



**VERSO
LA
NEUTRALITÀ
CLIMATICA
CON
ELETTRICITÀ
100%
RINNOVABILE**

MARTEDÌ 11 MARZO 2025

Primi sottoscrittori

Riccardo Amirante, Politecnico di Bari
Nicola Armaroli, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Alessandra Bonoli, Università di Bologna
Luciano Burderi, Università di Cagliari
Federico Butera, Politecnico di Milano
Stefano Caserini, Università di Parma
Livio de Santoli, Sapienza Università di Roma
Tiziana Di Salvo, Università di Palermo
Cristina Facchini, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Andrea Filpa, Università Roma Tre
Marco Frey, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa
Marco Giusti, Università di Verona
Donato A. Grasso, Università di Parma
Arturo Lorenzoni, Università di Padova
Marco Marchetti, Sapienza Università di Roma
Davide Marino, Università del Molise
Bruno Massa, Università di Palermo
Fiorenza Micheli, Stanford University
Luigi Moccia, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Monica Montefalcone, Università di Genova
Davide Pettenella, Università di Padova
Vincenzo Trischitta, Sapienza Università di Roma
Fabrizio Tucci, Sapienza Università di Roma
Sergio Ulgiati, Università Parthenope di Napoli
Margherita Venturi, Università di Bologna

Progetto grafico

Roberta Arena

Marzo 2025

01 | Cambiamento nei vettori energetici, priorità dell'elettrico

Nell'epoca delle fonti fossili, i vettori energetici a minor costo sono stati i combustibili perché, rispetto al vettore elettrico, la loro movimentazione e trasformazione dalle fonti primarie agli usi finali comportava minori perdite. Il vettore elettrico, richiedendo un'ulteriore onerosa trasformazione termodinamica, risultava, a parità di unità energetica di primo principio, circa tre volte più costoso dei combustibili. È per queste ragioni basilari che i combustibili rappresentavano la scelta obbligata in tutti quei processi dove il vantaggio in termini di exergia del vettore elettrico non compensava il suo extra-cost.

Oggi, e ancora di più in prospettiva nei prossimi decenni, il quadro delle convenienze è completamente capovolto per cambiamenti tecnologici lato offerta ([punto 3](#)) e lato domanda ([punti 2, 27 e 28](#)), oltre che per l'evidenza della rilevanza dei danni climatici, ambientali e sociali, e quindi anche economici, delle fonti fossili.

02 | Cambiamento nella struttura degli usi finali, priorità all'integrazione

L'attuale sistema energetico fossile, oltre alla prevalenza dei vettori energetici nella forma di combustibili ([punto 1](#)), vede una netta separazione degli usi finali in principalmente tre settori: elettrico, termico e trasporto. Un sistema energetico 100% rinnovabile e a costo minimo modifica questa struttura.

Il vettore energetico prevalente diventa l'elettricità, e gli usi finali sono integrati [[Lund, 2024, Pastore and de Santoli, 2025](#)]. Gli usi termici sono soddisfatti prevalentemente dal vettore elettrico tramite pompe di calore, e altri vettori e fonti svolgono un ruolo integrativo, come le reti di teleriscaldamento, i cascami termici di processi industriali ([punto 27](#)), le biomasse ([punto 14](#)), la geotermia a bassa entalpia ([punto 19](#)).

Analogamente, nel settore dei trasporti, i veicoli elettrici sono prevalenti, e quelli con motori termici alimentati a bio/elettro-combustibili sono limitati agli usi dove le batterie risultano non adatte, come per il trasporto aereo e marittimo di medio-lungo raggio [[Connolly et al., 2016](#)]. Gli usi finali sono integrati perché le batterie utilizzate nei trasporti svolgono anche funzioni utili per la rete elettrica ([punto 28](#)). Ruoli di sostegno alla rete elettrica da parte di altri vettori sono possibili anche negli usi termici ([punto 18](#)).

03 | Eolico e solare per una decarbonizzazione veloce e a basso costo

La decarbonizzazione a basso costo è una priorità sia per contrastare la povertà energetica ([punto 33](#)) che per ampliare il consenso ad una trasformazione veloce dell'attuale sistema energetico.

Eolico e solare sono le due fonti rinnovabili mature, scalabili e a basso costo che possono conseguire questi obiettivi grazie ai loro notevolissimi miglioramenti tecnico-economici registrati negli ultimi due decenni. La sottostima di queste fonti ha portato ad errori strategici di valutazione che vanno superati [[Lopez et al., 2025](#)].

04 | Sinergia stagionale della fonte solare con quella eolica

La soluzione per gli squilibri stagionali della fonte solare è ben nota: l'integrazione con la fonte eolica, essendo queste due fonti anti-correlate tra le stagioni [[Grams et al., 2017](#), [Wohland et al., 2021](#), [Breyer et al., 2022](#)]. L'integrazione eolico-solare permette un profilo di generazione medio mensile dimensionabile sulla domanda attesa, riducendo così al minimo l'accumulo stagionale, inerentemente più costoso [[Moccia, 2025](#)].

Questa sinergia eolico-solare rende non necessario il ricorso alla fonte nucleare per il suo supposto vantaggio di garantire la continuità della produzione.

05 | Potenziale eolico italiano più che sufficiente per l'equilibrio stagionale

Il potenziale tecnico-economico dell'eolico a terra in Italia è più che sufficiente per un ruolo di equilibrio stagionale della fonte solare, che sarà prevedibilmente la fonte dominante in Italia. Le valutazioni dismissive della fonte eolica in Italia si basano su stime obsolete perché non considerano i progressi avvenuti negli ultimi due decenni (turbine a bassa potenza specifica, adatte ai regimi di vento medi, ovvero le condizioni più diffuse in Italia) [Ryberg et al., 2019, 2020].

06 | Solare ed eolico a terra e “consumo di suolo” immaginario

Solare ed eolico a terra rappresentano un “uso” di suolo, non un “consumo”, e le quantità di suolo necessarie per l'eolico e il solare sono contenute, meno dell'1% della superficie nazionale [Jacobson, 2020]. Gli usi del suolo di eolico e solare sono integrabili rispetto ad altri usi come l'agricoltura e il pascolo senza una apprezzabile diminuzione di queste attività. Inoltre, sono possibili delle sinergie di questi usi energetici del suolo con altri obiettivi ambientali e agronomici (punto 9). Ma soprattutto, nelle aree interne e nel Mezzogiorno (punto 31) esistono vasti territori ad utilizzo marginale che da soli sarebbero sovrabbondanti rispetto alle limitate superfici richieste da solare ed eolico.

07 | Solare a terra: un'occasione per la biodiversità

L'energia solare e le pratiche agricole possono coesistere per produrre risultati vantaggiosi per entrambi i settori e minimizzare il costo della transizione. Il solare a terra può essere trasformato in un'opportunità per le aree marginali e per quelle agricole, grazie al fatto che con una eco-progettazione gli impianti solari possono diventare

parchi solari, ovvero delle oasi di biodiversità per gli insetti impollinatori e l'avifauna (conservativa, [Nordberg and Schwarzkopf \[2023\]](#)). Oltre ad essere questo un obiettivo ambientale valido in sé, il contrasto al declino degli impollinatori porta anche a dei benefici economici per le colture che dipendono da questo servizio eco-sistemico (un esempio al [punto 9](#)).

08 | Distretti rinnovabili per minimizzare la trasmissione elettrica

L'ibridazione di solare ed eolico per ridurre gli sbilanciamenti stagionali dell'offerta può soddisfare un ulteriore obiettivo, quello della diminuzione della capacità di trasmissione sulla rete elettrica nazionale. La co-locazione di solare ed eolico può essere ulteriormente rafforzata con la co-locazione nello stesso distretto (un'area tipicamente sub-regionale) di altre tecnologie di generazione e di accumulo, come i pompaggi idroelettrici, l'accumulo elettrochimico (batterie), la produzione di idrogeno da elettrolisi, la gassificazione di residui agro-forestali per produzione di biometano e CO₂ biogenica, etc. [\[Moccia, 2025\]](#).

Questi processi offrono l'ulteriore possibilità di utilizzare l'idrogeno e i gas biogenici per produrre combustibili di sintesi. Così facendo, la potenza elettrica installata di eolico e solare nel distretto verrebbe vista dalla rete nazionale come una potenza ridotta, pressoché continua, con più vettori come l'idrogeno e i combustibili di sintesi ad integrare il vettore elettrico.

09 | Distretti rinnovabili per massimizzare le relazioni territoriali

La co-locazione di eolico, solare e altre tecnologie di generazione e accumulo può avere altri vantaggi oltre alla diminuzione della capacità di trasmissione elettrica ([punto 8](#)). Se gli impianti solari vengono configurati come parchi solari per gli impollinatori ([punto 7](#)), un territorio può beneficiare di questo servizio eco-sistemico per, ad esempio, le colture di mandorleti. La frutta a guscio offre proteine e grassi vegetali adatti per la dieta mediterranea e quindi per la riduzione dei danni sanitari, climatici e ambientali della dieta obesogenica ([punto 37](#)).

I gusci e le potature dei mandorleti possono alimentare un impianto di gassificazione della biomassa per bio-metano e CO₂ biogenica. Il solare congiuntamente con l'eolico permette di co-localizzare l'elettrolisi con un fattore di utilizzo annuo sufficiente per un idrogeno economicamente competitivo ([punto 22](#)). Questo idrogeno assieme alla CO₂ biogenica può essere utilizzato per la produzione di metano di sintesi. L'offerta di eolico e solare può essere stabilizzata rispetto alla trasmissione nazionale attraverso l'idroelettrico a pompaggio, i cui bacini, aumentabili in capacità nei nuovi progetti con un basso extra-costi, possono offrire un servizio idrico affidabile per le colture.

Questi sono solo degli esempi di relazioni eco-sistemiche e territoriali che i distretti rinnovabili possono innescare. Inoltre, la territorialità può favorire la partecipazione democratica agli investimenti ([punto 39](#)), e contribuire ad una nuova centralità delle aree adesso marginali del paese ([punto 31](#)).

10 | Eolico e paesaggio, per un'estetica non disconnessa dall'etica

Nessuno propone l'inserimento dell'eolico nelle oasi del paesaggio italiano. Oasi che hanno conservato l'arte dell'antropizzazione preindustriale, o l'incanto della natura non contaminata da attività umane. Queste oasi vanno protette senza cedimento alcuno. Ma fuori dalle oasi esiste il paesaggio compromesso dalla modernizzazione fossile con le sue impronte di cemento e asfalto, a cui corrispondono gli invisibili livelli di concentrazione in atmosfera dei gas serra emessi per quel cemento-asfalto.

Pertanto, dovunque ci siano tracce di cemento-asfalto, i parchi eolici rappresentano una compensazione, un'espressione visibile di un cambio di direzione rispetto all'antropizzazione fossile, che è solamente in parte visibile.

Questo è un cambio di prospettiva, per una estetica in sintonia con l'etica. L'Italia ha una tradizione di bellezza non solo per i paesaggi naturali ma anche per quelli antropizzati. Una accurata progettazione paesaggistica è possibile grazie alle grandi turbine eoliche che, richiedendo ampie spaziature, permettono di evitare l'effetto selva del piccolo eolico di prima generazione. Respingiamo il passatismo paesaggistico e ricordiamo che anche quando fu costruita la Tour Eiffel a Parigi sorsero i comitati no-torre.

11 | Paesaggio rinnovabile vs. paesaggio fossile

La critica dell'impatto paesaggistico di eolico e solare è fallace perché non considera un adeguato scenario contro-fattuale, che non è quello del paesaggio dei pittori del *Grand Tour*, dei tempi preindustriali. Il paesaggio prossimo venturo del cambiamento climatico è quello dei territori abbandonati all'erosione, desertificazione, e devastazioni per incendi e alluvioni. Lo spopolamento del Mezzogiorno e delle aree interne italiane già prefigura questo paesaggio dell'abbandono. Le rinnovabili sono pertanto un molteplici rimedio a queste tendenze distruttive. Non solo per l'aspetto energetico-climatico ma anche per il contrasto allo spopolamento delle aree interne ([punto 31](#)) e ai suoi nefasti effetti paesaggistici.

12 | Processi autorizzativi coerenti, aree inidonee come aree di riserva integrale

Gli attuali processi autorizzativi dell'eolico e del solare a terra sono irragionevoli perché richiedono a queste tecnologie un grado di perfezionismo ambientale irrealistico e controproducente [[Giusti, 2024](#)]. Gli usi energetici del territorio per eolico e solare implicano impatti al più contenuti nonché trasformabili con eco-progettazione in benefici ecosistemici ([punto 7](#)) e territoriali ([punto 9](#)). Non si può escludere a priori dall'uso energetico un terreno con vincolo di destinazione agricola, ad esempio perché tale terreno potrebbe essere degradato o contaminato. Non si può nemmeno escludere la compatibilità fra coltivazioni agricole e fotovoltaico, vista l'evoluzione dell'agrivoltaico e del conservoltaico. La sola ragionevole eccezione è rappresentata dai vincoli esistenti sulla conservazione integrale di aree protette ([punti 10 e 11](#)).

Pertanto, il pasticcio attuale tra governo ed enti locali sulle aree idonee potrebbe essere risolto con una semplice modifica legislativa, che renda libere le amministrazioni locali di dichiarare inidonea un'area per eolico e solare purché quella stessa area sia sottoposta a vincolo di riserva naturalistica integrale. Infatti, il concetto di "area idonea" non era stato introdotto per definire le aree inidonee, ma per indirizzare le rinnovabili lì dove le procedure autorizzative devono essere accelerate. La mancanza di chiarezza del governo e le campagne di disinformazione pro-fossili hanno ribaltato questa corretta impostazione.

13 | Eolico in mare, una prospettiva industriale

L'eolico flottante è la tecnologia che permetterebbe all'Italia di espandere notevolmente la sua capacità eolica. Questa tecnologia avrebbe anche il vantaggio di convertire dal fossile (le piattaforme *offshore* per l'estrazione di idrocarburi) al rinnovabile settori della cantieristica marittima. Una attenta pianificazione spaziale può minimizzarne gli impatti [[Kielichowska et al., 2020](#)]. Ciò premesso, l'eolico flottante per il Mediterraneo è ancora un'incognita rispetto ai costi. Ha senso che su questo settore ci sia una politica industriale, incluse le aste al ribasso per contratti per differenza. Ma bisogna chiarire all'opinione pubblica che questo settore ad oggi non è rappresentativo della tecnologia eolica, in quanto l'eolico a terra è già competitivo sui costi con le fonti fossili mentre per l'eolico flottante non è ancora così. Questo settore è al momento integrativo e va sostenuto per le sue potenzialità in caso di una futura riduzione dei costi.

14 | Usi razionali delle biomasse

Si considerano come scientificamente infondate le opinioni di coloro che vorrebbero assegnare alle biomasse, nella forma di biocombustibili, un ruolo rilevante nei trasporti e negli usi termici civili e industriali. I biocombustibili non possono essere alternativi all'elettrificazione massiva degli usi finali, in quanto rappresentano una fonte con alcuni rischi ambientali e sociali nel caso di dispiegamento alla scala attuale dei combustibili fossili [[Mortensen et al., 2020](#)]. In particolare, la sostituzione dei carburanti fossili con i biocarburanti liquidi presenta i seguenti rischi ambientali: la competizione con gli altri usi del suolo, in primis quelli agricoli, l'impatto climatico riferito al ciclo di vita, l'aumento del fabbisogno idrico, le minacce alla biodiversità, l'erosione dei suoli e il degrado delle foreste. Anche la Corte dei Conti Europea ha messo in guardia il legislatore nei confronti dei rischi connessi con il meccanismo di incentivazione dei biocarburanti liquidi previsto dalle direttive RED [[ECA, 2023](#)].

La Direttiva RED3, comunque, correttamente impone vincoli stretti nell'incentivazione dell'impiego di biomasse a fini di produzione di energia elettrica, un cambio di politiche che in Italia tarda ad essere attuato determinando non solo lo spreco di biomasse (in particolare legnose) ma anche l'incremento dell'importazione (l'Italia è il primo paese al mondo per l'import di legna da ardere) e infiltrazioni della criminalità organizzata lungo la filiera di approvvigionamento delle centrali.

Peraltro, la superficie forestale italiana continua a crescere; cresce anche lo stock medio di biomassa forestale. L'Italia, a fronte di un tasso di utilizzazione media dell'80% dell'incremento annuo, ha il valore più basso tra quello dei grandi paesi europei (30%). Promuovendo un aumento molto prudente dei prelievi di legname, questo dovrebbe essere destinato in prevalenza nel settore costruzioni (38-40% delle emissioni di gas di serra in atmosfera) in sostituzione di materie prime non rinnovabili ed *energy-intensive*, in linea con la *New Bauhaus Initiative* promossa dalla Commissione. Questa dinamica può a cascata portare a significative disponibilità di biomasse ad uso energetico (30-40% del legname grezzo utilizzato in edilizia è costituito da scarti).

C'è inoltre una necessità di efficientamento molto significativo degli impianti domestici di riscaldamento a biomasse, anche con la realizzazione in aree interne di impianti di teleriscaldamento su scala locale, in stretto rapporto con la disponibilità in loco di risorse forestali. Per quanto riguarda invece il positivo ricorso al biometano ricavabile dai rifiuti organici o dagli scarti agricoli collegati a pratiche agricole virtuose si dovrebbero evitare forme di incentivazione che rischiano di promuoverne utilizzi scarsamente efficienti e poco appropriati dal punto di vista termodinamico. L'immissione del biometano nella rete del gas naturale deve essere accompagnata da meccanismi di finalizzazione di questa fonte ai processi *hard-to-abate* (punti [21](#) e [27](#)). È inoltre fondamentale l'attenzione alla riduzione delle perdite del metano, che, dato il grande potenziale climalterante di questa molecola, possono anche in piccole quantità ridurre fortemente e anche annullare i benefici ambientali.

15 | Miglior uso delle biomasse, carbonio biogenico in distretti rinnovabili

Le biomasse sostenibili e opportunamente dimensionate possono ridurre il costo della decarbonizzazione grazie al fatto che queste risorse sono inerentemente stoccabili e utilizzabili in processi chimici. Analisi recenti di scenari di decarbonizzazione in Europa mostrano come il ruolo più rilevante delle biomasse non è tanto quello energetico ma quello di fornire carbonio biogenico a processi di sequestro della CO₂ o del suo riutilizzo per i combustibili di sintesi (punti [21](#) e [27](#)) [[Millinger et al., 2025](#)]. Queste possibilità vanno comunque sempre bilanciate rispetto ad altri rischi ambientali sugli usi del suolo e il deperimento dei pozzi di carbonio naturali. Anche per questi motivi, il buon uso delle biomasse dovrebbe essere esplorato alla scala dei distretti ([punto 9](#)).

16 | Idroelettrico esistente e suo ripensamento nell'epoca dell'estremizzazione climatica

L'idroelettrico italiano può essere considerato come saturo rispetto alle potenzialità di generazione elettrica, a meno di ammodernamenti puntuali. Questa risorsa può essere ripensata rispetto al suo utilizzo gestionale e a funzioni ausiliarie come quella dell'accumulo a pompaggio. L'idroelettrico a bacino, in un settore elettrico 100% rinnovabile, può facilitare la flessibilità della generazione, in competizione con gli accumuli di medio-periodo. Questa risorsa è pertanto una delle tante leve ([punto 30](#)) per la gestione della variabilità delle due fonti rinnovabili primarie, l'eolico e il solare. Inoltre, l'estremizzazione del ciclo idrico indotta dal cambiamento climatico potrebbe richiedere la progettazione di nuovi bacini idrici per gestire sia i fenomeni siccitosi che quelli alluvionali. Tali nuovi bacini, che sono diversi dai bacini di sbarramento fluviale, potrebbero anche svolgere il ruolo di bacini per accumulo idroelettrico [[Stocks et al., 2021](#), [Blakers et al., 2025](#)].

17 | Reti di teleriscaldamento per aumentare le opzioni di decarbonizzazione

Le reti di teleriscaldamento sono necessarie per conseguire obiettivi multipli [[Möller et al., 2019](#)]. A) La decarbonizzazione rapida di interi quartieri, per evitare i possibili ritardi di una decarbonizzazione degli usi termici civili che sia basata solo sulle soluzioni per singole unità immobiliari. B) L'integrazione di diverse fonti rinnovabili locali come la geotermia a bassa entalpia ([punto 19](#)) e le biomasse ([punto 14](#)), e i cascami termici da altri processi sia industriali che energetici (es. gli impianti per combustibili di sintesi che hanno processi esotermici) [[Lund et al., 2021](#)]. C) La riduzione dei costi della decarbonizzazione e della povertà energetica ([punto 33](#)) grazie alle economie di scale abilitate dalle reti [[Jacobson, 2021](#)]. D) Il sostegno alle rinnovabili variabili per la flessibilità di carico (nel caso di pompe di calore geotermiche) e per gli accumuli termici ([punto 18](#)). Il teleriscaldamento attualmente in Italia copre solo il 3% della domanda, ma ha un potenziale che varia dal 12 al 34% con ipotesi conservative [[Spirito et al., 2024](#)], e arriva fino al 60% con ipotesi ottimistiche [[Paardekooper et al., 2022](#)].

18 | Accumuli distribuiti per usi termici

L'accumulo termico ha due caratteristiche tecnico-economiche: a) un costo di 1—2 ordini di grandezza inferiori rispetto all'accumulo elettrochimico, e b) un pronunciato effetto di economia di scala (gli accumuli grandi sono molto più economici di quelli piccoli). Queste caratteristiche fanno sì che nel passaggio dagli usi finali separati del sistema fossile agli usi finali integrati del sistema rinnovabile ([punto 3](#)), ci sia una naturale convenienza ad installare accumuli termici.

Questi accumuli, per le ragioni di economia di scala, hanno un potenziale limitato a livello di singola unità abitativa (dove sono pur possibili per l'inerzia termica dell'edificio e l'accumulo di acqua calda sanitaria), ma possono trovare ampio utilizzo per gli usi termici nel settore industriale ([punto 27](#)) e nelle reti di teleriscaldamento ([punto 17](#)), dove sono possibili anche accumuli termici di tipo stagionale. Questi tipi di accumuli, nell'approccio *Power-to-Heat*, andranno a ridurre il fabbisogno di accumulo elettrico e gli sbilanciamenti stagionali del solare [[Jacobson et al., 2022](#)].

19 | Geotermia ad alta e bassa entalpia

La fonte geotermica in Italia ha un significativo potenziale elettrico che può essere rivalutato nei prossimi anni quando saranno più chiari gli aspetti di costo e di accettabilità sociale delle nuove tecnologie di fratturazione idraulica [[Horne et al., 2025](#)]. Per il momento rimane comunque plausibile un ruolo importante della geotermia di bassa entalpia per gli usi termici distribuiti o attraverso reti di teleriscaldamento ([punto 17](#)).

20 | Le riqualificazioni energetiche degli edifici, una prospettiva di lungo periodo

Le riqualificazioni energetiche degli edifici sono necessarie sia per ridurre gli sprechi energetici (coibentazione, implementazione di soluzioni bioclimatiche passive, uso di ventilazione e illuminazione naturali, etc. [Tucci \[2021\]](#)) che per facilitare l'elettrificazione (pompe di calore, etc.). Il cambiamento climatico e il conseguente rischio estivo di ondate di calore e di accentuazione delle isole di calore rappresenta un'ulteriore motivazione per incoraggiare questi interventi. La criticità di questo settore è rappresentata dalla natura sbilanciata delle incentivazioni passate (superbonus), che hanno fatto registrare un ciclo di crescita abnorme e conseguente collasso. Il settore delle riqualificazioni energetiche nell'ambito delle ristrutturazioni edilizie richiede impegni dall'orizzonte multi-decennale, anche per l'allineamento della formazione dei lavoratori e delle capacità produttive ai vari livelli (progettisti, imprenditori edili, produttori di sistemi tecnologici, materiali e componenti). Pertanto, la sostenibilità economica degli incentivi dovrebbe far parte delle premesse di un tale programma, così come i requisiti di equità sociale.

21 | L'idrogeno, gli elettro-bio-combustibili e i loro usi razionali

L'idrogeno è un vettore non una fonte energetica, come alcuni commentatori erroneamente affermano. Il vettore idrogeno ha intrinsecamente, per ragioni fisiche, un maggior costo rispetto all'elettrificazione diretta. Inoltre, questo vettore ha specifici rischi (infiammabilità, rischio fughe per indebolimento strutturale dei materiali di contenimento). Queste caratteristiche dell'idrogeno fan sì che esistono soltanto pochi usi plausibili per questo elemento. Gli usi plausibili per l'idrogeno sono l'ossidoriduzione del minerale di ferro (acciaio primario), alcuni processi chimici (es. fertilizzanti), e il contributo a combustibili di sintesi, che a loro volta possono essere utilizzati nei processi *hard-to-abate* (es. cemento, vetro). È implausibile che l'idrogeno tal quale abbia un ruolo pervasivo come attualmente ha il gas fossile. Il metano ottenuto dalla sintesi di idrogeno verde e CO₂ biogenica potrà svolgere alcuni ruoli attualmente ricoperti dal gas fossile, ma tali ruoli saranno limitati, per ragioni di costo, ai settori dove l'elettrificazione diretta trova ostacoli tecnici ([punto 27](#)). L'enfasi sull'idrogeno diffuso è una distrazione [[Rosenow, 2024, 2022](#)], particolarmente rispetto alla priorità di aumentare eolico, solare

ed elettrificazione; anche perché se non si raggiungeranno le alte penetrazioni di solare ed eolico nel settore elettrico sarà infattibile la produzione a costo minimo di idrogeno verde ([punto 22](#)). L'enfasi sull'idrogeno è alimentata dai forti sussidi esistenti, che rendono attrattive soluzioni che non hanno logica termodinamica.

22 | Idrogeno e rinnovabili primarie, ovvero il carro davanti ai buoi

L'attuale programmazione italiana sull'idrogeno presenta fattori critici non solo perché assegna un ruolo eccessivo a questo vettore ([punto 21](#)), ma anche perché non riconosce che il successo dell'idrogeno dipenderà da una abbondante disponibilità di fonti rinnovabili a basso costo come l'eolico e il solare a terra. Il PNIEC prevede che in Italia l'idrogeno sarà prodotto con un funzionamento a pieno carico degli elettrolizzatori pari a 2000 ore/anno. Questa strategia ha dei rischi economici. Eolico e solare a terra, in particolare nel Mezzogiorno, possono produrre a basso costo idrogeno rinnovabile con un fattore di utilizzo dell'elettrolisi anche doppio rispetto a quello precedente. Le reticenze del PNIEC su eolico e solare a terra rischiano di rendere economicamente infattibile l'attuale programmazione nazionale sui combustibili decarbonizzati, con le criticità occupazionali delineate al [punto 32](#).

23 | Prezzi dinamici dell'elettricità per la domanda flessibile

Il passaggio da un sistema centralizzato basato su fonti fossili programmabili ad un sistema diffuso basato su fonti rinnovabili variabili apre l'opportunità della flessibilità temporale degli usi finali. Questa flessibilità è oggi possibile grazie alla digitalizzazione delle reti e dei dispositivi. La gran parte degli usi energetici ha inesplorati margini di flessibilità che sarebbero tecnicamente attivabili grazie all'automazione diffusa. Il meccanismo attivante per questa flessibilità latente sono i prezzi dinamici dell'elettricità. Sarà questa ottimizzazione basata sui prezzi che sposterà la domanda flessibile verso le ore di sovra-generazione di eolico e solare, riducendo così le esigenze di accumulo dedicato. Le comunità energetiche rinnovabili ([punto 39](#)) sono laboratori per pratiche di sincronizzazione tra produzione e consumo. La flessibilità della domanda, inoltre, allevierà la forte oscillazione dei prezzi [[Brown et al., 2024](#)], in una certa misura fisiologica

con la prevalenza di fonti come il solare e l'eolico a costo marginale pressoché nullo. Ciononostante, è urgente la revisione del disegno del mercato elettrico auspicata dalla direttiva UE 2024/1711 e dal regolamento 1747 del 2024, che spingono per un ruolo maggiore dei *Power Purchase Agreement* (PPA) e dei Contratti alle Differenze (CfD) per il solare e l'eolico nelle nuove iniziative.

24 | Prezzi zonali dell'elettricità per la visibilità territoriale dei progressi nelle rinnovabili

I territori possono differire sia per diversi potenziali delle fonti rinnovabili che per diversa efficacia nell'attivarne gli investimenti in impianti e relative reti di trasmissione. Per responsabilizzare le istituzioni locali rispetto al secondo fattore, i prezzi zonali dell'elettricità sono il meccanismo più trasparente. I territori che avranno messo a terra le procedure autorizzative più efficaci per aumentare la generazione delle rinnovabili vedranno i loro prezzi zonali diminuire e stabilizzarsi per l'effetto di riduzione della dipendenza dal fossile.

25 | Interconnessione elettrica, scala nazionale

Gli allarmi su un eccesso di investimenti nella capacità di trasmissione elettrica a scala nazionale sono ingiustificati. La componente di costo di sistema della trasmissione elettrica è una componente di peso relativamente basso rispetto a quelle della generazione e dell'accumulo. I prezzi zonali ([punto 24](#)) aiuteranno anche a rendere visibile la convenienza dell'espansione della trasmissione. Inoltre, la strategia dei distretti rinnovabili ([punto 8](#)) ridurrà il fabbisogno di trasmissione, erroneamente calcolato da alcuni commentatori come semplice somma delle potenze di picco.

26 | Interconnessione elettrica, scala europea e oltre

Le nuove tecnologie di trasmissione elettrica sulle lunghe distanze in corrente continua permetteranno di espandere a basso costo gli scambi transfrontalieri anche oltre i limiti europei. Questa è un'ulteriore leva per aumentare la convenienza delle fonti rinnovabili [Tröndle et al., 2020]. Sulla scala continentale e intercontinentale si attiveranno flussi tra aree con diversi regimi dei venti e disponibilità solare, anche per le differenze di fascia oraria, oltre che per differenze di latitudine [Schlachtberger et al., 2017]. In via conservativa, si propone che questi scambi siano bilanciati su base media annua. Ovvero, ogni nazione produce nell'anno il quantitativo di elettricità che consuma, mentre su base oraria vengono scambiate le eccedenze. In base ad analisi sulla rete europea, già questo criterio è sufficiente per ottenere una riduzione dei costi rispetto ad una improbabile autarchia nazionale.

27 | Elettificazione degli usi termici industriali, allarme ingiustificato vs. opportunità

Alcuni commentatori erroneamente classificano gli usi termici industriali come di difficile elettrificazione e quindi da soddisfare tramite combustibili. Al contrario, ben il 90% degli usi finali termici industriali sono tecnicamente elettrificabili [Rehfeldt et al., 2024]. L'errata comprensione deriva da schemi obsoleti sulle priorità dei vettori (punto 1). La difficoltà di elettrificazione di questi usi finali non è quindi tecnica ma economica ed è superabile grazie alle rinnovabili a basso costo, eolico e solare a terra (punto 3), i prezzi dinamici (punto 23), e gli accumuli termici (punto 18) con tecnologie mature [Jacobson et al., 2024]. La parte non elettrificabile degli usi termici industriali fa riferimento a processi dove la componente chimica dei combustibili è dominante, e che quindi richiede gli usi razionali dell'idrogeno (punto 21), delle biomasse (punto 14) o derivati da queste fonti e vettori, gli elettro-bio-combustibili (punto 3), ovvero i processi *hard-to-abate* (es. acciaio, cemento, vetro).

28 | Elettificazione del trasporto, condizione necessaria ma non sufficiente per la mobilità sostenibile

L'elettificazione del trasporto è la condizione necessaria, sebbene non sufficiente, per una mobilità sostenibile. È condizione necessaria perché non esistono alternative praticabili che permettano la conservazione del motore termico ([punto 14](#)) in scenari di decarbonizzazione spinta. Inoltre, l'elettificazione del trasporto abilita la ricarica ad orario flessibile (*grid-to-vehicle*) per ridurre la sovragerazione di eolico e solare e l'accumulo distribuito (*vehicle-to-grid*). Queste sinergie tra elettificazione del trasporto e rinnovabili aumentano la convenienza di questo cambiamento nella tecnologia veicolare. Altri vantaggi derivano dai co-benefici dell'elettificazione del trasporto sull'inquinamento dell'aria e del rumore nelle città.

L'elettificazione del trasporto è però non sufficiente per raggiungere gli obiettivi complessivi della sostenibilità in quanto la sola sostituzione dell'alimentazione dei veicoli non permette di ridurre altre esternalità negative quali la congestione, l'incidentalità, la segregazione delle persone non auto-munite, il fardello economico della spesa per auto delle famiglie ([punto 29](#)), e altri danni ambientali sia locali (particolato da usura gomme-asfalto) che globali (fardello estrattivo dei materiali) ([punto 35](#)).

29 | Mobilità sostenibile, cura del ferro per le città, digitale per tutti i territori

La fragilità dei bilanci familiari degli italiani rispetto al costo dell'automobile è causata dall'eccesso automobilistico. In Italia circolano quasi 7 auto ogni 10 abitanti, il valore più alto dell'Unione Europea, del 22% maggiore rispetto alla media UE [[EUROSTAT, 2023](#)]. La causa fondamentale di questa condizione è la gracilità delle reti di trasporto pubblico su sede protetta [[Vuchic, 1999](#)], ovvero il trasporto su ferro (ferrovie regionali, metropolitane, tranvie) o su gomma elettrificata (busvie ad alto livello di servizio) [[Vuchic et al., 2012](#), [Moccia et al., 2018, 2022](#)]. La mobilità ciclo-pedonale sarà attivabile in modo significativo solamente quando questa criticità del trasporto pubblico sarà affrontata [[Velardi et al., 2018](#)], altrimenti l'inquinamento geometrico [[Bruun and Vuchic, 1995](#)] delle auto soverchierà sempre le buone intenzioni di chi vorrebbe utilizzare altre modalità di trasporto. Inoltre, questo inquinamento geometrico impedisce l'estensione del verde

urbano e la depavimentazione del suolo, a causa delle immense superfici asfaltate richieste dalle auto private. Questi vincoli derivanti dall'eccesso automobilistico acquisiscono i danni del cambiamento climatico per l'effetto dell'isola di calore e della diminuzione della capacità del suolo di assorbimento delle acque. Le aree urbane italiane hanno le densità sufficienti per un ambizioso programma di reti di trasporto pubblico su ferro o comunque su sede protetta. Questo programma non è alternativo all'elettrificazione delle auto private ma sinergico, in quanto ridurrebbe l'esigenza di seconde e terze auto nelle famiglie (di solito queste auto sono relativamente vecchie, quindi già ammortizzate, e con un basso kilometraggio annuo rendendo non conveniente l'acquisto di un nuovo veicolo elettrico). La digitalizzazione dei servizi, lo *smart-working*, la riorganizzazione dei servizi di prossimità (città dei 15 minuti) sono altre leve di riduzione della domanda da implementare rapidamente.

30 | Accumuli elettrochimici: evitare le esagerazioni

Alcuni commentatori fanno stime allarmistiche sugli accumuli elettrochimici, le batterie, che servirebbero per stabilizzare solare ed eolico. Si tratta di stime sbagliate perché non analizzano le tante leve sistemiche che permetteranno di ridurre il fabbisogno di batterie dedicate per la rete elettrica [Victoria et al., 2019]. Queste leve sono il bilanciamento stagionale eolico-solare ([punto 4](#)), la trasmissione d'area vasta alla scala nazionale ([punto 25](#)) e internazionale ([punto 26](#)), la domanda flessibile attivata dai prezzi dinamici ([punto 23](#)), gli accumuli non elettrici come quelli termici ([punto 18](#)), le rinnovabili programmabili come l'idroelettrico ([punto 16](#)) e le biomasse ([punto 14](#)), le altre tecnologie d'accumulo di breve e medio periodo come l'idroelettrico a pompaggio (16), le batterie nei trasporti che saranno attivabili sia in assetto *grid-to-vehicle* che *vehicle-to-grid* ([punto 28](#)), la corretta ripartizione tra accumulo di breve, medio e lungo periodo attraverso l'idrogeno e gli elettro-bio-combustibili secondo l'approccio *Power-to-X* ([punto 3](#)). Si fa notare come allarmi simili furono diffusi già nel decennio passato quando eolico e solare cominciarono ad essere installati in maniera apprezzabile. Eppure, gli accumuli di rete già esistenti, i pompaggi idroelettrici, hanno visto in questi anni una riduzione di un fattore quattro del loro utilizzo, smentendo i profeti di sventura che paventavano il collasso della rete per mancanza di accumuli.

31 | Mezzogiorno e aree interne d'Italia, per una loro nuova centralità energetica

Per tre quarti il potenziale eolico italiano è localizzato nel Mezzogiorno. Considerando anche l'eolico nelle aree interne del Centro-Nord, sull'arco appenninico e su quello alpino, si arriva alla quasi totalità del potenziale. La co-localizzazione in queste aree di eolico e solare a terra secondo il modello dei distretti rinnovabili ridurrebbe i costi di sistema per il miglior utilizzo su base annua dell'infrastruttura di trasmissione ([punto 8](#)), contribuirebbe alla riduzione della stagionalità dell'offerta ([punto 4](#)), e permetterebbe la realizzazione di molteplici sinergie territoriali sul ciclo delle acque e sui servizi eco-sistemici ([punto 9](#)). Inoltre, questa nuova centralità energetica delle aree oggi economicamente marginali del paese contribuirebbe con investimenti produttivi e non con sussidi ad arrestare la tendenza dello spopolamento per emigrazione e declino demografico.

32 | Le opportunità energetiche nel Mezzogiorno e i rischi dell'autarchia regionalistica

Il sistema energetico italiano ha oggi una dipendenza dall'estero di circa il 74%, dovuta principalmente alle fonti fossili, che presentano inoltre rischi geopolitici per la concentrazione geografica dei giacimenti. Gli elettro-combustibili derivati da rinnovabili non presentano analoghi fattori di rischio geopolitico per la diversa dinamica cliente-fornitore, che è aperta e distribuita [[Overland, 2019](#)]. È pertanto plausibile che non attivando la produzione di idrogeno da solare-eolico nel Mezzogiorno, che è la sola opzione con *chance* di competitività nell'ambito nazionale, occorrerà ricorrere all'approvvigionamento dall'estero per questo vettore e i suoi derivati. Questo scenario corrisponde a condizioni di scarsa cooperazione tra le regioni del paese, con il prevalere di orientamenti localistici. Sebbene questo scenario non implicherebbe i rischi geopolitici dell'attuale dipendenza dal fossile, va segnalato che questa rinnovata dipendenza energetica dall'estero comporterebbe il rischio di de-localizzazione delle attività industriali che necessitano di idrogeno o altri elettro-combustibili (es. ammoniaca per la chimica) con relative conseguenze sull'occupazione ([punto 34](#)).

33 | Povertà energetica: evitare azzardi sulle bollette

Abbassare la bolletta elettrica degli italiani non è solo una priorità per favorire l'elettrificazione degli usi finali, ma un imperativo morale dati i tanti bisogni energetici primari che sono insoddisfatti tra le fasce più povere della popolazione, particolarmente nel Mezzogiorno e in generale nelle aree interne del paese. Questi bisogni saranno in aumento per l'inevitabile adattamento al cambiamento climatico, che richiederà un maggior ricorso al condizionamento estivo, per quanto si auspica una mitigazione di questi aumenti con le riqualificazioni edilizie ([punto 20](#)). Anche per questo obiettivo risulta esemplare l'approccio seguito da paesi europei come la Spagna e il Portogallo, che hanno investito nelle rinnovabili a basso costo come l'eolico e il solare a terra, e così facendo hanno ridotto la bolletta elettrica negli anni più difficili della crisi del gas, conseguenza dell'invasione russa dell'Ucraina. I tempi stretti della decarbonizzazione e queste esigenze sociali richiedono di evitare scommesse azzardate su tecnologie improbabili come il nucleare [[Haywood et al., 2023](#), [Präger et al., 2024](#)], che scaricherebbero i loro extra-costi sulle bollette.

34 | Lavoro

Analizzando pubblicazioni, studi e report prodotti negli ultimi anni da ricercatori ed enti specializzati, si evince in modo inequivocabile che la transizione energetica avrà un saldo occupazionale positivo a livello globale. Se non governata con politiche di giusta transizione, però, la transizione energetica può avere impatti occupazionali negativi a livello territoriale e/o nazionale. È necessaria, pertanto, a livello di singolo paese o di area geografica, un'attenta analisi occupazionale dei vari settori, al fine di quantificare il numero di posti di lavoro che andranno inevitabilmente persi, e in quale arco temporale, e di quelli che potranno essere oggetto di processi di riconversione. A partire da questi dati è necessario attivare politiche di giusta transizione, determinate attraverso percorsi di partecipazione democratica e contrattazione con le parti sociali, che definisca strategie e politiche industriali per sostenere lo sviluppo delle filiere industriali strategiche nella transizione, creazione di nuovi posti di lavoro di qualità, riqualificazione professionale e formazione alle nuove competenze, protezione sociale e diritti del lavoro, superando i divari occupazionali di genere, generazionali, territoriali e dei gruppi marginalizzati. L'obiettivo è quello di non lasciare indietro nessuna comunità e nessun lavoratore.

35 | Sobrietà, modi di vita indipendenti dai vortici dell'eccesso consumista

L'aumento delle rinnovabili e dell'efficienza energetica può non essere sufficiente per la sostenibilità ambientale intesa in senso ampio, non limitata all'aspetto, pur prioritario, della riduzione dei gas serra. Esiste il rischio, che può e deve essere affrontato, di un passaggio dall'estrattivismo fossile ad altre forme di distruzione ambientale e coloniale. Le leve di decarbonizzazione lato domanda hanno un potenziale tecnico rilevante, possono avere significativi co-benefici e ampliare la partecipazione all'attivismo climatico [[IPCC, 2022](#)].

Per l'Europa, scenari di decarbonizzazione che includono cambiamenti socio-culturali lato domanda evidenziano come questi possano aumentare la sicurezza energetica, ridurre le importazioni di materiali ed evitare il ricorso a tecnologie come quelle per le emissioni negative che presentano profili di incertezza sia sui costi che su altri criteri di sostenibilità ambientale [[Wiese et al., 2024](#)].

36 | Economia circolare, oltre il riciclo

La differenziazione del rifiuto è una pratica necessaria ma non sufficiente per diminuire gli impatti ambientali dell'estrazione mineraria. Riduzione, riuso e riparazione sono le tre strategie necessarie oltre al riciclo per realizzare l'economia circolare. La responsabilità del produttore di un bene durevole deve essere estesa per allungarne la vita utile (estensione di garanzia, diritto di riparazione, riuso), e diminuirne gli impatti a fine vita.

L'adozione dell'economia circolare, che si basa sulla sobrietà, porta alla minimizzazione dei rifiuti e al trasferimento di attività economiche dalla produzione alla manutenzione. Ciò comporta una diminuzione della produzione, dei rifiuti da trattare e della quantità di merce da trasportare, con conseguente diminuzione della domanda di energia che le fonti rinnovabili devono soddisfare.

37 | Dieta per clima, salute e territorio

L'attuale dieta degli italiani è ormai lontana dalla dieta mediterranea propriamente intesa (moderato consumo di carni, latticini e carboidrati raffinati e prevalenza di verdure, cereali integrali, legumi, frutta fresca e a guscio, e olio EVO). Cibi e bevande obesogenici abbondano con rilevanti danni alla salute oltre che all'ambiente e al clima. Basterebbe seguire una dieta nota come *flexitarian* [Trischitta, 2025] che si differenzia dalla vegetariana per un saltuario e moderato utilizzo di carne e pesce per conseguire notevoli benefici su obiettivi multipli. Un recente studio basato su modelli di predizione, conclude che seguire una dieta *flexitarian* permetterebbe di salvare circa 100mila vite in un anno [Springmann et al., 2023]. Il numero di vite salvate raddoppierebbe con la dieta vegana. Ma non è tutto, perché la dieta *flexitarian* altro non è che qualcosa di molto simile alla dieta mediterranea che, com'è noto riduce il rischio di malattie come infarto, ictus, diabete, alcune forme di cancro e demenza che sono la maggior causa di morte nei paesi ricchi. Si nota come i cibi e le bevande obesogenici sono spesso anche quelli che richiedono maggiormente le confezioni di plastica monouso. Pertanto, si propone il divieto di pubblicizzare cibi e bevande obesogenici, il divieto di vendita di tali prodotti nelle scuole, e la sostituzione dei contenitori di plastica mono-uso con il vetro con vuoto a rendere.

38 | Trasparenza non “neutralità tecnologica”

Il concetto di “neutralità tecnologica” è ormai inservibile perché inquinato dalla disinformazione. Alcuni commentatori hanno preteso giustificare la conservazione delle tecnologie basate sulla combustione attraverso il ricorso a questo concetto, travisandolo. Non si è “neutrali” quando ci si rifiuta di vedere l'impossibilità di decarbonizzare mantenendo gli attuali riparti tra vettore elettrico e combustibili (si vedano i punti 27 e 28). Il rifiuto della priorità dell'elettrificazione non ha basi scientifiche, e non è neutrale, in quanto costituisce di fatto un boicottaggio della decarbonizzazione a favore delle fonti fossili. Trasparenza tecnologica può essere il metodo per far avanzare il dibattito. I settori dove le soluzioni sono chiare (per esempio solare ed eolico nella generazione elettrica, auto a batterie nel trasporto passeggeri) hanno bisogno di un orizzonte definito di impegni senza infingimenti per una traiettoria di investimenti al minor costo. Altri settori dove invece esiste un'oggettiva incertezza tecnologica (per esempio su quale possa essere il miglior elettro-carburante per il settore navale, se metanolo, ammoniaca o altro) richiedono un approccio improntato alla prudenza dove la diversificazione tra le opzioni tecnologiche può essere fruttuosa.

39 | Partecipazione democratica e territoriale agli investimenti

Granularità e territorialità sono due importanti caratteristiche delle rinnovabili e delle tecnologie di accumulo come l'idroelettrico a pompaggio. Il fotovoltaico su coperture esistenti ha il merito di facilitare la partecipazione dei cittadini alla decarbonizzazione e educare alle potenzialità della domanda flessibile per aumentare la quota di autoconsumo. Lo strumento delle comunità energetiche rinnovabili (CER) diventa così accessibile ad ampie fasce della popolazione. Al riguardo è esemplare il caso della Danimarca che ha visto un ruolo importante delle cooperative di produttori-utenti sulla raccolta del credito per investimenti nell'eolico, oltre che per una progettualità articolata sul territorio per biomasse e teleriscaldamento. Banche di credito cooperativo e di finanza etica possono contribuire a schemi di investimenti come quelli dei distretti rinnovabili (punti 8 e 9) abbassando il costo del finanziamento, anche attraverso il ricorso al micro-finanziamento dal basso (*crowdfunding*). Per un'ampia discussione sulla necessaria democratizzazione della finanza per la decarbonizzazione si veda il saggio di [Giraud \[2015\]](#). La Costituzione della Repubblica Italiana presenta già all'art. 47 il richiamo alla democrazia economica, ovvero la partecipazione diffusa dei cittadini agli investimenti produttivi. Gli investimenti nelle fonti rinnovabili richiedono una finanza completamente diversa dai grandi impianti termoelettrici, con il coinvolgimento degli stessi consumatori, superando la logica delle grandi *utility* energetiche. Questo nuovo modello organizzativo del settore energetico è nel lungo termine vincente.

40 | Decarbonizzazione, pace e cooperazione internazionale

La decarbonizzazione è necessaria per disinnescare conflitti che il deragliamenti climatico potrebbe causare o amplificare [[Kemp et al., 2022](#)]. La cooperazione internazionale è necessaria per una decarbonizzazione rapida perché permette di a) ridurre le spese improduttive e dannose come quelle per gli armamenti; b) ridurre le incertezze negli investimenti; c) beneficiare di catene logistiche e produttive globali con conseguente riduzione dei costi delle tecnologie come i pannelli solari e le auto elettriche. L'Italia, per la sua Costituzione pacifista, e l'Europa, per la saggezza che dovrebbe derivare dall'essere stata nel secolo precedente l'epicentro di due guerre mondiali, dovrebbero agire per disinnescare le tensioni internazionali attuali, alimentate dai vari complessi militari-industriali.

BIBLIOGRAFIA

Andrew Blakers, Timothy Weber, and David Silalahi. Pumped hydro energy storage to support 100% renewable energy. *Progress in Energy*, 7(2):022004, 2025. doi:10.1088/2516-1083/adaabd. URL <https://dx.doi.org/10.1088/2516-1083/adaabd>

C. Breyer, S. Khalili, D. Bogdanov, M. Ram, A. S. Oyewo, A. Aghahosseini, A. Gulagi, A. A. Solomon, D. Keiner, G. Lopez, P. A. Østergaard, H. Lund, B. V. Mathiesen, M. Z. Jacobson, M. Victoria, S. Teske, T. Pregger, V. Fthenakis, M. Raugei, H. Holttinen, U. Bardi, A. Hoekstra, and B. K. Sovacool. On the history and future of 100% renewable energy systems research. *IEEE Access*, 10:78176–78218, 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3193402. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9837910>

Tom Brown, Fabian Neumann, and Iegor Riepin. Price formation without fuel costs: the interaction of elastic demand with storage bidding. *arXiv preprint arXiv:2407.21409*, 2024. URL <https://arxiv.org/abs/2407.21409>

Eric C Bruun and Vukan R Vuchic. Time-area concept: Development, meaning, and applications. *Transportation research record*, (1499):95–104 URL <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1499/1499-014.pdf>

D. Connolly, H. Lund, and B. V. Mathiesen. Smart energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60:1634–1653, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.025>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002331>

ECA. Il sostegno dell'UE ai carburanti sostenibili nei trasporti. relazione speciale n. 29. Technical report, Corte dei Conti Europea, 2023. URL https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-29/SR-2023-29_IT.pdf

EUROSTAT. Passenger cars in the EU, 2023. URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_cars_in_the_EU#A_6.7.25_increase_in_EU-registered_passenger_cars_since_2018

Gael Giraud. *Transizione ecologica – La finanza a servizio della nuova frontiera dell'economia*. EMI, Bologna, 2015.

Marco Giusti. *L'Urgenza di Agire*. Lu:Ce edizioni, Massa (MS), 2024.

C. M. Grams, R. Beerli, S. Pfenninger, I. Staffell, and H. Wernli. Balancing europe's windpower output through spatial deployment informed by weather regimes. *Nature Climate Change*, 7(8):557–562, 2017. doi:10.1038/NCLIMATE3338. URL <https://www.nature.com/articles/nclimate3338>

Luke Haywood, Marion Leroutier, and Robert Pietzcker. Why investing in new nuclear plants is bad for the climate. *Joule*, 7(8):1675–1678, 2023. doi: 10.1016/j.joule.2023.07.006. URL <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.07.006>

Roland Horne, Albert Genter, Mark McClure, William Ellsworth, Jack Norbeck, and Eva Schill. Enhanced geothermal systems for clean firm energy generation. *Nature Reviews Clean Technology*, 2025. doi: 10.1038/s44359-024-00019-9. URL <https://doi.org/10.1038/s44359-024-00019-9>

IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Chapter 5: Demand, Services and Social Aspects of Mitigation*, page 503. Cambridge University Press, 2022.

Mark Z Jacobson. *100% clean, renewable energy and storage for everything*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2020. ISBN 1108479804.

Mark Z. Jacobson. On the correlation between building heat demand and wind energy supply and how it helps to avoid blackouts. *Smart Energy*, 1:100009, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100009>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955221000095>

Mark Z. Jacobson, Anna-Katharina von Krauland, Stephen J. Coughlin, Emily Dukas, Alexander J. H. Nelson, Frances C. Palmer, and Kylie R. Rasmussen. Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 145 countries. *Energy & Environmental Science*, 15(8):3343–3359, 2022. doi: 10.1039/D2EE00722C. URL <http://dx.doi.org/10.1039/D2EE00722C>

Mark Z Jacobson, Daniel J Sambor, Yuanbei F Fan, and Andreas Mühlbauer. Effects of firebricks for industrial process heat on the cost of matching all-sector energy demand with 100%wind–water–solar supply in 149 countries. *PNAS Nexus*, 3(7):1–13, 2024. ISSN 2752-6542. doi: 10.1093/pnasnexus/pgae274. URL <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae274>

Luke Kemp, Chi Xu, Joanna Depledge, Kristie L Ebi, Goodwin Gibbins, Timothy A Kohler, Johan Rockström, Marten Scheffer, Hans Joachim Schellnhuber, and Will Steffen. Finale di partita sul clima: Esplorare gli scenari catastrofici dei cambiamenti climatici. *Ingegneria dell'Ambiente*, 9(3), 2022. URL <https://ingegneriadellambiente.net/ojs/index.php/ida/article/view/427>

Iza Kielichowska, Konstantin Staschus, Ainhoa Villar Lejarreta, Lennard Sijtsma, Lou Ramaekers, Barry Vree, Gustaf Rundqvist Yeomans, Carmen Wouters, Simon Lindroth, and Frank Krönert. Study on the offshore grid potential in the Mediterranean region. Technical report, European Commission — Directorate General for Energy, Brussels, 2020.

Gabriel Lopez, Yousef Pourjamal, and Christian Breyer. Paving the way towards a sustainable future or lagging behind? an ex-post analysis of the international energy agency's world energy outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 212:115371,

2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115371>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032125000449>

Henrik Lund. *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of Fully Decarbonized Societies*, chapter Carbon neutral societies and smart energy systems, pages 227–273. Elsevier, third edition, 2024. ISBN 978-0-443-14137-9. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14137-9.00008-5>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443141379000085>

Henrik Lund, Poul Alberg Østergaard, Tore Bach Nielsen, Sven Werner, Jan Eric Thorsen, Oddgeir Gudmundsson, Ahmad Arabkoohsar, and Brian Vad Mathiesen. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*, 227:120520, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120520>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007696>

M. Millinger, F. Hedenus, E. Zeyen, F. Neumann, L. Reichenberg, and G. Berndes. Diversity of biomass usage pathways to achieve emissions targets in the european energy system. *Nature Energy*, 2025. doi: [10.1038/s41560-024-01693-6](https://doi.org/10.1038/s41560-024-01693-6). URL <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01693-6>

Luigi Moccia. Optimization of baseload electricity and hydrogen services by renewables for a nuclear-sized district in South Italy. *Smart Energy*, 17:100165, 2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2024.100165>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955224000352>

Luigi Moccia, Duncan W. Allen, and Eric Christian Bruun. A technology selection and design model of a semi-rapid transit line. *Public Transport*, 10(3):455–497, 2018. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-018-0187-1>

Luigi Moccia, Duncan W. Allen, Gilbert Laporte, and Andrea Spinosa. Mode boundaries of automated metro and semi-rapid rail in urban transit. *Public Transport*, 14(3): 739–802, 2022. doi: [10.1007/s12469-021-00287-9](https://doi.org/10.1007/s12469-021-00287-9). URL <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00287-9>

Bernd Möller, Eva Wiechers, Urban Persson, Lars Grundahl, Rasmus Søgaard Lund, and Brian Vad Mathiesen. Heat roadmap europe: Towards eu-wide, local heat supply strategies. *Energy*, 177:554–564, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.098>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219307315>

Anders Winther Mortensen, Brian Vad Mathiesen, Anders Bavnhøj Hansen, Sigurd Lauge Pedersen, Rune Duban Grandal, and Henrik Wenzel. The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system –a study on the danish energy system. *Applied Energy*, 275:115331, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115331>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920308436>

Eric J. Nordberg and Lin Schwarzkopf. Developing conserved solar systems to support biodiversity on solar farms. *Austral Ecology*, 48(3):643–649, 2024/07/15 2023. doi: <https://doi.org/10.1111/aec.13289>. URL <https://doi.org/10.1111/aec.13289>

Indra Overland. The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths. *Energy Research & Social Science*, 49:36–40, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.018>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618308636>

Susana Paardekooper, Henrik Lund, Jakob Zinck Thellufsen, Nis Bertelsen, and Brian Vad Mathiesen. Heat roadmap europe: strategic heating transition typology as a basis for policy recommendations. *Energy Efficiency*, 15(5):32, 2022. doi: 10.1007/s12053-022-10030-3. URL <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10030-3>

Lorenzo Mario Pastore and Livio de Santoli. 100% renewable energy Italy: A vision to achieve full energy system decarbonisation by 2050. *Energy*, 317:134749, 2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134749>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544225003913>

Fabian Präger, Christian Breyer, Hans-Josef Fell, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, Thure Traber, and Ben Wealer. Evaluating nuclear power's suitability for climate change mitigation: technical risks, economic implications and incompatibility with renewable energy systems. *Frontiers in Environmental Economics*, 3, 2024. URL <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-economics/articles/10.3389/frevc.2024.1242818>

Matthias Rehfeldt, S Bussmann, and T Fleiter. Direct electrification of industrial process heat: An assessment of technologies, potentials, and future prospects for the EU. *Agora Industry*, 2024. URL <https://www.agora-industry.org/publications/direct-electrification-of-industrial-process-heat>

Jan Rosenow. Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? an evidence review. *Joule*, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.015>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435122004160>

Jan Rosenow. A meta-review of 54 studies on hydrogen heating. *Cell Reports Sustainability*, 1(1), 2024/10/16 2024. doi: 10.1016/j.crsus.2023.100010. URL <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2023.100010>

David Severin Ryberg, Dilara Gulcin Caglayan, Sabrina Schmitt, Jochen LinBen, Detlef Stolten, and Martin Robinius. The future of european onshore wind energy potential: Detailed distribution and simulation of advanced turbine designs. *Energy*, 182:1222–1238, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.052>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219311818>

David Severin Ryberg, Zena Tulemat, Detlef Stolten, and Martin Robinius. Uniformly constrained land eligibility for onshore european wind power. *Renewable Energy*, 146:921–931, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.127>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119309619>

D. P. Schlachtberger, T. Brown, S. Schramm, and M. Greiner. The benefits of cooperation in a highly renewable european electricity network. *Energy*, 134:469–481, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.004>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217309969>

G. Spirito, A. Dénarié, F. Fattori, G. Muliere, M. Motta, and U. Persson. Assessing district heating potential at large scale: Presentation and application of a spatially-detailed model to optimally match heat sources and demands. *Applied Energy*, 372:123844, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123844>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924012273>

Marco Springmann, Rita Van Dingenen, Toon Vandyck, Catharina Latka, Peter Witzke, and Adrian Leip. The global and regional air quality impacts of dietary change. *Nature Communications*, 14(1):6227, 2023. doi: 10.1038/s41467-023-41789-3. URL <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41789-3>

Matthew Stocks, Ryan Stocks, Bin Lu, Cheng Cheng, and Andrew Blakers. Global atlas of closed-loop pumped hydro energy storage. *Joule*, 5(1):270–284, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.015>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120305596>

V. Trischitta. Ciò che mangiamo influenza la salute del pianeta e la nostra. Technical report, 2025. URL <http://www.fivehundredwords.it/post/it-cio-che-mangiamo-influenza-la-salute-del-pianeta-e-la-nostra>

Tim Tröndle, Johan Lilliestam, Stefano Marelli, and Stefan Pfenninger. Trade-offs between geographic scale, cost, and infrastructure requirements for fully renewable electricity in Europe. *Joule*, 4(9):1929–1948, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.018>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120303366>

F. Tucci. *Adaptive Design. Solar and bioclimatic spaces in architecture*. Altralinea, Firenze, 2021.

M Velardi, S Scaffoni, M Stefanoni, and L Moccia. Analisi e valutazione dell'impatto socioeconomico e ambientale di politiche di decarbonizzazione ed uso efficiente delle risorse. *Energia Ambiente Innovazione*, 1:36–43, 2018.

Marta Victoria, Kun Zhu, Tom Brown, Gorm B. Andresen, and Martin Greiner. The role of storage technologies throughout the decarbonisation of the sector-coupled european energy system. *Energy Conversion and Management*, 201:111977, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111977>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890419309835>

Vukan R. Vuchic. *Transportation for Livable Cities*. Rutgers, Newark, US, 1999.

Vukan R Vuchic, Richard M Stanger, and Eric C Bruun. Bus rapid transit (BRT) versus light rail transit (LRT): Service quality, economic, environmental and planning aspects. In *Transportation Technologies for Sustainability*, pages 256–291. Springer, Berlin, 2012.

Frauke Wiese, Nicolas Taillard, Emile Balembois, Benjamin Best, Stephane Bourgeois, José Campos, Luisa Cordroch, Mathilde Djelali, Alexandre Gabert, Adrien Jacob, Elliott Johnson, Sébastien Meyer, Béla Munkácsy, Lorenzo Pagliano, Sylvain Quoilin, Andrea Roscetti, Johannes Thema, Paolo Thiran, Adrien Toledano, Bendix Vogel, Carina Zell-Ziegler, and Yves Marignac. The key role of sufficiency for low demand-based carbon

neutrality and energy security across europe. *Nature Communications*, 15(1):9043, 2024. doi: 10.1038/s41467-024-53393-0. URL <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53393-0>

Jan Wohland, David Brayshaw, and Stefan Pfenninger. Mitigating a century of european renewable variability with transmission and informed siting. *Environmental Research Letters*, 16(6):064026 URL <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abff89>



La coalizione 100% Rinnovabili Network è formata da esponenti di decine di Università e Centri di ricerca, di esponenti del mondo delle imprese, del sindacato e del terzo settore e dalla Fondazione per lo sviluppo sostenibile, Greenpeace Italia, Kyoto Club, Legambiente e WWF.