

VALUING AND QUANTIFYING UNCERTAINTIES IN CLIMATE POLICIES AND SCENARIOS

Climate policy analysis rests on quantitative models that are, by necessity, simplified representations of deeply complex and incompletely understood systems. The assumptions embedded in these models, about how damages accumulate, which technologies dominate, and how current trends will evolve, have direct consequences for what policies are recommended, what trajectories are assessed as feasible, and what solutions are considered worth pursuing. Yet the uncertainty surrounding these systems, both about how they work and about how they will evolve, runs deeper than standard analytical frameworks acknowledge. This thesis argues that uncertainty is not an addendum to climate analysis but a constitutive feature of the problem, and that engaging with it rigorously, through new methods drawn from decision theory, deep learning, and generative modelling, changes both what we learn and what we recommend.

The thesis addresses uncertainty across three dimensions. The first concerns decision-making under deep uncertainty: formally accounting for the possibility that available models may be structurally wrong about the climate-economy system shifts optimal policy recommendations in ways that are neither uniform nor intuitive, and ultimately reinforces the case for precautionary action. The second concerns the embedding of uncertainty into empirical models: structurally incorporating uncertainty throughout a data-driven framework, rather than treating it as a post-hoc annotation, makes tractable a comprehensive assessment of current emission momentum and reveals a substantial gap between observable trends and stated climate commitments. The third concerns the generation and exploration of climate strategies: the optimisation logic of standard scenario tools produces a structural concentration around narrow technology portfolios that reflects methodological constraints more than the true robustness requirements of the underlying problem, and a generative alternative is proposed that characterises the full distribution of high-performing investment strategies.

Together, the three contributions demonstrate that new methods, drawn from decision theory, deep learning, and generative modelling, make it possible to engage with the full depth of uncertainty in the climate policy problem, and that doing so changes both what policies are recommended and what solutions are considered possible.

L'analisi delle politiche climatiche si fonda su modelli quantitativi che sono, per necessità, rappresentazioni semplificate dei sistemi che descrivono. Le ipotesi incorporate in questi modelli, riguardo a come si accumulano i danni, quali tecnologie dominano e come evolveranno le tendenze attuali, hanno conseguenze dirette su quali politiche vengono raccomandate, quali traiettorie sono valutate come percorribili e quali soluzioni sono considerate degne di attenzione. Questa tesi sostiene che l'incertezza non è un'appendice all'analisi climatica, ma una caratteristica costitutiva del problema, e che affrontarla con rigore cambia sia ciò che apprendiamo sia ciò che raccomandiamo.

La tesi affronta l'incertezza lungo tre dimensioni. La prima riguarda il processo decisionale in condizioni di incertezza profonda: tenere formalmente conto di incertezze strutturali che le analisi standard ignorano, in particolare la possibilità che nessuno dei modelli disponibili catturi correttamente il vero sistema clima-economia, sposta le raccomandazioni di politica ottimale in modi né uniformi né intuitivi, rafforzando in ultima analisi l'argomentazione a favore di politiche precauzionali. La seconda riguarda l'incorporazione dell'incertezza nei modelli empirici: integrare strutturalmente l'incertezza in un framework basato sui dati, invece di trattarla come un'annotazione a posteriori, rende possibile una valutazione complessiva del momentum attuale delle emissioni e rivela uno scarto sostanziale tra le tendenze osservabili e gli impegni climatici dichiarati. La terza riguarda la generazione e l'esplorazione di strategie di investimento climatico: la logica di ottimizzazione degli strumenti standard produce una concentrazione strutturale attorno a portafogli tecnologici ristretti che riflette le ipotesi modellistiche più che i requisiti di robustezza del problema sottostante, e viene proposta un'alternativa generativa che caratterizza la distribuzione completa delle strategie di investimento ad alte prestazioni.

Nel complesso, i tre contributi dimostrano che gli strumenti attualmente dominanti nell'analisi delle politiche climatiche sottostimano sistematicamente l'incertezza e restringono lo spazio apparente delle soluzioni, e che affrontare questo problema cambia sia le politiche raccomandate sia le soluzioni considerate possibili.