



we move
rsearch

I trasformatori di potenza per le reti di Trasmissione e Distribuzione: evoluzione tecnologica e scenario italiano

Paolo Mazza

Dipartimento Tecnologie di Trasmissione e Distribuzione

Capo Gruppo di Ricerca «Misure e diagnostica di componenti T&D»

Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – I trend internazionali (1)

I trasformatori di potenza sono un prodotto maturo e consolidato, tuttavia il contesto in cui operano è in rapida evoluzione: la crescente domanda di elettrificazione comporta una più ampia gamma di applicazioni e di casi d'uso che richiedono evoluzioni tecnologiche:

- Incremento dei livelli di tensione di trasmissione
- incremento del contenuto armonico dovuto a crescente presenza di apparecchiature basate su elettronica di potenza (connessione delle rinnovabili, connessioni in DC)
- L'installazione in aree urbane densamente popolate comporta una riduzione del rischio d'incendio, ottenuto utilizzando fluidi isolanti a basso punto di fiamma (esteri sintetici e fluidi siliconici)
- Crescente interesse per l'introduzione di sistemi isolanti ad alta temperatura
- Uso di fluidi isolanti «ecologici» (esteri)
- Efficienza energetica sempre più importante per regolatori e consumatori



Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – I trend internazionali (2)

- Innovazioni tecnologiche legate a esigenze particolari, potenzialmente in crescita: *phase shifter*, *Unified Power Flow Controller*...
- Esigenze legate alla gestione dei trasformatori: affidabilità, poche necessità di manutenzione, implementazione di sensoristica e di sistemi di monitoraggio e controllo remoto a livello di progetto, integrazione e coordinamento a livello di stazione e di cabina
- Le interazioni con la rete richiedono studi approfonditi, con particolare riferimento a transitori di manovra, correnti continue e condizioni di risonanza
- Necessario assicurare un adeguato coordinamento dell'isolamento a livello sia progettuale sia di verifica, tenendo conto delle sollecitazioni in tutta la gamma di frequenze in esercizio (cfr. attività sviluppata in ambito CIGRE)
- La diversificazione delle fonti (eolico, fotovoltaico, celle a combustibile, energia da maree e dal moto ondoso, nucleare) comporta nuove sollecitazioni, sia elettriche sia ambientali, e requisiti specifici (affidabilità, sicurezza, manutenzione)

Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – I trend internazionali (3)

- Tecnologie di interruzione in vuoto sempre più utilizzate per ridurre le esigenze di manutenzione dei variatori
- Evoluzione verso la digitalizzazione e i suoi benefici (Building Information Model, Digital Twin per facilitare la gestione e la manutenzione)
- Studio di soluzioni radicalmente innovative (trasformatori elettronici o a stato solido)
- **Ultimo elemento ma certamente non meno importante: crescente, anche se non uniforme, sensibilità per gli aspetti di efficienza e sostenibilità, in termini di Carbon FootPrint (CFP) e di Global Warming Potential (GWP)**



Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – I trend europei (1)

Mercato maturo con volumi ragguardevoli a livello europeo:

- Più di 6 milioni di unità in servizio
- Più di 300 000 unità installate all'anno
- Nel 2007, mercato complessivo pari a circa 4 miliardi di Euro.

Principali driver:

- Riduzione delle perdite, del rumore e limitazione dell'impatto ambientale tenendo conto di costi e affidabilità
- Ruolo dei trasformatori di Potenza nella smart grid, integrazione delle rinnovabili (trasformatori da distribuzione per la regolazione della tensione), aspetti termici e vita attesa.

Trend tecnologici e di mercato

- Nuove tecnologie (materiali magnetici amorfi, materiali isolanti, metodologie e strumenti diagnostici, trasformatori per la connessione della generazione da fonti rinnovabili e per la smart grid)
- Crescente interesse per trasformatori in resina
- Incremento costi e disponibilità dei materiali grezzi.



Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – scenario europeo e nazionale

Evoluzione della legislazione in termini di efficienza e sostenibilità

Efficienza in UE (e, di conseguenza, in Italia) indirizzata da Regolamento Europeo

- COMMISSION REGULATION (EU) No 548/2014 of 21 May 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers
- COMMISSION REGULATION (EU) 2019/1783 of 1 October 2019 amending Regulation (EU) No 548/2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers

Ecodesign Tier 2 (in corso): i parametri di efficienza sono considerati come valori obiettivo, più facilmente raggiungibili per i trasformatori di potenza di grossa taglia:

- per i trasformatori di taglia media sono prescritti dei valori massimi di perdite;
- per i trasformatori di taglia grande sono prescritti dei Peak Efficiency Indexes, (PEI): questo consente di tenere conto del carico effettivo dei trasformatori

Ecodesign Tier 3 (attualmente in corso di revisione): introduzione di aspetti di **sostenibilità** e uso di **materiali riciclati**

Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – Aspetti di sostenibilità (1)

L'evoluzione della legislazione, della Normativa e della sensibilità degli stakeholder si traducono nelle richieste del mercato, in termini di obiettivi e di requisiti. Tra gli elementi considerati, in termini sia di requisiti sia di fattori di valutazione in sede di acquisto vi possono per esempio essere:

Documentazione: Environmental Product Declaration (EPD), Material Passport, Manuale di smontaggio, BIM e Digital Twin

Richiesta di documentazione relativa a:

- prestazioni ambientali
- materie prime utilizzate
- modalità di smontaggio (implementazione tecniche e metodologie non distruttive ai fini dell'ottimizzazione e della circolarità del processo)
- Building Information Modeling (BIM) e Digital Twin per migliorare la gestione, implementare metodologie di manutenzione preventiva e di estensione di vita: richiesta di modelli digitali dei trasformatori, inclusi subcomponenti e accessori e i dati relativi alla sostenibilità (cfr. anche CIGRE JWG A2_D2.65)

Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – Aspetti di sostenibilità (2)

Global Warming Potential (GWP)

Definizione di obiettivi in termini di ranking e di riduzione del GWP

Renewable Energy Sources

Requisiti per la connessione delle Rinnovabili, in termini di livelli di tensione (es. 36 kV), di presenza di armoniche...

Processo di verniciatura ecosostenibile

Richiesta di adozione di un processo di verniciatura ecosostenibile

Uso di materiali grezzi provenienti dal riciclo

Incentivazione dell'uso di materiali grezzi provenienti dal riciclo con riferimento a rame e acciaio e disponibilità della relativa certificazione

Materiali a basso impatto

Adozione di alternative sostenibili all'olio minerale

Evoluzione tecnologica nei trasformatori di potenza – Aspetti di sostenibilità (3)

Uso di esteri quali fluidi isolanti

Sostenibilità

Emissioni di CO2 inferiori dalla costruzione all'uso.

Capacità di sovraccarico/estensione di vita

Temperature di esercizio più elevate



Resistenza all'incendio

Liquido isolante in classe k, autoestinguente.

Biodegradabilità

Impatto ambientale inferiore in caso di sversamenti

Alcuni riferimenti bibliografici

IEC TC 14 Strategic Business Plan https://assets.iec.ch/further_informations/1224/14.pdf?1214T13

CENELEC TC 14 Business Plan https://standards.cencenelec.eu/BPCLC/BP_TC_14.pdf

CIGRE SC A2 - Power Transformers: Technical Brochures
<https://www.e-cigre.org/>

Commission Regulation (EU) No 548/2014 of 21 May 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0548>

Commission Regulation (EU) 2019/1783 of 1 October 2019 amending Regulation (EU) No 548/2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers (Text with EEA relevance)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1783>

Energy Efficiency Ecodesign for transformers - ANIE Energia Vademecum on Regulation EU/548/2014

TOR CIGRE JWG N° A2/D2.65: Transformer Digital Twin – concept and future perspectives
https://www.cigre.org/userfiles/files/News/2022/TOR-JWG%20A2_D2_65_Transformer%20Digital%20Twin%20%E2%80%93%20concept%20and%20future%20perspectives.pdf

M. Á. Caballero et al., "Sustainable power transformers: Enel Grids use of natural ester insulating fluid in large power transformers," 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023), Rome, Italy, 2023, pp. 1504-1507, doi: 10.1049/icp.2023.0778.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10267477>

Brochure CIGRE SC A2 - Power Transformers
https://www.e-cigre.org/search_results.html?tx_solr%5Bfilter%5D%5B0%5D=publicationType%3ATechnical+Brochures&tx_solr%5Bfilter%5D%5B1%5D=studyCommittee%3AA2&tx_solr%5Bq%5D=&tx_solr%5Bsort%5D=relevance+desc

Grazie per l'attenzione!

Questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico nell'ambito del Piano Triennale 2022-2024 (DM MITE n. 337, 15.09.2022), in ottemperanza al DM 16 aprile 2018"