

Committente

**Engadin Tailwinds S.A.**

Sede

**Via da Mezz, 46/A • 7742 Poschiavo (GR) • SVIZZERA**

**Analisi comparativa delle prestazioni  
elettriche della Pressa Engel 80T**

OGGETTO

**Confronto delle misure elettriche tra sistemi di  
azionamento tradizionale e servoazionamento  
idraulico su pressa Engel 80T**

Il progettista



Elaborato

**CDM N124**

Data

**Dicembre 2024**

Nota di  
riservatezza

Ai sensi D.lgs. n. 196 del 20.06.2003 il presente documento contiene informazioni e valutazioni tecniche confidenziali destinate, per uno scopo specifico, all'Ente o alla Società indicata nell'intestazione ed è da considerarsi protetto dalle norme sulla privacy. Chiunque non sia specificatamente incaricato al trattamento delle informazioni contenute nel presente documento è tenuto a non diffonderlo e a consegnarlo agli indirizzi sopraindicati.

**ROCCO GOFFREDO**  
consulenze impianti elettrici

Pagina bianca

**ROCCO GOFFREDO**  
consulenze impianti elettrici

**Indice**

SCOPO .....	4
INTERVENTI DI RINNOVAMENTO .....	4
DATI DI TARGA .....	4
DESCRIZIONE DELLA MODALITÀ DI MISURA.....	5
STRUMENTI DI MISURA UTILIZZATI .....	5
MISURE E CONTROLLI.....	5
PROCEDURA DI MISURAZIONE.....	6
DETTAGLI DI MISURA .....	6
ANALISI DEI RISULTATI .....	14
CONCLUSIONI.....	14
<b>APPENDICI.....</b>	<b>15</b>
MISURE DI TENSIONE E CORRENTE DI FASE IN RMS .....	15
POTENZA NEI SISTEMI ELETTRICI.....	15
ENERGIA NEI SISTEMI ELETTRICI .....	16
COS $\phi$ E FATTORE DI POTENZA PF .....	17
CORRENTI E TENSIONI ARMONICHE.....	18
THD (TOTAL HARMONIC DISTORTION) .....	18
NORMATIVE E VALUTAZIONE DEL THD.....	18

## Scopo

Questa relazione ha lo scopo di confrontare, dal punto di vista elettrico, il funzionamento della pressa per stampaggio ad iniezione di materie plastiche Hengel 80T ES330/80HL. Questa pressa, prodotta nel 1995 dalla Engel in Austria, è in grado di chiudere i piani con una forza di 80 tonnellate. È dotata di un controllore CNC e di un sistema di azionamento misto pneumatico e idraulico, con configurazione stella/triangolo per il motore principale. In seguito, è stato progettato un intervento di rinnovamento per aumentare il rendimento energetico complessivo del macchinario, prevedendo la sostituzione del sistema esistente.

## Interventi di rinnovamento

Per migliorare l'efficienza della pressa e ridurre i consumi elettrici, sono state sostituite le parti principali del sistema di stampaggio con:

- servomotore per macchine ad iniezione plastica di marca INOVANCE tipo ISGM1-18D20;
- sistema di azionamento di marca INOVANCE tipo SERVO DRIVE IS580TO35 18,5 KW T5;
- pompa idraulica ad ingranaggi di marca SUNNY HG1-50.

Il sistema progettato prevede la regolazione precisa di potenza e coppia della pompa in funzione delle effettive necessità del ciclo di lavoro. Il sistema di riscaldamento è rimasto quello originale.

## Dati di targa

I dati di targa della pressa, dichiarati dal costruttore, prima dell'intervento di rinnovamento sono i seguenti:

Tensione nominale	3 x 400V + N
Corrente nominale	45A
Potenza di targa	24 kW (15 kW motore; 9 kW riscaldamento e accessori)
Cosφ (Misurato)	0,52

I dati riferiti al sistema rinnovato sono i seguenti:

Tensione nominale	3 x 400V + N
Corrente nominale max (misurata)	45A
Potenza di targa	27 kW (18 kW motore; 9 kW riscaldamento e accessori)
Cosφ (Misurato)	0,97

## Descrizione della modalità di misura

La misura dei parametri elettrici è stata effettuata su due presse identiche: una con il sistema di funzionamento nativo e l'altra con il nuovo sistema ad inverter. Le condizioni climatiche erano identiche e le misurazioni sono state avviate quando entrambe le macchine operavano a regime da diverse ore. Il materiale impiegato per la produzione e il tipo di stampo erano uguali in entrambi i casi. Nello specifico, il materiale utilizzato nella stampa era FORFLEX T 570° - TPO di marca CELANESE, con un consumo di circa 5 kg/h in entrambe le condizioni di prova.

## Strumenti di misura utilizzati

Per una prima verifica delle tensioni di fase e concatenate, è stato impiegato un multimetro digitale HT64, in grado di misurare il vero valore efficace (RMS). Per un'analisi completa nel tempo, è stato utilizzato un analizzatore di rete Chauvin Arnoux Qualistar C.A. 8336. Questo dispositivo fornisce la lettura diretta (RMS) della corrente di neutro e delle fasi, delle tensioni concatenate e di fase, nonché dell'intero sistema elettrico rispetto alla terra.

L'analizzatore è stato configurato per effettuare misurazioni a cadenza di 1 secondo per un totale di 90 minuti, seguendo i criteri indicati nella tabella.

Tipo di collegamento	Trifase 5 fili 3V
Sensori	A193/MA193 AmpFLEX (100 A)
Calcolo dei valori reattivi Q (var) or N (var)	N: Combinato (con le armoniche)
Tasso d'armoniche della fase	Valore della fondamentale come riferimento (%f)
Flicker a lungo termine (Plt)	Finestra fissa
Fattore di trasformazione K	$q = 1,7$ e $e = 0,10$
Rapporto delle correnti	1:1
Rapporto delle tensioni tra fase e neutro	1:1
Aggregazione	1 s
Misure U registrate	CF, RMS, THDr, THDf, DC, pk+, pk-
Misure V registrate	CF, Pst, Plt, RMS, THDr, THDf, unb (u2), DC, pk+, pk-
Misure A registrate	CF, FHL, RMS, THDr, THDf, unb (u2), FK, DC, pk+, pk-
Altre misure registrate	Cos $\phi$ (DPF), F, PF, Tan $\phi$ , S (VA), Q (var), P (W), P DC (W)
Armoniche V registrate	0 - 50
Armoniche A registrate	0 - 50
Armoniche S (VA) registrate	0 - 50

## Misure e controlli

Lo scopo di queste misure è valutare l'impatto energetico del sistema rinnovato. Sono stati estrapolati i dati più significativi e necessari, quali:

- tensioni di fase (RMS);
- correnti di fase (RMS);
- distorsioni armoniche in tensione e in corrente;
- potenza attiva e reattiva;
- fattore di potenza (PF e  $\cos\phi$ )
- energia attiva e reattiva.

## Procedura di misurazione

In una prima fase, è stato effettuato un controllo visivo del quadro macchina per individuare il punto ottimale di collegamento dello strumento di misura. È stato deciso di eseguire le misure a monte del sezionatore generale del quadro macchina.

L'analizzatore di rete è stato configurato per il controllo indipendente delle tre fasi e del neutro, tenendo conto anche del potenziale del conduttore di protezione (PE). L'analizzatore è stato programmato per registrare tutti i parametri elettrici misurabili con una cadenza di un secondo per 90 minuti, come concordato con il tecnico addetto al funzionamento della pressa.

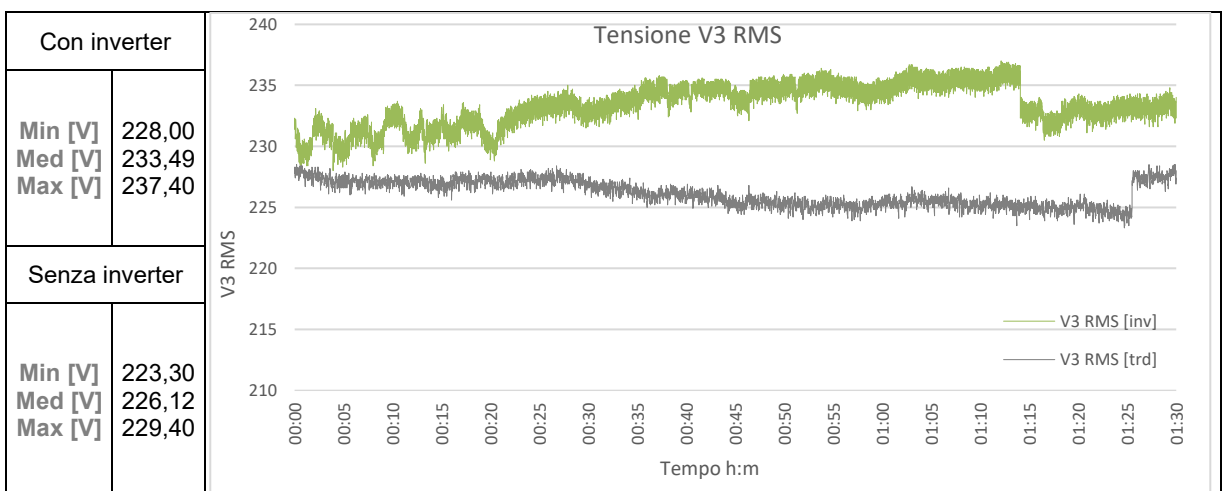
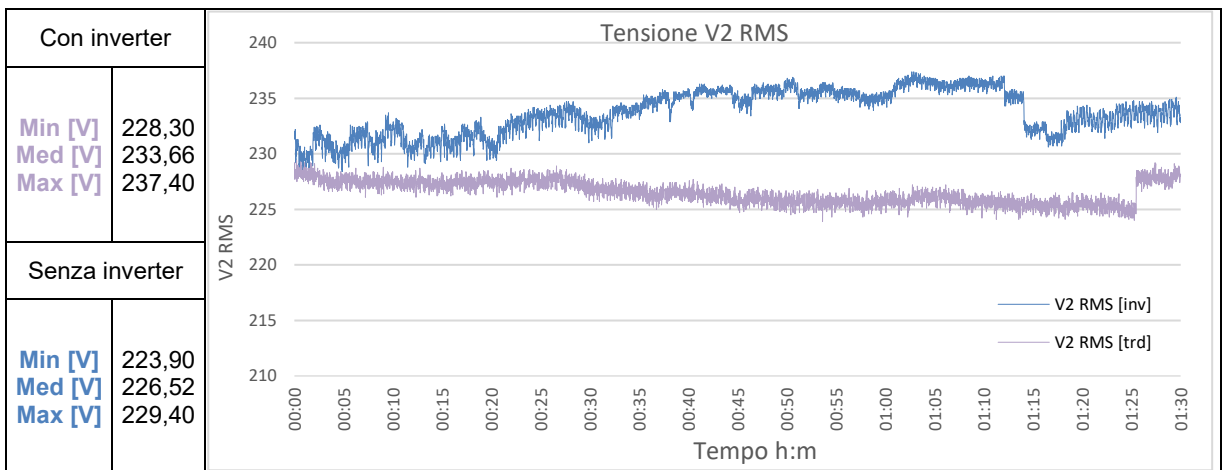
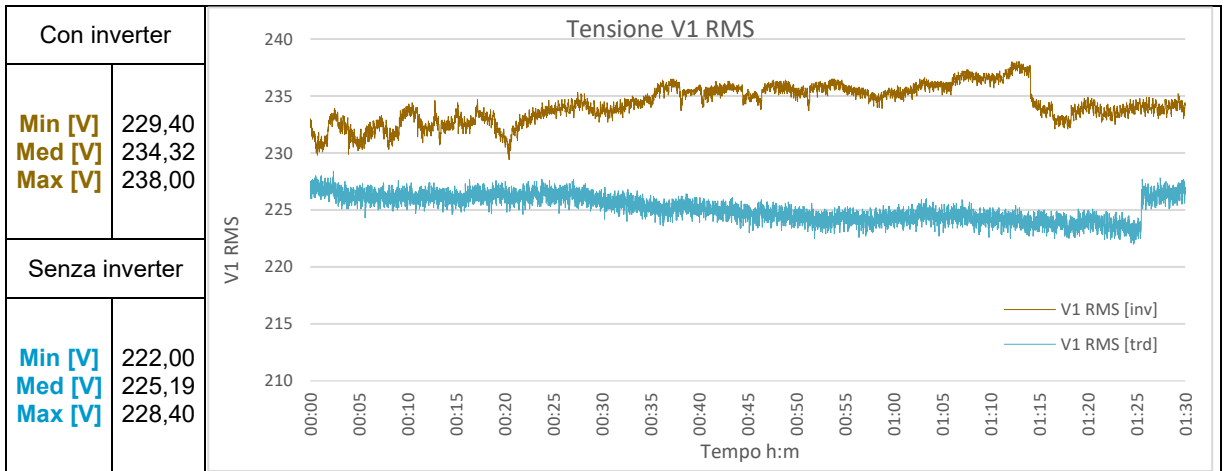
## Dettagli di misura

La registrazione è iniziata alle ore 14:00 e terminata alle 16:30 dei giorni 6 e 7 novembre 2024. L'avvio della registrazione è coinciso con un normale ciclo di lavoro della pressa.

Dai grafici seguenti si possono osservare i risultati ottenuti durante la sequenza delle misure.

Sono riportati gli andamenti delle principali grandezze elettriche necessarie allo scopo, confrontate tra i due sistemi: pressa con inverter e senza inverter. Sono stati evidenziati i valori minimi, medi e massimi registrati in entrambe le misurazioni. I grafici che illustrano le distorsioni armoniche sono espressi in percentuale rispetto alla fondamentale (50 Hz).

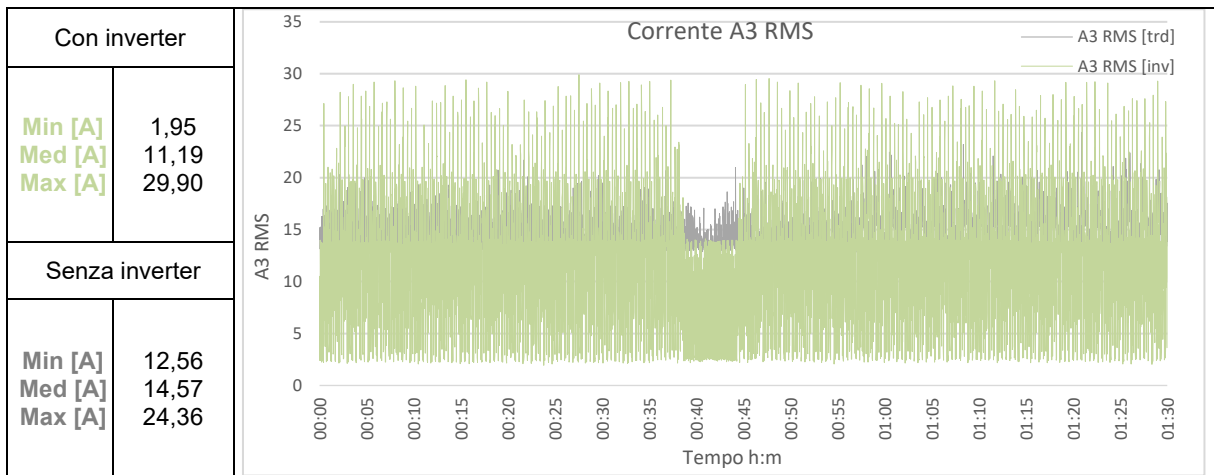
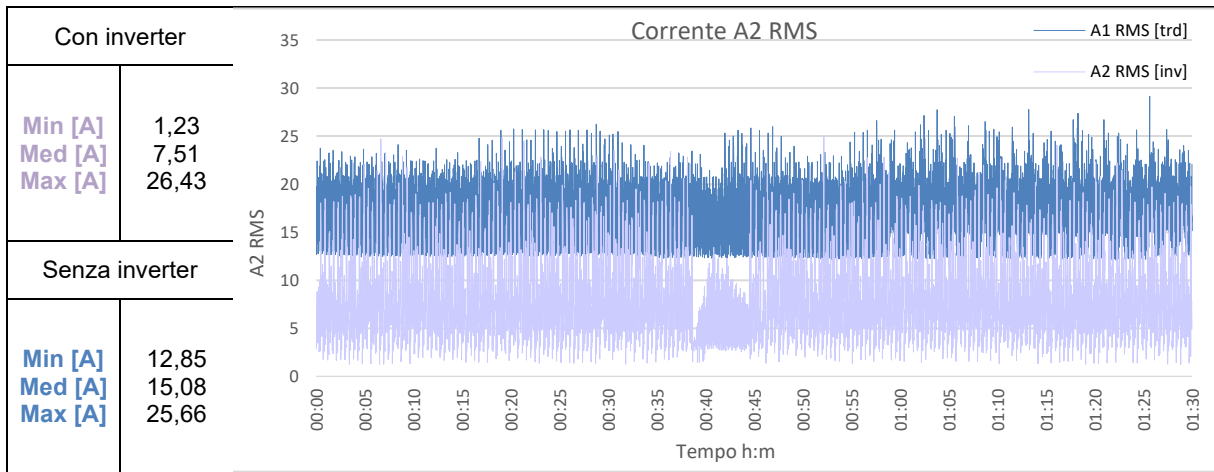
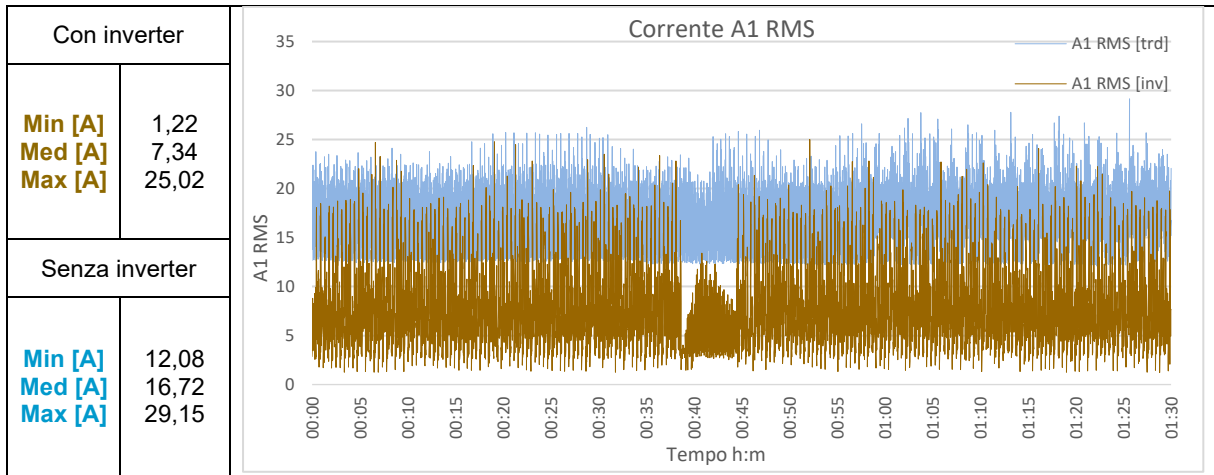
## Andamento delle tensioni di fase (RMS)



# ROCCO GOFFREDO

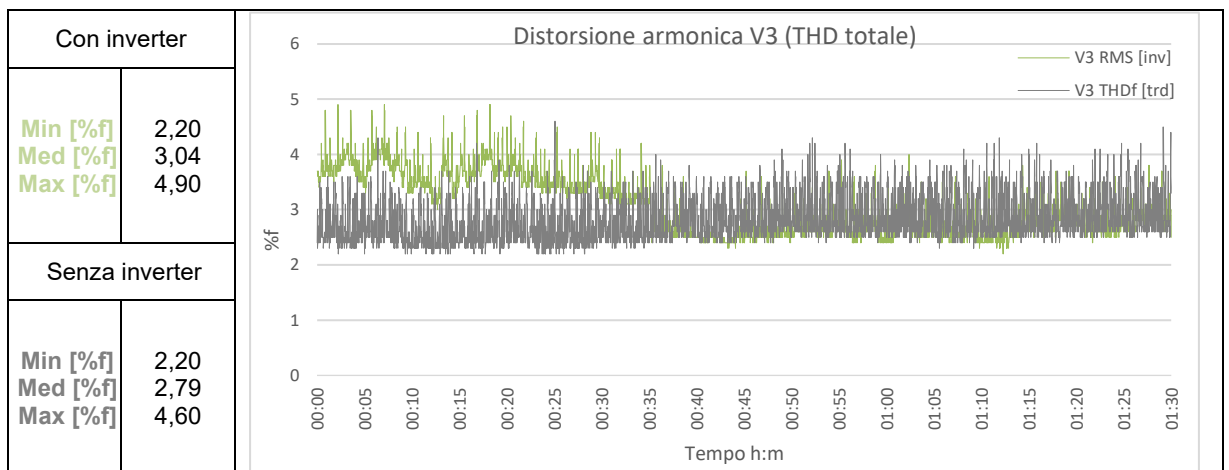
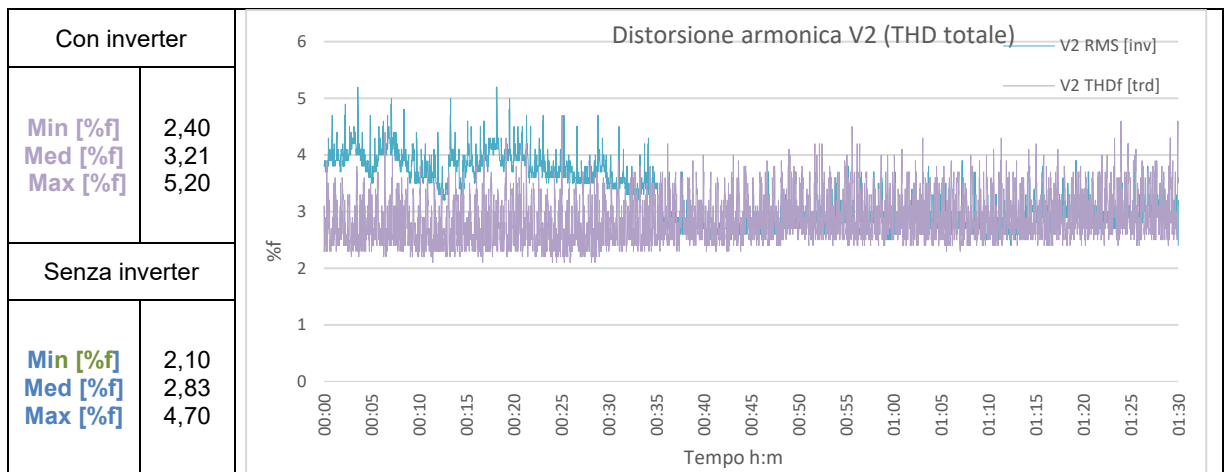
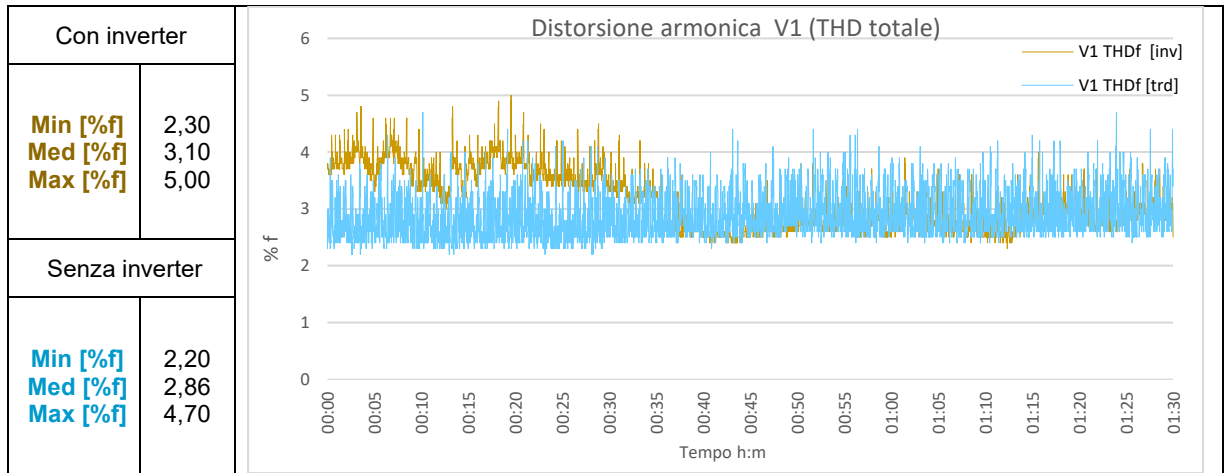
consulenze impianti elettrici

## Andamento delle correnti di fase (RMS)





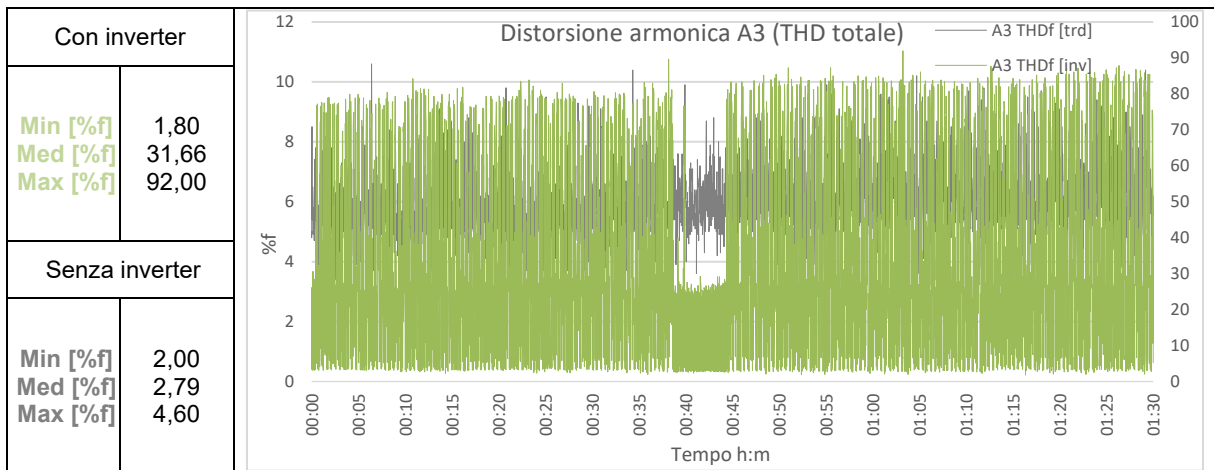
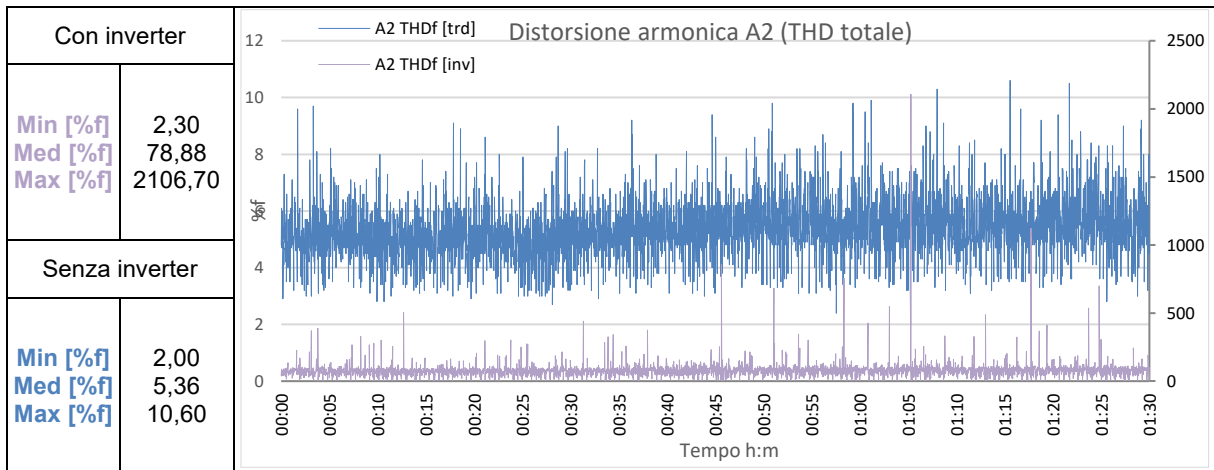
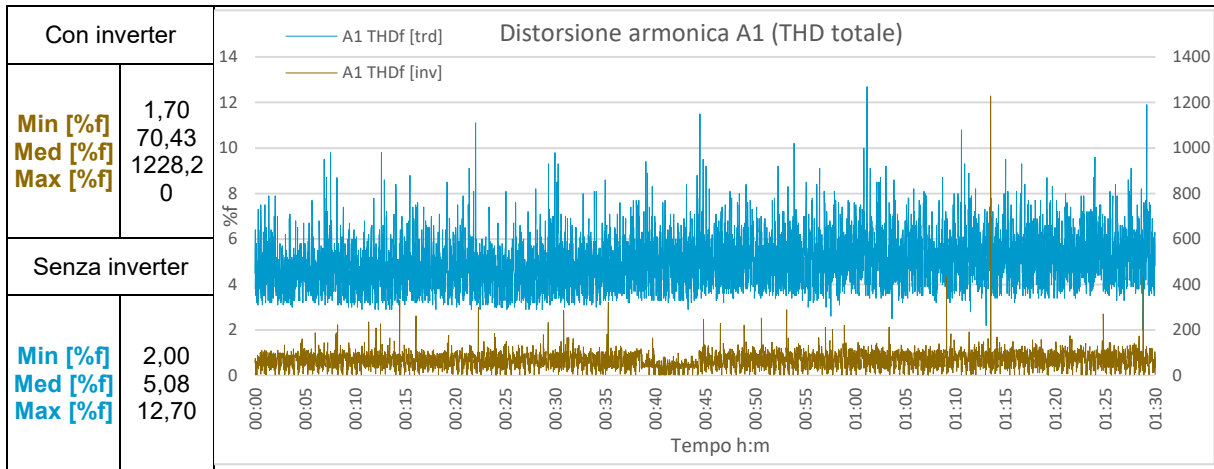
Andamento delle distorsioni armoniche in tensione



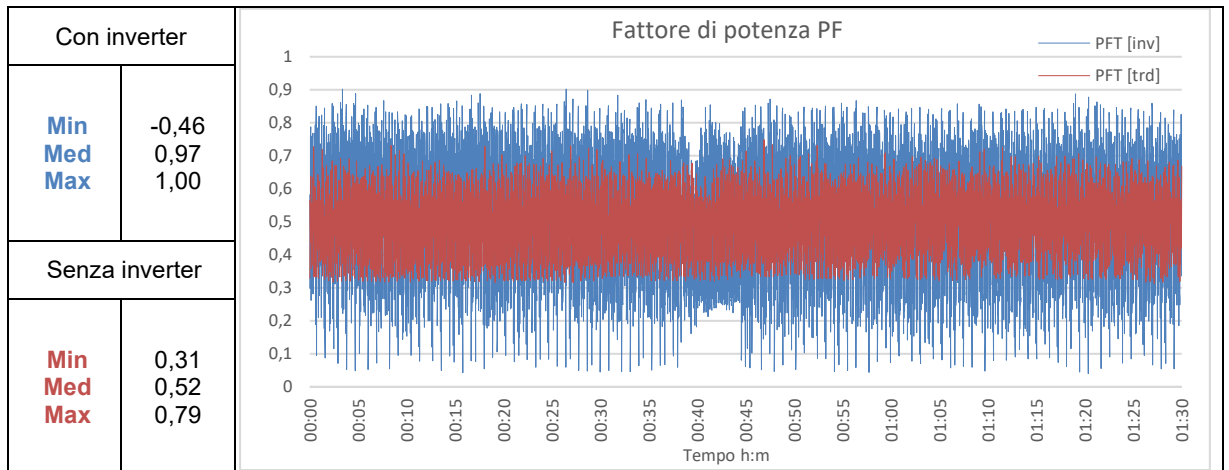
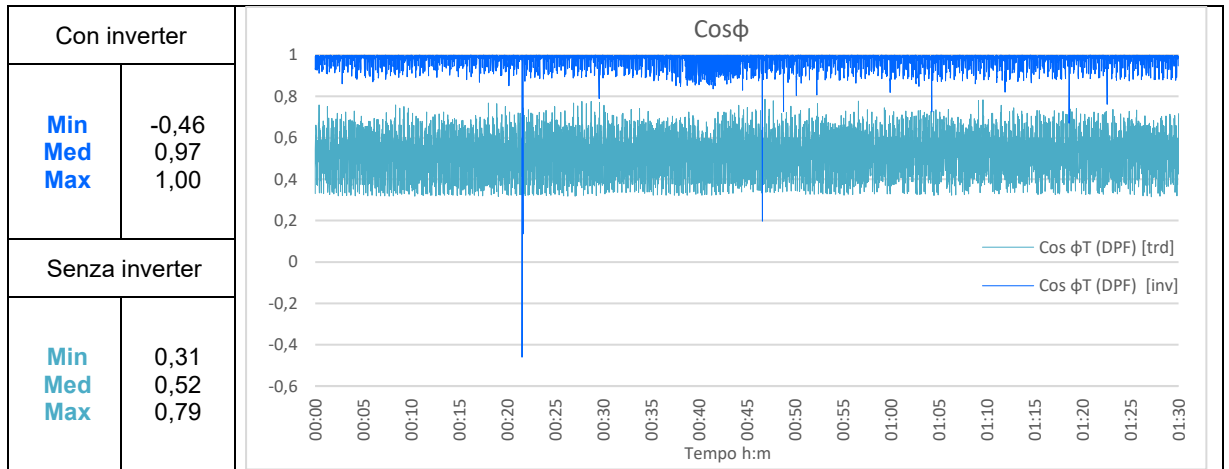
# ROCCO GOFFREDO

consulenze impianti elettrici

## Andamento delle distorsioni armoniche in corrente



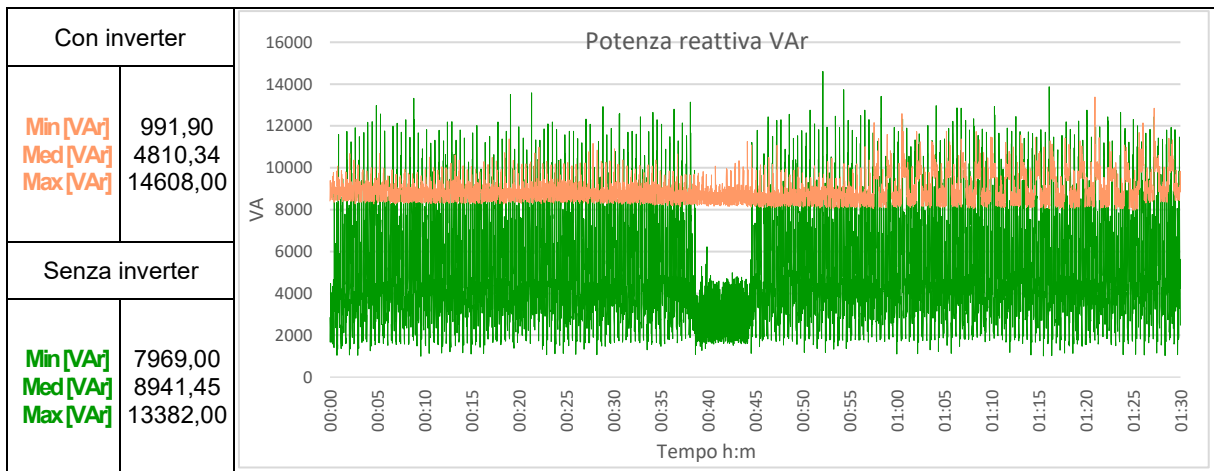
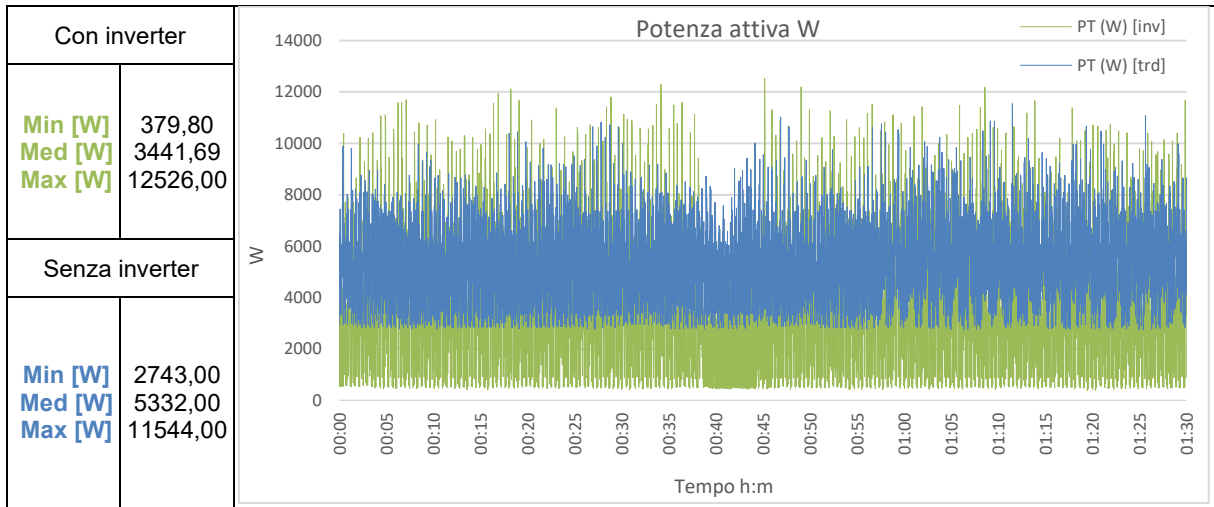
Misura del fattore di potenza PF e  $\cos\phi$



# ROCCO GOFFREDO

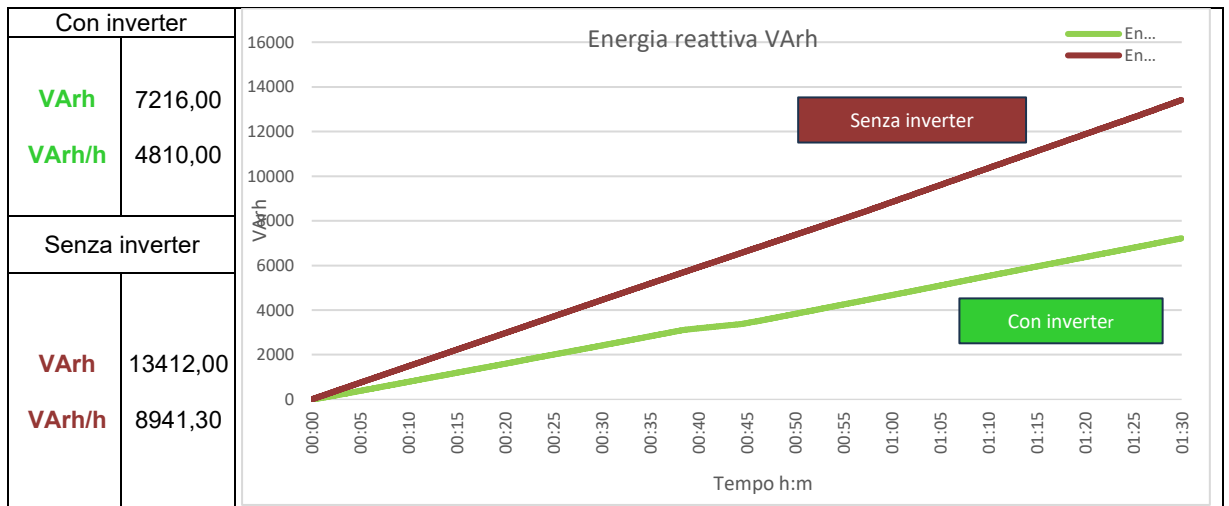
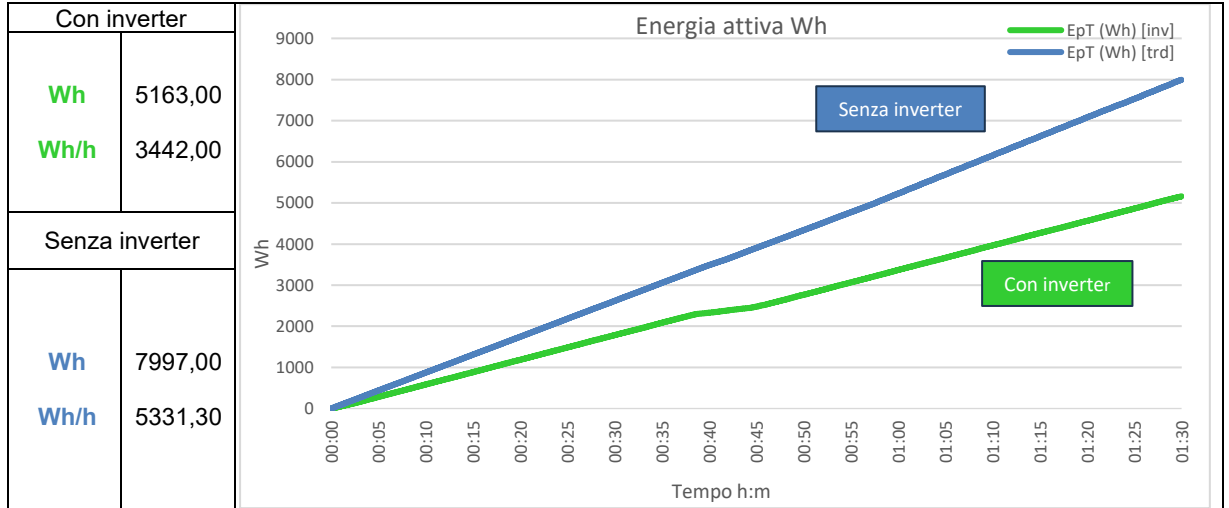
consulenze impianti elettrici

## Andamento delle potenze attiva e reattiva



Andamento delle energie attiva e reattiva

Andamento dell'energia attiva e reattiva



## **Analisi dei risultati**

Nei grafici relativi a corrente, potenza ed energia, si osserva una chiara riduzione dei valori con l'uso dell'inverter. Si nota un fermo di circa sei minuti nella pressa dotata di inverter, probabilmente causato da un problema allo stampo. È evidente un sensibile aumento del cosφ.

I valori negativi derivano da un significativo incremento dei disturbi armonici, fenomeno tipico dell'elettronica di potenza come l'inverter. Gli inverter possono infatti introdurre disturbi armonici nella rete elettrica, causando problemi di compatibilità elettromagnetica e influenzando negativamente altri dispositivi elettronici. La gestione di questi disturbi richiede l'uso di filtri armonici.

## **Conclusioni**

Valutando i risultati ottenuti, si può affermare che l'obiettivo del miglioramento energetico della pressa è stato raggiunto. Il sistema funzionante con l'inserimento dell'inverter riduce il fabbisogno energetico di oltre il 30%, tenendo conto anche del fermo causato dal problema allo stampo.

I dati rilevati (non riportati in questa relazione) mostrano un significativo aumento dei disturbi armonici di 3°, 5°, 7°, 9° e 11° ordine in percentuali diverse. La valutazione di questi risultati e il dimensionamento di un filtro armonico adeguato sono essenziali per ogni tipo di inverter utilizzato. L'installazione di un filtro, preferibilmente del tipo attivo, aumenterà ulteriormente l'efficienza del sistema e avrà un impatto positivo sull'impianto elettrico a cui è collegata la pressa. Si consiglia vivamente la sua installazione.

## ***Appendici***

### **Misure di tensione e corrente di fase in RMS**

La misura in RMS (Root Mean Square) di tensione e corrente è estremamente utile, specialmente quando sono presenti disturbi armonici. Questi i motivi principali.

- **Precisione e rappresentazione reale.** La misura RMS fornisce una rappresentazione accurata del valore effettivo di una tensione o corrente alternata, considerando anche le componenti non sinusoidali. Questo è fondamentale per avere una visione chiara dell'energia che viene effettivamente trasportata e utilizzata in un sistema.
- **Gestione dei disturbi armonici.** Quando sono presenti disturbi armonici, la forma d'onda della tensione e della corrente può diventare distorta e non più sinusoidale. La misura RMS è in grado di considerare queste distorsioni e fornire un valore che rappresenta l'effettiva potenza dissipata o utilizzata, indipendentemente dalla complessità della forma d'onda.
- **Compatibilità con gli strumenti di misura.** Molti strumenti di misura, come i multimetri digitali, sono progettati per calcolare il valore RMS, permettendo così di ottenere letture accurate anche in presenza di disturbi armonici.
- **Analisi e diagnostica del sistema.** Misurare la tensione e la corrente in RMS permette di identificare e analizzare problemi legati ai disturbi armonici, come il surriscaldamento dei componenti, le perdite di efficienza e le possibili interferenze con altri dispositivi elettronici. Questo è cruciale per mantenere l'affidabilità e la performance ottimale del sistema elettrico.

Concludendo, si può affermare che la misura RMS è essenziale per ottenere una valutazione precisa delle prestazioni elettriche in presenza di forme d'onda distorte. Garantisce che si considerino tutte le componenti della tensione e corrente, incluse quelle armoniche, fornendo una base solida per l'analisi, la diagnostica e la gestione dei sistemi elettrici.

### **Potenza nei sistemi elettrici**

#### Potenza Attiva (P)

La potenza attiva, detta anche potenza reale o effettiva, è la potenza che viene effettivamente convertita in lavoro utile all'interno di un sistema elettrico. È quella che alimenta i dispositivi e produce energia utilizzabile, come luce, calore e movimento. La potenza attiva si misura in watt (W) ed è così calcolata:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Dove  $V$  è la tensione,  $I$  è la corrente e  $\cos\varphi$  è il fattore di potenza che considera lo sfasamento tra tensione e corrente.

#### Potenza Reattiva (Q)

La potenza reattiva rappresenta la potenza che oscilla tra la sorgente e il carico senza essere convertita in lavoro utile. È necessaria per mantenere i campi magnetici nei dispositivi come trasformatori e motori. La potenza reattiva si misura in volt-ampere reattivi (VAR) e si calcola come:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$$

# ROCCO GOFFREDO

consulenze impianti elettrici

## Potenza Apparente (S)

La potenza apparente è una combinazione di potenza attiva e potenza reattiva ed è una misura della capacità totale del sistema di trasportare energia. Si misura in volt-ampere (VA) ed è così calcolata:

$$P = V \cdot I$$

In tabella sono riportate le differenze chiave delle due grandezze.

Caratteristica	Potenza Attiva (P)	Potenza Reattiva (Q)	Potenza Apparente (S)
<b>Definizione</b>	Energia utile convertita in lavoro	Potenza necessaria per mantenere i campi magnetici	Capacità totale del sistema di trasportare energia
<b>Unità di Misura</b>	Watt (W)	Volt-ampere reattivi (VAR)	Volt-ampere (VA)
<b>Formula</b>	$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$	$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$	$P = V \cdot I$
<b>Considerazioni</b>	Include solo la componente utile dell'energia	Include la componente non convertita in lavoro	Include sia la componente utile che reattiva

## Energia nei sistemi elettrici

### Energia Attiva (EP)

L'energia attiva è la quantità totale di energia che viene effettivamente utilizzata nel tempo in un sistema elettrico. Nei sistemi con disturbi armonici, rimane una misura chiave per il consumo reale di energia. Si misura in watt ora (Wh) o chilowatt ora (kWh).

### Energia Reattiva

L'energia reattiva è la quantità di energia che oscilla tra la sorgente e il carico senza essere convertita in lavoro utile. È importante per il funzionamento di dispositivi come trasformatori e motori. Si misura in volt-ampere reattivi ora (VARh).

### Energia Apparente

L'energia apparente è la quantità totale di energia che il sistema è in grado di trasportare, inclusa l'energia che non viene effettivamente convertita in lavoro utile ma che è influenzata dagli armonici. Si misura in volt-ampere ora (VAh) o chilo volt-ampere ora (VAh).

### Considerazioni sui Disturbi Armonici

In presenza di disturbi armonici, la distinzione tra potenza ed energia attiva, reattiva e apparente diventa fondamentale. Gli armonici distorcono la forma d'onda della corrente e della tensione, aumentando la potenza apparente rispetto alla potenza attiva. Questo implica che una parte significativa dell'energia trasportata non viene effettivamente utilizzata per il lavoro utile, ma contribuisce ad aumentare le perdite e a caricare il sistema inutilmente.

In conclusione, comprendere la differenza tra potenza ed energia attiva, reattiva e apparente è essenziale per la gestione e l'ottimizzazione dei sistemi elettrici, soprattutto in presenza di disturbi armonici. Tenendo conto degli armonici, è possibile migliorare l'efficienza energetica e ridurre gli sprechi.



## Cosφ e Fattore di Potenza PF

### Cosφ (Fattore di potenza tradizionale)

Il fattore di potenza, rappresentato come "cosφ", è una misura dell'efficienza con cui la corrente elettrica viene convertita in lavoro utile. Un valore di cosφ vicino a 1 indica che la maggior parte della potenza viene utilizzata efficacemente, mentre un valore più basso indica una maggiore componente di potenza reattiva, che non contribuisce al lavoro utile.

Il cosφ rappresenta il coseno dell'angolo di fase φ tra la tensione e la corrente in un sistema di alimentazione. Questo valore è particolarmente significativo nei sistemi di alimentazione sinusoidali e può essere descritto come il rapporto tra la potenza attiva (utile) e la potenza apparente.

$$\text{Cos}\phi = \frac{\text{Potenza Attiva [W]}}{\text{Potenza Apparente [VA]}}$$

Limiti:

- non considera i disturbi armonici;
- è accurato solo per forme d'onda puramente sinusoidali.

### Fattore di potenza (PF) in presenza di disturbi armonici

Il "PF (Power Factor)" è una misura più comprensiva rispetto al cosφ, soprattutto quando si hanno disturbi armonici. Tiene conto sia dello sfasamento tra tensione e corrente sia delle deformazioni della forma d'onda.

$$\text{PF} = \frac{\text{Potenza Attiva [W]}}{\text{Potenza Totale [VA]}}$$

Dove la "Potenza Totale" include non solo la potenza reattiva dovuta all'angolo di fase, ma anche la potenza dovuta agli armonici.

Vantaggi:

- considera la distorsione armonica, offrendo una misura più accurata della reale efficienza del sistema.
- è essenziale per la diagnostica e l'ottimizzazione dei sistemi elettrici moderni.

In tabella si può notare il confronto tra le due grandezze

Misura	Cosφ (Tradizionale)	PF (con Armonici)
Definizione	Coseno dell'angolo di fase tra tensione e corrente	Rapporto tra potenza attiva e potenza totale
Precisione	Solo per forme d'onda sinusoidali	Considera distorsioni armoniche
Utilizzo	Sistemi con carichi lineari	Sistemi con carichi non lineari (armonici)
Calcolo	$\text{Cos}\phi = \frac{\text{Potenza Attiva [W]}}{\text{Potenza Apparente [VA]}}$	$\text{PF} = \frac{\text{Potenza Attiva [W]}}{\text{Potenza Totale [VA]}}$

Da tutto quanto esposto si può concludere che, mentre il cosφ è perfetto per applicazioni tradizionali e semplici, il fattore di potenza PF offre una visione più completa e accurata delle prestazioni del sistema quando sono presenti disturbi armonici. Saper utilizzare entrambe le misure, a seconda del contesto, permette di ottimizzare l'efficienza e la diagnosi dei sistemi elettrici in modo più preciso.

## Correnti e tensioni armoniche

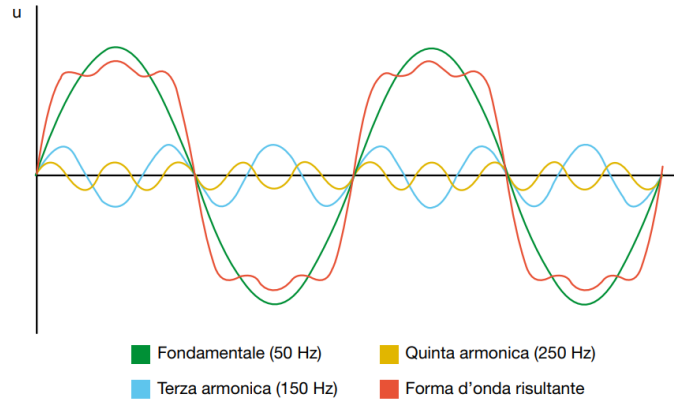
Le correnti e le tensioni armoniche sono generate dai carichi non lineari collegati alla rete. La circolazione delle correnti armoniche crea tensioni armoniche attraverso le impedenze della rete, causando così una deformazione della tensione di alimentazione.

Secondo il teorema di Fourier, qualsiasi funzione periodica di periodo  $T$ , generalmente continua e limitata, può essere rappresentata da una serie di infiniti termini sinusoidali con frequenze multiple intere della frequenza della funzione originaria. L'armonica con frequenza corrispondente al periodo della forma

d'onda originaria è detta armonica fondamentale, mentre quella con frequenza uguale a "n" volte quella della fondamentale si chiama armonica di ordine "n".

In base al teorema di Fourier, una forma d'onda perfettamente sinusoidale non presenta armoniche di ordine diverso dalla fondamentale. La presenza di armoniche in un sistema elettrico è quindi indice della deformazione della forma d'onda della tensione o della corrente, il che può comportare cattivi funzionamenti alle apparecchiature.

In figura è rappresentata la sommatoria di armoniche e il risultato rispetto alla fondamentale.



## THD (Total Harmonic Distortion)

Tra gli indicatori più importanti troviamo i THD (Total Harmonic Distortion), che indicano il contenuto armonico totale di una grandezza periodica. Vi sono diversi THD, calcolati con formule differenti. La formula tipicamente utilizzata è il rapporto tra il valore RMS di tutte le armoniche presenti nella grandezza in analisi e il valore della sua fondamentale. Ad esempio, per un segnale di corrente elettrica:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1}$$

Dove  $I_1$  è il valore efficace della corrente fondamentale a 50 Hz, e  $I_n$  è il valore efficace dell'armonica di ordine  $n$ .

Per una grandezza sinusoidale, il THD ha valore nullo poiché gli elementi al numeratore sono tutti nulli. Viceversa, tanto più il valore del THD è elevato, tanto più la grandezza è distorta. Ad esempio, un THD del 50% significa che il valore efficace totale delle componenti armoniche è pari alla metà del valore efficace della fondamentale; un THD del 100% significa che il valore efficace totale delle componenti armoniche è uguale al valore efficace della fondamentale; un THD superiore al 100% indica che il valore efficace totale delle componenti armoniche è maggiore di quello della fondamentale.

Le misurazioni nei sistemi industriali possono portare a risultati di THD molto elevati, anche oltre il 100%.

## Normative e valutazione del THD

Non esistono normative "di impianto" che definiscano valori limite accettabili per il THD della corrente. Ogni impianto fa storia a sé, in funzione della sensibilità alle correnti distorte delle sue utenze e delle sue infrastrutture elettriche. Inoltre, la corrente può assumere valori molto variabili a seconda dello stato di funzionamento dell'impianto. Quando il carico dell'impianto è molto basso, il THD può risultare elevato,

# ROCCO GOFFREDO

consulenze impianti elettrici

ma tipicamente il problema non sussiste. In tal senso, per la corrente è più sensato valutare il TDD (Total Demand Distortion), ovvero la distorsione armonica alla massima corrente:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_2^N I_n^2}}{I_{1max}}$$

Le correnti distorte possono creare problemi gravi al corretto funzionamento dell'impianto, come guasti, surriscaldamenti, invecchiamento precoce dei componenti, interventi intempestivi delle protezioni e malfunzionamento delle utenze elettroniche. È quindi necessario determinare i valori massimi di distorsione della corrente ammissibili o consigliabili in un impianto elettrico di potenza.

## Publicazione IEEE 519

La pubblicazione IEEE 519 consiglia che il valore massimo del TDD in un impianto elettrico di potenza non superi i limiti indicati in base al rapporto tra la corrente di corto circuito della rete ( $I_{cc}$ ) e la corrente di massimo carico ( $I_{max}$ ), come riportato nella seguente tabella:

Distorsione massima della corrente armonica in percentuale di $I_L$						
Ordine armonico individuale (armoniche dispari) <sup>a, b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20 <sup>c</sup>	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

<sup>a</sup> Le armoniche pari sono limitate al 25% dei limiti armonici dispari di cui sopra.  
<sup>b</sup> Non sono consentite distorsioni di corrente che determinano un offset CC, ad esempio convertitori a semionda.  
<sup>c</sup> Tutte le apparecchiature per la produzione di energia sono limitate a questi valori di distorsione di corrente, indipendentemente dell'attuale  $I_{sc}/I_L$ . dove:  
 $I_{sc}$  = corrente massima di cortocircuito al PCC;  
 $I_L$  = corrente di carico massima a richiesta (componente fondamentale della frequenza) al PCC in condizioni di funzionamento con carico normale.

## Normativa CEI EN 50160

Per quanto riguarda la tensione, si fa riferimento alla normativa CEI EN 50160, che propone tabelle con i massimi valori di THD ammissibili per la tensione in funzione del livello di tensione della fornitura. Secondo questa norma, per la bassa e media tensione, il valore massimo di THD ammesso ai morsetti di fornitura è l'8%. Tuttavia, è consigliabile limitare la distorsione della tensione al 3-4%.

## Considerazioni finali

Il THD e il TDD, essendo indicatori sintetici, non permettono un'analisi esaustiva degli effetti della distorsione delle grandezze elettriche misurate. Per un'analisi più approfondita, è necessario esaminare il dettaglio del contenuto armonico tramite una valutazione grafica e matematica dello spettro di tutte le armoniche.