

# energia

power quality  
maximum saving





# Misurazione della potenza assorbita e dell'efficienza in condizioni non sinusoidali

Francesco Grasso, Antonio Luchetta, Stefano Manetti

*Università di Firenze*

*Dipartimento di Ingegneria informatica*

DINFO – Via Santa Marta, 3 I-50139 Firenze (FI)

[francesco.grasso@unifi.it](mailto:francesco.grasso@unifi.it)

Franco Cenghialta, Ernesto D'Antuono, Stefano De Giorgis

*Energia Europa S.p.A.*

*R&D Department*

Via Trieste, 222/B I-36010 Zanè (VI)

[f.cenghialta@energia-europa.com](mailto:f.cenghialta@energia-europa.com)

**In Elettrotecnica esistono le grandezze primarie**

**tensione istantanea**  $v(t)$

**corrente istantanea**  $i(t)$

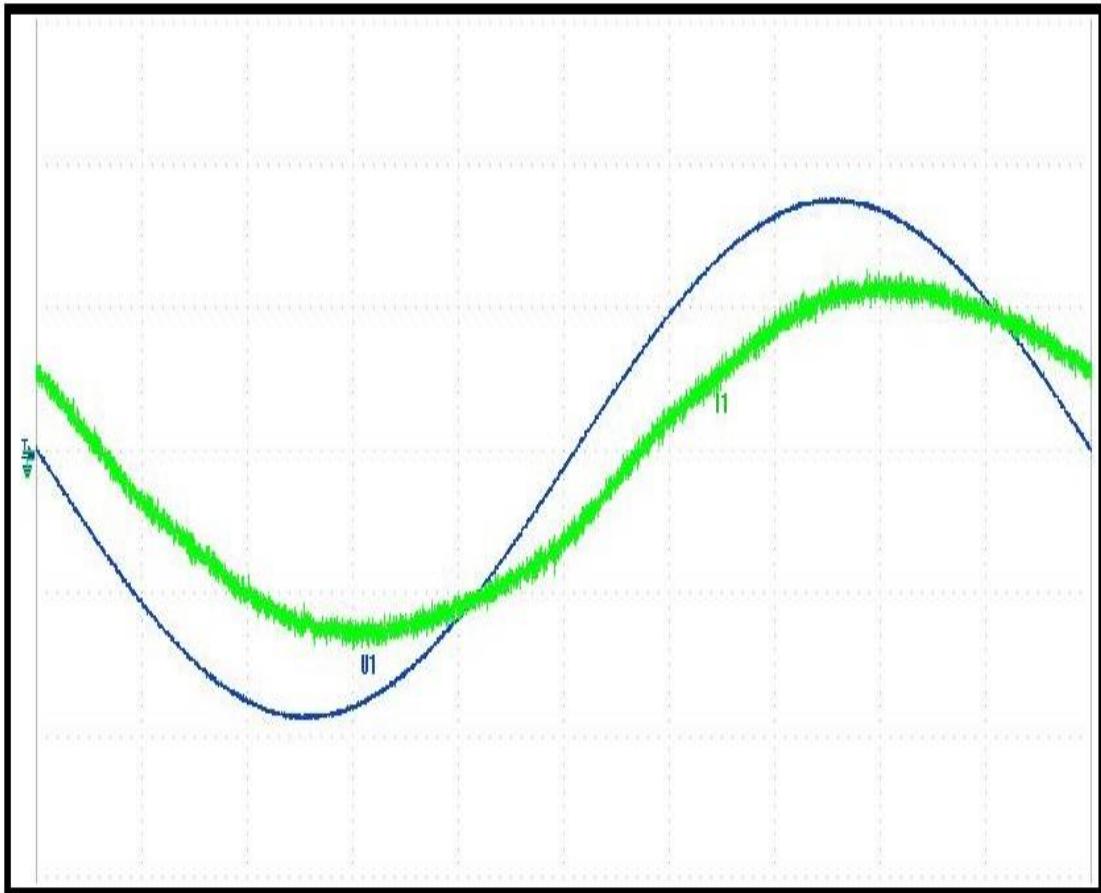
**il prodotto di queste due grandezze  $v(t) \times i(t)$**

**è la potenza istantanea  $p(t)$**

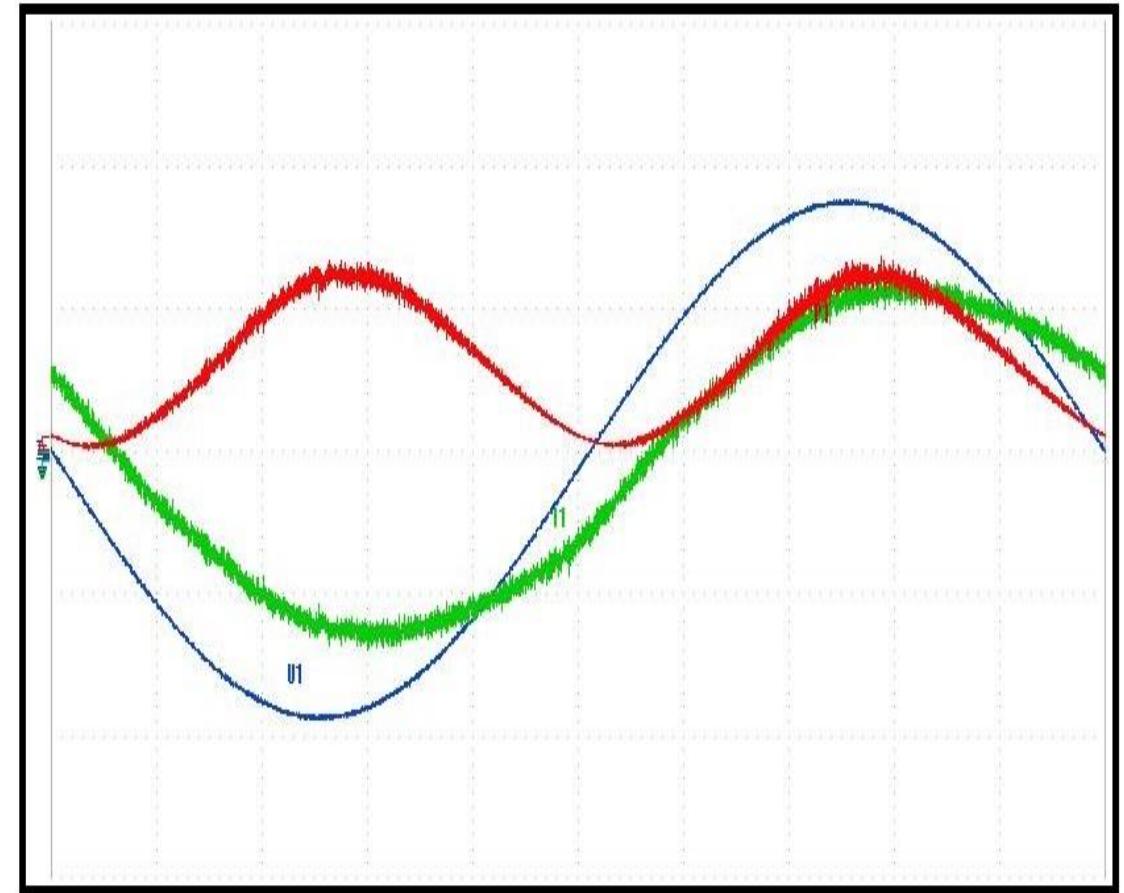
**L'EVOLUZIONE TECNOLOGICA HA CAMBIATO  
LA FORMA D'ONDA DI QUESTE GRANDEZZE ?**

## Come è cambiata la tecnologia che ci circonda in ambito elettrico?

- Periodo 1980-1990  $v(t)$   $i(t)$   $p(t)$



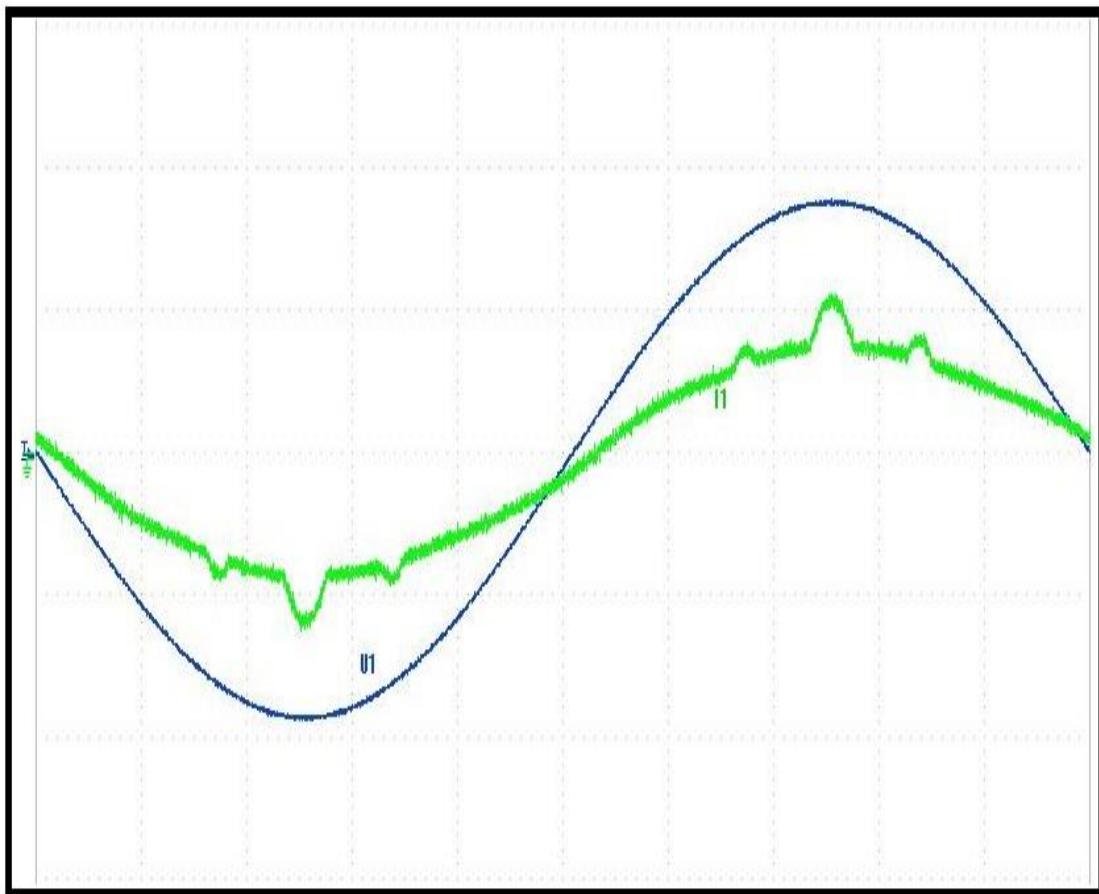
$v(t)$   $i(t)$



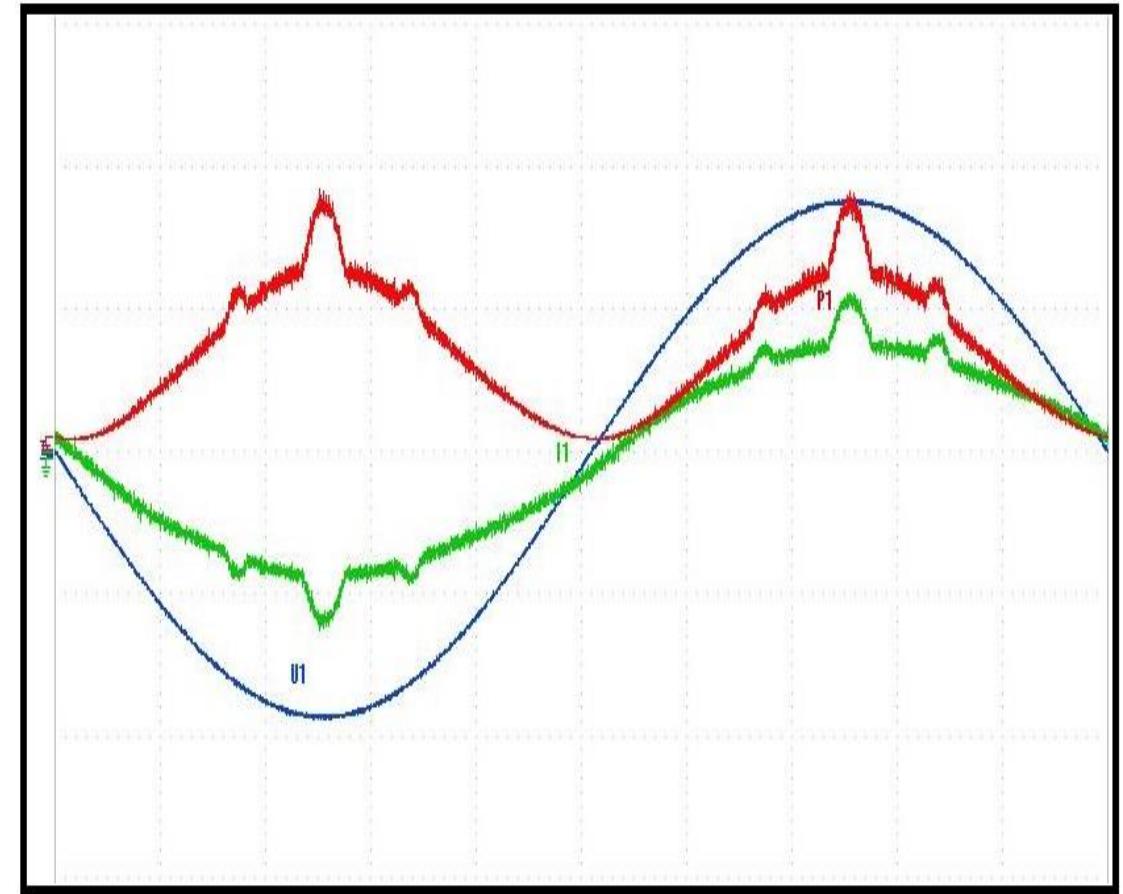
$v(t)$   $i(t)$   $p(t)$

## Come è cambiata la tecnologia che ci circonda in ambito elettrico?

- Periodo 1990-2000  $v(t)$   $i(t)$   $p(t)$



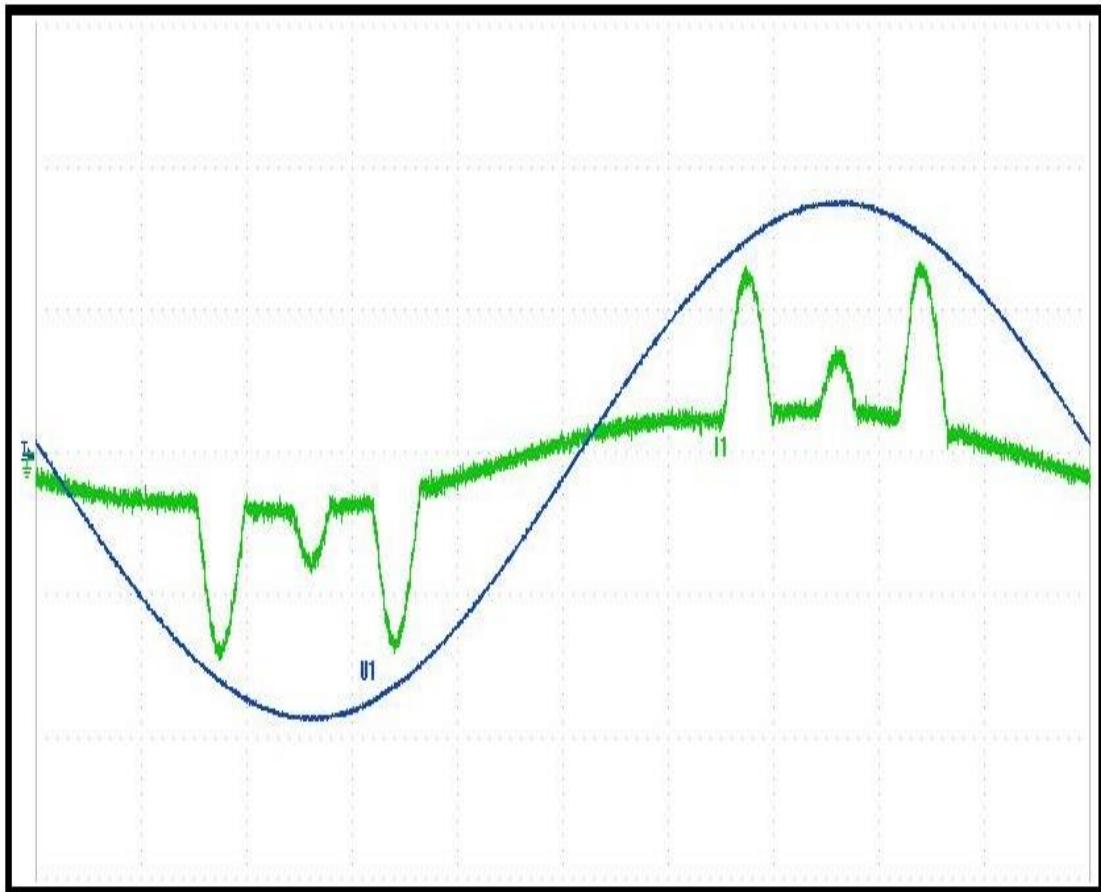
$v(t)$   $i(t)$



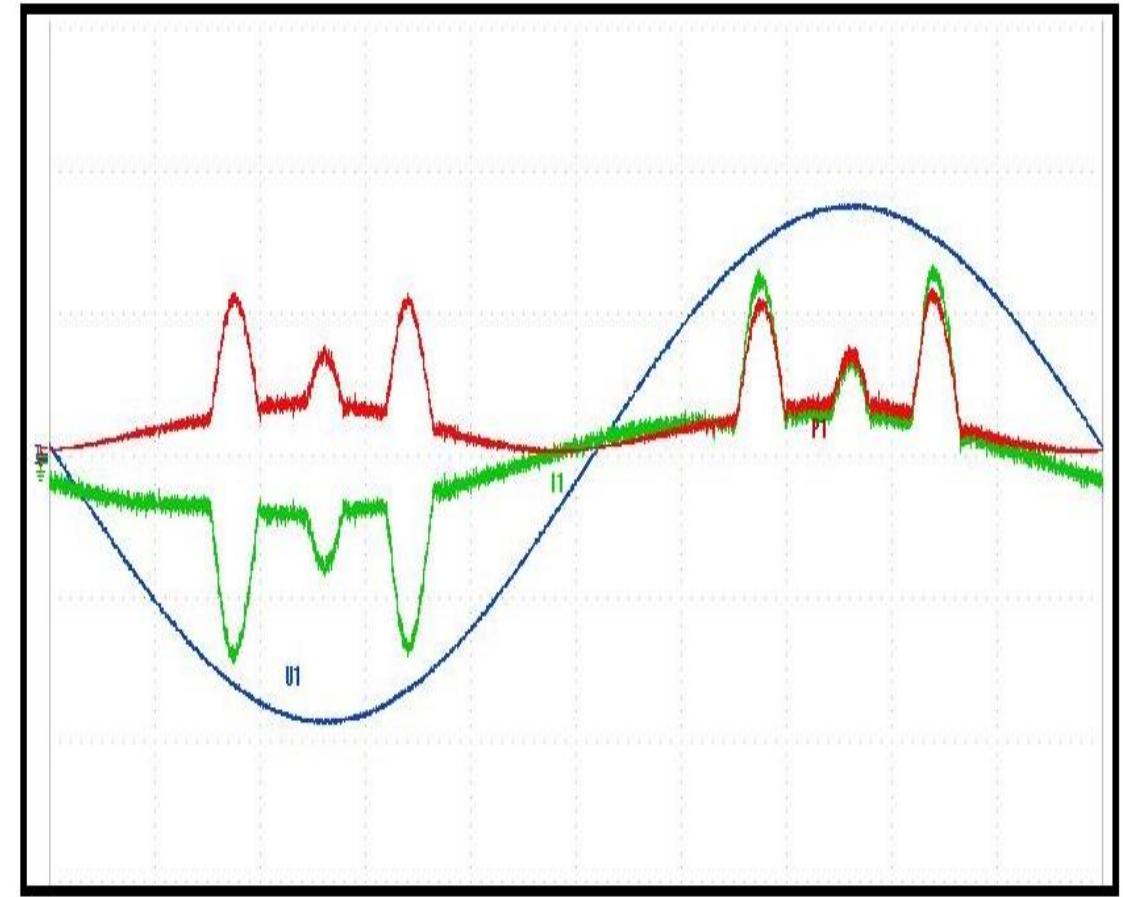
$v(t)$   $i(t)$   $p(t)$

## Come è cambiata la tecnologia che ci circonda in ambito elettrico?

- Periodo 2000-2010  $v(t)$   $i(t)$   $p(t)$



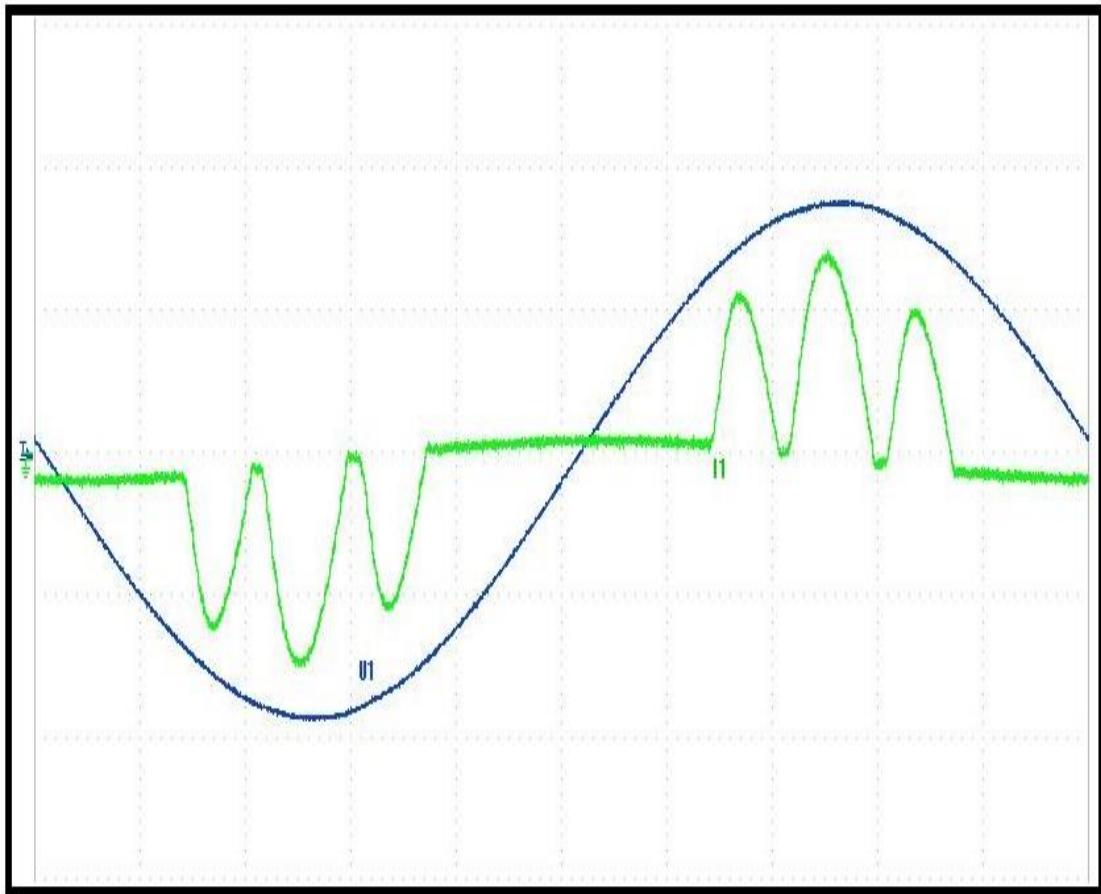
$v(t)$   $i(t)$



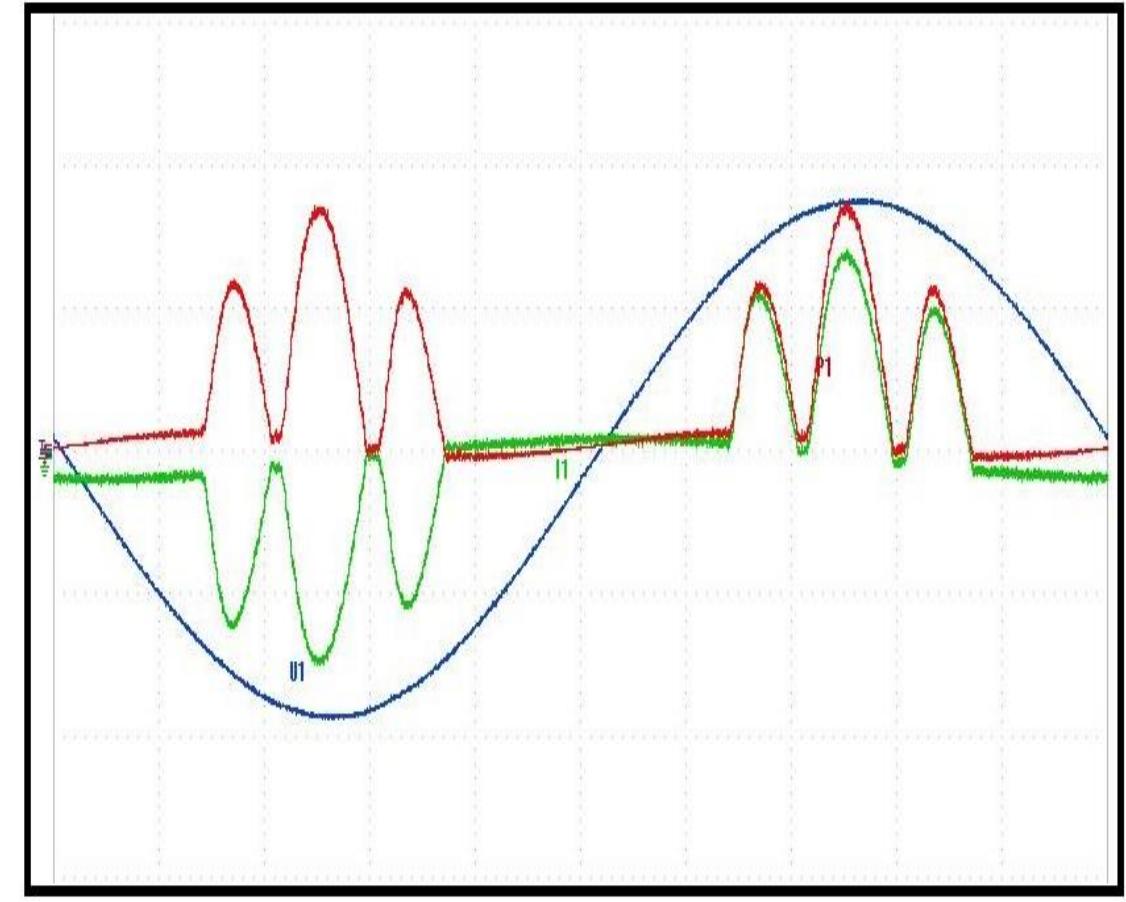
$v(t)$   $i(t)$   $p(t)$

## Come è cambiata la tecnologia che ci circonda in ambito elettrico?

- Periodo 2010-2020  $v(t)$   $i(t)$   $p(t)$

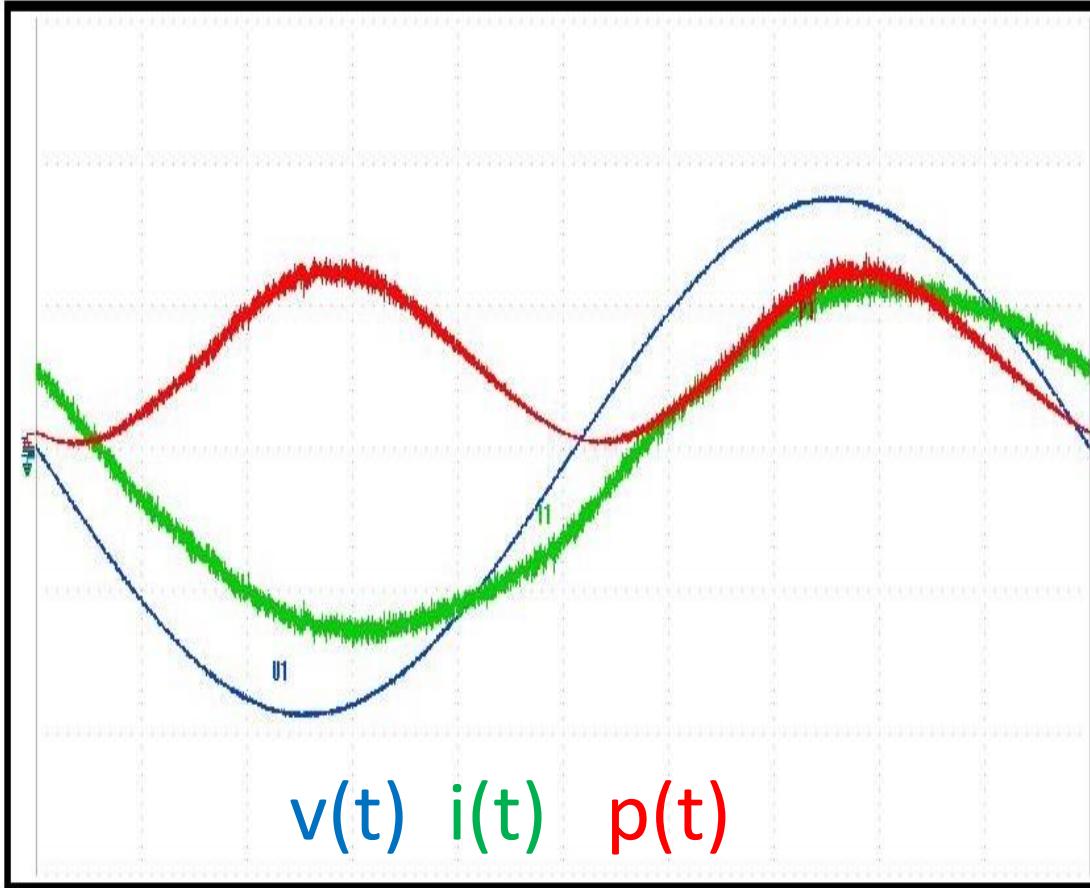


$v(t)$   $i(t)$



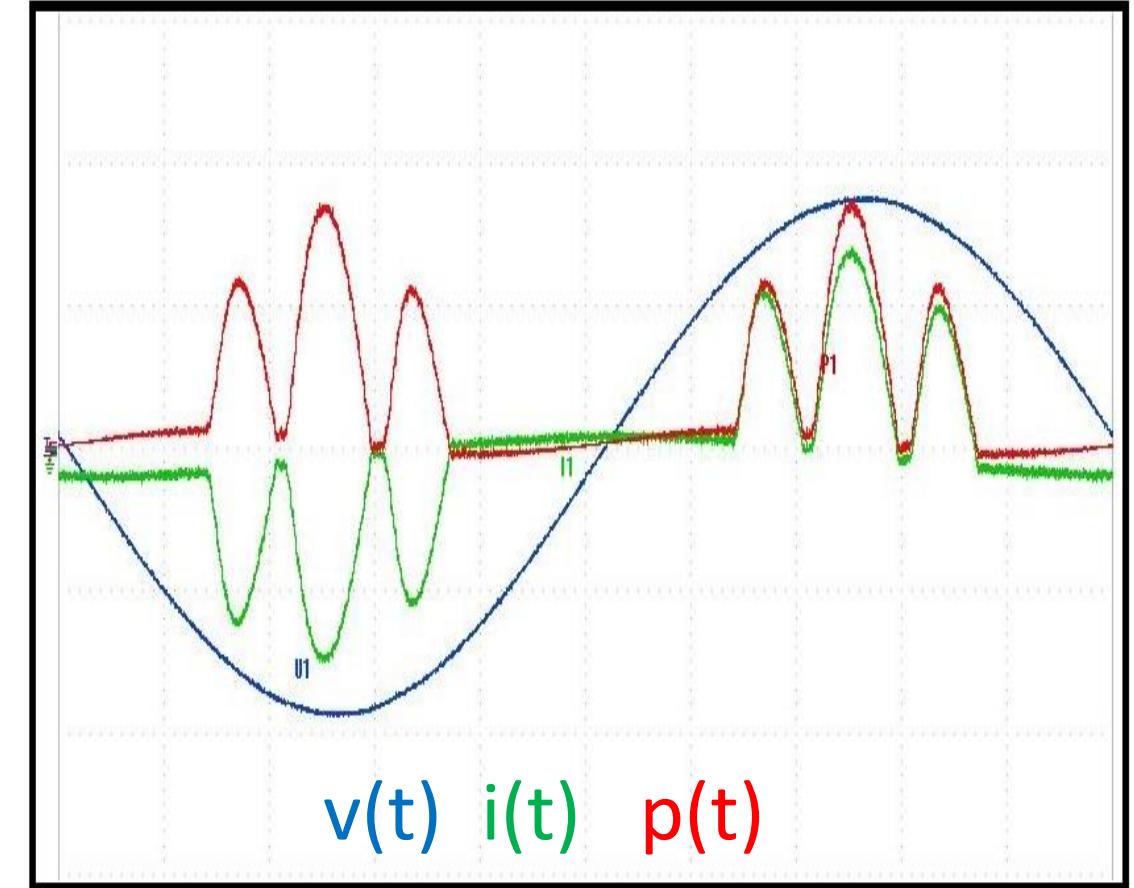
$v(t)$   $i(t)$   $p(t)$

- Periodo 1980-1990



Regimi Sinusoidali

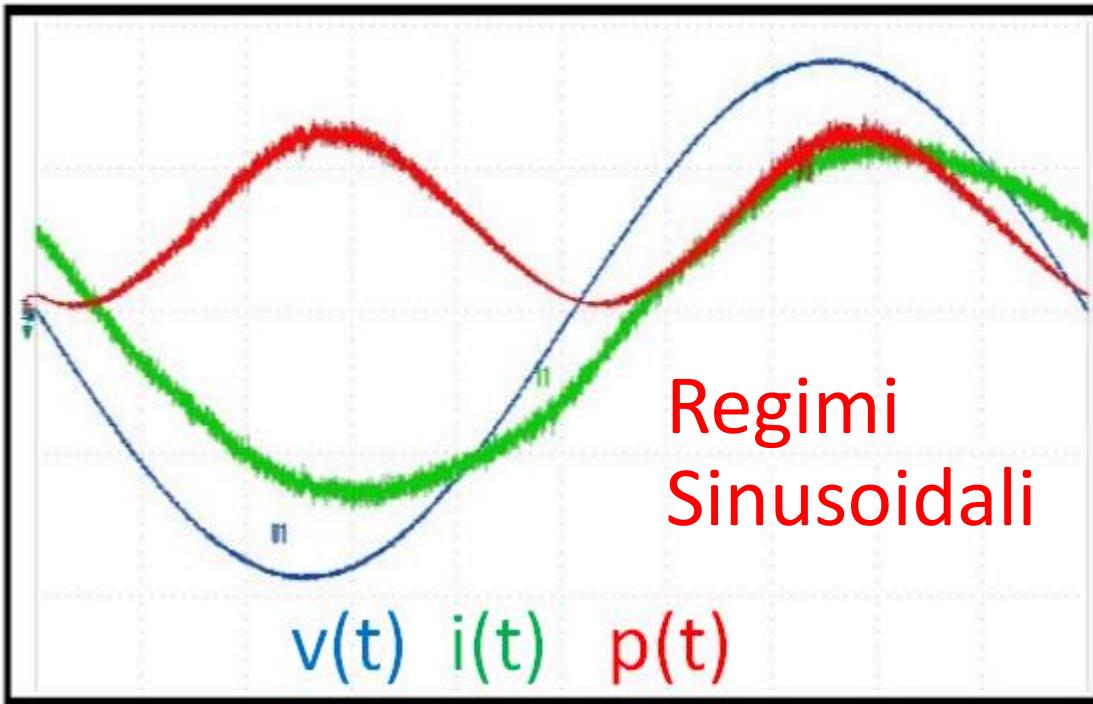
- Periodo 2010-2020



Regimi Distorti

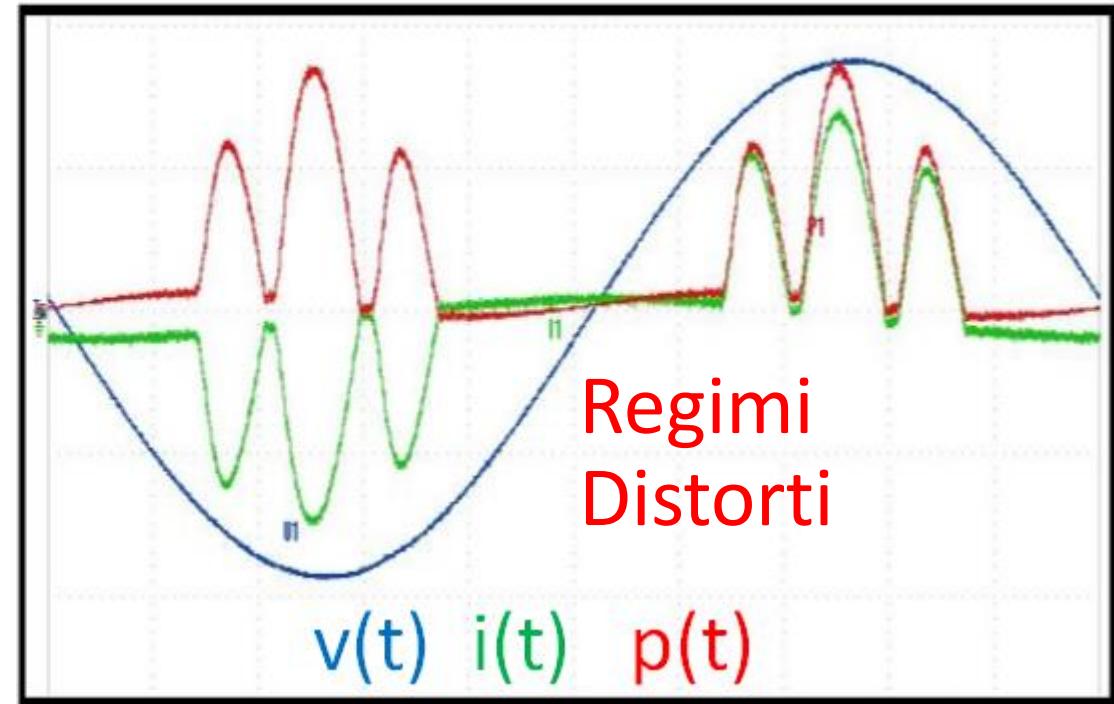
## Cosa è cambiato in elettrotecnica?

- Periodo 1980-1990



$$P = V \times I \times \cos\phi$$

- Periodo 2010-2020

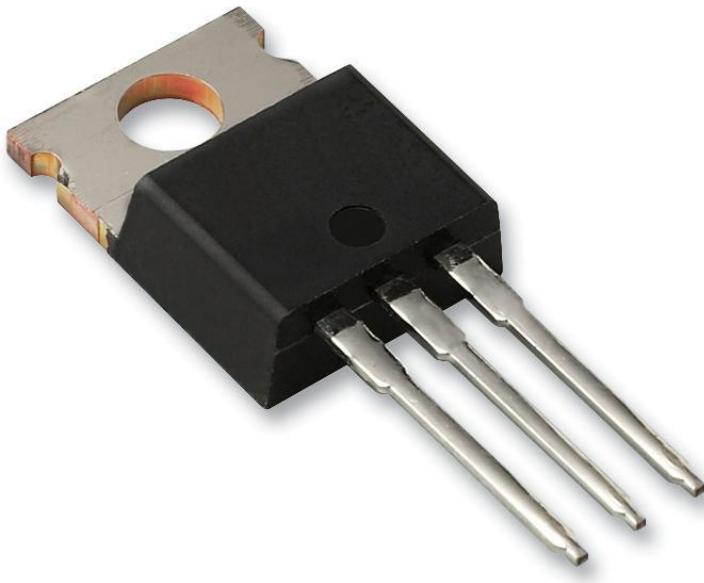
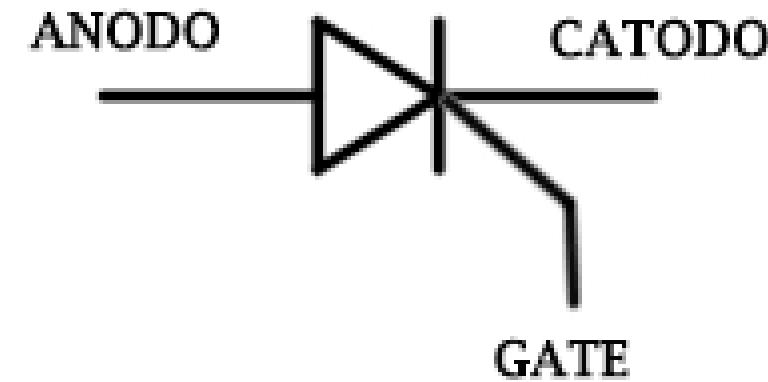
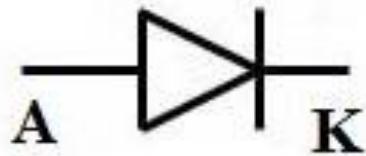


$$P = V \times I \times \text{PF}$$

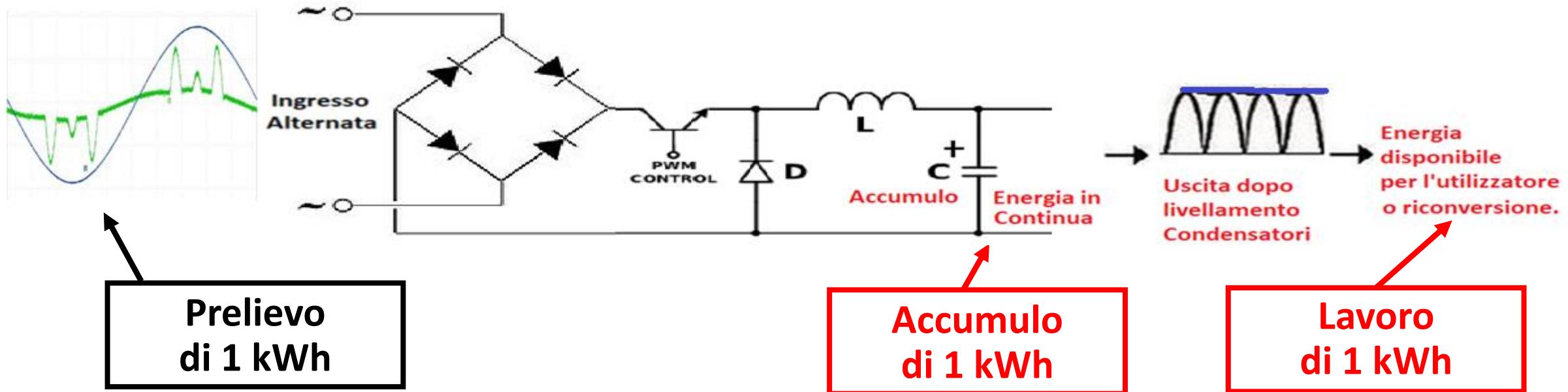
La formula della Potenza Attiva  $P$  è cambiata  
perché la forma d'onda della corrente è cambiata.

La corrente cambiata ha acceso la sensibilità nella Power Quality.

# Chi ha contribuito nel modificare la forma d'onda della corrente?



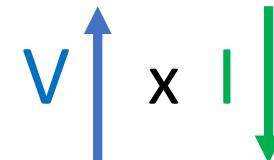
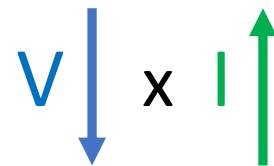
# Utilizzo del Ponte Raddrizzatore



Il prelievo di Energia avviene attraverso un prelievo di Potenza  $P = V \times I \times PF$

$$\text{Energia } 1 \text{ kWh} = P \times t = V \times I \times PF \times t$$

CARATTERISTICA DEL PRELIEVO



Logica della Potenza Stabilizzata:

al variare della tensione, il prelievo di Energia in ingresso rimane costante.

**La componentistica elettronica  
ha permesso  
di realizzare apparecchiature ad alta efficienza,  
prelevando dalla rete la corretta energia  
per il lavoro che deve essere eseguito.**

**Di contro restituiscono sulle linee di distribuzione  
distorsione sulla forma d'onda di corrente  
complicando  
il processo di trasferimento energetico (es. dal Trafo di Media)  
al carico (utilizzatore).**

# **ANALISI DI LABORATORIO**

## **Parte 1**

### **Relatori**

**Dott. Ernesto Ing. D'Antuono**      R&D Energia Europa S.p.A.

**Dott. Marco Ing. Somma**      Università di Firenze (Ricercatore)

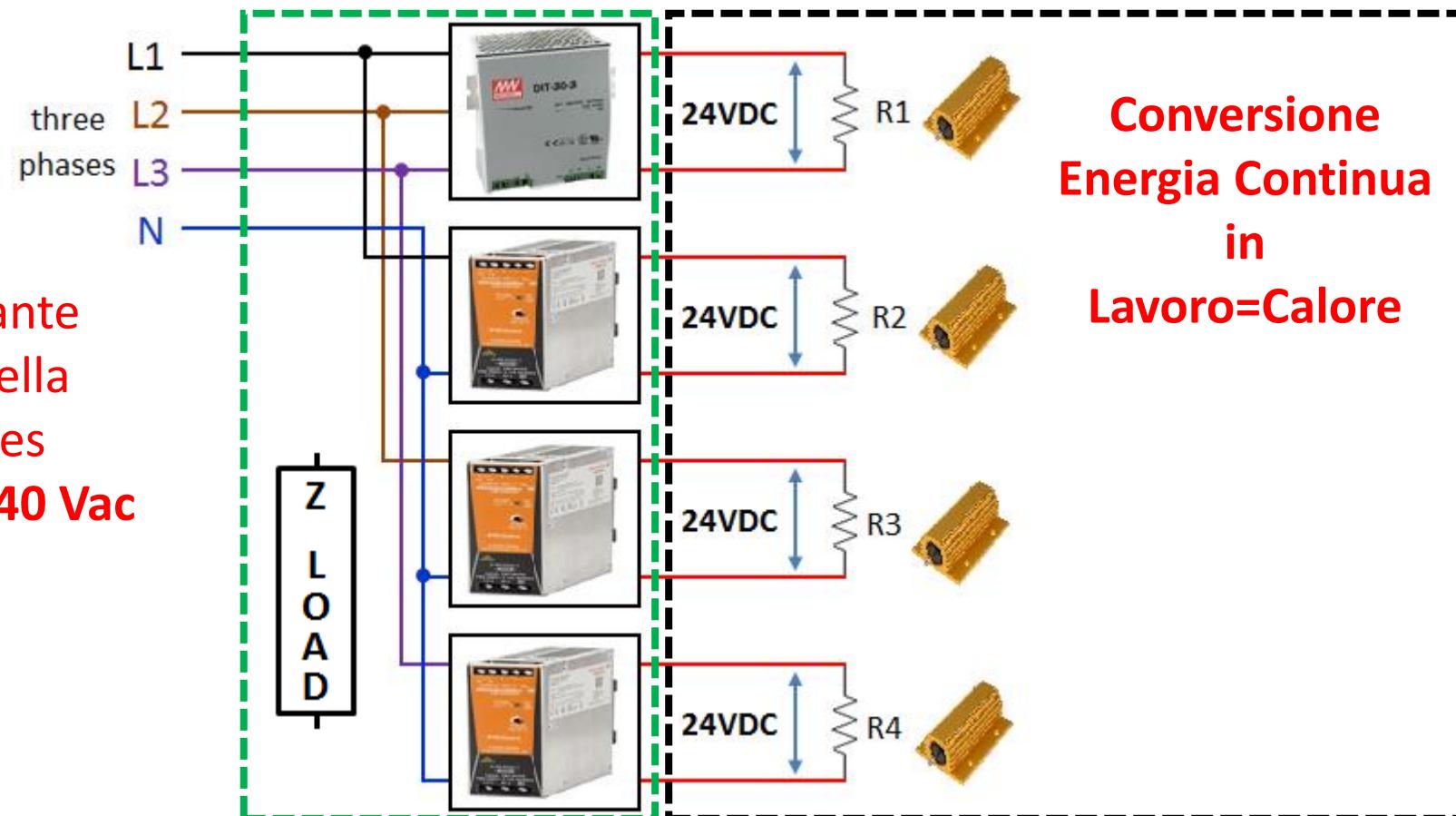
**Prof. Francesco Grasso**      Università di Firenze (Coordinatore)

# LOAD DI LABORATORIO

Per le analisi di laboratorio è stata realizzata la sotto riportata configurazione di carico elettrico a potenza stabilizzata.



Lavoro Costante  
al variare della  
three phases  
da 360 Vac a 440 Vac



LOAD NOTO, CERTO, EQUILIBRATO E CERTIFICATO

# STRUMENTAZIONE DI LABORATORIO



**Generatore**



PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE  
MODEL 61511/61512/61611/61612

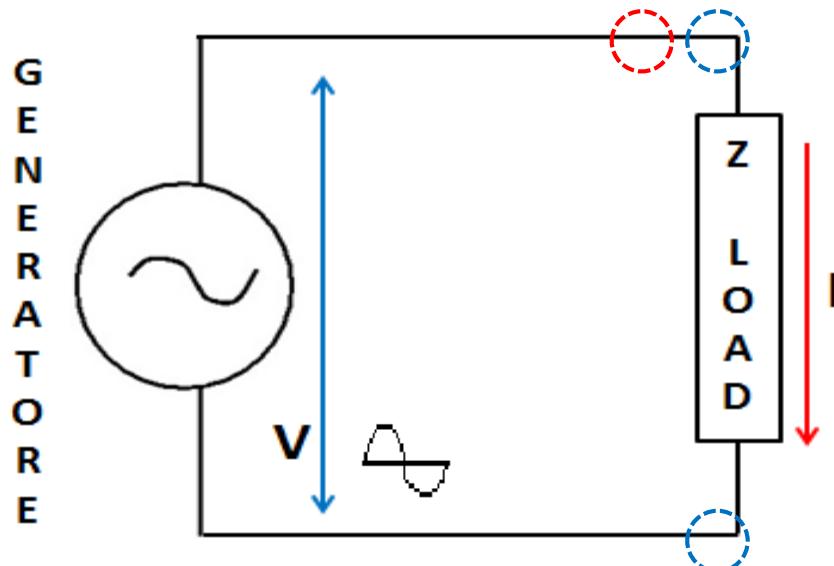


Il Power Source permette di generare:  
- una tensione stabilizzata  
con o senza distorsione THDv.

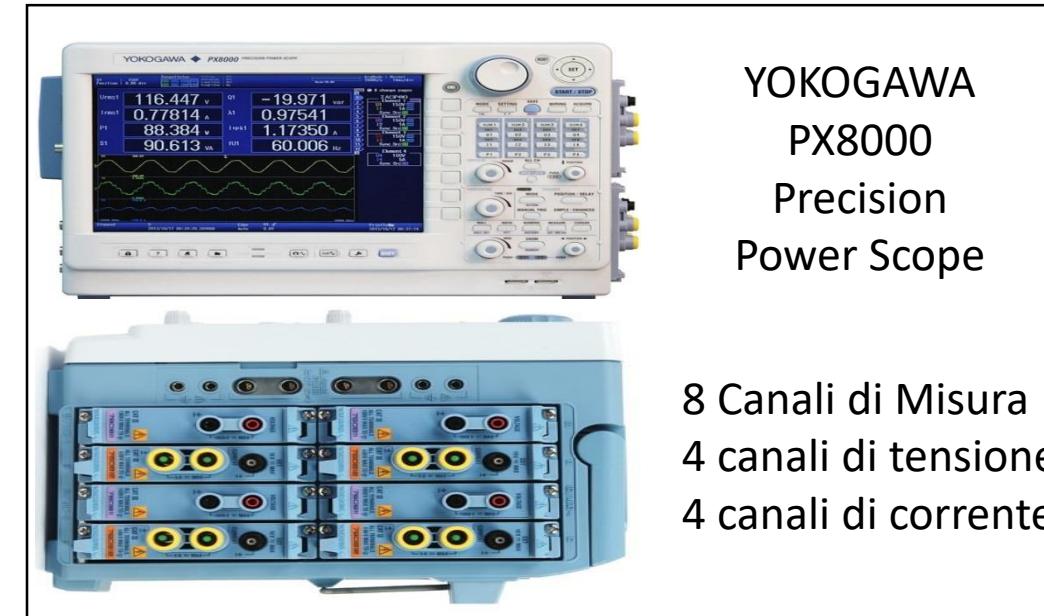
Model	61512
<b>AC OUTPUT RATING</b>	
Single Phase Power	18KW
3-Phase Power	18KW
Power per Phase	6KW
<b>VOLTAGE</b>	
Range	150V/300V/Auto
Output Voltage	0~150V/0~300V
Accuracy	0.2%+0.2% F.S.
Resolution	0.1 V
<b>FREQUENCY</b>	
Range	DC, 15-1.5KHz
Accuracy	0.15%

**SORGENTE DI TENSIONE NOTA, ACCURATA E CERTA**

# IDENTIFICAZIONE PUNTI DI MISURA E STRUMENTI DI MISURA



- **PUNTO DI MISURA TENSIONE** Vac
- **PUNTO DI MISURA CORRENTE** Iac



# PRECISIONE DELLA MISURA WT1800 – PX8000

## Precisione YOKOGAWA WT1800

- Frequency  $45 \leq f \leq 66$  Hz -- Misura Voltage:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,05\% \text{ fondo scala})$   
Frequency  $45 \leq f \leq 66$  Hz -- Misura Current:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,05\% \text{ fondo scala})$   
Frequency  $45 \leq f \leq 66$  Hz -- Misura Power:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,05\% \text{ fondo scala})$

## Precisione YOKOGAWA PX8000

- Frequency  $45 \leq f \leq 1000$  Hz -- Misura Voltage:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,1\% \text{ fondo scala})$   
Frequency  $45 \leq f \leq 1000$  Hz -- Misura Current:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,1\% \text{ fondo scala})$   
Frequency  $45 \leq f \leq 1000$  Hz -- Misura Power:  $\pm (0,1\% \text{ della misura} + 0,1\% \text{ fondo scala})$

Che grandezze si vogliono misurare?

- |                  |        |        |
|------------------|--------|--------|
| Vrms di tensione | WT1800 | PX8000 |
| Irms di corrente | WT1800 | PX8000 |
| Pattiva          | WT1800 | PX8000 |

Che consumi si vogliono misurare?

- |         |        |        |
|---------|--------|--------|
| Energie | WT1800 | PX8000 |
|---------|--------|--------|

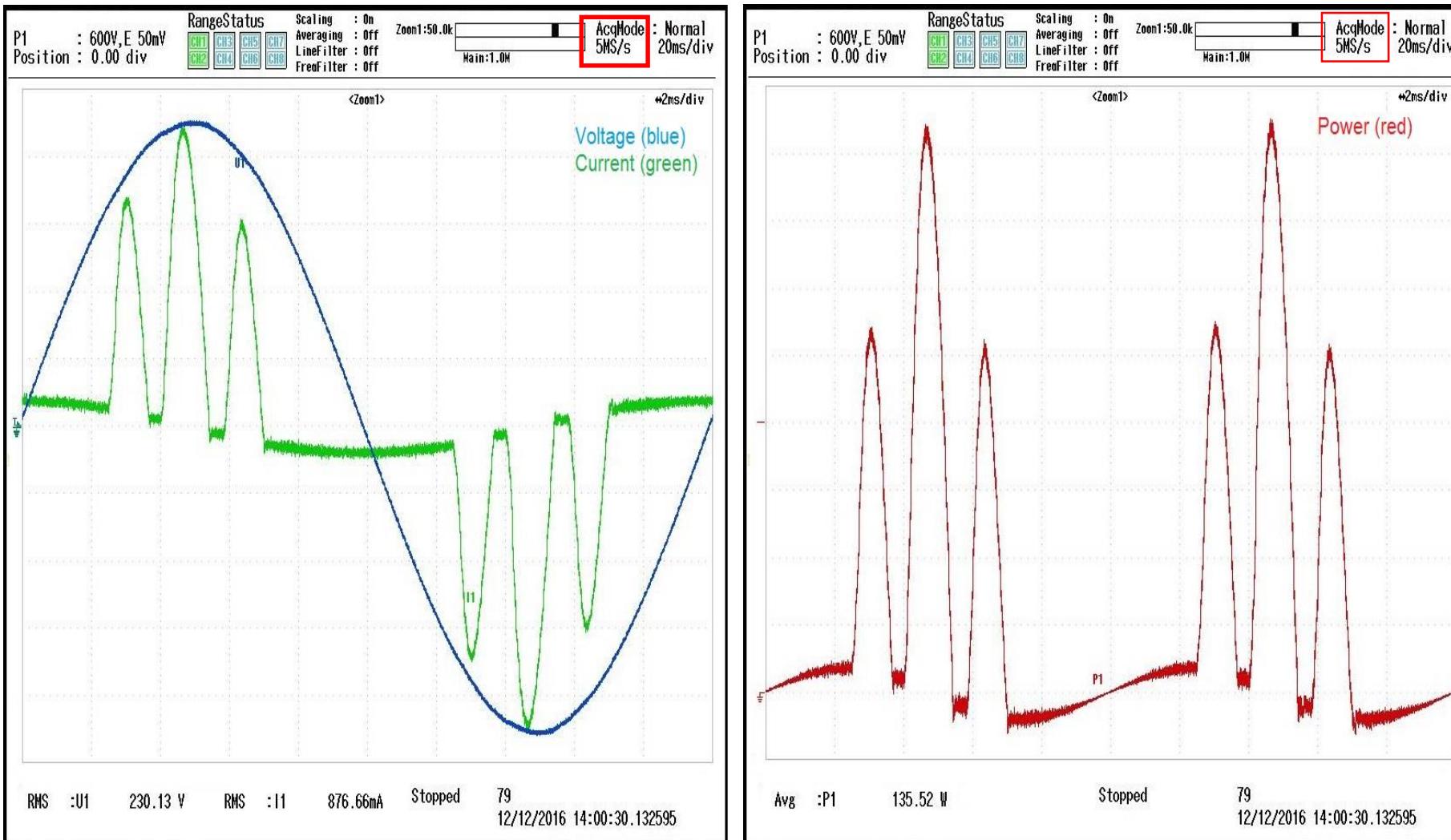
Che grandezze si vogliono visualizzare?

- |                          |        |        |
|--------------------------|--------|--------|
| V(t) tensione istantanea | WT1800 | PX8000 |
| I(t) corrente istantanea | WT1800 | PX8000 |
| P(t) potenza istantanea  |        | PX8000 |

**MISURA AFFIDABILE E DI ALTA QUALITA'**

# Misura con PX8000

PRESENTAZIONE MISURE ESEGUITE SUL LOAD PRECEDENTEMENTE DEFINITO ALIMENTATO CON TENSIONE SENZA DISTORSIONE

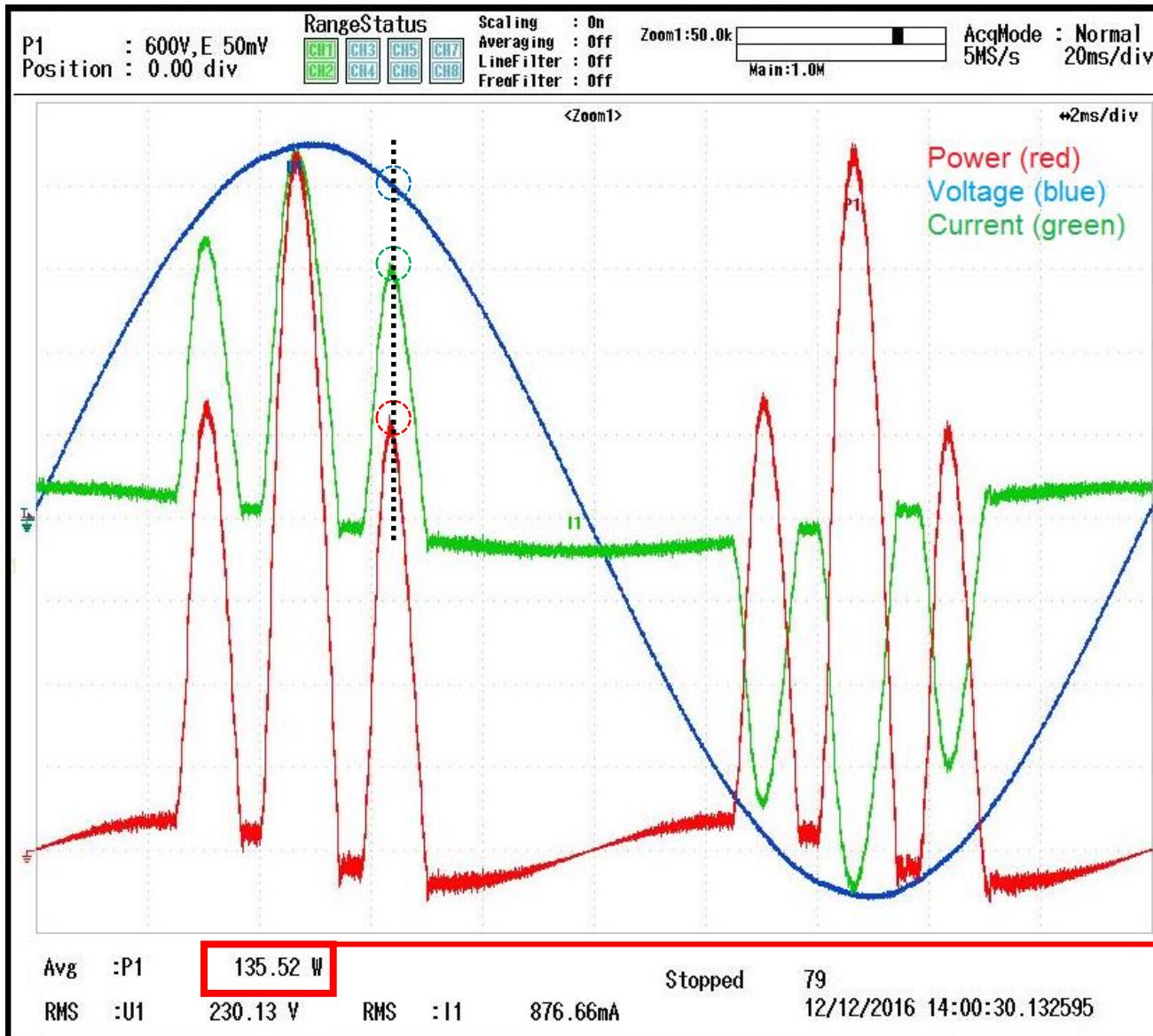


1 secondo ci sono 50 Periodi; in 1 secondo ci sono 5.000.000 campioni di misura;  
in un periodo ci sono 100.000 campioni di misura.

# POTENZA ISTANTANEA (PX8000)

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

*p(t) si misura in W*



135,52 W

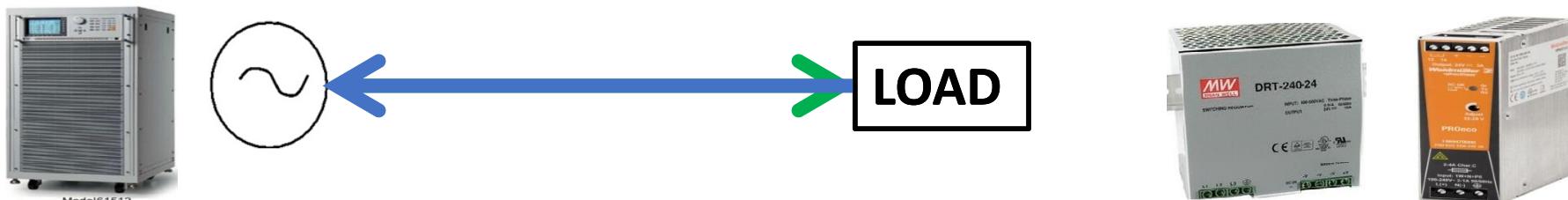
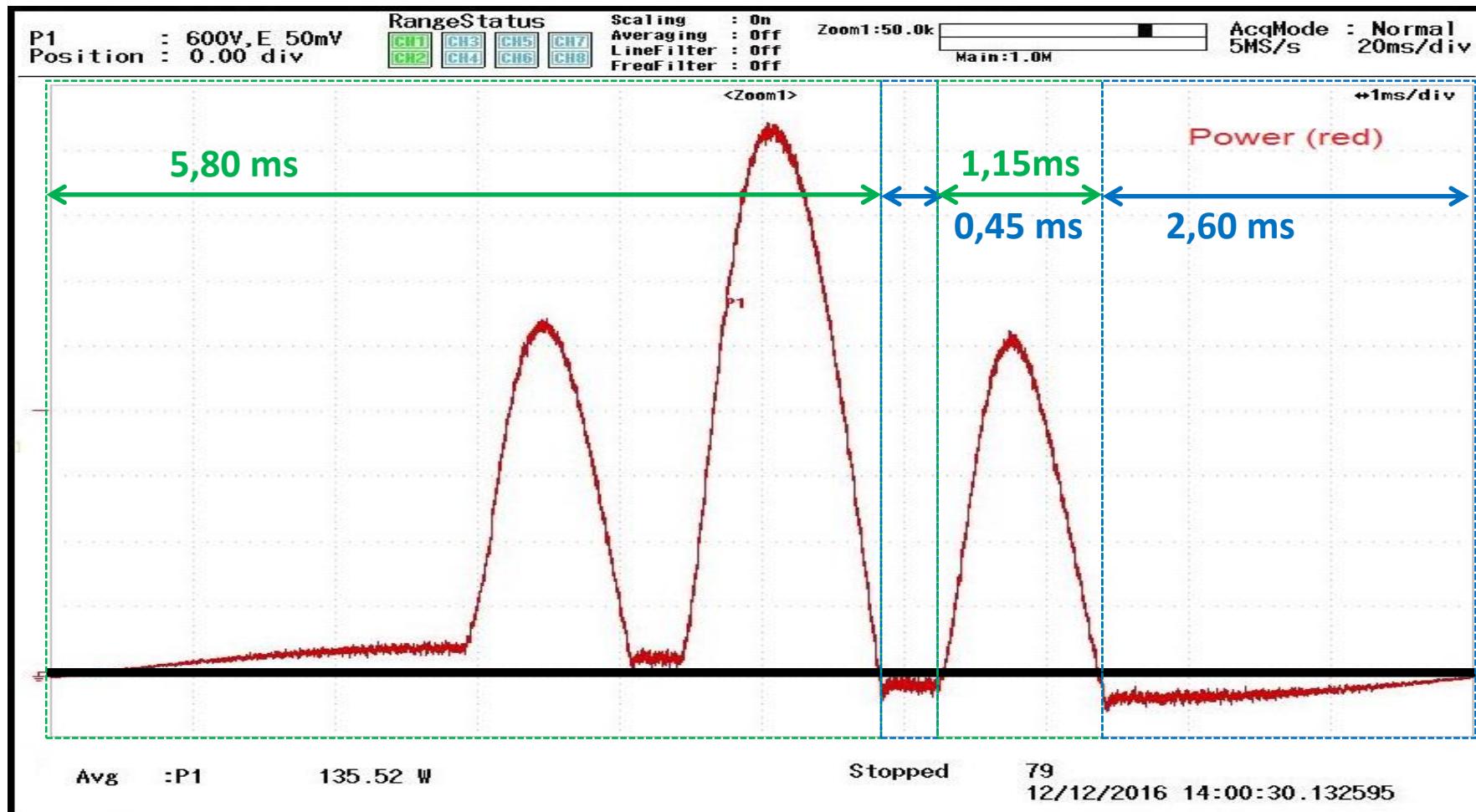
Come si calcola ?

~~Pattiva =  $V \times I \times \cos\phi$~~

Pattiva =  $V \times I \times PF$

# ANALISI DELLA POTENZA ISTANTANEA (PX8000)

La curva rappresenta l'andamento di assorbimento del load precedentemente definito



# STRUMENTO DI MISURA WT1800

Integration time [h:m:s]	Time	Time from integration start to integration stop
Watt hours [Wh]	WP WP+ WP-	<p>When the watt-hour integration method for each polarity is Charge/Discharge</p> $\left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{u(n) \cdot i(n)\} \right] \cdot \text{Time}$ <p>N is the integration time sampling count. The unit of Time is hours. WP is the sum of positive and negative watt hours. WP+ is the sum of the above equations for all iterations where <math>u(n) \cdot i(n)</math> is positive. WP- is the sum of the above equations for all iterations where <math>u(n) \cdot i(n)</math> is negative.</p>

Time [ ]	-----
WP [Wh]	-----
WP+ [Wh]	-----
WP- [Wh]	-----
WS [VAh]	-----
WQ [varh]	-----

La funzione sopra descritta permette di misurare nel tempo gli effetti della potenza istantanea in termini energetici.

# STRUMENTO DI MISURA WT1800

Misura eseguita sul load precedentemente definito (Time 5 min)

Voltage	Element5
Current	300V 1A
Urms [V]	230.06
Irms [A]	0.8738
P [W]	136.24
S [VA]	201.03
Q [var]	-147.83
λ [ ]	0.6777

Time [ ]	0:05:00
WP [Wh]	11.3516
WP+ [Wh]	11.9360
WP- [Wh]	-584.436m
WS [VAh]	16.7516
WQ [varh]	12.3190

Update 7040 ( 50msec)

2016/12/12 15:01:24

## Analisi con utilizzo dei Valori Efficaci

$$S = V_{eff} * I_{eff} = 230,06 * 0,8738 = 201,03 \text{ VA}$$

$$P = V_{eff} * I_{eff} * \text{PF}(\lambda) = 201,03 * 0,6777 = 136,24 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{201,03^2 - 136,24^2} = 147,83 \text{ Var}$$

Il segno “ - ” indica carico di tipo capacitivo

## Analisi con utilizzo delle Energie

$$S = \frac{WS}{Time} * 3600 = \frac{16,7516}{300} * 3600 = 201,02 \text{ VA}$$

$$P = \frac{WP}{Time} * 3600 = \frac{11,3516}{300} * 3600 = 136,22 \text{ W}$$

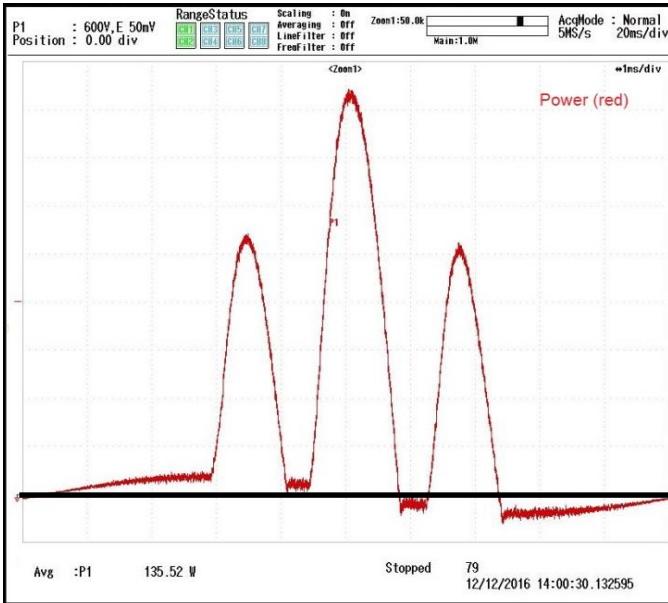
$$Q = \frac{WQ}{Time} * 3600 = \frac{12,3190}{300} * 3600 = 147,83 \text{ Var}$$

WP+ ??????

WP- ??????

# POTENZA ATTIVA TRASMESSA MISURA WT1800 -PX8000

## Misura con PX8000



Si effettua il  
Modulo  
della potenza  
istantanea  $P(t)$

$P(t)$  positiva  
resta positiva

$P(t)$  negativa  
diventa positiva

## Misura con PX8000



Potenza Attiva Trasmessa 151,56 W

## Misura con WT1800

Element5	
Time [ ]	0:05:00
WP [Wh]	11.3516
WP+ [Wh]	11.9360
WP- [Wh]	-584.436m
Update	7040 ( 50msec)
2016/12/12 15:01:24	

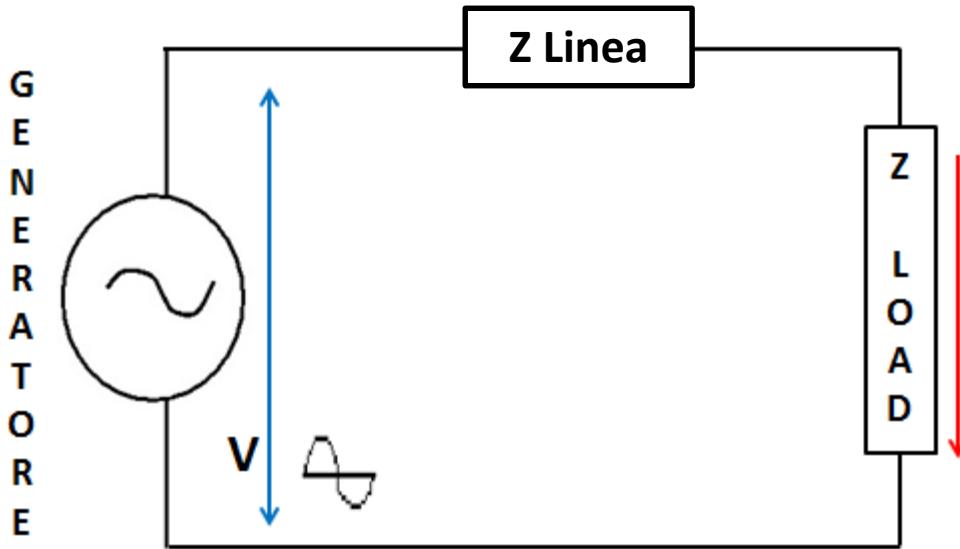
Calcolo della Potenza Attiva Trasmessa con utilizzo dei  
dati energetici rilevati con WT1800

$$|WP+| + |WP-| = |11.9360| + |-0.584436| = 12.5204 \text{ Wh}$$

$$\frac{12.5204}{300} * 3600 = 150.25 \text{ W}$$

# Analisi Effetto Linea

I regimi distorti che effetti producono su una linea elettrica?

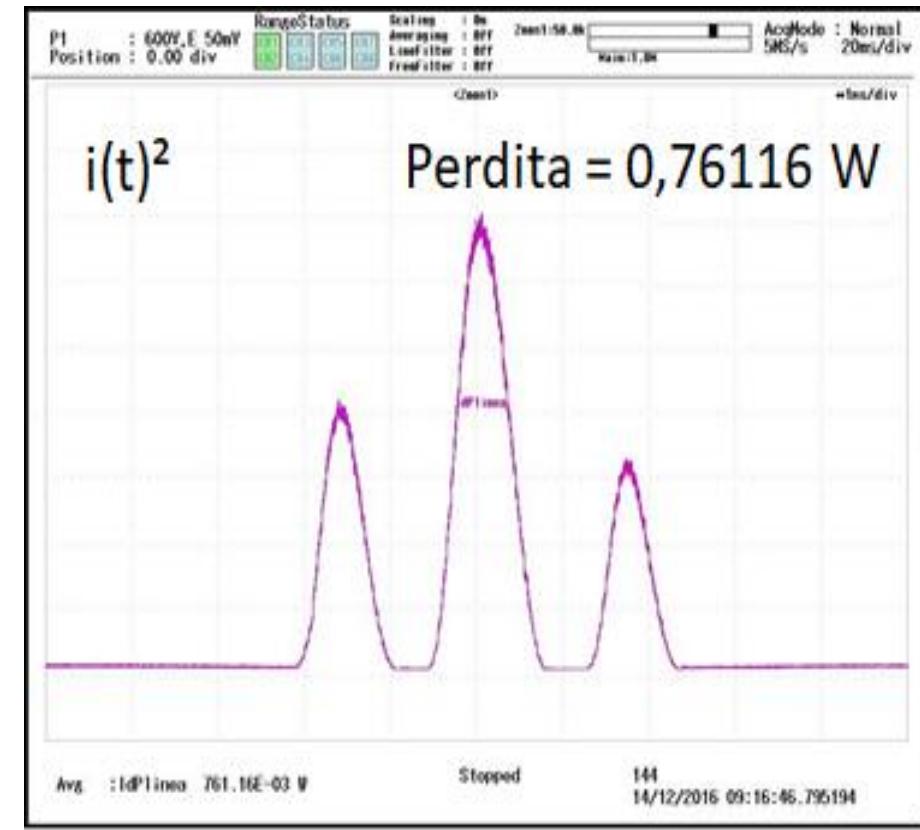
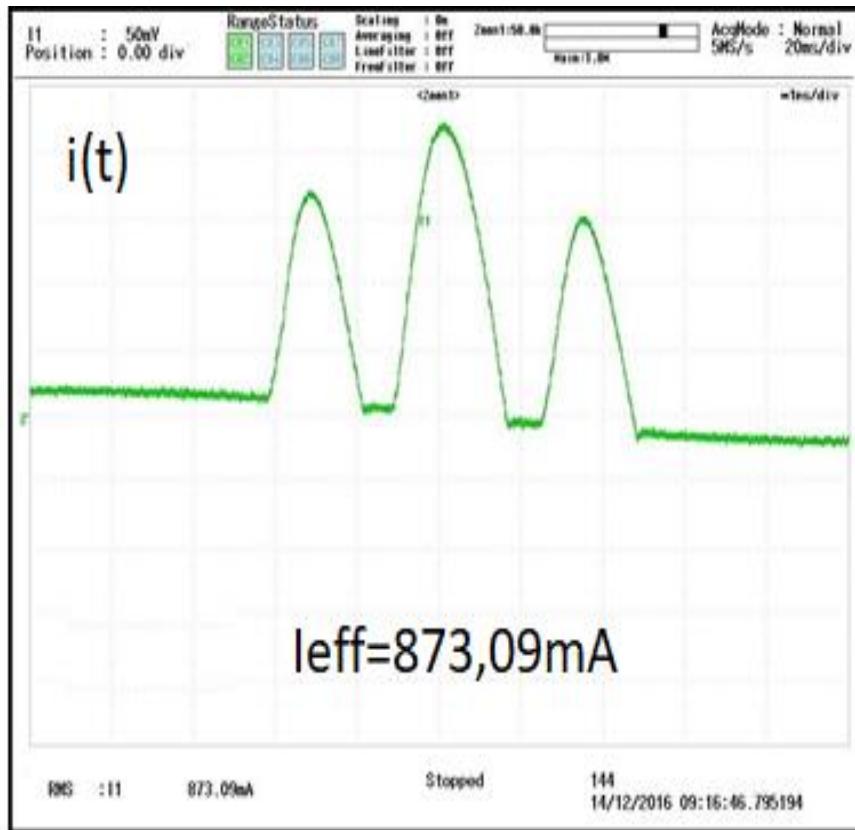


Per semplificare l'analisi sugli effetti della linea  
si ipotizza empiricamente che la linea stessa sia puramente resistiva  
con  $R=1\Omega$

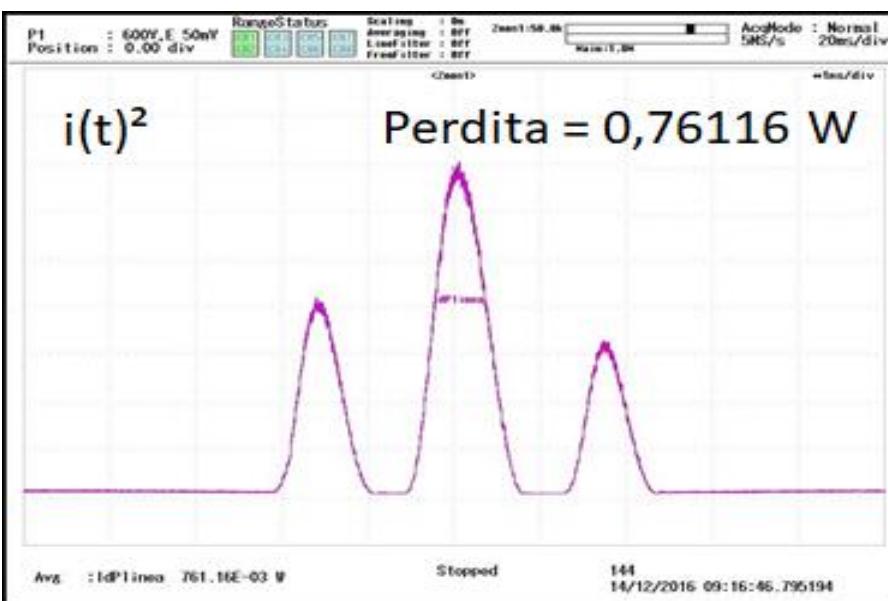
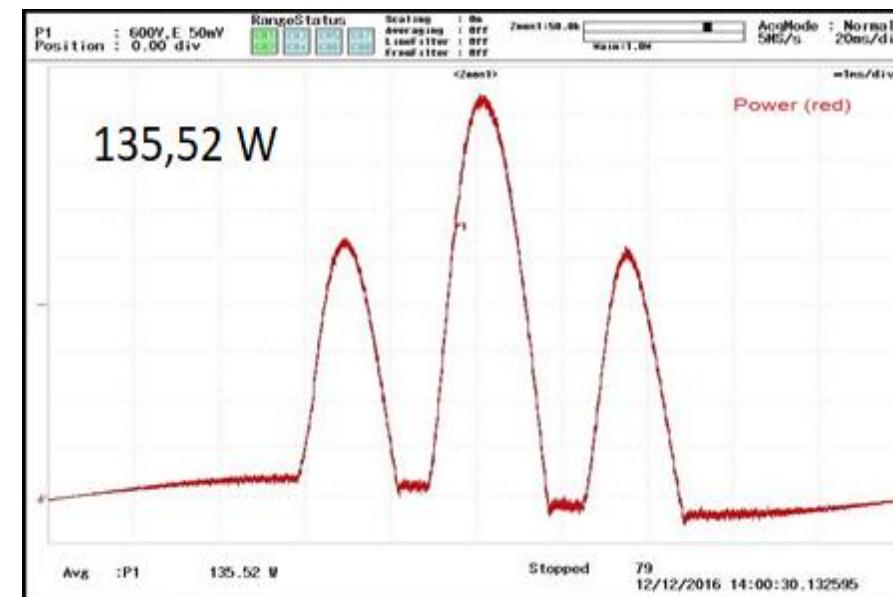
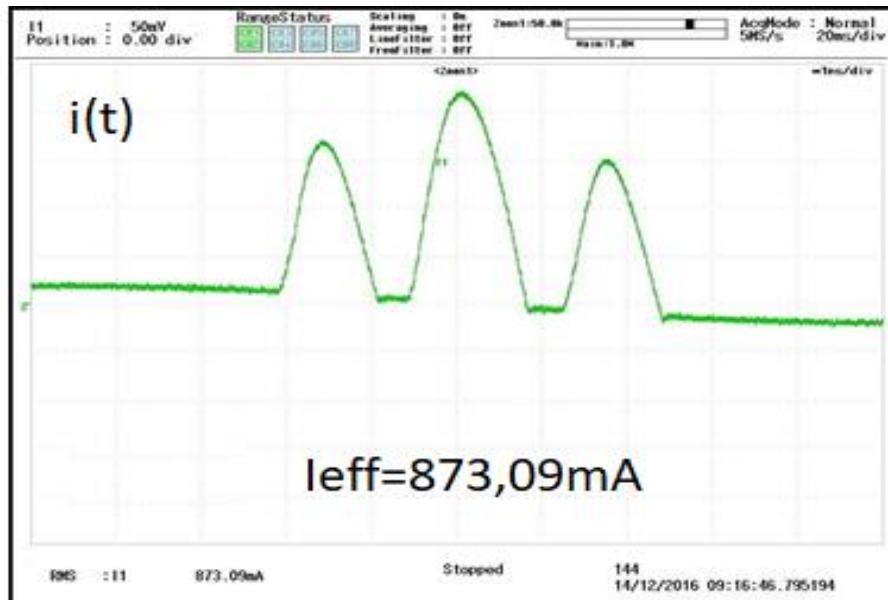
Le perdite sulla linea sono direttamente proporzionali al quadrato  
della corrente istantanea  $i(t)$

$$P_{\text{perdita\_linea}}(t) = R * i(t)^2 = 1 * i(t)^2 = i(t)^2$$

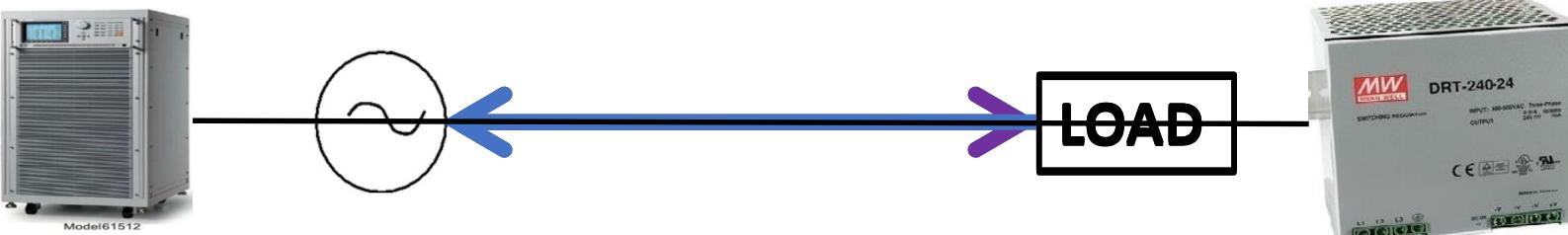
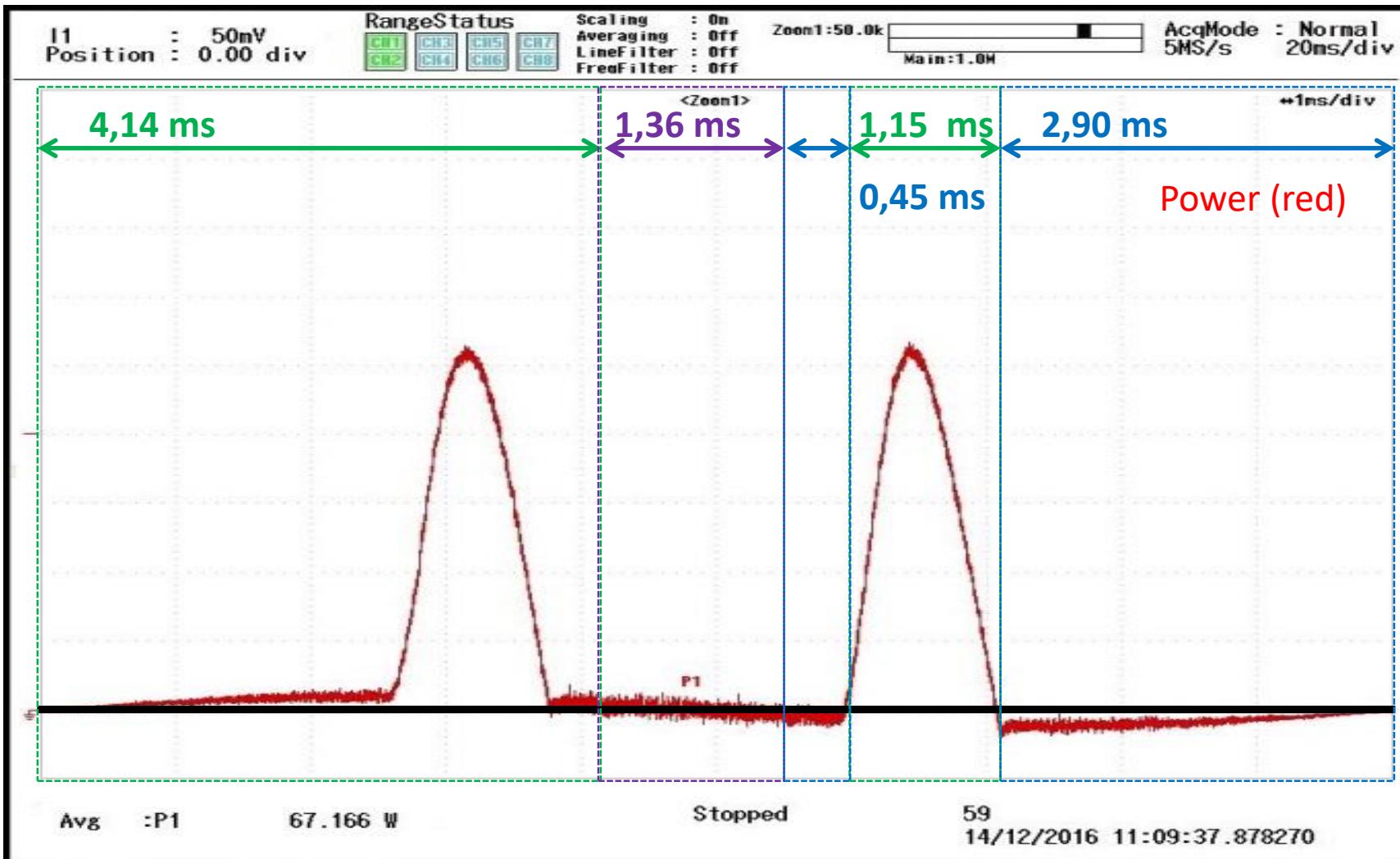
# Analisi Effetto Linea



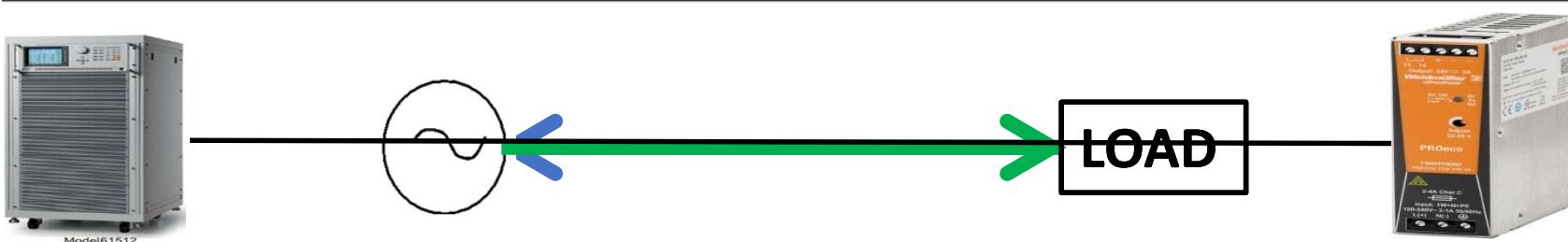
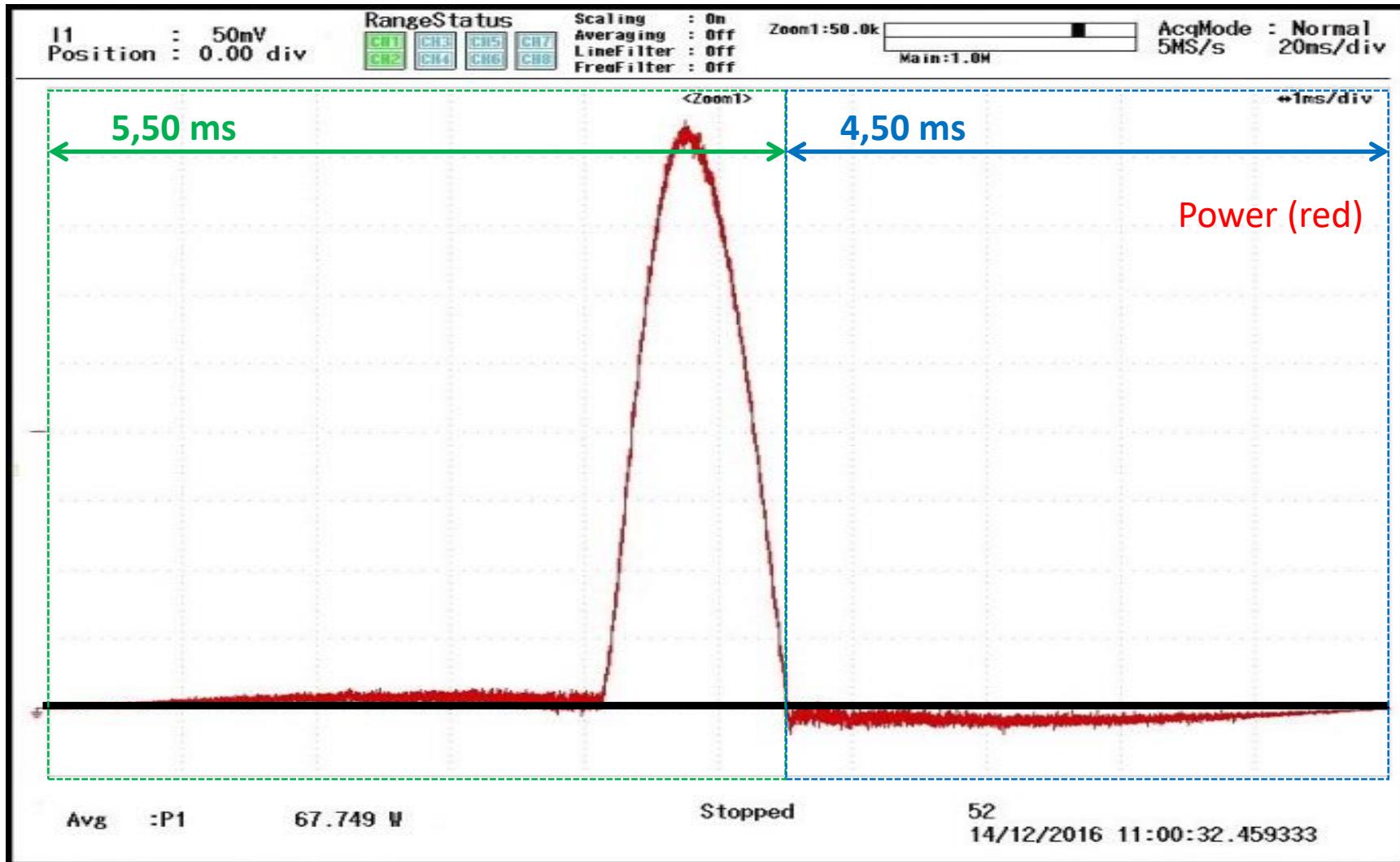
# Segnali Elettrici in Regime Distorto



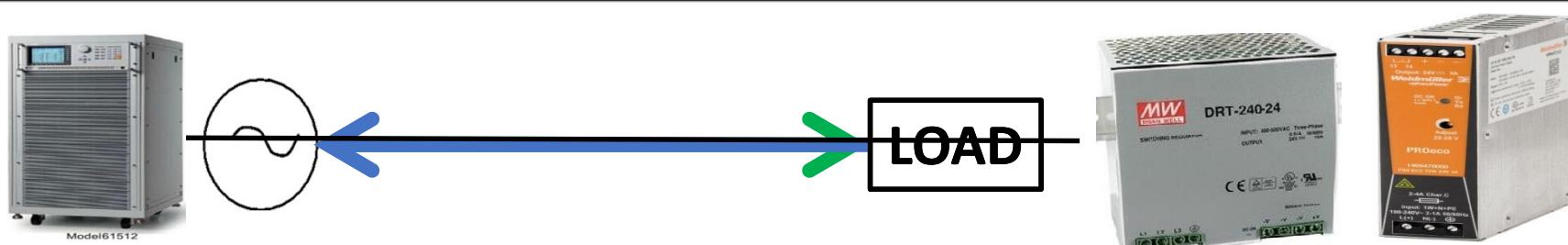
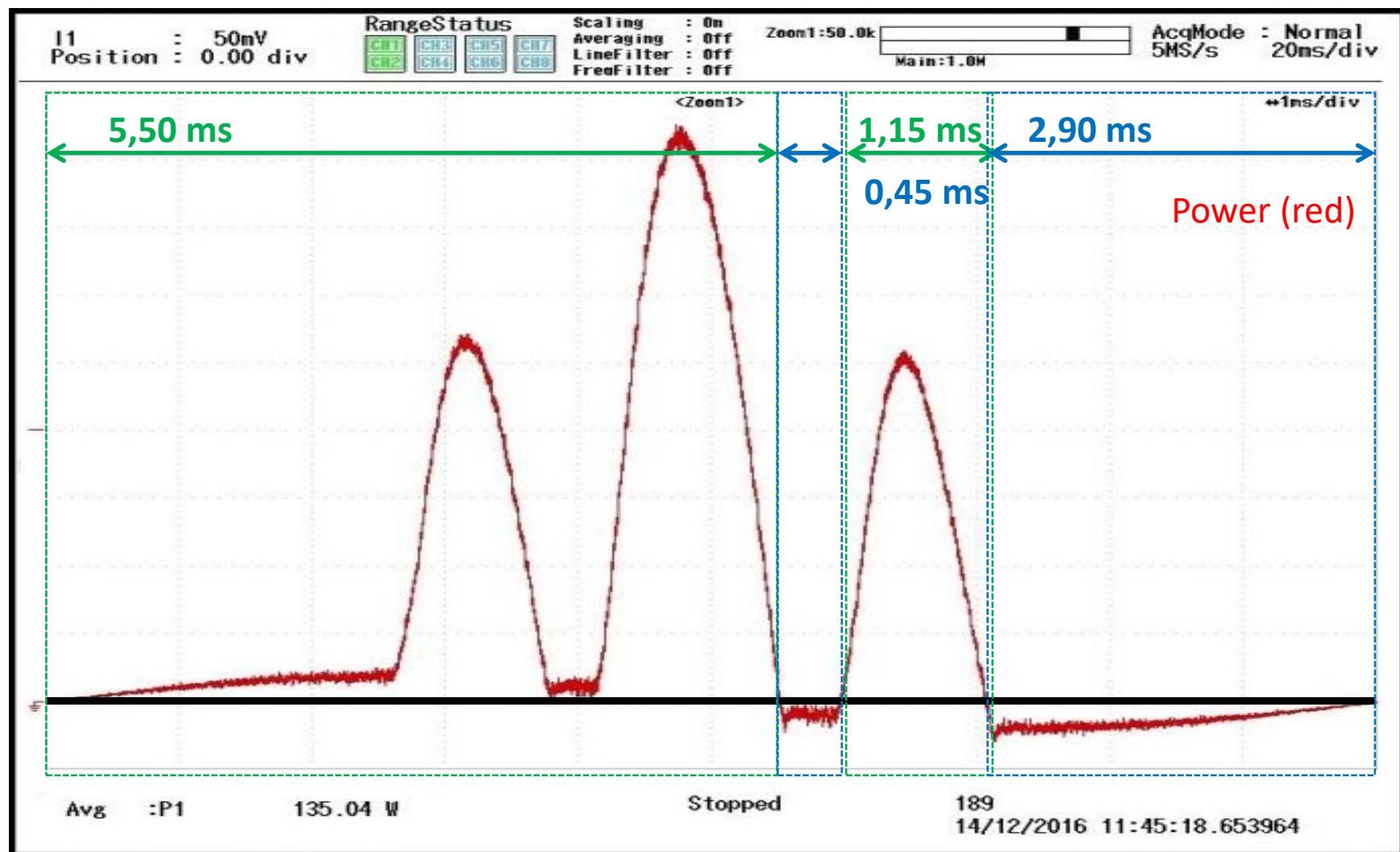
# Analisi Potenza Istantanea con il solo switching trifase



# Analisi Potenza Istantanea con il solo switching monofase



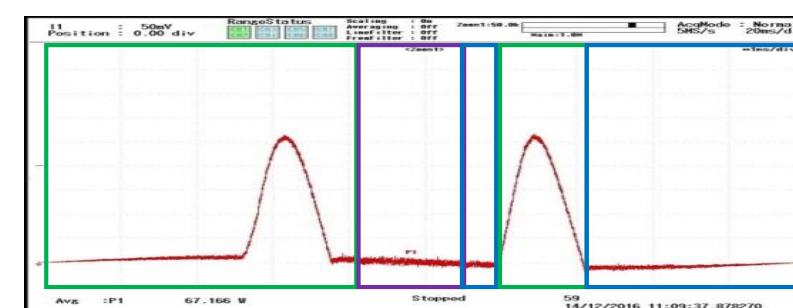
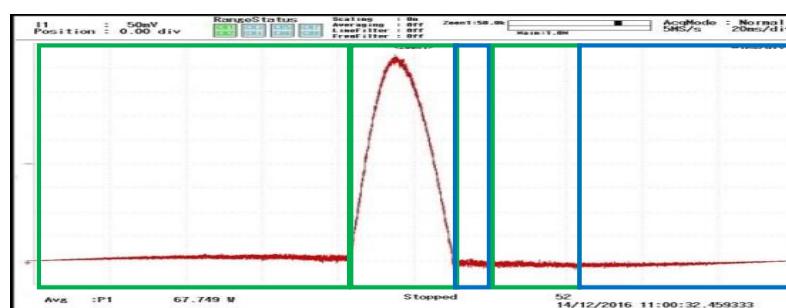
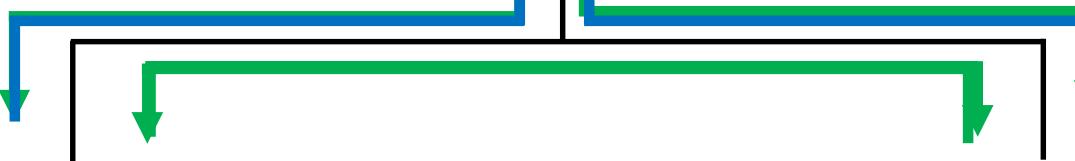
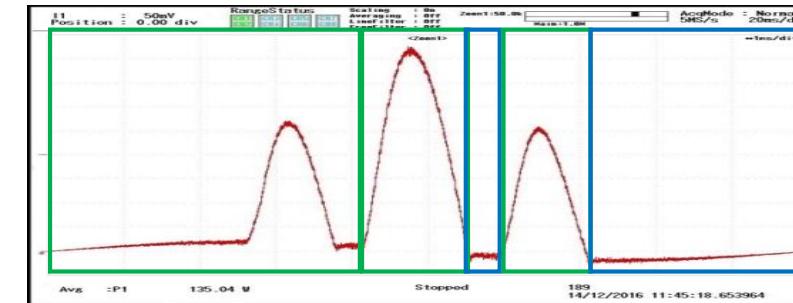
# Analisi Potenza Istantanea



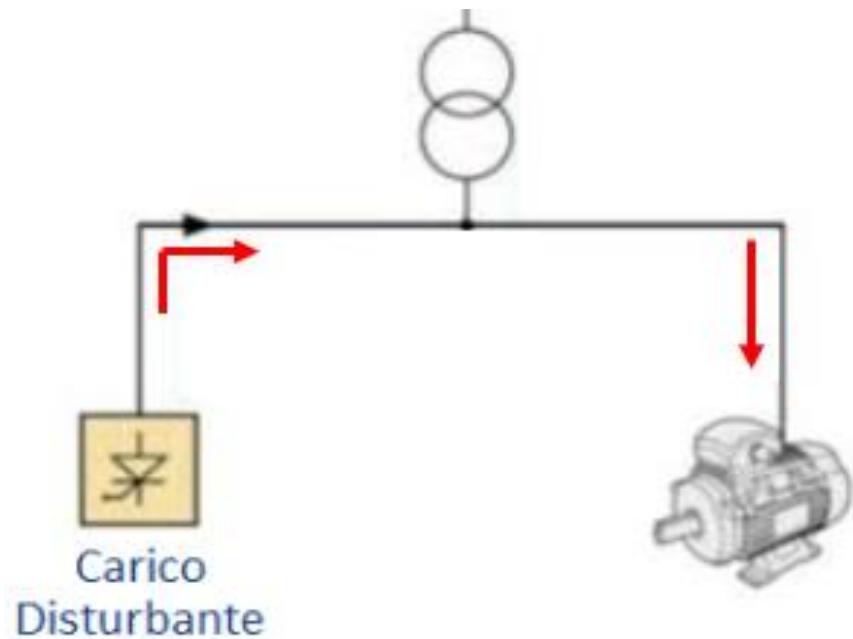
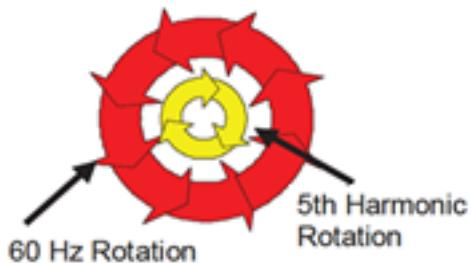
# Analisi Potenza Instantanea in un network (palleggiamento)

10 ms

4,14 ms      1,36 ms      0,45115 ms      2,90 ms

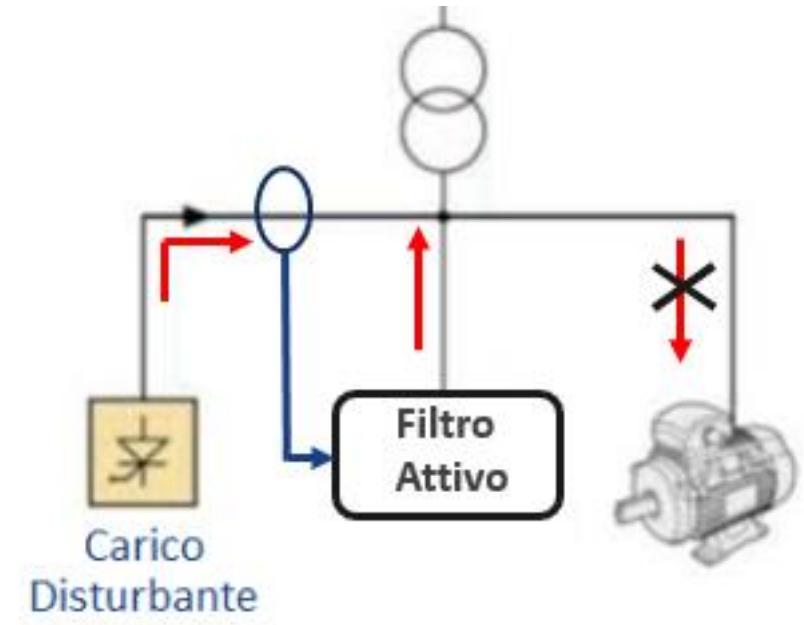
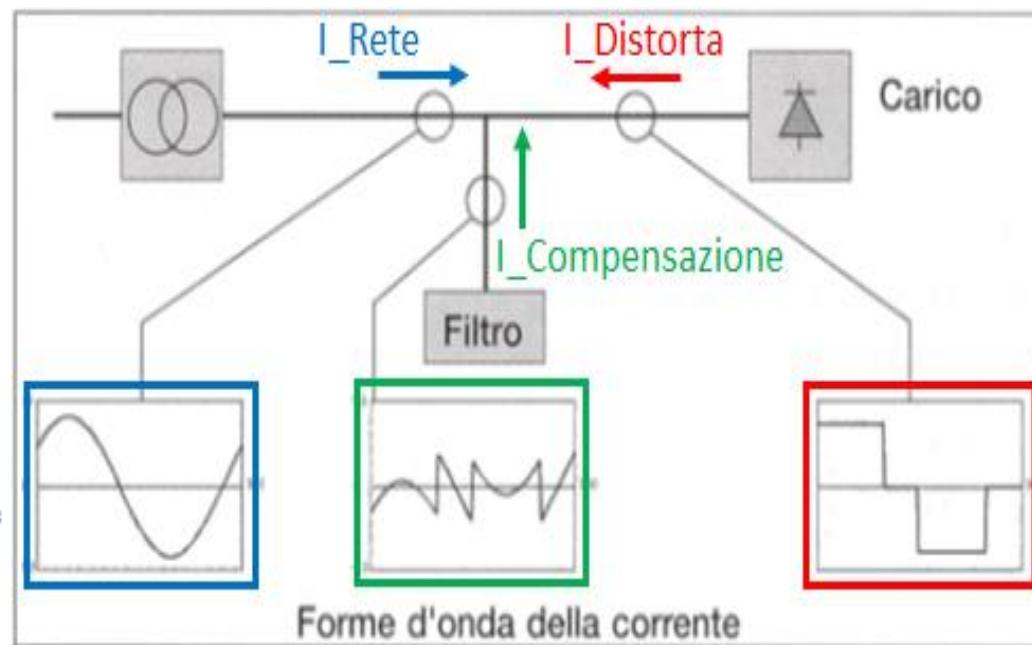
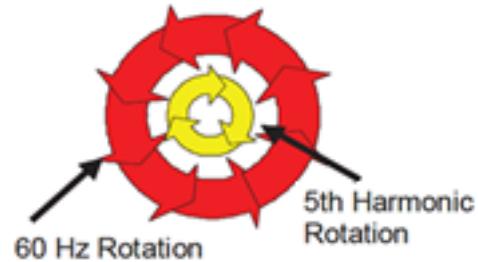


## Bassa Power Quality – Conseguenze – Costi Benefici



**Il punto in cui si applica il filtro che effetti produce sull'intero network in termini di modifica del palleggiamento?**

# Bassa Power Quality – Conseguenze – Costi Benefici

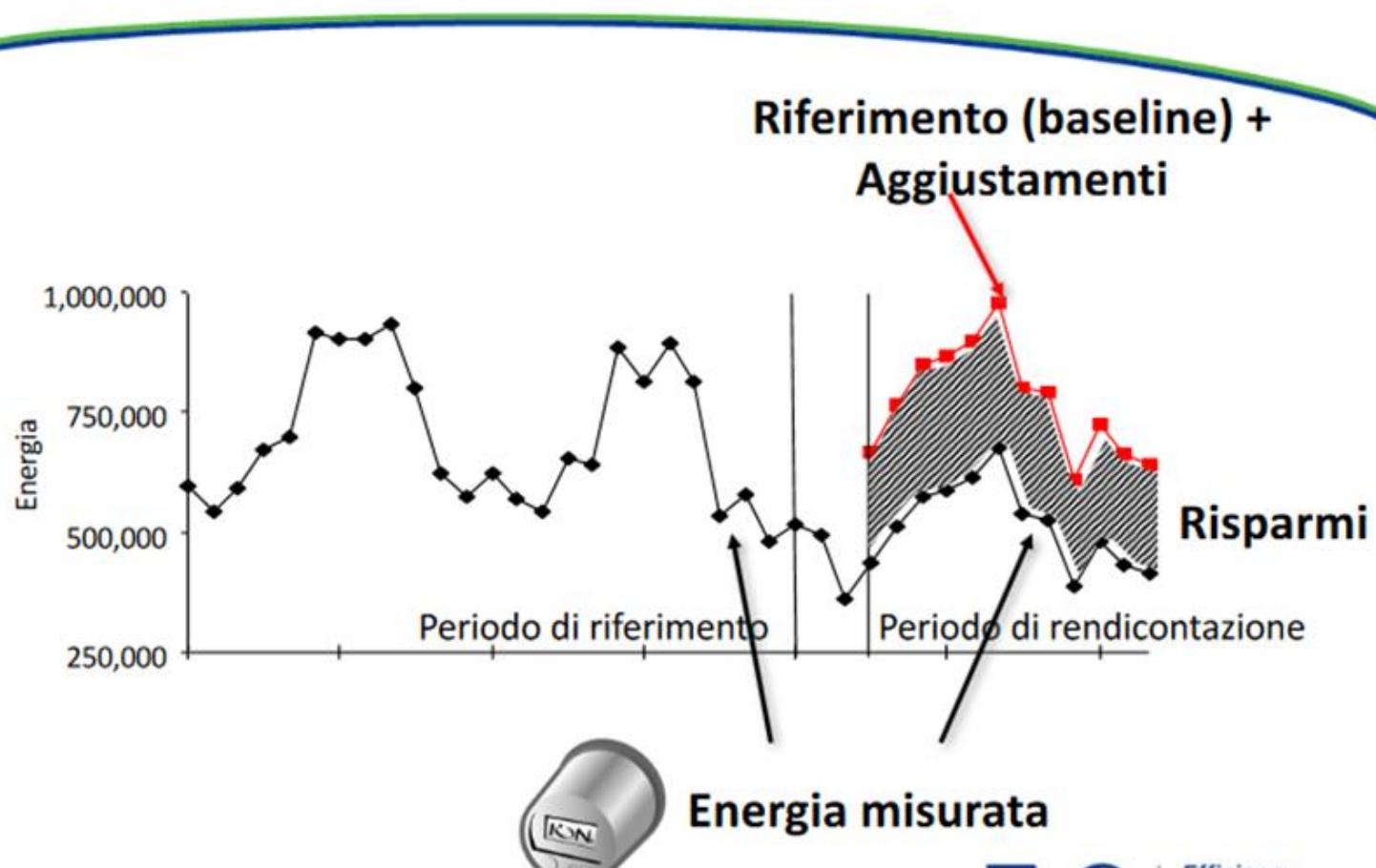


Il punto in cui si applica il filtro che effetti produce sull'intero network in termini di modifica del palleggiamento?

# **Misurabilità del Risparmio di un dispositivo di efficientamento energetico**

**ARGOMENTO COMPLESSO**

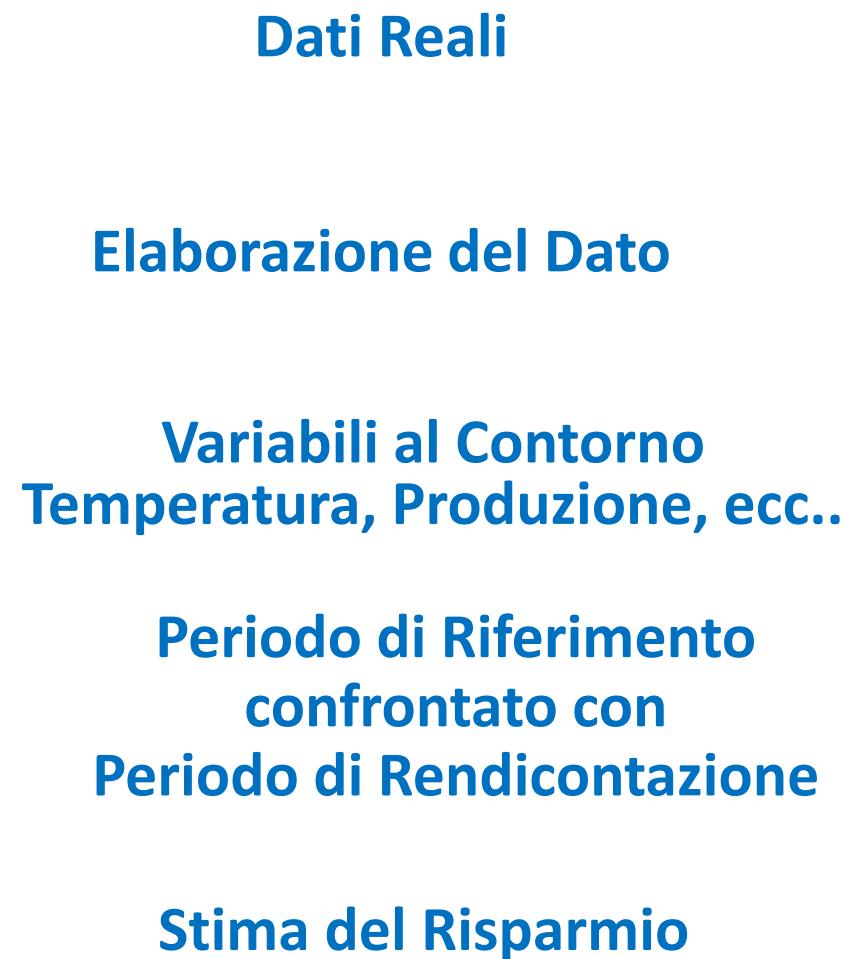
# Misurabilità del Risparmio



## Misura e Verifica delle prestazioni energetiche IPMVP

- Gli Aggiustamenti possono essere banali, semplici o complessi.
- Possono consistere in calcoli ingegneristici.
- L'entità degli Aggiustamenti dipende da:
  - la necessità di accuratezza,
  - la complessità dei fattori che determinano il consumo di energia,
  - la quantità delle apparecchiature di cui valutare le prestazioni (cioè il 'perimetro di misura'), e,
  - il budget disponibile

# Misurabilità del Risparmio con Macro Dati in ambito elettrico



# Misurabilità del Risparmio con Micro Dati in ambito elettrico

**MISURA / RILEVAZIONE**



**Confronto tra valori misurati**



**Validazione e Risultato**

**Dati Reali**

**Periodo di Riferimento  
confrontato con  
Periodo di Rendicontazione**

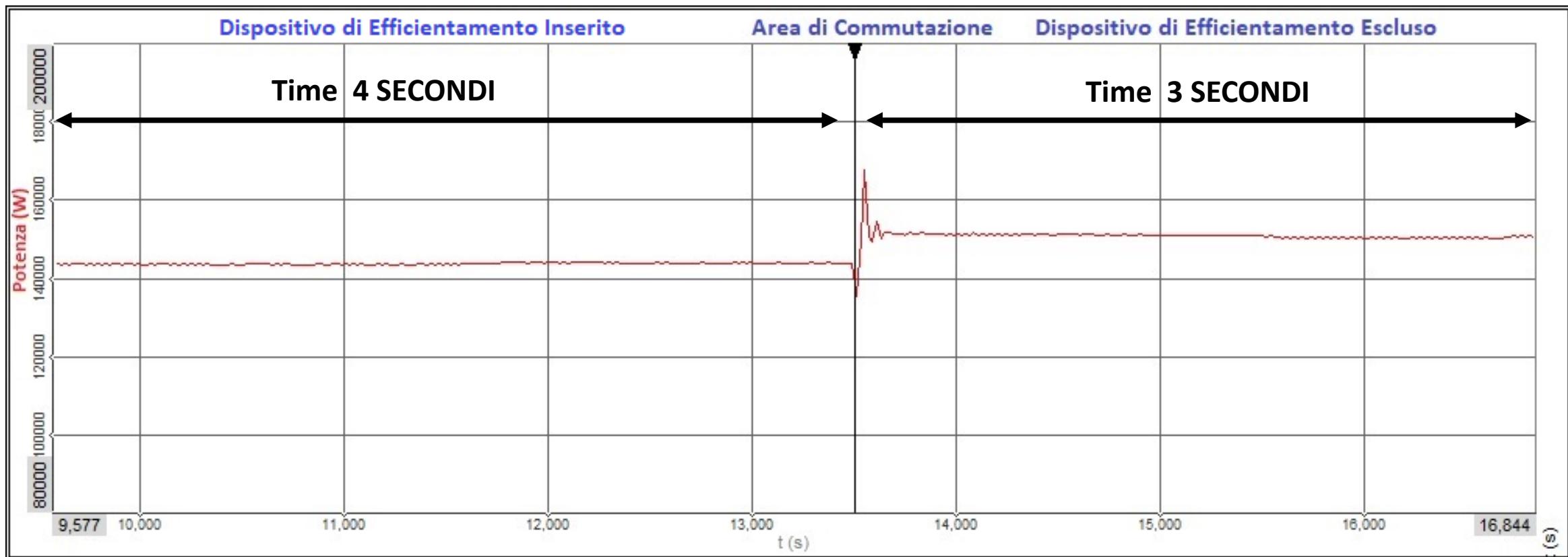
**Stima del Risparmio**

**Le Tecnologie di Misura ad alta frequenza di campionamento permettono di analizzare i dati elettrici con precisione e oggettività.**

# Misurabilità del Risparmio con Micro Dati ad alta frequenza di campionamento

## Periodo di Rendicontazione

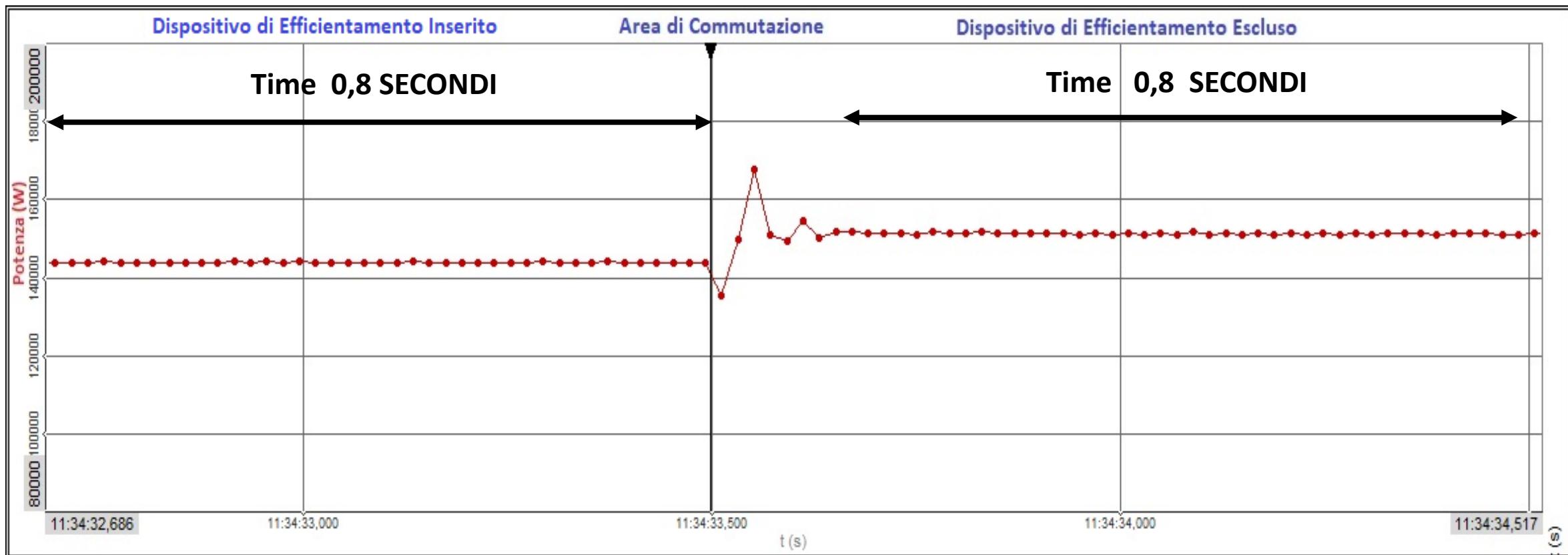
## Periodo di Riferimento



# Misurabilità del Risparmio con Micro Dati ad alta frequenza di campionamento

Periodo di Rendicontazione

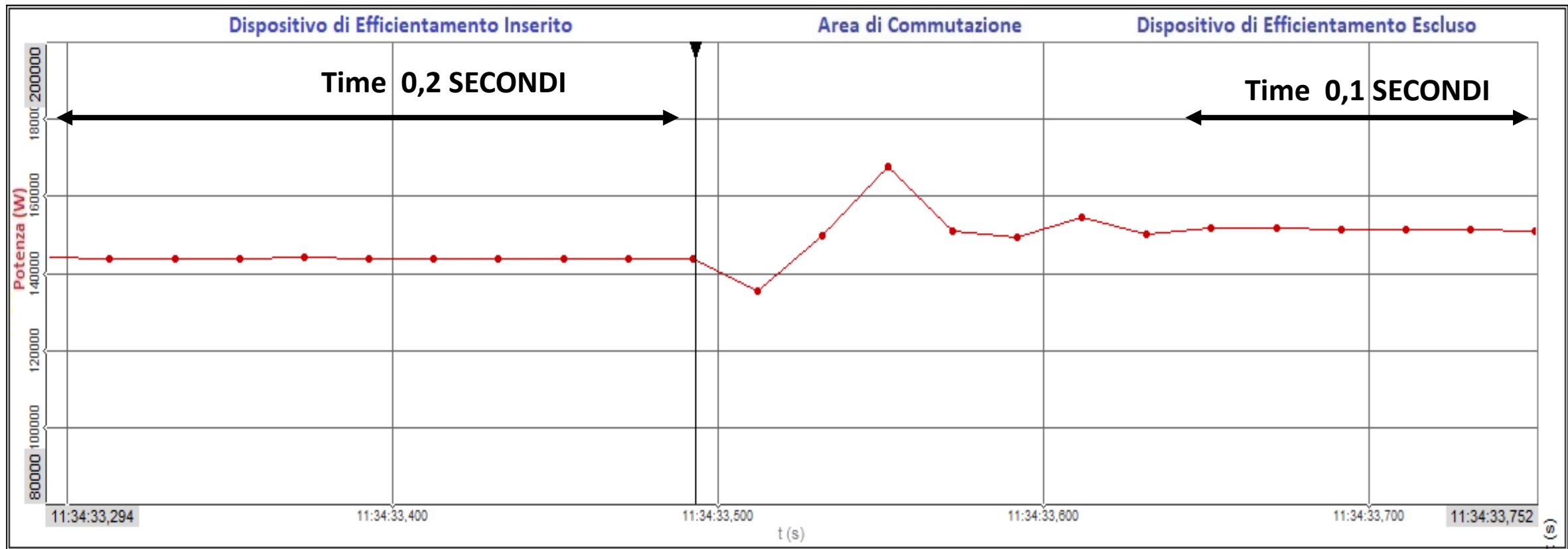
Periodo di Riferimento



# Misurabilità del Risparmio con Micro Dati ad alta frequenza di campionamento

## Periodo di Rendicontazione

## Periodo di Riferimento

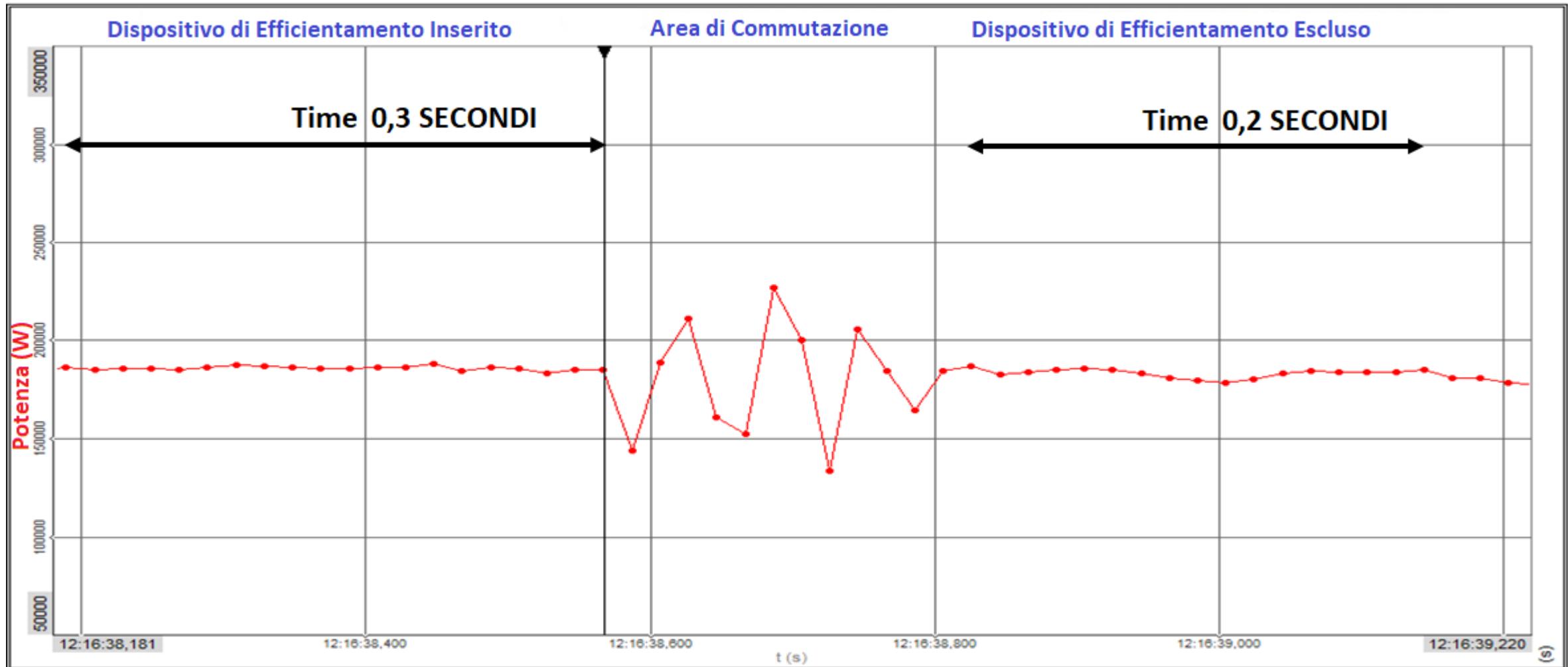


Confronto Oggettivo al netto delle variabili al contorno

# Misurabilità del Risparmio con Micro Dati ad alta frequenza di campionamento

## Periodo di Rendicontazione

## Periodo di Riferimento



Confronto Oggettivo al netto delle variabili al contorno

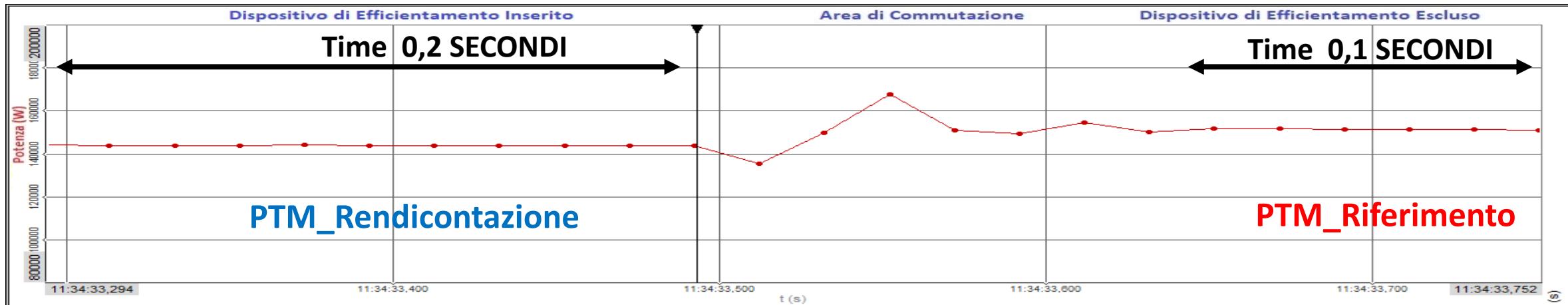
# Misurabilità del Risparmio Confronto Micro Dati con Macro Dati



- Se l'Analisi Micro Dati (oggettiva) concorda con l'Analisi Macro Dati => OK.
- Se l'Analisi Micro Dati (oggettiva) non concorda con l'Analisi Macro Dati è opportuno rielaborare l'Analisi Macro Dati.

# Misurabilità del Risparmio

## Periodo di Rendicontazione



$$\%_{\text{Efficientamento}} = \left(1 - \frac{\text{PTM\_Rendicontazione}}{\text{PTM\_Riferimento}}\right) \times 100 > 0 \Rightarrow \text{PTM\_Rendicontazione} < \text{PTM\_Riferimento}.$$

$\text{PTM\_Rendicontazione} \times \text{tempo} = \text{Energia\_Rendicontazione}$

$\text{PTM\_Riferimento} \times \text{tempo} = \text{Energia\_Riferimento}$

per cui  $\text{Energia\_Rendicontazione} < \text{Energia\_Riferimento}$ .

Se è verificata questa situazione  $\text{Energia\_Rendicontazione} < \text{Energia\_Riferimento}$

è plausibile pensare che anche analizzando nel lungo periodo i dati energetici si possa riscontrare il medesimo risultato:  $\text{Energia\_Rendicontazione} < \text{Energia\_Riferimento}$ . Altrimenti NO.



**Filtro passivo induttivo dinamico trifase di tipo ibrido a gestione elettronica, collegato in serie tra la sorgente di alimentazione e il carico.**

**Gestisce nell'ottica dell'efficientamento:**

- **la forma d'onda della corrente**
- **la Potenza Trasmessa**
- **le Perdite di Linea**
- **il palleggiamento di energia nel network**



**E-Power chiuso**



**E-Power aperto**

# Tecnologia di filtraggio brevettata

La base per lo sviluppo del sistema E-Power arriva dalla **tecnologia audio e acustica**, dove le *distorsioni* sono indesiderabili rumori di fondo che possono essere attenuati con opportune tecnologie di filtraggio. A tale scopo vengono utilizzati degli opportuni anelli di controllo retroazionato (trasduttori) che migliorano la qualità della trasmissione del suono. I *disturbi* sono presenti anche negli impianti elettrici, a causa dei moderni utilizzatori a potenza stabilizzata che peggiorano la qualità dell'energia causando *perdite* nella trasmissione elettrica.



Le soluzioni adottate nell'area audio e acustica sono state le basi per la ricerca e lo sviluppo del sistema E-Power, con l'obiettivo di ridurre le perdite presenti nell'impianto elettrico e ottimizzare la trasmissione dell'energia. **Con tale scopo e dopo anni di ricerca e importanti investimenti, il dipartimento di Ricerca e Sviluppo di Energia Europa ha progettato e sviluppato uno speciale trasformatore di isolamento per ottimizzare gli effetti di filtraggio sull'impianto elettrico.** La scelta dei materiali utilizzati, la giusta combinazione di peso e il calibrato rapporto degli avvolgimenti, sono stati cruciali per il raggiungimento del risultato voluto.

# Cosa può fare il sistema E-Power

Il Filtro Brevettato opportunamente costruito basato sull'elettromagnetismo, permette di:

- Ridurre le perdite sulla linea
- Migliorare la qualità della potenza intervenendo sul contributo armonico
- Migliorare il fattore di potenza, lavorando anche sulla componente reattiva
- Migliorare l'efficienza energetica dell'impianto connesso
- Migliorare la qualità della tensione e della corrente
- Migliorare il bilanciamento delle grandezze elettriche
- Prolungare la vita media dei carichi elettrici
- Monitorare e controllare il funzionamento dell'impianto



# Cosa non può fare il sistema E-Power

Miracoli...

**“Energy Savings: You Can Only Save Energy That is Wasted”**

(Risparmio energetico: puoi risparmiare solo l'energia che viene sprecata)

**Arshad Mansoor and Roger Dugan**

[Electric Power Research Institute \(EPRI\)](#)



# Case Study – Retail

## Cliente Auto..... - Misura dell'Efficientamento

### Applicazione E-Power

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte da  
Energia Europa S.p.A.**

**Dall'analisi  
Micro Dati e Macro Dati  
la % di efficientamento  
risultante è stata pari a  
5%**

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte in contraddittorio da**



**ha confermato  
la % di efficientamento  
individuata da  
Energia Europa S.p.A.**

# Case Study – Retail GDO

**Cliente S.M..... - Misura dell'Efficientamento**

**Applicazione E-Power**

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte da  
Energia Europa S.p.A.**

**Dall'analisi  
Micro Dati e Macro Dati  
la % di efficientamento  
risultante è stata pari a  
5%**

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte in contraddittorio da**

**IMQ**

**ha confermato  
la % di efficientamento  
individuata da  
Energia Europa S.p.A.**

# Case Study – Industria

## Cliente Nuova S.... - Misura dell'Efficientamento

### Applicazione E-Power

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte da  
Energia Europa S.p.A.**

**Dall'analisi  
Micro Dati e Macro Dati  
La % di efficientamento  
risultante è stata pari a  
4%**

**Misura e Verifica  
prestazioni energetiche  
condotte in contraddittorio da**



**ha confermato  
la % di efficientamento  
individuata da  
Energia Europa S.p.A.**



Save Energy. Save the planet.

Per informazioni:

[www.energia-europa.com](http://www.energia-europa.com)

[dir.comm@energia-europa.com](mailto:dir.comm@energia-europa.com)