

**EFFICIENZA ENERGETICA**

Laura Lazzerini

# TRASFORMATORI EFFICIENTI

L'EFFICIENZA ENERGETICA DI UN SISTEMA È STRETTAMENTE LEGATA ALL'EFFICIENZA DEI SINGOLI COMPONENTI. IN QUESTO SENSO, I TRASFORMATORI COSTITUISCONO UN ELEMENTO IMPORTANTE PER IL RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI ENERGETICI. LE VALUTAZIONI PASSANO ATTRAVERSO LA NORMAZIONE CHE SANCISCE LE CARATTERISTICHE E LE REGOLE PER LA PROGETTAZIONE E LA PRODUZIONE CON MATERIALI IN GRADO DI GARANTIRE LA MINORE QUANTITÀ DI PERDITE E, QUINDI, LA MASSIMA EFFICIENZA ENERGETICA.

**O**gni sistema produttivo è composto da numerosi dispositivi e macchinari che, se ben gestiti e selezionati in base alla capacità e potenzialità di risparmiare energia, possono contribuire in modo importante alla riduzione dei consumi energetici della realtà produttiva. Negli ultimi anni, i trasformatori di distribuzione hanno visto una certa evoluzione per quanto riguarda soprattutto le prescrizioni e gli accorgimenti legati all'efficienza energetica. La normazione ha quindi favorito la progetta-

zione e la realizzazione di trasformatori di distribuzione sempre più orientati alla riduzione dei consumi e all'ottimizzazione degli stessi. L'efficienza energetica passa attraverso la valutazione iniziale dei materiali, della tipologia di trasformatore più adatto alle esigenze specifiche e delle modalità di calcolo dei tempi di ritorno dell'investimento e del costo capitalizzato. Le normative forniscono un supporto fondamentale in termini di indicazioni per quanto riguarda le caratteristiche e il comportamento dei trasformatori che devono soddisfare, con le normative vigenti e quelle in preparazione, i parametri indicati nelle relative tabelle, predisposte sia per i trasformatori a olio che per quelli a secco. Le norme più

stringenti che indicano la quantità di perdite a carico e a vuoto, rappresentano la base sulla quale operare le scelte per il proprio impianto produttivo o per l'adeguamento di quello esistente; il confronto tra le perdite richieste con quelle realmente presenti sul mercato porta a riduzioni anche di diverse decine di punti percentuale, valori importanti che sono orientati a garantire impianti realizzati a regola d'arte e con la massima efficienza energetica.

## Le normative per i trasformatori

Per quanto riguarda le norme in vigore per i trasformatori di distribuzione, esse si suddividono in quelle per i trasformatori a secco e in quelle per i trasformatori a olio. Men-

## EFFICIENZA ENERGETICA

### 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 ( $U_m \leq 24kV$ )			
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

Tab. 1 - Perdite a vuoto per trasformatori in olio, cortesia ANIE Energia.

### Confronto perdite a carico Trasformatori in olio

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

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	5400	-20
1000	13000	10500	-19
1600	20000	14000	-30
2000	26000	18000	-31
2500	32000	22000	-31

Tab. 2 - Perdite a carico per trasformatori in olio, cortesia ANIE Energia.

### Confronto perdite a vuoto Trasformatori a secco

Perdite a vuoto da Tavola 5 EN 50541-1 ( $U_m$  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)	$\Delta A_0$ compared to $C_0$ (%)
100	460	280	-39
160	650	400	-18
250	880	520	-41
400	1200	750	-28
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

Tab. 3 - Perdite a vuoto per trasformatori a secco, cortesia ANIE Energia.

tre i trasformatori a secco sono regolati dalla norma CEI EN 50541-1:2011-04, la norma sui trasformatori trifase di distribuzione in vigore dal 1 dicembre 2011, i trasformatori a olio sono normati dalla CEI EN 50464-1:2007-08 in vigore dal 1 ottobre 2007. Le norme, invece, attualmente in preparazione e che dovrebbero andare a sostituire quel-

le in vigore, sono la EN 50588-1 che riguarda i trasformatori medi a 50 Hz con tensione massima per componente non superiore a 36 kV e la EN 50569, anch'essa relativa ai trasformatori con tensione massima per componente superiore a 36 kV. La prima norma, in particolare, ha uno scopo di applicazione che riguarda i componenti sia

a secco che in olio e introduce nelle tabelle l'indicazione delle perdite dei valori ridotti, oltre al concetto di Peak Efficiency Index, il cosiddetto PEI. Questa normativa prescrive, inoltre, che le tolleranze del 5% si riferiscano alla verifica dei parametri misurati dalle autorità identificate dagli Stati membri, senza che però queste siano utilizzate dal produttore come una tolleranza ammessa per identificare i valori indicati nella documentazione tecnica. Il regolamento Europeo per i trasformatori descrive e identifica alcune possibili azioni per l'incremento dell'efficienza energetica che consistono principalmente nella riduzione delle densità di corrente per quanto riguarda le perdite a carico e nella riduzione dell'induzione per le perdite a vuoto. Una delle possibili soluzioni è descritta nell'impiego di lamierini a perdita ridotta che consentono di limitare le dimensioni e la massa del trasformatore. Con l'entrata in vigore, infine, del Regolamento 584/2014 è vietata dal 1 luglio 2015 l'immissione sul mercato di trasformatori con perdite superiori a quelle prescritte, con la valutazione entro il 2017, da parte della Commissione Europea, dei dati relativi ai trasformatori entrati in operatività dopo il 1 luglio 2015 per confermare i valori o per identificarne di nuovi.

### Tecnologie disponibili per i trasformatori

Le due tecnologie usate nella maggior parte dei casi per i trasformatori sono rappresentate da quella isolata in olio e quella a secco. I trasformatori a secco, isolati in resina, sono legati a soluzioni che permettono di ridurre al minimo i rischi d'incendio e rappresentano circa l'80% del mercato privato italiano. Le applicazioni sono le più svariate e spaziano dal navale, agli impianti petrolchimici, alle centrali nucleari, agli impianti di generazione eolica e fotovoltaica, alle piattaforme per l'estrazione degli idrocarburi, agli ospedali, alle metropolitane. I trasformatori a olio, invece, sono la quasi totalità di quelli impiegati da Enel e presentano alcune caratteristiche legate al rumore contenuto, alla resistenza agli shock termici, alla riciclabilità dei materiali alla fine del ciclo di vita, alla possibilità di installazione negli spazi esterni esposti alle intemperie, alle perdite ridotte. Il confronto delle perdite a vuoto e a carico

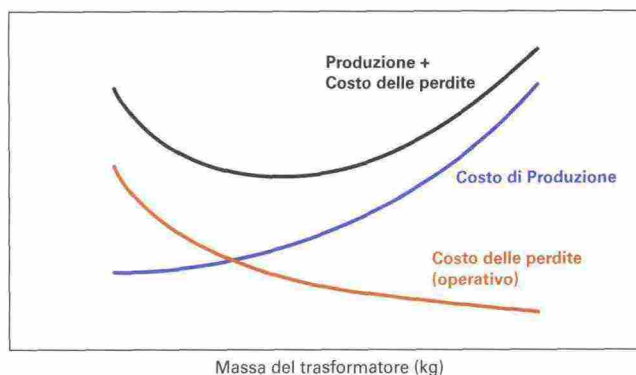
### Confronto perdite a carico Trasformatori a secco

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)	$\Delta A_k$ 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

Tab. 4 - Perdite a carico per trasformatori a secco, cortesia ANIE Energia.



Costo del trasformatore, cortesia ANIE Energia.

nel caso dei trasformatori a secco, indicate nel Regolamento rispetto a quelle generalmente individuate sul mercato italiano, si scostano di valori intorno all'11-19% nel caso di carico e del 29-41% a vuoto, mentre per i trasformatori a olio, i valori di confronto sono ridotti del 19-31% a carico e 50-55% a vuoto. Questi valori forniscono una valida indicazione della riduzione delle perdite richiesta dal nuovo Regolamento sia per i trasformatori a secco che per quelli a olio, nelle condizioni e vuoto e a carico. Riduzioni così significative sono possibili grazie alla ricerca di design differenti e con materiali in grado di ridurre al minimo le perdite del componente.

### Costo del trasformatore

Se da una parte il costo di un trasformatore che presenta perdite ridotte rispetto a altri della stessa categoria comporta un costo aggiuntivo all'inizio del ciclo di vita per l'acquisto, d'altra parte la valutazione non può limitarsi soltanto alla spesa iniziale ma deve tenere in considerazione tutto il ciclo di vita del trasformatore. In questo caso, facendo i calcoli che includono anche i costi di manutenzione e che riguardano il risparmio dovuto alla riduzione delle perdite, si giun-

ge a valutazioni che possono scostarsi, anche di gran lunga, dalla mera indicazione del costo iniziale dell'oggetto. Se nel valutare l'acquisto, infatti, si considera il costo capitalizzato, può risultare conveniente acquistare un trasformatore a basse perdite che comporta benefici dal punto di vista della riduzione dei consumi e della minore emissione di gas serra. Nella valutazione del costo capitalizzato, si deve tenere di conto del costo iniziale dell'oggetto che è superiore nel caso di riduzione delle perdite, mentre è inferiore nel caso in cui il componente presenti perdite superiori che comportano però anche, durante l'intero ciclo di vita dell'oggetto, un notevole costo di esercizio. La soluzione maggiormente conveniente è rappresentata dal minimo della somma del costo di produzione e del costo dovuto alle perdite. Le valutazioni possono essere implementate tramite calcoli differenti che spaziano da quelli relativi al costo capitalizzato del trasformatore fino al calcolo del tempo di rientro dell'investimento. Nel primo caso, le informazioni delle quali è necessario disporre al fine di operare le considerazioni nel migliore dei modi sono le ore annue durante le quali il trasformatore è energizzato, la percentuale di potenza al-

la quale lavora mediamente, le ore annue durante le quali il carico è collegato, il costo del kWh. Il tempo di rientro, altresì noto anche come Pay Back, rappresenta il tempo dopo il quale rientra l'investimento e spesso rappresenta uno strumento di valutazione per la scelta di una tipologia di trasformatore anziché l'altra. Con questa analisi è possibile confrontare il costo iniziale per l'acquisto di diversi modelli di trasformatori, con efficienza diversa e prezzo differente, ottenendo una quantificazione del risparmio economico dovuto all'efficienza maggiore di una tipologia di trasformatore rispetto all'altro. Rapportando, inoltre, la differenza dei costi d'acquisto al risparmio annuale, si ottengono i dati che riguardano il tempo entro il quale l'investimento risulta ripagato. Questo metodo, anche se meno accurato rispetto a altre metodologie, rappresenta uno strumento abbastanza veloce per valutazioni di massima che possono essere approfondite successivamente con strumenti e calcoli più precisi.

Se da una parte le valutazioni sulle tecnologie dei trasformatori devono essere prese in considerazione per soddisfare le normative vigenti e quelle che entreranno in vigore, dall'altra anche la parte economica ha impatto sulla scelta di un trasformatore piuttosto che l'altro e deve necessariamente includere tutti gli aspetti legati all'incremento dell'efficienza energetica, quindi alle minori perdite, alla manutenzione e agli investimenti necessari durante tutto il ciclo di vita; questo nell'ottica di una valutazione completa che risulterebbe abbastanza limitata nel caso in cui si tenesse di conto solo dell'investimento iniziale per l'acquisto del trasformatore. Il trasformatore rappresenta altresì un componente molto importante in numerose tipologie di sistema; la scelta di questo dispositivo è quindi fondamentale per la riduzione dei consumi energetici. Deve essere, inoltre, coordinata con la scelta degli altri componenti del sistema completo che, in generale, nell'ambiente manifatturiero è abbastanza complesso e costituito da un numero cospicuo di elementi; ogni componente ha quindi una funzione ben precisa che deve essere soddisfatta in modo tale da essere, al contempo, in grado di operare al meglio con il minor quantitativo di consumi.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Automazione integrata

MARZO 2015