



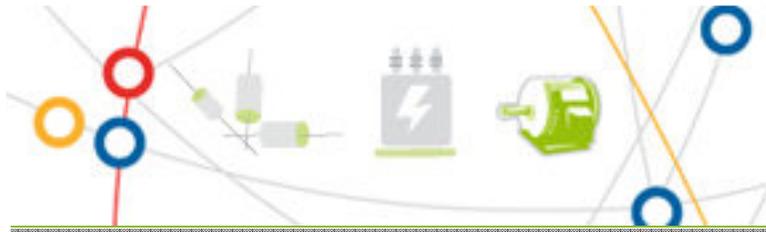
Trasformatori elettrici a basse perdite

EnergyMedia Event - 22 Ottobre 2014

Ing. Francesco Colla

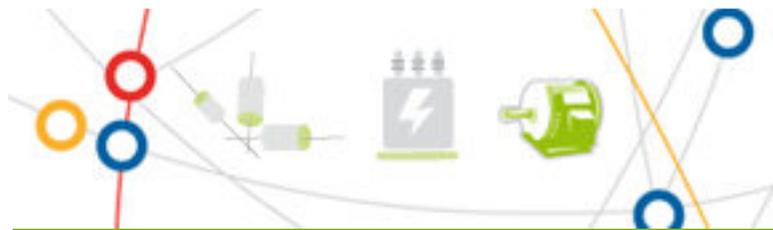
Presidente Commissione Tecnica
Gruppo Trasformatori ANIE Energia





Contenuti

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



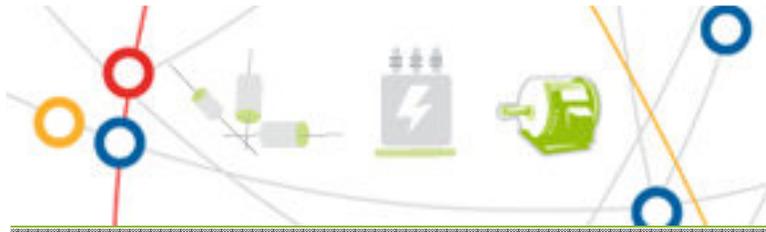
Trasformatori di distribuzione - norme in vigore

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



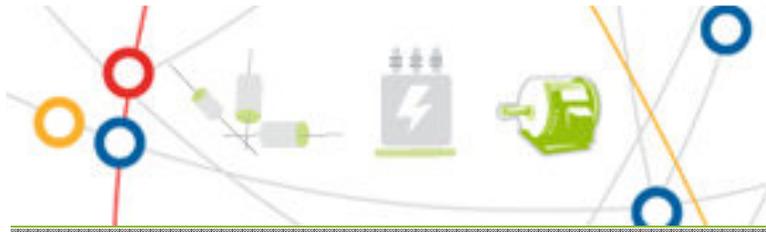
Trasformatori di distribuzione - norme in preparazione

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

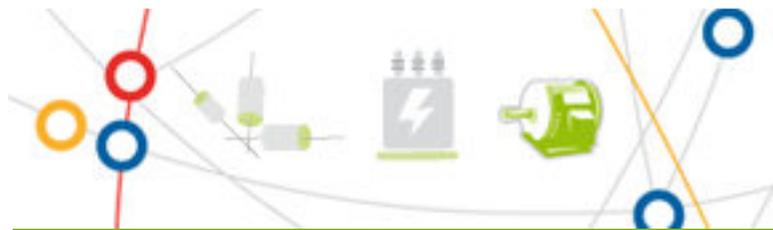
EN 50569: Trasformatori con tensione massima per il componente superiore a 36 kV.



Trasformatori di distribuzione - norme in preparazione

Norma EN 50588-1

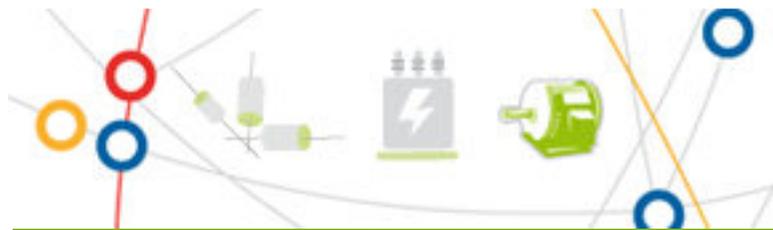
- ☀ Sostituisce sia la EN 50464-1 che la EN 50541-1.
- ☀ Introduce cambiamenti tecnici (in conformità al reg. 548/2014):
 1. Nello stesso documento sono contenuti sia i trasformatori a secco che quelli in olio
 2. Lo scopo di applicazione è esteso da 3150 kVA a 40 MVA
 3. Nelle tabelle di perdite sono 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 >

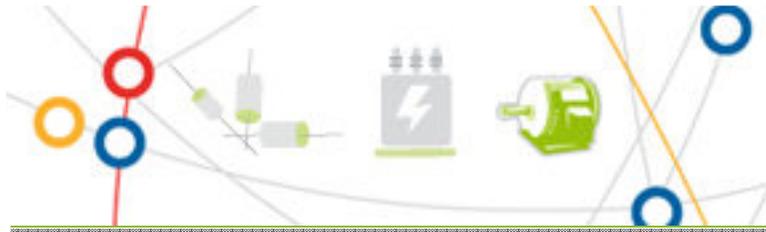


- ☀️ Gli aspetti tecnici indicati negli allegati del Regolamento prevalgono sulle norme di prodotto.
- ☀️ Quindi i trasformatori in circolazione sul mercato EU dovranno essere conformi al Regolamento.



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.



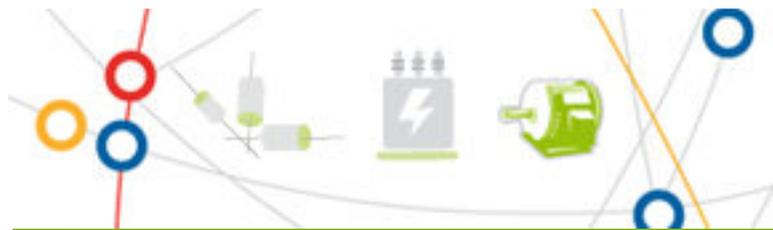
Nuovo regolamento EU per i trasformatori

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:

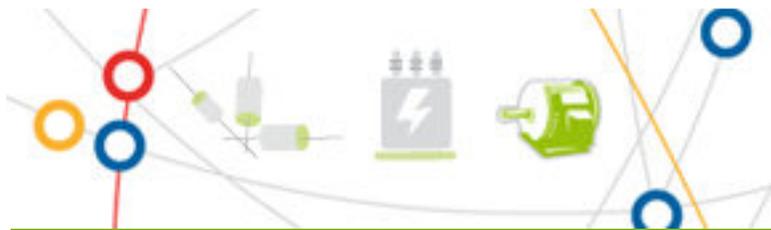
- ☀ basse perdite
- ☀ rumore molto contenuto
- ☀ assenza di manutenzione (per i tipi con cassa ermetica)
- ☀ elevata resistenza agli shocks termici
- ☀ installazione all'esterno
- ☀ quasi totale riciclabilità dei materiali a fine vita



Confronto perdite a vuoto | Trasformatori in olio

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

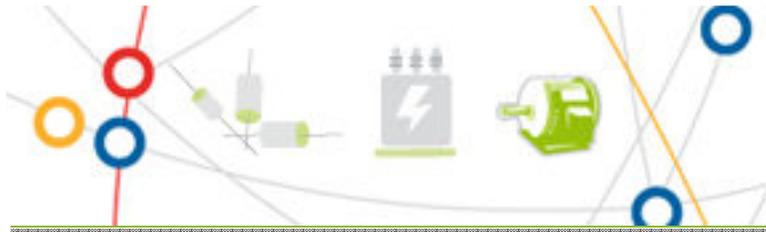
Perdite a vuoto Tavola 3 di EN 50464-1 ($U_m \leq 24$ kV)			
Potenza (kVA)	E_0 (W)	A_0 (W)	ΔA_0 in confronto ad E_0 (%)
50	190	90	-53
100	320	145	-55
160	460	210	-54
250	650	300	-54
400	930	430	-54
630	1300	600	-54
630	1200	560	-53
800	1400	650	-54
1000	1700	770	-55
1250	2100	950	-55
1600	2600	1200	-54
2000	3100	1450	-53
2500	3500	1750	-50



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

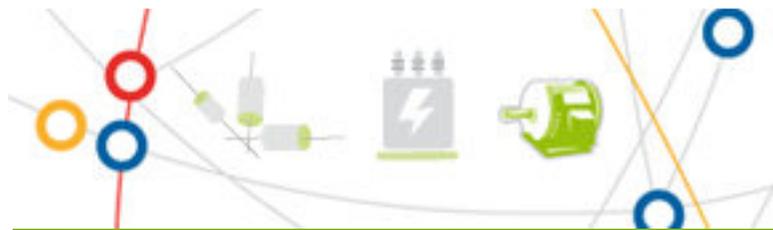


Tecnologie disponibili Trasformatori a secco

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.

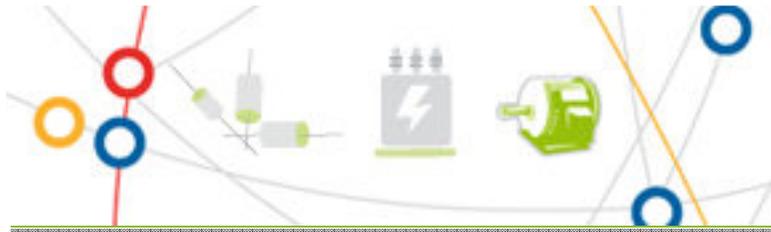


Confronto perdite a vuoto | Trasformatori a secco

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)	Co (W)	Ao (W)	Δ Ao compared to Co (%)
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

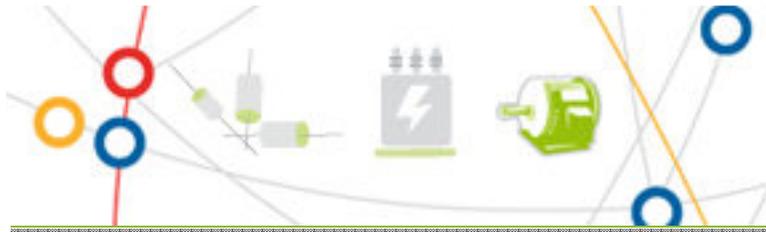


Confronto perdite a carico | Trasformatori a secco

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

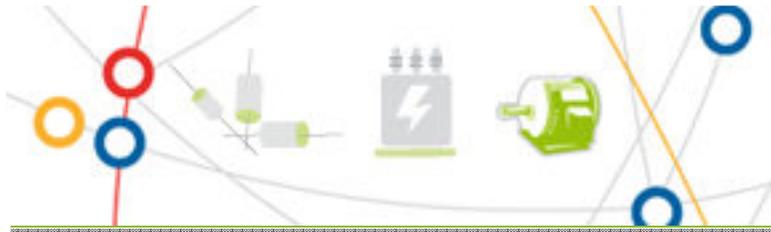
Fino a 630 kVA le perdite rimangono B_k

Potenza (kVA)	B_k (W)	A_k (W)	Δ 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



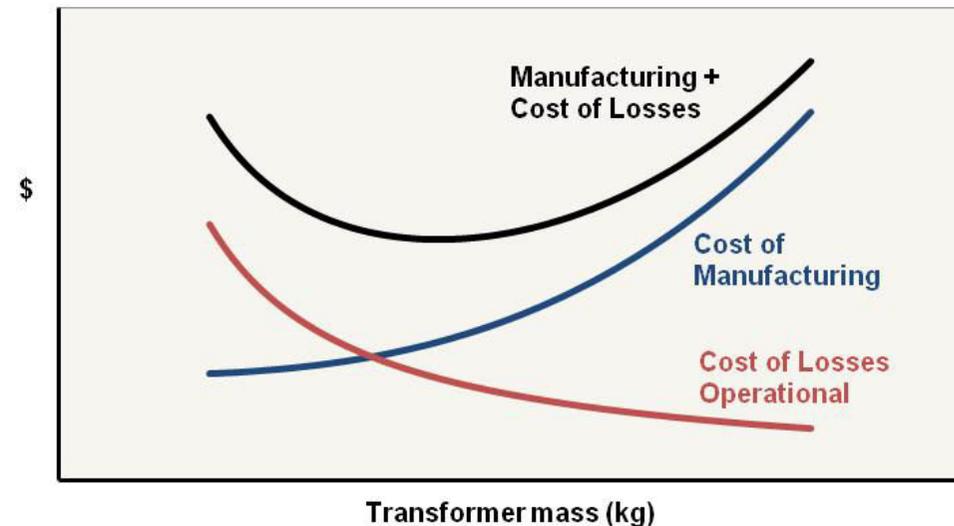
Costo del trasformatore a basse perdite

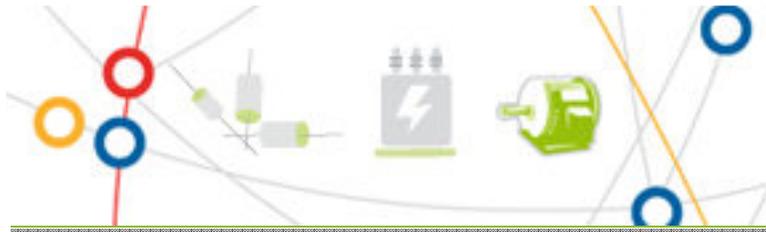
- ☀ La riduzione delle perdite comporta importanti benefici per l'ambiente legati alla minor emissione di gas serra.
- ☀ Un trasformatore con perdite ridotte ha un costo d'acquisto maggiore. **Perché spendere di più?**
- ☀ Sarà necessario farlo quando entrerà in vigore il Regolamento Europeo, ma se nel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





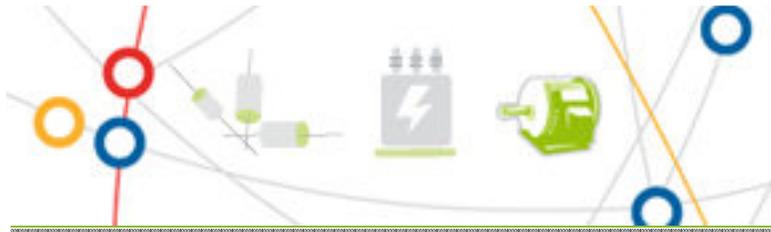
Costo capitalizzato del trasformatore

Calcolo (C_C)

$$C_C = C_A + AP_0 + BP_k$$

dove:

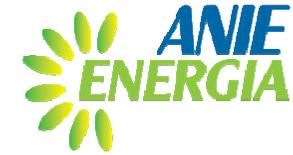
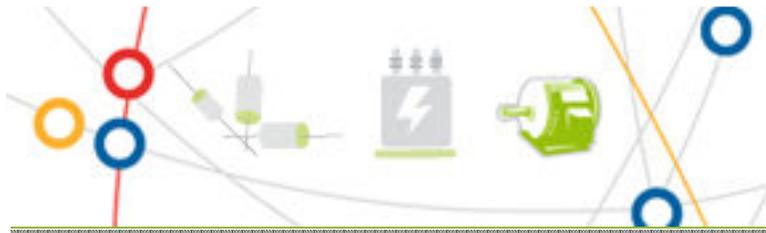
- ☀ C_C = costo capitalizzato;
- ☀ C_A = costo per l'acquisto del trasformatore;
- ☀ A = fattore di capitalizzazione delle perdite a vuoto espresso in €/kW
- ☀ P_0 = perdite a vuoto garantite in kW;
- ☀ B = fattore di capitalizzazione delle perdite dovute al carico espresso in €/kW
- ☀ P_k = perdite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



Costo capitalizzato del trasformatore calcolo dei coefficienti A e B

Per poterli calcolare opportunamente occorre sapere:

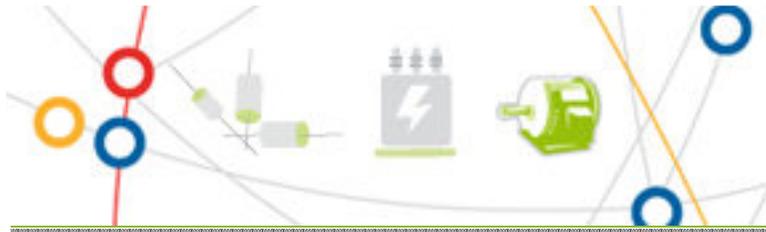
- ☀ Quante ore l'anno il trasformatore è energizzato
(tipicamente = 8760 ore)
- ☀ Quante ore l'anno il trasformatore lavora con un carico collegato
(ad es. una cartiera che lavora 6 gg/settimana circa 6.500 ore)
- ☀ A quale % della sua potenza lavora mediamente
(tipicamente un trasformatore di distribuzione 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](#) | [#industriaefficiente](#)

www.anienergia.it | energia@anie.it



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