



# Trasformatori elettrici a basse perdite

*Ing. Fabrizio Ferrari*

**ANIE Energia**

*Presidente Gruppo Trasformatori*

*Milano, 21 Marzo 2017*

# Contenuti

- ☀️ Brochure ANIE
- ☀️ Regolamento EU 548/14 vs Norme
  - ☀️ *Regolamento Europeo n. 548/2014*
  - ☀️ *Norme tecniche CENELEC/CEI*
- ☀️ Tecnologie disponibili
- ☀️ Costo Capitalizzato del Trasformatore
- ☀️ Pay-Back
- ☀️ Sorveglianza del mercato

# Brochure ANIE

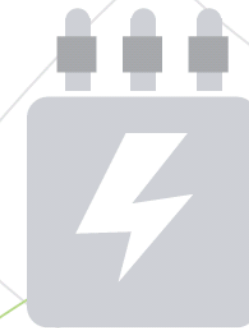
## I trasformatori dei costruttori associati ad ANIE

I sistemi di qualità delle aziende,  
le certificazioni, le caratteristiche di prodotto



## Efficienza Energetica Progettazione ecocompatibile dei trasformatori

Vademecum ANIE Energia  
sul Regolamento UE N.548/2014



Erp  
Eco Design  
Alta efficienza  
Basse Perdite

# Regolamento EU 548/2014

- ❁ **Eco design Directive 2009/125/EC** e relativi regolamenti che vietano la circolazione nello Spazio Economico Europeo di prodotti poco efficienti (es regolamento 640/2009 sui motori elettrici ad alta efficienza)
- ❁ **Trasformatori:** è stato emanato il Regolamento 584/2014 che vieta l'immissione nel mercato dal 1 luglio 2015 di trasformatori con perdite superiori a quelle indicate nelle tabelle (fase 1).
- ❁ Entro il 2017 la Commissione Europea raccoglierà e valuterà i dati relativi ai trasformatori messi in servizio dopo il 1 luglio 2015 per confermare i valori riportati nella fase 2 al 2021 o definire nuovi congrui valori applicabili.

# Regolamento EU 548/2014

- ☛ Gli obblighi in materia di progettazione ecocompatibile dei trasformatori, previsti dal Regolamento, riguardano i prodotti immessi sul mercato a partire dal 1 luglio 2015 (fase 1) e dal 1 luglio 2021 (fase 2).
- ☛ Nelle tabelle sono indicati:
  - ☛ Per i trasformatori di distribuzione M//BT i massimi valori di perdite a carico  $P_k$  e a vuoto  $P_0$
  - ☛ Per i trasformatori di potenza AT/MT il valore minimo dell'indice di efficienza di picco (PEI - %) da rispettare
- ☛ Il trasformatore non deve essere obbligatoriamente conforme al Regolamento se viene esportato fuori dallo Spazio Economico Europeo.

# Regolamento EU 548/2014

I normali interventi per ridurre le perdite consistono principalmente nel ridurre:

- ☀ l'induzione per le perdite a vuoto;
- ☀ la densità di corrente per le perdite a carico.

Per rientrare nei valori di perdite definite dal regolamento é inoltre possibile l'adozione di lamierini a minore perdita che permettono di contenere massa e dimensioni del trasformatore.

# Trasformatori – Vecchie Norme

## Trasformatori a secco

- ☀ CEI EN 50541-1: Trasformatori trifase di distribuzione di tipo a secco a 50 Hz da 100 kVA a 3150 kVA
- ☀ Norma preparata dal CENELEC in vigore dal 01-12-2011

## Trasformatori in olio

- ☀ CEI EN 50464-1: Trasformatori trifase di distribuzione immersi in olio a 50 Hz da 50 kVA a 2500 kVA
- ☀ Norma preparata dal CENELEC in vigore dal 01-10-2007

# Trasformatori – Nuove Norme

**CEI EN 50588-1:** Trasformatori di media potenza a 50 Hz, con tensione massima per il componente non superiore a 36 kV:

- ☀️ Pubblicata il 1 settembre 2015
- ☀️ riguarda i trasformatori trifase (sia a secco che in olio) da 25 kVA a 40 MVA con due avvolgimenti ed una tensione massima per il componente di 36 kV
- ☀️ In sostituzione di quelle precedenti

**CEI EN 50629:** Prestazione energetica dei trasformatori di grande potenza (tensione massima per il componente superiore a 36 kV o con potenza superiore a 40 MVA).

- ☀️ Pubblicata il 1 settembre 2015



# Trasformatori – Nuove Norme

## Norma EN 50588-1

- ☛ Sostituisce sia la EN 50464-1 che la EN 50541-1.
- ☛ Introduce cambiamenti tecnici (in conformità al reg. 548/2014):
  1. Nello stesso documento sono contenuti sia i trasformatori a secco che quelli in olio
  2. Lo scopo di applicazione è esteso da 3150 kVA a 40 MVA
  3. Nelle tabelle di perdite sono introdotti nuovi valori ridotti
  4. Per i trasformatori con potenza  $> 3150$  kVA viene introdotto il concetto di Peak Efficiency Index (PEI)
  5. Le tolleranze del + 5% (come imposto dal reg. 584/2014) si riferiscono esclusivamente alla verifica dei parametri misurati dalle autorità degli Stati membri e non sono utilizzate dal fabbricante o dall'importatore come tolleranze ammesse per stabilire i valori riportati nella documentazione tecnica, che non devono superare quelli indicati sulle tabelle (tolleranza 0).

# Tecnologie disponibili - Trasformatori isolati in olio

I trasformatori isolati in olio, sono quelli di gran lunga più usati. Essi sono la quasi totalità dei trasformatori impiegati da Enel.

Essi sono caratterizzati da:

- ☀ basse perdite
- ☀ rumore molto contenuto
- ☀ assenza di manutenzione (per i tipi con cassa ermetica)
- ☀ elevata resistenza agli shocks termici
- ☀ installazione all'esterno
- ☀ quasi totale riciclabilità dei materiali a fine vita

# Perdite a vuoto | Trasformatori in olio

Perdite a vuoto del Regolamento in confronto con quelle esistenti nel mercato privato italiano

Perdite a vuoto Tabella 3 di EN 50464-1 ( $U_m \leq 24$  kV)

Potenza (kVA)	$E_0$ (W)	$A_0$ (W)	$\Delta A_0$ in confronto ad $E_0$ (%)
50	190	90	-53
100	320	145	-55
160	460	210	-54
250	650	300	-54
400	930	430	-54
630	1300	600	-54
630	1200	560	-53
800	1400	650	-54
1000	1700	770	-55
1250	2100	950	-55
1600	2600	1200	-54
2000	3100	1450	-53
2500	3500	1750	-50

# Perdite a carico | Trasformatori in olio

Perdite a carico da Tabella 2 di EN 50464-1 ( $U_m \leq 24$  kV)

Potenza (kVA)	$D_k$ (W)	$C_k$ (W)	$\Delta C_k$ in confronto a $D_k$ (%)
50	1350	1100	-19
100	2150	1750	-19
160	3100	2350	-24
250	4200	3250	-23
400	6000	4600	-23
630	8400	6500	-23
630	8700	6750	-22
800	10500	8400	-20
1000	13000	10500	-19
1600	20000	14000	-30
2000	26000	18000	-31
2500	32000	22000	-31

# Tecnologie disponibili - Trasformatori a secco

I trasformatori isolati in resina, sono stati sviluppati come una delle possibili soluzioni volte a minimizzare i rischi d'incendio e conseguente contaminazione dell'ambiente, che possono essere connessi con l'impiego di trasformatori isolati in olio. **Rappresentano l'80% del mercato privato italiano**

Le applicazioni tipiche sono:

- Edifici ad alta densità abitativa
- Centri commerciali
- Ospedali
- Metropolitane
- Impianti di generazione eolica e fotovoltaica
- Piattaforme per l'estrazione di idrocarburi
- Navi
- Impianti petrolchimici
- Centrali nucleari, ecc.

# Perdite a vuoto | Trasformatori a secco

Perdite a vuoto da Tabella 5 EN 50541-1 (Um 17.5 - 24kV)

Perdite a vuoto del Regolamento in confronto con quelle esistenti nel mercato private italiano.

Potenza (kVA)	C <sub>0</sub> (W)	A <sub>0</sub> (W)	Δ A <sub>0</sub> compared to C <sub>0</sub> (%)
100	460	280	-39
160	650	400	-38
250	880	520	-41
400	1200	750	-38
630	1650	1100	-33
800	2000	1300	-35
1000	2300	1550	-33
1250	2800	1800	-36
1600	3100	2200	-29
2000	4000	2600	-35
2500	5000	3100	-38

# Perdite a carico | Trasformatori a secco

Perdite a carico da Tabella 5 EN 50541-1 ( $U_m$  17.5 - 24kV)

Fino a 630 kVA le perdite rimangono  $B_k$

Potenza (kVA)	$B_k$ (W)	$A_k$ (W)	$\Delta A_k$ compared to $B_k$ (%)
800	9800	8000	-18
1000	11000	9000	-18
1250	13000	11000	-15
1600	16000	13000	-19
2000	18000	16000	-11
2500	23000	19000	-17

## Costo del trasformatore a basse perdite

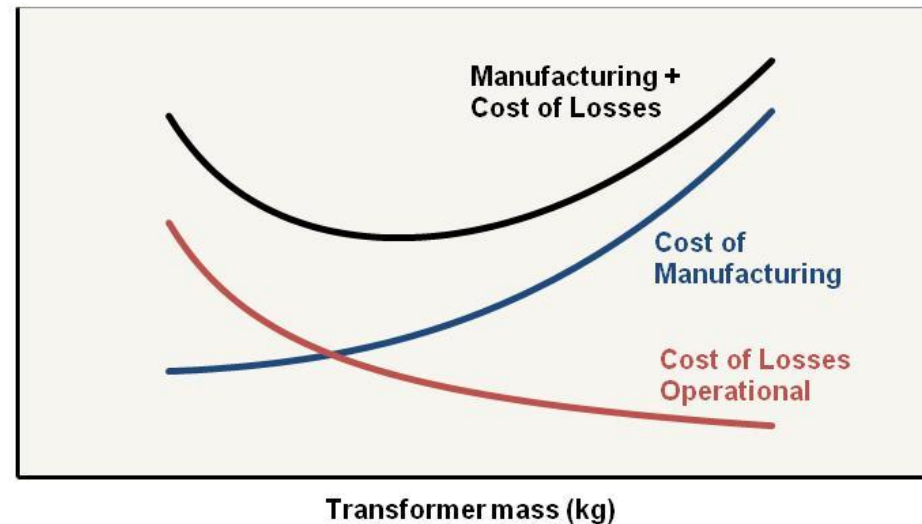
- La riduzione delle perdite comporta importanti benefici per l'ambiente legati alla minor emissione di gas serra.
- Un trasformatore con perdite ridotte ha un costo d'acquisto maggiore. **Perché spendere di più?**
- È necessario farlo poiché è in vigore il Regolamento Europeo, ma se nel valutare l'acquisto del trasformatore si **calcola il costo capitalizzato**, può risultare conveniente, a prescindere dal Regolamento, acquistare un trasformatore a basse perdite.



# Costo capitalizzato del trasformatore

## dimensionamento ottimale

- Il dimensionamento che si prefigge il costo minimo di fabbricazione ha come risultato un incremento delle perdite e del costo di esercizio per l'acquirente e l'esercente del trasformatore
- D'altra parte una riduzione delle perdite causa un maggior costo di fabbricazione
- La soluzione più conveniente dal punto di vista del costo totale è rappresentata dal minimo della somma del costo di fabbricazione più il costo delle perdite.**



# Costo capitalizzato del trasformatore

## Calcolo ( $C_C$ )

$$C_C = C_A + AP_0 + BP_k$$

dove:

- ☀  $C_C$  = costo capitalizzato;
- ☀  $C_A$  = costo per l'acquisto del trasformatore;
- ☀  $A$  = fattore di capitalizzazione delle perdite a vuoto espresso in €/kW
- ☀  $P_0$  = perdite a vuoto garantite in kW;
- ☀  $B$  = fattore di capitalizzazione delle perdite a carico espresso in €/kW
- ☀  $P_k$  = perdite a carico garantite in kW.

# Costo capitalizzato del trasformatore

## calcolo dei coefficienti A e B

Per poterli calcolare opportunamente occorre sapere:

- Quante ore l'anno il trasformatore è energizzato  
*(tipicamente = 8760 ore)*
- Quante ore l'anno il trasformatore lavora con un carico collegato  
*(ad es. una cartiera che lavora 6 gg/settimana circa 6.500 ore)*
- A quale % della sua potenza lavora mediamente  
*(tipicamente un trasformatore di distribuzione è sempre sovradimensionato)*
- Costo del kWh
- Aspettative sullo sviluppo dei consumi

Valori tipici:

A: 6.000 – 9.000 €/kW; B: 800 – 3.700 €/kW

# Calcolo del tempo di rientro (Pay Back)

## Tempo di rientro (Pay-Back) della differenza del costo d'acquisto di trasformatori di diversa efficienza

- ❁ Meno accurato, ma di più semplice utilizzo, veloce e molto usato.
- ❁ Confrontare il costo di acquisto di 2 trasformatori, con diversa efficienza e diverso prezzo, e di considerare il risparmio economico annuale dovuto alla maggiore efficienza.
- ❁ Dividendo la differenza dei costi d'acquisto dei due trasformatori per il risparmio annuale si ottiene il tempo in cui l'investimento si ripaga.
- ❁ **Attenzione: non tiene conto della variazione del costo dell'energia elettrica negli anni e l'attualizzazione del valore della moneta.**

## Calcolo del tempo di rientro (Pay Back)


$$n = (C_{AR} - C_{AS}) / [A(P_{OR} - P_{OS}) + B(P_{KR} - P_{KS})]$$

Dove:


- ☀  $C_{AR}$ : costo d'acquisto di un trasformatore a basse perdite
- ☀  $C_{AS}$ : costo d'acquisto di un trasformatore standard
- ☀ **A: costo specifico annuale delle perdite a vuoto**
- ☀  $P_{OS}$ : perdite a vuoto del trasformatore standard
- ☀  $P_{OR}$ : perdite a vuoto del trasformatore a perdite ridotte
- ☀ **B: costo specifico annuale delle perdite a carico**
- ☀  $P_{KS}$ : perdite a carico del trasformatore standard
- ☀  $P_{KR}$ : perdite a carico del trasformatore a basse perdite

Valori tipici di rientro degli investimenti: **1,6 – 5,4 anni**

# Sorveglianza del mercato – trasformatori elettrici



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




Username

Password

[Serve aiuto?](#)

🏠 Home
☰ Trasformatori

🔒 Accedi
✍ Registrati

> Produttore

> Isolamento

> Potenza

> Tensione primaria



> Livello isolamento primario

> Tensione secondaria

> Livello isolamento secondario

🔍 Cerca

LINKS

 Power and productivity for a better world™			
			
			
			



Grazie per l'attenzione  
[anienergia.anie.it](http://anienergia.anie.it)

