



The European House
Ambrosetti



Zero Carbon Technology Roadmap

EXECUTIVE SUMMARY

Zero Carbon Technology Roadmap

Settembre 2022

*Stampato su carta naturale,
realizzata con materie prime
derivanti da foreste gestite
secondo i criteri di gestione forestale
e catena di custodia*



Indice

Colophon	6
Prefazioni	12
Executive summary	24
Bibliografia	52



Colophon

Lo Studio Strategico è stato condotto da The European House - Ambrosetti su iniziativa di Eni.

Il *team* del progetto è composto da un *Advisory Board*, responsabile dell'indirizzo strategico della ricerca, e da un Gruppo di Lavoro, incaricato dello sviluppo dello Studio Strategico.

L'*Advisory Board* è composto da:

- **Joaquín Almunia**, Professore, Paris School of International Affairs - Sciences Po; Presidente, Centre for European Policy Studies (CEPS); già Commissario Europeo per la Concorrenza [2010 - 2014]
- **Valerio De Molli**, Managing Partner and Chief Executive Officer, The European House - Ambrosetti
- **Claudio Descalzi**, Chief Executive Officer, ENI
- **Fabiola Gianotti**, Direttore Generale, CERN; membro di numerosi comitati internazionali (Consiglio scientifico del CNRS, Comitato consultivo di fisica del Laboratorio Fermilab, Consiglio della Società europea di fisica)
- **Markus Kerber**, Chief Strategist, CDU; già Segretario di Stato, Ministero degli Interni - Governo della Repubblica Federale Tedesca; già CEO e Direttore Generale, Bundesverband der Deutschen Industrie, BDI

Il Gruppo di Lavoro di **The European House - Ambrosetti** è composto da:

- **Corrado Panzeri**, Partner & Head of InnoTech Hub
- **Alessandro Viviani**, Senior Consultant, Project Leader
- **Gherardo Montemagni**, Analyst, Project Coordinator
- **Giorgia Rusconi**, Analyst
- **Matteo Radice**, Junior Consultant
- **Rossella Carugno**, Project Assistant

Il Gruppo di Lavoro di **Eni** è composto da:

- **Lapo Pistelli**, Direttore, Public Affairs
- **Francesca Zarri**, Direttore, Technology, R&D & Digital
- **Francesca Ciardiello**, Responsabile, Office of the Chief Executive Officer
- **Francesca Dionisi Vici**, Responsabile, Rapporti con le Istituzioni e le Organizzazioni Internazionali
- **Luca Giansanti**, Responsabile, Relazioni con le Istituzioni Europee
- **Sabina Manca**, Responsabile, Programma Analisi, Consolidamento e Cultura
- **Marco Margheri**, Responsabile, Ufficio Relazioni Internazionali USA
- **Marco Piredda**, Responsabile, Analisi Affari Internazionali e Business Support
- **Monica Spada**, Responsabile, Ricerca e Innovazione Tecnologica

- **Claudia Squeglia**, Responsabile, Analisi Normativa Interna e Posizionamento Istituzionale

Un ringraziamento particolare al *management* di Eni che ha contribuito allo sviluppo dello Studio Strategico attraverso interviste dedicate:

- **Adriano Alfani**, CEO, Versalis
- **Stefano Goberti**, CEO, Plenitude
- **Giuseppe Ricci**, Direttore Generale, Energy Evolution
- **Francesca Zarri**, Direttore, Technology, R&D & Digital
- **Antonino Abbate**, Opportunities Commercial & Services Consolidation CCUS&F
- **Cristiana Argentino**, Responsabile, Scenari, Opzioni strategiche e Cambiamento Climatico
- **Emanuele Ban**, Responsabile, Credit Management and CO₂ Volumes Capture
- **Luigi Ciarrocchi**, Direttore, CCUS, Forestry & Agro-Feedstock
- **Roberto Ferrario**, Responsabile, CCUS Innovation Solutions
- **Francesca Ferrazza**, Responsabile, R&D, Magnetic Fusion Initiatives
- **Rosanna Fusco**, Responsabile, Strategia e Posizionamento sui Cambiamenti Climatici
- **Luca Giansanti**, Responsabile, Relazioni con le Istituzioni Europee
- **Federico Maria Grati**, Direttore, Agroenergy Services
- **Raffaella Lucarno**, Responsabile, R&D Business Partner Energy Evolution
- **Andrea Marsanich**, Responsabile, Carbon Offset Solutions
- **Maria Francesca Nociti**, Responsabile, Services & Conjunction with the Territory & Entities
- **Dario Pagani**, Responsabile, Digital & Information Technology
- **Thomas Pasini**, Responsabile, R&D Business Partner EE/Bio-Fuel and Next Generation Downstream
- **Marco Piredda**, Responsabile, Analisi Affari Internazionali e Supporto al Business
- **Andrea Pisano**, Responsabile, EE Hydrogen Initiatives
- **Francesco Robillotta**, Responsabile, Monitoring, Analysis and Valorization CCUS & Forestry Activities
- **Fabrizio Rollo**, Responsabile, Opportunities Identifications & Portfolio Management
- **Ernesto Roccaro**, Responsabile, R&D Business Partner EE/Hydrogen
- **Giuseppe Sammarco**, Responsabile, Studi e Analisi delle Risorse Naturali
- **Carmela Sarli**, Responsabile, Stoccaggio e Valorizzazione del Carbonio
- **Monica Spada**, Responsabile, Ricerca e Innovazione Tecnologica
- **Claudia Squeglia**, Responsabile, Analisi Regolatoria e Posizionamento Istituzionale Italiano
- **Michele Viglianisi**, Responsabile, Bioraffinazione e Approvvigionamento

Per affrontare l'analisi e raccogliere spunti strategici, 13 esperti chiave sono stati coinvolti attraverso interviste riservate:

- **Robert C. Armstrong**, Professore di Ingegneria Chimica, MIT; Direttore, MIT Energy Initiative
- **Alessandra Beretta**, Professore di Ingegneria Chimica, Politecnico di Milano
- **Klaus-Dieter Borchardt**, Senior Energy Advisor, European & Competition Law Practice, Baker McKenzie, Brussels
- **Maria Chiara Carrozza**, Presidente, CNR; Professore Ordinario di Bioenergia Industriale, Scuola Superiore Sant'Anna
- **Valerio Cozzani**, Professore Ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna
- **Giulia Galli**, Professore di struttura elettronica e simulazioni elettroniche, Pritzker School of Molecular Engineering e Università di Chicago
- **Mark Alan Hughes**, Direttore di Facoltà e Fondatore, Kleinman Center for Energy Policy
- **Christopher Jay Faranetta**, CEO and Co-Fondatore, Nearstart
- **Zoe Knight**, CEO e Direttore Centro per la Finanza Sostenibile, HSBC
- **Jan Laubjerg**, Responsabile del Settore Globale delle Risorse Naturali, HSBC
- **Giacomo Luciani**, Advisor Scientifico, Paris School of International Affairs - Sciences Po
- **Ennio Macchi**, Professore Emerito in Energia e Sistemi Ambientali, Politecnico di Milano
- **Thomas Pellerin-Carlin**, Direttore, Jacques Delors Energy Centre

Per raccogliere diverse visioni e orientamenti circa le catene del valore europee, sono stati organizzati tre tavoli di lavoro con i seguenti 43 *stakeholder*.

Tavolo di Lavoro n. 1: Industria pesante

- **Koen Coppenholle**, CEO, Cembureau - Associazione europea del cemento
- **Maurizio Fusato**, Responsabile Transizione Ecologica ed Energetica, Gruppo Feralpi
- **Rolando Paolone**, Chief Technology Officer, Danieli
- **Marco Geneletti**, Direttore Generale, Energia, Tenaris
- **Renaud Batier**, Direttore Generale, Cerame-Unie
- **Łukasz Gajkowski**, Chief Strategy Officer, Cersanit
- **Florie Gonsolin**, Direttore per la trasformazione legata al cambiamento climatico, Consiglio Europeo dell'Industria Chimica - CEFIC
- **Astrid Palmieri**, Senior Sustainability Community Manager EMEA, BASF
- **Tim Heisterkamp**, Responsabile Tecnologia e Politica Ambientale, Linde

- **Silvio Di Cesare**, Responsabile della catena del valore e della strategia di sostenibilità, Sasol
- **Marco Rosso**, Direttore Affari Societari Globali, Valagro
- **David Cast**, Direttore cambiamenti climatici, Gruppo NSG
- **Luca Sassoli**, CEO di Burgo Energia; Presidente del Comitato per il Cambiamento Climatico e l'Energia della Confederazione delle Industrie Cartarie Europee (CEPI)
- **Heinz Felder**, SVP Group Technology & Investments, Stora Enso

Tavolo di Lavoro n. 2: Trasporto pesante

- **Michele Ziosi**, Senior Vice President Relazioni Istituzionali e Sostenibilità, Gruppo IVECO
- **Lars Mårtensson**, Direttore Area Ambiente e Innovazione, Volvo Trucks
- **Riccardo Cornetto**, Direttore Area Post Vendita, Solaris Italia Srl
- **Martina Di Palma**, Responsabile Sostenibilità, Regione Europea Associazioni Compagnie Aeree - ERA
- **Roberto Garavaglia**, Senior Vice President Strategy & Innovation, Leonardo
- **Martin Gorricho**, Regional Lead-EU Sustainability Policy and Partnership, Boeing
- **Sandro De Poli**, Presidente, AvioAereo
- **Val Miftakov**, Fondatore e CEO, ZeroAvia
- **Andy Kershaw**, Responsabile Area Ambiente, British Airways
- **Hemant Mistry**, Direttore Transizione energetica, Associazione Internazionale del Trasporto Aereo
- **Davide Canuti**, Responsabile Valutazione e Certificazioni Ambientali, SEA Aeroporti di Milano
- **Roberto Barbieri**, CEO, GESAC
- **Michele Miedico**, Responsabile Progetto Salerno, Pianificazione e Ambiente, GESAC
- **Giulio Tirelli**, Direttore Business Development Marine Power, Project Services, Wartsila
- **Hyun-ho Lee**, Vicepresidente e CEO, Istituto di Ricerca Marittima, Hyundai Heavy Industries
- **Pierpaolo Da Fieno**, CEO, MAN Energy Solutions
- **Dario Bocchetti**, Responsabile Risparmio Energetico, Ricerca e Sviluppo e Progettazione Navale, Gruppo Grimaldi

Tavolo di lavoro #3: Iniziative sulla fusione nucleare

- **Roberto Adinolfi**, Presidente, Ansaldo Nucleare
- **Paola Batistoni**, Responsabile Sviluppo Fusione, ENEA
- **Chris Martin**, Presidente, Tokamak Energy
- **Mark Anderton**, Ingegnere di Sviluppo del Progetto, Oxford Sigma

- **Johan Öijerholm**, Project Manager, Materiali nucleari e chimica dell'acqua, Studsvik
- **Norbert Heinzle**, Chief Operation Officer, Gruppo Butting
- **Francesco Volpe**, Fondatore, CEO e Chief Technology Officer, Renaissance Fusion
- **Marco Ricotti**, Presidente, Gruppo di Lavoro Tecnico sui Piccoli Reattori Modulari, IAEA; Professore Ordinario di Ingegneria Nucleare, Politecnico di Milano
- **Alessandro Maffini**, Ricercatore e Assistente Professore, Progetto ENSURE, Politecnico di Milano
- **Dan Brunner**, Chief Technology Officer, Commonwealth Fusion Systems
- **Christopher Jay Faranetta**, Vicepresidente e Cofondatore, NearStar Fusion

I contenuti di questo Studio Strategico si riferiscono esclusivamente all'analisi e alla ricerca effettuata da The European House - Ambrosetti e rappresentano il punto di vista della stessa, che può non coincidere con le opinioni e il punto di vista degli intervistati e di coloro che sono stati coinvolti nell'iniziativa.



Prefazioni

Prefazione di **Claudio Descalzi**

L'estate che stiamo vivendo - con temperature elevate, prezzi alti e scarsità di energia e di acqua - ben rappresenta le sfide che abbiamo davanti: contenere l'aumento della temperatura globale, in linea con gli obiettivi dell'Accordo di Parigi, e garantire energia affidabile, a basso costo e sostenibile, ad una popolazione mondiale che nel 2040 si appresterà a superare i 9 miliardi di persone.

Si tratta di sfide che chiamano in causa una pluralità di fattori, dalla ricerca di nuove fonti e soluzioni energetiche alla trasformazione di processi industriali, del modo in cui produciamo e consumiamo energia, fino a nuove alleanze tra le parti sociali per disegnare vocazioni *low carbon* per i territori.

Soprattutto, è mia profonda convinzione che la transizione energetica richieda l'adozione di un approccio neutrale alle soluzioni energetiche, che consenta di usare tutte le opzioni in maniera sinergica e complementare tra loro, in base alla loro maturità ed efficacia nel ridurre le emissioni.

Negli ultimi sei anni, Eni ha investito oltre 7 miliardi di euro in ricerca, sviluppo e applicazione delle tecnologie, siglato più di 70 accordi con diverse università e laboratori in tutto il mondo e impegnato 1.500 professionisti in tali attività.

Nel breve termine, Eni, coerentemente con una visione laica del portafoglio delle tecnologie di decarbonizzazione, punta ad utilizzare su scala industriale tutte quelle tecnologie che possano fornire immediatamente un contributo concreto e sostanziale alla riduzione delle emissioni. In particolare, tramite Plenitude, Eni è impegnata ad incrementare la propria capacità da fonti rinnovabili a oltre 2 GW nel 2022 e 6 GW nel 2025. Con la conversione delle raffinerie da tradizionali a bio, si prevede di raggiungere nel 2025 una capacità di bio-raffinazione pari circa a 2 milioni di tonnellate all'anno (MTPA), contribuendo alla decarbonizzazione dei trasporti. Questo processo si integra, inoltre, con le produzioni di oli vegetali da filiere agricole in Africa, attraverso progetti di *Agri-business*, e con nuove soluzioni tecnologiche volte al riutilizzo di rifiuti e scarti. Inoltre, tramite lo sviluppo di *hub* per la cattura e lo stoccaggio della CO₂, Eni sarà in grado di contribuire alla decarbonizzazione di distretti industriali, conservando competitività e occupazione e aprendo la filiera dell'idrogeno blu. Infine, sta lavorando su progetti per l'idrogeno verde e si prevede una produzione totale di idrogeno in crescita fino a 4 MTPA nel 2050.

Al tempo stesso, Eni reputa necessario avere uno sguardo proiettato nel lungo termine per contribuire in maniera sostanziale allo sviluppo

di *breakthrough* tecnologici, come la fusione magnetica, tecnologia che potrebbe rivoluzionare il mondo dell'energia garantendo un futuro sostenibile, pulito e prospero. A tal fine, Eni sta contribuendo in maniera sostanziale al suo sviluppo anche partecipando come maggior azionista in Commonwealth Fusion Systems (CFS), società *spin-out* del MIT, che prevede la costruzione di un primo impianto dimostrativo entro il 2025 e di un primo industriale nel prossimo decennio.

Le tecnologie, in particolare le tecnologie proprietarie, insieme alla creazione di nuovi modelli di *business* e le alleanze con i nostri *stakeholder*, sono infatti un elemento fondante della strategia di Eni.

Da queste premesse nasce la collaborazione di Eni con The European House - Ambrosetti per il presente Studio Strategico. Lo Studio Strategico offre un'approfondita mappatura delle opzioni tecnologiche a nostra disposizione nel percorso di decarbonizzazione e argomenta come sia necessario un significativo cambiamento per traguardare gli obiettivi della transizione energetica: tutte le tecnologie devono essere considerate in maniera sinergica e complementare e valutate sulla base del loro reale contributo nel ridurre le emissioni di CO₂ secondo una logica di *Life Cycle Assessment*, rifuggendo dalla tentazione di farne una questione ideologica. Lo Studio Strategico fornisce esempi pratici di come il principio di neutralità tecnologica, insieme a dettagliate proposte di *policy*, possano favorire il raggiungimento della piena decarbonizzazione dell'Unione Europea entro il 2050.

Sento inoltre fondamentale ed imprescindibile la necessità di instaurare un dialogo franco e continuo tra istituzioni, cittadini, imprese ed enti di ricerca: abbiamo necessità di confrontarci su basi oggettive, selezionare le migliori opzioni per i diversi contesti e poi procedere celermente all'implementazione delle soluzioni identificate. Ne va non solo della nostra capacità di preservare il clima, ma anche della nostra competitività come sistema industriale, della capacità di generare occupazione di qualità e, in ultima istanza, della coesione delle nostre comunità.

Ringrazio The European House - Ambrosetti, i membri dell'*Advisory Board*, le colleghe e i colleghi di Eni che hanno contribuito, nonché i rappresentanti di altre aziende e associazioni di categoria in differenti settori per aver arricchito lo Studio con il loro punto di vista.

Claudio Descalzi
CEO, ENI

Prefazione di Valerio De Molli

***"Climate change cannot be solved
without substantial advancements in technology".***

H. Lawrence Culp, Jr.

Il Rapporto dell'IPCC di agosto 2021 e le conclusioni della successiva COP26 contengono alcune chiare indicazioni sui rischi e sui costi del cambiamento climatico. Negli ultimi trent'anni, nonostante i numerosi impegni sottoscritti, **governi, istituzioni e imprese non sono riusciti a mettere in atto misure concrete ed efficaci per ridurre le emissioni di gas climalteranti**. È infatti dimostrato come i piani più ambiziosi ad oggi predisposti dai governi delle principali economie del mondo non saranno sufficienti per contenere l'aumento della temperatura entro la soglia di 1,5°C come previsto dall'Accordo di Parigi.

È quindi necessario un cambio di marcia sulla decarbonizzazione della nostra società che permetta di ridurre le emissioni di gas serra più rapidamente di quanto fino ad ora fatto, moltiplicando per quattro il tasso di riduzione dell'ultimo decennio per raggiungere le zero emissioni nette nel 2050 senza rinunciare al benessere e all'equità sociale. A tal fine, la ricerca e lo sviluppo tecnologico sono i nostri più importanti alleati.

Lo Studio Strategico **"Proposal for a Zero Carbon Technology Roadmap - The alternative decarbonisation for Europe"**, primo nel suo genere, nasce con l'obiettivo di definire con la massima autorevolezza e secondo criteri *super partes*, un quadro di riferimento delle tecnologie necessarie per gestire il processo di decarbonizzazione.

Attraverso una rigorosa analisi di **185 fonti di letteratura accademico-scientifica** e un'intensa attività di confronto con **56 stakeholder**, tra esperti del mondo accademico e *manager* delle principali filiere *Hard to Abate* europee, sono state identificate le **100 tecnologie chiave per la decarbonizzazione**.

Da questa attività di mappatura, prima nel suo genere, emerge chiaramente come, per poter raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, le tecnologie elettriche debbano essere messe in sinergia con un altro set di tecnologie più ampio che comprende: **Carbon Capture Utilization & Storage (CCUS)**, **Carbon Dioxide Removal (CDR)**, idrogeno, biocombustibili e combustibili sintetici.

Al fine di massimizzare il potenziale di sviluppo delle tecnologie di decarbonizzazione, lo Studio Strategico ha individuato **nove proposte di policy** puntuali e concrete che vogliamo portare all'attenzione dei *policy maker*. In particolare, il set di proposte dettagliate dallo Studio Strategico intende promuovere un principio di **neutralità tecnologica** in Europa nel campo della decarbonizzazione, in cui il contributo sinergico e complementare di tutte le tecnologie disponibili deve essere sfruttato per raggiungere l'obiettivo di zero emissioni nette di CO₂.

Lo Studio Strategico dimostra come solo attraverso l'adozione del principio di neutralità tecnologica e la promozione di un set diversificato di tecnologie sia possibile raggiungere la **completa decarbonizzazione** anche nei settori *Hard to Abate*. A livello europeo, inoltre, grazie ad un modello econometrico costruito da The European House - Ambrosetti, **è possibile stimare** che, tra il 2023 e il 2050, la diffusione del set di tecnologie individuate potrà generare oltre **2.700 miliardi di Euro di valore aggiunto**, creando **1,7 milioni di posti di lavoro** al 2050.

Lo sviluppo delle analisi contenute nel Rapporto ha beneficiato della partecipazione di **56 stakeholder**, appartenenti a diversi settori economici e al mondo accademico, i quali hanno contribuito nell'ambito dei tavoli di lavoro (43 partecipanti) e di interviste riservate (13 esperti). A tutti loro va il mio più sentito ringraziamento.

Desidero ringraziare per il prezioso contributo al Rapporto l'*Advisory Board*, composto da **Claudio Descalzi** (Chief Executive Officer, Eni), **Joaquín Almunia** (Professore, Scuola di Affari Internazionali di Parigi-Sciences Po; già Professore, London School of Economics; Presidente onorario, Barcelona Graduate School of Economics; già Commissario europeo per la concorrenza [2010 - 2014]; già Commissario europeo per gli affari economici e monetari [2004 - 2010]), **Fabiola Gianotti** (Direttore Generale, CERN; Membro di numerosi comitati internazionali, quali il Consiglio Scientifico del CNRS (Francia), il Comitato consultivo di fisica del laboratorio Fermilab (USA), il Consiglio della Società europea di fisica, il Consiglio scientifico del laboratorio DESY (Germania), il Comitato consultivo scientifico di NIKHEF (Paesi Bassi)) e **Markus Kerber** (Chief Strategist, CDU; già Segretario di Stato, Ministero degli Interni - Governo della Repubblica Federale di Germania; già CEO e Direttore Generale, Bundesverband der Deutschen Industrie - BDI; già Direttore, Dipartimento Affari Economici e Finanziari, Ministero Federale delle Finanze - Governo della Repubblica Federale di Germania).

Un ringraziamento anche ai *manager* di Eni che hanno contribuito, nell'ambito di interviste e momenti di confronto, alla realizzazione delle analisi contenute nel presente Studio Strategico.

Un sentito grazie, infine, ai colleghi del Gruppo di Lavoro The European House - Ambrosetti formato, oltre che dal sottoscritto, da Corrado Panzeri, Alessandro Viviani, Gherardo Montemagni, Giorgia Rusconi, Matteo Radice e Rossella Carugno.

Valerio De Molli

*Managing Partner & CEO,
The European House - Ambrosetti*

Prefazione di Joaquín Almunia

Al giorno d'oggi il cambiamento climatico non è più uno scenario possibile, ma una realtà. I fattori alla base del riscaldamento globale erano stati previsti dagli esperti e ora sono pienamente confermati dai dati a nostra disposizione e dagli eventi che osserviamo quasi ogni giorno. La *governance* mondiale ha bisogno di seri miglioramenti per affrontare le sfide future e richiederà ai *leader* politici ed economici molta determinazione e coordinamento. Allo stesso tempo, le risorse finanziarie, sia pubbliche che private, per sostenere i costi associati a una transizione verde efficiente ed equa saranno enormi e richiederanno sforzi seri da parte delle autorità fiscali e di molti settori economici e sociali. Inoltre, al di là della consapevolezza politica, dell'orientamento adeguato delle strategie politiche e del livello di finanziamento, il contributo delle soluzioni tecnologiche è fondamentale.

Alcune di queste tecnologie sono già utilizzate per contribuire alla riduzione dell'anidride carbonica e di altri gas serra. Le energie rinnovabili eoliche e solari hanno prezzi competitivi e il loro utilizzo è in crescita. Ma non saranno sufficienti. Altre tecnologie che dovrebbero contribuire a raggiungere gli obiettivi a medio e lungo termine definiti dalle agenzie internazionali e dall'Unione Europea non sono ancora disponibili e saranno sicuramente necessarie per integrare gli sforzi attuali.

Il presente Studio Strategico offre un'analisi molto completa e solida di cento di tali tecnologie, dall'idrogeno ai combustibili sintetici, dalla cattura e stoccaggio della CO₂, fino alla rimozione diretta della CO₂ dall'atmosfera. Inoltre, lo Studio tiene conto dell'importanza di tecnologie di frontiera quali la fusione nucleare, per generare elettricità senza dipendere da input esterni all'Unione Europea.

È stato un vero piacere partecipare come *Advisor* Scientifico a questo studio, imparando molto dai Gruppi di Lavoro altamente qualificati di The European House - Ambrosetti ed ENI, nonché dalle opinioni dei numerosi *stakeholder* che sono stati consultati. Mi auguro che le conclusioni presentate siano utili per promuovere gli sforzi di tutti coloro che vogliono contribuire, sia dal mondo dell'industria che da quello politico, a preservare il nostro pianeta per le prossime generazioni.

Joaquín Almunia

Professore, Paris School of International Affairs-Sciences Po

Prefazione di **Fabiola Gianotti**

La curiosità, il desiderio di comprendere come funzionano le cose e rispondere a domande complesse e affascinanti e la necessità di trovare soluzioni a sfide quotidiane hanno animato da sempre la ricerca scientifica e hanno permesso all'essere umano di raggiungere obiettivi straordinari e costruire la società moderna.

La necessità di fronteggiare i cambiamenti climatici è sicuramente una delle più grandi sfide che il genere umano si sia mai trovato ad affrontare, ed è urgente identificare canali di ricerca scientifica e tecnologie che possano aiutare a rallentare e successivamente invertire il processo di trasformazione del clima e del pianeta.

Oggi più che mai è necessario guardare con fiducia alla scienza e alla tecnologia, senza le quali il problema del clima e altre sfide planetarie non possono essere affrontate con successo. In questo contesto, il ruolo dei governi è quello di definire gli obiettivi e mettere a disposizione sostegni di *policy*, risorse finanziarie e meccanismi atti a favorire ampi investimenti nella ricerca, sviluppo e realizzazione di nuove soluzioni, valorizzando il più possibile il rapporto tra enti di ricerca e altri attori pubblici, aziende private, e cittadini.

Il sistema energetico e le fonti di emissioni costituiscono un problema altamente complesso per il quale non è possibile identificare soluzioni del tipo "*one-size-fits-all*". Occorre quindi un approccio ampio, che permetta di perseguire molteplici canali di ricerca e sviluppo e individuare un insieme coerente di soluzioni. Un coordinamento a livello mondiale è necessario per raggiungere obiettivi concreti in questo e negli altri campi identificati nei 17 *Sustainable Development Goals* delle Nazioni Unite.

La transizione energetica è urgente, ma deve essere realizzata in modo oculato, con una visione strategica coerente per il corto, medio e lungo termine. A tal fine, è necessario investire sull'ottimizzazione delle tecnologie esistenti, e al tempo stesso esaminare opportunità a lunga scadenza. Nel campo del nucleare, la fusione promette di essere una delle fonti di energia del futuro, essendo praticamente illimitata e priva di emissioni. Ma la sua realizzazione su scala industriale richiede ancora investimenti e tempo. Interessanti sviluppi sono in corso per rendere la fissione nucleare più pulita e sicura utilizzando il torio come combustibile e tecnologie basate su acceleratori di particelle.

È infine fondamentale formare e preparare il capitale umano necessario a realizzare la transizione energetica, attirando i giovani allo studio delle materie STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Og-

gi, in Europa, il numero di giovani formati in questi campi non è all'altezza delle richieste del mercato del lavoro.

Il presente Studio Strategico è uno strumento di grande interesse. Evidenzia la necessità di adottare un approccio aperto a sostegno delle diverse opzioni tecnologiche con potenziale impatto sul cambiamento climatico, unitamente all'importanza della ricerca di frontiera e la rilevanza della collaborazione tra *policy makers*, mondo della ricerca e mondo dell'industria.

Fabiola Gianotti

Direttore Generale, CERN

Prefazione di Markus Kerber

Il cambiamento climatico è una delle maggiori sfide per l'umanità nel XXI secolo. La Zero Carbon Technology Roadmap rappresenta un contributo di enorme importanza nel dibattito sulla giusta strategia di decarbonizzazione, poiché giunge in un momento cruciale per le future politiche europee. Sulla base di un'ampia analisi scientifica e tecnologica e di numerose interviste approfondite con operatori del settore e scienziati, The European House - Ambrosetti ha realizzato un'Iniziativa con conclusioni politiche forti e rilevanti che i responsabili politici e le Istituzioni Europee non devono ignorare.

Nel mezzo della crisi energetica causata dall'attacco russo all'Ucraina, l'Iniziativa chiede niente di meno che un cambiamento di passo in tutte le aree della sostenibilità climatica, affinché l'Europa possa raggiungere tutti gli obiettivi di decarbonizzazione. Questa conclusione può sembrare piuttosto mite, ma comporta modifiche serie e di ampia portata agli attuali progetti di politica climatica della Commissione Europea e degli Stati membri. La presente Iniziativa ha identificato 100 tecnologie di decarbonizzazione che dovranno essere promosse secondo un principio di neutralità tecnologica, se l'Europa vuole raggiungere la neutralità climatica. Lo sfruttamento di tutte queste tecnologie di decarbonizzazione è una *conditio sine qua non* se l'Europa vuole raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione concordati e sottoscritti a livello internazionale nel tentativo globale di limitare il riscaldamento globale a meno di 1,5 gradi Celsius rispetto ai livelli preindustriali.

L'industria europea è il principale sviluppatore e fornitore di *know-how* e tecnologie critiche per limitare i processi di riscaldamento globale. La cattura e lo stoccaggio del carbonio (CCUS) e la rimozione dell'anidride carbonica (CDR) sono tecnologie sicure e affidabili che devono essere applicate in maniera più diffusa in Europa. Oltre a queste tecnologie, quelle dell'idrogeno, dei biocarburanti e dei combustibili sintetici sono insieme indispensabili per raggiungere la completa decarbonizzazione entro il 2050. Il contributo delle tecnologie dell'energia nucleare agli obiettivi di decarbonizzazione deve essere un punto prioritario dell'agenda politica a breve termine sia a livello Europeo che negli Stati membri che si sono fino ad ora dimostrati scettici, come la Germania o l'Austria. Gli ambiziosi obiettivi della politica climatica europea e gli effetti dell'attuale crisi energetica causata dalla guerra devono essere sfruttati per integrare le politiche energetiche e climatiche in tutta Europa a un ritmo molto più rapido.

Ogni crisi dovrebbe sempre essere interpretata come un'opportunità per superare l'inerzia e l'autocompiacimento. Ad oggi, l'Europa si trova di-

nanzi all'opportunità di progettare e attuare un disegno coerente e integrato di politica climatica ed energetica europea che soddisfi i requisiti di neutralità climatica e allo stesso tempo garantisca un accesso sicuro, resiliente e competitivo all'energia sia per i cittadini che per le imprese. I responsabili politici europei devono agire rapidamente e in modo decisivo, e The European House - Ambrosetti e le conclusioni della presente Iniziativa possono servire da tabella di marcia per guidare queste decisioni necessarie. Se i politici europei prenderanno decisioni coraggiose, otterranno la fiducia e la gratitudine dei cittadini europei sia dal punto di vista politico che economico. Oltre alla possibilità di raggiungere il 100% di decarbonizzazione nei settori difficili da abbattere - un obiettivo che non può essere raggiunto senza l'insieme di tecnologie proposte - l'adozione completa e tempestiva della Zero Carbon Technology Roadmap proposta tra il 2023 e il 2050 genererà più di 2.700 miliardi di Euro e circa 1,7 milioni di nuovi posti di lavoro in Europa a partire dal 2050. Non c'è più tempo da perdere, la *roadmap* è chiara. È arrivato il momento di prendere le decisioni giuste.

Markus Kerber

Chief Strategist, Christian Democratic Union



Executive summary

Lo Studio Strategico condotto da The European House - Ambrosetti per conto di Eni ha come obiettivo fondamentale la promozione del principio di neutralità tecnologica in Europa nel campo della decarbonizzazione, in cui il contributo sinergico e complementare di tutte le tecnologie disponibili deve necessariamente essere sfruttato per raggiungere gli obiettivi di neutralità carbonica.

Lo Studio Strategico presenta, con la massima autorevolezza e secondo criteri *super partes*, un quadro di riferimento per gestire il processo di decarbonizzazione nei settori dove le emissioni sono particolarmente difficili da abbattere, fornendo un quadro tecnologico e una mappatura delle soluzioni disponibili per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. L'obiettivo è incoraggiare l'adozione di un'ampia gamma di tecnologie di decarbonizzazione basate sulla capacità di ridurre le emissioni di CO₂ in modo economicamente vantaggioso.

L'Iniziativa è stata guidata da un *Advisory Board*, responsabile dell'indirizzo strategico della ricerca, i cui membri hanno fornito consulenza scientifica e hanno guidato lo Studio Strategico. L'*Advisory Board* è composto da:

- Claudio Descalzi, CEO, ENI;
- Valerio De Molli, *Managing Partner* e CEO, The European House - Ambrosetti;
- Tre *Advisor* Scientifici:
 - ▶ Joaquín Almunia, Professore, Scuola di Affari Internazionali di Parigi Sciences Po; Presidente, Consiglio del Centro di Studi Europei (CEPS); già Commissario Europeo per la Concorrenza [2010 - 2014]; già Commissario Europeo per gli Affari Economici e Monetari [2004 - 2010];
 - ▶ Fabiola Gianotti, Direttore Generale, CERN; membro di numerosi comitati internazionali (Consiglio scientifico del CNRS, Comitato consultivo di fisica del Laboratorio Fermilab, Consiglio della Società europea di fisica);
 - ▶ Markus Kerber, *Chief Strategist*, CDU; già Segretario di Stato, Ministero degli Interni - Governo della Repubblica Federale Tedesca; già CEO e Direttore Generale, Bundesverband der Deutschen Industrie, BDI.

L'Iniziativa ha fatto leva su un'intensa attività di *stakeholder engagement*: 13 esperti con *background* scientifico, istituzionale e industriale sono stati coinvolti in un ciclo di interviste riservate per affrontare la presente analisi e raccogliere spunti strategici. Inoltre, anche il *management* di Eni ha contribuito allo sviluppo dello Studio Strategico attraverso interviste

dedicate. Infine, per raccogliere diversi punti di vista e orientamenti circa le catene del valore europee, sono stati organizzati tre tavoli di lavoro che hanno coinvolto 43 *stakeholder*: industrie *Hard to Abate*, trasporto *Heavy Duty* su strada, marittimo e aereo e iniziative di fusione nucleare. L'intero processo di coinvolgimento degli *stakeholder* è stato condotto seguendo un approccio *bottom-up*, con l'obiettivo di raccogliere i diversi punti di vista. Infine, alle attività di *stakeholder engagement* è stata affiancata un'analisi di 185 fonti di letteratura scientifica.

Le dieci domande che hanno guidato lo sviluppo dello Studio Strategico sono riassunte nella figura che segue. In primo luogo, è stato identificato il contesto di riferimento; quindi, sono state mappate le principali tecnologie per la decarbonizzazione del contesto di riferimento; sulla base della combinazione delle tecnologie identificate, è stata costruita una *Zero Carbon Technology Roadmap*; infine, sono stati sviluppate le *proposte di policy* per consentire l'attuazione della Roadmap.

Figura 1

Le domande guida dello Studio Strategico

Fonte: dati proprietari The European House - Ambrosetti, 2022

Il contesto di riferimento	<ol style="list-style-type: none"> 1 Come sono distribuite le emissioni tra i diversi settori (ad esempio, manifattura, trasporto, ecc.)? 2 Quali sono gli scenari di riduzione delle emissioni e assorbimento della CO₂?
Tecnologie per la decarbonizzazione alternativa	<ol style="list-style-type: none"> 3 Quali sono le tecnologie disponibili e gli sviluppi tecnologici con maggiore impatto sugli obiettivi di decarbonizzazione? 4 Quali criticità del sistema attuale contribuiscono a risolvere? Qual è l'impatto sulla capacità di raggiungere gli obiettivi climatici? 5 Quali sono le potenziali tecnologie breakthrough che saranno disponibili in futuro?
Zero Carbon Technology Roadmap	<ol style="list-style-type: none"> 6 Quali sono i criteri di neutralità tecnologica? 7 Quali sono gli impatti delle tecnologie sui diversi settori? 8 Quali sono le raccomandazioni per una Zero Carbon Technology Roadmap per l'Europa?
Zero Carbon innovation governance	<ol style="list-style-type: none"> 9 Quali sono le possibili politiche per la governance dell'innovazione energetica? 10 Quali sono i conseguenti impatti economici e sociali per le catene del valore europee?

Lo Studio Strategico ruota intorno a dieci messaggi chiave che ne riassumono i principali risultati. Sono inoltre state individuate nove proposte di *policy* che intendono promuovere e favorire la diffusione del set di tecnologie chiave identificate dalle analisi.

Messaggio chiave n. 1:

Per raggiungere gli obiettivi europei di decarbonizzazione è necessario un cambio di passo in tutte le aree della sostenibilità climatica. È necessario che il processo di decarbonizzazione assicuri un accesso sicuro, resiliente e competitivo alle risorse energetiche. La dipendenza tecnologica deve essere considerata alla stregua di quella energetica.

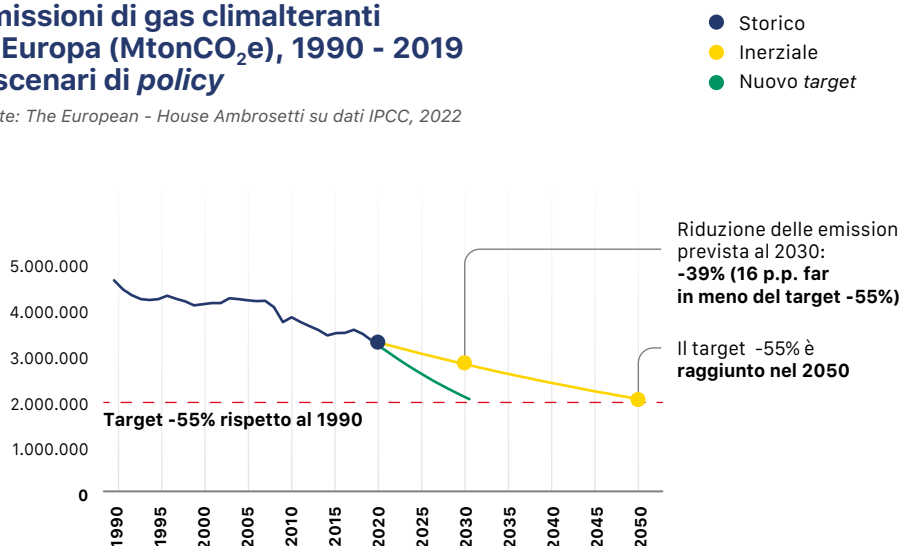
L'Accordo di Parigi è stato firmato nel 2015 da 196 Paesi con l'obiettivo di "limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C, preferibilmente a 1,5 gradi centigradi, rispetto ai livelli preindustriali". Nel 2021, durante la COP 26, la maggior parte dei Paesi partecipanti hanno raggiunto un accordo per la riduzione delle emissioni entro il 2030 e per raggiungere le zero emissioni nette entro il 2050. In particolare, rispetto al 1919 la temperatura ha già raggiunto +1,1°C (nel 2019) e nel periodo 1980-2020 i danni economici cumulativi legati al cambiamento climatico sono stati pari a 487 miliardi di Euro in Unione Europea.

È evidente la necessità di un cambio di passo per raggiungere gli obiettivi europei di decarbonizzazione: le emissioni devono essere ridotte del 5,5% all'anno per raggiungere un bilancio negativo delle emissioni, ma con il *trend* attuale l'obiettivo di riduzione di emissioni del -55% sarà mancato di 16 punti percentuali nel 2030 e sarà raggiunto solo nel 2050.

Figura 2

Emissioni di gas climalteranti in Europa (MtonCO₂e), 1990 - 2019 e scenari di *policy*

Fonte: The European - House Ambrosetti su dati IPCC, 2022



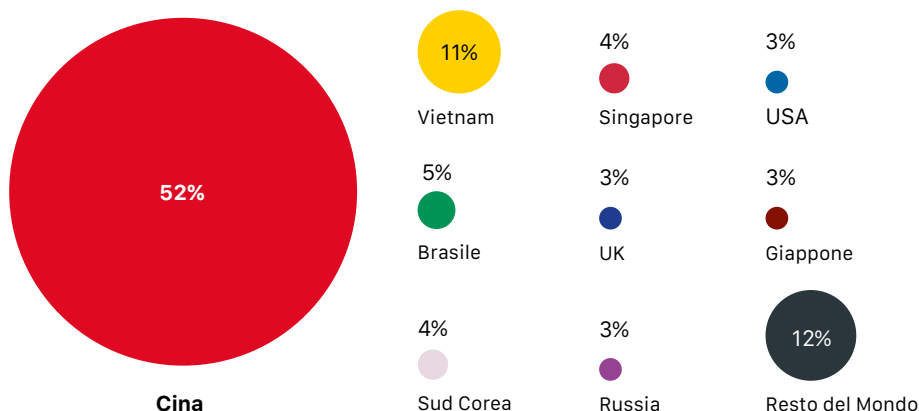
Inoltre, la dipendenza tecnologica deve essere considerata alla stregua della dipendenza energetica: è fondamentale che il processo di decarbonizzazione garantisca allo stesso tempo un accesso sicuro, resiliente e competitivo all'energia. La Commissione Europea ha identificato 137 categorie di prodotti in cui l'UE è strategicamente dipendente dalle importazioni, di cui il 52% vede come Paese di origine la Cina. Questi prodotti sono suddivisi in tre gruppi:

- **Materie prime:** comprende berillio, cobalto, antimonio, litio, alluminio, manganese, cromo, nichel, tungsteno, molibdeno, ecc;
- **Prodotti sanitari:** include antibiotici, vitamine, ormoni, composti eterociclici;
- **Tecnologie rinnovabili e prodotti digitali.**

Figura 3

Paese di origine delle importazioni da cui l'UE è dipendente (percentuale sul totale), 2019

Fonte: The European - House Ambrosetti su dati della Commissione Europea, 2022



Quattro tecnologie di decarbonizzazione dipendono da materiali della catena di approvvigionamento ad alto rischio: le batterie delle auto elettriche, le *fuel cell* per sfruttare l'idrogeno, le componenti dei pannelli fotovoltaici e quelli delle turbine eoliche. Tali componenti tecnologici dipendono tutti fortemente da terre rare e altre materie prime importate che fanno riferimento a una catena di valore considerata ad alto rischio dalla Commissione Europea.

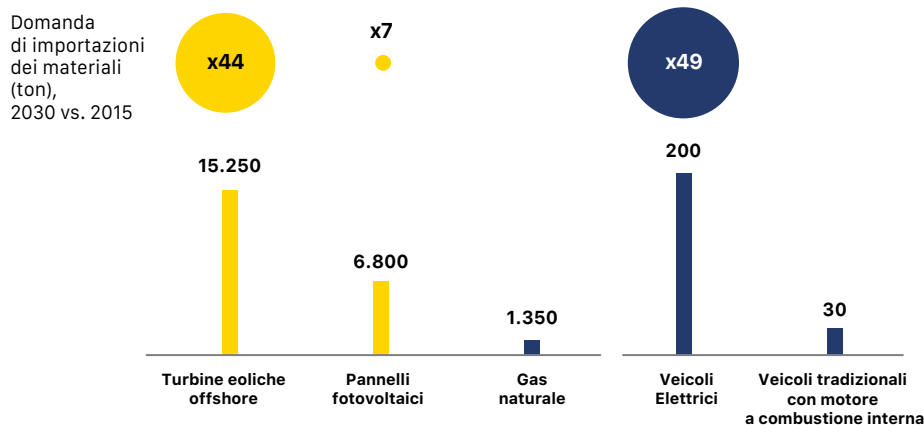
La questione diventa ancora più pressante dal momento che la domanda di materie prime importate in EU è prevista crescere significativamente al 2030: x44 volte per l'energia eolica, x7 volte per il fotovoltaico e x49 volte per i veicoli elettrici (vs. 2015).

L'accesso ai materiali e alle terre rare si sta quindi rivelando la vera area di rischio per la transizione energetica europea: l'elevata dipendenza potrebbe compromettere il passaggio all'energia e ai veicoli elettrici e, in ultima analisi, il raggiungimento degli obiettivi climatici dell'Unione Europea.

Figura 4

Materie prime utilizzate per energie rinnovabili e combustibili fossili (kg/MW) e materie prime utilizzate per i veicoli elettrici e tradizionali (kg/veicolo), 2022

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati della Commissione Europea, 2022



Messaggio chiave n. 2:

Il modo più strategico ed efficace per far fronte al processo di decarbonizzazione è concentrarsi sull'abbattimento delle emissioni da processi energetici e non energetici, concentrando l'attenzione su industrie *Hard to Abate*, generazione di energia e trasporto pesante.

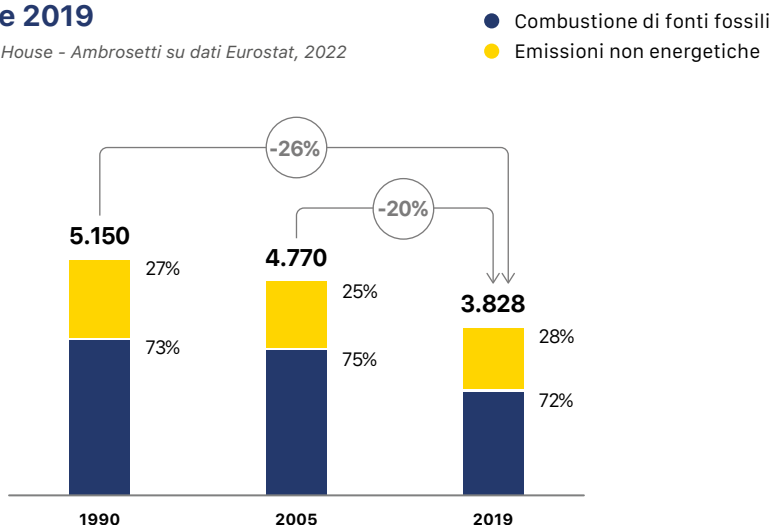
I dati raccolti attraverso le analisi scientifiche e le evidenze emerse durante le tavole rotonde e le interviste evidenziano che il modo più strategico ed efficace per affrontare la decarbonizzazione è quello di **lavorare sia sulle emissioni energetiche che su quelle non energetiche**, come le emissioni dei **processi industriali**.

Sebbene **la maggior parte delle emissioni (72%) sia generata dai combustibili fossili per la generazione di energia**, **le emissioni non energetiche rappresentano il 28% del totale nell'Unione Europea**. Per ottenere una completa carbonizzazione è necessario intervenire su entrambe le componenti.

Figura 5

Quota di emissioni di gas climalteranti da diversi settori in Europa (% e Mton), 1990, 2005 e 2019

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2022



In particolare, l'attenzione dovrebbe essere rivolta alle industrie *Hard to Abate*, ai trasporti pesanti e alla produzione di energia da combustibili fossili. Questi settori sono i più difficili da decarbonizzare, considerando la natura e la portata delle loro emissioni:

- Le industrie *Hard to Abate*, come quelle del cemento, del ferro e dell'acciaio e i settori chimici, dipendono dalle energie fossili per l'81% del loro consumo finale e, in media, il 51% delle emissioni è generato dai processi industriali;
- I trasporti pesanti su strada, il marittimo e l'aviazione dipendono dai combustibili fossili per oltre il 90% del consumo di carburante e l'elettrificazione è una sfida a lungo termine, oltre a non essere un'opzione per l'aviazione;
- La produzione di energia elettrica rappresenta una sfida perché sarà necessaria una quota minima di combustibili fossili (3,4% nell'UE nel 2050) per garantire l'adequazione e la flessibilità del sistema energetico.

L'Europa si trova di fronte a una sfida di sviluppo tecnologico per la decarbonizzazione di questi settori; ne segue che tutte le tecnologie disponibili devono essere sfruttate per raggiungere l'obiettivo della piena decarbonizzazione.

Figura 6

I settori presi in considerazione nello Studio Strategico e le relative sfide

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2022

Settori più difficili da decarbonizzare

Industrie Hard to Abate



Cemento



Ferro e acciaio



Chimico

Trasporto pesante



Veicoli
pesanti



Marino



Aereo

Produzione di energia



Produzione di energia
da fonti fossili

Le **fonti fossili** rappresentano l'**81%** dei consumi finali

51% delle emissioni generate dai **processi industriali**

Più del **90%** dei consumi dipendono da **combustibili fossili**

L'**elettrificazione** è una sfida a **lungo termine** per i veicoli pesanti

L'**elettrificazione** non è un'opzione per l'**aviazione**

Per garantire l'adeguatezza e la flessibilità del sistema energetico sarà necessaria una **quota minima di combustibili fossili** (3,4% nell'UE nel 2050)

Messaggio chiave n. 3:

Tutti gli scenari di zero emissioni nette e le strategie di lungo termine degli Stati Membri europei concordano sulla necessità di sfruttare diverse tecnologie per raggiungere gli obiettivi internazionali di limitazione del riscaldamento globale al di sotto di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali.

L'unico modo per raggiungere efficacemente la piena decarbonizzazione è sfruttare tutte le possibili leve tecnologiche: le energie rinnovabili, l'elettrificazione degli usi finali e l'efficienza energetica svolgeranno un ruolo cruciale nella transizione energetica, ma devono essere abbinate ad altre misure di mitigazione. La strategia più efficace è quella di combinare, caso per caso, efficienza energetica, energie rinnovabili, vettori decarbonizzati e tecnologie di cattura della CO₂.

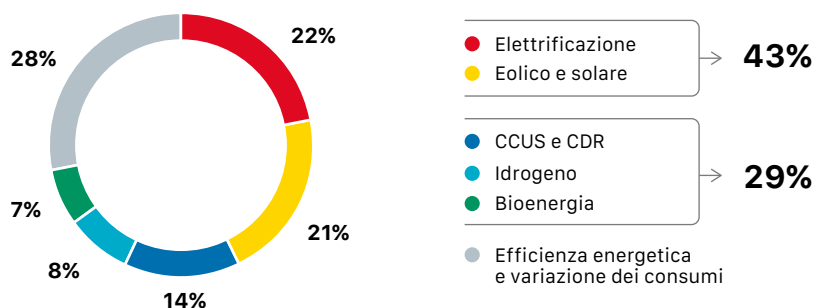
Di fatto, tutti gli scenari di zero emissioni nette sviluppati dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), dall'*International Energy Agency* (IEA) e le principali strategie a lungo termine degli Stati Membri europei concordano su questo requisito.

La cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio del carbonio (CCUS) e la rimozione dell'anidride carbonica (CDR), l'idrogeno, i biocarburanti e i carburanti sintetici sono tutte tecnologie chiave per raggiungere la completa decarbonizzazione, considerate rilevanti nello scenario IEA, in cui il 43% delle misure di mitigazione riguarda l'elettrificazione e le tecnologie eoliche e solari, ma il 57% della riduzione di CO₂ al 2050 richiede l'utilizzo di altre leve tecnologiche - di cui CCUS e CDR, idrogeno e biocarburanti insieme rappresentano il 29% del contributo totale alla riduzione delle emissioni.

Figura 7

Quota del contributo di ciascuna misura di mitigazione nello scenario NZE 2050 (% del totale di diminuzione delle emissioni), 2020-2050

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2022



Key message #4

Per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica è necessario dispiegare tutte le leve tecnologiche disponibili, combinando, caso per caso, energie rinnovabili, vettori decarbonizzati e tecnologie di cattura della CO₂. In totale, sono state mappate 100 tecnologie che devono essere sostenute, al fine di ottimizzare gli investimenti seguendo un principio di neutralità tecnologica.

A seguito di un'analisi approfondita di tutti i piani di decarbonizzazione, della letteratura scientifica e dei dati raccolti attraverso il processo di coinvolgimento degli *stakeholder*, sono state identificate un totale di **100 tecnologie di decarbonizzazione** che devono essere promosse per ottimizzare gli investimenti seguendo un **principio di neutralità tecnologica** lungo l'intera catena del valore della produzione energetica.

Figura 8

Le tecnologie alla base della Zero Carbon Technology Roadmap

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2022

PRODUZIONE DI ENERGIA CARBON NEUTRAL

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2022

Technology readiness level

● Basso: 1-4

● Medio: 5-7

● Alto: 8-9

COMBUSTIBILI FOSSILI E CCUS / CDR	RINNOVABILI ELETTRICHE E TERMICHE	ENERGIA NUCLEARE
<div><div>● Combustibili fossili associati a CCUS e CDR</div><div>Le tecnologie CCS richiedono un'infrastruttura di CO₂ per:<div><div>1. Decarbonizzare la combustione delle fonti fossili attraverso la cattura e lo stoccaggio di CO₂</div><div>2. Compensare le emissioni attraverso tecnologie di rimozione della CO₂ atmosferica</div></div></div></div>	<div>Rinnovabili elettriche<div><div>● Pannelli fotovoltaici</div><div>● Energia eolica</div><div>● Concentrazione solare</div><div>● Energia geotermica</div><div>● Energia idroelettrica</div><div>● Energia marina</div></div></div> <div>Rinnovabili termiche<div><div>● Energia solare</div><div>● Energia geotermale</div><div>● Energia talassotermica</div></div></div>	<div>Fissione<div><div>● Reattori di IV generazione</div></div></div> <div>Fusione<div><div>● Fusione magneto-inerziale</div><div>● Confinamento elettrostatico ibrido</div><div>● Confinamento inerziale</div><div>● Fusione con laser (non termica)</div></div></div>

INFRASTRUTTURA DI CO ₂	Fonte di CO ₂	Cattura	Trasporto	Stoccaggio
<div>Cattura e stoccaggio di CO₂</div> <div>CCS è utilizzata per decarbonizzare i processi Hard to Abate riducendo le emissioni da combustione di fonti fossili o processi industriali</div>	<div>La CO₂ è catturata direttamente da processi emittenti con tecniche artificiali</div>	<div><div>● Assorbimento fisico</div><div>● Assorbimento chimico</div><div>● Assorbimento solido fluidizzato</div><div>● Membrana polimerica</div><div>● Adsorbimento solido statico</div><div>● Combustione di ossigeno puro</div><div>● Cicli di potenza a CO₂ supercritica</div></div>	<div><div>In base a distanza e distribuzione:</div><div><div>● Nave</div><div>● Pipeline</div><div>● Camion</div></div></div>	<div><div>In base a distanza e disponibilità</div><div><div>● Iniezione e gestione della CO₂ nei siti geologici</div><div>● Simulazione dello stoccaggio geologico</div><div>● Monitoraggio dello stoccaggio geologico</div></div></div>
<div>Rimozione di CO₂</div> <div>La CO₂ catturata può essere usata per:<div><div>● Compensare le emissioni non-abatable in caso di stoccaggio a lungo termine</div><div>● Produrre vettori energetici decarbonizzati nel caso di stoccaggio a breve termine</div></div></div>	<div>La CO₂ è catturata dalla produzione di bioenergie con tecniche artificiali</div> <div>La CO₂ è catturata dall'aria con tecniche artificiali</div> <div>La CO₂ atmosferica è catturata attraverso biomasse e rocce silicatiche</div>	<div><div>● Bioenergie con CCS (BECCS)</div><div>● Direct Air CCS (DACCS)</div><div>● Forestazione e reforestazione</div><div>● Biochar</div></div>	<div><div>Non necessario</div></div> <div>● Camion</div>	<div>Alberi, biomasse</div> <div>Campi arabili</div>

Il know-how esistente in materia di gestione dei giacimenti viene sfruttato per la modellazione geomeccanica, idraulica e chimica dei giacimenti sotterranei, al fine di garantire la sicurezza e la stabilità dello stoccaggio di CO₂

PRODUZIONE E UTILIZZO DI VETTORI ENERGETICI CARBON NEUTRAL

Technology readiness level

- Basso: 1-4
- Medio: 5-7
- Alto: 8-9

ELETTRICITÀ CARBON NEUTRAL

Generazione di vettori

Energia elettrica proveniente da una fonte di energia primaria zero carbon (vedi sezione dedicata)

Stoccaggio

Batteria

- Redox flow
- Ioni di litio
- Batterie allo stato solido
- Meccanica
- Flywheel
- Pompatà
- Energia dell'aria compressa
- Energia dell'aria liquida

Termale

- Calore latente
- Calore sensibile

Chimica

- Power to gas
- Idrogeno

Elettrica

- Condensatore
- Magnetica superconduttiva

Trasmissione, distribuzione e dispacciamento

Dispacciamento

- Centrale elettrica virtuale
- Domanda-risposta
- Gestione della domanda
- Veicolo alla rete

Trasmissione

- Altissima tensione
- Rete flessibile ad alta tensione
- Alta tensione superconduttiva
- Sistema di trasmissione flessibile in corrente alternata
- Valutazione dinamica della linea

Distribuzione

- Ricarica
- Energia transattiva

Consumo

Trasporto

- Plug-in Hybrid
- Elettrico con fuel cell
- Elettrico a batteria

Edifici

- Pompe di calore elettriche
- Caldaie elettriche

Industria

- Pompe elettriche
- Riscaldamento diretto
- Riscaldamento a induzione

IDROGENO CARBON NEUTRAL

Fonte

Metano

Carbone

Elettricità e acqua

Biomasse

Acqua ed energia solare

Piante biologiche e luce solare

Batteri e luce solare

Microalghe e luce solare

Microorganismi

Ferro calcinato e gas da pirolisi da biomassa

Generazione di vettori

- Steam reforming del metano
- Reforming autotermico
- Ossidazione parziale
- Pirolisi del metano

Gassificazione del carbone

- Elettrolisi alcalina
- Membrana elettrolitica polimerica
- Elettrolisi microbica
- Celle di elettrolizzazione a ossidi solidi

- Pirolisi della biomassa
- Bio-fotolisi

Fotoelettrochimica

Fotosintesi

Fotofermentazione

Fotofermentazione di microalghe

Dark fermentation

Chemical Looping con CCUS

Stoccaggio

Stoccaggio in caverne saline

Serbatoio di stoccaggio

Giacimenti di petrolio e gas esauriti

Vettore di idrogeno organico liquido

Trasporto

Pipeline

- Miscelazione di idrogeno nelle reti di gas naturale
- Autocisterna per idrogeno liquido
- Autocisterna per idrogeno organico liquido

Consumo

Edifici e industria:

- Tecnologia a idrogeno puro miscelato

Settore dei trasporti (strada, ferrovia, navigazione marittima, aviazione)

- Fuel cell ad ammoniaca
- Fuel cell a idrogeno
- Internal combustion engine a idrogeno

CARBURANTI CARBON NEUTRAL

Fonte

Biocarburanti

Biomasse non in competizione con la filiera alimentare: oli residui e non commestibili, rifiuti agricoli e urbani, alghe, grassi animali di scarto e glicerina, processi microbici

La ricerca **agritech** è necessaria per identificare ulteriori biomasse non in competizione con gli alimenti

Carburanti sintetici

Carbon Neutral H₂, CO₂ da DACCS o BECCS, Energia Carbon Neutral (in alternativa CCUS o CDR)

Generazione di vettori

Hydrotreating

Digestione anaerobica

Gassificazione

Pirolisi

Fischer-Tropsch synthesis (FTS) e Fischer-Tropsch synthetic paraffinic kerosene (FT-SPK)

Metanizzazione

Fischer-Tropsch e hydrocracking

Sintesi del metanolo e conversione del metanolo in benzina

Trasmissione, distribuzione, dispacciamento e consumo

I combustibili **low carbon** possono facilmente **sostituire i combustibili fossili**: sono pienamente compatibili con le **infrastrutture esistenti per lo stoccaggio, il trasporto, la distribuzione e il consumo**

Possono essere utilizzati nei **motori a combustione interna convenzionali** e nei motori a reazione: automobili, aerei e navi tradizionali possono essere alimentati con carburanti sintetici senza bisogno di modifiche o di allestimenti

Le tecnologie mappate si basano su cinque leve di decarbonizzazione:

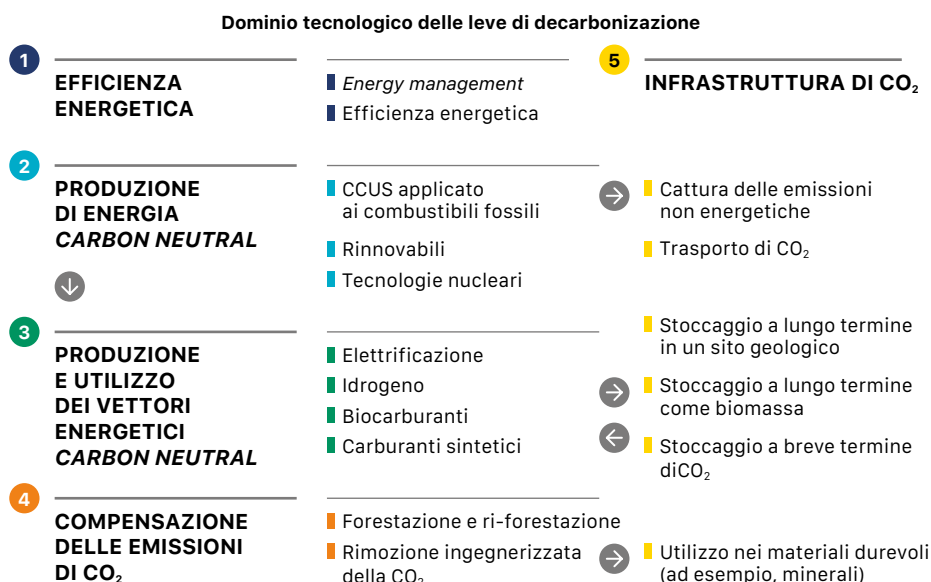
- Sfruttamento dell'**efficienza energetica** per ridurre la domanda di energia senza compromettere il soddisfacimento dei bisogni della società;
- **Produzione di energia *Carbon Neutral* che non emette gas serra** (GHG) o che può catturare, immagazzinare permanentemente o compensare le proprie emissioni di GHG;
- **Produzione e utilizzo di vettori energetici *Carbon Neutral*** dal punto di vista del carbonio che non emettono gas serra, a parte le emissioni biogeniche generate dallo sfruttamento dei biocarburanti, o che possono catturare in modo permanente la CO₂ o compensare le emissioni di gas serra;
- **Compensazione delle emissioni di CO₂** sottraendo dall'atmosfera le emissioni non abbattibili o sequestrabili;
- **Diffusione di tecnologie infrastrutturali per la CO₂** per consentire il trasporto, l'uso o lo stoccaggio della CO₂ catturata con CCUS nella combustione di combustibili fossili e nelle emissioni non energetiche o nella produzione di idrogeno, CDR per la cattura della CO₂ atmosferica. Queste infrastrutture sono necessarie anche per fornire la CO₂ necessaria alla produzione di carburanti sintetici *Carbon Neutral*, insieme ad altri prodotti industriali.

Figura 9

Leve di decarbonizzazione

Le frecce indicano lo scambio di CO₂ per la produzione e l'utilizzo delle leve tecnologiche

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2022



L'implementazione di queste tecnologie permetterà di raggiungere la neutralità carbonica di ogni attività emissiva e l'applicazione di questo principio a intere filiere industriali permette di raggiungere la decarbonizzazione completa anche in un'ottica di *Life Cycle Assessment*. In particolare, lo Studio Strategico ha individuato tre aree tecnologiche ad alto potenziale, che possono essere sfruttate per integrare le fonti rinnovabili e l'elettrificazione e raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione: CCUS e CDR, idrogeno e, infine, biocarburanti e carburanti sintetici.

Messaggio chiave n. 5:

La cattura e lo stoccaggio di CO₂ (CCUS) e la rimozione di CO₂ atmosferica (CDR) sono tecnologie disponibili, scalabili, competitive e sicure per accelerare il percorso di decarbonizzazione.

Attualmente esistono 135 progetti CCUS in tutto il mondo, 38 dei quali si trovano in Europa (28% del totale). Il 43% dei progetti mondiali è in fase di sviluppo avanzato, mentre solo il 20% è operativo. In particolare, **11 Piani Nazionali europei per l'Energia e il Clima (PNEC) menzionano esplicitamente CCUS e CDR** quali misure per raggiungere gli obiettivi di emissioni nette zero, soprattutto per la decarbonizzazione dei settori *Hard to Abate*, e dedicano parti dei loro Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza (PNRR) allo sviluppo di infrastrutture di CCUS nazionali.

Figura 10

Menzioni di CCUS e CDR e finanziamenti in Europa

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati NECP e PNRR, 2022



1,85 mld di Euro per catturare **0,4 tonnellate di CO₂** all'anno da un cementificio in Norvegia. Sviluppo di una soluzione per il trasporto e lo stoccaggio di CO₂ con una capacità finale di 5 Mtons/anno



Il governo svedese sovvenzionerà **37,9 mln di euro all'anno**, nel periodo 2026-2040, agli operatori che investono in impianti di **bio-CCS**



Il PNR belga ha stanziato **10 mln di euro** per sostenere il progetto CCUS Antwerp@C, **50 mln di euro** per lo sviluppo di un'industria a basse emissioni di carbonio, **95 mln di euro** per sviluppare una rete per il trasporto di H₂ e CO₂



Il NECP olandese considera la **CCUS come una tecnologia necessaria per la transizione energetica** per ridurre le emissioni di CO₂ nei settori in cui non sono disponibili alternative economicamente vantaggiose nel breve termine



La Germania ha annunciato lo stanziamento di finanziamenti per la **commercializzazione delle tecnologie di cattura della CO₂** e per il sostegno alle opzioni infrastrutturali di trasporto della stessa



Il NECP spagnolo propone **l'integrazione delle tecnologie CCUS per ridurre le emissioni**



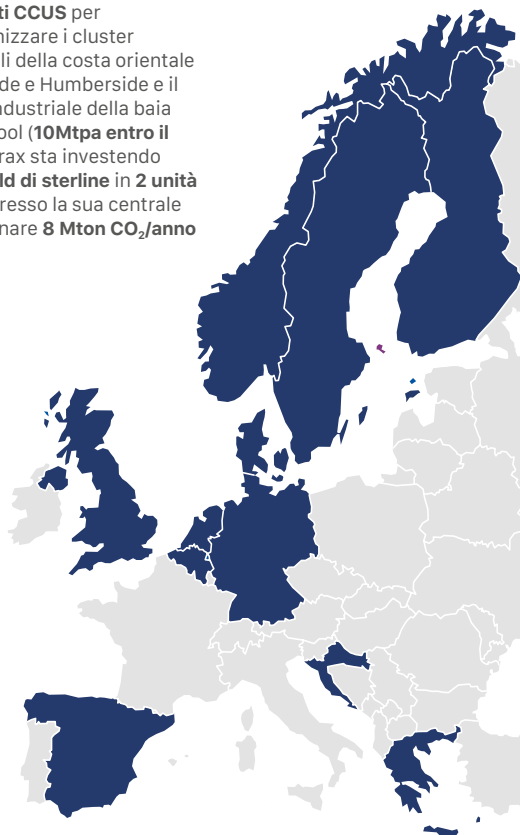
27 mln di Euro per supportare lo sviluppo e la dimostrazione dello **stoccaggio di CO₂** in giacimenti di petrolio e gas svuotati nel Mare del Nord danese



2 progetti CCUS per decarbonizzare i cluster industriali della costa orientale di Teesside e Humber e il cluster industriale della baia di Liverpool (**10Mtpa entro il 2030**). Drax sta investendo oltre **2 mld di sterline** in **2 unità BECCS** presso la sua centrale per eliminare **8 Mton CO₂/anno**



Una raffineria di petrolio finlandese ha ricevuto **88 mln di Euro** dalla Commissione Europea per il suo progetto di idrogeno sostenibile e recupero del carbonio



658 mln di euro del PNRR croato sono destinati a sviluppare progetti innovativi di CCS, sostenere la produzione di biocarburanti avanzati e idrogeno rinnovabile



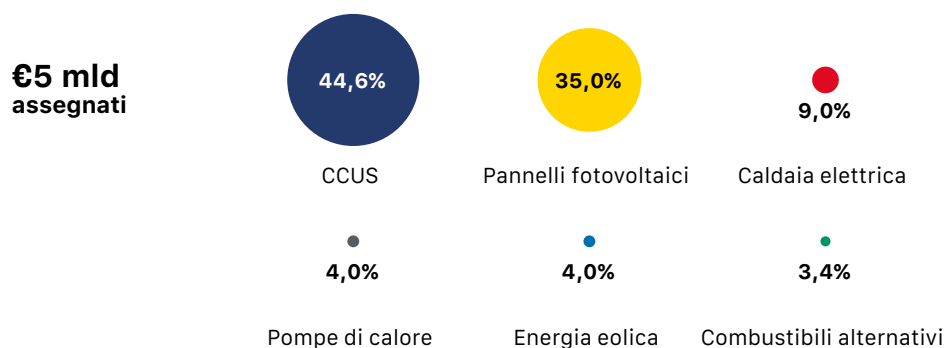
Il PNRR greco destina **300 mln di euro** allo sviluppo del progetto CCS di Prinos, con lo stoccaggio di CO₂ nei giacimenti *offshore* vuoti

Tra questi piani, una menzione speciale va al Governo dei Paesi Bassi che ha premiato **CCUS come la tecnologia più conveniente** nel suo programma "*Stimulation of sustainable energy production and climate transition*". **Considerando un periodo di quindici anni, la quantità di CO₂ abbattuta dalle tecnologie CCUS per euro investito è circa tre volte superiore a quella del fotovoltaico, delle pompe di calore, dell'energia eolica e delle caldaie elettriche.**

Figura 11

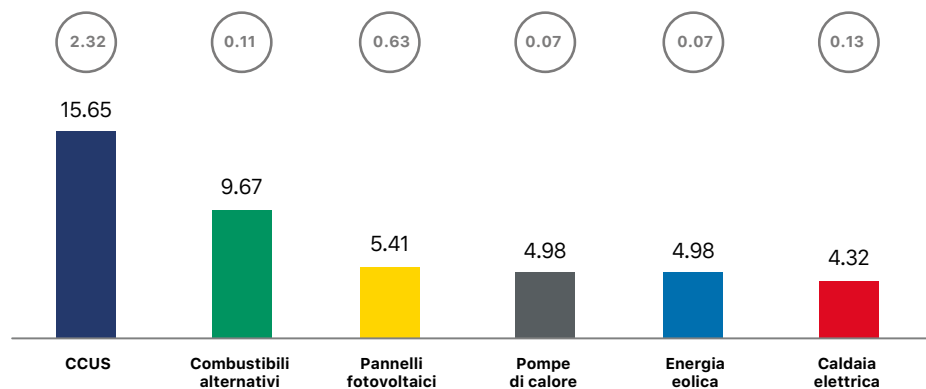
Distribuzione del budget SDE++ 2020 (% e miliardi di Euro) ed efficienza tecnologica: quantitativo di CO₂ sequestrata in 15 anni per mld investito (MtonCO₂ assorbita in 15 anni/mld Euro)

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati SDE++, 2022



Efficienza tecnologica: quantitativo di CO₂ sequestrata in 15 anni per mld investito (MtonCO₂ assorbita in 15 anni/mld Euro)

MtonCO₂ sequestrata per anno



Nota: l'efficienza tecnologica è calcolata considerando il quantitativo di CO₂ catturata in 15 anni, la durata dei fondi stanziati

Per promuovere l'implementazione di CCUS e CDR a livello europeo e aumentare il loro potenziale di decarbonizzazione facendo leva su un principio di neutralità tecnologica, sono state definite le seguenti *proposte di policy*.

Proposta di *Policy* n. 1

- Sviluppare un **quadro normativo per la CCUS** secondo una logica di mercato unico europeo, che preveda la creazione di infrastrutture con accesso per tutti gli Stati Membri
- Promuovere **l'inclusione della CCUS nella pianificazione energetica e climatica** di tutti gli Stati membri dell'UE

Proposta di *Policy* n. 2

- Mettere in atto un **meccanismo** che consenta di **contabilizzare le emissioni negative**, attualmente non possibile nell'ambito del sistema di scambio di quote di emissioni (ETS) dell'UE
- Introdurre un **meccanismo di finanziamento per ridurre il rischio di investimenti** industriali in impianti dimostrativi **CDR** su larga scala

Messaggio chiave n. 6:

L'idrogeno può essere sfruttato come vettore energetico a emissioni zero ad alto potenziale per la decarbonizzazione degli usi, laddove non si crei "competizione" per l'accesso all'energia prodotta da rinnovabili.

La produzione di idrogeno *Carbon Neutral* da combustibili fossili associata a tecnologie di CCUS, il cosiddetto idrogeno blu, è necessaria per consentire una crescita rapida e competitiva del mercato sia dal lato della domanda che da quello dell'offerta, senza aumentare la concorrenza per l'accesso alle fonti rinnovabili.

Nel 2020, il costo dell'**idrogeno da fonti rinnovabili** era il doppio di quello dell'**idrogeno da gas naturale con CCUS**. Anche se si prevede che il co-

sto di produzione del primo **diminuirà del 65,2% nel 2050**, è necessario promuovere la produzione di idrogeno associato a CCUS nel breve termine per facilitare il futuro impiego dell'idrogeno rinnovabile, creando un mercato per l'idrogeno e una catena del valore. Un'altra sfida posta dalla produzione di idrogeno rinnovabile è il **quantitativo aggiuntivo di elettricità rinnovabile** necessaria per generare dall'elettrolisi **tutto l'idrogeno consumato nell'UE**: nel 2020, la capacità aggiuntiva richiesta era del 47%, mentre nel 2030 si prevede sarà del 34%.

Figura 12

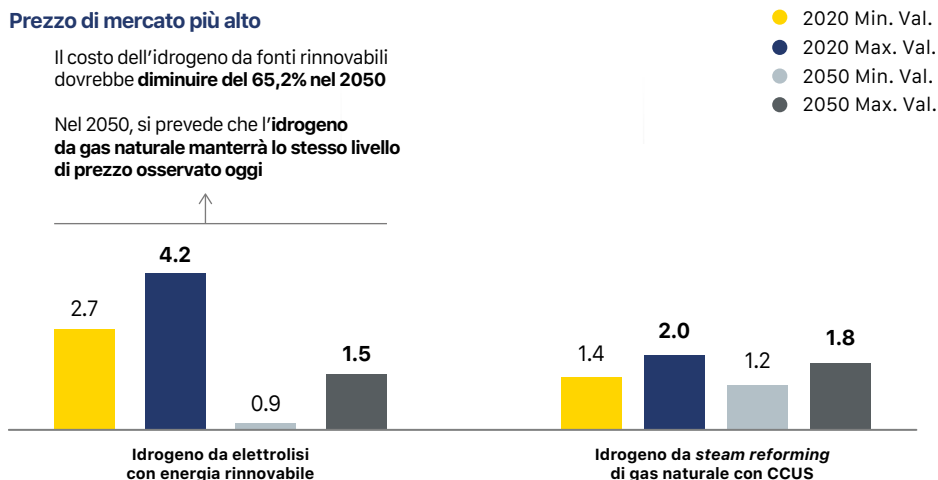
Costi dell'idrogeno secondo le diverse tecnologie (€/ KgH₂), sulla base dei prezzi del 2020

Fonte: The European House - Ambrosetti su Paper «Cost-effective Decarbonisation Study», European University Institute and Florence School of Regulation (2020) e altre fonti, 2022

Prezzo di mercato più alto

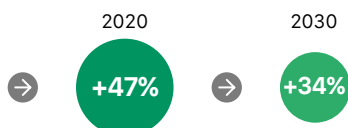
Il costo dell'idrogeno da fonti rinnovabili dovrebbe **diminuire del 65,2% nel 2050**

Nel 2050, si prevede che l'**idrogeno da gas naturale manterrà lo stesso livello di prezzo osservato oggi**



Scarsità dovuta alla concorrenza delle rinnovabili elettriche

Quota della capacità di energia elettrica rinnovabile necessaria per produrre tramite elettrolisi tutto l'**idrogeno richiesto nell'UE**

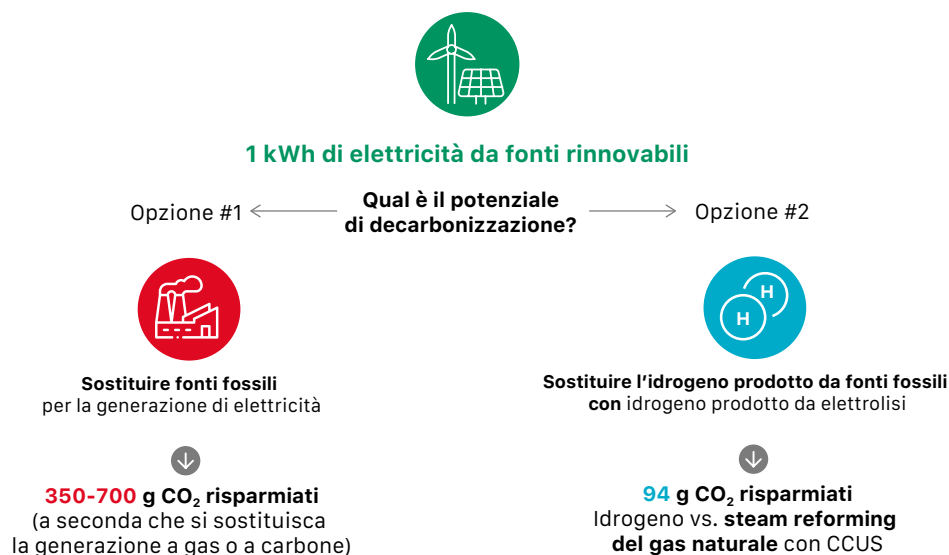


Un ultimo punto da non trascurare è che, nel medio termine, **la produzione di idrogeno con l'elettrolisi riduce di circa tre volte il potenziale di decarbonizzazione delle Fonti Energetiche Rinnovabili elettriche.**

Figura 13

Il potenziale di decarbonizzazione di 1 kWh di elettricità da Fonti Energetiche Rinnovabili

Fonte: The European House - Ambrosetti su revisione della letteratura scientifica, 2022



Per incoraggiare la produzione e l'utilizzo dell'idrogeno blu e creare un mercato dell'idrogeno a livello europeo che semplifichi la futura diffusione su larga scala dell'idrogeno verde, è stata definita la seguente proposta di *policy*:

Proposta di Policy n. 3

- **Riconoscere come sostenibile l'idrogeno generato da combustibile fossile con CCUS quando si dimostri che non ci sono emissioni non abbattute o non compensate nell'ambito di una valutazione *Life Cycle Assessment*.** Ciò consentirà di sostenere la conversione degli attuali impianti a idrogeno grigio e di sostenere la diffusione delle tecnologie a idrogeno nel breve termine, facilitando la futura adozione dell'idrogeno da elettrolisi
- **Promuovere la diffusione di uno *standard di riferimento europeo* da applicare in tutti gli Stati Membri per fornire chiarezza tecnica e normativa alle aziende coinvolte nella produzione di idrogeno e in altri progetti di implementazione**

Messaggio chiave n. 7:

I biocarburanti prodotti da risorse non alimentari sono una soluzione *Carbon Neutral* per sostituire i combustibili fossili, in quanto richiedono aggiustamenti infrastrutturali minimi per essere integrati nei sistemi di consumo esistenti.

I biocarburanti non in competizione con le filiere alimentari e mangimistiche sono quelle derivate da residui, oli non commestibili, rifiuti agricoli e urbani, alghe, grassi animali di scarto e glicerina. L'aspetto importante dei biocarburanti è che possono essere introdotti immediatamente nei sistemi di consumo esistenti attraverso minimi aggiustamenti, accelerando così il processo di decarbonizzazione. Ad esempio, quasi tutti i camion diesel in circolazione possono sfruttare al 100% di biodiesel. I biocarburanti possono anche essere utilizzati per sostituire i combustibili fossili in alcune produzioni chimiche. Questo dato **è estremamente rilevante**, considerando la possibilità di agire immediatamente sulle flotte e sugli impianti esistenti, senza richiedere notevoli investimenti in nuovi veicoli e impianti.

Un altro aspetto importante è che la filiera dei biocarburanti può favorire la creazione di un paradigma di economia circolare in Europa. **Attualmente, nell'UE sono disponibili 34,9 milioni di tonnellate di rifiuti all'anno** per la produzione di biocarburanti che non vengono sfruttati.

Inoltre, la produzione di biocarburanti da colture energetiche coltivate su terreni marginali (non in competizione con le catene alimentari e di mangimi), incentiva lo sviluppo locale di nuovi modelli di *business* in agricoltura.

Le terre marginali hanno un valore agricolo scarso o nullo e sono caratterizzate da isolamento fisico (come la lontananza da qualsiasi strada disponibile), assenza di acqua, forte pendenza o inquinamento industriale. Nell'Unione Europea, ci sono **60 milioni di ettari di terreni marginali** che possono essere sfruttati per le colture per la produzione di biocarburanti.

Figura 14

Fonti per la generazione di biocarburanti non in competizione con la filiera alimentare

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2022



I biocarburanti possono essere utilizzati fin da subito nei sistemi di consumo esistenti, accelerando il processo di decarbonizzazione

Considerando lo scenario globale, l'Africa è la prima area al mondo per terre marginali, con **784 milioni di ettari che possono essere sfruttati per la coltivazione di colture energetiche**, favorendo al contempo lo sviluppo economico e sociale. I principali benefici socioeconomici per le comunità locali africane coinvolte nella coltivazione di colture energetiche in terre marginali sono:

- **Differenze fino al 171% nel reddito percepito** tra i lavoratori delle piantagioni di colture energetiche e i lavoratori "normali";
- **Fino al 181% di differenza nella capacità di spesa** tra i lavoratori delle piantagioni di colture energetiche e i lavoratori "normali";
- **Fino a 30 punti percentuali guadagnati nel confronto della povertà multidimensionale** tra lavoratori in piantagioni di colture energetiche e lavoratori "normali".

Considerando la disponibilità su larga scala di rifiuti e residui, insieme ai terreni marginali esistenti a livello europeo, e la possibilità di introdurre i biocarburanti negli attuali sistemi di consumo con minimi aggiustamenti, è stata sviluppata la seguente proposta di *policy*:

Proposta di *Policy* n. 4

- Garantire che tutte le fonti di materie prime da **rifiuti, residui e colture, non in competizione con le catene alimentari e dei mangimi**, siano considerate sostenibili per la produzione di biocarburanti neutrali dal punto di vista del carbonio, se si dimostra che non vi sono emissioni diverse da quelle biogeniche

Messaggio chiave n. 8:

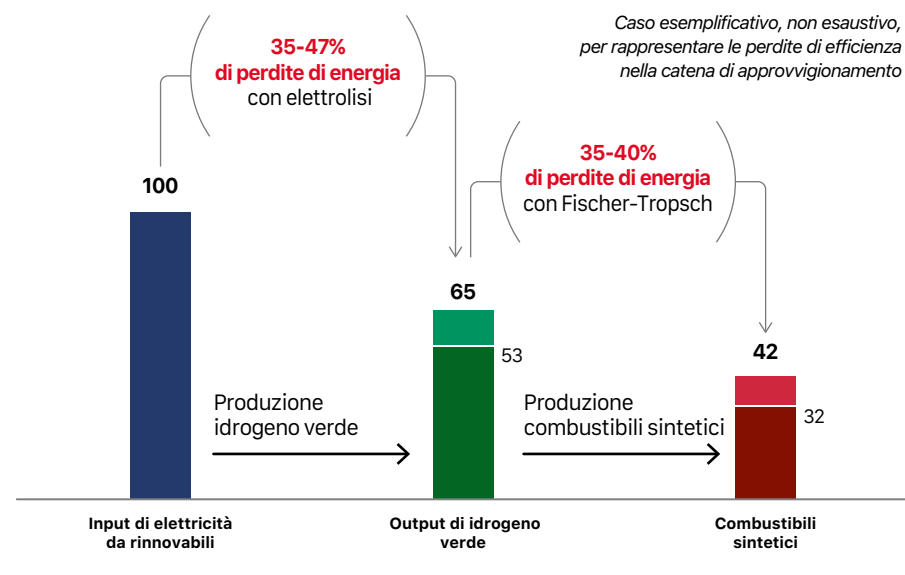
I carburanti sintetici, pur a fronte delle perdite di efficienza nelle fasi di trasformazione, sono una soluzione **Carbon Neutral** per sostituire i combustibili fossili, in quanto richiedono aggiustamenti infrastrutturali minimi per essere integrati in specifici settori *Hard to Abate* (ad esempio, l'aviazione).

I carburanti sintetici sono prodotti dalla miscela di idrogeno e CO₂, sfruttando **tecnologie ben note e mature**. Tuttavia, l'integrazione di queste tecnologie in impianti efficienti richiede ancora miglioramenti industriali. Nel complesso, i carburanti sintetici offrono molteplici vantaggi, ma un aspetto negativo che deve essere affrontato sono le perdite di efficienza in ogni fase di trasformazione, che comportano costi finali più elevati: è ancora **necessaria un'integrazione della catena del valore per rendere i combustibili sintetici competitivi rispetto ad altre alternative**.

Figura 15

Perdite di efficienza energetica nella produzione di idrogeno verde e carburante sintetico da elettricità rinnovabile, (% TWh di elettricità rinnovabile = 100) - I colori chiari e scuri indicano gli intervalli di valori

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati vari, 2022



Nonostante le perdite di efficienza, analogamente ai biocarburanti, la produzione e l'utilizzo di combustibili sintetici dovrebbero essere promossi a livello europeo, dato il loro potenziale di sostituire facilmente i combustibili fossili nel breve termine, grazie ai minimi cambiamenti richiesti. In particolare, i carburanti sintetici sono necessari in tutte le applicazioni non elettrificabili in cui sono richiesti carburanti sostenibili ad alte prestazioni, stabili e facili da gestire, come nel settore dell'aviazione.

Messaggio chiave n. 9:

L'utilizzo su larga scala di CCUS, CDR, idrogeno, biocarburanti e combustibili sintetici è indispensabile per raggiungere gli obiettivi di piena decarbonizzazione al 2050 dei settori *Hard to Abate*, nel trasporto pesante e nella generazione di energia da fonti fossili. Tra il 2023 e il 2050, l'applicazione di queste tecnologie nei settori analizzati genererà più di 2.700 miliardi di Euro di valore aggiunto in Europa e circa 1,7 milioni di posti di lavoro nel 2050.

Per valutare il potenziale di CCUS e CDR, idrogeno, biocarburanti e carburanti sintetici sui livelli di sostenibilità dell'Unione Europea, è stato seguito un approccio *bottom-up*, analizzando **più di 185 documenti accademici** e coinvolgendo **56 stakeholder**, di cui quindici rappresentanti di **settori industriali Hard to Abate** sono stati intervistati con l'obiettivo di identificare le migliori strategie per l'adozione di nuove tecnologie per la decarbonizzazione degli impianti industriali ad alta intensità energetica; allo stesso tempo, altri quindici *stakeholder* provenienti dal **settore dei trasporti pesanti** sono stati coinvolti per identificare il ruolo delle nuove tecnologie per decarbonizzare i trasporti *Hard to Abate* stradali, marittimi e aerei.

Proposta di *Policy* n. 5

- Per incentivare gli investimenti in infrastrutture e tecnologie di decarbonizzazione, le risorse dovrebbero essere assegnate in base all'efficienza economica nell'abbattimento della CO₂, **valutando il potenziale rispetto ad altre tecnologie alternative e secondo un principio di neutralità tecnologica**

Proposta di *Policy* n. 6

- Introdurre un modello di **Carbon Contracts for Difference** che incoraggi gli investimenti in tecnologie a zero emissioni riducendo i rischi nella fase di investimento, in modo simile a quanto fatto per incentivare la diffusione delle energie rinnovabili elettriche

Proposta di *Policy* n. 7

- Superare l'approccio di calcolo delle emissioni "**tank-to-well**" e promuovere un approccio di valutazione "**well-to-wheel**" *Life Cycle Assessment* (LCA) per valutare le emissioni complessive dei carburanti
- Riconoscere, nella tassonomia europea, lo status di "**carbon neutral fuels**" ai **biocarburanti e all'idrogeno** prodotti da **fonti fossili in combinazione con tecnologie di cattura della CO₂**
- Favorire la **creazione di infrastrutture**, come le stazioni di rifornimento, necessarie per una diffusione su larga scala dei carburanti alternativi su strade, porti e aeroporti e **introdurre politiche fiscali per ridurre il divario di prezzo con i carburanti tradizionali**

Le evidenze raccolte durante i **Tavoli di Lavoro** hanno permesso di sviluppare le proposte di *policy* per facilitare il processo di decarbonizzazione sopra menzionate. Queste proposte hanno gettato le basi del **modello di decarbonizzazione** sviluppato da The European House - Ambrosetti, in cui tutte le **proposte di policy** sono state implementate e il loro impatto sulla catena del valore europea è stato valutato in termini di sostenibilità, occupazione e creazione di valore aggiunto.

Le leve di decarbonizzazione - CCUS e CDR, idrogeno, biocarburanti e carburanti sintetici - sono state applicate a due diversi scenari per valutare il loro impatto sull'abbattimento della CO₂ nelle industrie *Hard to Abate*, nei trasporti pesanti e nella produzione di energia da combustibili fossili. Sono stati considerati due diversi scenari di penetrazione, un cosiddetto **Scenario Inerziale** e uno **Zero Carbon Technology Scenario**. La differenza tra i due è l'attuazione delle raccomandazioni politiche sviluppate dal presente Studio Strategico.

Figura 17

Struttura del Modello

Fonte: modello proprietario

L'impatto sulla decarbonizzazione di queste quattro tecnologie...

Tecnologie per la decarbonizzazione



Carbon Capture Utilization & Storage (CCUS) e Carbon Dioxide Removal (CDR)



Idrogeno



Biocarburanti



Combustibili sintetici



...è stato valutato sui settori industriali *Hard to Abate*, sui trasporti pesanti e sulla generazione di energia...

Settori industriali



Cemento



Ferro e acciaio



Chimico



Produzione di energia da fonti fossili

Transport sectors



Veicoli pesanti



Marino



Aereo



... considerando due diversi scenari di penetrazione

Scenario Inerziale

Zero Carbon Technology Scenario

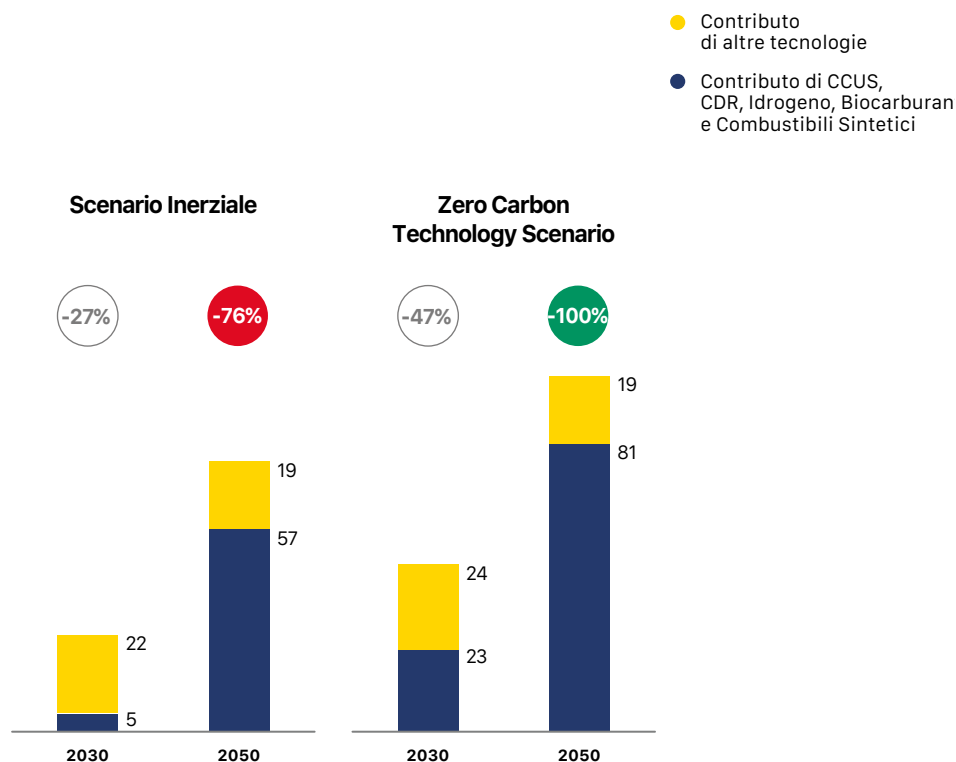
L'implementazione dei due modelli ha portato alla conclusione che **un approccio di neutralità tecnologica è indispensabile per raggiungere la piena decarbonizzazione entro il 2050**: solo nello *Zero Carbon Technology* Scenario l'obiettivo della piena decarbonizzazione viene raggiunto nel 2050. Inoltre, questo scenario consente di **accelerare il percorso di decarbonizzazione nel 2030** con un abbattimento delle emissioni di CO₂ inferiore di 20 punti percentuali rispetto allo Scenario Inerziale.

Pertanto, dal 2023 al 2050 la riduzione **delle emissioni cumulate di CO₂ dello Scenario Zero Carbon Technology è superiore del 31% rispetto allo Scenario Inerziale (8,8 Gton di CO₂)**, corrispondente a **6 anni di emissioni totali dei settori considerati**.

Figura 18

Riduzione di emissioni da CO₂, Scenario Inerziale e Zero Carbon Technology, UE27 (%), 2030 e 2050

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati da modello proprietario, 2022



Oltre all'impatto ambientale positivo generato da queste tecnologie, il modello econometrico sviluppato ha rilevato che tra il 2023 e il 2050 l'applicazione delle tecnologie raccomandate nei settori analizzati genererà più di **2.700 miliardi di Euro di valore aggiunto cumulato in Europa** - di cui **181 miliardi di Euro solo nel 2050** - e circa **1,7 milioni di occupati nel 2050**, considerando l'impatto diretto, indiretto e indotto.

Figura 19

Risultati del modello econometrico

Fonte: The European House - Ambrosetti su modello proprietario, 2022



Messaggio chiave n. 10:

Alcune tecnologie rivoluzionarie, c.d. *breakthrough technologies*, generano discontinuità nel processo di decarbonizzazione. Il loro sviluppo è accelerato da nuovi modelli di *Open Innovation*.

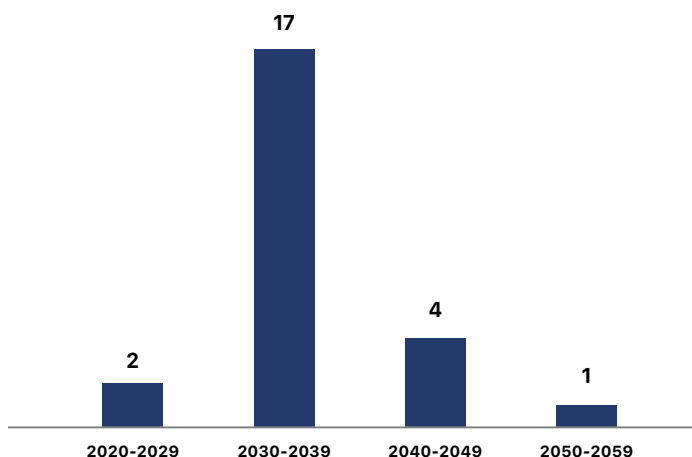
Infine, è fondamentale che l'Europa investa nelle tecnologie di frontiera per sviluppare un vantaggio industriale. Tra queste, **la fusione a confinamento magnetico** rappresenta una fonte di **energia pulita e virtualmente illimitata**, e potrebbe **integrare le fonti rinnovabili fornendo elettricità durante i picchi e le interruzioni**, potrà fornire **energia termica** alle industrie e può generare **idrogeno in sostituzione del gas naturale**. La fusione nucleare non produce emissioni nocive o scorie radioattive e gli elementi necessari per condurla sono facilmente reperibili e disponibili. Al 2021, l'indagine condotta dalla Fusion Industry Association rivela che **17 iniziative di fusione** prevedono che la fusione sarà **commerciale tra il 2030 e il 2040**, una prospettiva positiva motivata dai recenti risultati storici:

- Nel febbraio 2022, gli esperimenti del progetto JET hanno prodotto **59 megajoule di energia in 5 secondi** (11 megawatt di potenza);
- Nel Regno Unito, Tokamak Energy ha raggiunto importanti traguardi all'inizio del 2022: il **Tokamak sferico ST40 ha raggiunto una temperatura del plasma di 100 milioni di gradi Celsius**, la soglia necessaria per la fusione nucleare;
- Nel settembre 2021, il MIT CFS ha generato un **campo magnetico di 20 Tesla in sole due settimane**, consentendo una temperatura adatta al processo di fusione nucleare, dimostrando che la nuova tecnologia basata su magneti superconduttori ad alta temperatura è adatta al processo di fusione nucleare e permette di realizzare centrali di piccole dimensioni.

Figura 20

Percezione dell'orizzonte temporale per la realizzazione di impianti a fusione nucleare

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Fusion Industry Association, 2022



L'Unione Europea non deve lasciarsi sfuggire l'opportunità di acquisire e mantenere un ruolo di *leadership* in questa tecnologia, che offre la possibilità di essere facilmente "esportata" al di fuori dell'Unione per aiutare altri Paesi ad affrontare il processo di transizione energetica. Alla luce delle grandi opportunità offerte dalla fusione nucleare e da altre tecnologie innovative in termini di **sostenibilità e di vantaggio competitivo le-**

gato alla *leadership* tecnologica, insieme alle evidenze raccolte durante **un tavolo di lavoro dedicato con undici *stakeholder*** che rappresentano il mondo industriale e accademico, sono state sviluppate le seguenti proposte di *policy*:

Proposta di *Policy* n. 8

- Promuovere la **leadership nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie di frontiera** che saranno potenzialmente dirompenti nei processi di decarbonizzazione, come la fusione nucleare
- Garantire un sostegno politico (quadro normativo, incentivi, ...) per promuovere la creazione di **partenariati pubblico-privati tra università, centri di ricerca, industrie e autorità pubbliche** per accelerare lo sviluppo di tali tecnologie

Proposta di *Policy* n. 9

- Fare chiarezza sul **regime normativo generale** per gli impianti di energia da fusione, considerando tutte le differenze rispetto alla tecnologia di fissione nucleare
- Garantire che i regolatori abbiano la **capacità tecnica** di regolamentare efficacemente gli impianti per l'energia da fusione
- **Massimizzare la fiducia del pubblico** nel quadro normativo per la fusione, prevedendo occasioni di dibattito e discussione pubblica
- Creare una piattaforma attraverso il quale far incontrare **promotori di progetti di innovazione e investitori finanziari**



Bibliografia

- "Accelerating to zero Speeding up the decarbonization of heavy-duty vehicles in the EU", Stockholm Environment Institute, 2021.
- "Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members", International Energy Agency, 2022.
- "A Clean Planet for all: a European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy", European Commission, 2018.
- "A Comparative Overview of Hydrogen Production Processes", Nikolaidis P., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
- "A Comparative Study on Hydrogen Production from Small-Scale PV and CSP Systems", Touili S. et Al., 2019.
- "A Comprehensive Evaluation of Energy Storage Options for Better Sustainability", Acar C., International Journal of Energy Research, 2018.
- "Advanced Biofuels to Decarbonise European Transport by 2030: Markets, Challenges, and Policies that Impact Their Successful Market Uptake", Energy Strategy Reviews, 2021.
- "A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe", European Commission, 2020.
- "A Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions From Direct Air Capture and Fischer–Tropsch Fuel Production", Liu C. et Al., Royal Society of Chemistry, 2020.
- "An Assessment of Ccs Costs, Barriers And Potential", Budinis S. et Al., Energy Strategy Reviews, 2018.
- "Anion Exchange Membrane Electrolysis for Renewable Hydrogen Production on a Wide-Scale", Aricò A., Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia, 2021.
- "A Review on Alternative Fuels in Future Energy System", Stancin H., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
- "A Striking Growth of CO₂ Emissions from the Global Cement Industry Driven by New Facilities in Emerging Countries", Chen C. et Al., Environmental Research Letters, 2022.
- "A Systemic Approach to the Energy Transition in Europe", Science Advice for Policy by European Academies, 2021.
- "Aviation, Decarbonisation and Climate Change", Research Briefing House of Commons Library UK, 2021.
- "Bio-Based Chemicals: a 2021 update", International Energy Agency Bioenergy, 2021.
- "Bioenergy and Carbon Capture and Storage: Perspective", Consoli C., Global CCS Institute, 2019.
- "Biofuel Development Initiatives in Sub-Saharan Africa: Opportunities and Challenges", Sekoai P. and Yoro K., Climate Journal, 2018.

- "Blue Hydrogen", Zapantis A., Global CCS Institute, 2021.
- "Carbon-Free Steel Production: Cost Reduction Options and Usage of Existing Gas Infrastructure", Panel for the Future of Science and Technology, Laguna C. et Al., 2021.
- "CemZero: A Feasibility Study Evaluating Ways to Reach Sustainable Cement Production via the Use of Electricity", Wilhelmsson, Bodil, et Al., 2018.
- "Chemical Looping for Pre-Combustion CO₂ Capture: Performance and Cost Analysis", Mantripragrada H. et Al., Energy Procedia, 2013.
- "Chemical Recycling: Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of an Emerging Waste Management Route", European Chemical Industry Council, 2020.
- "Clean Hydrogen in Industrial Applications", European Clean Hydrogen Alliance, 2021.
- "Clean Steel Partnership Report", Strategic Research and Innovation Agenda, 2021.
- "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability", Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022.
- "Climate Policy Imbalance in the Energy Sector: Time to Focus on the Value of CO₂ Utilization", Tcvetkov P., Energies, 2021.
- "Comparative Assessment of Blue Hydrogen from Steam Methane Reforming, Autothermal Reforming, and Natural Gas Decomposition Technologies for Natural Gas-Producing Regions", Oni et Al., Energy Conversion and Management, 2022.
- "Comparative Study of Battery Storage and Hydrogen Storage to Increase Photovoltaic Self-sufficiency in a Residential Building of Sweden", Zhang et Al., Procedia, 2016.
- "Comprehensive impedance investigation of low-cost anion exchange membrane electrolysis for large-scale hydrogen production", Vincent I., Scientific Reports, 2021.
- "Concrete Future: the 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete", Global Cement and Concrete Association, 2021.
- "Cost-Effective Decarbonisation Study", Piebalgs A. et Al., European University Institute and Florence School of Regulation, 2020.
- "Critical Analysis and Evaluation of the Technology Pathways for Carbon Capture and Utilization", Philbin S., Clean Technologies, 2020.
- "Decarbonisation of Heavy-Duty Vehicle Transport: Zero emission heavy goods vehicles", Joint Research Centre Workshop Report, 2020.
- "Decarbonisation Pathways for the EU Cement Sector", New Climate Institute, 2020.
- "Decarbonising End-Use Sectors: Practical Insights on Green Hydrogen", IRENA Coalition for Action, 2021.

- "Decarbonising the Critical Sectors of Aviation, Shipping, Road Freight And Industry To Limit Warming to 1.5–2°C", M. Sharmina et Al., Climate Policy, 2021.
- "Decarbonization in Shipping Industry: A Review of Research, Technology Development, and Innovation Proposals", George Mallouppas and Elias Ar. Yfantis, Journal of Marine Science and Engineering, 2021.
- "Decarbonization of Marine Fuels - The Future of Shipping", Jerzy Herdzik, Energies Journal, 2021.
- "Decarbonizing Long-Haul Aviation Requires Permanent Solutions With Real Climate Benefits", Climatework Foundations, 2021.
- "Decarbonizing Road Transport by 2050: Zero-Emission Pathways for Passenger Vehicles", Searle S. et Al., Zero Emission Vehicles Transition Council, 2021.
- "Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review Of Sociotechnical Systems, Technological Innovations, And Policy Options", Kim J. et al., 2022.
- "Deep Decarbonisation of Industry: The Cement Sector", European Commission and Joint Research Centre, 2022.
- "Deployment of BECCS/U value chains Technological Pathways, Policy Options and Business Models", Olsson O. et Al., International Energy Agency Bioenergies, 2020.
- "Direct Air Capture: A Key Technology For Net Zero", International Energy Agency Technology Report, 2022.
- "Direct Air Capture: Process Technology, Techno-Economic And Socio-Political Challenges", Erans M. et Al., Royal Society of Chemistry, 2022.
- ""Drop-in" fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability", Harris J. et Al., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.
- "D6.6 – Social Life Cycle Assessment", Panoutsou C. et Al., European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, 2021.
- "Ecological and Economic Evaluation of Hydrogen Production by Different Water Electrolysis Technologies", Tenhumberg N., Chemie Ingenieur Technik, 2020.
- "Elaborating the decarbonisation roadmap", Climate Action Tracker, 2020.
- "Energy Technologies for Net Zero: An IET Guide", Institution of Engineering and Technology, 2021.
- "Energy Technology Perspective: Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS in clean energy transitions", International Energy Agency, 2020.

- "Environmental impacts of hydrogen use in vehicles", Compendium of Hydrogen Energy, Volume 4: Hydrogen Use, Safety and the Hydrogen Economy, Woodhead Publishing Series in Energy, 2022.
- "Estimating Geological CO₂ Storage Security to Deliver on Climate Mitigation", Alcalde J. et Al., Nature Communications, (2018), 2022.
- "Estimating the Technical Feasibility of Fuel Cell and Battery Electric Vehicles for the Medium and Heavy-Duty Sectors in California", Forrest K. et Al., Applied Energy, 2020.
- "Estrategia a Largo Plazo Para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050", Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020.
- "EU Reference Scenario 2020 Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050", European Commission Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Mobility and Transport, 2020.
- "Evaluation of reactive absorption and adsorption systems for post-combustion CO₂ capture applied to iron and steel industry", Cormos C., Applied Thermal Engineering, 2016.
- "Exploring Regulatory Options for Fusion Power Plants", European Commission Directorate-General for Research and Innovation, 2022.
- "Exploring the Impact of Policy on Road Transport in 2050: Opportunities to accelerate reduction in carbon emissions", Huw D., Johnson Matthey Technology Review, 2020.
- "Extending the European Hydrogen Backbone: a European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 21 Countries", Jens J. et Al., 2021.
- "Florence School of Regulation: Cost-Effective Decarbonisation Study", Jones C., Robert Schuman Centre, 2022.
- "Food Waste to Energy: An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling", Paritosh K., BioMed Research International, 2017.
- "Fuelling rural development? The impact of biofuel feedstock production in Southern Africa on household income and expenditures", Mudombi S. et Al., Energy Research & Social Science, 2021.
- "Getting fit for 55 and set for 2050: Electrifying Europe with wind energy", ETIP Wind, 2021.
- "Global Hydrogen Review 2021", International Energy Agency, 2021.
- "Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part III Green Hydrogen Cost and Potential", International Renewable Energy Agency, 2022.
- "Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Technology Review of Hydrogen Carriers", International Renewable Energy Agency, 2022.

- "Global Marginal Land Availability of *Jatropha Curcas* L.-based Biodiesel Development" Hao M. et Al., Journal of Cleaner Production, 2022.
- "Global Status of CCS: CCS Accelerating to Net Zero", Global CCS Institute, 2021.
- "Green Economy in the Transport Sector: a Case Study of Limpopo Province, South Africa", Odiyo J. et Al., 2021.
- "Green Feedstock for the Chemical Industry – Ambition and Reality", European Chemical Industry Council, 2022.
- "Greenhouse Gas Emissions, Energy Efficiency, and Cost of Synthetic Fuel Production Using Electrochemical CO₂ Conversion and the Fischer–Tropsch Process", Li X. et Al., ACS publications, 2016.
- "Green Hydrogen a Guide to Policy Making", International Renewable Energy Agency, 2020.
- "Green Hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables" Kakoulaki G. et Al., Energy Conversion and Management, 2021.
- "Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal", International Renewable Energy Agency, 2020.
- "Green Synthetic Fuels: Renewable Routes for the Conversion of Non-Fossil Feedstocks into Gaseous Fuels and Their End Uses", Rozzi E. et Al., Energies, 2020.
- "How to fight climate change with innovative business models", BMI Lab, 2021.
- "Hydrogen: Commission supports industry commitment to boost by tenfold electrolyser manufacturing capacities in the EU", European Commission, 2022.
- "Hydrogen: Enabling a Zero-Emission Society", Hydrogen Europe, 2022.
- "Hydrogen Fuel Cell trucks can decarbonise heavy transport", Molloy P., Energypost.eu, 2019.
- "Hydrogen Generation from Biomass by Pyrolysis", Lopez G., Nature Reviews Methods Primers, 2022.
- "Hydrogen in the Maritime", Schjøllberg I. et Al., IEA's Hydrogen TCP Task 39, 2021.
- "Hydrogen Production" Kayfeci M. et Al., Solar Hydrogen Production, 2019.
- "Hydrogen Production by Partial Oxidation Reforming of Methane over Ni Catalysts Supported on High and Low Surface Area Alumina and Zirconia", Fakeeha A. et al., Processes, 2020.
- "Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review" Kumar S. et Al., Materials Science for Energy Technologies, 2019.

- "Hydrogen Production Cost", Ball M. et Al., Storage and Hybridization of Nuclear Energy, 2019.
- "Hydrogen Production: Electrolysis", Hydrogen and Fuel cell Technologies Office.
- "Hydrogen Production, Storage, Utilisation and Environmental Impacts: a Review", Osman A., Environmental Chemistry Letters, 2021.
- "Hydrogen Roadmap Europe, a Sustainable Pathway for the European Energy Transition", Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, 2019.
- "Hydrogen Series – Part 2: Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal", International Renewable Energy Agency Insights, 2021.
- "Hydrogen Technology Collaboration Program: 2021 Annual Report", International Energy Agency, 2021.
- "H2ero Net Zero: Hydrogen Europe Position Paper on the "Fit for 55 Package"", Hydrogen Europe, 2021.
- "Identification of Marginal Landscapes as Support for Sustainable Development: GIS-Based Analysis and Landscape Metrics Assessment in Southern Italy Areas", Cervelli E. et Al., Sustainability, 2020.
- "Identifying Decarbonisation Opportunities Using Marginal Abatement Cost Curves and Energy System Scenario Ensembles", Yue X. et Al., Environmental Research Institute and School of Engineering, University College Cork, 2020.
- "Improving the Efficiency of PEM Electrolyzers through Membrane-Specific Pressure Optimization", Scheepers F. et Al., Energies, 2020.
- "Industrial Innovation: Pathways to Deep Decarbonisation of Industry, Scenario Analysis and Pathways to Deep Decarbonisation", Fleiter T. et Al., Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 2020.
- "Industrial Technology Roadmap in Energy-Intensive Industries for Low-Carbon Technologies", European Commission, 2022.
- "Innovative conversion of food waste into biofuel in integrated waste management system", Hafid H. et Al., Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2021.
- "International Energy Agency Bioenergies Annual Report", Technology Collaboration Program of International Energy Agency, 2021.
- "JEC Well-To-Wheels report Version 5", Joint Research Centre, 2021.
- "Life cycle assessment of carbon dioxide removal technologies: a critical review", Terlouw T. et Al., Energy and Environmental Science, 2021.
- "Life cycle assessment of high temperature electrolysis for hydrogen production via nuclear energy", Utgikar V. and Thiesen T., International Journal of Hydrogen Energy, 2006.

- "Low Carbon Automotive Propulsion Technologies: The UK's capability to capitalise upon future technology-led research-to-manufacture supply chain opportunities", department of Business, Energy and Industrial Strategy.
- "Low-Carbon Footprint Hydrogen Production from Natural Gas: a Techno-Economic Analysis of Carbon Capture and Storage from Steam-Methane Reforming", Roussanaly S. et Al., The Italian Association of Chemical Engineering, 2020.
- "Low-Carbon Production of Iron and Steel: Technology Options, Economic Assessment, and Policy", Fan Z. and Friedman S., Joule, 2021.
- "Marginal lands: The role of remote sensing in constructing landscapes for agrofuel development Article", Nalepa R., Journal of Peasant Studies, 2012.
- "Measuring Progress Towards Climate Neutrality Part I: Assessing Structural Change Through Net Zero Indicators", Velten E. et Al., European Climate Foundation, 2021.
- "Measuring Progress Towards Climate Neutrality Part II: Integrating Indicators In Eu Governance Processes", Duwe M. et Al., European Climate Foundation, 2021.
- "Methods and Techniques for CO₂ Capture: Review of Potential Solutions and Applications", Madejski P., Energies, 2022.
- "Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-To-Abate Sectors by Mid-Century", The Energy Transitions Commission, 2018.
- "Moving towards Zero-Emission Steel: Technologies Available, Prospects, Timeline and Costs", Guevara Opinska L. et Al., Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies, 2021.
- "Net Zero by 2050: a Roadmap for the Global Energy Sector", International Energy Agency, 2021.
- "Net zero 2050: Sustainable Aviation Fuels", The International Air Transport Association, 2022.
- "Nuclear Energy for a Net Zero World", International Atomic Energy Agency, 2021.
- "Opportunities and Challenges for Decarbonizing Steel Production by Creating Markets for 'Green Steel' Products", Muslemani H. et Al., Journal of Cleaner Production, 2021.
- "Paris Agreement Compatible Sectoral Benchmarks", Climate Action Tracker, 2020.
- "Path to Hydrogen Competitiveness: a Cost Perspective", Hydrogen Council, 2020.

- "Policies for Sustainable Agriculture and Livelihood in Marginal Lands: A Review", Ahmadzai H. et Al., Sustainability, 2021.
- "Potential of Waste Cooking Oil Biodiesel as Renewable Fuel in Combustion Engines: A Review", Yaqoob H. et Al., Energies, 2021.
- "Power-to-Liquids: synthetic fuels from a sustainable pathway", Dietrich R. et Al., IACHEMA, 2015.
- "Pre-Combustion Capture: an Overview", Cebucan C. et Al., Comprehensive Renewable Energy, 2022.
- "Process Integration of an Autothermal Reforming Hydrogen Production System with Cryogenic Air Separation and Carbon Dioxide Capture Using Liquefied Natural Gas Cold Energy", Kim J., ACS Publications, 2021.
- "Production of oils and fats by oleaginous microorganisms with an emphasis given to the potential of the nonconventional yeast *Yarrowia lipolytica*", Carsanba E. et Al., Critical Reviews in Biotechnology, 2018.
- "Proposed stringent EU rules on green hydrogen 'would put the brakes on development'", Recharge, 2022.
- "Public perception of carbon capture and storage: A state-of-the-art overview", Tcvetkov P., Heliyon, 2019.
- "Putting CO₂ to Use: Creating Value from Emissions", International Energy Agency, 2019.
- "Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II)", European Commission, 2022.
- "Renewable Energy Statistics 2022", International Renewable Energy Agency, 2022.
- "Renewable Power Generation Costs in 2021", International Renewable Energy Agency, 2022.
- "Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026", International Energy Agency, 2021.
- "REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy", European Commission, 2022.
- "REPowerEU Plan Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions", European Commission, 2022.
- "Research & Innovation Platform for Electric Road Systems: Results from Collaboration Between Research Organizations, Industry, and Public Authorities", Research Institutes of Sweden, 2021.
- "Sectoral Pathways to Net Zero Emissions", Teske S. et Al., Institute for Sustainable Futures, 2020.
- "Sixth Report on the State of the Energy Union: Contributing to

- the European Green Deal and the Union's recovery", European Commission, 2021.
- "Smart Electrification with Renewables: Driving the transformation of energy services", International Renewable Energy Agency, 2022.
 - "Smart Specialisation Platform – Hydrogen Valleys", European Commission, 2022.
 - "Socio-Economic and Environmental Implications of Bioenergy Crop Cultivation on Marginal African Drylands and Key Principles for a Sustainable Development", Pérez P. et Al., Earth, 2022.
 - "Solar-to-Fuel Energy Conversion Efficiency: a Perspective", Tuller H., Materials for Renewable and Sustainable Energy, 2017.
 - "State of the Art: CCS Technologies", Global CCS Institute Technical Report, 2022.
 - "Strategia Italiana Di Lungo Termine Sulla Riduzione Delle Emissioni Dei Gas A Effetto Serra", Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero delle Politiche agricole, Alimentari e Forestali, 2021.
 - "Strategic Energy Technology Plan", European Commission, 2021.
 - "Strategic Innovation and Research Agenda: Innovation Priorities for EU and Global Challenges", European Technology Platform for Sustainable Chemistry, 2021.
 - "Stratégie Nationale Bas-Carbone: La Transition Écologique et Solidaire vers la Neutralité Carbone", Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020.
 - "Strategic dependencies and capacities", European Commission, 2020.
 - "Syngas evolution and energy efficiency in CO₂-assisted gasification of pine bark", Wang Z. et Al., Applied Energy, 2020.
 - "Synthetic Fuels Based on Dimethyl Ether as a Future Non-Fossil Fuel for Road Transport From Sustainable Feedstocks", Styring P. et Al., Frontiers, 2021.
 - "Synthetic Fuels in a Transport Transition: Fuels to Prevent a Transport Underclass", Styring, P. et Al., Frontiers in Energy Research, 2021.
 - "Synthetic Transport Fuels, Policy Briefing", The Royal Society, 2019.
 - "Technical and Business Aspects of Battery Electric Trucks—A Systematic Review", Bhardwaj S. and Mostofi H., Future Transportation, 2022.
 - "Technologies and Perspectives for Achieving Carbon Neutrality", Wang F. et Al., Cell Press Partner Journal, 2021.
 - "Technology Assessment and Roadmapping", Draxler M. et Al., Green Steel for Europe, 2021.

- "Technology Innovations in Green Transport", Bikam P., Green Economy in the Transport Sector, 2022.
- "Technology-Neutral Approach to Transport Decarbonisation", Natural & Biogas Vehicle Association, 2022.
- "Technological Neutrality: A Critical Assessment", Lehmann P. et Al., Helmholtz Center for Environmental Research, 2020.
- "Technology Readiness and Costs of CCS", Kearns D. et Al., Global CCS Institute, 2021.
- "The Costs of CO₂ Capture, Transport and Storage: Post-demonstration CCS in the EU", European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants, 2020.
- "The European Chemical industry: Facts and Figures", The European Chemical Industry Council, 2022.
- "The Feasibility of Heavy Battery Electric Trucks", Nykvist, B. and Olsson, O., Joule, 2021.
- "The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete", Global Cement and Concrete Association, 2021.
- "The Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor", International Renewable Energy Agency, 2022.
- "The Global Fusion Industry in 2021: Fusion Companies Survey", Fusion Industry Association and the UK Atomic Energy Authority, 2022.
- "The Long Haul Towards Decarbonising Road Freight – a Global Assessment to 2050", Mulholland E. et al., Applied Energy, 2018.
- "The Maritime Sector and Its Problematic Decarbonization: A Systematic Review of the Contribution of Alternative Fuels", Vinicius Andrade dos Santos et Al., Energies Journal, 2022.
- "The Promise of Hydrogen Production From Alkaline Anion Exchange Membrane Electrolyzers", Li C., Nano Energy, 2021.
- "The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero- CO₂ Emissions Chemical Industry", Gabrielli P. et Al., Industrial & Engineering Chemistry Research, 2020.
- "The Role of Hydrogen In Meeting Our 2030 Climate And Energy Targets", European Commission, 2021.
- "The Role of LNG in the Transition Toward Low- and Zero-Carbon Shipping", World Bank, 2021.
- "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector", International Energy Agency, 2022.
- "The Role of Renewable Hydrogen Import & Storage To Scale Up the EU Deployment Of Renewable Hydrogen", Directorate-General for Energy, 2022.

- "The World Has Vast Capacity to Store CO₂: Net Zero Means We'll Need It", Malischek, R. and McCulloch S., International Environmental Agency, 2021.
- "Towards Net-Zero Emissions in the EU Energy System by 2050: Insights from Scenarios in Line with the 2030 and 2050 Ambitions of the European Green Deal", Tsiropoulos, I. et Al., Joint Research Centre, 2020.
- "Tracking Clean Energy Progress, Assessing critical energy technologies for global clean energy transitions", International Energy Agency, 2021.
- "Trends and projections in Europe 2021", European Environment Agency, 2021.
- "Understanding the Differences Between Carbon Capture and Carbon Dioxide Removal", Environmental Defense Fund, 2022.
- "Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector", Murray, A and Price, L., Berkeley National Laboratory, 2008.
- "Utilization of food waste for bioenergy production: A step towards circular bioeconomy", Rout P. et Al., International Journal of Food Microbiology, 2022.
- "Vattenfall and Cimenta Take the Next Step Towards a Climate Neutral Cement", Vattenfall, 2019.
- "Well-to-the-Wheel Analysis", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022.
- "White Paper on the Clean Energy Transition", European Energy Research Alliance, 2021.
- "Why Synthetic Fuels Are Necessary in Future Energy Systems", Wilson G. and Peter Styring, Frontiers in Energy Research, 2017.
- "World Energy Outlook", International Energy Agency, 2021.
- "Working Group III Contribution to The Ipcc Sixth Assessment Report", Skea J. et Al., Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.
- "Zero-Emission Pathway for the Global Chemical and Petrochemical Sector", Saygin D. and Gielen D., International Renewable Energy Agency, Innovation and Technology Centre, 2022.

Italia

MILANO

The European House - Ambrosetti

Via F. Albani, 21
20149 Milano
Tel. +39 02 46753 1
Fax +39 02 46753 333
ambrosetti@ambrosetti.eu

ROMA

The European House - Ambrosetti

Via Po, 22
00198 Roma
Tel. +39 06 8550951
Fax +39 06 8554858

BOLOGNA

The European House - Ambrosetti

Via Persicetana Vecchia, 26
40132 Bologna
Tel. +39 051 268078
Fax +39 051 268392

Europa

GERMANIA

GLC Glücksburg Consulting AG

Bülowsstraße 9
22763 Hamburg
Tel. +49 40 8540 060
Fax +49 40 8540 0638
amburgo@ambrosetti.eu

GLC Glücksburg Consulting AG

Albrechtstraße 14 b
10117 Berlin
Tel. +49 30 8803 320
Fax +49 30 8803 3299
berlino@ambrosetti.eu

REGNO UNITO

Ambrosetti Group Ltd.

1 Fore Street, Ground Flr
London EC2Y 5EJ
Tel. +44 (0)7588199988
london@ambrosetti.eu

SPAGNA

Ambrosetti Consultores

Castelló nº 19 Madrid, 28001
Tel. +34 91 575 1954
Fax +34 91 575 1950
madrid@ambrosetti.eu

TURCHIA

Consulta

Kore Şehitleri Caddesi Üsteğmen
Mehmet Gönenc Sorak No. 3 34394
Zincirlikuyu-Şişli-Istanbul
Tel. +90 212 3473400
Fax +90 212 3479270
istanbul@ambrosetti.eu

Mondo

ASEAN COUNTRIES – SINGAPORE

The European House - Ambrosetti

(Singapore) Consulting Pte. Ltd.
1 Kay Siang Road #12-02
Singapore 248922
Tel. +65 90998391
Fax +65 6372 0091
singapore@ambrosetti.eu

ASEAN COUNTRIES – TAILANDIA

Mahanakorn Partners Group Co., Ltd.

Kian Gwan House III, 9th Floor,
152 Wireless Rd., Lumpini,
Pathumwan, Bangkok, 10330,
Thailand
Tel. +66 (0) 2651 5107
Fax +66 (0) 2651 5108
bangkok@ambrosetti.eu

CINA

Ambrosetti (Beijing) Consulting Ltd.

No.762, 6th Floor, Block 15
Xinzhaoyiayuan, Chaoyang District
Beijing, 100024
Tel. +86 10 5757 2521
beijing@ambrosetti.eu

Ambrosetti (Shanghai) Consulting Ltd.

No. 1102 Suhe Mansion,
No.638 Hengfeng Road,
Zhabei District
Shanghai, 200070
Tel. +86 21 5237 7151
Fax +86 21 5237 7152
shanghai@ambrosetti.eu

Bai Shi Barbatelli & Partners

Commercial Consulting Shanghai Company Ltd (Shanghai)

No. 517 Suhe Mansion,
No.638 Hengfeng Road,
Zhabei District
Shanghai, 200070
Tel. +86 21 62719197
Fax +86 21 62719070
shanghai-partner@ambrosetti.eu

COREA

HebronStar Strategy Consultants

4F, Ilsin bldg.,
Teheraro37gil 27,
Gangnam-gu, Seoul
Tel. +82 2 417 9322
Fax +82 2 417 9333
seoul@ambrosetti.eu

GIAPPONE

Corporate Directions, Inc. (CDI)

Tennoz First Tower 23F
2-2-4 Higashi Shinagawa,
Shinagawa-ku
Tokyo, 140-0002
Tel. +81 3 5783 4640
Fax +81 3 5783 4630
tokyo@ambrosetti.eu

IRAN

The European House – Ambrosetti Middle East

u.12, 330 Dolat St., Kaveh Blvd
ZIP Code: 1944683466 – Tehran
– Iran
Tel. +98.(0)21.22571258
Mob. (UAE) +971.56.1311.532
Mob. (IT) +39.340.592.1349
Mob. (IR) +98.912.8450.321
Fax. +98.(0)21.22571261
teheran@ambrosetti.eu

SUDAFRICA

Grow To The Power of n Consulting

Suite F9, Building 27
Thornhill Office Park – Bekker Road
Vorna Valley, Midrand
South Africa 1685
Tel. 0861 102 182 (local)
Tel. +27(0)11 805 0491
(international)
Fax 086 501 2969
johannesburg@ambrosetti.eu