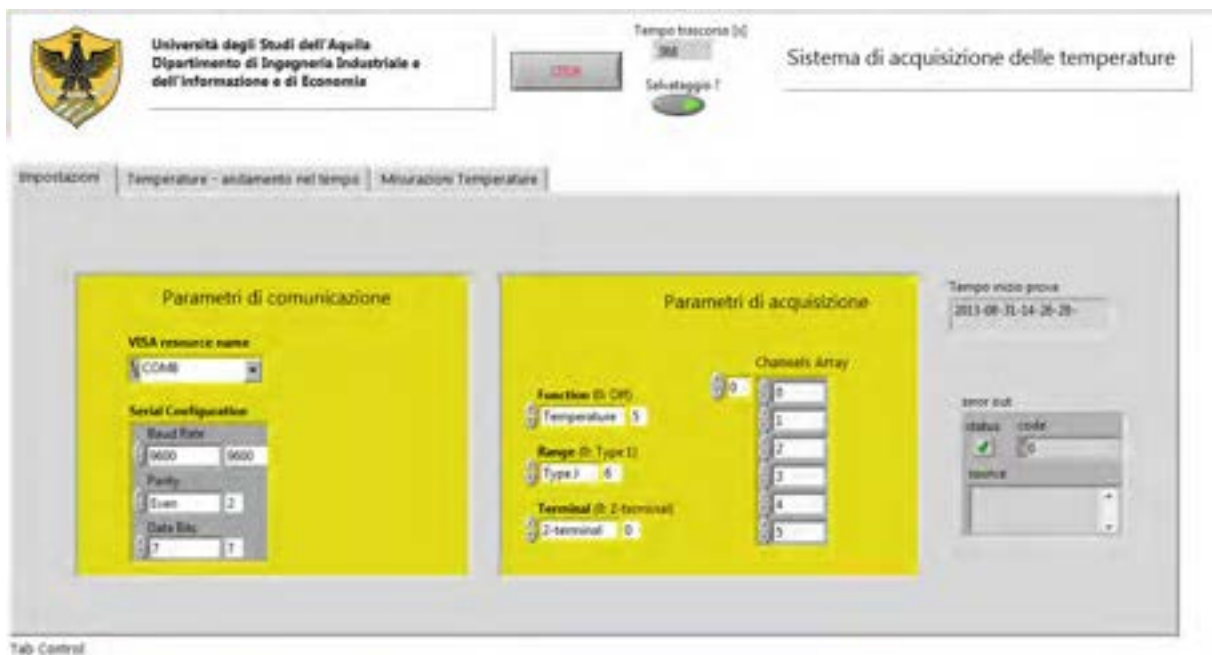


Fig. 74 - Pagina "Impostazioni" del Sistema di acquisizione delle temperature

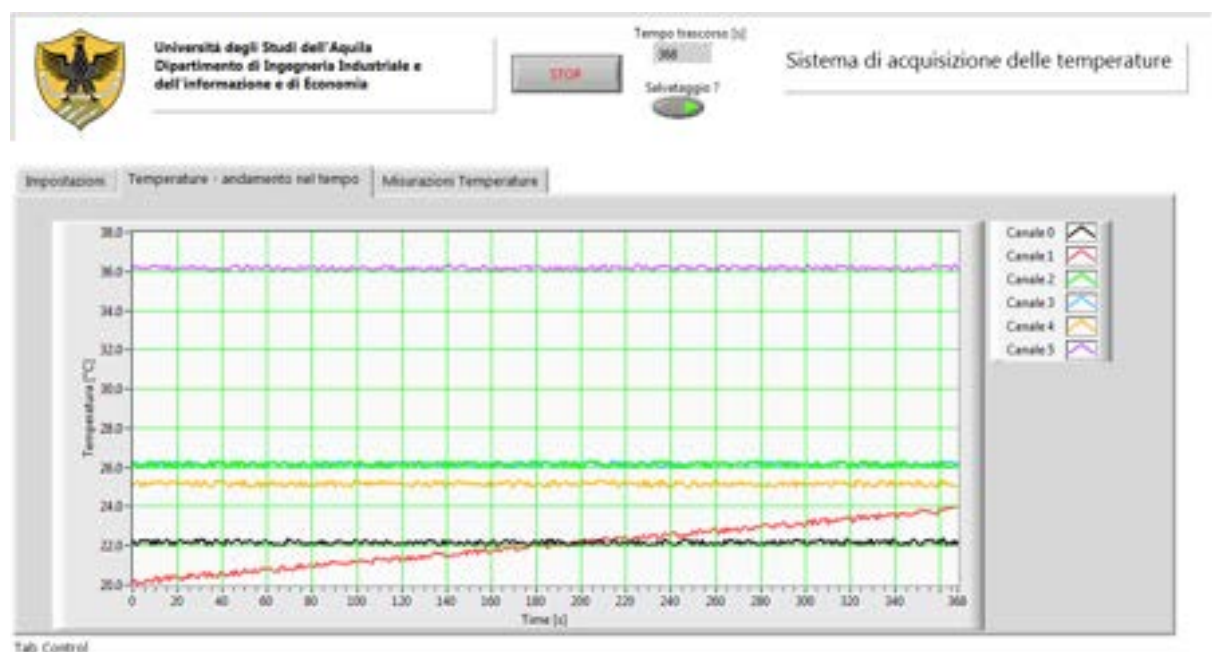


Fig. 75 - Pagina "Temperature - andamento nel tempo" del Sistema di acquisizione delle temperature

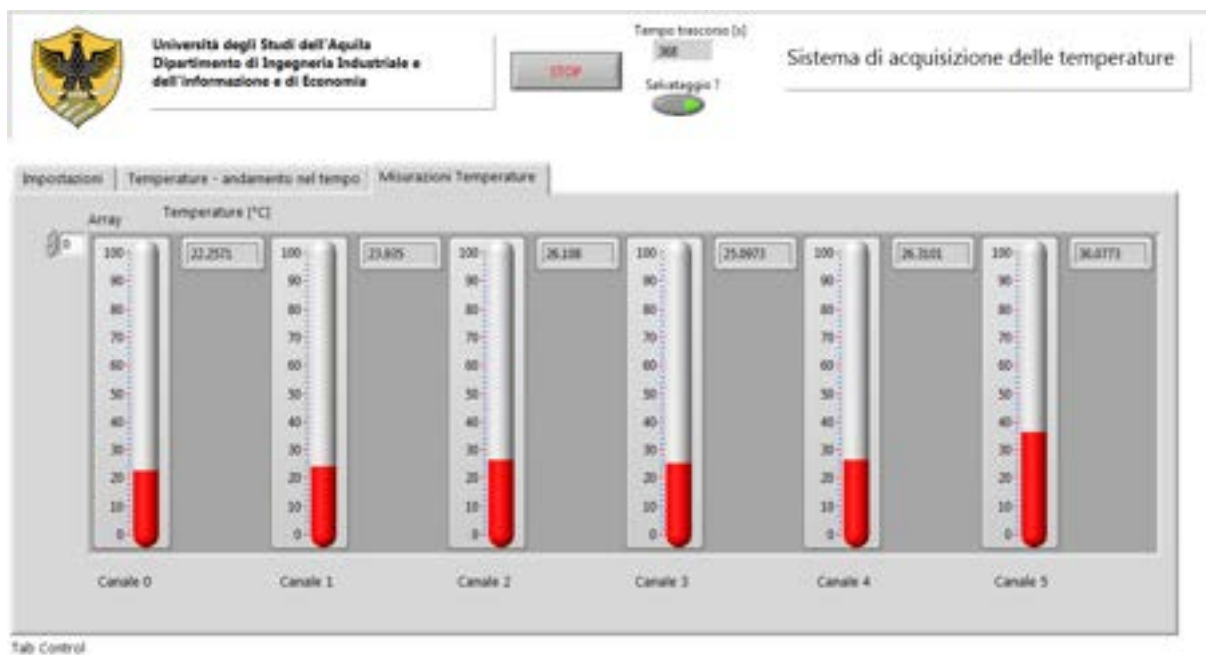


Fig. 76 - Pagina “Misurazioni Temperature” del Sistema di acquisizione delle temperature

2.3 Verifica sperimentale delle prestazioni di un sistema di conversione per la ricarica rapida.

Nelle pagine seguenti, sono riportati i risultati delle attività di verifica sperimentale delle prestazioni del sistema di conversione, per la ricarica rapida, attualmente disponibile presso i Laboratori ENEA del Centro Ricerche Casaccia; in dettaglio, si tratta dell'apparato prodotto da Circutor, modello EQC – 50 Endesa (Fig. 77), con standard CHAdeMO. Le prestazioni e le caratteristiche tecniche dell'apparato sono riportate in Tab. 7 [20].



Fig. 77 – Sistema di ricarica rapida EQC-50 Endesa CHAdeMO Circutor

Tab.7 – Specifiche del sistema di carica rapida testato, modello EQC-50 Endesa CHAdEMO Circutor

INPUT		
Input voltage	400VAC 3P+N	
Nominal input power	77KVA	
Input frequency	50/60Hz	
OUTPUT		
	AC	DC
Maximum rated output current*	32A	125A
Maximum rated output power*	22kW	50kW
Maximum output DC voltage	400VAC	500VDC
CHARGE SYSTEM		
	AC	DC
	Mode 3	Mode 4
SOCKETS/PLUGS		
	AC	DC
	Type 2	JEVS G105
MODE 3 ENERGY METER		
Accuracy class in active energy	Class B - EN50470-3	
Accuracy class in reactive energy	Class 2 - EN62053-23	
Meter Standards	EN62052-11, EN62053-21, EN62053-23, EN61010-1	
COMMUNICATIONS		
Ethernet	10/100/1000BaseTX	
GENERAL		
Enclosure Rating	IP54 /IK8	
Operating temperature	-30 to 60°C	
RFID System	ISO/IEC14443A/B	
HMI	LCD 8" screen	
Interface protocol	OCPP / XML protocol	
Rear Light beacon	Three colour led status	
Power limit control	Software limit	
OPTIONAL DEVICES		
Mobile communications	3G/GPRS/GSM	
Harmonics filter (optional integrated harmonic filter module)	5th harmonic 7th harmonic	

L'EQC-50 è stato testato con l'esecuzione di procedure di carica rapida, utilizzando come veicolo elettrico da ricaricare l'autovettura NISSAN Leaf (Fig. 78), acquisita dal Centro di Ricerche ENEA, che consente la ricarica con standard CHAdEMO; la scheda tecnica sintetica dell'autoveicolo è in Tab. 8. [21].



Fig. 78 – Autovettura Nissan Leaf

Tab.7 – Scheda tecnica sintetica dell'autovettura Nissan Leaf

Carrozzeria	berlina 3/5 porte
Numero porte	5
Numero posti	5
Bagagliaio (min-max)	370 - 1.010 dm³
Tipo di batteria	Batterie al litio
Tempo di ricarica batteria	n.d.
Tensione totale batteria	n.d.
Capacità totale batteria	n.d.
Massa in ordine di marcia	1474 kg
Lunghezza	445 cm
Larghezza	177 cm
Altezza	155 cm
Passo	270 cm
Motore	Elettrico
Alimentazione	elettrica
Potenza max/regime	80 kW (109 CV) a3000 giri/min
Coppia max	254 Nm
Trazione	anteriore
Velocità max	144 km/h
Accelerazione 0-100km/h	11,5 secondi
Omologazione antinquin.	Zero E
Emissioni CO ₂ (g/km)	0
Cambio	assente: presa diretta tra albero motore e riduzione finale a 1 rapporti
Autonomia a velocità costante	199 Km

Sono state effettuate, in data 20 agosto 2013, una serie di prove di ricarica rapida, a partire da diverse condizioni di carica residua delle batterie. La mole di dati acquisiti è pari a circa 6.6 GByte, per corrispondenti 90 minuti complessivi di durata delle prove. Il sistema di ricarica rapida CHAdeMO non consente di impostare parametri dall'esterno, durante le prove di carica; la procedura viene gestita in modo automatico mediante comunicazione tra il sistema di controllo dell'autoveicolo ed il sistema di carica. Tuttavia, durante l'esecuzione delle prove si possono individuare degli intervalli temporali in cui il sistema si può considerare in condizioni stazionarie, ed altre in condizioni transitori. I dati acquisiti sono pertanto presentabili in modo differenziato, per permettere la verifica del funzionamento del sistema in diverse condizioni:

- 1) Verifica delle prestazioni in condizioni stazionarie, con carico e convertitore in condizioni di regime. Per brevi periodi, della durata di alcuni secondi, le condizioni del convertitore e delle batterie del veicolo possono considerati costanti, con buona approssimazione. Le prove sono state effettuate a partire da diversi livelli di carica residua dell'autoveicolo.

- 2) Verifica delle prestazioni in condizioni dinamiche, con variazioni di dell'assorbimento di potenza in condizioni di alimentazione costante (tensione DC costante), ed in condizioni di carico costante (corrente DC costante), con variazioni della tensione di alimentazione.
In tali tipologie di verifica, sono analizzati i periodi transitori del funzionamento a tensione DC costante ed a corrente DC costante.
- 3) Verifica delle prestazioni complessive, durante il processo di ricarica con analisi dei dati focalizzata alla visualizzazione degli andamenti complessivi nel tempo (condizioni realistiche).

Le misurazioni di temperatura non sono state eseguite, in quanto né il sistema di carica rapida né l'autovettura consentono, attualmente, l'inserimento di sonde sul convertitore o sul pacco batterie. Saranno oggetto di ulteriori prove.

I dati sperimentali verranno presentati nelle pagine seguenti secondo l'ordine individuato dall'elenco precedente. Gli applicativi che sono stati impiegati sono quelli illustrati nei paragrafi 2.2.4.2 -2.2.4.4, nella versione per sistemi di conversione AC/DC. In Fig. 79 e 80 sono visibili il sistema automatico di collaudo e di test, il sistema di conversione durante l'esecuzione delle prove, l'autoveicolo ed una immagine del display del sistema di carica rapida.



Fig. 79 –Il sistema automatico di collaudo e di test, il sistema di conversione e l'autoveicolo durante le prove



Fig. 80 – Il display del sistema di carica rapida.

2.3.1 *Verifica delle prestazioni in condizioni stazionarie, con carico e convertitore in condizioni di regime.*

Per questa tipologia di prove, sono rilevanti gli andamenti nel tempo dei valori istantanei delle grandezze, con particolare attenzione alle forme d'onda delle correnti AC assorbite ed al loro contenuto armonico. Sono presentati dati elaborati su periodi di 200 ms, in accordo con la normativa IEC [22-28]; la visualizzazione delle forme d'onda nel dominio del tempo è relativa a periodi di 40 ms per una migliore lettura dei grafici. I risultati sono presentati nel seguente ordine, in ciascun paragrafo:

- a) Forme d'onda di tensione AC nel dominio del tempo
- b) Forme d'onda di tensione AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica
- c) Forme d'onda di corrente AC nel dominio del tempo
- d) Forme d'onda di corrente AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica
- e) Misurazioni delle grandezze AC medie ed efficaci
- f) Forme d'onda di potenza istantanea AC
- g) Forma d'onda della tensione DC nel dominio del tempo
- h) Forma d'onda della tensione DC nel dominio della frequenza
- i) Forma d'onda della corrente DC nel dominio del tempo
- j) Forma d'onda della corrente DC nel dominio della frequenza
- k) Forma d'onda di potenza istantanea DC
- l) Misurazioni delle grandezze DC medie
- m) Rendimento

2.3.1.1 Prova con stato di carica residua al 28.1 %.

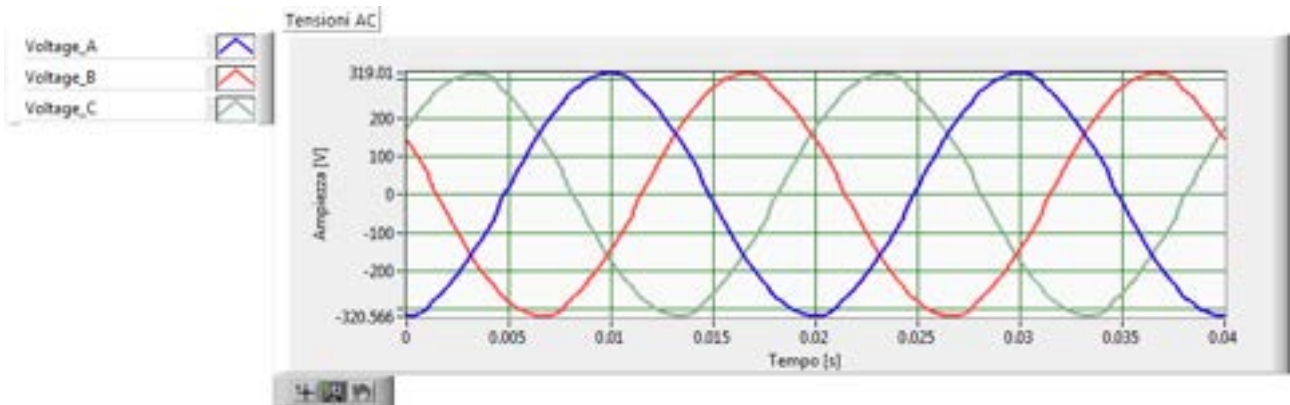


Fig.81 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 28.1 %.

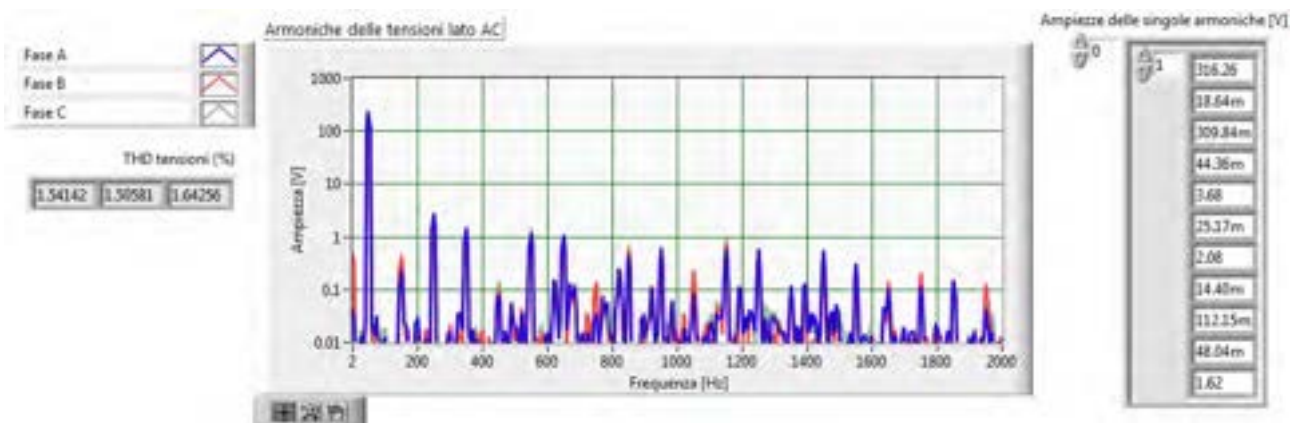


Fig.82 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 28.1 %.

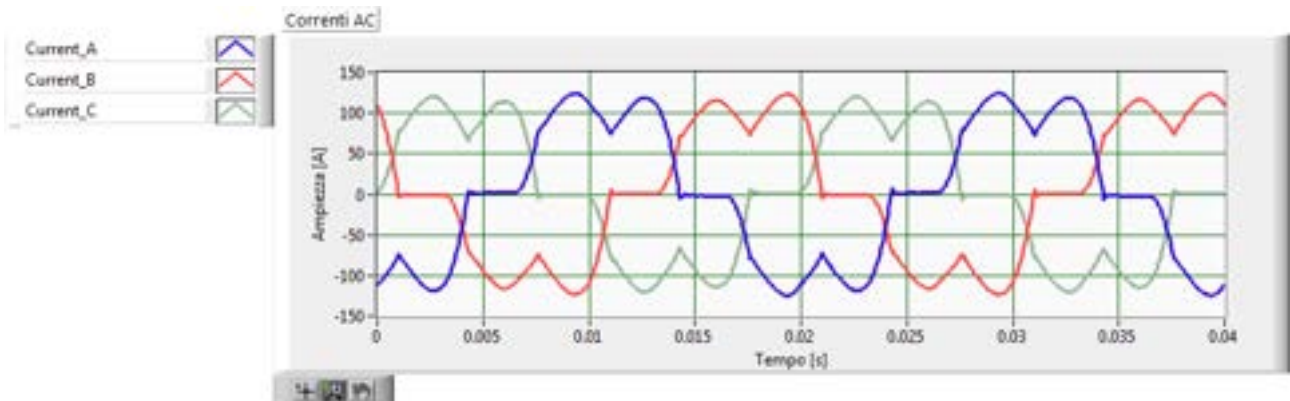


Fig.83 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 28.1 %.

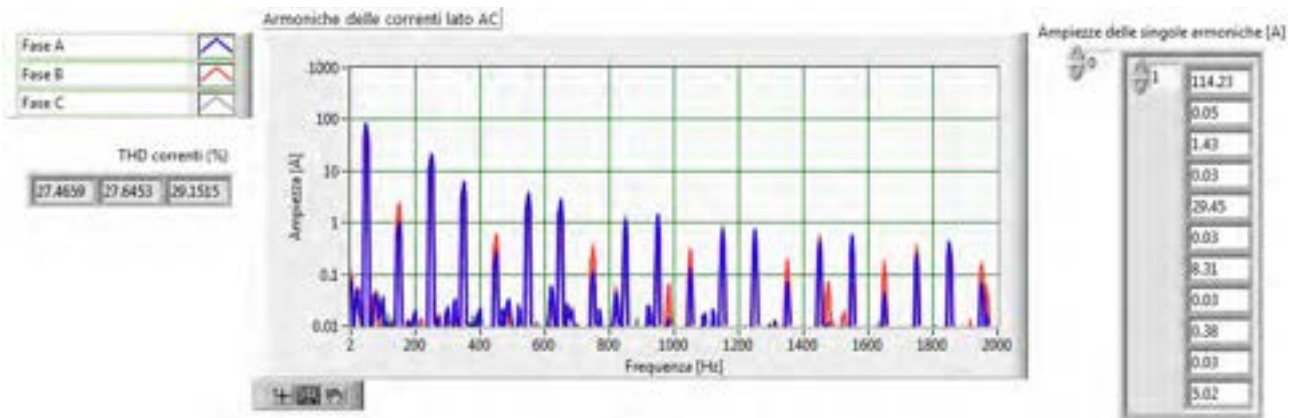


Fig.84 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 28.1 %.

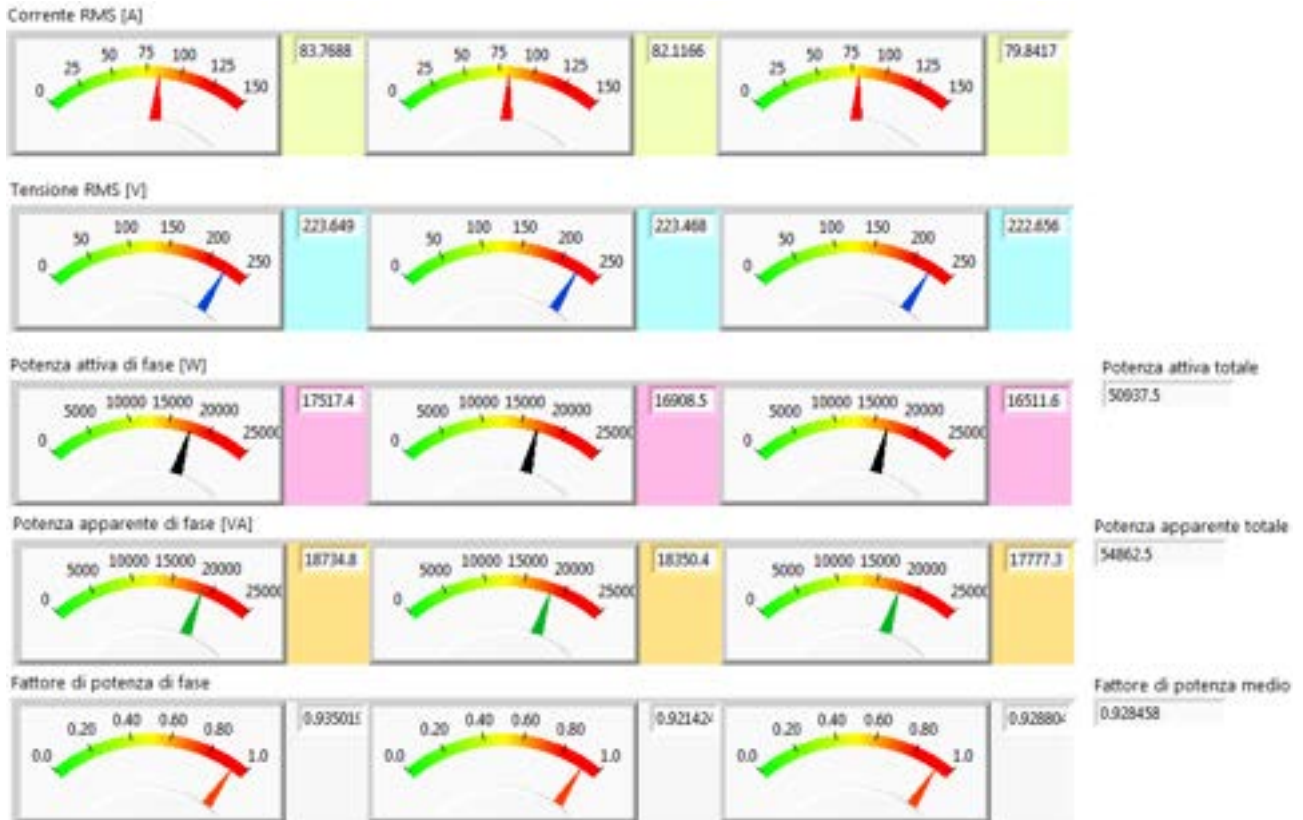


Fig.85 – Misurazioni delle grandezze AC medie ed efficaci, stato di carica residua al 28.1 %.

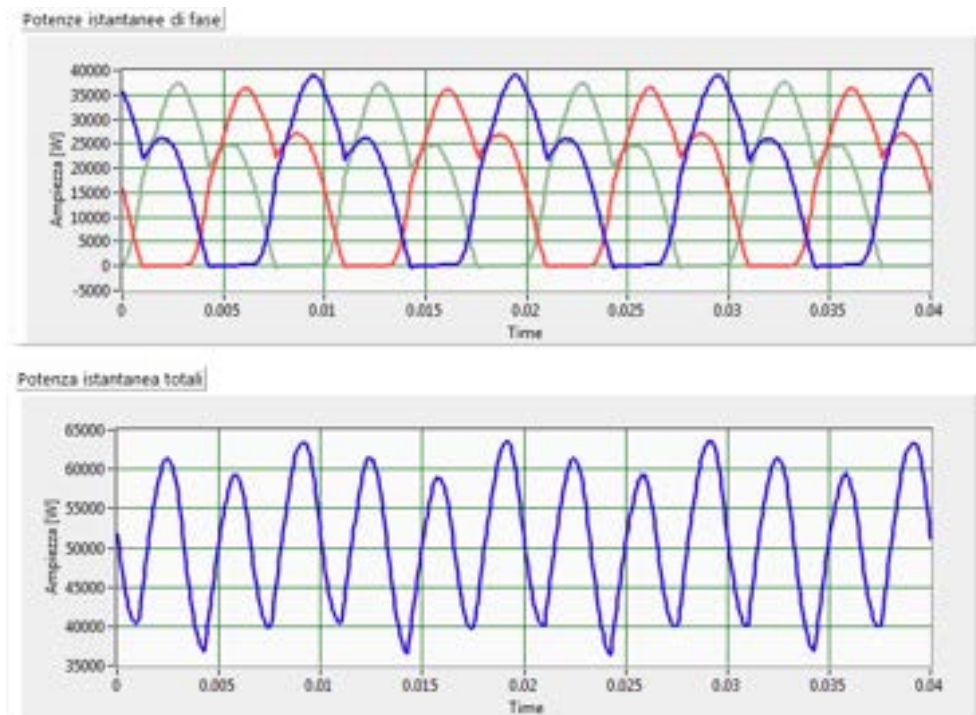


Fig.86 – Forme d’onda di potenza istantanea AC, stato di carica residua al 28.1 %.

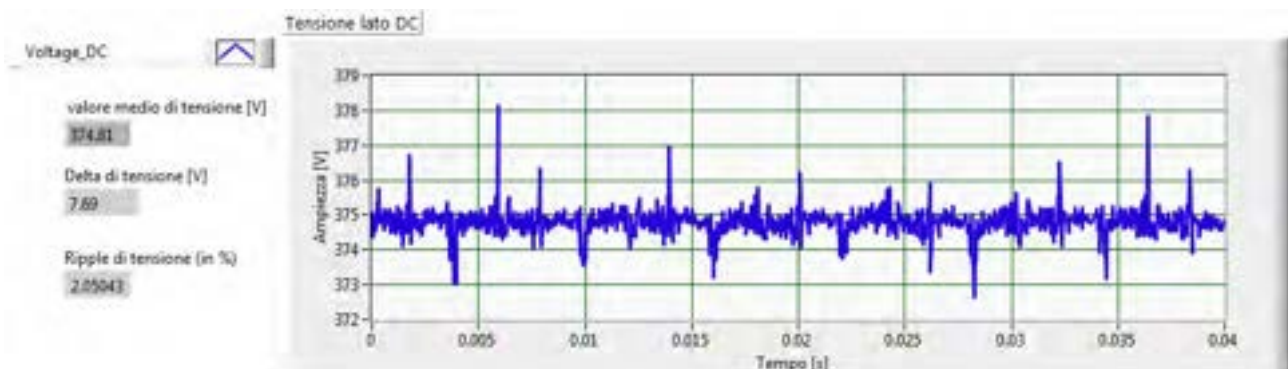


Fig.87 – Forme d’onda di tensione DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 28.1 %.

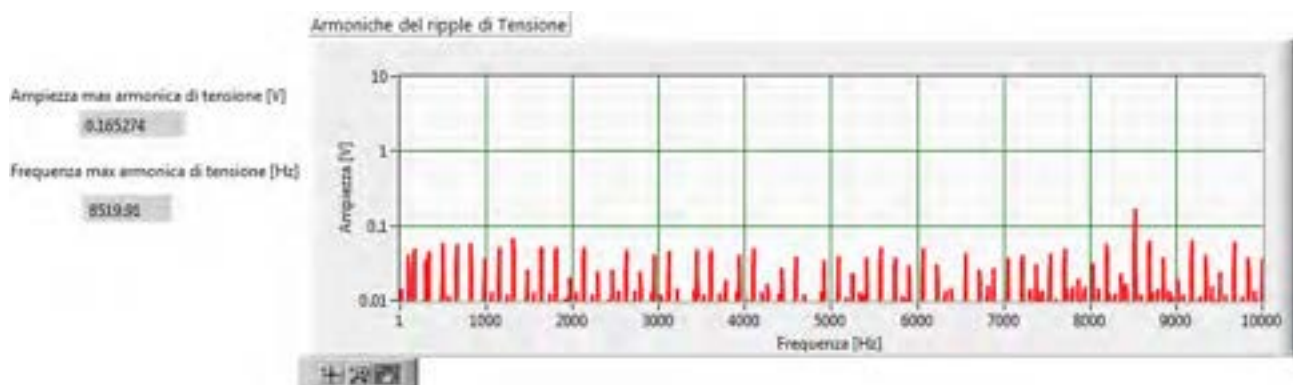


Fig.88 – Forme d’onda di tensione DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 28.1 %.

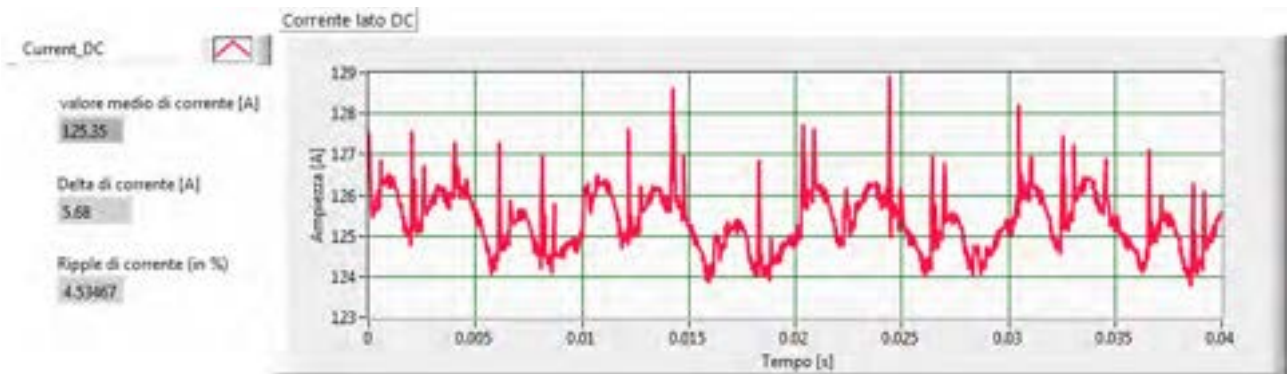


Fig.89 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 28.1 %.

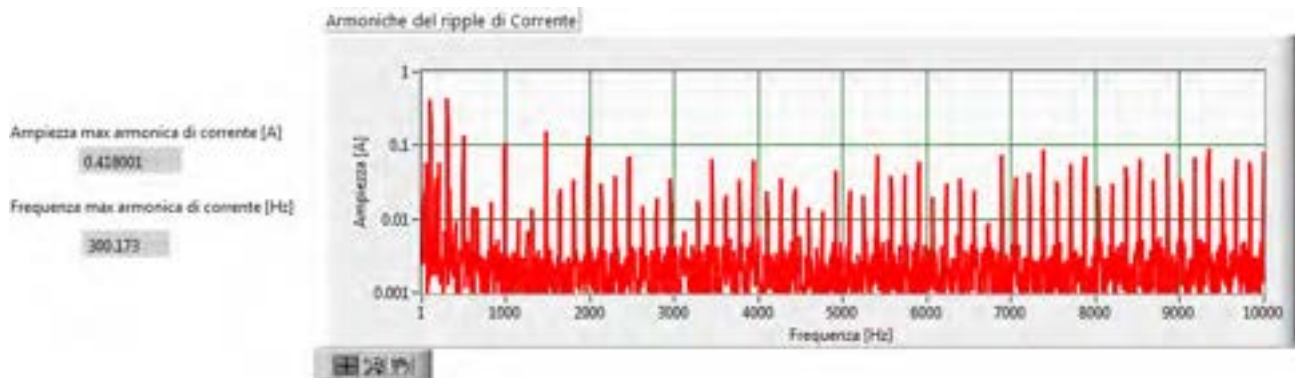


Fig.90 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 28.1 %.

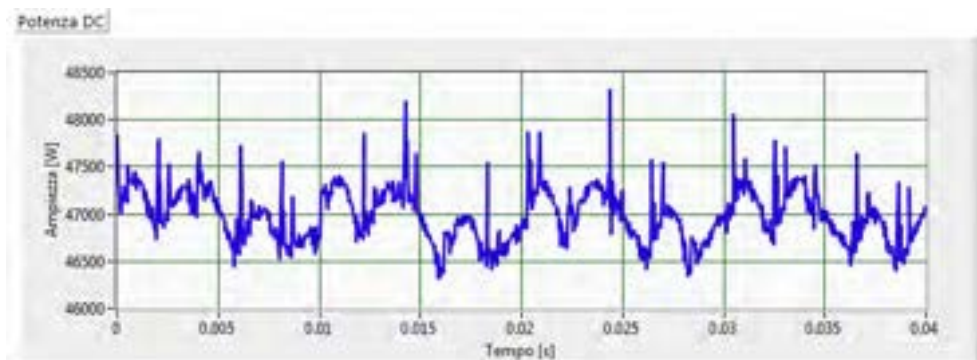


Fig.91 – Forma d’onda di potenza istantanea DC, stato di carica residua al 28.1 %.

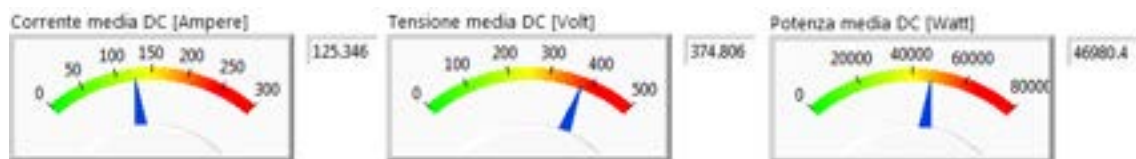


Fig.92 – Misurazioni delle grandezze DC medie, stato di carica residua al 28.1 %.

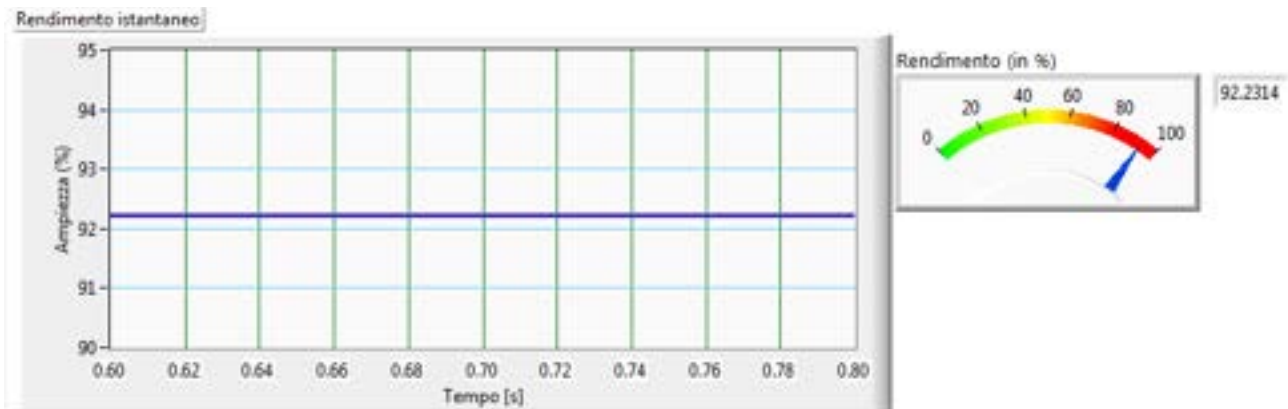


Fig.93 – Rendimento, stato di carica residua al 28.1 %.

A commento dei risultati della prova, si evidenzia che, nonostante il contenuto armonico delle tensioni sia ridotto (inferiore all'1.7%), le correnti presentano una forte distorsione armonica, del valore fino a più del 29%, con valori efficaci della 5° armonica e della 7° armonica di 29.45 e 8.31 Arms medi, a fronte di un valore efficace della fondamentale di 114,23 Arms, equivalenti al 25.78% e 7.27%. Tali valori, ed in generale la distorsione armonica della corrente, possono essere incrementati in modo apprezzabile dalla presenza di una più rilevante distorsione armonica delle tensioni di alimentazione, che, in bassa tensione, può raggiungere valori anche dell'8%. [22,23]

2.3.1.2 Prova con stato di carica residua al 54.9 %.

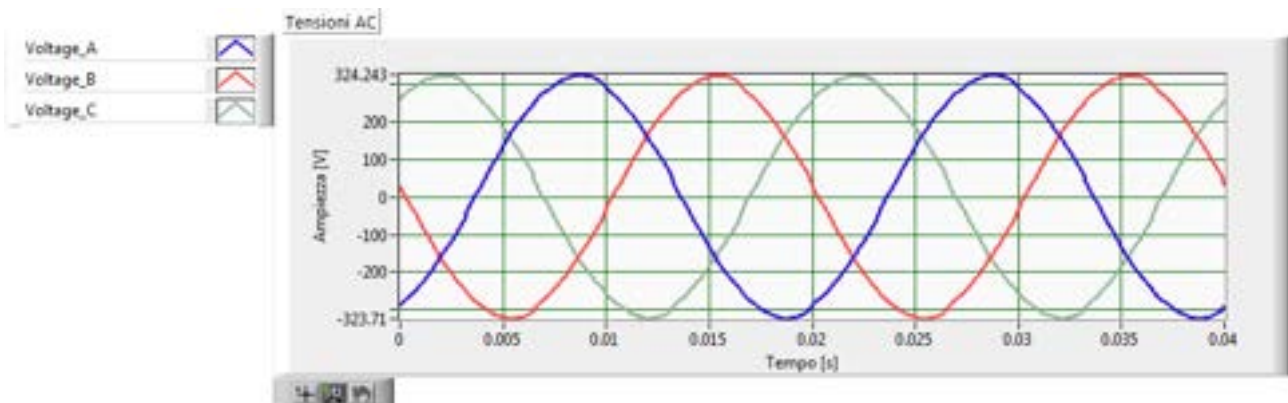


Fig.94 – Forme d'onda di tensione AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 54.9 %.

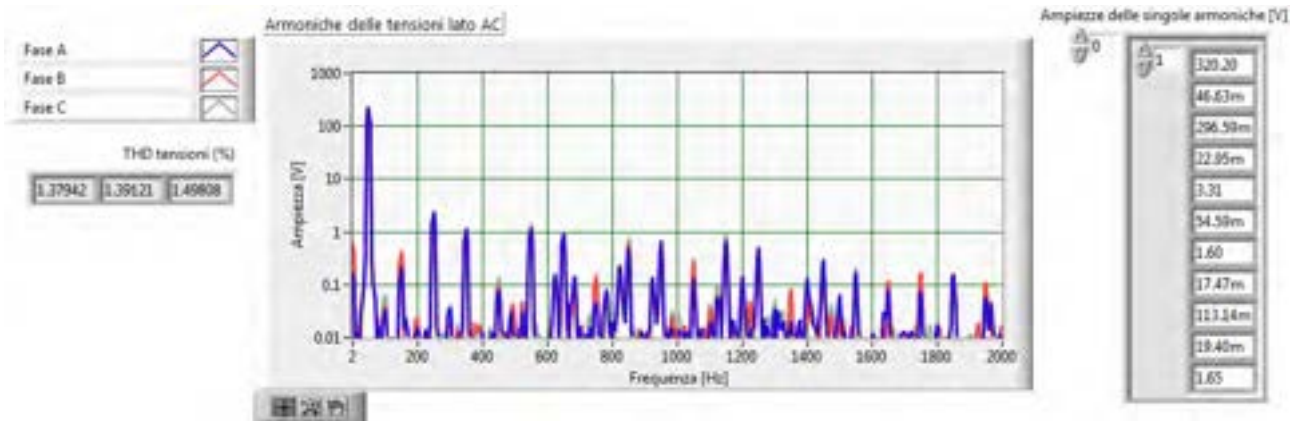


Fig.95 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 54.9 %.

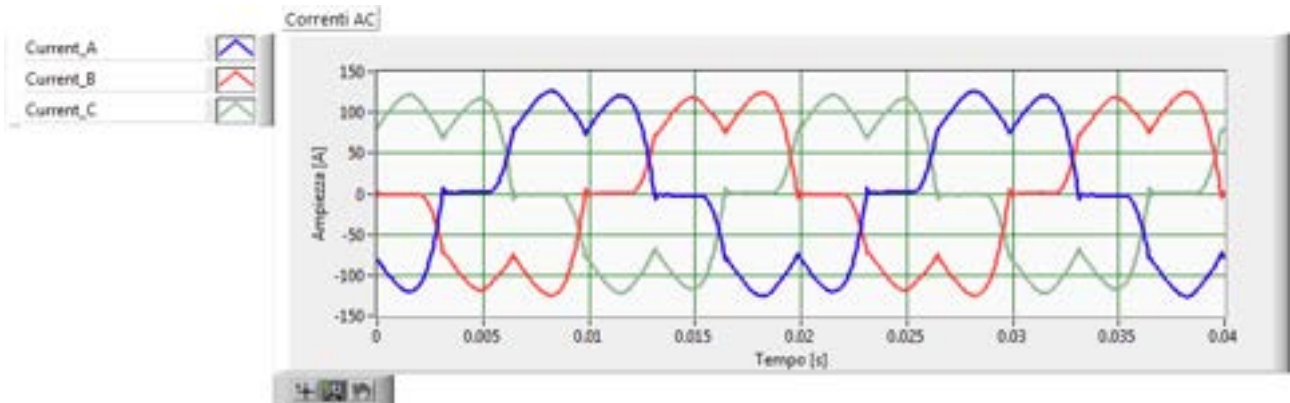


Fig.96 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 54.9 %.

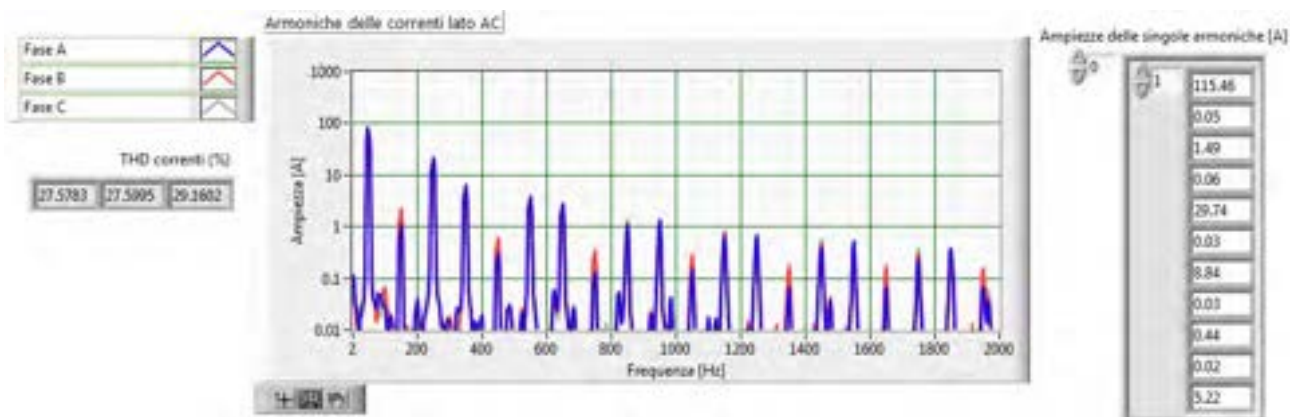


Fig.97 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 54.9 %.

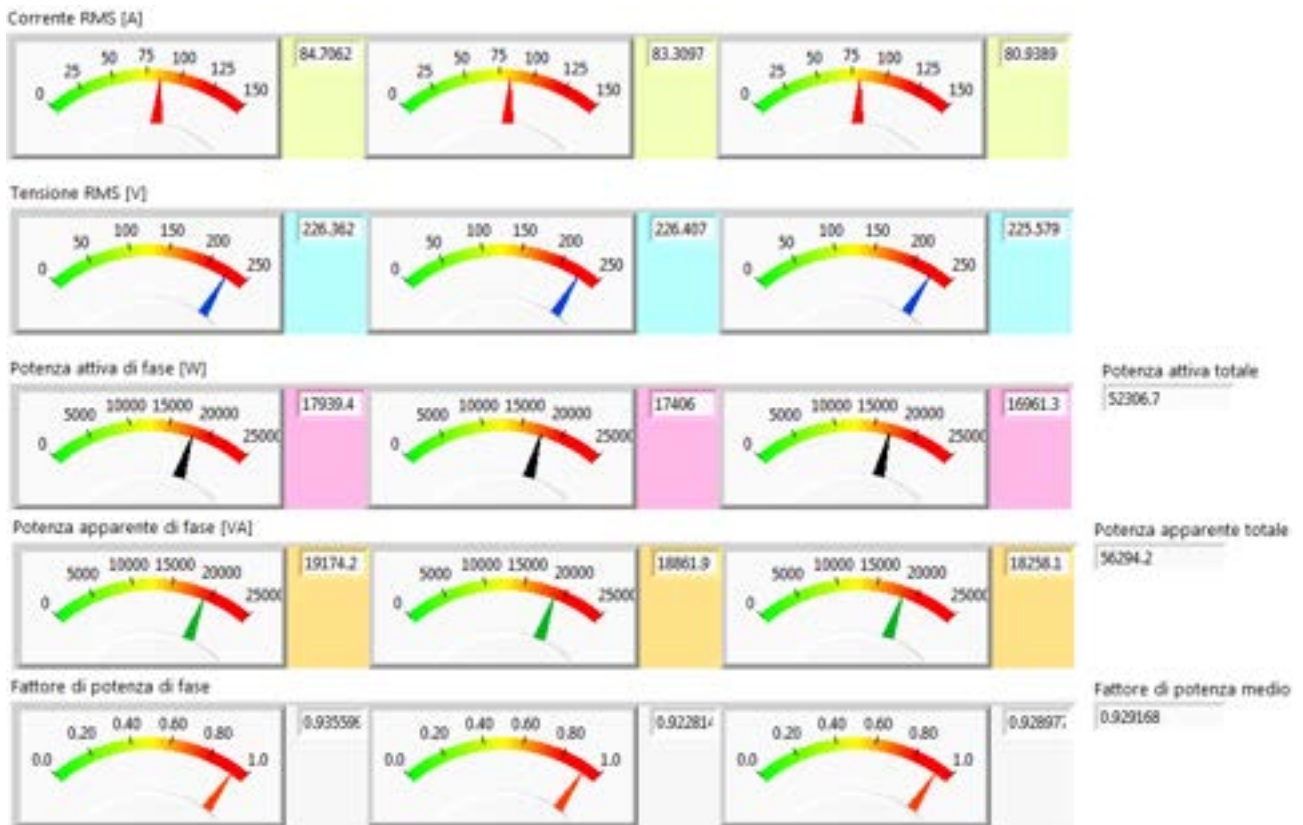


Fig.98– Misurazioni delle grandezze AC medie ed efficaci, stato di carica residua al 54.9 %.

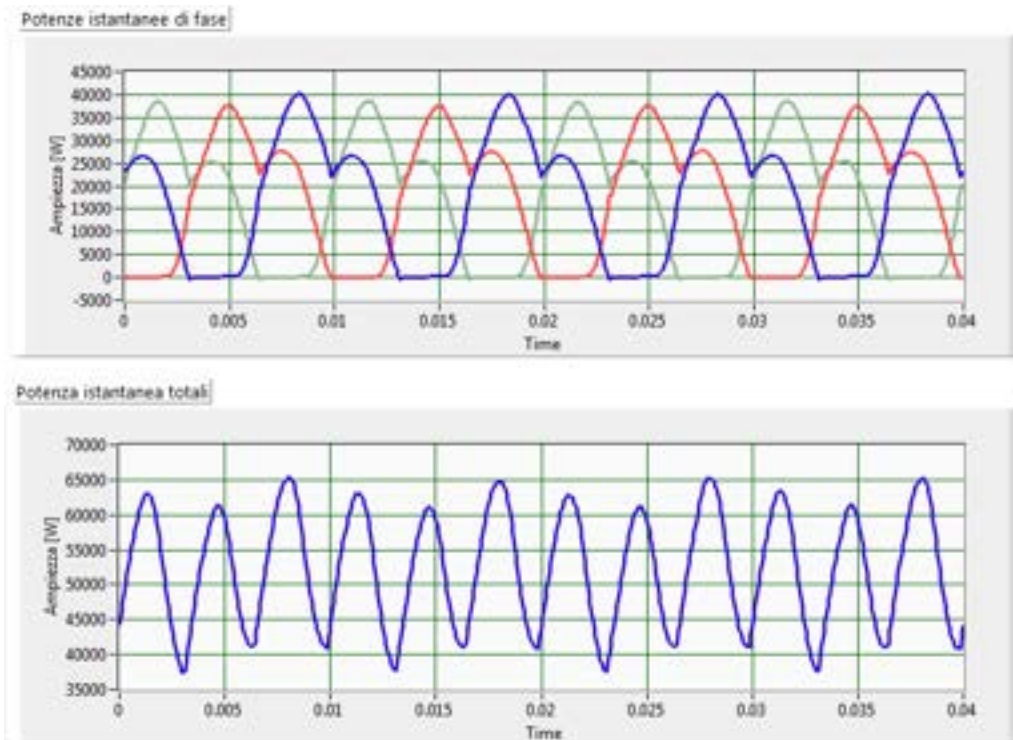


Fig.99 – Forme d'onda di potenza istantanea AC, stato di carica residua al 54.9 %.

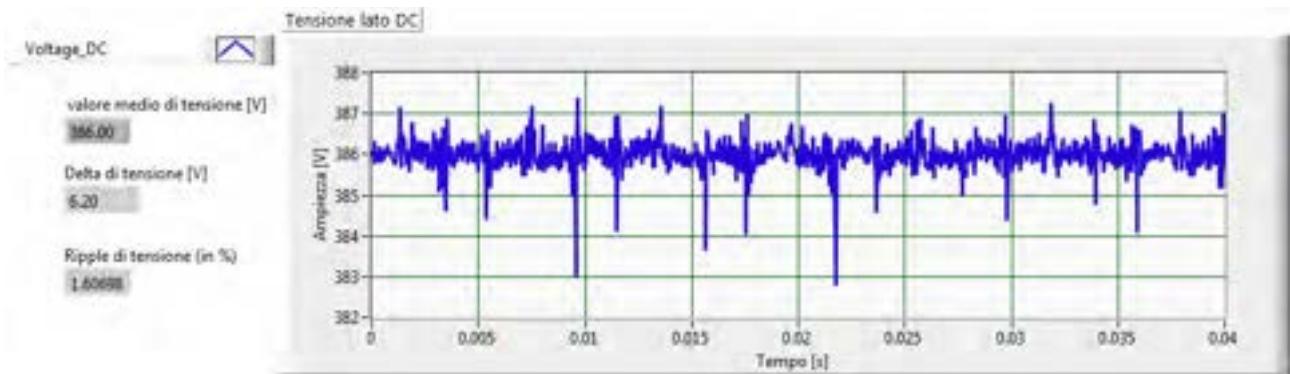


Fig.100 – Forme d’onda di tensione DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 54.9 %.

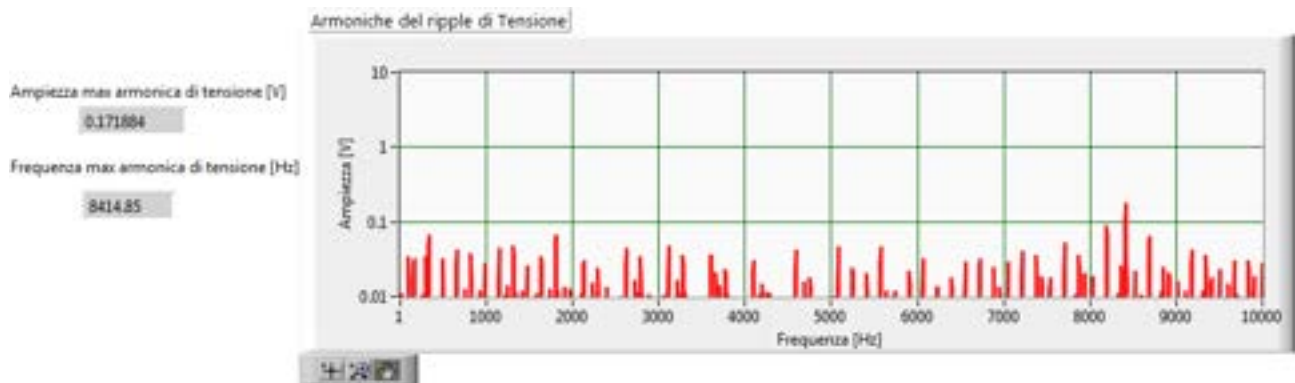


Fig.101– Forme d’onda di tensione DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 54.9 %.

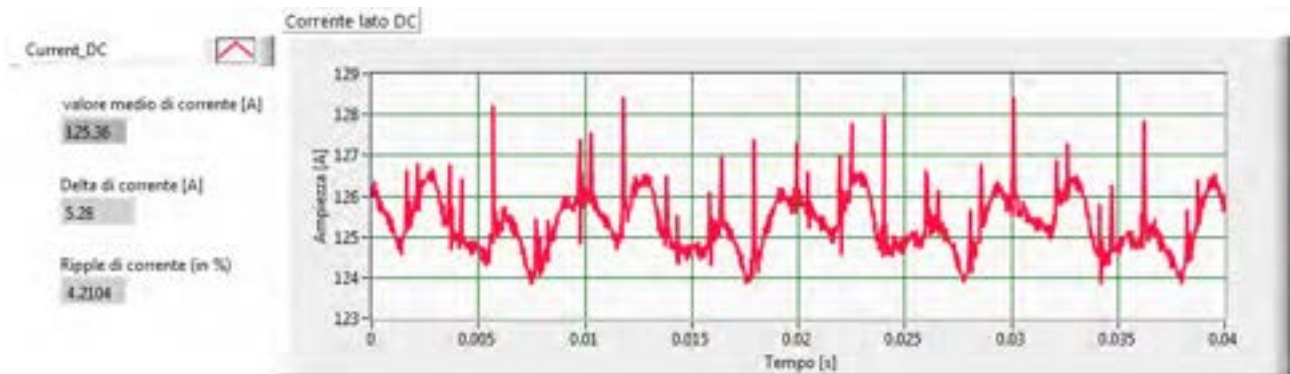


Fig.102 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 54.9 %.

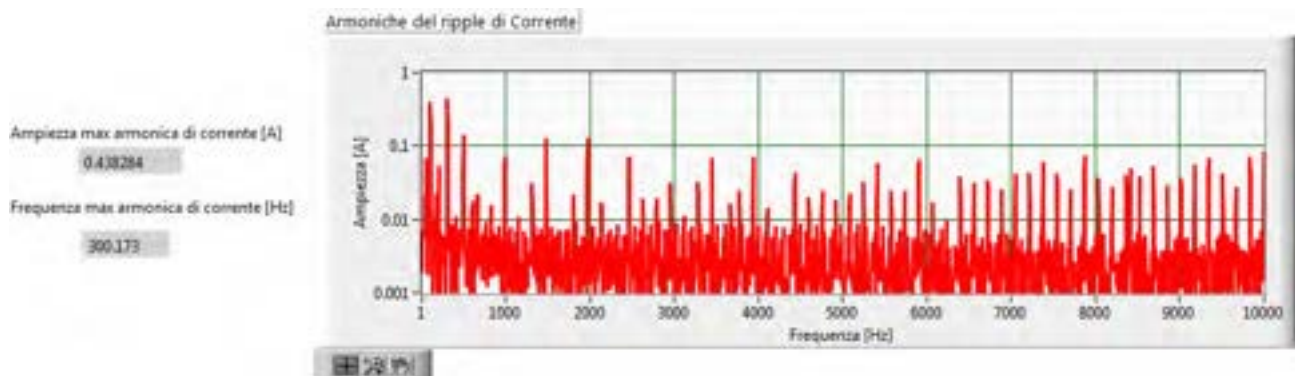


Fig.103 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 54.9 %.

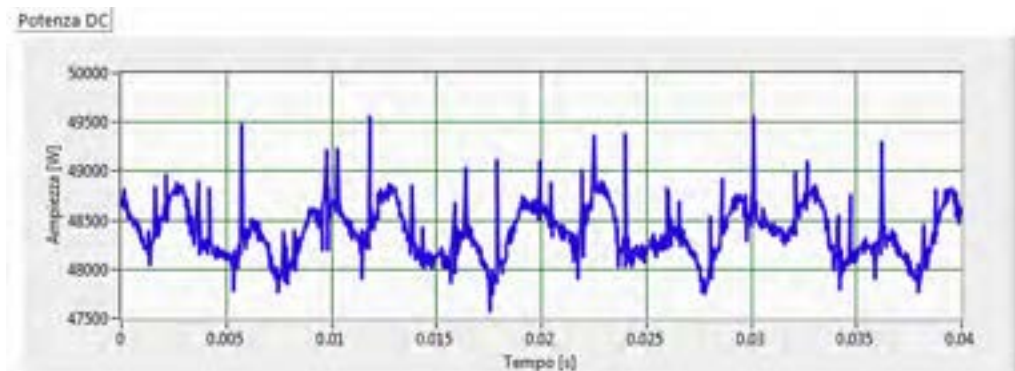


Fig.104 – Forma d’onda di potenza istantanea DC, stato di carica residua al 54.9 %.

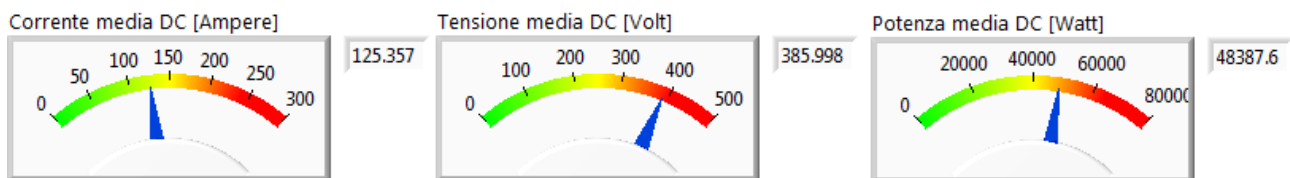


Fig.105 – Misurazioni delle grandezze DC medie, stato di carica residua al 54.9 %.

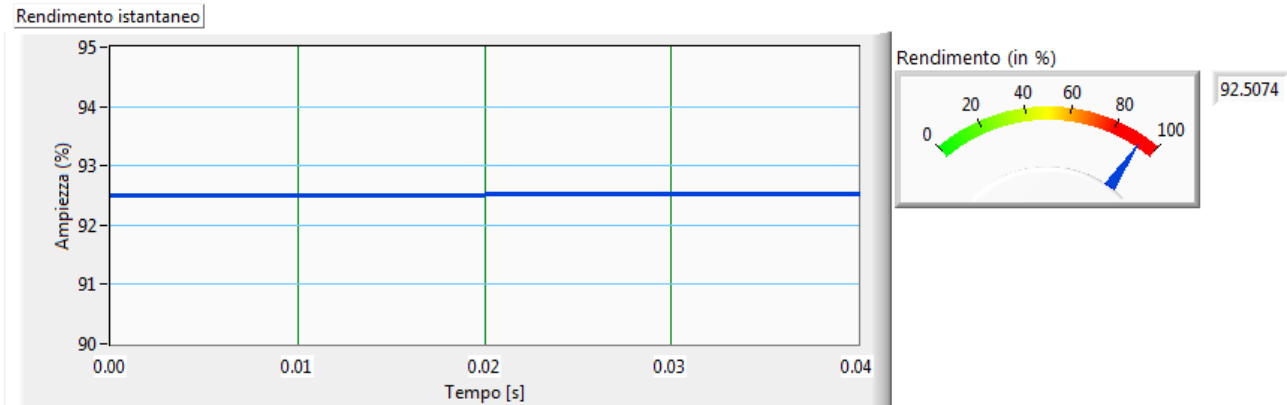


Fig.106– Rendimento, stato di carica residua al 54.9 %.

A commento dei risultati della prova, si evidenzia la stessa problematica inerente la distorsione armonica della corrente rilevata nella prova precedente. La maggiore carica residua iniziale ha come effetto un aumento della potenza erogata, che passa da 46980 W a 48387 W, con un incremento del 3% circa.

2.3.1.3 Prova con stato di carica residua al 90.0%.

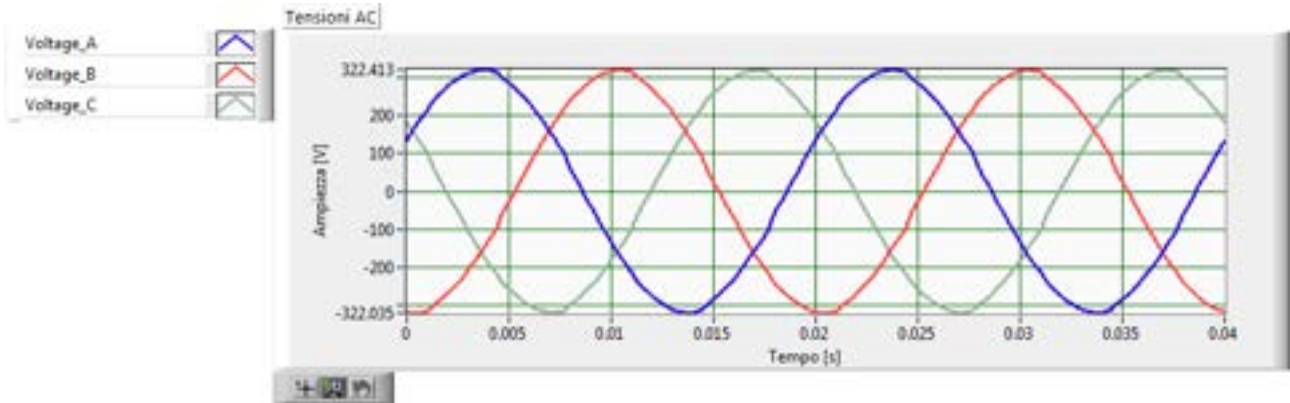


Fig.107 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 90.0 %.

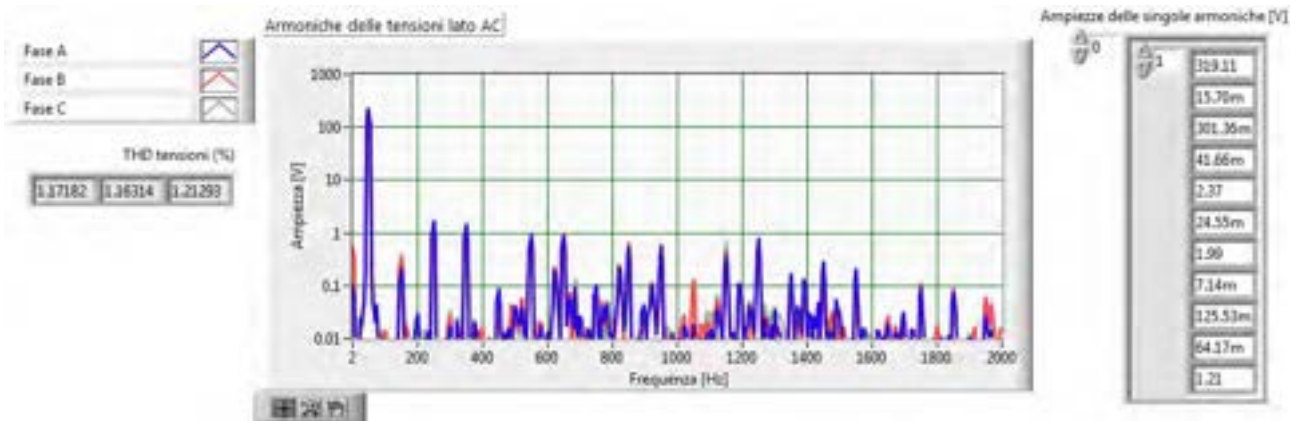


Fig. 108 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 90.0 %.

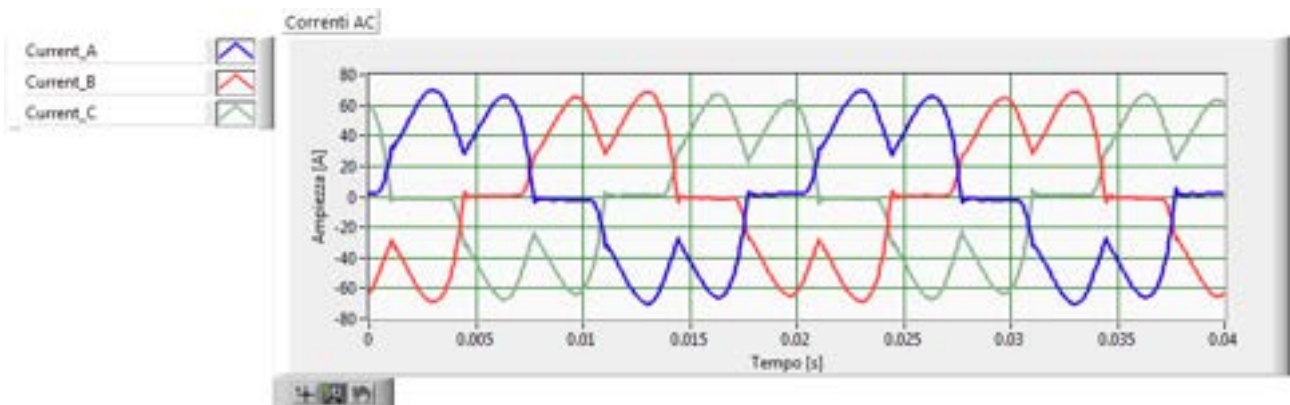


Fig. 109 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 90.0 %.

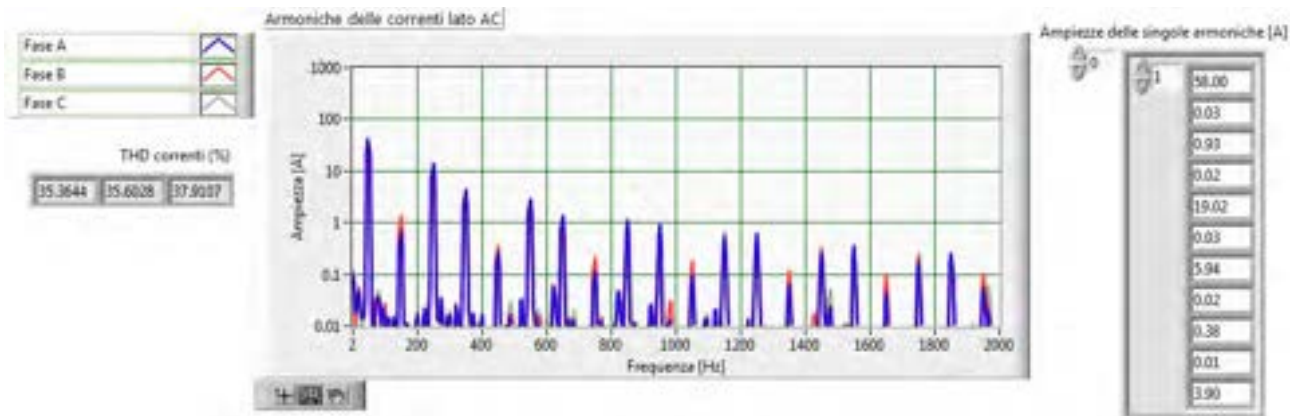


Fig.110 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica, stato di carica residua al 90.0 %.

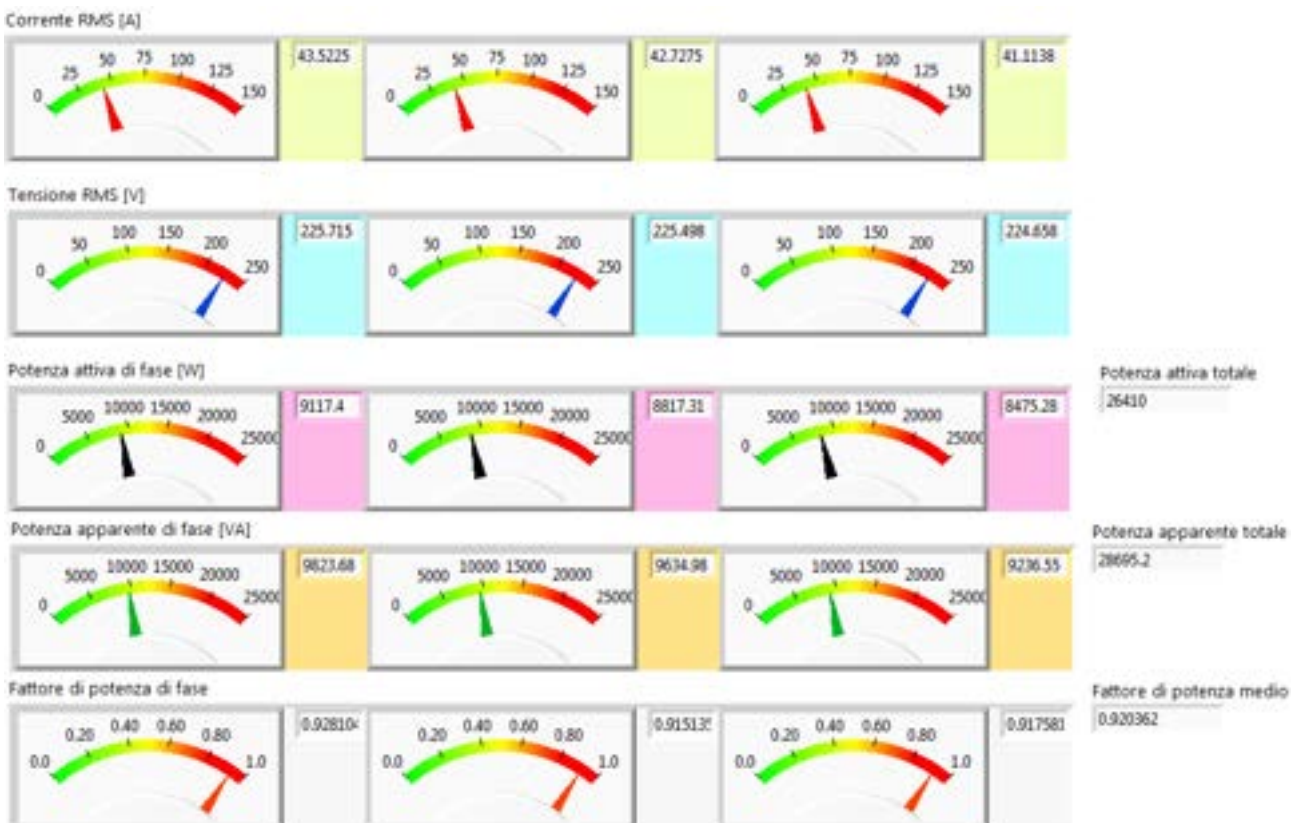


Fig.111– Misurazioni delle grandezze AC medie ed efficaci, stato di carica residua al 90.0 %.

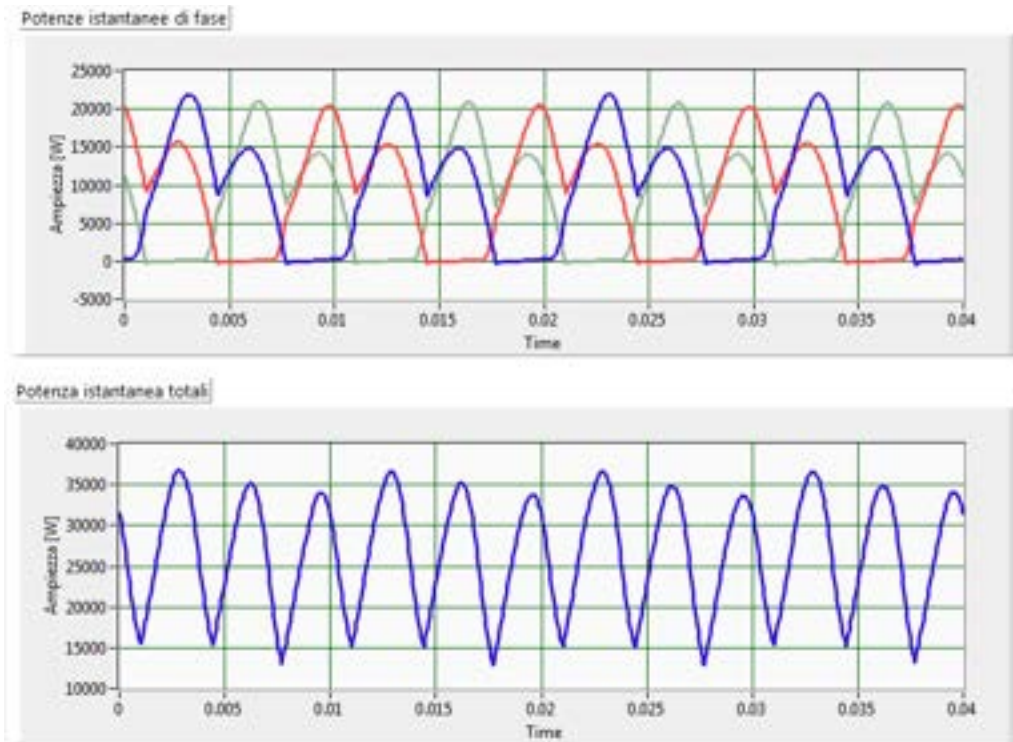


Fig.112 – Forme d’onda di potenza istantanea AC, stato di carica residua al 90.0 %.

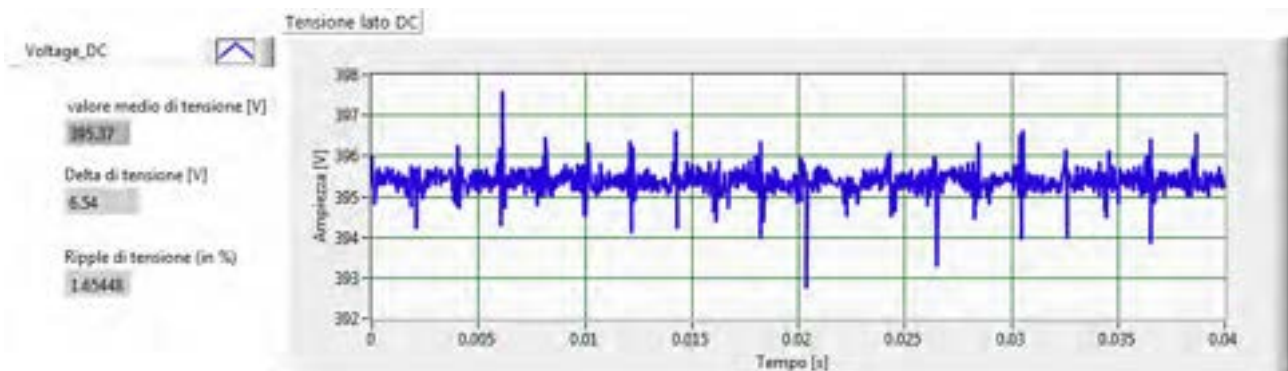


Fig.113 – Forme d’onda di tensione DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 90.0 %.

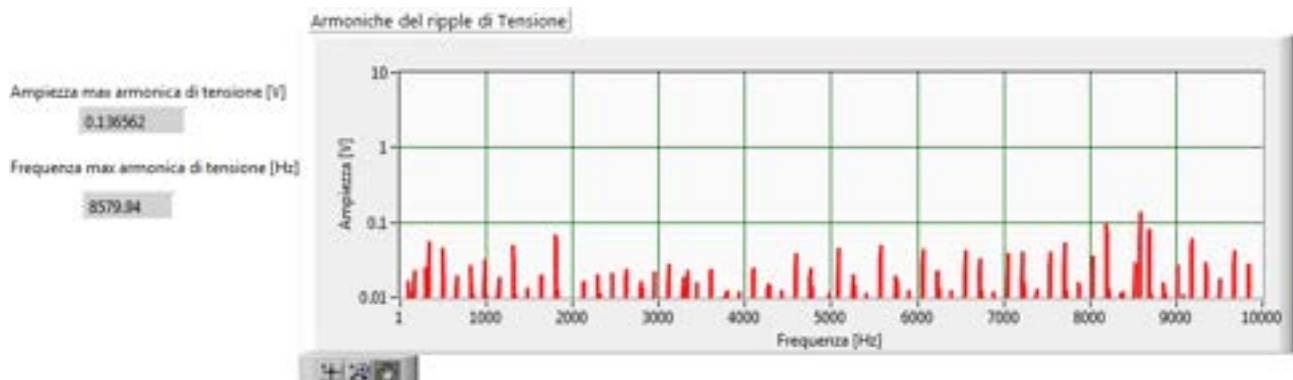


Fig.114– Forme d’onda di tensione DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 90.0 %.

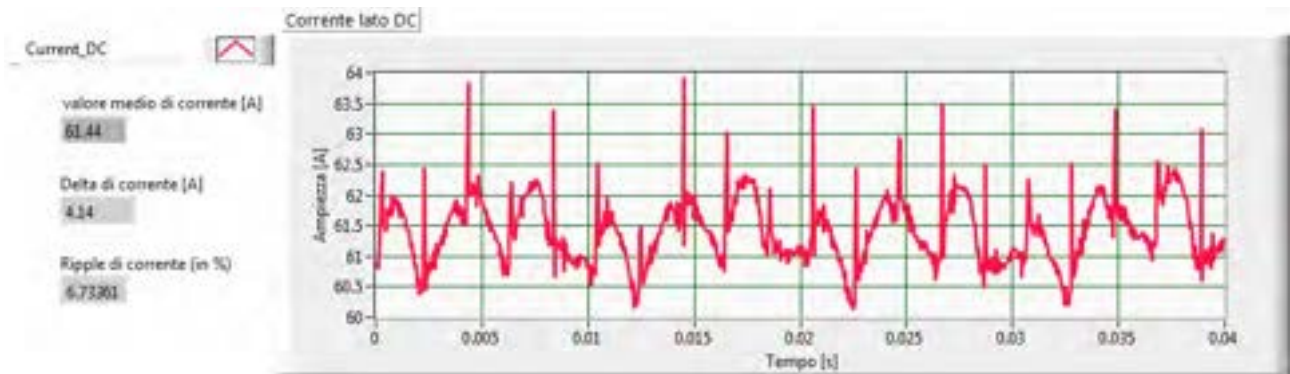


Fig.115 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio del tempo, stato di carica residua al 90.0 %.

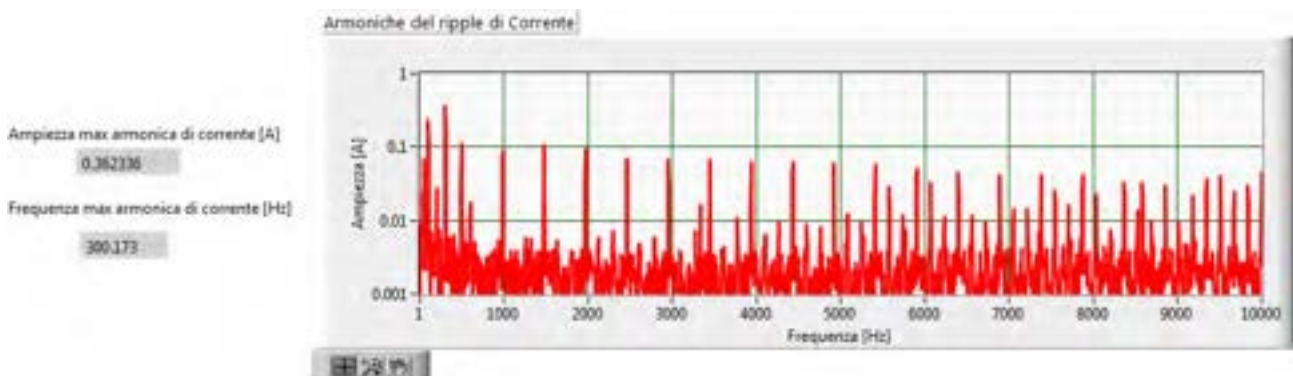


Fig.116 – Forme d’onda di corrente DC nel dominio della frequenza, stato di carica residua al 90.0 %.

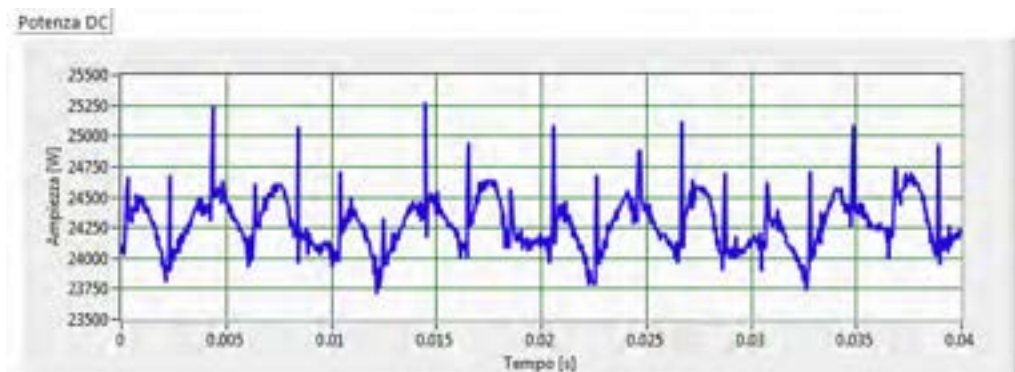


Fig.117 – Forma d’onda di potenza istantanea DC, stato di carica residua al 90.0 %.

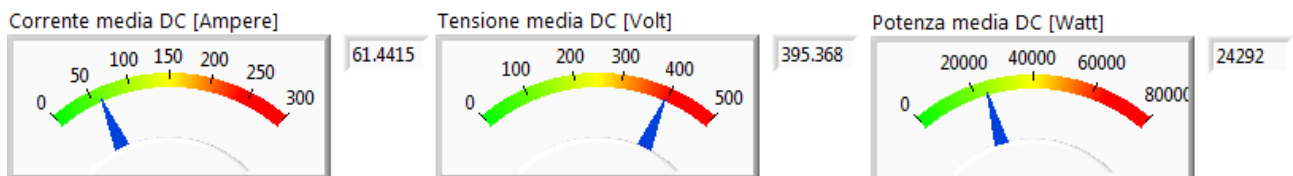


Fig.118 – Misurazioni delle grandezze DC medie, stato di carica residua al 90.0 %.

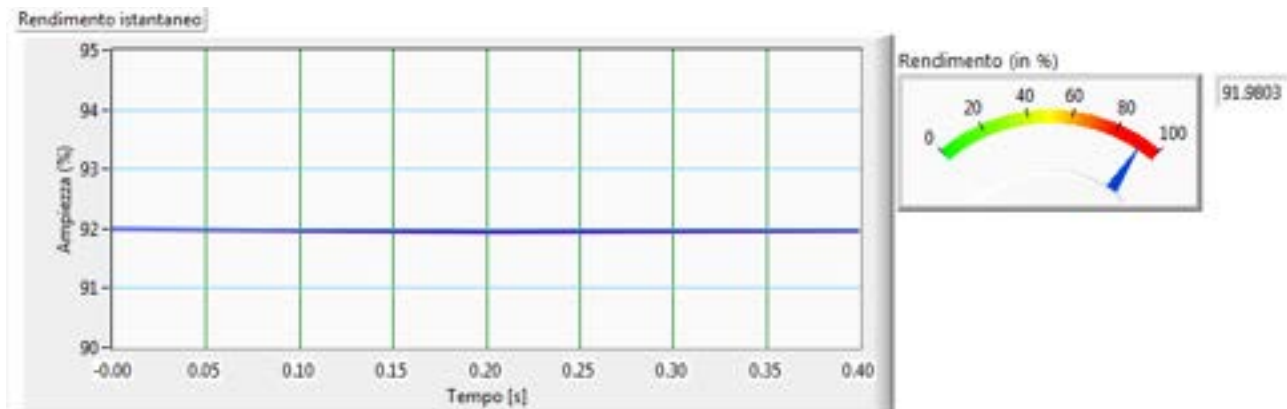


Fig.119– Rendimento, stato di carica residua al 90.0 %.

A commento dei risultati della prova, si evidenzia un incremento della distorsione armonica delle correnti, fino a più del 37%, dovuta alla riduzione della potenza erogata in seguito all'elevato valore di carica residua della batteria (90.0%). La potenza erogata è di 24292 W.

2.3.2 *Verifica delle prestazioni in condizioni dinamiche, con variazioni dell'assorbimento di potenza in condizioni di alimentazione costante (tensione DC costante), ed in condizioni di carico costante (corrente DC costante), con variazioni della tensione di alimentazione.*

Per questa tipologia di prove, sono rilevanti gli andamenti nel tempo dei valori istantanei delle grandezze, sia l'andamento dei valori medi ed efficaci durante i periodi transitori considerati.

Sono presentati dati elaborati su periodi di 200 ms, in accordo con la normativa IEC [22-28]; la visualizzazione delle forme d'onda nel dominio del tempo è relativa a periodi di 40 ms per una migliore lettura dei grafici.

I risultati sono presentati nel seguente ordine, in ciascun paragrafo:

- a) Forme d'onda di tensione AC nel dominio del tempo
- b) Forme d'onda di tensione AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica
- c) Forme d'onda di corrente AC nel dominio del tempo
- d) Forme d'onda di corrente AC nel dominio della frequenza e distorsione armonica
- e) Forme d'onda di potenza istantanea AC
- f) Forma d'onda della tensione DC nel dominio del tempo
- g) Forma d'onda della corrente DC nel dominio del tempo
- h) Forma d'onda di potenza istantanea DC

2.3.2.1 Prova con sistema di conversione a vuoto



Fig.120 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione a vuoto

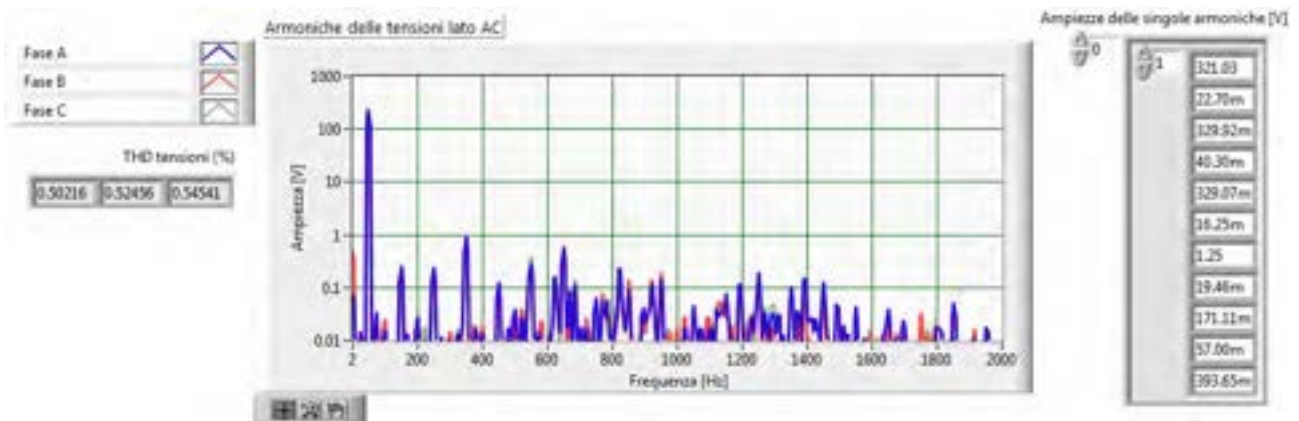


Fig.121 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione a vuoto

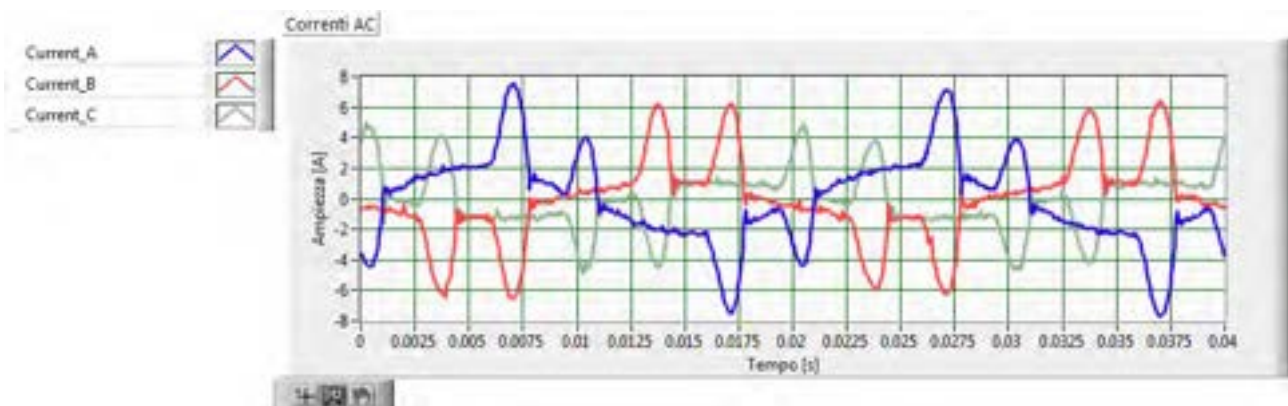


Fig.122 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione a vuoto

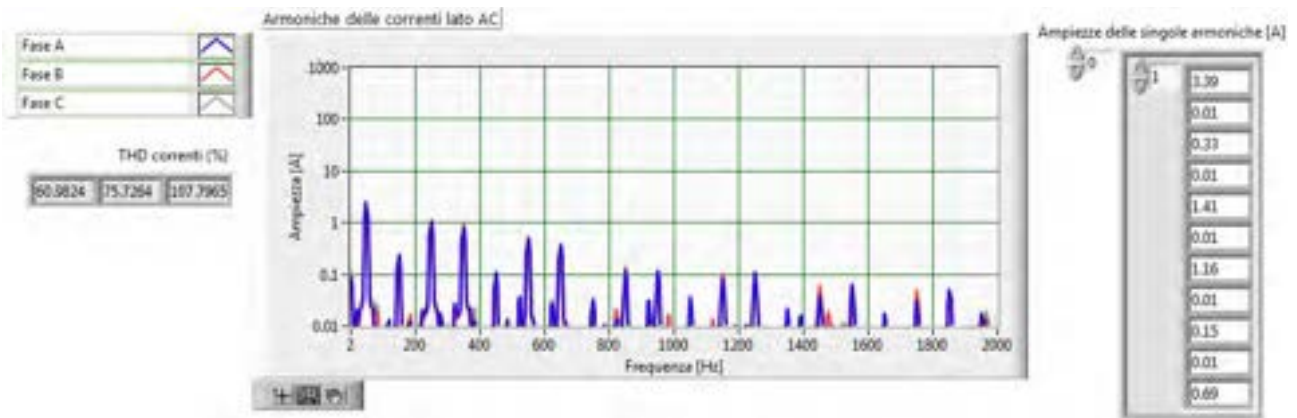


Fig.122 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione a vuoto

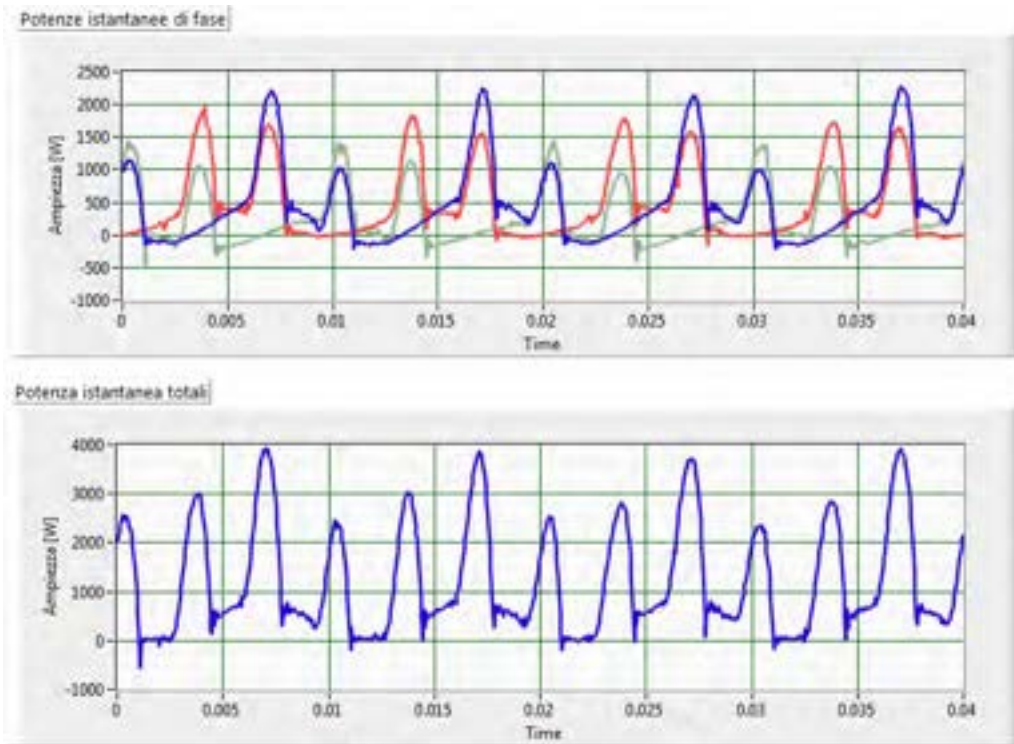


Fig.123 – Forme d’onda di potenza istantanea AC, con sistema di conversione a vuoto

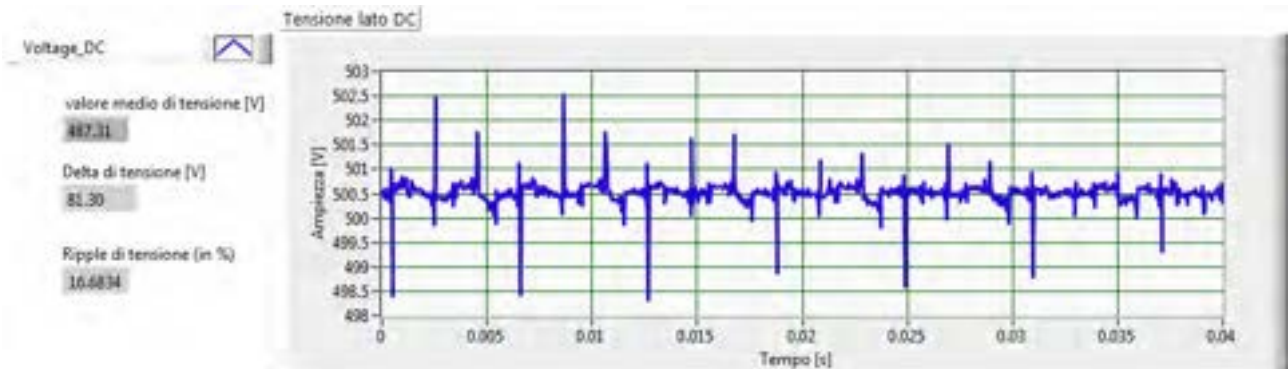


Fig.124 – Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione a vuoto

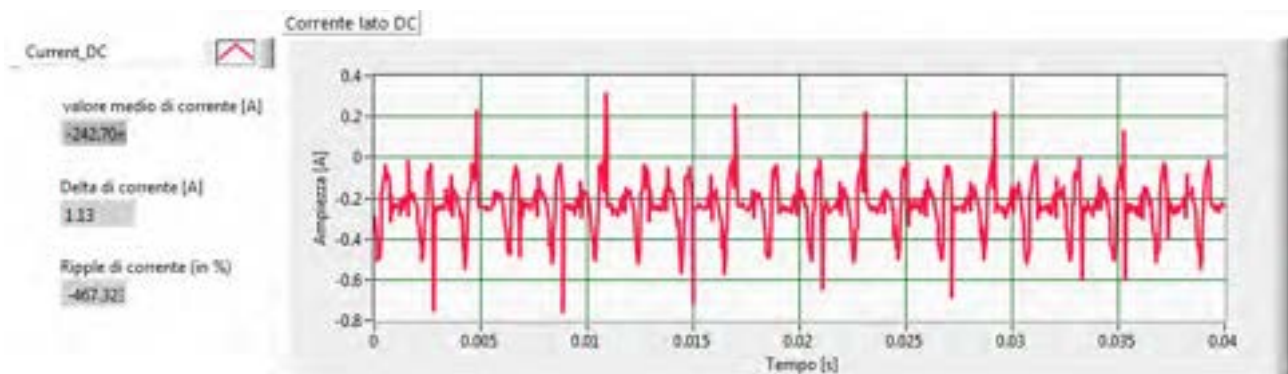


Fig.125– Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione a vuoto

A commento dei risultati della prova, si evidenzia l’elevata distorsione armonica, che supera il 100% con evidente difformità tra le correnti, i cui THD% sono: 60.98, 75.72 e 107.95 con valori di picco delle correnti che superano 7 A. Questi valori di distorsione armonica possono indurre transitori nella rete elettrica cui il sistema di conversione è collegato [22,23].

2.3.2.2 Prova con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)

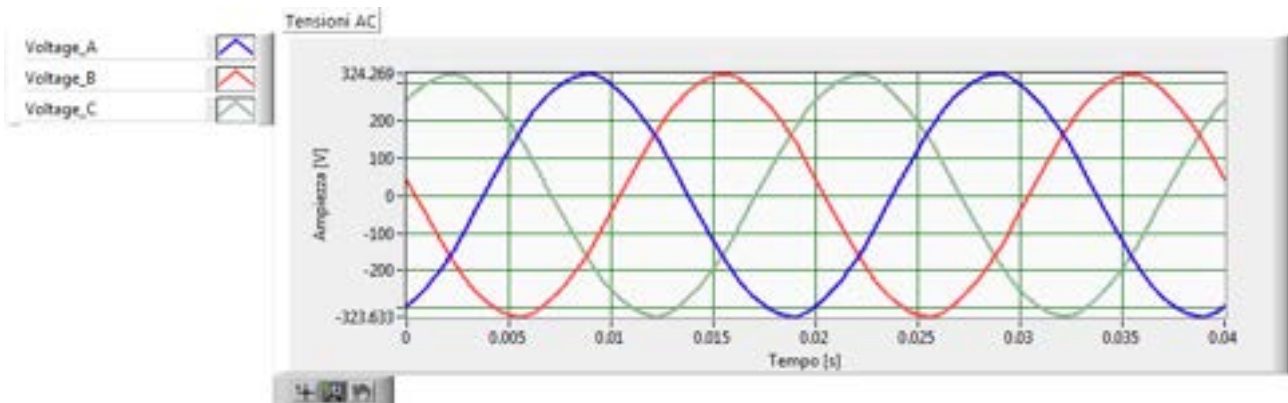


Fig.126 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

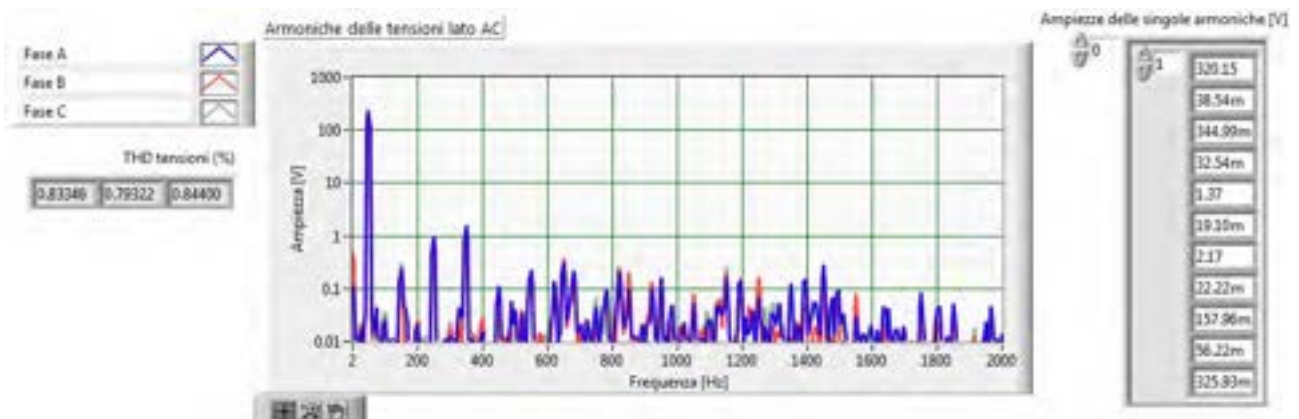


Fig.127 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione a vuoto

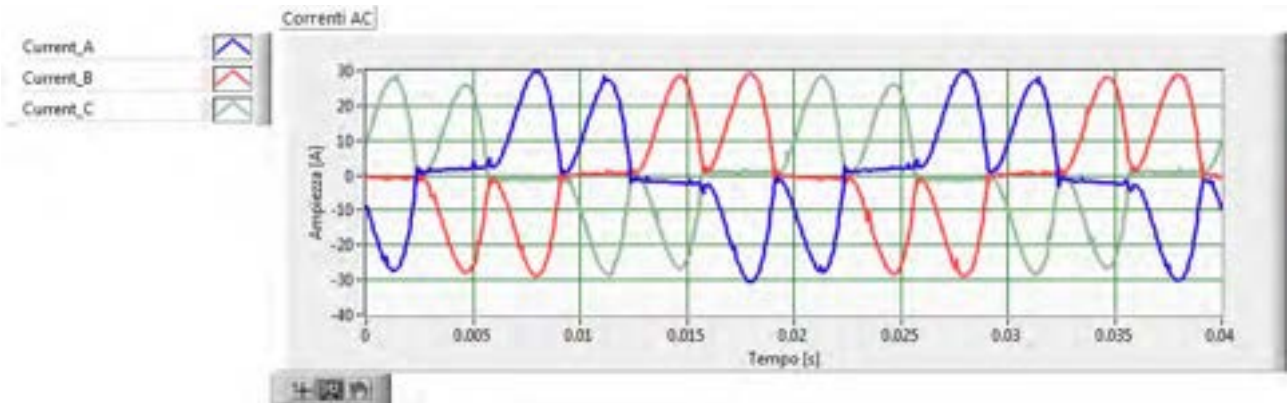


Fig.128 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

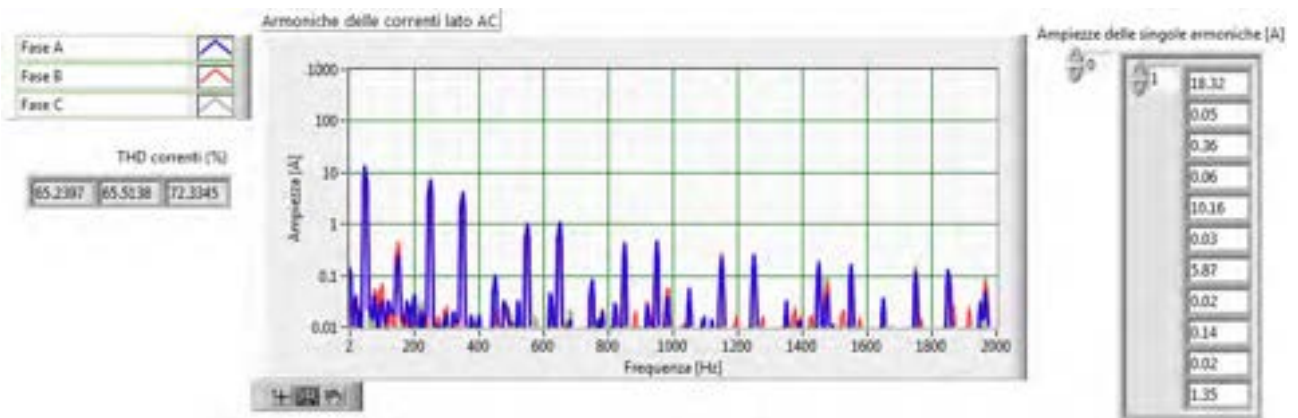


Fig.129 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

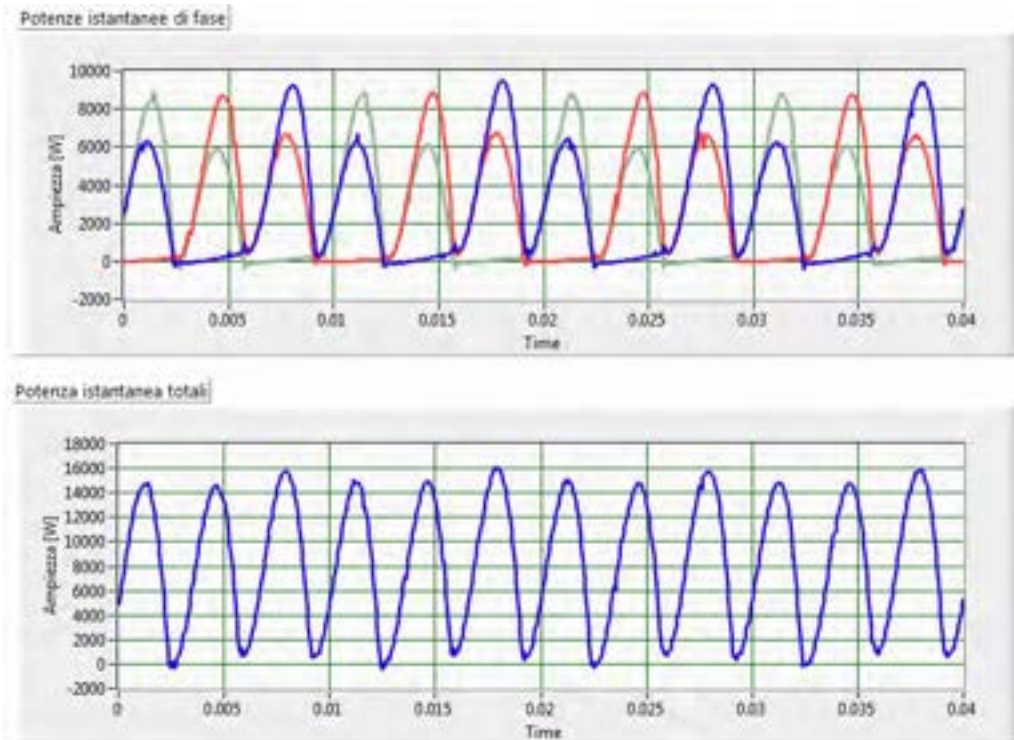


Fig.130 – Forme d’onda di potenza istantanea AC, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

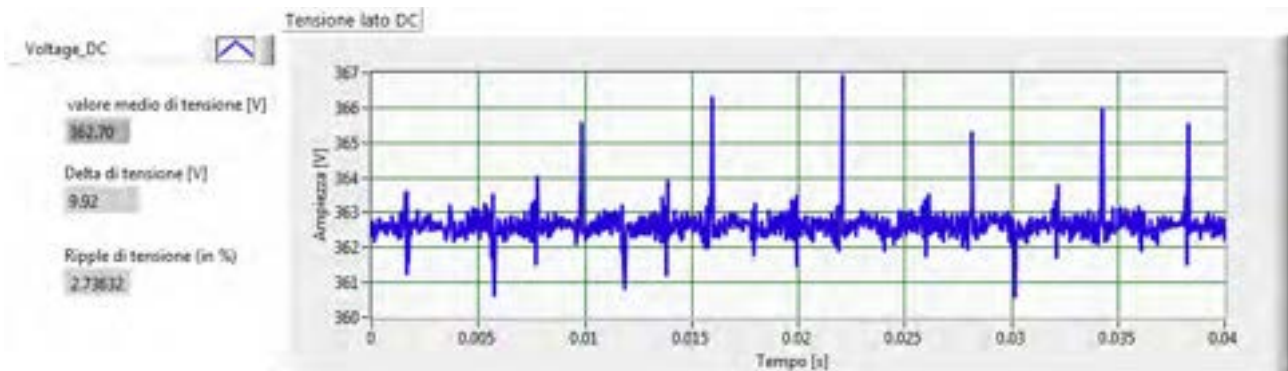


Fig.131 – Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

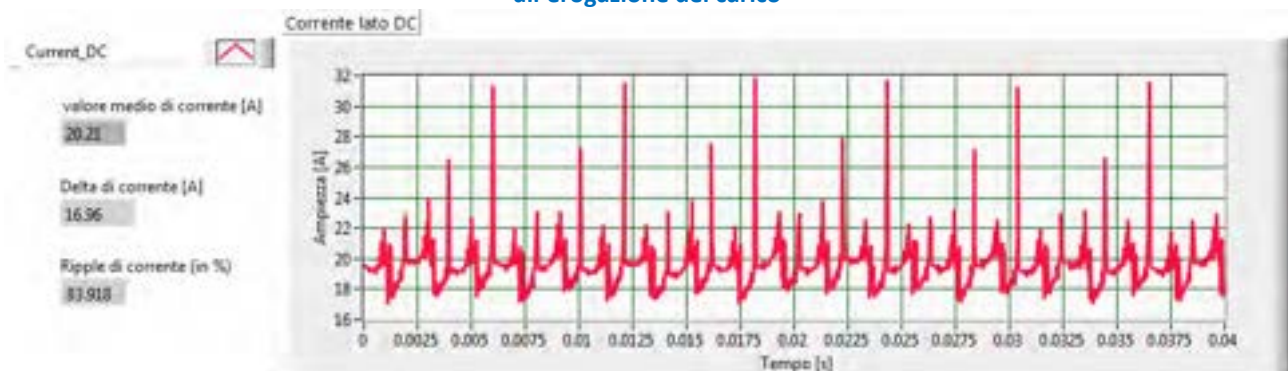


Fig.132– Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in transitorio di avvio all’erogazione del carico

A commento dei risultati della prova, si osserva che durante il transitorio di avvio del sistema di conversione, si ottengono valori di distorsione armonica delle correnti dell’ordine del 70%, con elevati spike di corrente DC che possono essere dell’80% del valore medio.

2.3.2.3 Prova con sistema di conversione in modalità di funzionamento a corrente erogata costante, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)

I risultati della prova considerata sono del tutto equivalenti a quelli riportati nel caso 2.3.1.1 “Prova con stato di carica residua al 28.1 %”, i cui risultati sono riportati nelle figure da 81 a 93.

2.3.2.4 Prova con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante, stato di carica residua al 28.1% (condizione più onerosa)

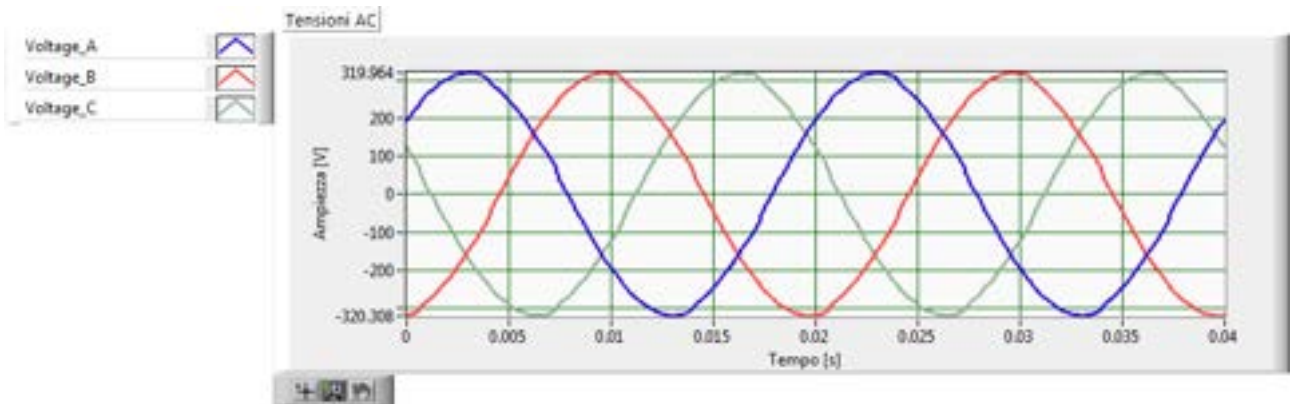


Fig.133 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

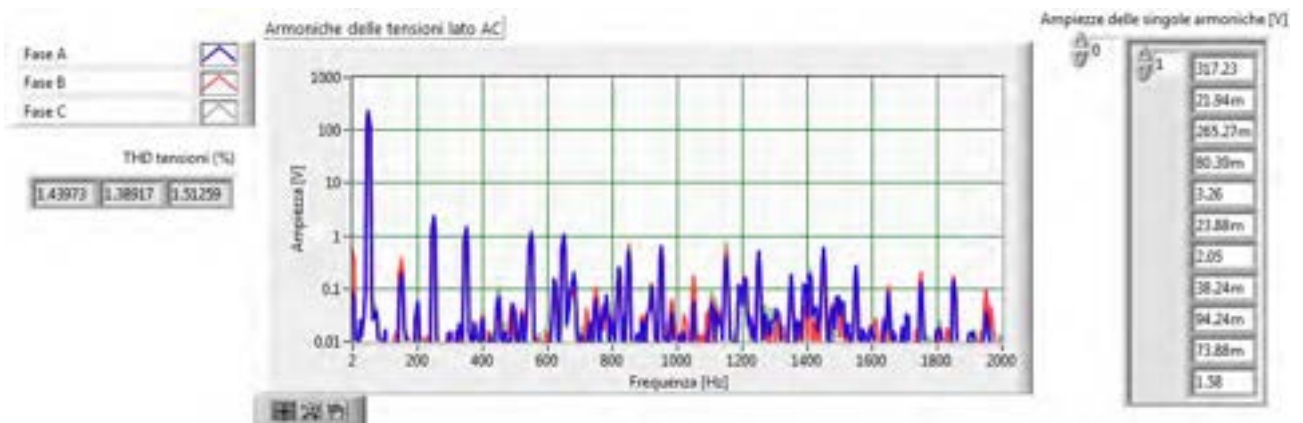


Fig.134 – Forme d’onda di tensione AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

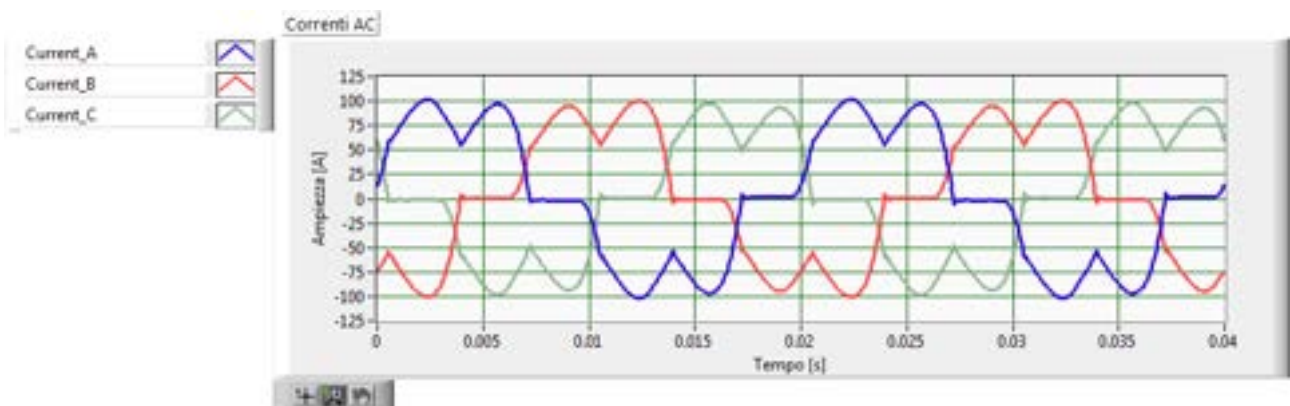


Fig.135– Forme d’onda di corrente AC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

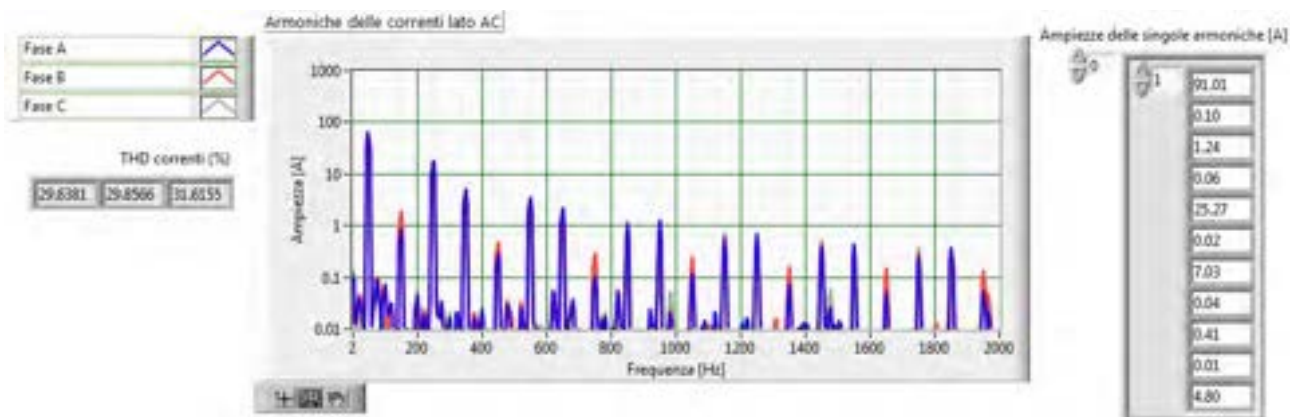


Fig.136 – Forme d’onda di corrente AC nel dominio della frequenza, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

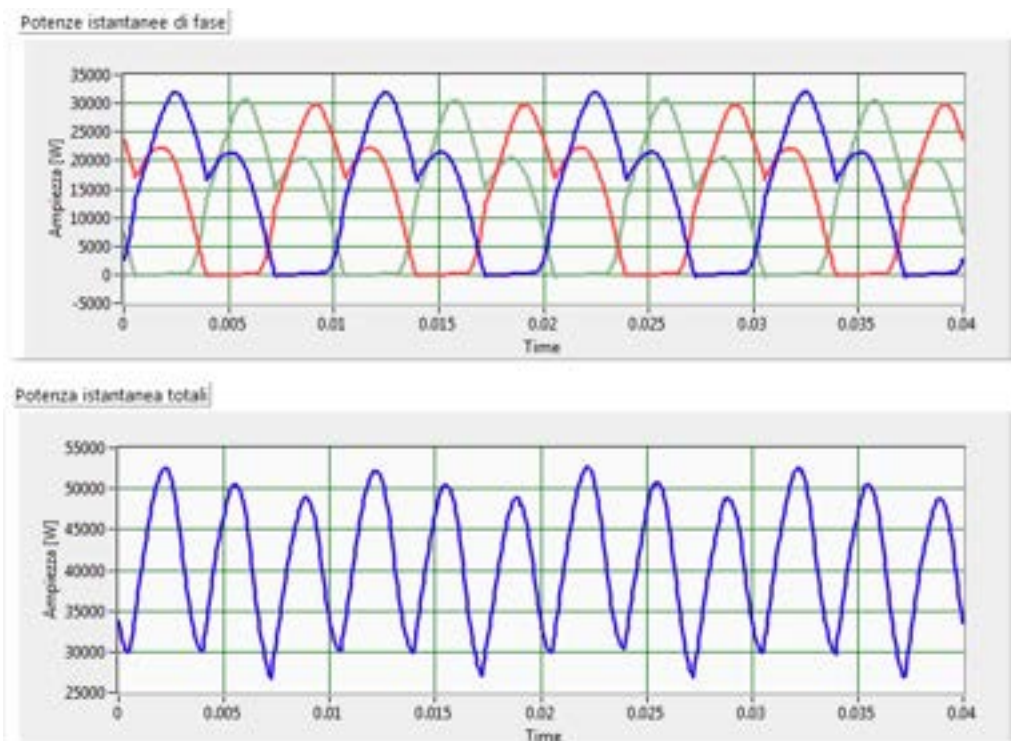


Fig.137 – Forme d’onda di potenza istantanea AC, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

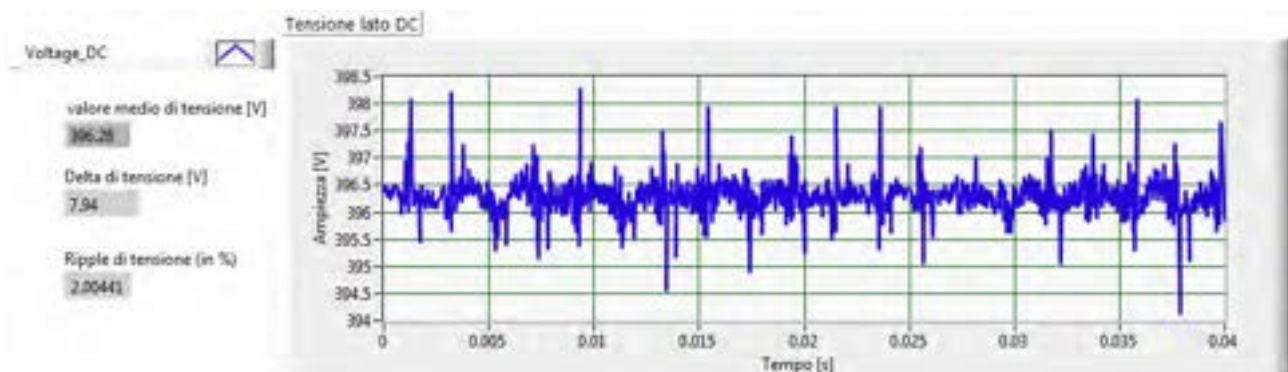


Fig.138 – Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

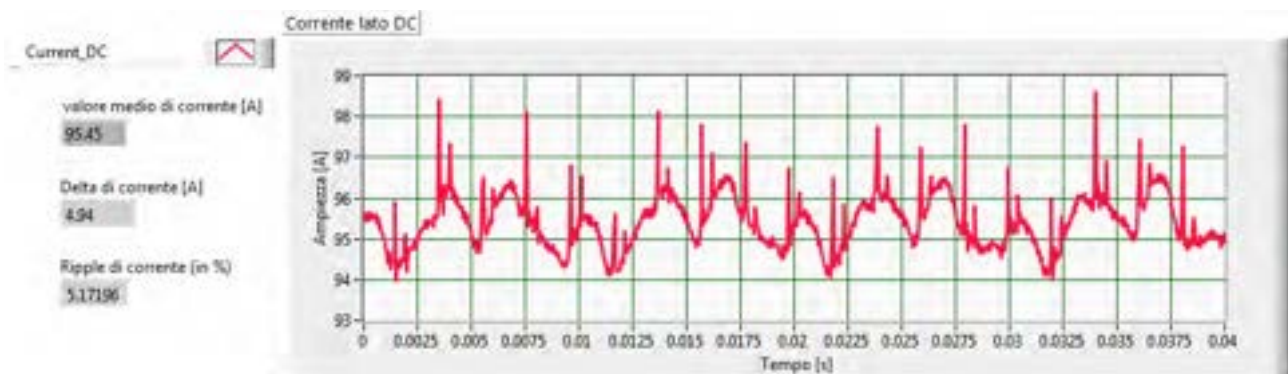


Fig.139– Forme d’onda della tensione DC nel dominio del tempo, con sistema di conversione in modalità di funzionamento a tensione erogata costante

A commento dei risultati della prova, si può evidenziare che la riduzione del valore della potenza erogata corrisponde ad un progressivo deterioramento della forma d’onda delle correnti AC, con incremento della distorsione armonica tendente al caso illustrato nel paragrafo 2.3.2.1.

2.3.3 Verifica delle prestazioni complessive, durante il processo di ricarica con analisi dei dati focalizzata alla visualizzazione degli andamenti complessivi nel tempo (condizioni realistiche).

I risultati presentati nelle pagine seguenti sono stati ottenuti mediante tre acquisizioni, effettuate con condizioni di carica iniziale differenti delle batterie (28.1, 54.9 e 90.0%). I dati sono presentati in modo da poter valutare l’andamento complessivo delle grandezze medie ed efficaci in uscita ed in ingresso, durante i processi di ricarica ed in modo completo. Sono stati rilevati manualmente i dati riportati sul display del sistema di conversione. I dati sono stati organizzati in tre sezioni, in cui sono riportati nella sequenza:

Dati riportati sul display del sistema di carica

Grandezze in USCITA dal convertitore del sistema di carica rapida (lato DC)

- a) Tensione lato DC
- b) Corrente lato DC
- c) Tensione e corrente lato DC per confronto degli andamenti temporali
- d) Potenza lato DC
- e) Energia erogata
- f) Rendimento di conversione
- g) Rendimento / potenza DC erogata

Grandezze in Ingresso al convertitore del sistema di carica rapida (lato AC)

- h) Potenza attiva
- i) Potenza apparente
- j) Fattore di potenza medio delle tre fasi
- k) Tensioni efficaci
- l) Correnti efficaci
- m) Distorsione armonica delle tensioni
- n) Andamento delle componenti armoniche di tensione nel tempo
- o) Distorsione armonica delle correnti
- p) Andamento delle componenti armoniche di corrente nel tempo

- q) Potenze attive di fase
- r) Potenze apparenti di fase
- s) Fattori di potenza
- t) Andamento delle componenti di potenza attiva nel tempo

2.3.3.1 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

L'acquisizione è stata effettuata in data 20/08/2013 alle ore 12:22; durante l'esecuzione della prova sono stati rilevati i valori sul display del sistema di carica Tab. 8.

Tab. 8 Dati riportati sul display del sistema di ricarica con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Orario	Energia erogata [kWh]	Tempo stimato per fine carica [min]	Stato di carica della batteria [%]
12:22	0	45	28.1
12:27	2.8	41	40.7
12:32	6.1	37	55.3
12:37	8.7	32	68.5
12:42	10.5	27	78.6
12:47	11.8	22	86.2
12:50	12.3	0	90

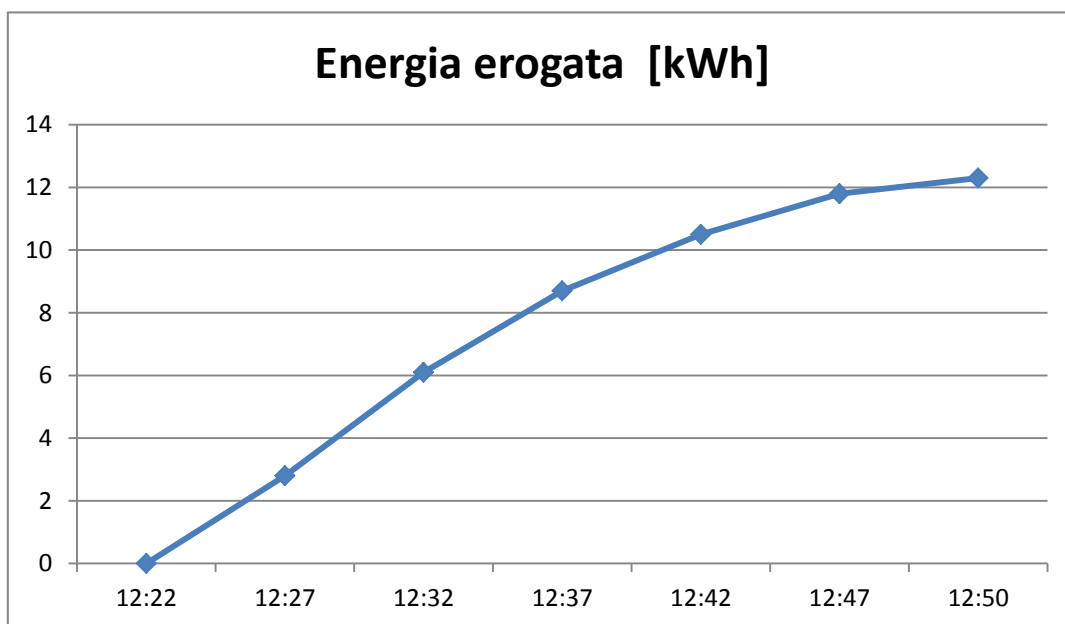


Fig.140– Andamento dell'energia erogata – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

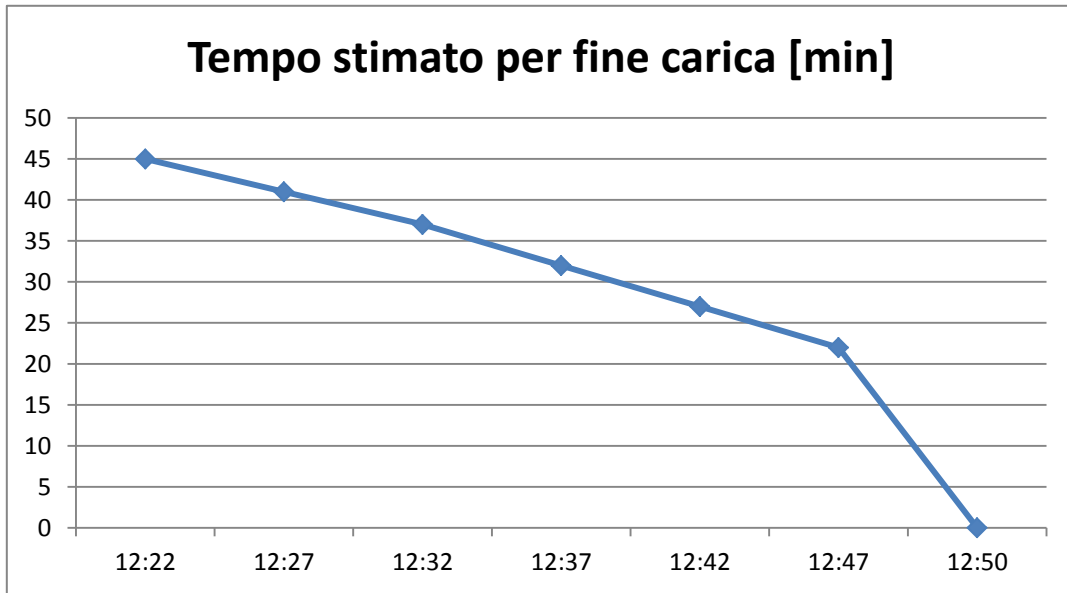


Fig.141– Andamento del tempo di carica stimato – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

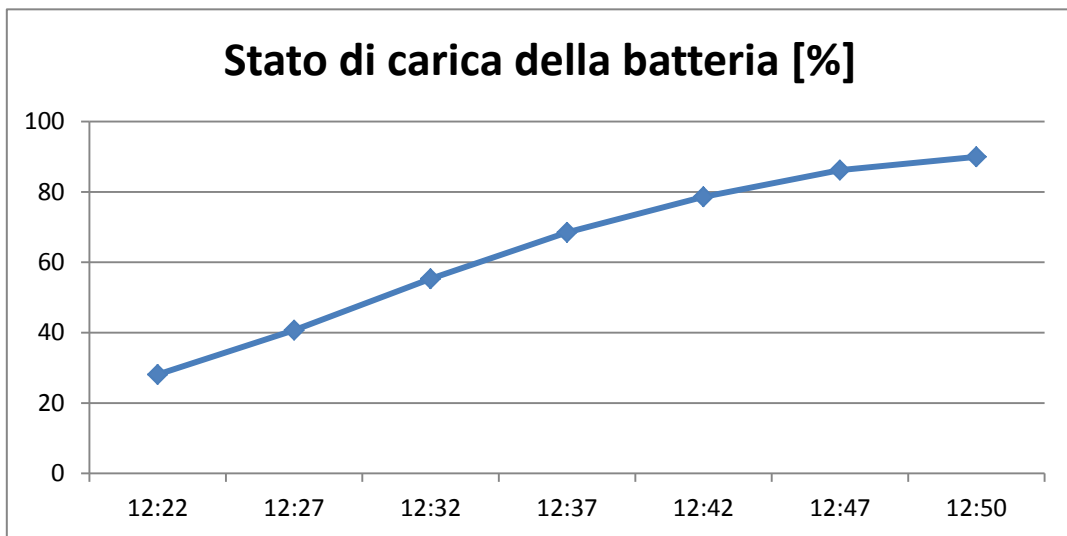


Fig.142– Andamento dello stato di carica – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

Tensione DC in uscita

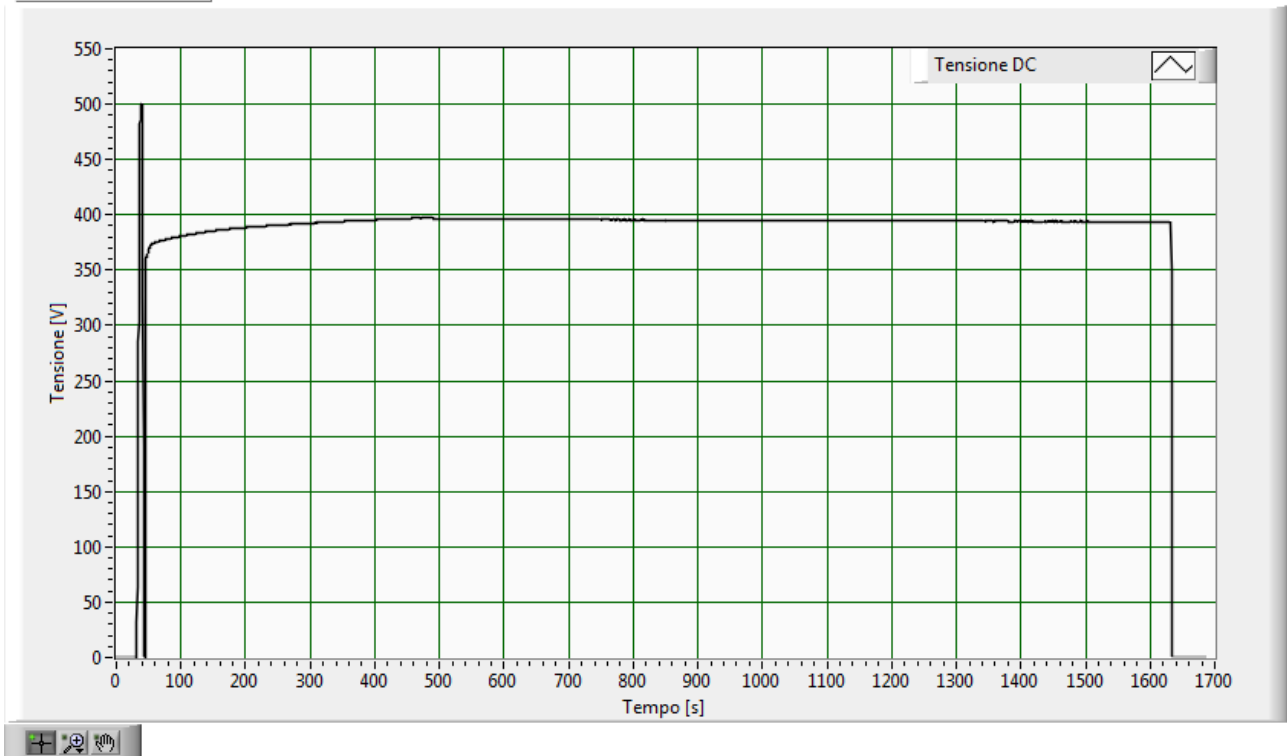


Fig.143 –Andamento della tensione DC di uscita con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Corrente DC in uscita

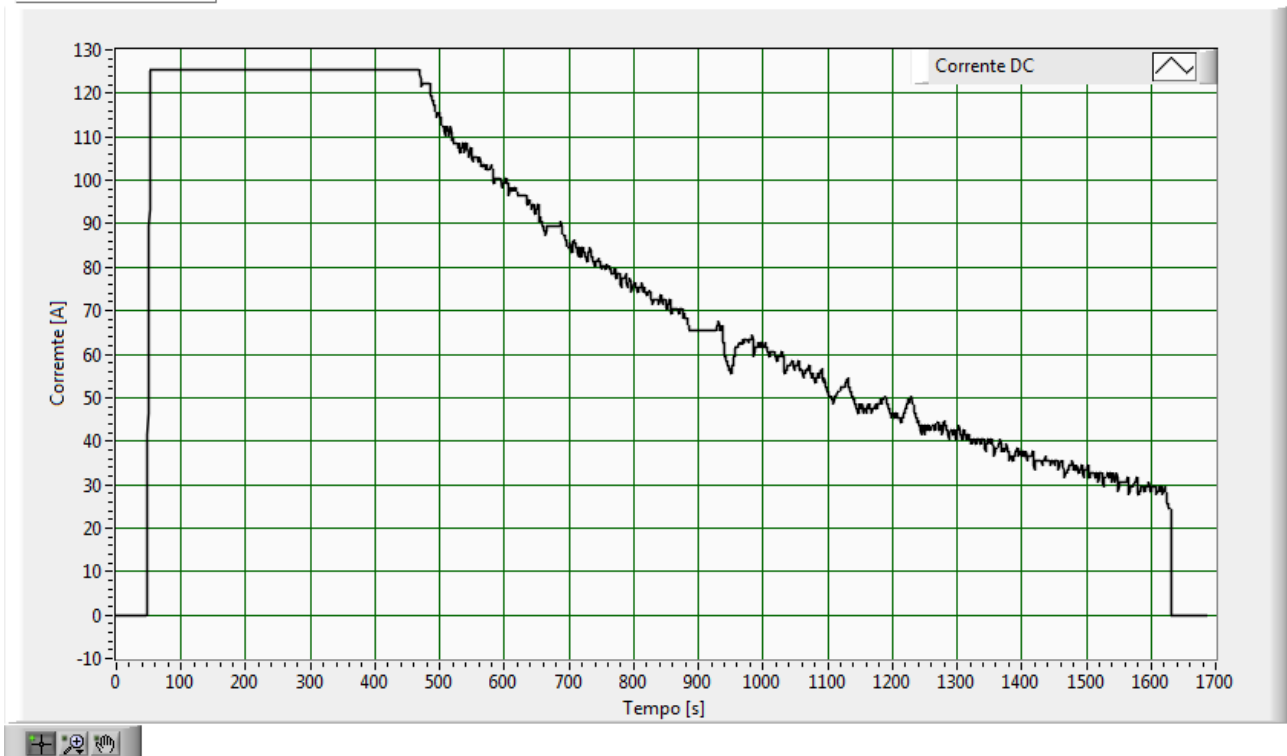


Fig.144–Andamento della corrente DC di uscita con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

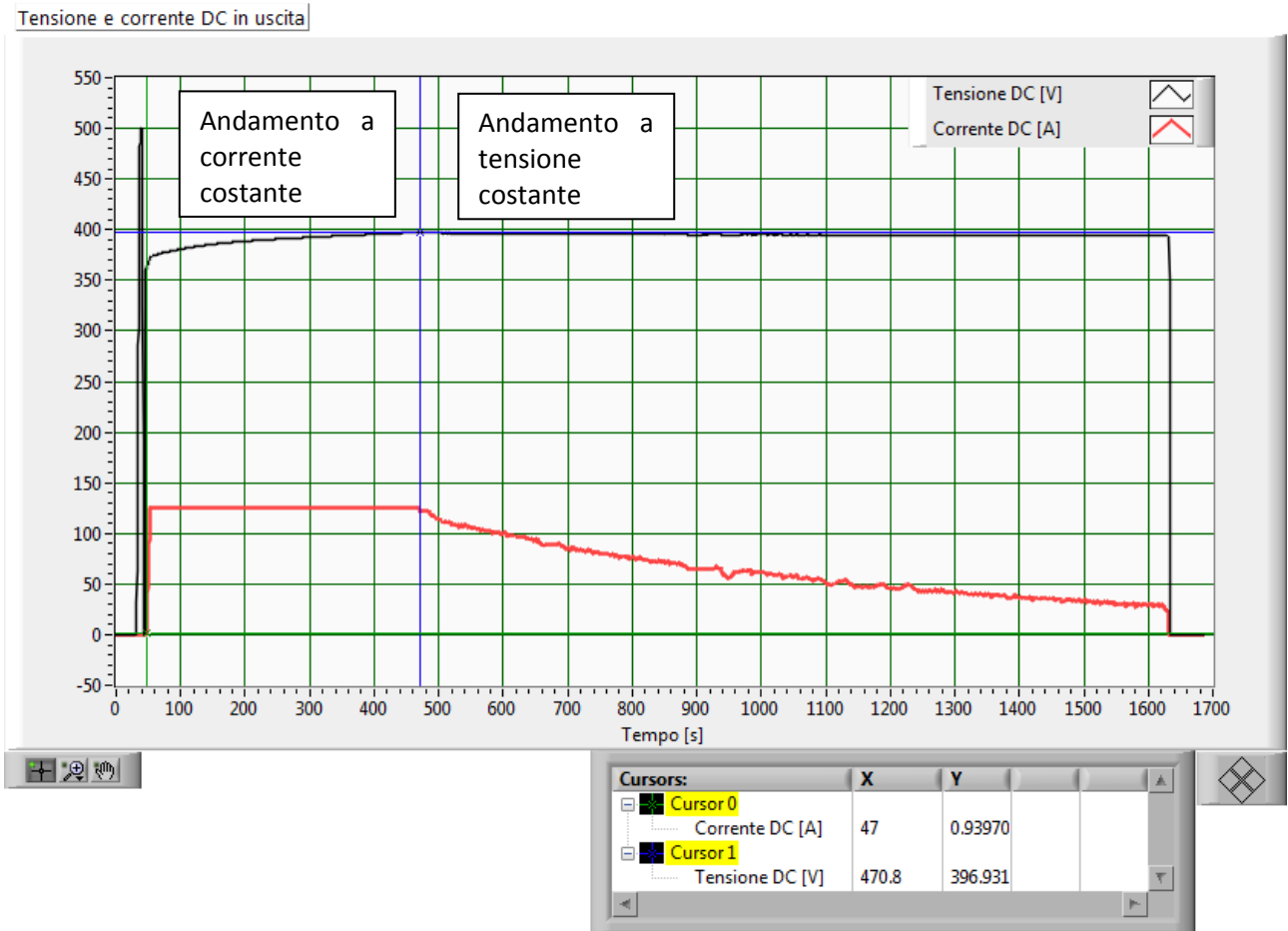


Fig.145 - Andamento della tensione e della corrente lato DC per confronto degli andamenti temporali DC di uscita con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

La durata del funzionamento a corrente costante è stimabile in 423 s; successivamente entra in funzione la modalità di funzionamento a tensione costante.

Potenza DC in uscita

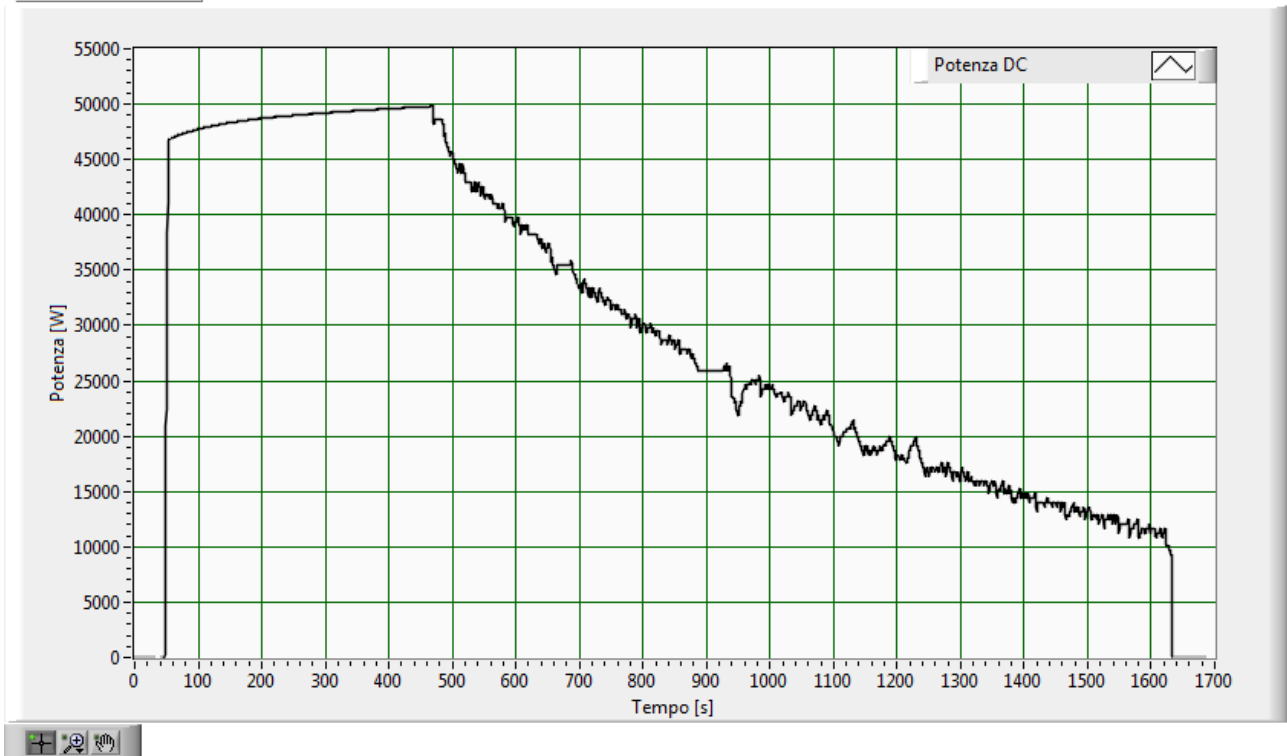


Fig.146–Andamento della potenza DC di uscita con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Il valore complessivo misurato dell'energia erogata durante la carica è di 13.54 kWh.

Energia erogata

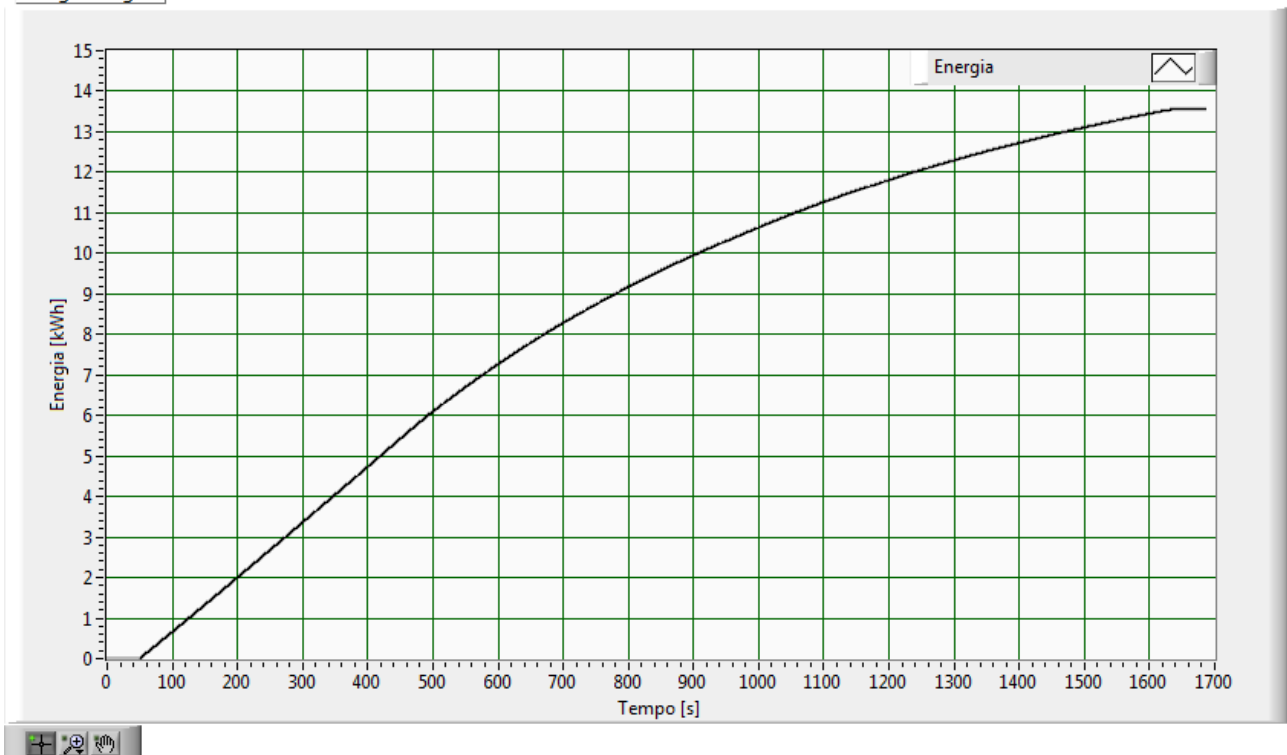


Fig.147–Andamento della energia erogata uscita con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

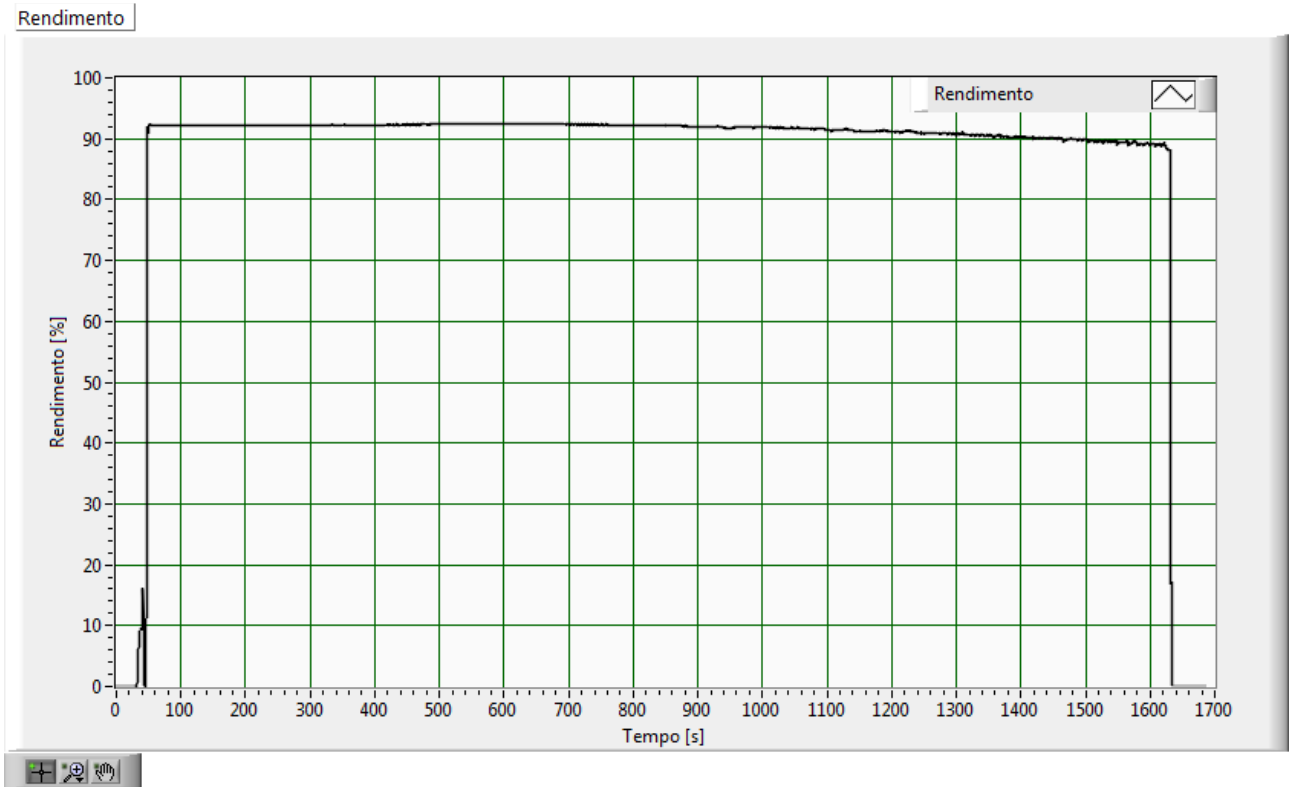


Fig.148–Andamento del rendimento di conversione con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

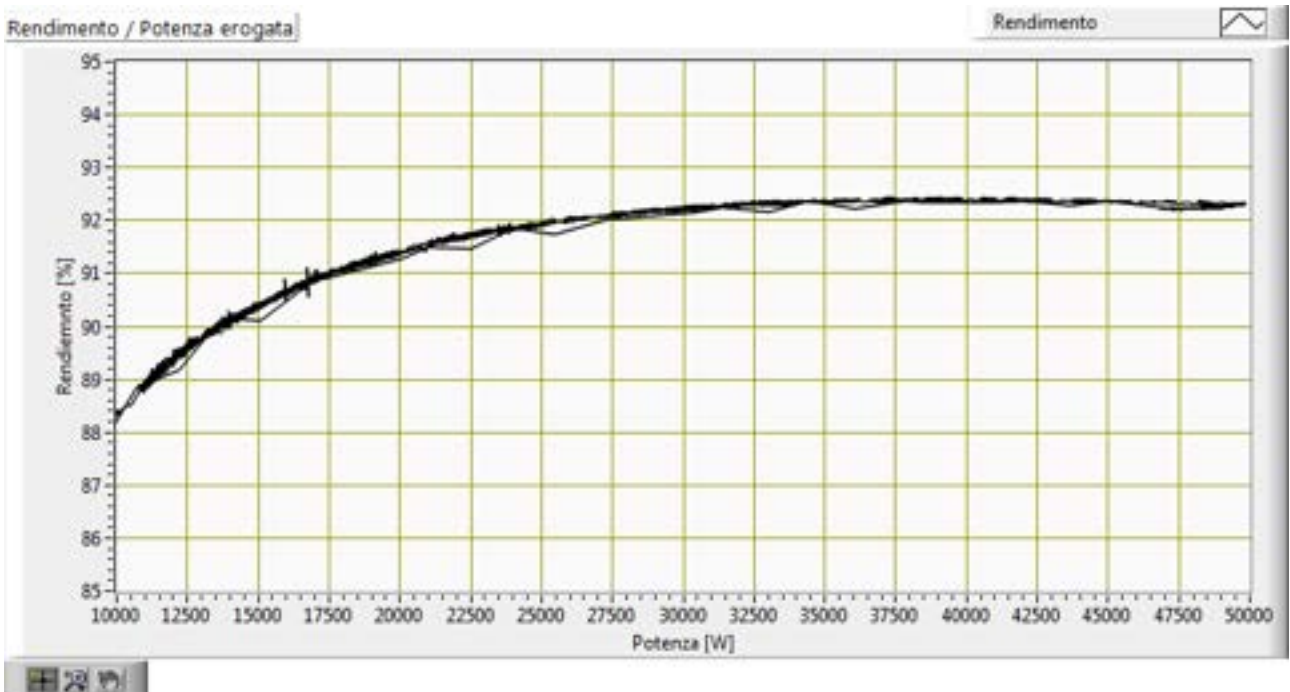


Fig.149–Andamento del rendimento in funzione della potenza erogata con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Nel grafico in Fig. 149 non sono riportati i valori di rendimento corrispondenti a potenza erogata minori di 10000 W, per la presenza di dati non significativi dovuti a fenomeni transitori.

Potenza attiva AC in ingresso

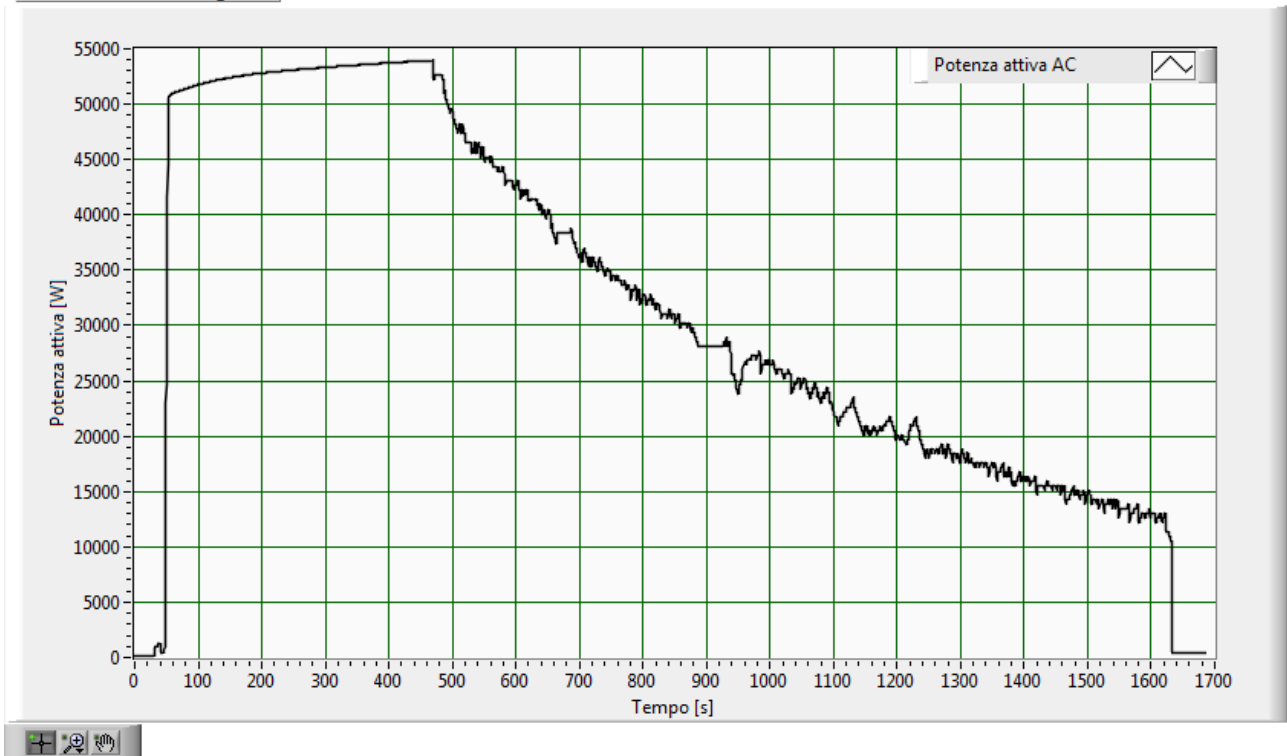


Fig.150–Andamento della potenza attiva AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Potenza apparente AC in ingresso

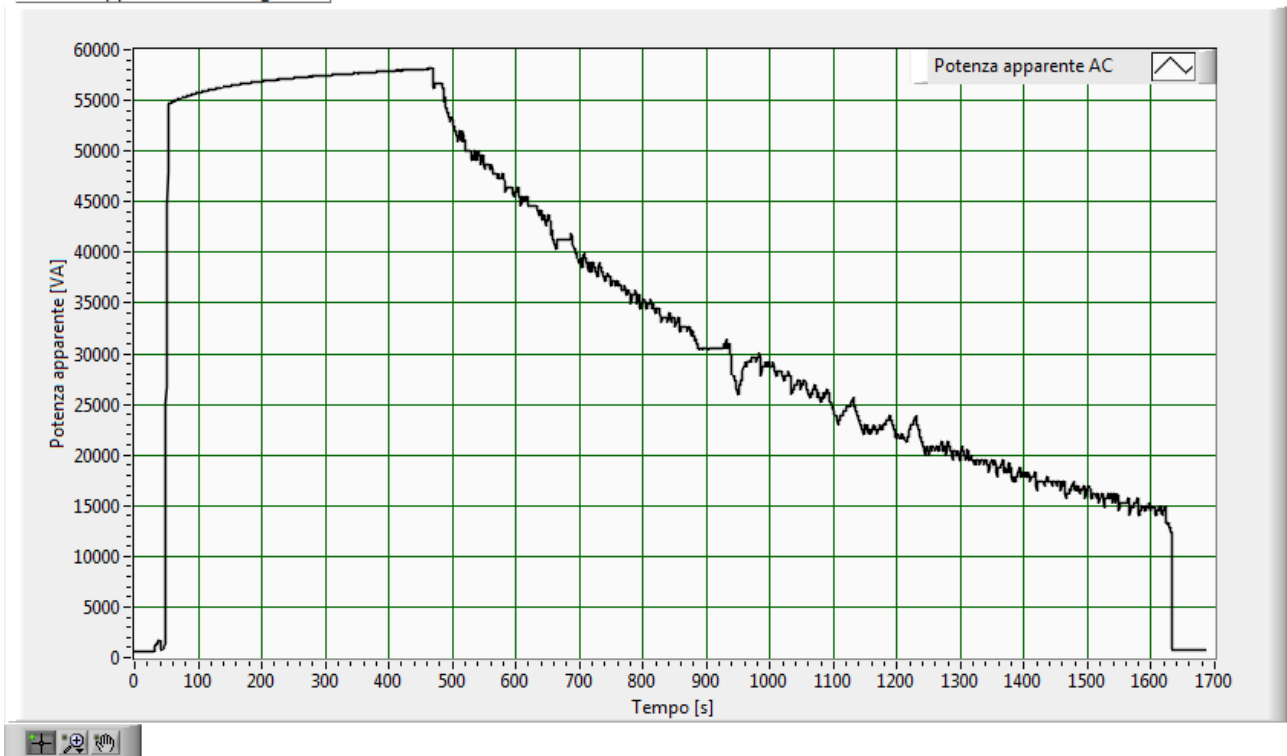


Fig.151–Andamento della potenza apparente AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

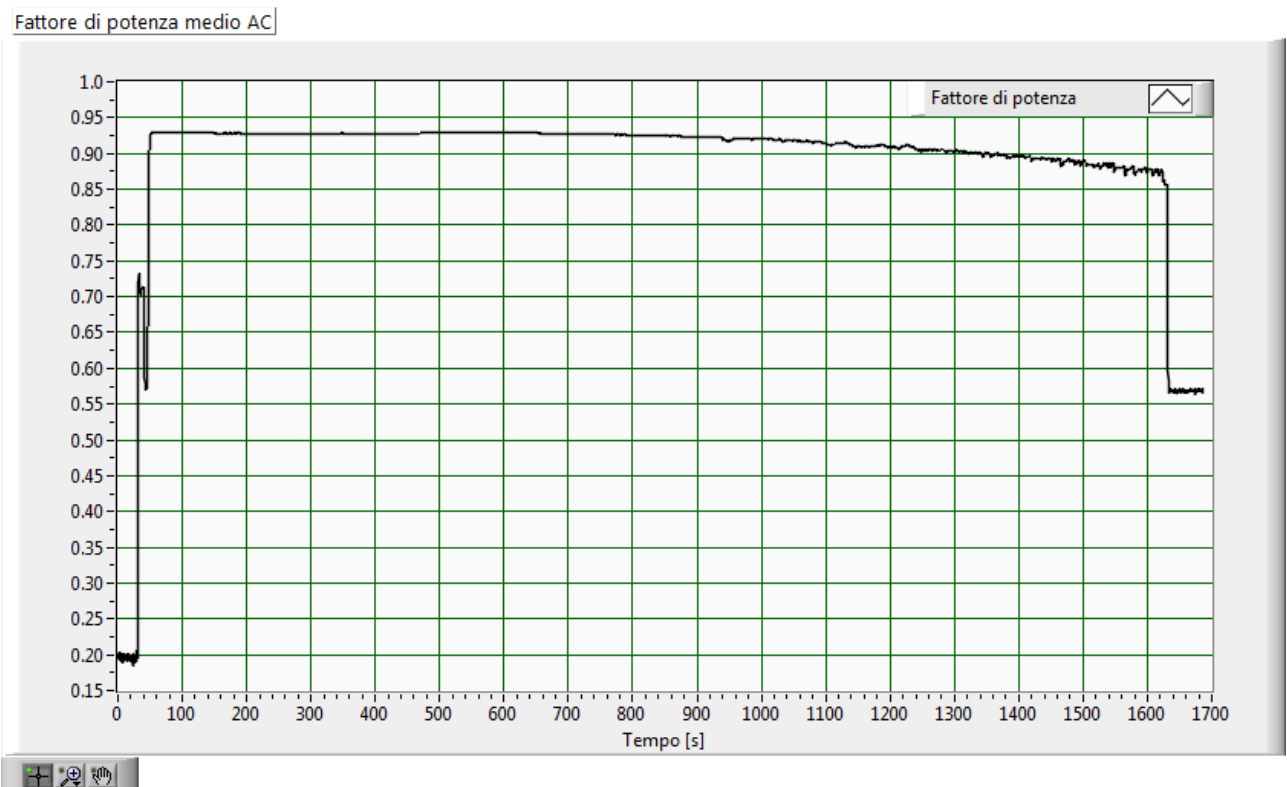


Fig.152–Andamento del fattore di potenza medio AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

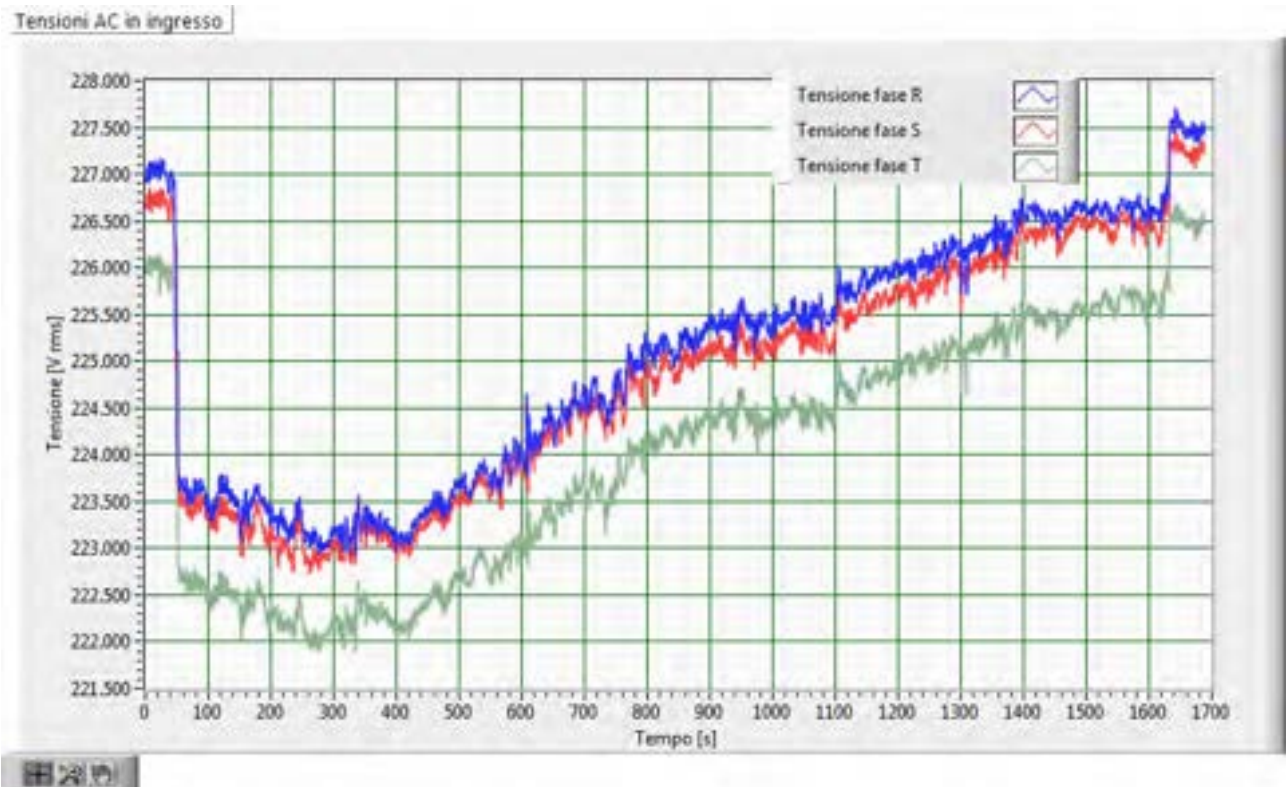


Fig.153–Andamento delle tensioni efficaci AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

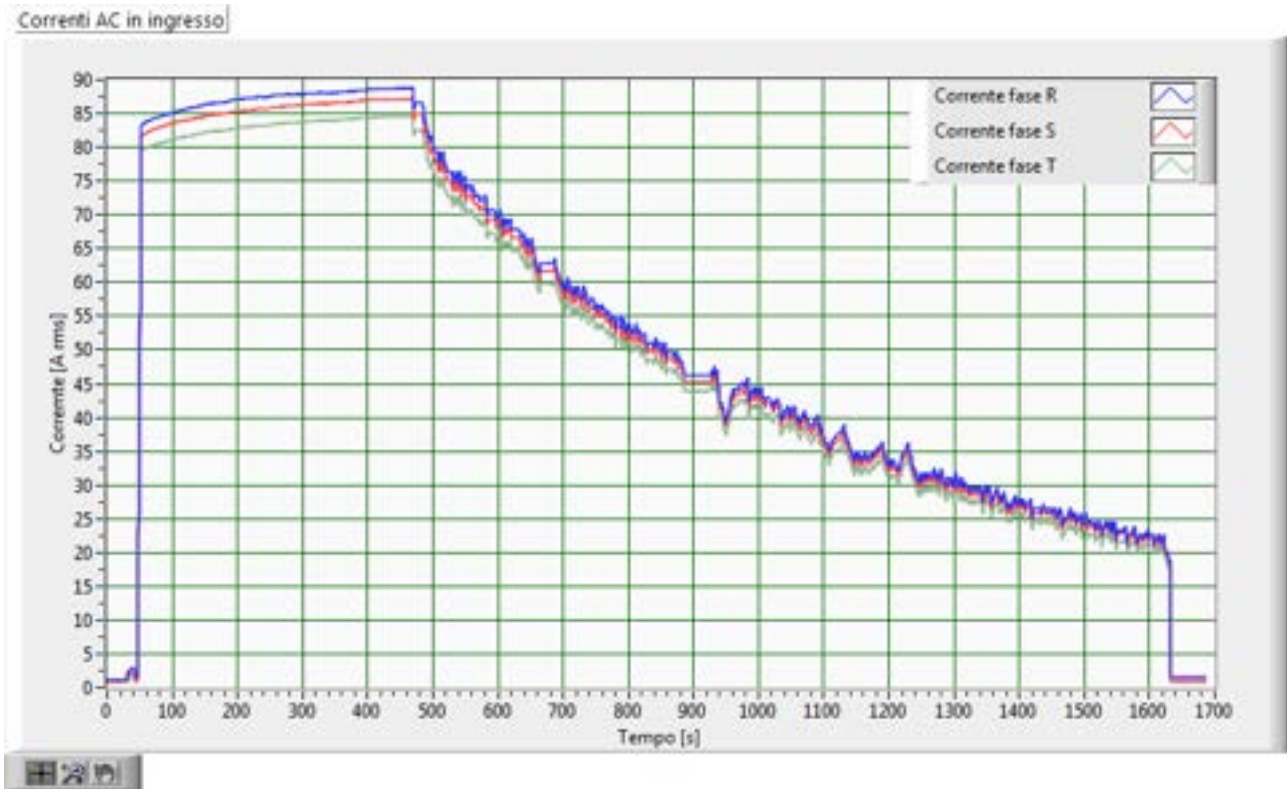


Fig.154–Andamento delle correnti efficaci AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

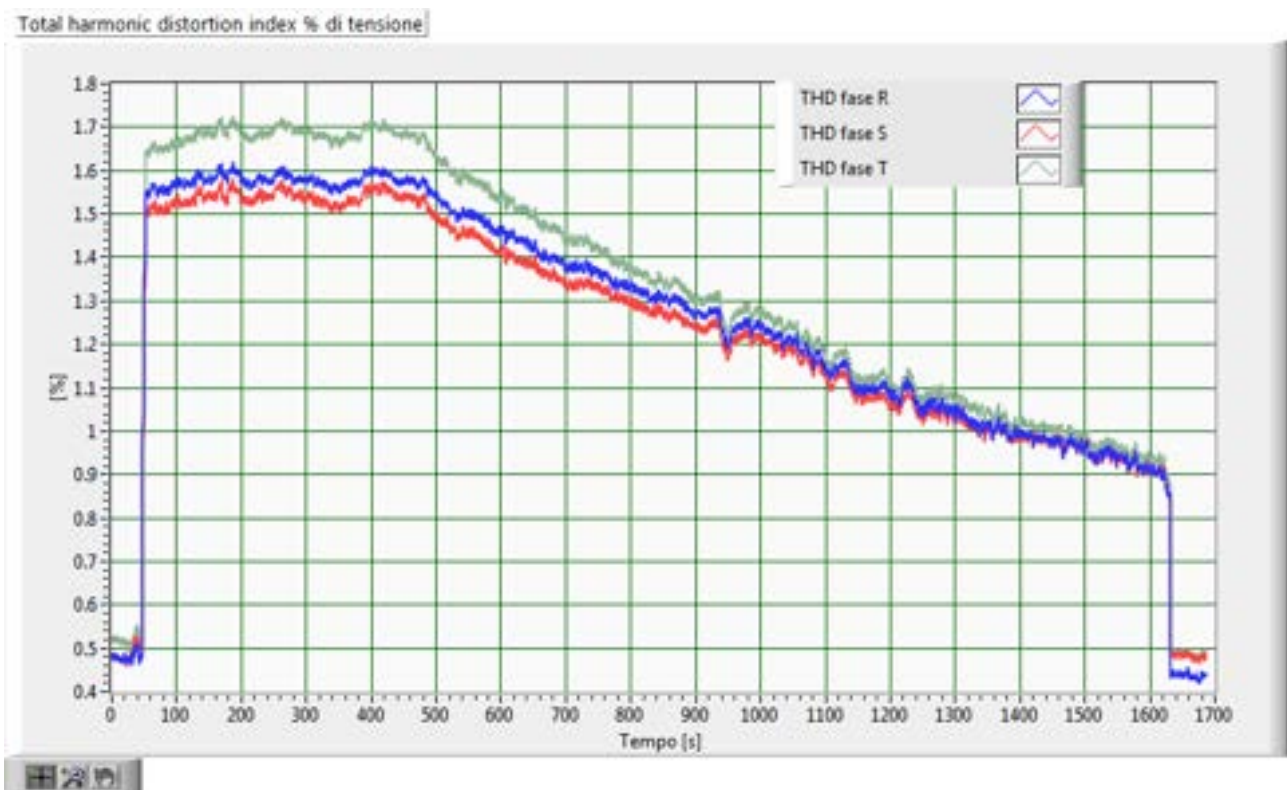


Fig.155–Andamento delle distorsioni armoniche delle tensioni AC con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di tensione nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle tensioni riportate. Si osserva che i valori delle tensioni armoniche sono molto contenuti.

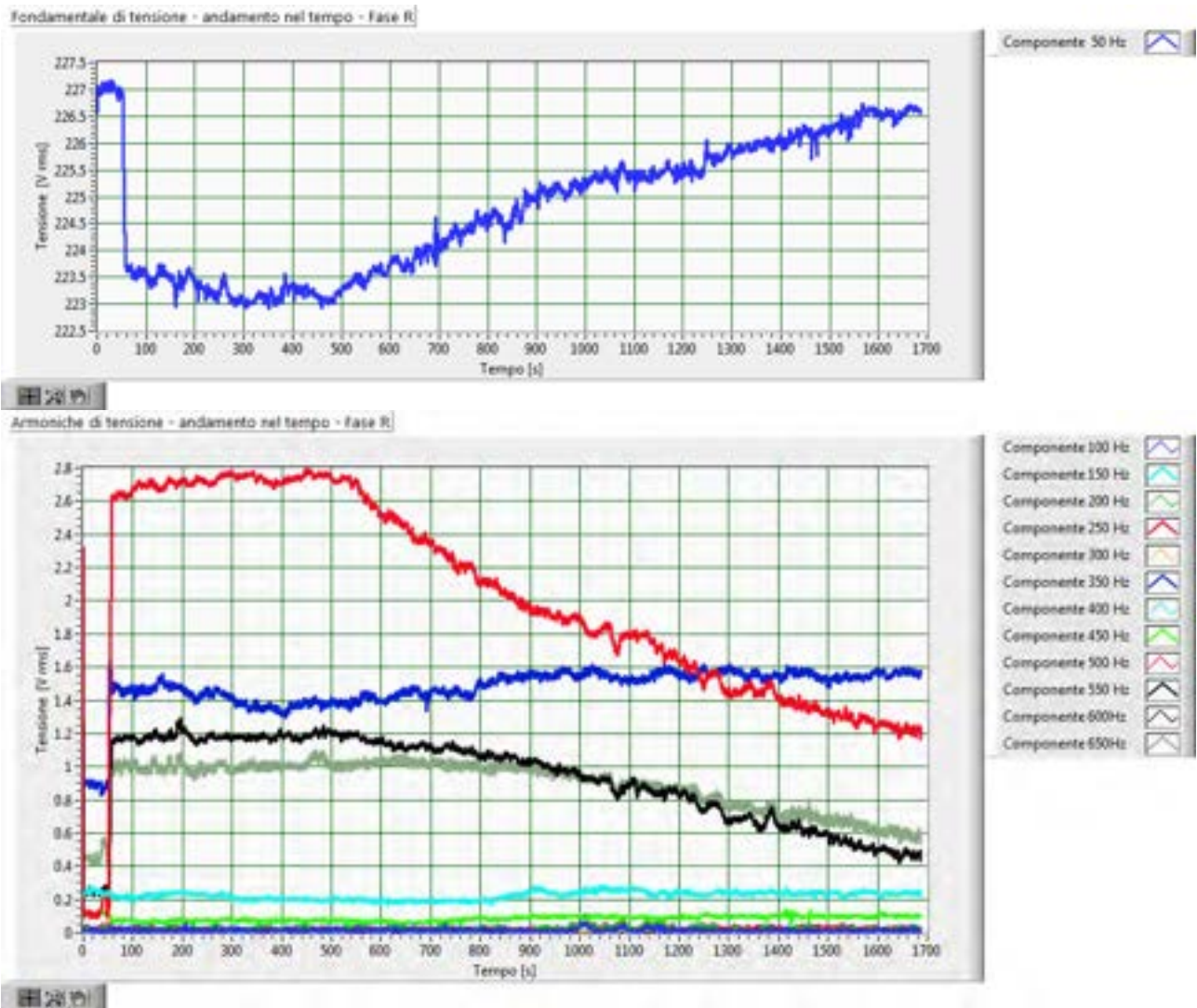
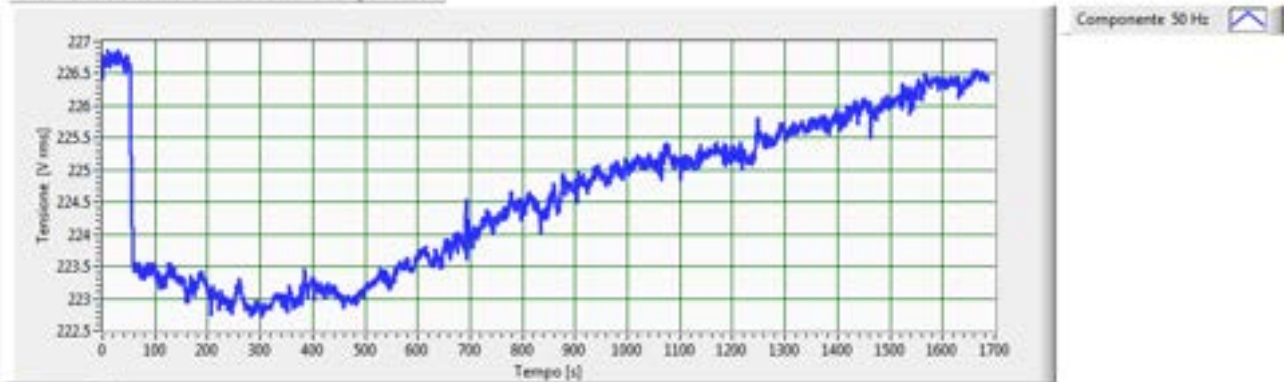


Fig.156–Andamento delle armoniche della tensione, fase R, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Fondamentale di tensione - andamento nel tempo - Fase S



Armoniche di tensione - andamento nel tempo - Fase S

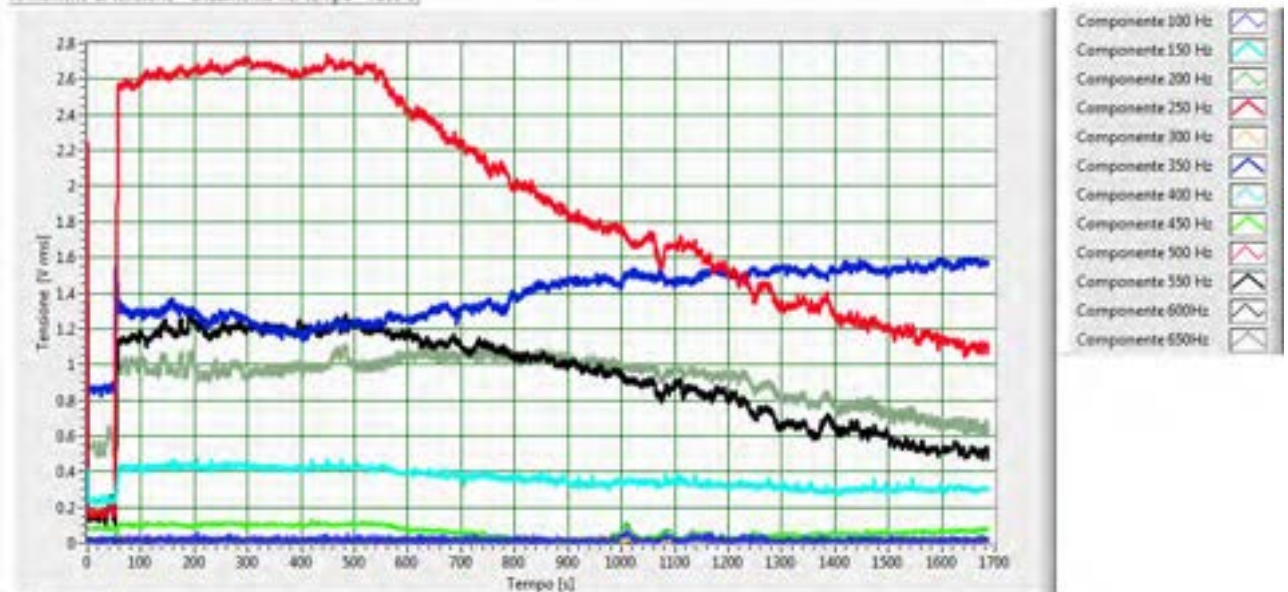


Fig.157–Andamento delle armoniche della tensione, fase S, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

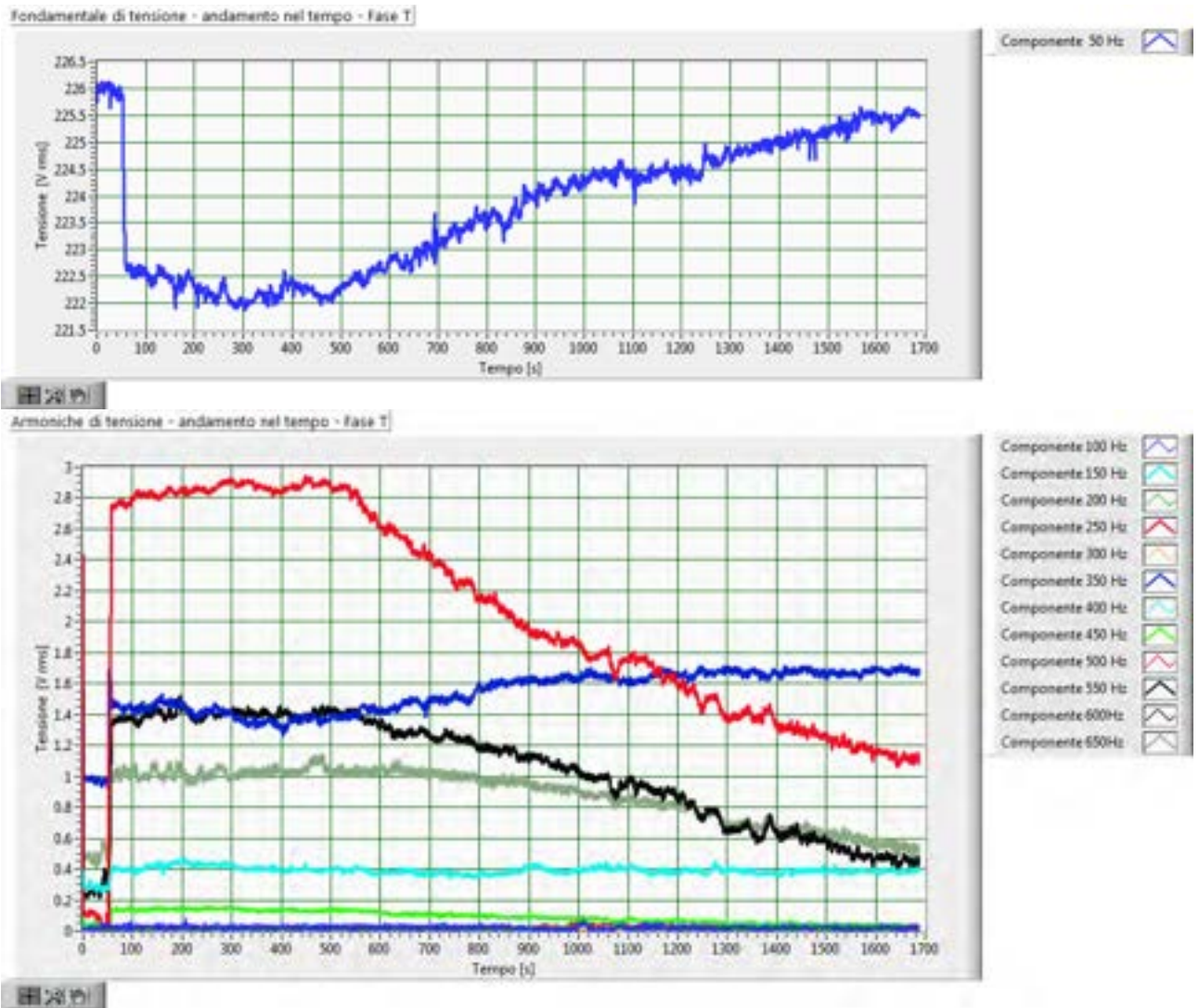


Fig.158–Andamento delle armoniche della tensione, fase T, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

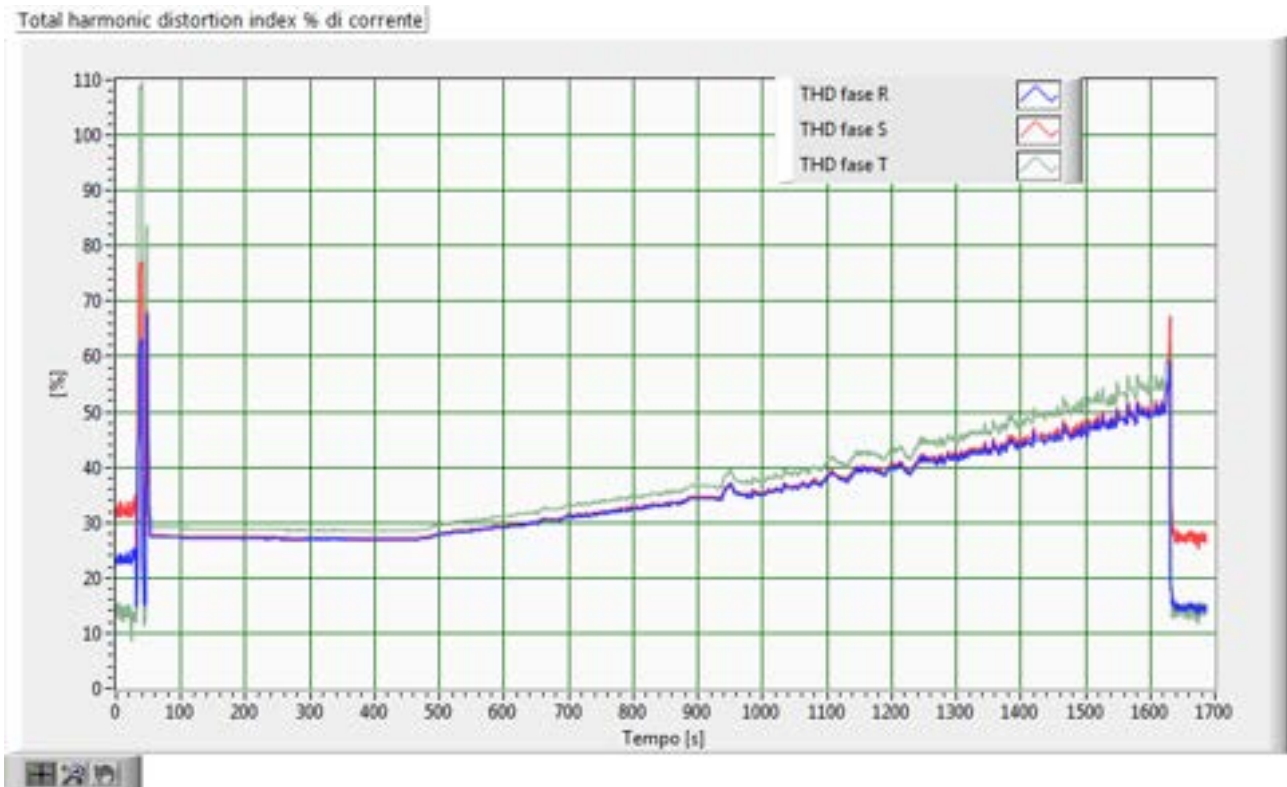


Fig.159 –Andamento della distorsioni armoniche delle correnti, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di corrente nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle correnti riportate.

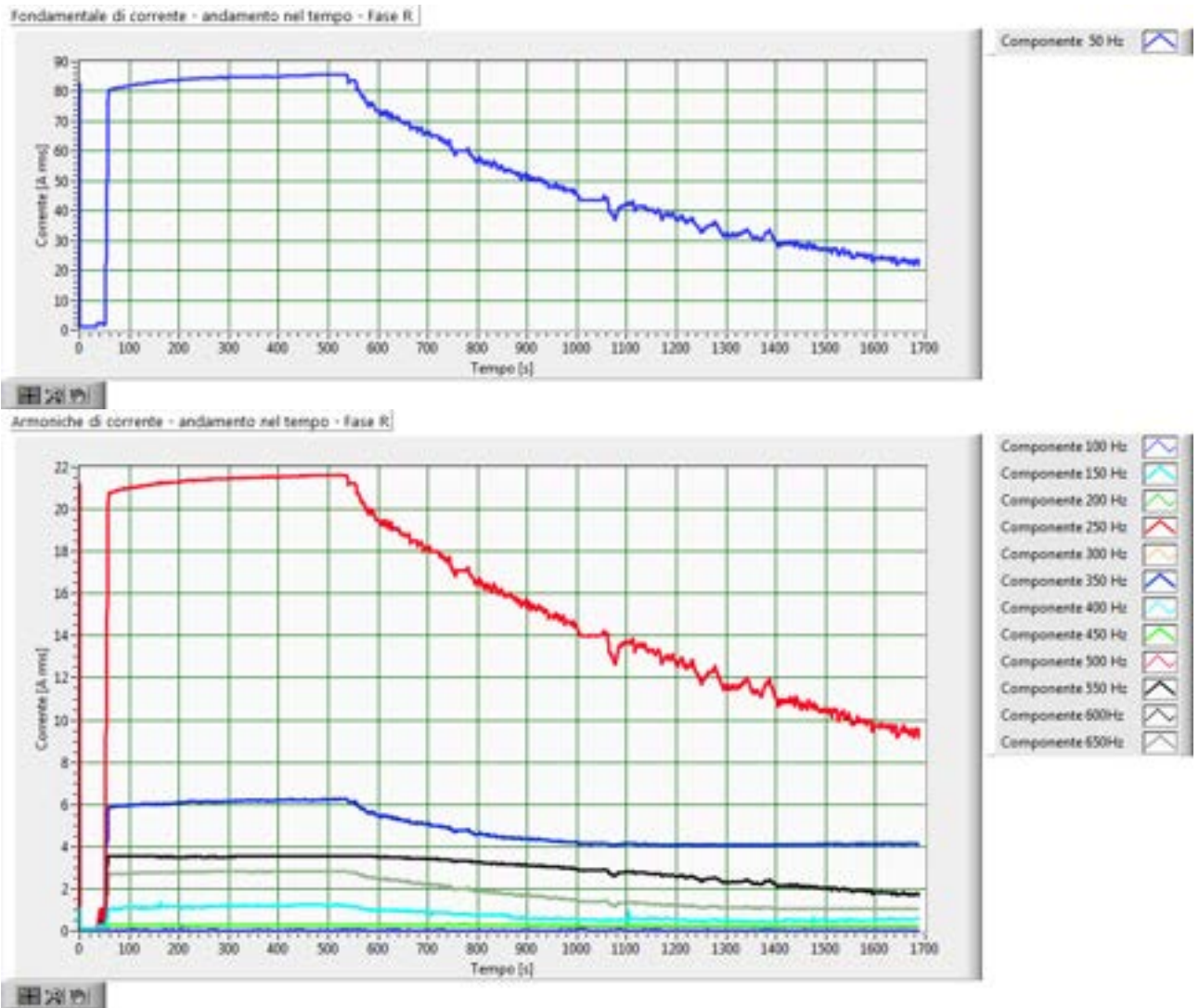
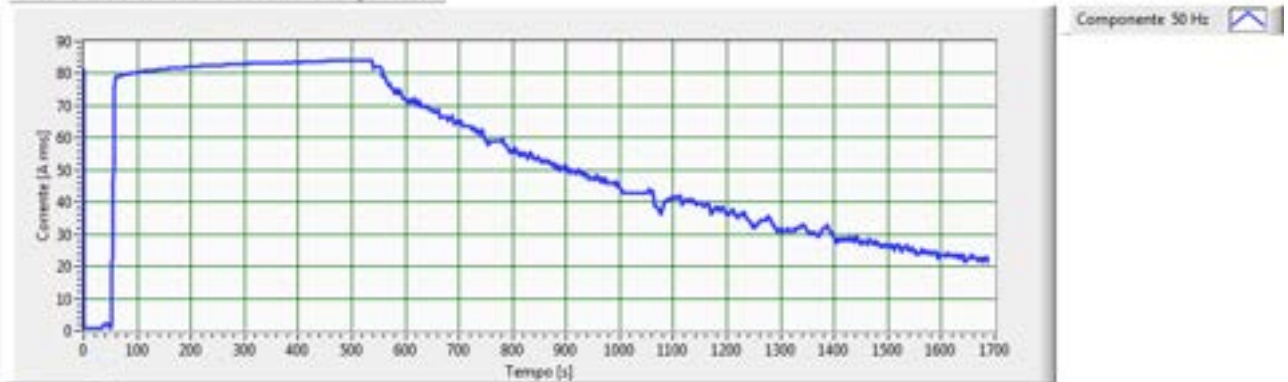


Fig.160–Andamento delle armoniche della corrente, fase R, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Fondamentale di corrente - andamento nel tempo - Fase S



Armoniche di corrente - andamento nel tempo - Fase S

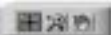
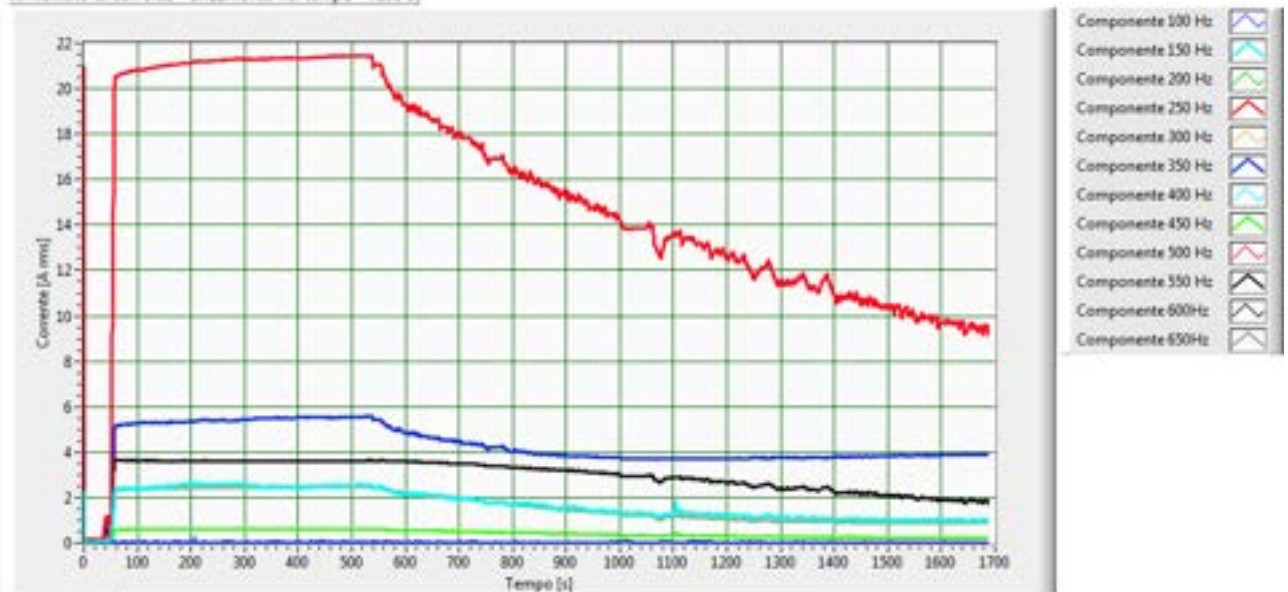


Fig.161–Andamento delle armoniche della corrente, fase S, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

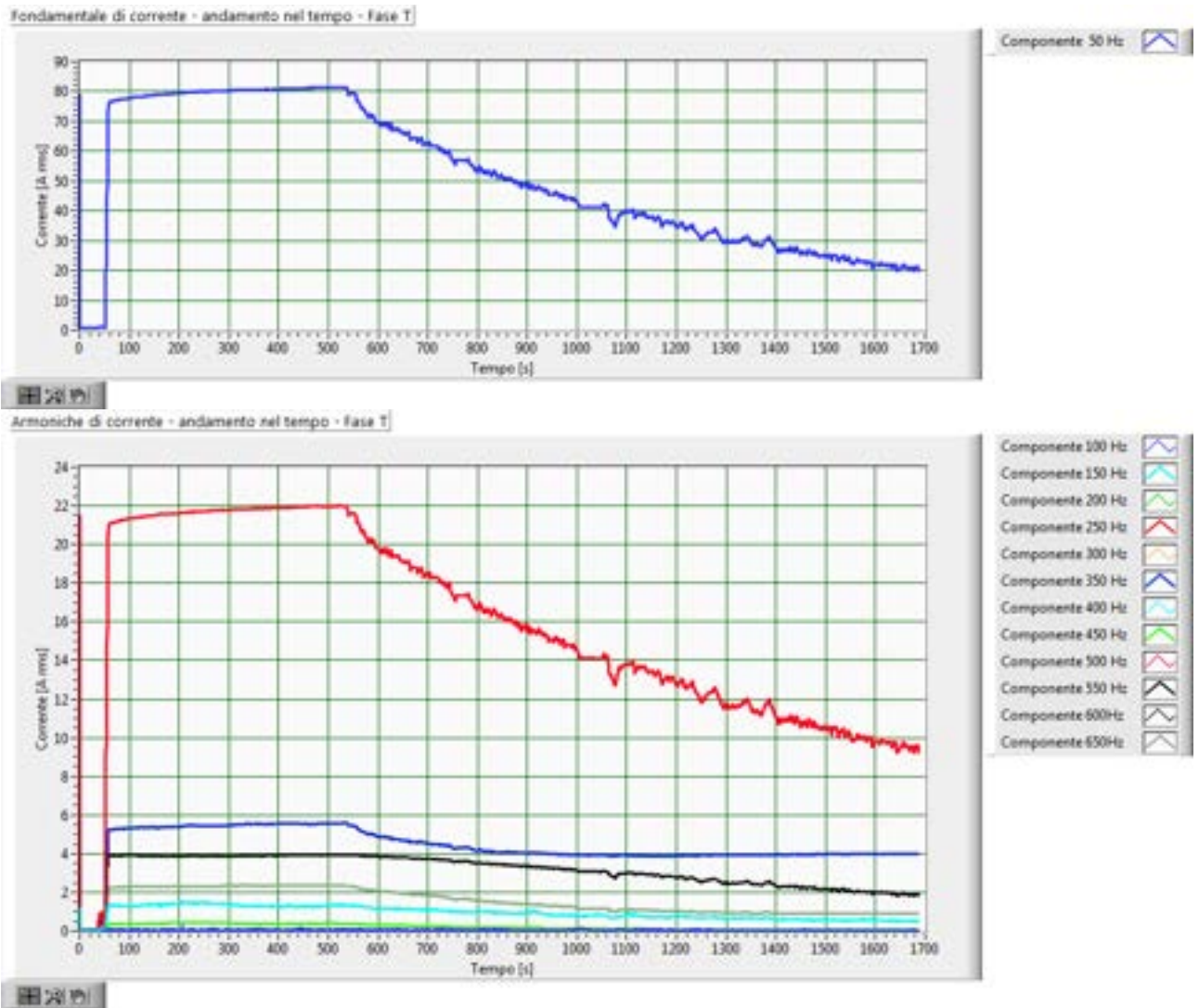


Fig.162–Andamento delle armoniche della corrente, fase T, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

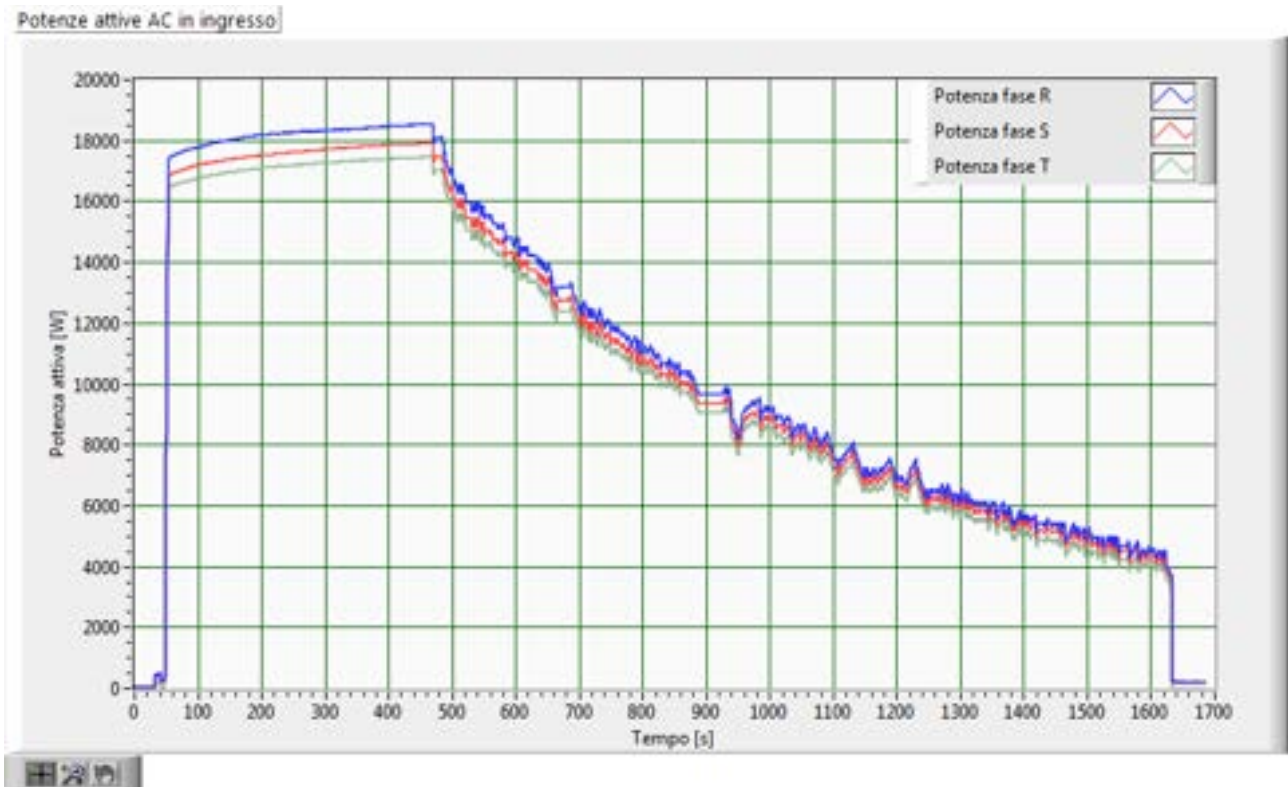


Fig.163–Andamento delle potenze attive di fase, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

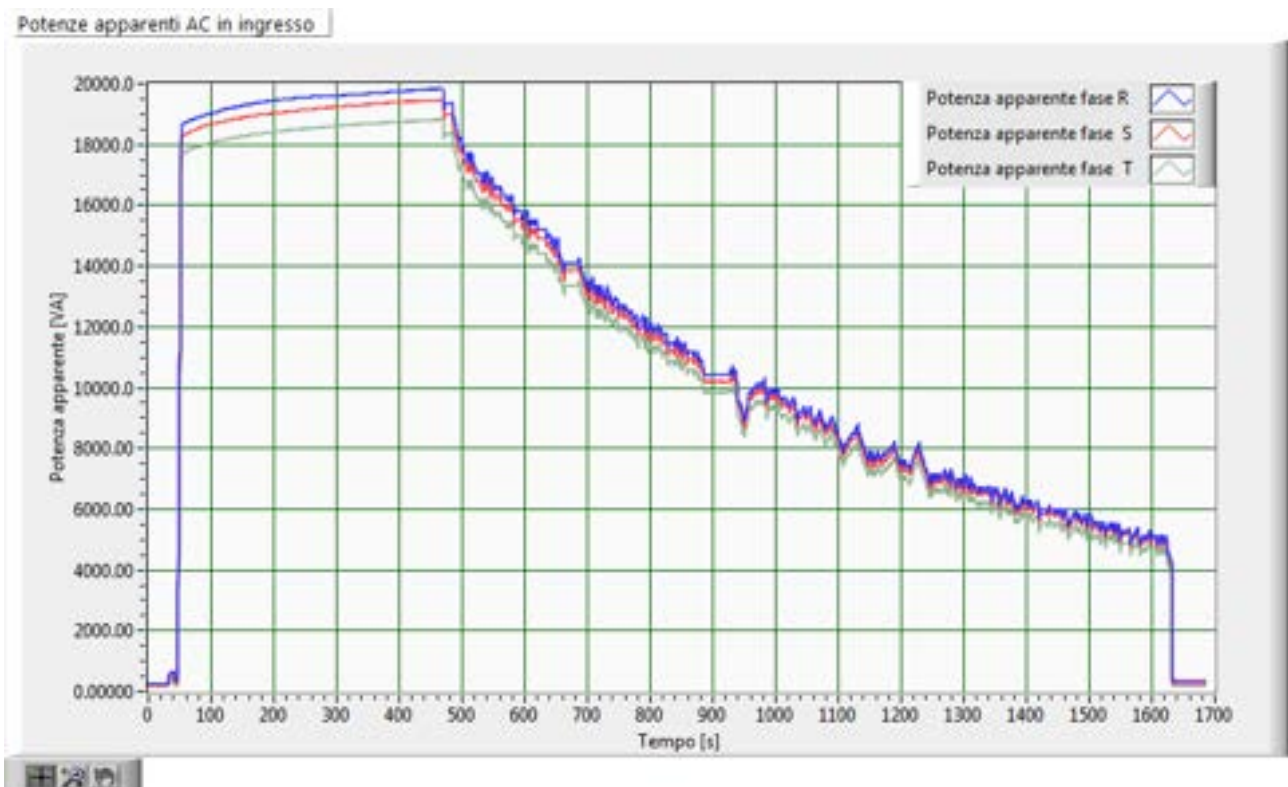


Fig.164–Andamento delle potenze apparenti di fase, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

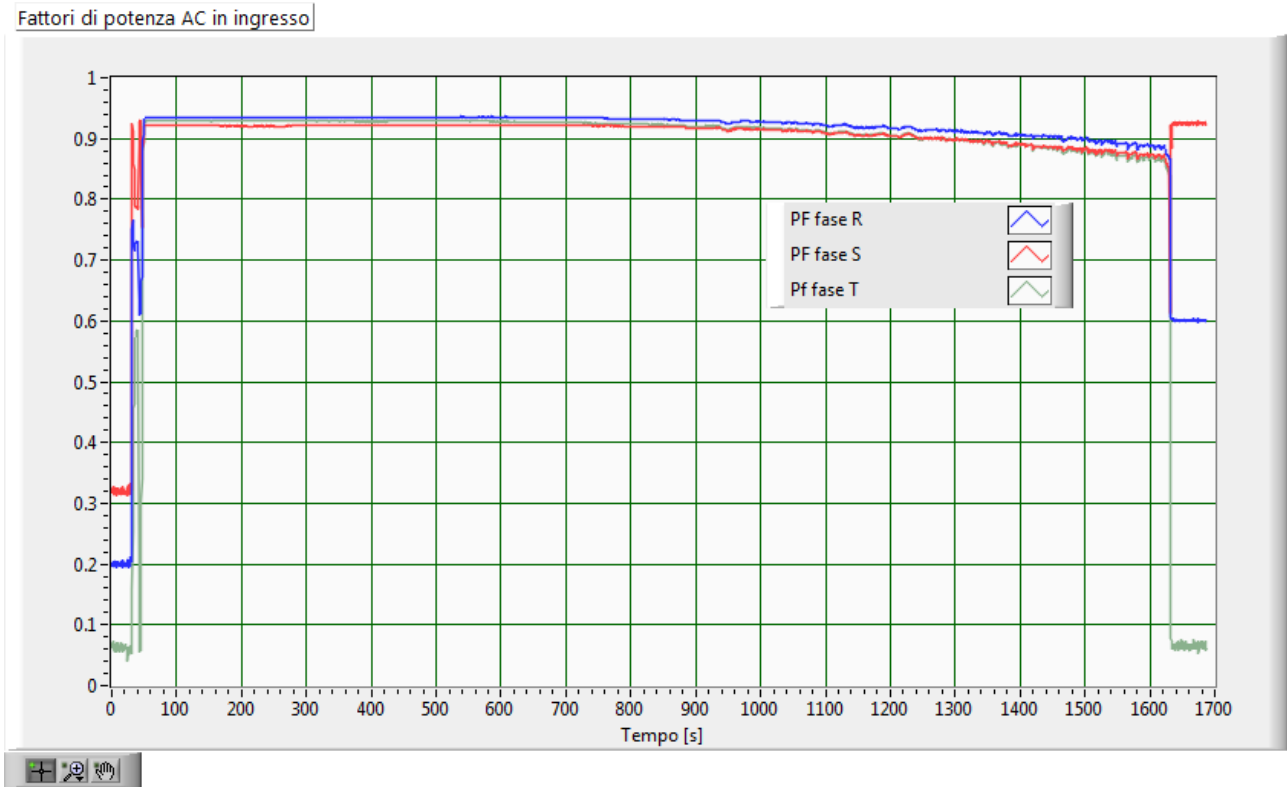
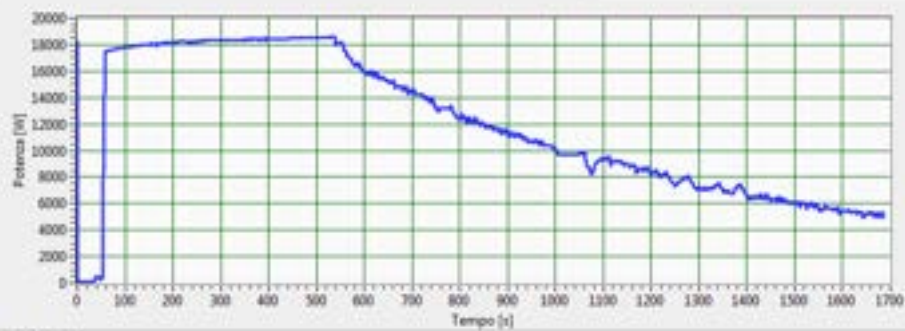


Fig.164–Andamento dei fattori di potenza di fase, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento dei contributi di potenza attiva, dovuti alle componenti armoniche di tensione e corrente superiori alla fondamentale, sono riportati per ogni fase due grafici: il primo relativo alla potenza attiva relativa alla componenti fondamentali di tensione e correnti, il secondo ai rimanenti contributi. Si osserva che i contributi alla potenza attiva dovuti alle armoniche sono del tutto trascurabili. Ciò è verosimilmente dovuto al ridotto contenuto armonico della tensione, che limita l'effetto, in termini di potenza attiva, delle pur rilevanti armoniche di corrente generate dal sistema di conversione.

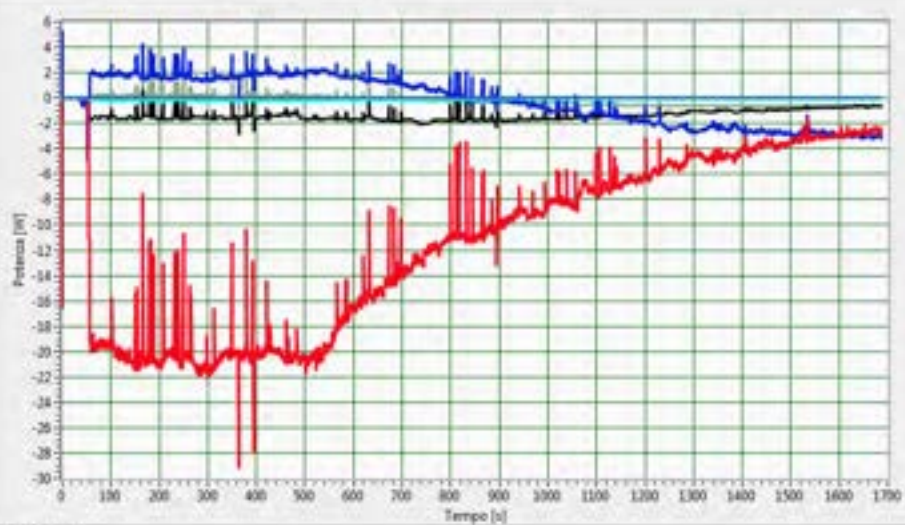
Potenza attiva - contributo delle componenti fondamentali di tensione e corrente - Fase R



Contributo delle Componenti a 50 Hz

20 1h

Potenza attiva - contributo delle componenti armoniche di tensione e corrente - Fase R



- Contributo delle Componenti a 100 Hz
- Contributo delle Componenti a 150 Hz
- Contributo delle Componenti a 200 Hz
- Contributo delle Componenti a 250 Hz
- Contributo delle Componenti a 300 Hz
- Contributo delle Componenti a 350 Hz
- Contributo delle Componenti a 400 Hz
- Contributo delle Componenti a 450 Hz
- Contributo delle Componenti a 500 Hz
- Contributo delle Componenti a 600 Hz
- Contributo delle Componenti a 650 Hz

20 1h

Fig.165–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase R, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

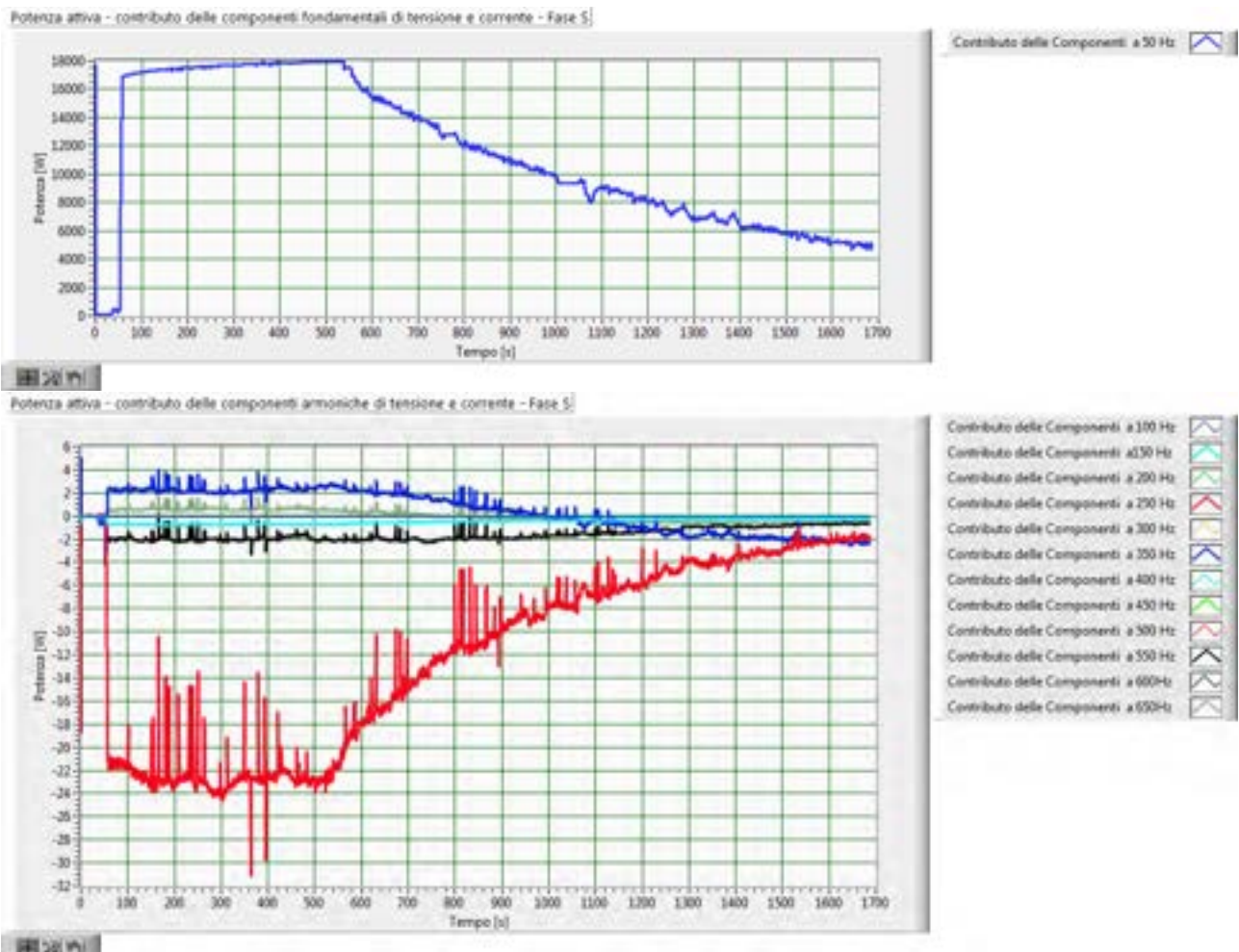


Fig.166 –Andamento dei contributi di potenza attiva, fase S, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

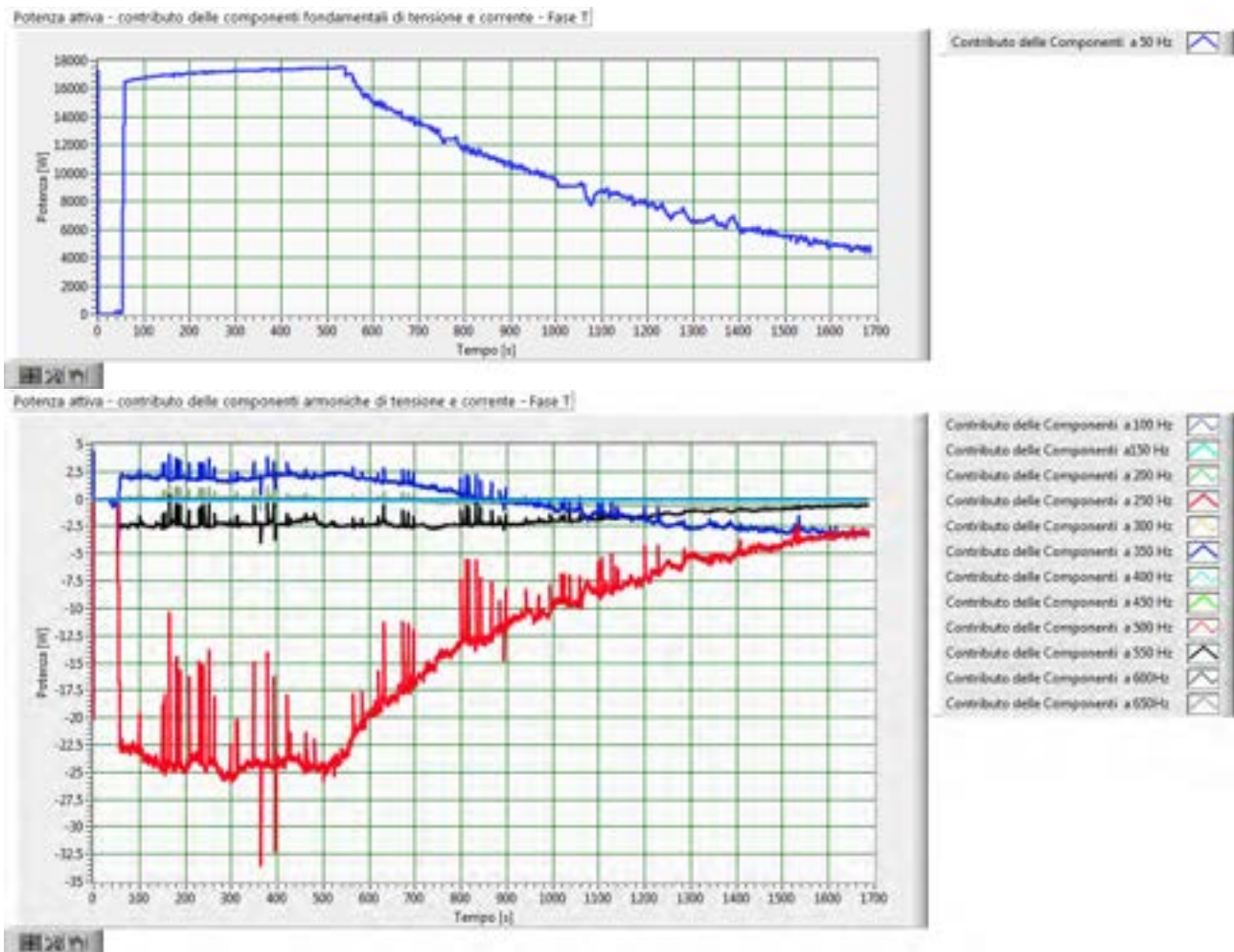


Fig.167–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase T, con batteria al 28.1% di stato di carica iniziale

I risultati delle misurazioni effettuate hanno evidenziato che il convertitore ha buone prestazioni in termini di erogazione di potenza, con rendimenti di conversione che si mantengono al di sopra del 90% in condizioni di funzionamento a corrente costante ed a tensione costante; tuttavia le correnti AC che il convertitore assorbe dalla rete in bassa tensione sono fortemente distorte, con valori di distorsione armonica che sono sempre superiori al 27 % con valori che possono superare il 60% (Fig. 159). Ciò rende problematico l'utilizzo dello stesso nelle comuni reti in bassa tensione, senza l'inserimento di opportuni sistemi di filtraggio delle componenti armoniche di corrente [22-28].

Ad integrazione della presente attività di misurazione, sarebbe opportuno valutare le prestazioni del sistema di conversione, al variare della impedenza dell'anello di guasto nel nodo di collegamento dello stesso: le prestazioni in termini di rendimento e di potenza effettiva disponibile per la ricarica potrebbero essere dipendenti da questo parametro della rete, come suggerito dalle riduzioni del valore efficace delle tensioni in Fig. 153.

Una ulteriore caratterizzazione del sistema dovrebbe essere effettuata al variare del contenuto armonico della tensione di rete, secondo [22], in modo da quantificare eventuali incrementi delle potenze attive scambiate dalle componenti armoniche di ordine superiore (Fig. 165-167)

2.3.3.2 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

L'acquisizione è stata effettuata in data 20/08/2013 alle ore 15:03; durante l'esecuzione della prova sono stati rilevati i valori sul display del sistema di carica in Tab. 9.

Tab. 9 Dati riportati sul display del sistema di ricarica con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Orario	Energia erogata [kWh]	Tempo stimato per fine carica [min]	Stato di carica della batteria [%]
15:03	0	53	54.9
15:10	4.00	48	74.4
15:15	6.00	43	84.6
15:20	7.29	38	94.5
15:25	8.40	32	98.0
15:30	8.80	28	98.0
15.41	9.59	16	99.9

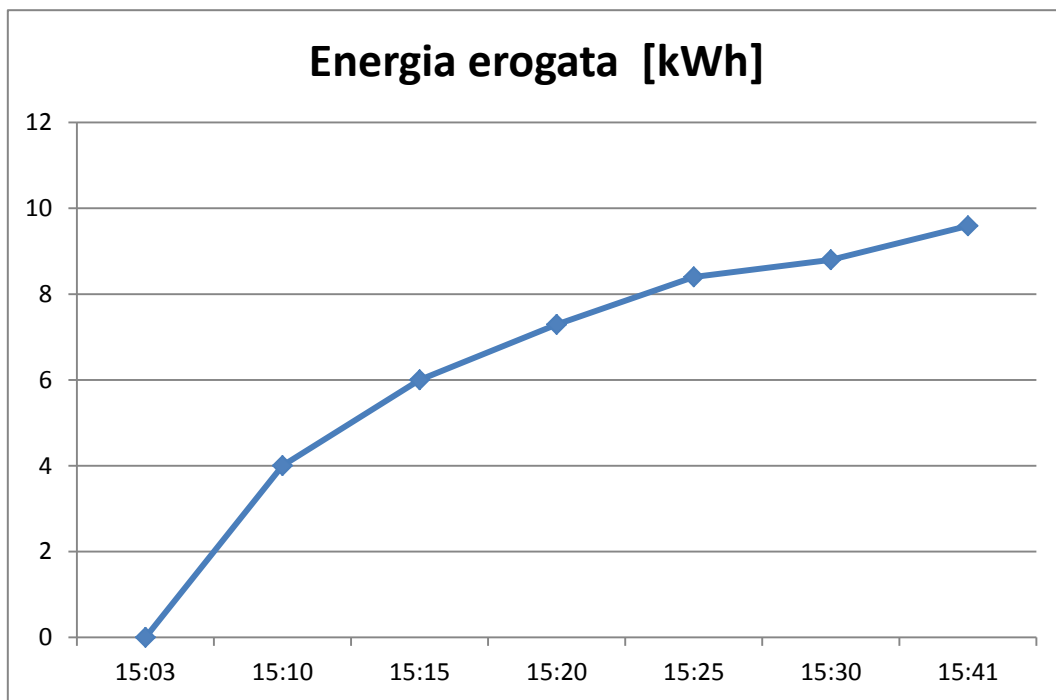


Fig.168– Andamento dell'energia erogata – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

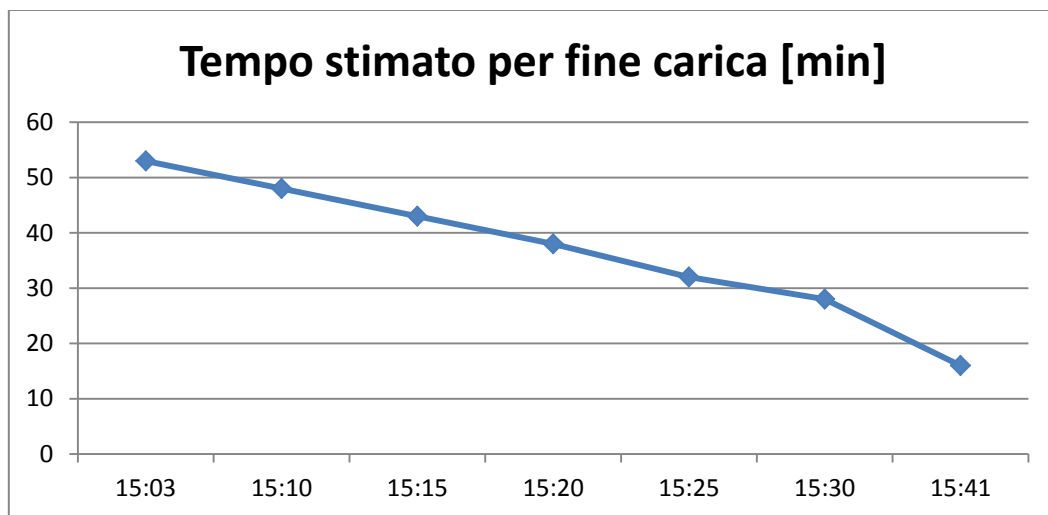


Fig.169– Andamento del tempo di carica stimato – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

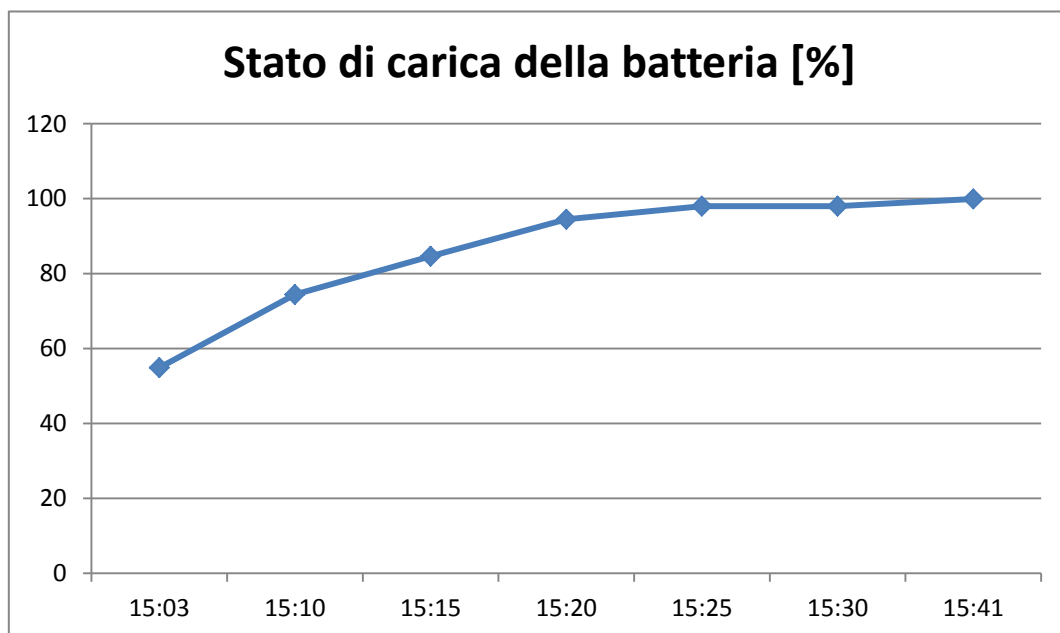


Fig.170– Andamento dello stato di carica – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

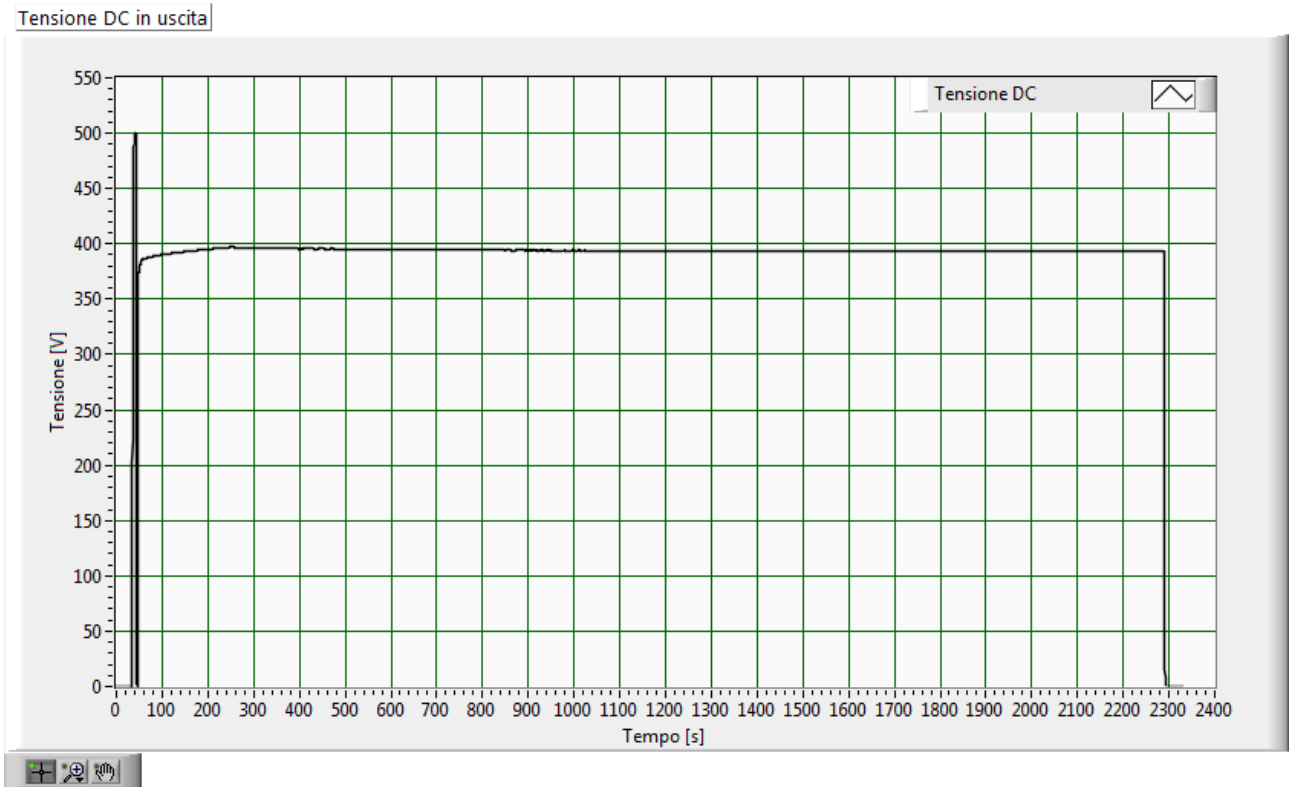


Fig.171 –Andamento della tensione DC di uscita con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

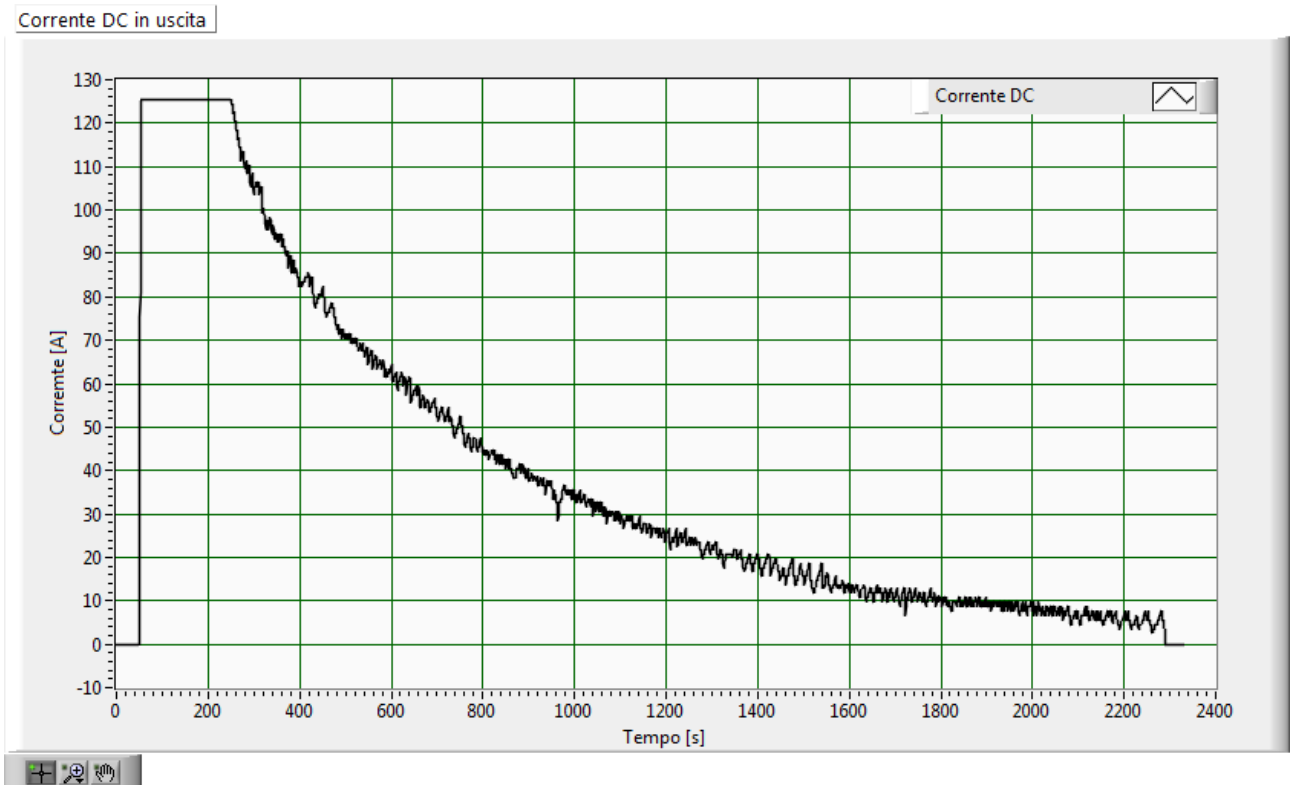


Fig.172–Andamento della corrente DC di uscita con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Tensione e corrente DC in uscita

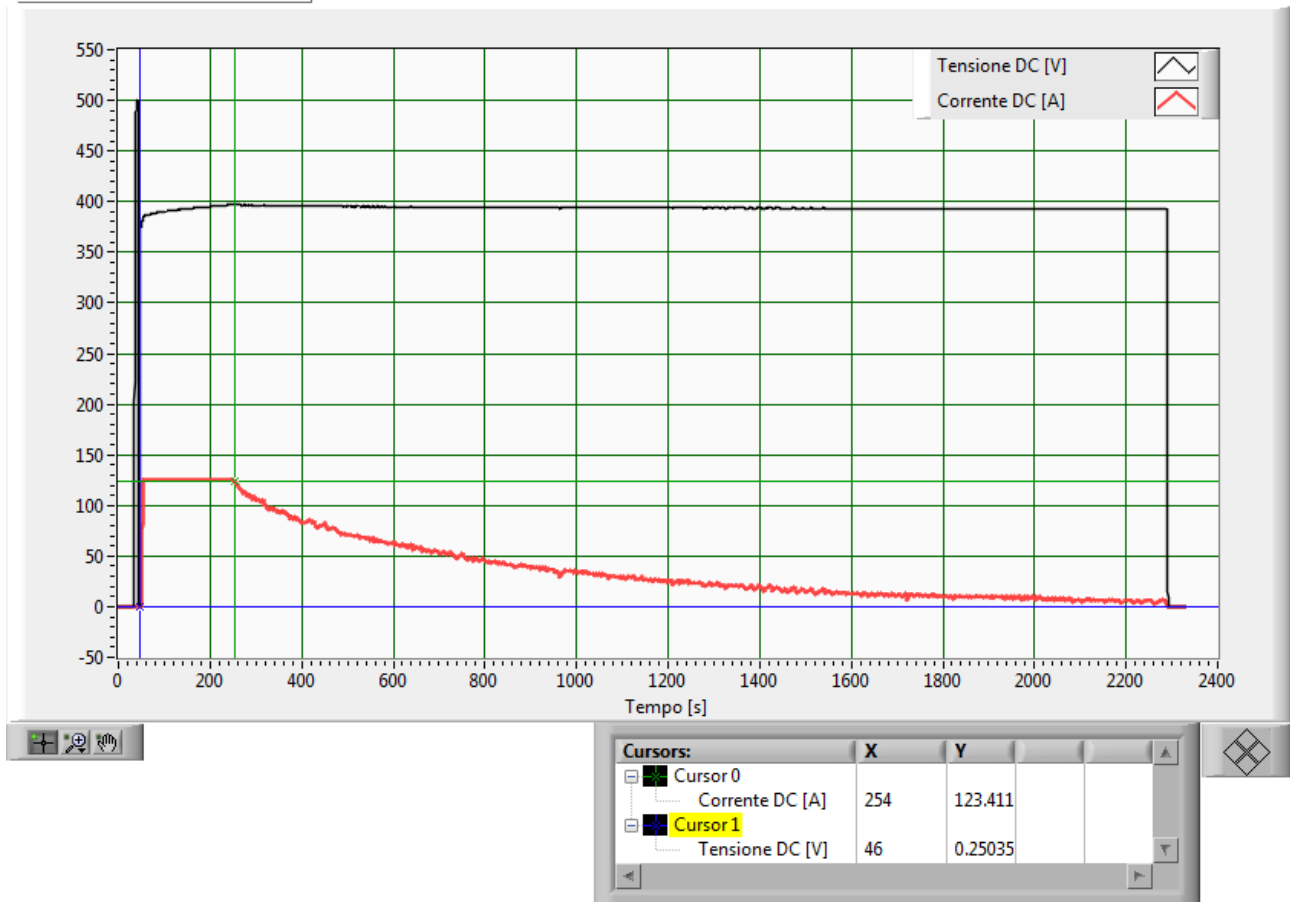


Fig.173 - Andamento della tensione e della corrente lato DC per confronto degli andamenti temporali DC di uscita con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

La durata del funzionamento a corrente costante è stimabile in 208 s; successivamente entra in funzione la modalità di funzionamento a tensione costante.

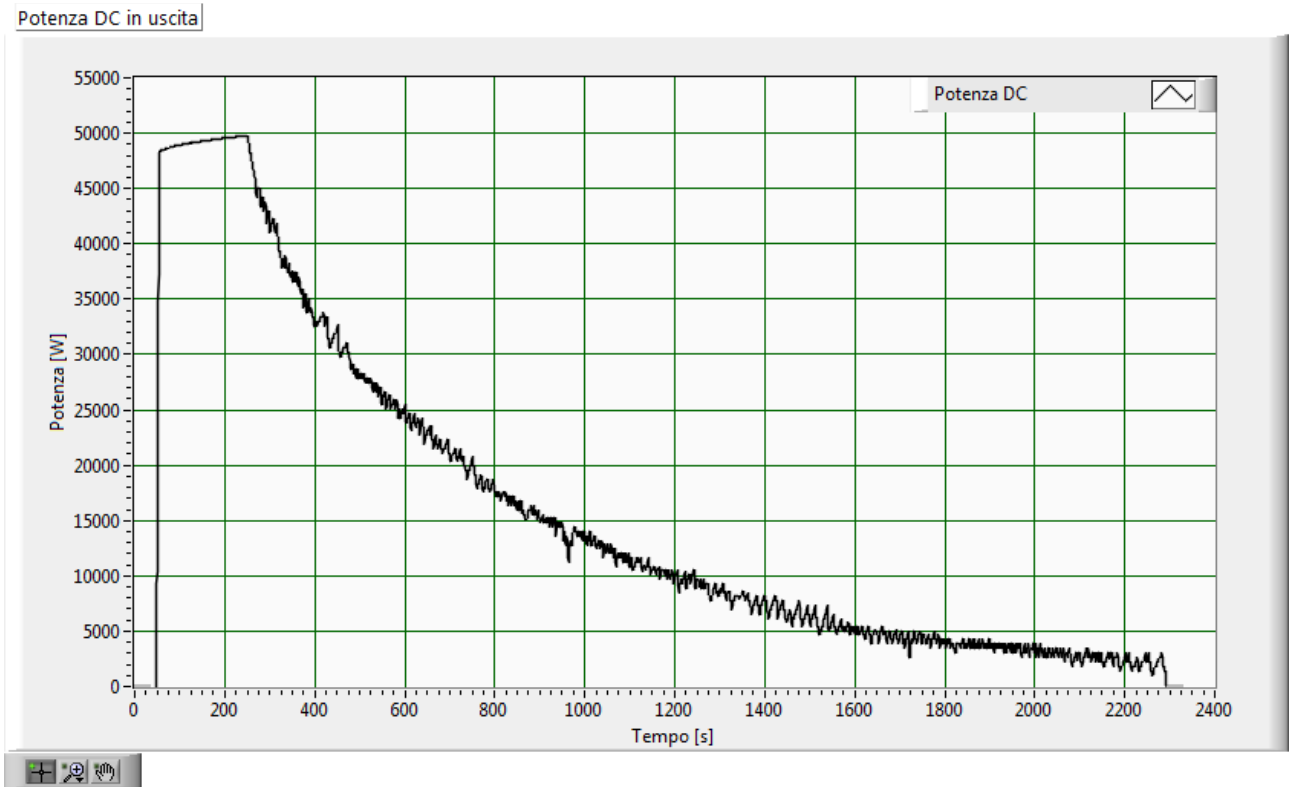


Fig.174–Andamento della potenza DC di uscita con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Il valore complessivo misurato dell'energia erogata durante la carica è di 10.13 kWh.

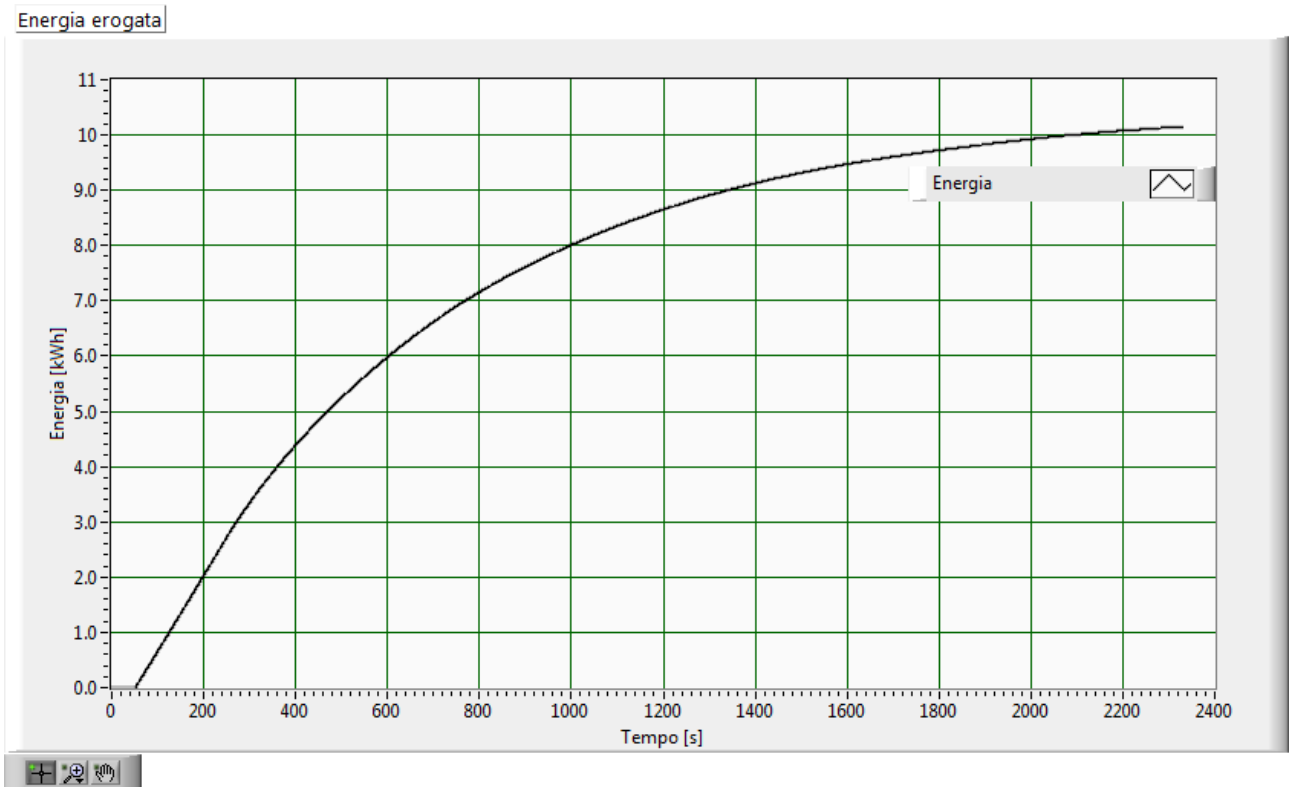


Fig.175–Andamento della energia erogata uscita con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

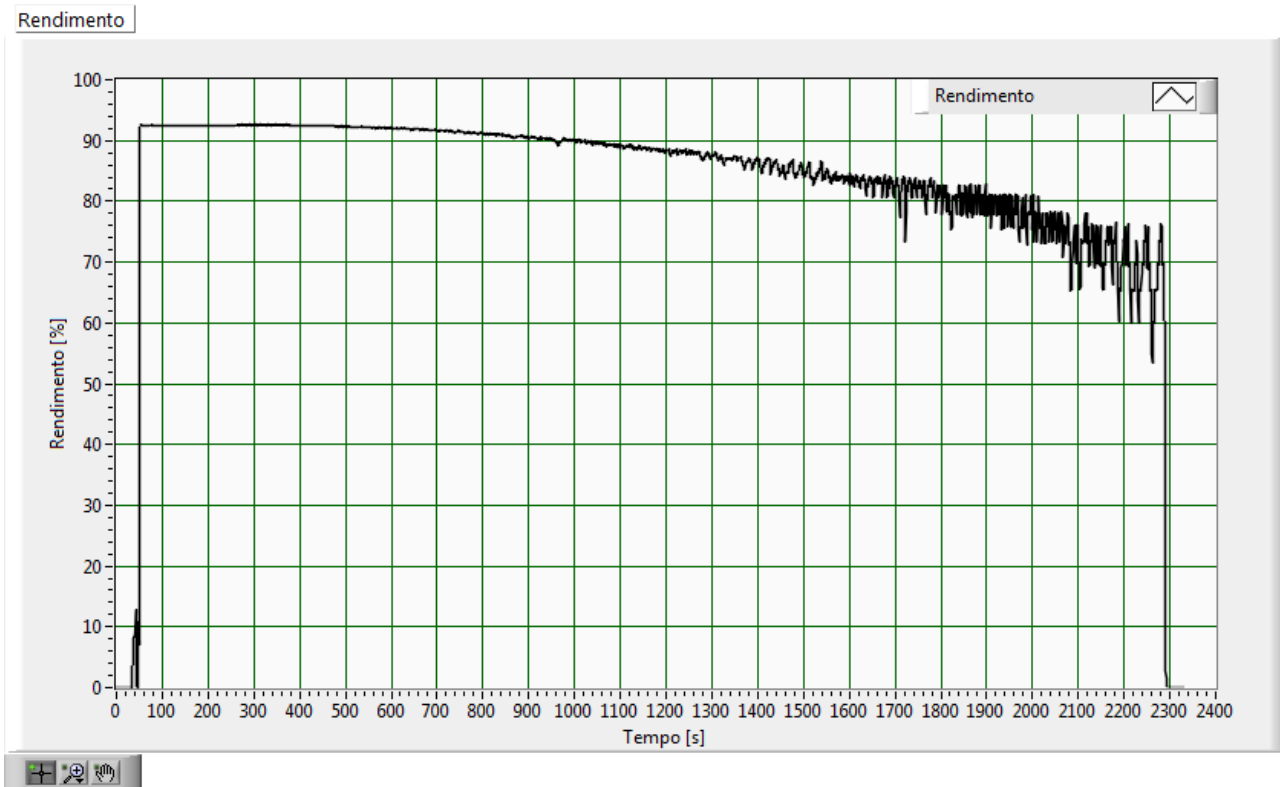


Fig.176–Andamento del rendimento di conversione con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

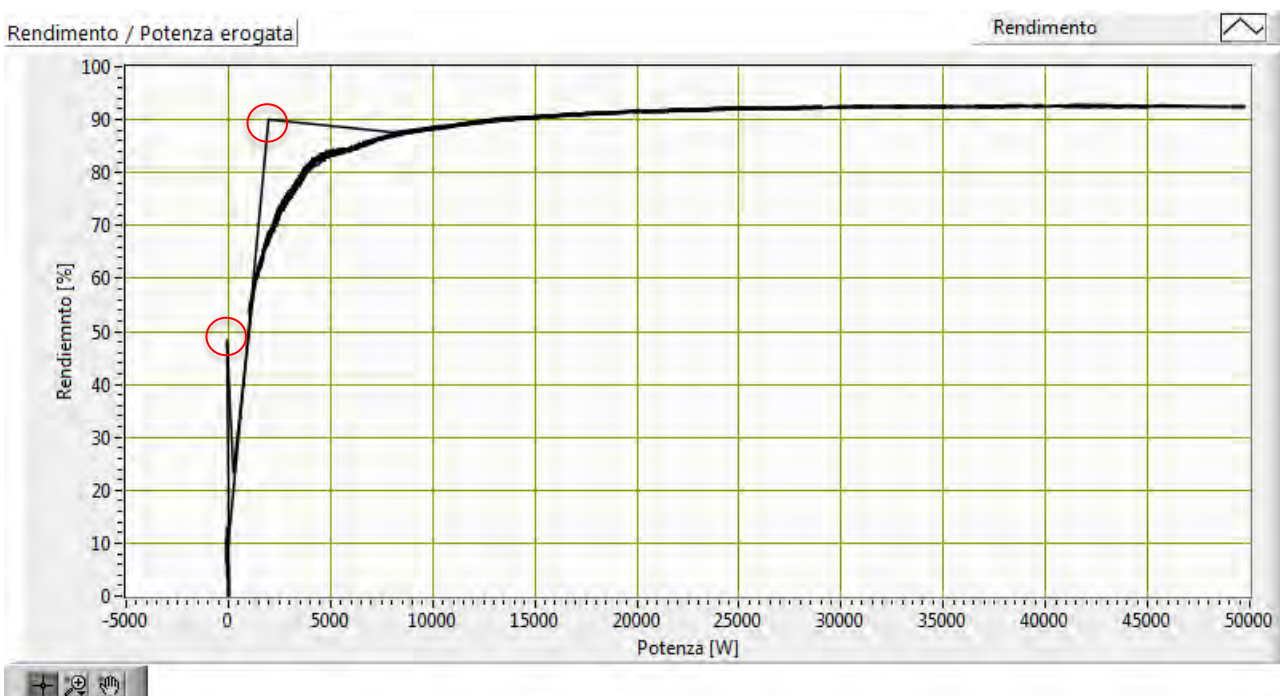


Fig.177–Andamento del rendimento in funzione della potenza erogata con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

I valori evidenziati in Fig. 177 sono dovuti a fenomeni transitori.

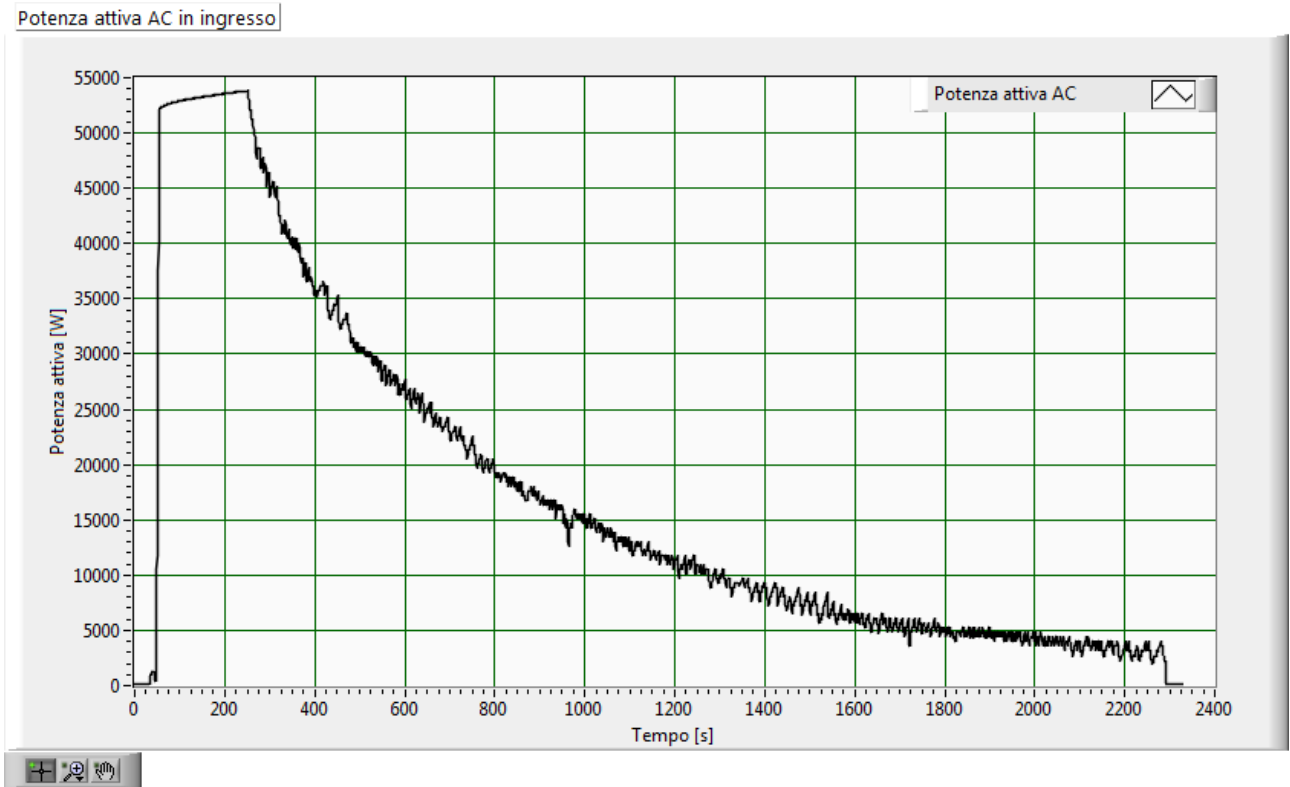


Fig.178–Andamento della potenza attiva AC con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

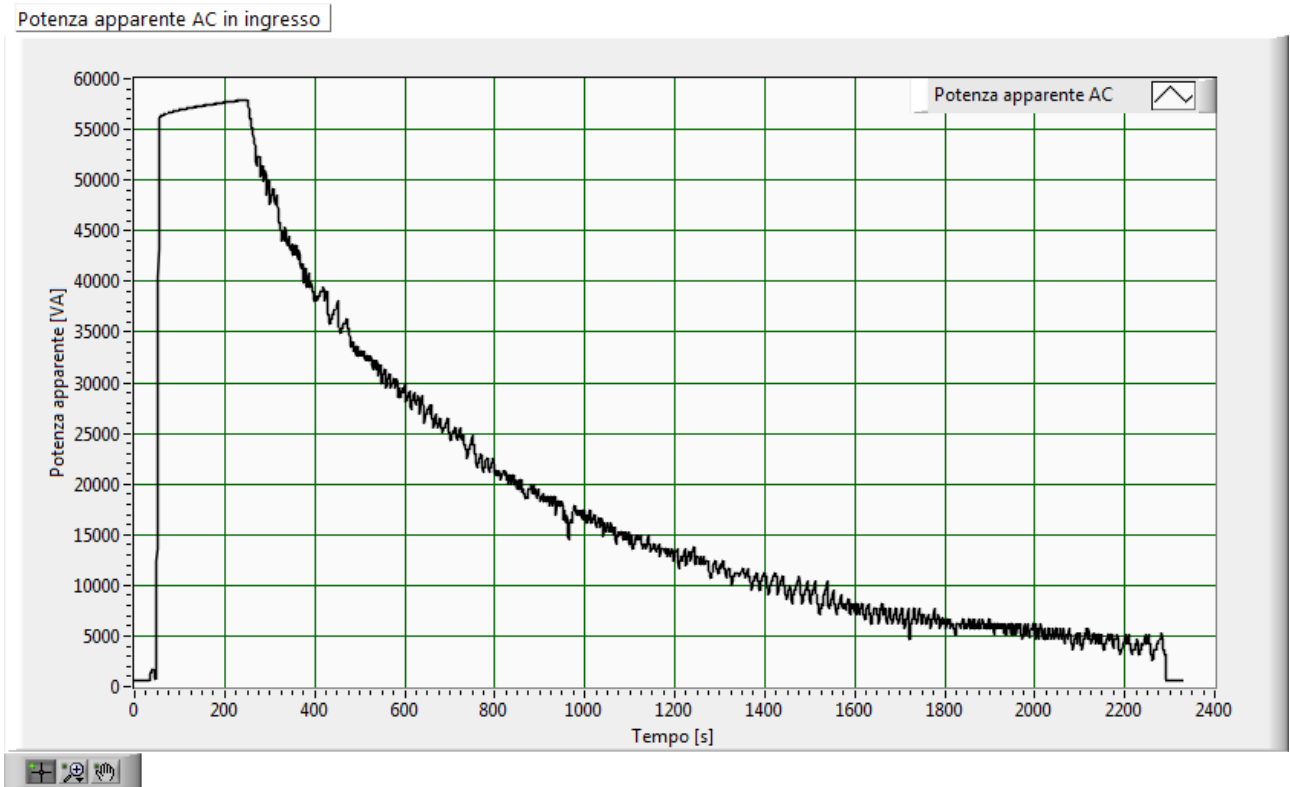


Fig.179–Andamento della potenza apparente AC con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Fattore di potenza medio AC

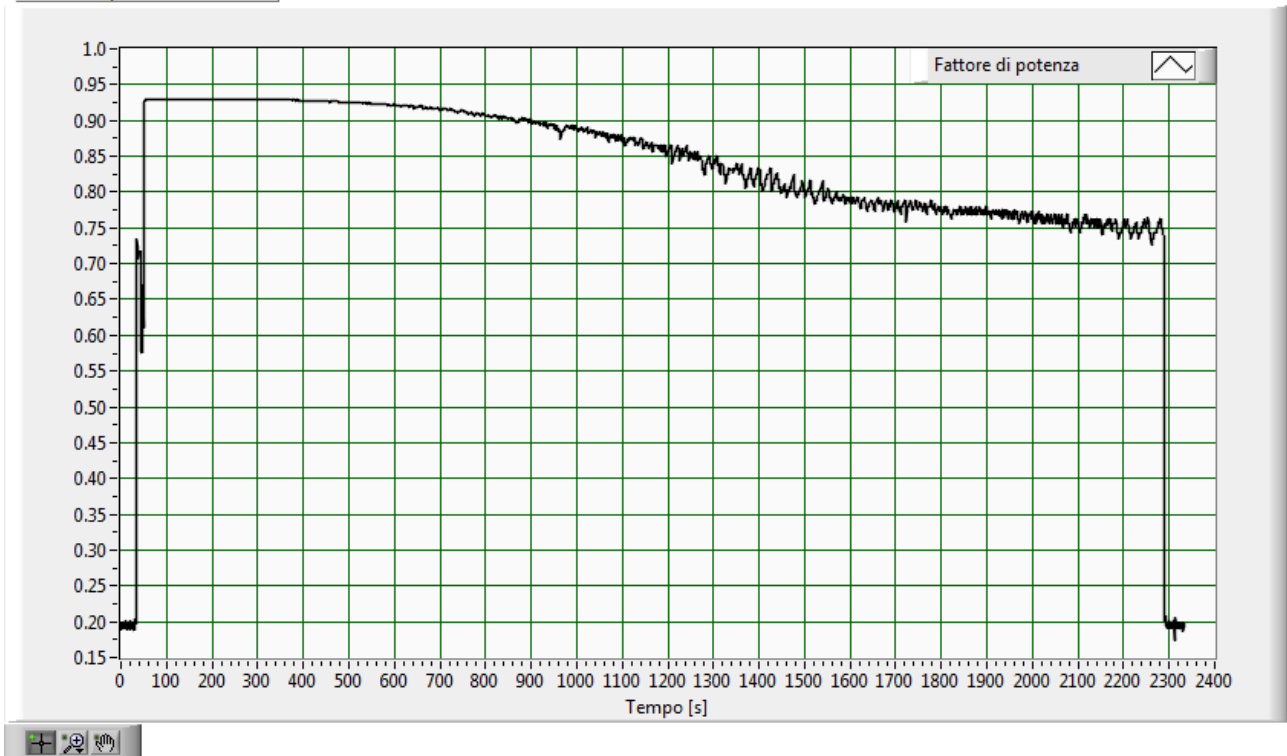


Fig.180–Andamento del fattore di potenza medio AC con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Tensioni AC in ingresso

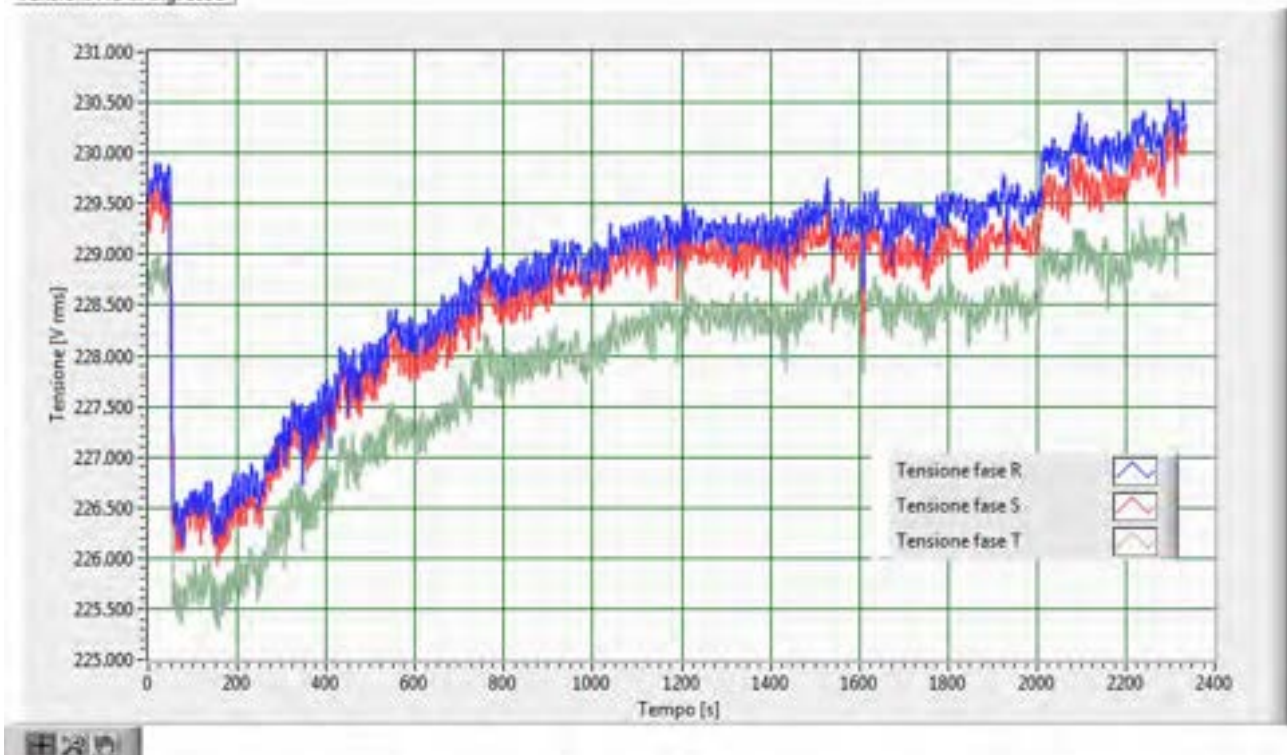


Fig.181–Andamento delle tensioni efficaci AC con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

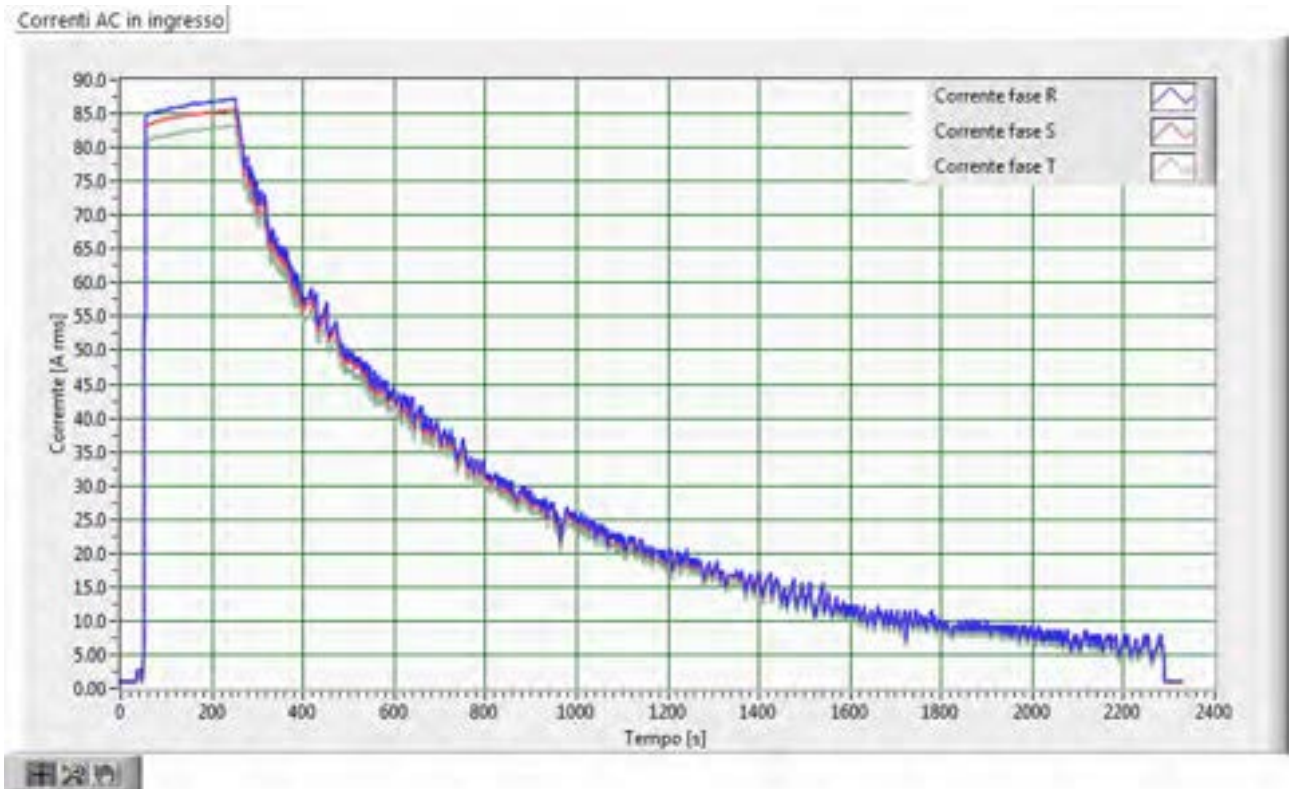


Fig.182–Andamento delle correnti efficaci AC con batteria al 54.9% % di stato di carica iniziale

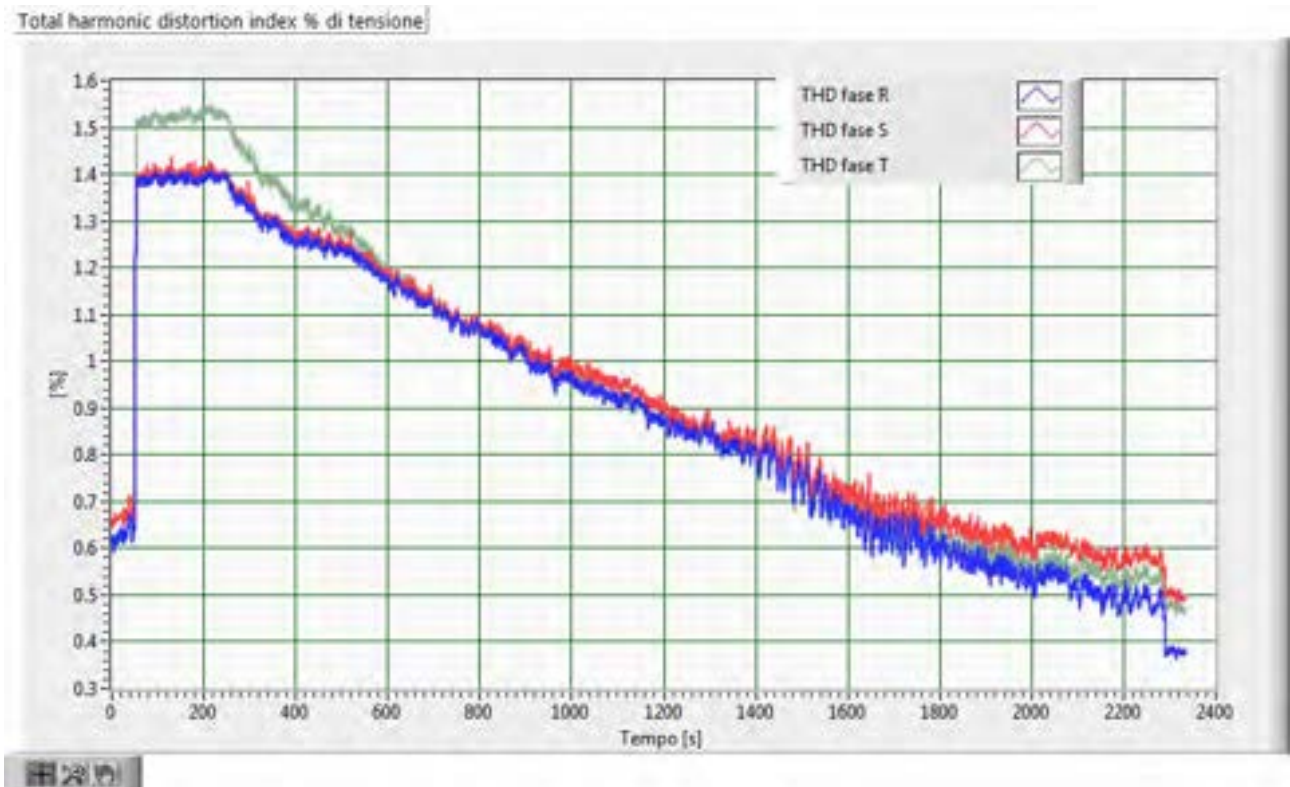


Fig.183–Andamento delle distorsioni armoniche delle tensioni AC con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di tensione nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle tensioni riportate. Si osserva che i valori delle tensioni armoniche sono molto contenuti.

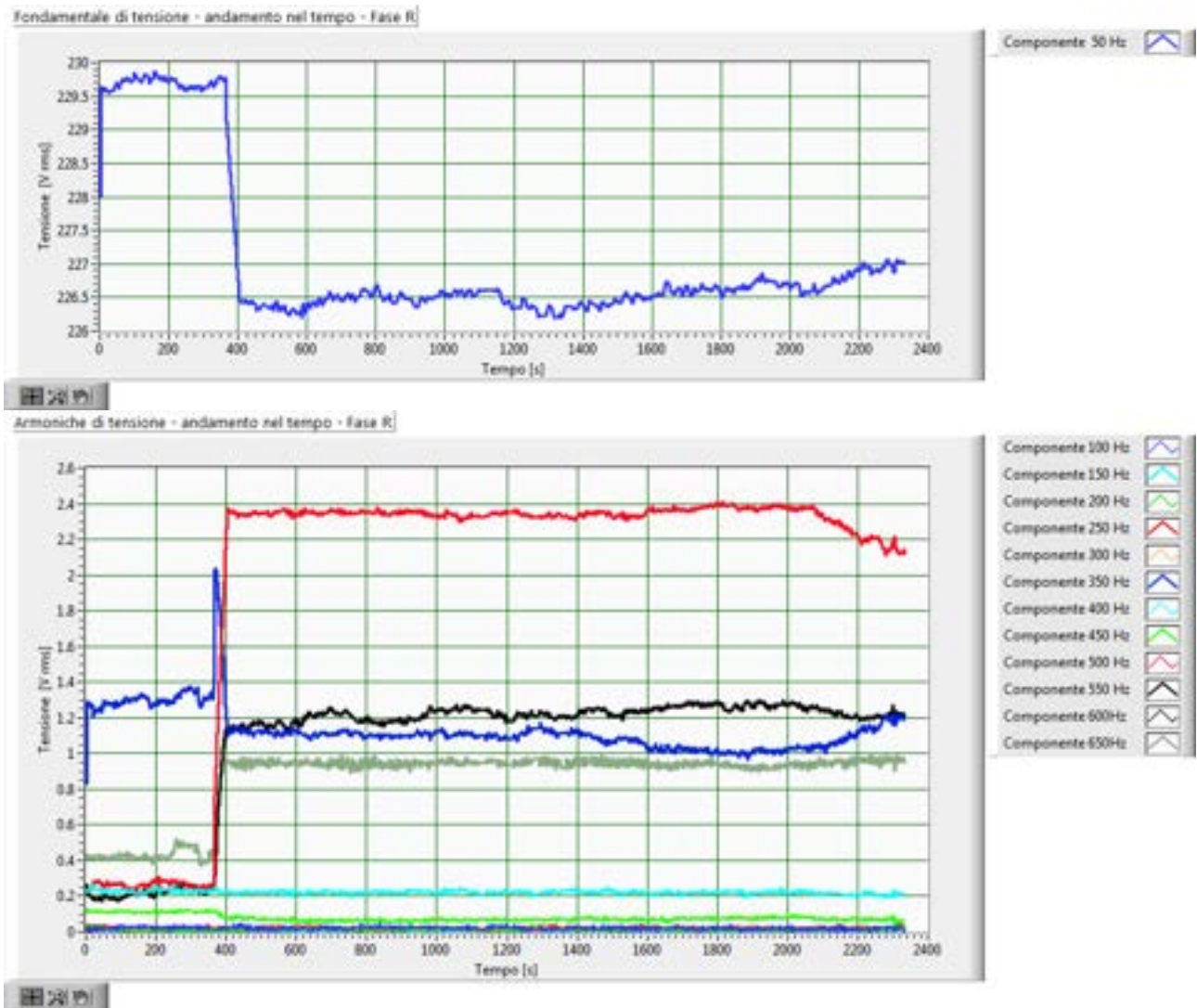


Fig.184–Andamento delle armoniche della tensione, fase R, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

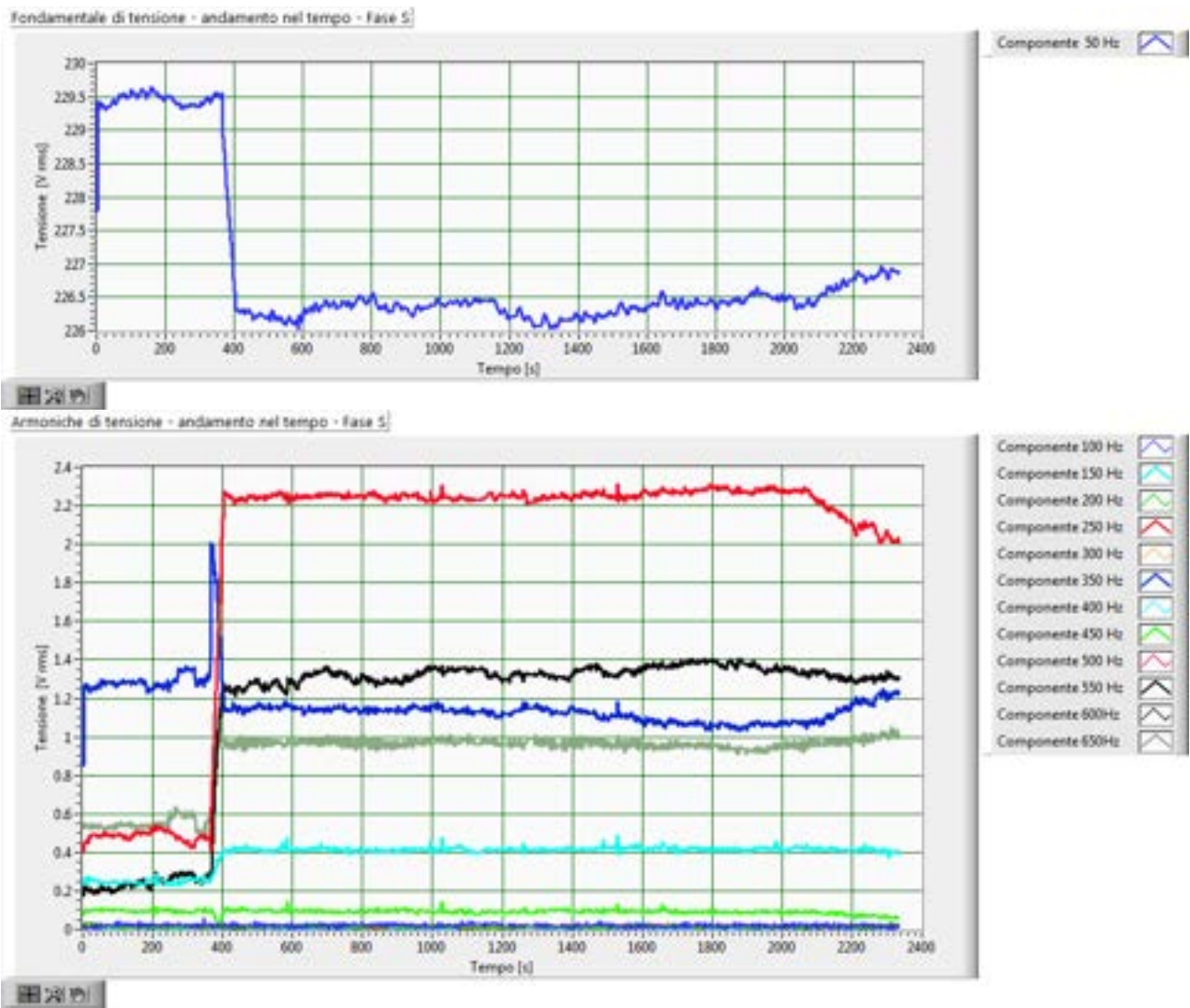
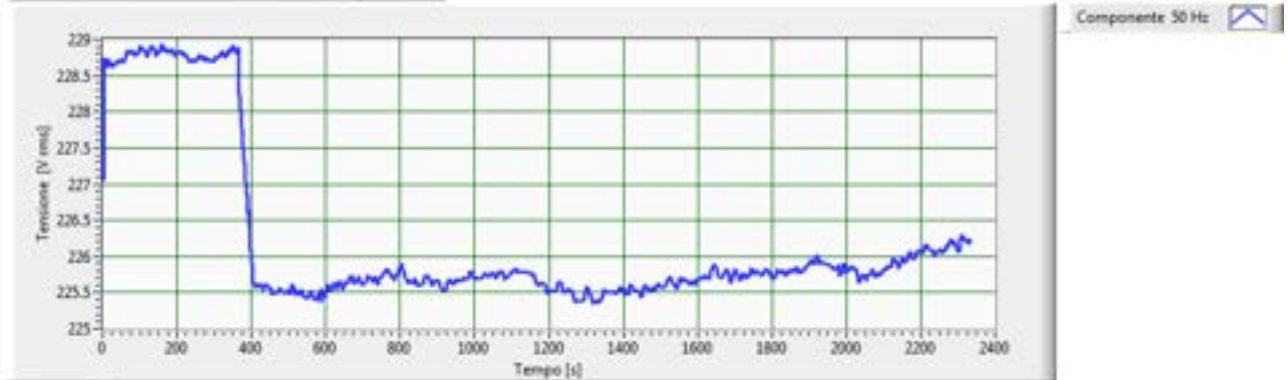


Fig.185–Andamento delle armoniche della tensione, fase S, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Fondamentale di tensione - andamento nel tempo - Fase T



Armoniche di tensione - andamento nel tempo - Fase T

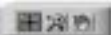
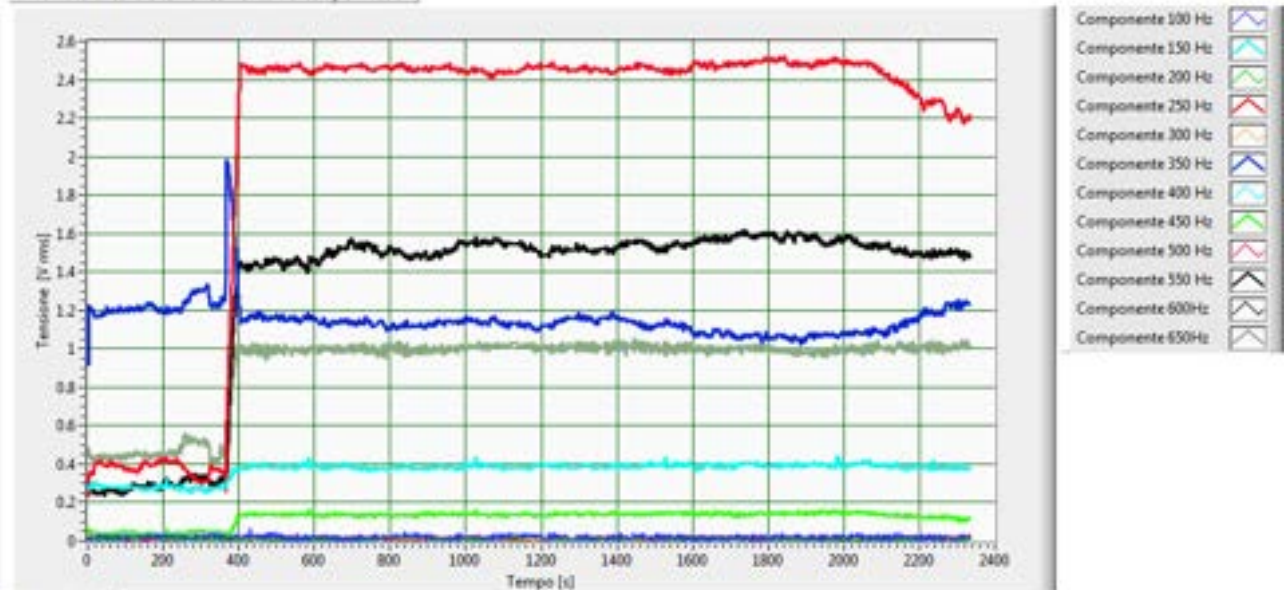


Fig.186–Andamento delle armoniche della tensione, fase T, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

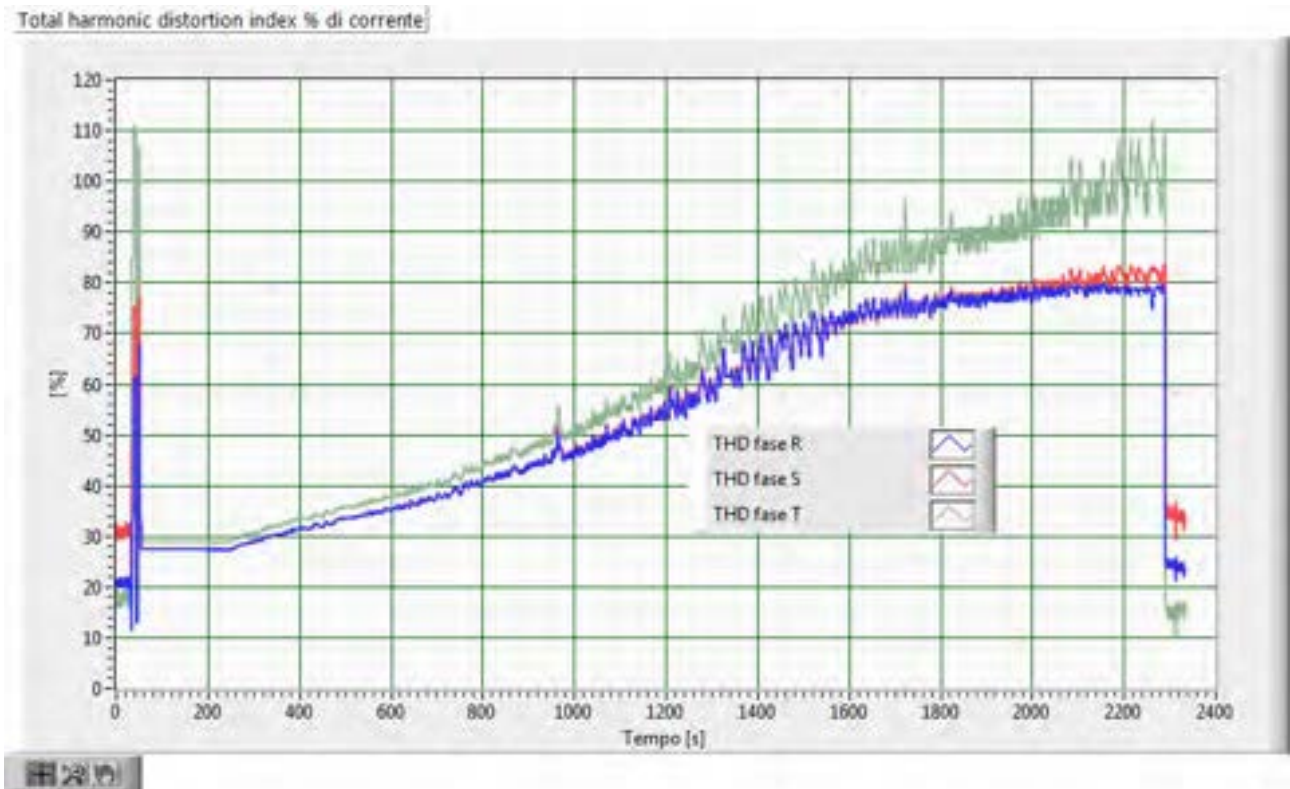
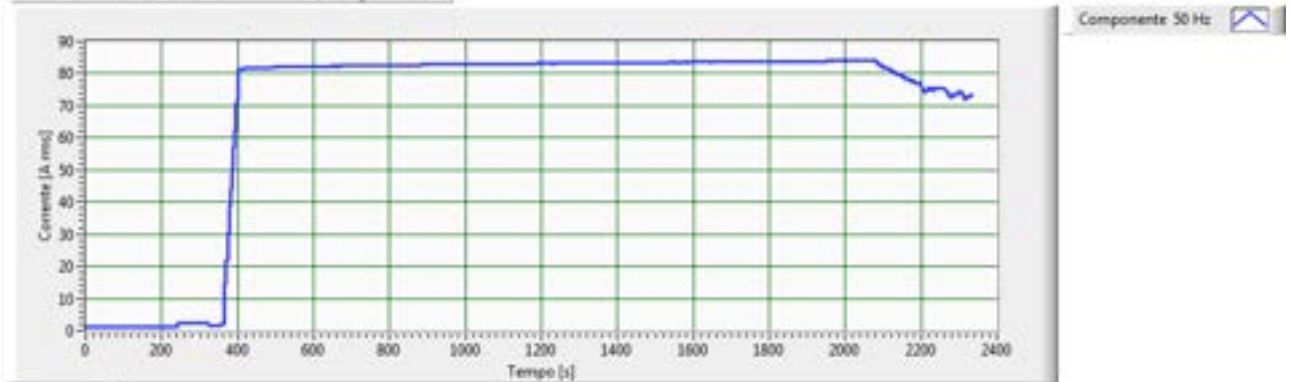


Fig.187 –Andamento della distorsioni armoniche delle correnti, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di corrente nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle correnti riportate.

Fondamentale di corrente - andamento nel tempo - Fase R



Armoniche di corrente - andamento nel tempo - Fase R

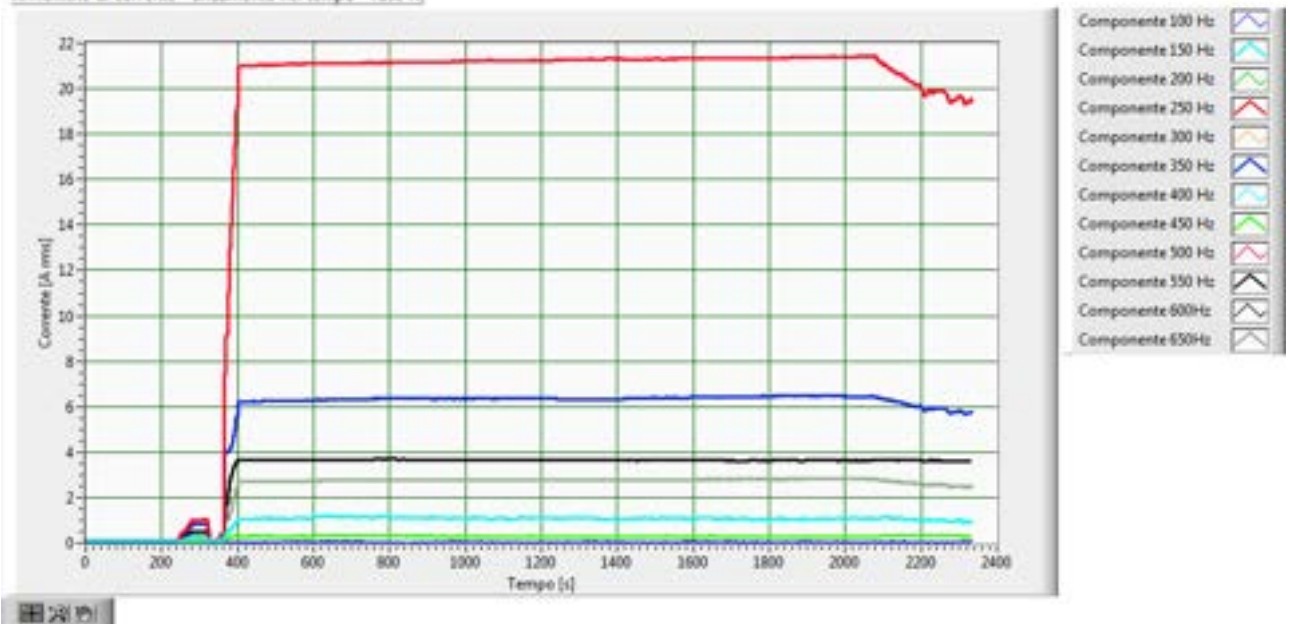


Fig.188–Andamento delle armoniche della corrente, fase R, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

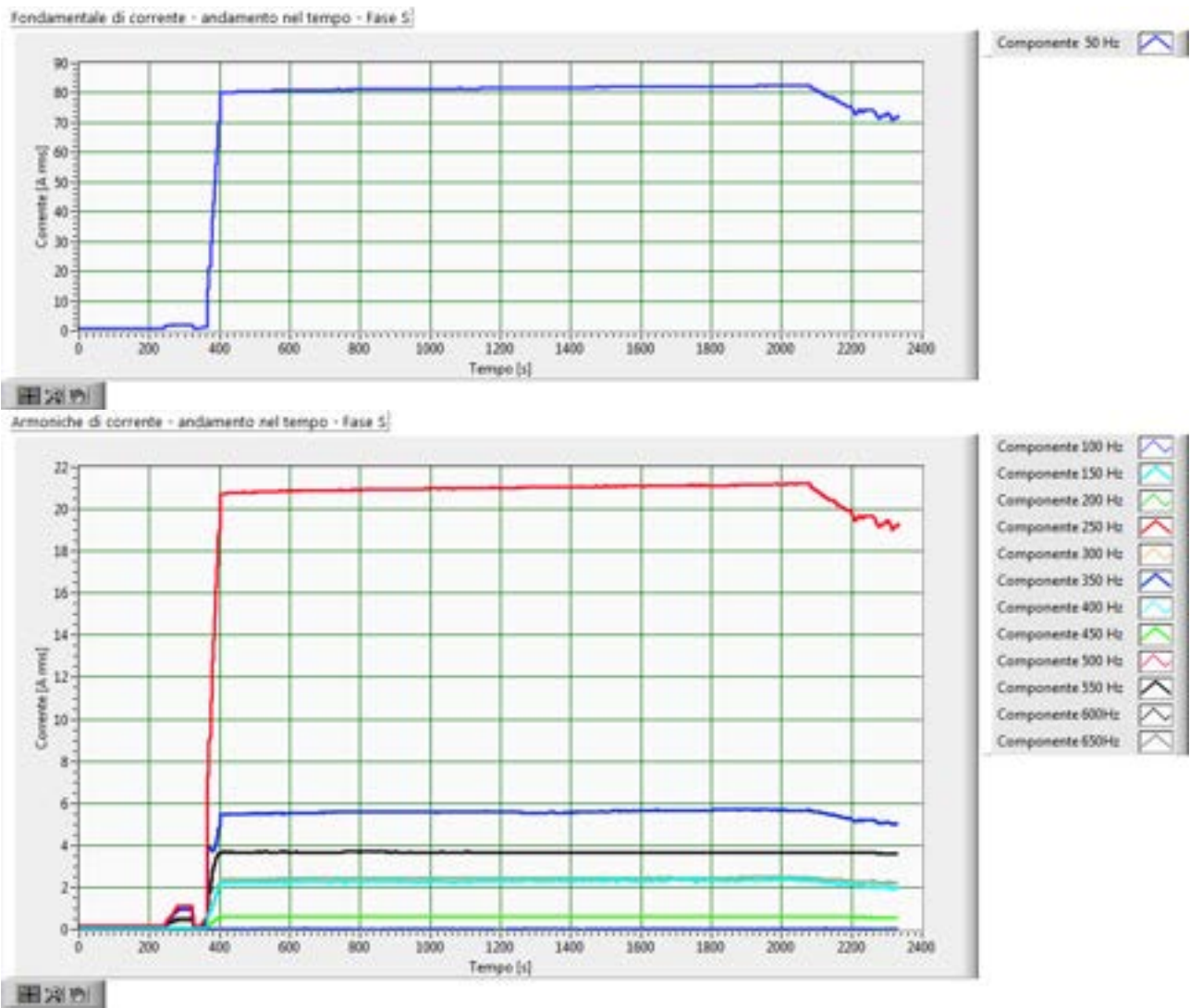
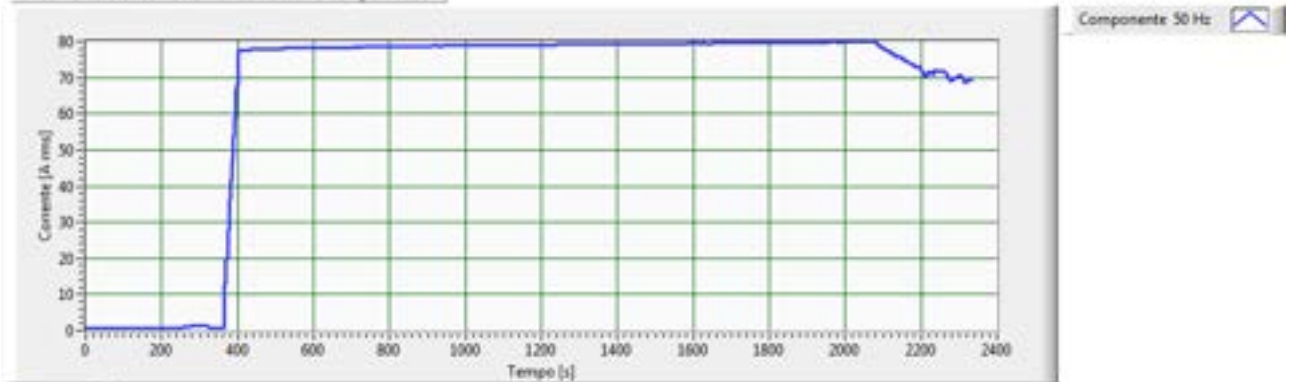


Fig.189–Andamento delle armoniche della corrente, fase S, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Fondamentale di corrente - andamento nel tempo - Fase T



Armoniche di corrente - andamento nel tempo - Fase T

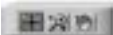
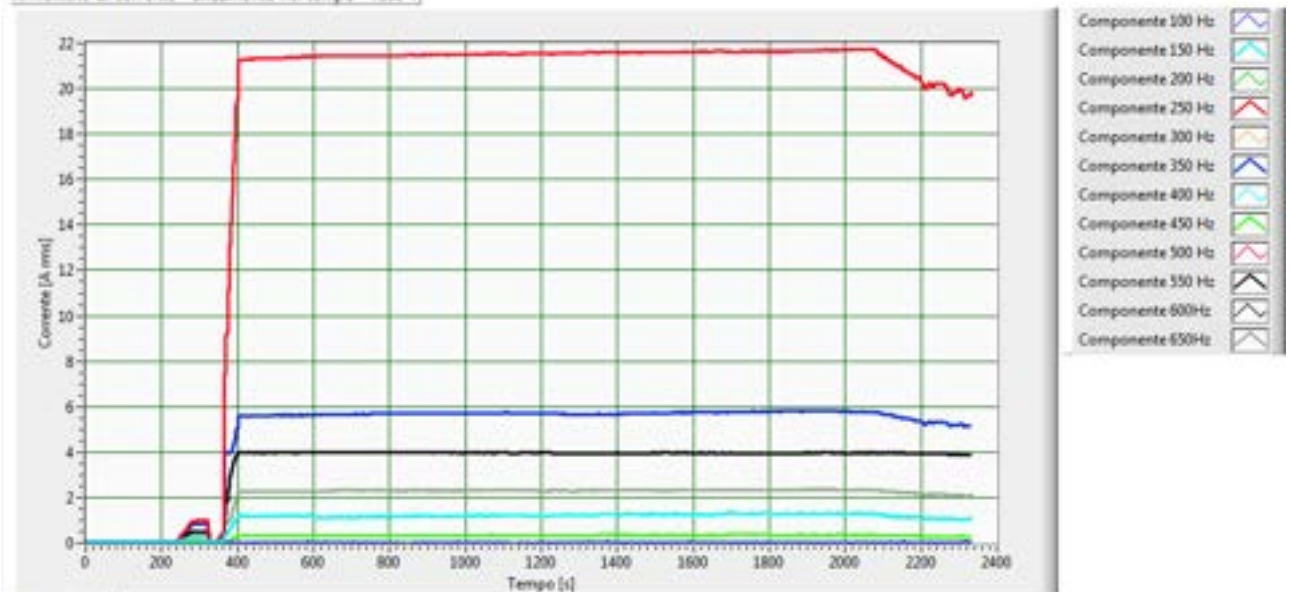


Fig.190–Andamento delle armoniche della corrente, fase T, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

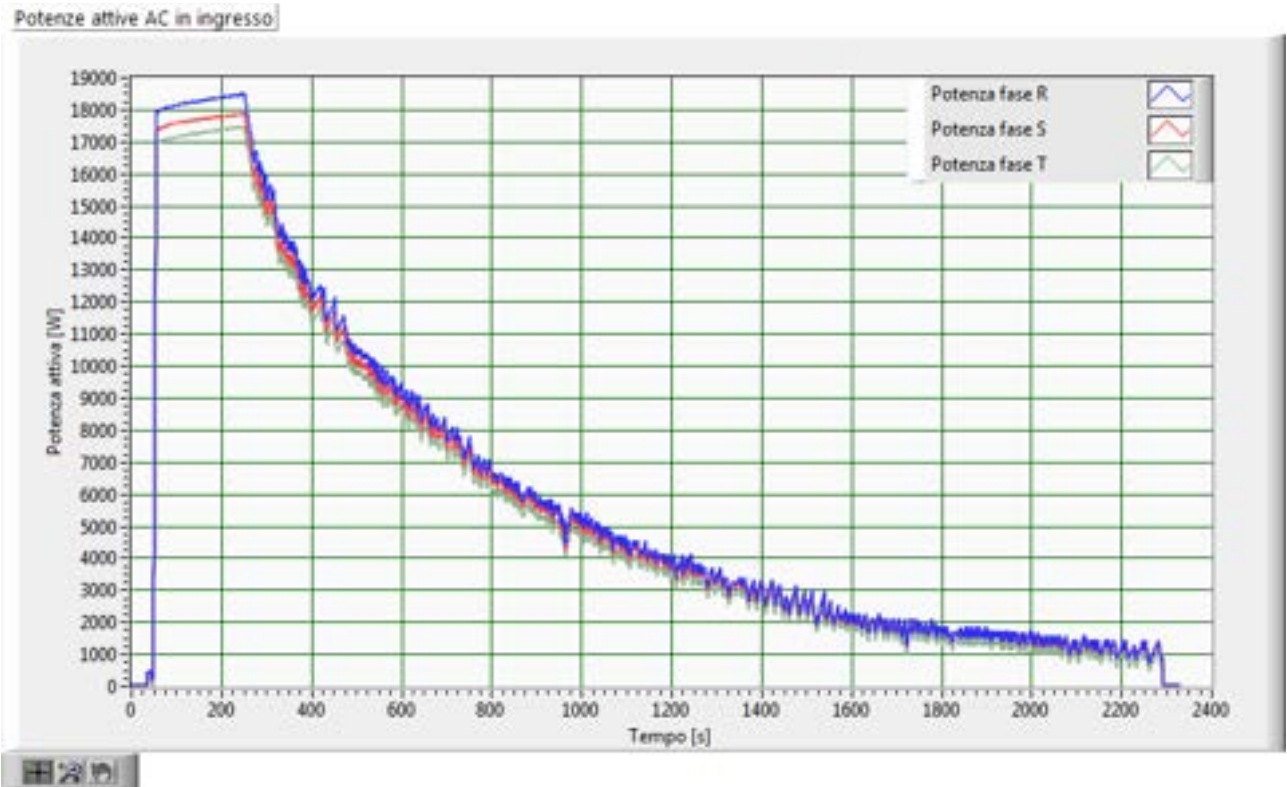


Fig.191–Andamento delle potenze attive di fase, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

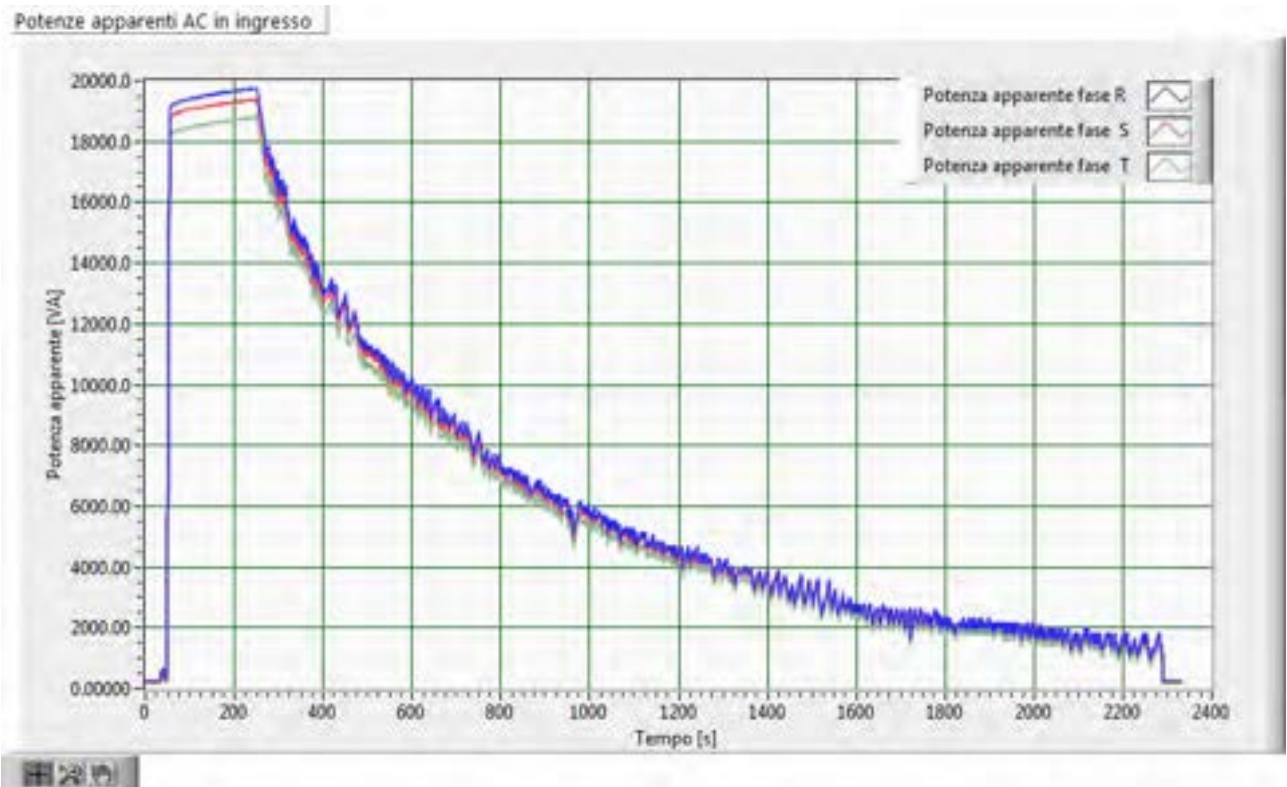


Fig.192–Andamento delle potenze apparenti di fase, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

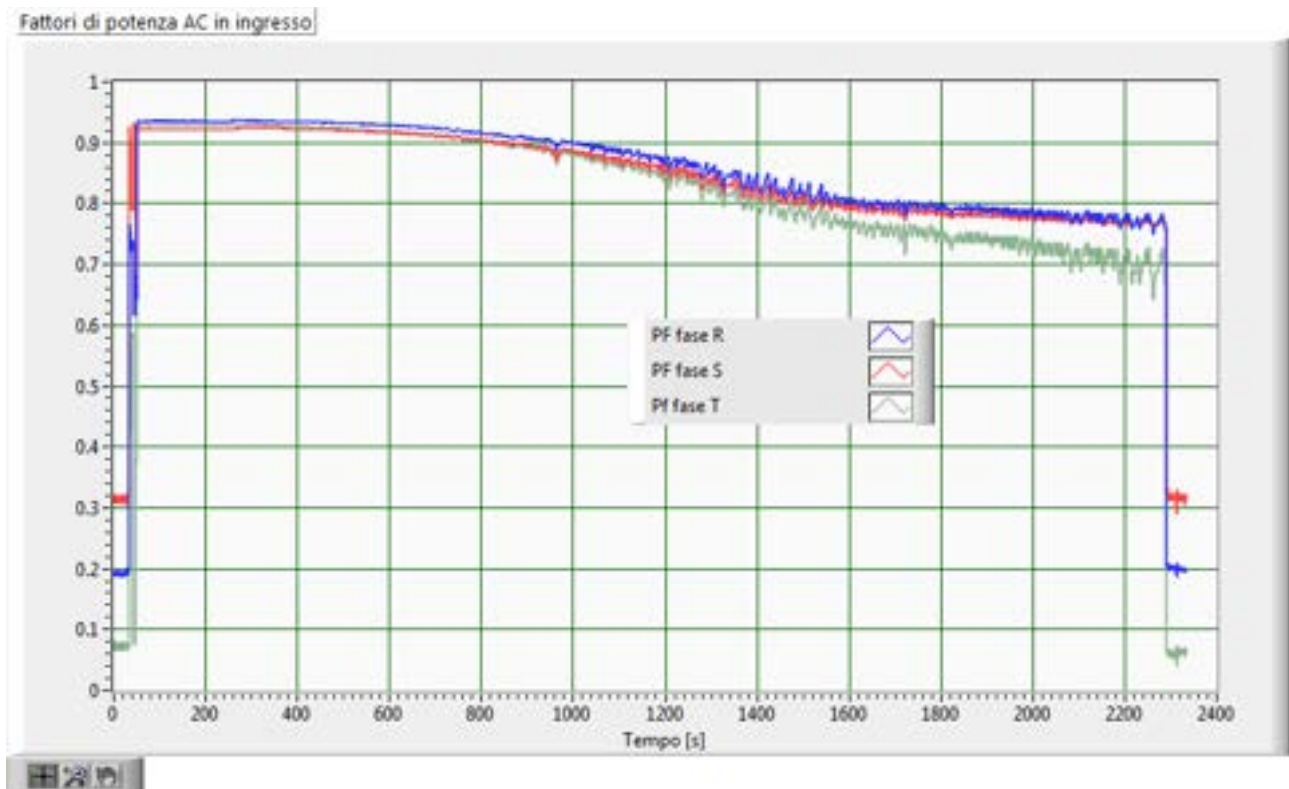


Fig.193–Andamento dei fattori di potenza di fase, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento dei contributi di potenza attiva, dovuti alle componenti armoniche di tensione e corrente superiori alla fondamentale, sono riportati per ogni fase due grafici: il primo relativo alla potenza attiva relativa alla componenti fondamentali di tensione e correnti, il secondo ai rimanti contributi. Si osserva che i contributi alla potenza attiva dovuti alle armoniche sono del tutto trascurabili. Ciò è verosimilmente dovuto al ridotto contenuto armonico della tensione, che limita l'effetto, in termini di potenza attiva, delle pur rilevanti armoniche di corrente generate dal sistema di conversione.

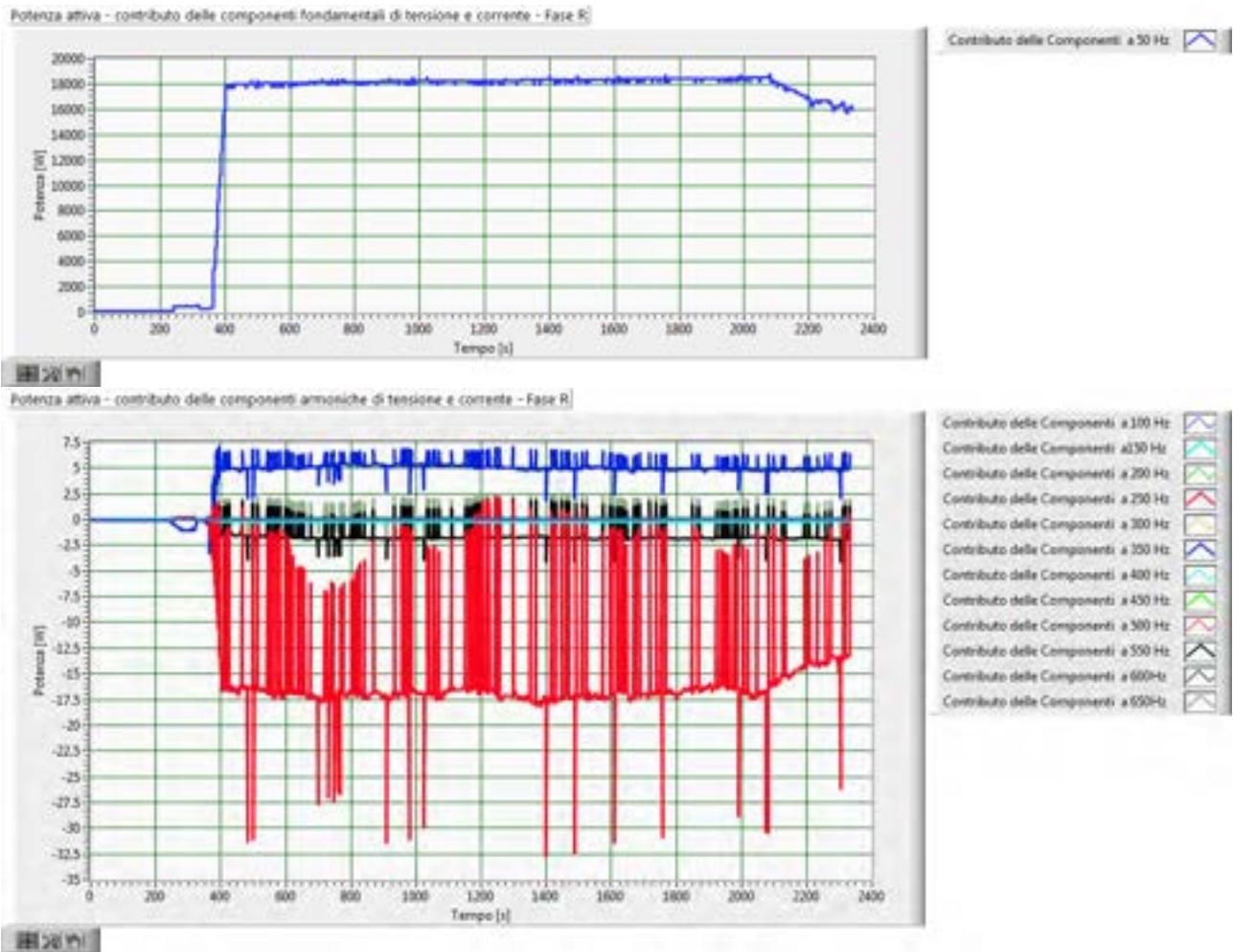
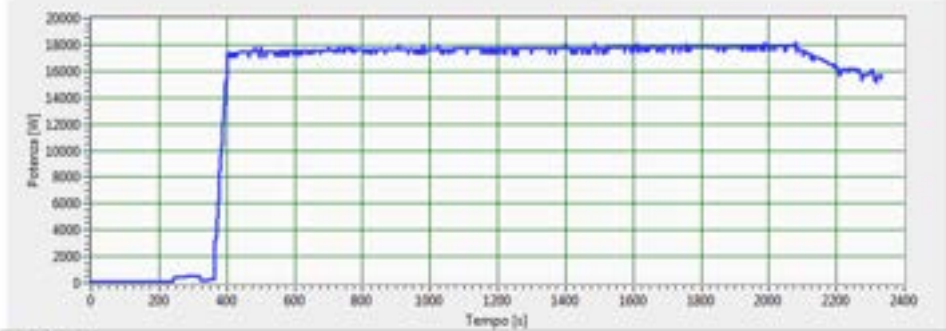


Fig.194–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase R, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

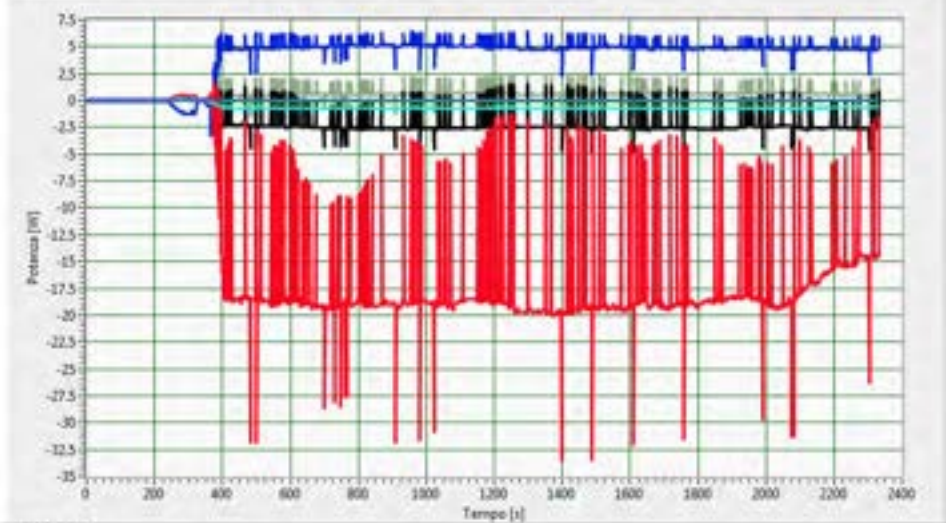
Potenza attiva - contributo delle componenti fondamentali di tensione e corrente - Fase S



Contributo delle Componenti a 50 Hz

20 11

Potenza attiva - contributo delle componenti armoniche di tensione e corrente - Fase S



- Contributo delle Componenti a 100 Hz
- Contributo delle Componenti a 150 Hz
- Contributo delle Componenti a 200 Hz
- Contributo delle Componenti a 250 Hz
- Contributo delle Componenti a 300 Hz
- Contributo delle Componenti a 350 Hz
- Contributo delle Componenti a 400 Hz
- Contributo delle Componenti a 450 Hz
- Contributo delle Componenti a 500 Hz
- Contributo delle Componenti a 600 Hz
- Contributo delle Componenti a 650 Hz

20 11

Fig.195 –Andamento dei contributi di potenza attiva, fase S, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

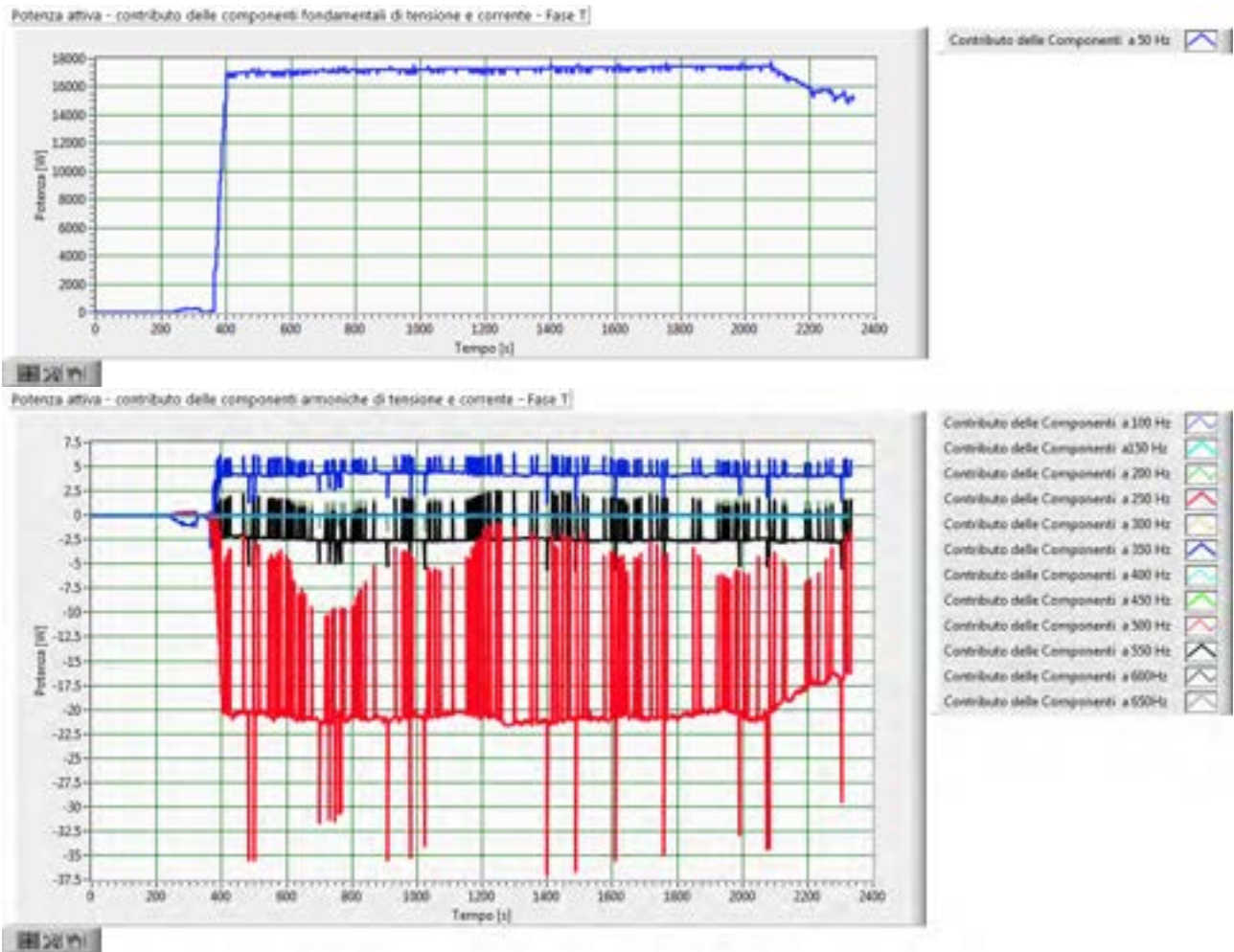


Fig.196–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase T, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Anche per i risultati della presente prova si ripropongono le problematiche osservate nel paragrafo precedente.

2.3.3.3 Verifica delle prestazioni complessive-ricarica completa con batteria al 90% di stato di carica iniziale

L'acquisizione è stata effettuata in data 20/08/2013 alle ore 12:56; durante l'esecuzione della prova sono stati rilevati i valori sul display del sistema di carica in Tab. 10.

Tab. 10 Dati riportati sul display del sistema di ricarica con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Orario	Energia erogata [kWh]	Tempo stimato per fine carica [min]	Stato di carica della batteria [%]
12:56	0	40	90.0
13:01	1.60	37	98.0
13:06	1.60	32	98.0
13:11	1.60	27	98.0
13:19	1.80	22	98.5

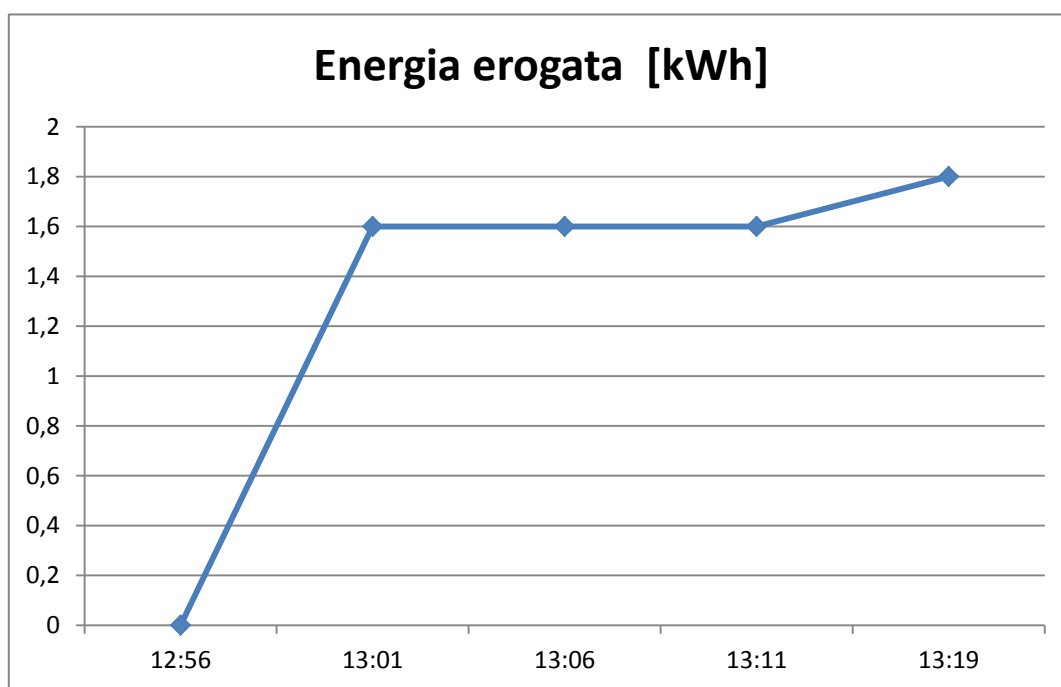


Fig.197– Andamento dell'energia erogata – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

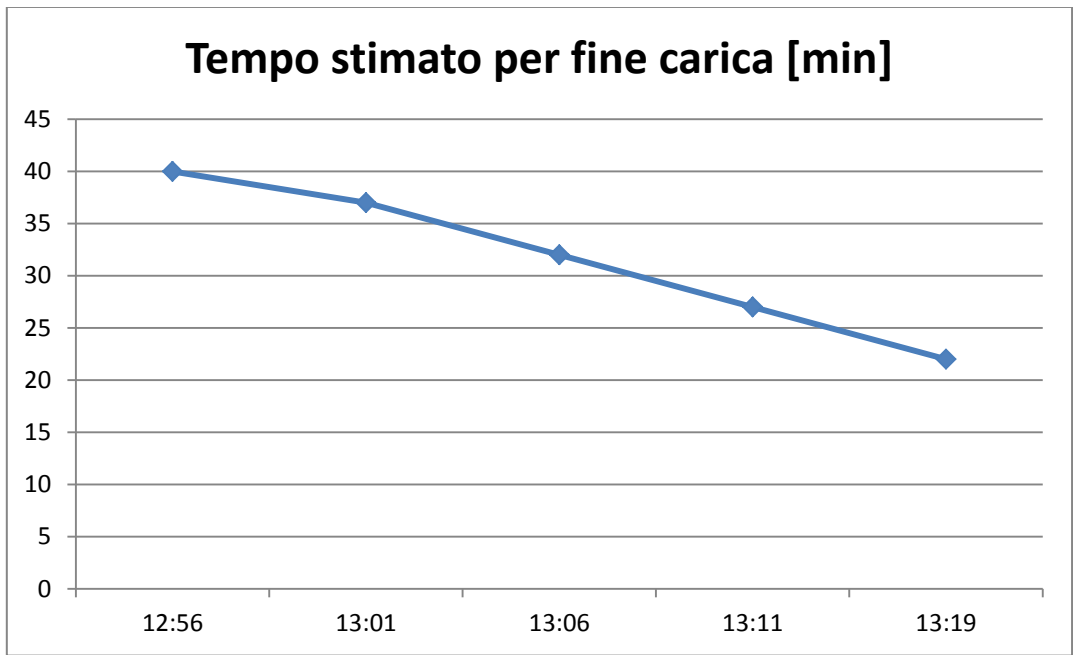


Fig.198– Andamento del tempo di carica stimato – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

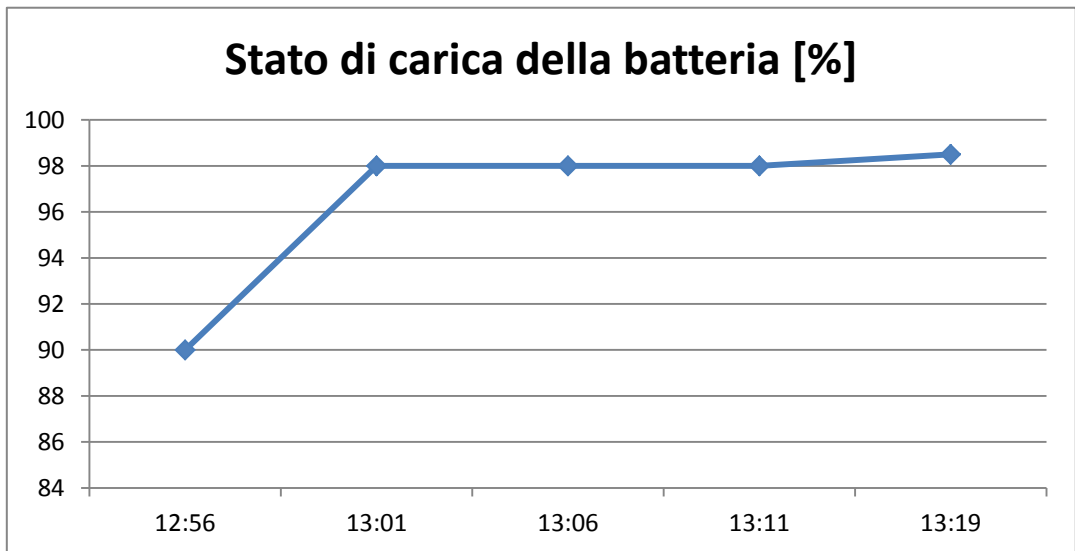


Fig.200– Andamento dello stato di carica – dati rilevati manualmente dal display del sistema di conversione

Tensione DC in uscita

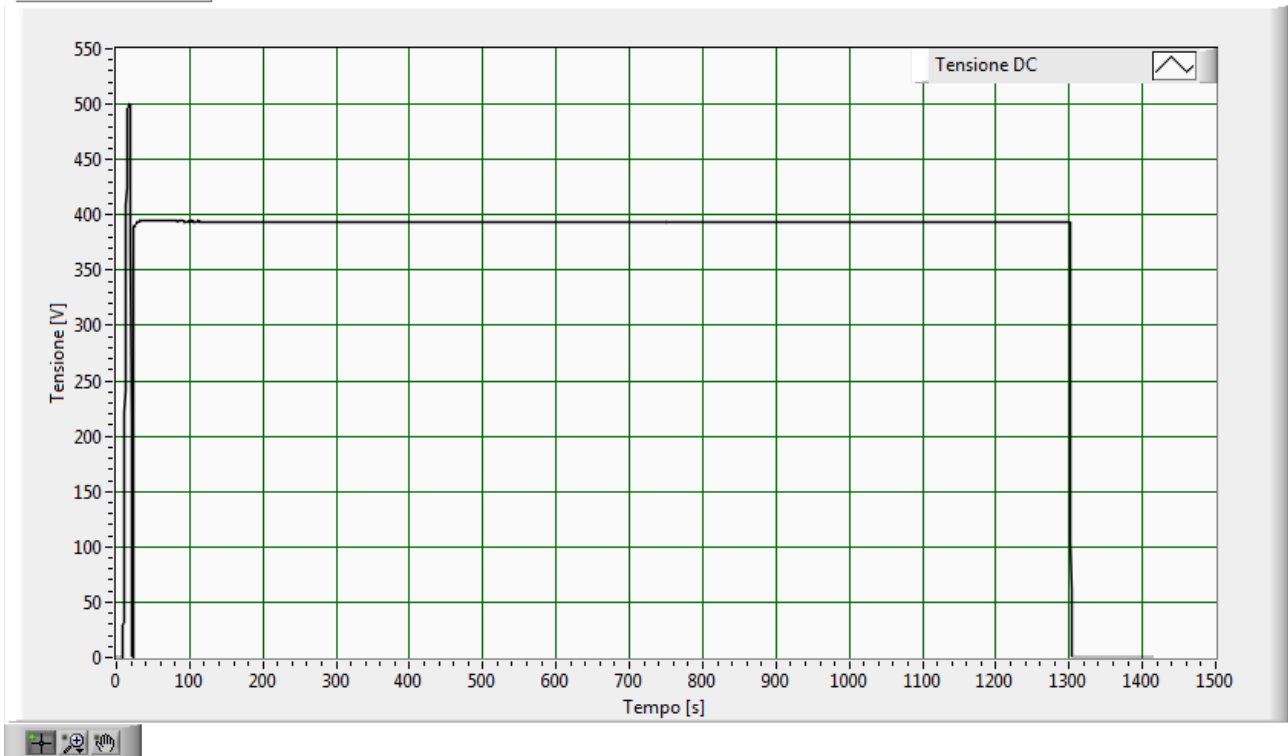


Fig.201 –Andamento della tensione DC di uscita con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Corrente DC in uscita

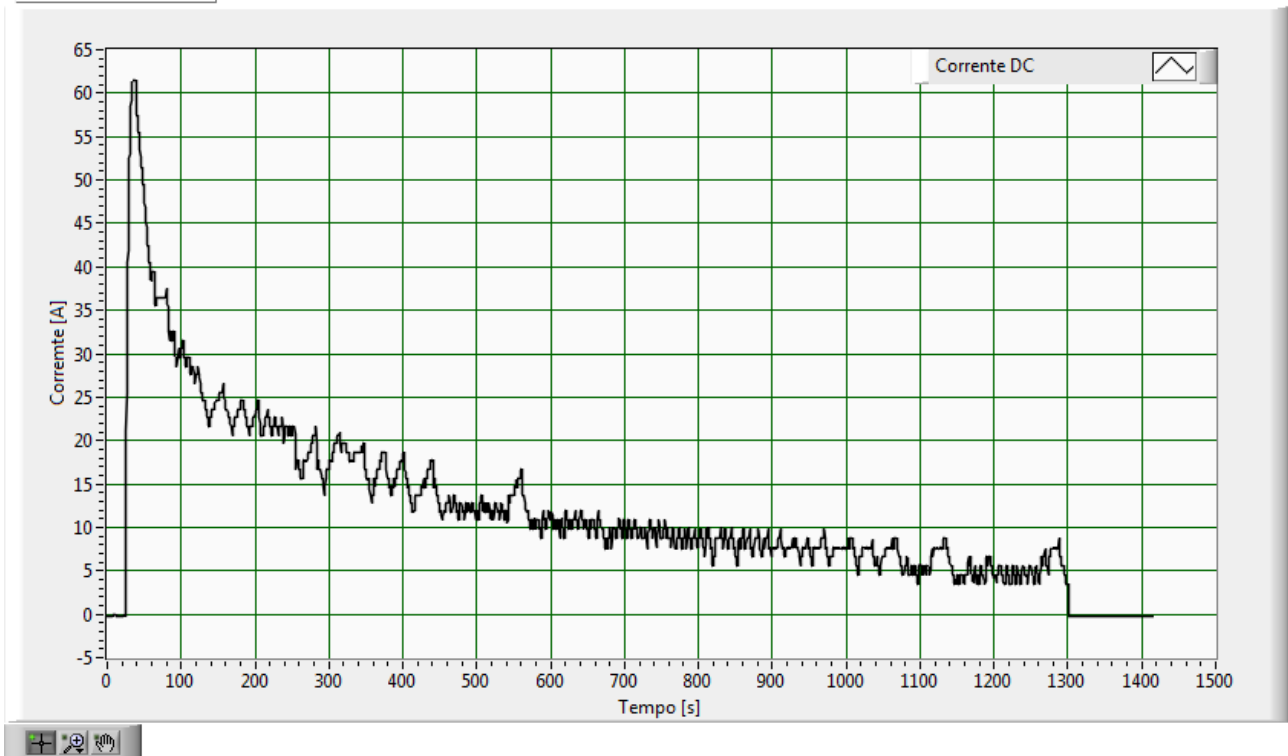


Fig.202–Andamento della corrente DC di uscita con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

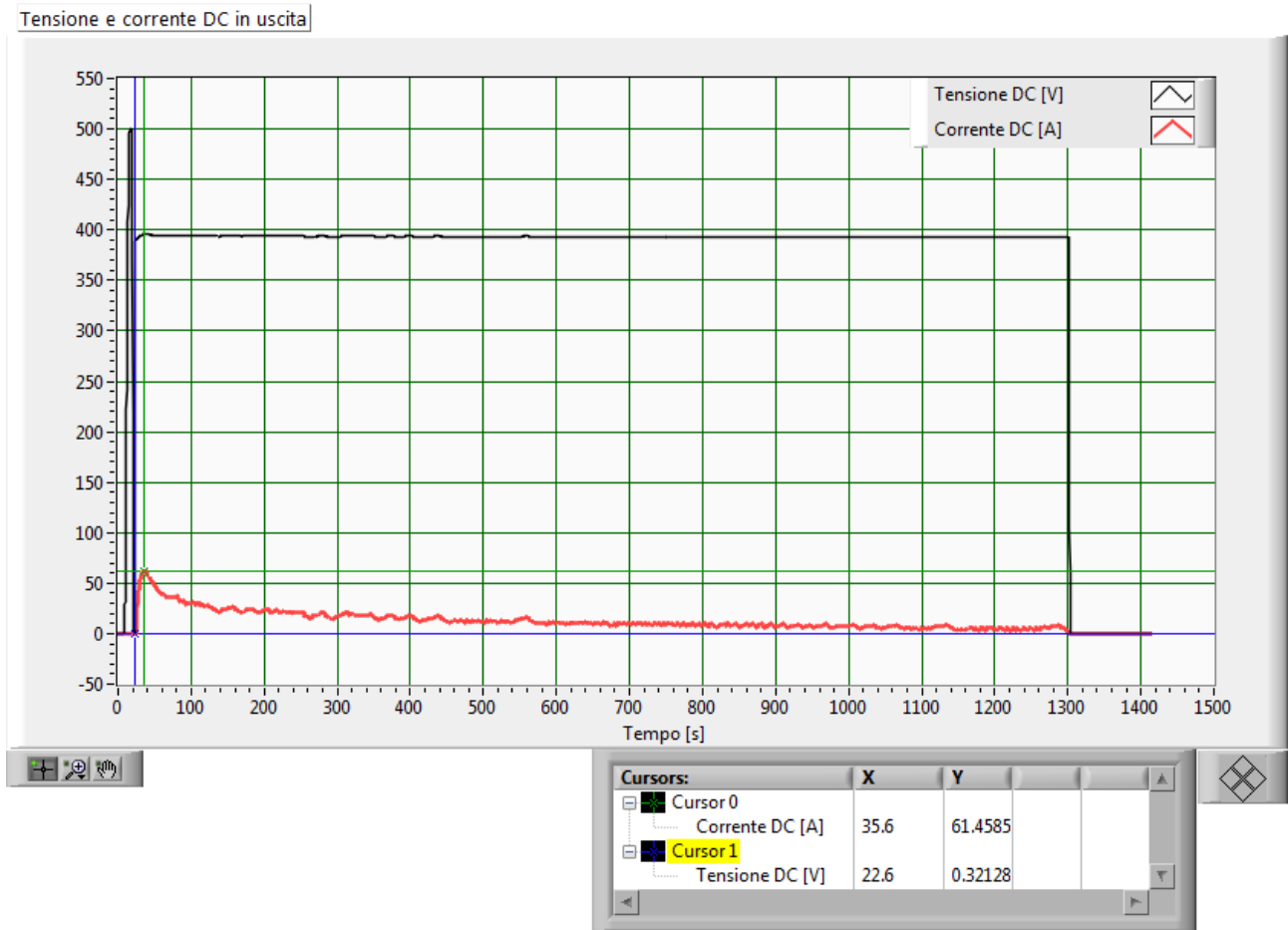


Fig.203 - Andamento della tensione e della corrente lato DC per confronto degli andamenti temporali DC di uscita con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

La durata del funzionamento a corrente costante è stimabile in 13 s; successivamente entra in funzione la modalità di funzionamento a tensione costante.

Potenza DC in uscita

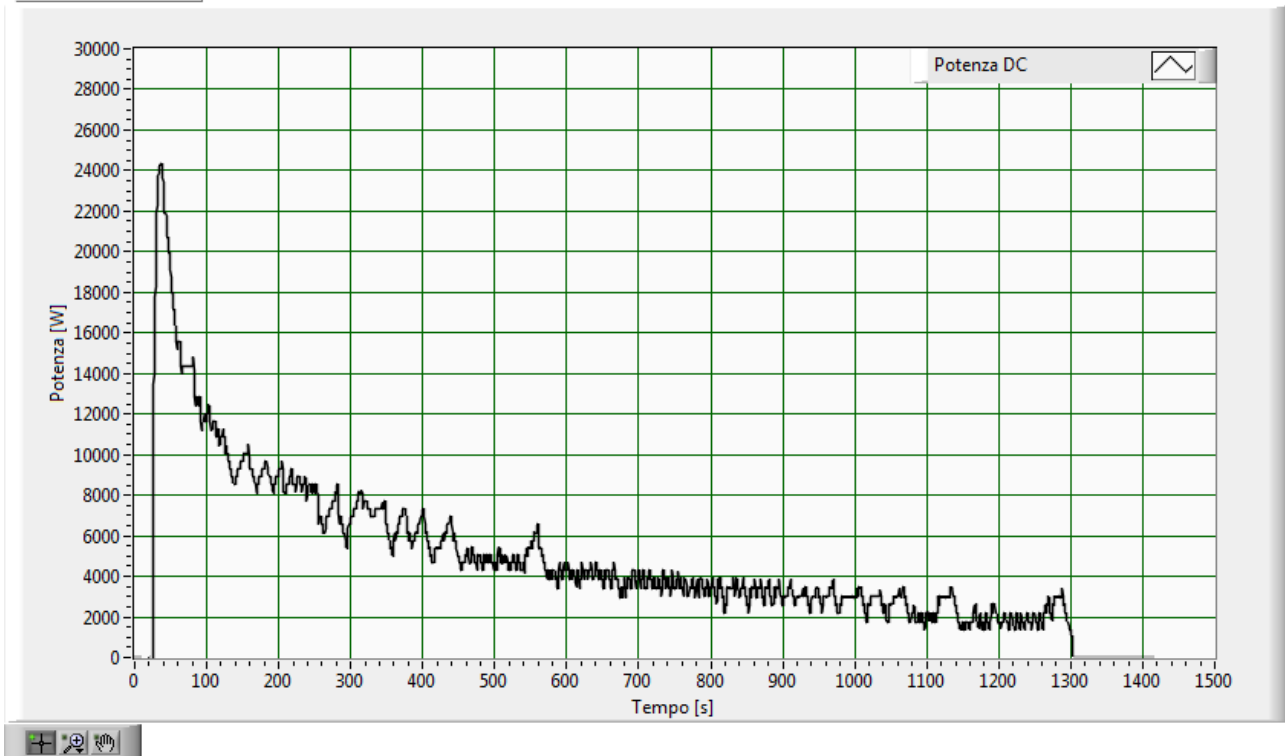


Fig.204–Andamento della potenza DC di uscita con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Il valore complessivo misurato dell'energia erogata durante la carica è di 1.87 kWh.

Energia erogata

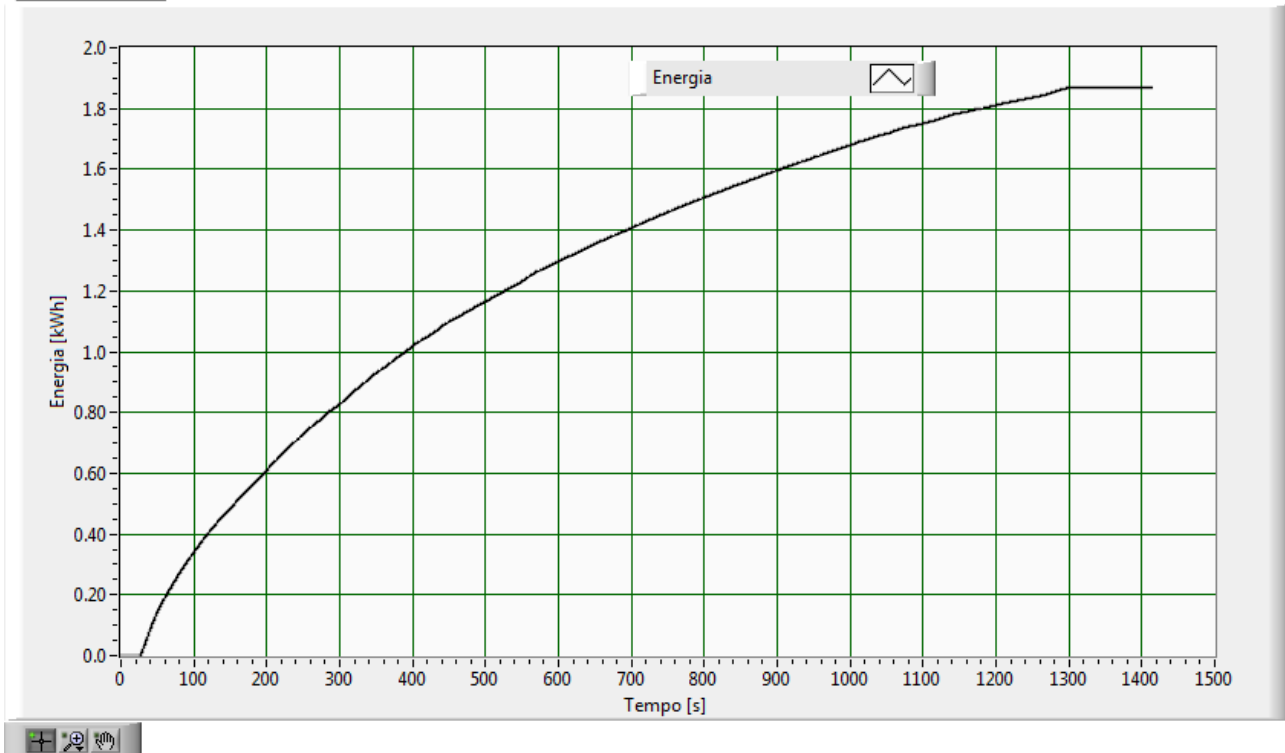


Fig.205–Andamento della energia erogata uscita con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

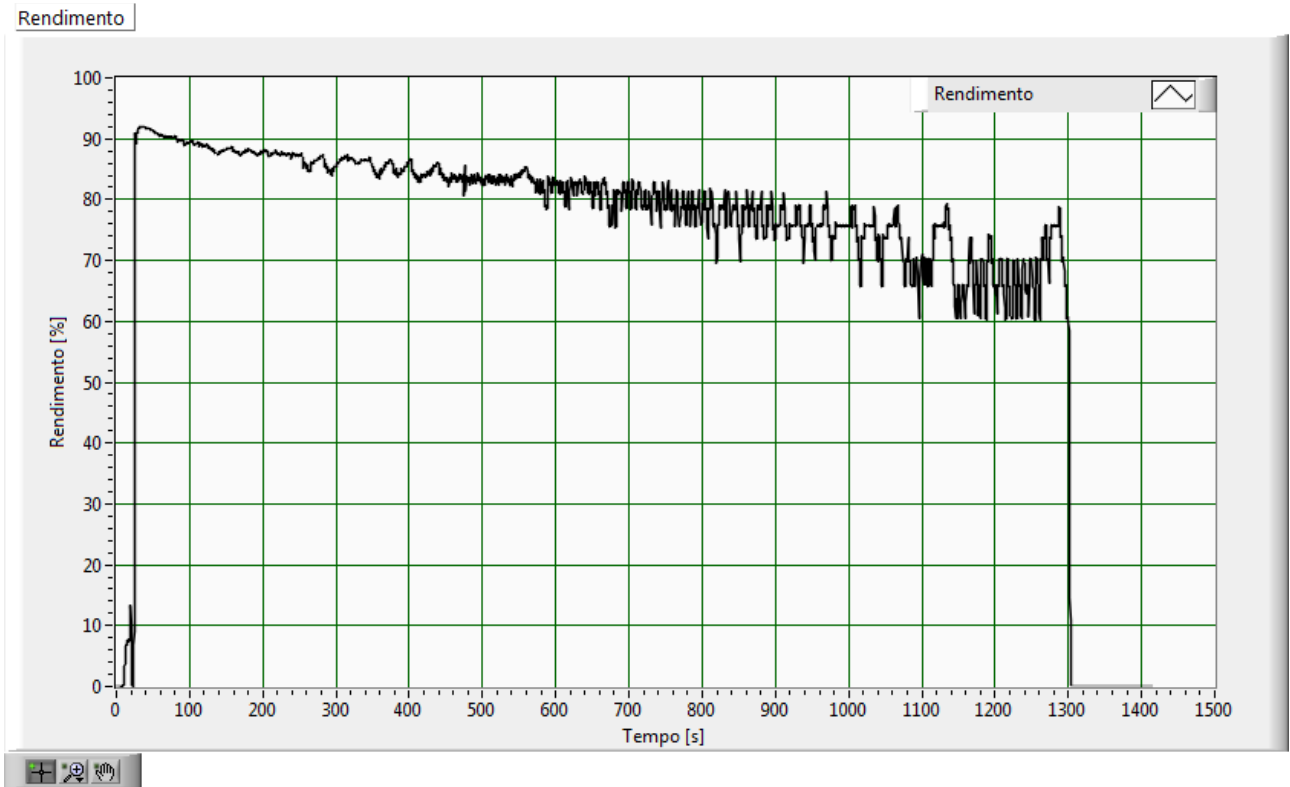


Fig.206–Andamento del rendimento di conversione con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

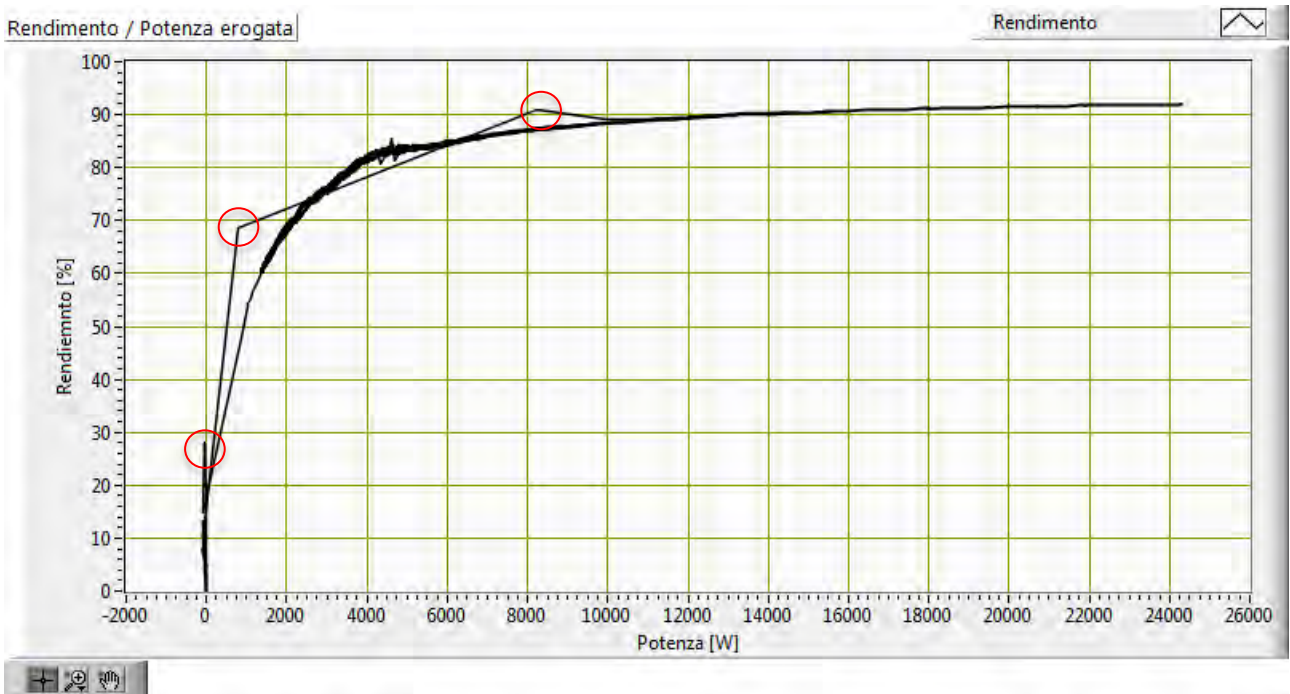


Fig.207–Andamento del rendimento in funzione della potenza erogata con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

I valori evidenziati in Fig. 207 sono dovuti a fenomeni transitori.

Potenza attiva AC in ingresso

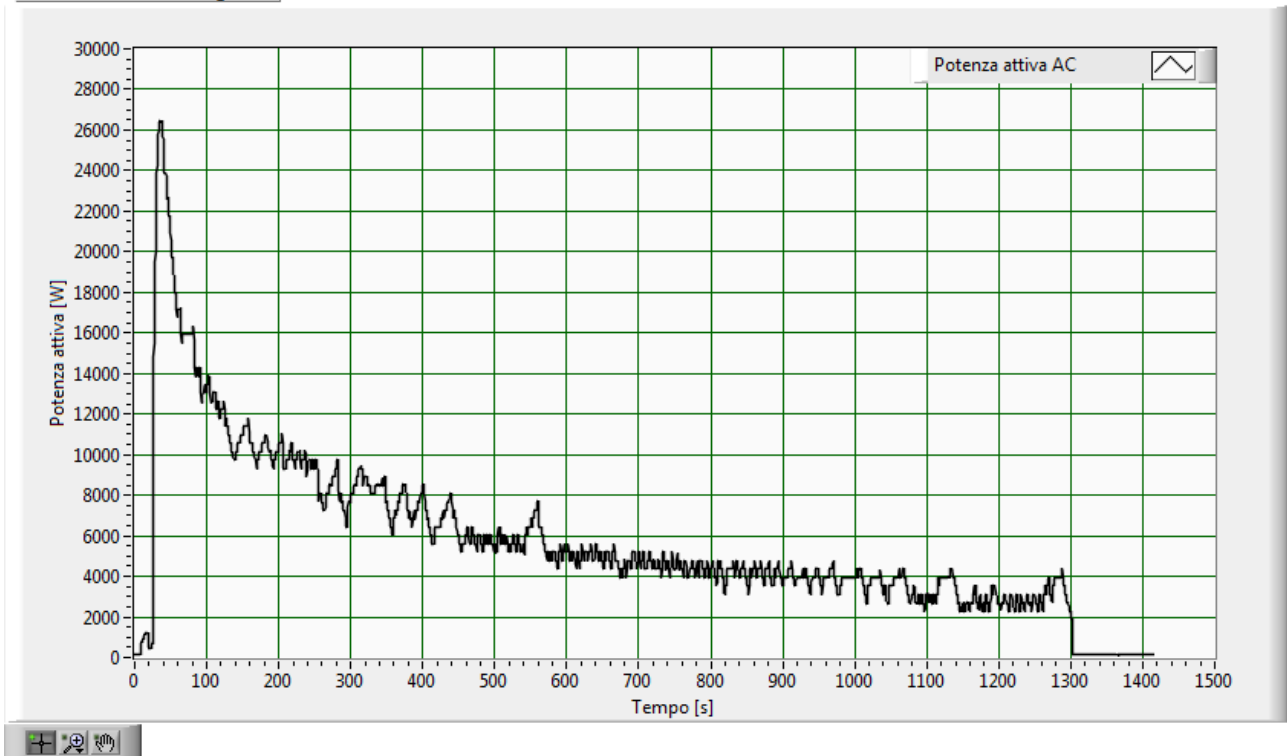


Fig.208–Andamento della potenza attiva AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Potenza apparente AC in ingresso

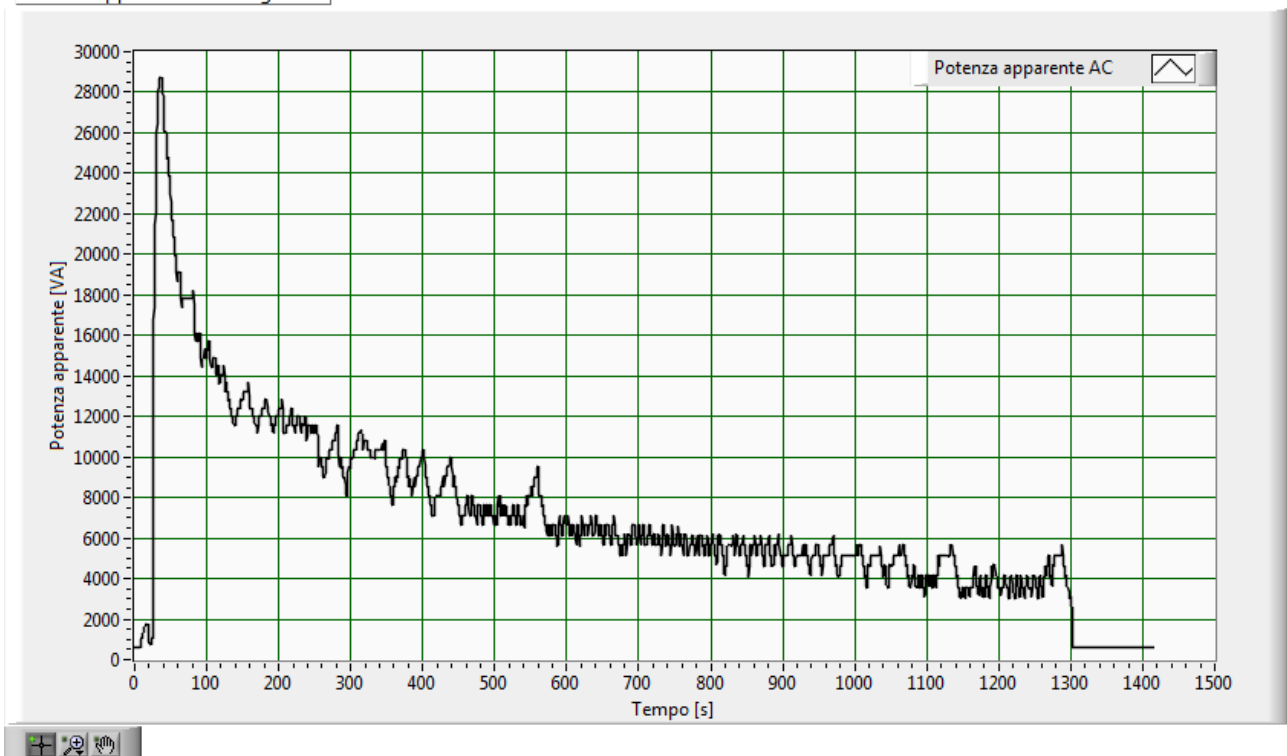


Fig.209–Andamento della potenza apparente AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

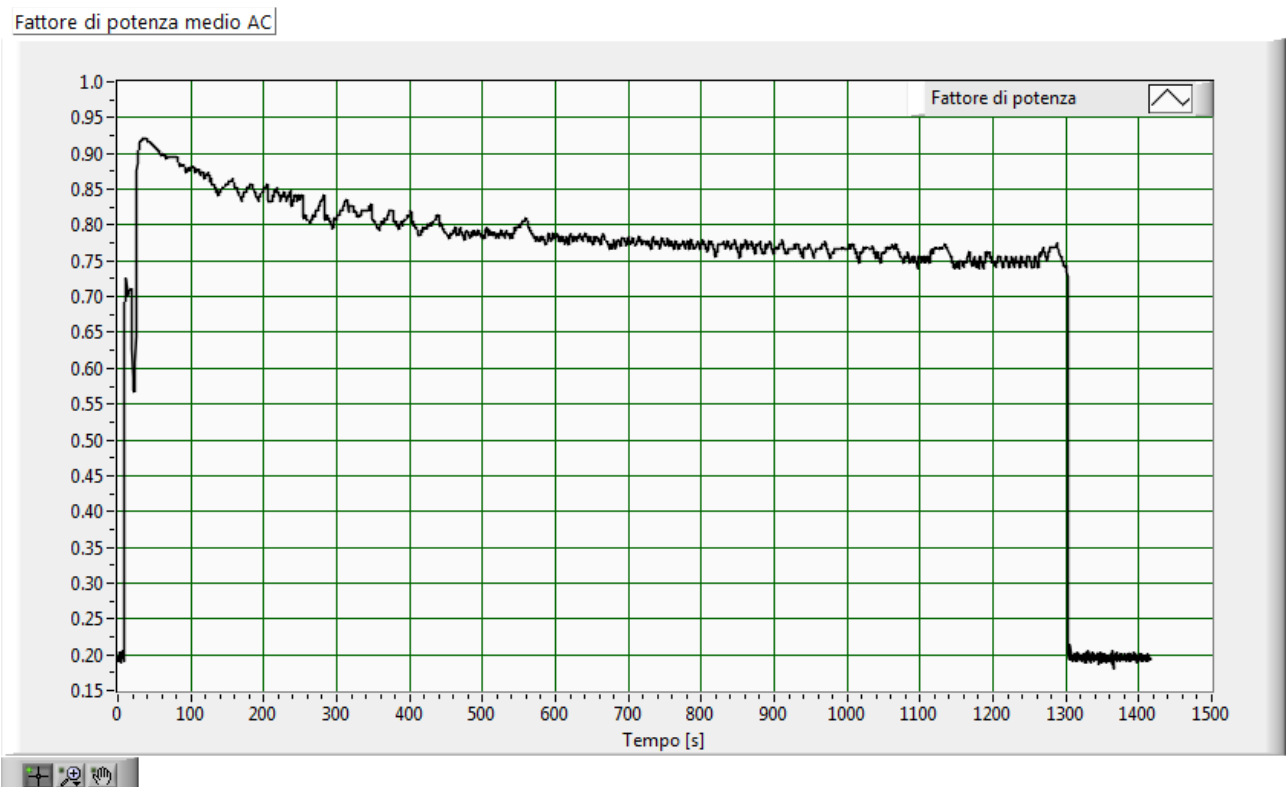


Fig.210–Andamento del fattore di potenza medio AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

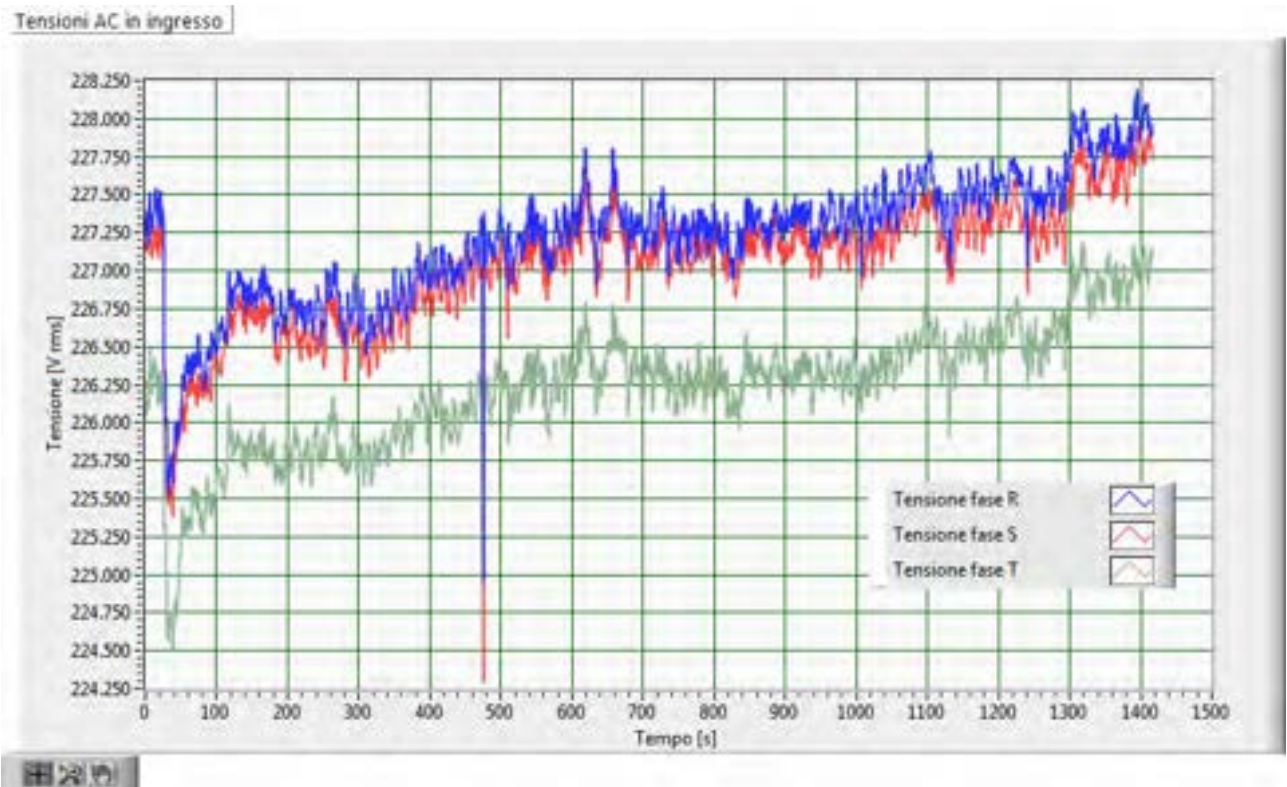


Fig.211–Andamento delle tensioni efficaci AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

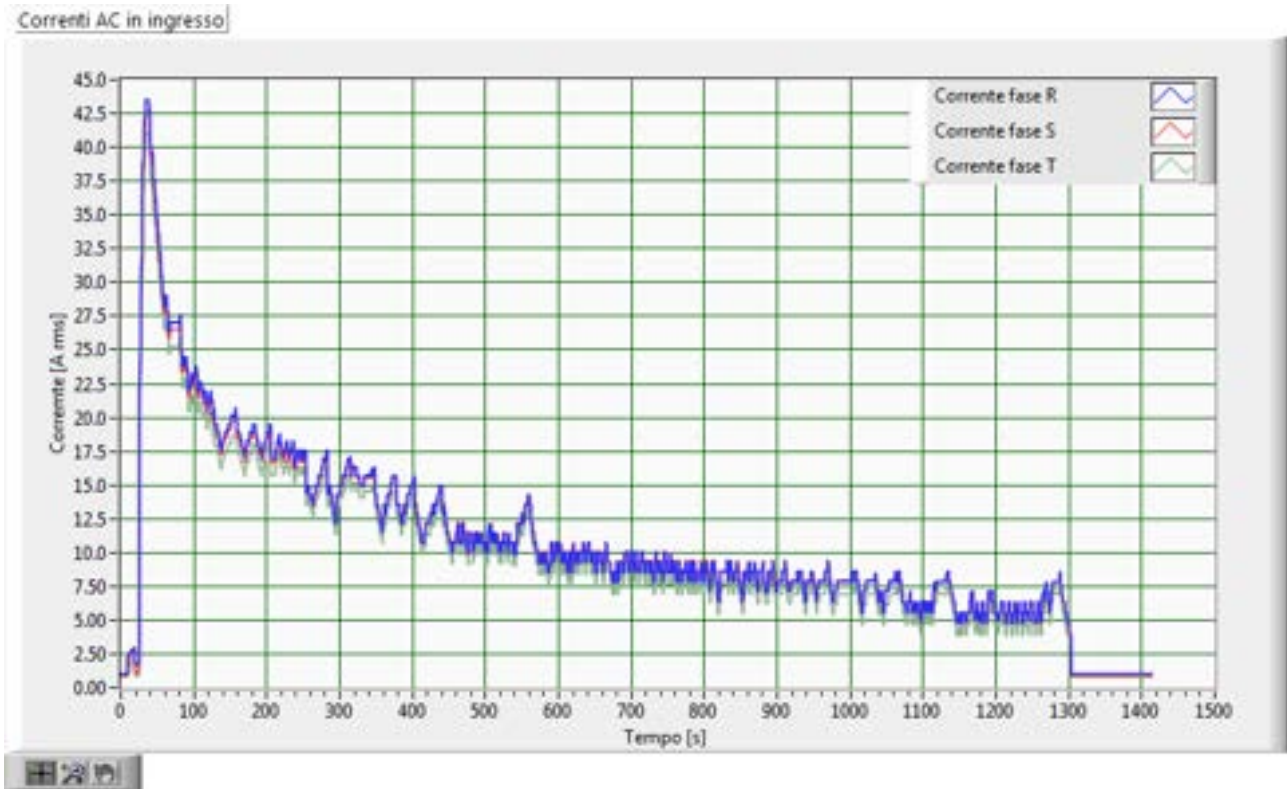


Fig.212–Andamento delle correnti efficaci AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

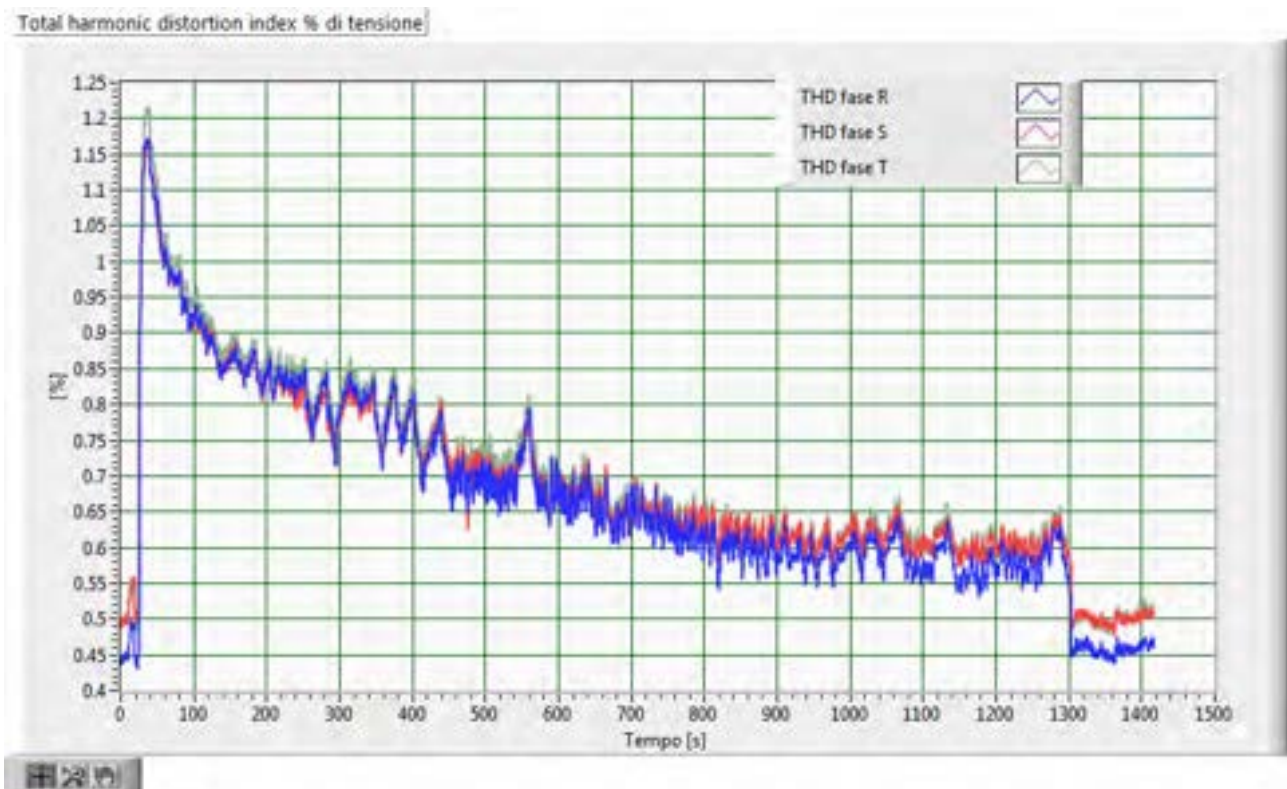


Fig.213–Andamento delle distorsioni armoniche delle tensioni AC con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di tensione nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle tensioni riportate. Si osserva che i valori delle tensioni armoniche sono molto contenuti.

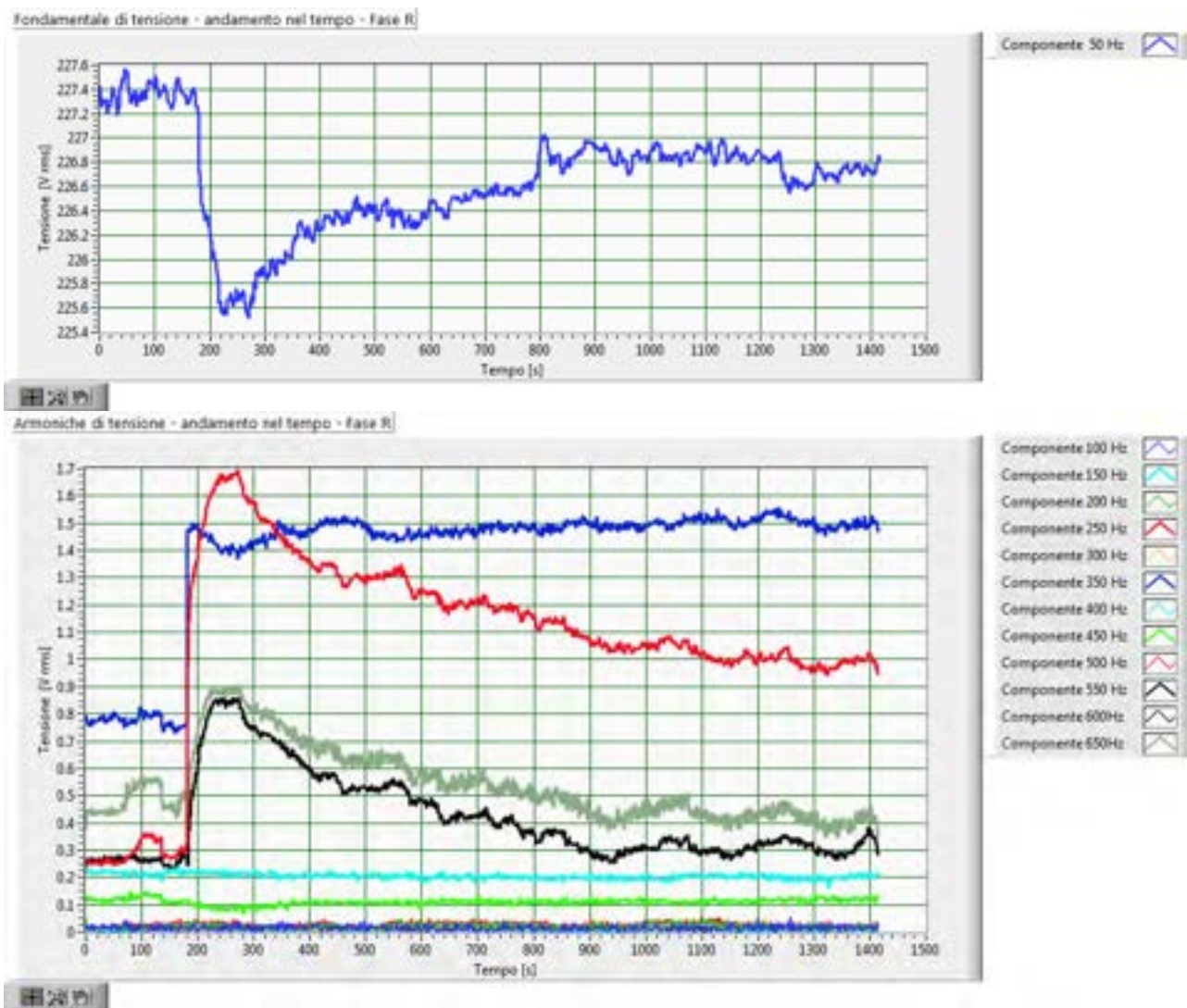
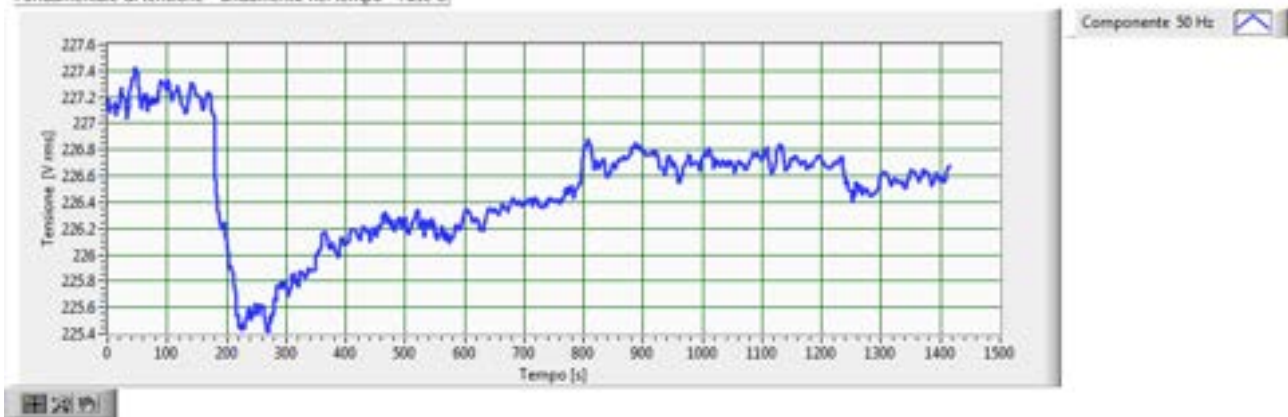


Fig.214–Andamento delle armoniche della tensione, fase R, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Fondamentale di tensione - andamento nel tempo - Fase S



Armoniche di tensione - andamento nel tempo - Fase S

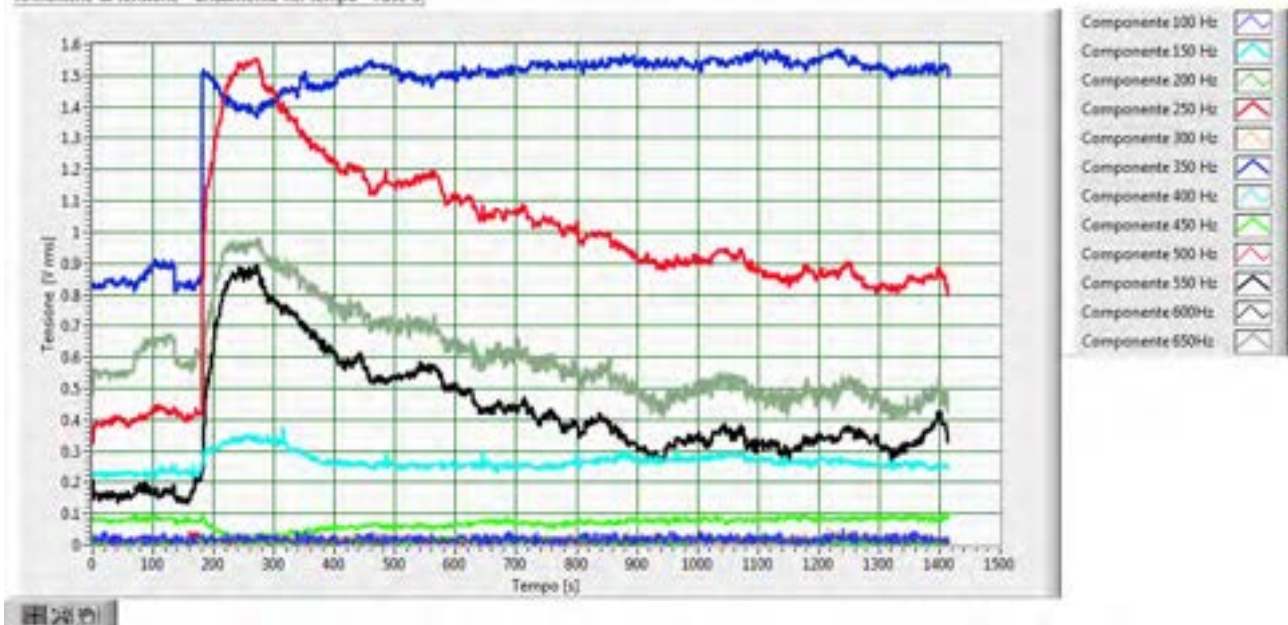


Fig.215–Andamento delle armoniche della tensione, fase S, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

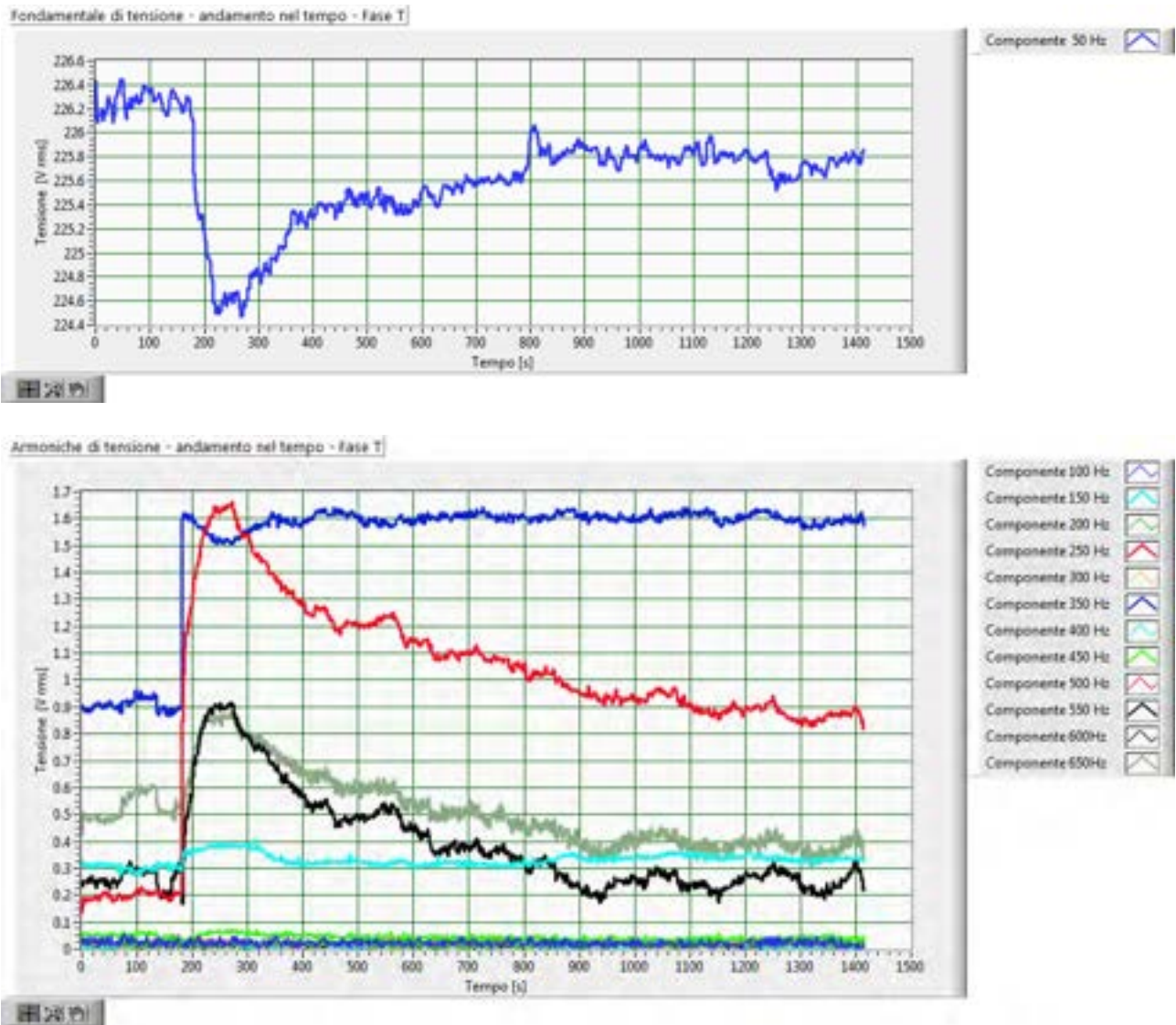


Fig.216–Andamento delle armoniche della tensione, fase T, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

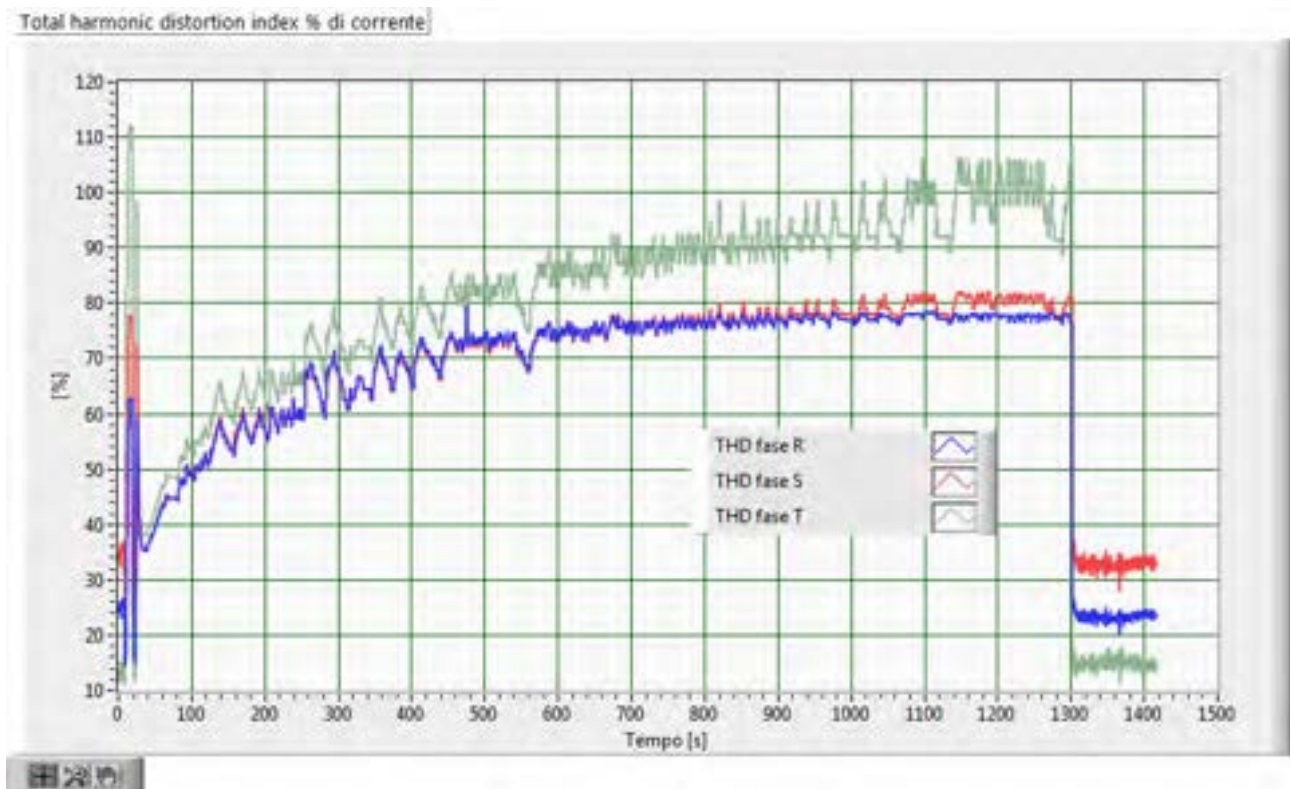


Fig.217 –Andamento della distorsioni armoniche delle correnti, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell'andamento delle componenti armoniche di corrente nel tempo, per ogni fase sono riportati due grafici distinti, per la componente fondamentale e per le armoniche pari e dispari fino alla componente a 650 Hz. Tale scelta consente una scelta della scala in ascisse adeguata all'intensità delle correnti riportate.

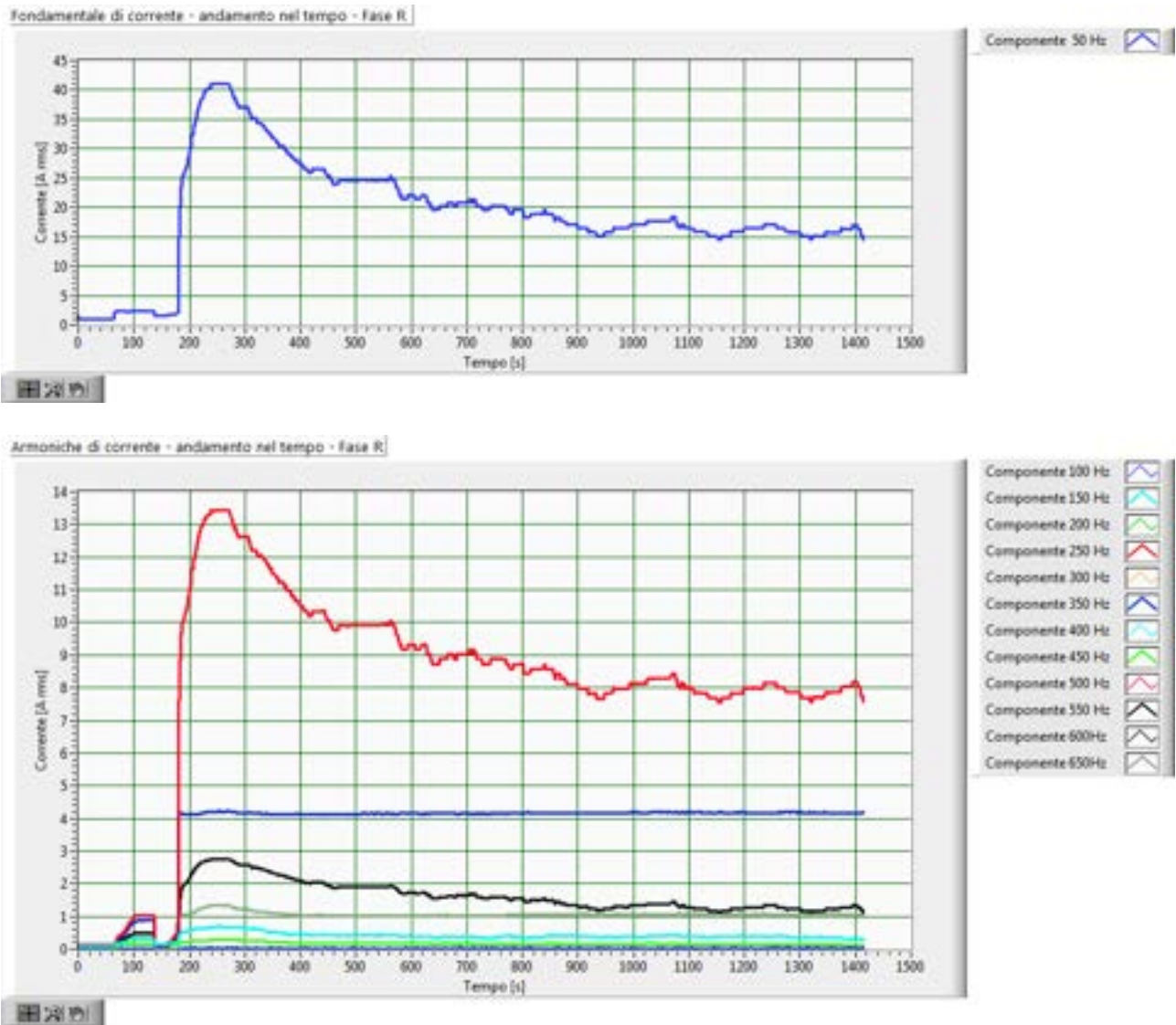
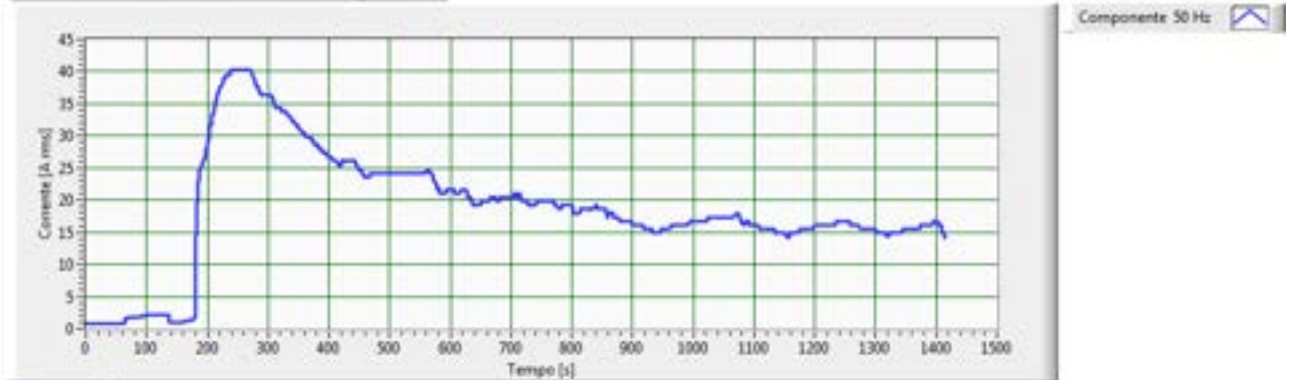


Fig.218–Andamento delle armoniche della corrente, fase R, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Fondamentale di corrente - andamento nel tempo - Fase S



Armoniche di corrente - andamento nel tempo - Fase S



Fig.219–Andamento delle armoniche della corrente, fase S, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

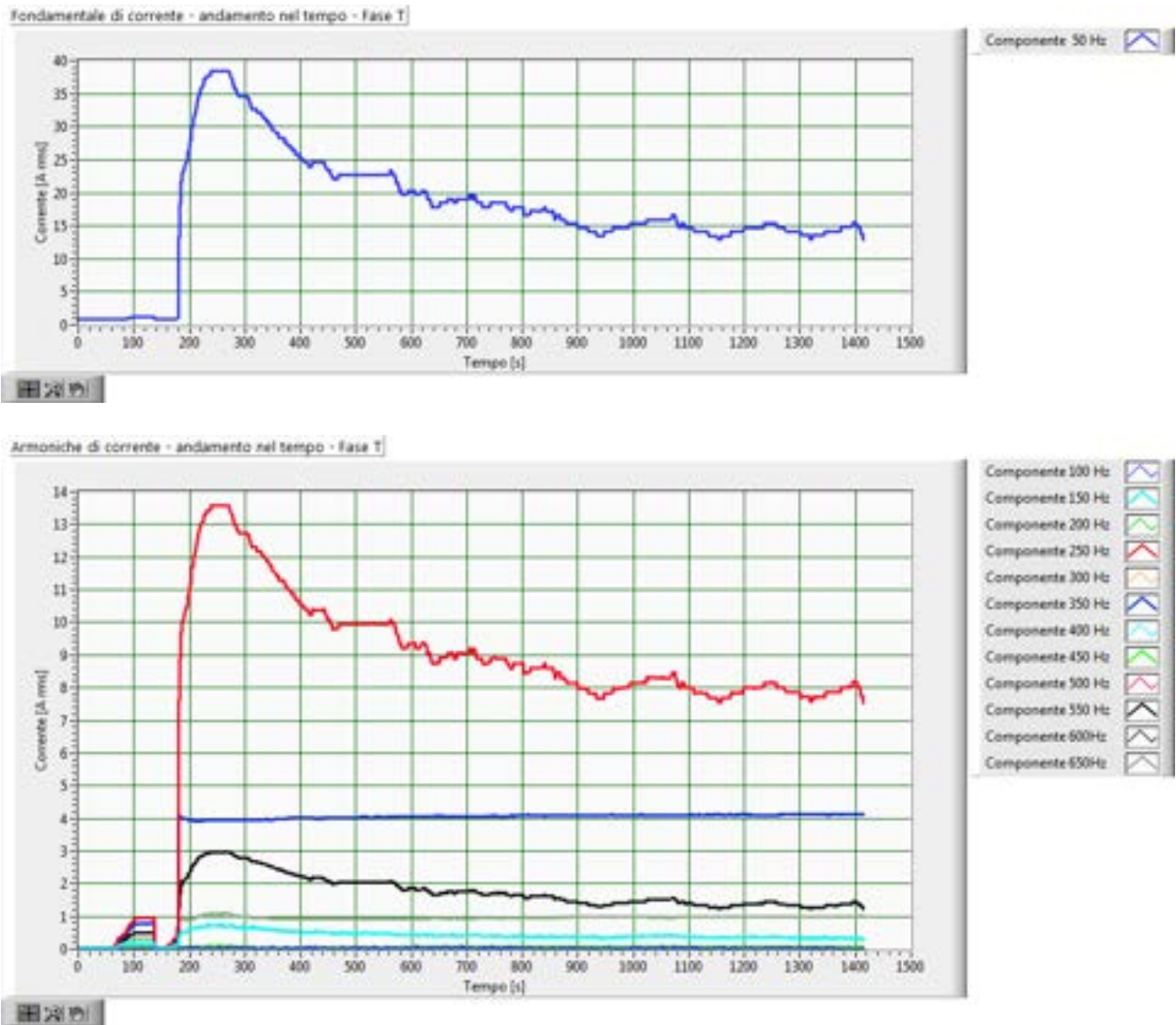


Fig.220–Andamento delle armoniche della corrente, fase T, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Potenze attive AC in ingresso

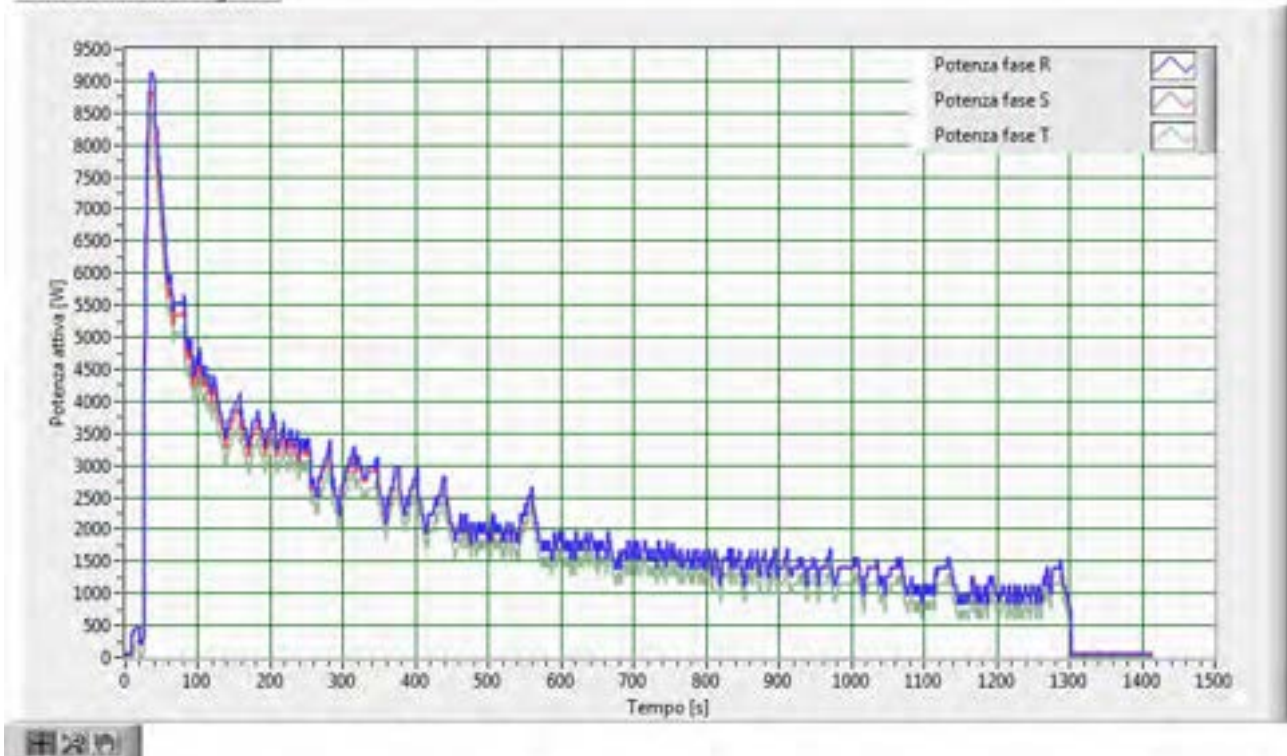


Fig.221–Andamento delle potenze attive di fase, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Potenze apparenti AC in ingresso

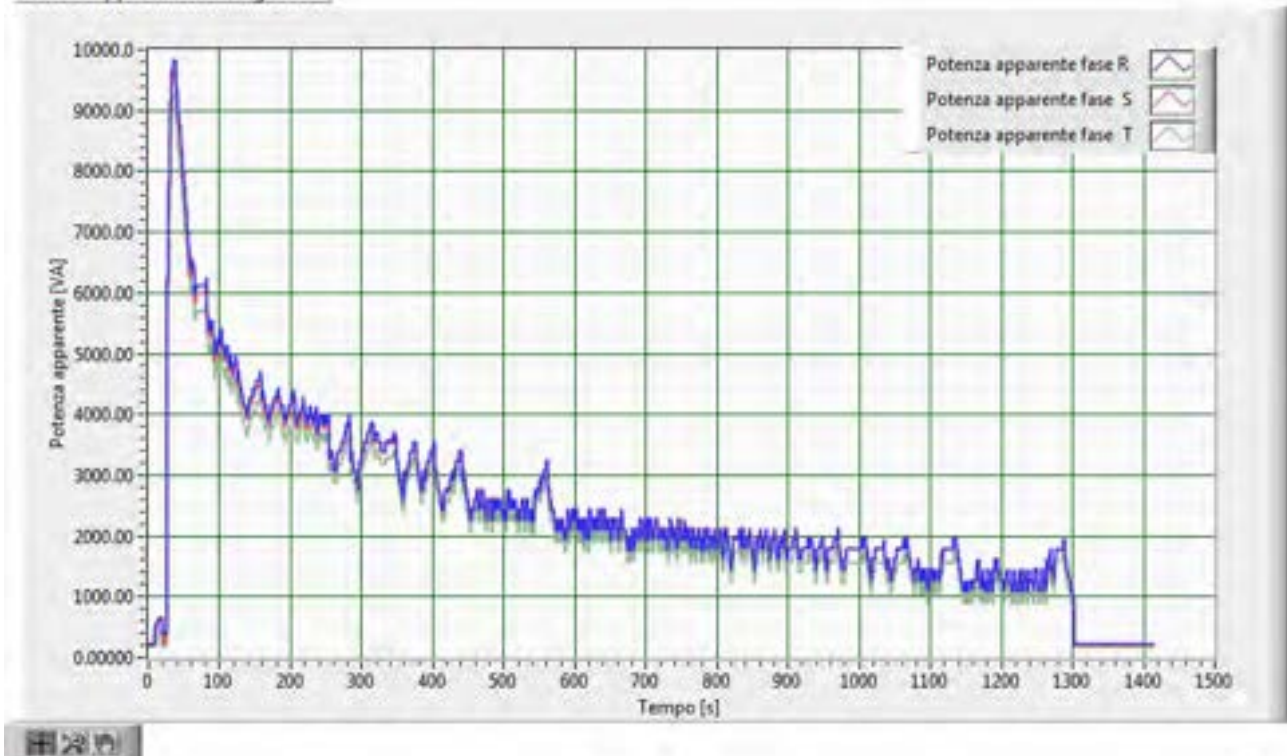


Fig.222–Andamento delle potenze apparenti di fase, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

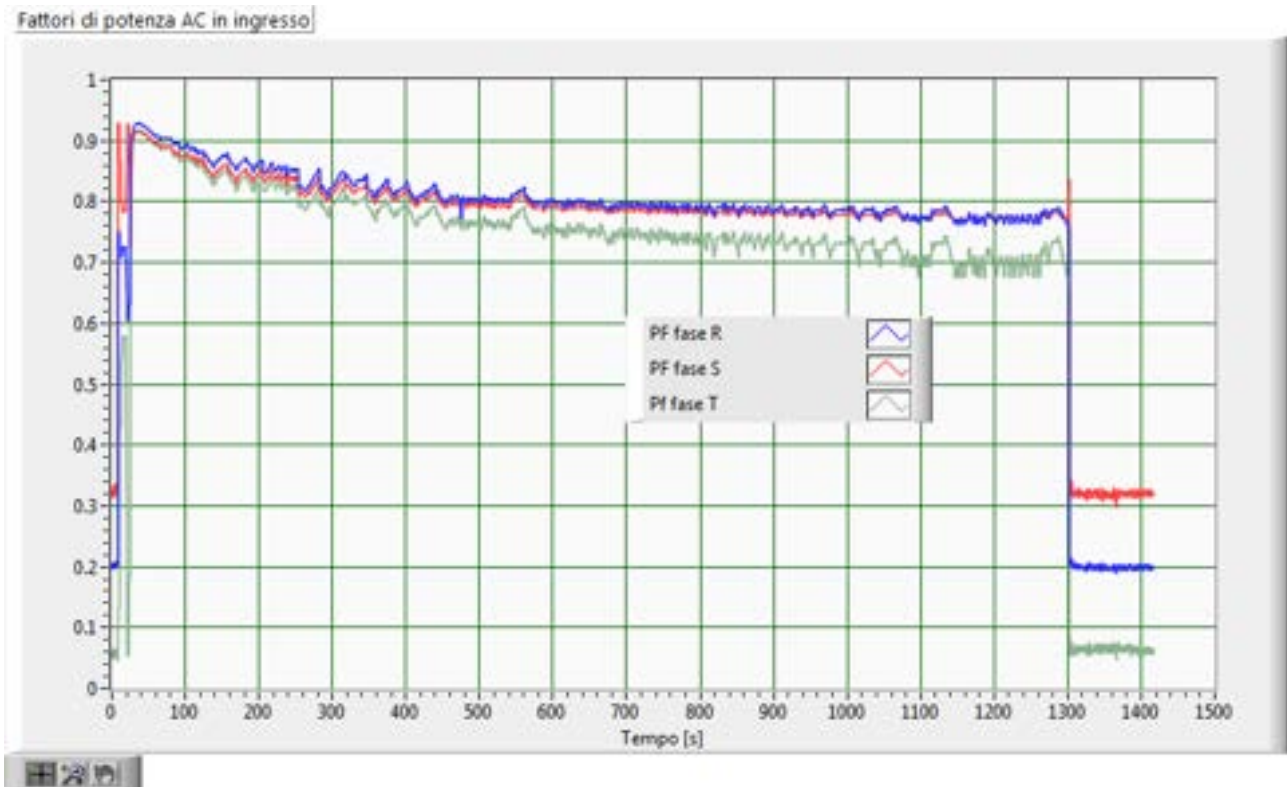
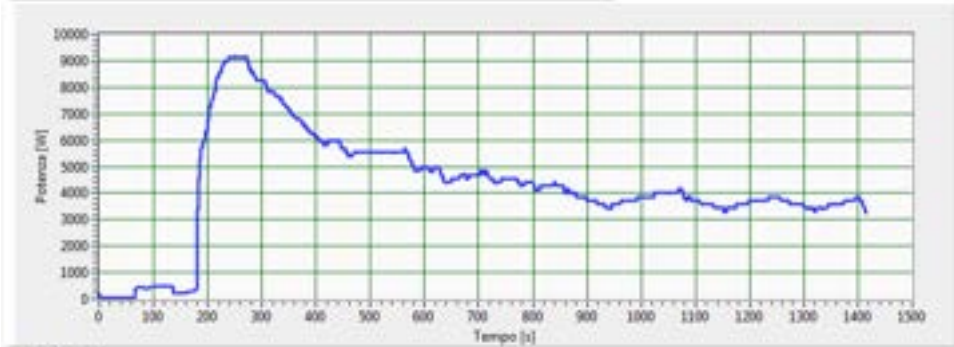


Fig.223–Andamento dei fattori di potenza di fase, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

Per la descrizione dell’andamento dei contributi di potenza attiva, dovuti alle componenti armoniche di tensione e corrente superiori alla fondamentale, sono riportati per ogni fase due grafici: il primo relativo alla potenza attiva relativa alla componenti fondamentali di tensione e correnti, il secondo ai rimanti contributi. Si osserva che i contributi alla potenza attiva dovuti alle armoniche sono del tutto trascurabili. Ciò è verosimilmente dovuto al ridotto contenuto armonico della tensione, che limita l’effetto, in termini di potenza attiva, delle pur rilevanti armoniche di corrente generate dal sistema di conversione.

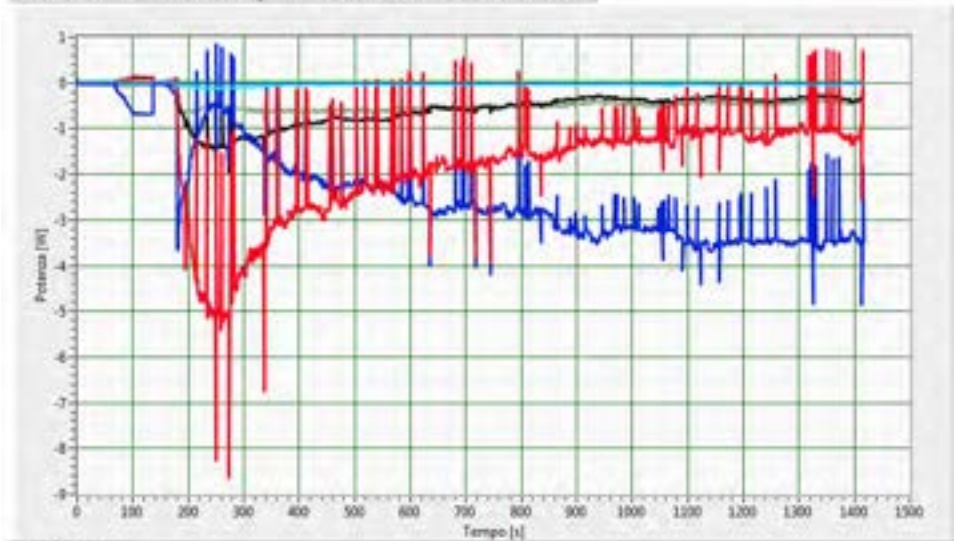
Potenza attiva - contributo delle componenti fondamentali di tensione e corrente - Fase R



Contributo delle Componenti a 50 Hz

ENEA

Potenza attiva - contributo delle componenti armoniche di tensione e corrente - Fase R



- Contributo delle Componenti a 100 Hz
- Contributo delle Componenti a 150 Hz
- Contributo delle Componenti a 200 Hz
- Contributo delle Componenti a 250 Hz
- Contributo delle Componenti a 300 Hz
- Contributo delle Componenti a 350 Hz
- Contributo delle Componenti a 400 Hz
- Contributo delle Componenti a 450 Hz
- Contributo delle Componenti a 500 Hz
- Contributo delle Componenti a 600 Hz
- Contributo delle Componenti a 650 Hz

ENEA

Fig.224–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase R, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

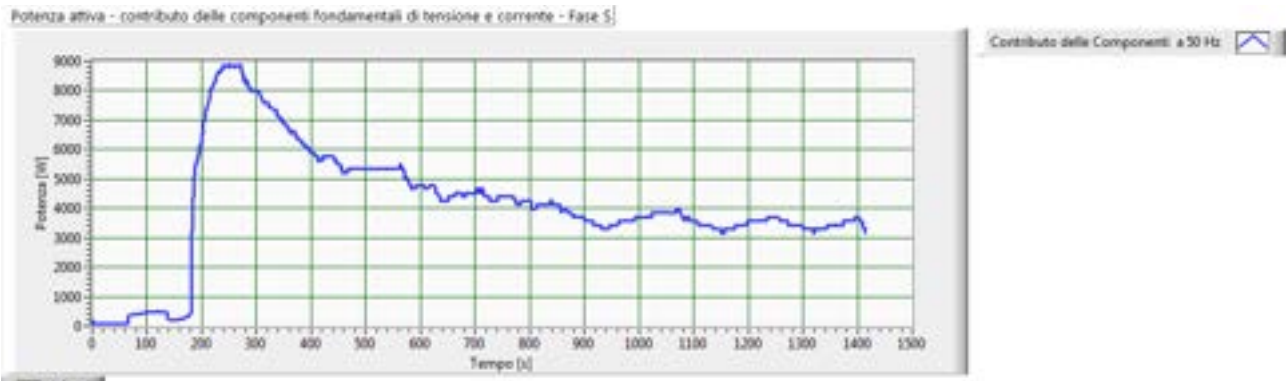


Fig. 221

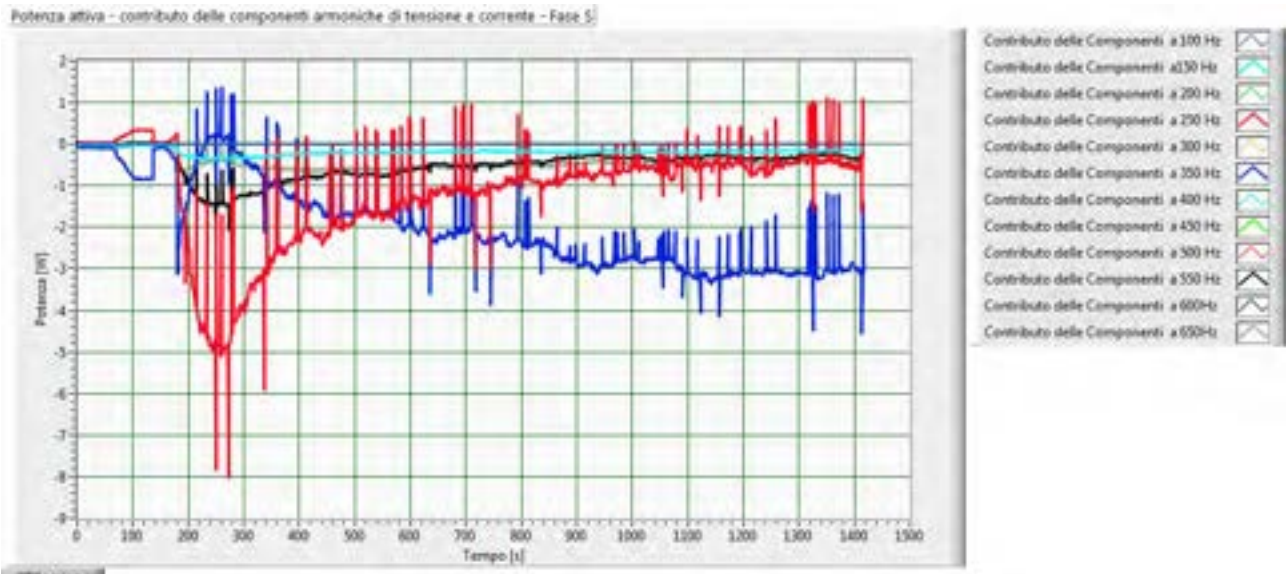


Fig. 222

Fig.225 –Andamento dei contributi di potenza attiva, fase S, con batteria al 90.0% di stato di carica iniziale

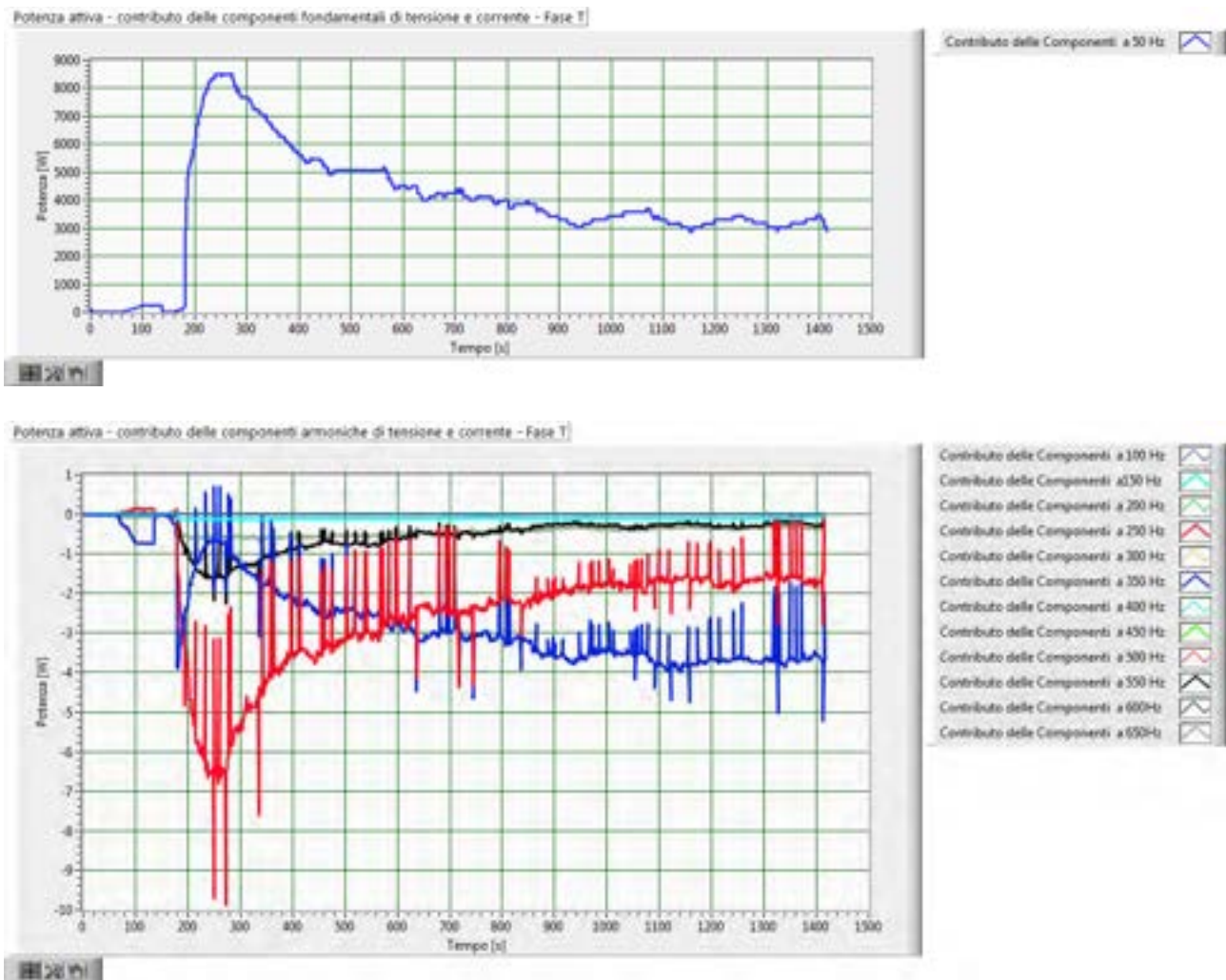


Fig.226–Andamento dei contributi di potenza attiva, fase T, con batteria al 54.9% di stato di carica iniziale

Anche per i risultati della presente prova si ripropongono le problematiche osservate nel paragrafo precedente.

3 Conclusioni

I risultati delle misurazioni effettuate hanno evidenziato che il convertitore ha buone prestazioni in termini di erogazione di potenza, con rendimenti di conversione che si mantengono al di sopra del 90% in condizioni di funzionamento a corrente costante ed a tensione costante; tuttavia le correnti AC che il convertitore assorbe dalla rete in bassa tensione sono fortemente distorte, con valori di distorsione armonica che sono sempre superiori al 27 % con valori che possono superare il 60%. Ciò rende problematico l'utilizzo dello stesso nelle comuni reti in bassa tensione, senza l'inserimento di opportuni sistemi di filtraggio delle componenti armoniche di corrente.

Dalle forme d'onda delle grandezze elettriche risulta evidente che la conversione ca/cc è effettuata tramite un convertitore trifase a commutazione naturale (ponte trifase totalcontrollato). Tale soluzione, sebbene si basi su una tecnologia consolidata e affidabile e permetta di ottenere elevati valori del rendimento di conversione con costi contenuti, genera inevitabilmente correnti alternate fortemente distorte la cui distorsione può soltanto essere ridotta utilizzando accorgimenti dedicati quali l'utilizzazione di filtri d'ingresso e/o particolari trasformatori. È per tale motivo che, per effettuare la conversione ca/cc, si dovrebbero attualmente utilizzare convertitori a commutazione forzata che permettono di realizzare il PFC, cioè di assorbire correnti alternate con un ridottissimo THD e in fase con la tensione di rete.

Ad integrazione della presente attività di misurazione, sarebbe opportuno valutare le prestazioni del sistema di conversione, al variare della impedenza dell'anello di guasto nel nodo di collegamento dello stesso: le prestazioni in termini di rendimento e di potenza effettiva disponibile per la ricarica potrebbero essere dipendenti da questo parametro della rete, come suggerito dalle riduzioni del valore efficace delle tensioni durante le prove a corrente costante.

Una ulteriore caratterizzazione del sistema dovrebbe essere effettuata al variare del contenuto armonico della tensione di rete, secondo la normativa vigente, in modo da quantificare eventuali incrementi delle potenze attive scambiate dalle componenti armoniche di ordine superiore.

4 Riferimenti bibliografici

- [1] T. Anegawa, "Characteristics of chademo quick charging system" (2011) World Electric Vehicle Journal, 4 (1), pp. 818-822.
- [2] M. Tokiwa, "The large-capacity EV Fast Charger "TQVC500M3" and the CHAdeMO protocol supporting the charging infrastructures" (2012) NEC Technical Journal, 7 (1), pp. 34-38.
- [3] <http://chademo.com/>
- [4] <http://www.chademo.com/>
- [5] "Instruction Manual for DC Vehicle Connector" Yazaki Corporation, doc. YPES-15-1197E
- [6] IEC EN 61851-1 (2010) 'Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements'
- [7] IEC EN 61851-21 (2001) 'Electric vehicle conductive charging system - Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c./d.c. supply'
- [8] IEC EN 61851-22 (2001) 'Electric vehicle conductive charging system - Part 22: AC electric vehicle charging station'
- [9] IEC EN 62196 (2011) 'Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles'
- [10] IEC 61439-7 (draft) 'Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 7: Assemblies for specific applications such as marinas, camping sites, market squares, electric vehicles charging stations'
- [11] IEC 64-8, Parte 7, Sezione 722 – "Alimentazione dei veicoli elettrici"
- [12] CEI 20-106 (2013) "Cavi elettrici con isolamento reticolato non propaganti la fiamma, con tensione nominale non superiore a 450/750V destinati alla ricarica dei veicoli elettrici".

- [13] G.Bucci, E.Fiorucci, C.Landi, "Distributed Measurement Station for the Evaluation of the Impact of Electronic Equipment on the Power Quality of Electrical Distribution Network", Proc. 11th IMEKO TC-4, TEMI 2001 LISBON, Portugal, Sept.13-14, 2001.
- [14] G.Bucci, E.Fiorucci, C.Landi, A.Langella, "Metrological Characterization of a Measurement Station For Power Quality Evaluation", Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Anchorage, USA, May 21-23, 2002.
- [15] E. Fiorucci, G. Bucci, F. Ciancetta, "Metrological Characterization of Power Quality Measurement Stations: a Case Study", IJIT International Journal of Instrumentation Technology (IJIT) ISSN (Online): 2043-7862 - ISSN (Print): 2043-7854 DOI 10.1504/IJIT.2011.043595.
- [16] G. Bucci, E Fiorucci, F. Ciancetta, D. Gallo, C. Landi, M. Luiso "Variable Speed Drive Characterization: Review of Measurement Techniques and Future trends" Advances in Power Electronics, vol. 2013, Article ID 968671, 14 pages, 2013. doi:10.1155/2013/968671
- [17] G. Bucci, E.Fiorucci, C. Landi, "Industrial measurement and Control", WILEY Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering Online, John Wiley & Sons, Inc., Aug 16 ,2007. ISBN: 978-0-471-39052-7
- [18] G.Bucci, E.Fiorucci, C.Landi, "Digital Measurement Station for Power Quality Analysis in Distributed Environments", IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol.52, N.1 february 2003, pp.75-84.
- [19] G.Bucci, E. Fiorucci, C. Landi, "Digital Measurement Equipment for Steady-State PQ Measurements", Proc. IEEE Powertech 2003, June 23-26, Bologna, Italy.
- [20] CHAdEMO EQC-50 ENDESA Installation Manual, V1.0, March edition 2013
- [21] <http://www.quattroruote.it/listino/nissan/leaf/leaf-est-visia-flex>
- [22] EN 50160 (2011) 'Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems'.
- [23] EN 61000-3-2 (2007) 'Limits for harmonic current emissions, Annex B: requirements for measurement equipment'.
- [24] EN 61000-3-3 (2009) 'Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A'.
- [25] EN 61000-4-7 (2010) 'General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto'.
- [26] EN 61000-4-15 (2003) Flicker meter – functional and design specifications'.
- [27] EN 61000-4-11 (2006) 'Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests'.
- [28] EN 61000-4-30 (2010) 'Testing and measurement techniques: power quality measurement methods'.

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 01/04/2006 presta servizio come ricercatore nel settore scientifico disciplinare ING-INF/07, 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 da tale data fino ad oggi. E' stato confermato in ruolo il 01/04/2009.

Dal 2006, in qualità di Professore Aggregato, 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.

Nel settembre 2006 ha vinto il premio nazionale "Carlo Offelli" dell'Associazione Italiana Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche GMEE per la sua tesi di dottorato dal titolo "Nuove tecniche e strumentazione numerica per il monitoraggio della qualità dell'alimentazione elettrica".

Nel 2010 ha conseguito la certificazione National Instruments C.L.A.D. (Certified LabVIEW Associate Developer), che mantiene tuttora.

Edoardo Fiorucci:

- è membro del Collegio del Dottorato di Ricerca "Sistemi e metodi per l'utilizzazione delle energie rinnovabili, l'efficienza energetica, la generazione, trasmissione, distribuzione dell'energia elettrica e per il costruire sostenibile", per i cicli XXVI, XXVII e XXVIII;
- dal 2010 è responsabile per la Facoltà di Ingegneria e del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia, delle attività didattiche svolte nell'ambito della National Instruments LabVIEW Academy,
- dal 2000 è membro dell'Unità Operativa dell'Aquila del gruppo nazionale GMEE, Misure Elettriche ed Elettroniche;
- dal 2003 è Member della Instrumentation and Measurement Society, IMS, dell'Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE;
- nel 2008, 2009 e 2011 è stato menzionato dalla IEEE Instrumentation and Measurement Society tra gli "Outstanding Reviewers of 2008", come riconoscimento per la qualità della attività svolta come revisore per la rivista IEEE IMS Transactions on Instrumentation and Measurement;
- nel 2011 è stato elevato al grado di Senior Member 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;

Per quanto riguarda l'attività di ricerca svolta da Edoardo Fiorucci, essa è stata maggiormente orientata verso le seguenti linee principali: strumentazione di misura; misure per la caratterizzazione di componenti e sistemi; Sensori e sistemi di trasduzione; Misure per l'uomo e l'ambiente.

Edoardo Fiorucci è autore di più di 100 articoli scientifici pubblicati su riviste ed atti di congresso internazionali e nazionali.

Curriculum Scientifico di Antonio Ometto

Antonio Ometto si è laureato in Ingegneria Elettrotecnica presso l'Università dell'Aquila ed è Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia dell'Università dell'Aquila. La sua attività scientifica riguarda le seguenti linee di ricerca:

- perdite nelle macchine elettriche;
- comportamento delle macchine elettriche in presenza di guasti;
- convertitori statici a elevato fattore di potenza (PFC);
- convertitori statici per azionamenti elettrici;
- comportamento dei motori asincroni in presenza di armoniche e di sub-armoniche della tensione di alimentazione;
- modellistica e controllo di motori lineari;
- applicazioni automotive delle celle a combustibile.