



Trasformatori elettrici a basse perdite

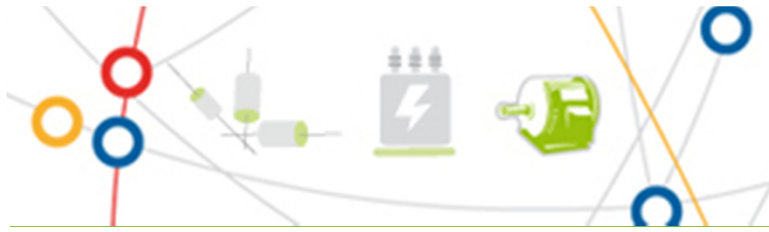
*07 Novembre 2014
Ing. Francesco Colla*

Presidente Commissione Tecnica
Gruppo Trasformatori ANIE Energia



@ANIEnergia | #industriaefficiente





Contenuti

- ☀️ Trasformatori di distribuzione
 - ☀️ *Norme in vigore*
 - ☀️ *Norme in preparazione*
 - ☀️ *Nuovo regolamento EU*
- ☀️ Tecnologie disponibili
- ☀️ Costo Capitalizzato del Trasformatore
- ☀️ Pay-Back



Trasformatori di distribuzione - norme in vigore

Trasformatori a secco

- ☀ CEI EN 50541-1:2011-04, Trasformatori trifase di distribuzione
- ☀ Norma preparata dal CENELEC in vigore dal 01-12-2011

Trasformatori in olio

- ☀ CEI EN 50464-1: 2007-08, Trasformatori trifase di distribuzione
- ☀ Norma preparata dal CENELEC dal 01-10-2007



Trasformatori di distribuzione - norme in preparazione

EN 50588-1: Trasformatori medi a 50 Hz, con tensione massima per il componente non superiore a 36 kV:

- ☀ riguarda i trasformatori trifasi (a secco e 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 attualmente in vigore

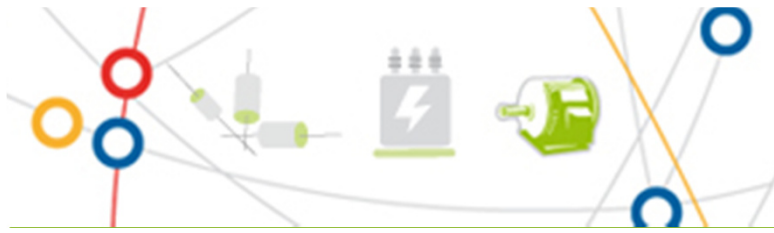
EN 50569: Trasformatori con tensione massima per il componente superiore a 36 kV.



Trasformatori di distribuzione - norme in preparazione

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). *Si tratta di un parametro mai usato in precedenza che non sarà di facile gestione.*
 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).



< ATTENZIONE >



- ☀ Gli aspetti tecnici indicati negli allegati del Regolamento prevalgono sulle norme di prodotto.
- ☀ Quindi i trasformatori in circolazione sul mercato EU dovranno essere conformi al Regolamento.



Nuovo regolamento EU per i trasformatori

- ❁ **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 vieterà l'immissione nel mercato dal **1 luglio 2015** di trasformatori con perdite superiori a quelle indicate nelle tabelle che troverete negli atti.
- ❁ 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 applicabil.



Nuovo regolamento EU per i trasformatori

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



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:

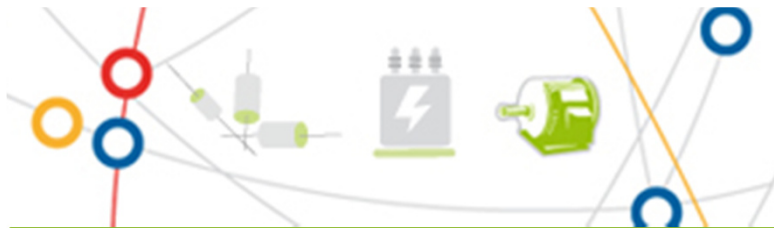
- ☀ basse perdite
- ☀ rumore molto contenuto
- ☀ assenza di manutenzione (per i tipi con cassa ermetica)
- ☀ elevata resistenza agli shocks termici
- ☀ installazione all'esterno
- ☀ quasi totale riciclabilità dei materiali a fine vita



Confronto perdite a vuoto | Trasformatori in olio

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

| Perdite a vuoto Tavola 3 di EN 50464-1 ($U_m \leq 24$ kV) | | | |
|--|-----------|-----------|--|
| Potenza (kVA) | E_o (W) | A_o (W) | ΔA_o in confronto ad E_o (%) |
| 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 |



Confronto perdite a carico | Trasformatori in olio

Perdite a carico da Tavola 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.



Confronto perdite a vuoto | Trasformatori a secco

Perdite a vuoto da Tavola 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 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 |

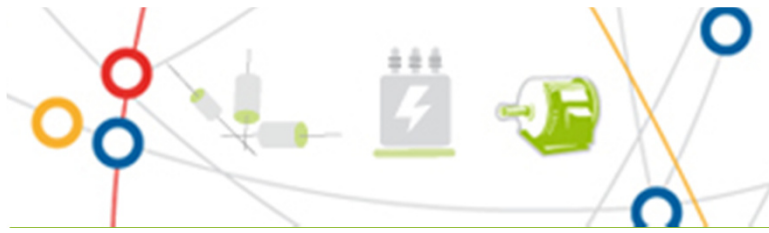


Confronto perdite a carico | Trasformatori a secco

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

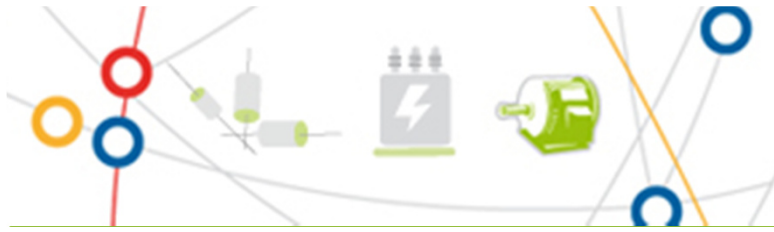
Fino a 630 kVA le perdite rimangono B_k

| 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 |



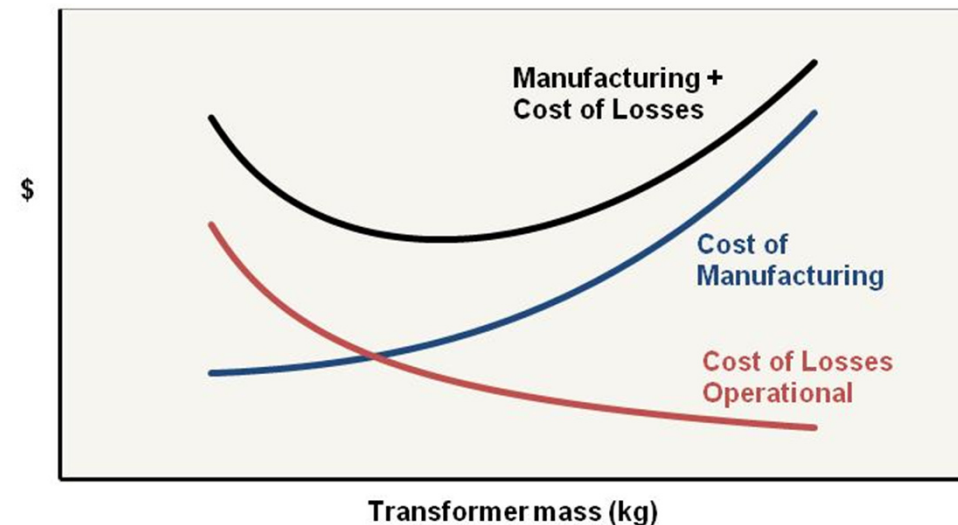
Costo del trasformatore a basse perdite

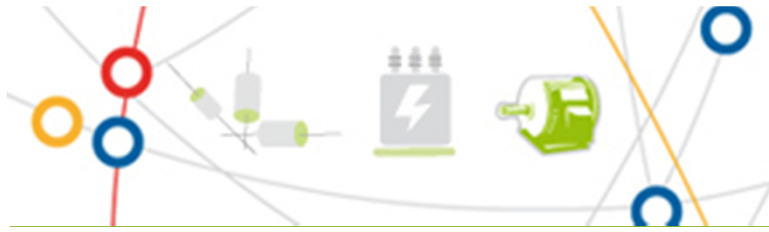
- ☀ La riduzione delle perdite comporta importanti benefici per l'ambiente legati alla minor emissione di gas serra.
- ☀ Un trasformatore con perdite ridotte ha un costo d'acquisto maggiore. **Perché spendere di più?**
- ☀ Sarà necessario farlo quando entrerà in vigore il Regolamento Europeo, ma se nel valutare l'acquisto del trasformatore si **calcola il costo capitalizzato**, può risultare conveniente, fin da subito, 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:

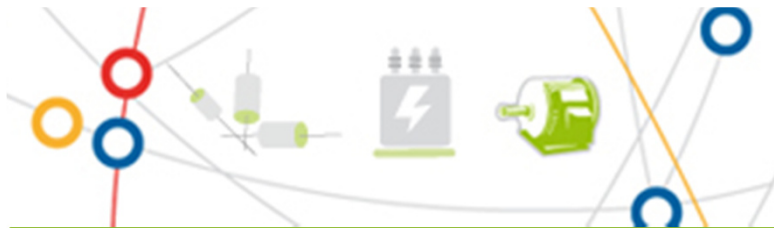
- ☀ C_C = costo capitalizzato;
- ☀ C_A = costo per l'acquisto del trasformatore;
- ☀ A = fattore di capitalizzazione delle perdite a vuoto espresso in €/kW
- ☀ P_0 = perdite a vuoto garantite in kW;
- ☀ B = fattore di capitalizzazione delle perdite dovute al carico espresso in €/kW
- ☀ P_k = perdite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



Costo capitalizzato del trasformatore calcolo dei coefficienti A e B

Per poterli calcolare opportunamente occorre sapere:

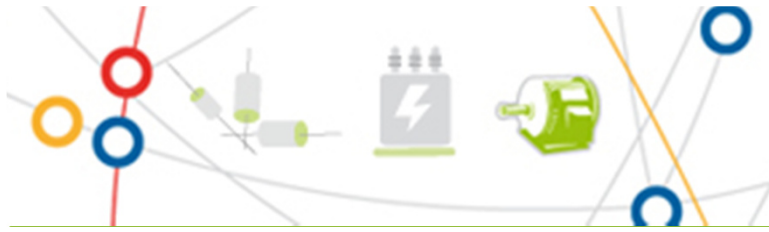
- ☀ Quante ore l'anno il trasformatore è energizzato
(tipicamente = 8760 ore)
- ☀ Quante ore l'anno il trasformatore lavora con un carico collegato
(ad es. una cartiera che lavora 6 gg/settimana circa 6.500 ore)
- ☀ A quale % della sua potenza lavora mediamente
(tipicamente un trasformatore di distribuzione è sempre sovradimensionato e siamo sotto il 50%)
- ☀ Costo del kWh
- ☀ Aspettative sullo sviluppo dei consumi



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 è il sistema più corretto perché guarda ad un orizzonte temporale molto breve e 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)

$$n = (C_{AR} - C_{AS}) / [A(P_{OR} - P_{OS}) + B(P_{KR} - P_{KS})] = \mathbf{1,6 \text{ ANNI}}$$

Dove:

| | | |
|---|---|------------|
| ☀ | C_{AR} : costo d'acquisto di un trasformatore a basse perdite | 10.600 € |
| ☀ | C_{AS} : costo d'acquisto di un trasformatore standard | 9.500 € |
| ☀ | A: costo specifico annuale delle perdite a vuoto | 1.314 €/kW |
| ☀ | P_{OS} : perdite a vuoto del trasformatore standard | 2,6 kW |
| ☀ | P_{OR} : perdite a vuoto del trasformatore a perdite ridotte | 2,3 kW |
| ☀ | B: costo specifico annuale delle perdite dovute al carico | 235 €/kW |
| ☀ | P_{KS} : perdite dovute al carico del trasformatore standard in | 11 kW |
| ☀ | P_{KR} : perdite dovute al carico del trasformatore a basse perdite | 9,8 kW |



Grazie per l'attenzione

 [@ANIEnergia](https://twitter.com/ANIEnergia) | [#industriaefficiente](https://twitter.com/industriaefficiente)

www.anienergia.it | energia@anie.it



ANIE Energia - viale Lancetti, 43 - 20158 Milano, Italy - energia@anie.it