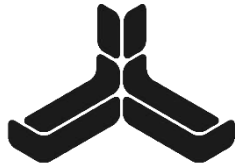




Committente



ICOPOWER®
BEYOND ENERGY SAVING TECHNOLOGIES

Icopower srl

**via G. Galilei 46/48
20091 Bresso (MI)**

Titolo

**Validazione della modalità
dell'elaborazione dei dati elettrici
di tensione e corrente misurati,
in applicazione della procedura IPMVP,
per il calcolo del risparmio energetico
secondo lo standard VDE-AR-E 2055-1:2009**

Autore

prof. ing. Maurizio Fauri

Data

29 novembre 2019



Indice

Premessa.....	3
1 - Protocollo IPMVP	4
1.1 – Scopo e benefici del protocollo IPMVP	4
1.2 – Metodi di misura e verifica.....	5
1.2.1 - Metodo dell'isolamento delle Azioni di Miglioramento dell'Efficienza Energetica (AMEE) .5	
1.2.2. Metodo dell'intero impianto/struttura	5
2 - Normativa VDE-AR-E 2055-1:2009	6
2.1 - Generalità.....	6
2.2 - Metodo di calcolo	6
2.2.1 - Energia assorbita con comportamento lineare (α)	7
2.2.2 - Energia assorbita con comportamento non lineare (β).....	7
2.2.3 - Energia assorbita costante (γ)	7
2.2.4 - Energia assorbita complessivamente	7
2.2.5 - Percentuale di riduzione dell'energia in caso di riduzione della tensione	8
2.2.6 - Determinazione dei coefficienti α , β , γ	8
2.3 - Esempio di calcolo mediante la procedura di misura dei valori	10
2.3.1 - Percentuali di riduzione della tensione	11
2.3.2 - Coefficienti α , β , γ	12
2.3.3 – Risparmi conseguibili	13
2.3.4 – Incremento di efficienza energetica	14
2.3.5 – Potenza risparmiata	14
3 – Dati di misura.....	15
4 – Stima del risparmio energetico potenziale	17
4.1 – Descrizione del foglio di calcolo	17
4.2 – Verifica delle relazioni di calcolo secondo la Norma VDE	19
4.2.1 – Relazioni di calcolo per la Fase 1	20
4.2.2 – Relazioni di calcolo per la Fase 2	22
4.2.3 – Relazioni di calcolo per la Fase 3	24
4.2.4 – Relazioni di calcolo generali.....	26
4.3 – Osservazioni finali	29
5 – Calcolo del risparmio energetico effettivo	30
5.1 – Descrizione delle grandezze calcolate	30
5.2 – Analisi delle relazioni di calcolo.....	32
5.2.1 – Relazioni di calcolo per la Fase 1	33
5.2.2 – Relazioni di calcolo per la Fase 2	35
5.2.3 – Relazioni di calcolo per la Fase 3	38
5.2.4 – Relazioni di calcolo complessive	41
6 - Considerazioni conclusive.....	45
Allegato A – Carichi non lineari e distorsione armonica	46
A.1 - Serie di Fourier	46
A.2 - Valutazione della distorsione armonica (THD)	48
Allegato B – Valori misurati	49



Premessa

In data 22 ottobre 2019, la ditta Icopower srl ha affidato al Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica (DICAM) dell'Università di Trento, un incarico per la **validazione della modalità dell'elaborazione dei dati elettrici di tensione e corrente, in applicazione della procedura IPMVP, per il calcolo del risparmio energetico secondo lo standard VDE-AR-E 2055-1:2009.**

La validazione riguarda l'analisi dei benefici energetici derivanti dall'impiego di un economizzatore di energia basato sulla riduzione della tensione di alimentazione ed il mantenimento della tensione stessa ad un valore minimo, a fronte di variazioni più o meno ampie del valore della tensione di rete.

Il valore di tensione è regolabile in relazione alle specificità dell'impianto, al fine di conseguire il minor consumo di energia e quindi la maggiore efficienza energetica.

Il lavoro documentato dalla presente relazione consiste nella verifica dell'elaborazione dei dati registrati da Icopower nel corso di una campagna di misura della durata di una settimana, dal 1 ottobre 2019 all'8 ottobre 2019.

La presente relazione si compone di 5 Capitoli e 2 Allegati:

- Cap. 1 – Protocollo IPMVP:** in questo capitolo si riporta una descrizione di massima del protocollo IPMVP e delle sue possibili applicazioni nell'ambito della quantificazione del risparmio energetico;
- Cap. 2 – Normativa VDE-AR-E 2055-1:2009:** questo capitolo riassume il metodo di calcolo della Norma per stabilire l'energia risparmiata a seguito di una riduzione della tensione di alimentazione. Si descrivono le tre tipologie di carico e si illustra un esempio di calcolo dei coefficienti di suddivisione del carico e della stima della potenza potenzialmente risparmiabile;
- Cap. 3 – Dati di misura:** in questo capitolo sono descritte le caratteristiche dei valori registrati durante la campagna di misura effettuata dal 1 ottobre 2019 all'8 ottobre 2019;
- Cap. 4 – Stima del risparmio energetico potenziale:** questo capitolo descrive la verifica la correttezza delle relazioni implementate nel foglio elettronico per calcolare le diverse grandezze ed i coefficienti (α , β , γ) per la stima del risparmio energetico. In particolare vengono analizzate le relazioni impiegate per ciascuna delle tre fasi;
- Cap. 5 – Calcolo del risparmio energetico effettivo:** in base ai valori ricavati con la metodologia della Norma VDE sono stati calcolati i valori di risparmio energetico per le tre fasi e complessivo. Questo capitolo ne ha verificato le relazioni implementate e la correttezza dei calcoli;
- Cap. 6 – Considerazioni conclusive:** questo capitolo finale raccoglie e sintetizza i punti principali del lavoro svolto;
- Allegato A – Carichi non lineari e distorsione armonica:** per completezza, questo allegato riassume le informazioni minime per definire e quantificare la distorsione armonica di tensione e di corrente, nel caso di carichi non lineari;
- Allegato B – Valori misurati:** questo allegato illustra un estratto dei dati di misura sui quali si è basata l'analisi delle relazioni implementate nel foglio di calcolo elettronico.



1 - Protocollo IPMVP

Il protocollo IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) è uno strumento per valutare i reali benefici energetici ed economici derivanti da interventi di efficienza energetica, idrica e fonti rinnovabili, in qualsiasi campo di applicazione, da quello civile a quello industriale.

Il protocollo IPMVP è molto utile quando si propongono interventi di miglioramento dell'efficienza e si attua un controllo nel tempo dell'andamento dei risparmi, come nelle diagnosi energetiche, nei sistemi di incentivazione basati sui risultati ottenuti e nei sistemi di gestione dell'energia.

Essendo condiviso dalle parti, il protocollo IPMVP è uno strumento importante per la definizione dei termini nei contratti EPC (Energy Performance Contract o contratti a prestazioni garantite), soprattutto con le società E.S.Co. (Energy Service Company).

Per definire le modalità di quantificazione dei risparmi energetici, che sono alla base di ogni contratto EPC delle E.S.Co., era stato inizialmente sviluppato negli Stati Uniti, negli anni novanta, un protocollo di misura e verifica. Tale protocollo si è evoluto e internazionalizzato, nel corso degli anni, diventando infine il protocollo IPMVP che, attualmente, è tradotto in 16 lingue e diffuso in tutto il mondo. Dal 1997, il protocollo IPMVP è costantemente elaborato, sviluppato e pubblicato da parte della organizzazione EVO (Efficiency Valuation Organization).

Il partner Italiano di EVO è la Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia (FIRE) con sede a Roma.

L'IPMVP prevede due approcci e quattro opzioni che consentono di coprire tutti i possibili casi, dando un peso differente al risparmio generato dal singolo intervento e agli effetti sinergici con altri interventi e con l'edificio e gli impianti esistenti.

Un altro aspetto importante è l'accuratezza delle valutazioni, che è funzione delle risorse. Il protocollo IPMVP richiede che l'accuratezza venga valutata ma, per ogni progetto, lascia ampia flessibilità alle parti di decidere quale sia l'accuratezza più appropriata da tenere in considerazione.

L'IPMVP fornisce delle procedure di valutazione che, se realizzate correttamente, consentono ai diversi attori coinvolti nei progetti di efficienza di individuare parametri e procedure per caratterizzarne i benefici e tenerli sotto controllo nel tempo.

1.1 – Scopo e benefici del protocollo IPMVP

Scopo fondamentale del protocollo IPMVP è quello di stabilire ed indicare metodologie per la valutazione delle prestazioni di efficienza di progetti ed interventi tecnici al fine di facilitare le attività di investitori e finanziatori nel settore del risparmio energetico, soprattutto con contratti a prestazione.

Il protocollo IPMVP prevede che il risparmio venga determinato confrontando i consumi prima e dopo un intervento o dopo l'implementazione di un progetto, tenuto conto dei dovuti aggiustamenti a causa delle variazioni di condizioni che possono subentrare.

I benefici portati dall'utilizzo e la messa in pratica del protocollo IPMVP sono molteplici, i principali possono essere:

- maggiore certezza nei pagamenti basati su contratti a prestazione, ovvero dove il riconoscimento economico è basato sul risparmio energetico;
- in caso di EPC (Energy Performance Contract) l'impiego del protocollo IPMVP semplifica la negoziazione e ne abbassa conseguentemente i costi;



- i contratti EPC sono accordi in cui il fornitore si impegna non solo alla fornitura di un servizio ma anche al raggiungimento nel tempo di determinati obiettivi inseriti contrattualmente.

Di solito è buona pratica integrato il processo di Misura e Verifica (M&V) all'interno del processo di identificazione, sviluppo e installazione di sistemi e progetti di risparmio energetico.

Il protocollo può avere diverse applicazioni, dagli edifici nuovi o ristrutturati ai processi industriali.

1.2 – Metodi di misura e verifica

Le tipologie di misura e verifica possono variare a seconda delle necessità, del budget a disposizione e del grado di accuratezza della misura che si vuole ottenere.

Il protocollo IPMVP indica due metodi di base per effettuare la misura e verifica. Tali metodi sono descritti nei paragrafi che seguono.

1.2.1 - Metodo dell'isolamento delle Azioni di Miglioramento dell'Efficienza Energetica (AMEE)

Questo metodo misura esclusivamente l'impatto dell'intervento di Azioni di Miglioramento dell'Efficienza Energetica (AMEE). I risparmi che vengono misurati non sono influenzati da fattori al di fuori del confine di misurazione. Questo metodo richiede spesso strumentazione di misura dedicata e gli aggiustamenti da fare possono essere semplici.

- Opzione A: Isolamento dell'AMEE – Misurazione dei parametri principali;
- Opzione B: Isolamento dell'AMEE – Misurazione di tutti i parametri.

1.2.2. Metodo dell'intero impianto/struttura

Questo metodo richiede la misura di tutti gli effetti nell'impianto/struttura, di tutti gli interventi e cambiamenti voluti e non voluti. In questo caso si usano frequentemente i contatori esistenti per il gas e l'energia elettrica. Gli aggiustamenti richiesti possono essere complessi.

- Opzione C: Intero impianto/struttura – Comparazione dei dati dei contatori fiscali. La misurazione è continua e dura per tutto il periodo di rendicontazione.
- Opzione D: Intero impianto/struttura – Simulazione al computer calibrata con un software specifico.

2 - Normativa VDE-AR-E 2055-1:2009

2.1 - Generalità

Il titolo originale della normativa VDE-AR-E 2055-1:2009 è: “*Calculation of the increase in electrical energy efficiency achieved by means of electrical energy regulators taking advantage of the principle of voltage depression*”, che si può letteralmente tradurre come: “*Calcolo dell'incremento dell'efficienza energetica elettrica ottenuto mediante regolatori di energia elettrica sfruttando il principio della depressione (riduzione) di tensione*”.

I metodi di calcolo descritti nella norma VDE-AR-E 2055-1:2009 consentono di valutare il potenziale risparmio di energia elettrica ottenibile, applicando un regolatore (o meglio un riduttore) di tensione in condizioni stazionarie o quasi stazionarie. I valori di incremento di efficienza energetica e di risparmio energetico vengono calcolati sulla base di un tempo di riferimento che sia rappresentativo del ciclo di lavoro.

La normativa VDE-AR-E 2055-1:2009 si può applicare alle installazioni elettriche di consumo con tensione nominale $(400\pm 230) V \pm 10\%$, secondo la DIN IEC 60038, alimentate da sistemi di distribuzione in bassa tensione denominati TN, TT e IT.

Le indicazioni contenute nella norma VDE-AR-E 2055-1:2009 si applicano solo alle quantità sinusoidali della tensione di alimentazione, alla frequenza di alimentazione ed ai regolatori che riducono la tensione entro l'intervallo di tolleranza della tensione standard.

2.2 - Metodo di calcolo

La metodologia di calcolo della normativa VDE-AR-E 2055-1:2009 considera che l'energia assorbita dalle utenze e dai carichi elettrici sia sostanzialmente suddivisibile in tre macro tipologie, in base alla caratteristica di variabilità:

- energia assorbita con comportamento lineare (α). Questa tipologia riguarda i componenti elettrici e gli utilizzatori dipendenti dalla tensione;
- energia assorbita con comportamento non lineare (β). Questa tipologia riguarda i componenti elettrici e gli utilizzatori di potenza costante;
- energia assorbita costante (γ). Questa tipologia riguarda i componenti elettrici e gli utilizzatori di energia costante.

L'energia complessivamente assorbita da un carico elettrico (W) si può pertanto suddividere in tre componenti attraverso l'impiego di coefficienti di “peso” denominati α , β e γ , con l'ovvia relazione che $(\alpha + \beta + \gamma) = 1$.

Quindi:

$$W = W(\alpha + \beta + \gamma) = (\alpha W) + (\beta W) + (\gamma W) = W_\alpha + W_\beta + W_\gamma$$

Solo la parte dei carichi raggruppabili nella tipologia (α) ha le caratteristiche tali da consentire un risparmio di energia tramite l'abbassamento del valore di tensione.

Il consumo energetico viene bilanciato su un anno, quindi il periodo di tempo preso in esame dovrebbe essere caratteristico dell'esercizio annuale o del ciclo di lavoro.

2.2.1 - Energia assorbita con comportamento lineare (α)

Questa tipologia di carico è relativa ad utenze con comportamento lineare e quindi dipende direttamente dal valore della tensione e dalle sue variazioni $P = f(V)$:

$$P_{\alpha} = \alpha \left(\frac{V^2}{Z} \right) \cos \varphi$$

L'energia consumata corrisponde quindi a:

$$W_{\alpha} = \alpha \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

2.2.2 - Energia assorbita con comportamento non lineare (β)

Questa tipologia di potenza è relativa ad utenze non lineari con assorbimento di potenza costante ed indipendente dal valore della tensione $P = cost \neq f(V)$:

$$P_{\beta} = \beta \left(\frac{V^2}{Z} \right) \cos \varphi$$

L'energia consumata risulta:

$$W_{\beta} = \beta \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

2.2.3 - Energia assorbita costante (γ)

Questa tipologia di potenza è relativa ad utenze lineari con assorbimento di potenza costante, ma dipendente da un fattore di regolazione esterno $P = cost = f(V, t)$:

$$P_{\gamma} = \gamma \left(\frac{V^2}{Z} \right) \cos \varphi$$

L'energia consumata risulta:

$$W_{\gamma} = \gamma \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

2.2.4 - Energia assorbita complessivamente

L'energia consumata complessivamente sarà la somma delle tre energie W_{α} , W_{β} e W_{γ} :

$$W = W_{\alpha} + W_{\beta} + W_{\gamma} = \alpha \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t + \beta \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t + \gamma \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

2.2.5 - Percentuale di riduzione dell'energia in caso di riduzione della tensione

Nel caso in cui la tensione di rete venga ridotta di un valore percentuale (u), la nuova energia consumata (W_u) risulta pari a:

$$W_u = \alpha \left(\frac{V^2(1-u)^2}{Z} \cos \varphi \right) t + \beta \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t + \gamma \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

dato che solo l'energia (W_α) dipende dalla variazione percentuale (u) della tensione.

La differenza di energia (ΔW) risulta pertanto:

$$\Delta W = W - W_u = \alpha \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t - \alpha \left(\frac{V^2(1-u)^2}{Z} \cos \varphi \right) t$$

e la variazione percentuale di energia (ξ) rispetto all'energia di riferimento (W) è pari a:

$$\xi = \frac{\Delta W}{W} = \frac{W - W_u}{W} = \frac{\alpha \left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t - \alpha \left(\frac{V^2(1-u)^2}{Z} \cos \varphi \right) t}{\left(\frac{V^2}{Z} \cos \varphi \right) t} = \alpha u(2-u)$$

L'equazione precedente mostra che il risparmio energetico dipende solo dalla quantità di carichi dipendenti dalla tensione (α), nonché dal valore della caduta di tensione (u). L'aumento finale dell'efficienza energetica attraverso l'uso di un riduttore di tensione diventa quindi:

$$\eta = \frac{1}{(1-\xi)}$$

dove il fattore (η) indica il valore dell'incremento dell'efficienza energetica.

2.2.6 - Determinazione dei coefficienti α , β , γ

La percentuale dei carichi che dipende dalla variazione della tensione si può determinare mediante tre diverse metodologie:

1. con riferimento a informazioni commerciali;
2. con procedure di conteggio;
3. mediante la misura dei valori.

La **prima metodologia** (riferimento a informazioni commerciali) si basa su uno studio scientifico pubblicato nel 1977 e prende in considerazione solo il settore commerciale e dei servizi. Per edifici, siti e applicazioni industriali, i valori di (α) sono raccolti in una tabella della norma VDE AR-E 2055-1, in base alla data di installazione.

La **seconda metodologia** (con procedure di conteggio) si basa sul diverso comportamento dei materiali e delle attrezzature elettriche per valutarne le prestazioni e la durata nel tempo. Dato il diverso comportamento dei consumatori nelle condizioni operative, si assumono i valori dei coefficienti α , β , γ indicati dalla norma VDE AR-E 2055-1 e riportati nella Tabella 1 seguente.

Tabella 1 – Valori tipici dei coefficienti α , β , γ per varie tipologie di carico elettrico

Tipologia di carico	α	β	γ
Cavi e linee elettriche	1,00	0,00	0,00
Interruttori, Apparecchi di protezione, Prese	1,00	0,00	0,00
Apparecchi in AC senza convertitore di frequenza, in funzionamento a pieno carico ed in sovraccarico	0,00	1,00	0,00
Apparecchi in CA senza convertitore di frequenza, nel funzionamento non a pieno carico ed a vuoto	0,90	0,00	0,10
Sistemi informatici	0,02	0,98	0,00
Elettronica di consumo	0,02	0,98	0,00
Impianti di telecomunicazione	0,02	0,98	0,00
Impianti di illuminazione con lampade fluorescenti e alimentatore elettronico	0,02	0,98	0,00
Impianti di illuminazione con lampade fluorescenti e alimentatore elettromagnetico a basse perdite	1,00	0,00	0,00
Macchine utensili	0,25	0,75	0,00
Apparecchi elettrici da riscaldamento	0,25	0,00	0,75
Impianti di ventilazione in CA senza azionamento	0,25	0,25	0,50
Saldatrici	0,10	0,50	0,40
Apparecchi mobili 1: tostapane, rasoio elettrico aspirapolvere,	0,90	0,10	0,00
Apparecchi mobili 2: tosaerba, trapano, elettrodomestici da cucina,	0,25	0,50	0,25

La **terza metodologia** (misura dei valori) viene utilizzata per sistemi esistenti. I valori dei coefficienti α , β , γ vengono determinati attraverso una misura sperimentale dei carichi da alimentare. Le percentuali di funzionamento vengono stabilite sulla base del contenuto armonico della corrente assorbita. In particolare:

- dapprima si stabilisce il valore del coefficiente (β) attraverso la misura della distorsione armonica di corrente THD_I (Total Harmonic Current Distortion), prendendone il valore mediato sulla potenza, in un periodo di tempo rappresentativo del ciclo di funzionamento (di solito il periodo è di una settimana in modo da registrare sia durante l'orario lavorativo che non lavorativo);
- successivamente si calcola il valore del coefficiente (γ) in base ad una espressione generale, fissata dalla Norma, che prende in considerazione il valore di riduzione di tensione (u) e l'anno di realizzazione degli impianti;
- infine, si ricava il valore del **coefficiente** (α) come differenza tra il valore unitario ed i valori dei coefficienti β e γ :

$$\alpha = 1 - \beta - \gamma$$

dato che $(\alpha + \beta + \gamma) = 1$.

Il **coefficiente** (β) tiene conto della potenza assorbita da parte dei carichi non lineari. Come spiegato nell'Allegato A, la non linearità di un carico elettrico è quantificabile attraverso il valore della distorsione armonica totale di corrente provocata dal carico stesso THD_I (Total Harmonic Current Distortion). Attraverso una misura strumentale si può misurare il valore di THD_I per ciascuna fase di alimentazione ed ottenere il valore del coefficiente (β) come media aritmetica dei singoli coefficienti su ogni singola fase, mediante la relazione:

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{3}$$

I coefficienti di ogni singola fase ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$) si ottengono come media pesata del THD_I per la potenza assorbita (P), sul numero totale (N) di misure effettuate:

$$\beta_1 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase 1} \quad \beta_2 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase 2} \quad \beta_3 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase 3}$$

dove (N) rappresenta il numero di letture nel periodo di misurazione.

Di solito, il **coefficiente** (γ) si determina dalla procedura di conteggio (v. Tabella 1), ma se ciò non fosse possibile, il coefficiente (γ) può essere calcolato in base alla seguente espressione generale, fissata dalla Norma VDE-AR-E 2055-1:2009, prendendo in considerazione il valore di riduzione di tensione (u) e l'anno di realizzazione degli impianti:

$$\gamma = u^x$$

con $x = 0,50$ per gli impianti realizzati prima del 1987;
 $x = 0,45$ per gli impianti realizzati tra il 1987 e il 2000;
 $x = 0,40$ per gli impianti realizzati dopo il 2000.

Il metodo di misurazione può essere utilizzato solo se la distorsione armonica di tensione (THD_V) è inferiore al 5%. Per valori di THD_V più elevati del 5%, può sussistere un problema generale di qualità del servizio e si sconsiglia la riduzione della tensione mediante una apparecchiatura di riduzione.

2.3 - Esempio di calcolo mediante la procedura di misura dei valori

Per una migliore comprensione della terza metodologia per il calcolo dei coefficienti α, β, γ , prevista dalla Norma nel caso di sistemi esistenti, si riporta di seguito un esempio per un sistema di carichi trifase.

Si consideri di rilevare e registrare le grandezze elettriche di tensione, corrente, potenza e distorsione armonica (THD), per un determinato periodo di tempo per ciascuna fase, attraverso l'impiego di un analizzatore di rete trifase.

Per testare l'uso di un regolatore di energia per il risparmio energetico attraverso la riduzione della tensione, è necessario coprire un periodo di misura rappresentativo dell'orario lavorativo e non lavorativo (di solito una settimana, compresi i fine settimana), registrando le tensioni e le correnti delle fasi e del neutro.

In base alla registrazione dei valori di tensione è possibile realizzare un grafico dei valori cumulati, ossia un grafico che riporti i valori registrati della tensione in valore decrescente.

In Figura 1 sono riportati 10.000 punti di misura della tensione, misurati ad intervalli regolari di un minuto, per ciascuna fase di alimentazione.

Su tale grafico si possono mettere in evidenza le seguenti grandezze:

- il valore massimo della tensione misurata (V_{Max});
- il valore minimo della tensione misurata (V_{Min});

- il valore di tensione al di sopra del quale sono stati registrati il 50% dei campioni (V_{50});
- il valore di tensione al di sopra del quale sono stati registrati il 70% dei campioni (V_{70});
- il valore al quale si intende ridurre la tensione di alimentazione (V_{Rid}). In questo caso si assume un valore della tensione di 210 V.

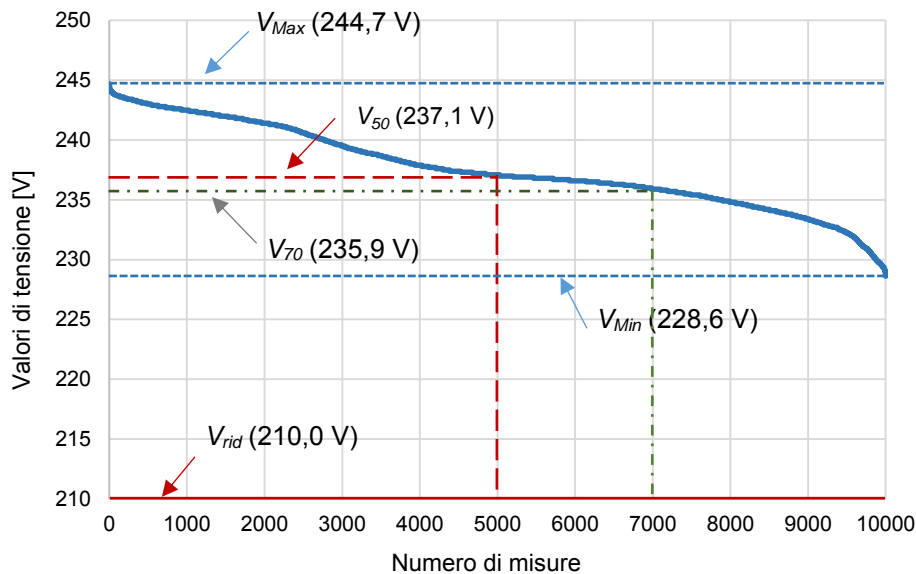


Figura 1 – Curva cumulata dei valori di tensione registrati per una fase

2.3.1 - Percentuali di riduzione della tensione

Dalle misure di tensione di ciascuna fase, si possono calcolare le diverse percentuali di risparmio rispetto al valore ridotto della tensione di alimentazione (V_{Rid}) (che in questo caso è fissata a 210 V):

- riduzione percentuale della tensione rispetto al valore massimo (u_{Max}):

$$u_{Max} = 1 - \frac{V_{Rid}}{V_{Max}}$$

- riduzione percentuale della tensione rispetto al valore minimo (u_{Min}):

$$u_{Min} = 1 - \frac{V_{Rid}}{V_{Min}}$$

- riduzione percentuale della tensione rispetto al valore al di sopra del quale sono stati registrati il 50% dei campioni (u_{50}):

$$u_{50} = 1 - \frac{V_{Rid}}{V_{50}}$$

- riduzione percentuale della tensione rispetto al valore al di sopra del quale sono stati registrati il 70% dei campioni (u_{70}):

$$u_{70} = 1 - \frac{V_{Rid}}{V_{70}}$$

Nella Tabella 2 sono riportati i valori percentuali di riduzione della tensione, ottenuti sulla base delle misure effettuate sulle tre fasi.

Tabella 2 – Valori percentuali della possibile riduzione della tensione per le tre fasi

Percentuale di riduzione	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Media
U_{Min} [%]	8,14	8,32	8,34	8,27
U_{70} [%]	10,98	11,13	11,17	11,09
U_{50} [%]	11,43	11,50	11,54	11,49
U_{Max} [%]	14,18	14,19	14,22	14,19

Nel seguito, la riduzione percentuale della tensione rispetto al valore massimo (U_{Max}) non viene presa in considerazione perché si verifica solo per pochi istanti.

2.3.2 - Coefficienti α , β , γ

Dopo aver ricavato i diversi valori percentuali di risparmio (U_{Min} , U_{70} e U_{50}), è possibile calcolare anche il valore dei coefficienti (α , β , γ), secondo le modalità descritte nel paragrafo 2.2.4.

Dalla misura del THD_I e della potenza assorbita per ciascuna fase si possono calcolare i coefficienti di ogni singola fase (β_1 , β_2 , β_3), attraverso la media pesata della distorsione armonica di corrente THD_I per la potenza assorbita (P), sul numero totale (N) di misure effettuate (v. paragrafo 2.2.4.b):

$$\beta_1 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase\ 1} = 0,097$$

$$\beta_2 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase\ 2} = 0,090$$

$$\beta_3 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (THD_I)_k P_k}{\sum_{k=1}^N P_k} \right]_{Fase\ 3} = 0,092$$

I valori di THD_I misurati per la fase 1 ($N = 10000$) sono raccolti e mostrati nella Figura 2. Come si può notare, con potenze assorbite molto piccole, il valore di THD_I assume valori molto elevati; ciò dimostra la necessità di calcolare i coefficienti (β), pesando il valore del THD_I sulla base della potenza assorbita.

Noti i valori dei coefficienti delle singole fasi (β_1 , β_2 , β_3), si può calcolare il valore medio del coefficiente (β):

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{3} = 0,093$$

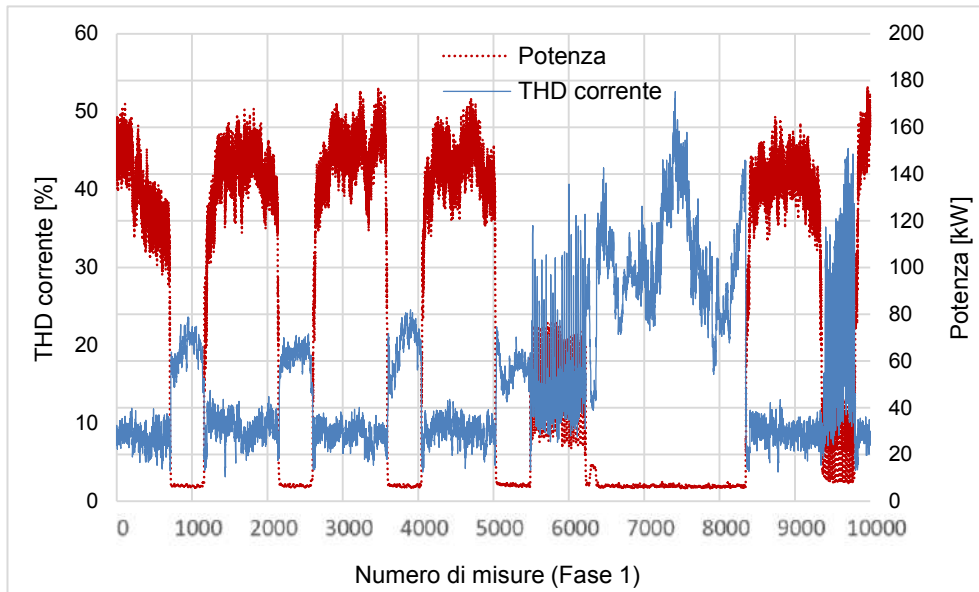


Figura 2 – Valori di misura del THD_I per la fase 1

I valori dei coefficienti (γ) si ricavano in base ai valori di (u), considerando l'anno di installazione dei carichi antecedente al 1987. Dati i valori medi ottenuti di (u_{Min} , u_{50} e u_{70}), si prendono in considerazione tre possibili valori di riduzione della tensione (u), pari a 0,08, 0,10 e 0,12:

$$\gamma_{0,08} = (0,08)^{0,50} = 0,283$$

$$\gamma_{0,10} = (0,10)^{0,50} = 0,316$$

$$\gamma_{0,12} = (0,12)^{0,50} = 0,346$$

Dopo aver calcolato i valori dei coefficienti (β) e (γ), si possono ottenere i coefficienti (α) mediante la relazione $\alpha = 1 - \beta - \gamma$. Per i tre valori di riduzione della tensione, pari a 0,08, 0,10 e 0,12, si ottengono i seguenti valori del coefficiente (α):

$$\alpha_{0,08} = 1 - 0,093 - 0,283 = 0,624$$

$$\alpha_{0,10} = 1 - 0,093 - 0,316 = 0,591$$

$$\alpha_{0,12} = 1 - 0,093 - 0,346 = 0,561$$

2.3.3 – Risparmi conseguibili

Con i valori dei coefficienti (α) per le tre diverse percentuali di riduzione della tensione (8%, 10% e 12%), si possono calcolare i risparmi conseguibili mediante la relazione già vista nel paragrafo 2.2.5:

$$\xi = s \alpha u(2 - u)$$

dove (s) tiene conto del periodo di riduzione della tensione.

$$\xi_{0,08} = (1,0) \cdot 0,624 \cdot 0,08 \cdot (2 - 0,08) = 0,096 \rightarrow (9,6\%)$$

$$\xi_{0,10} = (0,7) \cdot 0,591 \cdot 0,10 \cdot (2 - 0,10) = 0,079 \rightarrow (7,9\%)$$

$$\xi_{0,12} = (0,5) \cdot 0,561 \cdot 0,12 \cdot (2 - 0,12) = 0,063 \rightarrow (6,3\%)$$

2.3.4 – Incremento di efficienza energetica

A fronte dei risparmi conseguibili, l'incremento di efficienza energetica risulta:

$$\eta_{0,08} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,08})} \right] = \left[\frac{1}{(1 - 0,096)} \right] = 1,106 \rightarrow (10,6\%)$$

$$\eta_{0,10} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,10})} \right] = \left[\frac{1}{(1 - 0,079)} \right] = 1,085 \rightarrow (8,5\%)$$

$$\eta_{0,12} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,12})} \right] = \left[\frac{1}{(1 - 0,063)} \right] = 1,068 \rightarrow (6,8\%)$$

2.3.5 – Potenza risparmiata

Dato che (v. paragrafo 2.2.5):

$$\xi = \alpha u(2 - u) = \frac{\Delta P}{P} = \frac{P - P_u}{P} = 1 - \frac{P_u}{P} \rightarrow 1 - \xi = \frac{P_u}{P} \rightarrow P = \frac{P_u}{(1 - \xi)}$$

si può calcolare il valore della potenza risparmiata in base al valore calcolato dell'incremento di efficienza energetica e alla misura della potenza assorbita dal carico:

$$\Delta P = \xi P = \xi \left[\frac{P_u}{(1 - \xi)} \right]$$

3 – Dati di misura

Ai fini della convalida dei calcoli eseguiti da Icopower (scopo della presente relazione), è stata presa in considerazione una serie di misure, eseguite da Icopower e raccolte in un foglio di calcolo elettronico.

Le misure sono state eseguite ad intervalli regolari di un minuto, tra le ore 10:03:00 del giorno 1 ottobre 2019 e le ore 11:27:00 del giorno 8 ottobre 2019, per un totale di 10165 record di misura. Un estratto dei dati registrati è raccolto nell'Allegato B.

La campagna di misura è stata effettuata sulla linea denominata "Produzione" delle Cartiere XXXX XXXXXXXXXXXX in via XXXXXXXX ad XXXXXXXXXXXX (XX).

L'elenco delle grandezze misurate e registrate è riportato nella Tabella 3, insieme al riferimento del foglio di calcolo.

Tabella 3 – Elenco delle grandezze misurate e riferimento al foglio di calcolo elettronico

Grandezza misurata	Riferimento
Data	Colonna A
Ora	Colonna B
Tensione efficace in ingresso al regolatore - Fase 1	Colonna C
Tensione efficace in ingresso al regolatore - Fase 2	Colonna D
Tensione efficace in ingresso al regolatore - Fase 3	Colonna E
Tensione efficace in uscita dal regolatore - Fase 1	Colonna F
Tensione efficace in uscita dal regolatore - Fase 1	Colonna G
Tensione efficace in uscita dal regolatore - Fase 3	Colonna H
Potenza attiva in uscita dal regolatore - Fase 1	Colonna J
Potenza attiva in uscita dal regolatore - Fase 2	Colonna K
Potenza attiva in uscita dal regolatore - Fase 3	Colonna L
Distorsione armonica percentuale di corrente (THD_I) in uscita dal regolatore - Fase 1	Colonna M
Distorsione armonica percentuale di corrente (THD_I) in uscita dal regolatore - Fase 2	Colonna N
Distorsione armonica percentuale di corrente (THD_I) in uscita dal regolatore - Fase 3	Colonna O

Non tutte le misure sopra indicate sono state utilizzate nel foglio di calcolo elettronico ai fini del calcolo del potenziale risparmio energetico.

La Figura 3 mostra una immagine del foglio di calcolo che raccoglie i dati di misura, mentre l'Allegato B riporta un estratto dei 10165 valori registrati.



The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet titled 'Foglio di calcolo da validare.xlsx - Excel'. The spreadsheet contains a table with columns for 'Misure' (Measurements) and 'OUT' (Output). The 'Misure' section includes columns for 'Data' (Date), 'Ora' (Time), and three columns for 'IN' (V1, V2, V3) and 'OUT' (V1, V2, V3). The 'OUT' section includes columns for 'P1+', 'P2+', 'P3+', 'I1-THD', 'I2-THD', and 'I3-THD'. The data rows show measurements for the date 01/10/2019, with times ranging from 10:03:00 to 10:30:00. The values for V1, V2, and V3 are generally between 217 and 234. The THD values are between 5,2 and 7,7. The spreadsheet also shows a status bar at the bottom with 'Pronto' and a zoom level of 110%.

Misure		IN			OUT			OUT			OUT		
Data	Ora	V1 (1 min)	V2 (1 min)	V3 (1 min)	V1 (1 min)	V2 (1 min)	V3 (1 min)	P1+ (1 min)	P2+ (1 min)	P3+ (1 min)	I1-THD (1 min)	I2-THD (1 min)	I3-THD (1 min)
01/10/2019	10:03:00	233,4	233,8	234,1	217,3	217,4	217,9	158222	165062	169546	7,1	5,9	6,71
01/10/2019	10:04:00	233,8	234,3	234,5	217,9	218	218,5	137022	144125	148885	7,69	7,38	8,26
01/10/2019	10:05:00	233,3	233,8	234	217,2	217,3	217,8	164837	172563	176089	6,1	6,18	7,17
01/10/2019	10:06:00	233,6	234,1	234,4	217,6	217,8	218,3	140971	148364	153570	7,09	6,9	7,39
01/10/2019	10:07:00	233,4	234	234,2	217,4	217,6	218,1	162479	169477	174103	6,1	5,87	5,68
01/10/2019	10:08:00	233,8	234,3	234,6	217,8	218	218,5	139363	147765	149000	6,32	6,08	6,1
01/10/2019	10:09:00	233,3	233,8	234,1	217,3	217,5	218	148272	155182	158837	6,13	5,69	6,31
01/10/2019	10:10:00	233,2	233,7	234	217,2	217,4	217,9	155573	160306	165549	5,52	5,09	6,01
01/10/2019	10:11:00	233,9	234,4	234,6	218	218,2	218,6	138797	143263	149263	6,5	6,08	7,39
01/10/2019	10:12:00	233,4	233,9	234,2	217,4	217,6	218	160775	165633	171327	5,77	5,52	6,3
01/10/2019	10:13:00	233,9	234,4	234,7	217,9	218,2	218,6	133472	138183	144032	6,86	7,07	7,12
01/10/2019	10:14:00	233,5	234	234,3	217,5	217,7	218,1	164447	168571	175535	5,82	6,08	5,7
01/10/2019	10:15:00	233,7	234,2	234,5	217,7	217,9	218,4	142017	146755	152565	6,88	7,01	6,72
01/10/2019	10:16:00	233,2	233,8	234	217,3	217,6	218	149771	153811	160607	7,3	6,54	7,03
01/10/2019	10:17:00	233,9	234,4	234,7	217,8	218	218,5	158473	161640	168501	7,74	6,59	7,39
01/10/2019	10:18:00	233,8	234,4	234,7	217,9	218,2	218,6	141201	144906	152431	7,75	6,68	7,79
01/10/2019	10:19:00	233,6	234,1	234,4	217,6	217,7	218,2	160981	166897	173731	6,24	5,77	6,41
01/10/2019	10:20:00	234,2	234,6	234,9	218,3	218,4	218,9	132318	138182	144486	5,92	6,42	6,61
01/10/2019	10:21:00	233,4	233,8	234,1	217,4	217,5	218	157297	161992	170193	5,02	5,59	5,76
01/10/2019	10:22:00	234	234,3	234,7	218,1	218	218,6	141225	147128	153583	5,83	5,94	6,25
01/10/2019	10:23:00	233,3	233,7	234,1	217,4	217,5	218,1	145901	152082	158020	6,49	6,11	6,06
01/10/2019	10:24:00	233,5	234	234,3	217,6	217,7	218,2	153254	159439	164441	7,45	6,59	6,66
01/10/2019	10:25:00	233,5	233,9	234,4	217,5	217,7	218,3	147857	153364	159135	7,34	6,94	7,39
01/10/2019	10:26:00	232,7	233,3	233,7	216,7	217	217,5	159675	166423	170832	6,65	6,48	7,25
01/10/2019	10:27:00	233,1	233,7	234	217,2	217,4	217,9	142839	149941	153912	7,15	7,11	7,97
01/10/2019	10:28:00	232,5	233,1	233,4	216,6	216,8	217,3	162836	169560	175951	6,33	6,44	6,65
01/10/2019	10:29:00	233,5	233,9	234,2	217,5	217,6	218,2	147275	154033	159365	6,77	6,89	6,46
01/10/2019	10:30:00	232,7	233,2	233,5	216,8	216,9	217,4	154796	162173	167113	6,48	6,46	6,13

Figura 3 – Immagine del foglio di calcolo che raccoglie i valori misurati

4 – Stima del risparmio energetico potenziale

I dati di misura, di cui al capitolo precedente (v. Tabella 3 e Figura 3), sono stati elaborati secondo le indicazioni della Norma VDE-AR-E 2055-1:2009 (v. relazioni di cui al Cap. 2), al fine di ottenere i potenziali risparmi energetici percentuali mediante l'installazione di un riduttore di tensione.

In particolare è stata seguita la terza metodologia prevista dalla Norma VDE, solitamente applicata per impianti esistenti (v. paragr. 2.2.6). Secondo tale procedura, i valori dei coefficienti (α , β , γ) sono determinati attraverso una misura delle grandezze elettriche dei carichi alimentati (tensione, corrente, potenza, distorsione armonica, ecc.) per un periodo di tempo rappresentativo del ciclo di funzionamento.

4.1 – Descrizione del foglio di calcolo

Il calcolo delle diverse grandezze e dei coefficienti (α , β , γ) per la stima del risparmio energetico è stato effettuato mediante un foglio di calcolo elettronico, partendo dalle misure registrate di cui al precedente Cap. 3.

La Figura 4 mostra la struttura del foglio di calcolo elettronico. Per comodità espositiva, sono stati utilizzati i seguenti colori per le evidenziazioni:

- colore giallo per i valori calcolati relativi alla Fase1;
- colore verde per i valori calcolati relativi alla Fase2;
- colore azzurro per i valori calcolati relativi alla Fase3;
- colore rosa per i valori finali dei coefficienti e delle percentuali di risparmio.

Data	On	FASE 1						FASE 2						FASE 3											
		IN	OUT	IN	OUT	OUT	IN	OUT	IN	OUT	OUT	IN	OUT	IN	OUT	OUT									
V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)								
5	01/10/2019	10:03:00	235,4	212,3	36,1	244,7	7,1	158222	11234	234,8	217,4	16,4	244,7	5,9	160462	9730	234,1	217,8	16,2	244,8	6,7	160546	11277		
6	01/10/2019	10:04:00	235,8	212,9	15,5	244,5	7,69	177022	10537	234,3	218	16,3	244,5	7,38	144125	10036	234,5	218,5	16	244,6	8,26	148885	12258		
7	01/10/2019	10:05:00	233,3	212,2	16,1	244,9	6,1	164887	10050	238,8	217,3	16,9	244,4	6,18	172563	10664	234	217,8	16,2	244,5	7,17	176089	12626		
8	01/10/2019	10:06:00	233,6	212,6	16	244,5	7,09	140971	9955	234,1	217,8	16,3	244,4	6,9	148364	10237	234,4	218,3	16,1	244,5	7,59	153570	11349		
9	01/10/2019	10:07:00	235,4	212,4	16	244,4	6,1	162429	9911	234	217,6	16,4	244,4	5,87	169477	9948	V _{Max} = 244,7	234,2	218,1	16,1	244,5	5,88	174109	9889	
10	01/10/2019	10:08:00	233,8	212,8	16	244,3	6,22	129363	8908	V ₅₀ = 227,0	234,3	218	16,3	244,4	6,08	147765	9884	V ₅₀ = 227,3	234,6	218,5	16,1	244,5	6,1	149000	9689
11	01/10/2019	10:09:00	235,3	212,3	16	244,2	6,13	148722	9089	V ₇₀ = 234,9	233,8	217,5	16,3	244,4	5,69	155182	8830	V ₇₀ = 234,1	234,1	218	16,1	244,4	6,51	158837	10023
12	01/10/2019	10:10:00	233,2	212,2	16	244,2	5,52	155573	8588	V _{min} = 226,6	238,7	217,4	16,3	244,4	5,09	160306	8560	V _{min} = 229,1	234	217,9	16,1	244,4	6,01	160549	9549
13	01/10/2019	10:11:00	235,9	212,8	15,8	244,2	6,5	138797	9022	V _{rid} = 210,0	234,4	218,2	16,2	244,3	6,08	143263	8710	234,6	218,6	16	244,4	7,59	149263	11021	
14	01/10/2019	10:12:00	234,4	212,4	16	244,2	5,77	160725	9277	238,9	217,6	16,3	244,3	5,52	168833	9743	V _{rid} = 220,0	234,2	218	16,2	244,4	6,3	171327	10294	
15	01/10/2019	10:13:00	235,9	212,9	16	244,2	6,86	133472	9156	234,4	218,2	16,2	244,3	7,07	138583	9780	234,7	218,6	16,1	244,4	7,12	144832	10255		
16	01/10/2019	10:14:00	234,5	212,9	16	244,2	5,82	164487	9571	234	217,7	16,8	244,3	6,08	168511	10049	234,3	218,2	16,2	244,4	5,7	175339	10050		
17	01/10/2019	10:15:00	233,7	212,7	16	244,2	6,88	142017	9771	234,2	217,9	16,3	244,3	7,01	146755	10288	234,5	218,4	16,1	244,4	6,72	152565	10252		
18	01/10/2019	10:16:00	235,2	212,3	15,9	244,2	7,3	149771	10935	235,8	217,6	16,2	244,3	6,54	151841	10059	234	218	16	244,4	7,03	160607	11291		
19	01/10/2019	10:17:00	233,9	212,8	16,1	244,1	7,24	158473	10226	234,4	218	16,4	244,3	6,59	161640	10052	u ₂ Max = 0,142	234,7	218,5	16,2	244,4	7,59	168501	12452	
20	01/10/2019	10:18:00	233,8	212,9	15,9	244,1	7,75	161301	10943	234,4	218,2	16,2	244,3	6,68	148906	9680	u ₂ 30 = 0,113	234,7	218,6	16,1	244,3	7,79	152431	11874	
21	01/10/2019	10:19:00	233,6	212,6	16	244,1	6,24	160981	10040	234,1	217,7	16,4	244,3	5,77	156097	9630	u ₂ 70 = 0,111	234,4	218,2	16,2	244,3	6,41	173731	11126	
22	01/10/2019	10:20:00	234,2	212,5	15,5	244,1	5,52	127318	7873	234,6	218,4	16,2	244,3	6,42	138182	8871	u ₂ min = 0,081	234,9	218,5	16	244,3	6,61	144480	9551	
23	01/10/2019	10:21:00	234,4	212,4	16	244,1	5,02	157207	7896	238,8	217,5	16,3	244,2	5,39	161992	9055	234,1	218	16,1	244,3	5,76	170293	9803		
24	01/10/2019	10:22:00	234	218,1	15,9	244,1	5,83	141225	8233	234,3	218	16,3	244,3	5,94	147128	8739	234,7	218,6	16,1	244,3	6,25	153583	9599		
25	01/10/2019	10:23:00	233,3	212,4	15,9	244,1	6,99	145901	9489	237,7	217,5	16,2	244,3	6,11	152082	9292	234,1	218,1	16	244,3	6,06	158020	9576		
26	01/10/2019	10:24:00	233,5	212,6	15,9	244,1	7,45	153254	11447	234	217,7	16,3	244,3	6,39	159429	10507	234,3	218,2	16,1	244,3	6,66	164441	10972		
27	01/10/2019	10:25:00	235,5	212,5	16	244,1	7,54	147857	10889	235,9	217,7	16,2	244,2	4,94	151961	10618	234,4	218,1	16,1	244,3	7,99	159335	11260		
28	01/10/2019	10:26:00	232,7	212,6	16	244,1	6,65	159625	10610	233,3	217	16,3	244,2	6,48	164223	10784	233,7	217,5	16,2	244,3	7,25	170882	12385		
29	01/10/2019	10:27:00	233,1	212,2	15,9	244,1	7,15	162899	10713	233,7	217,4	16,3	244,2	7,11	148941	10661	234	217,9	16,1	244,2	7,57	153912	12267		
30	01/10/2019	10:28:00	232,5	212,6	15,9	244,1	6,33	162836	10308	233,1	216,8	16,3	244,2	6,44	160560	10920	233,4	217,3	16,1	244,2	6,65	175951	11701		
31	01/10/2019	10:29:00	233,5	212,5	16	244,1	6,77	147275	9971	235,9	217,6	16,3	244,2	6,89	154033	10013	234,2	218,2	16	244,2	6,46	159365	10295		
32	01/10/2019	10:30:00	232,7	212,6	15,9	244,0	6,48	154796	10031	233,2	216,9	16,3	244,2	6,46	162173	10476	233,5	217,4	16,1	244,2	6,13	167113	10344		
33	01/10/2019	10:31:00	233,1	212,3	16	244,0	6,89	148879	10250	233,7	217,4	16,3	244,2	6,65	150338	10306	234	218	16	244,2	6,51	159562	11027		

Figura 4 – Struttura del foglio di calcolo utilizzato per il calcolo della stima di risparmio

Le grandezze calcolate, per ciascuna fase, sono elencate di seguito.

Fase 1 (celle evidenziate in giallo):

- (colonna E) valore assoluto della variazione di tensione tra ingresso e uscita;
- (colonna F) valori cumulati della tensione misurata;
- (colonna I) prodotto puntuale tra il valore di distorsione armonica di corrente THD_I e la potenza prelevata;
- (cella K6) valore del coefficiente β_1 ;
- (cella K9) valore massimo di tensione misurato (V_{Max});
- (cella K10) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella K11) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});
- (cella K12) valore minimo di tensione misurato (V_{min});
- (cella K14) valore della tensione di riduzione (V_{rid}). In questo caso il valore è fissato a 210 V;
- (cella K19) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{Max}) rispetto al valore massimo della tensione (v. paragr. 2.3.1);
- (cella K20) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella K21) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});
- (cella K22) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min});

Fase 2 (celle evidenziate in verde):

- (colonna N) valore assoluto della variazione di tensione tra ingresso e uscita;
- (colonna O) valori cumulati della tensione misurata;
- (colonna R) prodotto puntuale tra il valore di distorsione armonica di corrente THD_I e la potenza prelevata;
- (cella T6) valore del coefficiente β_2 ;
- (cella T9) valore massimo di tensione misurato (V_{Max});
- (cella T10) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella T11) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});
- (cella T12) valore minimo di tensione misurato (V_{min});
- (cella T14) valore della tensione di riduzione (V_{rid}). In questo caso il valore è fissato a 210 V;
- (cella T19) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{Max}) rispetto al valore massimo della tensione (v. paragr. 2.3.1);
- (cella T20) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella T21) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});
- (cella T22) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min});

Fase 3 (celle evidenziate in azzurro):

- (colonna W) valore assoluto della variazione di tensione tra ingresso e uscita;
- (colonna X) valori cumulati della tensione misurata;
- (colonna AA) prodotto puntuale tra il valore di distorsione armonica di corrente THD_I e la potenza prelevata;
- (cella AC6) valore del coefficiente β_3 ;
- (cella AC9) valore massimo di tensione misurato (V_{Max});
- (cella AC10) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella AC11) valore di tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});

- (cella AC12) valore minimo di tensione misurato (V_{min});
- (cella AC14) valore della tensione di riduzione (V_{rid}). In questo caso il valore è fissato a 210 V;
- (cella AC19) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{Max}) rispetto al valore massimo della tensione (v. paragr. 2.3.1);
- (cella AC20) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50});
- (cella AC21) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70});
- (cella AC22) valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min});

Nell'ultima colonna AE (celle evidenziate in rosa) sono calcolati i valori dei coefficienti α , β e γ , nonché le stime del risparmio energetico conseguibile:

- (cella AE6) valore medio sulle tre fasi del coefficiente (β);
- (cella AE10) valore dell'esponente a cui elevare la percentuale di riduzione della tensione (u) per ottenere il coefficiente (γ). In questo caso $x = 0,4$ dato che gli impianti sono stati installati dopo l'anno 2000;
- (cella AE12) valore del coefficiente (γ) per una riduzione percentuale di tensione del 12%;
- (cella AE13) valore del coefficiente (γ) per una riduzione percentuale di tensione del 10%;
- (cella AE14) valore del coefficiente (γ) per una riduzione percentuale di tensione dell'8%;
- (cella AE16) valore del coefficiente (α) per una riduzione percentuale di tensione del 12%;
- (cella AE17) valore del coefficiente (α) per una riduzione percentuale di tensione del 10%;
- (cella AE18) valore del coefficiente (α) per una riduzione percentuale di tensione dell'8%;
- (cella AE20) valore medio sulle tre fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{50});
- (cella AE21) valore medio sulle tre fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{70});
- (cella AE22) valore medio sulle tre fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{min});
- (cella AE24) valore percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione del 12% ($\xi_{0,12}$);
- (cella AE25) valore percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione del 10% ($\xi_{0,10}$);
- (cella AE26) valore percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione dell'8% ($\xi_{0,08}$);
- (cella AE28) percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione del 12% ($\eta_{0,12}$);
- (cella AE29) percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione del 10% ($\eta_{0,10}$);
- (cella AE30) percentuale di risparmio energetico conseguibile con una riduzione di tensione dell'8% ($\eta_{0,08}$);

4.2 – Verifica delle relazioni di calcolo secondo la Norma VDE

Si riporta di seguito la verifica delle relazioni implementate nel foglio di calcolo per ottenere i coefficienti (α , β , γ) e le grandezze per la stima del risparmio energetico potenziale.

Per comodità di esposizione, le verifiche delle relazioni di calcolo sono esposte nei paragrafi seguenti, in funzione della fase di alimentazione.

Le relazioni di calcolo implementate per la Fase 2 e la Fase 3 sono le stesse utilizzate per le grandezze della Fase 1 (v. paragrafo successivo 4.2.1).

4.2.1 – Relazioni di calcolo per la Fase 1

La Figura 5 mostra le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 1. Le colonne che contengono l’elaborazione dei dati sono state evidenziate con colore giallo.

Le relazioni evidenziate in rosso in Figura 5 mettono matematicamente in relazione tra loro le celle dei dati. Tali relazioni matematiche sono, di seguito, descritte in termini analitici per verificare la correttezza dei calcoli e validarne le modalità dell’elaborazione dei dati misurati, in applicazione della procedura IPMVP, per il calcolo del risparmio energetico secondo lo standard VDE-AR-E 2055-1:2009.

Colonna E – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono alla differenza di tensione della Fase 1 (ΔV)_{Fase1}. Il valore è calcolato come differenza tra la misura della tensione di ingresso della Fase 1 (V_{in})_{Fase1} (cella C_x) e la misura della tensione in uscita dal riduttore di tensione della Fase 1 (V_{out})_{Fase1} (cella D_x):

$$E_x = C_x - D_x \quad \rightarrow \quad (\Delta V)_{Fase\ 1} = (V_{in})_{Fase\ 1} - (V_{out})_{Fase\ 1}$$

Colonna F – Riporta gli stessi dati della colonna C (V_{in})_{Fase1} ordinati in maniera decrescente (dal maggiore al minore), in modo da ottenere facilmente i valori di V_{Max} , V_{50} , V_{70} e V_{min} per la Fase 1.

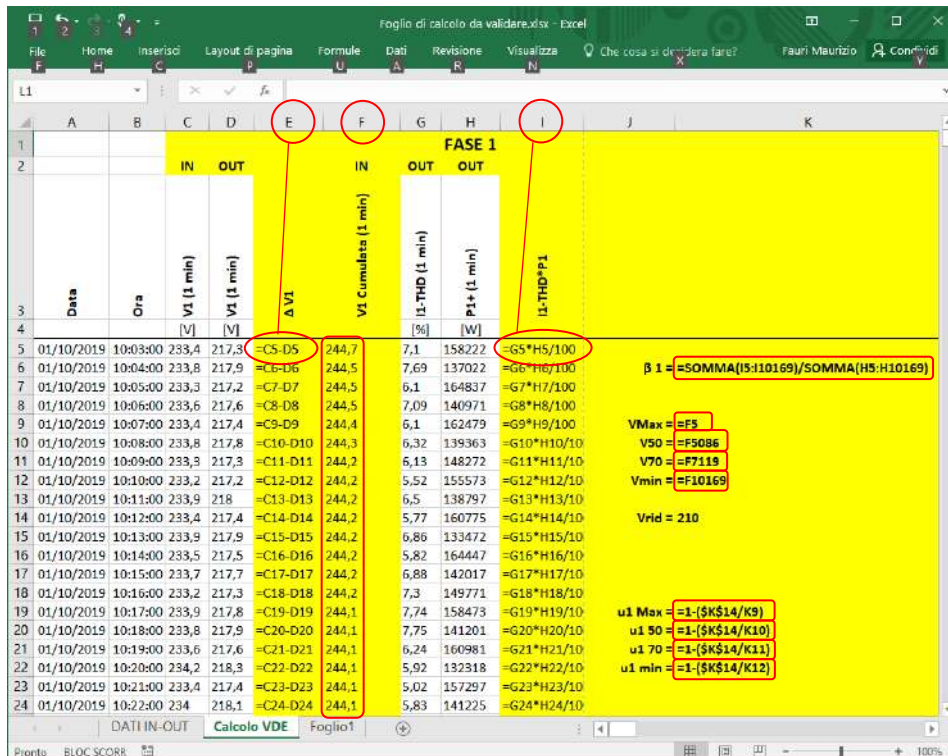


Figura 5 – Immagine del foglio di calcolo con la visualizzazione delle relazioni matematiche implementate tra le celle dei dati di misura per la Fase 1

Colonna I – Calcola il prodotto tra il valore della potenza (cella H_x) ed il valore percentuale della distorsione armonica di corrente THD_I (cella $G_x/100$) per il successivo calcolo della media pesata.

$$I_x = \left(\frac{G_x}{100} \right) H_x \quad \rightarrow \quad \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right) (P_{out}) \right]_{Fase1}$$

Cella K6 – Calcola il valore del coefficiente $(\beta)_{Fase1}$ come rapporto tra la sommatoria dei prodotti tra la potenza e la distorsione armonica di corrente (Colonna I, di cui alla descrizione precedente) e la sommatoria dei soli valori di potenza (Colonna H):

$$K6 = \frac{\sum_1^N (Colonna I)_k}{\sum_1^N (Colonna H)_k} \quad \rightarrow \quad \beta_1 = \frac{\left\{ \sum_1^N \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right)_k (P_{out})_k \right] \right\}_{Fase1}}{\left[\sum_1^N (P_{out})_k \right]_{Fase1}}$$

con N pari al numero di valori registrati.

Il valore del coefficiente $(\beta)_{Fase1}$, calcolato come media pesata sul valore della potenza assorbita, non corrisponde ad una colonna di numeri ma ad un unico valore (cella K6). Con i dati misurati per la Fase 1, il valore risultante del coefficiente $(\beta)_{Fase1}$ risulta pari a 0,0739 (v. Figura 4).

Cella K9 – Riporta il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{Max}) corrispondente al primo valore (Cella 5) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna F).

Cella K10 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{50}), al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{50}) corrisponde al valore della Cella 5086 ($0,5 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna F).

Cella K11 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{70}), al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{70}) corrisponde al valore della Cella 7119 ($0,7 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna F).

Cella K12 – Riporta il minimo valore registrato della tensione (V_{min}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{min}) corrispondente all'ultimo valore (Cella 10169) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna F).

Cella K14 – Riporta il valore della tensione fissato come soglia inferiore di riduzione della tensione (V_{rid}). Questo valore è stato fissato a 210 V.

Cella K19 – Calcola il valore della massima riduzione percentuale di tensione (U_{Max}), rapportando la tensione ridotta (V_{rid}) con il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}):

$$K19 = 1 - \left(\frac{K14}{K9} \right) \quad \rightarrow \quad (U_{Max})_{Fase1} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{Max}} \right) \right]_{Fase1}$$

Cella K20 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50}):

$$K20 = 1 - \left(\frac{K14}{K10} \right) \quad \rightarrow \quad (u_{50})_{Fase1} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{50}} \right) \right]_{Fase1}$$

Cella K21 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70}):

$$K21 = 1 - \left(\frac{K14}{K11} \right) \rightarrow (u_{70})_{Fase1} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{70}} \right) \right]_{Fase1}$$

Cella K22 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min}):

$$K22 = 1 - \left(\frac{K14}{K12} \right) \rightarrow (u_{min})_{Fase1} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{min}} \right) \right]_{Fase1}$$

4.2.2 – Relazioni di calcolo per la Fase 2

La Figura 6 mostra le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 2 ed alla Fase 3. Le relazioni evidenziate in rosso in Figura 6 mettono matematicamente in relazione tra loro le celle dei dati. Tali relazioni matematiche sono, di seguito, descritte in termini analitici per verificare la correttezza dei calcoli e validarne le modalità dell'elaborazione dei dati misurati, in applicazione della procedura IPMVP, per il calcolo del risparmio energetico secondo lo standard VDE-AR-E 2055-1:2009.

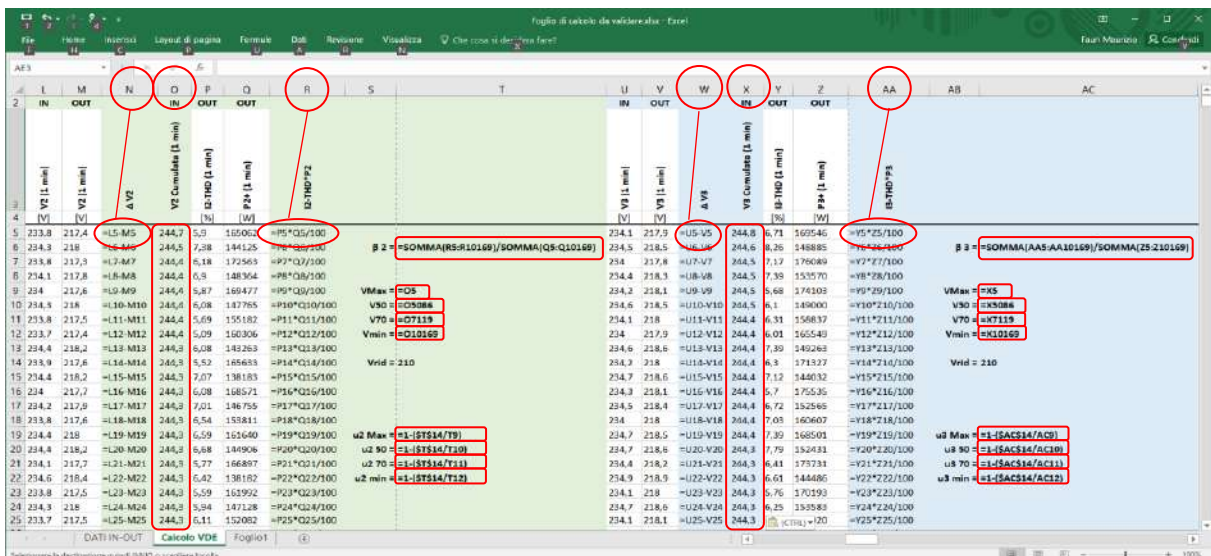


Figura 6 – Immagine del foglio di calcolo con la visualizzazione delle relazioni matematiche implementate tra le celle dei dati di misura per la Fase 2 e la Fase 3

Di seguito si riporta la descrizione delle relazioni matematiche implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 2. Le colonne che contengono l'elaborazione dei dati per la Fase 2 sono state evidenziate con colore verde.

Colonna N – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono alla differenza di tensione della Fase 2 (ΔV)_{Fase2}. Il valore è calcolato come differenza tra la misura della tensione di

ingresso della Fase 2 ($(V_{in})_{Fase2}$ (cella L_x) e la misura della tensione in uscita dal riduttore di tensione della Fase 2 ($(V_{out})_{Fase2}$ (cella M_x):

$$N_x = L_x - M_x \quad \rightarrow \quad (\Delta V)_{Fase2} = (V_{in})_{Fase2} - (V_{out})_{Fase2}$$

Colonna O – Riporta gli stessi dati della colonna M ($(V_{in})_{Fase2}$ ordinati in maniera decrescente (dal maggiore al minore), in modo da ottenere facilmente i valori di V_{Max} , V_{50} , V_{70} e V_{min} per la Fase 2.

Colonna R– Calcola il prodotto tra il valore della potenza (cella Q) ed il valore percentuale della distorsione armonica di corrente THD_I (cella $P_x/100$) per il successivo calcolo della media pesata.

$$R_x = \left(\frac{P_x}{100} \right) Q_x \quad \rightarrow \quad \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right) (P_{out}) \right]_{Fase2}$$

Cella T6 – Calcola il valore del coefficiente (β)_{Fase2} come rapporto tra la sommatoria dei prodotti tra la potenza e la distorsione armonica di corrente (Colonna R, di cui alla descrizione precedente) e la sommatoria dei soli valori di potenza (Colonna Q):

$$T6 = \frac{\sum_1^N (Colonna R)_k}{\sum_1^N (Colonna Q)_k} \quad \rightarrow \quad \beta_2 = \frac{\left\{ \sum_1^N \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right)_k (P_{out})_k \right] \right\}_{Fase2}}{\left[\sum_1^N (P_{out})_k \right]_{Fase2}}$$

con N pari al numero di valori registrati.

Il valore del coefficiente (β)_{Fase2}, calcolato come media pesata sul valore della potenza assorbita, non corrisponde ad una colonna di numeri ma ad un unico valore (cella T6). Con i dati misurati per la Fase 2, il valore risultante del coefficiente (β)_{Fase2} risulta pari a 0,0698 (v. Figura 4).

Cella T9 – Riporta il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{Max}) corrispondente al primo valore (Cella 5) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna O).

Cella T10 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{50}), al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{50}) corrisponde al valore della Cella 5086 ($0,5 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna O).

Cella T11 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{70}), al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{70}) corrisponde al valore della Cella 7119 ($0,7 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna O).

Cella T12 – Riporta il minimo valore registrato della tensione (V_{min}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{min}) corrispondente all'ultimo valore (Cella 10169) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna O).

Cella T14 – Riporta il valore della tensione fissato come soglia inferiore di riduzione della tensione (V_{rid}). Questo valore è stato fissato a 210 V.

Cella T19 – Calcola il valore della massima riduzione percentuale di tensione (u_{Max}), rapportando la tensione ridotta (V_{rid}) con il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}):

$$T19 = 1 - \left(\frac{T14}{T9} \right) \rightarrow (u_{Max})_{Fase2} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{Max}} \right) \right]_{Fase2}$$

Cella T20 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50}):

$$T20 = 1 - \left(\frac{T14}{T10} \right) \rightarrow (u_{50})_{Fase2} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{50}} \right) \right]_{Fase2}$$

Cella T21 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70}):

$$T21 = 1 - \left(\frac{T14}{T11} \right) \rightarrow (u_{70})_{Fase2} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{70}} \right) \right]_{Fase2}$$

Cella T22 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min}):

$$T22 = 1 - \left(\frac{T14}{T11} \right) \rightarrow (u_{min})_{Fase2} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{min}} \right) \right]_{Fase2}$$

4.2.3 – Relazioni di calcolo per la Fase 3

Con riferimento alla Figura 6, si riporta di seguito la descrizione delle relazioni matematiche implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 3. Le colonne che contengono l'elaborazione dei dati per la Fase 3 sono state evidenziate con colore azzurro.

Colonna W – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono alla differenza di tensione della Fase 3 (ΔV)_{Fase3}. Il valore è calcolato come differenza tra la misura della tensione di ingresso della Fase 3 (V_{in})_{Fase3} (cella U_x) e la misura della tensione in uscita dal riduttore di tensione della Fase 3 (V_{out})_{Fase2} (cella V_x):

$$W_x = U_x - V_x \rightarrow (\Delta V)_{Fase3} = (V_{in})_{Fase3} - (V_{out})_{Fase3}$$

Colonna X – Riporta gli stessi dati della colonna U (V_{in})_{Fase3} ordinati in maniera decrescente (dal maggiore al minore), in modo da ottenere facilmente i valori di V_{Max} , V_{50} , V_{70} e V_{min} per la Fase 3.

Colonna AA – Calcola il prodotto tra il valore della potenza (cella AA_x) ed il valore percentuale della distorsione armonica di corrente THD_I (cella $Z_x/100$) per il successivo calcolo della media pesata.

$$AA_x = \left(\frac{Y_x}{100} \right) Z_x \rightarrow \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right) (P_{out}) \right]_{Fase3}$$

Cella AC6 – Calcola il valore del coefficiente (β)_{Fase3} come rapporto tra la sommatoria dei prodotti tra la potenza e la distorsione armonica di corrente (Colonna AA, di cui alla descrizione precedente) e la sommatoria dei soli valori di potenza (Colonna Z):

$$AC6 = \frac{\sum_1^N (Colonna AA)_k}{\sum_1^N (Colonna Z)_k} \rightarrow \beta_3 = \frac{\left\{ \sum_1^N \left[\left(\frac{THD_I}{100} \right)_k (P_{out})_k \right] \right\}_{Fase3}}{\left[\sum_1^N (P_{out})_k \right]_{Fase3}}$$

con N pari al numero di valori registrati.

Il valore del coefficiente $(\beta)_{Fase3}$, calcolato come media pesata sul valore della potenza assorbita, non corrisponde ad una colonna di numeri ma ad un unico valore (cella AC6). Con i dati misurati per la Fase 3, il valore risultante del coefficiente $(\beta)_{Fase3}$ risulta pari a 0,0716 (v. Figura 4).

Cella AC9 – Riporta il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{Max}) corrispondente al primo valore (Cella 5) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna X).

Cella AC10 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{50}), al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{50}) corrisponde al valore della Cella 5086 ($0,5 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna X).

Cella AC11 – Riporta il valore registrato della tensione (V_{70}), al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori registrati di tensione. Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente ed essendo il numero di campioni pari a 10165, il valore (V_{70}) corrisponde al valore della Cella 7119 ($0,7 N + 4$) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna X).

Cella AC12 – Riporta il minimo valore registrato della tensione (V_{min}). Avendo disposto i valori di tensione in ordine decrescente il valore (V_{min}) corrispondente all'ultimo valore (Cella 10169) della colonna relativa ai valori decrescenti della tensione (Colonna X).

Cella AC14 – Riporta il valore della tensione fissato come soglia inferiore di riduzione della tensione (V_{rid}). Questo valore è stato fissato a 210 V.

Cella AC19 – Calcola il valore della massima riduzione percentuale di tensione (u_{Max}), rapportando la tensione ridotta (V_{rid}) con il massimo valore registrato della tensione (V_{Max}):

$$AC19 = 1 - \left(\frac{AC14}{AC9} \right) \rightarrow (u_{Max})_{Fase3} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{Max}} \right) \right]_{Fase3}$$

Cella AC20 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50}):

$$AC20 = 1 - \left(\frac{AC14}{AC10} \right) \rightarrow (u_{50})_{Fase3} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{50}} \right) \right]_{Fase3}$$

Cella AC21 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70}):

$$AC21 = 1 - \left(\frac{AC14}{AC11} \right) \rightarrow (u_{70})_{Fase3} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{70}} \right) \right]_{Fase3}$$

Cella AC22 – Calcola il valore della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min});

$$AC22 = 1 - \left(\frac{AC14}{AC11} \right) \rightarrow (u_{\min})_{Fase3} = \left[1 - \left(\frac{V_{rid}}{V_{\min}} \right) \right]_{Fase3}$$

4.2.4 – Relazioni di calcolo generali

L'ultima colonna del foglio di calcolo (colonna AF) contiene le elaborazioni per la determinazione dei coefficienti α , β e γ e per la valutazione della stima di risparmio energetico secondo la metodologia indicata dalla Norma VDE-AR-E 2055-1:2009.

La Figura 7 mostra un'immagine del foglio elettronico con i valori numerici ottenuti e con le relazioni di calcolo implementate.

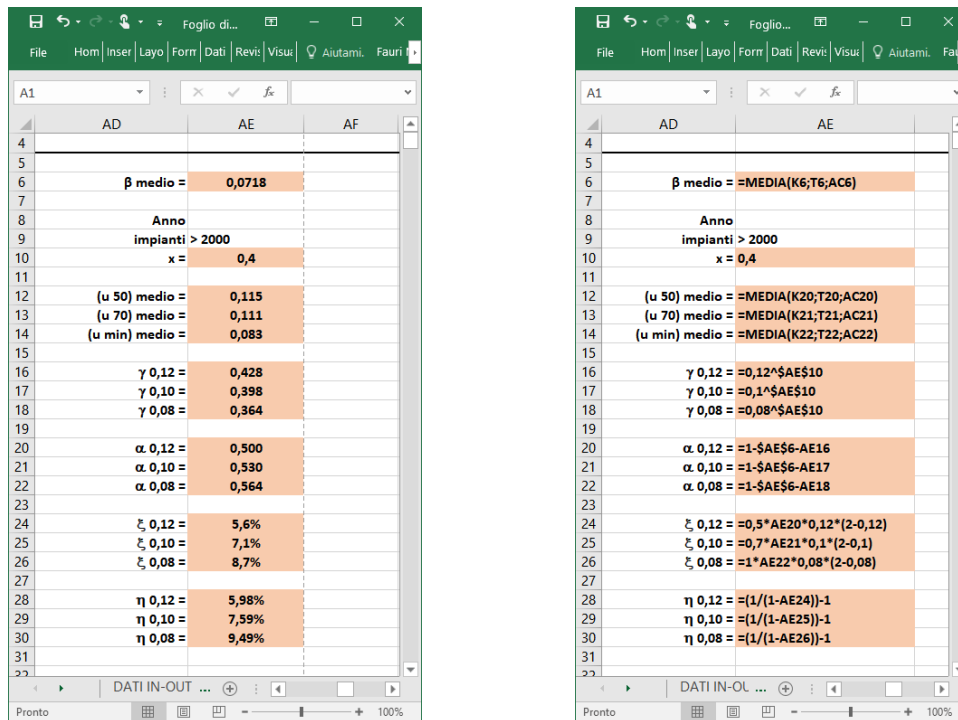


Figura 7 – Immagine dei valori numerici finali e delle relazioni di calcolo implementate

Con riferimento alla Figura 7, si riporta di seguito la descrizione delle relazioni matematiche implementate per il calcolo dei coefficienti α , β e γ e per la valutazione della stima di risparmio energetico.

Cella AE6 – Riporta il valore medio dei coefficienti β_1 , β_2 e β_3 calcolati separatamente per le tre Fasi:

$$AE6 = MEDIA(K6, T6, AC6) \rightarrow (\beta)_{medio} = \frac{(\beta)_{Fase\ 1} + (\beta)_{Fase\ 2} + (\beta)_{Fase\ 3}}{3}$$

Cella AE10 – Riporta il valore dell'esponente da applicare alle cadute di tensione per ottenere i valori dei coefficienti γ . In questo caso, dato che gli impianti sono stati installati dopo l'anno 2000, si assume un esponente pari a 0,4.

Cella AE12 – Calcola il valore medio sulle tre Fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{50}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 50% dei valori misurati (V_{50}):

$$AE12 = MEDIA(K20, T20, AC20) \rightarrow (u_{50})_{medio} = \frac{(u_{50})_{Fase\ 1} + (u_{50})_{Fase\ 2} + (u_{50})_{Fase\ 3}}{3}$$

Il valore medio calcolato di (u_{50}) risulta pari all'11,5%.

Cella AE13 – Calcola il valore medio sulle tre Fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{70}) rispetto al valore della tensione al di sopra del quale ci sono il 70% dei valori misurati (V_{70}):

$$AE13 = MEDIA(K21, T21, AC21) \rightarrow (u_{70})_{medio} = \frac{(u_{70})_{Fase\ 1} + (u_{70})_{Fase\ 2} + (u_{70})_{Fase\ 3}}{3}$$

Il valore medio calcolato di (u_{70}) risulta pari all'11,1%.

Cella AE14 – Calcola il valore medio sulle tre Fasi della riduzione percentuale di tensione (u_{min}) rispetto al valore minimo della tensione (V_{min}):

$$AE14 = MEDIA(K22, T22, AC22) \rightarrow (u_{min})_{medio} = \frac{(u_{min})_{Fase\ 1} + (u_{min})_{Fase\ 2} + (u_{min})_{Fase\ 3}}{3}$$

Il valore medio calcolato di (u_{70}) risulta pari all'8,3%.

Dato che i tre valori di (u_{50}), (u_{70}) e (u_{min}) risultano compresi tra l'11,5% e l'8,3%, si assumono tre valori di riduzione pari al 12%, il 10% e l'8% per calcolare i coefficienti γ .

Cella AE16 – Riporta il valore calcolato del coefficiente γ nel caso di una riduzione di tensione del 12% ($\gamma_{0,12}$):

$$AE16 = 0,12^{AE10} \rightarrow (\gamma)_{0,12} = (0,12)^{0,4}$$

Il valore calcolato di ($\gamma_{0,12}$) risulta pari a 0,428.

Cella AE17 – Riporta il valore calcolato del coefficiente γ nel caso di una riduzione di tensione del 10% ($\gamma_{0,10}$):

$$AE17 = 0,10^{AE10} \rightarrow (\gamma)_{0,10} = (0,10)^{0,4}$$

Il valore calcolato di ($\gamma_{0,12}$) risulta pari a 0,398.

Cella AE18 – Riporta il valore calcolato del coefficiente γ nel caso di una riduzione di tensione dell'8% ($\gamma_{0,08}$):

$$AE18 = 0,08^{AE10} \rightarrow (\gamma)_{0,08} = (0,08)^{0,4}$$

Il valore calcolato di ($\gamma_{0,12}$) risulta pari a 0,364.

Cella AE20 – Riporta il valore del coefficiente α , nel caso di una riduzione di tensione del 12%, calcolato come differenza tra 1 e i valori dei coefficienti (β)_{medio} e (γ)_{0,12}:

$$AE20 = 1 - AE6 - AE16 \rightarrow (\alpha)_{0,12} = 1 - (\beta)_{medio} - (\gamma)_{0,12}$$

Il valore calcolato di ($\alpha_{0,12}$) risulta pari a 0,500.

Cella AE21 – Riporta il valore del coefficiente α , nel caso di una riduzione di tensione del 10%, calcolato come differenza tra 1 e i valori dei coefficienti $(\beta)_{medio}$ e $(\gamma)_{0,10}$:

$$AE21 = 1 - AE6 - AE17 \quad \rightarrow \quad (\alpha)_{0,10} = 1 - (\beta)_{medio} - (\gamma)_{0,10}$$

Il valore calcolato di $(\alpha)_{0,10}$ risulta pari a 0,530.

Cella AE22 – Riporta il valore del coefficiente α , nel caso di una riduzione di tensione dell'8%, calcolato come differenza tra 1 e i valori dei coefficienti $(\beta)_{medio}$ e $(\gamma)_{0,08}$:

$$AE22 = 1 - AE6 - AE18 \quad \rightarrow \quad (\alpha)_{0,08} = 1 - (\beta)_{medio} - (\gamma)_{0,08}$$

Il valore calcolato di $(\alpha)_{0,08}$ risulta pari a 0,564.

Cella AE24 – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico conseguibile nel caso di una riduzione di tensione del 12% $(\xi_{0,12})$:

$$AE24 = 0,5 \cdot AE20 \cdot 0,12 \cdot (2 - 0,12) \quad \rightarrow \quad \xi_{0,12} = s \cdot \alpha \cdot u_{0,12} \cdot (2 - u_{0,12})$$

Il valore di (s) è stato assunto pari a 0,5, mentre il valore percentuale calcolato di $(\xi_{0,12})$ risulta pari al 5,6%.

Cella AE25 – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico conseguibile nel caso di una riduzione di tensione del 10% $(\xi_{0,10})$:

$$AE24 = 0,7 \cdot AE21 \cdot 0,10 \cdot (2 - 0,10) \quad \rightarrow \quad \xi_{0,10} = s \cdot \alpha \cdot u_{0,10} \cdot (2 - u_{0,10})$$

Il valore di (s) è stato assunto pari a 0,7, mentre il valore percentuale calcolato di $(\xi_{0,10})$ risulta pari al 7,1%.

Cella AE26 – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico conseguibile nel caso di una riduzione di tensione del 7,1% $(\xi_{0,08})$:

$$AE26 = 1,0 \cdot AE22 \cdot 0,08 \cdot (2 - 0,08) \quad \rightarrow \quad \xi_{0,08} = s \cdot \alpha \cdot u_{0,08} \cdot (2 - u_{0,08})$$

Il valore di (s) è stato assunto pari a 1, mentre il valore percentuale calcolato di $(\xi_{0,08})$ risulta pari all'8,7%.

Cella AE28 – Calcola il valore dell'incremento di efficienza energetica $(\eta_{0,12})$ nel caso di una riduzione di tensione del 12%:

$$AE28 = \left[\frac{1}{(1 - AE24)} \right] - 1 \quad \rightarrow \quad \eta_{0,12} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,12})} \right] - 1$$

Il valore dell'incremento di efficienza energetica calcolato di $(\eta_{0,12})$ risulta pari al 5,98%.

Cella AE29 – Calcola il valore dell'incremento di efficienza energetica $(\eta_{0,10})$ nel caso di una riduzione di tensione del 10%:

$$AE29 = \left[\frac{1}{(1 - AE25)} \right] - 1 \quad \rightarrow \quad \eta_{0,10} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,10})} \right] - 1$$

Il valore dell'incremento di efficienza energetica calcolato di $(\eta_{0,10})$ risulta pari al 7,59%.



Cella AE30 – Calcola il valore dell'incremento di efficienza energetica ($\eta_{0,08}$) nel caso di una riduzione di tensione dell'8%:

$$AE30 = \left[\frac{1}{(1 - AE26)} \right] - 1 \quad \rightarrow \quad \eta_{0,08} = \left[\frac{1}{(1 - \xi_{0,08})} \right] - 1$$

Il valore dell'incremento di efficienza energetica calcolato di ($\eta_{0,12}$) risulta pari al 9,49%.

4.3 – Osservazioni finali

Le relazioni implementate nel foglio di calcolo elettronico per il calcolo dei coefficienti α , β e γ e per la valutazione della stima di risparmio energetico secondo la metodologia indicata dalla Norma VDE-AR-E 2055-1:2009, sono corrette.

Secondo la metodologia indicata dalla Norma VDE-AR-E 2055-1:2009, il potenziale risparmio energetico è stimabile tra il 5,6% e l'8,7%.

Nel Capitolo successivo saranno calcolati gli effettivi risparmi energetici, in base alle misure registrate ed ai valori calcolati secondo la Norma VDE in questo Capitolo.

5 – Calcolo del risparmio energetico effettivo

Il foglio di calcolo elettronico da analizzare, dopo aver stimato il risparmio energetico potenziale, calcola il risparmio energetico effettivo, ottenuto mediante l'ins di un riduttore di tensione, sulla base delle misure di cui al Capitolo 3.

La Figura 8 mostra una immagine della parte del foglio elettronico che calcola l'energia risparmiata sulle singole fasi e quella media complessiva. Come nei capitoli precedenti, i calcoli sono stati evidenziati con i seguenti colori:

- giallo per la Fase 1;
- verde per la Fase 2;
- azzurro per la Fase 3;
- rosa per i valori medi complessivi.

L'immagine di Figura 8 mostra il foglio elettronico separato in due parti: nella parte superiore riporta le prime righe di calcolo comprensive delle intestazioni, mentre nella parte inferiore riporta le ultime righe di calcolo generali comprensive delle relazioni che permettono di riparametrare i risultati su base settimanale e mensile.

	FASE 1						FASE 2						FASE 3						TOTALE										
	u1	γ1	α1	ξ1	η1	P1	u2	γ2	α2	ξ2	η2	P2	u3	γ3	α3	ξ3	η3	P3	Media	γ	α	ξ	η	P1 + P2 + P3	Saving				
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[W]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[W]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[W]	[W]			
5	0,069	0,343	0,583	7,77%	8,42%	158222	0,070	0,345	0,585	7,52%	8,60%	165062	0,069	0,344	0,583	7,81%	8,40%	165946	0,069	0,344	0,584	7,83%	8,30%	162830	141875				
6	0,068	0,342	0,582	7,90%	8,32%	173022	0,070	0,344	0,586	7,87%	8,54%	144125	0,068	0,342	0,587	7,72%	8,38%	148805	0,069	0,342	0,584	7,76%	8,42%	140032	36189				
7	0,069	0,343	0,583	7,77%	8,42%	164837	0,071	0,346	0,584	7,95%	8,64%	173563	0,069	0,344	0,585	7,82%	8,40%	176005	0,070	0,344	0,584	7,84%	8,31%	171485	42711				
8	0,068	0,342	0,584	7,79%	8,37%	160921	0,070	0,344	0,586	7,87%	8,53%	149394	0,069	0,343	0,588	7,77%	8,43%	153370	0,069	0,343	0,585	7,79%	8,45%	142905	37426				
9	0,069	0,342	0,584	7,79%	8,38%	162475	0,070	0,345	0,585	7,91%	8,59%	169477	0,069	0,343	0,586	7,78%	8,43%	174103	0,069	0,343	0,585	7,81%	8,47%	166053	42645				
10	0,068	0,342	0,584	7,72%	8,37%	159183	0,070	0,344	0,586	7,87%	8,54%	147785	0,069	0,342	0,586	7,77%	8,42%	149000	0,069	0,343	0,585	7,78%	8,44%	136128	36818				
11	0,069	0,342	0,584	7,79%	8,38%	148272	0,070	0,345	0,586	7,88%	8,58%	155142	0,069	0,343	0,586	7,78%	8,42%	158837	0,069	0,343	0,585	7,80%	8,46%	146291	35093				
10164	0,070	0,345	0,581	7,85%	8,51%	177465	0,071	0,346	0,584	7,95%	8,67%	180453	0,070	0,345	0,584	7,85%	8,52%	191228	0,070	0,345	0,581	7,88%	8,58%	149144	46067				
10165	0,069	0,344	0,582	7,79%	8,43%	172495	0,070	0,346	0,585	7,92%	8,60%	175876	0,069	0,344	0,584	7,83%	8,49%	166041	0,070	0,344	0,584	7,85%	8,51%	154431	45562				
10167	0,070	0,345	0,581	7,82%	8,52%	176011	0,071	0,347	0,583	7,96%	8,68%	180321	0,070	0,345	0,584	7,85%	8,52%	191173	0,070	0,345	0,581	7,90%	8,57%	144101	46993				
10168	0,069	0,342	0,583	7,78%	8,43%	168257	0,070	0,345	0,585	7,91%	8,59%	172243	0,069	0,343	0,585	7,78%	8,46%	182447	0,069	0,344	0,584	7,82%	8,49%	152957	44351				
10168	0,069	0,344	0,583	7,76%	8,44%	160334	0,071	0,346	0,584	7,95%	8,62%	164236	0,069	0,344	0,585	7,82%	8,48%	184805	0,069	0,344	0,584	7,85%	8,52%	159429	47649				
10169	0,069	0,342	0,584	7,74%	8,38%	156005	0,070	0,344	0,586	7,87%	8,54%	162334	0,068	0,342	0,587	7,74%	8,39%	169957	0,069	0,343	0,583	7,78%	8,44%	149559	41358				
10170																													
10171	Totale periodo misura [Wh]						12.754.390	Totale periodo misura [Wh]						13.682.372	Totale periodo misura [Wh]						13.863.393	Totale periodo misura [Wh]						40.300.155	3.886.711
10172	Totale 1 settimana [Wh]						12.857.654	Totale 1 settimana [Wh]						13.567.060	Totale 1 settimana [Wh]						13.747.467	Totale 1 settimana [Wh]						39.073.680	3.958.411
10173	Totale 1 anno [kWh]						668.398	Totale 1 anno [kWh]						705.534	Totale 1 anno [kWh]						714.868	Totale 1 anno [kWh]						2.078.600	174.817
10174	Risparmio perc. energia [%]						7,69%	Risparmio perc. energia [%]						7,83%	Risparmio perc. energia [%]						7,73%	Risparmio perc. energia [%]						7,75%	
10175	Incremento perc. efficienza [%]						8,14%	Incremento perc. efficienza [%]						8,09%	Incremento perc. efficienza [%]						8,17%	Incremento perc. efficienza [%]						8,05%	
10174	DATI IN OUT Calcolo VDE Foglio1																												

Figura 8 – Calcolo del risparmio energetico per le singole fasi e complessivo

5.1 – Descrizione delle grandezze calcolate

Le grandezze calcolate, per ciascuna fase, sono elencate di seguito.

Fase 1 (celle evidenziate in giallo):

- (colonna BA) valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita u_1 ;
- (colonna BB) valore calcolato del coefficiente γ_1 ;
- (colonna BC) valore calcolato del coefficiente α_1 ;
- (colonna BD) valore calcolato del risparmio percentuale ξ_1 ;
- (colonna BE) valore calcolato dell'incremento percentuale di efficienza energetica η_1 ;
- (colonna BF) valore misurato della potenza prelevata sulla Fase 1 a valle del riduttore di tensione;



- (colonna BG) valore calcolato della potenza risparmiata per la Fase 1;
- (cella BF10171) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 1, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BG10171) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 1, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BF10172) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 1, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BG10172) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 1, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BF10173) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 1, riportata al periodo di un anno;
- (cella BG10173) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 1, riportata al periodo di un anno;
- (cella BF10174) valore del risparmio percentuale annuo sulla Fase 1;
- (cella BF10175) valore dell'incremento percentuale di efficienza per la Fase 1.

Fase 2 (celle evidenziate in verde):

- (colonna BI) valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita u_2 ;
- (colonna BJ) valore calcolato del coefficiente γ_2 ;
- (colonna BK) valore calcolato del coefficiente α_2 ;
- (colonna BL) valore calcolato del risparmio percentuale ξ_2 ;
- (colonna BM) valore calcolato dell'incremento percentuale di efficienza energetica η_2 ;
- (colonna BN) valore misurato della potenza prelevata sulla Fase 2 a valle del riduttore di tensione;
- (colonna BO) valore calcolato della potenza risparmiata per la Fase 2;
- (cella BN10171) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 2, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BO10171) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 2, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BN10172) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 2, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BO10172) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 2, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BN10173) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 2, riportata al periodo di un anno;
- (cella BO10173) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 2, riportata al periodo di un anno;
- (cella BN10174) valore del risparmio percentuale annuo sulla Fase 2;
- (cella BN10175) valore dell'incremento percentuale di efficienza per la Fase 2.

Fase 3 (celle evidenziate in azzurro):

- (colonna BQ) valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita u_3 ;
- (colonna BR) valore calcolato del coefficiente γ_3 ;
- (colonna BS) valore calcolato del coefficiente α_3 ;
- (colonna BT) valore calcolato del risparmio percentuale ξ_3 ;
- (colonna BU) valore calcolato dell'incremento percentuale di efficienza energetica η_3 ;
- (colonna BV) valore misurato della potenza prelevata sulla Fase 3 a valle del riduttore di tensione;
- (colonna BW) valore calcolato della potenza risparmiata per la Fase 3;

- (cella BV10171) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 3, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BW10171) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 3, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella BV10172) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 3, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BW10172) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 3, riportata al periodo di una settimana;
- (cella BV10173) valore complessivo della potenza prelevata sulla Fase 3, riportata al periodo di un anno;
- (cella BW10173) valore complessivo della potenza risparmiata sulla Fase 3, riportata al periodo di un anno;
- (cella BV10174) valore del risparmio percentuale annuo sulla Fase 3;
- (cella BV10175) valore dell'incremento percentuale di efficienza per la Fase 3.

Valori medi complessivi (celle evidenziate in rosa):

- (colonna BY) valore percentuale medio sulle tre fasi della variazione di tensione tra ingresso e uscita U_{medio} ;
- (colonna BZ) valore medio sulle tre fasi del coefficiente γ ;
- (colonna CA) valore medio sulle tre fasi del coefficiente α ;
- (colonna CB) valore medio sulle tre fasi del risparmio percentuale ξ ;
- (colonna CC) valore medio sulle tre fasi dell'incremento percentuale di efficienza energetica η ;
- (colonna CD) valore misurato della potenza complessivamente prelevata sulle tre fasi a valle del riduttore di tensione;
- (colonna CE) valore calcolato della potenza complessivamente risparmiata sulle tre fasi;
- (cella CD10171) valore complessivo della potenza prelevata sulle tre fasi, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella CE10171) valore complessivo della potenza risparmiata sulle tre fasi, nel corso dell'intera campagna di misura;
- (cella CD10172) valore complessivo della potenza prelevata sulle tre fasi, riportata al periodo di una settimana;
- (cella CE10172) valore complessivo della potenza risparmiata sulle tre fasi, riportata al periodo di una settimana;
- (cella CD10173) valore complessivo della potenza prelevata sulle tre fasi, riportata al periodo di un anno;
- (cella CE10173) valore complessivo della potenza risparmiata sulle tre fasi, riportata al periodo di un anno;
- (cella CD10174) valore del risparmio percentuale annuo;
- (cella CD10175) valore dell'incremento percentuale di efficienza.

5.2 – Analisi delle relazioni di calcolo

Si analizzeranno di seguito le relazioni di calcolo implementate nel foglio elettronico per ottenere il risparmio energetico effettivo, sulla base delle misure effettuate (v. Cap. 3) e dei coefficienti ottenuti secondo la terza metodologia della Norma VDE (v. Cap. 4).

5.2.1 – Relazioni di calcolo per la Fase 1

La figura 9 mostra le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 1. Per comodità di esposizione, i dati relativi alla Fase 1 sono stati evidenziati con colore giallo.

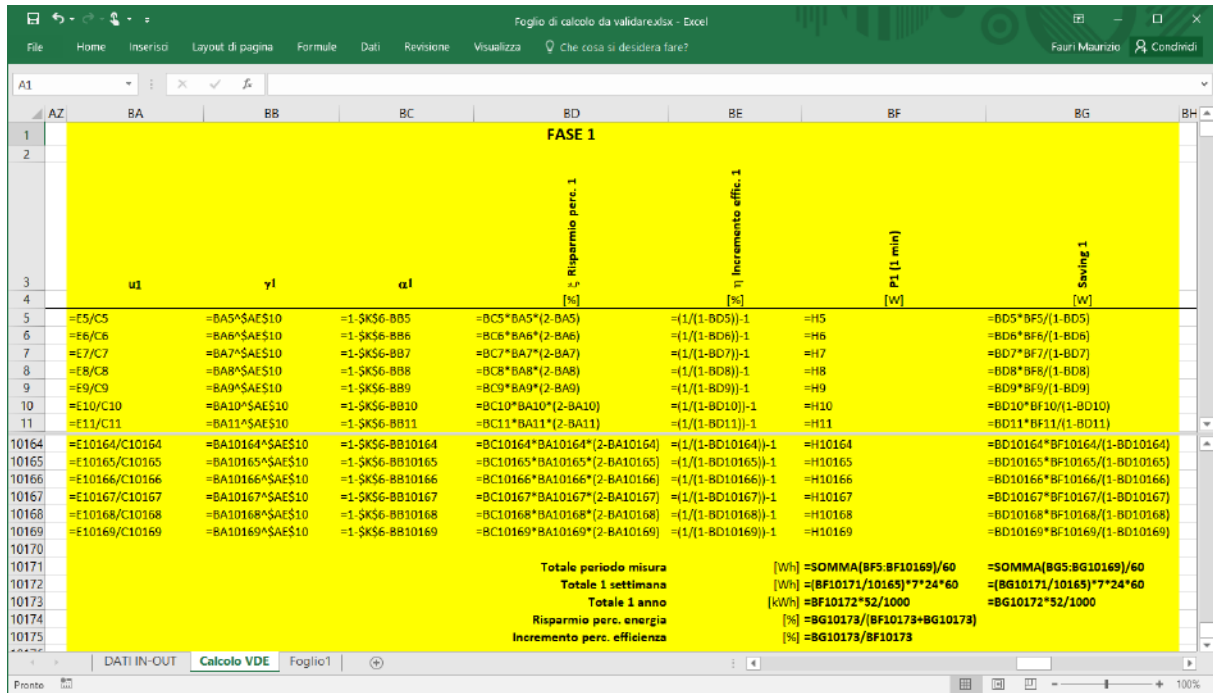


Figura 9 – Relazioni per il calcolo del risparmio energetico per la Fase 1

Le relazioni matematiche sono, di seguito, descritte in termini analitici per verificarne la correttezza e validare la modalità di calcolo del risparmio energetico

Colonna BA – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono al valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita per la Fase 1 (u_1). Il valore è calcolato come rapporto tra la differenza di tensione tra ingresso e uscita della Fase 1 (Cella E_x) e la misura della tensione in ingresso della Fase 1 (Cella C_x):

$$BA_x = \frac{E_x}{C_x} \rightarrow (u)_{Fase\ 1} = \frac{(V_{in} - V_{out})_{Fase\ 1}}{(V_{in})_{Fase\ 1}}$$

Colonna BB – Questa colonna riporta i valori calcolati del coefficiente (γ_1) per ciascuna riduzione percentuale di tensione calcolata minuto per minuto e riportata nella colonna BA. L'esponente a cui elevare la riduzione percentuale di tensione viene assunto pari a 0,4 (Cella AE10), dato che gli impianti sono installati dopo l'anno 2000:

$$BB_x = BA_x^{AE10} \rightarrow \gamma_1 = (u_1)^{0,4}$$

Colonna BC – I valori di questa colonna sono quelli del coefficiente α_1 , calcolati come differenza tra 1 ed i valori dei coefficienti $(\beta_1)_{medio}$ e (γ_1) . Come valore di $(\beta_1)_{medio}$ si assume quello calcolato per la Fase 1 e riportato nella cella K6:

$$BC_x = 1 - K6 - BB_x \quad \rightarrow \quad \alpha_1 = 1 - (\beta_1)_{medio} - \gamma_1$$

Colonna BD – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico della Fase 1, (ξ_1) per ogni riduzione di tensione (u_1), calcolata minuto per minuto:

$$BD_x = BC_x \cdot BA_x \cdot (2 - BA_x) \quad \rightarrow \quad \xi_1 = 1 \cdot \alpha_1 \cdot u_1 \cdot (2 - u_1)$$

Colonna BE – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica della Fase 1 (η_1), conseguente all'incremento di efficienza energetica (ξ_1), minuto per minuto:

$$BE_x = \left(\frac{1}{1 - BC_x} \right) - 1 \quad \rightarrow \quad \eta_1 = \left(\frac{1}{1 - \xi_1} \right) - 1$$

Colonna BF – Riporta i valori della potenza misurata per la Fase 1 (già elencati nella colonna H) per semplificare il calcolo della successiva colonna BG.

Colonna BG – Riporta i valori calcolati della potenza risparmiata, minuto per minuto, per la Fase 1, ricavandola in base al valore dell'incremento di efficienza energetica ed alla misura della potenza assorbita dal carico (v. paragrafo 2.3.5):

$$BG_x = BD_x \frac{BF_x}{(1 - BD_x)} \quad \rightarrow \quad \Delta P_1 = \xi_1 P_1 = \xi_1 \left[\frac{(P_u)_{Fase1}}{(1 - \xi_1)} \right]$$

Cella BF1071 – Riporta la somma di tutte le 10165 misure, effettuate ogni minuto, della potenza assorbita dal carico della Fase 1. Il valore ottenuto (W_{10165}) corrisponde all'energia assorbita dal carico in 10165 minuti:

$$BF1071 = SOMMA (BF5 : BF10169) \quad \rightarrow \quad (W_{10165})_{Fase1} = \sum_{k=1}^{10165} (P_1)_k$$

Il valore della Cella BF1071 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia assorbita nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BF10172 – Calcola il valore dell'energia assorbita in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia assorbita in 10165 minuti (Cella BF1071) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min × 24 ore × 7 giorni):

$$BF10172 = \left(\frac{BF1071}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \quad \rightarrow \quad (W_{settimana})_{Fase1} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (P_1)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BF10172 è espresso in [Wh].

Cella BF10173 – Calcola il valore dell'energia assorbita in un anno sulla Fase 1, moltiplicando il valore dell'energia assorbita in una settimana (Cella BF10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BF10173 = (BF10172) (52) \quad \rightarrow \quad (W_{anno})_{Fase1} = (W_{settimana})_{Fase1} \cdot 52$$

Il valore della Cella BF10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente assorbita dalla Fase 1 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BG10171 – Calcola la somma di tutti i 10165 valori di potenza risparmiata sulla Fase 1. Il valore ottenuto (ΔW_{10165}) corrisponde all'energia risparmiata sulla Fase 1 in 10165 minuti:

$$BG10171 = \text{SOMMA } (BG5 : BG10169) \rightarrow (\Delta W_{10165})_{Fase1} = \sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_1)_k$$

Il valore della Cella BG10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia risparmiata nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BG10172 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia risparmiata in 10165 minuti (Cella BG10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min × 24 ore × 7 giorni):

$$BG10172 = \left(\frac{BG10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \rightarrow (\Delta W_{settimana})_{Fase1} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_1)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BG10172 è espresso in [Wh].

Cella BG10173 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in un anno, moltiplicando il valore dell'energia risparmiata in una settimana (Cella BG10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BF10173 = (BG10172) (52) \rightarrow (W_{anno})_{Fase1} = (W_{settimana})_{Fase1} \cdot 52$$

Il valore della Cella BG10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente risparmiata sulla Fase 1 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BF10174 – Calcola il valore percentuale dell'energia risparmiata in un anno sulla Fase 1, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BG10173) e l'energia annua in ingresso (Cella BF10173 + Cella BG10173):

$$BF10174 = \frac{BG10173}{(BF10173 + BG10173)} \rightarrow (\Delta W_{\%})_{Fase1} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase1}}{[(W_{anno})_{Fase1} + (\Delta W_{anno})_{Fase1}]}$$

Il valore percentuale di risparmio per la Fase1 risulta pari all'7,69% (v. Figura 8).

Cella BF10175 – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica per la Fase 1, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BG10173) e l'energia assorbita in un anno (Cella BF10173):

$$BF10175 = \frac{BG10173}{BF10173} \rightarrow (\eta)_{Fase1} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase1}}{(W_{anno})_{Fase1}}$$

Il valore percentuale di incremento di efficienza per la Fase 1 risulta pari all'8,34% (v. Figura 8).

5.2.2 – Relazioni di calcolo per la Fase 2

Le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 2, sono mostrate in Figura 10. Per comodità di esposizione, i dati relativi alla Fase 2 sono stati evidenziati con colore verde.

Di seguito, le relazioni matematiche sono descritte in termini analitici per verificarne la correttezza e validare la modalità di calcolo del risparmio energetico.

Colonna BI – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono al valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita per la Fase 2 (u_2). Il valore è calcolato come rapporto

tra la differenza di tensione tra ingresso e uscita della Fase 2 (Cella N_x) e la misura della tensione in ingresso della Fase 2 (Cella L_x):

$$BI_x = \frac{N_x}{L_x} \rightarrow (u)_{Fase\ 2} = \frac{(V_{in} - V_{out})_{Fase\ 2}}{(V_{in})_{Fase\ 2}}$$

	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BF	
1					FASE 2					
2										
3					Risparmio perc. 2	Incremento effic. 2				
4		u ₂	γ ₂	α ₂	[%]	[%]	P ₂ (1 min)	Saving 2	[W]	
5	=N5/L5	=BI5*SAES10	=1-\$T\$6-BJ5	=BK5*BI5*(2-BI5)	=1/(1-BL5)-1	=Q5		=BL5*BN5/(1-BL5)		
6	=N6/L6	=BI6*SAES10	=1-\$T\$6-BJ6	=BK6*BI6*(2-BI6)	=1/(1-BL6)-1	=Q6		=BL6*BN6/(1-BL6)		
7	=N7/L7	=BI7*SAES10	=1-\$T\$6-BJ7	=BK7*BI7*(2-BI7)	=1/(1-BL7)-1	=Q7		=BL7*BN7/(1-BL7)		
8	=N8/L8	=BI8*SAES10	=1-\$T\$6-BJ8	=BK8*BI8*(2-BI8)	=1/(1-BL8)-1	=Q8		=BL8*BN8/(1-BL8)		
9	=N9/L9	=BI9*SAES10	=1-\$T\$6-BJ9	=BK9*BI9*(2-BI9)	=1/(1-BL9)-1	=Q9		=BL9*BN9/(1-BL9)		
10	=N10/L10	=BI10*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10	=BK10*BI10*(2-BI10)	=1/(1-BL10)-1	=Q10		=BL10*BN10/(1-BL10)		
11	=N11/L11	=BI11*SAES10	=1-\$T\$6-BJ11	=BK11*BI11*(2-BI11)	=1/(1-BL11)-1	=Q11		=BL11*BN11/(1-BL11)		
10164	=N10164/L10164	=BI10164*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10164	=BK10164*BI10164*(2-BI10164)	=1/(1-BL10164)-1	=Q10164		=BL10164*BN10164/(1-BL10164)		
10165	=N10165/L10165	=BI10165*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10165	=BK10165*BI10165*(2-BI10165)	=1/(1-BL10165)-1	=Q10165		=BL10165*BN10165/(1-BL10165)		
10166	=N10166/L10166	=BI10166*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10166	=BK10166*BI10166*(2-BI10166)	=1/(1-BL10166)-1	=Q10166		=BL10166*BN10166/(1-BL10166)		
10167	=N10167/L10167	=BI10167*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10167	=BK10167*BI10167*(2-BI10167)	=1/(1-BL10167)-1	=Q10167		=BL10167*BN10167/(1-BL10167)		
10168	=N10168/L10168	=BI10168*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10168	=BK10168*BI10168*(2-BI10168)	=1/(1-BL10168)-1	=Q10168		=BL10168*BN10168/(1-BL10168)		
10169	=N10169/L10169	=BI10169*SAES10	=1-\$T\$6-BJ10169	=BK10169*BI10169*(2-BI10169)	=1/(1-BL10169)-1	=Q10169		=BL10169*BN10169/(1-BL10169)		
10170										
10171										
10172						[Wh] =SOMMA(BN5:BN10169)/60		=SOMMA(BO5:BO10169)/60		
10173						[Wh] =(BN10171/10165)*7*24*60		=(BO10171/10165)*7*24*60		
10174						[kWh] =BN10172*52/1000		=BO10172*52/1000		
10175						[%] =BO10173/(BN10173+BO10173)				
10176						[%] =BO10173/BN10173				

Figura 10 – Relazioni per il calcolo del risparmio energetico per la Fase 2

Colonna BJ – Questa colonna riporta i valori calcolati del coefficiente (γ_2) per ciascuna riduzione percentuale di tensione calcolata minuto per minuto e riportata nella colonna BI. L'esponente a cui elevare la riduzione percentuale di tensione viene assunto pari a 0,4 (Cella AE10), dato che gli impianti sono installati dopo l'anno 2000:

$$BJ_x = BI_x^{AE10} \rightarrow \gamma_2 = (u_2)^{0,4}$$

Colonna BK – I valori di questa colonna sono quelli del coefficiente α_2 , calcolati come differenza tra 1 ed i valori dei coefficienti $(\beta_2)_{medio}$ e (γ_2) . Come valore di $(\beta_2)_{medio}$ si assume quello calcolato per la Fase 2 e riportato nella cella T6:

$$BK_x = 1 - T6 - BJ_x \rightarrow \alpha_2 = 1 - (\beta_2)_{medio} - \gamma_2$$

Colonna BL – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico della Fase 2, (ξ_2) per ogni riduzione di tensione (u_2), calcolata minuto per minuto:

$$BL_x = BK_x \cdot BI_x \cdot (2 - BI_x) \rightarrow \xi_2 = 1 \cdot \alpha_2 \cdot u_2 \cdot (2 - u_2)$$

Colonna BM – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica della Fase 2 (η_2), conseguente all'incremento di efficienza energetica (ξ_2), minuto per minuto:

$$BM_x = \left(\frac{1}{1 - BL_x} \right) - 1 \quad \rightarrow \quad \eta_2 = \left(\frac{1}{1 - \xi_2} \right) - 1$$

Colonna BN – Riporta i valori della potenza misurata per la Fase 2 (già elencati nella colonna Q) per semplificare il calcolo della successiva colonna BO.

Colonna BO – Riporta i valori calcolati della potenza risparmiata, minuto per minuto, per la Fase 2, ricavandola in base al valore dell'incremento di efficienza energetica ed alla misura della potenza assorbita dal carico (v. paragrafo 2.3.5):

$$BO_x = BL_x \frac{BN_x}{(1 - BL_x)} \quad \rightarrow \quad \Delta P_2 = \xi_2 P_2 = \xi_2 \left[\frac{(P_u)_{Fase2}}{(1 - \xi_2)} \right]$$

Cella BN1071 – Riporta la somma di tutte le 10165 misure, effettuate ogni minuto, della potenza assorbita dal carico della Fase 2. Il valore ottenuto (W_{10165}) corrisponde all'energia assorbita dal carico in 10165 minuti:

$$BN1071 = SOMMA (BN5 : BN10169) \quad \rightarrow \quad (W_{10165})_{Fase2} = \sum_{k=1}^{10165} (P_2)_k$$

Il valore della Cella BN1071 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia assorbita nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BN10172 – Calcola il valore dell'energia assorbita in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia assorbita in 10165 minuti (Cella BN1071) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min x 24 ore x 7 giorni):

$$BN10172 = \left(\frac{BN1071}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \quad \rightarrow \quad (W_{settimana})_{Fase2} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (P_2)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BN10172 è espresso in [Wh].

Cella BN10173 – Calcola il valore dell'energia assorbita in un anno sulla Fase 2, moltiplicando il valore dell'energia assorbita in una settimana (Cella BN10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BN10173 = (BN10172) (52) \quad \rightarrow \quad (W_{anno})_{Fase2} = (W_{settimana})_{Fase2} \cdot 52$$

Il valore della Cella BN10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente assorbita dalla Fase 2 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BO10171 – Calcola la somma di tutti i 10165 valori di potenza risparmiata sulla Fase 2. Il valore ottenuto (ΔW_{10165}) corrisponde all'energia risparmiata sulla Fase 2 in 10165 minuti:

$$BO10171 = SOMMA (BO5 : BO10169) \quad \rightarrow \quad (\Delta W_{10165})_{Fase2} = \sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_2)_k$$

Il valore della Cella BO10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia risparmiata nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BO10172 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia risparmiata in 10165 minuti (Cella BO10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min × 24 ore × 7 giorni):

$$BO10172 = \left(\frac{BO10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \rightarrow (\Delta W_{settimana})_{Fase2} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_2)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BO10172 è espresso in [Wh].

Cella BO10173 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in un anno, moltiplicando il valore dell'energia risparmiata in una settimana (Cella BO10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BO10173 = (BO10172) (52) \rightarrow (\Delta W_{anno})_{Fase2} = (\Delta W_{settimana})_{Fase2} \cdot 52$$

Il valore della Cella BO10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente risparmiata sulla Fase 2 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BN10174 – Calcola il valore percentuale dell'energia risparmiata in un anno sulla Fase 2, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BO10173) e l'energia annua in ingresso (Cella BN10173 + Cella BO10173):

$$BN10174 = \frac{BO10173}{(BN10173 + BO10173)} \rightarrow (\Delta W_{\%})_{Fase2} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase2}}{[(W_{anno})_{Fase2} + (\Delta W_{anno})_{Fase2}]}$$

Il valore percentuale di risparmio per la Fase 2 risulta pari all'7,83% (v. Figura 8).

Cella BN10175 – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica per la Fase 2, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BO10173) e l'energia assorbita in un anno (Cella BN10173):

$$BN10175 = \frac{BO10173}{BN10173} \rightarrow (\eta)_{Fase2} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase2}}{(W_{anno})_{Fase2}}$$

Il valore percentuale di incremento di efficienza per la Fase 2 risulta pari all'8,49% (v. Figura 8).

5.2.3 – Relazioni di calcolo per la Fase 3

Le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alla Fase 3, sono mostrate in Figura 11. Per comodità di esposizione, i dati relativi alla Fase 3 sono stati evidenziati con colore azzurro.

Di seguito, le relazioni matematiche sono descritte in termini analitici per verificarne la correttezza e validare la modalità di calcolo del risparmio energetico.

Colonna BQ – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono al valore percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita per la Fase 3 (u_3). Il valore è calcolato come rapporto tra la differenza di tensione tra ingresso e uscita della Fase 3 (Cella W_x) e la misura della tensione in ingresso della Fase 3 (Cella U_x):

$$BQ_x = \frac{W_x}{U_x} \rightarrow (u)_{Fase3} = \frac{(V_{in} - V_{out})_{Fase3}}{(V_{in})_{Fase3}}$$

Figura 11 – Relazioni per il calcolo del risparmio energetico per la Fase 3

Colonna BR – Questa colonna riporta i valori calcolati del coefficiente (γ_3) per ciascuna riduzione percentuale di tensione calcolata minuto per minuto e riportata nella colonna BQ. L'esponente a cui elevare la riduzione percentuale di tensione viene assunto pari a 0,4 (Cella AE10), dato che gli impianti sono installati dopo l'anno 2000:

$$BR_x = BQ_x^{AE10} \rightarrow \gamma_3 = (u_3)^{0,4}$$

Colonna BS – I valori di questa colonna sono quelli del coefficiente α_3 , calcolati come differenza tra 1 ed i valori dei coefficienti $(\beta_3)_{medio}$ e (γ_3) . Come valore di $(\beta_3)_{medio}$ si assume quello calcolato per la Fase 3 e riportato nella cella AC6:

$$BS_x = 1 - AC6 - BR_x \rightarrow \alpha_3 = 1 - (\beta_3)_{medio} - \gamma_3$$

Colonna BT – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico della Fase 3, (ξ_3) per ogni riduzione di tensione (u_3), calcolata minuto per minuto:

$$BT_x = BS_x \cdot BQ_x \cdot (2 - BQ_x) \rightarrow \xi_3 = 1 \cdot \alpha_3 \cdot u_3 \cdot (2 - u_3)$$

Colonna BU – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica della Fase 3 (η_3), conseguente all'incremento di efficienza energetica (ξ_3), minuto per minuto:

$$BU_x = \left(\frac{1}{1 - BT_x} \right) - 1 \rightarrow \eta_3 = \left(\frac{1}{1 - \xi_3} \right) - 1$$

Colonna BV – Riporta i valori della potenza misurata per la Fase 3 (già elencati nella colonna Z) per semplificare il calcolo della successiva colonna BW.

Colonna BW – Riporta i valori calcolati della potenza risparmiata, minuto per minuto, per la Fase 3, ricavandola in base al valore dell'incremento di efficienza energetica ed alla misura della potenza assorbita dal carico (v. paragrafo 2.3.5):

$$BW_x = BT_x \frac{BV_x}{(1 - BT_x)} \quad \rightarrow \quad \Delta P_3 = \xi_3 P_3 = \xi_3 \left[\frac{(P_u)_{Fase3}}{(1 - \xi_3)} \right]$$

Cella BV1071 – Riporta la somma di tutte le 10165 misure, effettuate ogni minuto, della potenza assorbita dal carico della Fase 3. Il valore ottenuto (W_{10165}) corrisponde all'energia assorbita dal carico in 10165 minuti:

$$BV10171 = SOMMA (BV5 : BV10169) \quad \rightarrow \quad (W_{10165})_{Fase3} = \sum_{k=1}^{10165} (P_3)_k$$

Il valore della Cella BV10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia assorbita nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BV10172 – Calcola il valore dell'energia assorbita in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia assorbita in 10165 minuti (Cella BV10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min x 24 ore x 7 giorni):

$$BV10172 = \left(\frac{BV10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \quad \rightarrow \quad (W_{settimana})_{Fase3} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (P_3)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BV10172 è espresso in [Wh].

Cella BV10173 – Calcola il valore dell'energia assorbita in un anno sulla Fase 3, moltiplicando il valore dell'energia assorbita in una settimana (Cella BV10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BV10173 = (BV10172) (52) \quad \rightarrow \quad (W_{anno})_{Fase3} = (W_{settimana})_{Fase3} \cdot 52$$

Il valore della Cella BV10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente assorbita dalla Fase 3 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BW10171 – Calcola la somma di tutti i 10165 valori di potenza risparmiata sulla Fase 3. Il valore ottenuto (ΔW_{10165}) corrisponde all'energia risparmiata sulla Fase 3 in 10165 minuti:

$$BW10171 = SOMMA (BW5 : BW10169) \quad \rightarrow \quad (\Delta W_{10165})_{Fase3} = \sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_3)_k$$

Il valore della Cella BW10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia risparmiata nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella BW10172 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia risparmiata in 10165 minuti (Cella BW10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min x 24 ore x 7 giorni):

$$BW10172 = \left(\frac{BW10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \quad \rightarrow \quad (\Delta W_{settimana})_{Fase3} = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (\Delta P_3)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella BW10172 è espresso in [Wh].

Cella BW10173 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in un anno, moltiplicando il valore dell'energia risparmiata in una settimana (Cella BW10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$BW10173 = (BW10172) (52) \rightarrow (\Delta W_{anno})_{Fase3} = (\Delta W_{settimana})_{Fase3} \cdot 52$$

Il valore della Cella BW10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente risparmiata sulla Fase 3 nel periodo di tempo di un anno.

Cella BV10174 – Calcola il valore percentuale dell'energia risparmiata in un anno sulla Fase 3, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BW10173) e l'energia annua in ingresso (Cella BV10173 + Cella BW10173):

$$BV10174 = \frac{BW10173}{(BV10173 + BW10173)} \rightarrow (\Delta W_{\%})_{Fase3} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase3}}{[(W_{anno})_{Fase3} + (\Delta W_{anno})_{Fase3}]}$$

Il valore percentuale di risparmio per la Fase 3 risulta pari all'7,73% (v. Figura 8).

Cella BV10175 – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica per la Fase 3, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella BW10173) e l'energia assorbita in un anno (Cella BV10173):

$$BV10175 = \frac{BW10173}{BV10173} \rightarrow (\eta)_{Fase3} = \frac{(\Delta W_{anno})_{Fase3}}{(W_{anno})_{Fase3}}$$

Il valore percentuale di incremento di efficienza per la Fase 3 risulta pari all'8,37% (v. Figura 8).

5.2.4 – Relazioni di calcolo complessive

Le relazioni matematiche che sono state implementate per il calcolo delle varie grandezze, relativamente alle tre fasi nel loro complesso, sono mostrate in Figura 12. Per comodità di esposizione, questi dati sono stati evidenziati con colore rosa e sono state nascoste le colonne da BA a BX comprese.

Di seguito, le relazioni matematiche sono descritte in termini analitici per verificarne la correttezza e validare la modalità di calcolo del risparmio energetico.

Colonna BY – I valori contenuti nelle celle di questa colonna corrispondono al valore medio percentuale della variazione di tensione tra ingresso e uscita per le tre fasi (u_{medio}). Il valore è calcolato come media dei valori (u_1), (u_2) e (u_3) calcolati in precedenza per Fasi 1, 2 e 3:

$$BY_x = MEDIA(BA_x; BI_x; BQ_x) \rightarrow (u)_{medio} = \frac{(u)_{Fase1} + (u)_{Fase2} + (u)_{Fase3}}{3}$$

Colonna BZ – Questa colonna riporta i valori calcolati del coefficiente medio (γ) per ciascuna riduzione percentuale di tensione media calcolata minuto per minuto e riportata nella colonna BY. L'esponente a cui elevare la riduzione percentuale di tensione viene assunto pari a 0,4 (Cella AE10), dato che gli impianti sono installati dopo l'anno 2000 (v. Figura 12):

$$BZ_x = BY_x^{AE10} \rightarrow \gamma_{medio} = (u_{medio})^{0,4}$$

	u medio	γ	α	Risparmio percent. (%)	Incremento effic. (%)	$P_1 + P_2 + P_3$ (t. min)	Saving (W)
5	=MEDIA(BA5;B15;B05)	=BY5*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ5	=CA5*BY5*(2-BY5)	=1/(1-CB5))-1	=H5+Q5+Z5	=CB5*CD5/(1-CB5)
6	=MEDIA(BA6;B16;B06)	=BY6*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ6	=CA6*BY6*(2-BY6)	=1/(1-CB6))-1	=H6+Q6+Z6	=CB6*CD6/(1-CB6)
7	=MEDIA(BA7;B17;B07)	=BY7*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ7	=CA7*BY7*(2-BY7)	=1/(1-CB7))-1	=H7+Q7+Z7	=CB7*CD7/(1-CB7)
8	=MEDIA(BA8;B18;B08)	=BY8*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ8	=CA8*BY8*(2-BY8)	=1/(1-CB8))-1	=H8+Q8+Z8	=CB8*CD8/(1-CB8)
9	=MEDIA(BA9;B19;B09)	=BY9*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ9	=CA9*BY9*(2-BY9)	=1/(1-CB9))-1	=H9+Q9+Z9	=CB9*CD9/(1-CB9)
10	=MEDIA(BA10;B10;B010)	=BY10*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10	=CA10*BY10*(2-BY10)	=1/(1-CB10))-1	=H10+Q10+Z10	=CB10*CD10/(1-CB10)
11	=MEDIA(BA11;B11;B011)	=BY11*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ11	=CA11*BY11*(2-BY11)	=1/(1-CB11))-1	=H11+Q11+Z11	=CB11*CD11/(1-CB11)
10164	=MEDIA(BA10164;B10164;BQ10164)	=BY10164*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10164	=CA10164*BY10164*(2-BY10164)	=1/(1-CB10164))-1	=H10164+Q10164+Z10164	=CB10164*CD10164/(1-CB10164)
10165	=MEDIA(BA10165;B10165;BQ10165)	=BY10165*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10165	=CA10165*BY10165*(2-BY10165)	=1/(1-CB10165))-1	=H10165+Q10165+Z10165	=CB10165*CD10165/(1-CB10165)
10166	=MEDIA(BA10166;B10166;BQ10166)	=BY10166*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10166	=CA10166*BY10166*(2-BY10166)	=1/(1-CB10166))-1	=H10166+Q10166+Z10166	=CB10166*CD10166/(1-CB10166)
10167	=MEDIA(BA10167;B10167;BQ10167)	=BY10167*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10167	=CA10167*BY10167*(2-BY10167)	=1/(1-CB10167))-1	=H10167+Q10167+Z10167	=CB10167*CD10167/(1-CB10167)
10168	=MEDIA(BA10168;B10168;BQ10168)	=BY10168*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10168	=CA10168*BY10168*(2-BY10168)	=1/(1-CB10168))-1	=H10168+Q10168+Z10168	=CB10168*CD10168/(1-CB10168)
10169	=MEDIA(BA10169;B10169;BQ10169)	=BY10169*\$AE\$10	=1-\$AE\$6-BZ10169	=CA10169*BY10169*(2-BY10169)	=1/(1-CB10169))-1	=H10169+Q10169+Z10169	=CB10169*CD10169/(1-CB10169)
10170							
10171				Totale periodo misura	[Wh]	=SOMMA(CD5:CD10169)/60	=SOMMA(CES:CE10169)/60
10172				Totale 1 settimana	[Wh]	=(CD10171/10165)*7*24*60	=(CE10171/10165)*7*24*60
10173				Totale 1 anno	[kWh]	=CD10172*52/1000	=CE10172*52/1000
10174				Risparmio perc. energia	[%]	=CE10173/(CD10173+CE10173)	
10175				Incremento perc. efficienza	[%]	=CE10173/CD10173	

Figura 12 – Relazioni per il calcolo del risparmio energetico complessivo per le tre fasi

Colonna CA – I valori di questa colonna sono quelli del coefficiente α_{medio} , calcolati come differenza tra 1 ed i valori dei coefficienti $(\beta)_{medio}$ e $(\gamma)_{medio}$. Come valore di $(\beta)_{medio}$ si assume quello calcolato per le tre fasi e riportato nella cella AE6 (v. Figura 12):

$$CA_x = 1 - AE6 - BZ_x \quad \rightarrow \quad \alpha_{medio} = 1 - (\beta)_{medio} - \gamma_{medio}$$

Colonna CB – Calcola il valore percentuale del risparmio energetico sulle tre fasi, (ξ) per ogni riduzione media di tensione (U_{media}), calcolata minuto per minuto:

$$CB_x = CA_x \cdot BY_x \cdot (2 - BY_x) \quad \rightarrow \quad \xi = 1 \cdot \alpha_{medio} \cdot U_{media} \cdot (2 - u_{media})$$

Colonna CC – Calcola il valore percentuale dell'incremento di efficienza energetica sulle tre fasi (η), conseguente all'incremento di efficienza energetica (ξ), minuto per minuto:

$$CC_x = \left(\frac{1}{1 - CB_x} \right) - 1 \quad \rightarrow \quad \eta = \left(\frac{1}{1 - \xi} \right) - 1$$

Colonna CD – Riporta la somma dei valori misurati di potenza per le Fasi 1, 2 e 3:

$$CD_x = H_x + Q_x + Z_x \quad \rightarrow \quad P = (P_1) + (P_2) + (P_3)$$

Colonna CE – Riporta i valori calcolati della potenza risparmiata, minuto per minuto, sulle tre fasi, ricavandola in base al valore dell'incremento di efficienza energetica ed alla somma delle potenze misurate sulle tre fasi (v. paragrafo 2.3.5):

$$CE_x = CB_x \frac{CD_x}{(1 - CB_x)} \quad \rightarrow \quad \Delta P = \xi P = \xi \left[\frac{P_u}{(1 - \xi)} \right]$$

Cella CD1071 – Riporta la somma di tutte le 10165 misure, effettuate ogni minuto, della potenza assorbita dal carico sulle tre fasi. Il valore ottenuto (W_{10165}) corrisponde all'energia assorbita dal carico in 10165 minuti:

$$CD10171 = SOMMA (CD5 : CD10169) \rightarrow (W_{10165}) = \sum_{k=1}^{10165} (P)_k$$

Il valore della Cella CD10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia assorbita nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella CD10172 – Calcola il valore dell'energia assorbita in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia assorbita in 10165 minuti (Cella CD10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min × 24 ore × 7 giorni):

$$CD10172 = \left(\frac{CD10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \rightarrow (W_{settimana}) = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (P)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella CD10172 è espresso in [Wh].

Cella CD10173 – Calcola il valore dell'energia assorbita in un anno sulle tre fasi, moltiplicando il valore dell'energia assorbita in una settimana (Cella CD10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$CD10173 = (CD10172) (52) \rightarrow (W_{anno}) = (W_{settimana}) \cdot 52$$

Il valore della Cella CD10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente assorbita sulle tre fasi nel periodo di tempo di un anno.

Cella CE10171 – Calcola la somma di tutti i 10165 valori di potenza risparmiata sulla Fase 3. Il valore ottenuto (ΔW_{10165}) corrisponde all'energia risparmiata sulla Fase 3 in 10165 minuti:

$$CE10171 = SOMMA (CE5 : CE10169) \rightarrow (\Delta W_{10165}) = \sum_{k=1}^{10165} (\Delta P)_k$$

Il valore della Cella CE10171 è diviso per 60 per esprimere in [Wh] l'energia risparmiata nel periodo di tempo della campagna di misura.

Cella CE10172 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in una settimana, rapportando il valore precedente dell'energia risparmiata in 10165 minuti (Cella CE10171) con un periodo di tempo corrispondente ai minuti di una settimana (60min × 24 ore × 7 giorni):

$$CE10172 = \left(\frac{CE10171}{10165} \right) (60 \cdot 24 \cdot 7) \rightarrow (\Delta W_{settimana}) = \frac{\sum_{k=1}^{10165} (\Delta P)_k}{10165} (60 \cdot 24 \cdot 7)$$

Il valore della Cella CE10172 è espresso in [Wh].

Cella CE10173 – Calcola il valore dell'energia risparmiata in un anno, moltiplicando il valore dell'energia risparmiata in una settimana (Cella CE10172) per un periodo di tempo di 52 settimane:

$$CE10173 = (CE10172) (52) \rightarrow (\Delta W_{anno}) = (\Delta W_{settimana}) \cdot 52$$

Il valore della Cella CE10173 è diviso per 1000 per esprimere in [kWh] l'energia complessivamente risparmiata sulle tre fasi nel periodo di tempo di un anno.



Cella CD10174 – Calcola il valore percentuale dell'energia risparmiata in un anno sulle tre fasi, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella CE10173) e l'energia annua in ingresso (Cella CD10173 + Cella CE10173):

$$CD10174 = \frac{CE10173}{(CD10173 + CE10173)} \rightarrow (\Delta W_{\%}) = \frac{\Delta W_{anno}}{(W_{anno} + \Delta W_{anno})}$$

Il valore percentuale di risparmio globale risulta pari all'7,75% (v. Figura 8).

Cella CD10175 – Calcola il valore percentuale dell'incremento complessivo di efficienza energetica, come rapporto tra l'energia risparmiata in un anno (Cella CE10173) e l'energia assorbita in un anno (Cella CD10173):

$$CD10175 = \frac{CE10173}{CD10173} \rightarrow \eta = \frac{\Delta W_{anno}}{W_{anno}}$$

Il valore percentuale di incremento complessivo di efficienza risulta pari all'8,40% (v. Figura 8).



6 - Considerazioni conclusive

La presente relazione ha preso in esame la validazione delle modalità di elaborazione dei dati elettrici di tensione e corrente, misurati con una cadenza periodica di un minuto, in applicazione della procedura IPMVP per il calcolo del risparmio energetico, secondo lo standard VDE-AR-E 2055-1:2009.

Le misure sono state eseguite da Icopower ad intervalli regolari di un minuto, tra le ore 10:03:00 del giorno 1 ottobre 2019 e le ore 11:27:00 del giorno 8 ottobre 2019, per un totale di 10165 record di misura, sulla linea denominata "Produzione" delle Cartiere XXXXXXXXXXXXX in via XXXXXXXXXXXXX ad XXXXXXXXXXXXXXXX (XX).

Tutte le relazioni di calcolo, implementate nel foglio elettronico, per la valutazione delle diverse grandezze di risparmio energetico, sono state verificate e validate.

In conclusione, si può affermare che il foglio di calcolo elettronico elabora le misurazioni secondo le modalità e le indicazioni contenute nella norma VDE-AR-E 2055-1:2009.

In base alle misurazioni effettuate ed alle successive elaborazioni del foglio di calcolo elettronico, si può concludere che l'installazione del riduttore di tensione ha determinato:

- un risparmio effettivo annuo di energia pari al 7,75 per cento;
- un incremento complessivo di efficienza energetica pari all'8,40 per cento.

Allegato A – Carichi non lineari e distorsione armonica

A.1 - Serie di Fourier

Nel caso di carichi elettrici non lineari, la corrente assorbita può assumere una forma d'onda non sinusoidale con andamento nel tempo comunque periodico.

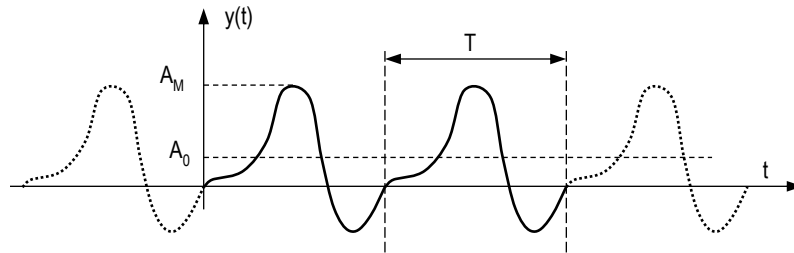


Figura A.1 – Funzione periodica non sinusoidale.

Una grandezza variabile nel tempo con forma d'onda non sinusoidale, ma comunque periodica e continua, si può sviluppare in serie di Fourier, ossia si può scomporre in un numero finito di grandezze sinusoidali con frequenza diversa, secondo la relazione seguente:

$$y(t) = A_0 + A_1 \text{sen } \omega t + A_2 \text{sen } 2\omega t + \dots \\ + B_1 \text{cos } \omega t + B_2 \text{cos } 2\omega t + \dots$$

Ponendo:

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad \text{tg } \varphi_n = \frac{B_n}{A_n}$$

la relazione precedente si può semplificare come segue:

$$y(t) = A_0 + C_1 \text{sen}(\omega t + \varphi_1) + C_2 \text{sen}(2\omega t + \varphi_2) + \dots$$

dove: A_0 è il valore medio nel periodo della funzione $y(t)$:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt$$

Il termine $C_1 \text{sen}(\omega t + \varphi_1)$ è detto **fondamentale**, mentre gli altri termini sono detti **armoniche**. Dalla definizione di valore efficace di grandezza periodica, si ricava subito che il valore efficace Y di una grandezza periodica $y(t)$ risulta:

$$Y = \sqrt{A_0^2 + \left(\frac{C_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{C_2}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots}$$

ovvero pari alla radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci dei singoli termini della serie.

Data una funzione periodica $y(t)$, per calcolare i termini A_m e B_m (da cui C_m e φ_m), si moltiplichi $y(t)$ rispettivamente per $\text{sen}(m\omega t)$ e per $\text{cos}(m\omega t)$ e si calcoli il valore medio nel periodo.

Iniziando dai termini in seno, si ottiene:

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \operatorname{sen} m\omega t \, dt &= \frac{1}{T} \int_0^T \operatorname{sen} m\omega t [A_0 + \dots + A_m \operatorname{sen} m\omega t + A_n \operatorname{sen} n\omega t + \\ &\quad + B_m \operatorname{cos} m\omega t + B_n \operatorname{cos} n\omega t] \, dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T A_m \operatorname{sen}^2 m\omega t \, dt = \frac{1}{2} A_m \end{aligned}$$

essendo il primo integrando ovviamente nullo, come pure tutti i prodotti di funzioni sinusoidali di diversa frequenza ed i prodotti incrociati (seno x coseno).

Di conseguenza, l'ampiezza del termine di ordine m in seno risulta:

$$A_m = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \operatorname{sen}(m\omega t) \, dt$$

e analogamente per tutti i termini in coseno.

La figura A.2 seguente mostra la composizione di più forme d'onda sinusoidali in modo da formare una forma d'onda non sinusoidale o distorta.

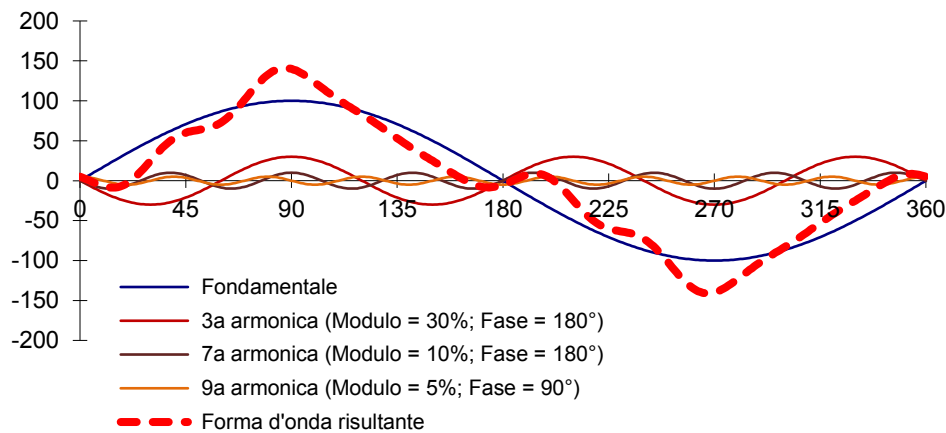


Figura A.2 – Scomposizione di una forma d'onda periodica distorta in più termini sinusoidali.



A.2 - Valutazione della distorsione armonica (THD)

Un criterio di valutazione del contenuto armonico di una forma d'onda non sinusoidale è il fattore di distorsione armonica totale THD (Total Harmonic Distortion) della tensione di alimentazione (THD_V) e/o della corrente assorbita (THD_I).

Il THD (di tensione o di corrente) è il rapporto tra il valore efficace del numero totale delle componenti armoniche (h) ed il valore efficace della corrispondente componente fondamentale:

$$THD_V \% = \frac{V_d}{V_1} = \sqrt{\sum_{n=2}^h \frac{V_n^2}{V_1^2}} \cdot 100$$

$$THD_I \% = \frac{I_d}{I_1} = \sqrt{\sum_{n=2}^h \frac{I_n^2}{I_1^2}} \cdot 100$$



Allegato B – Valori misurati

Con riferimento ai dati di cui alla campagna di misura descritta nel capitolo 3, si riporta un estratto dei 10165 record registrati.

Dalle 10:03:00 del 1 ottobre 2019 alle 11:27:00 del 8 ottobre 2019 sono state misurate e registrate ad intervalli di tempo di un minuto, le seguenti grandezze:

- data;
- ora;
- tensione efficace della fase 1 in ingresso al regolatore;
- tensione efficace della fase 2 in ingresso al regolatore;
- tensione efficace della fase 3 in ingresso al regolatore;
- tensione efficace della fase 1 in uscita dal regolatore;
- tensione efficace della fase 2 in uscita dal regolatore;
- tensione efficace della fase 3 in uscita dal regolatore;
- potenza attiva della fase 1 in uscita dal regolatore;
- potenza attiva della fase 2 in uscita dal regolatore;
- potenza attiva della fase 3 in uscita dal regolatore;
- distorsione armonica di corrente (THD_I) della fase 1 in uscita dal regolatore;
- distorsione armonica di corrente (THD_I) della fase 2 in uscita dal regolatore;
- distorsione armonica di corrente (THD_I) della fase 3 in uscita dal regolatore;

Data	Ora	V1 In (1 min)	V2 In (1 min)	V3 In (1 min)	V1 Out (1 min)	V2 Out (1 min)	V3 Out (1 min)	P1+ Out (1 min)	P2+ Out (1 min)	P3+ Out (1 min)	I1-THD Out (1 min)	I2-THD Out (1 min)	I3-THD Out (1 min)
		[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[W]	[W]	[W]	%	%	%
01/10/2019	10:03:00	233,4	233,8	234,1	217,3	217,4	217,9	158222	165062	169546	7,1	5,9	6,71
01/10/2019	10:04:00	233,8	234,3	234,5	217,9	218	218,5	137022	144125	148885	7,69	7,38	8,26
01/10/2019	10:05:00	233,3	233,8	234	217,2	217,3	217,8	164837	172563	176089	6,1	6,18	7,17
01/10/2019	10:06:00	233,6	234,1	234,4	217,6	217,8	218,3	140971	148364	153570	7,09	6,9	7,39
01/10/2019	10:07:00	233,4	234	234,2	217,4	217,6	218,1	162479	169477	174103	6,1	5,87	5,68
01/10/2019	10:08:00	233,8	234,3	234,6	217,8	218	218,5	139363	147765	149000	6,32	6,08	6,1
01/10/2019	10:09:00	233,3	233,8	234,1	217,3	217,5	218	148272	155182	158837	6,13	5,69	6,31
01/10/2019	10:10:00	233,2	233,7	234	217,2	217,4	217,9	155573	160306	165549	5,52	5,09	6,01
01/10/2019	10:11:00	233,9	234,4	234,6	218	218,2	218,6	138797	143263	149263	6,5	6,08	7,39
01/10/2019	10:12:00	233,4	233,9	234,2	217,4	217,6	218	160775	165633	171327	5,77	5,52	6,3
01/10/2019	10:13:00	233,9	234,4	234,7	217,9	218,2	218,6	133472	138183	144032	6,86	7,07	7,12
01/10/2019	10:14:00	233,5	234	234,3	217,5	217,7	218,1	164447	168571	175535	5,82	6,08	5,7
01/10/2019	10:15:00	233,7	234,2	234,5	217,7	217,9	218,4	142017	146755	152565	6,88	7,01	6,72
01/10/2019	10:16:00	233,2	233,8	234	217,3	217,6	218	149771	153811	160607	7,3	6,54	7,03
01/10/2019	10:17:00	233,9	234,4	234,7	217,8	218	218,5	158473	161640	168501	7,74	6,59	7,39
01/10/2019	10:18:00	233,8	234,4	234,7	217,9	218,2	218,6	141201	144906	152431	7,75	6,68	7,79
01/10/2019	10:19:00	233,6	234,1	234,4	217,6	217,7	218,2	160981	166897	173731	6,24	5,77	6,41
01/10/2019	10:20:00	234,2	234,6	234,9	218,3	218,4	218,9	132318	138182	144486	5,92	6,42	6,61
01/10/2019	10:21:00	233,4	233,8	234,1	217,4	217,5	218	157297	161992	170193	5,02	5,59	5,76
01/10/2019	10:22:00	234	234,3	234,7	218,1	218	218,6	141225	147128	153583	5,83	5,94	6,25
01/10/2019	10:23:00	233,3	233,7	234,1	217,4	217,5	218,1	145901	152082	158020	6,49	6,11	6,06
01/10/2019	10:24:00	233,5	234	234,3	217,6	217,7	218,2	153254	159439	164441	7,45	6,59	6,66
01/10/2019	10:25:00	233,5	233,9	234,4	217,5	217,7	218,3	147857	153364	159135	7,34	6,94	7,39
01/10/2019	10:26:00	232,7	233,3	233,7	216,7	217	217,5	159675	166423	170832	6,65	6,48	7,25
01/10/2019	10:27:00	233,1	233,7	234	217,2	217,4	217,9	142839	149941	153912	7,15	7,11	7,97
01/10/2019	10:28:00	232,5	233,1	233,4	216,6	216,8	217,3	162836	169560	175951	6,33	6,44	6,65



Table with columns for date, time, and numerical data. The table is split into two sections: the first section covers dates from 01/10/2019 to 01/10/2019, and the second section covers dates from 08/10/2019 to 08/10/2019. Each row contains 13 columns of data.



08/10/2019	10:34:00	235,5	236,5	236,5	219,2	219,9	220,2	159833	165002	173321	7,42	7,33	7,63
08/10/2019	10:35:00	235,3	236,3	236,4	219,1	219,9	220,1	168494	172420	182959	7,48	6,61	7,09
08/10/2019	10:36:00	235,9	236,9	236,9	219,4	220,2	220,4	162708	167012	176387	7,65	6,64	7,38
08/10/2019	10:37:00	235,3	236,4	236,4	219,1	219,9	220,1	169856	174388	184894	6,91	6,4	7,18
08/10/2019	10:38:00	235,5	236,5	236,5	219,1	219,8	220,1	176726	179833	192007	6,13	6,24	6,94
08/10/2019	10:39:00	235,8	236,8	236,8	219,5	220,2	220,5	159213	161774	173137	6,45	6,97	7,53
08/10/2019	10:40:00	235	236,1	236,1	218,7	219,5	219,8	177454	182779	192434	6,32	6,46	6,61
08/10/2019	10:41:00	235,6	236,6	236,6	219,2	219,9	220,2	164495	167744	177852	7,59	7,52	7,41
08/10/2019	10:42:00	235,3	236,3	236,3	219,2	219,9	220,2	171490	174255	184727	7,33	7,11	7,23
08/10/2019	10:43:00	235,6	236,6	236,6	219	219,7	220	176265	180499	190864	6,9	6,59	7,34
08/10/2019	10:44:00	235,5	236,5	236,5	219,4	220,1	220,3	160410	165413	175048	7,41	7,07	8,29
08/10/2019	10:45:00	235,3	236,3	236,3	218,7	219,4	219,7	179462	185319	194218	6,66	6,25	7,48
08/10/2019	10:46:00	235,2	236,3	236,3	218,9	219,6	219,9	163633	169653	177091	7,63	7,4	8,29
08/10/2019	10:47:00	234,7	235,7	235,7	218,1	218,9	219,2	184646	189482	198838	6,98	6,92	7,25
08/10/2019	10:48:00	234,8	235,8	235,9	218,5	219,2	219,6	163751	169661	177512	7,81	7,37	8,12
08/10/2019	10:49:00	234,6	235,7	235,8	218,3	219,1	219,5	175232	181219	188659	7,37	6,61	7,56
08/10/2019	10:50:00	234,8	235,8	236	218,4	219,2	219,6	166475	172520	181152	7,02	5,64	7,17
08/10/2019	10:51:00	234,9	235,9	236	218,9	219,6	219,9	167178	172652	180995	7,29	6,15	7,43
08/10/2019	10:52:00	235,5	236,4	236,5	219	219,6	220	170502	176487	183990	7,43	7,11	7,9
08/10/2019	10:53:00	235,4	236,4	236,5	219,4	220	220,5	156257	163300	168750	7,2	7,01	7,84
08/10/2019	10:54:00	235,7	236,6	236,8	219,2	219,8	220,2	172926	180196	187151	6,97	6,44	7
08/10/2019	10:55:00	235,5	236,4	236,5	219,4	220	220,3	164599	170566	179000	7,2	6,28	6,46
08/10/2019	10:56:00	235,8	236,8	236,8	219,6	220,2	220,5	173682	179330	188759	6,84	5,98	6,31
08/10/2019	10:57:00	236,7	237,6	237,7	220,4	221	221,4	155482	162343	169677	7,03	6,47	7,37
08/10/2019	10:58:00	236,1	237	237	219,7	220,3	220,6	165598	170493	179917	5,84	5,64	6,65
08/10/2019	10:59:00	236,1	236,9	237	219,5	220,1	220,5	162526	167134	175500	5,76	5,62	6,6
08/10/2019	11:00:00	235,5	236,5	236,5	219,5	220,2	220,5	153898	156829	164468	5,52	5,61	6,06
08/10/2019	11:01:00	236,2	237,2	237,1	219,9	220,5	220,7	168863	173563	181126	4,56	4,54	4,46
08/10/2019	11:02:00	236,6	237,5	237,4	220,3	221	221,2	154029	158321	165575	5,07	5,17	5,04
08/10/2019	11:03:00	236,3	237,3	237,2	220,1	220,8	221	156615	160040	168755	4,83	4,59	5,25
08/10/2019	11:04:00	236,2	237,2	237,2	219,6	220,4	220,6	165415	168715	177527	5,41	4,82	5,74
08/10/2019	11:05:00	236,3	237,2	237,2	220,2	220,8	221	154010	158429	166965	6,64	5,87	7,08
08/10/2019	11:06:00	235,9	237	236,9	219,3	220	220,2	175678	179280	188473	6,75	6,29	7,21
08/10/2019	11:07:00	235,9	236,8	236,8	219,4	220	220,4	162616	167004	174449	7,77	7,98	8,47
08/10/2019	11:08:00	234,8	235,8	235,8	218,4	219,2	219,4	169575	173586	181870	6,93	7,28	7,45
08/10/2019	11:09:00	234,9	235,9	235,9	218,5	219,3	219,4	173956	177332	187172	7,78	7,84	7,94
08/10/2019	11:10:00	235,1	236,2	236,1	219	219,7	219,9	160480	163976	174005	8,41	7,73	8,23
08/10/2019	11:11:00	235,3	236,3	236,2	218,8	219,5	219,7	179137	182001	194204	7,59	6,65	7,28
08/10/2019	11:12:00	235,4	236,4	236,3	219,1	219,8	220	170252	173199	183838	7,69	7,02	7,97
08/10/2019	11:13:00	235,3	236,4	236,3	218,9	219,7	219,9	177649	181216	191256	6,96	7,04	7,87
08/10/2019	11:14:00	235,7	236,7	236,7	219,7	220,3	220,6	163008	166591	175772	7,24	7,64	8,48
08/10/2019	11:15:00	235,7	236,6	236,6	219,1	219,8	220,1	178947	181093	192131	7,24	7,66	7,93
08/10/2019	11:16:00	235,8	236,8	236,7	219,4	220,2	220,4	164685	167588	177210	8,49	8,62	8,58
08/10/2019	11:17:00	235,4	236,5	236,4	218,9	219,7	220	178570	180660	191624	7,76	7,77	7,67
08/10/2019	11:18:00	235,6	236,6	236,6	219,2	219,9	220,2	171220	173129	185442	7,54	7,43	7,81
08/10/2019	11:19:00	234,9	236	236	218,6	219,4	219,7	184733	187421	199589	6,53	6,36	7,28
08/10/2019	11:20:00	235,8	236,8	236,8	219,5	220,2	220,5	170171	172990	183210	7,41	7,28	8,59
08/10/2019	11:21:00	235,7	236,7	236,7	219,3	220	220,3	178605	180644	191925	7,06	7	8,07
08/10/2019	11:22:00	235,8	236,8	236,8	219,3	220,1	220,3	177465	180451	191228	7,33	7,4	7,98
08/10/2019	11:23:00	235,3	236,4	236,4	219	219,8	220	172495	175876	186041	7,59	7,77	8,03
08/10/2019	11:24:00	235,6	236,7	236,7	219,1	219,9	220,2	176681	180251	191171	7,54	7,32	7,87
08/10/2019	11:25:00	235,8	236,8	236,8	219,5	220,2	220,5	168267	172243	182447	8,27	7,43	8,44
08/10/2019	11:26:00	235,7	236,8	236,7	219,4	220,1	220,3	180334	184236	194859	7,88	6,64	8,04
08/10/2019	11:27:00	236,1	237,1	237,1	219,9	220,6	220,9	158068	162534	169957	8,53	7,47	8,97