

PhD thesis Alice Di Bella – Modelling a clean and resilient European energy system under physical, economic, and geopolitical risks

Abstract

Europe has committed to achieving climate neutrality by 2050, placing the transformation of the energy system at the centre of its climate, industrial, and economic strategy. While a large body of research has demonstrated the technical feasibility of deep decarbonisation pathways, it has mostly ignored mounting physical and geo-economic risks. Several structural factors challenge the assumption that cost-optimal solutions identified under idealised conditions are robust. Climate-induced weather extremes affect energy systems, European energy-intensive industry faces growing global competitiveness pressures, and geopolitical tensions and trade fragmentation reshape the environment in which the transition unfolds. This doctoral thesis investigates the resilience of European decarbonisation pathways under multiple, compounding risks. The thesis adopts state of the art energy, economic and climate modelling from a resilience perspective, analysing three key sources of risks: physical climate risks affecting power system adequacy, economic risks related to the competitiveness of energy intensive industries, and geopolitical risks arising from trade policy disruptions. Methodologically, the thesis builds on high-resolution energy system modelling and extends existing frameworks to incorporate climate impacts, endogenous industrial production decisions, and macroeconomic feedbacks through soft coupling with a computable general equilibrium model. The results indicate that European climate targets are achievable, but that transition pathways are sensitive to climate-induced stress, industrial production scale decisions, and trade fragmentation. These findings suggest that effective decarbonisation under increasing uncertainty requires careful coordination between mitigation and adaptation, prudent industrial policy design, and a critical assessment of the extent to which trade tariffs contribute to climate objectives. The thesis demonstrates that resilience should be treated as a core objective of climate policy, alongside emissions reduction and economic efficiency, and highlights the need for integrated energy, industrial, and trade policy design to support a robust European energy transition.

Abstract in lingua italiana

L'Europa si è impegnata a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, ponendo la trasformazione del sistema energetico al centro della sua strategia climatica, industriale ed economica. Sebbene un'ampia letteratura scientifica abbia dimostrato la fattibilità tecnica di percorsi di decarbonizzazione profonda, essa ha in gran parte ignorato i crescenti rischi fisici e geo-economici. Diversi fattori strutturali mettono in discussione l'assunzione che le soluzioni ottimali in termini di costi identificate in condizioni idealizzate siano robuste. Gli eventi meteorologici estremi indotti dal cambiamento climatico influenzano i sistemi energetici, l'industria europea ad alta intensità energetica affronta pressioni competitive globali crescenti, e le tensioni geopolitiche e la frammentazione commerciale ridefiniscono l'ambiente in cui si svolge la transizione. Questa tesi di dottorato indaga la resilienza dei percorsi di decarbonizzazione europei sotto molteplici rischi che si sommano tra loro. La tesi adotta modelli energetici, economici e climatici allo stato dell'arte da una prospettiva di resilienza, analizzando tre fonti chiave di

rischio: i rischi climatici fisici che influenzano l'adeguatezza del sistema elettrico, i rischi economici legati alla competitività delle industrie ad alta intensità energetica, e i rischi geopolitici derivanti dalle perturbazioni delle politiche commerciali. Dal punto di vista metodologico, la tesi si basa sulla modellizzazione ad alta risoluzione dei sistemi energetici ed estende i quadri esistenti per incorporare gli impatti climatici, le decisioni di produzione industriale endogene e i feed back macroeconomici attraverso l'accoppiamento debole con un modello di equilibrio generale computabile. I risultati indicano che gli obiettivi climatici europei rimangono raggiungibili, ma che i percorsi di transizione sono sensibili allo stress indotto dal clima, alle decisioni sulla scala di produzione industriale e alla frammentazione commerciale. Questi risultati suggeriscono che una decarbonizzazione efficace in un contesto di crescente incertezza richiede un'attenta coordinazione tra mitigazione e adattamento, una progettazione prudente delle politiche industriali e una valutazione critica della misura in cui le tariffe commerciali contribuiscono agli obiettivi climatici. La tesi dimostra che la resilienza dovrebbe essere trattata come un obiettivo centrale della politica climatica, insieme alla riduzione delle emissioni e all'efficienza economica, e sottolinea la necessità di una progettazione integrata delle politiche energetiche, industriali e commerciali per sostenere una transizione energetica europea robusta.