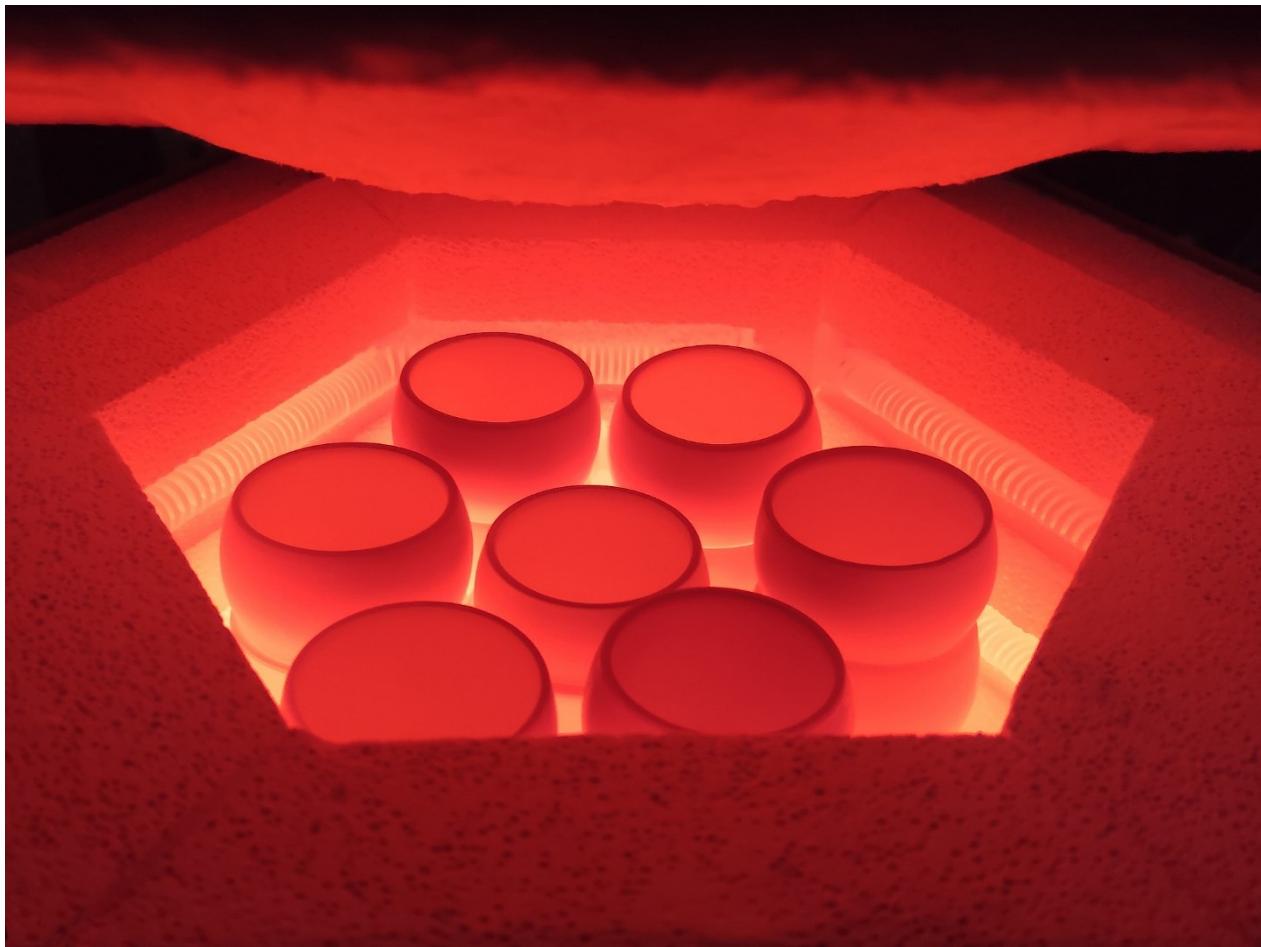


Rapporto finale, marzo 2025

# Potenziale di decarbonizzazione del calore di processo ad alta temperatura mediante l'elettrificazione in Svizzera



© iStock-1301402497

**Autori**

Dr. Kirsten Kubin  
Paurnima Kulkarni  
Saskia Lengning  
Dr. Fabian Muralter  
Dr. Alexander Piégsa (Direzione del progetto)  
Dr. Noha Saad  
Aurel Wünsch

**Numero di progetto**

B101411

Questo studio è stato condotto per conto di SvizzeraEnergia.  
Die contenuti sono responsabili unicamente gli autori.

# 1. L'impresa Prognos in sintesi

Chi oggi vuole prendere le decisioni giuste per domani deve poter contare su basi solide, come quelle che fornisce Prognos tramite studi indipendenti, scientificamente fondati e orientati alla pratica. Dal 1959 elaboriamo analisi per imprese, associazioni, fondazioni e committenti pubblici; lavorando a stretto contatto con i nostri clienti, li aiutiamo ad acquisire il margine di azione necessario per le sfide future attraverso la ricerca, la consulenza e il supporto mirato. I modelli collaudati di Prognos SA costituiscono la base per costruire previsioni e scenari attendibili. Con circa 180 esperti, l'impresa opera in nove sedi: Amburgo, Basilea, Berlino, Brema, Bruxelles, Düsseldorf, Friburgo, Monaco di Baviera e Stoccarda. I team di progetto lavorano in modo interdisciplinare, coniugando teoria e pratica, scienza, economia e politica, ma l'obiettivo è sempre lo stesso per tutti: offrirvi un vantaggio in termini di conoscenze, competitività e tempistiche.

## 2. Compendio e risultati

### 2.1 Motivazione

All'inizio del 2023 l'Ufficio federale dell'energia (UFE) ha pubblicato la «Strategia termica 2050» [UFE 2023], che formula l'obiettivo di un settore del calore neutro in termini di CO<sub>2</sub> entro il 2050. La strategia termica si basa sulle Prospettive energetiche 2050+ dell'UFE del 2021 [UFE 2021]. Per raggiungere l'obiettivo del saldo netto di emissioni pari a zero entro il 2050 in Svizzera, è necessaria la completa decarbonizzazione dell'intero settore del calore. Ciò significa che qualsiasi produzione di calore, sia per scopi di riscaldamento che per processi industriali, deve avvenire senza l'utilizzo di vettori energetici fossili.

Già oggi esistono alternative ai combustibili fossili, molte delle quali sono pronte per il mercato. Le pompe di calore di ultima generazione possono raggiungere temperature fino a 200 °C sfruttando le fonti di calore residuo esistenti o le fonti di calore presenti nell'ambiente. Gli impianti solari termici, dal canto loro, convertono la luce solare direttamente in calore utile fino a 140 °C, arrivando, nel caso degli impianti a concentrazione, anche a 400 °C.

In molti casi, la sostituzione dei vettori energetici fossili è una sfida impegnativa. Biometano, idrogeno e altri carburanti sintetici rappresentano un'alternativa ai combustibili fossili attualmente in uso. Il loro sfruttamento consentirebbe di ridurre al minimo la necessità di adeguare gli impianti e di utilizzare, in parte, anche le infrastrutture esistenti (ad es. la rete del gas). L'elettrificazione diretta, invece, è tecnicamente realizzabile in teoria per la maggior parte dei processi, ma spesso richiede modifiche significative agli impianti e ai processi di produzione. Inoltre, sono da mettere in conto le ripercussioni sul sistema elettrico nel caso in cui gli impianti elettrificassero in massa la loro produzione di calore ad alta temperatura. Lo studio analizza l'elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura in ambito industriale e l'elettrificazione della generazione di vapore

con l'obiettivo di identificarne il potenziale, i vantaggi e i rischi per l'industria svizzera.

### 2.2 Sintesi

Il capitolo 2 fa il punto della situazione sul calore di processo ad alta temperatura nell'industria svizzera, definendolo come calore di processo  $\geq 400$  °C. Sulla base del modello industriale di Prognos, si stima che, tra il 2015 e il 2023, i 19 processi industriali esaminati abbiano consumato mediamente un totale di 151 PJ / 42 TWh, di cui 85 PJ / 24 TWh (56 %) attribuibili al calore di processo. Di questi, 53 PJ / 15 TWh (62 %) sono riconducibili al calore di processo ad alta temperatura, di cui, a loro volta, 45 PJ / 13 TWh (85 %) sono dovuti all'uso di combustibili. I processi con calore ad alta temperatura emettono 2300 kt CO<sub>2</sub>e, pari al 57 per cento delle 4050 kt CO<sub>2</sub>e totali emesse dal settore industriale a causa dell'utilizzo di combustibili fossili. Inoltre, per convalidare le ipotesi del modello, gli autori dello studio hanno confrontato con i dati riportati in letteratura la distribuzione relativa dei quantitativi di calore di processo specifici dei settori su determinati livelli di temperatura.

Il capitolo 3 illustra le tecnologie che, secondo la letteratura esaminata, presentano o non presentano un potenziale rilevante per l'elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura. Le schede tecniche dettagliate sono riportate nell'appendice. Sulla base di due ipotesi, uno scenario «business as usual» e uno con la massima elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura e della generazione di vapore, viene determinato l'effetto (massimo) di tale elettrificazione, nel rispetto della fattibilità tecnica e dei cicli di investimento: si stimano un aumento del consumo di energia elettrica di circa 20 PJ / 6 TWh (+40 %) e una diminuzione del consumo di combustibili (esclusi il calore rinnovabile e quello distribuito tramite rete) di 27 PJ / 8 TWh (-44 %) e delle emissioni di gas serra di 1200 kt CO<sub>2</sub>e (-54 %). L'elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura e quella della generazione di vapore contribuiscono ciascuna per circa la metà alla riduzione delle emissioni di gas serra.

Al termine del secondo capitolo vengono riassunte le interviste agli esperti condotte nell'ambito dello studio per una valutazione qualitativa delle opzioni di elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura. Le imprese sottolineano gli elementi di incertezza correlati, quali la sicurezza dell'approvvigionamento energetico ed elettrico, l'impatto sui prezzi dell'energia elettrica e sui costi di capitale, nonché gli ostacoli, quali le emissioni di processo residue anche dopo l'elettrificazione e l'assenza di programmi di incentivazione. Di conseguenza, al momento le imprese non hanno piani concreti per realizzare tale elettrificazione.

Il capitolo 4 descrive le ripercussioni dell'elettrificazione completa del calore di processo ad alta temperatura e della generazione di vapore sul sistema elettrico svizzero. L'elettrificazione ha un impatto minimo sul sistema elettrico, ma aumenta la dipendenza dalle importazioni. Dal punto di vista politico e sociale, è auspicabile compensare il fabbisogno aggiuntivo con capacità produttive interne, allo scopo di aumentare la resilienza.

Una misura più efficiente sotto il profilo dei costi per garantire lo stesso livello di sicurezza dell'approvvigionamento e di indipendenza consiste nel rendere più flessibile il fabbisogno elettrico aggiuntivo: in situazioni di carenza di capacità, la domanda potrebbe essere posticipata o gli impianti bivalenti potrebbero passare a vettori energetici stoccati.

Il capitolo 5 riassume tutte le leggi e i programmi di sostegno federali e regionali di interesse per le imprese, nonché il loro legame con l'elettrificazione. I programmi esistenti offrono alle imprese ampie possibilità di finanziamento per aumentare l'efficienza energetica, ridurre il consumo di energia elettrica e adottare metodi di produzione più sostenibili, compresi quelli elettrificati. Non esistono però incentivi mirati all'elettrificazione del calore di processo.

In seguito lo studio illustra una strategia globale coerente per la decarbonizzazione del calore di processo sulla base di un modello in quattro fasi. La priorità è aumentare l'efficienza energetica ed exergetica. Segue lo sfruttamento di fonti di calore rinnovabili come il solare o il geotermico. È inoltre necessario ricorrere a tecnologie alternative per la generazione di calore di processo, tra cui in particolare l'elettrificazione (diretta). Solo come quarta e ultima opzione segue l'utilizzo di combustibili alternativi, come biomasse, rifiuti o vettori energetici sintetici (PtX), o anche, in determinati settori, la cattura del carbonio.

Per quanto riguarda la classificazione sistematico-tecnica della generazione di vapore mediante pompe di calore a compressione e caldaie a elettrodi, è prevedibile che entrambe le tecnologie sostituiranno completamente la generazione di vapore convenzionale già prima del 2045. Ciò è dovuto alla loro elevata adattabilità alle infrastrutture esistenti per la produzione di vapore. Anche nei settori del vetro, della metallurgia, della meccanica e dell'edilizia, l'elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura è tecnicamente probabile entro il 2045. Ciò è dovuto ai vantaggi offerti da tali tecnologie (maggiore efficienza energetica, maggiore possibilità di controllo, assenza di gas di scarico) e alla presumibile preferenza per l'elettrificazione diretta rispetto all'uso di combustibili alternativi. L'industria del cemento, invece, registra elevate emissioni di CO<sub>2</sub> a causa della deacidificazione del calcare, motivo per cui l'elettrificazione diretta non è un'opzione possibile per la completa decarbonizzazione dei processi produttivi. Appare invece più probabile un maggiore utilizzo di combustibili secondari in combinazione con la cattura del carbonio.

### **2.3 Conclusioni**

La modellizzazione ha identificato tecnologie di elettrificazione che, da un punto di vista sistematico-tecnico, possono rappresentare una leva importante per la decarbonizzazione dei processi produttivi nell'industria svizzera. Complessivamente, un ampio utilizzo di queste tecnologie nel settore consentirebbe di ridurre le emissioni di gas serra di circa 1,2 Mt CO<sub>2</sub>e.

Le tecnologie di elettrificazione rilevanti sono le pompe di calore (ad alta temperatura) e le caldaie a eletrodi per la generazione di vapore nei settori alimentare, cartario e chimico/farmaceutico, il riscaldamento a resistenza diretta e indiretta nella produzione del vetro, nonché i forni a induzione a corrente alternata e il riscaldamento a resistenza indiretta per tutti i settori della produzione e lavorazione dei metalli (ferro/acaciaio, alluminio, rame).

Le ripercussioni dell'elettrificazione del calore di processo ad alta temperatura sul sistema elettrico sono minime, ma possono aumentare la dipendenza dalle importazioni in caso di mancato sviluppo di capacità aggiuntive di produzione di corrente a livello nazionale. Una maggiore flessibilità del fabbisogno elettrico dell'industria può contribuire a rendere più stabile la rete.

Gli attuali programmi di incentivazione non prendono quasi mai in considerazione l'elettrificazione diretta dei processi produttivi. Gli strumenti previsti dalla legge federale sugli obiettivi in materia di protezione del clima, l'innovazione e il rafforzamento della sicurezza energetica (LOCli) dovrebbero colmare questa lacuna in materia di incentivi. Tale attività di promozione tecnologica mira a supportare la realizzazione di impianti e la loro integrazione nei processi produttivi esistenti, al fine di incentivare l'adozione di queste tecnologie su larga scala.

Modelli per possibili strategie di incentivazione sono forniti da programmi che riguardano l'elettrificazione del calore di processo industriale già esistenti in altri Paesi. A questo proposito vale la pena confrontare le varie tipologie e configurazioni di strumenti, l'oggetto degli incentivi, i volumi e le condizioni di finanziamento, nonché le valutazioni d'impatto (laddove presenti), al fine di individuare un approccio all'incentivazione adeguato al contesto svizzero.

Tale approccio dovrebbe tenere conto non solo delle spese in conto capitale (CAPEX), ma anche delle spese operative (OPEX). Queste ultime rappresentano un grosso ostacolo alla transizione verso tecnologie di elettrificazione, poiché la redditività di un impianto elettrico dipende essenzialmente dal rapporto tra il prezzo dell'elettricità e quello del gas in relazione al miglioramento dell'efficienza. In questo contesto sarebbe utile anche un inasprimento delle leggi vigenti, quali la LOcli, la legge federale sull'energia (LEne), la legge sul CO<sub>2</sub> ecc.