

Zero Carbon Technology Roadmap

Carbon Capture & Storage:
leva strategica per
la decarbonizzazione
e la competitività dell'Italia



Zero Carbon Technology Roadmap

Carbon Capture & Storage:
leva strategica per
la decarbonizzazione
e la competitività dell'Italia



Indice

Colophon	6
Prefazioni	13
Executive Summary	29
Capitolo 1	
Gli obiettivi climatici dell'Unione europea e la necessità di coniugare sostenibilità e competitività economica	87
1.1 Introduzione	89
1.2 L'evoluzione climatica a livello mondiale ed europeo e i relativi impatti	91
1.3 Gli accordi internazionali per far fronte alle sfide ambientali	95
1.4 Le sfide per i settori industriali impegnati nel processo di decarbonizzazione	99
Capitolo 2	
Le soluzioni di Carbon Capture & Storage (CCS): livello di sviluppo tecnologico, costi e ambiti di applicazione	107
2.1 Introduzione	109
2.2 La CCS è una tecnologia matura	111
2.3 La CCS è una tecnologia sicura	115

- 2.4** La diversificazione di portafoglio, l'applicazione a casi reali e le economie di scala quali principali leve per la riduzione dei costi 119
- 2.5** L'applicazione della CCS secondo un principio di neutralità tecnologica e gli ambiti prioritari di decarbonizzazione 123
- 2.6** La decarbonizzazione delle industrie Hard to Abate 125
- 2.7** Il ruolo della CCS per la decarbonizzazione dell'idrogeno 131
- 2.8** La CCS quale leva per garantire la flessibilità del settore energetico 137
- 2.9** Il raggiungimento delle emissioni negative tramite CCS 143

Capitolo 3

Il ruolo della CCS negli scenari di decarbonizzazione e il contesto normativo necessario per favorirne il pieno sviluppo

- 3.1** Introduzione 149
 - 3.2** La neutralità tecnologica quale condizione necessaria per tragguardare gli obiettivi di decarbonizzazione 151
 - 3.3** La CCS negli scenari di decarbonizzazione 153
 - 3.4** La possibilità per l'Italia di sviluppare un hub del Sud Europa per la CCS 157
 - 3.5** L'evoluzione del contesto normativo relativo alla CCS 161
 - 3.6** Il quadro normativo internazionale e il rischio di delocalizzazione degli investimenti al di fuori dell'Europa 165
- 175

Capitolo 4

Il modello di impatto della CCS in Italia:

benefici per il sistema-Paese, per le imprese e per i cittadini

183

4.1 Introduzione

185

4.2 L'obiettivo e la metodologia del modello di valutazione degli impatti delle soluzioni di CCS a livello nazionale

187

4.3 La capacità e i costi del sito considerato nel modello teorico elaborato da The European House - Ambrosetti

189

4.4 L'impatto delle soluzioni di CCS sulla competitività dei settori Hard to Abate e la creazione di una filiera CCS nazionale

193

Capitolo 5

Le proposte di policy per una governance della CCS nel contesto europeo e italiano

199

5.1 Introduzione

201

5.2 Ambito di intervento #1: Soft Infrastructure

205

5.3 Ambito di intervento #2: Applicazione alle diverse forme di emissioni

209

5.4 Ambito di intervento #3: Strategic Planning

213

5.5 Ambito di intervento #4: De-Risking

217

Bibliografia

219

Colophon

Lo Studio Strategico è stato condotto da The European House - Ambrosetti per conto di Eni e Snam.

Il team del progetto è composto da un Comitato Scientifico, responsabile dell'indirizzo strategico della ricerca, i cui membri hanno fornito consulenza scientifica, e da un Gruppo di Lavoro, incaricato dello sviluppo dello Studio Strategico.

Il Comitato Scientifico è composto da:

- **Valerio De Molli**, Managing Partner e Amministratore Delegato, The European House - Ambrosetti
- **Claudio Descalzi**, Amministratore Delegato, Eni
- **Markus Kerber**, Consulente strategico, CDU; Amministratore Delegato, 1886 Ventures; già Segretario di Stato del Ministero degli Interni della Repubblica Federale Tedesca; già Amministratore Delegato, BDI
- **Emma Marcegaglia**, Presidente e Managing Director, Marcegaglia; Presidente, Università Luiss Guido Carli; Membro del Consiglio di Amministrazione, Bracco e Gabetti Property Solutions; già Presidente, BusinessEurope; già Presidente, Eni; già Presidente, Confindustria
- **Andris Piebalgs**, Professore, Florence School of Regulation; già Commissario Europeo per lo Sviluppo (2010-2014); già Commissario Europeo per l'Energia (2004-2010)
- **Stefano Venier**, Amministratore Delegato, Snam

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

- **Corrado Panzeri**, Partner & Head of Innovation and Technology Hub
- **Alessandro Viviani**, Senior Consultant, Project Leader
- **Gherardo Montemagni**, Consultant, Project Coordinator
- **Giorgia Rusconi**, Analyst
- **Arianna Basso**, Analyst
- **Maria Mazza**, Junior Analyst
- **Ege Ondes**, Junior Analyst
- **Lucia Contini**, Project Assistant

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

- **Lapo Pistelli**, Direttore Public Affairs
- **Luigi Ciarrocchi**, Direttore CCUS, Forestry & Agro-Feedstock
- **Salvatore Giammetti**, Responsabile Carbon Capture, Utilization & Storage
- **Roberto Ferrario**, Responsabile CCUS Innovation Solutions
- **Valentina Garruto**, Responsabile Iniziative Integrate Public Affairs
- **Luca Giansanti**, Responsabile Rapporti con le Istituzioni Europee
- **Sabina Manca**, Responsabile Analisi, Consolidamento e Culture Program
- **Marco Piredda**, Responsabile International Affairs Analysis and Business Support
- **Claudia Squeglia**, Responsabile Analisi Normative e Posizionamento Istituzionale Italia
- **Valentina De Luca**, Responsabile Analisi Legislative su Tematiche Regolatorie Natural Resources e Temi Trasversali

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

- **Massimo Derchi**, Chief Operations Officer
- **Gaetano Mazzitelli**, Chief Commercial & Regulatory Officer
- **Claudio Farina**, Chief Strategy & Technology Officer
- **Piero Ercoli**, Executive Director, Decarbonization Unit
- **Cecilia Gatti**, Executive Director, Institutional Affairs
- **Paolo Testini**, Director, CCS Projects and Carbon Removal Development
- **Caterina Molinari**, Manager, CCS Italia Project Development

Un ringraziamento particolare ai manager di Eni e Snam, che hanno contribuito allo sviluppo dello Studio Strategico attraverso interviste riservate:

- **Adriano Alfani**, Amministratore Delegato, Versalis
- **Cristiana Argentino**, Responsabile Scenari, Opzioni Strategiche e Climate Change, Eni
- **Stefano Ballista**, Presidente e Amministratore Delegato, Eni Sustainable Mobility
- **Luigi Ciarrocchi**, Direttore CCUS, Forestry & Agro-Feedstock, Eni
- **Massimo Derchi**, Chief Operations Officer, Snam
- **Donatello Di Tullio**, Director, Italian Institutional Affairs, Snam
- **Massimiliano Erario**, Managing Director Gas Storage, Snam
- **Piero Ercoli**, Executive Director, Decarbonization Unit
- **Claudio Farina**, Chief Strategy & Technology Officer, Snam
- **Cecilia Gatti**, Executive Director, Institutional Affairs, Snam
- **Salvatore Giammetti**, Responsabile Carbon Capture, Utilization & Storage, Eni
- **Luca Giansanti**, Responsabile Rapporti con le Istituzioni Europee, Eni
- **Pere Margalef Valdeperez**, Executive Director, Decarbonization Technology Solutions, Snam
- **Santo Nicola Molica Nardo**, Director, Plants Technical Support, Snam
- **Marco Ortu**, Chairman and Managing Director, Bioenergys
- **Marco Piredda**, Responsabile International Affairs Analysis and Business Support, Eni
- **Giuseppe Ricci**, Direttore Generale Energy Evolution, Eni
- **Hannelore Rocchio**, Direttore Power Generation & Marketing, Eni
- **Alessandro Sabbini**, Responsabile Rapporti Istituzionali Centrali, Eni
- **Maria Sferruzza**, Executive Director, International Engineering, Construction & Solutions
- **Claudia Squeglia**, Responsabile Analisi Normative e Posizionamento Istituzionale Italia, Eni
- **Paolo Testini**, Director, CCS Project and Carbon Removal Development
- **Francesca Zarri**, Direttore Technology, R&D & Digital, Eni

Uno speciale ringraziamento a **Mona Jacobsen Mølrvik** Direttore di ricerca per la tecnologia del gas presso SINTEF Energy Research; Direttore del Centro di ricerca CCS norvegese; già Responsabile del Centro di eccellenza, FME BIGCCS - Centro internazionale di ricerca CCS. (2009-2016) che ha partecipato alla seconda riunione del Comitato Scientifico, portando il caso studio della Norvegia in merito ai fattori abilitanti lo sviluppo e la diffusione di soluzioni di cattura e stoccaggio del carbonio.

Al fine di individuare le migliori strategie per utilizzare la CCS come opportunità per aumentare la competitività economica delle industrie e identificare le lacune relative all'adozione delle CCS nel contesto europeo e italiano, sono stati organizzati due tavoli di lavoro con i seguenti 63 stakeholder.



Tavolo di Lavoro #1: Competitività economica delle Industrie

- **Ricardo Aguiar**, Direktorat Generale Portoghese per Energia e Geologia
- **Matteo Battaini**, Chief Sustainability and Future Mobility Officer, Pirelli
- **Sabina Bigi**, Professore, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma
- **Guido Bortoni**, Presidente, CESI
- **Francesco Bragagni**, Energy Manager, Mercegaglia
- **Andrew Brown**, Chief Operating Officer, Storegga
- **Sara Budinis**, Energy Analyst, International Energy Agency
- **Davide Chiaroni**, Direttore, Energy & Strategy, Politecnico di Milano
- **Cedric De Meeus**, Vicepresidente, Government Relations, HOLLICIM
- **James Eyton**, Responsabile, CCUS Developments, Viridor
- **Heinz Felder**, Vicepresidente Senior, Group Technology & Investments, Stora Enso
- **Roberto Ferrario**, Responsabile, CCUS Innovation Solutions, Eni
- **Aldo Fiorini**, Chief Operations Officer, Mercegaglia
- **Marco Geneletti**, Energy Senior Director, Tenaris
- **Stefano Granella**, Chief Strategy & Growth, A2A
- **Marco Guala**, BU Service Head, Paul Wurth Italia
- **James Henderson**, Presidente, Energy Transition Research Initiative; Gas Research Programme, Oxford Institute for Energy Studies
- **Georges Madessis**, Italia Country manager, Ineos Inovyn
- **Marco Mazzotti**, Professore, ETH Zürich
- **Sergio Menendez**, Presidente, Cemex EMEAA
- **Barbara Merson**, Technologist, National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics
- **Massimo Nicolazzi**, Senior Advisor; Professore ISPI's Energy Security Program; Università di Torino
- **Arvid Nottveit**, Strategic Advisor Energy, NORCE
- **Davide Paganelli**, Energy Manager, Marazzi Group
- **Astrid Ute Friderike Palmieri**, Sustainability Manager, BASF
- **Babette Pettersen**, Vicepresidente Europe, Lanzatech
- **Florina Magdalena Pinzaru**, Professore e Dean, SNSPA
- **Agostino Rizzo**, Cement Operations Manager, Italcementi
- **Luca Sassoli**, Chief Executive Officer Burgo Energia and Group Energy Manager Burgo
- **Carlo Stagnaro**, Research and Studies Director, Istituto Bruno Leoni
- **Paolo Testini**, Director, CCS Project and Carbon Removal Development, Snam
- **Michele Zitti**, Direttore, Decarbonisation and Sustainable Business Development, Yara
- **Olav Oye**, Senior Advisor, for Climate and Industry, Bellona Europa

Tavolo di Lavoro #2: Policy Gaps in Europa e Italia

- **Simona Benedettini**, Associate, MRC Consultants and Transaction Advisers
- **Victor Bernabeu**, Direttore & Senior Policy Advisor, Eurogas
- **Christoph Beuttler**, Presidente e Co-Fondatore, Negative Emissions Platform; Chief Climate Policy Officer, Climeworks; Senior Expert Energy & Climate, Risk Dialogue Foundation
- **Guido Bortoni**, Presidente, CESI
- **Adriano Carrara**, Responsabile, R&D Unit, A2A
- **Francesco D'Apolito**, Research Executive, Rud Pedersen Public Affairs
- **Chris Davies**, Direttore, CCS Europe
- **Caterina De Matteis**, Senior Policy Manager, IOGP
- **John C. Dwelle**, COO, Landwärme GmbH
- **Bassam Fattouh**, Direttore, Oxford Institute for Energy Studies
- **Marianna Frison-Roche**, Gas Asset Regulation and Market Design Expert, Engie
- **Per-Olof Granström**, Segretario Generale, Zero Emission Platform; Direttore EU, CCSA
- **Claudia Hanisch**, Rappresentante EU, VNG AG
- **Christopher Jones**, Professore, European University Institute
- **Diego Lelli**, Business Operations Leader, Baker Hughes
- **Toby Lockwood**, Direttore Europeo, CCUS Technology and Markets, CATF
- **Mario Mattioli**, Presidente, Confitarma
- **Barbara Merson**, Technologist, National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics
- **David Nevicato**, Board Member, CO2Club
- **Valentina Olivieri**, Public Affairs Advisor, A2A
- **Astrid Ute Friderike Palmieri**, Sustainability Manager, BASF
- **Olivia Powis**, Responsabile, UK Office, CCSA
- **Nicola Rega**, Executive Director Climate Change and Energy, Cefic
- **Francesco Romanelli**, Presidente, DTT; Professore di Fisica di Energia Nucleare, Università di Roma Tor Vergata
- **Matteo Carmelo Romano**, Professore di Sistemi Energetici, Università di Milano
- **Katerina Sardi**, Managing Director & Country Manager in Greece, Energean Greece
- **Carlo Stagnaro**, Research and Studies Director, Bruno Leoni Institute
- **Corrado Vicardi**, Energy Management System Representative, A2A Ambiente
- **Giacomo Zucchelli**, Responsabile, European Affairs, A2A
- **Lena Wammer Østgaard**, Legal advisor International Law, IOM Law

I contenuti di questo Studio Strategico si riferiscono esclusivamente all'analisi e alla ricerca effettuata da The European House - Ambrosetti e rappresentano la sua opinione che può non coincidere con le opinioni e il punto di vista dei soggetti intervistati e coinvolti nell'iniziativa.



Prefazioni



Prefazione di Claudio Descalzi

Questo Studio vede la luce in un momento di snodo nel dibattito della comunità internazionale circa gli impegni da assumere per affrontare in modo efficace il cambiamento climatico e i suoi impatti, nell'ambito del percorso che conduce alla prossima COP28 di Dubai.

In un contesto che vede tale dibattito accendersi ed evidenziare posizioni differenti, è ormai sempre più evidente l'impraticabilità di una soluzione in grado di assicurare, da sola, una decarbonizzazione sufficientemente rapida per raggiungere gli obiettivi definiti dagli Accordi di Parigi. Questo è ancor più vero per i cosiddetti settori "hard-to-abate", particolarmente emissivi ma, al contempo, strategici per la vitalità del tessuto economico e dei quali è, pertanto, essenziale garantire continuità e competitività. È senza dubbio fondamentale ribadire il principio, affermato ormai da più voci in questo dibattito, della neutralità tecnologica e ragionare nella prospettiva di ricorrere ad un ampio ventaglio di soluzioni.

In tale cornice, lo sviluppo della cattura e dello stoccaggio dell'anidride carbonica (CCS) assume una posizione di rilievo.

Le più importanti organizzazioni internazionali – tra cui IEA, IPCC e IRENA – considerano la CCS fondamentale per raggiungere gli obiettivi climatici e la inseriscono nel mix di soluzioni necessarie a raggiungere la neutralità carbonica al 2050.

Negli ultimi mesi, anche l'Europa ha assunto una posizione chiara sul fatto che un rapido sviluppo della filiera della CCS è indispensabile per tener fede alla prevista rotta di decarbonizzazione e traguardare il net zero.

Lo scorso marzo, nell'ambito della sua proposta di Net-Zero Industry Act, la Commissione Europea ha incluso la CCS fra le Strategic Net-Zero Technologies, riconoscendone il contributo significativo alla riduzione delle emissioni di CO₂ entro il 2030 e, soprattutto, la necessità e la possibilità di svilupparla rapidamente. Su queste basi, la Commissione ha proposto un obiettivo europeo di capacità di iniezione pari a 50 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno entro il 2030. È un obiettivo sfidante, ma che rappresenta, comunque, soltanto il punto di partenza, se consideriamo che, secondo le stime della stessa Commissione, l'Unione potrebbe dover catturare fino a 550 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno entro il 2050.

Per alcuni settori hard to abate, la CCS è la sola opzione di decarbonizzazione disponibile, in mancanza della quale l'unica alternativa è emettere la CO₂ in atmosfera, con impatti fortemente negativi sull'ambiente e con un aggravio sui bilanci emissivi dei Paesi e delle imprese.

Dal punto di vista tecnologico si tratta di un processo maturo, ba-

sato su tecnologie consolidate e applicate ormai da decenni, anche in contesti tecnici differenti, non solo con la CO₂ ma anche con il metano. Inoltre, in questo settore negli ultimi anni si è concentrato un imponente sforzo ingegneristico e di ricerca che sta portando allo sviluppo di tecnologie sempre più efficienti e meno costose, in particolare nel campo della cattura. Lo stesso si può dire per quanto riguarda gli aspetti di salute e sicurezza: la CO₂ è un gas semplice da gestire, il cui stoccaggio avviene all'interno di formazioni geologiche profonde adatte a contenerla in modo sicuro.

Eni crede fortemente nell'importanza della CCS e l'ha inserita tra le leve fondamentali della propria strategia di decarbonizzazione, ponendosi l'obiettivo di raggiungere uno stoccaggio complessivo annuo di 30 milioni di tonnellate entro il 2030.

Oltre ad essere partner del progetto Sleipner in Norvegia che, dall'inizio delle attività nel 1996, ha già stoccato circa 20 milioni di tonnellate di anidride carbonica in completa sicurezza, Eni è impegnata in numerosi progetti, a vari stadi di avanzamento tra cui, in particolare HyNet North West nel Regno Unito, dove la CCS è considerata tra le leve indispensabili verso il Net Zero, in Libia (Bahr Essalam), in Egitto, in Australia e negli Emirati Arabi Uniti.

In Italia, Eni ha deciso di integrare il proprio know-how con quello di un partner di eccellenza come Snam per sviluppare Ravenna

CCS, un progetto basato sul riutilizzo dei giacimenti a gas esauriti nell'offshore del Mare Adriatico, sfruttando un potenziale complessivo di stoccaggio stimabile in 500 milioni di tonnellate di CO₂.

La prima fase del progetto, per cui è già stata ottenuta l'autorizzazione, partirà nel primo trimestre del 2024, mentre l'avvio della fase industriale, dimensionata per lo stoccaggio di 4 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, è prevista a partire dal 2026, con possibili successive espansioni fino a raggiungere una capacità di 16 milioni di tonnellate all'anno.

Ravenna CCS potrà divenire un punto di riferimento per la decarbonizzazione dei settori hard-to-abate e si candida a divenire il principale hub CCS del sud Europa, in grado di soddisfare le esigenze di decarbonizzazione sia dei siti industriali italiani sia di quelle di emettitori internazionali dell'area del Mediterraneo.

Non offre solo, quindi, l'imperdibile opportunità per il nostro Paese di poter disporre, già nell'orizzonte del 2026, di questa opzione di decarbonizzazione, ma è anche un'occasione unica nell'intera area del sud Europa, che va a vantaggio della competitività del tessuto produttivo nazionale e che consente all'Italia di svolgere un ruolo pivotale nel Mediterraneo, anche attraverso la realizzazione di progetti CCS transfrontalieri.

Cogliere questa opportunità richiede un forte lavoro di squadra e collaborazione tra tutti gli attori coinvolti.

È necessario far nascere dalle fondamenta una nuova filiera industriale che veda integrarsi numerosi soggetti: gestori dei siti di stoccaggio e delle reti di trasporto ed emettitori, chiamati a investire nei progetti di cattura.

Il decisore pubblico svolge un ruolo fondamentale nel facilitare questo lavoro di squadra attraverso il pieno riconoscimento del ruolo della CCS nel percorso di decarbonizzazione del Paese e dell'Europa, cui deve far seguito una tempestiva creazione delle relative condizioni abilitanti.

Ugualmente centrale, poi, è favorire la conoscenza di questa opzione di decarbonizzazione e il relativo dibattito fra istituzioni, cittadini, business community e istituti di ricerca, per assicurare una più agevole diffusione.

Per questo, ringrazio The European House-Ambrosetti, i membri dell'Advisory Board, i colleghi Eni e Snam e tutti gli esperti che, a vario titolo e portando differenti punti di vista, hanno alimentato il lavoro che ha portato alla pubblicazione di questo Studio che sicuramente contribuirà ad aumentare la consapevolezza diffusa dell'importanza della CCS per la decarbonizzazione e la competitività dell'Italia.

Claudio Descalzi

Amministratore Delegato, Eni

Prefazione di Stefano Venier

The CCS technology could – if governments commit to specific policies – account for nearly one-fifth of the emissions reduction required to cut GHG emissions from energy use in half by 2050. The scale of potential future deployment of CCS is enormous.

Così dichiarava la IEA nel 2012, nel suo Policy Strategy for Carbon Capture and Storage. Un decennio dopo, tale consapevolezza si è effettivamente diffusa a livello europeo, creando un contesto positivo per le tecnologie di cattura, trasporto e stoccaggio della CO₂.

Non è più un mistero per nessuno degli addetti ai lavori che la CCS sia un'importante leva di decarbonizzazione nel panorama delle possibili modalità di riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Industriali, operatori infrastrutturali, istituzioni: a tutti i livelli la CCS sta consolidando il proprio posizionamento come soluzione per il raggiungimento degli sfidanti obiettivi di riduzione e azzeramento delle emissioni per alcuni specifici settori Hard to Abate.

Snam ha accettato la sfida e si è fatta promotrice, insieme ad Eni, dello sviluppo del primo progetto di trasporto e stoccaggio di CO₂ in Italia, CCS Ravenna, uno dei maggiori progetti nel bacino del Mediterraneo e in Europa. Crediamo nel potenziale di questa tecnologia nell'accompagnare l'Italia e l'Europa verso il

Net Zero, siamo consapevoli della necessità di considerarla come uno dei tasselli di un puzzle più ampio e variegato, ma siamo anche convinti che questa tecnologia possa rappresentare una delle soluzioni più mature e dai costi sempre più competitivi e interessanti.

Crediamo inoltre che il progetto CCS Ravenna sarà un'infrastruttura fondamentale per il Paese, per la futuribilità dell'importante tessuto industriale e, potenzialmente, per attrarre nuovi insediamenti (e quindi ricchezza e posti di lavoro) a cui si possa offrire un'opzione per una produzione decarbonizzata.

Come Snam, abbiamo 80 anni di storia di trasporto e stoccaggio di gas naturale alle spalle, un'esperienza che dà valore aggiunto all'iniziativa avviata con Eni e garantisce all'Italia un solido punto di partenza per lo sviluppo di una rete di trasporto dedicata alla CO₂ e un rinnovato utilizzo dei giacimenti ormai esauriti nel Nord Adriatico, questa volta sfruttati a supporto della decarbonizzazione dell'industria italiana.

La disponibilità di campi offshore nelle immediate vicinanze della costa adriatica è una caratteristica che accomuna l'Italia alle nazioni del Nord Europa come Inghilterra e Norvegia, che sono già attive nello sviluppo di progetti per cattura, trasporto e stoccaggio CO₂ e dove si osserva una combinazione favorevole di impegno da parte delle istituzioni e volontà di investimento da parte del comparto industriale. È un modello perfettamente replicabile anche in Italia, e la posizione strategica nonché l'alto potenziale di stoccaggio dei campi del nord Adriatico rappresentano un'interessante opportunità di collaborazione transfrontaliera.

If governments commit to specific policies, suggeriva sempre l'IEA nel lontano 2012, ma sappiamo che il framework normativo, non solamente nazionale, fatica ancora a essere pienamente di supporto allo sviluppo di progetti per la cattura, trasporto e stoccaggio di CO₂. Da qui la necessità di fissare all'interno di uno Studio Strategico completo e aggiornato lo stato dell'arte delle tecnologie, i possibili sviluppi futuri e le opportunità a livello di policy making e regolamentazione per poter davvero abilitare questo settore. Abbiamo scelto The European House – Ambrosetti come partner in questo viaggio, e abbiamo chiesto il supporto di un Advisory Board e di un Comitato Scientifico plurale e competente, assicurando un prodotto finale che può essere considerato un punto di partenza per ampliare il dibattito, sia in Italia, sia in Europa, sull'importanza della pluralità delle leve di

decarbonizzazione, sul ruolo della CCS all'interno del ventaglio di possibilità a disposizione dell'industria nazionale ed europea e sulla necessità di un fermo e risoluto intervento da parte delle Istituzioni per garantire che il quadro normativo e regolatorio sia effettivamente di supporto allo sviluppo e alla crescita di queste tecnologie.

Stefano Venier

Amministratore Delegato, SNAM

Prefazione di Valerio De Mollì

“Affrontare la sfida del clima rappresenta un’opportunità d’oro per promuovere la prosperità, la sicurezza e un futuro di crescita per tutti.”

Ban Ki-Moon, già Segretario generale delle Nazioni Unite

È ormai chiaro che **la decarbonizzazione sarà la sfida del nostro secolo.**

A livello mondiale, stiamo osservando un **ritardo significativo rispetto al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.**

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.** Infatti, come dimostrato da un recente studio della World Meteorological Organization, con una probabilità del 66% la media annuale della temperatura globale tra il 2023 e il 2027 raggiungerà il limite di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali, la soglia stabilita dall’Accordo di Parigi.

È quindi necessario un cambio di marcia sulla decarbonizzazione dell’intera società al fine di ridurre le emissioni di gas serra più rapidamente di quanto fino ad ora fatto, moltiplicando per quattro il tasso di abbattimento dell’ultimo decennio per raggiungere le zero emissioni nette nel 2050, senza rinunciare al benessere, alla competitività industriale e all’equità sociale.

A tal fine, la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie sono i nostri più importanti alleati. Già nel 2022, The European House - Ambrosetti attraverso lo Studio Strategico Zero Carbon Technology Roadmap ha dimostrato come, per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, sia indispensabile fare riferimento al **principio di neutralità tecnologica**, sfruttando il contributo sinergico e complementare di tutte le tecnologie disponibili. Il dibattito scaturito, sia a livello italiano che europeo, dalla presentazione dello Studio Strategico ha contribuito in maniera determinante a indirizzare una riflessione profonda, non ideologica e basata sui fatti tra i policy maker e la business community.

Lo Studio Strategico 2023 **“Zero Carbon Technology Roadmap – Carbon Capture & Storage: una leva strategica per la decarbonizzazione e la competitività dell’Italia”** intende approfondire con maggiore dettaglio il ruolo e il potenziale impatto delle tecnologie di cattura della CO₂ per la decarbonizzazione dei sistemi economici e industriali.

Le tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ sono una **leva**

importante per decarbonizzare e sostenere la competitività delle attività economiche Hard to Abate, le quali andranno incontro, nei prossimi anni, a un significativo aumento del costo delle emissioni, con conseguenti rischi non trascurabili sulla competitività industriale europea. Lo Studio Strategico dimostra come solo attraverso lo sviluppo delle tecnologie di Carbon Capture & Storage sia possibile raggiungere la **completa decarbonizzazione** dei settori Hard to Abate.

Tale evidenza è suffragata da una rigorosa analisi, supportata dallo studio di **160 fonti di letteratura accademico-scientifica** e da un'intensa attività di confronto con **63 stakeholder internazionali**, tra esperti del mondo accademico, rappresentanti di associazioni industriali e manager delle principali filiere Hard to Abate europee.

Per l'Italia il beneficio ottenibile è duplice.

In primo luogo, infatti, le importanti infrastrutture di CCS in corso di sviluppo attorno all'**Hub di Ravenna** rappresentano un'opportunità unica nel Sud Europa, che potranno essere sfruttate per dare un **vantaggio competitivo alle filiere Hard to Abate nazionali**, le quali potranno già nel breve termine disporre di una leva di decarbonizzazione sicura, competitiva e scalabile, oltre che implementabile senza stravolgimenti degli assetti produttivi.

Il modello econometrico realizzato da The European House - Ambrosetti stima che il pieno sfruttamento delle potenzialità dell'Hub di Ravenna potrà contribuire in maniera determinante a sostenere la competitività di filiere Hard to Abate in grado di generare **62,5 miliardi di Euro di valore aggiunto e di sostenere l'occupazione di 1,27 milioni di lavoratori al 2050**.

In secondo luogo, la realizzazione di progettualità di CCS di ampio respiro in Italia, può favorire lo sviluppo di una nuova filiera nazionale specializzata, in grado di generare, per il solo progetto afferente all'Hub di Ravenna, **30 miliardi di Euro di valore aggiunto cumulato tra il 2026 e il 2050** e oltre **17 mila nuovi posti di lavoro al 2050**. Questa filiera, inoltre, potrà avere una proiezione internazionale e coltivare opportunità in un mercato che si stima possa valere fino a 400 miliardi di Euro a livello globale al 2050.

Al fine di massimizzare il potenziale di queste opportunità, lo Studio Strategico ha individuato **dieci proposte di policy** puntuali e concrete che vogliamo portare all'attenzione dei policy maker. Le proposte rispondono alle necessità di creare un **framework normativo coerente** con gli obiettivi europei di cattura e stoccaggio della CO₂ e di **supportare lo sviluppo di progetti secondo logiche di mercato**, in coerenza con il principio di neutralità tecnologica che ha guidato il presente Studio Strategico.

Lo sviluppo delle analisi contenute nello Studio Strategico ha beneficiato della partecipazione di **63 stakeholder**, appartenenti a diversi settori economici e al mondo accademico, i quali sono stati consultati nell'ambito di due Tavoli di Lavoro. A tutti loro va il mio più sentito ringraziamento.

Desidero ringraziare, per il prezioso contributo allo Studio Strategico, l'Advisory Board, composto da **Claudio Descalzi** (Amministratore Delegato, Eni), **Stefano Venier** (Amministratore Delegato, Snam), **Markus Kerber** (Consulente strategico, CDU; Amministratore Delegato, 1886 Ventures; già Segretario di Stato del Ministero degli Interni della Repubblica Federale Tedesca; già Amministratore Delegato, BDI), **Emma Marcegaglia** (Presidente e Managing Director, Marcegaglia; Presidente, Università Luiss Guido Carli; Membro del Consiglio di Amministrazione, Bracco e Gabetti Property Solutions; già Presidente, BusinessEurope; già Presidente, Eni; già Presidente, Confindustria) e **Andris Piebalgs** (Professore, Florence School of Regulation; già Commissario Europeo allo sviluppo [2010 - 2014]; già Commissario Europeo all'energia [2004-2010]).

Un ringraziamento anche ai 23 manager di Eni e Snam, 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, Arianna Basso, Ege Ondes, Maria Mazza e Lucia Contini.

Valerio De Molli

Managing Partner & CEO, The European House - Ambrosetti

Prefazione di Markus Kerber

Lo “Studio Zero Carbon Technology Roadmap 2022” di Ambrosetti ed Eni ha rappresentato una pietra miliare in quanto ha dimostrato la fattibilità tecnologica di un’Europa decarbonizzata. La mappatura di 100 tecnologie di decarbonizzazione, insieme al principio di neutralità tecnologica, è stata la base per la rivendicazione di un’Europa a zero emissioni di carbonio. Tra le 100 tecnologie mappate, la cattura e lo stoccaggio del carbonio (CCS) si dimostra una soluzione unica per combattere alcune emissioni come le emissioni di processo, le emissioni standard dei combustibili fossili, le emissioni non verdi della produzione di idrogeno, nonché le emissioni negative, ad esempio nel settore agricolo. La CCS è tra le tecnologie a zero emissioni di carbonio più importanti, insieme all’elettrificazione e alle FER.

Sulla base di questo studio innovativo, Ambrosetti insieme a ENI e SNAM nel 2023 ha intrapreso uno studio approfondito nel campo della CCS in Europa, e in particolare in Italia, evidenziando le opportunità sociali ed economiche per l’Italia nello sfruttare la CCS per decarbonizzare e sostenere la competitività in settori difficili da abbattere. Analizzando e testando tutti i parametri necessari delle tecnologie CCS in 160 articoli accademici e con l’aiuto di 63 stakeholder coinvolti, provenienti da 39 enti di aziende internazionali di primo piano, università e associazioni dell’UE, lo Studio ha prodotto ulteriori prove a favore dell’applicazione tardiva delle CCS in Italia e in Europa. Inoltre, ha prodotto pro-

poste politiche chiare e lungimiranti per i regolatori nazionali ed europei.

La CCS è un’opzione politica matura, sicura e competitiva in termini di costi che non deve essere scartata, ignorata o trascurata. Con livelli di preparazione tecnologica compresi tra 8 e 9 e un’efficienza di cattura tra l’85% e il 95%, la CCS è matura. I modelli teorici e il vasto know-how dell’industria petrolifera e del gas sottolineano un livello di sicurezza di non dispersione del 99,99%. L’aspetto forse più importante è che lo Studio dimostra che entro il 2050 il costo medio della CCS in Italia sarà di circa 95 euro per tonnellata di CO₂ catturata, quindi ben al di sotto del costo previsto per le quote di emissione nell’ambito del meccanismo ETS. Questi costi prospettici possono persino essere ridotti dall’effetto della curva di apprendimento e dalle economie di scala, il che depone a favore di una rapida e ampia applicazione delle CCS nell’UE.

Poiché tutti i progetti attualmente operativi nell’UE si trovano nel Mare del Nord, il progetto italiano CCS di Ravenna sarà di estrema importanza per la creazione e il funzionamento di un polo di decarbonizzazione nell’Europa meridionale. Con lo sviluppo di un numero sempre maggiore di progetti legati all’idrogeno nell’area MENA, che necessiteranno di porti per gasdotti nel Mediterraneo, l’Italia potrebbe diventare un attore importante

nelle industrie di decarbonizzazione e trasformazione all'interno dell'UE, poiché le regioni industriali centrali della Germania meridionale e della Repubblica Ceca, ad esempio, sono molto più vicine all'Europa meridionale e beneficeranno degli impianti CCS in Italia.

Le implicazioni politiche dei nostri risultati in quattro aree - infrastrutture soft, applicazioni settoriali, pianificazione strategica e de-risking - sono chiare e non devono essere trascurate dai regolatori in Italia e nell'UE. Abbiamo bisogno, tra l'altro, di uno standard tecnico comune a livello europeo per il trasporto e lo stoccaggio, nonché di un sistema normativo uniforme tra gli Stati membri dell'UE per evitare asimmetrie e inefficienze. Inoltre, la promozione dell'applicazione del principio di neutralità tecnologica, considerando la possibilità di sfruttare la complementarità tra le soluzioni di decarbonizzazione mature e quelle che saranno disponibili solo nel medio termine, sarà un aspetto chiave della regolamentazione intelligente. I governi e le istituzioni dell'UE devono comprendere che hanno un ruolo chiave nel coinvolgere le parti interessate nella definizione di piani di sviluppo infrastrutturale concreti e appropriati che soddisfino le aspettative delle industrie e facciano leva sugli investimenti privati. Gli Stati membri e l'UE dovrebbero considerare il nostro studio sulla CCS come un chiaro indicatore per la realizzazione di una roadmap tecnologica a zero emissioni di carbonio.

Markus Kerber

Consulente strategico, CDU; Amministratore Delegato, 1886 Ventures; già Segretario di Stato del Ministero degli Interni della Repubblica Federale Tedesca; già Amministratore Delegato, BDI

Prefazione di Emma Marcegaglia

Combattere il cambiamento climatico significa “contenere l’aumento delle temperature medie della Terra alla soglia dei 1,5 gradi” ponendosi l’obiettivo di “un taglio del 45% delle emissioni di anidride carbonica rispetto al 2010, da attuarsi entro il 2030 e il raggiungimento di zero emissioni nette intorno alla metà del secolo”, come indicato dalle raccomandazioni della COP-26 di Glasgow. Per ottenere questo fondamentale risultato non esiste una unica soluzione, ma occorre promuovere azioni diverse in base al campo di applicazione, alla maturità delle tecnologie e alla loro sostenibilità. Questo concetto vale in particolare per i settori Hard to Abate, quelli più difficili da riconvertire che utilizzano combustibili fossili come fonte di energia: cementifici, cartiere, ceramiche, industria dell’acciaio e industria del vetro.

Tra le tecnologie esistenti la CCUS è parte integrante della strategia di decarbonizzazione. Le tecnologie CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage) consentono di trattenere la CO₂ emessa dai processi industriali evitandone l’emissione in atmosfera, avendo la possibilità di utilizzarla (Utilisation) come materia prima per la produzione di carburanti, sostanze chimiche o materiali da costruzione oppure stoccandola in modo permanente in giacimenti sottomarini (Storage).

In particolare, a Ravenna ci sono le condizioni ideali per un progetto basato su CCUS: un polo industriale con siti Hard to Abate

(industria chimica, trasformazione acciaio, cementifici), un complesso chimico che può collettare la CO₂ dei siti industriali, infrastrutture ferroviarie e marittime attraverso cui ricevere CO₂ con diverse provenienze, ex-giacimenti sottomarini di gas dove iniettare la CO₂ catturata. Marcegaglia, Yara, Cabot e Versalis, con il supporto tecnico e infrastrutturale di Eni e Snam, hanno realizzato un consorzio volto alla riduzione di quasi 1 Milione di tonnellate di CO₂ all’anno, al loro riutilizzo o stoccaggio.

Nel settore della trasformazione dell’acciaio (tipico di Marcegaglia), pur costituendo una componente relativamente bassa di Scope 1 e Scope 2 (meno del 10%) rispetto allo Scope 3 rappresentato dalle acciaierie, la tecnologia per sostituire il gas naturale non è ancora pronta; o i costi non sono sostenibili come la elettrificazione delle linee di trasformazione oppure la ricerca scientifica e tecnologia non ha ancora permesso di utilizzare l’idrogeno al 100% nella fase di combustione per il riscaldamento dei forni di ricottura.

Diversamente la CCUS è una tecnologia pronta, matura e sicura che ha già trovato applicazione in diversi ambiti con grande successo. Ma nel campo dei fumi da post-combustione (applicazione tipica della trasformazione dell’acciaio) la percentuale di CO₂ contenuta nei fumi emessi è bassa e più difficile da catturare. Servono ingenti investimenti accompagnati da costi operativi

elevati che rendono la CCUS non sostenibile. Serve quindi una politica di sostentamento finanziario che permetta di calmierare CAPEX e OPEX in un contesto in cui “ognuno deve fare la sua parte” (punto 8 Accordo Cop26 di Glasgow).

Parallelamente alla CCUS va mantenuto l'impegno di riduzione continua delle emissioni fino alla loro eliminazione passando da una virtuosa riduzione dei consumi alla applicazione di tecnologie (quando saranno pronte e testate) atte alla totale sostituzione del gas naturale con energia verde o con l'idrogeno. Nel primo caso la quantità di energia ottenuta da fonti rinnovabili è estremamente limitata, mentre per l'idrogeno paghiamo ancora una posizione piuttosto arretrata della conoscenza tecnologica.

La decarbonizzazione per il raggiungimento di Net-Zero-Emissions nel 2050 è indubbiamente una grande sfida. Ricerca, innovazione, industria, banche, investitori, tech provider, ognuno nel proprio campo deve contribuire al raggiungimento di un unico obiettivo. Non esiste una soluzione unica, la riduzione delle emissioni dovrà essere graduale con l'accrescere della conoscenza e dello sviluppo tecnologico. Occorre abbandonare posizioni ideologiche e implementare le soluzioni che già da oggi possono aiutare allo scopo, come la CCUS.

Emma Marcegaglia

*Presidente e Amministratore Delegato, Marcegaglia;
già Presidente, BusinessEurope; Presidente, Università Luiss
Guido Carli; Membro del Consiglio di Amministrazione Bracco
e Gabetti Property Solutions*



Prefazione di Andris Piebalgs

L'estate del 2023 è stata segnata da forti ondate di calore e da diffusi incendi boschivi in tutto il Mediterraneo, che hanno fatto da eco all'allarme globale di affrontare il cambiamento climatico immediatamente. Con l'acuirsi di questa urgenza, è diventata evidente la necessità di sfruttare il progresso tecnologico a nostra disposizione per limitare le emissioni di gas serra. L'Unione Europea (UE), all'altezza di questa sfida, si è impegnata a raggiungere la neutralità delle emissioni di carbonio entro il 2050. Infatti, se da un lato l'efficienza energetica e le energie rinnovabili sono strumenti fondamentali per raggiungere questo obiettivo, dall'altro è necessario prendere in considerazione ulteriori strategie, tra cui la cattura e lo stoccaggio del carbonio (CCS), che rappresenta una strada largamente inesplorata.

La tecnologia CCS offre uno strumento immediato per affrontare la crisi climatica. Questo processo consiste nel catturare l'anidride carbonica da fonti industriali, trasportarla in un sito di stoccaggio e iniettarla in formazioni geologiche sotterranee adatte allo stoccaggio permanente. Emerge come l'unica opzione di decarbonizzazione in settori con emissioni di gas serra difficili da abbattere, come il cemento. In altri settori ad alta intensità energetica, è un prerequisito per ridurre le emissioni di gas serra a costi accessibili durante la transizione verso l'energia pulita. Inoltre, se abbinata al biometano, la CCS può fungere da significativo serbatoio di carbonio, producendo emissioni nega-

tive. Nonostante il suo immenso potenziale, la diffusione della CCS su larga scala rimane ostacolata dalla complessità della catena del valore, dai limitati incentivi economici e dall'inadeguata attenzione politica.

Tuttavia, la proposta di marzo 2023 di introdurre il Net Zero Industry Act, da parte della Commissione Europea, appare come un tentativo concreto di procedere in questa direzione. L'Atto riconosce il potenziale delle tecnologie CCS nel contribuire in modo significativo all'obiettivo di raggiungere emissioni zero entro il 2050. La CCS è quindi destinata a svolgere un ruolo da protagonista nel rafforzamento dell'autonomia strategica dell'UE. È infatti stato proposto un obiettivo comunitario che mira a iniettare fino a 50 milioni di tonnellate di anidride carbonica all'anno entro il 2030, principalmente attraverso obblighi imposti ai produttori di petrolio e gas.

L'evoluzione del meccanismo di determinazione del prezzo del carbonio, il sistema ETS, che ora si avvicina a tre cifre per tonnellata di emissioni, e la proposta di eliminare gradualmente le quote gratuite in combinazione con il meccanismo di aggiustamento delle frontiere del carbonio, noto come CBAM, offrono un ulteriore impulso alla diffusione delle CCS. Anche se il coordinamento dell'intera catena del valore CCS rimane complesso, queste iniziative hanno notevolmente migliorato le prospettive.

Storicamente, lo sviluppo della CCS in Europa è stato prevalentemente associato alle attività nell'area del Mare del Nord, guidate principalmente da Paesi Bassi e Norvegia. Tuttavia, il Sud dell'Europa è altrettanto significativo. L'ampia diffusione delle CCS ha implicazioni importanti per la politica industriale in tutta l'UE, in quanto agisce da facilitatore chiave della decarbonizzazione in settori industriali complessi.

Lo Studio Strategico, che offre spunti essenziali per una strategia europea, e più specificamente italiana, per l'utilizzo delle CCS, è fondamentale. Fornisce un'analisi della maturità tecnologica, una revisione del quadro normativo, dell'impatto sui settori industriali e una mappatura degli ecosistemi alla base dello sviluppo dei progetti CCS. Pur mantenendo una prospettiva globale, si concentra in particolare sull'Italia, con l'obiettivo di proteggere e rafforzare la competitività economica dei cosiddetti settori Hard to Abate.

L'uscita dello Studio Strategico è, inoltre, davvero puntuale, in quanto fornisce un ambizioso compromesso politico sulla proposta del Net Zero Industrial Act e contribuisce a dare un solido contributo alla prossima Strategia CCUS dell'Unione Europea. In un contesto di grandi cambiamenti come quello attuale, tali strategie offrono spunti preziosi per una crescita industriale sostenibile e per il raggiungimento della neutralità climatica. L'UE ha

bisogno di un progetto dettagliato che comprenda la costruzione della rete di CO₂, lo sviluppo di strutture di stoccaggio adeguate, la tempistica e la struttura della rete, il finanziamento e un regime normativo stabile.

La cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio del carbonio (CCUS) devono essere parte integrante della strategia di decarbonizzazione dell'UE. Tuttavia, qualsiasi soluzione di decarbonizzazione richiede una guida e un sostegno politico considerevoli. Lo Studio Strategico fornisce le argomentazioni necessarie per rispondere alle domande relative alla più ampia diffusione della CCS, rafforzando la nostra lotta contro il cambiamento climatico.

Andris Piebalgs

Professore, Florence School of Regulation

Executive Summary

Lo Studio Strategico “**Zero Carbon Technology Roadmap - Carbon Capture & Storage: una leva strategica per la decarbonizzazione e la competitività dell’Italia**”, condotto da The European House - Ambrosetti per conto di Eni e Snam, intende approfondire con maggiore dettaglio il ruolo e il potenziale impatto delle tecnologie di cattura della CO₂ per la decarbonizzazione dei sistemi economici e industriali.

Lo Studio Strategico presenta, con la massima autorevolezza e secondo criteri super partes, un quadro di riferimento sugli sviluppi tecnologici più attuali delle soluzioni di CCS, approfondendo i casi di studio più esemplari e identificandone gli impatti nel contesto europeo e nazionale.

Attraverso una mappatura delle attuali esigenze e carenze di capacità industriale degli ecosistemi alla base dello sviluppo di progetti CCS e una revisione del quadro normativo, sono state evidenziate le aree di intervento al fine di creare un ambiente favorevole allo sviluppo industriale e alla diffusione sul mercato delle soluzioni di CCS.

Inoltre, tramite un modello proprietario, sono stati misurati i potenziali impatti ambientali, economici e sociali sui alcuni settori industriali italiani dell’applicazione della CCS, ovvero i settori considerati “Hard to Abate”. Inoltre, è stato valutato l’impatto legato alla creazione di una filiera industriale legata allo sviluppo dei progetti di CCS.

Sulla base di tali evidenze, sono stati delineati gli elementi chiave per una “Strategia della CCS” europea e italiana al fine di favorire la diffusione delle tecnologie CCS e massimizzare i risultati di decarbonizzazione dei settori Hard to Abate.

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 sviluppo dello Studio Strategico. L’Advisory Board è composto da:

- Claudio Descalzi, Amministratore Delegato, Eni;
- Stefano Venier, Amministratore Delegato, Snam;
- Valerio De Molli, Managing Partner & CEO, The European House - Ambrosetti;

- Tre Advisor Scientifici:
 - Markus Kerber, Consulente strategico, CDU; Amministratore Delegato, 1886 Ventures; già Segretario di Stato del Ministero degli Interni della Repubblica Federale Tedesca; già Amministratore Delegato, BDI;
 - Emma Marcegaglia, Presidente e Managing Director, Marcegaglia; Presidente, Università Luiss Guido Carli; Membro del Consiglio di Amministrazione, Bracco e Gabetti Property Solutions; già Presidente, BusinessEurope; già Presidente, Eni; già Presidente, Confindustria;
 - Andris Piebalgs, Professore, Florence School of Regulation; già Commissario Europeo allo sviluppo (2010 – 2014); già Commissario Europeo all'energia (2004 – 2010).

L'Iniziativa ha fatto leva su un'intensa attività di stakeholder engagement: 63 stakeholder, appartenenti a diversi settori economici e al mondo accademico, sono stati consultati nell'ambito di due Tavoli di Lavoro per affrontare la presente analisi e raccogliere spunti strategici. Inoltre, anche il management di Eni e Snam ha contribuito allo sviluppo dello Studio Strategico attraverso 23 interviste dedicate. 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 160 fonti di letteratura scientifica.

Le sedici 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, attraverso una overview delle emissioni e del ruolo della CCS negli scenari di decarbonizzazione; quindi, sono state mappate le principali tecnologie disponibili per la CCS, le loro applicazioni e le caratteristiche principali in termini di sicurezza ed efficienza; dopodiché, sono stati mappati i progetti più rilevanti a livello globale, che hanno contribuito alla definizione delle azioni necessarie per favorire la diffusione della CCS in Italia e in Europa e le relative opportunità in termini di decarbonizzazione e sviluppo economico; infine, sono state sviluppate alcune proposte di policy volte a favorire e accelerare lo sviluppo dei progetti di CCS in Italia e in Europa.

Figura 1

Le domande guida dello Studio Strategico.

Fonte: dati proprietari The European House - Ambrosetti, 2023.

Overview delle emissioni e ruolo della CCS quale tecnologia chiave per il processo di decarbonizzazione	1	Quali sono gli scenari delle emissioni di CO ₂ in Italia e in Europa? Quali azioni sono necessarie per raggiungere gli obiettivi climatici del 2050?
	2	Quale ruolo possono svolgere le tecnologie CCS? Dove possono agire per ridurre i livelli di CO ₂ ?
La CCS: mappatura delle tecnologie e caratteristiche principali	3	Perché la CCS è una tecnologia sicura, scalabile e competitiva?
	4	Quale impatto può avere sul processo di raggiungimento della neutralità climatica?
	5	Quali sono le diverse tecnologie disponibili per i diversi contesti? Quali gli aspetti economici?
Benchmarking globale: i progetti più rilevanti	6	Quali sono i principali casi d'uso a livello mondiale? Quali sono le lezioni apprese e i fattori chiave di successo?
	7	Chi sono gli attori coinvolti? Qual è il ruolo dei governi?
Azioni necessarie per la diffusione della CCS in Europa e in Italia	8	Quali sono i fattori (infrastrutturali, normativi, di accettazione, etc.) che devono essere affrontati per massimizzare la diffusione delle tecnologie CCS nel contesto europeo? Qual è il ruolo potenziale dell'Italia?
	9	Quali sono i suoi asset chiave che possono essere sfruttati? Quali nuovi modelli di business potrebbero sostenere la creazione di un ecosistema di filiera per le CCS?
	10	Quale sostegno pubblico dovrebbe essere attuato per dare il via allo sviluppo di nuovi progetti e favorire l'adozione della tecnologia da parte degli emettitori?
Opportunità per l'Europa e l'Italia	11	Quali sono le opportunità in termini di sostenibilità e decarbonizzazione?
	12	Quale sviluppo possono avere i progetti legati alla CCS in Italia e in Europa?
	13	Quale contributo può dare la CCS alla salvaguardia della competitività economica dei settori Hard to Abate italiani ed europei?
Proposte di Policy	14	Quali sono le scelte politiche necessarie per promuovere la diffusione delle tecnologie CCS in Italia e in Europa?
	15	Quali sono le esigenze di cooperazione e sviluppo delle infrastrutture tra gli Stati membri dell'UE?
	16	Quali raccomandazioni per l'Italia?

MESSAGGIO CHIAVE 1

Nell'Unione europea è previsto un aumento del tasso di riduzione delle emissioni, in linea con i nuovi obiettivi di decarbonizzazione, da raggiungere attraverso tutte le tecnologie disponibili e applicando un approccio di neutralità tecnologica al fine di preservare la competitività industriale di importanti settori economici.

È quindi urgente rendere disponibili soluzioni tecnologiche che consentano a tutte le imprese di attuare già nel breve termine investimenti per la decarbonizzazione che, al tempo stesso, tutelino la competitività industriale.

L'Accordo di Parigi è stato firmato nel 2015 per limitare l'aumento della temperatura globale al di sotto dei 2°C. Nel 2022, la temperatura è stata superiore di 0,86°C rispetto alla media del XX secolo (pari a 13,9°C) e di 1,06°C rispetto al periodo preindustriale. Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale, c'è il **66% di probabilità che la temperatura media annuale vicino**

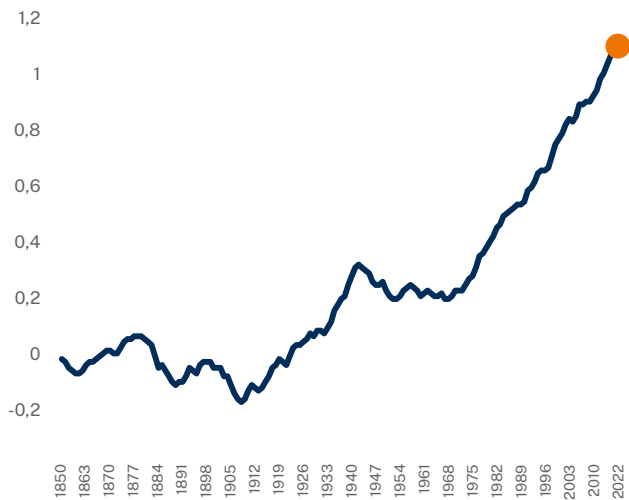
alla superficie terrestre, tra il 2023 e il 2027, aumenti di oltre 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. Il verificarsi di tale fenomeno potrebbe avere impatti significativi sulle società a causa di un conseguente aumento di eventi meteorologici estremi, quali anomalie pluviometriche e termiche.

Figura 2

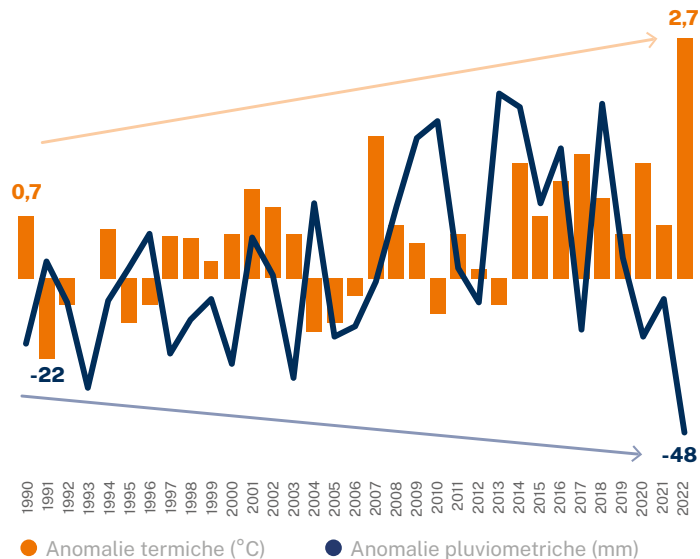
Variatione globale della temperatura, anomalie termiche e conseguenti anomalie pluviometriche.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati International Panel on Climate Change (IPCC), Community Valore Acqua ed European Environmental Agency, 2023.

Variatione annuale della temperatura globale (gradi Celsius), 1850-2022



Anomalie termiche e precipitazioni annuali rispetto alla media 1981-2010 (variazione in gradi Celsius e mm), 1990-2022



Il cambiamento climatico ha impatti negativi anche a livello sociale ed economico: in Unione Europea, negli ultimi 40 anni, oltre 138 mila **decessi sono riconducibili a eventi estremi di natura**

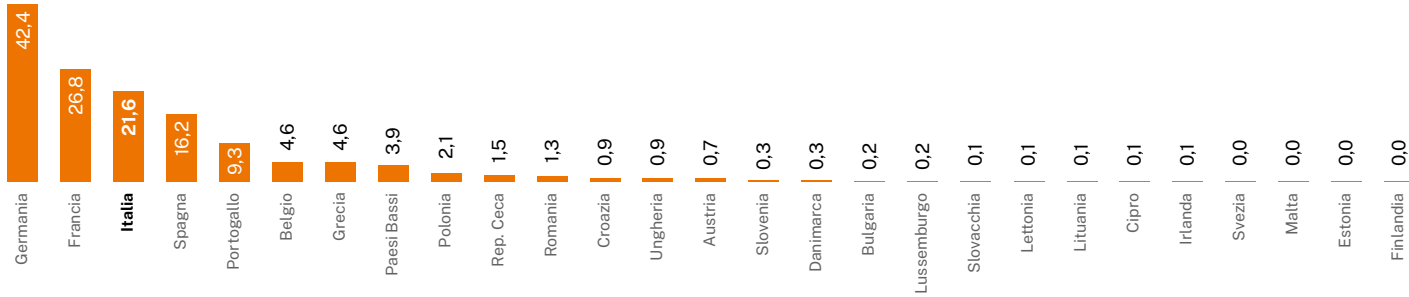
meteorologica e i danni economici causati da eventi estremi legati al clima hanno superato i 487 miliardi di Euro.

Figura 3

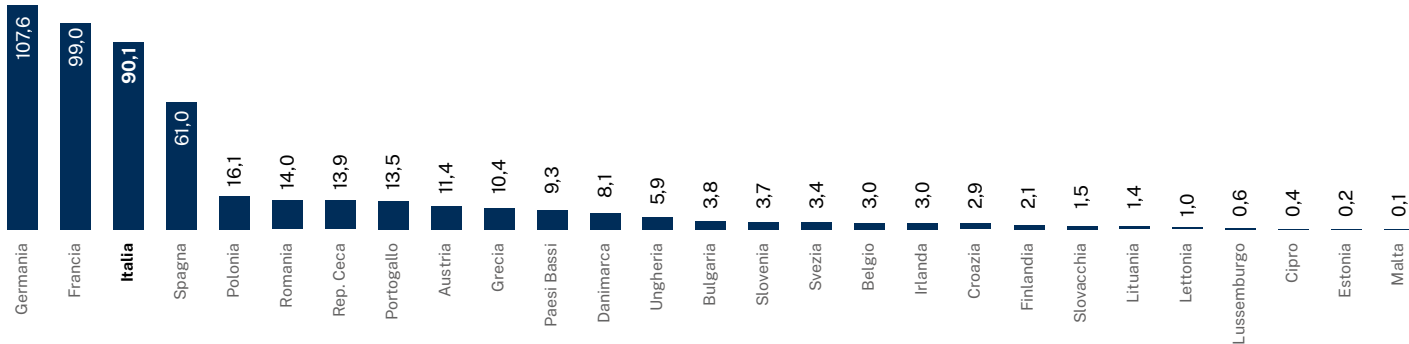
Decessi e danni economici legati a eventi estremi (1980-2020).

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati European Environmental Agency, 2023.

Decessi causati da eventi estremi di natura meteorologica e climatica nell'Unione europea per Paese (migliaia), 1980-2020



Danni economici causati da eventi estremi di natura meteorologica e climatica nell'Unione europea per Paese (miliardi di Euro), 1980-2020



Con il rendersi sempre più evidente e marcata la necessità di agire al fine di ridurre l'aumento delle temperature e i conseguenti danni legati al verificarsi di eventi climatici estremi, sono stati delineati accordi a livello mondiale e a livello europeo. Il

Green Deal dell'Unione europea, identifica una serie di obiettivi e definisce misure per spingere imprese e cittadini a ridurre la propria impronta carbonica sul Continente. Il

Figura 4

Elementi chiave dell'Accordo di Parigi e del Green Deal Europeo.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21-CMP11

ELEMENTI CHIAVE DELL'ACCORDO DI PARIGI

- Firmato nel 2015 da **196 paesi**.
- Obiettivo: "limitare il riscaldamento globale a ben meno di 2 gradi, **preferibilmente a 1,5 gradi Celsius**, rispetto ai livelli preindustriali".
- **Ogni 5 anni i Paesi dovranno rivedere i loro obiettivi** e le loro misure di riduzione delle emissioni.
- L'Accordo di Parigi esorta ad **accelerare l'innovazione, in particolare le clean tech**, e il trasferimento tecnologico internazionale.



IL GREEN DEAL EUROPEO (2019)

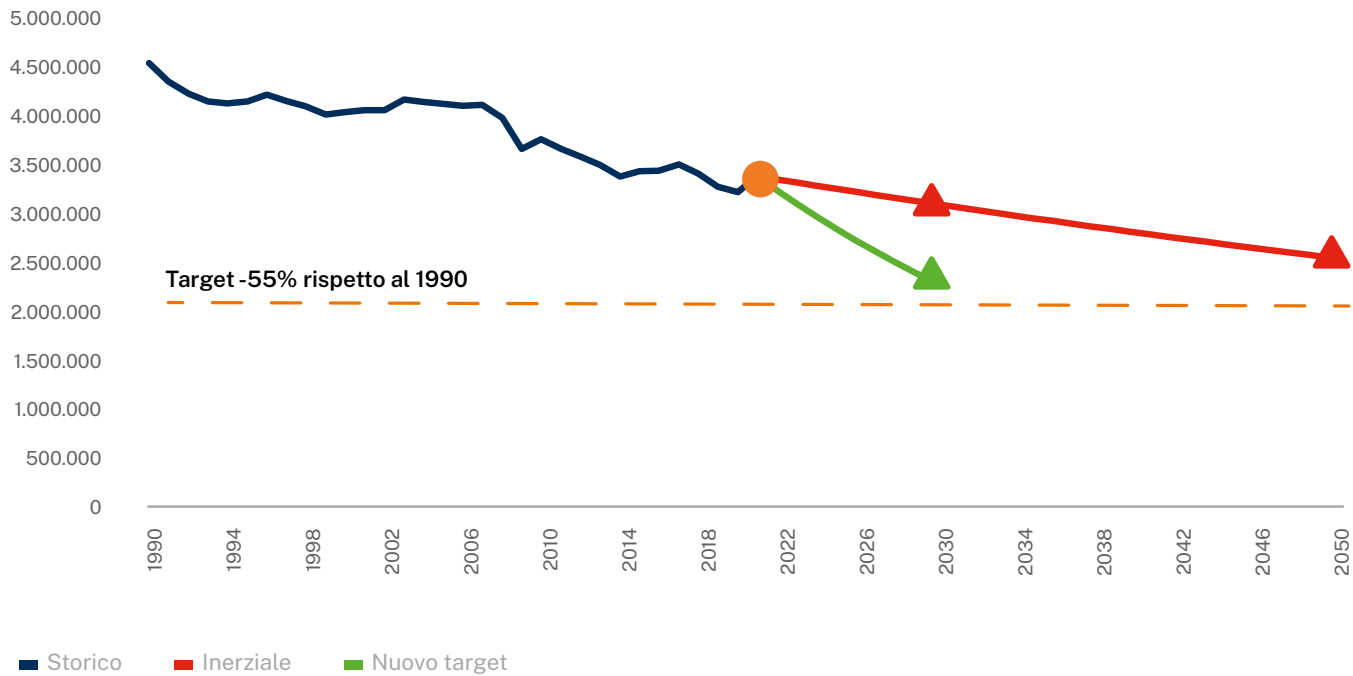
- Il Green Deal europeo è un insieme di iniziative legislative e non legislative per il raggiungimento della neutralità climatica al 2050, in linea con l'accordo di Parigi.
- Gli obiettivi 2030 sono:
 - **-55%** delle emissioni di gas serra rispetto al 1990;
 - **42,5%** di consumo energetico da fonti rinnovabili;
 - **+38%** di riduzione del consumo finale di energia rispetto allo scenario di riferimento UE 2007 (40,5% per l'energia primaria).
- Una parte importante della strategia Fit for 55 consiste nella riforma dell'ETS e dell'ESR:
 - **Emission Trading System (ETS):**
Sistema di scambio di emissioni per la maggior parte dei settori ad alta intensità energetica;
 - **Effort Sharing Regulation (ESR):**
Regolamento sulla condivisione degli sforzi per ripartire gli obiettivi tra gli Stati membri (con riferimento ai settori non-ETS).

L'Europa deve accelerare il suo processo di decarbonizzazione per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni al 2030. Al ritmo attuale, nel 2030 le emissioni di gas climalteranti-

ti saranno ridotte del 32% rispetto ai livelli del 1990, 23 punti percentuali in meno rispetto al target "Fit for 55" prestabilito di -55%. Inoltre, tale target non sarà raggiunto nemmeno nel 2050.

Figura 5
Emissioni di gas climalteranti in UE (Kton di CO₂), 1990-2021 e previsione.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.



Durante il percorso di decarbonizzazione, le aziende devono fronteggiare diverse **sfide per mantenere la propria competitività industriale**. Le principali sono riferite all'evoluzione della le-

gislazione, alla crescente pressione competitiva e alla necessità di accedere a fonti competitive di finanziamento.

Figura 6

Principali sfide per la decarbonizzazione dei sistemi industriali.

Fonte: elaborazione The European House-Ambrosetti, 2023.



Partendo dal contesto legislativo, **le emissioni di CO₂ stanno diventando una voce di costo molto importante per le industrie europee a causa dell'aumento del costo delle quote ETS¹ e della progressiva diminuzione delle quote gratuite.** Inoltre, dal 2026 le quote gratuite saranno progressivamente eliminate e, al contempo, entrerà in vigore il Carbon Border Adjustment Mechanism

(CBAM), che integra il sistema ETS per garantire la competitività delle imprese europee. Gli importatori dovranno acquistare certificati CBAM al prezzo del sistema ETS per coprire le emissioni incorporate nei prodotti importati. **I settori più colpiti da ETS e CBAM hanno però sollevato alcune critiche e dubbi sulla capacità di preservare la competitività delle esportazioni.**

Figura 7

Critiche al sistema ETS e CBAM da parte dei principali settori interessati.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su fonti varie, 2023.

“ Le ultime proposte su ETS e CBAM indeboliscono le disposizioni sulla rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, **aumentano ulteriormente i costi normativi unilaterali e danneggiano la competitività delle industrie europee** sui mercati dell'UE e internazionali.

Lettera aperta di oltre 450 amministratori delegati di industrie ad alta intensità energetica che impiegano circa 2,6 milioni di lavoratori

“ Il CBAM deve essere compatibile con il WTO per **evitare ritorsioni da parte di Paesi terzi** e l'UE dovrebbe avere un'ambizione a lungo termine per un climate club invece di adottare misure unilaterali.

Confederation
of European Business
BUSINESSEUROPE

“ Nella fase iniziale, il **CBAM dovrebbe coesistere con le quote gratuite dell'ETS.**

Koen Coppenhelle,
CEO, CEMBUREAU



“ Poiché le assegnazioni gratuite sono in via di eliminazione e il **CBAM non comporta una compensazione dei costi del carbonio per le esportazioni dell'UE**, i costi finali saranno più elevati e la competitività diminuirà.

Peter Botschek, Director Industrial
Policy and Competitiveness,
European Chemical Industries Council



“ L'**eliminazione graduale delle assegnazioni gratuite potrebbe compromettere la decarbonizzazione**, in quanto le risorse disponibili per gli investimenti diminuirebbero a causa dei maggiori costi di produzione.

Francesc Rubiralta Rubio,
CEO, Eurofer



Al fine di mantenere la competitività industriale, è fondamentale rendere disponibili soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione che consentano alle industrie soggette ai meccanismi ETS di attuare in maniera concreta e sostenibile investimenti in decarbonizzazione già nel breve termine

1 Il sistema di scambio delle emissioni (ETS) dell'UE funziona secondo il principio del “cap-and-trade”. Nell'ambito del sistema ETS dell'UE, i soggetti regolamentati acquistano o ricevono quote di emissioni che possono scambiare tra loro in base alle necessità. Alla fine di ogni anno, i soggetti regolati devono restituire un numero di quote sufficiente a coprire tutte le loro emissioni. Inoltre, l'ETS stabilisce un limite assoluto o “cap” alla quantità totale di determinati gas a effetto serra che possono essere emessi ogni anno dai settori economici coperti. Questo limite viene ridotto nel tempo, in modo che le emissioni totali diminuiscano.

Un secondo elemento da considerare è la pressione competitiva sui “**clean technology demonstration projects**” da parte del resto del mondo. Attualmente, l'Europa sta sviluppando il 54% di tali progetti nei settori Hard to Abate, ma per continuare a

svolgere un ruolo di primo piano nella creazione di nuove filiere green a livello globale, è necessario fare leva su tecnologie di decarbonizzazione scalabili e competitive.

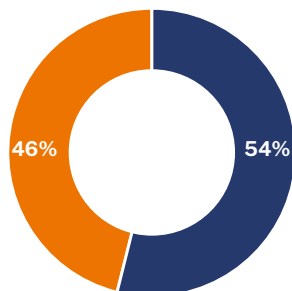
Figura 8

Quota di progetti dimostrativi di tecnologie pulite in Europa rispetto al resto del mondo (a sinistra) e distribuzione dei progetti per settore in Europa (a destra) (% dei progetti), 2015-2030.

Fonte: elaborazione The European House-Ambrosetti su dati IEA, 2023.

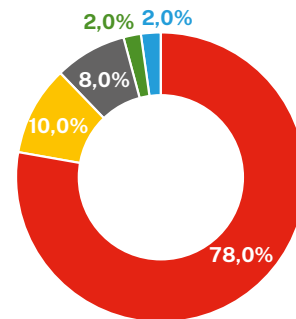
MONDO

- Europa
- Resto del Mondo



PROGETTI IN EUROPA

- Chimico
- Metalli
- Cemento
- Carta
- Trasporto marittimo



Clean technology demonstration project: progetti volti a ridurre le emissioni dei prodotti delle industrie Hard to Abate attraverso modifiche al design della produzione stessa o all'approvvigionamento di materiali sostenibili.

Affinché l'Europa possa continuare a svolgere un ruolo di primo piano nella creazione di nuove filiere green a livello globale, è necessario fare leva su tecnologie di decarbonizzazione scalabili e competitive

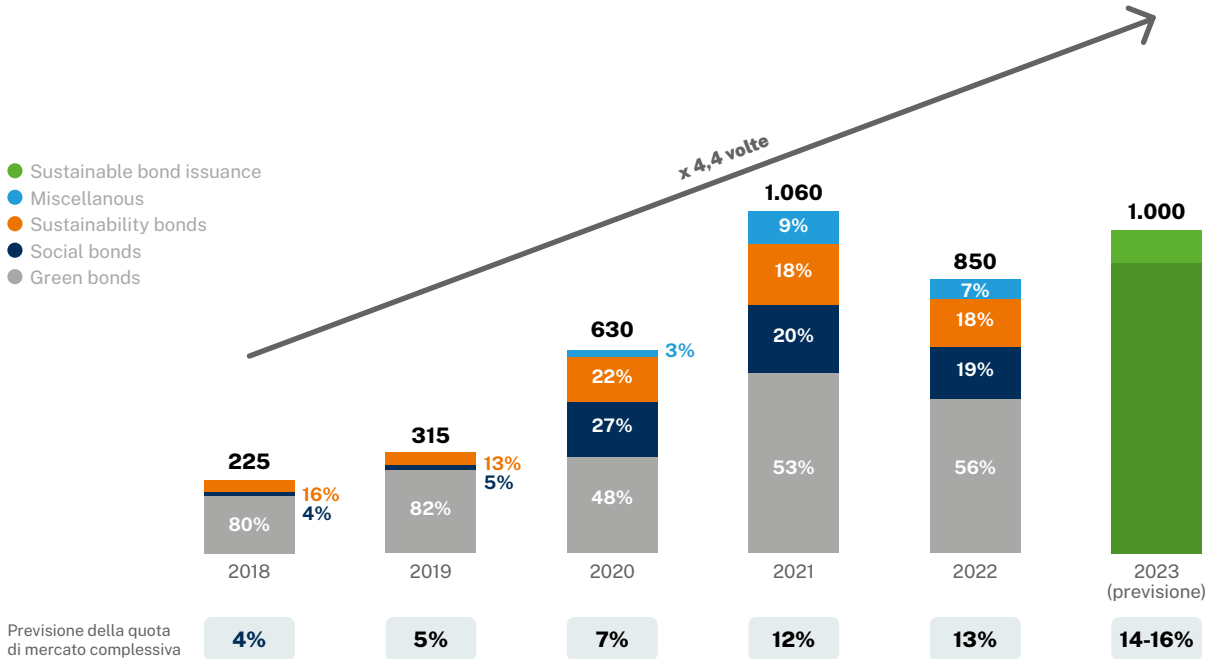
Il terzo e ultimo elemento da considerare è il **crescente interesse dei mercati finanziari verso progettualità con importanti ricadute in termini di sostenibilità** che, oltre a garantire adeguati ritorni sugli investimenti, consentano di migliorare la qualità e la rischiosità dei portafogli di impiego. **Le filiere in grado di ridur-**

re il proprio impatto sul clima attraverso investimenti in grado di contenere le emissioni saranno sempre più avvantaggiate nell'accesso al mercato dei capitali (ad esempio, con tassi di interesse più bassi) rispetto ai concorrenti.

Figura 9

Emissioni globali di obbligazioni sostenibili (miliardi di Dollari), 2018 - 2022 e previsioni 2023.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Standard & Poor's, 2023.



MESSAGGIO CHIAVE 2

La CCS è una soluzione matura, sicura e competitiva. È l'unica opzione praticabile per abbattere le emissioni di processo e una delle migliori opzioni disponibili per abbattere altre emissioni industriali.

L'utilizzo della CCS contribuirà a preservare la competitività dei settori Hard to Abate in Italia, che rappresentano **94 miliardi di Euro di Valore Aggiunto (5% del PIL italiano) e 1,25 milioni di occupati (4,5% della forza lavoro nazionale).** Inoltre, la CCS può contribuire a promuovere lo sviluppo dell'idrogeno, a sostenere la diffusione delle fonti rinnovabili per la decarbonizzazione della rete elettrica, integrandone la natura intermittente e non programmabile con una fonte di energia dispacciabile a basse emissioni di CO₂, e a rendere possibile la generazione di emissioni negative attraverso l'applicazione alle bioenergie o alla cattura della CO₂ direttamente dall'atmosfera.

Vi sono soluzioni tecnologiche per la cattura della CO₂ mature e commercialmente disponibili, con un **Technology Readiness Level (TRL) elevato e un'efficienza di cattura prossima al 90-95%**. Attualmente, sono operativi 30 progetti nel mondo, che catturano e stoccano circa 40 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno. Il primo progetto di Enhanced Oil Recovery (EOR)² risale al 1971 (Terrell,

USA), mentre Sleipner è il primo progetto di stoccaggio geologico (non EOR) operativo dal 1996. Per il trasporto, negli USA sono presenti oltre 50 pipeline di CO₂, per un totale di oltre 8.000km e circa 70 milioni di tonnellate trasportate³. Per lo stoccaggio, la CCS condivide gran parte delle tecnologie di iniezione e monitoraggio con il settore dello stoccaggio del gas naturale.

Figura 11

Soluzioni tecnologiche di CCS, TRL⁴ ed efficienza.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, US National Energy Technology Laboratory e Global CCS Institute, 2023.

Famiglia tecnologica	Tecnologia	TRL	Efficienza di cattura (%)
POST COMBUSTIONE	Assorbimento fisico	9	85-90
	Assorbimento chimico	9	90-95
	Adsorbimento solido fluidizzato (Looping chimico)	7	90-95
	Membrana polimerica	4	80-90
PRE COMBUSTIONE	Assorbimento fisico	9	85-90
	Assorbimento chimico	9	90-95
	Adsorbimento solido static (Pressure/Temperature Swing Adsorption)	9	90-95
	Assorbimento criogenico	8	90-95
OSSICOMBUSTIONE	Combustione di ossigeno puro	6	90-95
	Cicli a CO ₂ supercritica	5	>98

² Le soluzioni di EOR permettono di stoccare la CO₂ all'interno di pozzi non ancora depletati. Tale soluzione non è però considerata all'interno del perimetro del presente Studio Strategico.

³ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

⁴ Il TRL di ciascuna tecnologia è variabile rispetto alle applicazioni (power generation, idrogeno, cemento etc.) e il TRL indicato in figura corrisponde al livello massimo tra i diversi ambiti di applicazione.

MYTHBUSTERS

La CCS è una tecnologia sperimentale ancora in fase di ricerca



La CCS è una soluzione tecnologica matura, conosciuta e testata da decenni
Oggi il know how delle aziende del settore Oil & Gas può essere sfruttato per lo sviluppo di progetti di decarbonizzazione e sostenibilità basati su soluzioni CCS



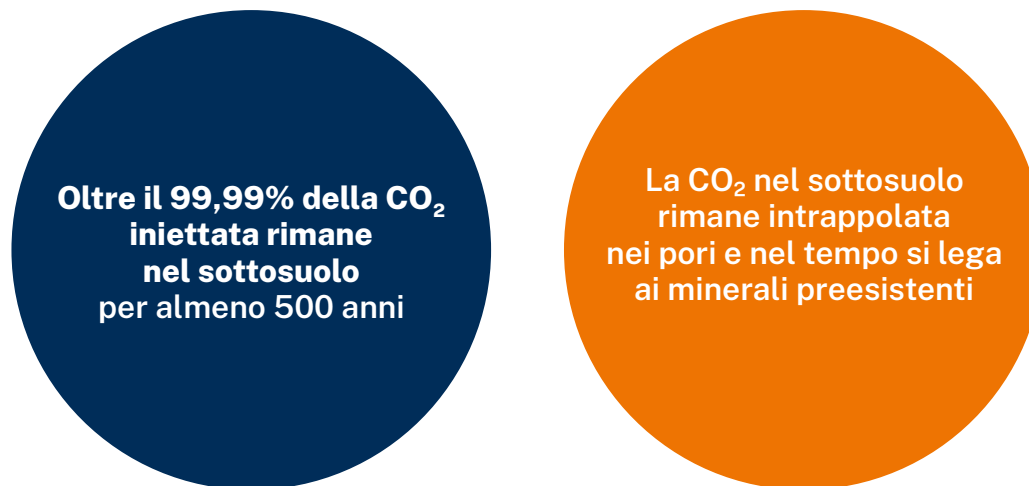
Oltre a essere una soluzione tecnologica matura, la **CCS è sicura**. In Europa, la Direttiva UE sullo stoccaggio di CO₂ del 2009 ha definito una serie di regolamenti e requisiti che garantiscono l'individuazione di siti di stoccaggio adeguati e la sicurezza delle operazioni successive, in quanto delinea un quadro chiaro e completo per valutare, monitorare e gestire in sicurezza i siti di

stoccaggio di CO₂. Le disposizioni della Direttiva stabiliscono importanti prerequisiti tecnici e finanziari per lo sviluppo della CCS in Europa, che garantiscono che gli operatori adottino le massime misure di salvaguardia. Inoltre, diversi modelli teorici hanno dimostrato che **oltre il 99,99% della CO₂ non fuoriesce dai siti di stoccaggio su un periodo di 500 anni**⁵.

Figura 12

Rischio teorico di fuoriuscita della CO₂ dai siti di stoccaggio.

Fonte: The European House - Ambrosetti su Report "CO₂ Storage Safety in the North Sea: Implications of the CO₂ Storage Directive", European Zero Emission Technology and Innovation Platform (2019), 2023.



5 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Report "CO₂ Storage Safety in the North Sea: Implications of the CO₂ Storage Directive", European Zero Emission Technology and Innovation Platform (2019), 2023.

MYTHBUSTERS

La CCS non è sicura perché può causare esplosioni o fughe di CO₂



La CO₂ è un gas inerte, non infiammabile, non esplosivo. Il trasporto della CO₂ è basato su tecnologie mature, applicate in sicurezza da decenni in diversi settori industriali. Le perdite dai siti di stoccaggio sono altamente improbabili e mai accadute in passato. Anche nell'improbabile eventualità di perdite, queste non costituirebbero un rischio per la sicurezza, ma una re-immisione in atmosfera di CO₂. Inoltre lo stoccaggio della CO₂ condivide la maggior parte della tecnologia e del know how con lo stoccaggio del gas naturale, un settore con ottimi standard di sicurezza dove l'industria dell'energia ha esperienza decennale



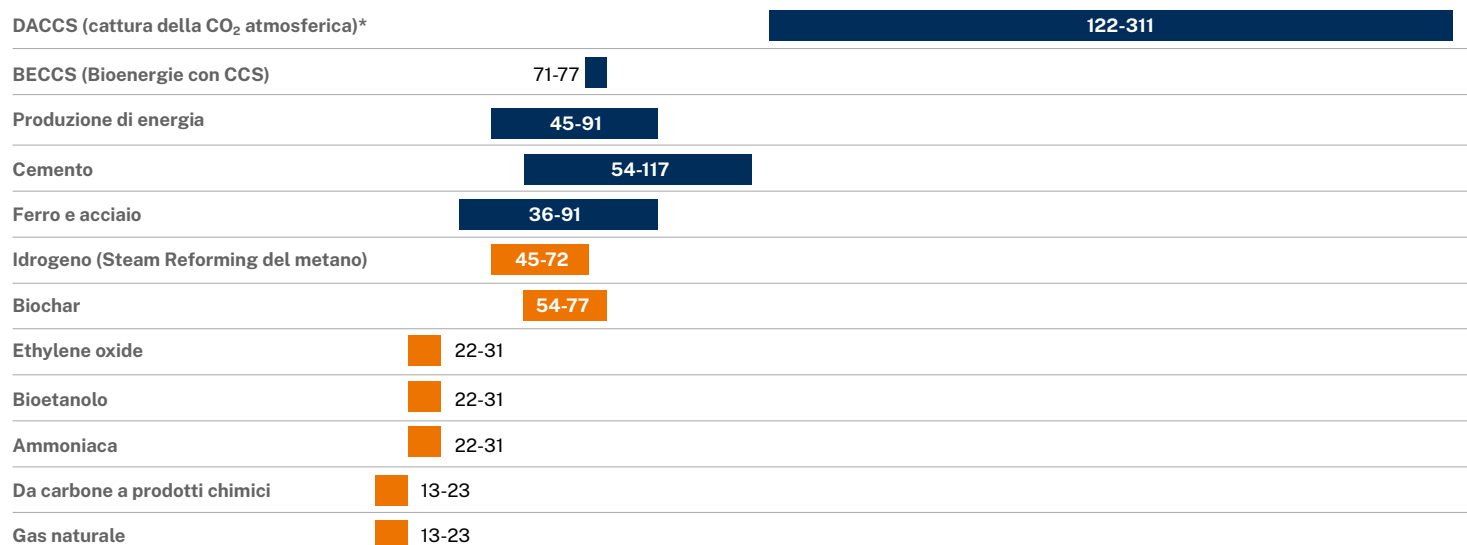
Il costo della cattura della CO₂ dipende in larga misura dalla concentrazione di CO₂ della fonte emissiva, dalla pressione e dalla temperatura. Nonostante la maturità delle tecnologie di cattura, **i costi potranno essere ottimizzati sfruttando un approccio di portafoglio tecnologico e un aumento del know how associato**

alla capacità di integrazione nelle diverse tipologie di impianti industriali. È quindi fondamentale accelerare l'applicazione pratica su scala industriale delle tecnologie CCS più mature, al fine di generare conoscenze sull'integrazione di diverse soluzioni, sviluppare il mercato e ridurre i costi.

Figura 13

Costo livellato della cattura⁶ di CO₂ per settore e concentrazione iniziale di CO₂, (Euro/Ton CO₂), ultimi dati disponibili.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA e Report "Realizing Carbon Capture and Storage (CCS) technologies globally", DNV (2023), 2023.



*Secondo alcuni studi, il costo della DACCS può raggiungere i 600 Dollari (553 Euro) per tonnellata di CO₂.
Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Bloomberg e World Resources Institute, 2023.

Nota: Questi costi non includono i costi di trasporto e di stoccaggio

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su analisi IEA, basate su GCCSI (2017), Global costs of carbon capture and storage, 2017; IEAGHG (2014), CO₂ capture at coal based power and hydrogen plants; Keith et al. (2018), A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere; NETL (2014), Cost of capturing CO₂ from Industrial sources; Rubin, E. S., Davison, J. E. and Herzog, H. J (2015), The cost of CO₂ capture and storage.

● Bassa concentrazione di CO₂
● Alta concentrazione di CO₂

6 I costi di cattura non includono i costi di trasporto e di stoccaggio.

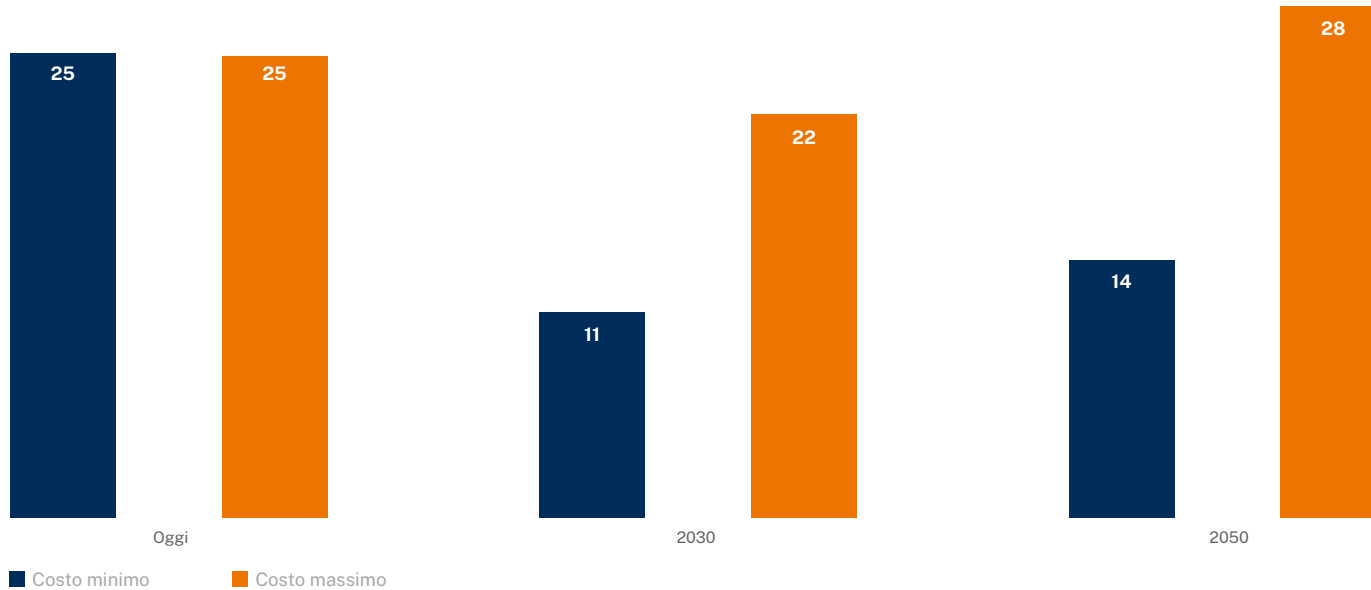
Inoltre, volumi elevati di cattura consentono di ottimizzare il costo complessivo della CCS: maggiore è il numero di emettitori che partecipano a un progetto CCS, minori sono i costi complessivi. Inoltre, **per abilitare la CCS, l'infrastruttura di trasporto, intesa come pipeline, ha un ruolo fondamentale**: anche se nei costi ha un peso ridotto rispetto alle altre componenti, ha tem-

pi di sviluppo importanti che necessitano chiarezza normativa e regolatoria ed è imprescindibile per la realizzazione dei progetti. **I gestori delle reti di gas sono ottimamente posizionati per lo sviluppo di questa infrastruttura grazie al know how acquisito nello sviluppo e nella gestione dell'infrastruttura di trasporto molecole e di gestione business regolato/semi-regolato.**

Figura 14

Differenza percentuale tra il costo livellato della CCS, progetti autonomi vs. hub⁷ multiutente (valore percentuale).

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati Wood Mackenzie, Paper "Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonisation of the EU power sector", Pietzcker et AL., Potsdam Institute for Climate Impact Research (2023), 2023.



⁷ Hub CCS: i progetti di cattura sono sviluppati separatamente da quelli di trasporto e stoccaggio; la CO₂ viene catturata da diverse industrie. Northern Lights e East Coast Cluster sono gli unici hub analizzati nello studio Postdam Institute.

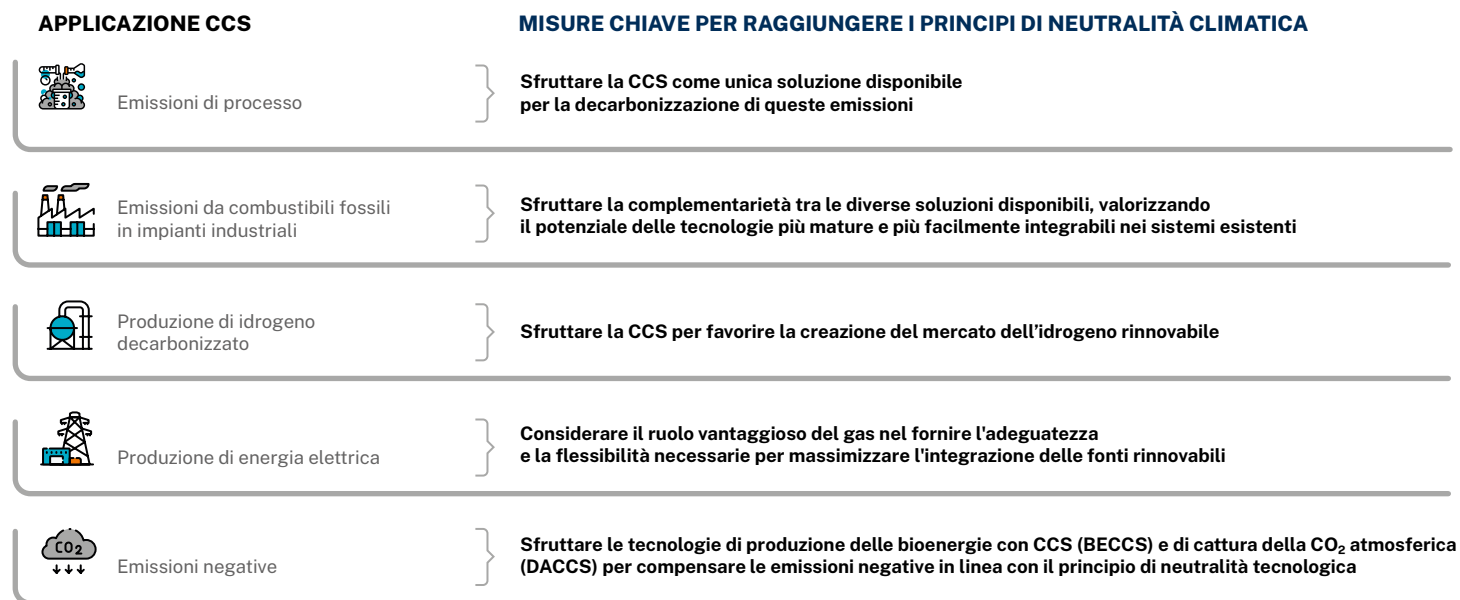
Viste le caratteristiche della CCS relative a maturità, sicurezza e possibilità di comprimere i costi attraverso la sperimentazione e progetti di ampio respiro, la CCS sta ricevendo molta attenzione in UE, diversificata in base al settore di applicazione e all'ambito emissivo di riferimento a cui viene applicata. Per promuovere la diffusione delle soluzioni di CCS e raggiungere gli obiettivi

climatici, sarà fondamentale **applicare i principi di neutralità tecnologica e sfruttare la complementarità tra le soluzioni disponibili per la decarbonizzazione**. La bozza del PNIEC italiano, consegnata a fine giugno 2023, si ispira a tali principi e può essere considerato un primo strumento per aprire la strada a considerazioni strutturate in UE.

Figura 15

Focus delle istituzioni UE per i diversi ambiti di utilizzo della CCS.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



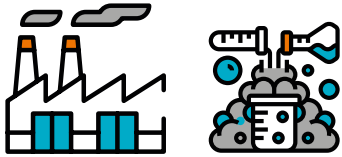
Sulla base di un'attenta analisi dei contesti applicativi attenzionati in UE, di una revisione di 160 paper accademici e delle evidenze emerse dall'attività di stakeholder engagement, che ha visto il coinvolgimento di 63 attori interessati alla CCS tra player industriali, rappresentanti di centri di ricerca e Istituzioni,

The European House - Ambrosetti ha identificato **quattro ambiti di applicazione della CCS prioritari**: emissioni di processo e di combustione di fonti fossili nelle industrie Hard to Abate, generazione di energia da combustibili fossili, idrogeno ed emissioni negative.

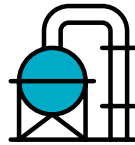
Figura 16

Focus dello Studio Strategico per i diversi ambiti di utilizzo della CCS.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



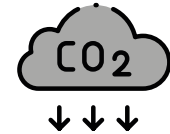
**Emissioni di processo
e di combustione
in industrie Hard to Abate**



Idrogeno



**Produzione
di energia elettrica**

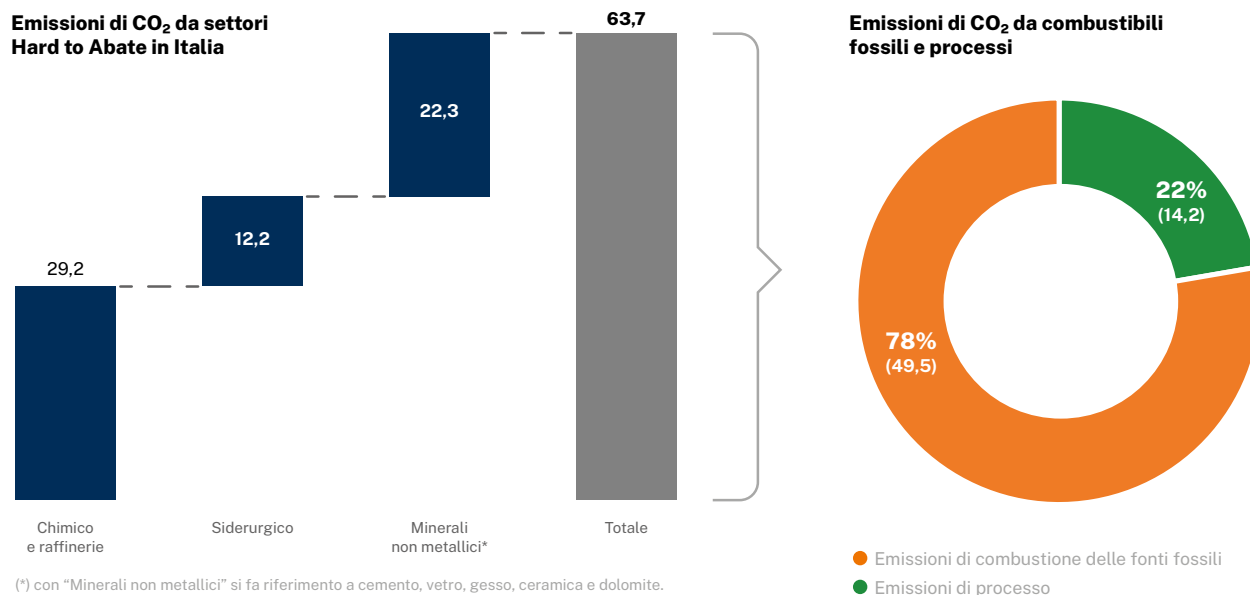


Emissioni negative

Considerando il primo ambito applicativo, a livello nazionale, i **settori industriali Hard to Abate⁸ emettono un totale di 63,7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno**, di cui il 78% da emissioni da combustibili fossili e il 22% da processi industriali.

Figura 17
Emissioni di CO₂ da settori Hard to Abate in Italia (Mton CO₂), 2021 ed emissioni di CO₂ da combustibili fossili e processi (valore percentuale e Mton di CO₂), 2021.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ispra, 2023.



- 8** Il settore di produzione della carta è considerato Hard to Abate in quanto gran parte delle emissioni sono biogeniche e quindi l'elettrificazione non risulta un'alternativa valida dal punto di vista economico e ambientale. Il settore non è però incluso nel presente studio in quanto le emissioni -5,3 milioni di tonnellate di CO₂ nel 2021 - sono residuali rispetto ai settori Hard to Abate considerati.

Le emissioni dei settori Hard to Abate possono essere ridotte con diverse leve tecnologiche quali elettrificazione, efficienza energetica, bioenergie, idrogeno e variazione delle materie prime, ma **il 48% delle emissioni potrà essere abbattuta solo attraverso la CCS** per due ragioni: in primo luogo, complessivamente, **il 22% delle emissioni proviene dal processo produttivo legato a reazioni chimiche o fisiche**; in secondo luogo, larga parte della domanda energetica dei settori Hard to Abate è utilizzata per fornire calore ad alta temperatura. **Il passaggio da combustibili fossili a combustibili a basso contenuto di CO₂ per gene-**

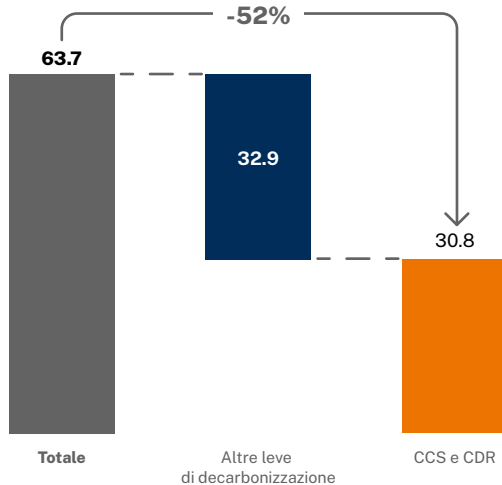
rare questo calore richiederebbe modifiche agli impianti e un aumento sostanziale del fabbisogno di elettricità rinnovabile. Inoltre, **convertire i processi di produzione basati su combustibili fossili con tecnologie elettriche o basate sull'idrogeno richiede riconfigurazioni importanti degli assetti produttivi con investimenti iniziali e costi operativi elevati.** Nei prossimi anni, sarà fondamentale sfruttare tutte le leve disponibili per decarbonizzare le industrie Hard to Abate e preservarne la competitività, specialmente considerando il peso significativo delle stesse a livello economico e sociale.

Figura 18

Leve per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate (Mton CO₂), 2021 e rilevanza economica e sociale dei settori Hard to Abate.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ispra e Istat, 2023.

Leve per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate



Rilevanza economica e sociale dei settori Hard to Abate



94

miliardi di Euro

Valore Aggiunto dei settori HTA a livello italiano (**35%** del Valore Aggiunto nel settore manifatturiero; **5%** del PIL)



1,25

milioni

dipendenti nelle industrie HTA* a livello italiano (**32%** degli occupati nel settore manifatturiero; **4,5%** del totale degli occupati italiani)

Il secondo ambito di applicazione della CCS indagato nel presente Studio Strategico è l'idrogeno. Ad oggi, in Europa, il 98% dell'idrogeno è prodotto da fonti fossili. La CCS può essere utilizzata per rendere low carbon la produzione di questo tipo di idrogeno così da rendere sostenibile l'idrogeno da fonte fossile. **La produzione di idrogeno da steam reforming del gas natura-**

le associate alla CCS (c.d. idrogeno decarbonizzato) è da perseguire in sinergia con le altre forme di produzione di idrogeno rinnovabile⁹; in quanto tale, è necessario sfruttarla per rendere sostenibile l'idrogeno da fonti fossili e abilitare la produzione di volumi large scale e programmabili, necessari allo sviluppo della filiera dell'idrogeno in UE.

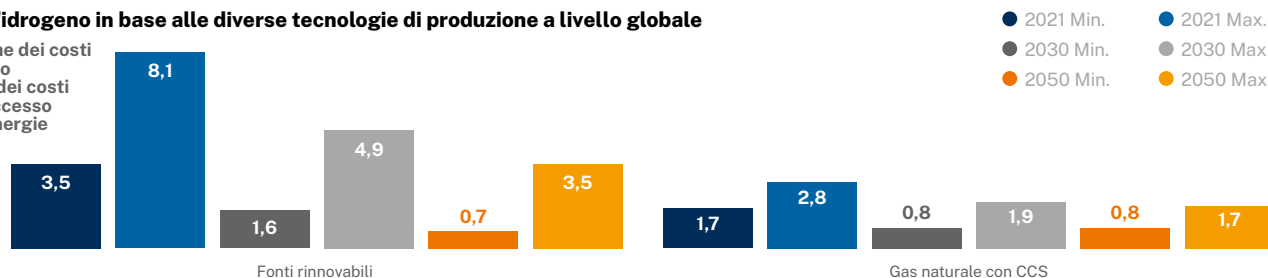
Figura 19

Costo dell'idrogeno in base alle diverse tecnologie di produzione (Euro/Kg H₂), 2022. Produzione di idrogeno per Fonte, in UE (%), 2020.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA e Commissione europea, 2023.

Costo livellato dell'idrogeno in base alle diverse tecnologie di produzione a livello globale

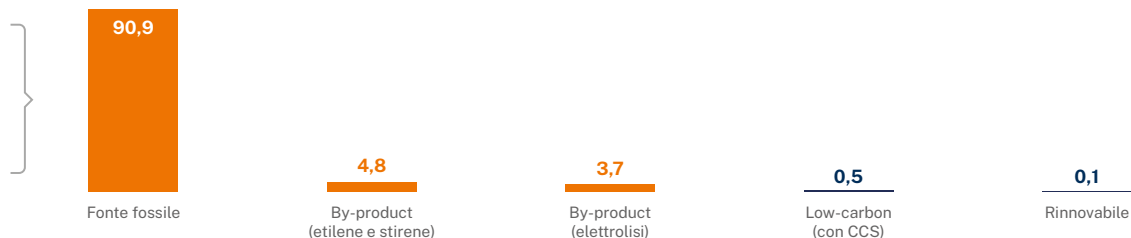
Gli intervalli delle stime dei costi di produzione riflettono le variazioni regionali dei costi e delle condizioni di accesso e disponibilità delle energie rinnovabili.



Fonte di produzione di idrogeno, in UE

11,5 Mt

di idrogeno prodotto in UE nel 2020



- 9** La normativa europea considera l'idrogeno "low-carbon", quando il relativo contenuto energetico è derivato da fonti non rinnovabili con una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra pari al 70%. In attesa di sviluppi nelle tecnologie di CCS che consentano di migliorare ulteriormente le capacità di abbattimento, seguendo il principio della neutralità tecnologica, è già oggi possibile abbattere completamente le emissioni della produzione di idrogeno da fonti fossili abbinando alla CCS diretta una compensazione di CO₂ con tecnologie di Carbon Dioxide Removal dalle biomasse (BECCS) o dall'aria (DACCS).

Entro il 2030, il Piano REPowerEU, che prevede l'importazione di 10 milioni di tonnellate di idrogeno e la produzione della stessa quantità in UE non fa sufficientemente leva sulla disponibilità di idrogeno che sarà possibile produrre da fonte fossile e decarbonizzato tramite CCS, rischiando così di perdere l'opportunità di sfruttare gli asset e il know how associati allo steam reforming. **Secondo un principio di neutralità tecnologica, la decarbonizzazione attraverso la CCS**

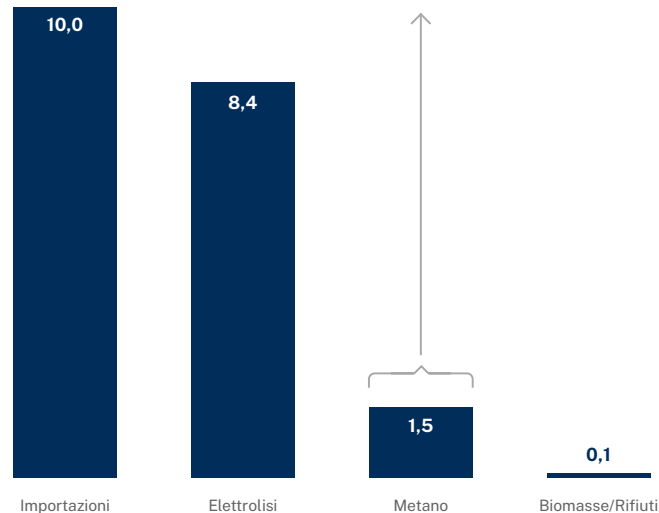
degli 11,2 milioni di tonnellate di idrogeno di origine fossile prodotti oggi non dovrebbe essere ostacolata. In ultimo, l'idrogeno low carbon potrà essere sfruttato in sinergia con l'idrogeno rinnovabile soprattutto in geografie non particolarmente favorevoli allo sviluppo delle fonti rinnovabili – sia per caratteristiche geografiche, sia per scarsa disponibilità di suolo – e come forma di produzione maggiormente programmabile per garantire la sicurezza energetica.

Figura 20

Fonti di produzione dell'idrogeno in UE secondo la European Hydrogen Strategy (Mton di Idrogeno), 2030.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.

Secondo il principio di neutralità tecnologica, la decarbonizzazione attraverso la CCS degli 11,2 Mton di idrogeno di origine fossile prodotti oggi non dovrebbe essere ostacolata



Il Piano REPowerEU, pubblicato a maggio 2022, non contiene indicazioni rispetto alle modalità di produzione delle 10 Mton di idrogeno rinnovabile. Nelle analisi di The European House - Ambrosetti sono state considerate le quote di produzione dell'idrogeno sostenibile indicate nella European Hydrogen Strategy, pubblicata a luglio 2020.

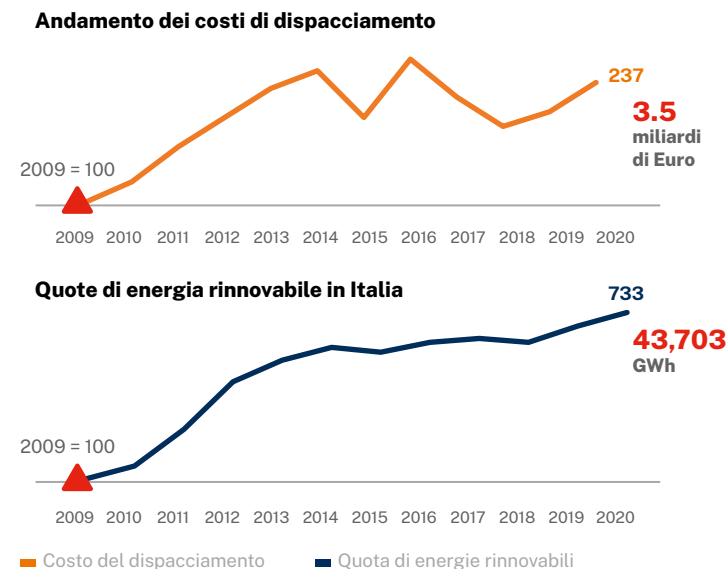
Le soluzioni di CCS avranno un ruolo chiave nella decarbonizzazione dei sistemi energetici. Infatti, sebbene la quota di energia generata da fonti fossili si ridurrà progressivamente nei prossimi anni, sarà comunque necessaria per assicurare la flessibilità e la stabilità dei sistemi energetici. Inoltre, tra il 2009 e il 2020, la quota di produzione energia da fonti rinnovabili non program-

mabili¹⁰ è aumentata del 633% in Italia¹¹; nello stesso arco temporale, il costo del dispacciamento dell'energia è aumentato del 137%¹². La spinta verso le rinnovabili, oltre a un problema di esigenze di gestione dell'energia (batterie e programmazione dei consumi) comporta un aumento dei costi a carico del sistema.

Figura 21

Andamento dei costi di dispacciamento (sinistra in alto) e quote di energia rinnovabile (sinistra in basso) in Italia (percentuali, 2009=100), 2009-2020. Fornitura oraria di energia al netto della generazione variabile da fonti rinnovabili in un giorno rappresentativo (destra), 2010 vs. oggi, vs. previsione al 2025, vs. previsione al 2030.

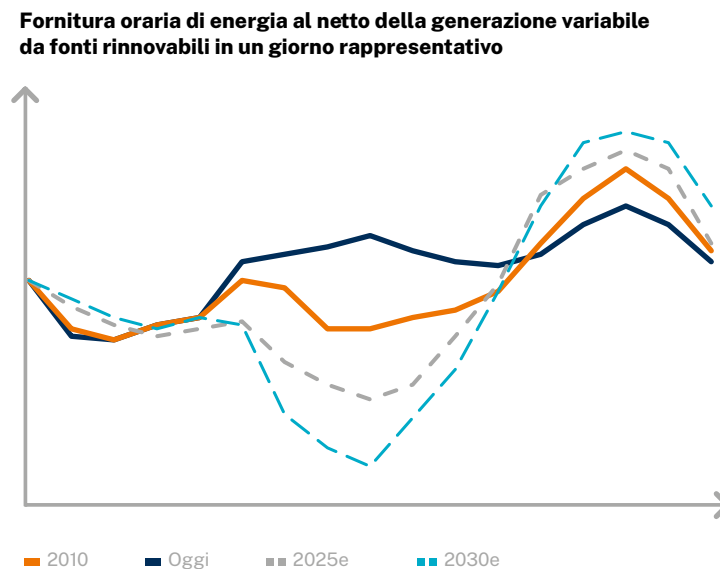
Fonte: The European House - Ambrosetti su dati ARERA, Eurostat e dati di mercato, 2023.



¹⁰ Eolico e solare.

¹¹ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023.

¹² Fonte: The European House - Ambrosetti su dati ARERA, 2023.



In Italia, si prevede che il **fabbisogno di “energia flessibile” aumenterà di oltre 8 volte entro il 2050 e sarà pari al 19% della domanda totale di elettricità** (+13 p.p. rispetto al 2021). Per essere considerata sostenibile, **è necessario che la strategia di decarbonizzazione tenga in considerazione i crescenti problemi di in-**

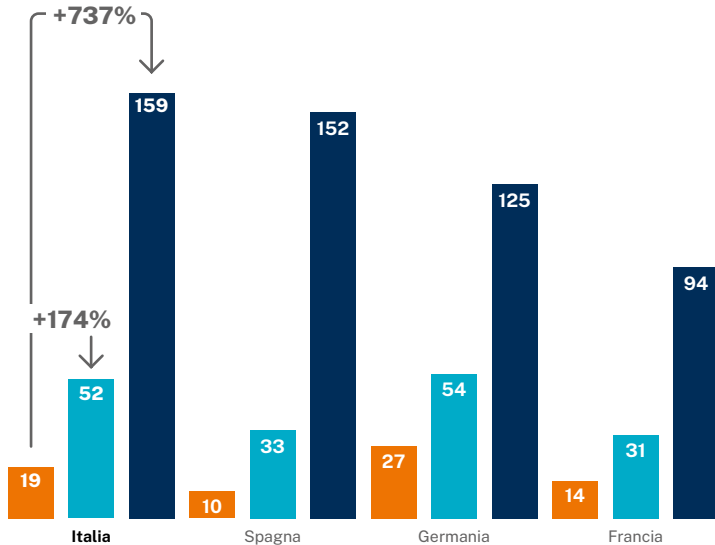
termittenza, le esigenze di flessibilità associate alle rinnovabili. È quindi fondamentale individuare il pacchetto di soluzioni che consenta di reperire le diverse forme di flessibilità necessarie per assicurare la stabilità del sistema elettrico, anche in considerazione della crescita complessiva dei consumi di energia elettrica.

Figura 22

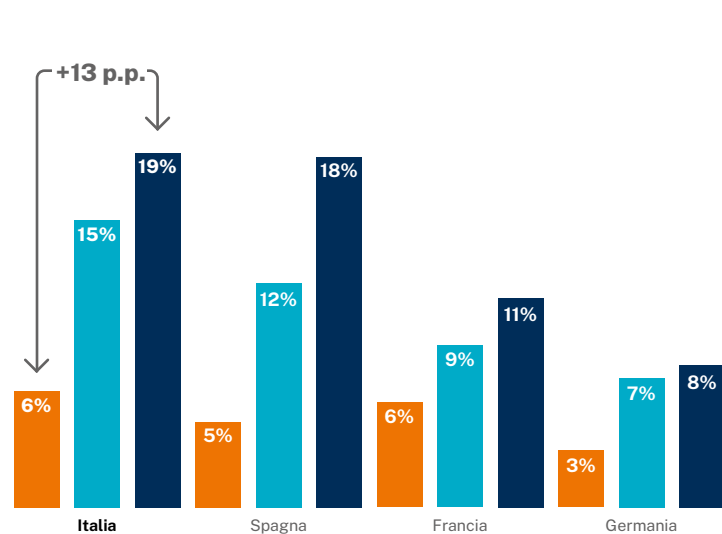
Requisiti giornalieri di flessibilità (basato sui modelli energetici dell'UE, TWh/a), 2021, 2030 e 2050 e quota giornaliera del fabbisogno di flessibilità sulla domanda totale nel 2050 (basato sui modelli energetici dell'UE), 2021, 2030 e 2050.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Joint Research Center, 2023.

Requisiti giornalieri di flessibilità



Quota giornaliera del fabbisogno di flessibilità sulla domanda totale nel 2050



● 2021 ● 2030 ● 2050

Entro il 2030, quasi il 22% della flessibilità giornaliera del sistema elettrico europeo sarà ancora fornita da combustibili fossili, tra cui carbone e gas naturale. **L'Italia baserà il 24% della flessibilità giornaliera del suo sistema elettrico sul gas naturale.** Complessivamente, entro il 2050, il gas naturale genererà 59

TWh di energia elettrica per assicurare la flessibilità del sistema energetico, corrispondenti a circa 17,7 milioni di tonnellate di CO₂, 3 volte il valore stimato nel 2030. In tale scenario, **la CCS può essere sfruttata per decarbonizzare le emissioni della quota di gas richiesta per la produzione di energia elettrica.**

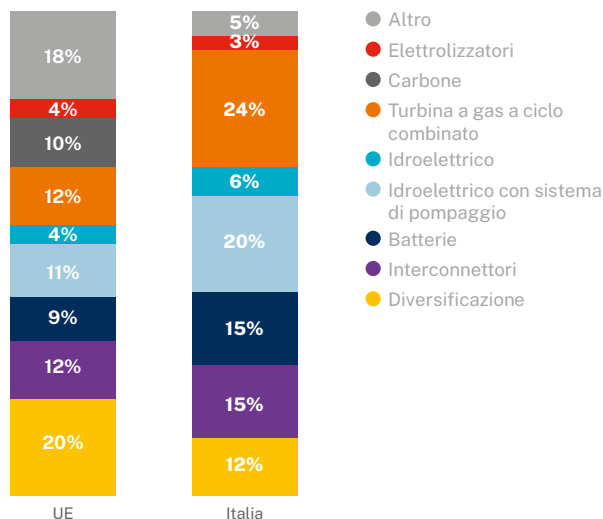
Figura 23

Contributo alla flessibilità giornaliera del sistema energetico per tecnologia nell'UE e in Italia (%), 2030.

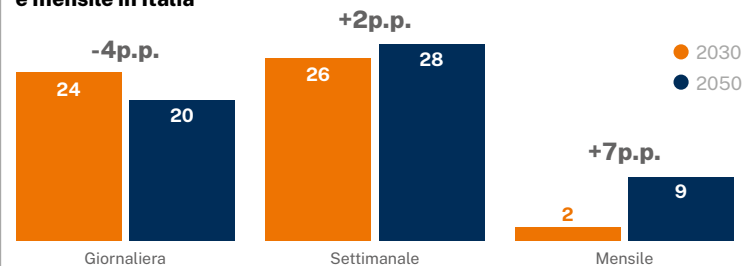
Quota del gas nella flessibilità giornaliera, settimanale e mensile in Italia (% e var. p.p.), 2030 e 2050. Elettricità generata da gas per esigenze di flessibilità (TWh) ed emissioni di CO₂ da generazione di gas per esigenze di flessibilità (Mton CO₂), 2030 e 2050.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ipsra e JRC, 2023.

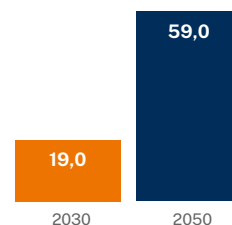
Contributo alla flessibilità giornaliera del sistema energetico per tecnologia nell'UE e in Italia



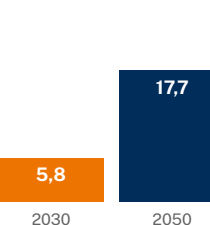
Quota del gas nella flessibilità giornaliera, settimanale e mensile in Italia



Elettricità generata da gas per esigenze di flessibilità



Emissioni di CO₂ da generazione di gas per esigenze di flessibilità



L'ultimo ambito di applicazione della CCS analizzato riguarda le emissioni negative. Tra le diverse opzioni disponibili, BECCS (Bioenergie con CCS) e DACCS (Direct Air CCS) sfruttano pro-

cessi ingegnerizzati per “generare” emissioni negative sottraendo CO₂ dall'atmosfera. **Tali processi possono essere utilizzati per compensare altre emissioni non evitabili** (es. agricoltura).

Figura 24

Soluzioni tecnologiche per il raggiungimento di emissioni negative.

Fonte: Rapporto Strategico “Zero Carbon Technology Roadmap”, The European House - Ambrosetti, 2023.

STOCCAGGIO GEOLOGICO

Bioenergie con CCS (BECCS)

Cattura e stoccaggio della CO₂ nel processo di estrazione dell'energia dalle biomasse



Cattura della CO₂ atmosferica (DACCS)

Cattura della CO₂ direttamente dall'atmosfera



STOCCAGGIO BIOGENICO

Biochar

Pirolisi o gassificazione di biomasse, il carbone risultante può essere sparso sui campi, agendo come ammendante del suolo



CO₂ immagazzinata permanentemente nel suolo

Afforestamento e riforestazione

Imboschimento e riforestazione per immagazzinare la CO₂ all'interno delle biomasse (alberi) permanentemente



Abilità naturale di catturare e stoccare la CO₂

Stoccaggio di CO₂ sotterraneo

LA CCS APPLICATA ALLA PRODUZIONE DI BIOENERGIA E DIRETTAMENTE ALLA CO₂ PRESENTE IN ATMOSFERA PERMETTE DI RAGGIUNGERE EMISSIONI NEGATIVE



Macrocategorie	Tecnologia	TRL
BECCS	Le tecnologie CCS possono essere sfruttate grazie a livelli di concentrazione di CO ₂ simili	9
DACCS	Liquida	6
	Solida	6

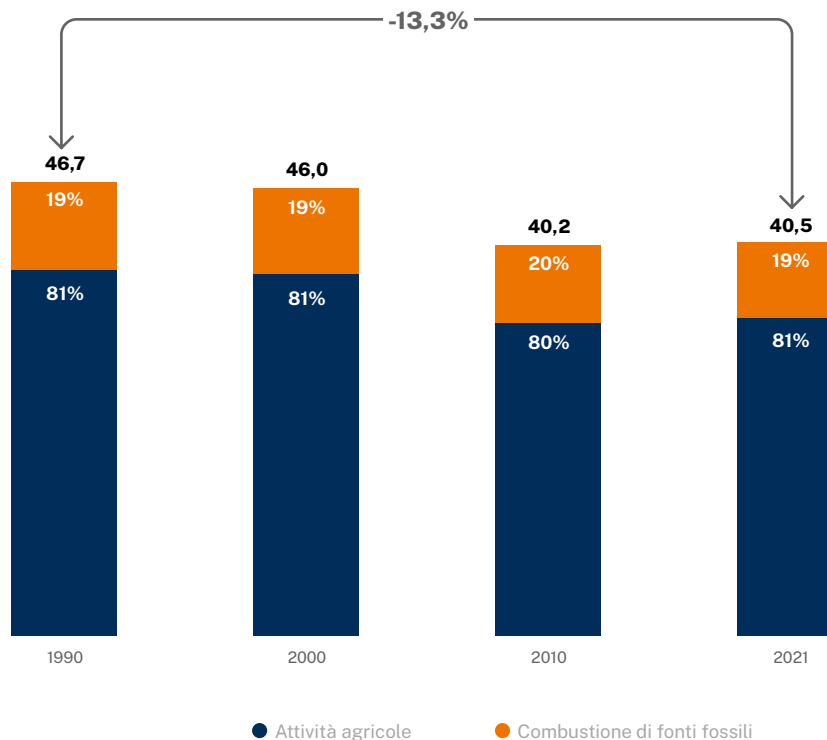
Il settore agricolo richiederà tecnologie di rimozione della CO₂ atmosferica (BECCS e DACCS) per compensare le emissioni che non potranno essere abbattute con altre leve tecnologiche dirette, in quanto le emissioni non associate alla combustione di fonti

fossili rappresentano circa **l'80% delle emissioni del settore e sono legate**, ad esempio, **alla fermentazione enterica o altri processi le cui emissioni non hanno altre leve di riduzione delle emissioni, fuorché la compensazione delle stesse.**

Figura 25

Emissioni di CO_{2eq} dal settore agricolo (Mton CO_{2eq}), 1990, 2000, 2010 e 2021.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023.



Inoltre, **DACCUS (DACCS con l'utilizzo di CO₂) e BECCUS (BECCS con l'utilizzo di CO₂)** potranno contribuire attivamente alla **catena del valore dei combustibili sintetici**, ma solo in uno scenario di surplus di elettricità rinnovabile nel lungo termine, in cui

i combustibili sintetici potranno essere sfruttati come fonte di flessibilità dove "immagazzinare" l'energia elettrica rinnovabile prodotta in eccesso.

Figura 26

Input e output per la produzione di carburanti sintetici e perdita di efficienza nella produzione di idrogeno da elettrolisi e carburanti sintetici, (% TWh di elettricità rinnovabile = 100).

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2023.

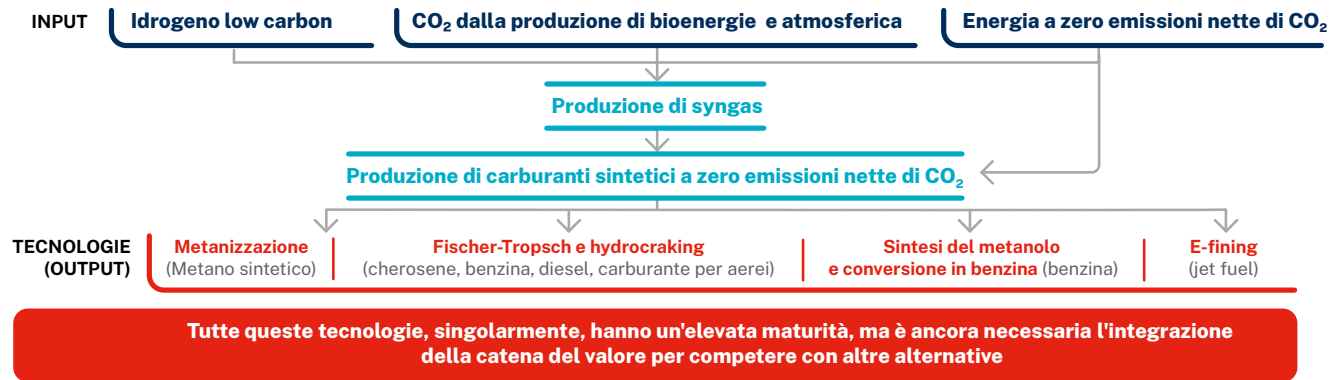
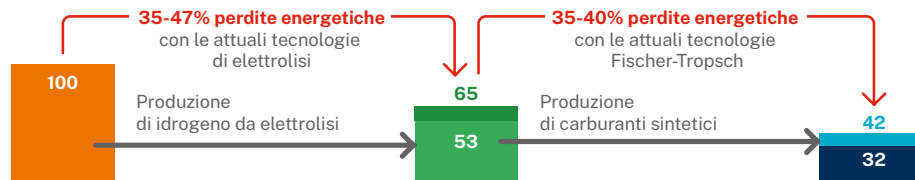


Figura 27

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



MESSAGGIO CHIAVE 3

La CCS rappresenta una soluzione tecnologica per accompagnare la transizione verde in sinergia con le altre leve per la decarbonizzazione quali, ad esempio, le fonti rinnovabili, l'elettrificazione e l'efficienza energetica. La consapevolezza delle autorità italiane ed europee circa la necessità di sfruttare tutte le leve possibili per la decarbonizzazione, tra cui la CCS, è in continua crescita. In considerazione dell'imminente tornata elettorale europea e del tempo necessario all'UE per stabilizzarsi e riprendere un'attività legislativa, **l'Italia può ricoprire un ruolo centrale per la definizione di un quadro competitivo in grado di attrarre investimenti e facilitare l'avvio di progetti.**

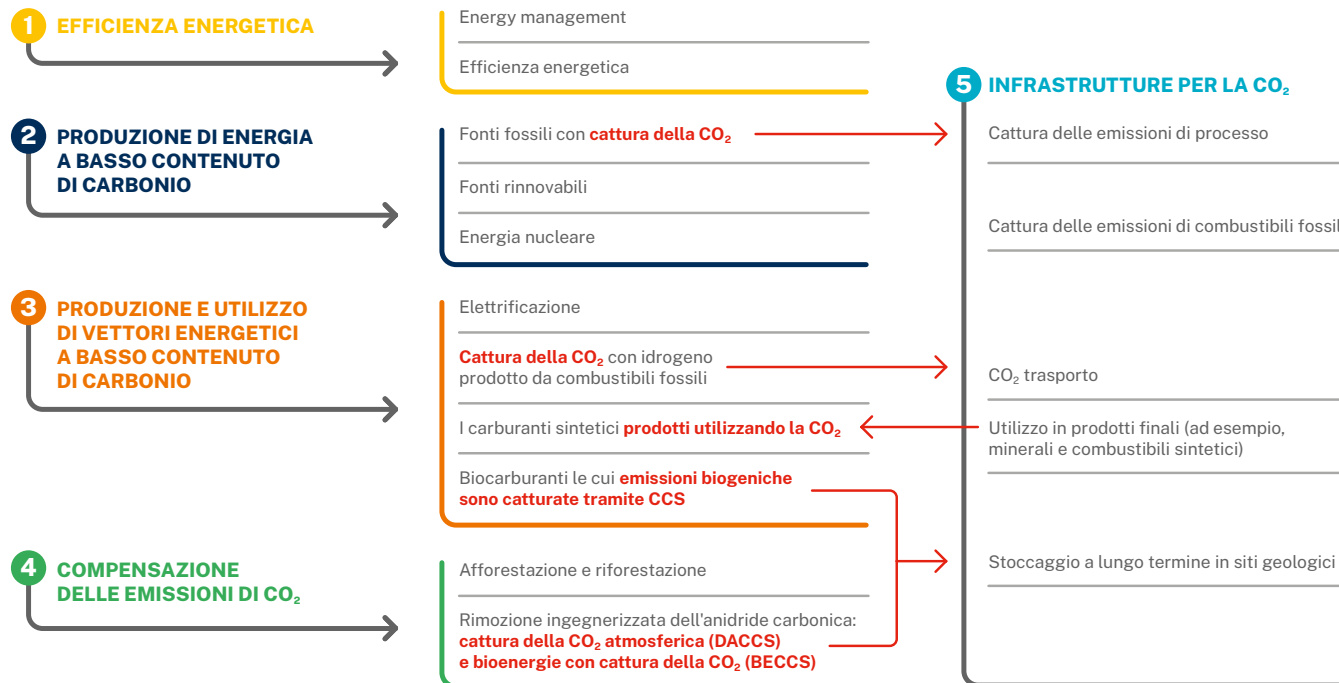
Nel 2022, The European House - Ambrosetti ha mappato 100 tecnologie per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, da sfruttare sinergicamente, nei diversi ambiti di utilizzo, secondo un principio di neutralità tecnologica. Le tecnologie possono essere raggruppate in cinque leve tecnologiche: efficienza energetica, produzione di energia a basso contenuto di carbonio,

produzione e utilizzo di vettori energetici a basso contenuto di carbonio, compensazione delle emissioni e infrastrutture per la CO₂. Come si evince dalla figura seguente, **le tecnologie e le infrastrutture per il trasporto, l'utilizzo o lo stoccaggio della CO₂ hanno un ruolo abilitante a supporto di altre soluzioni per la decarbonizzazione.**

Figura 28

Leve di decarbonizzazione.

Fonte: Studio Strategico "Proposal for a Zero Carbon technology roadmap", The European House - Ambrosetti (2022), 2023.



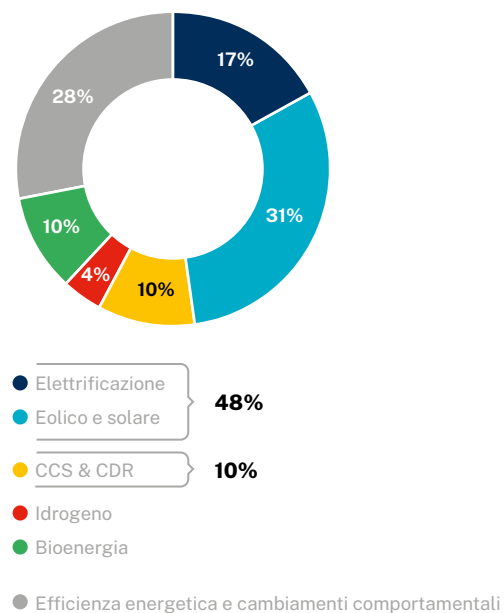
Negli scenari IEA, la **Carbon Capture and Storage (CCS)** e la **Carbon Dioxide Removal (CDR)** sono tra le **soluzioni tecnologiche necessarie per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e contribuiranno a una riduzione del 10% delle emissioni**

di CO₂ globali tra il 2020 e il 2050. Alcuni scenari di completa decarbonizzazione elaborati dall'IPCC prevedono un ruolo per la CCS e la CDR fino a 4 volte maggiore rispetto all'IEA.

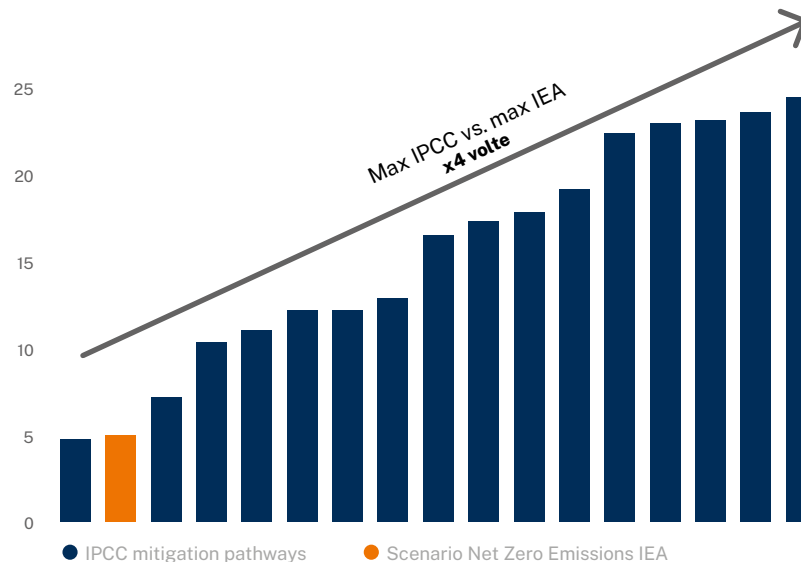
Figura 29

Quota del contributo di ciascuna misura di mitigazione (% di riduzione delle emissioni totali), 2020-2050 (sinistra); CCS negli scenari a zero emissioni entro il 2050 (Gton CO_{2eq}), 2050 forecast (destra).

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA "Energy Technology Perspective" e IPCC, 2023.



L'IPCC ha previsto 90 diversi scenari che hanno almeno il 50% di possibilità di limitare il riscaldamento a 1,5°C nel 2100. Solo 16 di questi scenari prevedono emissioni nette zero di CO_{2eq} nel settore energetico e nelle attività industriali nel 2050.



MYTHBUSTERS

La CCS non è un modo efficace per abbattere la CO₂, ma una scusa per mantenere in vita processi industriali e di approvvigionamento energetico altamente inquinanti



Secondo una logica di portafoglio e di neutralità tecnologica, la CCS è una delle tecnologie indispensabili per la decarbonizzazione dei sistemi industriali e della produzione di energia, insieme alla riduzione dell'uso dei combustibili fossili (come indicato dagli scenari IEA e IPCC).



Nel contesto europeo, ma anche su scala globale, la Norvegia è il Paese più all'avanguardia per quanto riguarda la realizzazione di progetti CCS. Ad oggi, tutti i progetti CCS operativi su scala commerciale in Europa si trovano nel Nord Europa. Sono però in fase di costruzione o pianificazione altri 60 progetti che, nella maggioranza dei casi, insistono su giacimenti di gas depletati o acquiferi salini nel mare del Nord. In questo contesto, **il progetto CCS di Ravenna rappresenta un'opportunità unica per creare un hub di decarbonizzazione per il Sud Europa. Quando sarà in funzione a pieno regime, il progetto di**

Ravenna sarà tra i principali hub a livello mondiale e potrà favorire l'accesso a questa tecnologia nella più ampia area mediterranea, oltre che a costituire un notevole vantaggio competitivo per le industrie Hard to Abate della zona, che potranno utilizzare anche questo strumento per ridurre le loro emissioni. Il progetto CCS di Ravenna rappresenta dunque un'opportunità unica per sostenere il posizionamento dell'Italia quale Paese di riferimento per la decarbonizzazione del Sud Europa, grazie al suo posizionamento strategico e la capacità di stoccaggio.

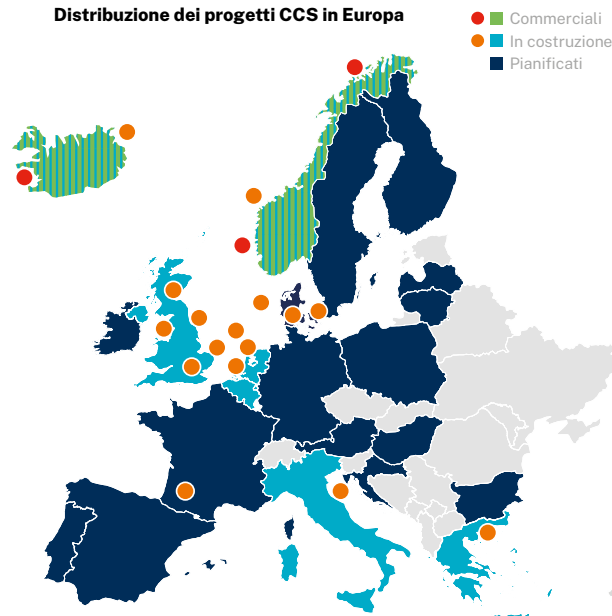
Figura 30

Distribuzione dei progetti CCS in Europa¹³.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.



In totale, ci sono altri **44 progetti** in fase di sviluppo in Europa

Distribuzione dei progetti CCS in Europa

¹³ Dei 60 progetti in fase di sviluppo in Europa, i 16 evidenziati sono stati selezionati in base agli esempi indicati durante le attività di stakeholder engagement (Tavoli di Lavoro e interviste riservate).

MYTHBUSTERS

La CCS viene adottata soprattutto perché consente di estrarre ciò che rimane nei giacimenti di petrolio e gas



Anche se l'iniezione della CO₂ è stata inizialmente utilizzata per aumentare la capacità di estrazione dei combustibili fossili nelle operazioni delle società energetiche, ad oggi i progetti commerciali attivi in Europa, così come gli hub CCUS in fase di sviluppo, sono esclusivamente dedicati allo stoccaggio geologico della CO₂ per scopi ambientali, escludendo di fatto l'uso della CCS per estrarre ulteriori combustibili fossili.



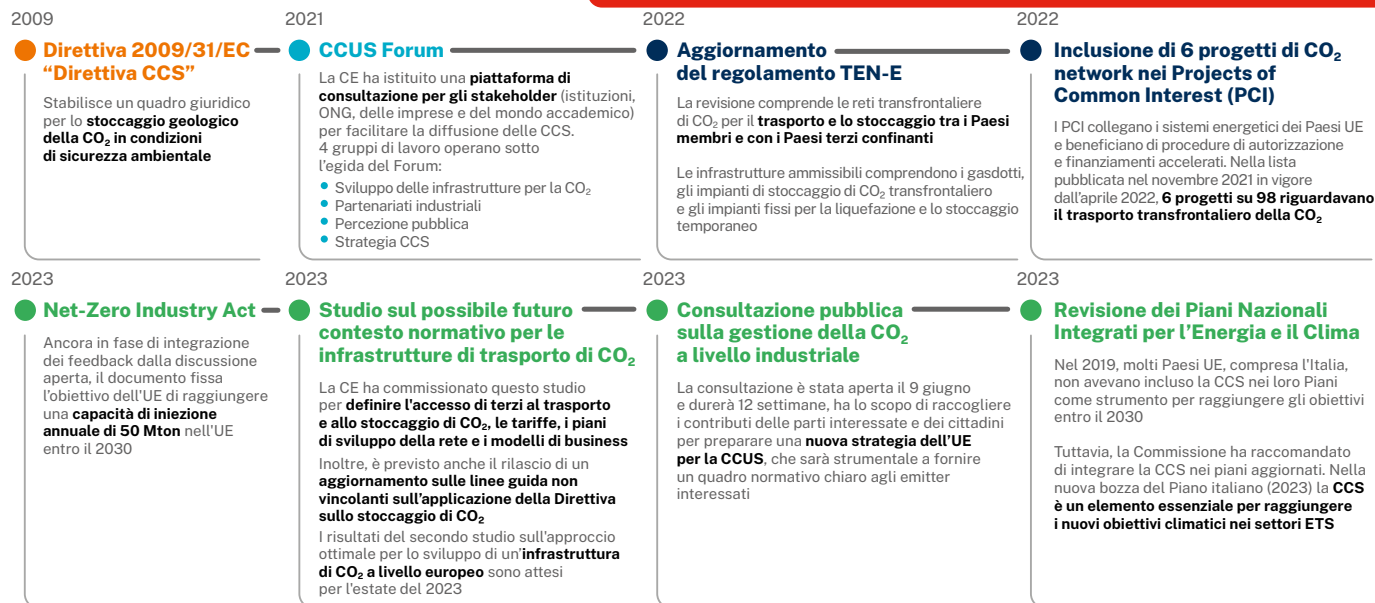
Oltre al crescente interesse della business community, negli anni, anche le Istituzioni UE hanno maturato consapevolezza circa la rilevanza strategica della CCS. Dopo la prima Direttiva per lo stoccaggio geologico della CO₂ adottata nel 2009, dal 2019 la CCS ha acquisito crescente importanza tra le istituzioni UE e nazionali. Il **Net Zero Industry Act di marzo 2023 menziona le CCS come una delle leve strategiche per aumentare la competitività industriale dell'UE**, con un obiettivo di 50 milioni di tonnellate all'anno di capacità di iniezione entro il 2030. **Anche le recenti bozze di aggiornamento dei Piani**

Nazionali per l'Energia e il Clima sottolineano la maggiore consapevolezza dell'importanza della CCS, sia in Italia che in altri Paesi UE. Dalle attività di Stakeholder Engagement condotte da The European House - Ambrosetti è emersa la necessità di rendere disponibile la CCS come soluzione per la decarbonizzazione industriale, dato che può essere adattata a impianti esistenti senza modificarne l'assetto produttivo, nonché la necessità di de-risking della CCS rispetto ai costi sostenuti per l'adattamento degli impianti alla cattura e tempo di realizzazione delle infrastrutture per trasporto e stoccaggio.

Figura 31

Evoluzione della CCS nel contesto normativo europeo.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.



"Credo che la CCS abbia un potenziale incredibile nella nostra corsa verso la neutralità climatica. Senza CCS e CCU, sarà praticamente impossibile limitare il riscaldamento globale."

Kadri Simson, Commissaria europea per l'energia

27 ottobre 2022

In linea con l'evoluzione del contesto normativo europeo, anche **diversi Paesi membri hanno definito una serie di strategie e strumenti per favorire lo sviluppo di progetti di CCS**. Tra questi,

spiccano la Danimarca, la Germania e i Paesi Bassi per chiarezza della strategia nazionale/regionale e fondi stanziati.

Figura 32

Le strategie e gli strumenti dei principali Paesi UE a supporto della CCS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su fonti varie, 2023.

Strumenti normativi di Paesi UE all'avanguardia nel sostegno e nella creazione di progetti CCS



DANIMARCA

Fondo CCS: 2,14 miliardi di Euro in 20 anni volti a supportare la diffusione dei progetti CCS

Strategia nazionale per la CCS: dedicata alla definizione di normative e procedure di autorizzazione per sostenere la diffusione della CCS e le modalità di assegnazione del Fondo CCS

Aiuti di stato per 1,1 miliardi di Euro



GERMANIA

Strategia a lungo termine per la rimozione ingegnerizzata della CO₂, finalizzata a gestire il 5% circa delle emissioni nazionali considerate "inevitabili"

Strategia Regionale Renania Settentrionale-Vestfalia: catturare fino a 7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno da industrie locali



PAESI BASSI

Schema SDE++: nel round del 2022, i progetti di CCS hanno ricevuto circa il 56% del totale allocato, è la soluzione tecnologica che consente di catturare più CO₂ all'anno

Tassa sulla CO₂: aumenterà gradualmente nel prossimo decennio e raggiungerà i 125 euro per tonnellata di CO₂ emessa entro il 2030

Sebbene il crescente interesse di Istituzioni europee, Governi degli Stati Membri e attori industriali verso la CCS sia incoraggiante, è **necessario considerare anche gli sviluppi del contesto internazionale**, in particolare in Australia, Canada, Norvegia,

Regno Unito e Stati Uniti. Ad esempio, l’Inflation Reduction Act prevede incentivi sotto forma di crediti d’imposta per i progetti CCS, una misura molto semplificata che potrebbe attirare gli investimenti fuori dall’UE.

Figura 33

I contesti internazionali favorevoli alla CCS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su Report “EU regulation for the development of the market for CO₂ transport and storage”, Bolscher H. et al, Energy Transition Expertise Center (2023) e Report “A European Strategy for Carbon Capture and Storage”, Lockwood T., Clean Energy Task Force (2022), 2023.

Strumenti normativi di Paesi terzi all’avanguardia nel sostegno e nella creazione di progetti CCS



AUSTRALIA

Greenhouse Gas Geological Sequestration Act: regolamenta determinati aspetti dello stoccaggio di CO₂

Strategia nazionale per la CCS: fornirà una direzione politica e dà priorità ai centri di gestione della CO₂



CANADA

Tassa sulla CO₂ che raggiungerà i 170 Dollari Canadesi per tonnellata entro il 2030 e **credito d’imposta** sugli investimenti in progetti CCS del 20-30%

Carbon Management Strategy: documento di visione federale volto a sostenere i progetti di CCS



NORVEGIA

Climit: iniziativa lanciata nel 2005, con l’obiettivo di contribuire allo sviluppo di tecnologie e soluzioni per la CCS fornendo un sostegno finanziario ai progetti

Longship: progetto per cui sono stati stanziati 1,6 miliardi di Euro nel 2020, per la realizzazione di un sito di trasporto e stoccaggio offshore e due siti di cattura



REGNO UNITO

Action Plan: percorso di diffusione della CCUS con chiara indicazione di azioni chiave, tempistiche, tappe fondamentali e attori di riferimento

Bilancio di Primavera 2023: 24 miliardi di Euro destinati alla diffusione della CCS nei prossimi 20 anni



STATI UNITI

SCALE: programma di finanziamenti di 2,1 miliardi di Dollari per lo sviluppo delle infrastrutture

Inflation Reduction Act: credito d’imposta fino a \$85/ton CO₂ stoccata e \$60/ton CO₂ utilizzata per applicazioni industriali, fino a \$180/ton CO₂ stoccata e \$130 /ton CO₂ utilizzata tramite DACCS

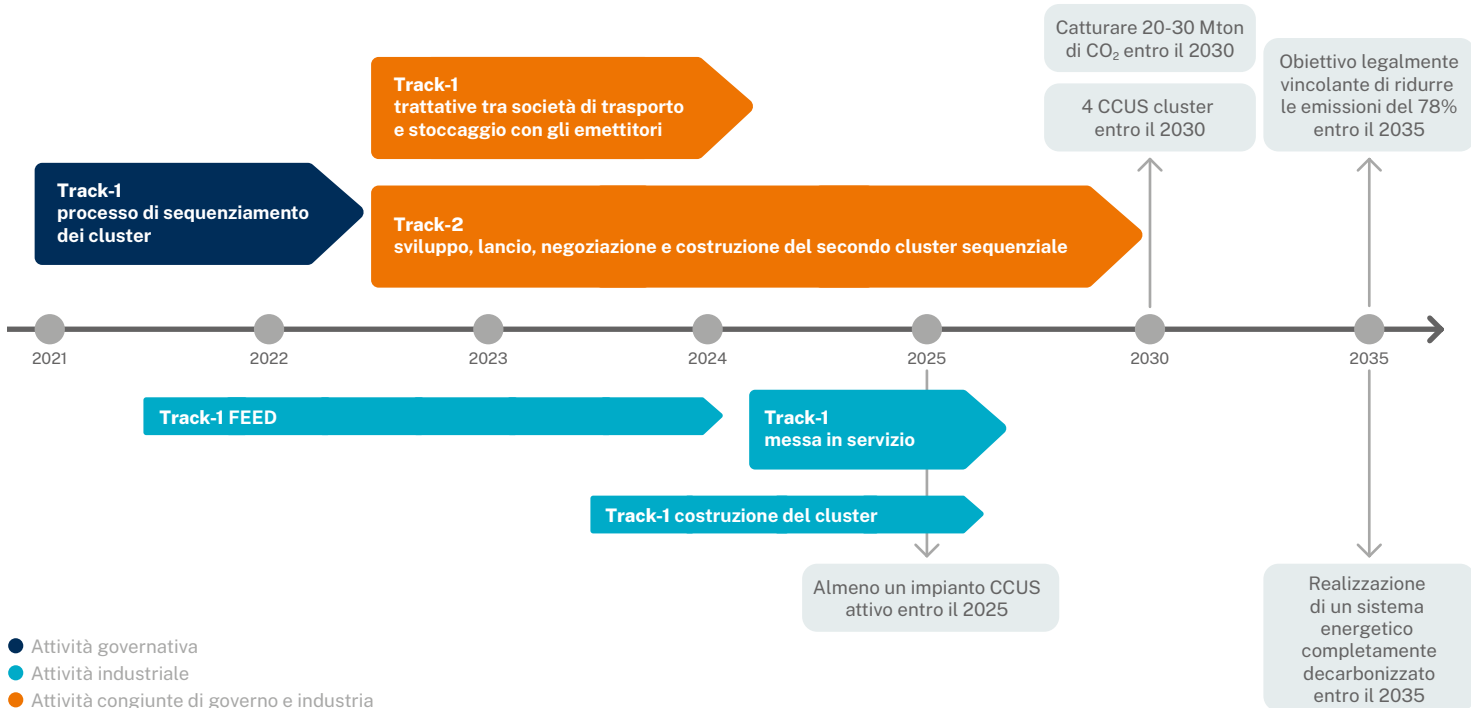
Anche il **Regno Unito ha una strategia molto chiara ed efficace a supporto della CCS**: oltre ad aver stanziato 24 miliardi di Euro

per la diffusione delle CCS e ha definito un piano di realizzazione dove timeline e responsabilità sono indicati nel dettaglio.

Figura 34

Piano UK per la realizzazione dei cluster CCUS.

Fonte: The European House-Ambrosetti su Report "EU regulation for the development of the market for CO₂ transport and storage", Bolscher H. et al, Energy Transition Expertise Center (2023), 2023.



MESSAGGIO CHIAVE 4

The European House - Ambrosetti ha sviluppato un modello per valutare gli impatti della CCS sulla decarbonizzazione e sulla competitività dei settori italiani Hard to Abate.

Il modello stima di stoccare circa **300 milioni di tonnellate di CO₂ entro il 2050**, facendo leva sulla realizzazione dell'Hub di Ravenna e della rete di trasporto associata.

Tale soluzione permetterà di sostenere la competitività di settori industriali che complessivamente generano **62,5 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e 1,27 milioni di posti di lavoro**.

Inoltre, la diffusione della CCS favorirà la creazione di una catena del valore che consentirà di generare **1,55 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e 17 mila posti di lavoro al 2050**.

The European House - Ambrosetti ha elaborato un modello teorico per stimare il potenziale contributo in termini ambientali, economici e sociali delle soluzioni CCS, basato su un'intensa attività di analisi di 160 articoli accademici e manageriali e il coinvolgimento di 63 stakeholder internazionali. Il modello è basato sull'ipotesi che la capacità di cattura annua a livello na-

zionale corrisponde al target di CO₂ sequestrata dall'impianto di Ravenna, che dal 2026 (anno in cui entrerà nella fase commerciale) **crescerà fino a stoccare 4 milioni di tonnellate al 2030 e successivamente aumenterà fino a 16 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno dal 2038**. In totale, l'Hub di Ravenna potrà stoccare circa 300 milioni di tonnellate di CO₂ entro il 2050.

Figura 35

Target di capacità di stoccaggio annuale dell'Hub di Ravenna. 2030, 2038, 2040 e 2050.

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2023.



Sulla base di dati di letteratura e considerando la capacità di stoccaggio del sito di Ravenna, **The European House - Ambrosetti ha stimato il costo standard cumulato per la cattura, il**

trasporto e lo stoccaggio di circa 300 milioni di tonnellate di CO₂ tra il 2026 e il 2050, che risulta pari a circa 30 miliardi di Euro, con un costo annuo al 2050 di circa 1,5 miliardi di Euro.

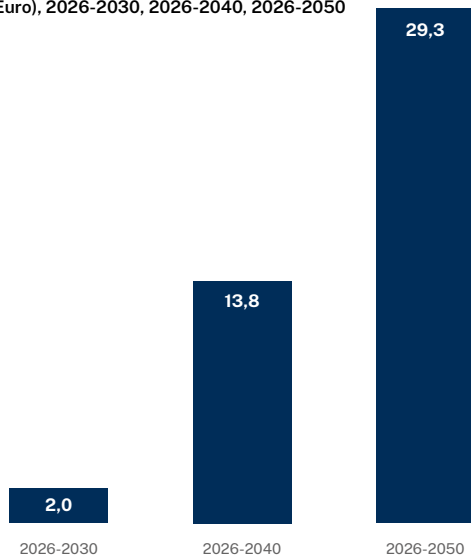
Figura 36

Costi cumulati e annuali legati alla realizzazione del modello teorico di CCS sviluppato da The European House - Ambrosetti.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati da modelli proprietari e IEA, 2023.

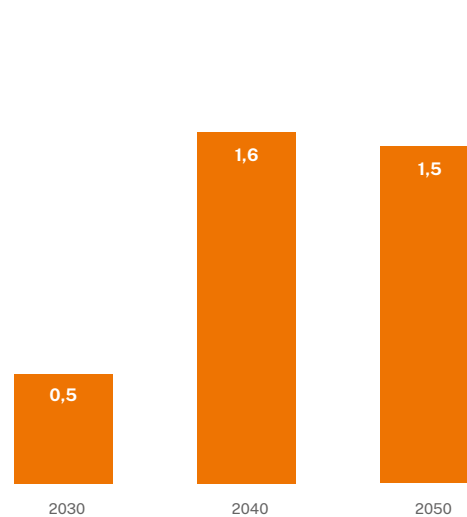
Costi cumulati totali CCS

(miliardi di Euro), 2026-2030, 2026-2040, 2026-2050



Costi annuali CCS

(miliardi di Euro), 2030, 2040, 2050



I dati relativi al modello di stima degli impatti sono stati raccolti da The European House - Ambrosetti sulla base dell'analisi di oltre 160 fonti di letteratura accademico-scientifica. I risultati delle analisi fanno riferimento al modello teorico elaborato da The European House - Ambrosetti.

Allo stesso tempo, secondo le stime di The European House - Ambrosetti, **i costi medi di cattura, trasporto e stoccaggio decresceranno dai 123 Euro a tonnellata di CO₂ previsti al 2030 fino ai 99 e 94 Euro a tonnellata di CO₂ al 2040 e 2050 rispet-**

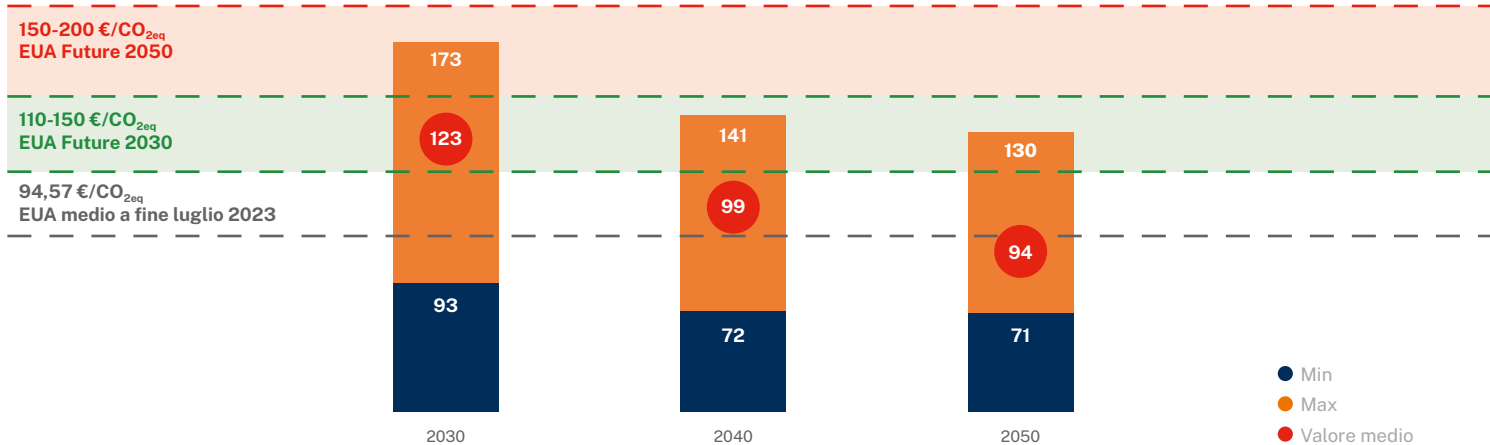
tivamente. Tali costi sono inferiori al prezzo degli ETS che le aziende Hard to Abate dovrebbero affrontare dal 2026 in poi¹⁴, stimati tra i 110 e i 150 Euro per tonnellata di CO₂ nel 2030 e tra i 150 e i 200 Euro per tonnellata di CO₂ nel 2050.

Figura 37

Range di costo e valore medio della CCS per tonnellata di CO₂ catturata (Euro per tonnellata di CO₂).

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario e IEA, 2023.

Costo medio della CCS per tonnellata di CO₂ catturata (Euro/ton CO₂), 2030, 2040, 2050



I valori di costo indicati nella presente pagina sono stati stimati da The European House - Ambrosetti sulla base dei dati di letteratura accademico-scientifica.

I range di costo indicati sono relativi a cattura, trasporto e stoccaggio e tengono conto di una ampia variabilità di tipologia di emettitori, volumi di CO₂, distanze di trasporto ed infrastrutture esistenti. Le specifiche condizioni di ogni progetto possono determinare costi differenti, tanto più prossimi ai limiti inferiori di ciascun intervallo quanto più possono essere sfruttate sinergie ed economie di scala. Eni e Snam precisano che lo stoccaggio in giacimenti di gas esauriti ed il riutilizzo di infrastrutture esistenti possono ottimizzare in modo importante il costo dei progetti di CCUS, aumentando la competitività. La configurazione progettuale e lo sviluppo dell'infrastruttura definiscono costi reali che risultano più elevati all'inizio della fase operativa. L'evoluzione tecnologica e di mercato e il raggiungimento del completo sviluppo progettuale potranno successivamente configurare una situazione di sostenibilità del costo della CCUS anche in assenza di supporti, necessari invece in una prima fase di avvio dell'attività.

¹⁴ Dal 2026, con l'introduzione del CBAM, l'assegnazione di quote gratuite nel sistema ETS sarà progressivamente eliminata.

Il pieno sviluppo del modello sviluppato da The European House - Ambrosetti potrà avere un importante impatto economico e sociale sui settori Hard to Abate che contribuirà a decarbonizzare. Complessivamente, **l'applicazione della CCS consentirà di so-**

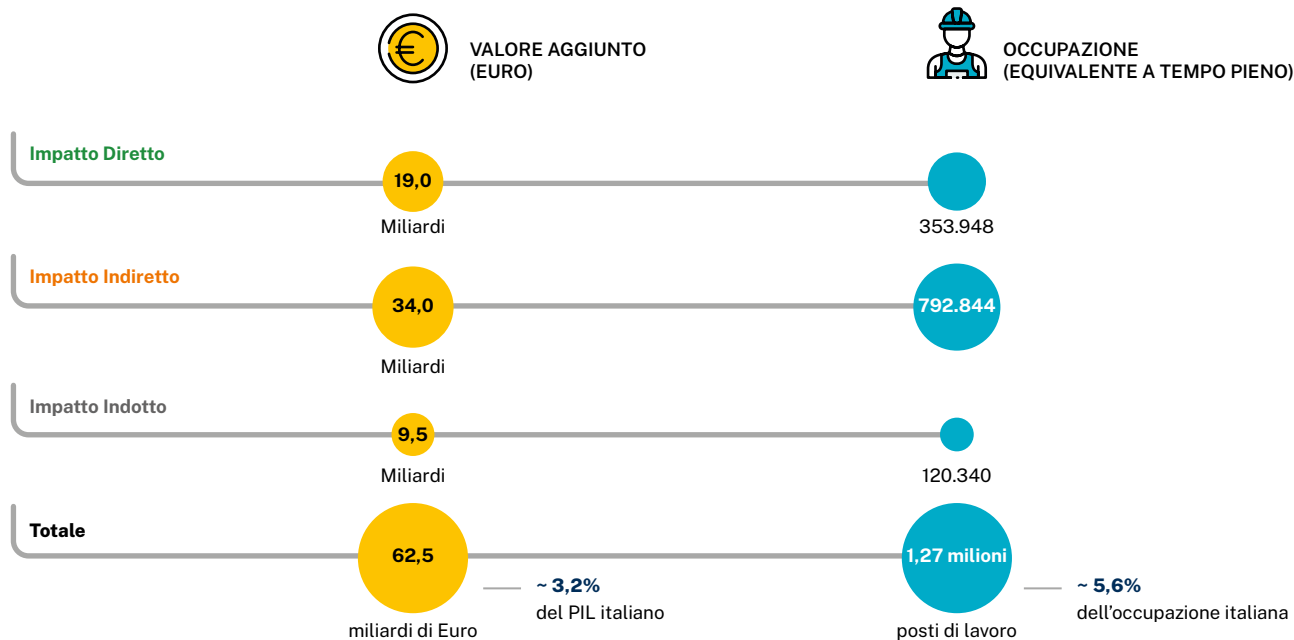
stenere la competitività di filiere in grado di generare 62,5 miliardi di Euro di Valore Aggiunto (circa il 3,2% del PIL italiano) **e sostenere l'occupazione di 1,27 milioni di addetti** (circa il 5,6% dell'occupazione italiana) tra impatti diretti, indiretti e indotti.

Figura 38

Impatto complessivo della CCS sui settori Hard to Abate.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario, 2023.

Decarbonizzazione e competitività dei settori Hard to Abate



Inoltre, la piena realizzazione del modello sviluppato da The European House - Ambrosetti consentirà di sviluppare in Italia una nuova filiera, capace di generare tra il 2026 e il 2050 **un valore aggiunto nella nostra economia pari a 30 miliardi di Euro con la creazione di oltre 17 mila posti di lavoro al 2050 tra impatti diretti, indiretti e indotti**. La capacità dell'Italia di essere first mover nello sviluppo di una filiera completa legata alla CCS è

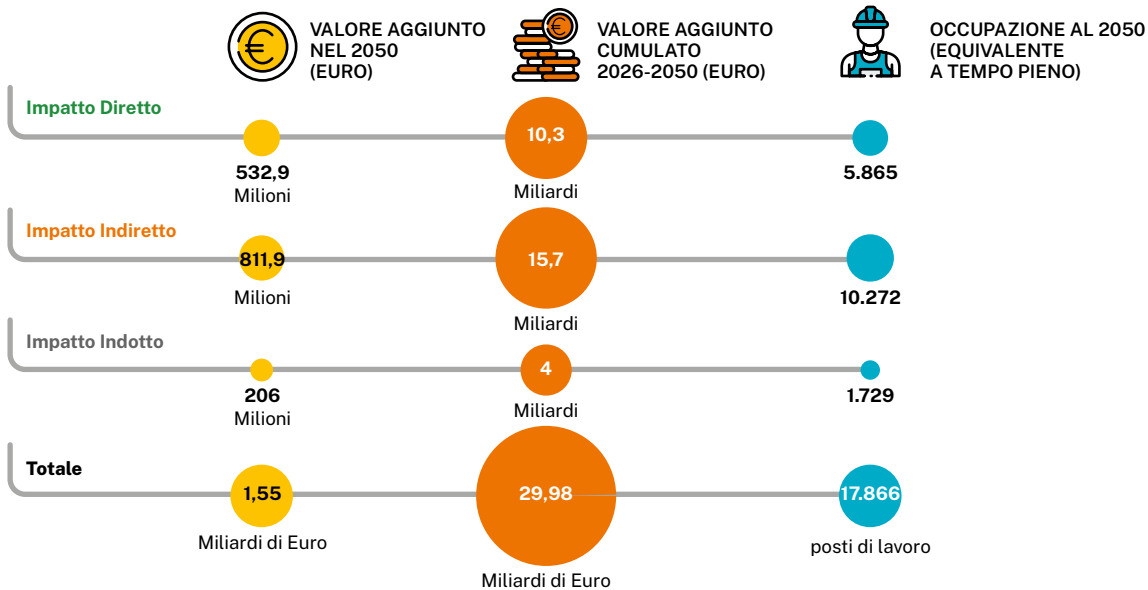
funzionale a cogliere ulteriori opportunità che si verranno a creare nel contesto internazionale. In base agli obiettivi di stoccaggio stabiliti dall'Unione europea e a livello globale, è possibile stimare che il Total Addressable Market per la CCS al 2050 sarà pari a circa 60 miliardi di Euro a livello Europeo e a circa 400 miliardi di Euro a livello globale.

Figura 39

Totale per valore aggiunto e impatto sull'occupazione nell'intera filiera CCS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario, 2023.

Creazione di una nuova supply chain



Mercato potenziale a livello europeo e globale

58,2

miliardi di Euro
a livello **europeo**

392,3

miliardi di Euro
a livello **globale**

MESSAGGIO CHIAVE 5

A livello nazionale, sarà importante continuare il percorso di sviluppo delle soluzioni di CCS per la decarbonizzazione e la competitività dei settori Hard to Abate, investendo nella realizzazione di ulteriori iniziative basate sul principio della neutralità tecnologica al fine di mantenere la competitività di settori che generano ulteriori **57,7 miliardi di Euro di Valore Aggiunto con 1,19 milioni di posti di lavoro.**

L'Hub di Ravenna potrà contribuire alla decarbonizzazione del 48% delle emissioni residue dei settori italiani Hard to Abate, al netto di efficienza energetica, elettrificazione, bioenergie, idrogeno e cambio di materie prime. La completa decarbonizzazione

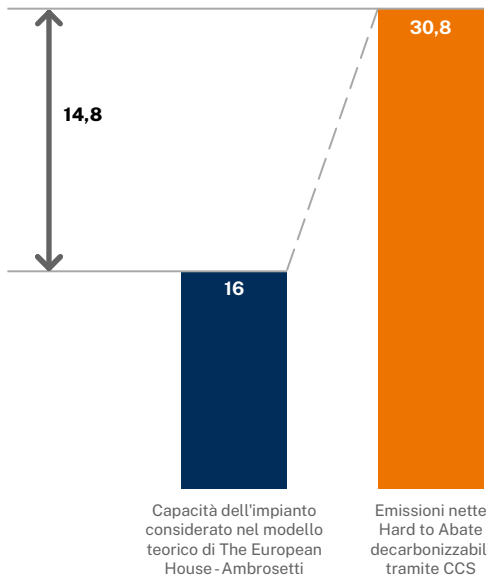
dei settori Hard to Abate tramite CCS potrà contribuire a sostenere la competitività, sostenendo ulteriori 57,7 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e oltre 1,19 milioni di posti di lavoro al 2050.

Figura 40

Leve strategiche per completare la decarbonizzazione dei settori ETS in Italia¹⁵.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea e IEA, 2023.

Capacità di stoccaggio annuale dell'impianto considerato nel modello teorico di The European House - Ambrosetti e fabbisogno complessivo del mercato (Mton/y)



Leve strategiche per garantire la completa decarbonizzazione

NUOVI IMPIANTI CCS

Le rimanenti 14,8 Mton di CO₂ dovranno essere sequestrate **investendo nello sviluppo di nuovi progetti di CCS** investigando il potenziale residuo dei campi depletati nell'off-shore italiano*

La capacità di affrontare queste emissioni aggiuntive, raggiungendo la piena decarbonizzazione, potrà mantenere la competitività di settori che generano **57,7 miliardi di Euro di valore aggiunto e oltre 1,19 milioni di posti di lavoro.**

* La capacità di stoccaggio dei campi depletati dell'off-shore Adriatico è stata valutata in 500 Mton CO₂, di cui 300 considerate nel presente modello. Ulteriori possibilità di stoccaggio in altre aree devono essere investigate.

A queste emissioni sono da aggiungere la quota di emissioni legata alla generazione di energia elettrica da fonte fossile necessaria per fornire servizi di flessibilità al sistema elettrico e massimizzare la penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili

¹⁵ Le emissioni nette Hard to Abate indicano la quota di emissioni rimanenti dopo l'applicazione di altre leve di decarbonizzazione (elettificazione, bioenergie, idrogeno e utilizzo di nuovi feedstock).

MESSAGGIO CHIAVE 6

Per consentire il pieno sviluppo della CCS, secondo un principio di neutralità tecnologica, e dei relativi benefici economici e sociali, è necessario **individuare schemi normativi efficaci in grado di conciliare decarbonizzazione e competitività economica mediante una pianificazione integrata e meccanismi di supporto per il de-risking.**

Le analisi e le attività di Stakeholder Engagement condotte da The European House - Ambrosetti hanno evidenziato diversi ambiti su cui agire, alla luce dello status-quo delle policy europee e delle esigenze degli attori industriali, per indirizzare le sfide e le aree di intervento prioritario per massimizzare lo sviluppo e la diffusione delle soluzioni CCS in Europa e in Italia. The European House - Ambrosetti ha formulato **10 proposte di policy**, in riferimento a 4 ambiti di intervento, con l'obiettivo di supportare i Policy Maker, gli attori industriali e gli stakeholder della catena del valore della CCS nella creazione delle condizioni di mercato che consentano il superamento dei fattori ostativi emersi, al fine di massimizzare la diffusione delle soluzioni

di cattura, trasporto e stoccaggio della CO₂. **La normativa dovrebbe puntare sulla possibilità di realizzare condizioni abilitanti per gli investimenti piuttosto che sull'imposizione di obblighi trasversali, mediante la definizione di un framework normativo delineato a partire dalla prossima Comunicazione UE** ("Communication on an EU strategy to create a single market for CO₂ transport and storage services by 2030", prevista per il Q4 2023) **e di strumenti di pianificazione certi e definiti di concerto con gli operatori industriali in funzione dei contesti specifici e la messa in campo di strumenti di supporto che consentano di creare da subito le condizioni di sviluppo del mercato**, a livello nazionale e UE.

Figura 41

Principali evidenze dalle attività di stakeholder engagement rispetto alle lacune di policy per la CCS in Italia ed Europa.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023.

33 Key Opinion Leader coinvolti, rappresentanti di 31 enti di riferimento tra Istituzioni, Associazioni di categoria, attori della ricerca e attori industriali. Punti principali:

- **standard comuni:** necessario definire standard tecnici comuni tra i Paesi Membri UE per favorire la realizzazione di progetti di CCS transfrontalieri;
- **supporto pubblico:** sulla scorta di quanto fatto nei Paesi Bassi o negli Stati Uniti, è necessario supportare i progetti di CCS per esempio attraverso i Contract for Difference e i sussidi sotto forma di credito d'imposta o contributi a fondo perduto;
- **de-risking:** necessario accompagnare i progetti di CCS con una chiara visione politica per ridurre i rischi di investimento iniziali per la costruzione di infrastrutture chiave, necessarie per attrarre le industrie Hard to Abate.



Ambito di intervento #1

Il primo ambito di intervento è dedicato alla creazione delle cosiddette “soft infrastructure”, ovvero la definizione di un contesto regolatorio e legislativo di riferimento chiaro e stabile, necessario per favorire il pieno sviluppo della CCS dando certezza agli investimenti.

#1 SOFT INFRASTRUCTURE



PROPOSTE DI POLICY

- 1** Garantire una chiara **definizione delle responsabilità lungo la catena del valore della CCS**, che includa la separazione delle responsabilità degli emettitori dalle fasi di trasporto e stoccaggio

 - La chiara separazione dei ruoli e delle relative responsabilità permetterà di **ottimizzare il coordinamento all'interno del sistema**
 - La **creazione di aree di competenza/responsabilità** sgraverà gli emettitori da elementi di incertezza
- 2** Creare un **sistema di regolamentazione robusto, sia a livello nazionale che europeo, tra gli Stati europei per consentire le attività di cattura, trasporto e stoccaggio**, premiando gli Stati che favoriranno la creazione di infrastrutture di stoccaggio e trasporto comuni

 - Per favorire la creazione di progetti di CCS in un'ottica europea, dovrà essere definito un **accordo per la gestione del trasporto e dello stoccaggio transfrontaliero in Europa**
 - Ridurre i tempi tecnici per la concessione dei permessi di stoccaggio di CO₂
- 3** Definire **standard tecnici comuni a livello EU per il trasporto e lo stoccaggio** (nella misura necessaria per la realizzazione di progetti transfrontalieri, ad es. caratteristiche CO₂ trasportata, caratteristiche di progettazione e gestione di gasdotti per il trasporto CO₂, ecc.)

 - L'unica norma tecnica di riferimento a livello italiano è il decreto legislativo n. 162 del 2011 in materia di **stoccaggio geologico di CO₂**
 - L'armonizzazione dei parametri consente di **migliorare il coordinamento tra emettitori e sistemi di trasporto e stoccaggio**

Ambito di intervento #2

Il secondo ambito di intervento fa riferimento all'applicazione della CCS alle diverse forme di emissioni. La diffusione delle soluzioni di CCS (incluse DACCS e BECCS) potrà accompagnare il percorso di decarbonizzazione delle industrie Hard to Abate, in sinergia con altre soluzioni tecnologiche e secondo un principio di neutralità tecnologica e complementarità tra le diverse opzioni disponibili. Inoltre, la CCS potrà garantire la decarbonizzazione anche del Power Generation e accelerare la produzione di vettori energetici decarbonizzati.



PROPOSTE DI POLICY

#2 APPLICAZIONE ALLE DIVERSE FORME DI EMISSIONI

- 1** Favorire l'**applicazione del principio di neutralità tecnologica** considerando l'opportunità di far leva sulla complementarità tra le soluzioni di decarbonizzazione mature e quelle che saranno disponibili solo nel medio-lungo periodo, anche favorendo l'utilizzo della CCS per l'offsetting delle emissioni tramite BECCS e DACCS

 - La CCS consente di decarbonizzare rapidamente la quasi totalità delle emissioni di molti impianti che diversamente richiederebbero scale temporali maggiori
 - La CCS conteste di accelerare il percorso di decarbonizzazione, contribuendo a **ridurre l'ammontare complessivo di emissioni tra oggi e il 2050**
 - L'**inclusione delle emissioni negative ottenute tramite BECCS e DACCS nel sistema ETS** potrebbe rappresentare un'ulteriore spinta per sostenere lo sviluppo di questi progetti
- 2** Il **gas naturale**, essendo la fonte di combustibile fossile con minori emissioni, **dovrà accompagnare la transizione verso le energie rinnovabili garantendo la flessibilità e l'adeguatezza dei sistemi energetici. La CCS potrà essere sfruttata per decarbonizzare le emissioni della quota richiesta di gas** nella produzione di energia elettrica e nella produzione di vapore ad alta efficienza e ad alta temperatura (attraverso la cogenerazione) per la decarbonizzazione dei settori industriali

 - In uno scenario di alta penetrazione delle fonti rinnovabili, assieme ai sistemi di accumulo elettrochimico, sarà necessario **mantenere una componente flessibile di generazione elettrica a gas**
 - **Affiancare le soluzioni di CCS alla produzione di energia elettrica da turbine a gas**, riducendo così le emissioni di CO₂ da tale fonte
- 3** Definire all'interno dei regolamenti europei la **parità tra idrogeno decarbonizzato e idrogeno rinnovabile**

 - Accelerare lo sviluppo della filiera dell'idrogeno facendo leva sulla **disponibilità e sulla maggiore economicità dell'idrogeno low-carbon ottenuto da fonte fossile con CCS**
 - Sfruttare le importanti produzioni già presenti in Europa e gli **asset industriali esistenti**

Ambito di intervento #3

Il terzo ambito di intervento riguarda la pianificazione strategica, in quanto lo sviluppo e la diffusione delle soluzioni di CCS dovranno essere favoriti dalla definizione di una chiara visione politica, una pianificazione strategica condivisa e una roadmap per lo sviluppo a livello nazionale.

#3 STRATEGIC PLANNING



PROPOSTE DI POLICY

- 1 Nell'ambito del **PNIEC** nazionale, stabilire obiettivi CCS orientati alle attività economiche Hard to Abate, considerando nella valutazione la loro **diffusione geografica, i livelli di concentrazione di CO₂ nelle emissioni e le modalità di collegamento** con i siti di stoccaggio disponibili
 - La pianificazione dovrà considerare alcuni **aspetti di contesto**, ad esempio la distribuzione delle attività industriali sul territorio, la quantità di emissioni di CO₂, la presenza di cluster, e altri aspetti specifici delle soluzioni di CCS, ad esempio le diverse opzioni per il trasporto della CO₂
 - Almeno inizialmente, l'impianto di Ravenna sarà l'unico sito di stoccaggio presente sul territorio nazionale, ma sarà necessario **individuare soluzioni integrative per raggiungere la piena decarbonizzazione delle emissioni residuali**
- 2 Migliorare il **ruolo delle Istituzioni nel coinvolgere i principali stakeholder** per la definizione di un piano di sviluppo infrastrutturale concreto e appropriato che soddisfi le aspettative delle industrie e faccia leva sulle iniziative di mercato
 - Le Istituzioni dovranno avviare un confronto attivo con gli stakeholder nazionali, sia emittitori, sia promotori di infrastrutture di trasporto e stoccaggio, che si dovranno occupare dello sviluppo e della diffusione soluzioni di CCS per **accelerare il percorso di pianificazione strategica e definire una roadmap chiara e concreta, volta a massimizzare i benefici potenziali per il sistema-Paese**
 - Considerando che la **decarbonizzazione è una sfida che dovrà essere affrontata a livello europeo**, sarà fondamentale identificare dei modelli di relazione che permettano di massimizzare il potenziale contributo delle soluzioni di CCS, anche in ottica transfrontaliera, considerando il **ruolo di Ravenna come Hub per la decarbonizzazione del Sud Europa**

Ambito di intervento #4

Il quarto e ultimo ambito di intervento affronta la necessità di ridurre i rischi finanziari associati ai progetti CCS, in quanto sono necessari meccanismi di supporto per lo sviluppo di una filiera della CCS al fine di dare certezza agli operatori industriali e abilitare la creazione di importanti benefici economici e sociali trasversali alla società.

#4 DE-RISKING



PROPOSTE DI POLICY

- 1** Introdurre **meccanismi di supporto finanziario attraverso contratti per differenza (CfD) e sussidi diretti** per sostenere la diffusione di progetti di cattura

 - La definizione dei meccanismi di incentivazione dovrà configurarsi secondo schemi di facile implementazione da parte delle imprese, al fine di rappresentare uno **strumento altrettanto efficace e diretto rispetto agli incentivi fiscali previsti dal Inflation Reduction Act** statunitense
- 2** Definire **modelli di supporto per le infrastrutture di trasporto e stoccaggio T&S**:

 - **sovvenzioni dirette** per sostenere lo sviluppo iniziale dell'infrastruttura
 - **meccanismi di garanzia** rispetto alla copertura dei costi e al ritorno sugli investimenti

Tali modelli per lo sviluppo delle infrastrutture T&S potranno evolvere verso meccanismi RAB

Capitolo 1
**Gli obiettivi climatici
dell'Unione europea
e la necessità di coniugare
sostenibilità
e competitività economica**

MESSAGGIO CHIAVE 1

Nell'Unione europea è previsto un aumento del tasso di riduzione delle emissioni, in linea con i nuovi obiettivi di decarbonizzazione, da raggiungere attraverso tutte le tecnologie disponibili e applicando un approccio di neutralità tecnologica al fine di preservare la competitività industriale di importanti settori economici. È quindi urgente rendere disponibili soluzioni tecnologiche che consentano a tutte le imprese di attuare già nel breve termine investimenti per la decarbonizzazione che, al tempo stesso, tutelino la competitività industriale.

1.1 Introduzione

Il primo Capitolo del presente Rapporto Strategico è focalizzato sugli aspetti di contesto, che mettono in luce l'importanza e la necessità di **accelerare il processo di decarbonizzazione a livello europeo e italiano.**

In particolare, all'interno del presente capitolo, sono descritte le evidenze relative alla trasformazione dello scenario climatico negli ultimi anni, e i corrispondenti danni economici e sociali.

Successivamente, viene presentata un'analisi dei principali target internazionali e dell'Unione europea, stabiliti con gli Accordi di Parigi e il Green Deal.

Rispetto a quest'ultimo, tra gli ambiziosi obiettivi, il principale riguarda la **riduzione del 55% entro il 2030 del livello di emissioni di CO_{2eq} rispetto ai livelli del 1990.**

Infine, sono presentate le principali sfide che le aziende operanti in industrie ad alto consumo di energia e considerate Hard to Abate devono affrontare per decarbonizzarsi, tutelando la propria competitività sul piano internazionale.

In particolare, i principali punti di attenzione riguardano: **l'ambito legislativo** con i crescenti obblighi in capo alle imprese soggette all'Emission Trading System (ETS), **la pressione competitiva** proveniente sia dal resto d'Europa che dal resto del mondo sulle nuove catene del valore "verdi" e la crescente attenzione del sistema finanziario agli **investimenti sostenibili.**

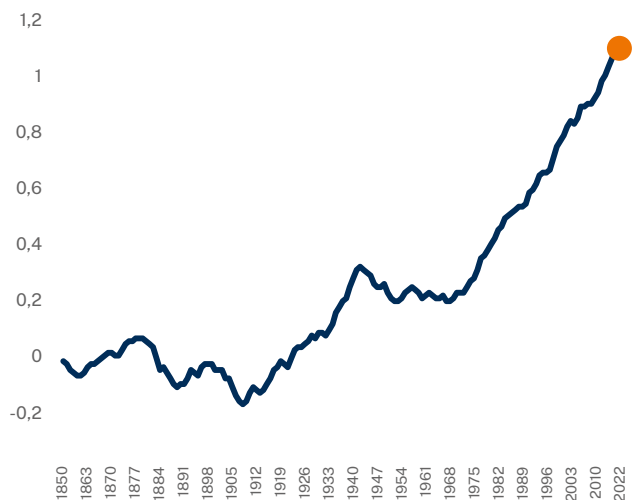
Nel 2022, la temperatura è stata superiore di 0,86°C rispetto alla media del XX secolo (pari a 13,9°C) e di 1,06°C rispetto al periodo preindustriale. Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), c'è il 66% di probabilità che la temperatura media annuale vicino alla superficie terrestre, tra il 2023 e il 2027, aumenti di oltre 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. Il verificarsi di tale fenomeno potrebbe avere impatti significativi sulle società a causa di un conseguente aumento di eventi meteorologici estremi.

Figura 1

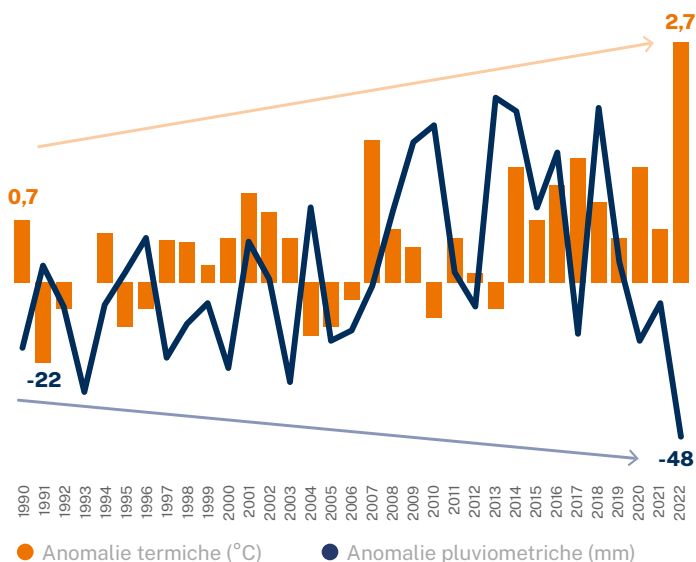
Variazione globale della temperatura, anomalie termiche e conseguenti anomalie pluviometriche.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati International Panel on Climate Change (IPCC), Community Valore Acqua ed European Environment Agency, 2023.

**Variazione annuale della temperatura globale
(gradi Celsius), 1850-2022**



**Anomalie termiche e precipitazioni annuali rispetto alla media 1981-2010
(variazione in gradi Celsius e mm), 1990-2022**



1.2 L'evoluzione climatica a livello mondiale ed europeo e i relativi impatti

Le conclusioni della COP26 e del successivo rapporto dell'International Panel on Climate Change (IPCC), pubblicato a marzo 2023, hanno evidenziato ancora una volta i rischi e i costi dei cambiamenti climatici e quelli previsti nei prossimi decenni, a meno che non si verifichi un radicale cambio di passo.

La temperatura del pianeta sta aumentando a un ritmo senza precedenti: il livello attuale è superiore a quello del periodo più caldo degli ultimi 100.000 anni. Infatti, **nel 2022, la temperatura superficiale annua è stata superiore di 0,86°C rispetto alla media di 13,9°C dello scorso secolo** e di 1,06°C rispetto al periodo preindustriale (1850-1900)¹.

L'incremento della temperatura terrestre non sembra essere destinato ad arrestarsi, infatti, secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale, c'è il 66% di probabilità che la temperatura media annuale tra il 2023 e il 2027 aumenti (per almeno un anno) di oltre 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali².

Tra le varie conseguenze, la riduzione nelle piogge ha portato con sé un **aumento di 18 volte della frequenza degli allagamenti nei territori italiani**, passati da 3 nel periodo 2005-2009 a 54 nel periodo 2015-2021. Inoltre, i fenomeni di pioggia intensa sono passati da 45 nel periodo 2005-2009 a 275 nel 2015-2021, pari a un aumento di oltre 6 volte³.

Ad oggi, quasi il 12% delle famiglie in Italia vive in una zona a rischio allagamento, dove si localizzano anche il 10,7% degli edifici nazionali⁴.

1 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati IPCC, 2023.

2 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su WMO Global Annual to Decadal Climate Update, World Meteorological Organization, 2023.

3 Fonte: Community Valore Acqua di The European House - Ambrosetti, 2023.

4 Ibid.

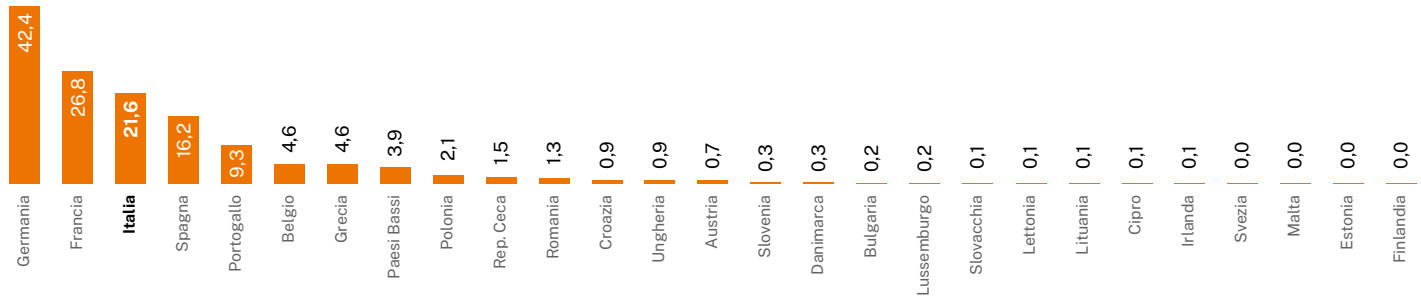
Negli ultimi 40 anni nell'UE27, i danni economici causati da eventi estremi legati al clima sono stimabili in 487 miliardi di Euro con un totale di 138 mila decessi.

Figura 2

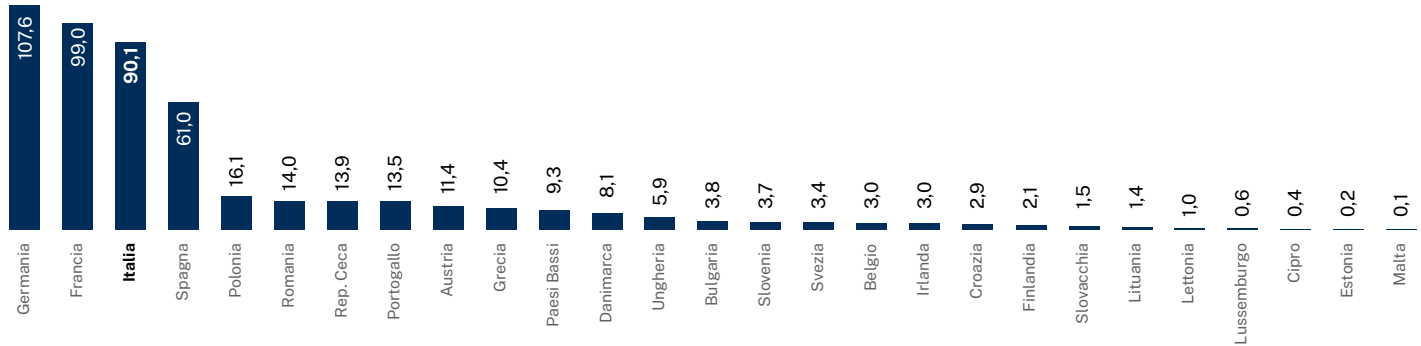
Decessi e danni economici legati a eventi estremi (1980-2020).

Fonte: The European House - Ambrosetti su European Environment Agency, 2023.

Decessi causati da eventi estremi di natura meteorologica e climatica nell'Unione europea per Paese (migliaia), 1980-2020



Danni economici causati da eventi estremi di natura meteorologica e climatica nell'Unione europea per Paese (miliardi di Euro), 1980-2020



Le ultime statistiche rilasciate a livello europeo hanno confermato la tendenza di aumento delle temperature. In particolare, alcuni dei Paesi del centro-sud Europa risultano essere tra i più impattati da tale fenomeno, registrando picchi fino a +4°C rispetto alla media stagionale.

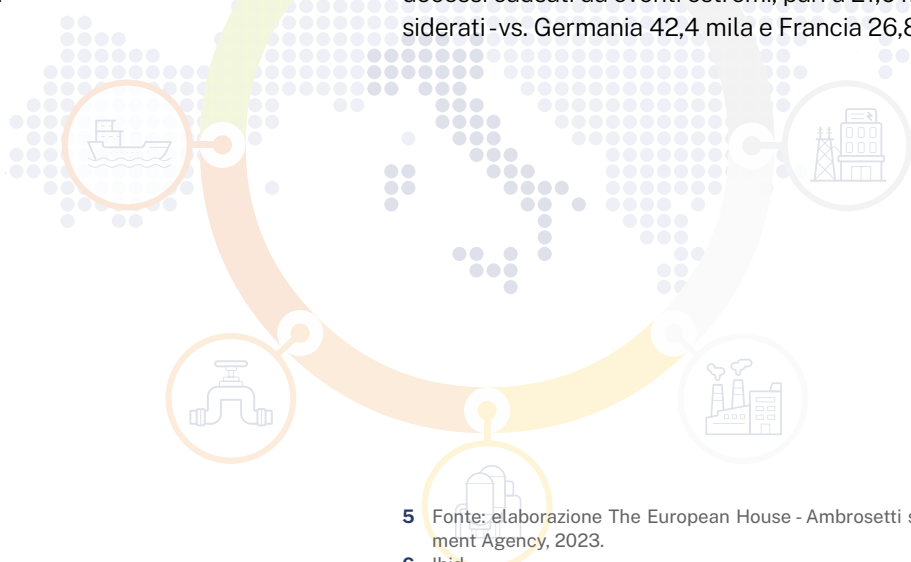
Come dimostrato da uno studio dell'European Environment Agency, vi è una correlazione tra il verificarsi di anomalie climatiche e il numero di decessi legati al calore.

Il cambiamento delle condizioni climatiche ha avuto un impatto significativo anche su alcune attività economiche. Ad esempio, il settore dell'agricoltura ha registrato nel 2022 una perdita di raccolto equivalente a 6 miliardi di Euro e corrispondente al 10% della produzione agricola totale.

Gli impatti economici dei cambiamenti climatici e degli eventi estremi sono monitorati da 40 anni (1980-2020). A livello europeo, **il danno economico legato al cambiamento climatico è stimato a 487 miliardi di Euro⁵.**

Tra i paesi maggiormente colpiti figura l'Italia, che si trova al terzo posto con danni pari a circa 90 miliardi di Euro – le prime posizioni sono occupate dalla Germania (107 miliardi di Euro) e dalla Francia (99 miliardi di Euro)⁶. In termini pro capite, rispetto ai Paesi Benchmark, l'Italia riporta il maggior danno economico per cittadino pari a un valore di 1.530 Euro, rispetto a Francia (1.528 Euro pro capite) e Germania (1.290 Euro pro capite).

L'Italia si posiziona al terzo posto in UE27 anche per numero di decessi causati da eventi estremi, pari a 21,6 mila nei 40 anni considerati -vs. Germania 42,4 mila e Francia 26,8 mila.



⁵ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati European Environment Agency, 2023.

⁶ Ibid.

Con il rendersi sempre più evidente e marcata la necessità di agire al fine di ridurre l'aumento delle temperature e i conseguenti danni legati al verificarsi di eventi climatici estremi, sono stati delineati accordi a livello mondiale e a livello europeo. Il Green Deal dell'UE identifica una serie di obiettivi e definisce misure per spingere imprese e cittadini a ridurre la propria impronta carbonica.

Figura 3

Elementi chiave dell'Accordo di Parigi e del Green Deal europeo.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



ELEMENTI CHIAVE DELL'ACCORDO DI PARIGI

- Firmato nel 2015 da **196 paesi**.
- Obiettivo: "limitare il riscaldamento globale a ben meno di 2 gradi, **preferibilmente a 1,5 gradi Celsius**, rispetto ai livelli preindustriali".
- **Ogni 5 anni i Paesi dovranno rivedere i loro obiettivi** e le loro misure di riduzione delle emissioni.
- L'Accordo di Parigi esorta ad **accelerare l'innovazione, in particolare le clean tech**, e il trasferimento tecnologico internazionale.



IL GREEN DEAL EUROPEO (2019)

- Il Green Deal europeo è un insieme di iniziative legislative e non legislative per il raggiungimento della neutralità climatica al 2050, in linea con l'accordo di Parigi.
- Gli obiettivi 2030 sono:
 - **-55%** delle emissioni di gas serra rispetto al 1990;
 - **42,5%** di consumo energetico da fonti rinnovabili;
 - **+38%** di riduzione del consumo finale di energia rispetto allo scenario di riferimento UE 2007 (40,5% per l'energia primaria).
- Una parte importante della strategia Fit for 55 consiste nella riforma dell'ETS e dell'ESR:
 - **Emission Trading System (ETS):** Sistema di scambio di emissioni per la maggior parte dei settori ad alta intensità energetica;
 - **Effort Sharing Regulation (ESR):** Regolamento sulla condivisione degli sforzi per ripartire gli obiettivi tra gli Stati membri (con riferimento ai settori non-ETS).

1.3 Gli accordi internazionali per far fronte alle sfide ambientali

Dagli anni '90, i principali paesi sviluppati hanno cominciato a trattare con sempre maggiore attenzione il tema del cambiamento climatico. Le basi degli accordi internazionali del ventunesimo secolo sono da ritrovarsi nel Protocollo di Kyoto, firmato nel 1997 ed effettivo dal 2005, a cui hanno aderito 192 paesi.

La naturale evoluzione del Protocollo è stata l'Accordo di Parigi, firmato nel 2015 da 196 paesi, con l'obiettivo di **limitare il riscaldamento globale al di sotto 2°C, preferibilmente 1,5°C, rispetto alle temperature preindustriali**. Il raggiungimento di questo obiettivo passa, secondo l'Accordo, da una maggiore pianificazione e rendicontazione dei target e degli investimenti per ogni paese, aumentando gli oneri dei paesi in via di sviluppo e imponendo che ogni nuovo target non sia mai inferiore a quello precedente, in un'ottica di continuo miglioramento.

Nel 2021, durante la Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (COP26), **i paesi partecipanti hanno riconosciuto l'importanza di limitare il riscaldamento globale al di sotto di 1,5°C e di ridurre le emissioni entro il 2030 e raggiungere l'obiettivo emissioni zero intorno a metà secolo**. L'Accordo di Parigi stabilisce infatti che i Paesi si ritrovino ogni cinque anni per stabilire i nuovi obiettivi per il quinquennio successivo.

L'Unione europea ha messo in atto una serie di misure per contrastare il cambiamento climatico e le sue conseguenze sulla vita dell'uomo.

Nel 2019, è stato introdotto il Green Deal Europeo, un insieme di iniziative legislative e non legislative in linea con gli Accordi di Parigi, e contenente obiettivi puntuali da raggiungere al 2030 e al 2050. Il programma europeo prevede una revisione di ogni legge vigente in materia di energia e clima, con un ampliamento della legislazione in ambiti di economia circolare, ristrutturazione degli edifici, biodiversità, mobilità, tassazione, agricoltura e innovazione.

La nuova legislazione mira a ridurre le emissioni di gas a effetto serra prodotte da diversi settori economici: energia, trasporti, industria, edifici, generazione elettrica.

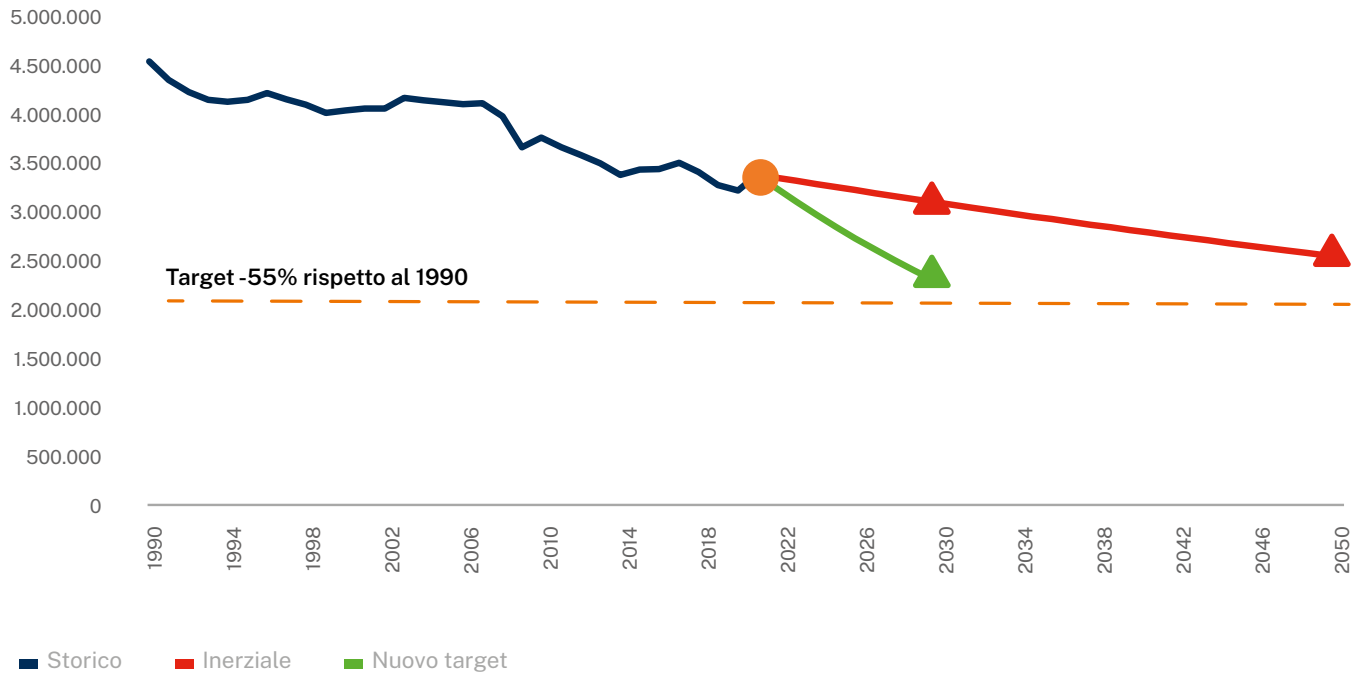
Gli obiettivi al 2030 includono:

- la riduzione del -55% delle emissioni di gas serra rispetto al 1990;
- la produzione di almeno il 42,5% del totale del fabbisogno energetico di energia da fonti rinnovabili;
- un miglioramento dell'efficienza energetica sul consumo finale di energia pari al 38%.

L'Unione europea deve accelerare nel processo di decarbonizzazione per centrare gli obiettivi di riduzione delle emissioni al 2030.

Figura 4
Emissioni di gas climalteranti in UE (Kton di CO_{2eq}), 1990-2021 e previsione.

Fonte: elaborazione The European House-Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.



Buona parte del piano strategico Fit for 55 consiste nel riformare regolamenti già esistenti, come il Sistema di scambio di quote di emissione dell'Unione europea (**Emission Trading System** – da qui in avanti ETS) per i settori energivori, definendo le norme e i regolamenti che daranno forma alle politiche di decarbonizzazione a livello aziendale, e il Regolamento sulla condivisione degli sforzi (**Effort Sharing Regulation** – da qui in avanti ESR) per ripartire gli obiettivi tra gli Stati membri dell'Unione europea⁷.

L'ESR rappresenta uno strumento per aumentare gli sforzi degli Stati membri nel raggiungere l'obiettivo delle emissioni nette zero: con la tendenza attuale, **l'obiettivo delle emissioni zero non sarà raggiunto entro il 2050**.



⁷ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su fonti varie, 2023.

Il processo di decarbonizzazione pone diverse sfide alle aziende impegnate a mantenere la propria competitività industriale. Le principali sono riferite all'evoluzione della legislazione, alla crescente pressione competitiva e alla necessità di accedere a fonti competitive di finanziamento.

Figura 5

Principali sfide per la decarbonizzazione dei sistemi industriali.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



1.4 Le sfide per i settori industriali impegnati nel processo di decarbonizzazione

Il processo di decarbonizzazione può portare con sé diverse sfide per le aziende che lo intraprendono, ovvero ridurre le emissioni di CO_{2eq} rimanendo competitive sul mercato.

A livello **legislativo**, è stata approvata ed emanata una serie di norme per ridurre le emissioni industriali. **Il sistema Emission Trading System (ETS) è il principale strumento comunitario per il controllo delle emissioni e per lo scambio delle stesse tra Paesi Membri.**

L'obiettivo dell'ETS è di incentivare la riduzione delle emissioni e promuovere investimenti in tecnologie innovative e a basso contenuto di CO_{2eq}. Ciò è possibile grazie a un meccanismo di mercato che consente di acquisire e vendere certificati di emissione a paesi e aziende localizzate nello Spazio Economico Europeo sottoforma di permessi o quote.

La Commissione europea ha introdotto la cosiddetta "Market Stability Reserve-MSR", che ha l'obiettivo di gestire la domanda di ETS. L'MSR consiste in un meccanismo che adegua il numero di quote da mettere all'asta in base alla quantità di quote già in circolazione sul mercato ETS.

L'ETS copre le emissioni di CO_{2eq} prodotte da impianti ad alta intensità energetica come:

- centrali elettriche e raffinerie di petrolio;
- impianti industriali, tra cui acciaierie e produzione di ferro, alluminio, metalli, cemento, calce, vetro, ceramica, legno, carta, cartone e prodotti chimici organici sfusi;
- trasporto aereo (nello specifico voli che partono e atterrano all'interno dei confini dello Spazio Economico Europeo);
- trasporto marittimo.

A fine luglio 2023, il prezzo per emettere una tonnellata di CO_{2eq} è pari a 94,57 Euro, un aumento pari al 52,7% rispetto all'anno precedente (61,93 Euro) e a oltre il 485% rispetto a luglio 2018 (16,16 Euro).

Al 2026, l'Unione europea intende rimuovere progressivamente le quote gratuite attualmente in circolazione, anche quelle che interessano il mercato delle industrie Hard to Abate.

Inoltre, entro il 2030 il tetto sulle emissioni verrà gradualmente abbassato di anno in anno, seguendo un fattore di riduzione lineare annuale pari al 2,2%, (nel periodo 2021-2023) e di circa il 4,3% (nel periodo 2024-2026). Inoltre, è attualmente in fase di discussione l'estensione del sistema ETS anche al settore Waste to Energy, che, ad oggi, non è impattato.

I settori maggiormente interessati dall'ETS hanno sollevato alcune critiche e dubbi sul Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM).

“ Le ultime proposte su ETS e CBAM indeboliscono le disposizioni sulla rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, **aumentano ulteriormente i costi normativi unilaterali e danneggiano la competitività delle industrie europee** sui mercati dell'UE e internazionali.

Lettera aperta di oltre 450 amministratori delegati di industrie ad alta intensità energetica che impiegano circa 2,6 milioni di lavoratori

“ Il CBAM deve essere compatibile con il WTO per **evitare ritorsioni da parte di Paesi terzi** e l'UE dovrebbe avere un'ambizione a lungo termine per un climate club invece di adottare misure unilaterali.

*Confederation
of European Business*

BUSINESSEUROPE

“ Nella fase iniziale, **il CBAM dovrebbe coesistere con le quote gratuite dell'ETS.**

*Koen Coppenhelle,
CEO, CEMBUREAU*

CEMBUREAU
The European Cement Association

“ Poiché le assegnazioni gratuite sono in via di eliminazione e il **CBAM non comporta una compensazione dei costi del carbonio per le esportazioni dell'UE**, i costi finali saranno più elevati e la competitività diminuirà.

*Peter Botschek, Director Industrial
Policy and Competitiveness,
European Chemical Industries Council*

cefic

“ **L'eliminazione graduale delle assegnazioni gratuite potrebbe compromettere la decarbonizzazione**, in quanto le risorse disponibili per gli investimenti diminuirebbero a causa dei maggiori costi di produzione.

*Francesc Rubiralta Rubio,
CEO, Eurofer*

EUROFER
THE EUROPEAN STEEL ASSOCIATION

Al fine di mantenere la competitività industriale, è fondamentale rendere disponibili soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione che consentano alle industrie soggette ai meccanismi ETS di attuare in maniera concreta e sostenibile investimenti in decarbonizzazione già nel breve termine

L'International Energy Agency (IEA) stima **che nel 2050 le economie più sviluppate dovranno pagare fino a 250 Dollari per ogni tonnellata di CO_{2eq} emessa⁸.**

Al fine di tutelare la competitività delle imprese europee soggette all'ETS nel mercato interno, la progressiva rimozione delle quote di emissione gratuite dal 2026 verrà accompagnata dall'entrata in vigore del **Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)** per permettere alle industrie europee di mantenere una forte competitività ed evitare fenomeni di ricollocamento della produzione, e quindi delle emissioni di carbonio, in altri paesi con vincoli di emissione meno rigorosi.

Grazie a questo sistema, gli importatori di beni extra-europei soggetti al meccanismo CBAM dovranno acquistare certificati di emissione al prezzo ETS per coprire le emissioni incorporate nei prodotti importati. L'idea alla base è che il CBAM diventi l'equivalente del meccanismo ETS per i produttori di Paesi terzi, incoraggiandoli a introdurre politiche che pongano vincoli alle emissioni di CO₂.

I settori coperti dal CBAM saranno, in una prima fase, siderurgia, cemento, fertilizzanti, alluminio, energia elettrica, produzione di idrogeno, ovvero i settori con elevate emissioni di CO₂ e ad alto rischio di delocalizzazione. Con il tempo, si stima che più del 50% delle emissioni dei settori Hard to Abate saranno coperte dal CBAM⁹.

8 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Energy Agency e Trading Economics, 2023.

9 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.

I rappresentanti delle industrie maggiormente interessate da questi provvedimenti, come CEMBUREAU (Associazione europea del Cemento), BusinessEurope (la Confederazione delle industrie europee) e il Consiglio europeo delle industrie chimiche, hanno sollevato criticità rispetto alla capacità delle aziende di mantenere la propria competitività industriale in Europa, soprattutto con riferimento al mercato delle esportazioni extra-europee come conseguenza degli squilibri introdotti dai sistemi ETS e CBAM.

Vi è infatti il rischio che **il venir meno di quote gratuite e il rafforzamento degli obblighi aumentino i costi a danno della competitività delle imprese europee a livello internazionale¹⁰**, nonostante l'introduzione del CBAM.

Si rende quindi fondamentale individuare e rendere disponibili soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione che consentano alle industrie soggette ai meccanismi ETS di attuare in maniera concreta e competitiva **investimenti in decarbonizzazione già nel breve termine.**

Il soddisfacimento di tale esigenza risponde non solo a necessità di carattere industriale e di sostenibilità ambientale, ma si configura come un **obiettivo di carattere sistemico a beneficio dell'intera collettività**, in grado di salvaguardare la capacità dell'Europa di creare valore economico in modo sostenibile e di mantenere elevati livelli occupazionali.

10 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Carbon Action Partnership, Cefic, Eurofer, Cembureau and Cerameunie, 2023.

L'Europa sta sviluppando il 54% dei progetti dimostrativi globali di tecnologie pulite in settori Hard to Abate.

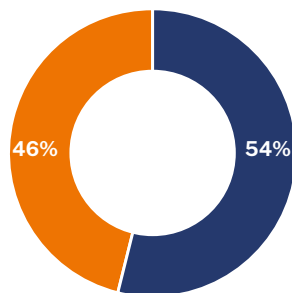
Figura 6

Quota di progetti dimostrativi di tecnologie pulite in Europa rispetto al resto del mondo (a sinistra) e distribuzione dei progetti per settore in Europa (a destra) (% dei progetti), 2015-2030.

Fonte: elaborazione The European House-Ambrosetti su dati IEA, 2023.

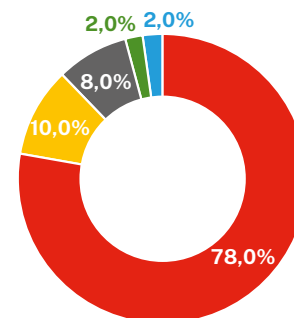
MONDO

- Europa
- Resto del Mondo



PROGETTI IN EUROPA

- Chimico
- Metalli
- Cemento
- Carta
- Trasporto marittimo



Clean technology demonstration project: progetti volti a ridurre le emissioni dei prodotti delle industrie Hard to Abate attraverso modifiche al design della produzione stessa o all'approvvigionamento di materiali sostenibili.

Affinché l'Europa possa continuare a svolgere un ruolo di primo piano nella creazione di nuove filiere green a livello globale, è necessario fare leva su tecnologie di decarbonizzazione scalabili e competitive

Molte filiere produttive stanno investendo nello sviluppo di soluzioni che consentano di decarbonizzare la propria produzione. Molti di questi sviluppi si inseriscono nell'ambito di più ampie riconfigurazioni delle filiere la cui evoluzione è legata alla capacità di decarbonizzare le produzioni di base (es. green metals, green chemicals, ecc.).

L'Europa ha da sempre mantenuto un ruolo di primo piano in tale processo, tuttavia, sta crescendo la pressione competitiva soprattutto da parte di aree geografiche in cui è più facile e conveniente accedere a risorse energetiche rinnovabili.

È quindi necessario garantire che il vantaggio tecnologico e competitivo europeo sia conservato nel corso degli anni **rendendo utilizzabili e disponibili tecnologie e infrastrutture per la decarbonizzazione dei processi produttivi Hard to Abate, oltre che degli approvvigionamenti energetici.**

L'International Energy Agency mappa regolarmente i principali progetti di sviluppo di green products a livello internazionale. L'ultimo aggiornamento del database risale a luglio 2023 e si basa sulla raccolta di dati da esperti, mappature nazionali e condivisione diretta da parte dei promotori dei progetti stessi.

Nella mappatura i "progetti dimostrativi" sono considerati i primi esempi di introduzione di una nuova tecnologia in un determinato ambito su scala reale. Si tratta di progetti che comportano tempi, costi e rischi di gran lunga superiori a quelli di un prototipo¹¹.

Ad oggi, a livello mondiale, sono stati avviati 92 progetti dimostrativi per lo sviluppo di tecnologie di produzione pulite nei settori Hard to Abate. Tali progetti hanno lo scopo di ridurre le emissioni provenienti dalle attività industriali grazie a modifiche del design di produzione o all'utilizzo di materiali sostenibili. **Il 54% dei progetti è concentrato in Europa.**

A livello europeo, la maggior parte dei progetti riguarda il settore chimico e delle plastiche (78%), seguito dal settore dei metalli (10%) e da quello del cemento (8%). La particolarità di questi settori, oltre al fatto di essere altamente energivori, è che sono industrie Hard to Abate, in quanto una parte delle loro emissioni è generata da reazioni chimiche insite nel processo di produzione.

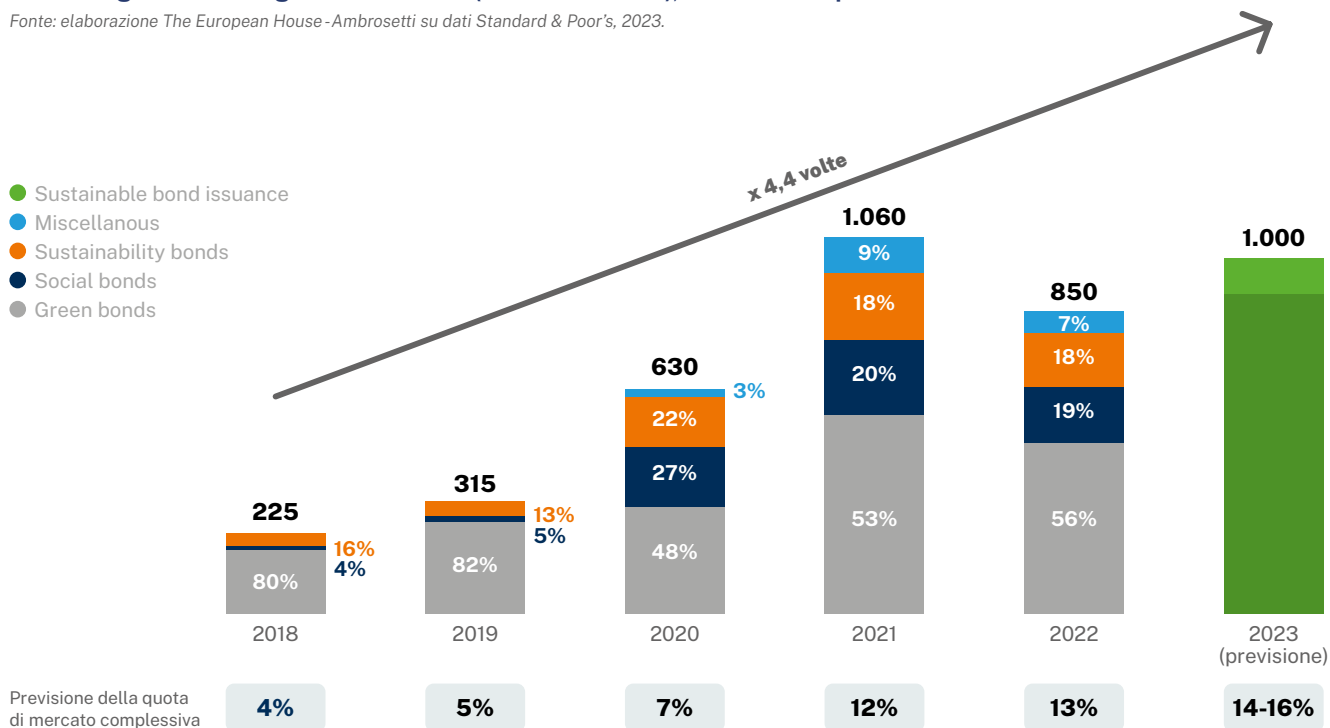
¹¹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Energy Agency, 2023.

I mercati finanziari accolgono con crescente interesse progettualità con importanti ricadute in termini di sostenibilità che, oltre a garantire adeguati ritorni sugli investimenti, consentano di migliorare la qualità e la rischiosità dei propri portafogli di impiego. Le filiere in grado di ridurre il proprio impatto sul clima attraverso investimenti che consentono di contenere le emissioni saranno sempre più avvantaggiate nell'accesso al mercato dei capitali (ad esempio, con tassi di interesse più bassi) rispetto ai loro concorrenti.

Figura 7

Emissioni globali di obbligazioni sostenibili (miliardi di Dollari), 2018 - 2022 e previsioni 2023.

Fonte: elaborazione The European House-Ambrosetti su dati Standard & Poor's, 2023.



Va inoltre considerato che, come dimostrano analisi empiriche condotte su un campione di 17.000 aziende a livello globale, gli **investitori percepiscono sempre di più le emissioni di CO_{2eq} come un rischio rilevante** e richiedono un premio per compensare l'esposizione che ne deriva. L'obbligo per gli istituti finanziari di dimostrare la sostenibilità dei propri attivi determinerà condizioni di mercato preferenziali per gli impieghi e per gli investimenti green¹².

Il nuovo sistema di regolamenti finanziari, sviluppato all'interno della **Tassonomia europea degli Investimenti** stabilita tra il 2021 e il 2023, obbliga gli operatori finanziari a segnalare la misura in cui i loro investimenti siano in linea con gli obiettivi della Tassonomia stessa. Le aziende, contestualmente, sono tenute a rilasciare informazioni rispetto alle loro attività facendo riferimento all'allineamento con la Tassonomia.

Inoltre, le aziende devono agire per decarbonizzare le loro emissioni dirette (scope 1), ma devono anche lavorare su un insieme più ampio di soluzioni per diminuire anche le emissioni indirette (scope 2 e 3). All'interno di scope 1 sono incluse le emissioni dirette, sia di proprietà che sotto il controllo aziendale, generate nella produzione o nel trasporto. Con scope 2 si intendono le emissioni indirette generate dall'energia acquistata (es. energia elettrica) e utilizzata dall'azienda per utilizzo interno, mentre scope 3 racchiude tutte le emissioni indirette generate lungo la catena di valore dell'azienda (distribuzione e trasporto upstream e downstream, investimenti e smaltimento dei rifiuti).

L'effetto a "catena" generato dalla valutazione dell'impronta carbonica sui tre scope consentirà di fare leva sull'importanza economica del mercato economico e finanziario europeo per generare implicazioni a livello internazionale. Inoltre, gli obblighi di disclosure imposti dalla Tassonomia, che si applicano a qualunque soggetto offra prodotti finanziari nell'Unione europea, avranno effetti anche su attori extra comunitari, considerato il livello di integrazione tra i mercati dei capitali e le catene di fornitura a livello internazionale.

In questo modo, la **Tassonomia potrà generare un circolo virtuoso ponendo sempre più l'attenzione degli istituti finanziari su investimenti in filiere in grado di concretizzare percorsi di decarbonizzazione**. Le aziende che sviluppano un percorso verso la sostenibilità e la decarbonizzazione saranno sempre più avvantaggiate nell'accesso al mercato dei capitali (ad esempio, con tassi di interesse più bassi) rispetto ai loro concorrenti.

¹² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Paper "The Financial Cost of Carbon", Patrick Bolton, Columbia University e Imperial College; Zachery Halem, Lazard; and Marcin Kacperczyk e pubblicato su Journal of Applied Corporate Finance (2022), 2023.

Capitolo 2

Le soluzioni di Carbon Capture & Storage: livello di sviluppo tecnologico, costi e ambiti di applicazione

MESSAGGIO CHIAVE 2

La CCS è una soluzione matura, sicura e competitiva. È l'unica opzione praticabile per abbattere le emissioni di processo e una delle migliori opzioni disponibili per abbattere altre emissioni industriali.

L'utilizzo della CCS contribuirà a preservare la competitività dei settori Hard to Abate in Italia, che rappresentano **94 miliardi di Euro di Valore Aggiunto** (5% del PIL italiano) e **1,25 milioni di occupati** (4,5% della forza lavoro nazionale). Inoltre, la CCS può contribuire a promuovere lo sviluppo dell'idrogeno, a sostenere la diffusione delle fonti rinnovabili per la decarbonizzazione della rete elettrica, integrandone la natura intermittente e non programmabile con una fonte di energia dispacciabile a basse emissioni di CO₂, e a rendere possibile la generazione di emissioni negative attraverso l'applicazione alle bioenergie o alla cattura della CO₂ direttamente dall'atmosfera.

2.1 Introduzione

Il presente Capitolo fornisce una panoramica sulla cattura e lo stoccaggio della CO₂ (Carbon Capture & Storage - CCS).

In particolare, la prima sezione del Capitolo è volta a descrivere le diverse soluzioni tecnologiche di CCS esistenti, il livello di maturità, la sicurezza, i costi e le opzioni disponibili per la riduzione degli stessi.

La seconda sezione è dedicata agli ambiti di applicazione prioritari della CCS:

- decarbonizzazione dei settori industriali Hard to Abate con emissioni da processo rilevanti e i cui processi di produzione,

difficilmente elettrificabili, devono raggiungere temperature elevate, richiedendo la combustione di fonti fossili (petrolchimico, siderurgico, metallurgico e minerali non metalliferi);

- decarbonizzazione della quota di produzione di energia elettrica da gas necessaria per assicurare stabilità, flessibilità e adeguatezza dei sistemi elettrici;
- produzione di idrogeno decarbonizzato che, soprattutto in una prima fase, possa consentire il rapido sviluppo di una filiera che accompagni la domanda per l'idrogeno rinnovabile;
- la "generazione" di emissioni negative mediante il sequestro di emissioni dall'aria o da biomassa, necessarie per compensare i settori che non hanno alternative praticabili per la decarbonizzazione, come l'agricoltura.

Vi sono soluzioni tecnologiche per la cattura della CO₂ mature e commercialmente disponibili, con un Technology Readiness Level (TRL*) elevato e un'efficienza di cattura prossima al 90-95%.

Figura 1

Soluzioni tecnologiche di CCS, TRL* ed efficienza.

(*) Il TRL di ciascuna tecnologia è variabile rispetto alle applicazioni (power generation, idrogeno, cemento etc.) e il TRL indicato in figura corrisponde al livello massimo tra i diversi ambiti di applicazione.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, US National Energy Technology Laboratory e Global CCS Institute, 2023.

Famiglia tecnologica	Tecnologia	TRL	Efficienza di cattura (%)
POST COMBUSTIONE	Assorbimento fisico	9	85-90
	Assorbimento chimico	9	90-95
	Assorbimento solido fluidizzato (Looping chimico)	7	90-95
	Membrana polimerica	4	80-90
PRE COMBUSTIONE	Assorbimento fisico	9	85-90
	Assorbimento chimico	9	90-95
	Assorbimento solido static (Pressure/Temperature Swing Adsorption)	9	90-95
	Assorbimento criogenico	8	90-95
OSSICOMBUSTIONE	Combustione di ossigeno puro	6	90-95
	Cicli a CO ₂ supercritica	5	>98

2.2 La CCS è una tecnologia matura

Ad oggi, esistono tre famiglie tecnologiche per la cattura della CO₂, ovvero post-combustione, pre-combustione e ossicombustione, ciascuna con più tecnologie di cattura, per un totale di dieci soluzioni disponibili riportate nella figura precedente. Fatta eccezione per la membrana polimerica, che è una tecnologia validata in laboratorio (TRL 4), **tutte le metodologie hanno un livello di sviluppo tecnologico (TRL) intermedio / alto**. L'efficienza media di cattura dimostrata è di circa il 90%, con i cicli a CO₂ a pressione e temperature elevate (c.d. stato supercritico), che presentano la più alta efficienza di cattura (98%)¹.

L'impiego della cattura della CO₂ nei processi industriali è una soluzione consolidata. I primi esempi risalgono agli anni '30, quando i solventi chimici venivano utilizzati nella produzione di gas naturale per separare la CO₂ dal metano. A partire dagli anni '40, sono emersi processi che utilizzano solventi fisici per la cattura di CO₂ da flussi di gas di processo che contengono concentrazioni più elevate di CO₂ (dal 25 al 70%) e in condizioni di pressione più elevate (circa 100 bar). Negli anni '50 e '60, i processi di adsorbimento che utilizzano sorbenti solidi hanno consentito la separazione dei gas nella produzione di idrogeno e azoto. Negli anni '70 e '80, sono state sviluppate le membrane per catturare la CO₂ da utilizzare nel trattamento del gas naturale².

Ad oggi, la cattura della CO₂ è sempre più applicata per decarbonizzare i settori Hard to Abate e il settore energetico anche in presenza di flussi di gas diluiti, dove la **concentrazione di CO₂ è molto bassa e il costo di cattura è conseguentemente più elevato**.

Le tecnologie di cattura di seconda generazione, che non sono ancora state introdotte in commercio, mirano a ridurre i costi del 20-30% rispetto alle attuali tecnologie disponibili. Tali tecnologie dovrebbero essere disponibili a livello commerciale entro il 2025-2030³.

La seconda componente cruciale della soluzione CCS è il trasporto, tramite infrastruttura, che collega le fonti di CO₂ ai siti di stoccaggio. Oggi, la CO₂ viene compressa e trasportata principalmente attraverso gasdotti e navi, ma è possibile trasportarla anche tramite camion e rotaia. **Il trasporto di gas e liquidi attraverso le diverse modalità sopramenzionate è maturo** (TRL 9).

¹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati IEA e US National Energy Technology Laboratory, 2023.

² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

³ Ibid.

Di tutte le opzioni disponibili, attualmente solo i gasdotti trasportano CO₂ su scala significativa. Ad esempio, la rete formata da 50 pipeline negli Stati Uniti⁴ si estende per oltre 8.000 chilometri e ogni anno trasporta oltre 70 milioni di tonnellate di CO₂⁵.

La terza e ultima componente della catena di CCS è lo stoccaggio. La CO₂ viene stoccata in formazioni geologiche paragonabili a quelle che contengono naturalmente acqua, petrolio o gas. Attualmente sono operativi oltre 30 progetti di stoccaggio nel mondo, che catturano e stoccano circa 40 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno⁶.

L'iniezione, lo stoccaggio e il monitoraggio della CO₂ in tali formazioni geologiche si basano sulle stesse tecnologie sviluppate da quasi 50 anni per l'Enhanced Oil Recovery⁷ (EOR) e lo stoccaggio di gas naturale. Il primo progetto di EOR, Terrell, è stato infatti lanciato negli Stati Uniti nel 1971. Due forme di stoccaggio geologico sono tecnicamente mature: in acquiferi salini e giacimenti di gas esauriti.

Lo stoccaggio della CO₂ in formazioni saline ha un TRL di 9, con il primo esempio nel Mare del Nord, risalente al 1996, dove l'impianto CCS di Sleipner ha iniettato oltre 20 milioni di tonnellate di CO₂. Questo impianto rappresenta il primo utilizzo della CCS come strumento di mitigazione del clima nell'ambito di un'operazione commerciale ed è stato fondamentale per dimostrare che la CO₂ può essere iniettata a un tasso significativo (1 milione di tonnellate all'anno) in formazioni saline, che può essere monitorata e il cui stoccaggio è permanente⁸.

Anche lo stoccaggio geologico nei giacimenti di petrolio e gas esauriti è maturo, anche se ad oggi è stato applicato solo in progetti dimostrativi. Questa modalità sta però ricevendo molta attenzione, grazie all'opportunità di sfruttare infrastrutture esistenti e dati raccolti nel corso degli anni che ne confermano la sicurezza⁹.

In ultimo, oltre a non essersi mai registrata una perdita da un sito di stoccaggio, la CCUS condivide gran parte delle tecnologie di iniezione e monitoraggio con il settore dello stoccaggio del gas naturale.

4 Gli Stati Uniti comprendono l'85% di tutti i gasdotti per la CO₂ a livello globale.

5 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati National Petroleum Council, 2023.

6 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

7 Le soluzioni di EOR permettono di stoccare la CO₂ all'interno di pozzi non ancora depletati. Tale soluzione non è però considerata all'interno del perimetro del presente Studio Strategico.

8 Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

9 Ibid.

In particolare, la coltivazione dei campi gas ha permesso di accumulare una grande conoscenza rispetto alle caratteristiche geologiche, geo-chimiche, geo-meccaniche e fluidodinamiche dei giacimenti poi destinabili allo stoccaggio della CO₂. Tale patrimonio informativo è di particolare rilevanza soprattutto per la progettazione dei siti di stoccaggio per la realizzazione di analisi e simulazioni che dimostrino la capacità dei campi di contenere in maniera sicura la CO₂ sequestrata su archi temporali molto lunghi (svariate centinaia di migliaia di anni).

MYTHBUSTERS

La CCS è una tecnologia sperimentale ancora in fase di ricerca

FALSE

La CCS è una soluzione tecnologica matura, conosciuta e testata da decenni. Oggi il know how delle aziende del settore Oil & Gas può essere sfruttato per lo sviluppo di progetti di decarbonizzazione e sostenibilità basati su soluzioni CCS


TRUE

Modelli teorici hanno dimostrato che oltre il 99,99% della CO₂ non fuoriesce dai siti di stoccaggio.

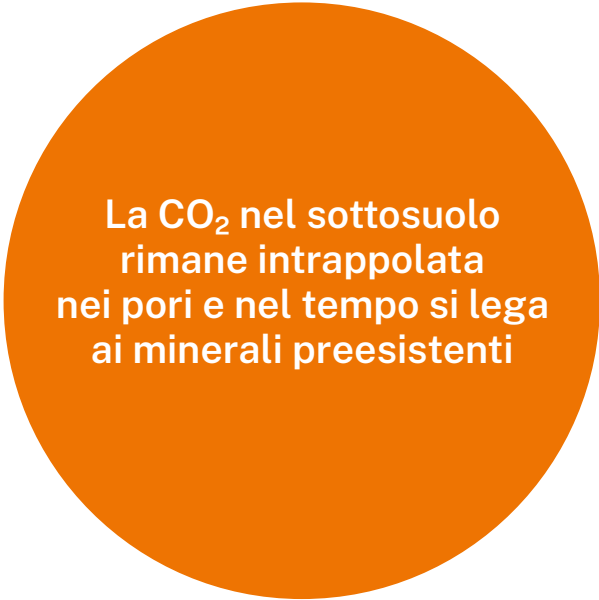
Figura 2

Rischio teorico di fuoriuscita della CO₂ dai siti di stoccaggio.

Fonte: The European House-Ambrosetti su Report "CO₂ Storage Safety in the North Sea: Implications of the CO₂ Storage Directive", European Zero Emission Technology and Innovation Platform (2019), 2023.



**Oltre il 99,99% della CO₂
iniettata rimane
nel sottosuolo
per almeno 500 anni**



**La CO₂ nel sottosuolo
rimane intrappolata
nei pori e nel tempo si lega
ai minerali preesistenti**

2.3 La CCS è una tecnologia sicura

Lo stoccaggio sotterraneo della CO₂ è una tecnologia sicura e matura, come dimostra l'esperienza ventennale di stoccaggio nei siti al largo delle coste norvegesi e l'esperienza più recente nei siti offshore di Canada e Stati Uniti. In Europa, la CCS beneficia di una serie di regolamenti e requisiti chiari, previsti dalla Direttiva UE sullo stoccaggio di CO₂ del 2009, che **garantiscono l'individuazione di siti di stoccaggio adeguati e la sicurezza delle operazioni successive**, in quanto delineano un quadro chiaro e completo per valutare, monitorare e gestire in sicurezza i siti di stoccaggio di CO₂. Inoltre, le disposizioni della Direttiva stabiliscono importanti prerequisiti tecnici e finanziari per lo sviluppo della CCS in Europa, che garantiscono l'adozione delle massime misure di salvaguardia da parte degli operatori¹⁰.

L'integrità dei serbatoi geologici ingegnerizzati di CO₂ nel sottosuolo è regolata da una serie di fattori geologici, geochimici e geotecnici. Diversi studi hanno dimostrato che la CO₂ può essere immagazzinata in modo sicuro nel sottosuolo per migliaia di anni, basandosi sulle evidenze dei diversi bacini di CO₂ naturali esistenti da milioni di anni¹¹.

Ad esempio, su richiesta della Commissione europea, la European Zero Emission Technology and Innovation Platform ha elaborato dieci scenari teorici.

Tali scenari prevedono che oltre **il 99,99% della CO₂ iniettata rimanga nel sottosuolo per tutto il periodo di 500 anni considerato**. È importante notare che, in linea generale, più a lungo la CO₂ rimane nel sottosuolo, più diventa sicura, poiché rimane intrappolata nei pori, si dissolve nei fluidi di formazione e si lega ai minerali preesistenti. Inoltre, l'esperienza operativa finora maturata dimostra che lo stoccaggio geologico della CO₂ è una tecnologia collaudata, pronta per un'implementazione più ampia. La CCS può quindi essere considerata una soluzione chiave per la mitigazione del cambiamento climatico.

¹⁰ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Report "CO₂ Storage Safety in the North Sea: Implications of the CO₂ Storage Directive", European Zero Emission Technology and Innovation Platform (2019), 2023.

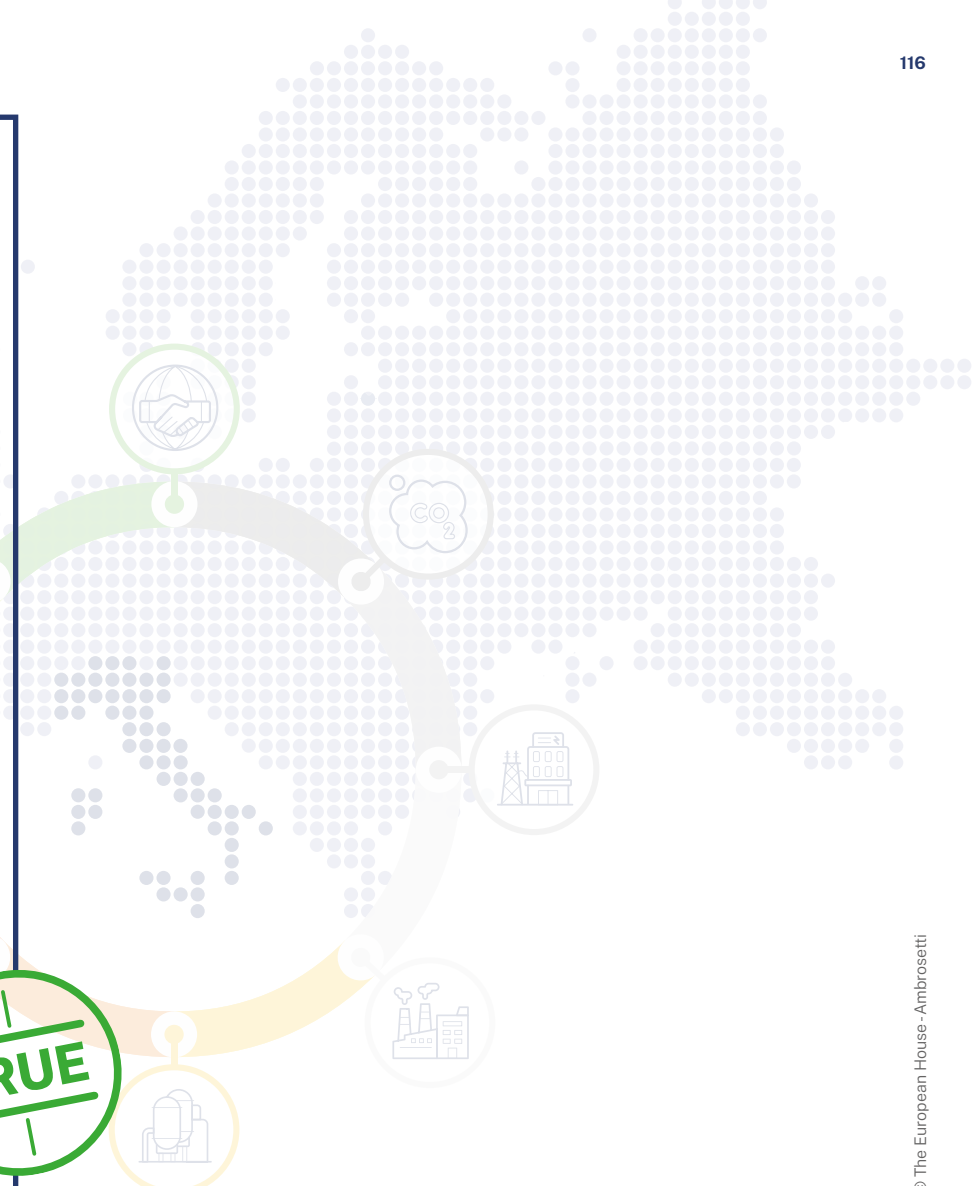
¹¹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Articolo "Storing CO₂ underground can curb carbon emissions, but is it safe?" O'Callaghan J., Horizon, The EU Research and Innovation Magazine, Commissione europea (2018), 2023.

MYTHBUSTERS

La CCS non è sicura perché può causare esplosioni o fughe di CO₂



La CO₂ è un gas inerte, non infiammabile, non esplosivo. Il trasporto della CO₂ è basato su tecnologie mature, applicate in sicurezza da decenni in diversi settori industriali. Le perdite dai siti di stoccaggio sono altamente improbabili e mai accadute in passato. Anche nell'improbabile eventualità di perdite, queste non costituirebbero un rischio per la sicurezza, ma una re-immisione in atmosfera di CO₂. Inoltre lo stoccaggio della CO₂ condivide la maggior parte della tecnologia e del know how con lo stoccaggio del gas naturale, un settore con ottimi standard di sicurezza dove l'industria dell'energia ha esperienza decennale



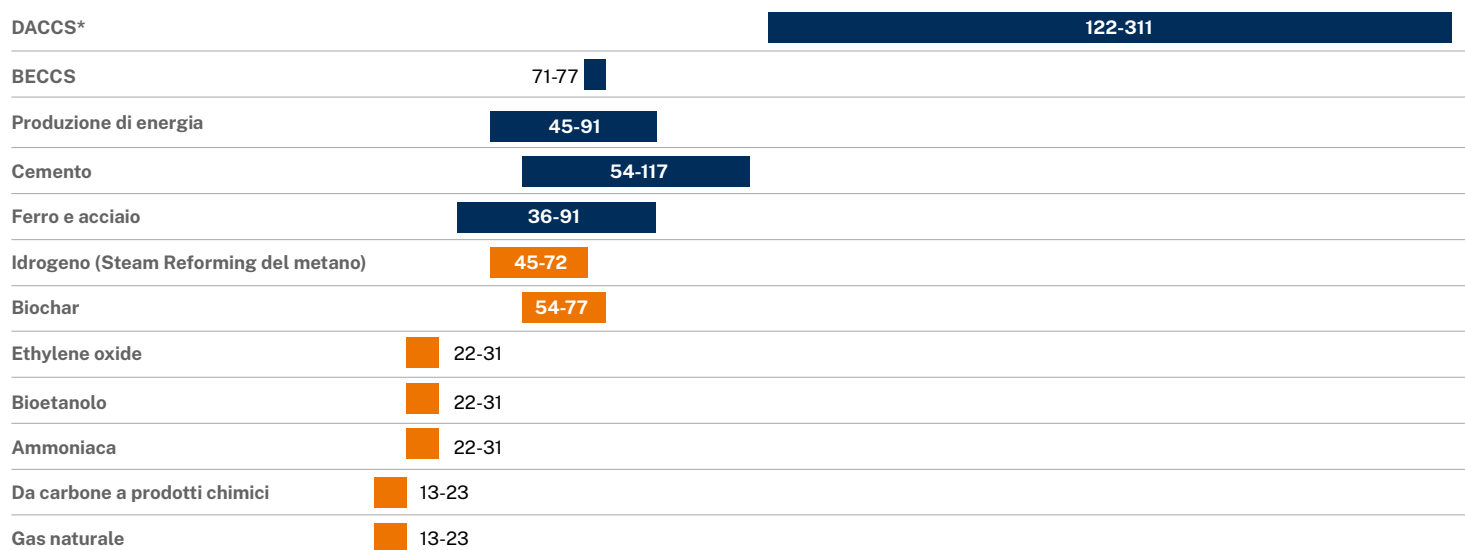


Il costo della cattura della CO₂ dipende in larga misura dalla concentrazione di CO₂ della fonte emissiva, dalla pressione e dalla temperatura. Nonostante la maturità delle tecnologie di cattura, in futuro i costi potranno essere ottimizzati sfruttando un approccio di portafoglio tecnologico e un aumento del know how associato alla capacità di integrazione nelle diverse tipologie di impianti industriali.

Figura 3

Costo livellato della cattura di CO₂ per settore e concentrazione iniziale di CO₂, (Euro/Ton CO₂), ultimi dati disponibili.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA e Report "Realizing Carbon Capture and Storage (CCS) technologies globally", DNV (2023), 2023.



*Secondo alcuni studi, il costo della DACCS può raggiungere i 600 Dollari (553 Euro) per tonnellata di CO₂.
Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Bloomberg e World Resources Institute, 2023.

Nota: Questi costi non includono i costi di trasporto e di stoccaggio

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su analisi IEA, basate su GCCSI (2017), Global costs of carbon capture and storage, 2017; IEAGHG (2014), CO₂ capture at coal based power and hydrogen plants; Keith et al. (2018), A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere; NETL (2014), Cost of capturing CO₂ from Industrial sources; Rubin, E. S., Davison, J. E. and Herzog, H. J (2015), The cost of CO₂ capture and storage.

● Bassa concentrazione di CO₂
● Alta concentrazione di CO₂

2.4 La diversificazione di portafoglio, l'applicazione a casi reali e le economie di scala quali principali leve per la riduzione dei costi

Il costo totale della CCS è dato dalla somma del costo dalle diverse fasi del processo, ovvero cattura, trasporto e stoccaggio.

Il costo di ogni componente varia da progetto a progetto ed è influenzato principalmente da tre fattori: le caratteristiche della fonte di CO₂, le caratteristiche dell'impianto di cattura e la saturazione delle infrastrutture di trasporto e stoccaggio.

A parità di condizioni, **i costi di cattura della CO₂ sono inversamente correlati alla pressione parziale (e quindi alla concentrazione) della CO₂ nel flusso di gas.**

Pressioni parziali più elevate consentono di trasferire più rapidamente la CO₂ dal gas di partenza alle sostanze utilizzate per catturarla. Tale maggiore velocità si traduce in apparecchiature di cattura più piccole e conseguenti investimenti più contenuti. Inoltre, elevate pressioni parziali necessitano di meno energia e riducono così i costi operativi, a parità di altre condizioni¹².

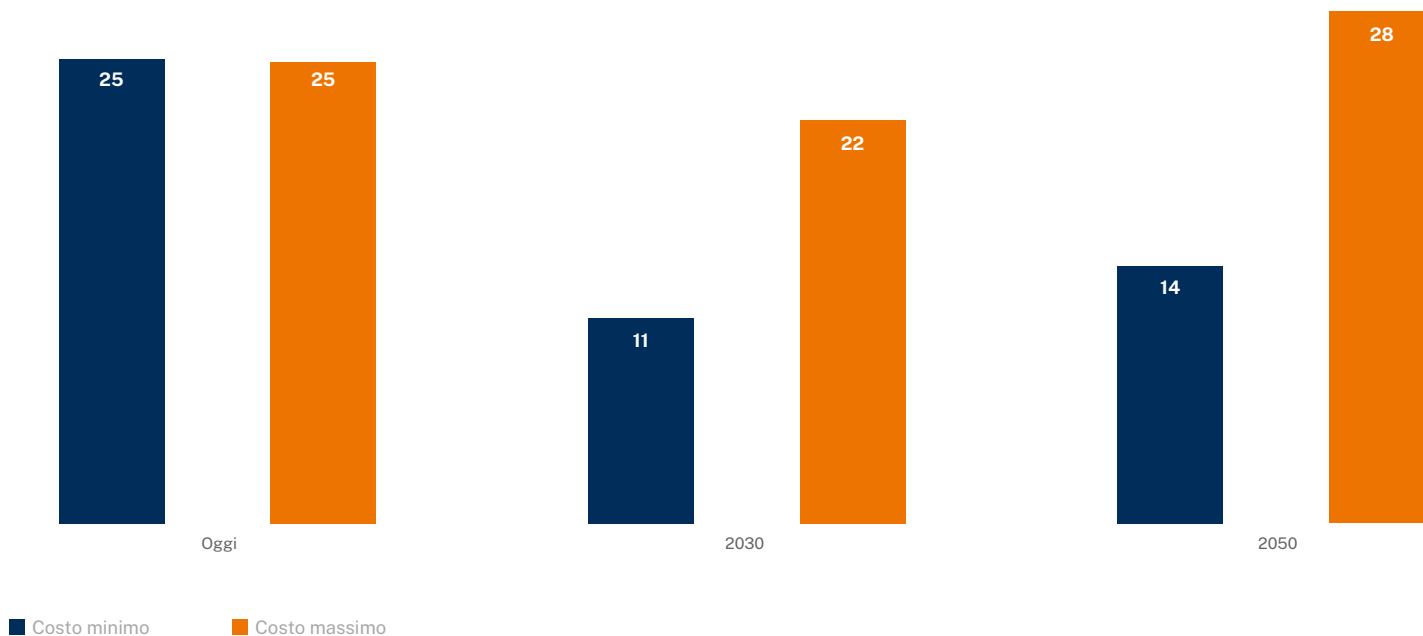
Inoltre, **per abilitare la CCS, l'infrastruttura di trasporto, intesa come pipeline, ha un ruolo fondamentale:** anche se nei costi ha un peso ridotto rispetto alle altre componenti, ha tempi di sviluppo importanti che necessitano chiarezza normativa e regolatoria ed è imprescindibile per la realizzazione dei progetti. **I gestori delle reti di gas sono ottimamente posizionati per lo sviluppo di questa infrastruttura grazie al know how acquisito nello sviluppo e nella gestione dell'infrastruttura di trasporto molecolare e di gestione business regolato/semi-regolato.**

Inoltre, volumi elevati di cattura consentono di ottimizzare il costo complessivo della CCS: minore è il numero di emettitori che partecipano a un progetto CCS, maggiori sono i costi complessivi.

Figura 4

Differenza percentuale tra il costo livellato della CCS, progetti autonomi vs. hub multiutente (differenza %).

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati Wood Mackenzie, Paper "Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonisation of the EU power sector", Pietzcker et AL., Potsdam Institute for Climate Impact Research (2023), 2023.



Hub CCS: i progetti di cattura sono sviluppati separatamente da quelli di trasporto e stoccaggio; la CO₂ viene catturata da diverse industrie.

Esempi di hub sono l'East Coast Cluster (Regno Unito) e il Northern Light Project (Norvegia). Northern Lights e East Coast cluster sono gli unici hub analizzati nello studio Potsdam Institute.

L'altro fattore principale che incide sul costo di cattura sono le economie di scala. Ad esempio, si stima che raddoppiare la capacità di cattura di un impianto possa comportare una riduzione dei CAPEX del 50%. Ciò significa che il costo del capitale per unità di produzione¹³ potrà ridursi del 25%. L'effetto è ancora più pronunciato per taglie maggiori, ad esempio un aumento della capacità di sequestro di 10 volte produce un risparmio sui costi di circa il 60% per unità di produzione. Quanto riportato precedentemente rispetto agli effetti di scala deve essere considerato con un esempio generale, vi sono infatti variazioni significativamente tra industrie¹⁴.

Vi è quindi la possibilità di stimare una learning curve importante nella realizzazione degli impianti di cattura della CO₂¹⁵. In tal senso, è possibile individuare due direttrici su cui fare leva per ottimizzare i costi, nonostante la maturità della tecnologia di cattura:

- **Diversificazione:** sfruttare un portafoglio di tecnologie di cattura che possano essere meglio adattate a diversi contesti (ad esempio, considerando concentrazione, pressione, temperatura e altre variabili). L'impiego di future soluzioni CCS per la fase di cattura potrà portare a una riduzione dei costi del 25-30% grazie a processi di recupero dei materiali adsorbenti più efficienti;

- **Sperimentazione delle tecnologiche in casi d'uso reali su scala industriale:** le applicazioni su casi concreti consentiranno di migliorare la capacità di integrazione delle soluzioni CCS in diversi processi e tipologie di impianti industriali. È quindi fondamentale accelerare l'applicazione pratica su scala industriale delle tecnologie CCS più mature, al fine di generare conoscenze sull'integrazione delle diverse soluzioni.

In secondo luogo, l'intera catena della CCS può beneficiare di importanti economie derivanti dalla capacità di saturazione delle infrastrutture di trasporto e di stoccaggio.

Infatti, l'ottimizzazione degli investimenti per la creazione di economie di scala legate alla CCS richiede la comprensione delle variabili di costo. Se più fonti di CO₂ sono fisicamente vicine, possono essere aggregate per formare una portata di gas più elevata.

¹³ Il costo diviso per la capacità di cattura della CO₂.

¹⁴ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

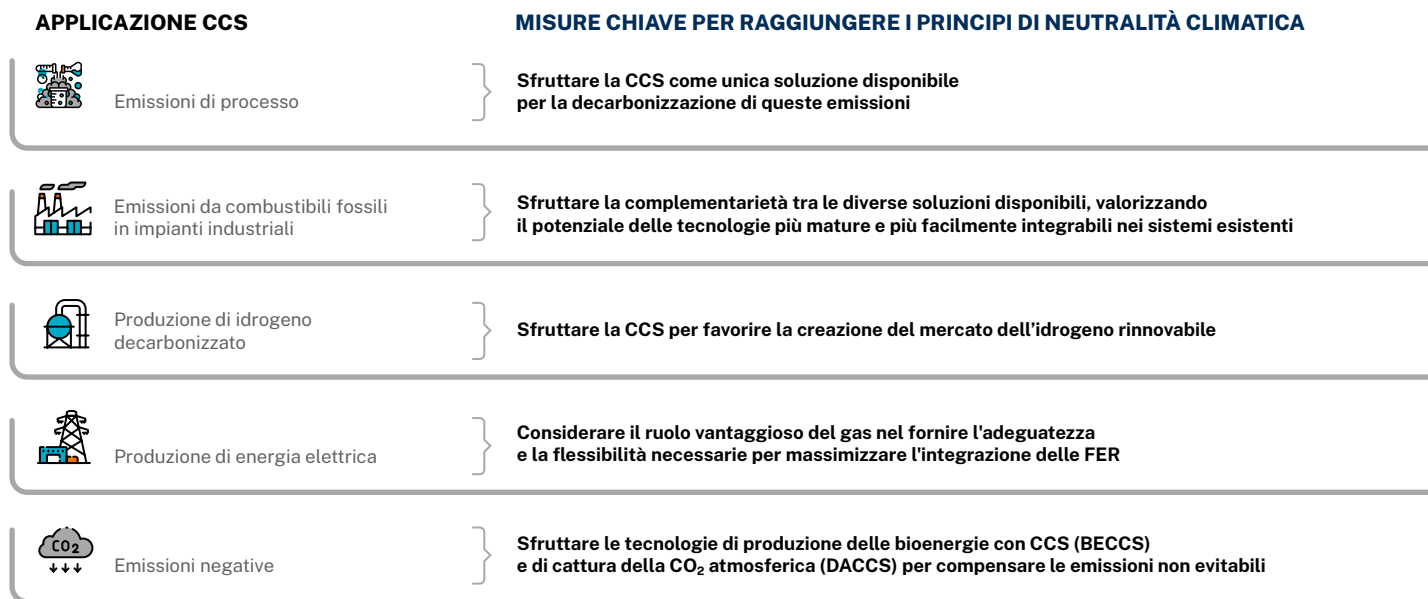
¹⁵ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Global CCS Institute, 2023.

La CCS sta ricevendo, da parte dell'UE, un'attenzione diversificata in base al settore di applicazione e all'ambito emissivo di riferimento a cui viene applicata. Per promuovere la diffusione delle soluzioni di CCS e raggiungere gli obiettivi climatici, sarà fondamentale applicare i principi di neutralità tecnologica e sfruttare la complementarità temporale tra le soluzioni disponibili. La bozza del PNIEC italiano, consegnata a fine giugno 2023, si ispira a tali principi e può essere considerata un primo strumento per aprire la strada a considerazioni strutturate in UE.

Figura 5

Focus dell'UE per i diversi ambiti di utilizzo della CCS.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023.



2.5 L'applicazione della CCS secondo un principio di neutralità tecnologica e gli ambiti prioritari di decarbonizzazione

Come si vedrà nel dettaglio nel Capitolo 3, in conseguenza della crescente consapevolezza rispetto al ruolo sinergico e complementare della CCS con le altre soluzioni di decarbonizzazione, dal 2021 si è assistito a un'importante accelerazione del contesto normativo per facilitare lo sviluppo della CCS in UE. Gli ambiti di applicazione della CCS che stanno ricevendo attenzione nel dibattito europeo sono:

- Emissioni di processo;
- Produzione di idrogeno low carbon;
- Decarbonizzazione dell'energia da fonti fossili;
- Emissioni da combustibili fossili in impianti industriali;
- Emissioni negative tramite bioenergie con CCS (BECCS) o da cattura atmosferica (DACCS)¹⁶.

In particolare, si rileva che la bozza di revisione del Piano Nazionale per l'Energia e il Clima (PNIEC), presentata a luglio 2023, ha identificato tutti questi ambiti come contesti di applicazione per la CCS.

¹⁶ BECCS – Bioenergy with Carbon Capture & Storage, ovvero la bioenergia con cattura e sequestro della CO₂ è il processo che impiega la biomassa come fonte di energia e la cattura e lo stoccaggio permanente della CO₂ prodotta durante la conversione della biomassa in energia (Fonte: Global CCS Institute). DACCS – Direct Air Capture with Carbon & Storage, ovvero la cattura diretta dell'aria con stoccaggio del carbonio (DACCS) è una tecnologia che utilizza processi chimici per catturare e separare la CO₂ direttamente dall'aria (Fonte: The Institute for Carbon Removal Law and Policy).

Per ogni tipologia di applicazione della CCS, The European House-Ambrosetti ha elaborato dei principi chiave per promuoverne lo sviluppo. In particolare:

- emissioni da processo, emissioni negative grazie alle bioenergie con CCS, produzione di idrogeno decarbonizzato: **attenersi al principio di neutralità tecnologica**;
- produzione di energia elettrica: è necessario considerare **il ruolo del gas nel soddisfare la crescente domanda di flessibilità, massimizzando così lo sviluppo e l'integrazione delle FER non programmabili** in sinergia con la graduale introduzione di idrogeno da elettrolisi e bioenergie negli impianti di generazione elettrica;
- emissioni da combustibili fossili in impianti industriali Hard to Abate già considerati per le emissioni di processo: in aggiunta alla promozione di altre soluzioni per la decarbonizzazione (ad es. efficienza energetica, idrogeno, combustibili alternativi, bioenergie), sarà fondamentale **sfruttare la complementarità della CCS rispetto ad altre tecnologie**, soprattutto nelle situazioni in cui l'elettrificazione o l'utilizzo dell'idrogeno saranno da accompagnarsi a radicali trasformazioni degli assetti industriali e dei sistemi energetici.

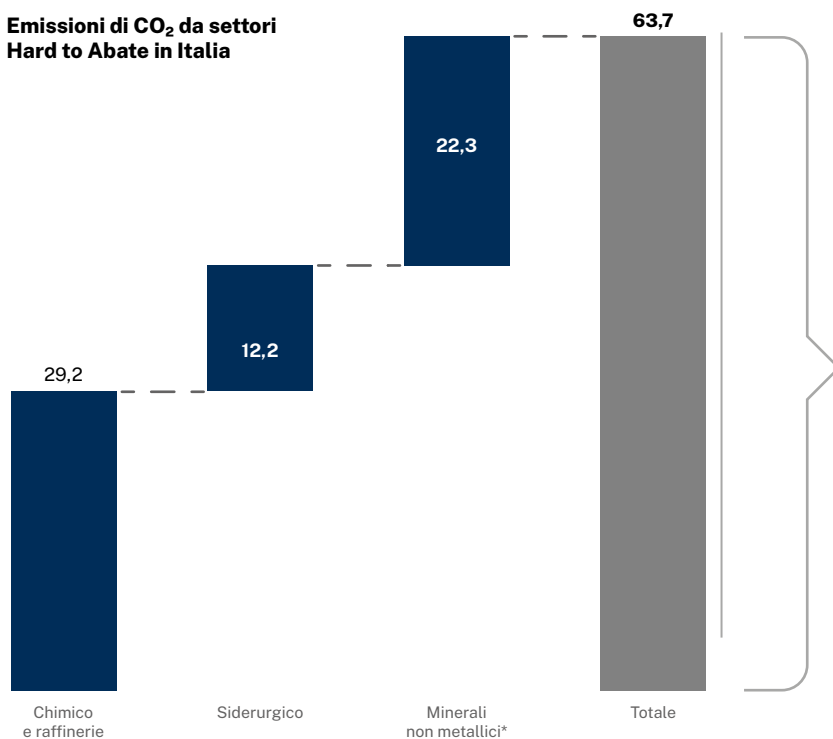
A livello nazionale, i settori industriali Hard to Abate emettono un totale di 63,7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, di cui il 78% da emissioni da combustibili fossili e il 22% da processi industriali.

Figura 6

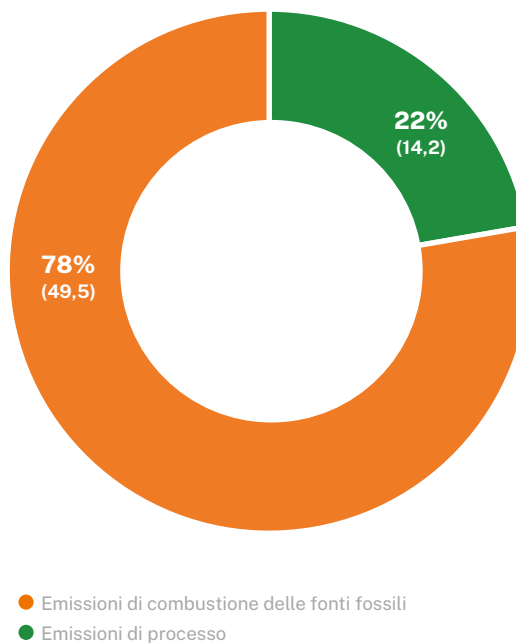
Emissioni di CO₂ da settori Hard to Abate in Italia (Mton CO₂), 2021 ed emissioni di CO₂ da combustibili fossili e processi (valore percentuale e Mton di CO₂), 2021.

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati Ispra, 2023.

Emissioni di CO₂ da settori Hard to Abate in Italia



Emissioni di CO₂ da combustibili fossili e processi



(* con "Minerali non metallici" si fa riferimento a cemento, vetro, gesso, ceramica e dolomite.

2.6 La decarbonizzazione delle industrie Hard to Abate

Il primario ambito di applicazione della CCS è l'industria Hard to Abate¹⁷, nello specifico le raffinerie e il settore chimico, siderurgico¹⁸ e i minerali non metalliferi¹⁹. A livello nazionale, i settori menzionati emettono un totale di 63,7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, circa il **19% delle emissioni nazionali**²⁰.

Le emissioni dei settori Hard to Abate sono tra le più difficili da ridurre, sia dal punto di vista tecnico che di fattibilità finanziaria. A livello aggregato, **il 22% delle emissioni proviene dal processo produttivo stesso** (non da combustione di prodotti fossili) **e sono quindi legate a reazioni chimiche o fisiche e che non possono essere evitate con la sostituzione dei combustibili fossili o con l'incremento dell'efficienza energetica**. Ciò rappresenta una sfida in particolare per i materiali da costruzione (cemento, vetro, calce e laterizi), caratterizzati da circa il 50% di emissioni di processo, valore che sale a circa il 66% se si considera il solo cemento²¹.

Inoltre, larga parte della domanda energetica dei settori Hard to Abate è utilizzata per fornire calore ad alta temperatura. Ad esempio, per la produzione di acciaio gli altiforni raggiungono temperature di 1400-1500°C²².

Il passaggio da combustibili fossili a combustibili a basso contenuto di CO₂²³ per generare questo calore richiederebbe modifiche agli impianti e un aumento sostanziale del fabbisogno di elettricità rinnovabile.

Oltre alle sfide tecniche, bisogna poi tenere conto della competitività.

¹⁷ Il settore di produzione della carta è considerato Hard to Abate in quanto gran parte delle emissioni sono biogeniche e quindi l'elettrificazione non risulta un'alternativa valida dal punto di vista economico e ambientale. Il settore non è però incluso nel presente studio in quanto le emissioni - 5,3 milioni di tonnellate di CO₂ nel 2021 - sono residuali rispetto ai settori Hard to Abate considerati.

¹⁸ Acciaio, alluminio, ferroleghie, fonderie di ghisa, forni siderurgici, piombo, rame e zinco.

¹⁹ Cemento, vetro, gesso, ceramica, calce e dolomite.

²⁰ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ipsra, 2023.

²¹ Ibid.

²² Fonte: The European House - Ambrosetti su "Material Science and Engineering: An Introduction", 5th ed., W. D. Callister, (1999), 2023.

²³ Combustibili sintetici o biocombustibili.

Convertire i processi di produzione basati su combustibili fossili con tecnologie basate sull'idrogeno richiede riconfigurazioni importanti degli assetti produttivi (con possibile impatto sulle caratteristiche dei prodotti) con investimenti iniziali e costi operativi elevati, che porterebbe le aziende in una posizione di svantaggio competitivo.

Considerando che la maggior parte dei prodotti delle industrie Hard to Abate sono commercializzati a livello globale, le aziende devono fronteggiare anche competitor internazionali, spesso provenienti da paesi dove la normativa relativa alle emissioni è più lasca²⁴.

Vi è inoltre da considerare che la disponibilità di elettricità rinnovabile e vettori con zero emissioni nette di CO₂ in fase di produzione quali idrogeno rinnovabile, e bioenergie non potranno essere disponibili nel breve termine su scale tali da soddisfare le domande industriali di tali settori (in aggiunta alla domanda dei settori più facilmente elettrificabili).

Inoltre, la diffusione di elettricità rinnovabile e vettori a basso impatto carbonico, con particolare riferimento all'idrogeno, per le potenze tipiche richieste dalle industrie considerate, non potrà prescindere da importanti investimenti infrastrutturali di rete, che si svilupperanno almeno nel medio termine.

Si ritiene quindi fondamentale non perdere l'opportunità di avviare subito investimenti per la decarbonizzazione totale di queste industrie mediante CCS sfruttando un principio di complementarità per accompagnare la successiva introduzione di altre soluzioni.



²⁴ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.



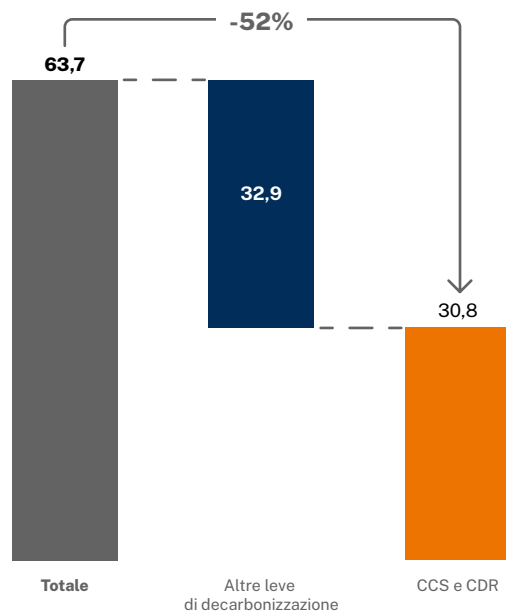
Il 48% delle emissioni dei settori Hard to Abate potrà essere abbattuta solo attraverso la CCS. Nei prossimi anni, sarà fondamentale sfruttare tutte le leve disponibili per decarbonizzare le industrie Hard to Abate e preservarne la competitività, specialmente considerando il peso significativo delle stesse a livello economico e sociale.

Figura 7

Leve per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate (Mton CO₂), 2021 e rilevanza economica e sociale dei settori Hard to Abate.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ispra e Istat, 2023.

Leve per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate



Rilevanza economica e sociale dei settori Hard to Abate



94
miliardi di Euro

Valore Aggiunto dei settori HTA a livello italiano (**35%** del Valore Aggiunto nel settore manifatturiero; **5%** del PIL)



1,25
milioni

dipendenti nelle industrie HTA* a livello italiano (**32%** degli occupati nel settore manifatturiero; **4,5%** del totale degli occupati italiani)

Lo Studio Strategico “Proposal for a Zero Carbon technology roadmap”, elaborato da The European House - Ambrosetti nel 2022 e basato sull’analisi di 185 fonti di letteratura accademico-scientifica e il coinvolgimento di 56 stakeholder industriali, ha permesso di identificare le leve indispensabili per la decarbonizzazione delle industrie Hard to Abate.

Con riferimento alla figura precedente, la componente “Altre leve per la decarbonizzazione” include il contributo complessivo potenzialmente fornibile da efficienza energetica, combustibili alternativi, bionergie e idrogeno, variazione delle materie prime utilizzate (a favore di beni riciclati o materie prime associate a emissioni di CO₂ più contenute)²⁵, oltre che dall’utilizzo di soluzioni e in grado di ridurre le emissioni da processo.

A livello aggregato, tali leve consentono di abbattere il 52% del totale delle emissioni generate dai settori Hard to Abate, mentre in termini specifici, la combinazione di queste leve può contribuire a ridurre le emissioni di CO₂ del:

- 47% nell’industria petrolchimica;
- 66% nell’industria siderurgica;
- 48% nell’industria dei minerali non metalliferi²⁶.

25 Ad esempio, nella produzione di cemento il clinker può essere parzialmente sostituito dai materiali cementizi supplementari, come le ceneri provenienti dalle centrali elettriche a carbone e la loppa d’altoforno proveniente dalla produzione di acciaio.

26 Fonte: Studio Strategico “Proposal for a Zero-Carbon Technology Roadmap” (2022), 2023.

Ne consegue che **CCS e Carbon Dioxide Removal (CDR) sono soluzioni complementari e sinergiche delle quali non è possibile fare a meno in uno scenario di neutralità climatica della produzione industriale. Al fine di raggiungere gli obiettivi di zero emissioni nette al 2050, CCS e CDR, complessivamente, dovranno contribuire all’abbattimento del 48% delle emissioni delle industrie Hard to Abate considerate.**

È doveroso sottolineare che la riduzione di queste emissioni è rilevante non solo per le implicazioni in termini ambientali, ma anche sociali ed economiche. Infatti, ad oggi, i settori Hard to Abate considerati generano in Italia **94 miliardi di Euro di valore aggiunto**, pari al 35% del valore aggiunto nel settore manifatturiero nazionale e al 5% del PIL e impiegano **1,25 milioni di lavoratori**, pari al **32%** degli occupati nel settore manifatturiero e al **4,5%** del totale degli occupati italiani²⁷.

27 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Istat, 2023.

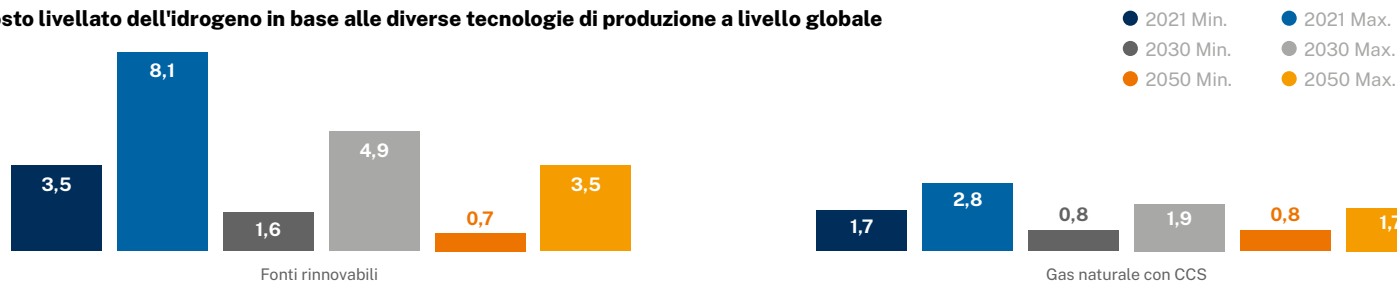
**Ad oggi, in Europa, il 98% dell'idrogeno è prodotto da fonti fossili.
La CCS può essere utilizzata per rendere sostenibile la produzione di questo tipo di idrogeno
così da rendere sostenibile l'idrogeno da fonte fossile e abilitare la produzione di volumi large scale
e programmabili, necessari allo sviluppo della filiera dell'idrogeno in UE.**

Figura 8

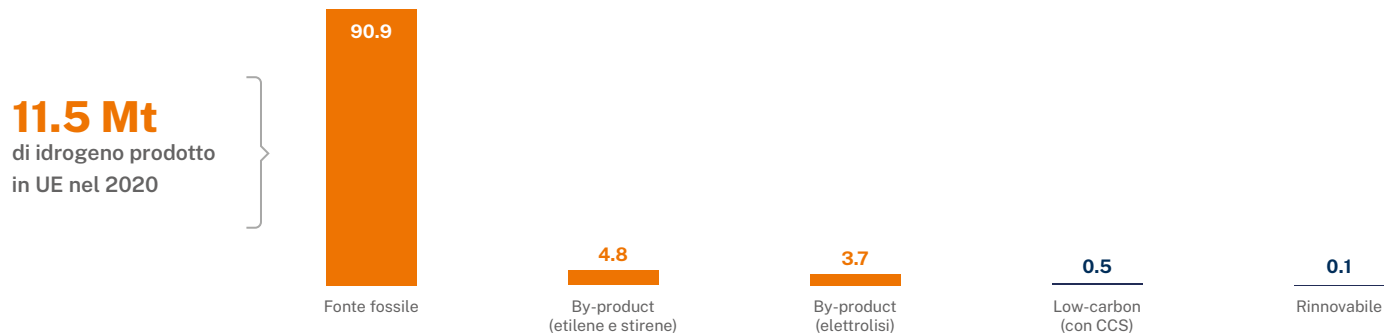
**Costo dell'idrogeno in base alle diverse tecnologie di produzione (Euro/KgH₂), 2022.
Produzione di idrogeno per fonte, in UE (%), 2020.**

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati IEA e Commissione europea, 2023.

Costo livellato dell'idrogeno in base alle diverse tecnologie di produzione a livello globale



Fonte di produzione di idrogeno, in UE



2.7 Il ruolo della CCS per la decarbonizzazione dell'idrogeno

Ad oggi, sono già disponibili diverse opzioni tecnologiche per produrre idrogeno con livelli di efficienza energetica compresi tra il 60% e l'85%.

La produzione di idrogeno da steam reforming del gas naturale associato alla CCS (c.d. idrogeno decarbonizzato) è da perseguire in sinergia con le altre forme di produzione di idrogeno rinnovabile²⁸; in quanto tale, è necessario sfruttarla per rendere sostenibile l'idrogeno da fonti fossili e abilitare la produzione di volumi large scale e programmabili, necessari allo sviluppo della filiera dell'idrogeno in UE.

Ad oggi, a livello globale, il prezzo di produzione di idrogeno da fonte fossile con CCS oscilla tra i 1,7 e 2,8 Euro al kg, mentre il costo dell'idrogeno da elettrolisi alimentata da energia rinnovabile²⁹ (c.d. idrogeno rinnovabile) oscilla tra i 3,5 e gli 8,1 Euro al kg³⁰.

Gli intervalli delle stime dei costi di produzione riflettono le variazioni regionali dei costi e delle condizioni di accesso e disponibilità delle energie rinnovabili.

Si stima che, già nel 2030, il gap tra idrogeno low carbon (0,8-1,9 Euro/kg) e idrogeno rinnovabile (1,6-4,9 Euro/kg) si ridurrà; inoltre al 2050, il gap andrà sostanzialmente a colmarsi, in quanto il prezzo dell'idrogeno decarbonizzato oscillerà tra gli 0,8 e i 1,7 Euro al kg, mentre il costo dell'idrogeno da elettrolisi oscillerà tra gli 0,7 e i 3,5 Euro al kg³¹. Nel breve-medio termine, sarà necessario definire un quadro normativo chiaro a livello UE (standard di sostenibilità, purezza etc.) per facilitare la produzione di idrogeno low carbon in sinergia con la crescita della produzione su larga scala dell'idrogeno rinnovabile.

28 La normativa europea considera l'idrogeno "low-carbon", quando il relativo contenuto energetico è derivato da fonti non rinnovabili con una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra pari al 70%. In attesa di sviluppi nelle tecnologie di CCS che consentano di migliorare ulteriormente le capacità di abbattimento, seguendo il principio della neutralità tecnologica, è già oggi possibile abbattere completamente le emissioni della produzione di idrogeno da fonti fossili abbinando alla CCS diretta una compensazione di CO₂ con tecnologie di Carbon Dioxide Removal dalle biomasse (BECCS) o dall'aria (DAACS).

29 Si considera la produzione di idrogeno da eolico onshore e offshore e pannelli fotovoltaici.

30 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.

31 Ibid.

L'introduzione di idrogeno rinnovabile è una sfida di sistema e diventerà sempre più fattibile al crescere dell'installato di energie rinnovabili, ma comporterà anche delle sfide di carattere infrastrutturale e sistemico che richiederanno tempo per essere superate, anche e soprattutto in considerazione dei vincoli di addizionalità e contemporaneità introdotti dal Regolamento Delegato (UE) 2023/1184, secondo cui il processo di elettrolisi dovrà essere alimentato esclusivamente da fonti rinnovabili aggiuntive; inoltre, la normativa prevede che l'idrogeno dovrà essere prodotto solo durante le ore in cui l'impianto di energia rinnovabile genera elettricità (correlazione temporale oraria) e solo nell'area in cui si trova l'impianto di elettricità rinnovabile (correlazione geografica)³².

In considerazione degli investimenti precedentemente stabiliti e per consentire all'industria di adattarsi al nuovo quadro, la regolamentazione diventerà gradualmente più stringente. In particolare, è prevista una fase di transizione per i requisiti di addizionalità per i progetti che saranno in funzione prima del 1° gennaio 2028, che coincide con l'implementazione e la messa sul mercato degli elettrolizzatori. Inoltre, i produttori di idrogeno avranno la possibilità di abbinare la produzione di idrogeno alle loro fonti di energia rinnovabile contrattuale su base mensile fino al 1° gennaio 2030. Tuttavia, gli Stati membri potranno iniziare a introdurre regole più rigorose sulla sincronizzazione temporale a partire dal 1° luglio 2027.

In tal senso, **la produzione di idrogeno da fonti fossili decarbonizzato tramite CCS rappresenta una soluzione economica più vantaggiosa nel breve termine, in forte complementarità con la crescita dell'idrogeno rinnovabile.** In particolare, la produzione di idrogeno da fonti fossili decarbonizzato tramite CCS risulta essere una forma di produzione maggiormente vicina alle esigenze di continuità della produzione industriale difficilmente eguagliabile attraverso le rinnovabili non programmabili e la sua introduzione già nel breve periodo, sfruttando la produzione esistente, può consentire di **preparare il mercato che potrà gradualmente beneficiare della crescita di disponibilità dell'idrogeno rinnovabile.**

³² Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.



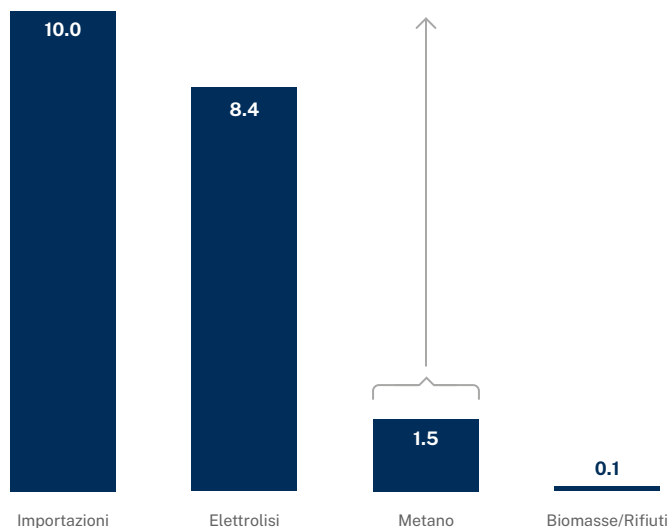
Entro il 2030, il Piano REPowerEU, che prevede la produzione di 10 milioni di tonnellate di idrogeno in UE, non fa sufficientemente leva sulla disponibilità di idrogeno che sarà possibile produrre da fonte fossile e decarbonizzato tramite CCS, rischiando così di perdere l'opportunità di sfruttare gli asset e il know how associati allo steam reforming.

Figura 9

Fonti di produzione dell'idrogeno in UE secondo la European Hydrogen Strategy (Mton di Idrogeno), 2030.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati REPowerEU e Commissione europea, 2023.

Secondo il principio di neutralità tecnologica, la decarbonizzazione attraverso la CCS degli 11,2 Mton di idrogeno di origine fossile prodotti oggi non dovrebbe essere ostacolata



Il Piano REPowerEU, pubblicato a maggio 2022, non contiene indicazioni rispetto alle modalità di produzione delle 10 Mton di idrogeno rinnovabile. Nelle analisi di The European House - Ambrosetti sono state considerate le quote di produzione dell'idrogeno sostenibile indicate nella European Hydrogen Strategy, pubblicata a luglio 2020.

Entro il 2030, il Piano REPowerEU prevede l'importazione di 10 milioni di tonnellate di idrogeno e la produzione della stessa quantità in UE. **Il valore complessivo di produzione europea prevista al 2030 risulta essere inferiore rispetto agli attuali 11,5 milioni di tonnellate generate oggi da fonti varie** - di cui il 97% da fonte fossile (11,2 milioni di tonnellate).

In particolare, la European Hydrogen Strategy prevede che **l'84% della produzione UE27** (8,4 milioni di tonnellate) **dovrà provenire da impianti di elettrolisi alimentati da fonti rinnovabili**, un processo che richiederà 384,7 TWh di elettricità, che corrisponde a:

- un incremento dell'11% rispetto alla produzione di elettricità totale nell'UE prevista al 2030;
- un incremento del 17% rispetto alla produzione di elettricità da fonti rinnovabili nell'UE prevista al 2030.

Secondo un principio di neutralità tecnologica, la decarbonizzazione attraverso la CCS degli 11,2 milioni di tonnellate di idrogeno di origine fossile prodotti oggi non dovrebbe essere ostacolata.

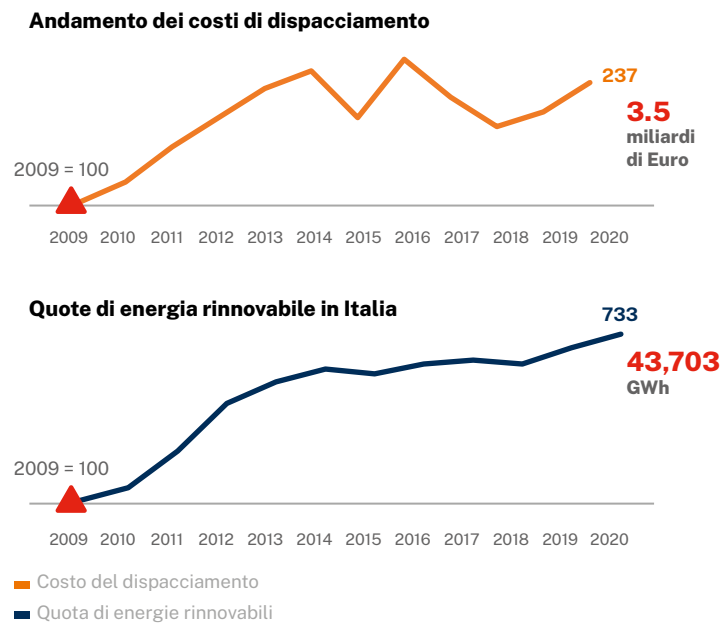
In ultimo, l'idrogeno low carbon potrà essere sfruttato in sinergia con l'idrogeno rinnovabile soprattutto in geografie non particolarmente favorevoli allo sviluppo delle fonti rinnovabili - sia per caratteristiche geografiche, sia per scarsa disponibilità di suolo - e come forma di produzione maggiormente programmabile per garantire la sicurezza energetica.

L'aumento della quota di energia generata da rinnovabili non programmabili* comporta un aumento del costo dei servizi di flessibilità necessari a garantire la stabilità del sistema elettrico.

Figura 10

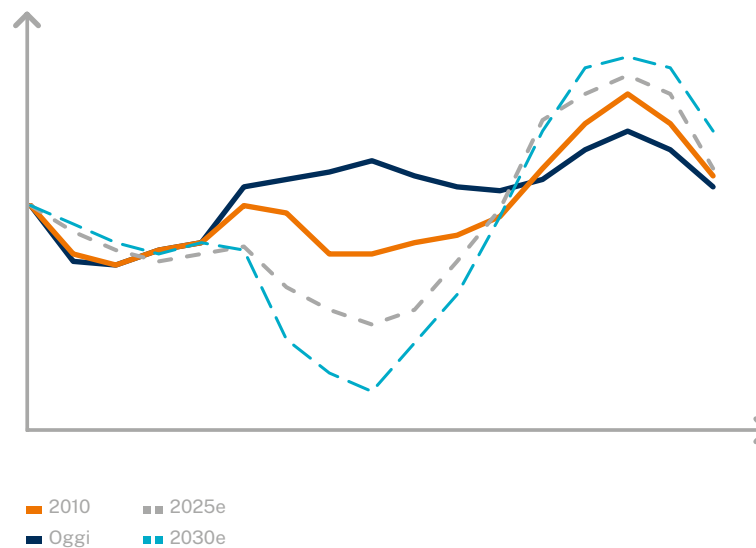
Andamento dei costi di dispacciamento (sinistra in alto) e quote di energia rinnovabile in Italia (sinistra in basso) (percentuali, 2009=100), 2009-2020. Fornitura oraria di energia al netto della generazione variabile da fonti rinnovabili* in un giorno rappresentativo (destra) (Fornitura di energia), 2010 vs. oggi, vs. previsione al 2025, vs. previsione al 2030.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati ARERA, Eurostat e dati di mercato, 2023.



* Eolico e solare.

Fornitura oraria di energia al netto della generazione variabile da fonti rinnovabili in un giorno rappresentativo



2.8 La CCS quale leva per garantire la flessibilità del settore energetico

Tra il 2009 e il 2020, **la quota di produzione energia da fonti rinnovabili³³ non programmabili è aumentata del 633% in Italia³⁴**; nello stesso arco temporale, **il costo del dispacciamento dell'energia è aumentato del 137%³⁵**.

Sebbene la diffusione dell'energia solare fotovoltaica ed eolica sia fondamentale per il processo di transizione verde, è necessario considerare che entrambe dipendono da fenomeni naturali non controllabili (sole e vento) e irregolari.

Una sfida sollevata dalle rinnovabili intermittenti su larga scala è infatti il bilanciamento istantaneo dell'offerta di elettricità con la domanda, quando l'elettricità non può essere immagazzinata (c.d. "servizi di dispacciamento"). A questa domanda di flessibilità si aggiunge la domanda per diversi servizi di regolazione detti "servizi ancillari" acquisiti su base di mercato dai Transmission System Operator (TSO, Terna per l'Italia) e ribaltati quali oneri di sistema nelle bollette elettriche dei consumatori.

In questo scenario, gli impianti di produzione di energia fossile non svolgono più una funzione di "produttori di energia", ma di fornitori di preziosi servizi indispensabili per massimizzare la penetrazione dell'energia elettrica rinnovabile nel sistema³⁶.

Nei prossimi anni, la problematica descritta diverrà ancora più pressante, considerando che la quota di produzione di energia da fonti rinnovabili è destinata a crescere.

33 Energia eolica e solare fotovoltaico.

34 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023.

35 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati ARERA, 2023.

36 Fonte: The European House - Ambrosetti su Paper "Indirect cost of renewable energy: Insights from dispatching", Li et al., Harvard University (2021), 2023.

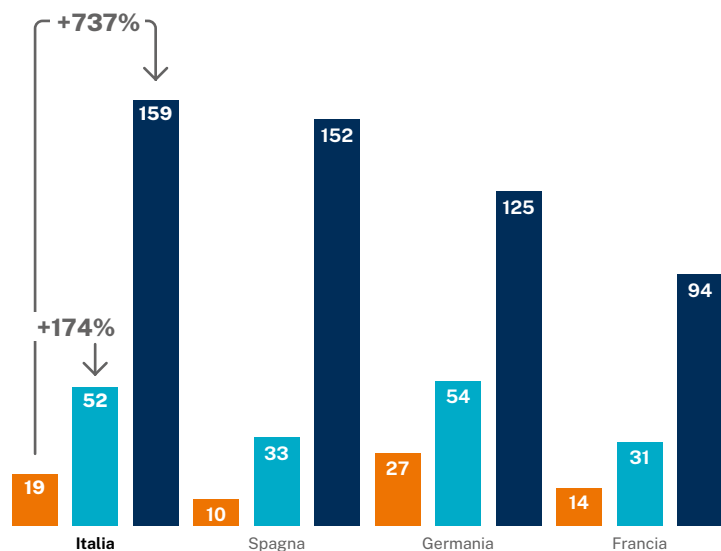
In Italia, si prevede che il fabbisogno di “energia flessibile” aumenterà di oltre 8 volte entro il 2050 e sarà pari al 19% della domanda totale di elettricità.

Figura 11

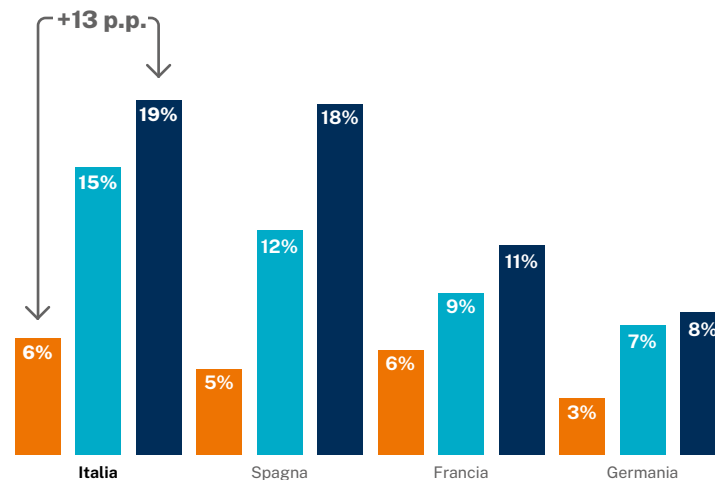
Requisiti giornalieri di flessibilità (basato sui modelli energetici dell'UE, TWh/a), 2021, 2030 e 2050 e quota giornaliera del fabbisogno di flessibilità sulla domanda totale nel 2050 (basato sui modelli energetici dell'UE), 2021, 2030 e 2050.

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati Joint Research Center, 2023.

Requisiti giornalieri di flessibilità



Quota giornaliera del fabbisogno di flessibilità sulla domanda totale nel 2050



● 2021 ● 2030 ● 2050

La crescente quota di fonti di energia rinnovabile comporta problemi di intermittenza nella fornitura di energia, che devono essere gestiti garantendo maggiore flessibilità del sistema energetico.

Secondo un recente studio condotto dal Joint Research Center della Commissione europea, i requisiti di flessibilità giornaliera aumenteranno in media del 133% in tutti i Paesi dell'UE tra il 2021 e il 2030³⁷.

Nel dettaglio, come si evince dalla figura precedente, la Germania mostra il più alto fabbisogno giornaliero di flessibilità sia per il 2021 che per il 2030 in valore assoluto, con una crescita da 27 a 54 TWh, mentre nel 2050 raggiungerà i 152 TWh, il secondo valore in termini assoluti dopo l'Italia.

Infatti, **l'Italia registra l'incremento più elevato del fabbisogno di flessibilità (+33 TWh) in termini assoluti tra il 2021 e il 2030** e la quota continuerà a crescere, fino a raggiungere i 159 TWh nel 2050³⁸.

Un altro elemento da considerare è il **peso dei requisiti di flessibilità giornaliera sul totale della domanda di elettricità**. Ad oggi, tale valore è pari al 6% in Italia, ma è destinato a crescere di 9 punti percentuali nel 2030 e di 13 nel 2050, rispetto al valore 2021.

Per essere considerata sostenibile, **è necessario che la strategia di decarbonizzazione tenga in considerazione i crescenti problemi di intermittenza, le esigenze di flessibilità associate alle rinnovabili.**

È quindi fondamentale individuare il pacchetto di soluzioni che consenta di reperire le diverse forme di flessibilità necessarie per assicurare la stabilità del sistema elettrico, anche in considerazione della crescita complessiva dei consumi di energia elettrica.

³⁷ Fonte: The European House - Ambrosetti su Paper "Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems", Koolen D. et AL., JRC (2023), 2023.

³⁸ Ibid.

Entro il 2030, quasi il 22% della flessibilità giornaliera del sistema elettrico europeo sarà ancora fornita da combustibili fossili, tra cui carbone e gas naturale. L'Italia baserà il 24% della flessibilità giornaliera del suo sistema elettrico sul gas naturale. Complessivamente, entro il 2050, il gas naturale genererà 59 TWh di energia elettrica per assicurare la flessibilità del sistema energetico, corrispondenti a circa 17,7 milioni di tonnellate di CO₂, 3 volte il valore stimato nel 2030.

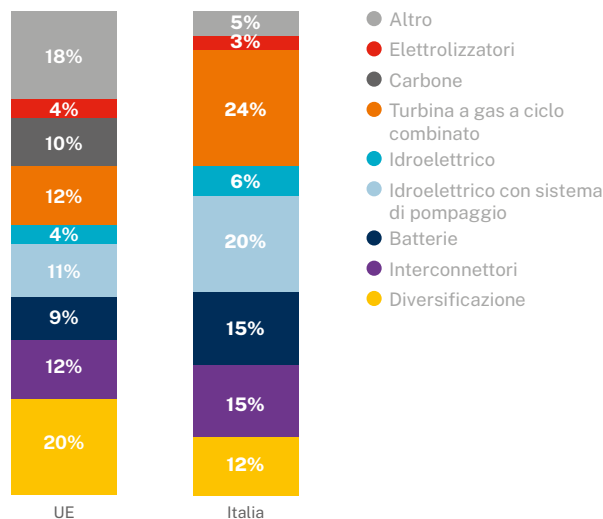
Figura 12

Contributo alla flessibilità giornaliera del sistema energetico per tecnologia nell'UE e in Italia (%), 2030.

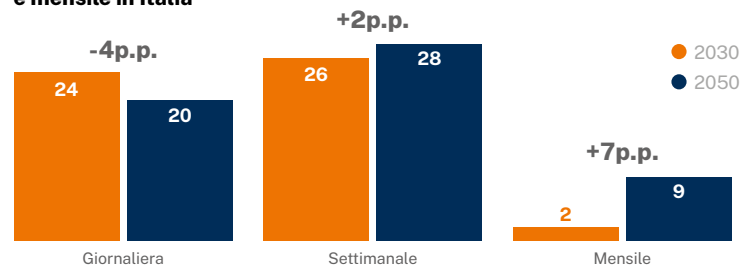
Quota del gas nella flessibilità giornaliera, settimanale e mensile in Italia (% e var. p.p.), 2030 e 2050. Elettricità generata da gas per esigenze di flessibilità (TWh) ed emissioni di CO₂ da generazione di gas per esigenze di flessibilità (Mton CO₂), 2030 e 2050.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ispra e JRC, 2023.

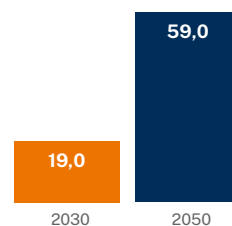
Contributo alla flessibilità giornaliera del sistema energetico per tecnologia nell'UE e in Italia



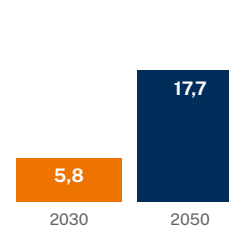
Quota del gas nella flessibilità giornaliera, settimanale e mensile in Italia



Elettricità generata da gas per esigenze di flessibilità



Emissioni di CO₂ da generazione di gas per esigenze di flessibilità



Sempre secondo lo studio del Joint Research Center della Commissione europea, nel 2030, in Italia il 24% della flessibilità giornaliera del sistema elettrico sarà assicurata dalle turbine a gas a ciclo combinato (CCGT), un valore non troppo distante rispetto alla quota di flessibilità basata su fonti fossili in UE (22%, da gas naturale e carbone).

Tale ammontare andrà a complementare le diverse forme di flessibilità esistenti (es. pompaggi idroelettrici) – al tempo stesso, sarà fondamentale favorire l'introduzione di nuove tecnologie elettrochimiche per l'accumulo di energia elettrica³⁹.

Nel dettaglio, il contributo delle CCGT varia a seconda dell'arco temporale di riferimento (giornaliero, settimanale o mensile).

Tra il 2030 e il 2050:

- Il contributo giornaliero diminuirà di 4 punti percentuali, dal 24% al 20%;
- Il contributo settimanale aumenterà di 2 punti percentuali, passando dal 26% al 28%;
- Il contributo mensile aumenterà di 7 punti percentuali, dal 2% al 9%⁴⁰.

Entro il 2050, il contributo alla flessibilità giornaliera degli impianti CCGT diminuirà a favore della flessibilità settimanale per rispondere alle esigenze di flessibilità durante le condizioni meteorologiche anticicloniche.

³⁹ Fonte: The European House - Ambrosetti su Paper "Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems", Koolen D. et AL., JRC (2023), 2023.

⁴⁰ Ibid.

Si prevede, infatti, che l'importante crescita dei sistemi di accumulo elettrochimico possa efficacemente sostituire parte della flessibilità fornita dal gas, ma solamente su archi temporali limitati.

Complessivamente, per rispondere alle esigenze di flessibilità, lo studio pubblicato dal Joint Research Center della Commissione europea stima una domanda di **59 TWh dal gas al 2050, i quali, in assenza di soluzioni di CCS emetterebbero circa 17,7 milioni di tonnellate di CO₂**⁴¹ (un aumento di tre volte rispetto al valore stimato nel 2030).

I livelli complessivi di emissioni potranno variare in base alla quota di idrogeno e biocarburanti utilizzati per alimentare le centrali elettriche⁴², ma è necessario considerare che questi vettori (non ancora disponibili su vasta scala) potranno meglio essere impiegati in settori di difficile decarbonizzazione in cui non sono disponibili altre soluzioni quali la CCS (ad esempio nell'aviazione).

In tale scenario, **la CCS può essere sfruttata per decarbonizzare le emissioni della quota di gas richiesta per la produzione di energia elettrica.**

⁴¹ Assumendo che queste ultime verranno alimentate a gas naturale (per destinare l'idrogeno e il biometano alla decarbonizzazione di settori specifici in cui non esistono altre opzioni, come ad esempio l'aviazione), è stato applicato il fattore di emissione del gas naturale.

⁴² Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Ipsra, 2023.

Un ulteriore ambito di applicazione della CCS riguarda le emissioni negative. Tra le diverse opzioni disponibili, BECCS e DACCS sfruttano processi ingegnerizzati per “generare” emissioni negative, sottraendo CO₂ dall’atmosfera, che possono essere utilizzate per compensare altre emissioni non evitabili (es. allevamento).

Figura 13

Soluzioni tecnologiche per il raggiungimento di emissioni negative.

Fonte: Rapporto Strategico “Zero Carbon Technology Roadmap”, The European House - Ambrosetti, 2023.

STOCCAGGIO GEOLOGICO

Bioenergie con CCS (BECCS)

Cattura e stoccaggio della CO₂ nel processo di estrazione dell’energia dalle biomasse



Cattura della CO₂ atmosferica (DACCS)

Cattura della CO₂ direttamente dall’atmosfera



Stoccaggio di CO₂ sotterraneo

LA CCS APPLICATA ALLA PRODUZIONE DI BIOENERGIA E DIRETTAMENTE ALLA CO₂ PRESENTE IN ATMOSFERA PERMETTE DI RAGGIUNGERE EMISSIONI NEGATIVE

STOCCAGGIO BIOGENICO

Biochar

Pirolisi o gassificazione di biomasse, il carbone risultante può essere sparso sui campi, agendo come ammendante del suolo



CO₂ immagazzinata permanentemente nel suolo

Afforestamento e riforestazione

Imboschimento e riforestazione per immagazzinare la CO₂ all’interno delle biomasse (alberi) permanentemente



Abilità naturale di catturare e stoccare la CO₂

Macrocategorie	Tecnologia	TRL
BECCS	Le tecnologie CCS possono essere sfruttate grazie a livelli di concentrazione di CO ₂ simili	9
DACCS	Liquida	6
	Solida	6

2.9 Il raggiungimento delle emissioni negative tramite CCS

Un ulteriore ambito di applicazione della CCS analizzato nel presente Studio Strategico è legato alle cosiddette “emissioni negative” o “rimozione della CO₂” (Carbon Dioxide Removal, CDR). Si tratta del processo di rimozione della CO₂ presente in atmosfera e del conseguente stoccaggio permanente della stessa⁴³.

La **CDR** sta ricevendo molta attenzione da parte dei Policy Maker e riveste un ruolo crescente nei piani di decarbonizzazione⁴⁴ in quanto **può bilanciare le emissioni tecnicamente difficili da eliminare**, come alcune emissioni agricole⁴⁵.

Le quattro categorie di CDR più diffuse sono: bioenergie con cattura e stoccaggio della CO₂ (Bioenergies with CCS, BECCS), cattura e stoccaggio della CO₂ atmosferica (Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS), Biochar, afforestamento e riforestazione. Maggiori dettagli circa il funzionamento di ciascuna opzione sono riportati nella figura precedente⁴⁶.

In particolare, la presente sezione intende focalizzare l'attenzione sulle prime due soluzioni, BECCS e DACCS, che sfruttano processi ingegnerizzati per stoccare permanentemente la CO₂ in formazioni geologiche.

Alcune applicazioni BECCS, come la produzione di bioetanolo, hanno raggiunto la fase commerciale (TRL 9) in quanto possono sfruttare le stesse tecnologie CCS presentate nella sezione 2.2, grazie a livello di concentrazione dei gas da cui viene catturata la CO₂ simili alle applicazioni industriali. Le applicazioni DACCS sono state dimostrate in un contesto di applicazione industriale (TRL 6), ma non sono ancora state applicate su scala commerciale⁴⁷.

⁴³ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.

⁴⁴ Per maggiori dettagli, si veda il capitolo 3, sezione 3.

⁴⁵ Fonte: The European House - Ambrosetti su IEA, 2023.

⁴⁶ Per ulteriori informazioni si rimanda allo Studio Strategico “Zero Carbon Technology Roadmap” di The European House - Ambrosetti

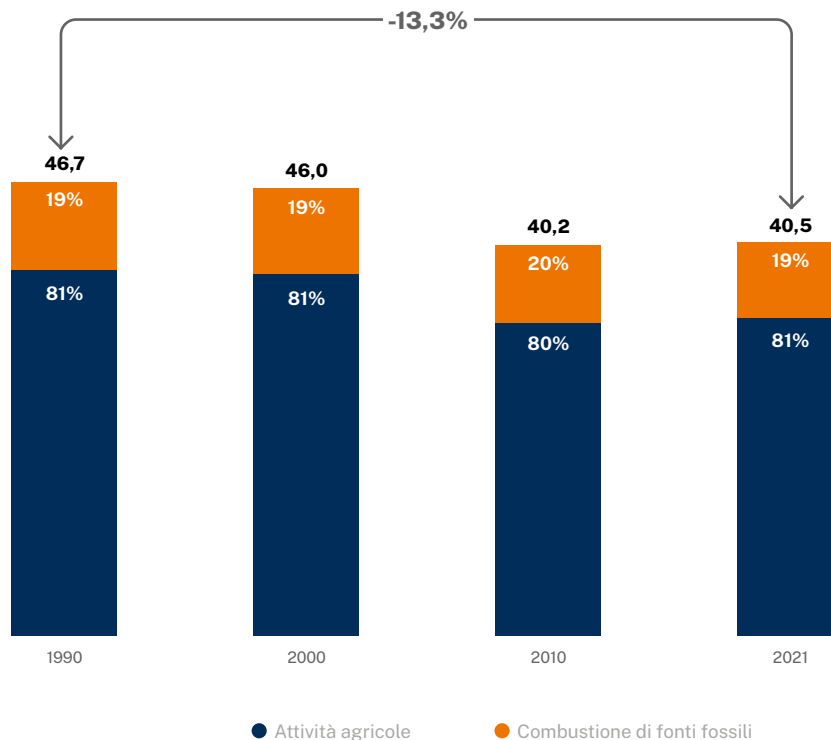
⁴⁷ Fonte: The European House - Ambrosetti su IEA, 2023.

Le emissioni del settore agricolo non potranno essere abbattute direttamente e sarà fondamentale fare leva sulle soluzioni di CDR per compensare tali emissioni.

Figura 14

Emissioni di CO_{2eq} da agricoltura in Italia (Mton CO_{2eq}), 1990, 2000, 2010 e 2021.

Fonte: The European House-Ambrosetti su dati Eurostat, 2023.



Tutte le attività economiche potranno beneficiare della compensazione delle emissioni tramite tecnologie di cattura della CO₂ (Carbon Dioxide Removal - CDR) ingegnerizzate, ovvero la produzione di bioenergie con CCS (BECCS) e la cattura della CO₂ atmosferica (DACCS). È però possibile identificare un settore dove, a differenza di altri, **la CDR avrà un ruolo cruciale, a causa della mancanza di alternative economicamente sostenibili nel breve/medio termine: l'agricoltura.**

In Italia, tra il 1990 e il 2021 le emissioni del settore agricolo sono diminuite del 13,3% e rappresentano il 9,5% delle emissioni nazionali nel 2021 e l'8,9% delle emissioni del settore a livello UE⁴⁸.

Il trend di diminuzione delle emissioni delle attività agricole e della combustione di fonte fossili è molto simile; nel primo caso, le emissioni sono calate del 13,2% tra il 1990 e il 2021, nel secondo caso del 14,1%⁴⁹.

Occorre però sottolineare come, nel medio lungo termine, sarà possibile ridurre la quota di emissioni da combustione di fonti fossili tramite il passaggio a mezzi agricoli alternativi, ovvero elettrici o alimentati a idrogeno e/o biocarburanti. Questa quota rappresenta però circa un quinto delle emissioni del settore.

Per contro, le emissioni delle attività agricole rappresentano oltre l'80% delle emissioni del settore e derivano da fermentazione enterica, terreni agricoli, gestione del letame, coltivazione di riso etc. In tutti i casi, non sono presenti leve tecnologiche per decarbonizzare direttamente queste attività e la compensazione delle stesse risulta l'unica opzione praticabile.

⁴⁸ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023.

⁴⁹ Ibid.

DACCUS (DACCS con l'utilizzo di CO₂) e BECCUS (BECCS con l'utilizzo di CO₂) potranno contribuire attivamente alla catena del valore dei combustibili sintetici, ma solo in uno scenario di surplus di elettricità rinnovabile a lungo termine, in cui i combustibili sintetici potranno essere sfruttati come fonte di flessibilità dove "immagazzinare" l'energia elettrica rinnovabile prodotta in surplus.

Figura 15

Input e output per la produzione di carburanti sintetici e perdita di efficienza nella produzione di idrogeno da elettrolisi e carburanti sintetici.

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2023.

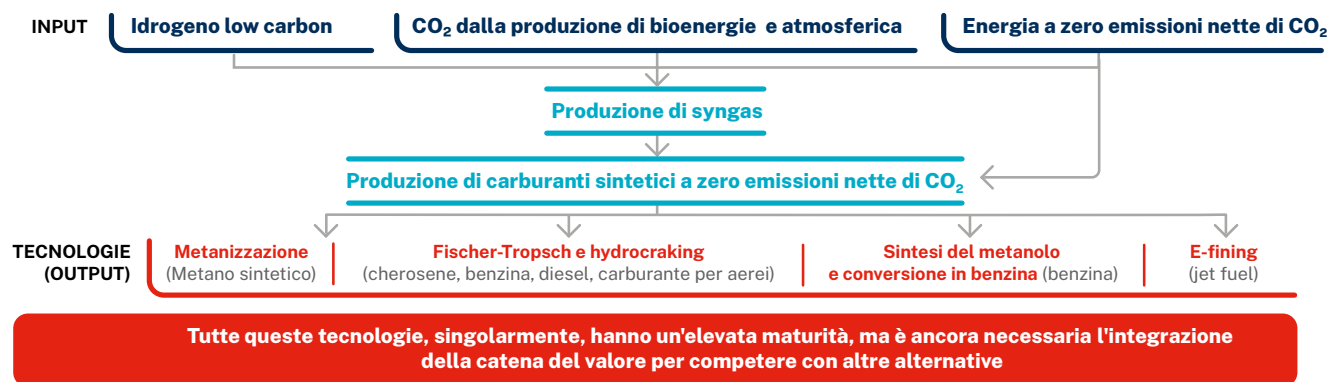
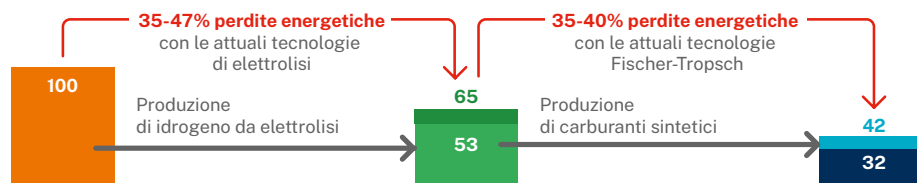


Figura 16

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



Oltre a essere una leva di decarbonizzazione per i tre settori sopracitati, le tecnologie di CDR ingegnerizzate (BECCS e DACCS) possono contribuire a sostenere la produzione di carburanti sintetici. Infatti, la CO₂ utilizzata per la produzione dei carburanti sintetici deve essere di origine biologica o atmosferica⁵⁰.

Singolarmente, tutte le tecnologie di produzione dei carburanti sintetici presentano un'elevata maturità, ma è ancora **necessaria una maggiore integrazione della catena del valore** per renderle competitive con le alternative fossili.

La produzione di carburanti sintetici è interessante solo in uno scenario in cui vi sia un eccesso di produzione di energia rinnovabile.

I carburanti sintetici sono associati a emissioni nulle di CO₂ poiché il quantitativo di CO₂ emessa per l'utilizzo è equivalente a quella prelevata in atmosfera e impiegata nel corso del processo produttivo; per questa ragione, potranno essere utilizzati come leva di decarbonizzazione per settori Hard to Abate, come l'aviazione.

Ad oggi, il carburante sintetico prodotto da idrogeno da elettrolisi e CO₂ catturata dall'atmosfera costa 53,80 Euro al litro⁵¹, circa 25 volte il prezzo della benzina (assunto pari a 2,2 Euro al litro).

Sarà quindi necessario ottimizzare i costi affinché si raggiunga la cost parity con le alternative fossili.

Ciononostante, in considerazione degli scenari di elevata penetrazione di fonti di energia elettrica rinnovabile e della necessità di individuare soluzioni per lo stoccaggio (anche stagionale) di energia, nonché della facile integrabilità dei combustibili sintetici nei sistemi energetici, è presumibile che nel lungo termine questi possano ricoprire un ruolo non marginale, generando quindi una domanda per CO₂ derivante da tecnologie BECCS o DACCS.

Capitolo 3

Il ruolo della CCS negli scenari di decarbonizzazione e il contesto normativo necessario per favorirne il pieno sviluppo

MESSAGGIO CHIAVE 3

La CCS rappresenta una **soluzione tecnologica per accompagnare la transizione verde in sinergia con le altre leve per la decarbonizzazione** quali, ad esempio, le fonti rinnovabili, l'elettrificazione e l'efficienza energetica. La consapevolezza delle autorità italiane ed europee circa la necessità di sfruttare tutte le leve possibili per la decarbonizzazione, tra cui la CCS, è in continua crescita. In considerazione dell'imminente tornata elettorale europea e del tempo necessario all'UE per stabilizzarsi e riprendere un'attività legislativa, **l'Italia può ricoprire un ruolo centrale per la definizione di un quadro competitivo in grado di attrarre investimenti e facilitare l'avvio di progetti.**

3.1 Introduzione

Il presente capitolo è volto a illustrare il contributo della CCS al processo di decarbonizzazione che, come descritto nel Capitolo 1, se da un lato dovrà essere accelerato per raggiungere gli obiettivi europei di riduzione delle emissioni al 2030 e 2050, dall'altro dovrà prevedere la possibilità per le imprese di accedere a tecnologie mature, competitive e scalabili quali la CCS al fine di preservare la competitività industriale in Europa delle filiere soggette a ETS.

Facendo leva sul principio di neutralità tecnologica in campo energetico sostenuto e promosso da The European House - Ambrosetti, nel presente capitolo sono illustrati non solo gli ambiti di applicazione della CCS, ma anche la complementarità di tale soluzione tecnologica rispetto alle altre leve di decarbonizzazione.

La seconda sezione del Capitolo è volta ad analizzare i diversi scenari di decarbonizzazione, da cui emerge la necessità di fare leva su tutte le tecnologie disponibili, tra cui la CCS, per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica.

In terzo luogo, è illustrata la crescente attenzione delle Istituzioni europee e nazionali verso la CCS, considerando gli interventi di tipo normativo e le misure di supporto concrete per la realizzazione di progettualità di ampio respiro.

Sono poi analizzati i principali progetti attivi e in corso di sviluppo in Europa. In tale contesto, l'Italia ha l'opportunità di diventare il Paese di riferimento per la decarbonizzazione del sud Europa tramite CCS, anche grazie al progetto CCS di Ravenna.

In ultimo, è illustrata la necessità di creare un contesto normativo e finanziario in grado di attrarre e mantenere gli investimenti in Europa, anche alla luce delle recenti evoluzioni normative nel Regno Unito e negli Stati Uniti a supporto della CCS.

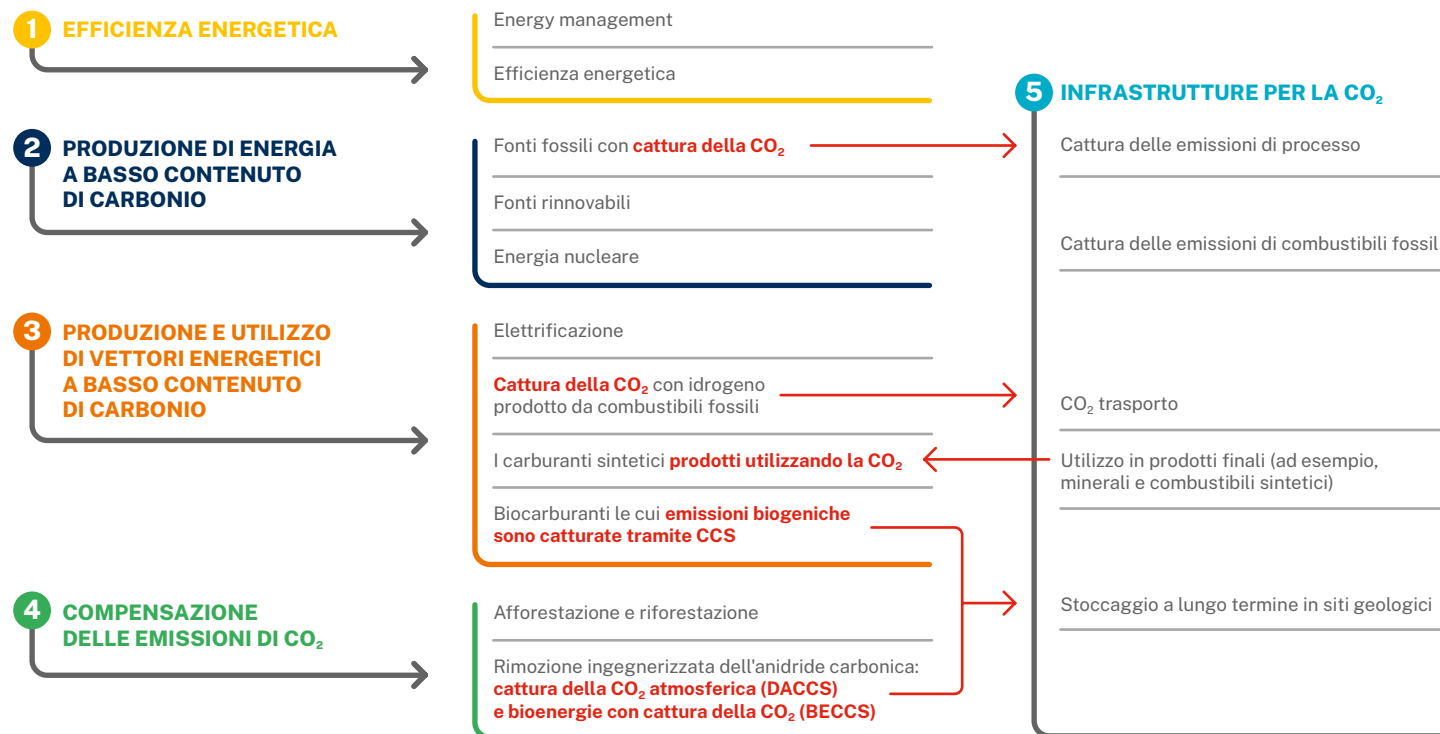
In tal senso l'Italia, alla luce della rilevanza del progetto CCS Ravenna e della significativa evoluzione del suo Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (di cui è stata da poco sottomessa la prima bozza), potrà ricoprire un **ruolo di rilievo nell'ambito del dibattito europeo**, sostenendo importanti istanze ispirate al principio di neutralità tecnologica che consentiranno alla CCS di generare benefici a favore dell'intera collettività, contribuendo, in primis, alla competitività di filiere economiche cruciali per il sistema socio-economico italiano e al sostegno della relativa occupazione.

Nel 2022, The European House - Ambrosetti ha mappato 100 tecnologie per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, da sfruttare sinergicamente, nei diversi ambiti di utilizzo, secondo un principio di neutralità tecnologica. Tra queste, le tecnologie e le infrastrutture per il trasporto, l'utilizzo o lo stoccaggio della CO₂ hanno un ruolo abilitante a supporto di altre soluzioni per la decarbonizzazione.

Figura 1

Leve di decarbonizzazione.

Fonte: Studio Strategico "Proposal for a Zero Carbon technology roadmap", The European House - Ambrosetti (2022), 2023.



3.2 La neutralità tecnologica quale condizione necessaria per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione

Nel 2022, The European House - Ambrosetti ha individuato 100 tecnologie, che potranno essere sfruttate per abilitare la transizione verde, facendo leva sul **principio di neutralità tecnologica** secondo cui il contributo sinergico e complementare di tutte le tecnologie disponibili deve necessariamente essere sfruttato sulle diverse scale temporali, in base alle caratteristiche dei diversi ambiti di applicazione e al contesto geografico di riferimento¹.

Tale principio è stato abbracciato dalle Istituzioni centrali nazionali italiane, con particolare riferimento al Presidente del Consiglio Giorgia Meloni che, durante il suo discorso di insediamento alla Camera, oltre che durante i lavori del G7 2023 in Giappone, ha dichiarato: “Coniugare sostenibilità ambientale, economica e sociale. Accompagnare le imprese e i cittadini verso la transizione verde senza consegnarsi a nuove dipendenze strategiche e rispettando il **principio della neutralità tecnologica**.”

All'interno dello Studio Strategico “Proposal for a Zero-Carbon Technology Roadmap”, pubblicato nel 2022 da The European House - Ambrosetti, le diverse soluzioni tecnologiche necessarie per attuare un percorso realistico di decarbonizzazione sono state identificate grazie a:

¹ Fonte: Studio Strategico “Proposal for a Zero-Carbon Technology Roadmap”, The European House - Ambrosetti (2022), 2023.

- l'analisi approfondita degli scenari di decarbonizzazione di: Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (IPCC) e Strategie di Lungo Termine (LTS) per la decarbonizzazione dei principali Paesi europei di riferimento;
- lo studio di oltre 185 paper accademici;
- il confronto con 56 stakeholder, di cui 15 rappresentanti di settori industriali Hard to Abate e 15 provenienti dal settore dei trasporti pesanti coinvolti nell'ambito dei tavoli di lavoro e delle interviste condotte dal Gruppo di Lavoro di The European House - Ambrosetti.

Le 100 tecnologie mappate abilitano **cinque leve di decarbonizzazione**, la cui combinazione può garantire la neutralità climatica di ogni attività economica, in un'ottica di Life-Cycle Assessment². Le cinque leve individuate sono:

- miglioramento dell'**efficienza energetica** per ridurre la domanda di energia senza compromettere il soddisfacimento dei bisogni della società;

² Il Life Cycle Assessment è una metodologia sistematica e analitica per valutare l'impronta ambientale di un prodotto o servizio, dalle fasi di estrazione delle materie prime, alla produzione, distribuzione, utilizzo e dismissione finale. Fonte: The European House - Ambrosetti su definizione Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2023.

- produzione di **energia a basso contenuto di carbonio** attraverso fonti rinnovabili, energia nucleare o fonti fossili le cui emissioni sono catturate permanentemente attraverso la cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio della CO₂ (CCUS);
- produzione e utilizzo di **vettori energetici a basso contenuto di carbonio**;
- **compensazione delle emissioni di CO₂** sottraendo dall'atmosfera le emissioni non abbattibili o sequestrabili differenzialmente;
- **diffusione di infrastrutture per la cattura, il trasporto, l'utilizzo e lo stoccaggio della CO₂**, catturata dalle emissioni da processo, dalla produzione e dall'utilizzo di combustibili fossili o dalla produzione di idrogeno. Queste infrastrutture sono necessarie anche per fornire la CO₂ necessaria alla produzione di carburanti sintetici a basso contenuto di carbonio o altri prodotti che consentono di catturare permanentemente la CO₂³.

Il ruolo abilitante che la CCS ha nei confronti della decarbonizzazione (e del principio di neutralità tecnologica) emerge chiaramente dall'analisi dei legami che sussistono tra le infrastrutture per la cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio della CO₂ e le altre leve di decarbonizzazione, in particolare:

- la produzione di energia elettrica da fonti fossili può essere resa a basso contenuto di carbonio attraverso cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS). Come si vedrà nel prosieguo dello Studio, questa leva è di particolare importanza per abilitare la decarbonizzazione della generazione a gas che si renderà necessaria per esigenze di flessibilità e adeguatezza del sistema elettrico al fine di massimizzare la penetrazione di energia elettrica da fonti rinnovabili;
- le industrie Hard to Abate possono sfruttare la CCS per abbattere le emissioni da processo e ridurre le emissioni di alcune fasi produttive che, ad oggi, non hanno alternative per la decarbonizzazione;
- la produzione di idrogeno da fonte fossile (grigio) può essere decarbonizzata attraverso la CCS, così da sostituire l'idrogeno grigio e abilitare la produzione di volumi large scale e programmabili, necessari allo sviluppo della filiera dell'idrogeno in UE;

³ Fonte: Studio Strategico "Proposal for a Zero-Carbon Technology Roadmap", The European House - Ambrosetti (2022), 2023.

- la CO₂ può essere combinata con l'idrogeno per la produzione di carburanti sintetici, i quali, in uno scenario di elevata penetrazione di fonti rinnovabili non programmabili, potranno avere un importante ruolo per assicurare capacità di accumulo e contribuire alla decarbonizzazione di emissioni Hard to Abate non puntuali (es. trasporto aereo e marittimo);
- **è possibile compensare le emissioni** non abbattibili (es. agricoltura) attraverso soluzioni di Carbon Dioxide Removal (in seguito CDR), che prevedono la “cattura ingegnerizzata” della CO₂ atmosferica (Direct Air Carbon Capture and Storage, in seguito DACCS) o della CO₂ generata dalla produzione e consumo di bioenergie (Bioenergy with Carbon Capture & Storage, in seguito BECCS)⁴.

Anche in base a queste considerazioni, **le tecnologie di cattura della CO₂ devono essere viste come un fattore abilitante dello stesso principio di neutralità tecnologica e un importante acceleratore del percorso di decarbonizzazione.**

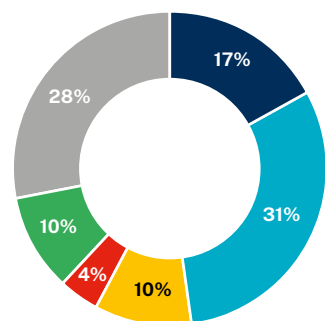
⁴ Fonte: Studio Strategico “Proposal for a Zero-Carbon Technology Roadmap”, The European House - Ambrosetti (2022), 2023.

Negli scenari IEA, la Carbon Capture and Storage (CCS) e la Carbon Dioxide Removal (CDR) sono tra le soluzioni tecnologiche necessarie per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e contribuiranno a una riduzione del 10% delle emissioni di CO₂ globali tra il 2020 e il 2050. Alcuni scenari di completa decarbonizzazione elaborati dall'IPCC prevedono un ruolo per la CCS e la CDR fino a 4 volte maggiori.

Figura 2

Quota del contributo di ciascuna misura di mitigazione (% di riduzione delle emissioni totali), 2020-2050 (sinistra); CCS negli scenari a zero emissioni entro il 2050 (Gton CO_{2eq}), 2050 forecast (destra).

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA "Energy Technology Perspective" e IPCC, 2023.

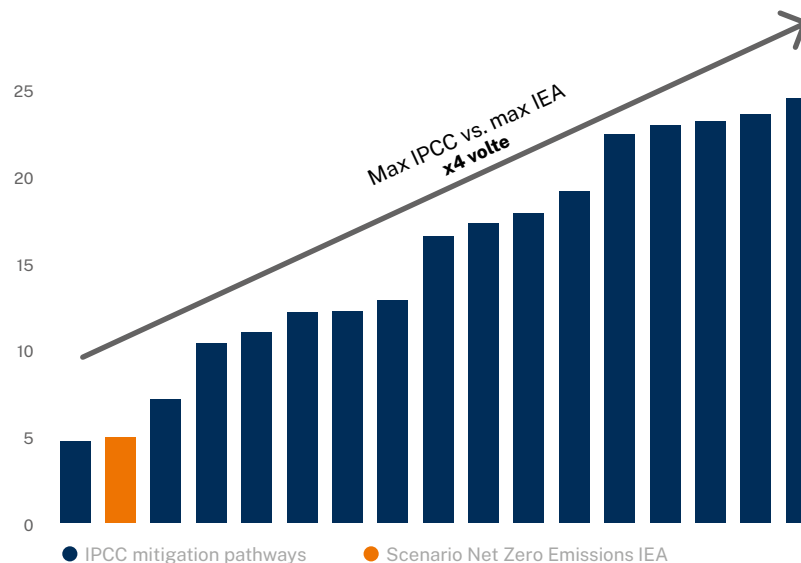


● Elettrificazione
● Eolico e solare
48%

● CCS & CDR
● Idrogeno
● Bioenergia
24%

● Efficienza energetica e cambiamenti comportamentali

L'IPCC ha previsto 90 diversi scenari che hanno almeno il 50% di possibilità di limitare il riscaldamento a 1,5°C nel 2100. Solo 16 di questi scenari prevedono emissioni nette zero di CO_{2eq} nel settore energetico e nelle attività industriali nel 2050.



3.3 La CCS negli scenari di decarbonizzazione

Per traguardare gli obiettivi di decarbonizzazione descritti nel Capitolo 1, IEA, IPCC e i Paesi europei – con le Strategie di Lungo Termine (LTS) – hanno elaborato diversi scenari che differiscono tra loro per il contributo di ciascuna opzione tecnologica, ma che sono concordi sulla **necessità di sfruttare tutte le opzioni disponibili nelle diverse scale temporali e nei diversi ambiti di applicazione** per raggiungere gli obiettivi internazionali di limitazione del riscaldamento globale al di sotto di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali.

Nella presente sezione, sono analizzati e confrontati gli scenari “Energy Technology Perspective” (ETP) e “Net Zero Emissions” (NZE) elaborati da IEA e i “Mitigation Pathways” elaborati dall’IPCC. Tra gli oltre mille scenari ipotizzati dall’IPCC, i cosiddetti “Mitigation pathways”, solo sedici prevedono il raggiungimento delle zero emissioni nette al 2050 e sono quindi comparabili con lo Scenario NZE elaborato da IEA⁵.

In particolare, secondo il NZE, il raggiungimento della rapida riduzione delle emissioni di CO₂ nei prossimi 30 anni richiede un’ampia gamma di approcci politici e di soluzioni tecnologiche. I pilastri fondamentali del processo di decarbonizzazione globale sono l’efficienza energetica, i cambiamenti comportamentali, l’elettrificazione, le energie rinnovabili, l’idrogeno e i combustibili a base di idrogeno, le bioenergie e le soluzioni di cattura e sequestro della CO₂.

Elettrificazione e rinnovabili contribuiranno complessivamente al 48% della riduzione di emissioni di CO₂ a livello globale, ma dovranno essere accompagnate da altre soluzioni tecnologiche per raggiungere la piena decarbonizzazione, come CCS, CDR, idrogeno e bioenergia.

Inoltre, all’efficienza energetica e ai cambiamenti comportamentali è attribuito il 28% della riduzione di emissioni⁶, ma tale ipotesi è associata a un elevato grado di incertezza, specialmente se confrontata con altri scenari di riferimento. Infatti, **lo scenario IEA prevede politiche e misure molto ambiziose per migliorare l’efficienza energetica e ridurre la domanda di energia**, anche e soprattutto attraverso una riduzione dei consumi⁷.

⁵ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati World Energy Outlook, IEA, 2023.

⁶ Ibid.
⁷ Ibid.

L'utilizzo della CCS anche per contenere l'incertezza associata al ruolo dell'efficienza energetica e dei cambiamenti comportamentali diviene ancora più urgente considerando che, negli scenari IPCC **la CCS potrà catturare dai 6 ai 24,2 miliardi di tonnellate di CO₂ al 2050, con un valore mediano di 17, pari al 174% in più rispetto ai 6,2 miliardi di tonnellate previsti dallo scenario IEA⁸.**

MYTHBUSTERS

La CCS non è un modo efficace per abbattere la CO₂, ma una scusa per mantenere in vita processi industriali e di approvvigionamento energetico altamente inquinanti

FALSE

Secondo una logica di portafoglio e di neutralità tecnologica, la CCS è una delle tecnologie indispensabili per la decarbonizzazione dei sistemi industriali e della produzione di energia, insieme alla riduzione dell'uso dei combustibili fossili (come indicato dagli scenari IEA e IPCC).

TRUE



**Ad oggi, tutti i progetti CCS operativi in Europa si trovano nel Mare del Nord.
In questo contesto, il progetto CCS di Ravenna rappresenta un'opportunità unica
per creare un hub di decarbonizzazione per il Sud Europa.**

Figura 3

Distribuzione dei progetti CCS in Europa.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.

3

Progetti commerciali operativi in Europa

Sleipner – Norvegia

Snøhvit – Norvegia

Orca – Islanda

Capacità di stoccaggio
800,4 Mton CO₂

Investimenti
3,5 miliardi di Euro

16*

Progetti in costruzione in Europa

Aramis – Paesi Bassi

Bacton Thames Net Zero – Regno Unito

Bifrost – Danimarca

Carbfix Coda Terminal – Islanda

East Coast Cluster – Regno Unito

Greensand – Danimarca

HyNet North West – Regno Unito

L10 Area – Paesi Bassi

Northern Lights – Norvegia

Porthos – Paesi Bassi

Pycasso – Francia

Prinos – Grecia

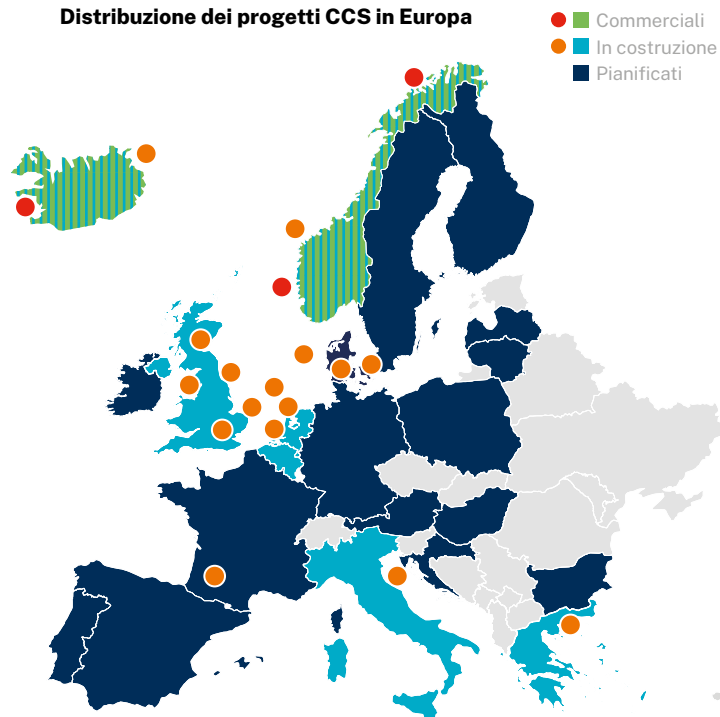
Ravenna CCS – Italia

Scottish Cluster – Regno Unito

Smeaheia – Norvegia

Viking CCS – Regno Unito

Distribuzione dei progetti CCS in Europa



In totale, ci sono altri **44 progetti** in fase di sviluppo in Europa

(*) Dei 60 progetti in fase di sviluppo in Europa, i 16 evidenziati sono stati selezionati in base agli esempi indicati durante le attività di stakeholder engagement (Tavoli di Lavoro e interviste riservate).

3.4 La possibilità per l'Italia di sviluppare un hub del Sud Europa per la CCS

All'interno del contesto europeo, **la Norvegia è il Paese più all'avanguardia per quanto riguarda la realizzazione di progetti CCS.**

Sleipner è stato il primo progetto CCS a diventare operativo. In funzione dal 1996, inizialmente è stato lanciato da ExxonMobil, Hydro e Total con il supporto del Governo norvegese per evitare una tassa nazionale di 83,4 mila Euro al giorno sulla CO₂ emessa dalla raffineria di Sleipner West. In questo progetto, la CO₂ viene rimossa dagli idrocarburi prodotti su una piattaforma offshore prima di essere pompata nuovamente nell'acquifero salino. **Dal 1996 al 2020, sono stati catturati circa 20 milioni di tonnellate di CO₂** e si stima che il progetto abbia impedito un aumento del 3% delle emissioni norvegesi. In totale, il sito di stoccaggio ha una capacità stimata di circa 600 milioni di tonnellate di CO₂⁹. L'esperienza di Sleipner ha portato altre compagnie petrolifere a procedere con un secondo progetto applicato al Gas Naturale Liquefatto (GNL), Snøhvit. Avviato da Equinor, Petoro e Total con il sostegno del Governo norvegese, il progetto è operativo dal 2008. **Nei primi cinque anni sono stati catturati 1,1 milioni di tonnellate di CO₂**, con una capacità di stoccaggio stimata a 200 milioni di tonnellate di CO₂¹⁰.

Inoltre, **la Norvegia sta sviluppando il progetto “Northern Lights”, la prima rete transfrontaliera di infrastrutture di trasporto e stoccaggio di CO₂**. La fase iniziale del progetto sarà completata a metà del 2024, con una capacità di stoccaggio iniziale di 1,5 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, con l'obiettivo di espandere la capacità di altri 3,5 milioni di tonnellate per un totale di 5 milioni di tonnellate, in base alla domanda del mercato¹¹. Tuttavia, il terminale di ricezione e la condotta offshore saranno costruiti per accogliere volumi aggiuntivi di CO₂. Entrambe le fasi offriranno la flessibilità necessaria per importare CO₂ da diversi Paesi europei.

Northern Lights è una partnership tra Equinor, Shell e Total ed è una componente chiave del progetto Langskip, realizzato su impulso del Governo norvegese per la cattura e lo stoccaggio della CO₂ su larga scala e che mira a catturare e stoccare circa 800 mila tonnellate di CO₂ per anno entro il 2024 da un cementificio di Brevik e da Fortum Oslo Varme, un impianto di termovalorizzazione dei rifiuti situato a Oslo. **Il progetto Langskip è il risultato di una stretta collaborazione tra Gassnova, l'impresa statale per la CCS, e i partner industriali.** A differenza dei due progetti precedentemente descritti (Sleipner e Snøhvit), nati dall'iniziativa di attori industriali in risposta alla tassa nazionale sulla CO₂ emessa, per la realizzazione del progetto Langskip lo stimolo è provenuto dal Governo norvegese.

⁹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Equinor e MIT, 2023.

¹⁰ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Equinor, Neptune Energy e Norwegian Petroleum Directorate, 2023.

¹¹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.

Grazie alla possibilità di ricevere la CO₂ catturata in stabilimenti industriali anche esterni rispetto alla Norvegia, il progetto può svolgere un ruolo importante nel raggiungimento degli ambiziosi obiettivi climatici per le filiere industriali europee che possono economicamente conferire CO₂ grazie alle infrastrutture di trasporto che verranno realizzate. Attualmente, lo sviluppo dell'impianto è collegato ai piani di investimento di almeno nove potenziali impianti di cattura in Europa.

Risulta quindi evidente, anche osservando la distribuzione dei progetti in fase di realizzazione riportata nella precedente figura, la forte accelerazione dei Paesi del Nord Europa e la **necessità per l'area mediterranea di colmare il divario attraverso la realizzazione di progettualità di ampio respiro**. Considerando sia i progetti operativi che quelli in costruzione, sono infatti previsti 16 poli dedicati alla CCS nel Mare del Nord, contro i tre nel Sud Europa¹².

Ravenna CCS farà leva sul riutilizzo dei giacimenti a gas esauriti nell'offshore del Mare Adriatico, sfruttando un potenziale complessivo di stoccaggio stimabile in 500 milioni di tonnellate di CO₂.

Il progetto sarà sviluppato per fasi. La prima fase, per cui è già stata ottenuta l'autorizzazione, partirà nel primo trimestre del 2024 con la cattura e stoccaggio di 25 mila tonnellate all'anno. L'avvio della fase industriale è prevista a partire dal 2026 ed è dimensionata per uno stoccaggio annuo di CO₂ che crescerà fino a 4 milioni di tonnellate al 2030, con possibili successive espansioni fino a raggiungere una capacità di 16 milioni di tonnellate all'anno.

Quando sarà in funzione a pieno regime, il progetto di Ravenna, con una tale capacità, sarà tra i principali hub a livello mondiale e potrà favorire l'accesso a questa tecnologia nella più ampia area mediterranea, oltre che a costituire un notevole vantaggio competitivo per le industrie Hard to Abate della zona, che potranno utilizzare anche questo strumento per ridurre le loro emissioni.

Il progetto CCS di Ravenna rappresenta dunque un'opportunità unica per sostenere il posizionamento dell'Italia quale Paese di riferimento per la decarbonizzazione del Sud Europa, grazie al suo posizionamento strategico e la capacità di stoccaggio.

¹² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2023.

MYTHBUSTERS

La CCS viene adottata soprattutto perché consente di estrarre ciò che rimane nei giacimenti di petrolio e gas



Anche se l'iniezione della CO₂ è stata inizialmente utilizzata per aumentare la capacità di estrazione dei combustibili fossili nelle operazioni delle società energetiche, ad oggi i progetti commerciali attivi in Europa, così come gli hub CCUS in fase di sviluppo, sono esclusivamente dedicati allo stoccaggio geologico della CO₂ per scopi ambientali, escludendo di fatto l'uso della CCS per estrarre ulteriori combustibili fossili.



Negli anni, le Istituzioni UE hanno maturato consapevolezza circa la rilevanza strategica della CCS. Dopo la Direttiva per lo stoccaggio geologico della CO₂ adottata nel 2009, dal 2019 la CCS ha acquisito crescente importanza tra le istituzioni UE e nazionali. Il Net Zero Industry Act di marzo 2023 menziona le CCS come una delle leve strategiche per aumentare la competitività dell'UE, con un obiettivo di 50 milioni di tonnellate all'anno di capacità di iniezione entro il 2030, mentre le recenti bozze di aggiornamento dei Piani Nazionali per l'Energia e il Clima sottolineano la maggiore consapevolezza dell'importanza della CCS, sia in Italia che in altri Paesi UE.

Figura 4

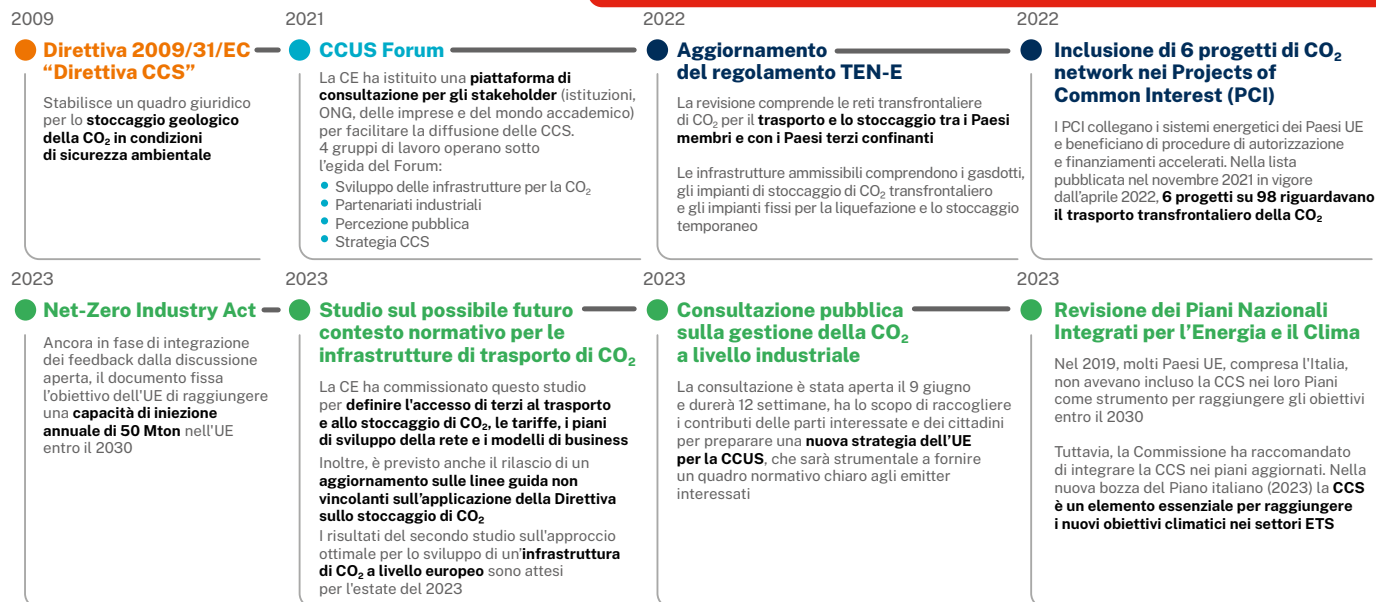
Evoluzione della CCS nel contesto normativo europeo.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.

"Credo che la CCS abbia un potenziale incredibile nella nostra corsa verso la neutralità climatica. Senza CCS e CCU, sarà praticamente impossibile limitare il riscaldamento globale."

Kadri Simson, Commissaria europea per l'energia

27 ottobre 2022



3.5 L'evoluzione del contesto normativo relativo alla CCS

Nel 2009, è stata emanata la **Direttiva 2009/31/EC**, la cosiddetta “CCS Directive”, per stabilire un quadro giuridico di riferimento per lo stoccaggio geologico della CO₂ in condizioni di sicurezza ambientale. La Direttiva **rimette ai Paesi Membri la definizione delle aree da cui possono essere selezionati i siti di stoccaggio**, riconoscendo così anche il diritto di non consentire alcuno stoccaggio in parti o nell'intero territorio nazionale.

A valle di questo primo importante passaggio, nel corso degli anni, **le istituzioni UE, e soprattutto alcuni Stati Membri, hanno maturato maggiore consapevolezza circa il ruolo strategico della CCS sia dal punto di vista ambientale che in termini di competitività industriale.**

Nel 2021, infatti, è stato istituito il Forum sulla cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio della CO₂ – CCUS Forum – che da allora riunisce annualmente stakeholder provenienti da Istituzioni europee, UE, Paesi terzi, ONG, aziende e centri di ricerca per facilitare la diffusione delle tecnologie CCUS. Il primo Forum ha riunito oltre 400 stakeholder e ha portato alla creazione di tre gruppi di lavoro:

- il gruppo di lavoro 1 si occupa delle **infrastrutture per la CO₂** e affronta la mancanza di sviluppo delle stesse;
- il gruppo di lavoro 2 sviluppa un **documento di visione sulla CCUS** che ne esamina il ruolo nel processo di decarbonizzazione dell'energia nell'UE;

- il gruppo di lavoro 3 si occupa di **partnership industriale** per favorire un migliore coinvolgimento dell'industria nella diffusione delle tecnologie CCUS¹³.

I gruppi di lavoro hanno contribuito alla preparazione della seconda plenaria del Forum, tenutasi a Oslo il 27-28 ottobre 2022 in collaborazione con il Ministero norvegese del Petrolio e dell'Energia. Durante questo secondo Forum, sono stati approvati due documenti di discussione in seguito trasmessi alla Commissione:

- **Vision for Carbon Capture, Utilisation and Storage in the EU:** il documento sottolinea l'importanza delle tecnologie CCUS per il raggiungimento degli obiettivi climatici dell'UE e delinea chiare azioni che la Commissione dovrebbe intraprendere per promuoverne l'attuazione;
- **Towards a European cross-border CO₂ transport and storage infrastructure:** Il documento evidenzia l'importanza di un'infrastruttura per il trasporto e lo stoccaggio della CO₂ solida, transfrontaliera e aperta a un accesso non discriminatorio.

A partire da gennaio 2023, ai tre gruppi di lavoro esistenti ne è stato affiancato un quarto dedicato alla **percezione pubblica della CCUS¹⁴.**

¹³ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Commissione europea, 2023.

¹⁴ Ibid.

Nel maggio 2022 è stato adottato dal Parlamento e dal Consiglio europeo il **Regolamento TEN-E**¹⁵ (Trans-European Networks for Energy) rivisto, che stabilisce nuove norme UE per le infrastrutture energetiche transfrontaliere. Il regolamento contribuirà agli obiettivi di riduzione delle emissioni promuovendo l'integrazione delle energie rinnovabili e delle nuove tecnologie energetiche pulite (tra cui la CCS) nel sistema energetico. Contribuirà inoltre alla realizzazione tempestiva delle infrastrutture transfrontaliere proponendo modi per **semplificare e accelerare le procedure di autorizzazione e di rilascio dei permessi**.

Sempre nel 2022, è stata pubblicata la quinta lista dei **Projects of Common Interest (PCI)**¹⁶, che comprende 98 progetti: 67 progetti di trasmissione e stoccaggio dell'energia elettrica, 20 progetti di gas (precedentemente elencati nella quarta lista PCI), **sei progetti di reti di CO₂** e cinque progetti di smart grid.

15 Il Regolamento è incentrato sul collegamento delle infrastrutture energetiche dei Paesi UE. Nell'ambito di questa politica sono stati individuati undici corridoi prioritari e tre aree tematiche prioritarie (reti elettriche e di gas smart e network per la CO₂). L'UE aiuta i Paesi di questi corridoi prioritari e di queste aree tematiche a collaborare per sviluppare reti energetiche meglio collegate e fornisce finanziamenti per nuovi progetti di infrastrutture energetiche.

16 I PCI sono progetti infrastrutturali chiave volti a completare il mercato interno europeo dell'energia per aiutare l'UE a raggiungere i suoi obiettivi di politica energetica e climatica, ovvero fornire energia sicura, a prezzi accessibili e sostenibile e contribuire alla neutralità climatica entro il 2050.

Nel marzo 2023, è stato pubblicato il **Net Zero Industry Act (NZIA)**, una proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio, che istituisce un quadro di misure per il rafforzamento dell'ecosistema produttivo europeo "clean tech"¹⁷. Si tratta di una misura volta a raggiungere gli ambiziosi obiettivi climatici ed energetici dell'UE e, al contempo, evitare dipendenze pericolose.

Il NZIA si pone l'obiettivo di sostenere lo sviluppo di diverse tecnologie disponibili su scala commerciale o che entreranno presto sul mercato e che hanno un potenziale significativo di rapida diffusione per contribuire agli obiettivi di decarbonizzazione dell'UE. In particolare, nella proposta sono indicate otto tecnologie strategiche soggette all'obiettivo di **raggiungimento del 40% di produzione domestica e destinatarie di sostegni pubblici specifici**, ovvero: fotovoltaico e solare geotermico, elettrolizzatori e celle a combustibile, eolico onshore e offshore, biogas e biometano sostenibili, batterie e stoccaggio, **CCS**, pompe di calore, energia geotermica e tecnologie di rete¹⁸.

17 Prodotti tecnologici per la decarbonizzazione.

18 Altre soluzioni tecnologiche non considerate strategiche ma che potranno comunque godere di un sostegno parziale da parte dei Paesi membri e di processi di autorizzazione mediamente più rapidi sono: le tecnologie per i combustibili alternativi sostenibili, le tecnologie avanzate per l'energia nucleare e i reattori modulari di piccole dimensioni.

Per supportare la diffusione delle tecnologie, il NZIA si pone l'obiettivo di semplificare il quadro normativo e migliorare l'ambiente di investimento nell'UE per incrementare la diffusione e l'utilizzo delle tecnologie a zero emissioni per raggiungere gli obiettivi climatici, garantendo al contempo la competitività industriale.

Tra queste tecnologie, per la CCS è previsto un target di **stoccaggio di 50 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno al 2030**. All'interno del documento, si cita anche la visione più a lungo termine per cui, secondo stime effettuate dalla Commissione europea, sarà necessario catturare fino a 550 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno al 2050 per garantire emissioni zero. Tuttavia, questa previsione non è ancora legalmente vincolante, e per raggiungere l'obiettivo di iniezione previsto al 2030, le compagnie Oil&Gas dovranno sfruttare le loro competenze, risorse e asset per la conversione dei loro giacimenti esauriti in siti di stoccaggio di CO₂.

Inoltre, attraverso la proposta, la Commissione invita i Paesi membri a migliorare la trasparenza e la comunicazione relativa ai dati geologici, per garantire il raggiungimento dell'obiettivo di iniezione a livello UE¹⁹.

A seguito della pubblicazione del NZIA è stato aperto un periodo di feedback. In generale, i feedback relativi alla CCS sono complessivamente positivi, ma è richiesto un **coordinamento maggiore tra i**

diversi Paesi Membri e l'UE, sia dal punto di vista finanziario che regolatorio, per lo sviluppo di progettualità di ampio respiro.

Inoltre, il 15 maggio 2023 è stato pubblicato uno studio per identificare le opzioni più efficaci per un **quadro normativo a sostegno delle infrastrutture di CCS e dei relativi modelli di business** per lo sviluppo e il funzionamento dei siti di stoccaggio in Europa. Le reti di trasporto e i siti di stoccaggio esistenti in Europa sono ancora limitati, ma è importante capire dove, quando e come queste reti cresceranno nel prossimo decennio per collegare gli emettitori ai siti di stoccaggio. Parallelamente la Commissione intende definire gli interventi normativi, l'organizzazione e il finanziamento necessari per sostenere lo sviluppo delle reti di CCS²⁰.

In ultimo, anche la revisione dei Piani Nazionali per l'Energia e il Clima (PNIEC) ha confermato il crescente interesse verso la CCS. Nella prima edizione dei Piani nel 2019, la maggior parte dei Paesi Membri, compresa l'Italia, non riteneva la CCS indispensabile per raggiungere gli obiettivi al 2030. Solo pochi Paesi, come Francia e Paesi Bassi, includevano le tecnologie di cattura e stoccaggio come soluzioni chiave per raggiungere gli obiettivi climatici. Alla luce del rinnovato dibattito a livello europeo circa l'importanza della CCS come tecnologia chiave per un'efficace decarbonizzazione, diversi Paesi, tra cui l'Italia, hanno deciso di includerla nei piani aggiornati del 2023.

¹⁹ Fonte: The European House - Ambrosetti su Global CCS Institute, 2023.

²⁰ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Joint Research Center, 2023.

A luglio 2023, solo 8²¹ Paesi su 27 hanno presentato una bozza aggiornata. Tra questi, l'Italia ha descritto la CCS come “**in-dispensabile per trsguardare l'obiettivo di contenimento del riscaldamento globale** [...]”. Il ricorso alla CCS è necessario in quanto consente:

- la decarbonizzazione dei settori industriali in cui l'emissione di CO₂ è parte inevitabile del processo produttivo;
- la decarbonizzazione dei settori industriali non elettrificabili a causa della necessità di raggiungere, mediante combustione, specifiche condizioni chimiche e fisiche (ad es. alte temperature, umidità, ecc.);
- la decarbonizzazione (insieme alle rinnovabili) del settore elettrico, preservando una quota di produzione di energia elettrica decarbonizzata e dispacciabile;
- un più rapido sviluppo del settore dell'idrogeno, mediante integrazione dell'idrogeno da rinnovabili con idrogeno low carbon (prodotto da gas con CCS);
- l'assorbimento della CO₂ dall'atmosfera attraverso ricorso alla bioenergia associata alla CCS (BECCS) e alla cattura diretta del carbonio presente nell'aria (DACCS)²².

²¹ Croazia, Danimarca, Finlandia, Italia, Paesi Bassi, Portogallo, Slovenia e Spagna.

²² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Piano Nazionale Integrato per l'energia e il Clima, 2023.

Primo tavolo di lavoro con principali rappresentanti industriali

33 KEY OPINION LEADER PROVENIENTI DA 22 ENTI DIVERSI

Principali riflessioni:

- rendere disponibile la CCS come soluzione per la decarbonizzazione, dato che può essere adattata a impianti esistenti senza modificarne l'assetto produttivo, in ottica plug and play e di complementarità rispetto ad altre soluzioni tecnologiche che saranno disponibili nel lungo termine;
- necessità di de-risking della CCS rispetto a:
 - costi sostenuti per l'adattamento degli impianti alla cattura;
 - tempo di realizzazione delle infrastrutture per trasporto e stoccaggio.



Il posizionamento altamente distintivo del Piano italiano, rispetto a quello degli altri Paesi membri, potrà essere sfruttato per allineare il dibattito europeo sui temi di priorità per lo sviluppo della CCS, ponendo il Governo italiano all'avanguardia nello sviluppo della CCS a beneficio delle filiere e della leadership industriale.

L'evoluzione del contesto normativo a livello europeo e nazionale è fondamentale per **garantire sicurezza agli operatori e favorire così la realizzazione di progettualità di ampio respiro**. Come era emerso dal Working Table di giugno 2023 condotto da The European House-Ambrosetti, a cui hanno partecipato presidenti, direttori e manager rappresentanti di diverse industry, specialmente Hard To Abate. Tra gli ospiti erano presenti, per citarne alcuni, esponenti dell'International Energy Agency, Holcim, Cemex EMEAA, Italcementi, Mercegaglia, BASF, Yara.

Occorre però considerare che anche nel resto del mondo è stata registrata un'importante accelerazione a supporto della CCS, che potrebbe rischiare di delocalizzare gli investimenti UE, in particolare a favore di Stati Uniti e Regno Unito.

L'ultima sezione del presente capitolo è infatti dedicata a un'analisi delle recenti evoluzioni del contesto normativo in quattro Paesi di riferimento a livello internazionale (Australia, Canada, Stati Uniti e Regno Unito).

In linea con l'evoluzione del contesto normativo europeo, anche diversi Paesi membri hanno definito una serie di strategie e strumenti per favorire lo sviluppo di progetti di CCS. Tra questi, spiccano la Danimarca, la Germania e i Paesi Bassi per chiarezza della strategia nazionale/regionale e fondi stanziati.

Figura 5

Le strategie e gli strumenti dei principali Paesi UE a supporto della CCS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su fonti varie, 2023.

Strumenti normativi di Paesi UE all'avanguardia nel sostegno e nella creazione di progetti CCS



DANIMARCA

Fondo CCS: 2,14 miliardi di Euro in 20 anni volti a supportare la diffusione dei progetti CCS

Strategia nazionale per la CCS: dedicata alla definizione di normative e procedure di autorizzazione per sostenere la diffusione della CCS e le modalità di assegnazione del Fondo CCS

Aiuti di stato per 1,1 miliardi di Euro



GERMANIA

Strategia a lungo termine per la rimozione ingegnerizzata della CO₂, finalizzata a gestire il 5% circa delle emissioni nazionali considerate "inevitabili"

Strategia Regionale Renania Settentrionale-Vestfalia: catturare fino a 7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno da industrie locali



PAESI BASSI

Schema SDE++: nel round del 2022, i progetti di CCS hanno ricevuto circa il 56% del totale allocato, è la soluzione tecnologica che consente di catturare più CO₂ all'anno

Tassa sulla CO₂: aumenterà gradualmente nel prossimo decennio e raggiungerà i 125 euro per tonnellata di CO₂ emessa entro il 2030

Nel 2020, la Danimarca ha fissato l'obiettivo di ridurre le emissioni industriali annuali di 3,4 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno entro il 2030, di cui 0,9 milioni tramite CCS. Per finanziare la diffusione della CCUS è stato creato un fondo di finanziamento dedicato (**Fondo CCS**) di 16 miliardi di Corone Danesi (2,14 miliardi di Euro) in 20 anni, con stanziamenti annuali che aumenteranno da 202 milioni di Corone Danesi (27 milioni di Euro) nel 2024 a 815 milioni di Corone Danesi (105 milioni di Euro) entro il 2030. Sempre nel 2020, il Paese ha stanziato altri 200 milioni di Corone Danesi (27 milioni di Euro) per sostenere lo sviluppo dello stoccaggio di CO₂. Nel 2021, il Governo danese ha pubblicato una **strategia completa per la CCS**, suddivisa in due parti. La prima dedicata a normative e procedure di autorizzazione per sostenere la diffusione della CCS. La seconda parte riguarda principalmente il modo in cui Fondo CCUS sarà assegnato ai progetti su base competitiva²³.

Nel gennaio 2023, la Commissione europea ha approvato uno **schema danese di aiuti di stato da 1,1 miliardi di Euro per sostenere le tecnologie di CCS**²⁴.

Nel dicembre 2021, il Governo tedesco ha pubblicato un accordo che include diverse priorità chiave per la politica energetica e climatica nazionale. Sebbene la cattura e lo stoccaggio della CO₂ non siano menzionati esplicitamente, viene evidenziata la necessità di forme alternative e rapidamente scalabili di idrogeno a basso contenuto di carbonio, ottenuto tramite CCS. L'accordo stabilisce anche l'intenzione di sviluppare una **strategia a lungo termine per la rimozione ingegnerizzata della CO₂, finalizzata a gestire il 5% circa delle emissioni nazionali considerate "inevitabili"** (63 Mt). A livello regionale, la Renania Settentrionale-Vestfalia ha elaborato una **strategia di gestione del carbonio che prevede di catturare fino a 7 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno da industrie** come quelle del cemento, della calce, dell'acciaio e dei prodotti chimici. Questa CO₂ potrebbe essere trasportata ai terminali di trasporto proposti in Germania, oppure a Rotterdam attraverso un'iniziativa transfrontaliera di condutture per la CO₂ e l'idrogeno. Inoltre, l'operatore della rete del gas ha definito i piani per la costruzione di una rete di gasdotti lunga 964 km, in grado di trasportare 18,8 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno²⁵.

²³ Fonte: The European House - Ambrosetti su Report "A European Strategy for Carbon Capture and Storage", Lockwood T., Clean Energy Task Force (2022), 2023.

²⁴ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea, 2023.

²⁵ Fonte: The European House - Ambrosetti su Report "A European Strategy for Carbon Capture and Storage", Lockwood T., Clean Energy Task Force (2022), 2023.

All'inizio di gennaio 2023, sono state avviate discussioni per identificare i diversi ambiti di cooperazioni tra Germania e Norvegia nel campo dell'energia e del clima. Tra le altre cose, il tema della cattura, del trasporto e dello stoccaggio della CO₂ diventerà una parte importante della cooperazione tra i due Paesi²⁶.

In ultimo, il Governo olandese ha attuato due misure complementari per creare un quadro che richieda e consenta all'industria di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione. Da un lato, ha creato lo SDE++, un meccanismo che fornisce sussidi per l'utilizzo di tecniche per la riduzione di CO₂ tramite generazione di energia rinnovabile o altre leve, tra cui la CCS. Il sussidio SDE++ è basato sullo schema contratto per differenza (CfD)²⁷. Il sussidio viene concesso per un periodo di 12 o 15 anni e l'importo della sovvenzione dipende dalla tecnologia utilizzata e dalla riduzione di CO₂ ottenuta²⁸.

Nel round del 2022, **i progetti di CCS hanno ricevuto 6,7 miliardi di Euro** (circa il 56% del totale allocato, 11,9 miliardi di Euro) e la CCS è la **soluzione tecnologica che consente di catturare più CO₂ all'anno** (2,86 milioni di tonnellate di CO₂ vs. una media di 0,5 milioni di tonnellate)²⁹.

Questo meccanismo è stato abbinato a una **tassa sulla CO₂**, che aumenterà gradualmente nel prossimo decennio e raggiungerà i 125 euro per tonnellata di CO₂ emessa entro il 2030³⁰.

²⁶ Fonte: The European House - Ambrosetti su Press Release "Norway and Germany intensify cooperation on energy on the path towards climate neutrality", Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, 2023.

²⁷ Il tasso base è il prezzo richiesto per rendere economico un investimento, cioè i costi capitali e operativi. Per la CCS, l'aliquota di base copre i costi di cattura, trasporto e stoccaggio della CO₂.

²⁸ Fonte: The European House - Ambrosetti su Report "The Industrial CCS Support Framework in the Netherlands", Justus A., Bellona (2021), 2023.

²⁹ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Governo olandese, 2023.

³⁰ Ibid.



Sebbene il crescente interesse di Istituzioni europee, Governi degli Stati Membri e attori industriali verso la CCS sia incoraggiante, è necessario considerare anche gli sviluppi del contesto internazionale. Ad esempio, l’Inflation Reduction Act prevede incentivi sotto forma di crediti d’imposta per i progetti CCS, una misura molto semplificata che potrebbe attirare gli investimenti europei fuori dall’UE.

Figura 6

I contesti internazionali favorevoli alla CCS.

Fonte: The European House-Ambrosetti su Report “EU regulation for the development of the market for CO₂ transport and storage”, Bolscher H. et al, Energy Transition Expertise Center (2023) e Report “A European Strategy for Carbon Capture and Storage”, Lockwood T., Clean Energy Task Force (2022), 2023.

Strumenti normativi di Paesi terzi all’avanguardia nel sostegno e nella creazione di progetti CCS



AUSTRALIA

Greenhouse Gas Geological Sequestration Act: regolamenta determinati aspetti dello stoccaggio di CO₂

Strategia nazionale per la CCS: fornirà una direzione politica e dà priorità ai centri di gestione della CO₂



CANADA

Tassa sulla CO₂ che raggiungerà i 170 Dollari Canadesi per tonnellata entro il 2030 e **credito d’imposta** sugli investimenti in progetti CCS del 20-30%

Carbon Management Strategy: documento di visione federale volto a sostenere i progetti di CCS



NORVEGIA

Climit: iniziativa lanciata nel 2005, con l’obiettivo di contribuire allo sviluppo di tecnologie e soluzioni per la CCS fornendo un sostegno finanziario ai progetti

Longship: progetto per cui sono stati stanziati 1,6 miliardi di Euro nel 2020, per la realizzazione di un sito di trasporto e stoccaggio offshore e due siti di cattura



REGNO UNITO

Action Plan: percorso di diffusione della CCUS con chiara indicazione di azioni chiave, tempistiche, tappe fondamentali e attori di riferimento

Bilancio di Primavera 2023: 24 miliardi di Euro destinati alla diffusione della CCS nei prossimi 20 anni



STATI UNITI

SCALE: programma di finanziamenti di 2,1 miliardi di Dollari per lo sviluppo delle infrastrutture

Inflation Reduction Act: credito d’imposta fino a \$85/ton CO₂ stoccata e \$60/ton CO₂ utilizzata per applicazioni industriali, fino a \$180/ton CO₂ stoccata e \$130 /ton CO₂ utilizzata tramite DACCS

3.6 Il quadro normativo internazionale e il rischio di delocalizzazione degli investimenti al di fuori dell'Europa

Sebbene dal 2021 la consapevolezza delle Istituzioni europee e nazionali circa il ruolo cruciale della CCS sia cresciuto rapidamente, è necessario considerare il fatto che questa tendenza è osservabile anche al di fuori dell'Europa, con importanti **rischi di delocalizzazione degli investimenti europei verso aree dove il contesto normativo, organizzativo e fiscale è molto favorevole.**

Partendo dall'Australia, il Commonwealth e alcuni Stati hanno stabilito normative specifiche per la CCS. Lo Stato di Victoria ha disposto un quadro legislativo e normativo completo per la CCS. Il Greenhouse Gas Geological Sequestration Act del 2008 regola aspetti dello stoccaggio di CO₂ quali la valutazione dei siti di stoccaggio, le responsabilità operative dei diversi attori, il processo di chiusura del sito e le garanzie finanziarie per la gestione a lungo termine del sito.

A livello federale, l'Associazione australiana per la produzione e l'esplorazione del petrolio sta collaborando con il Governo per sviluppare una **strategia nazionale per la CCS, che sia in grado di fornire una direzione politica e dare priorità ai centri di gestione della CO₂.**

Spostando l'attenzione verso il Canada, il quarto paese al mondo per produzione ed esportazione di petrolio, la sua posizione tra i leader mondiali nel settore Oil&Gas ha portato a un significativo sostegno alla commercializzazione della CCS, a livello pubblico e privato. Per favorirne l'ampia adozione, **il Governo ha introdotto due leve fiscali: una tassa sulla CO₂ e un credito d'imposta sugli investimenti CCS.** Il prezzo della CO₂ emessa passerà dai 65 Dollari Canadesi (44 Euro) per tonnellata nel 2023 a 170 Dollari Canadesi (117 Euro) entro il 2030. A tale misura è associato un credito d'imposta del 37% per gli attori che investono in trasporto, stoccaggio e utilizzo della CO₂, 60% per gli investimenti in DACCS e 50% per gli investimenti in altre tecnologie CCUS³¹.

A queste due misure si aggiunge l'imminente pubblicazione della Carbon Management Strategy volta a sostenere i progetti di CCS sia per l'opportunità di decarbonizzare le industrie Hard to Abate e di Power Generation, sia per l'opportunità commerciale di costruire una filiera nazionale per la CCS³².

³¹ The European House - Ambrosetti su dati IEA, 2022

³² Elaborazione The European House - Ambrosetti su Carbon Management Strategy del Governo canadese, 2023.

Per quanto concerne la Norvegia, dove si trova il primo progetto di CCS legato allo stoccaggio di CO₂ – Sleipner, come indicato nella sezione 4 del presente capitolo, la spinta iniziale verso i progetti di CCS è arrivata dal settore privato già nel 1996. Nel 2005, però, il Ministero norvegese del Petrolio e dell'Energia ha istituito CLIMIT, un'iniziativa volta a sostenere lo sviluppo della tecnologia CCS per le centrali elettriche a gas. Nel 2008 lo schema è stato ampliato per includere la produzione di energia elettrica basata su tutti i combustibili fossili e nel 2010 sono state incluse le emissioni industriali. A partire dal 2021, lo schema prevede un sostegno per tutte le possibili fonti di CO₂. L'obiettivo dell'iniziativa è quello di contribuire allo sviluppo di tecnologie e soluzioni per la CCS fornendo un sostegno finanziario ai progetti di ricerca. Il programma consiste in due schemi di sostegno: CLIMIT R&D e CLIMIT Demo, gestiti rispettivamente dal Consiglio per la Ricerca della Norvegia e da Gassnova³³, che ha la responsabilità del coordinamento generale del programma. Il programma è rivolto alle aziende, agli istituti di ricerca e al mondo accademico ed è fortemente incoraggiata la collaborazione con partner internazionali. L'iniziativa sostiene progetti tecnologici che vanno dalla ricerca di base alla dimostrazione nella fase finale prima del lancio commerciale³⁴.

Inoltre, nel 2020, il Governo norvegese ha stanziato 1,6 miliardi di Euro per il progetto CCS “Longship”. La maggior parte di questi finanziamenti è destinata alla componente di trasporto e stoccaggio di CO₂ “Northern Lights”, ovvero il progetto guidato da Equinor, Total e Shell che prevede di portare la CO₂ via nave in una località sulla costa occidentale della Norvegia, da dove sarà convogliata in un sito di stoccaggio offshore con una capacità iniziale di 1,5 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno. Longship incorpora anche due impianti di cattura: Il cementificio Brevik di Norcem e l'impianto di termovalorizzazione Klemetsrud di Oslo, da cui saranno catturate complessivamente circa 800 migliaia di tonnellate di CO₂ all'anno. Si stima che il finanziamento statale coprirà circa tre quarti dei costi totali (capitali e operativi) del progetto per le tre componenti³⁵.

33 Impresa statale volta a supervisionare la ricerca e guidare l'implementazione su ampia scala di progetti CCS.

34 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati CLIMIT, 2023.

35 Fonte: The European House - Ambrosetti su Report “A European Strategy for Carbon Capture and Storage”, Lockwood T., Clean Energy Task Force (2022), 2023.

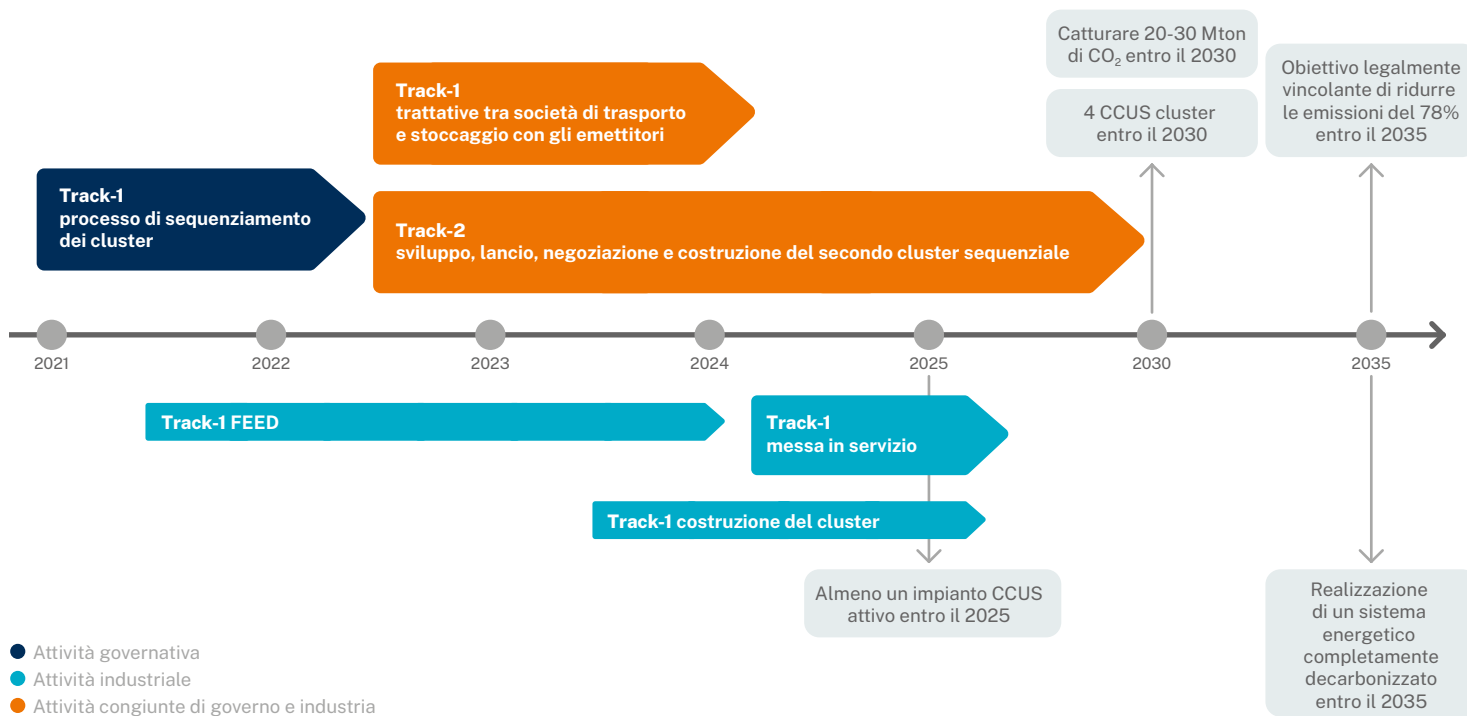


Il Regno Unito ha stanziato 24 miliardi di Euro per la diffusione della CCS e ha definito un piano di realizzazione molto dettagliato.

Figura 7

Piano UK per la realizzazione dei cluster CCUS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su Report "EU regulation for the development of the market for CO₂ transport and storage", Bolscher H. et al, Energy Transition Expertise Center (2023), 2023.



Nell'ottobre 2017, il Governo britannico ha annunciato il suo nuovo approccio alla CCUS nella Clean Growth Strategy. Da allora, il Regno Unito ha avviato una serie di attività per sostenerne la diffusione. In primo luogo, ha istituito una task force per identificare le leve chiave per la riduzione dei costi della CCUS e, in seguito al parere della task force, ha pubblicato l'Action Plan, il percorso di diffusione del CCUS nel Regno Unito, le cui azioni chiave, tempistiche, tappe fondamentali e attori di riferimento, sono illustrate nella figura precedente³⁶.

Il modello di investimento per il trasporto e lo stoccaggio della CO₂ è basato su schemi precedenti per la regolamentazione dei servizi di pubblica utilità. L'obiettivo principale di questo modello è **sbloccare gli investimenti nelle reti di trasporto e stoccaggio, consentendo la decarbonizzazione a basso costo di più settori e sviluppando un mercato per la cattura della CO₂**. Il modello si concentra sulla regolamentazione delle entrate degli investitori sulla base di un modello User Pays e sulla supervisione delle tariffe. Le funzioni e i compiti dei singoli attori saranno definiti per legge. Questi includono disposizioni che garantiscono che una società di trasporto e stoccaggio (operatore di rete e proprietario di asset) possa finanziare le proprie operazioni³⁷.

³⁶ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Report "Carbon Capture, Usage and Storage: An update on business models for Carbon Capture, Usage and Storage" BEIS (2020), 2023.

³⁷ Ibid.

Oltre a un quadro normativo e a una timeline chiara, il Governo britannico supporta lo sviluppo della CCUS anche attraverso fondi pubblici. Nel bilancio 2020, ha istituito il Fondo per le infrastrutture CCS per un valore di 800 milioni di Sterline (940 milioni di Euro); con il bilancio di Primavera del 2023, 20 miliardi di Sterline (24 miliardi di Euro) sono ora destinati alla diffusione delle CCS nei prossimi 20 anni (in media 1,1 miliardi di Euro all'anno)³⁸.

La diffusione della CCS prevede la realizzazione di due cluster CCS (East Coast Cluster e HyNet), che entreranno in funzione entro il 2030. Inoltre, ai cluster sopra-menzionati è stato affiancato un terzo cluster di riserva (Scottish Cluster). 25 progetti industriali commerciali di cattura della CO₂ sono stati selezionati per il programma Cluster Sequencing attualmente in vigore, in conformità con la roadmap CCUS del Regno Unito precedentemente menzionata. Per i cluster, il documento della Strategia Net Zero 2021 punta ad avere una capacità di cattura di 20-30 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno entro il 2030. A questi due cluster, afferenti al Track-1, verranno affiancati ulteriori due cluster, ancora in fase di definizione. Attualmente, il Governo UK sta cercando due operatori per la realizzazione dei sistemi di trasporto e stoccaggio della CO₂³⁹.

³⁸ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati UK HM Government e Global CCS Institute, 2023.

³⁹ I progetti Acorn e Viking sono risultati vincitori del Track-2, confermando il soddisfacimento dei criteri di idoneità in termini di rapporto qualità-prezzo e delle due diligence presentate.

Spostando l'attenzione verso gli Stati Uniti, un importante sviluppo per fornire supporto alla CCUS è stata l'introduzione della legge sullo stoccaggio della CO₂ e sulla riduzione delle emissioni (denominata "SCALE Act") nel 2021. Questa legge mira a **sostenere lo sviluppo di infrastrutture critiche per il trasporto e lo stoccaggio di CO₂ e a promuovere opportunità economiche regionali e la creazione di posti di lavoro per un periodo di autorizzazione di 5 anni**. Attraverso la legge SCALE è stato istituito un programma di finanziamenti delle infrastrutture di 2,1 miliardi di Dollari, tra prestiti e sovvenzioni e un sostegno a fondo perduto per progetti di stoccaggio geologico a livello commerciale di CO₂⁴⁰.

Inoltre, nell'ambito dell'**Inflation Reduction Act (IRA)** del 2022, sono stati apportati aggiornamenti critici al programma per incentivare ulteriormente la CCUS. Il credito d'imposta 45Q⁴¹ aggiornato prevede fino a 85 Dollari (77 Euro) per tonnellata di CO₂ stoccata e 60 Dollari (54 Euro) per tonnellata di CO₂ utilizzata per applicazioni industriali, ad esempio la produzione di sostanze chimiche. L'importo del credito aumenta significativamente per le tecnologie di cattura diretta dell'aria (DACCS) fino a 180 Dollari (162 Euro) per tonnellata di CO₂ stoccata e 130 Dollari (117 Euro) per tonnellata di CO₂ utilizzata⁴². Per considerare questi valori in prospettiva, le stime del costo della CCS applicata nel settore energetico hanno un range di 148-209 Dollari per tonnellata di CO₂ e le stime dei costi per il DACCS sono di 200-600 Dollari per tonnellata di CO₂⁴³.

⁴⁰ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Report "EU regulation for the development of the market for CO₂ transport and storage", Bolscher H. et al, Energy Transition Expertise Center (2023), 2023.

⁴¹ Introdotta per la prima volta nel 2008, la Sezione 45Q dell'Internal Revenue Code degli Stati Uniti prevede un credito d'imposta per lo stoccaggio di CO₂.

⁴² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Inflation Reduction Act e Paper "Economic Implications of the Climate Provisions of the Inflation Reduction Act", Bistline et al, Brookings Papers on Economic Activity (2023), 2023.

⁴³ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Paper "Current status and pillars of direct air capture technologies" Ozkan et al, iScience, (2022), 2023.

Il NZIA non ha una dotazione finanziaria propria e non mette a disposizione fondi pubblici aggiuntivi rispetto a quelli già in essere (ad es. Innovation Fund). Inoltre, il NZIA è stato criticato per essere un insieme di linee guida molto generali che lasciano troppa libertà agli Stati membri, riducendone potenzialmente l'efficacia. Inoltre, gli ingenti fondi stanziati fuori dall'Europa e la limitata presenza di vincoli per accedervi potrebbero costituire una minaccia per il tessuto industriale europeo, che potrebbe essere attratto da tali fattori per lo sviluppo di attività e il ricollocamento di realtà esistenti oltreoceano.

In risposta all'IRA, il 9 marzo 2023 **la Commissione ha adottato il Quadro Temporaneo di Crisi e Transizione per mantenere gli investimenti nella produzione di tecnologie rilevanti per la transizione verso un'economia a zero emissioni, compresa la CCS**, attraverso cui sono state riviste le normative relative agli aiuti di stato. Per evitare che gli investimenti vengano ingiustamente dirottati verso il miglior offerente al di fuori dell'Europa, i

Paesi membri possono eguagliare i sussidi offerti dai paesi terzi. L'investimento deve essere interamente localizzato in un'area assistita o in parte in un'area assistita, ma con il coinvolgimento di almeno tre Paesi⁴⁴.

Il 20 giugno 2023, la Commissione europea ha proposto la creazione della Strategic Technologies for Europe Platform (STEP) con l'obiettivo di indirizzare i finanziamenti esistenti verso aree di sviluppo tecnologico cruciali per la leadership europea.

La Presidente della Commissione europea ha proposto che STEP sia il precursore di un eventuale Fondo sovrano europeo per gli investimenti in tecnologie.

⁴⁴ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Commissione europea, 2023.

Capitolo 4

Il modello di impatto della CCS in Italia: benefici per il sistema-Paese, per le imprese e per i cittadini

MESSAGGIO CHIAVE 4

The European House - Ambrosetti ha sviluppato un modello per valutare gli impatti della CCS sulla decarbonizzazione e sulla competitività dei settori italiani Hard to Abate. Il modello usa come dato di input il volume totale di circa 300 Mln di CO₂ stoccata al 2050 sulla base di quanto previsto per il progetto di Ravenna e sviluppa degli indicatori che dimostrano come la CCS possa sostenere la competitività di settori industriali che complessivamente – considerando gli impatti diretti, indiretti e indotti – generano 62,5 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e 1,27 milioni di posti di lavoro. Inoltre, la diffusione della CCS favorirà la creazione di una catena del valore che consentirà di generare 1,55 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e oltre 17 mila posti di lavoro al 2050.

4.1 Introduzione

Il presente Capitolo descrive i risultati del modello teorico che è stato sviluppato da The European House - Ambrosetti con l'obiettivo di valutare gli impatti delle soluzioni di CCS sul sistema industriale Hard to Abate nazionale.

La valutazione del ruolo delle soluzioni di CCS e il loro potenziale contributo alla riduzione delle emissioni di CO₂ sono stati valutati da The European House - Ambrosetti a seguito di un'intensa attività di analisi della letteratura accademica e manageriale e di discussione con primari stakeholder internazionali.

La prima parte del Capitolo è dedicata alla descrizione della metodologia e delle ipotesi alla base del modello di impatto, sviluppato considerando i settori Hard to Abate italiani con più elevate emissioni di processo (chimica e raffinazione, produzione di metalli e produzioni di minerali non metalliferi).

Seguono poi le risultanze del modello di impatto, che individua il ruolo della CCS nel mantenere la competitività delle filiere industriali nazionali con conseguenti benefici in termini economici e occupazionali.

Inoltre, le analisi identificano anche un potenziale di sviluppo della filiera nazionale legata alle soluzioni di CCS –individuando gli impatti in termini di Valore Aggiunto e di occupazione. All'interno del presente capitolo è stato anche valutato il potenziale mercato a livello europeo e internazionale che la filiera della CCS potrà andare a coprire nei prossimi 30 anni.

Infine, il capitolo identifica i benefici che potranno essere attivati con lo sviluppo di ulteriori iniziative di CCS sul territorio nazionale.

L'Hub di Ravenna potrà stoccare circa 300 milioni di tonnellate di CO₂ entro il 2050.

Figura 1

Target di capacità di stoccaggio annuale dell'Hub di Ravenna tra il 2026 e il 2050.

Fonte: The European House - Ambrosetti, 2023.



4.2 L'obiettivo e la metodologia del modello di valutazione degli impatti delle soluzioni di CCS a livello nazionale

The European House - Ambrosetti ha elaborato un modello teorico per stimare il potenziale contributo delle soluzioni CCS rispetto:

- Alla capacità di abilitare concretamente il percorso di decarbonizzazione dei settori italiani Hard to Abate;
- Al sostegno della competitività dei settori ETS nel contesto internazionale;
- Alla creazione di una leadership italiana nelle tecnologie di decarbonizzazione afferenti alla CCS.

La valutazione del potenziale contributo della CCS alla riduzione delle emissioni è stata effettuata da The European House - Ambrosetti a seguito di un'intensa attività di analisi di **160 articoli accademici** e manageriali e il coinvolgimento di **63 stakeholder internazionali**.

Il modello teorico realizzato da The European House - Ambrosetti si basa su alcune ipotesi:

- la capacità di cattura annua a livello nazionale corrisponde al target di CO₂ sequestrata dall'impianto di Ravenna;

- a partire dal 2026, l'impianto di Ravenna entrerà nella fase commerciale. Tale anno è stato considerato come "anno zero" del modello di stima degli impatti;
- la fase commerciale è dimensionata per uno stoccaggio annuo iniziale di CO₂ che crescerà fino 4 milioni di tonnellate al 2030 che successivamente aumenterà fino a 16 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno al 2038;
- le soluzioni di CCS sono applicate ai settori manifatturieri Hard to Abate, che includono:
 - settore chimico e raffinerie: processi nell'industria petrolifera, lubrificanti, agglomerati bituminosi, nerofumo e ammoniaca;
 - settore dei metalli: acciaio, alluminio, ferroleghie, fonderie di ghisa, forni siderurgici, piombo, rame e zinco;
 - settore di minerali non metallici: cemento, vetro, gesso, ceramica, calce e dolomite.
- le emissioni considerate fanno riferimento a quelle da combustione di fonti fossili e quelle di processo. **Il valore delle emissioni considerate sconta già l'impatto di altre soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione, quali ad esempio elettrificazione, biocombustibili e idrogeno**¹.

¹ Si rimanda al capitolo 2 del presente Studio Strategico per i dettagli.

Il costo cumulato per la cattura, il trasporto e lo stoccaggio di circa 300 milioni di tonnellate di CO₂ tra il 2026 e il 2050 è stimato da The European House - Ambrosetti sulla base di dati di letteratura e risulta pari a circa 30 miliardi di Euro, con un costo annuo al 2050 di circa 1,5 miliardi di Euro.

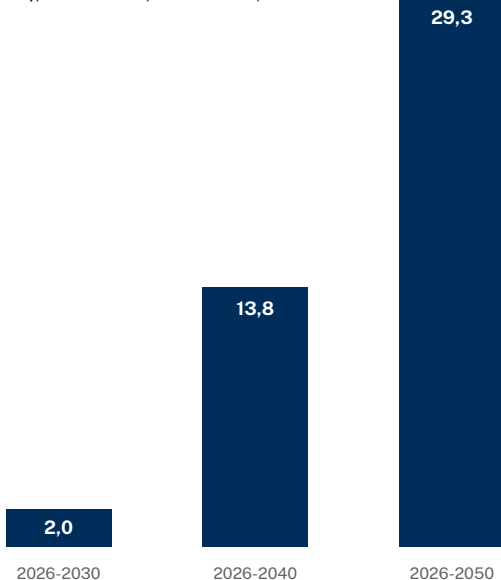
Figura 2

Costi cumulati e annuali legati alla realizzazione del modello teorico di CCS sviluppato da The European House - Ambrosetti.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati da modelli proprietari e IEA, 2023.

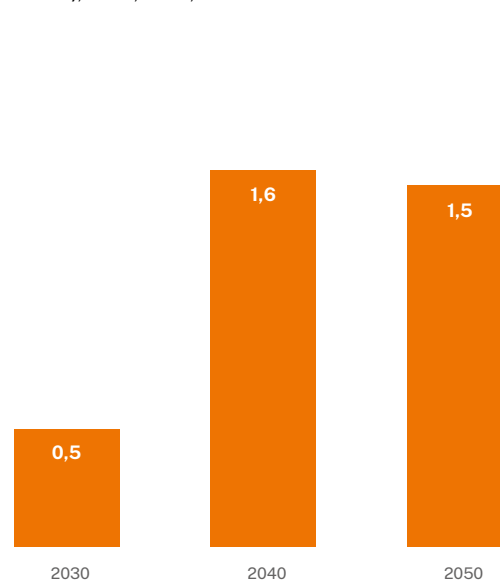
Costi cumulati totali CCS

(miliardi di Euro), 2026-2030, 2026-2040, 2026-2050



Costi annuali CCS

(miliardi di Euro), 2030, 2040, 2050



I dati relativi al modello di stima degli impatti sono stati raccolti da The European House - Ambrosetti sulla base dell'analisi di oltre 160 fonti di letteratura accademico-scientifica. I risultati delle analisi fanno riferimento al modello teorico elaborato da The European House - Ambrosetti.

4.3 La capacità e i costi del sito considerato nel modello teorico elaborato da The European House - Ambrosetti

I costi del progetto devono essere analizzati in rapporto agli obiettivi strategici dell'impianto di CCS considerato nel modello teorico previsto da The European House - Ambrosetti, che mira a stoccare fino a **16 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno entro il 2050**.

Questa ambiziosa meta sarà **raggiungibile già dal 2038**, grazie all'espansione graduale della tecnologia e all'ottimizzazione delle infrastrutture per la cattura e il trasporto del gas.

Si prevede uno stoccaggio di 4 milioni di tonnellate di CO₂ (all'anno) nei primi 5 anni di attività dell'impianto di CCS, dal 2026 al 2030, seguito da un costante aumento che, a partire dal 2030, consentirà di raggiungere i 16 milioni di tonnellate all'anno al 2038. Complessivamente, il sito considerato avrà la **capacità di immagazzinare 298 milioni di tonnellate di CO₂ tra il 2026 e il 2050**.

I costi standard totali del modello teorico sono stimati da The European House - Ambrosetti essere pari a **29,3 miliardi di Euro** per il periodo dal 2026 al 2050², mentre i costi annuali aumenteranno progressivamente, passando **da 491 milioni nel 2030 a 1.514 milioni di Euro nel 2050**³. Allo stesso tempo, i costi medi unitari di cattura, trasporto e stoccaggio (stimati da The European House - Ambrosetti) decresceranno dai 123 Euro a tonnellata di CO₂ previsti al 2030 fino ai **99 e 95 Euro a tonnellata di CO₂ al 2040 e 2050 rispettivamente**.

La stima di tali costi si basa su dati di letteratura e quindi si configura come un esercizio teorico che prescinde da una progettazione di dettaglio. I dati di costo evidenziano la necessità di un supporto da parte degli attori pubblici almeno nell'orizzonte del 2030.

² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario, 2023.

³ Ibid.

Il costo medio per tonnellata di CO₂ sequestrata, secondo le stime del modello teorico di The European House - Ambrosetti, raggiungerà un minimo di 71 Euro nel 2050, ma già nel breve termine la CCS sarà più economica delle quote del sistema ETS.

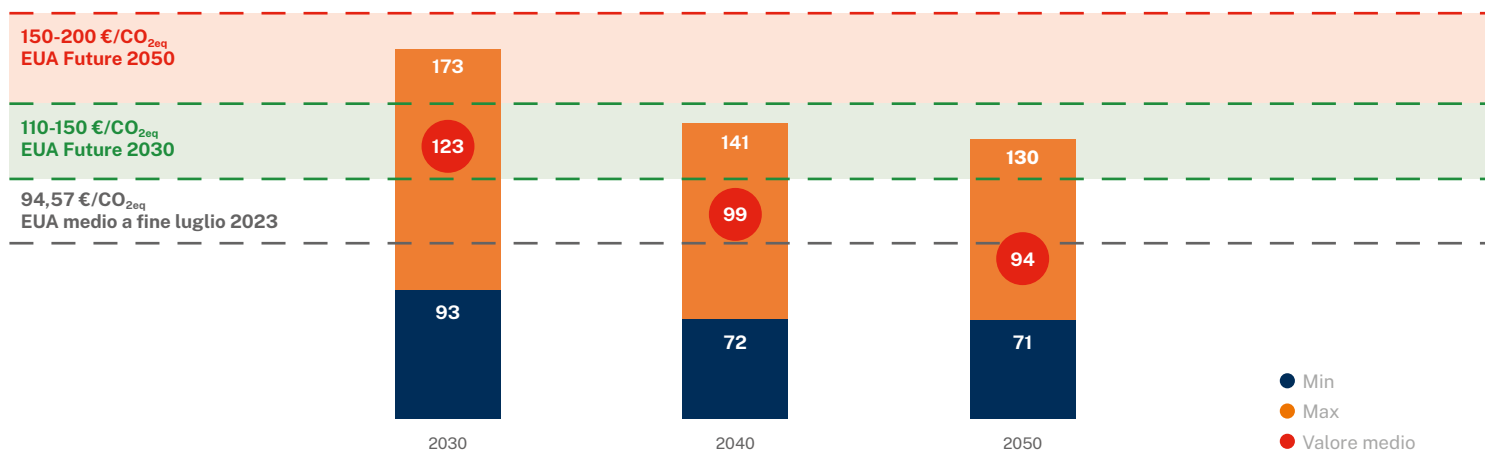
Figura 3

Costo medio* per tonnellata di CO₂ sequestrata della CCS catturata, trasportata e stoccata nel modello teorico di The European House - Ambrosetti (Euro per tonnellata di CO₂).

(*) i costi medi sono calcolati considerando il rapporto tra il costo totale e la quantità di CO₂ raccolta e stoccata per ciascun periodo.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario e IEA, 2023.

Costo medio della CCS per tonnellata di CO₂ catturata (Euro/ton CO₂), 2030, 2040, 2050



I valori di costo indicati nella presente pagina sono stati stimati da The European House - Ambrosetti sulla base dei dati di letteratura accademico-scientifica.

I range di costo indicati sono relativi a cattura, trasporto e stoccaggio e tengono conto di una ampia variabilità di tipologia di emettitori, volumi di CO₂, distanze di trasporto ed infrastrutture esistenti. Le specifiche condizioni di ogni progetto possono determinare costi differenti, tanto più prossimi ai limiti inferiori di ciascun intervallo quanto più possono essere sfruttate sinergie ed economie di scala. Eni e Snam precisano che lo stoccaggio in giacimenti di gas esauriti ed il riutilizzo di infrastrutture esistenti possono ottimizzare in modo importante il costo dei progetti di CCUS, aumentando la competitività. La configurazione progettuale e lo sviluppo dell'infrastruttura definiscono costi reali che risultano più elevati all'inizio della fase operativa. L'evoluzione tecnologica e di mercato e il raggiungimento del completo sviluppo progettuale potranno successivamente configurare una situazione di sostenibilità del costo della CCUS anche in assenza di supporti, necessari invece in una prima fase di avvio dell'attività.

I costi di trasporto (via pipeline e via nave) e di stoccaggio sono stati stimati considerando i risultati delle analisi sviluppate dal SINTEF⁴, dove sono analizzati **i costi di trasporto e stoccaggio sulla base delle diverse modalità e delle distanze tra il sito di cattura e quello di stoccaggio**⁵.

Al fine di stimare i costi di trasporto, il modello ipotizza che la raccolta sia concentrata all'interno delle province con la maggiore concentrazione di industrie Hard to Abate, prevedendone il trasporto via gasdotto per le regioni del bacino padano e via nave per le regioni meridionali e le isole.

In una fase iniziale, gli impianti per il trasporto e lo stoccaggio della CO₂ saranno sovradimensionati rispetto alla quantità di CO₂ effettivamente abbattuta. Ciò è alla base delle importanti economie di scala che si potranno realizzare con l'infrastruttura a regime e che si riflettono nella decrescita dei costi unitari presentata. Sarà quindi importante, fin da subito, agire per **favorire la concentrazione di investimenti di cattura attorno alle infrastrutture disponibili** al fine di saturarne la capacità e abbattere il costo infrastrutturale unitario.

Il trend decrescente, inoltre, rispecchia l'andamento dei **costi di cattura**, i quali sono stati valutati sulla base delle analisi presentate nel secondo capitolo del presente Studio Strategico⁶. Alla luce della difficoltà di stima che questi costi hanno, si è fatto riferimento per i diversi settori ai valori più alti riportati dalla International Energy Agency, prevedendo una curva di decrescita dei costi estremamente conservativa basata sul progresso tecnologico. Il modello considera una **riduzione dei costi di cattura pari all'1,5% annuo**, conseguibile, come sottolineato nel Capitolo 2, grazie allo sviluppo di un portafoglio di soluzioni diversificato e alla graduale crescita delle competenze necessarie per integrare tali tecnologie all'interno delle diverse tipologie di impianti industriali. Si tenga presente che il valore di riduzione dei costi di cattura preso in considerazione nel modello risulta essere inferiore rispetto a quanto indicato dalla letteratura esistente, che stima variazioni di tali costi comprese tra il -2,5 e il -5% all'anno⁷.

È bene sottolineare come l'analisi, seppur basata su un contesto reale e sui principali dati di letteratura, si configura come un esercizio teorico che prescinde da una progettazione di dettaglio. I valori indicati hanno lo scopo di evidenziare gli ordini di grandezza dei costi rispetto alle opportunità offerte dalla CCS.

⁴ Il SINTEF è uno dei più grandi centri di ricerca indipendenti d'Europa. Al suo interno racchiude il Norwegian CCS Research Center, un centro di ricerca internazionale dedicato alla CCS, cofinanziato dal Consiglio di Ricerca Norvegese, dall'industria e da partner di ricerca.

⁵ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Paper "Towards improved cost evaluation of Carbon Capture and Storage from industry", SINTEF Energy Research and IEA (2021), 2023.

⁶ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati IEA e Paper "Realizing Carbon Capture and Storage (CCS) technologies globally", DNV, 2023.

⁷ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Energy Agency e studio "Realizing Carbon Capture and Storage (CCS) technologies globally", DNV, 2023.

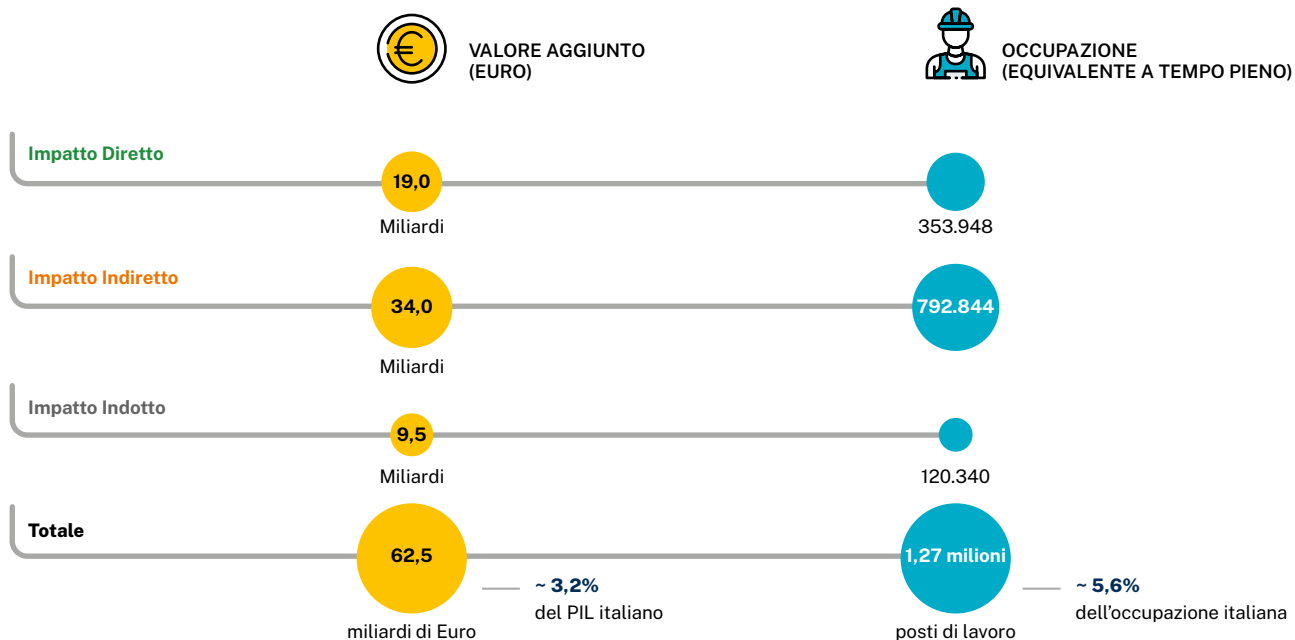
Il pieno sviluppo del modello sviluppato da The European House - Ambrosetti per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate contribuirà a sostenere la competitività di filiere in grado di generare 62,5 miliardi di Euro di Valore Aggiunto (circa il 3,2% del PIL italiano) e sostenere l'occupazione di 1,27 milioni addetti (circa il 5,6% dell'occupazione italiana).

Figura 4

Impatto complessivo della CCS sui settori Hard to Abate.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario, 2023.

Decarbonizzazione e competitività dei settori Hard to Abate



4.4 L'impatto delle soluzioni di CCS sulla competitività dei settori Hard to Abate e la creazione di una filiera CCS nazionale

Nella presente sezione vengono presentati gli impatti sul Valore Aggiunto e sull'occupazione sottesi al modello, considerando due distinti ambiti di ricaduta:

1. la capacità di sostenere la competitività dei settori industriali, con particolare riferimento alle filiere legate alle produzioni Hard to Abate;
2. l'opportunità di insediare in Italia una filiera legata allo sviluppo e all'implementazione di tecnologie per la CCS, la quale, partendo dallo stimolo offerto dal mercato domestico, possa guadagnare competitività sullo scenario internazionale.

Il modello proprietario di The European House - Ambrosetti per stimare l'impatto economico e occupazionale è stato costruito considerando le interdipendenze esistenti tra i diversi settori industriali. In particolare, si è fatto riferimento alle matrici "Input-Output" e i moltiplicatori degli investimenti dei settori considerati nelle analisi stimati attraverso statistiche ufficiali pubblicate da ISTAT.

Dato l'ambito del presente Studio Strategico, tutti i fattori sono stati analizzati a livello italiano considerando tre livelli di impatto:

- **Diretto**, cioè quello correlato direttamente al settore analizzato e relativo agli effetti prodotti sulla filiera produttiva stessa del settore industriale;
- **Indiretto**: generato nel sistema economico attraverso la catena produttiva formata dai fornitori di beni e servizi di attività direttamente riconducibili al settore considerato;
- **Indotto**: generato attraverso le spese ed i consumi indotti dall'impatto diretto ed indiretto. È costituito dall'aumento della spesa che si registra nell'area geografica di riferimento del settore industriale considerato⁸.

Per quanto riguarda il primo focus di impatto, il pieno sviluppo del progetto CCS, considerato nel modello teorico di The European House - Ambrosetti, per la decarbonizzazione dei settori Hard to Abate contribuirà a **sostenere la competitività di filiere in grado di generare 62,5 miliardi di Euro di Valore Aggiunto** (circa il 3,2% del PIL italiano) e **sostenere l'occupazione di 1,27 milioni addetti** (circa il 5,6% dell'occupazione italiana)⁹.

⁸ Definizione Camera di Commercio Nazionale, 2023.

⁹ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati da modello proprietario, 2023.

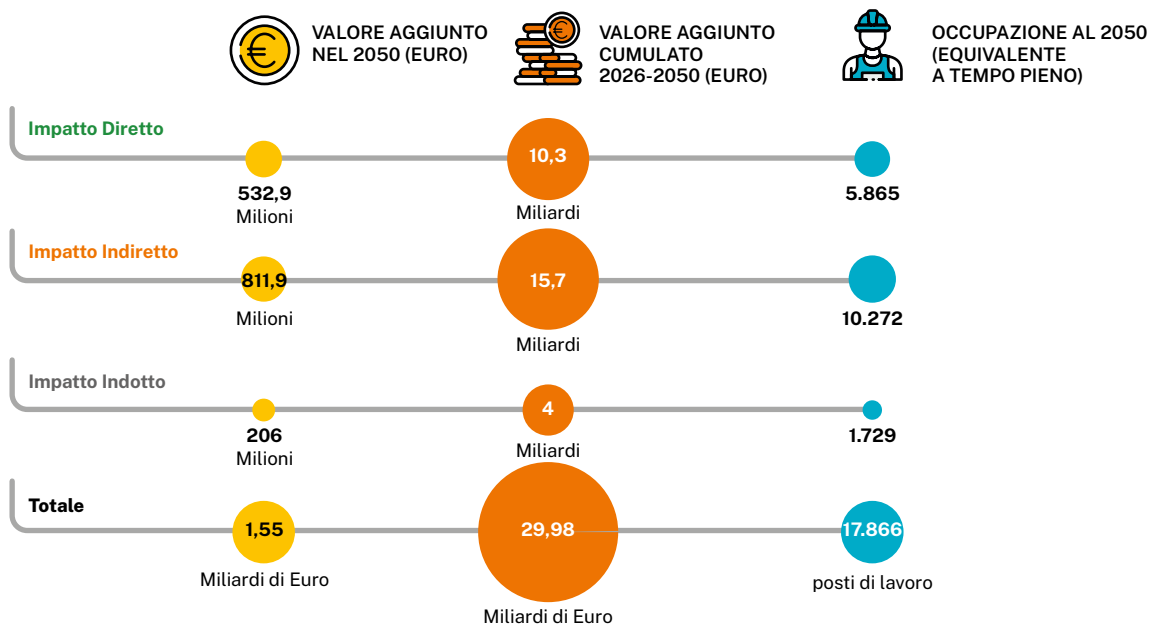
La piena realizzazione del modello sviluppato da The European House - Ambrosetti consentirà di sviluppare in Italia una nuova filiera, capace di generare tra il 2026 e il 2050 un Valore Aggiunto nella nostra economia pari a 30 miliardi di Euro con la creazione di oltre 17 mila posti di lavoro al 2050. La capacità dell'Italia di essere pioniera nello sviluppo di una filiera completa legata alla CCS è funzionale a cogliere ulteriori opportunità che si verranno a creare nel contesto internazionale.

Figura 5

Totali per Valore Aggiunto e impatto sull'occupazione nell'intera filiera CCS.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati modello proprietario, 2023.

Creazione di una nuova supply chain



Mercato potenziale a livello europeo e globale

58,2

miliardi di Euro
a livello europeo

392,3

miliardi di Euro
a livello globale

La diffusione delle soluzioni di CCS nel contesto industriale italiano richiederà lo sviluppo di una nuova supply chain legata alle diverse componenti tecnologiche e infrastrutturali necessarie.

In tal senso, il contesto italiano risulta essere particolarmente predisposto per lo sviluppo di tale nuova filiera grazie al know how e alle competenze sviluppate in ambito Oil & Gas, chimico e impiantistico.

La piena realizzazione del modello sviluppato da The European House - Ambrosetti consentirà di sviluppare in Italia una nuova filiera, capace di generare tra il 2026 e il 2050 un valore aggiunto nella nostra economia pari a 30 miliardi di Euro con la creazione di oltre 17 mila posti di lavoro al 2050¹⁰.

Riguardo agli occupati, **il modello stima un incremento dei posti di lavoro pari a 17.866 mila**, di cui circa 6 mila direttamente all'interno della filiera CCS e oltre 11 mila legati a impatti indiretti e indotti¹¹.

La capacità dell'Italia di essere **first mover** nello sviluppo di una filiera completa legata alla CCS, che sfrutti le leadership attuali, è, inoltre, funzionale a cogliere ulteriori opportunità che, stante gli scenari di diffusione della CCS e gli obiettivi europei già discussi nel Capitolo 3, certamente si verranno a creare nel contesto internazionale.

Nello specifico, l'Unione europea prevede la cattura di 550 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno al 2050, a cui si aggiungono 50 milioni di tonnellate di CO₂ dichiarate in UK come obiettivo¹² sempre al 2050. Per quanto riguarda il mercato mondiale, il target di riferimento è pari a 6,2 Gton di CO₂ all'anno¹³.

Facendo riferimento ai valori derivati per l'Italia al punto precedente, è possibile stimare che il mercato potenziale per la CCS al 2050 sarà pari a circa 60 miliardi di Euro a livello europeo e a circa 400 miliardi di Euro a livello globale.

¹⁰ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati da modello proprietario, 2023.

¹¹ Ibid.

¹² Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su Net Zero Industry Act e UK CCUS Action Plan, 2023.

¹³ Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati ETP2023, 2023.

MESSAGGIO CHIAVE 5

A livello nazionale, sarà importante continuare il percorso di sviluppo delle soluzioni di CCS per la decarbonizzazione e la competitività dei settori Hard to Abate, investendo nella realizzazione di ulteriori iniziative basate sul principio della neutralità tecnologica al fine di mantenere la competitività di settori che generano **57,7 miliardi di Euro di Valore Aggiunto con 1,19 milioni di posti di lavoro.**

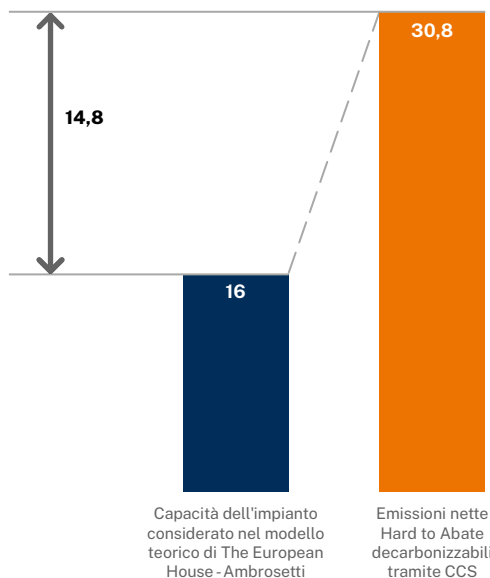
L'impianto considerato nel modello teorico sviluppato da The European House - Ambrosetti potrà contribuire alla decarbonizzazione del 48% delle emissioni residue dei settori italiani Hard to Abate. Già nel medio termine, sarà cruciale avviare nuove iniziative per la completa decarbonizzazione di questi settori.

Figura 6

Leve strategiche per completare la decarbonizzazione dei settori ETS in Italia¹⁴.

Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea e IEA, 2023.

Capacità di stoccaggio annuale dell'impianto considerato nel modello teorico di The European House - Ambrosetti e fabbisogno complessivo del mercato (Mton/y)



Leve strategiche per garantire la completa decarbonizzazione

NUOVI IMPIANTI CCS

Le rimanenti 14,8 Mton di CO₂ dovranno essere sequestrate **investendo nello sviluppo di nuovi progetti di CCS** investigando il potenziale residuo dei campi depletati nell'off-shore italiano*

La capacità di affrontare queste emissioni aggiuntive, raggiungendo la piena decarbonizzazione, potrà mantenere la competitività di settori che generano 57,7 miliardi di Euro di valore aggiunto e oltre 1,19 milioni di posti di lavoro.

* La capacità di stoccaggio dei campi depletati dell'off-shore Adriatico è stata valutata in 500 Mton CO₂, di cui 300 considerate nel presente modello. Ulteriori possibilità di stoccaggio in altre aree devono essere investigate.

A queste emissioni sono da aggiungere la quota di emissioni legata alla generazione di energia elettrica da fonte fossile necessaria per fornire servizi di flessibilità al sistema elettrico e massimizzare la penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili

¹⁴ Le emissioni nette Hard to Abate indicano la quota di emissioni rimanenti dopo l'applicazione di altre leve di decarbonizzazione (elettrificazione, bioenergie, idrogeno e utilizzo di nuovi feedstock).

L'impianto considerato nel modello teorico di The European House - Ambrosetti contribuirà alla decarbonizzazione del 49% delle emissioni residue dei settori italiani Hard to Abate. Come già descritto precedentemente, le emissioni nei settori Hard to Abate sono considerate al netto di efficientamento energetico, elettrificazione, biocarburanti, idrogeno e nuove materie prime per la produzione.

A livello nazionale, sarà importante continuare il percorso di sviluppo della leva CCS per la decarbonizzazione e la competitività dei settori Hard to Abate, investendo nella realizzazione di ulteriori iniziative di CCS, sempre ispirando le politiche al principio della neutralità tecnologica.

I nuovi impianti CCS potranno essere realizzati anche considerando collaborazioni internazionali. L'obiettivo alla base delle nuove iniziative dovrà essere l'aumento della capacità annua di sequestro e stoccaggio di CO₂¹⁵.

La completa decarbonizzazione dei settori Hard to Abate potrà contribuire a sostenerne la competitività, sostenendo ulteriori 57,7 miliardi di Euro di Valore Aggiunto e oltre 1,19 milioni di posti di lavoro al 2050.

A queste emissioni è da aggiungere la quota di emissioni legata alla generazione di energia elettrica da fonte fossile necessaria nel processo di decarbonizzazione per fornire servizi di flessibilità al sistema elettrico e massimizzare la penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili.



¹⁵ Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Commissione europea e IEA, 2023

Capitolo 5

Le proposte di policy per una governance della CCS nel contesto europeo e italiano

MESSAGGIO CHIAVE 6

Per consentire il pieno sviluppo della CCS, secondo un principio di neutralità tecnologica, e dei relativi benefici economici e sociali, è necessario individuare schemi normativi efficaci in grado di conciliare decarbonizzazione e competitività economica mediante una pianificazione integrata e meccanismi di supporto per il de-risking.

5.1 Introduzione

Le analisi e le attività di Stakeholder Engagement condotte da The European House - Ambrosetti hanno evidenziato diversi ambiti su cui è necessario agire al fine di **agevolare e massimizzare le opportunità di decarbonizzazione tramite soluzioni di CCS.**

In particolare, le evidenze emerse durante il Tavolo di Lavoro dedicato a “CCS: Policy Gaps in Europe and Italy” e gli spunti offerti dalle interviste riservate svolte, hanno permesso di comprendere, alla luce dello status-quo delle policy europee e delle esigenze degli attori industriali, le sfide e le aree di intervento prioritario da indirizzare per massimizzare lo sviluppo e la diffusione delle soluzioni CCS in Europa e in Italia.



33 Key Opinion Leader coinvolti, rappresentanti di 31 enti di riferimento tra Istituzioni, Associazioni di categoria, attori della ricerca e attori industriali. Punti principali:

- **Standard comuni:** necessario definire standard tecnici comuni tra i Paesi Membri UE per favorire la realizzazione di progetti di CCS transfrontalieri;
- **Supporto pubblico:** sulla scorta di quanto fatto nei Paesi Bassi o negli Stati Uniti, è necessario supportare i progetti di CCS per esempio attraverso i Contract for Difference e i sussidi sotto forma di credito d'imposta o contributi a fondo perduto;
- **De-risking:** necessario accompagnare i progetti di CCS con una chiara visione politica per ridurre i rischi di investimento iniziali per la costruzione di infrastrutture chiave, necessarie per attrarre le industrie Hard to Abate.



The European House - Ambrosetti ha formulato **dieci proposte di policy, in riferimento a 4 ambiti di intervento**, con l'obiettivo di supportare i Policy Maker, gli attori industriali e gli stakeholder della catena del valore della CCS nella creazione delle condizioni di mercato che consentano il superamento dei fattori ostativi emersi dalle interlocuzioni svolte, al fine di massimizzare la diffusione delle soluzioni di cattura, trasporto e stoccaggio della CO₂.

In tal senso, la creazione di un sistema di normative e la definizione di una strategia industriale, oltre che climatica, saranno fondamentali per **incentivare le aziende Hard to Abate e gli attori della filiera della CCS a introdurre gli investimenti necessari per il pieno sviluppo delle soluzioni di CCS**.

Secondo tale visione, la normativa dovrebbe puntare sulla possibilità di favorire le condizioni abilitanti per gli investimenti piuttosto che sull'imposizione di obblighi trasversali, mediante **due principali leve**:

- la definizione di un **framework normativo** che dovrà essere delineato in modo compiuto a partire dalla prossima pubblicazione della Comunicazione UE dedicata alla CCS¹ e di **strumenti di policy e pianificazione certi** che trovino una precisa corrispondenza nei vari strumenti normativi unionali (e loro revisioni del caso) evocati nel Cap. 3 e definiti di concerto con gli operatori industriali in funzione dei contesti specifici;
- la messa in campo di **strumenti di supporto**, a livello UE e nazionale, che, alla luce degli importanti benefici economici e sociali attivabili (di cui al Capitolo 4), consentano di creare da subito le condizioni di sviluppo del mercato, con forme di copertura rispetto al rischio iniziale e di garanzia rispetto al ritorno sugli investimenti di lungo termine.

¹ Si fa riferimento alla "Communication on an EU strategy to create a single market for CO₂ transport and storage services by 2030", prevista per il Q4 2023.

Ambito di intervento #1

Al fine di massimizzare la diffusione delle soluzioni di CCS, generando i benefici di decarbonizzazione, è necessario definire il framework normativo e regolatorio sia a livello europeo, sia a livello nazionale.



AMBITO DI APPLICAZIONE

#1 SOFT INFRASTRUCTURE



PROPOSTE DI POLICY

- 1 Garantire una chiara **definizione delle responsabilità lungo la catena del valore della CCS**, che includa la separazione delle responsabilità degli emittitori dalle fasi di trasporto e stoccaggio.

- 2 Creare un **sistema di regolamentazione robusto, sia a livello nazionale che europeo, tra gli Stati europei per consentire le attività di cattura, trasporto e stoccaggio**, premiando gli Stati che favoriranno la creazione di infrastrutture di stoccaggio e trasporto comuni.

- 3 Definire **standard tecnici comuni a livello EU per il trasporto e lo stoccaggio** (nella misura necessaria per la realizzazione di progetti transfrontalieri, ad es. caratteristiche CO₂ trasportata, caratteristiche di progettazione e gestione di gasdotti per il trasporto CO₂, ecc.).

5.2 Ambito di intervento #1: Soft Infrastructure

Il primo ambito di intervento è dedicato alla creazione delle cosiddette “soft infrastructure”, ossia la definizione di un contesto regolatorio e legislativo di riferimento chiaro, stabile e coerente a livello europeo necessario per favorire il pieno sviluppo della CCS dando certezza agli investimenti.

Dalle attività di Stakeholder Engagement condotte da The European House-Ambrosetti, è infatti emersa la necessità di colmare una serie di gap normativi al fine di favorire la piena adozione della CCS come strumento necessario per la piena decarbonizzazione. In particolare, è possibile definire tre macroaree di intervento, di seguito riportate.

In primo luogo, sarà fondamentale **creare un solido quadro normativo, che chiarisca le responsabilità di ciascun attore lungo tutta la catena del valore della CCS**, con riferimento agli oneri e gli obblighi a carico dei diversi attori interessati, quali le industrie da cui la CO₂ è catturata e gli operatori che si occupano del trasporto e dello stoccaggio.

In particolare, la chiara separazione dei ruoli e delle relative responsabilità permetterà di **ottimizzare il coordinamento all'interno del sistema**, soprattutto per quanto riguarda la cattura e il trasporto, favorendo la creazione di aree di competenza/responsabilità e sgravando gli emettitori da elementi di incertezza.

È inoltre fondamentale lavorare affinché a livello europeo i diversi Stati Membri definiscano un **framework normativo coerente per quanto concerne le attività lungo l'intera filiera**. Tale aspetto è di fondamentale importanza per accompagnare lo sviluppo della capacità di stoccaggio proposta nell'ambito del Net Zero Industry Act (50 Mton di CO₂ all'anno entro il 2030 e 550 Mton di CO₂ all'anno entro il 2050) e, soprattutto, favorire la cooperazione tra Stati Membri nello sviluppo infrastrutturale, identificando meccanismi di supporto europeo/premialità per gli Stati che favoriranno la creazione di infrastrutture di stoccaggio e trasporto comuni.

In tal senso, in un'ottica di sviluppo di progetti di CCS dal carattere europeo, è necessario regolamentare e facilitare il trasporto transfrontaliero della CO₂. La principale norma di riferimento per l'export di CO₂ è il protocollo di Londra del 1996 per la prevenzione dell'inquinamento marino causato dallo scarico di rifiuti (tra cui rientra la CO₂), è necessario la ratifica dell'emendamento da parte della maggioranza dei Paesi firmatari oppure l'adesione provvisoria da parte dei singoli Stati, con comunicazione all'IMO e successiva stipula di accordi bilaterali tra gli stati interessati al transito di CO₂ via mare e oltre le proprie frontiere². Per favorire la creazione di progetti di CCS in un'ottica europea, dovrà essere definito un accordo per la gestione del trasporto e dello stoccaggio transfrontaliero in Europa.

Un ulteriore aspetto da considerare, alla luce delle tempistiche richieste per lo sviluppo delle infrastrutture CCS, è la necessità di **ridurre in primo luogo i tempi tecnici per la concessione dei permessi di stoccaggio di CO₂**. Parimenti, lo sviluppo delle infrastrutture di trasporto potrà avvantaggiarsi dell'esistenza di infrastrutture gas (non più necessarie per il trasporto di gas naturale), prevedendo opportune sinergie nei regimi di autorizzazione.

² L'emendamento del 2009 del Protocollo di Londra dovrà essere ratificato da due terzi dei paesi firmatari, per consentire l'esportazione transfrontaliera di CO₂; ad oggi, è stato ratificato da dieci Paesi su trentasei, ma richiede la ratifica di tutti per diventare legalmente vincolante in tutti i Paesi firmatari.

Infine, **è necessario chiarire il quadro normativo nazionale che disciplini le attività di cattura trasporto e stoccaggio di CO₂**. Ad oggi, l'unico riferimento a livello italiano è il decreto legislativo n. 162 del 2011, in attuazione della Direttiva 2009/31/CE in materia di stoccaggio geologico del biossido di carbonio, decreto legislativo che rimanda a svariati decreti attuativi non ancora emanati per la definizione di alcuni aspetti necessari all'avvio delle attività di CCS su scala industriale. Il decreto legislativo non disciplina le regole tecniche per la progettazione, la realizzazione, la gestione e la manutenzione degli impianti di trasporto onshore di CO₂. La definizione a livello nazionale di questi aspetti condurrebbe a una necessaria e auspicabile armonizzazione, fondamentale per migliorare il coordinamento tra le industrie da cui viene catturata la CO₂ e i sistemi di trasporto e stoccaggio. La natura di tali parametri può influenzare in maniera non trascurabile gli investimenti, rendendo così urgente la loro definizione.





Ambito di intervento #2

La diffusione delle soluzioni di CCS potrà accompagnare il percorso di decarbonizzazione delle industrie Hard to Abate, in sinergia con altre soluzioni tecnologiche e secondo un principio di neutralità tecnologica e complementarità tra le diverse opzioni disponibili. Inoltre, la CCS potrà garantire la decarbonizzazione anche del Power Generation e accelerare la produzione di vettori energetici decarbonizzati.



AMBITO DI APPLICAZIONE

#2 **APPLICAZIONE ALLE DIVERSE FORME DI EMISSIONI**




PROPOSTE DI POLICY

- 1** Favorire l'**applicazione del principio di neutralità tecnologica** considerando l'opportunità di far leva sulla **complementarità** tra le soluzioni di decarbonizzazione mature e quelle che saranno disponibili solo nel medio-lungo periodo, anche favorendo l'utilizzo della CCS per l'offsetting delle emissioni tramite BECCS e DACCS.
- 2** Il **gas naturale**, essendo la fonte di combustibile fossile con minori emissioni, dovrà **accompagnare la transizione verso le energie rinnovabili garantendo la flessibilità e l'adeguatezza dei sistemi energetici**. La CCS potrà essere sfruttata per decarbonizzare le emissioni della quota richiesta di gas nella produzione di energia elettrica e nella produzione di vapore ad alta efficienza e ad alta temperatura (attraverso la cogenerazione) per la decarbonizzazione dei settori industriali.
- 3** Definire all'interno dei regolamenti europei la **parità tra idrogeno decarbonizzato e idrogeno rinnovabile**.

5.3 Ambito di intervento #2: Applicazione alle diverse forme di emissioni

Come ripreso più volte all'interno del presente Studio Strategico, il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione sarà possibile solo implementando tutte le leve di decarbonizzazione disponibili. Affianco a energie rinnovabili, elettrificazione, idrogeno e biocombustibili, la **CCS ricopre un ruolo insostituibile per quanto riguarda la decarbonizzazione delle emissioni da processo**.

Non da meno, però, come dimostrato nel Capitolo 2, è necessario considerare che la **CCS è una tecnologia matura** già oggi in grado di integrarsi sui diversi tipi di impianti industriali **senza necessità di modifiche sostanziali ai processi produttivi**. In tal senso, il potenziale della CCS è di straordinaria importanza perché consente di intervenire da subito anche su quelle **emissioni da combustione** che richiederebbero:

- ingenti, se non insostenibili, investimenti per la conversione dei processi industriali;
- una trasformazione radicale del sistema energetico affinché vengano messi a disposizione elettricità rinnovabile, idrogeno rinnovabile e biocombustibili su scala industriale e con continuità.

In quest'ottica, la CCS è una soluzione che consente di decarbonizzare rapidamente la quasi totalità delle emissioni di molti degli impianti che diversamente richiederebbero scale temporali maggiori, secondo un **principio di complementarità**. La CCS si configura quindi come una soluzione in grado di accelerare il percorso di decarbonizzazione, contribuendo, non solo al raggiungimento dell'obiettivo di decarbonizzazione finale, ma soprattutto a ridurre l'ammontare complessivo di emissioni tra oggi e il 2050.

Inoltre, per sfruttare a pieno le opportunità legate alla CCS, sarà necessario fare leva sulle diverse applicazioni, tra cui la rimozione della CO₂ atmosferica tramite BECCS e DACCS. In tal senso, l'utilizzo di queste soluzioni tecnologiche potrà essere favorito includendole nel sistema di contabilità ETS.

In secondo luogo, è importante definire le linee di azione per sostenere la **decarbonizzazione della produzione di energia elettrica**. Come descritto all'interno del Capitolo 2, anche (o meglio, soprattutto) in uno scenario di alta penetrazione delle fonti di energia elettrica rinnovabile, assieme ai sistemi di accumulo elettrochimico, sarà necessario mantenere una componente flessibile di generazione elettrica a gas al fine di garantire l'esercizio in sicurezza del sistema elettrico con particolare riguardo alla regolazione su scala oraria e giornaliera, piuttosto che mensile. In tal senso, insieme alla crescita della generazione di elettricità da fonti rinnovabili e allo sviluppo di sistemi di accumulo sempre più efficaci ed efficienti, sarà necessario **affiancare le soluzioni di CCS alla produzione di energia elettrica da CCGT**, riducendo così le emissioni di CO₂ da tale fonte.

Per massimizzare il processo di decarbonizzazione di molti settori industriali è necessario **accelerare lo sviluppo della filiera dell'idrogeno facendo leva sulla disponibilità e sulla maggiore economicità dell'idrogeno low-carbon ottenuto da fonte fossile con CCS**, sfruttando le importanti produzioni già presenti in Europa e gli asset industriali esistenti. A tal fine sarà fondamentale stabilire un quadro normativo e regolatorio funzionale allo sviluppo e all'utilizzo dell'idrogeno blu come leva sostenibile di decarbonizzazione.



Infine, alla luce della recente revisione del PNIEC e considerando le prossime elezioni europee, **l'Italia potrà assumere un ruolo di rilievo nell'indirizzare lo sviluppo delle normative e delle azioni per lo sviluppo delle soluzioni di CCS in Europa.** Infatti, alla luce di quanto contenuto nel documento di aggiornamento del PNIEC, è evidente che l'Italia abbia compreso l'importanza dello strumento della CCS per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione. Inoltre, a livello nazionale emerge la consapevolezza, che un framework normativo solido anche esterno ai confini amministrativi italiani sia essenziale per lo sviluppo della filiera della CCS. Infine, il documento contiene le condizioni necessarie per un'azione politica ferma e proattiva delle Istituzioni italiane, anche volta alla salvaguardia dell'economia europea.



Ambito di intervento #3

Lo sviluppo e la diffusione delle soluzioni di CCS dovranno essere favoriti dalla definizione di una chiara visione politica, una pianificazione strategica condivisa e una roadmap per lo sviluppo a livello nazionale.



AMBITO DI APPLICAZIONE

#3 STRATEGIC PLANNING



PROPOSTE DI POLICY

- 1** Nell'ambito del PNIEC nazionale, **stabilire obiettivi CCS orientati alle attività economiche Hard to Abate**, considerando nella valutazione la loro diffusione geografica, i livelli di concentrazione di CO₂ nelle emissioni e le modalità di collegamento con i siti di stoccaggio disponibili.
- 2** Migliorare il **ruolo delle Istituzioni nel coinvolgere i principali stakeholder** per la definizione di un piano di sviluppo infrastrutturale concreto e appropriato che soddisfi le aspettative delle industrie e faccia leva sulle iniziative di mercato.

5.4 Ambito di intervento #3: Strategic Planning

La diffusione delle soluzioni di CCS dovrà essere accompagnata dalla definizione di una chiara **visione strategica a livello nazionale** in grado di coniugare gli obiettivi climatici con quelli industriali. In particolare, come suggerito dalla Commissione europea, sarà fondamentale identificare degli obiettivi specifici e un percorso di diffusione di tale soluzione tecnologica all'interno del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC).

Tali obiettivi potranno essere raggiunti esclusivamente favorendo anche lo sviluppo delle infrastrutture per la CCS, che dovrà essere accompagnato dalla definizione di una strategia industriale e una pianificazione ad hoc differenziata sul territorio in base alla diffusione delle diverse tipologie di attività industriali e di produzione di energia. Sarà quindi importante identificare un **percorso di sviluppo della CCS**, che tenga conto di diversi elementi specifici di ciascuna area del Paese.

Infatti, la pianificazione dovrà considerare alcuni **aspetti di contesto**, ad esempio la distribuzione delle attività industriali sul territorio, le relative emissioni di CO₂, la presenza di cluster, e altri **aspetti specifici delle soluzioni di CCS**, ad esempio le diverse opzioni per il trasporto della CO₂, la presenza di infrastrutture per il trasporto, la possibilità di nuovi sviluppi infrastrutturali e la presenza di siti di stoccaggio. Tutto ciò dovrà tenere in considerazione che, almeno inizialmente, l'hub di Ravenna sarà l'unico sito di stoccaggio presente sul territorio nazionale, ma che, come dimostrato nel Capitolo 4, al fine di raggiungere la piena decarbonizzazione delle emissioni residuali³, sarà necessario individuare soluzioni integrative.

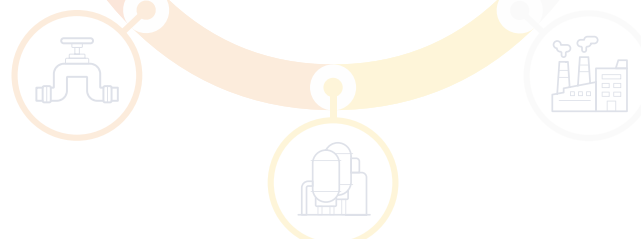
3 Le emissioni dei settori Hard to Abate già considerando il potenziale contributo di efficienza energetica, elettrificazione, idrogeno, biocombustibili e nuovi feedstock. A queste sono da aggiungere le emissioni legate alla generazione di energia elettrica da CCGT.

Per quanto riguarda l'**identificazione delle aree prioritarie**, va sottolineato che vi sono alcune province dove si concentrano importanti cluster di industrie Hard to Abate, ad esempio Ravenna, Ferrara, Mantova, Bergamo, Brescia, Porto Marghera, Cremona, Modena/Sassuolo, Piacenza e Pavia nel bacino Padano e dove, per le infrastrutture di trasporto via pipeline si potrà prevedere un'importante sinergia con le infrastrutture gas esistenti. Altre province con importanti emissioni di processo, quali ad esempio Taranto, Siracusa e Cagliari, potranno invece beneficiare di sistemi di trasporto tramite nave. Complessivamente, nelle diverse province individuate si concentra il 47% del totale delle emissioni residue dei settori industriali che, secondo quanto esposto nel Capitolo 3, potranno essere abbattute solamente tramite CCS.

È chiaro quindi che un'attenta pianificazione strategica avrà un ruolo fondamentale nel massimizzare la diffusione delle soluzioni di cattura di CO₂, accelerare il processo di decarbonizzazione a livello nazionale e garantire la competitività delle industrie.

Le Istituzioni, inoltre, dovranno avviare un **confronto attivo con gli stakeholder nazionali**, sia emettitori, sia operatori di infrastrutture di trasporto e stoccaggio, che si dovranno occupare dello sviluppo e della diffusione delle soluzioni di CCS – lungo tutte le fasi, dalla cattura al trasporto, fino allo stoccaggio. Tale azione permetterà di accelerare il percorso di pianificazione strategica e definire una roadmap chiara e concreta, volta a massimizzare i benefici potenziali per il sistema-Paese, le industrie e i cittadini.

Considerando che la decarbonizzazione è una sfida che dovrà essere affrontata a livello europeo, sarà fondamentale **lavorare in sinergia con gli altri Paesi EU**. In particolare, sarà importante identificare dei modelli di relazione che permettano di massimizzare il potenziale contributo delle soluzioni di CCS, anche in ottica transfrontaliera, considerando il **ruolo di Ravenna come Hub per la decarbonizzazione del Sud Europa**.





Ambito di intervento #4

È necessario introdurre meccanismi di supporto per lo sviluppo di una filiera della CCS al fine di dare certezza agli operatori industriali e abilitare la creazione di importanti benefici economici e sociali trasversali alla società.



AMBITO DI APPLICAZIONE

#4 DE-RISKING



PROPOSTE DI POLICY

- 1 Introdurre **strumenti di supporto finanziario attraverso contratti per differenza (CfD) e sussidi diretti** per sostenere la diffusione dei progetti di cattura

- 2 Definire **modelli di supporto per le infrastrutture di trasporto e stoccaggio**:
 - **sovvenzioni dirette** per sostenere lo sviluppo iniziale dell'infrastruttura;
 - **meccanismi di garanzia** rispetto alla copertura dei costi e al al ritorno sugli investimenti.

Tali modelli per lo sviluppo delle infrastrutture T&S potranno evolvere verso **meccanismi RAB**.

5.5 Ambito di intervento #4: De-Risking

Al fine di accelerare l'adozione delle tecnologie di cattura della CO₂ da parte delle industrie soggette a ETS⁴, è necessario **introdurre meccanismi di Contract for Difference⁵ (CfD) e sussidi diretti**. Ad esempio, il meccanismo CfD proposto potrebbe ispirarsi a quello utilizzato dai Paesi Bassi nel programma SDE++, già descritto precedentemente nel presente Studio Strategico. La definizione dei meccanismi di incentivazione dovrà configurarsi secondo schemi di facile implementazione da parte delle imprese, al fine di rappresentare uno strumento altrettanto efficace e diretto rispetto agli incentivi fiscali previsti dal Inflation Reduction Act statunitense.

Inoltre, soprattutto in una fase iniziale di sviluppo, è ragionevole aspettarsi che le infrastrutture di trasporto e di stoccaggio risultino sovradimensionate rispetto ai volumi catturati. In questo scenario, è importante **assicurare meccanismi di definizione delle tariffe di trasporto e stoccaggio che non disincentivino i comportamenti virtuosi degli emettitori first mover** nell'implementazione della tecnologia.

A tal fine, in una prima fase, è necessario accompagnare la realizzazione delle infrastrutture di trasporto e stoccaggio della CO₂ con misure di **supporto diretto** (ad esempio sotto forma di grant) e **meccanismi di garanzia** di copertura dei costi e ritorno sugli investimenti, che, alla luce dei benefici di sistema conseguibili, supportino in maniera determinante la nascita dei primi hub di sviluppo. Ciò potrà avvenire in linea con i programmi di finanziamento europei per infrastrutture di rilevanza comunitaria, ma anche tramite programmi di supporto alla transizione energetica varati ad hoc dai singoli Stati Membri con l'avvallo delle strutture della Commissione europea facendo, ad esempio, leva sugli introiti generati dal sistema ETS⁶.

- 4 Con settori ETS si fa riferimento alle industrie Hard to Abate e al Power Generation (con riferimento alla quota parte di energia elettrica generata da CCGT).
- 5 Il modello dei CfD è uno strumento finanziario che permette di supportare lo sviluppo iniziale delle soluzioni di CCS, coprendo i maggiori costi iniziali rispetto a un prezzo di riferimento, che dovrà essere identificato.

- 6 Ad esempio, nel Regno Unito sono in discussione meccanismi di sostegno per l'emettitore basati su CfD per supportare la spesa per la cattura, e un sistema regolato (Regulatory Asset Base - RAB) per lo sviluppo della infrastruttura di trasporto e stoccaggio.

Nella fase successiva di sviluppo delle infrastrutture di T&S, potrà essere valutata l'introduzione di un modello **Regulatory Asset Based** (RAB), tipicamente utilizzato per la remunerazione degli investimenti degli operatori di rete, che operano all'interno di un regime di monopolio naturale. Tramite questo modello sarà possibile, da un lato evitare inutili duplicazioni delle infrastrutture di trasporto, dall'altra dare agli investitori certezza sugli investimenti e un'equa remunerazione del capitale agli operatori che si occuperanno del trasporto e dello stoccaggio della CO₂.

L'introduzione di una tariffa regolata, oltre a dare incentivo agli investimenti infrastrutturali, potrebbe consentire di introdurre meccanismi tariffari equi tra gli emettitori indipendentemente dalla posizione geografica.



Bibliografia

- “A Climate-Neutral EU by 2050”. Shell, 2020, www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/scenario-sketches/new-sketch-a-climate-neutral-eu/_jcr_content/root/main/section/simple/call_to_action/links/item0.stream/1655908173445/8e246b85c30047551a995c3da6b14b6c87707a3a/scenario-sketch-a-climate-neutral-eu-by-2050.pdf.
- Akerboom, Sanne, et al. “Different This Time? The Prospects of CCS in the Netherlands in the 2020s”. *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, maggio 2021, p. 644796. www.frontiersin.org, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.644796>.
- Alcalde, Juan, et al. “A Criteria-Driven Approach to the CO₂ Storage Site Selection of East Mey for the Acorn Project in the North Sea”. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 133, novembre 2021, p. 105309. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105309>.
- Alcalde, Juan, et al. “Estimating Geological CO₂ Storage Security to Deliver on Climate Mitigation”. *Nature Communications*, vol. 9, fasc. 1, giugno 2018, p. 2201. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04423-1>.
- Aminu, Mohammed D., et al. “A Review of Developments in Carbon Dioxide Storage”. *Applied Energy*, vol. 208, dicembre 2017, pp. 1389–419. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.015>.
- Annex, Meredith. “Hydrogen and the New Geopolitics of Energy”. Bloomberg New Energy Finance, 24 ottobre 2022, hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2022/12/Meredith-Annex-BNEF.pdf.
- Babonneau, Frédéric, et al. “Defining Deep Decarbonization Pathways for Switzerland: An Economic Evaluation”. *Climate Policy*, vol. 18, fasc. 1, gennaio 2018, pp. 1–13. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1227952>.
- Ballester, Joan, et al. “Heat-Related Mortality in Europe during the Summer of 2022”. *Nature Medicine*, vol. 29, fasc. 7, luglio 2023, pp. 1857–66. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>.
- Bingham, Derek R., et al. “Carbonomics: Affordability, Security and Innovation”. Goldman Sachs Equity Research, novembre 2022. Consultato 26 luglio 2023. <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/gs-research/carbonomics-affordability/report.pdf>
- “Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Energy System”. IEA, <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage>. Consultato 26 luglio 2023.
- Blackford, Jerry, et al. “Detection and Impacts of Leakage from Sub-Seafloor Deep Geological Carbon Dioxide Storage”. *Nature Climate Change*, vol. 4, fasc. 11, novembre 2014, pp. 1011–16. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/nclimate2381>.
- Blackford, Jerry, et al. “Efficient Marine Environmental Characterisation to Support Monitoring of Geological CO₂ Storage”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 109, luglio 2021, p. 103388. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103388>.
- Blackford, Jerry, et al. “Impact and Detectability of Hypothetical CCS Offshore Seep Scenarios as an Aid to Storage Assurance and Risk Assessment”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 95, aprile 2020, p. 102949. Science-

- Direct, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102949>.
- Blackford, Jerry, et al. “Marine Baseline and Monitoring Strategies for Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS)”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 221–29. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.004>.
 - Blackford, Jerry, et al. “Monitoring of Offshore Geological Carbon Storage Integrity: Implications of Natural Variability in the Marine System and the Assessment of Anomaly Detection Criteria”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 64, settembre 2017, pp. 99–112. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.06.020>.
 - Blomberg, Ann E. A., et al. “Marine Monitoring for Offshore Geological Carbon Storage — A Review of Strategies, Technologies and Trends”. *Geosciences*, vol. 11, fasc. 9, settembre 2021, p. 383. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/geosciences11090383>.
 - Brunsting, S., e T. Mikunda. What happened in Barendrecht? Case study on the planned onshore carbon dioxide storage in Barendrecht, the Netherlands. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3Aec3df18e-d97a-4c32-a1f4-4df-550466de6>.
 - “Budget 2020.” https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/871799/Budget_2020_Web_Accessible_Complete.pdf. Consultato 27 luglio 2023
 - Callas, Catherine, et al. “Criteria and Workflow for Selecting Depleted Hydrocarbon Reservoirs for Carbon Storage”. *Applied Energy*, vol. 324, ottobre 2022, p. 119668. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119668>.
 - Callas, Catherine, et al. Incorporating Data Confidence and Scoring Sensitivity into Site Selection Ranking in Depleted Hydrocarbon Reservoirs. OnePetro, 2023. [onepetro.org, https://doi.org/10.4043/32331-MS](https://doi.org/10.4043/32331-MS).
 - Carbon Capture and Storage is at a Crossroads. https://www.energy-transition-institute.com/documents/17779499/17781903/Carbon+Capture_Fact-Book.pdf/f27be25f-e74c-8f40-0fd1-73e05f36f-7dc?t=1591985408405.
 - “Carbon Capture and Storage
 - Potential for CCS in the UK”. Energy Technologies Institute, https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/assets.eti.co.uk/legacyUploads/2014/03/ETI_CCS_Insights_Report.pdf. Consultato 26 luglio 2023.”
 - “Carbon Capture and Storage: How Far Can Costs Fall?” Carbon Capture and Storage: How Far Can Costs Fall? | Wood Mackenzie, 28 settembre 2021, www.woodmac.com/news/opinion/carbon-capture-and-storage-how-far-can-costs-fall.
 - “Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context”. Belfer Center for Science and International Affairs, <https://www.belfercenter.org/publication/carbon-capture-utilization-and-storage-technologies-and-costs-us-context>. Consultato 26 luglio 2023.
 - Carbon Capture: From Today’s to Novel Technologies . Pathways and Carbon Capture & Storage Groups, settembre 2020, https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt_20-18.pdf.
 - Carbon Dioxide Capture and Storage — IPCC. <https://www>.

- ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage/. Consultato 26 luglio 2023
- “Carbon Transport and Storage Program.” netl.doe.gov, netl.doe.gov/carbon-management/carbon-storage.
 - CCS and Earthquakes - Anything to Worry About? 22 giugno 2012, <https://www.nrdc.org/bio/george-peridas/ccs-and-earthquakes-anything-worry-about>.
 - “CCS Mythbusters: Dispelling Myths Around Carbon Capture and Storage (CCS)”. Global CCS Institute, https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2022/06/MythBusters-Flyer_FINAL-5.pdf. Consultato 26 luglio 2023.
 - Chay, Freya, et al. “Barriers to Scaling the Long-duration Carbon Dioxide Removal Industry”. Carbon Plan, luglio 2022, files.carbonplan.org/CDR-Scale-Barriers.pdf.
 - Chhun, Chanmaly, e Takeshi Tsuji. “Pore Pressure Analysis for Distinguishing Earthquakes Induced by CO₂ Injection from Natural Earthquakes”. Sustainability, vol. 12, fasc. 22, gennaio 2020, p. 9723. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/su12229723>.
 - Cleveland, Cutler J., and Lucia Villalonga. “Direct Air Carbon Capture and Storage Market Scan”. Boston University, settembre 2022, www.bu.edu/igs/files/2022/09/Direct-Air-Carbon-Capture-and-Storage-Market-Scan_091522.pdf.
 - Climate Change 2021 - the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf. Consultato 27 luglio 2023
 - Climate change: science and solutions | Royal Society. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/climate-change-science-solutions/>. Consultato 26 luglio 2023.
 - Coccia, Mario. Scientific Explorations of Technological Paths for Fostering Environmental, Economic and Social Sustainability. 17 aprile 2023. Social Science Research Network, <https://doi.org/10.2139/ssrn.4420958>.
 - Connelly, D. P., et al. “Assuring the Integrity of Offshore Carbon Dioxide Storage”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 166, settembre 2022, p. 112670. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112670>.
 - Cormos, Calin-Cristian. “Decarbonization Options for Cement Production Process: A Techno-Economic and Environmental Evaluation”. Fuel, vol. 320, luglio 2022, p. 123907. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123907>.
 - Cox, Emily, et al. “Public Perceptions of Carbon Dioxide Removal in the United States and the United Kingdom”. Nature Climate Change, vol. 10, fasc. 8, agosto 2020, pp. 744–49. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0823-z>.
 - “Datahub.” European Environment Agency, www.eea.europa.eu/en/datahub. Consultato 27 luglio 2023
 - De Marco, Serena, et al. “Techno-Economic Evaluation of Buffered Accelerated Weathering of Limestone as a CO₂ Capture and Storage Option”. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 28, fasc. 3, marzo 2023, p. 17. Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s11027-023-10052-x>.
 - “Decarbonising assets: Key insights from Pernis refinery”. Decarb Connect, <https://decarbconnect.com/insights/>. Consultato 26 luglio 2023.
 - “Direct Air Capture 2022 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/>

- reports/direct-air-capture-2022. Consultato 26 luglio 2023.
- Directorate General for Energy (European Commission). EU Regulation for the Development of the Market for CO₂ Transport and Storage. Publications Office, 2023. DOI.org (CSL JSON), <https://data.europa.eu/doi/10.2833/093881>
 - Directorate-General for Energy (European Commission). Study on Energy Storage. Publications Office of the European Union, 2023. Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/333409>
 - “Energy Technology Perspectives 2023 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>. Consultato 26 luglio 2023.
 - “Energy Transition Investment Trends: Tracking global investment in the low-carbon energy transition - Executive summary”. Bloomberg New Energy Finance, https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends_Free-Summary_Jan2021.pdf. Consultato 26 luglio 2023.
 - “Energy Transition Investment Trends: Tracking global investment in the low-carbon energy transition - Executive summary”. Bloomberg New Energy Finance, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/energy-transition-investment-trends-2023.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.
 - “Energy Transition Investment Trends: Tracking global investment in the low-carbon energy transition - Executive summary”. Bloomberg New Energy Finance, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Exec-Summary-2022.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.
 - Erans, María, et al. “Direct Air Capture: Process Technology, Techno-Economic and Socio-Political Challenges”. *Energy & Environmental Science*, vol. 15, fasc. 4, 2022, pp. 1360–405. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1039/D1EE03523A>.
 - “ERIA (2022), ‘A Model Case Study: CCUS Cost Estimation’, in Kimura, S., Shinchi, K., Coulmas,
 - U., and Saimura, A. (eds.), Study on the Potential for Promoting Carbon Dioxide Capture,
 - Utilisation, and Storage (CCUS) in ASEAN Countries Vol. II. ERIA Research Project Report
 - FY2021 No. 25, Jakarta: ERIA, pp.7-22”
 - ESG Research - Carbon Pricing, In Various Forms, Is Likely To Spread In The Move To Net Zero.” S&P Global, www.spglobal.com/_division_assets/images/special-editorial/carbon-pricing-in-various-forms-is-likely-to-spread-in-the-move-to-net-zero/esg_research_-_carbon_pricing_in_various_forms_is_likely_to_spread_in_the_move_to_net_zero.pdf. Consultato 26 luglio 2023.
 - “EU Carbon Permits.” Trading Economics, tradingeconomics.com/commodity/carbon. Consultato 27 luglio 2023
 - European Central Bank. Good Practices on Climate-Related and Environmental Risk Management: Observations from the 2022 Thematic Review. Publications Office, 2022. DOI.org (CSL JSON), <https://data.europa.eu/doi/10.2866/417808>.
 - “European Commission - Have Your Say.” European Commission, ec.europa.eu/info/law/better-regulation
 - Financial Stability Review, May 2020. European Central Bank, maggio 2020. www.ecb.europa.eu, <https://www.ecb.europa.eu/pub/financial-stability/fsr/html/ecb.fsr202005~1b75555f66.en.html>.

- “Fostering Effective Energy Transition - Insight Report”. World Economic Forum, 2021.
- Fujimori, Shinichiro, et al. “Climate Change Mitigation Costs Reduction Caused by Socioeconomic-Technological Transitions”. *Npj Climate Action*, vol. 2, fasc. 1, maggio 2023, pp. 1–14. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00041-w>.
- Giarola, Sara, et al. MUSE: An open-source agent-based integrated assessment modelling framework. preprint, In Review, 15 marzo 2022. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1450486/v1>.
- “Global Energy and Climate Model - Documentation”. IEA, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2db1f4ab-85c0-4dd0-9a57-32e542556a49/GlobalEnergyandClimateModelDocumentation2022.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.”
- “Global Hydrogen Review 2021 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>. Consultato 26 luglio 2023.
- “Global Hydrogen Review 2022 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>. Consultato 26 luglio 2023.
- “Global Status of CCS 2022”, Global CCS Institute, novembre 2022, status22.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2022/11/Global-Status-of-CCS-2022_Download.pdf.
- “Graham, P. 2018 “Review of alternative methods for extending LCOE calculations to include balancing costs”. CSIRO, Australia.
- “Greenhouse Gas Market Report”. IETA, 2020, www.ieta.org/resources/Resources/GHG_Report/2020/IETA-2020-GHG-Report_WEB.pdf.
- Grubert, Emily, e Frances Sawyer. “US Power Sector Carbon Capture and Storage under the Inflation Reduction Act Could Be Costly with Limited or Negative Abatement Potential”. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, vol. 3, fasc. 1, marzo 2023, p. 015008. Institute of Physics, <https://doi.org/10.1088/2634-4505/acbed9>.
- Helle, Kaare, e Anne Louise Koefoed. CCS needs to start with a bang, not a whimper. DNV, <https://www.dnv.com/feature/carbon-capture-storage-ccs.html>. Consultato 26 luglio 2023.
- Hua, Weisan, et al. “Research Progress of Carbon Capture and Storage (CCS) Technology Based on the Shipping Industry”. *Ocean Engineering*, vol. 281, agosto 2023, p. 114929. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114929>.
- Hughes, David S. “Carbon Storage in Depleted Gas Fields: Key Challenges.” *Energy Procedia*, vol. 1, no. 1, Elsevier BV, febbraio 2009, pp. 3007–14. Crossref, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.078>.
- “Hydrogen Economy Outlook -Key messages”. Bloomberg New Energy Finance, <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.
- “Investment needs assessment and funding availabilities to strengthen EU’s Net-Zero technology manufacturing capacity”. European Commission Staff Working Document, https://single-market-economy.ec.europa.eu/system/files/2023-03/SWD_2023_68_F1_STAFF_WORKING_PAPER_EN_V4_P1_2629849.PDF. Consultato 26 luglio 2023.
- IRENA (2022), “Renewable Power Generation Costs in 2021”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

- Irlam, Lawrence. Global Costs of Carbon Capture and Storage 2017 Update. giugno 2017, <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/201688/global-ccs-cost-updatev4.pdf>.
- Jiang, Shanxue, et al. "A State-of-the-Art Review of CO₂ Enhanced Oil Recovery as a Promising Technology to Achieve Carbon Neutrality in China". *Environmental Research*, vol. 210, luglio 2022, p. 112986. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112986>.
- Joint Research Centre, "Flexibility Requirements and the Role of Storage in Future European Power Systems." Publications Office of the European Union, 2023. Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/384443>.
- Kearns, David, et al. "Technology Readiness and Costs of CCS." Global CCS Institute, marzo 2021, www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Technology-Readiness-and-Costs-for-CCS-2021-1.pdf.
- Keith, David W., et al. "A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere". *Joule*, vol. 2, fasc. 8, agosto 2018, pp. 1573–94. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.05.006>.
- Kelemen, Peter, et al. "An Overview of the Status and Challenges of CO₂ Storage in Minerals and Geological Formations". *Frontiers in Climate*, vol. 1, 2019. Frontiers, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2019.00009>.
- "Key Sustainability Trends That Will Drive Decision-Making in 2023". S&P Global, <https://www.spglobal.com/esg/insights/featured/special-editorial/key-sustainability-trends-that-will-drive-decision-making-in-2023>. Consultata 26 luglio 2023.
- Kita, Jun, et al. "Benthic Megafauna and CO₂ Bubble Dynamics Observed by Underwater Photography during a Controlled Sub-Seabed Release of CO₂". *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 202–09. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.11.012>.
- Krevor, Samuel, et al. "Subsurface Carbon Dioxide and Hydrogen Storage for a Sustainable Energy Future". *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 4, fasc. 2, febbraio 2023, pp. 102–18. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00376-8>.
- Ku, Haochu, et al. "Frontier Science and Challenges on Offshore Carbon Storage". *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, vol. 17, fasc. 7, gennaio 2023, p. 80. Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1680-6>.
- Kufeoglu, Sinan. "Emerging Technologies". *Emerging Technologies: Value Creation for Sustainable Development*, a cura di Sinan Kufeoglu, Springer International Publishing, 2022, pp. 41–190. Springer Link, https://doi.org/10.1007/978-3-031-07127-0_2.
- Lane, Joe, et al. "Uncertain Storage Prospects Create a Conundrum for Carbon Capture and Storage Ambitions". *Nature Climate Change*, vol. 11, fasc. 11, novembre 2021, pp. 925–36. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01175-7>.
- Larsen, Tine B., et al. "Seismology in relation to safe storage of CO₂ (Part of Work package 7 in the CCUS project)". Geological Survey of Denmark and Greenland Report 2020/41, 2020. [https://www.geus.dk/Media/637599867456449362/Seismology%20in%20relation%20to%20safe%20storage%20of%20CO2%20\(GEUS%20rapport%202020_41\).pdf](https://www.geus.dk/Media/637599867456449362/Seismology%20in%20relation%20to%20safe%20storage%20of%20CO2%20(GEUS%20rapport%202020_41).pdf).

- Law, Li Chin, et al. “Numerical Analyses on Performance of Low Carbon Containership”. *Energy Reports*, vol. 9, dicembre 2023, pp. 3440–57. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.02.035>.
- “Legal and Regulatory Frameworks for CCUS: An IEA CCUS Handbook”. IEA, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/bda8c2b2-2b9c-4010-ab56-b941dc8d0635/LegalandRegulatoryFrameworksforCCUS-AnIEACCUSHandbook.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.
- Lessin, Gennadi, et al. “Modelling Impacts and Recovery in Benthic Communities Exposed to Localised High CO₂”. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 109, fasc. 1, agosto 2016, pp. 267–80. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.071>.
- “Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2022”. U.S. Energy Information Administration, https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf. Consultato 26 luglio 2023.”
- Li, Jianglong, e Mun Sing Ho. “Indirect Cost of Renewable Energy: Insights from Dispatching”. *Energy Economics*, vol. 105, gennaio 2022, p. 105778. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105778>.
- Li, Yanhong, et al. “Carbon Dioxide Mineralization by Electrode Separation for Quick Carbon Reduction and Sequestration in Acidified Seawater”. *Carbon Management*, vol. 14, fasc. 1, dicembre 2023, p. 2202167. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2202167>.
- Lichtschlag, Anna, et al. “Suitability Analysis and Revised Strategies for Marine Environmental Carbon Capture and Storage (CCS) Monitoring”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 112, dicembre 2021, p. 103510. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103510>.
- Littlefield, Anna. “Carbon Capture Utilization and Storage in the New Inflation Reduction Act”. The Payne Institute, settembre 2022, www.mines.edu/global-energy-future/wp-content/uploads/sites/361/2022/09/Payne-Institute-Commentary-CCUS-in-the-new-Inflation-Reduction-Act.pdf.
- Martin-Roberts, Emma, et al. “Carbon Capture and Storage at the End of a Lost Decade”. *One Earth*, vol. 4, fasc. 11, novembre 2021, pp. 1569–84. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.002>.
- Meckel, Tip A., et al. “Mapping Existing Wellbore Locations to Compare Technical Risks between Onshore and Offshore CCS Activities in Texas”. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, vol. 13, fasc. 3, giugno 2023, pp. 493–504. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1002/ghg.2220>.
- Miocic, Johannes M., et al. “420,000 Year Assessment of Fault Leakage Rates Shows Geological Carbon Storage Is Secure”. *Scientific Reports*, vol. 9, fasc. 1, gennaio 2019, p. 769. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36974-0>.
- Miocic, Johannes M., et al. “Controls on CO₂ Storage Security in Natural Reservoirs and Implications for CO₂ Storage Site Selection”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 51, agosto 2016, pp. 118–25. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.05.019>.
- “Net Zero by 2050 – Analysis”, IEA, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Consultato 26 luglio 2023.
- Net Zero Teesside & Northern Endurance Partnership Technology Plan: Key Knowledge Document. The UK Department for

- Business, Energy and Industrial Strategy, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1079819/NS051-EN-PLN-000-00007-Technology_Plan.pdf.
- Norway's Sleipner and Snøhvit CCS: Industry Models or Cautionary Tales? <https://ieefa.org/resources/norways-sleipner-and-snohvit-ccs-industry-models-or-cautionary-tales>. Consultato 26 luglio 2023
 - “Nuclear Power and Secure Energy Transitions”. IEA, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/016228e1-42bd-4ca7-bad9-a227c4a40b04/NuclearPowerandSecureEnergyTransitions.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.”
 - Ombudstvedt, Ingvild, e Maria Ellingsen Gran. Cross-Border CCS Infrastructure in Norway, the UK and the Netherlands. 15 aprile 2019. Social Science Research Network, <https://doi.org/10.2139/ssrn.3366318>.
 - Ozkan, Mihrimah, et al. “Current Status and Pillars of Direct Air Capture Technologies”. *iScience*, vol. 25, fasc. 4, aprile 2022, p. 103990. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103990>.
 - Panos, Evangelos, et al. “An Assessment of Energy System Transformation Pathways to Achieve Net-Zero Carbon Dioxide Emissions in Switzerland”. *Communications Earth & Environment*, vol. 4, fasc. 1, maggio 2023, pp. 1-18. [www.nature.com, https://doi.org/10.1038/s43247-023-00813-6](https://doi.org/10.1038/s43247-023-00813-6).
 - Peng, Wei, et al. “Climate Policy Models Need to Get Real about People — Here's How”. *Nature*, vol. 594, fasc. 7862, giugno 2021, pp. 174-76. [www.nature.com, https://doi.org/10.1038/d41586-021-01500-2](https://doi.org/10.1038/d41586-021-01500-2).
 - Pham, V. T. H., et al. “Assessment of CO₂ Injection into the South Utsira-Skade Aquifer, the North Sea, Norway.” *Energy*, vol. 55, Elsevier BV, giugno 2013, pp. 529-40. Crossref, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.026>.
 - Piano Nazionale Integrato per L'energia E Il Clima. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, giugno 2023, [agesi.eu/wp-content/uploads/2023/07/PNIEC_2023-28_06_2023.pdf](https://www.agesi.eu/wp-content/uploads/2023/07/PNIEC_2023-28_06_2023.pdf).
 - Pietzcker, Robert C., et al. “Tightening EU ETS Targets in Line with the European Green Deal: Impacts on the Decarbonization of the EU Power Sector”. *Applied Energy*, vol. 293, luglio 2021, p. 116914. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116914>.
 - Pisciotta, Maxwell, et al. “Current State of Industrial Heating and Opportunities for Decarbonization”. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 91, luglio 2022, p. 100982. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2021.100982>.
 - Pratt, Nicola, et al. “No Evidence for Impacts to the Molecular Ecophysiology of Ion or CO₂ Regulation in Tissues of Selected Surface-Dwelling Bivalves in the Vicinity of a Sub-Seabed CO₂ Release”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 193-201. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.001>.
 - “Projected Costs of Generating Electricity -2020 Edition”. Nuclear Energy Agency (NEA), https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition?details=true. Consultato 26 luglio 2023
 - Rasool, Muhammad Hammad, et al. “Selecting Geological Formations for CO₂ Storage: A Comparative Rating System”. *Sustainability*, vol. 15, fasc. 8, gennaio 2023, p. 6599. www.mdpi.com/2071-1050/15/8/6599.

- mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/su15086599>.
- “Researchers Say Earthquakes Would Let Stored CO₂ Escape”. MIT Technology Review, <https://www.technologyreview.com/2012/06/18/185601/researchers-say-earthquakes-would-let-stored-co2-escape/>. Consultato 26 luglio 2023.
 - Ringrose, P. S., e T. A. Meckel. “Maturing Global CO₂ Storage Resources on Offshore Continental Margins to Achieve 2DS Emissions Reductions”. *Scientific Reports*, vol. 9, fasc. 1, novembre 2019, p. 17944. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54363-z>.
 - Ringrose, Philip S., e Graham Yielding. “Geoscience for CO₂ Storage: An Introduction to the Thematic Collection”. *Petroleum Geoscience*, vol. 28, fasc. 1, febbraio 2022, pp. petgeo2022-003. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1144/petgeo2022-003>
 - Ringrose, Philip. *How to Store CO₂ Underground: Insights from Early-Mover CCS Projects*. Springer International Publishing, 2020. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33113-9>
 - Romeo, Lucy, et al. “Data-Driven Offshore CO₂ Saline Storage Assessment Methodology”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 119, settembre 2022, p. 103736. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103736>.
 - Rosa, Lorenzo, et al. “Hydrological Limits to Carbon Capture and Storage”. *Nature Sustainability*, vol. 3, fasc. 8, agosto 2020, pp. 658–66. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0532-7>.
 - Roussanly, Simon, et al. “Towards Improved Cost Evaluation of Carbon Capture and Storage from Industry”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 106, marzo 2021, p. 103263. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103263>.
 - S. La Hoz Theuer and A. Olarte. (2023). *Emissions Trading Systems and Carbon Capture and Storage: Mapping possible interactions, technical considerations, and existing provisions*. Berlin: International Carbon Action Partnership.
 - Safaei-Farouji, Majid, et al. “Exploring the Power of Machine Learning to Predict Carbon Dioxide Trapping Efficiency in Saline Aquifers for Carbon Geological Storage Project”. *Journal of Cleaner Production*, vol. 372, ottobre 2022, p. 133778. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133778>.
 - Sasse, Jan-Philipp, e Evelina Trutnevte. “A Low-Carbon Electricity Sector in Europe Risks Sustaining Regional Inequalities in Benefits and Vulnerabilities”. *Nature Communications*, vol. 14, fasc. 1, aprile 2023, p. 2205. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37946-3>.
 - Schmitt, Alex. “EU Energy Outlook 2050: How Will the European Electricity Market Develop Over the Next 30 Years? - Energy BrainBlog”. *EU Energy Outlook 2050: How Will the European Electricity Market Develop Over the Next 30 Years? - Energy BrainBlog*, 11 aprile 2022, blog.energybrainpool.com/en/eu-energy-outlook-2050-how-will-the-european-electricity-market-develop-over-the-next-30-years.
 - Scott, Vivian, et al. “Last Chance for Carbon Capture and Storage”. *Nature Climate Change*, vol. 3, fasc. 2, febbraio 2013, pp. 105–11. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/nclimate1695>
 - Sognaes, Ida, et al. “A Multi-Model Analysis of Long-Term Emissions and Warming Implications of Current Mitigation

- Efforts". *Nature Climate Change*, vol. 11, fasc. 12, dicembre 2021, pp. 1055–62. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01206-3>.
- “Spring Budget 2023.” https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1144441/Web_accessible_Budget_2023.pdf. Consultato 27 luglio 2022
 - Stalker, Linda, et al. “Communicating leakage risk in the hydrogen economy: Lessons already learned from geoenery industries”. *Frontiers in Energy Research*, vol. 10, 2022. *Frontiers*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.869264>.
 - “State and Trends of Carbon Pricing 2022”. Washington, DC: World Bank, 2022. openknowledge.worldbank.org, <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1895-0>.
 - Summary for Decision Makers on Large-Scale CCS on Cement. International CCS Knowledge Centre, novembre 2021.
 - Sun, Xiaolong, et al. “Hubs and Clusters Approach to Unlock the Development of Carbon Capture and Storage – Case Study in Spain”. *Applied Energy*, vol. 300, ottobre 2021, p. 117418. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117418>.
 - Sutter, Daniel, et al. “Developing CCS into a Realistic Option in a Country’s Energy Strategy”. *Energy Procedia*, vol. 37, gennaio 2013, pp. 6562–70. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.588>.
 - Tait, Karen, et al. “Rapid Response of the Active Microbial Community to CO₂ Exposure from a Controlled Sub-Seabed CO₂ Leak in Ardmucknish Bay (Oban, Scotland)”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 171–81. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.11.021>.
 - “Taking Root: A Policy Blueprint for Responsible BECCS Development in the United States”. EFI Foundation, giugno 2023, efifoundation.org/wp-content/uploads/sites/3/2023/06/Taking-Root-Final.pdf.
 - Taylor, Peter, et al. “A Novel Sub-Seabed CO₂ Release Experiment Informing Monitoring and Impact Assessment for Geological Carbon Storage”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 3–17. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.09.007>.
 - Terwel, Bart W., et al. “It’s Not Only about Safety: Beliefs and Attitudes of 811 Local Residents Regarding a CCS Project in Barendrecht”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 9, luglio 2012, pp. 41–51. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.02.017>
 - The Costs of CO₂ Storage - Post-demonstration CCS in the EU. ICAP, <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/119816/costs-co2-storage-post-demonstration-ccs-eu.pdf>.
 - “The EU Emissions Trading System After the Energy Price Spike”. Centre for European Reform, 4 aprile 2022, www.cer.eu/publications/archive/policy-brief/2022/eu-emissions-trading-system-after-energy-price-spike.
 - “The EU-ETS price through 2030 and beyond: A closer look at drivers, models and assumptions”. The Ariadne Project, https://ariadneprojekt.de/media/2023/01/Ariadne-Dokumentation_ETSWorkshopBruessel_December2022.pdf.”
 - Thielges, Sonja, et al. “Committed to implementing CCU? A comparison of the policy mix in the US and the EU”. *Frontiers*

- in *Climate*, vol. 4, 2022. *Frontiers*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2022.943387>.
- Tollefson, Jeff. “Sucking Carbon Dioxide from Air Is Cheaper than Scientists Thought”. *Nature*, vol. 558, fasc. 7709, giugno 2018, pp. 173–173. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05357-w>.
 - Totland, Christian, et al. “Effects of Abiotic Processes on the Correlation between pH and pO₂ in the Norwegian Sea: Implications for GCS Monitoring”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 125, maggio 2023, p. 103879. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103879>.
 - Transforming Industry Through CCUS. IEA, maggio 2019, iea.blob.core.windows.net/assets/0d0b4984-f391-44f9-854f-fda1ebf8d8df/Transforming_Industry_through_CCUS.pdf.
 - Turrell, William R., et al. “A Review of National Monitoring Requirements to Support Offshore Carbon Capture and Storage”. *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, 2022. *Frontiers*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.838309>.
 - Vagneur-Jones, Antoine. “The EU and Border Adjustments - Net Zero Meets Zero-Sum”. *Bloomberg New Energy Finance*, 13 maggio 2021, assets.bbhub.io/professional/sites/24/BloombergNEF-The-EU-and-Border-Adjustments-%E2%80%93-Net-Zero-Meets-Zero-Sum.pdf.
 - Valore Acqua per L'Italia. Italy, The European House - Ambrosetti, acadm.ambrosetti.eu/dompdf/crea_wmark.php?doc=L2F0dGFjaG1lbnRzL3BkZi9saWJybyIiaWFuY28tMjAyMy12YWxvcmUtYW50dWVlc3Q3dD&id=17646&muid=corporate. Consultato 27 luglio 2023
 - Vandyck, Toon, et al. “EU Climate Action through an Energy Poverty Lens”. *Scientific Reports*, vol. 13, fasc. 1, aprile 2023, p. 6040. www.nature.com, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32705-2>.
 - Vitali, Matteo, et al. “Statistical Analysis of Incidents on On-shore CO₂ Pipelines Based on PHMSA Database”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 77, luglio 2022, p. 104799. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104799>.
 - Vo Thanh, Hung, e Kang-Kun Lee. “Application of Machine Learning to Predict CO₂ Trapping Performance in Deep Saline Aquifers”. *Energy*, vol. 239, gennaio 2022, p. 122457. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122457>.
 - Ward, D. J. “The Failure of Marginal Abatement Cost Curves in Optimising a Transition to a Low Carbon Energy Supply”. *Energy Policy*, vol. 73, ottobre 2014, pp. 820–22. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.008>.
 - Wen, Gege, et al. “Real-Time High-Resolution CO₂ Geological Storage Prediction Using Nested Fourier Neural Operators”. *Energy & Environmental Science*, vol. 16, fasc. 4, aprile 2023, pp. 1732–41. pubs.rsc.org, <https://doi.org/10.1039/D2EE04204E>.
 - Widdicombe, Stephen, et al. “Impact of Sub-Seabed CO₂ Leakage on Macro-benthic Community Structure and Diversity”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, luglio 2015, pp. 182–92. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.01.003>.
 - Witte, Philipp A., et al. “Fast CO₂ Saturation Simulations on Large-Scale Geomodels with Artificial Intelligence-Based

- Wavelet Neural Operators”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 126, giugno 2023, p. 103880. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103880>.
- “World Energy Investment 2022”. IEA, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc7fa800-ea94-428c-b2e5-e9890b34509c/WorldEnergyInvestment2022.pdf>. Consultato 26 luglio 2023.”
 - “World Energy Outlook 2021 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Consultato 26 luglio 2023.
 - “World Energy Outlook 2022 – Analysis”. IEA, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Consultato 26 luglio 2023.
 - Yue, Xiufeng, et al. “Identifying Decarbonisation Opportunities Using Marginal Abatement Cost Curves and Energy System Scenario Ensembles”. *Applied Energy*, vol. 276, ottobre 2020, p. 115456. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115456>.
 - Zhao, Kaiyin, et al. “Recent Advances and Future Perspectives in Carbon Capture, Transportation, Utilization, and Storage (CCTUS) Technologies: A Comprehensive Review”. *Fuel*, vol. 351, novembre 2023, p. 128913. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128913>.
 - Zhao, Rui, et al. “The Full Chain Demonstration Project in China – Status of the CCS Development in Coal-Fired Power Generation in GuoNeng Jinjie”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 110, settembre 2021, p. 103432. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103432>.
 - Zoback, Mark D., e Steven M. Gorelick. “Earthquake Triggering and Large-Scale Geologic Storage of Carbon Dioxide”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, fasc. 26, giugno 2012, pp. 10164–68. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1073/pnas.1202473109>.

ITALIA

Milano

The European House - Ambrosetti

Via F. Albani, 21
20149 Milano
Tel. +39 02 46753.1
ambrosetti@ambrosetti.eu

Bologna

The European House - Ambrosetti

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

Roma

The European House - Ambrosetti

Via Po, 22
00198 Roma

EUROPA

Amburgo

GLC Glücksburg Consulting AG

Bülowstraße 9
22763 Hamburg
Tel. +49 40 8540 060
Mr. Martin Weigel
amburgo@ambrosetti.eu

Berlino

GLC Glücksburg Consulting AG

Albrechtstraße 14 b
10117 Berlin
Tel. +49 30 8803 320
Mr. Martin Weigel
berlino@ambrosetti.eu

Bruxelles

Ambrosetti Brussels Office

Tel. +32 476 79 10 89
Laura Basagni
laura.basagni@ambrosetti.eu

Istanbul

Consulta

Kore Şehitleri Caddesi Üsteğmen
Mehmet Gönenç Sorak No. 3
34394 Zincirlikuyu-Şişli-Istanbul
Tel. +90 212 3473400
Mr. Tolga Acarli
istanbul@ambrosetti.eu

Londra

Ambrosetti Group Ltd.

5 Merchant Square, Paddington
London W2 1AY
london@ambrosetti.eu

Madrid

Ambrosetti Consultores

Castelló nº 19
Madrid, 28001
Tel. +34 91 575 1954
Ms. Marta Ortiz
madrid@ambrosetti.eu

ASIA

Bangkok

Mahanakorn Partners Group Co., Ltd.

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

Pechino

Ambrosetti (Beijing) Consulting Ltd.

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

Seoul

HebrosStar Strategy Consultants

4F, ilsin bldg., 27,TeheranIro37-gil,
Gangnam-gu, Seoul
Tel. +82 2 417 9322
Mr. Hyungjin Kim
seoul@ambrosetti.eu

Shanghai

Ambrosetti (Beijing) Consulting Ltd.

No. 1102 Suhe Mansion,
No.638 Hengfeng Road, Zhabei
District
Shanghai, 200070
Tel. +86 21 5237 7151
Mr. Mattia Marino
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
Ms. Cristiana Barbatelli
shanghai-partner@ambrosetti.eu

Singapore

The European House - Ambrosetti (Singapore) Consulting Pte. Ltd.

1 Kay Siang Road #12-02
Singapore 248922
Tel. +65 90998391
Mr. Marco Bardelli
singapore@ambrosetti.eu

Tokyo

Corporate Directions, Inc. (CDI)

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

MEDIO ORIENTE

Dubai

The European House – Ambrosetti Middle East

Business Center Dubai World Central
P.O. Box: 390667 - Dubai - UAE
Mob. (UAE) +971.54.55.10003
Mob. (IT) +39.340.592.1349
Mr. Luca Miraglia
luca.miraglia@ambrosetti.eu

AFRICA

Midrand

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)
Mr. Nico De Kock
johannesburg@ambrosetti.eu