



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 CO<sub>2</sub> inferiori  
dalla costruzione all'uso.

### Capacità di sovraffico/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](https://assets.iec.ch/further_informations/1224/14.pdf?1214T13)

CENELEC TC 14 Business Plan [https://standards.cencenelec.eu/BPCLC/BP\\_TC\\_14.pdf](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](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](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”