



Trasformatori elettrici a basse perdite

Fabrizio Ferrari
ANIE Energia
Presidente Gruppo Trasformatori
Bergamo, 28 Novembre 2019

Contenuti

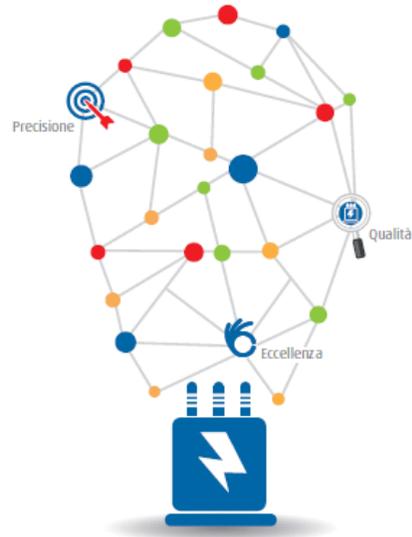
- ☀ Brochure ANIE
- ☀ Regolamento EU 548/14 vs Norme
 - ☀ *Regolamento Europeo n. 548/2014*
 - ☀ *Norme tecniche CENELEC/CEI*
- ☀ Tecnologie disponibili
- ☀ Costo Capitalizzato del Trasformatore
- ☀ Pay-Back
- ☀ Sorveglianza del mercato
- ☀ Nuovo Regolamento UE 1783/2019

Brochure ANIE



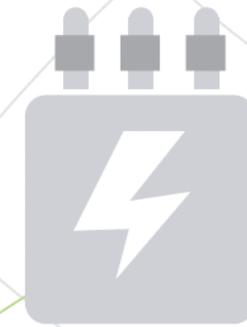
I trasformatori dei costruttori associati ad ANIE

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 548/2014 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 raccoglie e valuta 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 – Nuove Norme

CEI EN 50588-1 (futura EN 50708-2-1): 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 (futura EN 50708-3-1) : 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 (futura EN 50708-2-1)

- ☛ 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)	ΔA_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)	ΔC_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 privato italiano.

Potenza (kVA)	C ₀ (W)	A ₀ (W)	Δ A ₀ compared to C ₀ (%)
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)	ΔA_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

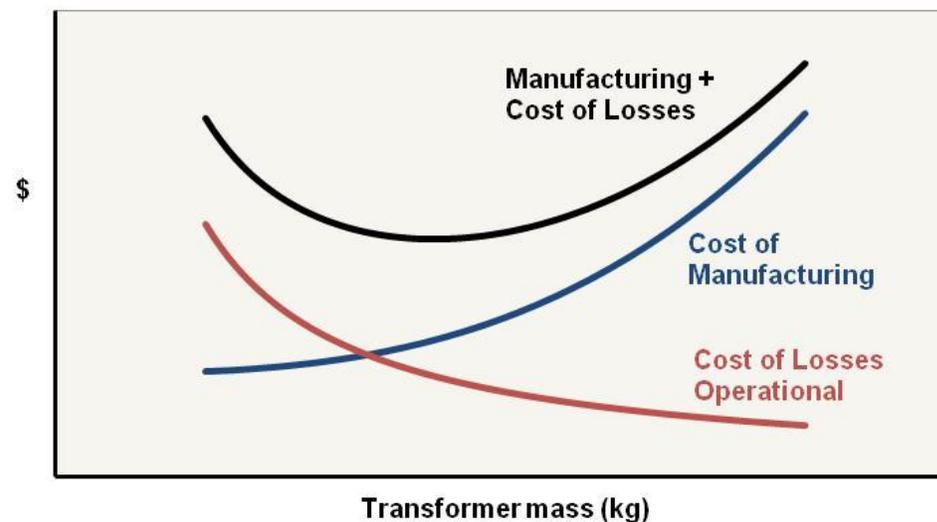
Costo del trasformatore a basse perdite

- ❁ 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

The screenshot displays the ENEC website interface. At the top, there is a green header with the ENEC logo and the tagline "Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile". To the right of the header are language selection flags (UK and Italy) and login fields for "Username" and "Password", with a "Serve aiuto?" link. Below the header is a navigation bar with "Home" and "Trasformatori" (selected) buttons, and "Accedi" and "Registrati" buttons.

On the left side, there is a search bar labeled "Cerca" and a vertical list of filter buttons: "Produttore", "Isolamento", "Potenza", "Tensione primaria", "Livello isolamento primario", "Tensione secondaria", and "Livello isolamento secondario". A "Cerca" button is located below the filters.

The main content area features a grid of transformer manufacturer logos:

- ABB: Power and productivity for a better world™
- bticino
- CELME
- ELETTROMECCANICA COLOMBO
- GETRA
- HPS Hammond Power Solutions
- IMEFY
- ocrev
- SEA
- Tesar
- TMC (CAST RESIN TRANSFORMERS, TMC ITALY GROUP)
- TRAFOELETTRO
- EV&C (SOCIETÀ ELETTROMECCANICHE MANFROTTO & C. S.p.A.)

At the bottom left, there is a "LINKS" section.

Sorveglianza del mercato – progetto INTAS

Il progetto INTAS è iniziato nel marzo 2016 e si è concluso ad inizio 2019. Ha affrontato la necessità di sostenere le autorità europee di sorveglianza del mercato (MSAs) per rispettare i requisiti di progettazione ecocompatibile per grandi prodotti industriali, in particolare trasformatori e ventilatori.

L'obiettivo del progetto INTAS è stato quello di fornire un supporto tecnico e cooperativo, nonché attività di sviluppo delle capacità, alle autorità di sorveglianza del mercato (MSA). La necessità del progetto INTAS nasce dalla difficoltà che gli MSA e gli attori del mercato affrontano per stabilire e verificare la conformità ai requisiti di prestazioni energetiche per i grandi prodotti industriali soggetti ai requisiti della direttiva sulla progettazione ecocompatibile, in particolare trasformatori e ventilatori industriali.

Regolamento UE 548/2014 – Tier 2 Vito Study

- Pubblicato il 3 Luglio 2017: **PREPARATORY STUDY FOR THE REVIEW OF COMMISSION REGULATION 548/2014 ON ECODESIGN REQUIREMENTS FOR SMALL, MEDIUM AND LARGE POWER TRANSFORMERS**
- Valutazione del fatto che i requisiti del Tier 2 siano ancora efficaci dal punto di vista del ciclo di vita
- Requisiti per i trasformatori di media potenza basati sul PEI
- Requisiti di prestazioni energetiche per trasformatori monofase
- Concessioni di regolazione per trasformatori su palo e trasformatori con speciali combinazioni di tensioni di avvolgimento
- Criteri per la riparazione dei trasformatori
- Potenziali requisiti del Tier 3 e altre questioni

Nuovo Regolamento UE 1783/2019

Publicato in Gazzetta Ufficiale il 25 ottobre. Principali prescrizioni:

- Eccezioni per sottostazioni urbane, dove ci potrebbero essere problemi di spazio e di peso, se i costi di installazione sono «sproporzionati»
- Modificati i fattori di correzione da applicare alle perdite a vuoto e a carico per i trasformatori di media potenza con combinazioni speciali di tensione degli avvolgimenti
- Relativamente ai trasformatori di grande potenza rispettivamente in olio e in resina, sono stati specificati i PEI per i trasformatori con potenza ≤ 4 MVA
- In merito alla sorveglianza si specifica che potrebbero essere utilizzati i Factory Acceptance Test (FAT)
- Viene indicato che entro il 1 luglio 2023 la Commissione verificherà lo stato dell'arte dell'implementazione del Tier 2 e deciderà se:
 - Preparare un Tier 3
 - Creare un metodo che non sia legato alla tecnologia (quindi indicazioni uniche che valgano sia per olio che per resina)
 - Sono ancora giustificate le esclusioni degli offshore
 - Rivalutare la questione dei trasformatori su palo
 - Considerare anche aspetti ambientali come il rumore



Grazie per l'attenzione
anienergia.anie.it

