



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



Centro Interdipartimentale  
**per l'Energia, l'Ambiente e i Trasporti**  
**Giacomo Ciamician**



# **IL SETTORE DELL'ACCIAIO IN ITALIA: CRITICITÀ ED OPPORTUNITÀ**

**BOZZA NON CORRETTA**



# Report commissionato da WWF Italia

*Questo rapporto è dedicato a una persona speciale: si tratta di Maurizio Fermeglia, professore ordinario di Principi di Ingegneria Chimica presso il Dipartimento di Ingegneria e Architettura e già Rettore dell'Università degli studi di Trieste, nonché Delegato del WWF Friuli Venezia Giulia. Maurizio ci ha aiutato\* a coniugare in questo rapporto il rigore scientifico con la visione climatica e ambientale. Manca tantissimo a tutt\* noi, e vogliamo testimoniarlo e ricordarlo anche in questa occasione.*

## A cura di

**Andrea Mio e Maurizio Fermeglia** – DIA – Dipartimento di Ingegneria e Architettura (DIA), Università degli studi di Trieste

**Romeo Danielis** –Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche “Bruno de Finetti” (Deams), Università degli studi di Trieste

**Giovanni Carrosio** –Dipartimento di Scienze Politiche e Sociali (DiSPeS), Università degli studi di Trieste

## Revisione testi

**Massimiliano Varriale** – WWF Italia

**Giosuè De Salvo** – WWF Italia

## Supervisione

**Mariagrazia Midulla** – WWF Italia

progetto grafico: arimaslab

# INDICE

1. UNA VISIONE SISTEMICA E NAZIONALE DEL SETTORE DELL'ACCIAIO .....	8
1.1 La produzione di acciaio grezzo nel mondo, in Europa ed in Italia .....	8
1.2 Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo .....	10
1.3 Le emissioni di gas climalteranti del settore dell'acciaio .....	14
1.4 I costi e benefici della transizione in termini occupazionali .....	15
1.4.1 Le fonti di informazioni occupazionali.....	16
1.4.2 L'occupazione attuale nel settore dell'acciaio .....	16
1.4.3 Serie storica sull'occupazione nel settore siderurgico in Italia.....	19
2. LA DOMANDA DI ACCIAIO TRA PASSATO E FUTURO .....	20
2.1 Il concetto di consumo apparente o domanda di acciaio .....	21
2.2 Consumi energetici del settore siderurgico italiano .....	23
2.3 Previsione del consumo apparente (domanda) di prodotti siderurgici in Italia .....	23
2.3.1 Modello econometrico del consumo apparente di prodotti siderurgici in Italia .....	24
2.3.2 Valori effettivi e valori stimati dal modello .....	25
2.3.3 La previsione a 10 anni (2023-2032) .....	25
2.4 Conclusioni.....	26
3. CRITICITÀ E OPPORTUNITÀ LUNGO LA FILIERA DELL'ACCIAIO .....	26
3.1 Analisi dei dati quantitativi (Mton) .....	26
3.1.1 Esportazione, importazione e consumo apparente di minerali ferrosi.....	27
3.1.2 Esportazione, importazione e consumo apparente di rottame ferroso .....	28
3.1.3 Esportazione, importazione e consumo apparente di ghisa .....	30
3.1.4 I maggiori paesi esportatori e importatori di acciaio .....	31
3.1.5 Saldo commerciale di prodotti finiti in Europa.....	32
3.1.6 Esportazione, importazione e saldi commerciali di prodotti siderurgici in Italia .....	33
3.1.7 Dettaglio sui saldi italiani nel periodo 2020-2022 .....	34
3.2 Analisi dei dati in valori economici .....	35
3.2.1 Il fatturato dell'industria siderurgica.....	36
3.2.2 Saldi commerciali .....	36
3.3 Riassunto delle principali criticità.....	37
4. LA DECARBONIZZAZIONE DEL SETTORE SIDERURGICO IN EUROPA .....	38
4.1 Iniziative della Commissione Europea .....	38
4.2 Iniziative delle associazioni di categoria.....	39
4.2.1 Eurofer .....	39
4.2.2 Federacciai .....	39
5. Analisi delle tecnologie più promettenti per la decarbonizzazione della produzione di acciaio primario e del secondario in Italia .....	41
5.1 Strategie di decarbonizzazione a breve termine (2023-2035) .....	44
5.1.1 Diminuire i consumi energetici .....	44
5.1.2 Dotarsi di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili .....	45
5.1.3 Produzione di calore tramite fonti bio-based.....	46

5.1.4 Cattura e utilizzo della CO2 (CCU).....	48
5.2 Strategie di decarbonizzazione a lungo termine (2035-2050).....	50
<b>6. SCENARI E PERCORSI PER LA TRANSIZIONE .....</b>	<b>52</b>
6.1 Introduzione .....	53
6.2 Lo Scenario Conservativo.....	54
6.2.1 Implicazioni ambientali dello Scenario Conservativo .....	55
6.2.2 Implicazioni economiche dello Scenario Conservativo.....	56
6.2.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Conservativo .....	57
6.3 Lo Scenario Prospettico .....	58
6.3.1 Implicazioni ambientali dello Scenario Prospettico .....	58
6.3.2 Implicazioni economiche dello Scenario Prospettico .....	61
6.3.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Prospettico.....	61
6.4 Lo Scenario Auspicabile.....	62
6.4.1 Implicazioni ambientali dello Scenario Auspicabile .....	63
6.4.2 Implicazioni economiche dello Scenario Auspicabile.....	65
6.4.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Auspicabile.....	65
<b>7. VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEGLI SCENARI .....</b>	<b>66</b>
7.1.1 Considerazioni di carattere ambientale .....	67
7.1.2 Considerazioni di carattere economico .....	67
7.1.3 Considerazioni di carattere occupazionale .....	71
<b>8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>72</b>
<b>9. APPENDICI.....</b>	<b>74</b>



# ACRONIMI

**ARIMA:** AutoRegressive, Integrated, Moving Average

**BAT:** Best Available Technologies

**BAU:** Business As Usual

**BECCS:** Bioenergy with carbon capture and storage

**BF-BOF:** Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace, altoforno e convertitore

**BRef:** BAT Reference Document

**CAPEX:** Investimenti in capitale fisso

**CBAM:** Carbon Border Adjustment Mechanism

**CCfDs:** Carbon Contracts for Difference

**CCS:** Carbon Capture and Storage

**CCU:** Carbon Capture and Utilisation

**EAF:** Electric Arc Furnace, produzione di acciaio secondario tramite forno elettrico

**DAC:** Direct Air Capture

**DRI:** Direct Reduced Iron, produzione di ferro spugnoso (sponge iron) tramite riduzione diretta

**DRI\_NG:** Direct Reduced Iron basato sull'utilizzo di gas naturale

**DRI\_H2:** Direct Reduced Iron basato sull'utilizzo di idrogeno

**EJ:** ExaJoules (10<sup>18</sup> J)

**EOR:** Enhanced Oil Recovery, recupero avanzato dei giacimenti petroliferi

**EROEI:** Energy Returned On Energy Invested

**ETS:** Emission Trading System

**GHG:** Gas ad effetto serra

**GSE:** Gestore dei Servizi Energetici

**HBI:** Hot Briquetted Iron, ferro spugnoso da DRI

**HDRI:** Hot Direct Reduced Iron

**IEA:** International Energy Agency

**LCOP:** Costo Livellato di Produzione dell'Acciaio

**LME:** London Metal Exchange

**Mton:** Milioni di tonnellate

**MWp:** MegaWatt di picco

**ONG:** Organizzazioni non-governative

**OPEX:** Investimenti in capitale variabile

**PBT:** PayBack Time, tempo di ritorno dell'investimento

**SMR:** Steam Methane Reforming, processo di produzione di idrogeno a partire da gas naturale

**REN:** Energia da fonti rinnovabili

**TRL:** Technology Readiness Level

# LISTA DELLE FIGURE

Figura 1 – Produzione di acciaio grezzo a livello mondiale .....	8
Figura 2 – Produzione di acciaio in Europa, Germania ed Italia (i due maggiori produttori europei) [Mton] .....	9
Figura 3 – Evoluzione della quota percentuale di acciaio grezzo per processo produttivo in Europa .....	11
Figura 4 – a) Produzione europea di acciaio primario con tecnologia BF/BOF nel 2022; b) Produzione europea di acciaio da rottame con tecnologia EAF nel 2022.....	12
Figura 5 – Evoluzione della quota percentuale di acciaio grezzo per processo produttivo in Italia.....	13
Figura 6 – Gli stabilimenti di produzione di acciaio in Italia .....	13
Figura 7 – Emissioni di gas serra globali del settore siderurgico .....	14
Figura 8 – Principali fonti energetiche del settore siderurgico mondiale.....	15
Figura 9: Variazione temporale delle emissioni dirette di CO2 della siderurgia italiana.....	15
Figura 10 – Percentuale degli occupati nelle imprese codice 241, 242, 243 negli anni 2014 e 2023 .....	17
Figura 11 – Occupati nel codice ATECO 241 per provincia (Camere di Commercio, 2023) .....	18
Figura 12 – Percorsi per il mercato e l'uso finale di prodotti in acciaio .....	20
Figura 13 – Consumo apparente di acciaio in Italia dal 2007 al 2022 (milioni di tonnellate) .....	21
Figura 14 – Consumo apparente di acciaio in Italia dal 2012 al 2022 (milioni di tonnellate).....	21
Figura 15 – Settori di utilizzo di prodotti siderurgici .....	22
Figura 16 – Consumo energetico dell'industria siderurgica italiana. Il consumo comprendeva il consumo di elettricità che la produzione di calore .....	23
Figura 17 – Serie storica del consumo apparente (domanda) di prodotti siderurgici in Italia .....	23
Figura 18 – Valori effetti e stimati con il modello econometrico ARIMA (1,1,1) .....	25
Figura 19 – Previsione numerica e rappresentazione grafica al 2032.....	25
Figura 20 – Andamento dei prezzi quotati sul mercato LME Steel Scrap CFR Turkey (Platts) (a 1 mese) .....	29
Figura 21 – Evoluzione del saldo commerciale di prodotti finiti in acciaio .....	32
Figura 22 – Evoluzione del saldo commerciale di acciaio inossidabile.....	32
Figura 23 – Evoluzione delle importazioni italiane di prodotti siderurgici .....	33
Figura 24 – Evoluzione delle esportazioni italiane di prodotti siderurgici .....	33
Figura 25 – Evoluzione delle importazioni nette italiane di prodotti siderurgici.....	33
Figura 26 – Evoluzione del fatturato dell'industria siderurgica.....	36
Figura 27 – Scenario Conservativo di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano .....	54
Figura 28 – Scenario Prospettico di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano.....	58
Figura 29 – Scenario Auspicabile di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano .....	62
Figura 30 – Prezzo dell'energia elettrica e competitività delle tecnologie .....	68
Figura 31 – Costo dei permessi di emissione di CO2 e competitività delle tecnologie .....	69

# LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1 – Maggiori produttori di acciaio globali [Mton] .....	9
Tabella 2 – Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo nel 2022 (in milioni di tonnellate) .....	10
Tabella 3 – Produzione di acciaio grezzo con la tecnologia DRI dal 2018 al 2022.....	11
Tabella 4 – Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo in Europa tra il 2001 e il 2022.....	12
Tabella 5 – Descrizione dei costi ATECO.....	16
Tabella 6 – Occupati per codice ATECO dal 2014 al 2023 – dati fonte Camere di Commercio.....	16
Tabella 7 – Occupati per provincia .....	17
Tabella 8 – Stabilimenti che producono acciaio primario o secondario per provincia.....	18
Tabella 9 – Intensità occupazionale media nei due tipi di produzione.....	19
Tabella 10 – Stima statistica del modello del consumo apparente di prodotti siderurgici .....	24
Tabella 11 – Esportazione, importazione e consumo apparente di minerali ferrosi nel 2021 .....	27
Tabella 12 – Esportazione e importazione di rottame ferrosi nel 2022 .....	28
Tabella 13 – Esportazione, importazione e consumo apparente di ghisa .....	30
Tabella 14 – I maggiori esportatori e importatori di acciaio nel 2022 .....	31
Tabella 15 – I maggiori esportatori e importatori netti di acciaio nel 2022 .....	32
Tabella 16 – Saldi materie prime, ferroleghie, semilavorati e lingotti (migliaia di tonnellate).....	34
Tabella 17 – Saldi commerciali dei prodotti lunghi e piani (migliaia di tonnellate).....	34
Tabella 18 – Saldi commerciali di altri (migliaia di tonnellate).....	35
Tabella 19 – Scambi con l'estero di merci per settori: valori 2021 e 2022 (M€) .....	36
Tabella 20 – Comparazione delle tecnologie innovative per la produzione di acciaio <sup>23</sup> .....	42
Tabella 21 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Conservativo .....	54
Tabella 22 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili .....	56
Tabella 23 – Indici economici per lo Scenario Conservativo.....	56
Tabella 24 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Conservativo .....	57
Tabella 25 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Prospettico .....	59
Tabella 26 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili.....	60
Tabella 27 – Indici economici per lo Scenario Prospettico.....	61
Tabella 28 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Prospettico.....	61
Tabella 29 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Auspicabile .....	63
Tabella 30 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili.....	64
Tabella 31 – Indici economici per lo Scenario Auspicabile.....	65
Tabella 32 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Auspicabile.....	65
Tabella 33 – Riepilogo delle principali considerazioni di carattere ambientale, economico e occupazionale relative ai diversi scenari.....	66
Tabella 34 – Differenza nei costi di produzione dell'acciaio tra DRI_H2+EAF e BF-BOF .....	69
Tabella 35 – Differenza nei costi di produzione dell'acciaio tra DRI_H2+EAF e DRI_NG+EAF+CCU .....	70
Tabella 36 – Stime occupazionali nella produzione di energia nei tre scenari.....	71

# 1. UNA VISIONE SISTEMICA E NAZIONALE DEL SETTORE DELL'ACCIAIO

## HIGHLIGHTS

A livello mondiale la produzione di acciaio aumenta nel tempo: da 148 milioni di tonnellate nel 1950 alle 1.885 milioni di tonnellate nel 2022.

In Europa, la produzione di acciaio grezzo è calante, sia in Germania che in Italia, i due principali produttori.

La produzione di acciaio grezzo prodotto con tecnologia dell'altoforno (BF-BOF, Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace) si è ridotta in Europa in 20 anni di circa 17 Mton. In termini percentuali è rimasta stabile. In Italia, invece si è ridotta di 13 Mton ed in termini percentuali è passata dal 38% al 16%.

La produzione italiana è caratterizzata da una quota preponderante (83,6%) di acciaio secondario proveniente dalla fusione di rottame tramite la tecnologia legata al forno ad arco elettrico (EAF), mentre la quota rimanente (16,4%) è coperta da acciaio primario prodotto tramite ciclo integrale BF-BOF (Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace) che utilizza minerali ferrosi nell'unico stabilimento attualmente operativo, le Acciaierie d'Italia di Taranto.

IL DRI produce una quantità limitata di acciaio, molto bassa in Europa.

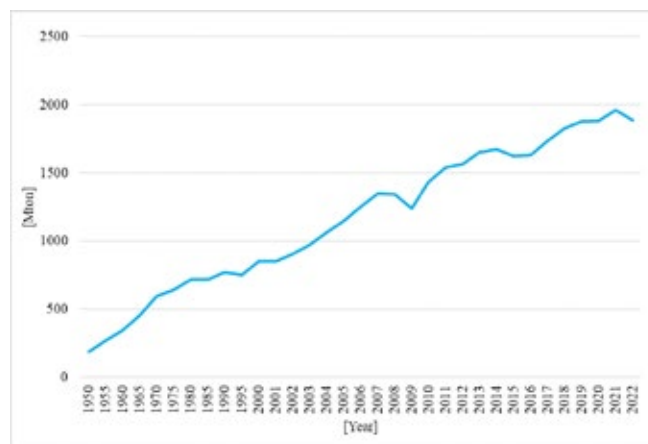
Per fornire una visione sistemica del settore dell'acciaio e del ruolo che gioca l'Italia, la trattazione è stata suddivisa in due parti, ciascuna caratterizzata da una selezione di statistiche. La prima parte analizza la quantità di acciaio grezzo prodotta a livello mondiale, europeo e italiano. La seconda parte illustra l'andamento della produzione di acciaio grezzo per processo produttivo, focalizzandosi sulle due tecnologie principali: la tecnologia primaria che ricorre all'altoforno, nella letteratura tecnica indicata come Blast

Furnace-Basic Oxygen Furnace (BF-BOF), e quella che utilizza il forno elettrico o Electric Arc Furnace (EAF). In questa sezione si riportano anche delle statistiche globali riguardanti la tecnologia che permette di ottenere ferro ridotto (o preridotto o spugna di ferro o Direct Reduced Iron - DRI). Partendo dai dati globali, la trattazione si focalizza prima sulla situazione europea ed infine su quella italiana. Si rimanda all'Appendice A per una descrizione dettagliata delle tecnologie dedicate alla produzione di acciaio.

## 1.1 La produzione di acciaio grezzo nel mondo, in Europa ed in Italia

A livello mondiale, la produzione di acciaio è in costante aumento: da 148 Mton nel 1950 alle 1.885 Mton nel 2022, in leggera flessione rispetto al 2021 (Figura 1). Data l'importanza del prodotto nei diversi settori di utilizzo (costruzioni di edifici e infrastrutture varie, produzione di macchine e veicoli, meccanica, ecc.) è assai probabile che il trend di aumento continuerà in futuro, anche se probabilmente con ritmi di crescita leggermente più contenuti rispetto agli anni precedenti.

Figura 1 – Produzione di acciaio grezzo a livello mondiale



Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)



La Cina è di gran lunga il maggior produttore di acciaio a livello mondiale, fornendo più della metà dell'acciaio prodotto al mondo (Tabella 1). Segue a grande distanza l'India, anche se con un trend di crescita positivo. Il Giappone, gli Stati

Uniti, la Russia e la Corea del Sud producono meno di 100 Mton, mostrando una contrazione dal 2021 al 2022. L'Italia è l'undicesimo paese produttore al mondo, secondo paese europeo dopo la Germania.

Tabella 1 – Maggiori produttori di acciaio globali [Mton]

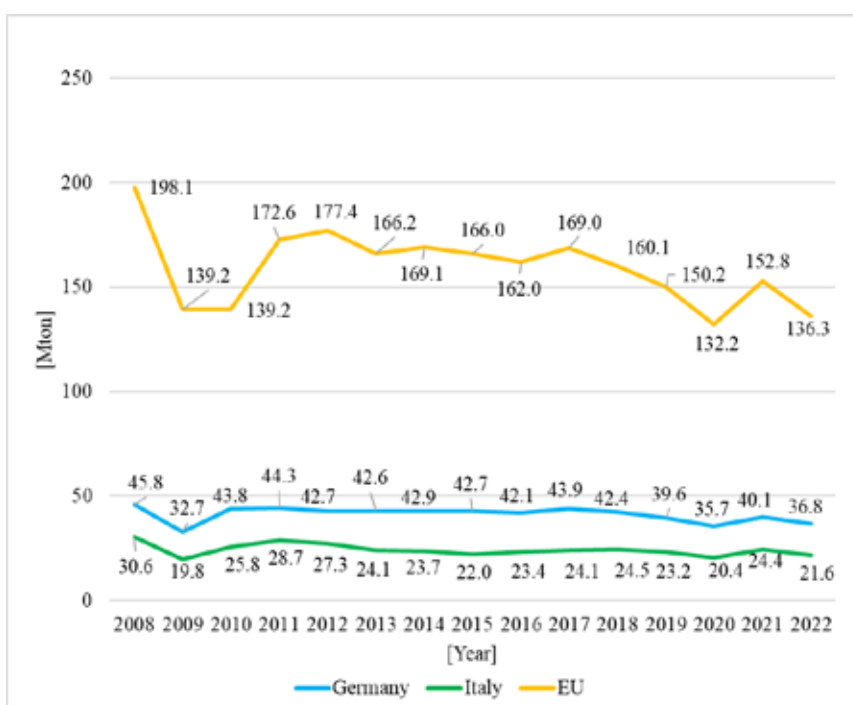
Paese	2022		2021	
	Posizione	[Mton]	Posizione	[Mton]
<b>Cina</b>	1	1.018	1	1.035,2
<b>India</b>	2	125,3	2	118,2
<b>Giappone</b>	3	89,2	3	96,3
<b>USA</b>	4	80,5	4	85,8
<b>Russia</b>	5	71,5	5	77
<b>Corea del Sud</b>	6	65,8	6	70,4
<b>Germania</b>	7	36,8	8	40,2
<b>Turchia</b>	8	35,1	7	40,4
<b>Brasile</b>	9	34,1	9	36,1
<b>Iran</b>	10	30,6	10	28,3
<b>Italia</b>	<b>11</b>	<b>21,6</b>	<b>11</b>	<b>24,4</b>

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

Con riferimento alla sola Europa (Figura 2), si può osservare come la produzione di acciaio in Europa sia in diminuzione del 30% rispetto al 2008 (prima della crisi finanziaria). La Germania e l'Italia che, come abbiamo visto, sono i due più grandi produttori di acciaio in Eu-

ropa, detengono al 2022 una quota, rispettivamente, del 27% e del 15,8% sul totale europeo. Entrambi i paesi hanno comunque ridotto, nel periodo considerato (2008-2020), la loro produzione in quantità: la Germania del 20% e l'Italia del 29%.

Figura 2 – Produzione di acciaio in Europa, Germania ed Italia (i due maggiori produttori europei) [Mton]



Fonte: The European Steel Association- Eurofer (<https://www.eurofer.eu>)

In sintesi, si osserva che a fronte di una produzione mondiale di acciaio grezzo crescente, la quantità prodotta in Europa, ed in particolare in Germania ed Italia è calante. Le ragioni sono molteplici, tra le quali, giocano verosimilmente un ruolo importante sia la maggior do-

manda localizzata nei paesi asiatici (Cina ed India), in particolar modo legato alle necessità costruttive, sia l'aumento della competitività dal punto di vista dell'offerta, a fronte di ampie disponibilità dei fattori primari della produzione dell'acciaio.

## 1.2 Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo

Globalmente, nel 2022, l'acciaio grezzo è stato prodotto al 71,5% attraverso tecnologie tradizionali (BF-BOF) (Tabella 2). Ci sono però importanti differenze tra paesi. In Cina la quota di primario supera il 90%, mentre in India prevale il forno elettrico. In Giappone, prevale nuovamente il primario, mentre l'opposto è vero per gli Stati Uniti. In Europa (EU27), prevale, ma non di molto, il primario.

Tabella 2 – Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo nel 2022 (in milioni di tonnellate)

Paese	Mton	% BF-BOF	% EAF	% Altro
<b>Turchia</b>	35,1	28,5	71,5	-
<b>Russia + altri CIS + Ucraina</b>	85,8	63,7	33	3,3
<b>USA</b>	80,5	31	69	-
<b>Brasile</b>	34,1	75,1	23,8	1,1
<b>Sud America</b>	43,4	66,4	32,7	0,9
<b>Africa</b>	21,1	13,3	86,7	0
<b>Medio oriente</b>	50,4	5	95	-
<b>Cina</b>	1.018	90,5	9,5	-
<b>India</b>	125,3	45,8	54,2	-
<b>Giappone</b>	89,2	73,3	26,7	-
<b>Corea del Sud</b>	65,8	68,5	31,5	-
<b>Taiwan, Cina</b>	20,8	59,7	40,3	-
<b>Australia</b>	5,7	73,5	26,5	-
<b>Unione Europea (27)</b>	136,3	56,3	43,7	-
<b>Totale</b>	1.884,2	71,5	28,2	0,4

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

A livello mondiale, la International Energy Agency (IEA) prevede che la quota di primario scenda al 59% nel 2030.<sup>1</sup> Per quanto riguarda la produzione di acciaio tramite tecnologie innovative, rispetto ad una produzione mondiale di 1.885 Mton di acciaio grezzo, i dati della worldsteel association indicano che solo 125,1 Mton sono prodotte con la tecnologia Direct Reduced Iron (DRI), principalmente nei paesi in via di sviluppo.<sup>2</sup> Come si può vedere dalla Tabella 3, i maggiori

produttori di acciaio DRI nel 2022 sono stati l'India e l'Iran con, rispettivamente, 42,3 e 32,9 Mton. In questi Paesi viene utilizzato come agente riducente il gas naturale (70,1%) o il syngas da carbone (29,9%), mentre l'uso dell'idrogeno (che verrà discusso in questo rapporto) è ancora a livello di progetti pilota. L'attuale produzione europea è, invece, molto ridotta.

Tabella 3 – Produzione di acciaio grezzo con la tecnologia DRI dal 2018 al 2022

Paese	Produzione DRI [Mton]				
	2018	2019	2020	2021	2022
Germania	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5 (e)
Svezia	0,1	0,1	0,1	0,1(e)	0,1 (e)
Unione Europea (27)	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Russia	7,9	8	7,8	7,8	7,7
Canada	1,7	1,4	1,2	1,6	1,5
Messico	6	6	5,2	5,8	5,8
Trinidad and Tobago	1,5	1,7	1,3	1,6	1,6 (e)
Stati Uniti	3,4	3,2	3,4	5	5 (e)
Nord America	12,5	12,4	11	14,1	14
Argentina	1,6	1,1	0,5	1,4	1,4
Venezuela	1	1	0,9	0,8	0,3
Sud America	2,6	2,1	1,4	2,2	1,7
Algeria	0,1	1,5	2,2	3,1	3,1(e)
Egitto	5,8	4,4	4,8	5,4	6
Kenya			0,1	0,1(e)	0,1(e)
Libia	0,6	0,9	0,8	0,9	1,1
Sud Africa	0,8	0,7	0,2	0,2	0,2
Zambia	0,1	0,1	0,1	0,1(e)	0,1(e)
Africa	7,4	7,6	8,2	9,7	10,6
Bahrain	1,6	1,5	1,4	1,5	1,5 (e)
Iran	25,7	28,5	30,8	31,6	32,9
Oman	1,5	1,8	1,7	1,7	1,7 (e)
Qatar	2,5	2,4	0,8	0,8	1,6
Arabia Saudita	6	5,8	5,2	6,1	6,7
Emirati Arabi Uniti	3,8	3,7	3	3,7	3,4
Medio Oriente	41,2	43,6	42,8	45,4	47,8
India	34,2	36,8	33,6	39	42,3
Indonesia	0,2	0,1	0	0,1(e)	0,1(e)
Malesia	0,7	0,6	0,7	0,4(e)	0,4(e)
Asia	35,2	37,5	34,4	39,5	42,7
Mondo	107,5	111,8	106,3	119,3	125,1

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

In Figura 3 è rappresentata l'evoluzione della quota percentuale di acciaio grezzo per processo produttivo in Europa a partire dal 2008.

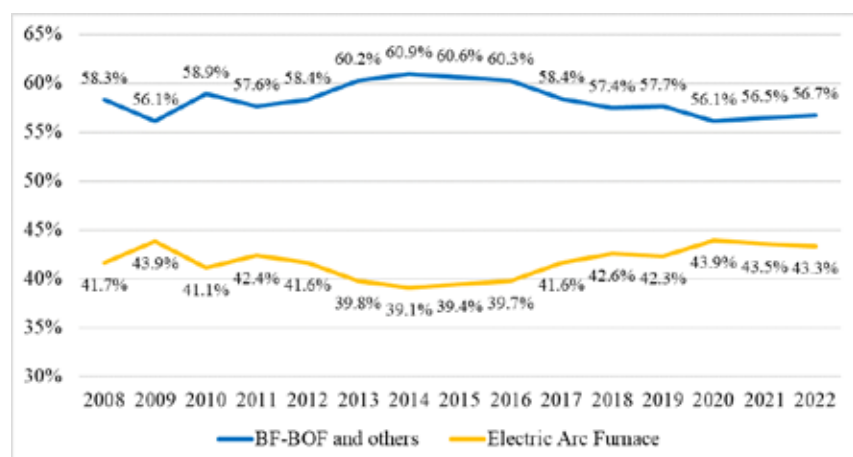


Figura 3 – Evoluzione della quota percentuale di acciaio grezzo per processo produttivo in Europa

Fonte: The European Steel Association- Eurofer (<https://www.eurofer.eu>)

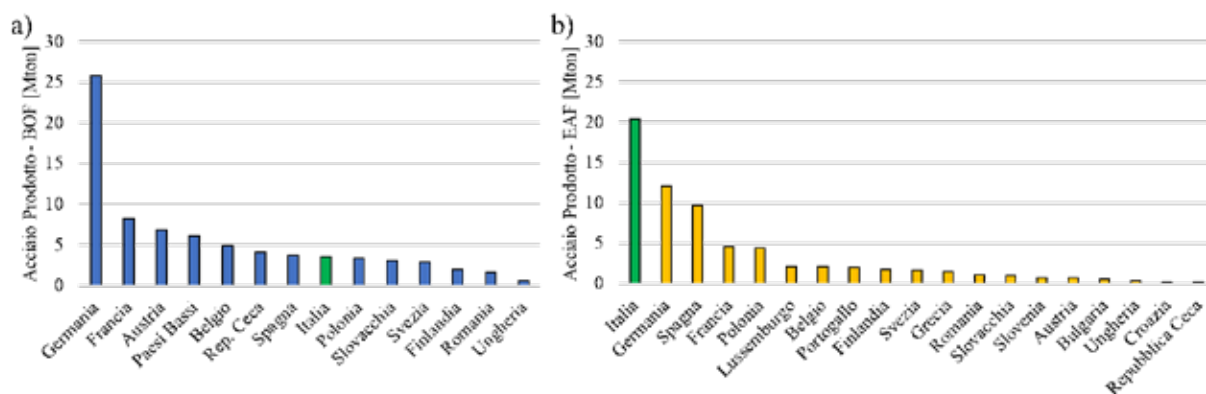
Si può notare che la quota prodotto con la tecnologia BF-BOF è rimasta piuttosto costante nel tempo. Ma c'è una grande differenziazione tra i paesi europei, come mostrano la Tabella 3 e la Figura 4.

Tabella 4 – Produzione di acciaio grezzo per processo produttivo in Europa tra il 2001 e il 2022

Anno	2001					2022				
	[Mton]			%		[Mton]			%	
	TOT	BF-BOF	EAF	BF-BOF	EAF	TOT	BF-BOF	EAF	BF-BOF	EAF
<b>Austria</b>	5,9	5,4	0,5	90,7	9,3	7,5	6,8	0,7	91	9
<b>Belgio</b>	10,8	8,0	2,8	74,5	25,5	7	4,9	2,1	69,3	30,7
<b>Bulgaria</b>						0,5	0,0	0,5	-	100
<b>Croazia</b>						0,2	0,0	0,2	-	100
<b>Finlandia</b>	3,9	3,0	0,9	78,2	21,8	3,5	2,0	1,5	56,5	43,5
<b>Francia</b>	19,3	11,1	8,2	57,4	42,6	12,1	8,2	3,9	67,4	32,6
<b>Germania</b>	44,8	31,7	13,1	70,7	29,3	36,8	25,8	11,0	70,2	29,8
<b>Grecia</b>						1,5	0,0	1,5	-	100
<b>Italia</b>	26,7	10,2	16,5	38,1	61,9	21,6	3,5	18,1	16	84
<b>Lussemburgo</b>	2,7	0,0	2,7	0	100	1,9	0,0	1,9	-	100
<b>Paesi Bassi</b>	6	5,9	0,1	97,8	2,2	6,1	6,1	0,0	100	-
<b>Polonia</b>						7,4	3,4	4,0	46,6	53,4
<b>Portogallo</b>						1,9	0,0	1,9	-	100
<b>Rep. Ceca</b>						4,3	4,1	0,2	96,1	3,9
<b>Romania</b>						2,6	1,6	1,0	62,7	37,3
<b>Slovacchia</b>						3,9	3,1	0,8	78,9	21,1
<b>Slovenia</b>						0,6	0,0	0,6	-	100
<b>Spagna</b>	16,5	4,2	12,3	25,6	74,4	11,5	3,7	7,8	32	68
<b>Svezia</b>	5,5	3,6	1,9	66,1	33,9	4,4	2,9	1,5	65,2	34,8
<b>Regno Unito</b>	13,7	10,4	3,3	75,9	24,1					
<b>Ungheria</b>						0,9	0,6	0,3	68,9	31,1
<b>Altri EU</b>	2,9	0,1	2,8	2,1	97,9					
<b>Unione Europea (15)</b>	158,9	93,6	65,3	58,9	41,1	136,3	76,7	59,6	56,3	43,7

Fonte: The European Steel Association- Eurofer (<https://www.eurofer.eu>)

Figura 4 – a) Produzione europea di acciaio primario con tecnologia BF/BOF nel 2022; b) Produzione europea di acciaio da rottame con tecnologia EAF nel 2022

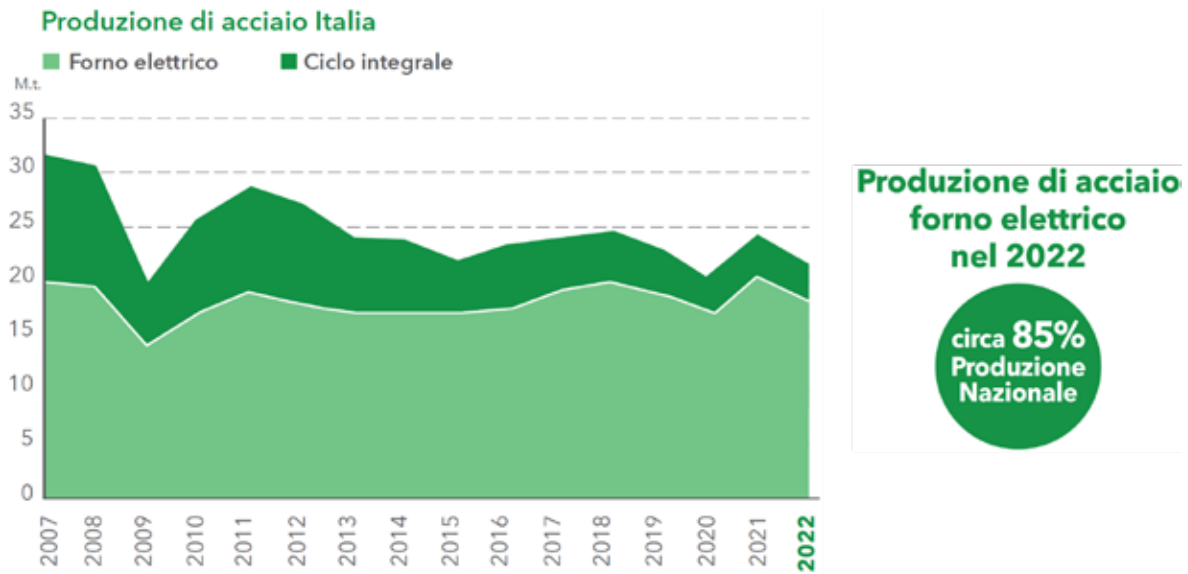


Fonte: The European Steel Association- Eurofer (<https://www.eurofer.eu>)

Si può notare come in Italia, la quota di acciaio prodotto da BF-BOF si sia ridotta dal 38,1% del 2001 al 16% del 2022. In termini di quantità prodotta si è passati da 10,2 Mton da BF-

BOF e 16,5 Mton da EAF a 3,5 Mton (BF-BOF) e 18,1 Mton (EAF), come si può notare dal grafico sottostante reperito nei report pubblicati da Federacciai.<sup>3</sup>

Figura 5 – Evoluzione della quota percentuale di acciaio grezzo per processo produttivo in Italia



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

Nella mappa seguente (Figura 6)<sup>4</sup> vengono riportati i siti produttivi italiani aggiornati al 2022, fra i quali non sono più presenti gli stabilimenti di Piombino e Trieste, la cui operatività degli altoforni è stata interrotta, rispettivamente, il 24 aprile 2014 e l'8 aprile 2020. Taranto rimane quindi l'unica sede italiana con altoforno (BF) e convertitore all'ossigeno (BOF) ancora attivi.

Figura 6 – Gli stabilimenti di produzione di acciaio in Italia

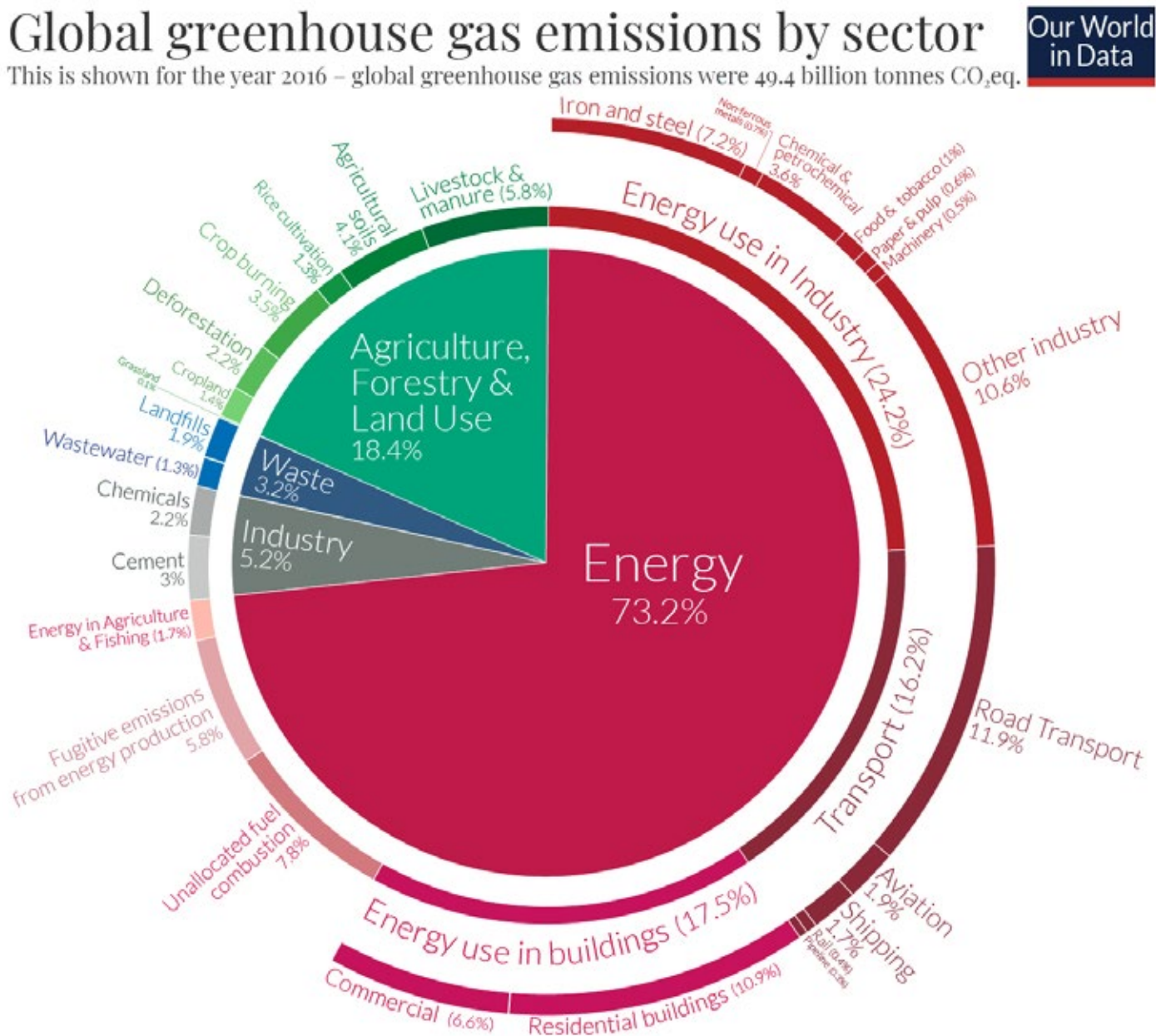


Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

## 1.3 Le emissioni di gas climalteranti del settore dell'acciaio

Il settore dell'acciaio è responsabile per una frazione non trascurabile del totale delle emissioni globali. Come riporta la Figura 7, secondo Our World in Data il settore siderurgico è stato responsabile del 7,2% del totale delle emissioni globali nel 2016, che corrispondono a 3.557 Mton CO<sub>2</sub>.

Figura 7 – Emissioni di gas serra globali del settore siderurgico



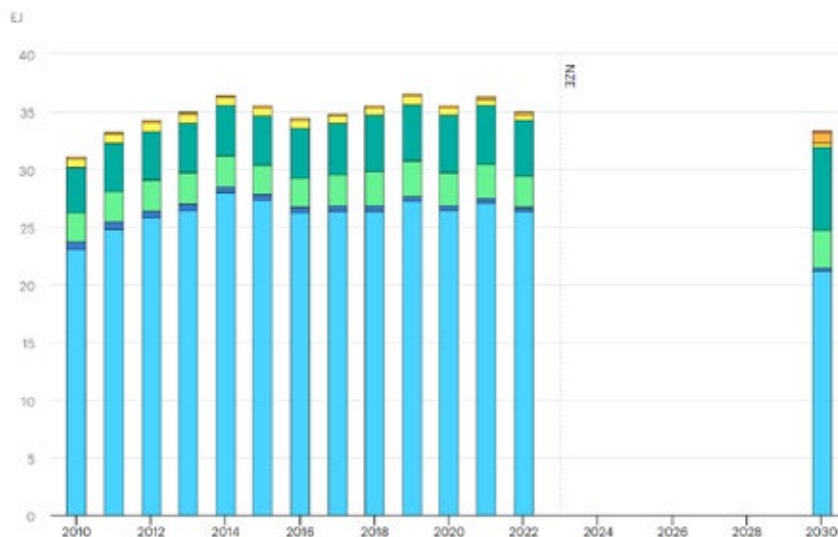
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems.  
 Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020). Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Le emissioni del settore siderurgico sono principalmente dovuto al consumo energetico, motivo per cui sono state incluse nel settore che racchiude le emissioni dovute alla produzione di energia ("Energy"). Un'analisi dei dati forniti dell'International Energy Agency (IEA), permette di definire che il settore siderurgico mondiale ha utilizzato 35 Exajoules

(35\*10<sup>9</sup> GJ) di energia nel 2022, ottenuti principalmente dalla combustione del carbone (26 EJ), dal consumo di elettricità (5 EJ) e dall'utilizzo del gas naturale (3 EJ). Lo storico dei consumi energetici (Figura 8) denota come ci sia stato un aumento progressivo fino al 2015, che è stato seguito da un andamento oscillatorio intorno al valore medio di 35 EJ.



Figura 8 – Principali fonti energetiche del settore siderurgico mondiale

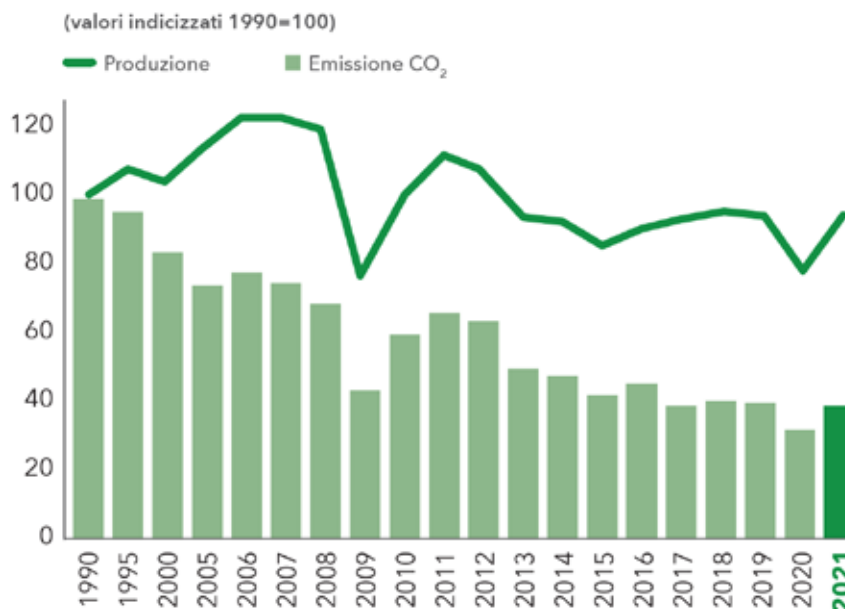


Fonte: International Energy Agency (<https://www.iea.org/>)

Come evidenziato nel Rapporto di Sostenibilità 2023<sup>5</sup> e riportato in Appendice B del presente report, il settore siderurgico italiano ha emesso complessivamente nel 2022 circa **16 MtonCO<sub>2</sub>** a fronte di una produzione di 21,6 Mton di acciaio nello stesso anno, da cui si può ricavare un'emissione specifica di **0,74 tonCO<sub>2</sub>/ton di acciaio**. Si riporta in Figura 9 l'andamento delle emissioni dirette

di CO<sub>2</sub> nell'ultimo ventennio. I dati sono normalizzati sulle emissioni del 1990 a cui è stato assegnato un valore di 100. Si può notare come le emissioni dirette siano diminuite del 60% al 2021, principalmente a causa della quota decrescente di acciaio prodotto tramite ciclo integrale, che è il principale responsabile delle emissioni dirette nel settore siderurgico.

Figura 9: Variazione temporale delle emissioni dirette di CO<sub>2</sub> della siderurgia italiana



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

## 1.4 I costi e benefici della transizione in termini occupazionali

Questo paragrafo si occuperà di tracciare una panoramica sulla situazione occupazionale del settore siderurgico italiano, alla luce delle informazioni reperite da diverse fonti.

## 1.4.1 Le fonti di informazioni occupazionali

I dati occupazionali del settore siderurgico disponibili per l'Italia presentano degli scostamenti a seconda della fonte che li elabora. Ci sono differenze tra i dati Istat, quelli delle Camere di Commercio e quelli elaborati da Federacciai. Queste differenze dipendono principalmente da tre fattori.

- In primo luogo, se consideriamo soltanto gli occupati con rapporto di lavoro stabile, oppure tutti coloro che durante l'arco di un anno hanno prestato il proprio lavoro nel settore, anche soltanto per qualche mese.
- In secondo luogo, che cosa intendiamo con settore siderurgico: soltanto gli occupati in imprese che producono acciaio primario o secondario, oppure tutte le imprese che appartengono alla filiera (dalla produzione di acciaio alla trasformazione in laminati, trafilati, tubi, ecc.).

- In terzo luogo, se i dati fanno riferimento alle imprese associate a Federacciai, oppure a tutte le imprese del settore siderurgico.

Questa precisazione è importante perché in vari report sulla questione siderurgica si trovano dati diversi, senza specificazione rispetto a che cosa misurano le diverse fonti. Molti report fanno riferimento agli occupati delle imprese iscritte a Federacciai, riprendendo i dati contenuti nelle relazioni annuali dell'associazione, e li confondono con il totale degli occupati del settore. In altri casi, non vengono specificati i confini del settore acciaio, così le cifre diminuiscono oppure salgono e gli andamenti dell'occupazione nel tempo hanno dinamiche differenti.

## 1.4.2 L'occupazione attuale nel settore dell'acciaio

Per quantificare l'occupazione nel settore dell'acciaio è stato allora deciso di partire dai dati forniti dal sistema di rilevazione Camerale, basandoci sui codici ATECO 241, 242 e 243.

Tabella 5 – Descrizione dei costi ATECO

ATECO	Descrizione
241	Siderurgia
242	Fabbricazione di tubi, condotti, profilati cavi e relativi accessori in acciaio (esclusi quelli in acciaio colato)
243	Fabbricazione di altri prodotti della prima trasformazione dell'acciaio

Questi codici fanno riferimento alla siderurgia, alla fabbricazione di tubi, condotti, profilati in acciaio e ad altri prodotti della prima trasformazione dell'acciaio. È stato perciò scelto di considerare i produttori e i primi trasformatori come rappresentativi dell'industria siderurgica nazionale.

Osservando l'andamento occupazionale dal 2014 al 2023, si nota una dinamica differenziata per codice ATECO. Nelle imprese codice ATECO 241 – prevalentemente produttori

di acciaio primario o da forno elettrico – gli occupati calano del 4,49% nel periodo considerato. Mentre nelle imprese che trasformano acciaio, gli occupati crescono: per il codice 242 del 4,9%, per il codice 243 del 13,5%.

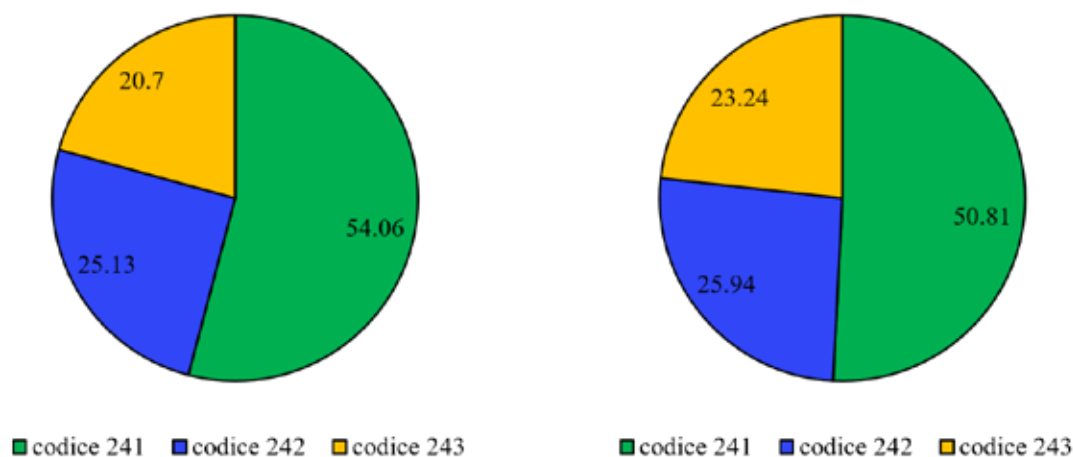
Nel complesso, sommando tutti e tre i codici, gli occupati nel settore siderurgico crescono dell'1,63%, ma questa crescita è trainata dalla trasformazione e fortemente indebolita dalla dinamica negativa della produzione.

Tabella 6 – Occupati per codice ATECO dal 2014 al 2023 – dati fonte Camere di Commercio

ATECO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
241	36.457	36.075	37.830	36.733	36.850	35.222	34.783	35.251	34.722	34.820
242	16.946	15.921	15.548	16.632	17.221	17.782	17.393	16.904	17.588	17.780
243	14.023	13.807	13.019	13.563	14.126	14.290	14.604	14.906	15.814	15.926
<b>Totale</b>	<b>67.426</b>	<b>65.803</b>	<b>66.397</b>	<b>66.928</b>	<b>68.197</b>	<b>67.294</b>	<b>66.780</b>	<b>67.061</b>	<b>68.124</b>	<b>68.526</b>

Per questa ragione, il peso degli occupati nelle imprese codice 241 diminuisce sensibilmente tra il 2014 e il 2023. Come riportato in Figura 10, nel 2014 gli occupati nella produzione di acciaio erano il 54,06% del totale degli occupati nel settore siderurgico, mentre nel 2023 la quota è scesa al 50,81%. Sono cresciuti in particolare gli occupati nelle imprese codice 243.

Figura 10 – Percentuale degli occupati nelle imprese codice 241, 242, 243 negli anni 2014 e 2023



Se si osservano i dati a livello provinciale isolando il codice 241, si nota che il totale degli occupati nella produzione è in calo, ma la dinamica è differente per contesto territoriale e dipende sostanzialmente dalla crisi occupazionale nella pro-

duzione di acciaio primario, che si concentra in alcune aree specifiche del paese. Prendendo le province che dal 2014 al 2023 hanno avuto in media più di 400 occupati nel settore, si possono riconoscere le situazioni di crisi più problematiche.

Tabella 7 – Occupati per provincia

Provincia	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Var. %
Taranto	11.463	11.346	11.173	10.969	10.783	8.228	8.279	8.426	8.261	8.249	-28,1
Brescia	4.245	3.921	3.750	3.757	4.037	4.011	3.898	4.284	4.352	4.480	5,5
Udine	2.358	2.397	2.531	2.364	2.538	2.510	2.505	2.717	2.799	2.816	19,4
Terni	2.041	2.074	2.390	2.382	2.372	2.363	2.335	2.328	2.312	2.235	9,5
Livorno	2.513	3.038	2.443	2.429	2.334	2.195	2.078	1.988	1.899	1.821	-27,5
Vicenza	1.070	1.075	1.673	1.664	1.663	1.705	1.704	1.769	1.764	1.823	70,4
Cremona	1.430	1.455	1.472	1.557	1.598	1.596	1.601	1.638	1.642	1.669	16,7
Genova	1.784	1.357	1.667	1.585	1.551	1.074	1.083	1.067	1.049	1.044	-41,5
Verona	786	383	886	898	898	941	945	942	959	981	24,8
Bergamo	162	170	257	283	1.214	1.144	1.214	1.191	1.131	1.120	591,4
Milano	1.003	996	818	777	745	792	623	631	583	603	-39,9
Lecco	785	658	628	667	619	628	642	645	703	752	-4,2
Alessandria	831	810	807	748	7	685	668	650	643	619	-25,5
Bolzano	466	474	473	462	481	504	499	504	505	531	13,9
Torino	574	708	479	475	479	470	441	376	380	382	-33,4
Padova	681	679	683	689	686	183	154	145	166	166	-75,6
Cuneo	422	413	409	418	267	452	435	449	480	463	9,7
Ravenna	2	1	1	1	1	818	815	821	840	844	42.100,0
Trieste	420	475	528	542	555	573	528	415	35	3	-99,3
Varese	410	417	394	402	432	409	392	382	383	384	-6,3
Altre province	3.031	3.228	4.368	3.664	3.590	3.941	3.944	3.883	3.836	3.838	26,6

Tra i casi di significativa riduzione degli occupati, tenendo conto del dato di variazione assoluta e percentuale, vi sono le province di Taranto, Livorno, Genova e Trieste. Sono le province nelle quali si concentrava la produzione primaria, con gli stabilimenti di Taranto, di Piombino, di Cornigliano e di Trieste. Da sole, queste quattro realtà hanno perso 5.066 occupati, con una variazione del -31,3%. La maggior parte delle province in controtendenza, invece, hanno visto l'apertura di nuovi siti industriali, alcuni dei quali dedicati alla produzione di acciaio da forni elettrici. Significativi sono i casi di Ravenna, Bergamo e Vicenza, che complessivamente passano da 2.136 a 3.787 occupati.

Analizzando alla distribuzione geografica degli occupati nel 2023, fatta eccezione per Taranto, la maggior parte è attivo nel Nord Italia (Figura 11). Emergono tra le altre le province di Udine, Brescia, Aosta, Vicenza e Cremona. Al centro, invece, le province di Livorno, Terni e Ravenna.

Se invece si considerano soltanto gli stabilimenti che producono acciaio primario o secondario, si nota una forte concentrazione del settore nel Nord Italia, con la provincia di Brescia che si distingue per la presenza di forni elettrici e di occupati.

Figura 11 – Occupati nel codice ATECO 241 per provincia (Cameriere di Commercio, 2023)

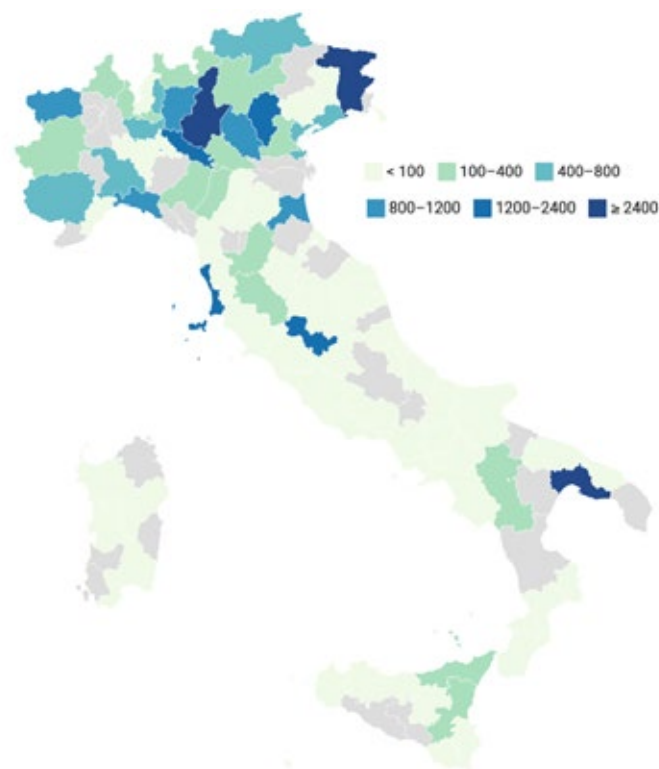


Tabella 8 – Stabilimenti che producono acciaio primario o secondario per provincia

Provincia	Numero forni	Occupati	Operai	Impiegati	% occ/tot
Aosta	1	1.137	875	262	4,4
Arezzo	1	212	163	49	0,8
Bolzano	1	400	308	92	1,5
Brescia	13	3.584	2.760	824	13,9
Catania	1	175	135	40	0,7
Cremona	1	1.168	899	269	4,5
Cuneo	1	200	154	46	0,7
Messina	1	307	236	71	1,2
Padova	1	601	463	138	2,3
Livorno	1	1.398	1.076	322	5,5
Potenza	1	274	211	63	1,1
Ravenna	1	843	649	194	3,3
Taranto	1	8.249	6.340	1.909	31,7
Terni	1	2.346	1.806	540	9,1
Torino	1	178	137	41	0,7
Trento	1	115	89	26	0,4
Udine	2	2.004	1.543	461	7,8
Varese	2	357	275	82	1,4
Venezia	1	163	126	37	0,6
Verbania	1	200	154	46	0,6
Verona	2	682	525	157	2,6
Vicenza	2	1.261	971	290	4,9

Secondo il censimento che è stato effettuato, al 2023 in Italia esistono 38 siti attivi di produzione di acciaio, dei quali 37 sono caratterizzati da forni elettrici e utilizzo di rottami; mentre solamente uno (Taranto), prevede la produzione di acciaio tramite altoforno. In totale, stando ai dati offerti dal sistema Camerale, gli occupati in questi siti sono 25.884, di cui 19.924 operai e 5.960 impiegati. La ripartizione è una stima, a partire dal rapporto medio che esiste tra operai e impiegati nelle acciaierie, così come indicato nei rapporti annuali di Federacciai.

Nella provincia di Taranto, con un solo stabilimento, si trova il 31,7% degli occupati sul totale a livello nazionale. Nella provincia di Brescia, invece, ci sono ben 13 forni elettrici e il 13,9% degli occupati. Seguono Terni (9,1%), Udine (7,8%), Livorno (5,5%), Vicenza (4,9%), Cremona (4,5%) e Aosta (4,4%). Le restanti 14 province hanno percentuali più basse, e tutte insieme contano il 18,25% degli occupati. Tra le province non emergono tutti quei siti storici di produzione, che al momento non hanno impianti attivi, come il caso di Trieste.

### 1.4.3 Serie storica sull'occupazione nel settore siderurgico in Italia

Per stimare il futuro andamento occupazionale nel settore acciaio, si utilizzano i dati sull'occupazione offerti dal sistema camerale e ascrivibili al codice ATECO 24<sup>1</sup> (Tabella 9). Si osserva innanzitutto l'andamento dell'occupazione nel tempo, tra il 2014 e il 2023, rispetto all'andamento della produzione

di acciaio da altoforno e di acciaio da forno elettrico. In questo modo si ottiene il dato sull'intensità occupazionale media nei due tipi di produzione. A partire da questo dato, si stimerà il fabbisogno occupazionale sulla base degli scenari di andamento della produzione, come verrà discusso in seguito.

Tabella 9 – Intensità occupazionale media nei due tipi di produzione

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Totale occupati</b>	36.457	36.075	37.830	36.733	36.850	35.222	34.783	35.251	34.722	34.820
<b>Occupati Produzione da Altoforno</b>	11.883	11.821	11.701	11.511	11.338	8.801	8.807	8.841	8.296	8.249
<b>Occupati Produzione da Elettrico</b>	24.574	24.254	26.129	25.222	25.512	26.421	25.976	26.410	26.426	26.571
<b>Totale produzione (migliaia di tonnellate)</b>	23.714	22.018	23.373	24.068	24.532	23.191	20.379	24.412	21.599	21.100
<b>Tonnellate Altoforno (migliaia di tonnellate)</b>	6.514	4.791	5.669	4.732	4.520	4.211	3.371	3.996	3.471	3.000
<b>Tonnellate Elettrico (migliaia di tonnellate)</b>	17.200	17.227	17.704	19.336	20.012	18.980	17.008	20.416	18.128	18.100
<b>Occupati/migliaia tonnellate LD</b>	1,82	2,467	2,064	2,433	2,508	2,090	2,613	2,212	2,390	2,750
<b>Occupati/migliaia tonnellate elettrico</b>	1,43	1,41	1,48	1,30	1,27	1,39	1,53	1,29	1,46	1,47
<b>Occupati/totale</b>	1,537	1,638	1,619	1,526	1,502	1,519	1,707	1,444	1,608	1,650

Osservando i dati raccolti, si nota che il totale degli occupati è sceso nel decennio di circa 1.600 unità, ma gli occupati nella produzione da altoforno sono calati di circa 3.600 unità mentre quelli da forno elettrico sono cresciuti di circa 2.000 unità. La produzione di acciaio complessiva ha un andamento oscillante negli anni, ma la tendenza è di leggero incremento di quella secondaria e di netto decremento di quella primaria. Nel caso della produzione secondaria il rapporto tra occupati e produzione rimane abbastanza stabile, mentre cresce sensibilmente nella

produzione primaria. Questo dato è comprensibile, tenuto conto del fatto che nonostante cali sensibilmente la produzione, rimangono fisse molte mansioni fondamentali per il funzionamento degli impianti.

Vengono utilizzati i dati camerale basati sul codice ATECO 241, perché è disponibile la serie storica dal 2014 al 2023 ed è possibile in questo modo confrontare il dato occupazione con quello della produzione, osservando la sua evoluzione nel tempo.

## 2. LA DOMANDA DI ACCIAIO TRA PASSATO E FUTURO

### HIGHLIGHTS

Sulla base dei dati storici, l'analisi econometrica basata sul miglior modello disponibile suggerisce un trend di riduzione del consumo apparente che potrebbe in 10 anni ridursi a 22 Mton.

La notevole variabilità dei dati che hanno subito ben due momenti di rottura strutturale (crisi finanziaria del 2008-9 e pandemia del 2020), contengono molti elementi di incertezza e pertanto individuano un intervallo di confidenza molto elevato per ognuno dei valori centrali individuati.

Volendo essere molto certi della previsione (margine di errore limitato al 5%), l'intervallo di confidenza al 2032 è delimitato da un minimo di 15 Mton ed un massimo di 29 Mton.

La produzione di acciaio, tra cui possiamo distinguere semiprodotti, acciai inossidabili, acciai comuni e legati, rappresenta solo la prima fase della filiera. Come illustrato in Figura 12, la produzione nazionale di acciaio può essere impiegata all'interno del Paese o esportata. Gli utilizzatori possono essere distinti tra utilizzatori intermedi e utilizzatori finali. Ai primi appartengono coloro che trasformano

l'acciaio, ad esempio in tubi o prodotti finiti o gli intermediari o i gestori di magazzini che lo stoccano, eventualmente lavorano e lo rivendono agli utilizzatori finali. Gli utilizzatori finali sono coloro che utilizzano per i propri scopi in diversi settori quali le costruzioni, la produzione di macchine utensili, di veicoli, o di altri prodotti costituiti principalmente da acciaio.

Figura 12 – Percorsi per il mercato e l'uso finale di prodotti in acciaio

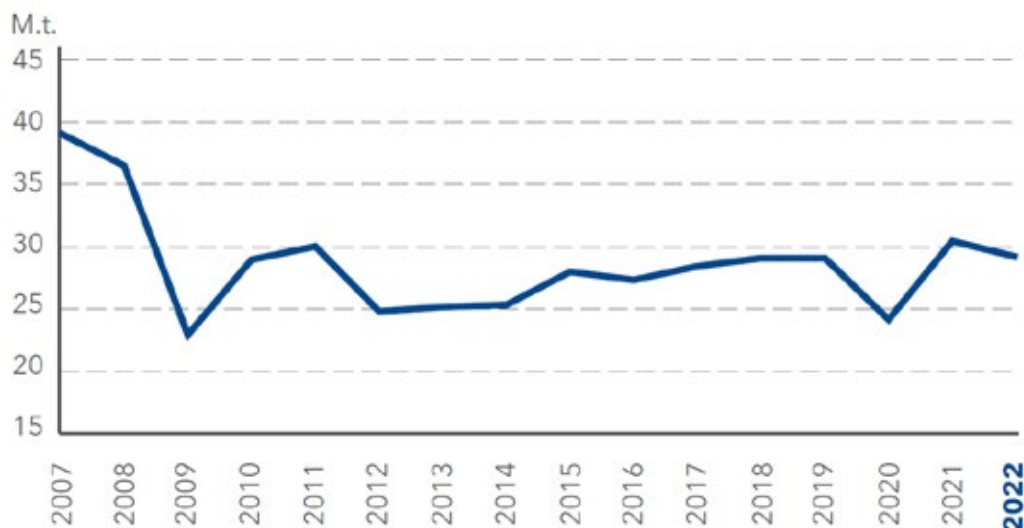




## 2.1 Il concetto di consumo apparente o domanda di acciaio

La domanda di acciaio di un Paese è tecnicamente definita come consumo apparente (di acciaio o qualsiasi altro bene). Essa è la somma di quanto prodotto internamente, con l'aggiunta di quanto importato da altri Paesi e la sottrazione di quanto esportato verso altri Paesi.

Figura 13 – Consumo apparente di acciaio in Italia dal 2007 al 2022 (milioni di tonnellate)

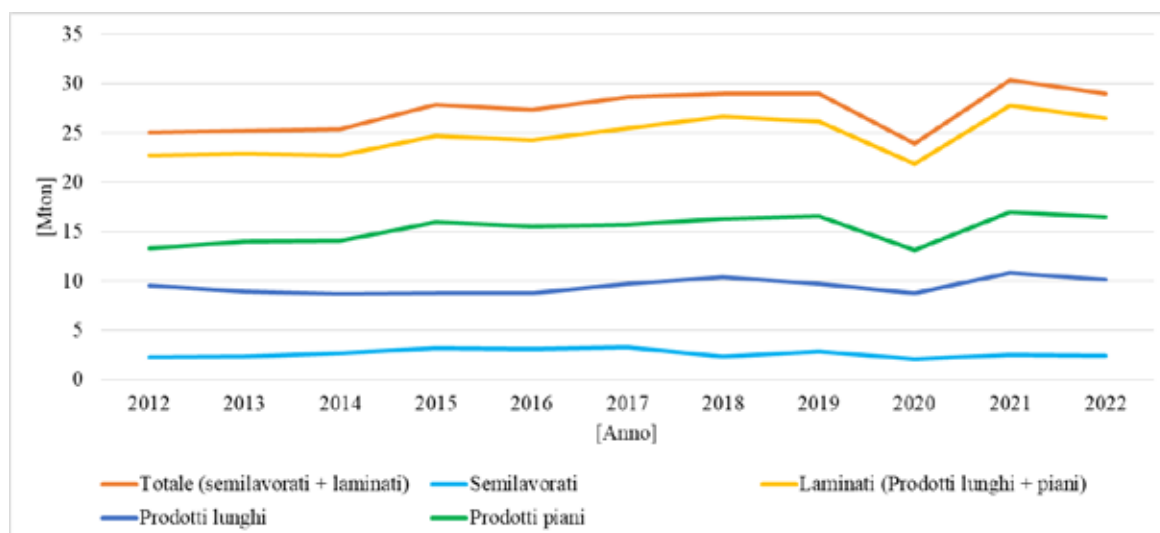


Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

La Figura 13 riporta il consumo apparente in Italia dal 2007 al 2022.<sup>4</sup> Esso si attestava su valori intorno alle 35 Mton, per salire fino a 40 Mton negli anni pre-crisi 2008, per poi crollare a meno di 25 Mton a seguito della crisi finanziaria che ha comportato un notevole rallentamento dell'attività produttiva. Il consumo apparente si è poi leggermente rialzato fino a 30 Mton negli anni successivi, per poi tornare a 25 Mton al 2012 e crescere lentamente fino a

30 Mton. L'avvento della pandemia nel 2020 ha interrotto la crescita, riportando la domanda al di sotto di 25 Mton. La ripresa delle attività nel 2021 ha causato un aumento repentino del consumo apparente, che ci aspetta possa nuovamente diminuire come avvenuto dopo la crisi del 2008. Come si può vedere dalla Figura 14, è possibile ricostruire con maggiore dettaglio analitico il contributo dei diversi settori alla formazione della domanda complessiva.

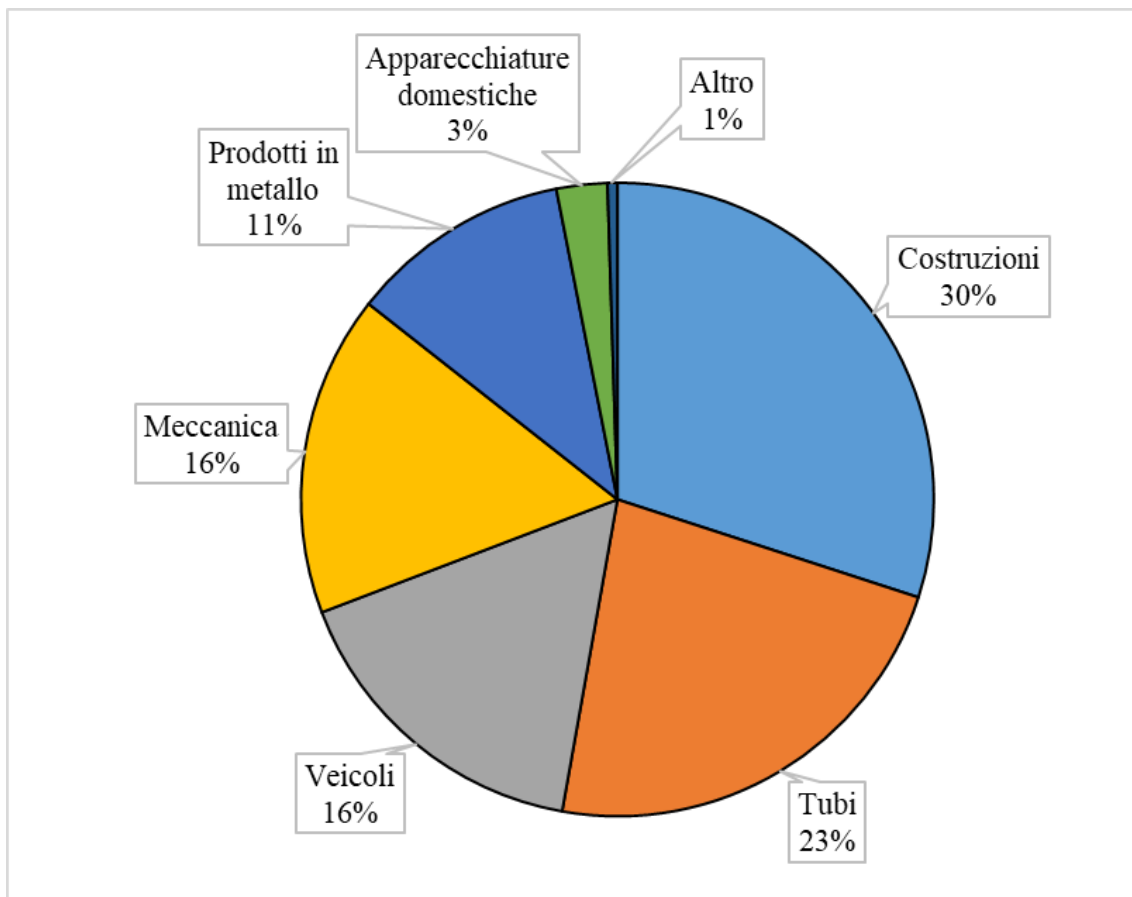
Figura 14 – Consumo apparente di acciaio in Italia dal 2012 al 2022 (milioni di tonnellate)



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

Per comprenderne le ragioni, è importante considerare che i principali settori di utilizzo dell'acciaio in Italia sono le costruzioni, la meccanica e i veicoli, come riportato nel grafico di Figura 15. La domanda di prodotti siderurgici dipende quindi dal ciclo economico e dall'andamento di questi settori.<sup>3</sup>

Figura 15 – Settori di utilizzo di prodotti siderurgici



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

Le motivazioni della tendenziale caduta del consumo apparente (domanda di acciaio) sono verosimilmente le seguenti:

- La concorrenza di materiali alternativi all'acciaio.
- Il settore delle costruzioni ha fasi di crescita e fasi di rallentamento, legati ai bonus per le ristrutturazioni e l'efficientamento energetico.
- Nella produzione di veicoli c'è un notevole sforzo di riduzione del loro peso che comporta minore acciaio o acciai diversi, in aggiunta alla riduzione del numero di automobili prodotte in Italia.

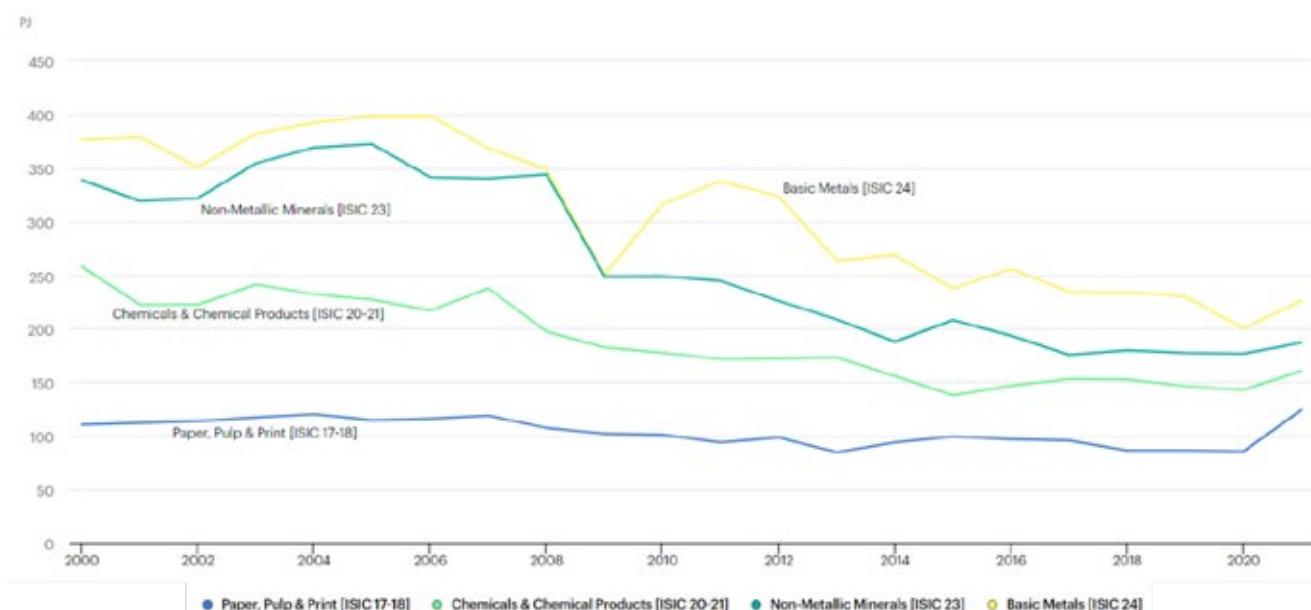
- Nel settore macchine e degli apparecchi meccanici, la domanda invece sembra tenere anche grazie all'ottima performance di questo settore di specializzazione italiano.
- Nella produzione di apparecchi per la casa (lavatrici, lavastoviglie, ecc.), la delocalizzazione produttiva ha avuto effetti negativi anche sulla domanda di acciaio.

La composizione tra semilavorati e laminati, ed all'interno di questo tra prodotti piani e prodotti lunghi, sembra invece abbastanza costante nel tempo.

## 2.2 Consumi energetici del settore siderurgico italiano

Per quanto riguarda i consumi energetici, il settore della produzione e lavorazione dei metalli italiano (inclusa quindi l'industria siderurgica) ha consumato nel 2020 circa 62,75 TWh (225,9 PJ come riportato in Figura 16), comprensivo di energia elettrica e calore, che corrisponde a circa un terzo dei consumi del settore manifatturiero e al 7% dei consumi complessivi italiani.

Figura 16 – Consumo energetico dell'industria siderurgica italiana. Il consumo comprende sia il consumo di elettricità che la produzione di calore



Fonte: International Energy Agency - IEA (<https://www.iea.org/countries/italy>)

## 2.3 Previsione del consumo apparente (domanda) di prodotti siderurgici in Italia

Il punto di partenza è la serie del consumo apparente. Riportata su un grafico si presenta come in Figura 17.

Figura 17 – Serie storica del consumo apparente (domanda) di prodotti siderurgici in Italia



Come si può vedere, i valori hanno avuto oscillazioni considerevoli. Si possono distinguere cinque periodi:

- Prima della crisi finanziaria del 2008-9, il consumo apparente, partendo da valori pari a 35 Mton è cresciuto fino a 40 Mton.
- La crisi finanziaria del 2008-9 ha fatto precipitare il livello di consumo a poco più di 24 Mton.
- Il consumo si è inizialmente rialzato per poi ricadere (seguendo il double-dip del PIL italiano, per riportarsi lentamente su valori vicini ai 30 Mton.

- Il 2020 è conciso con la crisi pandemica.
- Superata la crisi, il consumo apparente è ripartito con vigore, anche grazie ai bonus fiscali di cui ha beneficiato il settore delle costruzioni e quello degli elettrodomestici, per poi ripiegare leggermente nel 2022.
- La notevole variabilità nella domanda, con la presenza di due rotture strutturali, rende non agevole l'analisi econometrica della domanda e la previsione futura. L'argomento verrà trattato con gli strumenti dell'analisi delle serie storiche statistiche.

## 2.3.1 Modello econometrico del consumo apparente di prodotti siderurgici in Italia

Il primo passo è la ricerca del miglior modello statistico per descrivere la serie storica. È stata utilizzata la specificazione ARIMA (AutoRegressive, Integrated, Moving Average), che ha permesso di stimare 3 modelli:

- ARIMA (1,1,1)
- ARIMA (2,1,1)
- ARIMA (1,1,2)

L'analisi dei risultati econometrici sulla base dei criteri informativi di Akaike e Schwarz porta a concludere che la migliore specificazione si ottiene con il modello ARIMA (1,1,1), riportato in Tabella 10.

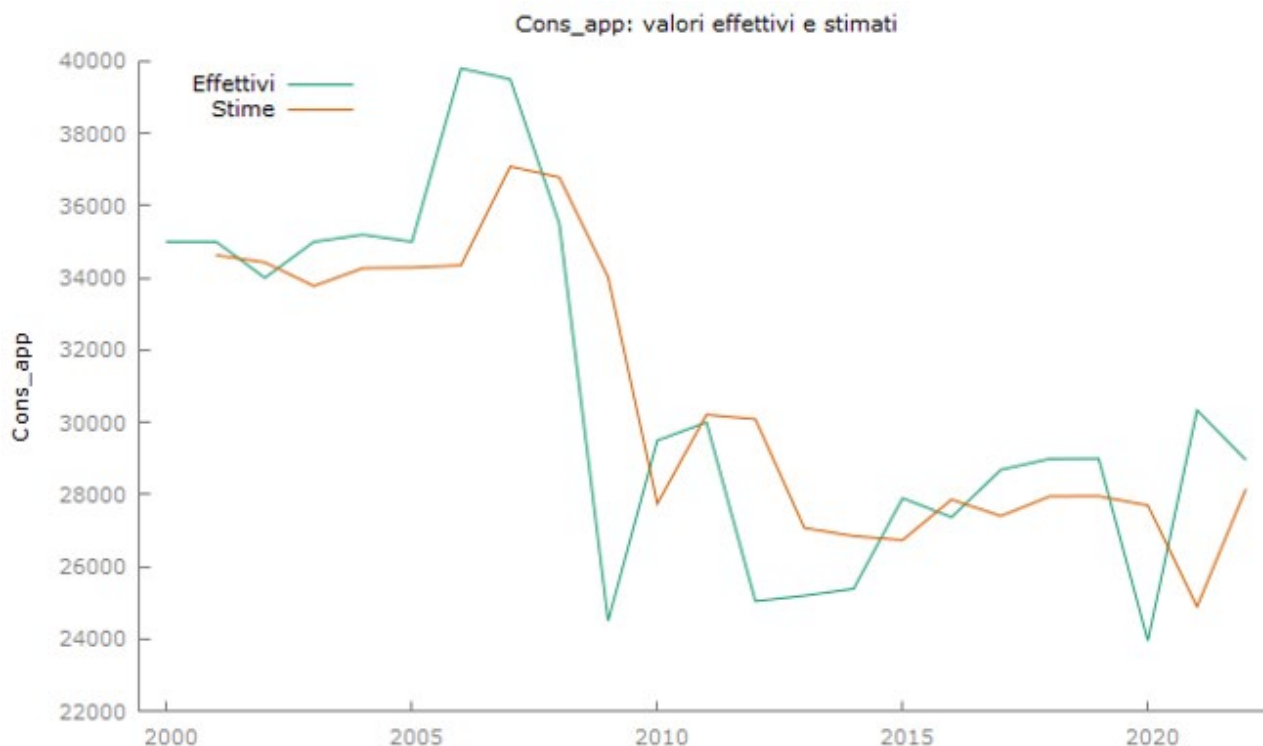
Tabella 10 – Stima statistica del modello del consumo apparente di prodotti siderurgici

Parametro	coefficiente	errore std	z	p-value	
<b>const</b>	-423,027	182,266	-2,321	0,0203	**
<b>Ritardo AR (phi_1)</b>	0,5225	0,199	2,624	0,0087	***
<b>Ritardo MA (theta_1)</b>	-1,000	0,134	-7,440	1,00e-013	***

## 2.3.2 Valori effettivi e valori stimati dal modello

Sulla base del modello stimato, si possono confrontare i valori effettivi e quelli stimati. Come si può vedere dalla Figura 18, il modello riesce a riprodurre abbastanza fedelmente i valori effettivi assunti dalla serie storica.

Figura 18 – Valori effettivi e stimati con il modello econometrico ARIMA (1,1,1)



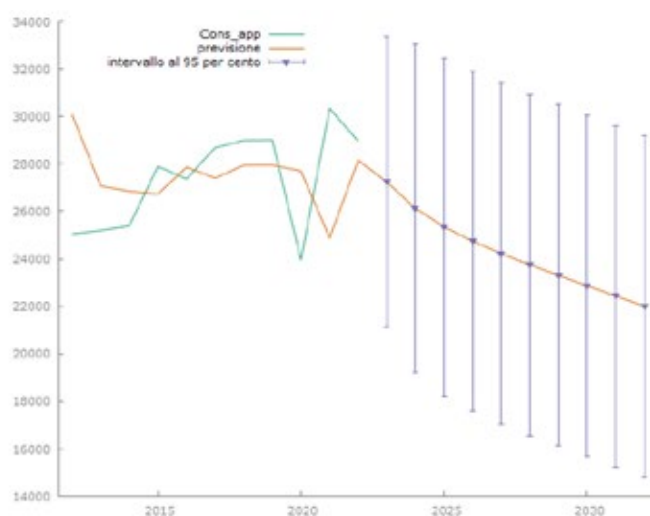
## 2.3.3 La previsione a 10 anni (2023-2032)

Facendo uso del modello, è stata effettuata una previsione a 10 anni, dal 2023 al 2032, i cui risultati sono riportati in Figura 19.

Figura 19 – Previsione numerica e rappresentazione grafica al 2032

Per intervalli di confidenza al 95%,  $z(0,025) = 1,96$

	Cons_app	Previsione	Errore std	Intervallo al 95%
2012	25044,00	30090,75		
2013	25198,00	27069,78		
2014	25389,00	26885,19		
2015	27895,00	26733,30		
2016	27365,00	27859,68		
2017	28686,00	27402,90		
2018	28990,00	27946,70		
2019	29001,00	27952,88		
2020	23952,00	27697,05		
2021	30336,00	24891,61		
2022	28957,00	28155,18		
2023		27232,69	3126,208	21105,43 - 33359,94
2024		26129,78	3527,181	19216,63 - 33042,93
2025		25351,53	3628,947	18238,93 - 32464,14
2026		24742,92	3656,235	17576,83 - 31909,00
2027		24222,92	3663,648	17042,31 - 31403,54
2028		23749,24	3665,669	16564,66 - 30933,81
2029		23299,74	3666,221	16114,08 - 30488,40
2030		22862,88	3666,371	15676,93 - 30048,84
2031		22432,63	3666,412	15246,59 - 29618,67
2032		22005,83	3666,423	14819,77 - 29191,89



Il modello di previsione fornisce:

- Una stima centrale dei valori più probabili che assumerà il consumo apparente di prodotti siderurgici in Italia;
- L'intervallo di confidenza al 95%.

## 2.4 Conclusioni

Sulla base dei dati storici, l'analisi econometrica basata sul miglior modello disponibile suggerisce:

- Un trend di riduzione del consumo apparente che potrebbe in 10 anni ridursi a 22 Mton.
- La notevole variabilità dei dati che, come abbiamo visto, hanno subito ben due momenti di rottura strutturale (crisi finanziaria del 2008-9 e pandemia

del 2020), contengono molti elementi di incertezza e pertanto individuano un intervallo di confidenza molto elevato per ognuno dei valori centrali individuati. Volendo essere molto certi della previsione (margine di errore limitato al 5%), l'intervallo di confidenza al 2032 è delimitato da un minimo di 15 Mton ed un massimo di 29 Mton, un margine piuttosto ampio.

## 3. CRITICITÀ E OPPORTUNITÀ LUNGO LA FILIERA DELL'ACCIAIO

### HIGHLIGHTS

L'Italia è un importatore netto di materie prime (minerali di ferro, minerali di manganese, rottami di acciaio, rottame di ghisa, ferroleghe e semilavorati e lingotti);

L'Italia è un importatore netto di prodotti piani;

L'Italia è un esportatore netto di prodotti lunghi e "altri prodotti".

Le criticità riguardano in particolare le prime fasi della filiera dell'acciaio, dove è necessario ricorrere alle importazioni dall'estero.

Il maggiore valore economico dei prodotti venduti ha più che compensato il valore economico delle materie prime e prodotti importati

Risulta però negativo il saldo commerciale in valore nel 2022, mettendo in risalto le difficoltà competitive del settore, fortemente legato ai prezzi dell'energia e delle materie prime

Recuperare una maggiore indipendenza da questi fattori, quindi, gioverebbe al settore dell'acciaio ed alla stabilità dell'economia italiana.

Per individuare le criticità e le opportunità lungo la filiera dell'acciaio, verranno analizzati i dati del commercio internazionale delle materie prime, dei semilavorati e dei prodotti finiti. Verrà analizzato il quadro internazionale, mondiale ed europeo, per poi cogliere le specificità del

contesto italiano.

La descrizione è stata suddivisa in due parti: la prima riguardante i dati quantitativi (Mton) e la seconda in valori economici, in cui sono stati introdotti i prezzi di mercato dei materiali coinvolti.

### 3.1 Analisi dei dati quantitativi (Mton)

L'analisi quantitativa si focalizza principalmente sull'individuazione delle materie prime necessarie alla produzione di acciaio e sulla loro provenienza, al fine di identificare potenziali criticità.



## 3.1.1 Esportazione, importazione e consumo apparente di minerali ferrosi

L'Italia è un importatore di minerali ferrosi. A livello mondiale, il più grande produttore di minerali ferrosi è di gran lunga l'Australia, seguito dal Brasile, India e Russia & Other CIS + Ukraine. La produzione europea di minerali ferrosi è minima, con l'eccezione della Svezia. L'Olanda è un importante

intermediario di minerali ferrosi. L'importatore maggiore è la Germania, mentre l'Italia ha importato nel 2021 solo 5,9 milioni di tonnellate, similmente al Belgio e poco di più dell'Austria. Ovviamente ciò è da mettere in relazione alla limitata produzione di acciaio grezzo per via primaria in Italia.

Tabella 11 – Esportazione, importazione e consumo apparente di minerali ferrosi nel 2021

Paese	Produzione	Esportazione	Importazione	Consumo apparente <sup>1</sup>
Austria	3	0	4,5	7,5
Belgio-Lussemburgo	0	0	5,8	5,8
Repubblica Ceca	0	0	6	6
Francia	0	0,1	13,9	13,8
Germania	0,3	1,4	40,2	39
Italia	0	0	5,9	5,9
Olanda	0	19,2	27,4	8,2
Polonia	0	0	5,7	5,7
Romania	0	0	3	3
Slovacchia	0	0,1	6,2	6,1
Spagna	0	0,1	5,7	5,5
Svezia	28,9	24	0	4,9
Altri EU (27)	0	0,2	4,7	4,6
Unione Europea (27)	32,2	45,1	129	116
Turchia	8,3	3,5	11,3	16
Regno Unito	0	0	8,1	8,1
Russia & CIS + Ucraina	229,3	75,5	9,6	163,5
Canada	57,5	53,8	8,3	12
Messico	29,7	2,8	2,6	29,5
Stati Uniti	48,7	14,5	5,4	39,6
Brasile	399,3	359,1	0,3	40,5
Africa	101,2	88,2	12,9	25,9
Medio Oriente	55,7	13,7	30,2	72,2
Cina	266	23,3	1.125,6	1.368,3
India	249,3	35,8	5,5	219
Giappone	0	0	113,1	113,1
Corea del Sud	0,2	0,3	74,2	74,1
Australia	922,2	876,6	0,9	46,5
Mondo	2.476,9	1.658,1	1.641,7	2.460,4
Asia	35,2	37,5	34,4	39,5
Mondo	107,5	111,8	106,3	119,3

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

<sup>1</sup>Consumo apparente = produzione – esportazioni + importazioni

## 3.1.2 Esportazione, importazione e consumo apparente di rottame ferroso

L'Italia è un importatore di rottame ferroso. Su un totale di quasi 100 Mton di esportazioni o importazioni di rottame ferroso, l'Europa ne esporta 43,5 e importa 31,8, risultando dunque un esportatore netto. Molto di questo

rottame ha come destinazione la Turchia, che è di gran lunga il principale importatore di rottame ferroso. La Cina commercia in misura limitata materiale ferroso, sia in entrata che in uscita, essendo quindi autosufficiente.

Tabella 12 – Esportazione e importazione di rottame ferrosi nel 2022

Paese	Esportazioni	Importazioni
	2022	2022
Austria	1,2	1,1
Belgio	3,9	4,5
Bulgaria	0,5	0,2
Repubblica Ceca	2,2	0,5
Finlandia	0,6	0,2
Francia	6,3	1,4
Germania	7,2	4,2
Grecia	0,2	0,9
Italia	0,8	5,2
Olanda	6,7	3,8
Polonia	2,2	0,8
Slovacchia	0,9	0,2
Spagna	0,9	3
Svezia	1,4	0,2
Unione Europea (27)	43,5	31,8
Turchia	0,2	21,1
Russia & CIS + Ucraina	1,4	0,1
Canada	4,7	1,1
Stati Uniti	17,5	4,7
Brasile	0,4	0
Africa	1,8	0,9
Medio Oriente	3,6	0,6
Cina	0	0,6
Giappone	6,3	0,1
Corea del Sud	0,3	4,7
Oceania	2,4	0,2
Mondo	98,6	96
Indonesia	0,2	0,1
Malesia	0,7	0,6
Asia	35,2	37,5
Mondo	107,5	111,8

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

In questo quadro internazionale, l'Italia è un rilevante importatore netto, pari nel 2022 a 5,2 Mton. Tale esigenza è da porsi in relazione con l'uso prevalente della tecnologia del forno elettrico per la produzione dell'acciaio che è stato descritto nelle sezioni precedenti. Pur essendo il volume delle importazioni consistente, per un paese come l'Italia non sembra ci sia un problema di carenza di rottame. Potrebbe invece presentarsi un problema di costi, che andrebbero ad incidere sulla competitività dei manufatti a base di acciaio prodotti in Italia.

Per valutare questo aspetto possiamo ricorrere all'osservazione sui prezzi quotati sul mercato LME (London Metal Exchange) Steel Scrap CFR Turkey (Platts), riportati in Figura 20. Il London Metal Exchange o LME è la borsa dei metalli non ferrosi più importante del mondo. La scadenza media dei futures contrattati quotidianamente è a 3 mesi, anche se vengono stabiliti anche contratti più a lungo termine come anche sul pronto. Ad oggi è considerato il punto di riferimento mondiale del proprio mercato.

Figura 20 – Andamento dei prezzi quotati sul mercato LME Steel Scrap CFR Turkey (Platts) (a 1 mese)



I prezzi hanno avuto una impennata a febbraio 2022, in coincidenza con l'invasione dell'Ucraina, per poi tornare a valori più stabili attorno ai 420 \$/ton.

La dipendenza dall'importazione dei rottami si può ritenere, quindi, gestibile in condizioni normali ma preoccupante in presenza di shock sui mercati internazionali.

### 3.1.3 Esportazione, importazione e consumo apparente di ghisa

Il commercio della ghisa rappresenta una quantità limitata rispetto alla quantità prodotta (Tabella 13). A livello mondiale tale quantità è pari a meno dell'1%. In Italia,

invece, nuovamente a causa della scarsa produzione di acciaio primario, dei circa su 4,9 Mton di ghisa consumata (consumo apparente), 1,4 Mton sono importate

Tabella 13 – Esportazione, importazione e consumo apparente di ghisa

Paese	Produzione 2022 [Mton]	Esportazioni [Mton]	Importazioni [Mton]	Consumo apparente [Mton]
Austria	5,8	0	0	5,8
Belgio-Lussemburgo	4,3 (e)	0,1	0,1	4,3
Rep. Ceca	3,4	0	0,1	3,4
Finlandia	1,9	0	0	1,9
Francia	8,2	0,1	0,1	8,2
Germania	23,7	0,2	0,4	24
Ungheria	0,5	0	0	0,5
Italia	3,5	0	1,4	4,9
Olanda	5,5	0,5	0,7	5,7
Polonia	3,1	0,1	0,2	3,2
Romania	1,5	0	0	1,5
Spagna	3,4	0	0,3	3,7
Svezia	2,8	0	0	2,9
Unione Europea (27)	70,7	1	3,5	73,1
Turchia	9,1	0	1,6	10,7
Russia & CIS	60,9	5	0	55,9
Canada	5,7 (e)	0,2	0	5,6
Messico	2,5	0	0,2	2,6
Stati Uniti	21,0 (e)	0	4,6	25,6
Brasile	26,8	3,7	0	23,1
Africa	2,7	0,7	0	2,1
Cina	863,8	0,2	1,1	864,7
India	79,9	0,6	0,1	79,4
Giappone	64,1	0,1	0,1	64,2
Corea del Sud	42,2	0,1	0,2	42,3
Asia	1.085,6	1,2	2,1	1.086,4
Australia	3,7	0	0	3,7
Mondo	1.301,3	12,4	12,5	1.301,4
Asia	35,2	37,5	34,4	39,5
Mondo	107,5	111,8	106,3	119,3

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

Anche nel caso della ghisa, dunque, l'Italia è un importatore netto, ma le quantità in gioco non sono considerevoli.

## 3.1.4 I maggiori paesi esportatori e importatori di acciaio

In termini assoluti, la Cina è di gran lunga il maggiore esportatore di acciaio. L'Italia con 16 Mton occupa l'8° posto. Si deve tener conto che il dato per i paesi europei comprende le esportazioni anche tra paesi europei. Per-

tanto si osserva che una buona parte dell'acciaio italiano è esportato in altri paesi presumibilmente geograficamente vicini. Si noti però che l'Italia figura anche come il 4° paese per quantità importate di acciaio, pari a 20 Mton.

Tabella 14 – I maggiori esportatori e importatori di acciaio nel 2022

Rank	Esportazioni	Mton	Rank	Importazioni	Mton
1	Cina	68,1	1	Unione Europea (27) <sup>1</sup>	48,1
2	Giappone	31,7	2	Stati Uniti	28,9
3	Unione Europea (27) <sup>1</sup>	26	3	Germania <sup>2</sup>	21
4	Corea del Sud	25,5	4	Italia <sup>2</sup>	20,2
5	Germania <sup>2</sup>	22,3	5	Turchia	17,4
6	Turchia	18	6	Cina	17,1
7	Russia	17,9	7	Corea del Sud	13,7
8	Italia <sup>2</sup>	16	8	Tailandia	13,4
9	Belgio <sup>2</sup>	14,7	9	Belgio <sup>2</sup>	12,5
10	Brasile	12,1	10	Polonia <sup>2</sup>	12
11	India	12,1	11	Francia <sup>2</sup>	12
12	Francia <sup>2</sup>	11,5	12	Vietnam	11,5
13	Taiwan, Cina	9,9	13	Indonesia	11,2
14	Olanda <sup>2</sup>	9,4	14	Messico	10,9
15	Indonesia	9,2	15	Olanda <sup>2</sup>	10,3
16	Spagna <sup>2</sup>	8,4	16	Spagna <sup>2</sup>	9,8
17	Stati Uniti	8,3	17	Canada	9,4
18	Vietnam	7,4	18	Filippine	7,6
19	Malesia	7,1	19	Taiwan	7,1
20	Austria <sup>2</sup>	6,8	20	Rep. Ceca <sup>2</sup>	7

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

<sup>1</sup> Esclusi gli scambi fra stati membri

<sup>2</sup> I dati relativi ai singoli paesi europei includono gli scambi all'interno dell'UE

Tabella 15 – I maggiori esportatori e importatori netti di acciaio nel 2022

Rank	Esportazioni nette	Mton	Rank	Importazioni nette	Mton
1	Cina	51,1	1	Unione Europea (27) <sup>1</sup>	22
2	Giappone	26,4	2	Stati Uniti	20,6
3	Russia	16,6	3	Tailandia	11,6
4	Corea del Sud	11,8	4	Filippine	7,5
5	Brasile	8,8	5	Polonia <sup>1</sup>	6,8
6	Oman	5,4	6	Messico	4,3
7	India	5,2	7	Italia <sup>1</sup>	4,2
8	Ucraina	4,1	8	Vietnam	4,1
9	Taiwan	2,8	9	Arabia Saudita	3,8
10	Austria <sup>1</sup>	2,6	10	Canada	2,8
11	Belgio <sup>1</sup>	2,2	11	Israele	2,7
12	Lussemburgo <sup>1</sup>	1,6	12	Pakistan	2,6
13	Malesia	1,4	13	Rep. Ceca <sup>1</sup>	2,5
14	Kazakhstan	1,3	14	Colombia	2,5
15	Germania <sup>1</sup>	1,3	15	Bangladesh	2,4

Fonte: worldsteel association (<https://worldsteel.org>)

<sup>1</sup> I dati relativi ai singoli paesi europei includono gli scambi all'interno dell'UE

La Tabella 15 riordina i paesi a seconda che siano esportatori o importatori netti di acciaio. Il maggior paese esportatore netto di acciaio è la Cina, seguita dal Giappone e dalla Russia. Alcuni paesi europei sono in coda, poiché l'Unione Europea considerata a 27 paesi è il maggior importatore netto, seguito dagli Stati Uniti e dalla

Tailandia. Il maggior importatore netto di acciaio tra i paesi europei è la Polonia, mentre nel 2022 l'Italia segue al 7° posto con 4,2 Mton.

Complessivamente, quindi, l'Italia è un importatore netto anche di acciaio, nonostante si possa affermare che la dipendenza dall'estero sia abbastanza contenuta.

### 3.1.5 Saldo commerciale di prodotti finiti in Europa

Prima di focalizzarsi sui dati italiani, è stato esaminato il contesto europeo. Il rapporto Eurofer<sup>6</sup> riporta in due grafici l'andamento del saldo commerciale di prodotti finiti in acciaio (Figura 21) e di acciaio inossidabile (Figura 22).

Figura 21 – Evoluzione del saldo commerciale di prodotti finiti in acciaio

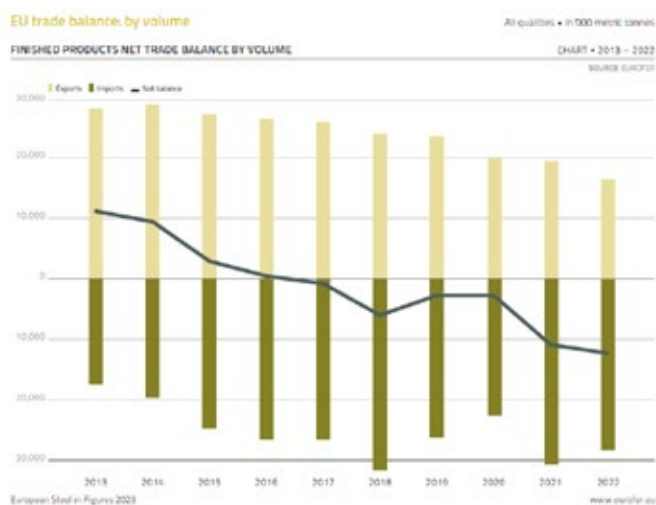


Figura 22 – Evoluzione del saldo commerciale di acciaio inossidabile



Fonte: The European Steel Association- Eurofer (<https://www.eurofer.eu>)

Come evidenziato precedentemente, si può osservare come l'Europa, sia per i prodotti finiti che per i prodotti in acciaio inossidabile, sia passata da esportatore netto fino al 2016 a importatore netto.



## 3.1.6 Esportazione, importazione e saldi commerciali di prodotti siderurgici in Italia

Come si può vedere dalle Figura 23, 24 e 25, l'Italia è stata prevalentemente un importatore netto di prodotti siderurgici. Fa eccezione il periodo post crisi finanziaria del 2008-09, in cui la domanda, in particolare nel settore

delle costruzioni, aveva subito un netto rallentamento. Dal 2009 al 2014, infatti, la produzione nazionale era superiore al consumo apparente, rendendo quindi possibile l'esportazione di prodotti siderurgici.

Figura 23 – Evoluzione delle importazioni italiane di prodotti siderurgici

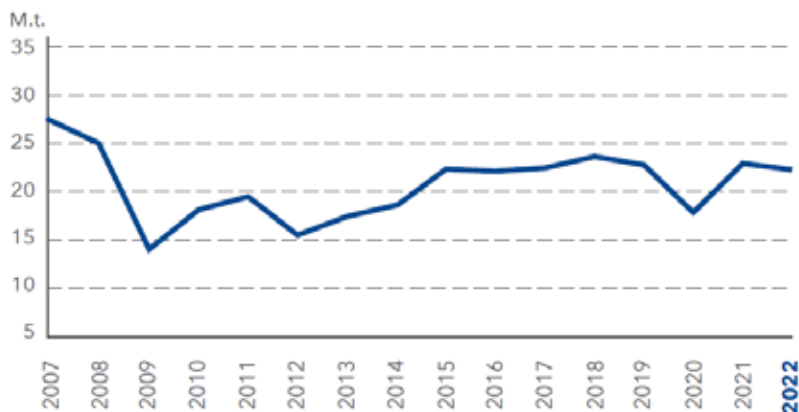
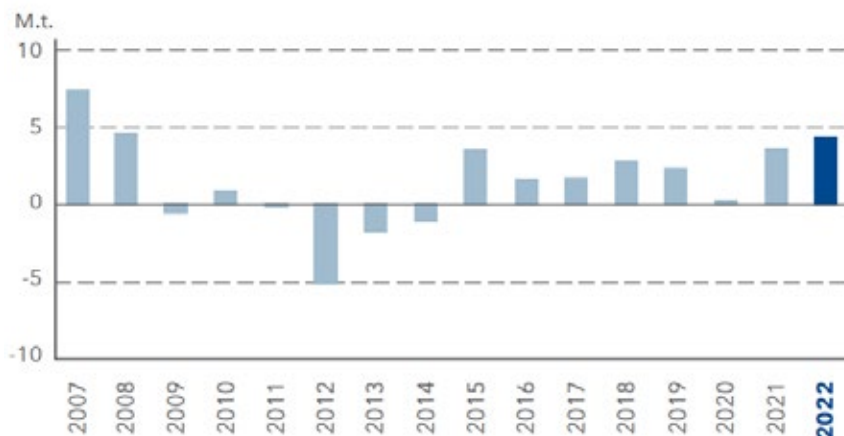


Figura 24 – Evoluzione delle esportazioni italiane di prodotti siderurgici



Figura 25 – Evoluzione delle importazioni nette italiane di prodotti siderurgici



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

## 3.1.7 Dettaglio sui saldi italiani nel periodo 2020-2022

Questo paragrafo consente di passare dai dati aggregati sui prodotti siderurgici ai dati disaggregati, comprendendo quindi meglio le caratteristiche della filiera produttiva siderurgica italiana.

I dati italiani riportati da Federacciai per gli anni 2021<sup>7</sup> e

2022<sup>4</sup> confermano che l'Italia è un importatore netto in termini di quantità di materie prime, vale a dire minerali di ferro, minerali di manganese, rottami di acciaio, rottame di ghisa, ma anche di ferroleghie e semilavorati e lingotti (Tabella 16).

Tabella 16 – Saldi materie prime, ferroleghie, semilavorati e lingotti (migliaia di tonnellate)

	2020	2021	2022
	[kton]	[kton]	[kton]
<b>Materie prime</b>	-9.810	-11.780	-9.479
<b>Minerale di ferro</b>	-5.338	-5.852	-5.081
<b>Minerale di manganese</b>	-4	-15	-5
<b>Rottame di acciaio</b>	-4.376	-5.798	-4.295
<b>Rottame di ghisa</b>	-92	-115	-98
<b>Ferroleghie</b>	-335	-471	-352
<b>Semilavorati e lingotti</b>	-2.815	-3.441	-3.162

Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

L'Italia è invece un esportatore netto di prodotti lunghi, ma un importatore netto di prodotti piani (Tabella 17). Sempre in termini di quantità, le maggior importazioni sono di coils e di lamiere a freddo.

Tabella 17 – Saldi commerciali dei prodotti lunghi e piani (migliaia di tonnellate)

	2020	2021	2022
	[kton]	[kton]	[kton]
<b>Prodotti lunghi</b>	2.546	2.450	1.862
<b>Travi</b>	70	83	-35
<b>Palancole</b>	-22	-24	-24
<b>Laminati mercantili</b>	684	766	636
<b>Tondo per cemento armato</b>	1.364	1.331	968
<b>Vergella</b>	479	364	375
<b>Rotaie e armamento</b>	-29	-70	-58
<b>Prodotti piani</b>	-4.409	-6.711	-7.267
<b>Lamiere a caldo e larghi piatti</b>	869	1.066	1.107
<b>Nastri a caldo &lt;600 mm</b>	153	147	127
<b>Coils</b>	-4.316	-6.374	-5.837
<b>Lamiere a freddo</b>	-651	-783	-1.069
<b>Banda nera</b>	-7	-8	-15
<b>Lamierini magnetici</b>	-493	-571	-715
<b>Banda e lamiere stagnate e cromate</b>	-710	-633	-804
<b>Lamiere zincate</b>	401	138	-241
<b>Lamiere elettrozincate</b>	-19	-8	-33
<b>Lamiere a rivestimento organico</b>	419	357	297
<b>Lamiere con altri rivestimenti metallici</b>	-55	-42	-84
<b>Totale</b>	-1.863	-4.261	-5.405

Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

L'Italia è un esportatore netto di altri prodotti (Tabella 18). I saldi maggiori in termini di quantità sono di “tubi saldati” e “barre e profilati, trafilati a freddo”. Si noti che

solo in pochi casi i saldi sono negativi nella categoria “altri prodotti”. Ciò testimonia che l'Italia è specializzata nella parte bassa della filiera produttiva dei prodotti in acciaio.

Tabella 18 – Saldi commerciali di altri (migliaia di tonnellate)

	2020	2021	2022
	[kton]	[kton]	[kton]
<b>Altri prodotti</b>			
<b>Tubi senza saldatura</b>	86	-24	163
<b>Tubi saldati</b>	2.217	2.217	2.207
<b>Semilavorati fucinati</b>	15	19	16
<b>Fucinati in barre</b>	-20	-8	-27
<b>Barre e profilati, trafilati a freddo</b>	590	784	680
<b>Filo</b>	652	724	776
<b>Nastro a freddo &lt;600 mm</b>	248	285	227
<b>Profilati per armature miniere e materiale per impalcature</b>	53	18	-29
<b>Accessori per tubi</b>	78	77	69
<b>Graniglie</b>	-37	-45	-42
<b>Polveri</b>	-40	-51	-47
<b>Flange</b>	84	75	70
<b>Bulloni e viti</b>	152	154	116
<b>Catene</b>	0	0	-2
<b>Ancore e ancorotti</b>	-1	0	-1
<b>Cavi, corde e trefoli</b>	41	26	40
<b>Molle</b>	1	0	-5
<b>Punte e chiodi</b>	-10	-10	-21
<b>Corde spin., tele, griglie e reti</b>	446	455	390
<b>Lavori di filo di ferro o acciaio</b>	246	201	165
<b>Assi, ruote e loro parti</b>	89	76	61
<b>Getti</b>	-12	-4	-7
<b>Altri fucinati e stampati</b>	298	391	359
<b>Totale</b>	5.176	5.360	5.158

Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

## 3.2 Analisi dei dati in valori economici

Fino ad ora sono stati esaminati i dati sulla produzione e sul commercio estero espressi in quantità (Mton). Dal punto di vista del sistema economico ed industriale è forse più impor-

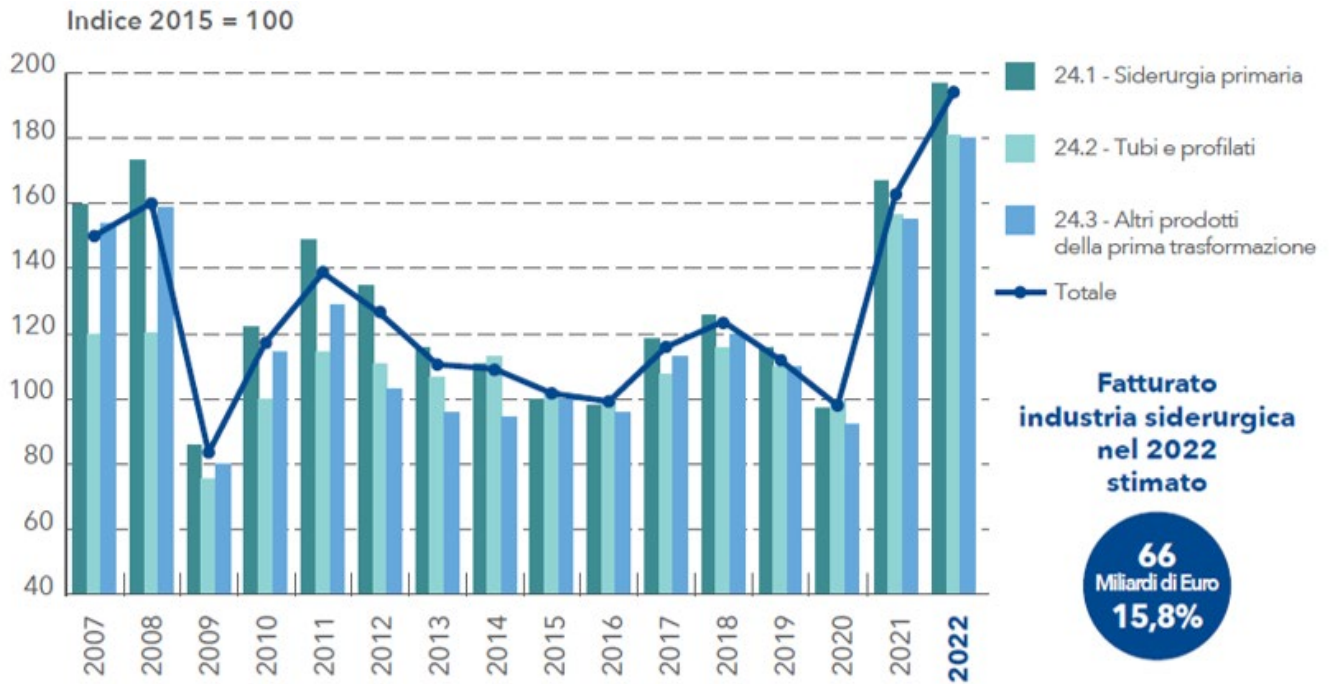
tante esaminare l'andamento in termini di valore economico, determinato dal prezzo per la quantità. Prendiamo in considerazione il fatturato del settore ed i saldi commerciali.

## 3.2.1 Il fatturato dell'industria siderurgica

Come emerge dai dati di Federacciai8 (Figura 26), grazie alla spinta della domanda estera e interna, secondo gli indici ISTAT il fatturato dell'industria siderurgica nel 2022 ha raggiunto circa 66 miliardi di euro (B€), in crescita del 15,8% rispetto al 2021 in tutti i tre segmenti considerati (siderurgia primaria, tubi e profilati, altri prodotti della prima trasfor-

mazione), raggiungendo livelli mai toccati prima (superiori a quelli prima della crisi finanziaria del 2008). In presenza di un contenimento medio delle quantità, come descritto precedentemente, ciò è ascrivibile ad una dinamica in aumento dei prezzi e/o alla riconfigurazione del settore verso tipologia di produzione a più alto valore economico.

Figura 26 – Evoluzione del fatturato dell'industria siderurgica



Fonte: Federacciai (<https://federacciai.it>)

## 3.2.2 Saldi commerciali

Indicazioni interessanti si derivano anche dall'osservazione dei dati sugli scambi commerciali in valore e in quantità pubblicati dall'Istituto per il commercio estero9 (Tabella 19).

Tabella 19 – Scambi con l'estero di merci per settori: valori 2021 e 2022 (M€)

	2021			2022		
	Export	Import	Saldo	Export	Import	Saldo
	[M€]	[M€]	[M€]	[M€]	[M€]	[M€]
<b>Metalli di base e prodotti in metallo, esclusi macchine e impianti</b>	61.847	58.783	3.064	73.453	74.526	-1.073
<b>Prodotti della metallurgia</b>	39.715	48.330	-8.615	47.632	61.293	-13.661
<b>Prodotti in metallo</b>	22.132	10.453	11.679	25.821	13.233	12.588

Fonte: Istituto per il Commercio Estero – ICE (<https://www.ice.it/it>)

Si può osservare come in termini di peso le importazioni raggruppate nel settore “Metalli di base e prodotti in metallo, esclusi macchine e impianti” siano in peso superiori alle esportazioni, ma in valore inferiori sia nel 2020 che nel 2021. L’Italia presenta quindi in questo settore un saldo commerciale positivo. Nel settore sono incluse due componenti: i “Prodotti della metallurgia” ed i “Prodotti in metallo”. Nei primi l’Italia è importatore netto, mentre nei secondi, molto inferiori in termini di peso ma superiori in termini di valore economico, l’Italia è esportatore

netto. Nel 2022, il quadro è meno positivo, poiché il saldo commerciale risulta negativo. Rispetto al 2021, è aumentato il valore sia delle importazioni di “Prodotti della metallurgia”, che delle esportazioni di “Prodotti in metallo”. Questa volta però il primo prevale sui secondi. Verosimilmente, l’aumento dei prezzi di prodotti di base, dovute alle crisi internazionali ed alla dinamica della domanda, è stato più elevato di quello dei prodotti finiti sui quali l’Italia è specializzata. Il quadro complessivo presenta quindi, come spesso avviene, caratteristiche di luci e ombre.

### 3.3 Riassunto delle principali criticità

In termini di quantità fisica, l’Italia è:

- un importatore netto di materie prime (minerali di ferro, minerali di manganese, rottami di acciaio, rottame di ghisa, ferroleghie e semilavorati e lingotti);
- un importatore netto di prodotti piani;
- un esportatore netto di prodotti lunghi e “altri prodotti”.

Le criticità quindi riguardano in particolare le prime fasi della filiera dell’acciaio. Essendo poco specializzata su questa fase della filiera deve ricorrere alle importazioni dall’estero, mentre la specializzazione nelle fasi successive consente alle imprese italiane di esportare alcuni tipi di prodotti finiti (prodotti lunghi e quelli classificati come “altri prodotti”). In termini di valore economico, il fatturato del settore dell’acciaio è nel 2022 decisamente aumentato rispetto agli anni

della crisi pandemica. Il saldo commerciale del settore “Metalli di base e prodotti in metallo, esclusi macchine e impianti”, che contiene anche l’acciaio è stato positivo nel 2021. Il maggiore valore economico dei prodotti venduti ha più che compensato il valore economico delle materie prime e prodotti importati. Risulta però negativo il saldo commerciale in valore nel 2022, mettendo in risalto le difficoltà competitive del settore. Come è noto il 2022 è stato l’anno dello shock sui prezzi dell’energia e delle materie prime connesso all’invasione russa dell’Ucraina che ha visto i settori ad elevata intensità energetica fortemente sofferenti a causa dei forti rialzi nei prezzi. Recuperare una maggiore indipendenza da questi shock, quindi, gioverebbe al settore dell’acciaio ed alla stabilità dell’economia italiana.

# 4. LA DECARBONIZZAZIONE DEL SETTORE SIDERURGICO IN EUROPA

## HIGHLIGHTS

Tra le misure di tipo strategico adottate dalla Commissione Europea le più rilevanti sono: la Tassonomia, il Fit for 55, la Strategia per l'idrogeno, l'economia circolare, la gestione dei rifiuti, e il progetto ODYSSEE.

La Commissione Europea ha adottato anche misure di tipo economico: il meccanismo CBAM, l'emission trading system (ETS) e i Carbon Contracts for Difference (CCfDs)

EUROFER ha dato origine a diverse iniziative, tra cui: la Clean Steel Partnership, in cui si è messa in evidenza l'importanza delle nuove tecnologie digitali nell'ottimizzazione dei processi e nella gestione delle risorse materie prime ed energia, ed il progetto ESSA che sta creando una mappa delle competenze necessarie per i lavoratori del settore siderurgico, in modo da poter sviluppare percorsi di formazione e di aggiornamento professionale adeguati alle esigenze del mercato del lavoro.

L'industria siderurgica italiana nell'ambito di EUROFER ha focalizzato la sua attenzione all'inclusione di tematiche legate alla tecnologia del forno ad arco elettrico ed alla valorizzazione del rottame ferroso, in linea con la diffusione di questa tecnologia in Italia.

Anche Federacciai ha prodotto diversi report, tra cui i più rilevanti sono la strategia per la decarbonizzazione dei settori *hard-to-abate* ed il Rapporto di Sostenibilità 2021 dal quale si può dedurre che le tecnologie produttive dell'acciaio attuali stiano raggiungendo i limiti intrinseci di miglioramento per quanto riguarda le emissioni dirette di processo

Le misure di mitigazione delle emissioni proposte dalla Commissione Europea e dalle associazioni di categoria europea ed italiana vengono riassunte in questo capitolo. Maggiori informazioni sono reperibili nell'Appendice B, allegata al presente report.

## 4.1 Iniziative della Commissione Europea

Le iniziative della Commissione Europea in merito di decarbonizzazione si possono suddividere in misure di carattere strategico e di carattere economico. Le prime comprendono:

- **Tassonomia:**<sup>10</sup> tramite la tassonomia, la Commissione identifica in maniera univoca i criteri armonizzati di sostenibilità ambientale (sebbene ci siano ancora dibattiti in merito all'inclusione di gas naturale e nucleare), in modo da orientare le scelte di investimento degli stakeholder del mercato finanziario;
- **Fit for 55:**<sup>11</sup> Il pacchetto Fit for 55 contiene una serie di proposte legislative che riguardano la mitigazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> di diversi settori industriali, al fine di ridurle del 55% entro il 2030 e di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050;
- **EU Hydrogen Strategy:**<sup>12</sup> la EU Hydrogen Strategy prevede l'installazione di 40 GW di elettrolizzatori che producano idrogeno verde entro il 2030, con una potenzialità totale di 10 Mt H<sub>2</sub> da fonti rinnovabili, al fine di impiegarli anche nell'industria siderurgica;
- **Economia Circolare:**<sup>13</sup> la Circular Economy Action Plan (CEAP), promuove i prodotti che sono caratterizzati da un alto tasso di circolarità delle materie prime;
- **Gestione dei rifiuti:**<sup>14</sup> l'obiettivo principale di questa misura è di aumentare il riutilizzo e il riciclaggio dei materiali secondari all'interno dell'UE;
- **Progetto ODYSSEE:**<sup>15</sup> ha lo scopo di monitorare e analizzare i dati sull'efficienza energetica e sulle politiche energetiche dei Paesi europei.

- **Net-Zero Industry Act (NZIA):**<sup>16</sup> ha l'obiettivo di contribuire a rafforzare la capacità manifatturiera europea di tecnologie a zero emissioni nette e di superare gli ostacoli dovuti all'aumento della capacità produttiva in Europa.
- **REPowerEU:**<sup>17</sup> si pone come obiettivo quello di diminuire i consumi energetici e produrre una quota di energia maggiore da fonti rinnovabili per svincolarsi dall'acquisto di gas naturale russo.

Le misure riguardanti gli aspetti economici dell'industria siderurgica europea includono:

- **Emission Trading System (ETS):** l'ETS si basa su un sistema di "cap and trade", ovvero uno scambio di quote di emissione di anidride carbonica, e prevede la fissazione ex ante di un limite annuale alle emissioni, decrescente nel tempo;
- **Meccanismo CBAM:** il Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) prevede che gli importatori di acciaio extra-UE debbano acquistare certificati CBAM (Certificati di Emissione) che riflettano l'intensità emissiva del prodotto importato;
- **Carbon Contracts for Difference (CCfDs):** i Carbon Contracts for Difference (CCfDs), o contratti per differenza, hanno lo scopo di proteggere dalla volatilità dei prezzi.

Le aziende siderurgiche italiane giudicano le proposte della Commissione Europea molto svantaggiose per il settore siderurgico e insufficienti per garantire il raggiungimento sostenibile degli obiettivi climatici per le imprese. Secondo Federacciai, affinché il settore, che è altamente concorrenziale a livello internazionale, possa mantenere la competitività durante il processo di transizione, è essenziale garantire le giuste condizioni per consentire agli investimenti necessari di essere messi in atto.<sup>18</sup> Tuttavia, non specificano quali siano queste giuste condizioni che permetterebbero una decarbonizzazione più agevole.

## 4.2 Iniziative delle associazioni di categoria

Le associazioni di categoria considerate in questo report includono Eurofer (associazione che racchiude i principali produttori siderurgici europei) e Federacciai (associazione di categoria delle industrie siderurgiche italiane).

### 4.2.1 Eurofer

Eurofer (European Steel Association) è l'associazione europea dell'industria siderurgica e rappresenta i produttori del 99% dell'acciaio dell'Unione Europea. In ambito di politiche di decarbonizzazione, ha creato la Clean Steel Partnership, che consiste in un programma europeo di partenariato (ESTEP/Commissione UE) a cui partecipano produttori, fornitori di tecnologie ed impianti, centri accademici e di ricerca, per individuare le tematiche di ricerca in siderurgia sostenibile da finanziare nel periodo 2021-2027. Inoltre, il progetto ESSA (European Steel Skills Agenda and Strategy) mira a individuare i profili professionali attualmente presenti nel settore, identificando le competenze curriculari e formative ritenute necessarie per il processo di decarbonizzazione e digitalizzazione della produzione siderurgica.

### 4.2.2 Federacciai

Federacciai è la Federazione dell'Industria Siderurgica Italiana, l'associazione nazionale che rappresenta le aziende siderurgiche italiane. L'associazione ha prodotto diversi documenti legati alla tematica della decarbonizzazione, che vengono brevemente presentati in seguito e più nel dettaglio nell'Appendice B:

- **Strategia per la decarbonizzazione dei settori Hard-to-Abate – Industrial Decarbonisation Pact:**<sup>19</sup> il rapporto fornisce linee guida settoriali per la transizione verso la neutralità, identificando le principali strategie per ridurre le emissioni di carbonio e le condizioni al contorno necessarie per raggiungere gli obiettivi stabiliti. Le strategie per raggiungere una decarbonizzazione rapidamente includono il miglioramento dell'efficienza energetica, la promozione dell'economia circolare e l'utilizzo di combustibili a minor impatto ambientale. Le strategie più innovative (come l'uso di idrogeno e biometano, la CCS e l'elettrificazione) non vengono giudicate pronte per l'implementazione nel breve periodo.
- **Rapporto di sostenibilità 2021<sup>3</sup> e 2023<sup>5</sup>:** i rapporti identificano le principali fonti emmissive delle tecnologie presenti sul suolo italiano (BF/BOF): produzione ed utilizzo del coke sia per riduzione che per riscaldamento; EAF: produzione di energia elettrica e fornitura di calore nei processi di fusione. Sommando le emissioni dirette ed indirette, il



rapporto calcola le emissioni totali attribuibili al settore siderurgico in circa 17,5 MtonCO<sub>2</sub> nel 2020 e in 16 MtonCO<sub>2</sub> nel 2022, pari a circa il 4,5% del totale delle emissioni di gas serra a livello nazionale. I report identificano un trend in diminuzione negli ultimi 30 anni, principalmente legato all'interruzione della produzione di acciaio da minerale presso due dei tre stabilimenti presenti in Italia, in favore della produzione tramite EAF, che ha un fattore emissivo più ridotto (inferiore di 1,4 tCO<sub>2</sub>eq/t di acciaio, considerando l'intero ciclo di vita del prodotto).<sup>20</sup> Sembra infatti che le tecnologie attualmente utilizzate abbiano raggiunto i limiti intrinseci di diminuzione delle emissioni e sia quindi necessario introdurre delle modifiche impiantistiche per migliorarle ulteriormente.

- Dal punto di vista dell'economia circolare, l'industria siderurgica italiana è sicuramente virtuosa, con un riutilizzo quasi totale del rottame presente sul mercato (17 Mton di rottame fuso nel 2020, 18,7 Mton nel 2022), l'utilizzo efficiente delle risorse naturali, la riduzione dei consumi energetici e idrici, la diminuzione della produzione di rifiuti e il riutilizzo dei sottoprodotti. La maggior parte dei rottami utilizzati nella produzione dell'acciaio in Italia proviene dalla raccolta nazionale, rappresentando circa due terzi del totale, mentre il restante terzo è costituito da rottami importati. Grazie alla grande diffusione della tecnologia EAF, l'Italia è già ampiamente in linea con l'obiettivo di raggiungere la circolarità dell'80% degli imballaggi in acciaio entro il 2030, come previsto dalle direttive europee sull'economia circolare. Visto l'alto valore aggiunto garantito dal riutilizzo del rottame, risulta di importanza strategica sia assicurare un approvvigionamento sicuro all'interno dell'UE (evitando di esportarlo o di disperderlo), che potenziare la ricerca focalizzata al miglioramento delle tecnologie di recupero. Per quanto riguarda i rifiuti, la più prodotta in Italia è la scoria nera, che corrisponde allo strato superiore del bagno di fusione del rottame ferroso all'interno della fornace

e viene riutilizzata principalmente come materiale aggregato e non-aggregato in applicazioni legate alle costruzioni. Gli altri rifiuti non vengono ancora riutilizzati in maniera efficiente, mentre le emissioni in aria hanno subito una generale diminuzione negli ultimi 30 anni. Anche l'utilizzo di acqua non sembra presentare particolari criticità, visto che viene principalmente utilizzata come fluido termovettore freddo e viene quindi restituita all'ambiente a valle del processo di produzione. Nel report del 2021 vengono trattati anche temi relativi alla transizione energetica, come il consumo di energia elettrica e gas naturale della tecnologia EAF che nel 2020 si sono attestati su 0,59 MWh e 71 m<sup>3</sup> per tonnellata di acciaio prodotto, rispettivamente. Inoltre, grazie al largo utilizzo della tecnologia EAF, il settore siderurgico italiano si posiziona nei primi posti fra le aziende più virtuose dal punto di vista dell'utilizzo dell'energia (0,18 toe/ton di acciaio) nel 2018. In relazione alle migliori tecnologie dal punto di vista della protezione ambientale attualmente disponibili, i riferimenti più recenti sono le Best Available Technologies (BAT) presenti nelle BRef (BAT Reference Document) relative ai processi di produzione di ferro ed acciaio<sup>21</sup> e alle lavorazioni successive.<sup>22</sup> Nel report si aggiunge che per raggiungere importanti traguardi nell'ambito della transizione energetica, l'industria siderurgica italiana dovrà, nel breve/medio termine, adottare strategie per migliorare le tecnologie esistenti e la gestione efficiente delle risorse energetiche, mentre nel medio/lungo periodo, dovrà affrontare impegnativi progetti di trasformazione dei processi produttivi. Le strategie evidenziate nel Rapporto di Sostenibilità 2023 riguardano accesso competitivo all'energia da fonti rinnovabili, promozione dell'economia circolare attraverso il riutilizzo del rottame, protezione del mercato europeo da concorrenza di acciaio non decarbonizzato, stanziamento di finanziamenti per il supporto della transizione, incentivazione della domanda di acciaio green e supporto alla ricerca nel settore siderurgico.

# 5. ANALISI DELLE TECNOLOGIE PIÙ PROMETTENTI PER LA DECARBONIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DI ACCIAIO PRIMARIO E DEL SECONDARIO IN ITALIA

## HIGHLIGHTS

La decarbonizzazione del settore siderurgico dev'essere uno sforzo congiunto di diversi stakeholder, ciascuno portatore dei propri interessi: le aziende siderurgiche, le organizzazioni sindacali, le ONG e le istituzioni pubbliche.

Le principali strategie di decarbonizzazione a breve termine (2023-2035) si concentrano sulla diminuzione dei consumi energetici, sull'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica e fonti bio-based per la produzione di calore.

La riduzione dei consumi energetici è un primo passo verso il miglioramento del settore e viene visto come un'azione correttiva virtuosa per tutti gli stakeholder: una diminuzione dei consumi energetici non solo aiuta a decarbonizzare la produzione di acciaio, ma anche riduce i costi relativi alla sua produzione, favorendo le aziende.

L'attuale installazione di impianti rinnovabili dedicati da parte delle aziende siderurgiche italiane non sembra lontanamente essere sufficiente a coprire i consumi del settore, e quindi sono poco credibili come azione di decarbonizzazione dell'intero settore. È quindi di fondamentale importanza una forte e determinata azione del governo per incentivare le tecnologie che permettano di decarbonizzare il mix energetico italiano, supportando gli investimenti volti all'installazione di impianti fotovoltaici ed eolici, sfavorendo la produzione di energia elettrica da fonti fossili.

Durante la fase di fusione del rottame è necessario apportare energia termica fornita dalla combustione di metano in combinazione con ossigeno puro: questo metano può essere sostituito da biogas, a patto che il potere calorifico di quest'ultimo non sia troppo inferiore a quello del gas naturale. L'utilizzo di biogas apporta un veloce miglioramento al bilancio del carbonio del processo, poiché sostituisce carbonio fossile con carbonio biogenico, ma l'approvvigionamento in quantità sufficiente è ancora un aspetto critico.

La cattura della CO<sub>2</sub> dev'essere considerata una soluzione transitoria, che abbia come unico scopo quello di mitigare le emissioni delle tecnologie esistenti che non possono essere convertite nel breve periodo. L'utilizzo della CO<sub>2</sub> a valle della cattura deve prevedere applicazioni durature che permettano un'effettiva diminuzione dell'anidride carbonica netta in atmosfera, e quindi l'insufflazione all'interno di pozzi petroliferi per stimolare l'uscita di combustibili fossili (EOR) deve essere evitata.

Nel lungo termine (2035-2050) tutte le azioni mitigatrici messe in atto per il breve termine devono essere accompagnate dallo sviluppo delle tecnologie di produzione carbon-free, fra le quali la più promettente appare la tecnologia DRI che utilizza idrogeno verde come agente riducente. È importante che venga monitorata la graduale conversione da riduzione diretta a base di gas naturale con cattura della CO<sub>2</sub>, a quella che utilizza biogas e idrogeno, la cui produzione dev'essere legata all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

I capitoli precedenti hanno fornito una panoramica della situazione attuale del settore siderurgico italiano, ipotizzando anche una possibile proiezione sulla domanda di acciaio futura e sulle criticità che dovranno essere affrontate. È necessario ora focalizzarsi sulle tecnologie disponibili per la decarbonizzazione, al fine di delineare dei percorsi da intraprendere nel breve, medio e lungo periodo. Le opzioni tecnologiche tradizionali ed innovative attualmente disponibili e descritte più nel dettaglio in Appendice A possono essere suddivise in due categorie: quelle incentrate sull'aumento dell'efficienza dei metodi di produzione attuali (Appendice A.2.1), comprese le opzioni di ottimizzazione energetica del sistema BF-BOF e/o il refitting degli impianti esistenti tramite la cattura della CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage/Utilisation - CCUS),

e quelle che sostituiscono completamente le tecnologie tradizionali di produzione dell'acciaio (Maggior utilizzo di EAF, DRI), come riportato nel dettaglio in Appendice A.2.2. La selezione delle tecnologie più promettenti è basata su diversi parametri,<sup>23</sup> tra i quali un valore di TRL (Technology Readiness Level) ≥ 6, che indica una tecnologia che si è dimostrata efficace dopo l'implementazione in un contesto industriale, un possibile ingresso sul mercato prima del 2030 (o la disponibilità attuale sul mercato) e un'efficacia potenzialmente elevata per raggiungere gli obiettivi del pacchetto Fit-for-55 per il 2030. Segue un breve elenco delle tecnologie descritte in Appendice A:

- A.1.1 Ciclo integrale (BF-BOF): produzione tradizionale da altoforno (BF) e convertitore (BOF)
- A.1.2 Ciclo a forno elettrico (EAF): produzione trami-

- te fusione di rottame in forno elettrico
- A.2.1.1 Near net shape casting: sostituzione di laminazione a caldo con calandratura diretta
- A.2.1.2 Top gas recycling (TGR-BF): riutilizzo di gas riducenti in uscita dal BF
- A.2.1.3 Iniezione diretta di polvere di carbone o gas naturale nel BF
- A.2.1.4: Smelting reduction process: produzione di pig iron tramite fusione diretta del ferro presente nel minerale
- A.2.1.5: Cattura, uso e stoccaggio dell'anidride carbonica (CCUS): assorbimento dell'anidride carbonica in uscita dai processi siderurgici per stoccarla nel sottosuolo o utilizzarla come materia prima in altri processi produttivi
- A.2.1.6: Biomass cofiring: utilizzo di biomassa o biogas per la fornitura di calore di processo
- A.2.2.1: Sostituzione di BF-BOF con EAF
- A.2.2.2: Direct Reduced Iron (DRI): utilizzo di un agente riducente (gas naturale o idrogeno) per la riduzione diretta del minerale per ottenere sponge iron da introdurre in EAF
- A.2.2.3: Raffinazione elettrolitica o elettrowinning (EW): separazione del ferro dal minerale tramite azione elettrolitica

La valutazione delle potenzialità delle diverse tecnologie si è basata sul report<sup>23</sup> pubblicato dal “Policy Department for Economic Scientific and Quality of Life Policies” per la Commissione Europea che ha considerato diversi aspetti, che includono:

- i **progetti** di successo (almeno in una fase dimostrativa) che attualmente utilizzano una tecnologia innovativa;
- un **Technology Readiness Level (TRL)** maggiore o uguale a 6 che indica una “Tecnologia dimostrata in ambiente (industrialmente) rilevante”;
- un possibile **anno** di ingresso sul mercato della tecnologia;
- il potenziale di abbattimento di gas serra (**GHG**) garantito dalla tecnologia;
- il **costo** indicativo previsto della tecnologia, in termini di CAPEX e OPEX;
- gli **Ostacoli** di natura **tecnica, finanziaria o regolatoria** da superare per la diffusione della tecnologia sul mercato.

La Tabella 20 riporta le principali caratteristiche dei processi innovativi analizzati e ne elenca i principali ostacoli alla diffusione.

Tabella 20 – Comparazione delle tecnologie innovative per la produzione di acciaio<sup>23</sup>

Near net shape casting	Castrip, Salzgitter, ARVEDI ESP	8-9	Attualmente disponibile	12%	CAPEX: ≤ 50 €/ton	Nessuno	Nessuno	Nessuno
Top gas recycling	ULCOS-BF, IGAR	7	2025	senza CCUS < 30%	CAPEX: ≤ 50 €/ton	Nessuno	Nessuno	Nessuno
Con CCUS < 65%	CAPEX: 80-110 €/ton senza CCUS,	7	2025	senza CCUS < 30%	***			
110-150 €/ton con CCUS	Necessità di ricerca e sviluppo per i sistemi di iniezione del gas nel BF, depurazione dei gas esausti (pulizia, separazione, compressione) e dimostrazioni industriali del progetto.	Il finanziamento è principalmente legato alla riduzione dei rischi di investimento	Disponibilità di biogas, elettricità da fonti rinnovabili o idrogeno verde all'occorrenza	Con CCUS < 65%	***			
Smelting in combinazione con CCS	HI sarna	5-6	2030 – 2035	<85%	CAPEX: €500 M€ (per un impianto da 1.15 Mton/anno, ad esclusione dell'impianto di O <sub>2</sub> , il cui costo si aggira intorno a 435 €/ton). L'investimento completo richiede 100-500 €/ton	Sono necessari ulteriori test su scala industriale	CAPEX molto elevati che richiedono fondi di finanziamento dedicati	Disponibilità insufficiente di infrastrutture per la cattura e lo stoccaggio della CO <sub>2</sub> , da integrare nel processo e ottenere elevate riduzioni delle emissioni
Cattura, utilizzo e stoccaggio della CO <sub>2</sub> (CCUS)	Carbon2Chem Steelanol	7-8	2025 – 2030	Con CCU < 63% e fino a 90%	Costo elevato per una tecnologia con TRL basso. La cattura della CO <sub>2</sub> aggiunge solo dei costi senza garantire guadagni	I siti di stoccaggio e le possibili vie di sintesi di sostanze chimiche dal valore aggiunto devono essere disponibili e affidabili	Sono necessari più canali di finanziamento (sia CAPEX che OPEX) poiché la tecnologia diventerà indispensabile nel breve termine. La cattura aggiunge solo costi al prodotto (al netto del risparmio sulle quote di emissioni), mentre l'utilizzo (conversione in altri prodotti vendibili) potrebbe aiutare a ripagare l'investimento	Richiede l'infrastruttura di trasporto di CO <sub>2</sub> ed il sito di stoccaggio. È possibile che venga utilizzata per attività di EOR, contrarie al principio generale di limitare l'uso di combustibili fossili

Near net shape casting	Castrip, Salzgitter, ARVEDI ESP	8-9	Attualmente disponibile	12%	CAPEX: ≤ 50 €/ton	Nessuno	Nessuno	Nessuno
<b>Sostituzione di BF con EAF</b>	La società siderurgica svedese SSAB ha annunciato l'intenzione di sostituire ca. 1,5 Mton di capacità di produzione di acciaio convenzionale a Oxeloesund con EAF entro il 2025	Tecnologia disponibile	Attualmente disponibile	63%-73%	Tecnologia disponibile	Gli EAF possono trattare solo rottami, ghisa da BF o "sponge iron" da DRI	Meno costoso del ciclo integrato	La disponibilità a lungo termine di rottami di acciaio di qualità potrebbe diventare critica. Inoltre mancano incentivi per il miglioramento della qualità dei materiali, l'ecodesign per il disassemblaggio e i regolamenti per lo smantellamento a fine vita di rifiuti dal settore edilizio e dai veicoli
<b>DRI utilizzando NG ed EAF</b>	ArcelorMittal, Hamburg	9	Attualmente disponibile	Before 2025	<66%	Il gas naturale è un'agente riducente provvisorio in previsione di sostituirlo con l'idrogeno	Costi legati al gas naturale	Aumento dell'approvvigionamento di gas naturale da parte dello Stato, con conseguente maggior dipendenza da altre economie
<b>DRI utilizzando idrogeno e EAF</b>	HYBRIT, GrINHy, H2Future, BLASTR, GravitHy, HYFOR, H2 Green Steel	7	2030-2035	87-97%	I costi operativi (OPEX) sono molto elevati a causa del consumo di elettricità elevato per il processo elettrolitico (sia per la produzione di idrogeno che per il DRI).	Il gas naturale è un'agente riducente provvisorio in previsione di sostituirlo con l'idrogeno	Costi legati al gas naturale	Aumento dell'approvvigionamento di gas naturale da parte dello Stato, con conseguente maggior dipendenza da altre economie
<b>CAPEX stimato: 100 – 500 €/ton, con OPEX variabile fra 490 a 590 €/ton</b>	Tecnologia già in uso	Costi elevati dell'idrogeno e degli elettrolizzatori (per DRI ed elettrolisi del ferro). I finanziamenti dovrebbero coprire sia i CAPEX che gli OPEX	La certificazione e la disponibilità di idrogeno e dell'elettricità da fonti rinnovabili è una criticità legata a queste tecnologie	60-74%	I costi operativi (OPEX) sono molto elevati a causa del consumo di elettricità elevato per il processo elettrolitico (sia per la produzione di idrogeno che per il DRI).			
<b>DRI utilizzando elettrolisi e EAF</b>	SuSteel, SALCOS, SIDERWIN, UL-COWIN	6	2040-2045	60-74%		Aumento del TRL per commercializzazione		
<b>Biomass cofiring</b>	SHOCOM, GREENEAF, ACASOS	fra 2 e 7, a seconda della biomassa considerata	2030	<42%, a seconda del tasso di sostituzione delle fonti fossili	I CAPEX per l'integrazione della pre-lavorazione della biomassa nelle acciaierie sono relativamente bassi, mentre l'OPEX dipende principalmente dal costo e la disponibilità di materia prima	Si deve ancora dimostrare l'integrazione efficace delle pre-lavorazioni delle biomasse (ad esempio, l'essiccazione) ed il miglioramento delle proprietà della biomassa attraverso test, ridimensionamento e ottimizzazione dei processi.	Costo e disponibilità continua di biomassa	Incertezza sul fatto che l'uso della biomassa per applicazioni industriali (combustibile alternativo o materiale sostitutivo) sarà promosso in futuro, il che probabilmente influisce sugli investimenti e sulle decisioni di ricerca in questa opzione tecnologica.

La decarbonizzazione del settore siderurgico dev'essere uno sforzo congiunto di diversi stakeholder, ciascuno portatore dei propri interessi:

- **Le ONG:** le Organizzazioni Non-Governative portano gli interessi della popolazione e della comunità scientifica all'attenzione delle istituzioni locali, regionali, nazionali e delle aziende. I principali interessi di queste organizzazioni sono focalizzati sulla protezione ambientale, sociale e della salute collettiva e quindi sono i principali promotori, assieme alla comunità scientifica, della decarbonizzazione del settore siderurgico. Solitamente portano all'attenzione collettiva studi, analisi e soluzioni elaborate internamente o con l'aiuto della comunità scientifica.
- **Le organizzazioni sindacali:** le organizzazioni sindacali portano gli interessi sia dei lavoratori impiegati a vario titolo nelle aziende afferenti al settore dell'acciaio, che dei cittadini residenti nelle vicinanze degli impianti di produzione. Le attività principali di queste organizzazioni sono focalizzate alla tutela dei diritti delle persone e alla protezione ambientale e quindi sono rilevanti per il processo della decarbonizzazione del settore siderurgico. In questo report, gli aspetti occupazionali legati alle varie tecnologie sono stati trattati legandoli a ciascuno scenario di decarbonizzazione. I sindacati, in parallelo alle loro attività e con l'appoggio delle ONG e le istituzioni locali nel quadro della loro visione della Just Transition, si preoccupano che l'introduzione di tecnologie innovative sia accompagnata da una ricollocazione degli addetti del settore, al fine di evitare l'insorgenza di criticità legate ad aspetti sociali.
- **Le aziende siderurgiche:** le aziende siderurgiche svolgono un ruolo importante, sia dal punto di vista economico che sociale, fornendo lavoro a migliaia di addetti impiegati direttamente nel settore (e a molti di più considerando l'indotto). È quindi di fondamentale importanza tenerlo in considerazione durante il processo di decarbonizzazione, al fine di individuare delle soluzioni sostenibili anche dal punto di vista economico, sul breve e sul lungo periodo. Gli interessi delle aziende sono solitamente focalizzati sulla necessità di non interrompere il processo produttivo, di non dover sostituire apparecchiature che non hanno raggiunto la fine della loro vita operativa, di non dover sostenere costi eccessivi per le proprie emissioni e di non investire in tecnologie che non possano assicurare una produzione continua in futuro.
- **Le istituzioni pubbliche:** le personalità politiche hanno il ruolo di programmazione, nonché di coniugare i diversi interessi generali e particolari in base a una visione generale, sistemica e integrata. Tramite le norme e le leggi che promulgano, sia a livello europeo che italiano, sono in grado di promuovere l'effettivo cambiamento del settore.

Definite le parti in gioco e alla luce delle informazioni riportate in Tabella 20, possono essere individuate diverse strategie di decarbonizzazione, che variano a seconda della scala temporale considerata.

## 5.1 Strategie di decarbonizzazione a breve termine (2023-2035)

Le difficoltà legate alla decarbonizzazione nel breve periodo sono legate principalmente ai seguenti fattori, raggruppati secondo diversi punti di vista:

- **Per le ONG e le organizzazioni sindacali:** I costi relativi alle emissioni di CO<sub>2</sub> non sono ancora così elevati da giustificare grossi investimenti aziendali per diminuirle. La definizione delle migliori tecnologie per la decarbonizzazione non è ancora consolidata e condivisa nel settore, sebbene gli investimenti e i progetti recenti focalizzati sulla tecnologia DRI siano indicativi dell'andamento futuro.
- **Per le aziende siderurgiche:** dal punto di vista economico, è sfavorevole interrompere l'attività dei forni attualmente in uso, a causa dei grossi investimenti sostenuti per la loro messa in opera. La loro sostituzione potrà avvenire solamente alla fine della loro vita utile, che può variare fra 20 e 30 anni. Tuttavia, tutti i forni che nei prossimi anni raggiungeranno il termine della loro vita operativa utile, dovranno essere sostituiti da alternative a basse emissioni. Le tecnologie innovative per la produzione di acciaio sono in fase di sviluppo avanzato, ma il know-how dei processi non è ancora ben consolidato ed è quindi considerato un investimento ad alto rischio. Se non fosse più possibile produrre acciaio o la qualità non fosse quella richiesta dal mercato si rischierebbe di dover affrontare forti perdite, che potrebbero portare alla chiusura delle aziende.
- **Per le istituzioni pubbliche:** proprio per le continue innovazioni nel settore siderurgico, non è facile assumere iniziative in merito alle nuove tecnologie da supportare dal punto di vista istituzionale, nonostante sia chiaro come la decarbonizzazione del settore energetico sia strategica a prescindere dal settore considerato.

Queste esigenze legate principalmente ad aspetti economici, limitano la possibilità di interrompere le attività dei forni attualmente esistenti per sostituirli con tecnologie innovative. Inoltre, si ricorda come il processo più diffuso in Italia sia quello legato al EAF (83% della produzione), che è al momento quello che garantisce le emissioni dirette più basse e il riciclo di rottame più elevato, fornendo quindi un alibi per rallentare i processi d'innovazione.

Cosa possono fare quindi gli stakeholder del settore siderurgico nel breve termine?

### 5.1.1 Diminuire i consumi energetici

Essendo il settore siderurgico italiano basato in gran parte sui forni elettrici (EAF), una diminuzione dei consumi è

la prima azione mitigatrice da intraprendere, ad esempio recuperando i gas caldi in uscita dai forni. Questa strategia può essere valutata da diversi punti di vista:

- Per le ONG e le organizzazioni sindacali: la riduzione dei consumi energetici è un primo passo verso il miglioramento del settore e viene visto come un'azione correttiva virtuosa per tutti gli stakeholder (win-win situation).
- Per le aziende siderurgiche: Non è un caso che i progetti promossi dalle aziende italiane (Appendice A) siano principalmente focalizzati alla diminuzione dei consumi energetici e all'integrazione energetica di processo. Una diminuzione dei consumi energetici non solo aiuta a decarbonizzare la produzione di acciaio, ma anche riduce i costi relativi alla sua produzione, favorendo le aziende.
- Per le istituzioni pubbliche: al momento, il recupero energetico è visto come una pratica volontaria, che non può essere imposta utilizzando una normativa. Tuttavia, il risparmio energetico, soprattutto se di energia prodotta da fonti rinnovabili, risulta di fondamentale importanza vista la sua richiesta sempre crescente, a fronte di una disponibilità limitata.

## 5.1.2 Dotarsi di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Spesso le aziende dispongono di aree non utilizzate e di tetti che potrebbero essere sfruttati per la produzione di energia elettrica tramite l'installazione di impianti fotovoltaici. L'installazione di 1 MWp di moduli fotovoltaici produce in media in Italia circa 1.400 MWh all'anno, considerando le ore di luce, l'insolazione media, lo storico delle condizioni meteo e l'alternarsi delle stagioni. Per quanto riguarda l'occupazione del suolo, l'installazione di 1 MWp richiede un'area di installazione di circa 12.000 m<sup>2</sup>, corrispondente ad un'area di circa 110x110 m, considerando i moduli posizionati con un'inclinazione di 35° e la distanza fra le file di moduli necessaria ad evitare il mutuo ombreggiamento. I capannoni delle acciaierie e i tetti degli uffici potrebbero essere un luogo ideale per l'installazione di moduli fotovoltaici e potrebbero permettere l'installazione di diversi MWp, a seconda dell'area disponibile. Il consumo elettrico medio di un EAF si aggira sui 590 kWh/ton acciaio, con un consumo orario che dipende dalla potenza e la capacità del forno, che è dell'ordine delle decine di MWh. L'energia da fotovoltaico difficilmente riuscirà a sopperire alla richiesta complessiva del forno elettrico, ma potrà sicuramente contribuire alla decarbonizzazione del mix energetico utilizzato per altri servizi. La percentuale di utilizzo dell'energia del fotovoltaico sull'energia spesa totale dipenderà fortemente dalla presenza di sistemi di

accumulo, dalla frequenza e durata dei batch di fusione (solitamente inferiore ad 1 ora) e dalla potenza installata. L'installazione di un impianto fotovoltaico può essere valutata da diversi punti di vista:

- Per le ONG e le organizzazioni sindacali: l'installazione di un impianto fotovoltaico viene spesso vista come una soluzione di comodo per le aziende, che installano potenze molto al di sotto dei consumi effettivi degli EAF. Tuttavia, non è plausibile che un'azienda siderurgica copra completamente i propri consumi elettrici tramite un'unica installazione di un impianto di grande taglia, poiché richiederebbe un ingente investimento nell'ordine di centinaia di M€. Al momento, l'ordine di grandezza per l'installazione di grandi impianti fotovoltaici è di 850 k€/MWp. Gli sforzi in questa direzione devono però essere valutati a seconda della produttività del sito e delle aree disponibili. È necessario che l'azienda si ponga un obiettivo finale ambizioso e che definisca degli obiettivi a breve termine per raggiungerlo, senza limitarsi ad una singola installazione di potenza ridotta. Al momento, gli impianti installati o in fase di progettazione da parte delle aziende siderurgiche italiane (Appendice A) non sembrano essere sufficienti a coprire i consumi del settore. Dal punto di vista occupazionale, l'installazione e la gestione degli impianti di produzione di energia rinnovabile potrebbero essere una mansione in cui impiegare addetti interni adeguatamente formati, evitando eventuali licenziamenti.
- Per le aziende siderurgiche: l'installazione di un impianto fotovoltaico richiede un grosso investimento iniziale, soprattutto se si progetta l'installazione di impianti di taglia grande. Mediamente il PayBack Time (PBT) si raggiunge in 7 anni (periodo nel quale il risparmio sull'energia non più acquistata dalla rete ripaga l'investimento iniziale), anche se dipende molto dal costo della tecnologia installata, dalla localizzazione geografica, dalla quota di autoconsumo, dalla presenza di incentivi e dal costo dell'energia. In seguito, l'energia elettrica fornita dall'impianto contribuisce totalmente al risparmio sul costo energetico della produzione. Le criticità sono legate principalmente alla necessità di un'area molto grande per l'installazione e alla natura intermittente della fornitura di energia. Il primo ostacolo può essere superato ipotizzando di non coprire totalmente il consumo del forno elettrico tramite l'impianto fotovoltaico, ma di progettare un'installazione per step progressiva nel tempo. Inizialmente si possono utilizzare le aree utilizzabili all'interno dell'area industriale di pertinenza dell'azienda, installando impianti modulari in zone che non vengono utilizzate per altri scopi. In seguito, grazie al risparmio legato al minor costo della tonnellata di acciaio alla fine del PBT, la potenza installata può aumentare utilizzando le aree disponibili sui tetti dei capannoni o ipotizzando di sfruttare terreni inutilizzati a tale scopo. Il secondo ostacolo relativo all'intermittenza può essere superato tramite l'installazione di capacità di accumulo o tramite la produzione di idrogeno, che, nonostante richieda un investimento maggiore, si

integrerebbe con altre strategie presentate in seguito.

- **Per le istituzioni pubbliche:** l'attività politica dovrebbe supportare la transizione energetica soprattutto nel settore della produzione di elettricità. Poiché è molto improbabile che le aziende siderurgiche possano soddisfare i propri consumi solamente attraverso l'autoproduzione, è di fondamentale importanza incentivare le tecnologie che permettano di decarbonizzare il mix energetico italiano. A tal fine, il governo dovrebbe supportare gli investimenti volti all'installazione di impianti fotovoltaici ed eolici, sfavorendo la produzione di energia elettrica da fonti fossili. È probabile che anche in futuro sarà necessario comprendere una quota di produzione di elettricità da ciclo combinato a gas naturale (NGCC) per sopperire all'intermittenza della produzione di energia da fonti pulite. Tuttavia, l'utilizzo di queste centrali dovrà coprire i picchi di potenza richiesti dalla rete, non il carico basale, che dovrà invece essere coperto dalla produzione di energia green. Il governo dovrebbe quindi facilitare l'iter burocratico legato all'avviamento e all'allacciamento alla rete degli impianti esistenti, promuovere l'installazione di nuovi impianti (sia di piccola che di grande taglia) tramite l'emissione di incentivi e regolamentare il mercato dell'energia riconoscendo un maggior valore all'elettricità prodotta da fonti rinnovabili. Come affermato da ITALIA solare<sup>24</sup>, il governo dovrebbe anche tenere conto della Direttiva Europea 2023/2413 del 18 ottobre 2023<sup>25</sup> sulle fonti rinnovabili, che chiede agli Stati membri di evitare divieti generalizzati, ma piuttosto individuare le aree necessarie per gli obiettivi 2030 e, tra esse, le aree di accelerazione, vale a dire le aree sulle quali consentire procedure autorizzative particolarmente semplificate e accelerate. Inoltre, la Commissione Europea ha ribadito questi concetti nella recentissima Raccomandazione UE 2024/1343,<sup>26</sup> in cui si afferma che gli Stati membri dovrebbero limitare al minimo necessario le zone di esclusione in cui non può essere sviluppata l'energia rinnovabile. La produzione diffusa di energia elettrica farà anche da volano all'indipendenza energetica della nazione, limitando la dipendenza dell'Italia dalle nazioni esportatrici di gas naturale.

## 5.1.3 Produzione di calore tramite fonti bio-based

La tecnologia EAF necessita di un apporto di energia che prescinde da quella generata tramite l'arco elettrico. Durante la fase di fusione del rottame è infatti necessario apportare energia termica per favorire la fusione nelle zone del forno non raggiunte dall'arco e per ossidare impurezze presenti all'interno del bagno di fusione, come alluminio, silicio e carbonio. Il calore aggiuntivo viene generalmente fornito dalla combustione di metano

in combinazione con ossigeno puro, che vengono iniettati tramite lance direttamente all'interno del EAF. La reazione con carbonio genera CO, che può essere bruciato ulteriormente all'interno del forno per generare un'ulteriore quota di calore (post-combustione). La quantità di gas naturale utilizzata nelle trasformazioni a caldo si aggira intorno a 71 m<sup>3</sup>/ton di acciaio<sup>3</sup> e può potenzialmente essere fornita da biogas in sostituzione del metano di origine fossile.

Il biogas deriva dalla digestione anaerobica di biomasse derivanti dagli scarti delle lavorazioni agricole ed è una miscela di CH<sub>4</sub> (45-70 vol.%), CO<sub>2</sub> (30-45 vol.%) e N<sub>2</sub> (5-15 vol.%). Purtroppo, il suo potere calorifico (mediamente 21,5 MJ/m<sup>3</sup>) è nettamente inferiore rispetto a quello del gas naturale (mediamente 40 MJ/m<sup>3</sup>): questo richiederebbe portate maggiori di biogas per garantire lo stesso apporto calorifico del metano. Il biogas può essere però affinato a biometano rimuovendo l'anidride carbonica tramite le tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub> che possono essere utilizzate per altre correnti di processo<sup>27</sup> (e.g., usando scrubber con ammine). La cattura della CO<sub>2</sub> richiede generalmente un apporto di calore in fase di rigenerazione del solvente, ma questo calore è facilmente reperibile recuperandolo dalle correnti calde in uscita dal EAF. In questo modo, il potere calorifico del biogas potrebbe avvicinarsi di molto a quello del gas naturale, rendendo compatibile il suo utilizzo con le esigenze di processo. Mentre la combustione di gas naturale emette CO<sub>2</sub> di origine fossile, la combustione di biogas emette CO<sub>2</sub> biogenica, ovvero anidride carbonica generata dal ciclo naturale del carbonio ed è quindi legata a processi naturali di ossidazione: questi processi in linea teorica non aumentano la quantità netta di anidride carbonica contenuta in atmosfera.

Si riportano i vantaggi e le criticità legate a questa attività, secondo diversi punti di vista:

- **Per le ONG e le organizzazioni sindacali:** l'utilizzo di biogas da biomasse di scarto apporta un veloce miglioramento al bilancio del carbonio del processo, poiché sostituisce carbonio fossile con carbonio biogenico. Tuttavia, è necessario prestare particolare attenzione per evitare che la diffusione di colture dedicate alla produzione energetica sostituisca la coltivazione di quelle dedicate alla produzione alimentare, visto anche il basso ritorno energetico (EROEI) e la perdita di biodiversità legata a questa pratica.<sup>28</sup> Si aggiunge quanto sia fondamentale che l'aumento di utilizzo di biogas sia legato ad un aumento percentuale, ossia soprattutto legato al decremento del gas naturale di origine fossile, piuttosto che ad un rilevante aumento (in termini assoluti) di quello biogenico. Infatti, nonostante sia corretto aumentare la quantità di materiale organico di scarto avviato a biodigestione (ottenendo una maggiore quantità di recupero di materia ed energia), allo stesso tempo occorre tenere conto, in termini di emissioni complessive di gas serra, che in futuro si dovrebbe diminuire la presenza di grandi allevamenti di bestiame, che risulterà quindi in una minore quantità di deiezioni da digerire.
- **Per le aziende siderurgiche:** l'utilizzo di biogas diminuisce il potere calorifico del combustibile



introdotto nell'EAF e quindi la portata dev'essere maggiore per assicurare lo stesso apporto di calore. Questo generalmente si lega a costi maggiori legati sia alle apparecchiature che all'approvvigionamento di combustibile. Tuttavia, l'affinazione del biogas a biometano tramite la cattura della CO<sub>2</sub> permetterebbe di ottenere un prodotto quasi equivalente al gas naturale. Se si ipotizza che la cattura della CO<sub>2</sub> venga utilizzata nel breve periodo, sarà disponibile in impianto il solvente adatto alla cattura della CO<sub>2</sub> da altre correnti di impianto, che potrà essere convogliato in uno scrubber aggiuntivo per il trattamento del biogas. Ciò permetterà di utilizzare un mix dei due gas nel breve periodo, così da garantire un doppio vantaggio: una decarbonizzazione della produzione, che comprende CO<sub>2</sub> biogenica, e una diminuzione dei rischi legati alla grande variazione dei costi legati all'acquisto del gas naturale, come avvenuto nel corso del 2022. Come verrà discusso in seguito, al momento, l'utilizzo di biogas non può soppiantare totalmente l'utilizzo del gas naturale, principalmente a causa della difficoltà nel reperire una fornitura costante e garantita di biogas nel corso dell'anno. Questo, infatti, si produce principalmente nelle zone rurali, dove c'è abbondanza di biomassa di scarto adatta al processo di digestione anaerobica, nelle discariche, dove difficilmente viene valorizzato, e nei processi di trattamento delle acque reflue. Tuttavia, sul lungo periodo sarà possibile aumentare la percentuale di biogas nel mix di combustibile da insufflare nel forno elettrico, così da incrementare l'utilizzo di carbonio biogenico.

- Per le istituzioni pubbliche: come per le ONG, le istituzioni pubbliche dovrebbero tutelare le colture alimentari al fine di evitare che vengano soppiantate dalle colture dedicate alla produzione energetica.

## 5.1.4 Cattura e utilizzo della CO<sub>2</sub> (CCU)

### LUCI E OMBRE DELLA CCUS E CONDIZIONI IMPRESCINDIBILI PER IL SUO IMPIEGO

La cattura e utilizzo della CO<sub>2</sub> è un processo che consiste nel separare l'anidride carbonica dalle altre componenti di una corrente gassosa utilizzando diverse tecnologie. Queste tecnologie dovrebbero consentire di isolare la CO<sub>2</sub>, facilitando il suo successivo utilizzo in altri processi industriali. La cattura e lo stoccaggio del carbonio (CCS) è un processo che, in fase di realizzazione, ha manifestato forti limiti di efficienza (la maggior parte dei progetti esistenti ha avuto performance di cattura reale inferiori anche del 50% rispetto al valore teorico del 90% di cattura), costi elevatissimi e un alto fabbisogno energetico.

**Nei processi siderurgici primari le principali fonti di emissione sono i due forni (BF-BOF) e la cokeria, in quelli secondari il forno elettrico (EAF) e le emissioni indirette legate alla produzione dell'elettricità utilizzata nel processo.**

**Un eventuale impiego della cattura e stoccaggio o utilizzo nel processo produttivo dell'acciaio prevede delle condizioni imprescindibili, che se non vengono rispettate trasformano una potenziale tecnologia abilitante alla transizione energetica in una tecnologia dannosa per l'ambiente.** Le condizioni che si potenzialmente permettono di evitare i dimostrati danni economici ed ambientali della CCUS sono:

- **L'utilizzo della cattura della CO<sub>2</sub> esclusivamente se non esistano alternative più sostenibili o come tecnologia di transizione.** Infatti, se esistono tecnologie che eliminano la produzione di anidride carbonica (per esempio, la tecnologia DRI) devono essere preferite all'utilizzo di tecnologie tradizionali seguite dalla cattura delle emissioni climalteranti
- **Sia utilizzata esclusivamente nei settori hard-to-abate (e.g., acciaio, cemento) e non nel settore energetico.** La cattura e l'utilizzo della CO<sub>2</sub> non dev'essere un pretesto per rallentare la decarbonizzazione del settore energetico. L'utilizzo di fonti fossili dev'essere contemplato solo nel breve periodo ed esclusivamente dove non siano sostituibili immediatamente da alternative rinnovabili. Non è questo il caso del settore energetico, dove sono già presenti tecnologie mature per la produzione di energia a partire da fonti energetiche rinnovabili.
- **Sfrutti al massimo il recupero di calore da correnti calde già presenti in impianto.** Al fine di massimizzare l'efficienza del processo ed evitare l'utilizzo di quote ulteriori di combustibili fossili, l'energia necessaria al recupero del solvente dev'essere ottenuta dal recupero energetico di correnti calde già presenti negli impianti siderurgici.
- **Sia autofinanziata solo dalle aziende.** Le sovvenzioni e gli incentivi statali, nonché i proventi delle aste delle quote dell'ETS devono essere indirizzati verso lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie legate alle fonti energetiche rinnovabili, agli accumuli e alle misure di efficienza energetica.
- **Sia condizionata alla conversione della CO<sub>2</sub> in prodotti utili, escludendo lo stoccaggio.** L'utilizzo dell'anidride carbonica come reagente chimico permette di ridurre il tempo necessario a rientrare dell'investimento legato all'installazione del processo di cattura tramite i ricavi ottenuti dalla vendita del prodotto finale. Inoltre si eliminerebbero i costi di investimento per l'acquisto e l'installazione delle infrastrutture necessarie al trasporto della CO<sub>2</sub> all'eventuale sito di stoccaggio.
- **Sia esclusa tassativamente la Enhanced Oil Recovery (EOR), ovvero l'utilizzo della CO<sub>2</sub> per stimolare l'uscita di combustibili fossili da giacimenti in esaurimento, che porterebbe ad un'ulteriore emissione di CO<sub>2</sub> fossile.**
- **Qualsiasi utilizzo di tecnologie di transizione (come la cattura della CO<sub>2</sub>) per supportare un'ulteriore estrazione di combustibili fossili dev'essere tassativamente esclusa e fortemente contrastata**

La cattura della CO<sub>2</sub> è un processo che prevede la separazione dell'anidride carbonica dalle altre componenti di una corrente gassosa tramite diverse tecnologie (assorbimento in solvente liquido, adsorbimento su mezzo poroso, separazione tramite membrane selettive, ecc.) le cui caratteristiche generali sono riportate nell'Appendice A. Sono diverse le fonti di emissioni dirette di CO<sub>2</sub> all'interno del processo siderurgico, ma per gli impianti di acciaio secondario quella più concentrata e di portata maggiore è quella derivante dalla combustione del gas naturale (o biogas, nell'evenienza venisse introdotto) all'interno dell'EAF. Come già evidenziato in precedenza, le emissioni dell'EAF sono principalmente quelle indirette legate alla produzione dell'elettricità utilizzata per generare l'arco elettrico; quindi, la cattura dell'anidride carbonica emessa dal processo non permette di decarbonizzare il processo come avverrebbe per il ciclo integrale, dove le emissioni si concentrano nel processo produttivo. Tuttavia, è teoricamente possibile comunque contribuire alla diminuzione delle emissioni complessive catturando la quota di CO<sub>2</sub> emessa dal EAF, che risulta particolarmente concentrata (e quindi separabile in maniera più efficiente) nel caso la combustione avvenga tramite insufflazione di ossigeno puro (ossi-combustione). Per il ciclo integrale, i punti di emissione più concentrati sono la cokeria e i due forni BF e BOF. La cattura della CO<sub>2</sub> contenuta in queste correnti contribuirebbe ad una decarbonizzazione quasi totale del processo produttivo, poiché l'utilizzo di elettricità è molto limitato in questo processo. Si evidenzia inoltre come non sia possibile catturare la totalità della CO<sub>2</sub> presente nelle correnti di processo, ma si raggiunga al massimo una separazione del 90% dell'anidride carbonica in uscita, che è ancora da dimostrare su impianti di grandi dimensioni. Un recente report pubblicato dall'Insitute for Energy Economics and Financial Analysis<sup>29</sup> evidenzia come non ci siano impianti di cattura in scala industriale nel settore siderurgico che catturino una quota di CO<sub>2</sub> rilevante (l'unico attualmente in funzione permette di catturare solamente il 26% delle emissioni complessive) e che le previsioni riguardo l'implementazione di tale tecnologia sul lungo periodo siano in declino, al contrario di quelle relative all'introduzione progressiva dell'idrogeno nel processo produttivo (H<sub>2</sub>-DRI). Una volta catturata tramite una delle tecnologie disponibili (assorbimento tramite solventi, membrane, adsorbimento su mezzi porosi, ...) la corrente di anidride carbonica pura dev'essere riconvertita in sostanze utili, evitando di utilizzarla per favorire l'estrazione di petrolio da pozzi esausti (Enhanced Oil Recovery - EOR). Fra le due opzioni, la conversione in un'altra sostanza dal valore aggiunto appare come la soluzione ideale per diversi motivi:

- permette di supportare e rientrare dell'investimento legato al processo di cattura tramite i ricavi ottenuti dalla vendita del prodotto;
- riduce i costi di investimento per l'acquisto e l'installazione delle infrastrutture necessarie al trasporto della CO<sub>2</sub> al sito di stoccaggio;
- elimina il problema di identificare un sito adatto allo stoccaggio e la gestione di tale sito;
- evita il problema dell'utilizzo della CO<sub>2</sub> per stimola-

re l'uscita di greggio da giacimenti poco produttivi (Enhanced Oil Recovery - EOR).

La descrizione dei progetti attivi e di un elenco non esaustivo delle possibili sostanze ottenibili dai gas esausti di acciaieria sono riportati in Appendice A e in diversi lavori pubblicati recentemente.<sup>30,31</sup> Si evidenzia come sia molto studiata la conversione di anidride carbonica in combustibili liquidi come il metanolo. Tuttavia, la conversione di CO<sub>2</sub> in un qualsiasi combustibile non porta ad un'effettiva riduzione netta della quantità di anidride carbonica emessa, ma solamente ad un shifting temporale dell'emissione, che avverrebbe all'interno del motore a scoppio del veicolo che utilizza tale combustibile. Sebbene l'utilizzo di combustibili sintetici eviti l'estrazione di un'ulteriore quota di combustibili fossili, è di fondamentale importanza che l'anidride carbonica utilizzata per produrli sia di tipo biogenico, altrimenti il loro utilizzo continuerà ad aumentare la concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

La cattura e utilizzo (CCU) della CO<sub>2</sub> presentano diversi vantaggi e criticità, a seconda dello stakeholder:

- Per le ONG e le organizzazioni sindacali: la cattura della CO<sub>2</sub> non rappresenta un'opzione significativa nelle strategie di decarbonizzazione sul lungo periodo e in tal senso va considerata con molta cautela anche come soluzione di breve periodo. Questa tecnologia è legata non solo a problematiche tecniche, ambientali ed economiche, ma anche ad un utilizzo utilitaristico che ne fanno alcune aziende, trasformandola in un alibi per continuare ad usare fonti fossili per evitare di intraprendere una transizione energetica più strutturata. Questa pratica riguarda tutti i settori industriali (quello energetico in primis), anche se l'industria siderurgica appare come uno di quelli più difficili da decarbonizzare (*hard-to-abate*). Quando si parla di CCUS, criticità ancora maggiori riguardano poi la produzione di energia elettrica da gas naturale, dove le correnti in uscita sono molto più voluminose e la CO<sub>2</sub> è molto diluita, situazione che rende molto sfavorevole la sua cattura.<sup>32</sup> Soprattutto nel settore energetico, quindi, bisognerebbe contrastare l'utilizzo della CCUS, a favore di tecnologie che sfruttino le fonti rinnovabili.

Le ONG e le organizzazioni sindacali devono quindi prestare particolare attenzione a capire quale sia l'uso che viene fatto dell'anidride carbonica, poiché alcuni utilizzi non contribuiscono affatto alla diminuzione delle emissioni globali e sarebbe bene fossero fortemente ostacolati. Per esempio, la EOR genera ulteriori emissioni legate al greggio che viene estratto grazie all'insufflazione della corrente di CO<sub>2</sub> nel pozzo in esaurimento. Anche la conversione in combustibili (come il metanolo) ottiene solamente un ritardo nell'emissione della CO<sub>2</sub>, che invece di avvenire dall'impianto di produzione di acciaio, avviene dal motore a combustione interna del veicolo. La conversione in combustibili può invece risultare vantaggiosa quando la fonte di carbonio originaria è di tipo biogenico, per esempio legata all'utilizzo di biogas all'interno del EAF.

In sintesi, la cattura della CO<sub>2</sub> dev'essere considerata

con grande cautela anche come soluzione transitoria, il cui unico scopo sia quello di mitigare le emissioni delle tecnologie esistenti che non possono essere convertite nel breve periodo. L'uso propagandistico da parte delle aziende siderurgiche della tecnologia di cattura della CO<sub>2</sub> per continuare a mantenere gli impianti tradizionali o peggio, per installare nuovi impianti basati su tecnologie superate, dev'essere fortemente contrastato. L'utilizzo della CO<sub>2</sub> a valle della cattura deve piuttosto prevedere applicazioni durature che permettano un'effettiva diminuzione dell'anidride carbonica netta in atmosfera, per esempio la conversione ad altre sostanze o materiali che eviti il ricorso ad ulteriori processi industriali per la loro produzione. Lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> nel sottosuolo o peggio, l'insufflazione all'interno di pozzi petroliferi per stimolare l'uscita di combustibili fossili, devono essere anch'esse fortemente ostacolate.

**Per le aziende siderurgiche:** per le aziende, introdurre la cattura della CO<sub>2</sub> richiede un investimento nell'installazione dell'impianto di assorbimento che, generalmente, prevede una serie di colonne di assorbimento. Poiché le portate volumetriche in uscita dagli impianti dotati di EAF non sono troppo elevate e la CO<sub>2</sub> è piuttosto concentrata, la separazione è relativamente semplice e non richiede colonne eccessivamente voluminose. La corrente calda in uscita dall'EAF può essere utilizzata per rigenerare il solvente; quindi, i costi operativi per la cattura si riducono drasticamente. Una volta ottenuta la CO<sub>2</sub> pura, risulta vantaggioso convertirla in sostanze a valore aggiunto (e.g., NaHCO<sub>3</sub><sup>33</sup> o urea<sup>34</sup>) o in combustibili (che rappresentano però uno stoccaggio temporaneo), che possono essere venduti sul mercato per ripagare l'investimento sostenuto per la cattura. Se la cattura prevede solamente lo stoccaggio finale, gli unici vantaggi economici per l'azienda sono legati al minor costo sostenuto per le proprie emissioni di CO<sub>2</sub> (che al momento non è così elevato da giustificare un investimento nella tecnologia) e ai ricavi ottenuti dalle società di estrazione petrolifera che possono acquistare la corrente di CO<sub>2</sub> per estrarre una maggior quantità di greggio (EOR).

Un discorso a parte dev'essere fatto per la produzione a ciclo integrale, che richiede degli ingenti investimenti iniziali per l'acquisto e l'installazione di impianti di cattura della CO<sub>2</sub> a causa delle portate volumetriche molto più elevate, che richiedono apparecchiature più grandi o in numero maggiore. I costi operativi però rimangono piuttosto bassi, grazie alla presenza di numerose correnti calde di processo, e quindi la produttività di sostanze a valore aggiunto può essere maggiore, permettendo di entrare sul mercato a prezzi più competitivi.

- **Per le istituzioni pubbliche:** la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dovrebbe essere regolamentata andando ad analizzare in che modo le emissioni di CO<sub>2</sub> vengono mitigate per evitare che queste emissioni siano solamente ritardate o generino ulteriori emissioni legate a processi estrattivi di combustibili fossili. Inoltre, la cattura della CO<sub>2</sub> è difficilmente applicabile a tutti i settori industriali (come, per

esempio, quello dell'energia<sup>32</sup>) e quindi non dev'essere vista come la soluzione che permetta di continuare ad investire nelle tecnologie legate ai combustibili fossili.

## 5.2 Strategie di decarbonizzazione a lungo termine (2035-2050)

La strategia a lungo termine prevede che siano state implementate alcune delle strategie a breve termine, ovvero le ottimizzazioni energetiche dei processi e la decarbonizzazione del mix energetico tramite l'autoproduzione di energia da fonti rinnovabili. L'utilizzo di combustibili bio-based e la cattura della CO<sub>2</sub> dalle fonti di emissioni puntuali sono invece delle strategie a breve termine che richiedono delle condizioni al contorno per essere implementate in maniera sostenibile perché contribuiscano realmente al processo di decarbonizzazione.

Le azioni mitigatrici devono essere accompagnate dallo sviluppo delle tecnologie di produzione carbon-free, fra le quali la più promettente appare la tecnologia DRI che utilizza idrogeno come agente riducente.

Nel contesto italiano, l'unico stabilimento produttivo che attualmente produce acciaio da ciclo integrale si trova a Taranto. La prospettiva a lungo termine per questi impianti è una loro sostituzione con la tecnologia DRI, seguita da un EAF. Tramite il processo a riduzione diretta non è infatti possibile ottenere direttamente acciaio, ma un materiale adatto alla conversione diretta in acciaio, denominato Hot Direct Reduced Iron (HDRI), in un EAF in serie al reattore di riduzione. Il processo DRI potrebbe essere inizialmente introdotto utilizzando il gas naturale come agente riducente nel breve periodo, per poi sostituirlo gradualmente con idrogeno e biogas nel medio periodo, fino alla sostituzione completa della fonte fossile (vedi Appendice A). A regime, le emissioni dirette saranno limitate al minimo e per ottenere un'effettiva decarbonizzazione a lungo termine sarà necessaria una decarbonizzazione del settore energetico per limitare le emissioni indirette.

L'introduzione nel mix energetico italiano di una quota sempre maggiore di energia prodotta da fonti rinnovabili è fondamentale anche per la decarbonizzazione di gran parte della produzione di acciaio italiano, che proviene da EAF (~84%).

Esiste un'ultima criticità da affrontare, ovvero l'aumento della produttività richiesto dal mercato globale. La produzione di acciaio italiana si basa principalmente sulla fusione di rottame, che sarà sempre più richiesto dal mercato ed il cui prezzo tenderà ad aumentare. Al momento, la quantità di rottame necessaria all'industria siderurgica italiana non è totalmente reperibile nel mercato interno nazionale e dev'essere in parte importata da altri Stati, principalmente da Ucraina, Germania, Francia ed India. L'approvvigionamento di rottame diventerà quindi critico in futuro, portando gli Stati

esportatori ad adottare politiche più restrittive sulle esportazioni, al fine di sfruttare il rottame nelle proprie industrie siderurgiche.

Le criticità legate alla tecnologia DRI risiedono nella qualità del minerale di ferro, che dev'essere piuttosto elevata per evitare che il materiale risultante contenga troppe impurezze, nella produzione di idrogeno per il suo funzionamento, che deve provenire da fonti rinnovabili per essere realmente sostenibile sul lungo periodo, e nella taglia dell'impianto, che normalmente dev'essere piuttosto grande per essere sostenibile economicamente (nell'ordine di 2 Mton/anno). La prima può essere affrontata muovendosi subito sul mercato per individuare le fonti migliori di minerale, visto che comunque la quantità necessaria per singolo stabilimento non sarà molto ingente. È possibile ipotizzare anche dei pretrattamenti per allontanare parte delle impurezze e rendere il minerale adatto alla riduzione diretta. La seconda criticità è legata, come già ampiamente ripetuto, alla decarbonizzazione del settore energetico, che esula dalle attività di decarbonizzazione implementabili dal settore siderurgico, se non tramite l'auto-produzione. La terza criticità può essere superata prevedendo l'insediamento di pochi grandi impianti di produzione di sponge iron lungo la penisola italiana. Questi impianti dovrebbero essere collocati in posizioni strategiche per garantire una fornitura costante di ferro ridotto alle aziende dotate di forno ad arco elettrico, di modo da integrare la loro fornitura di materie prime.

Le ripercussioni che l'introduzione della tecnologia DRI a lungo termine potrebbe avere sui vari stakeholder sono elencate di seguito:

- **Per le ONG e le organizzazioni sindacali:** la decarbonizzazione sia a breve termine, che a lungo termine, tramite l'utilizzo della tecnologia DRI, alimentato da idrogeno verde appare oggi la soluzione più promettente. Dalla sua diffusione e dai risultati di successo ottenuti dai progetti pilota, la DRI si sta affermando come la tecnologia migliore per una decarbonizzazione del settore siderurgico, che vede una sostituzione del ciclo integrale (BF-BOF) con l'utilizzo della combinazione DRI-EAF. Avendo una grande diffusione di EAF in Italia, l'aggiunta di DRI permetterà all'industria italiana di aumentare la propria produttività, se necessario, senza aumentare enormemente le proprie emissioni. È importante però che venga monitorata la graduale conversione da riduzione diretta a base di gas naturale con cattura della CO<sub>2</sub>, a quella che utilizza biogas (le cui emissioni di carbonio possono essere comunque catturate per produrre altre sostanze, BECCS – Bioenergy with carbon capture and storage) e idrogeno, la cui produzione dev'essere legata all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.
- **Per le aziende siderurgiche:** Per prevenire la diminuzione di produttività legata alla mancanza di materia prima secondaria, le aziende siderurgiche italiane dovrebbero diversificare le proprie fonti di materia prima, introducendo una quota proveniente da minerale di ferro. La tecnologia che permetterebbe loro di sfruttare le infrastrutture di cui dispongono già in stabilimento (EAF) è proprio la riduzione

diretta (DRI), che a partire da minerale di ferro ottiene un materiale che può essere introdotto insieme al rottame all'interno del forno ad arco elettrico. In questo modo, l'industria siderurgica italiana aumenterebbe la produzione di acciaio senza dipendere dal costo del rottame e potrebbe diminuire i rischi legati al suo approvvigionamento diversificando l'origine e la natura delle proprie materie prime. L'introduzione del processo a riduzione diretta non necessita l'interruzione dell'attività del EAF, ma si integra nella fornitura delle materie prime, evitando perdite di produttività. L'utilizzo di ferro da minerale favorisce anche la diluizione di impurezze (soprattutto rame), presente solitamente nei rottami più scadenti, permettendo l'introduzione di materie prime secondarie di qualità inferiore. Il processo potrebbe essere introdotto in una prima configurazione a gas naturale (o biogas), per poi essere convertito gradualmente ad idrogeno, in parallelo all'aumento della produzione di idrogeno verde (internamente o esternamente). È inoltre ipotizzabile l'instaurazione di joint venture aziendali per lo sviluppo congiunto di questa tecnologia.

- **Le istituzioni pubbliche:** dovrebbero farsi promotrici di progetti aziendali legati allo sviluppo e all'implementazione di impianti DRI, limitando, per quanto possibile, il rischio aziendale legato agli investimenti. Inoltre, le istituzioni pubbliche considerano vantaggioso diversificare le importazioni, al fine di evitare la dipendenza dell'approvvigionamento di materie prime strategiche da pochi produttori (vedi il caso del gas naturale russo). La fornitura diffusa di sponge iron prodotto in Italia aiuterebbe ad ampliare le tipologie di materie prime adatte al settore siderurgico italiano (non più solo rottame, ma anche minerale di ferro), permettendo una diversificazione delle importazioni.

## 6. SCENARI E PERCORSI PER LA TRANSIZIONE

### HIGHLIGHTS

Sono stati tracciati tre diversi scenari, a seconda delle tecnologie che verranno installate per sostenere la futura domanda di acciaio, mantenendo la produzione costante a 25 Mton all'anno.

**Scenario Conservativo:** prevede una prospettiva legata alle esigenze a breve termine in cui le azioni correttive consistono nell'aggiunta della cattura della CO<sub>2</sub> alle tecnologie già presenti in Italia (BF-BOF ed EAF). In parallelo, parte dei combustibili fossili utilizzati potrebbero essere sostituiti da alternative provenienti da fonti rinnovabili o da idrogeno, tendenzialmente di tipo grigio o blu.

Nonostante la riduzione delle emissioni dirette di CO<sub>2</sub> legate agli impianti di cattura sia consistente, la riduzione complessiva di emissioni risulta molto limitata rispetto agli altri scenari ed è legata alla conversione in prodotti utili che non riemettano la CO<sub>2</sub> in un secondo momento o, nel caso peggiore, all'effettiva presenza di siti di stoccaggio. Gli investimenti annuali necessari ammontano a 1,478 miliardi di euro, che è un valore rilevante, ma attuabile. L'occupazione si attesterà su 42.600 addetti impiegati nel settore siderurgico e circa 4.000 nel settore delle rinnovabili.

**Scenario Prospettico:** prevede una prospettiva a medio termine, che introduce modifiche sostanziali nei processi produttivi al fine di ottenere una decarbonizzazione completa del settore sul lungo periodo. La tecnologia BF-BOF verrà sostituita dalla tecnologia DRI basata sull'utilizzo del gas naturale (e possibilmente biometano), le cui emissioni di anidride carbonica verranno catturate e convertite in prodotti utili (o stocate nella peggiore delle ipotesi). L'energia elettrica necessaria ai vari processi produttivi deriverà sia da impianti di produzione di energia rinnovabile, che dalla rete elettrica nazionale che sarà sempre più decarbonizzata. La riduzione delle emissioni dirette è, anche in questo caso, legata all'implementazione della tecnologia di cattura della CO<sub>2</sub> e all'individuazione di utilizzi appropriati o siti di stoccaggio sicuri. Gli investimenti annuali necessari saranno 1,845 miliardi di euro, piuttosto elevati a causa della necessità di accoppiare gli impianti DRI alla cattura della CO<sub>2</sub>. Gli occupati si attesteranno sui 39.400 unità nel settore siderurgico e circa 5.000 nel settore delle rinnovabili.

**Scenario Auspicabile:** prevede una prospettiva a lungo termine in cui l'acciaio primario sarà prodotto tramite la tecnologia DRI basata sull'utilizzo dell'idrogeno verde. Tutti i combustibili fossili verranno sostituiti da fonti rinnovabili equivalenti ed il mix energetico nazionale sarà basato principalmente su fonti decarbonizzate, accoppiandolo a impianti di generazione installati ad-hoc. Il carbonio introdotto nel sistema produttivo sarà principalmente di tipo biogenico, che non necessita della presenza di sistemi di cattura post-combustione. Le emissioni di CO<sub>2</sub> saranno quindi legate principalmente alla componente indiretta, che, ad oggi, non è ancora sufficientemente decarbonizzata. Lo sforzo congiunto di politiche sull'energia a livello italiano e delle aziende siderurgiche nell'autoproduzione di energia pulita renderanno questo scenario il più virtuoso sul lungo periodo. Gli investimenti richiesti saranno di 1,386 miliardi di euro all'anno, inferiori allo scenario precedente poiché non sarà richiesta l'installazione di impianti di cattura della CO<sub>2</sub>. Gli occupati si attesteranno su 39.400 addetti nel settore siderurgico ed in più di 12.000 nel settore delle rinnovabili.

## 6.1 Introduzione

Alla luce delle tecnologie attualmente disponibili e delle strategie implementabili nel medio e lungo termine, in questo capitolo verranno proposti alcuni percorsi di decarbonizzazione. Ciascuno scenario prende in considerazione le diverse prospettive ed esigenze di ciascun portatore d'interesse del settore siderurgico:

- le Organizzazioni Non-Governative (ONG), che rappresentano la spinta verso la decarbonizzazione desiderata sia dalla comunità scientifica che dalla popolazione, si focalizzano sugli aspetti ambientali. Ciascuno scenario verrà quindi analizzato dal punto di vista del consumo di materie prime, energia e combustibili, calcolando anche le potenziali emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dal settore siderurgico, al fine di valutare la fattibilità del percorso di decarbonizzazione nello scenario italiano e le performance attese in termine di riduzione delle emissioni di gas serra;
- la prospettiva delle aziende siderurgiche, che sono principalmente focalizzate sulle dinamiche di mercato e sul bilancio economico aziendale, verrà trattata nell'analisi economica degli scenari di decarbonizzazione, al fine di valutare le implicazioni sul costo di produzione dell'acciaio secondo le diverse tecnologie;
- le esigenze delle organizzazioni sindacali dei lavoratori, principalmente focalizzati sui risvolti occupazionali e sulla tutela degli abitanti delle zone limitrofe agli impianti, verrà considerata introducendo delle stime sulle variazioni del numero di addetti diretti ed indiretti del settore siderurgico;
- le istituzioni pubbliche, che hanno il potere di imporre norme e leggi, indirizzare gli investimenti pubblici e influenzare il mercato tramite l'utilizzo di incentivi, verranno considerate quando si andranno ad ipotizzare delle policy dedicate al supporto della decarbonizzazione del settore siderurgico.

Come orizzonte temporale, sono state considerate azioni di mitigazione delle emissioni dei gas serra sul breve e sul medio/lungo periodo. Le azioni a breve termine prevedono l'integrazione di tecnologie di mitigazione delle emissioni all'interno di impianti preesistenti, al fine di limitare l'entità degli investimenti richiesti in attesa dell'affermazione e consolidamento delle tecnologie più innovative. Queste ultime, in sinergia con le azioni mitigatrici a breve termine, dovranno essere

implementate nel lungo periodo, al fine di decarbonizzare completamente il settore entro il 2050.

Le tecnologie che sono state considerate comprendono diverse opzioni innovative, la cui affermazione nel mercato del futuro è stata pesata sia alla luce dei progetti attualmente in essere, sia in base alle potenzialità del contributo di decarbonizzazione che potranno fornire in ambito globale.

L'analisi ha evidenziato come, tenendo in considerazione tutti gli aspetti sopracitati, si possano tracciare tre possibili scenari, che sono stati definiti come:

- **Scenario Conservativo;**
- **Scenario Prospettico;**
- **Scenario Auspicabile.**

Come riportato nei capitoli precedenti che considerano gli andamenti nella produzione di acciaio globale, la domanda di acciaio nel lungo periodo tende ad aumentare, nonostante la produzione europea tenda a diminuire. Al fine di soddisfare la potenziale domanda futura sul lungo periodo, si è ipotizzato che la produzione italiana aumenterà in maniera contenuta, introducendo un aumento di produzione legato solamente alle tecnologie relative alla produzione primaria da minerale. A tal fine, ogni scenario considera la stessa quantità di acciaio prodotto (25 Mton), di cui 18 Mton (72%) deriva dalla fusione di rottame (EAF) e 7 Mton (28%) da produzione di acciaio primario. La produzione media di acciaio secondario in Italia negli ultimi 15 anni si attesta su 17,8 Mton, quindi non si ipotizza un aumento considerevole di questa produzione, anche alla luce della potenziale scarsità di rottame sul lungo periodo. La produzione primaria invece è in continua riduzione, a causa delle difficoltà legate alla gestione ed ammodernamento dello stabilimento di Taranto, unico sito produttivo di acciaio primario in Italia. Si è ipotizzato che nel lungo periodo si possa aumentare la produttività di acciaio primario grazie a soluzioni innovative implementate all'interno di tale stabilimento o in altri siti produttivi in Italia, per raggiungere una produzione totale di circa 7 Mton/anno, pari circa al doppio della produzione nel 2022.

Le tecnologie necessarie a soddisfare la domanda di acciaio primario sono quindi la principale caratteristica che differenzia gli scenari di decarbonizzazione presentati nei paragrafi seguenti.



## 6.2 Lo Scenario Conservativo

Lo Scenario Conservativo, presentato graficamente in Figura 27, considera la situazione in cui gli enti governativi non stimolino le innovazioni nel settore siderurgico o in quello energetico, le aziende siderurgiche non siano sufficientemente fiduciose nelle tecnologie innovative e le ONG e le organizzazioni sindacali non riescano a dare risalto agli interessi della comunità. È uno scenario legato principalmente ad una soluzione ai problemi nel breve termine, senza prevedere l'implementazione di tecnologie che portino ad una decarbonizzazione completa sul lungo periodo.

Gli impianti EAF esistenti non verranno accoppiati a grossi impianti di produzione di acciaio primario nazionali, ma ci

si limiterà ad importare ferro ridotto (Hot Briquetted Iron - HBI) o rottami dall'estero. Tuttavia, l'aumento di produttività richiesta dal mercato internazionale, associato al desiderio di decarbonizzare il settore siderurgico anche da parte di altre nazioni, genererà un aumento della richiesta di rottame e di HBI in tutto il mondo, diminuendo l'offerta di materiale di qualità e rendendo necessario l'utilizzo di materie prime di qualità scadente, causando quindi un potenziale peggioramento del prodotto finale e diminuendo la competitività del settore siderurgico italiano. La quantità annuale di materie prime necessaria a sostenere l'industria siderurgica italiana in questo scenario è riportata in Tabella 21.

Figura 27 – Scenario Conservativo di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano

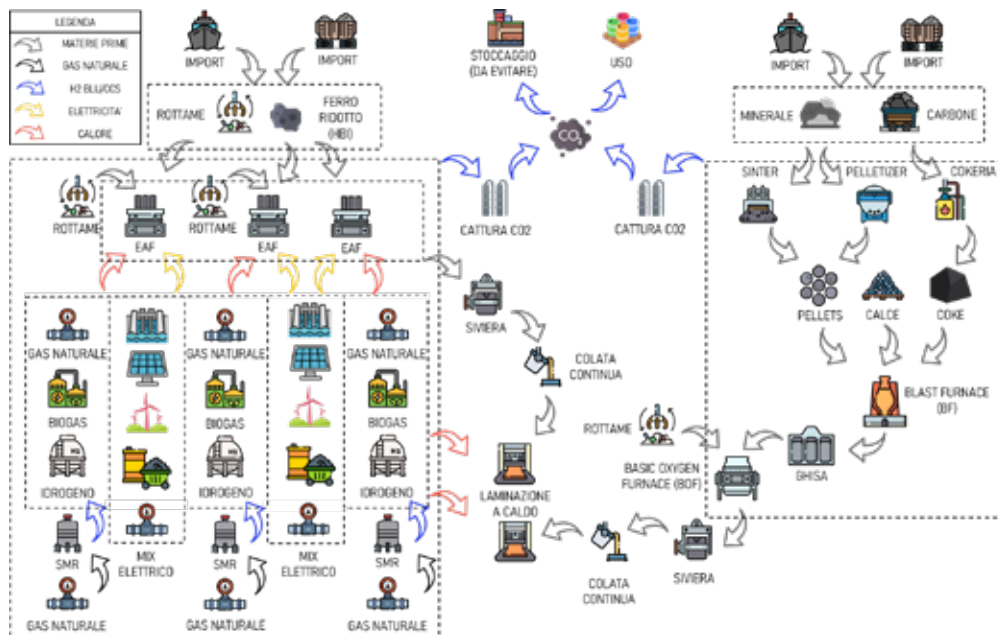


Tabella 21 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Conservativo

SCENARIO CONSERVATIVO				
Acciaio		Primario	Secondario	Totale
Fonte		Fishedick et al. <sup>35</sup> ; ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	Federacciai <sup>3</sup> ; ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	
	UdM	[Mton]	[Mton]	[Mton]
Quantità		7	18	25
Tecnologia		(BF+BOF+HR)+CCU <sup>1</sup>	(EAF+HR)+CCU <sup>2</sup>	Totale
Minerale	[Mton]	12,439	0	12,439
Carbone	[Mton]	3,864	0,165	4,029
Rottami	[Mton]	1,330	19,848	21,178
Gas Naturale	[GJ]*10 <sup>6</sup>	10,374	62,784	73,170
Elettricità	[TWh]	3,405	13,770	17,175
Calce	[Mton]	5,600	1,065	6,665
Emissioni dirette con CCU	[Mton]	5,899	0,501	6,400
Emissioni indirette con mix en. 2022 <sup>3</sup>	[Mton]	0,991	4,007	4,998
Emissioni complessive al 2022 <sup>3</sup>	[Mton]	6,890	4,508	11,398
Emissioni indirette con mix en. 2050 <sup>4</sup>	[Mton]	0,466	1,886	2,353
Emissioni complessive al 2050 <sup>4</sup>	[Mton]	6,365	2,388	8,753

<sup>1</sup>(BF+BOF+HR)+CCU = altoforno + convertitore + laminazione a caldo + cattura della anidride carbonica

<sup>2</sup>(EAF+HR)+CCU = forno elettrico + laminazione a caldo + cattura della anidride carbonica (80%)

<sup>3</sup>Fattore di emissione del mix elettrico italiano nel 2022: 291,1 gCO<sub>2</sub>/kWh, fonte GSE<sup>37</sup>

<sup>4</sup>Fattore di emissione ipotetico del consumo elettrico: 137 gCO<sub>2</sub>/kWh

Le emissioni totali al 2050 considerano una diversa composizione del mix energetico nazionale, in cui la componente rinnovabile risulta preponderante. Se si considera che nel 2022 il mix elettrico nazionale è stato generato per il 31,1% da fonti rinnovabili<sup>38</sup> (per le quali si considera un fattore di emissione pari a 0), un aumento della quota di rinnovabili al 67,6% comporterebbe un fattore emissivo dell'elettricità di 137 gCO<sub>2</sub>/kWh, che permetterebbe di ottenere la parità di emissioni per i due scenari che verranno presentati nei paragrafi seguenti. Questo valore è in linea con le stime dell'ISPRA,<sup>39</sup> che prevede che il mix elettrico italiano dovrà essere caratterizzato da una quota pari al 70% fornita da energia rinnovabili al 2050. Per decarbonizzare il mix energetico utilizzato, non è sufficiente affidarsi esclusivamente

alle politiche nazionali di decarbonizzazione, ma ciascun impianto dovrà potenzialmente dotarsi di impianti di generazione di elettricità decarbonizzata, al fine di soddisfare il proprio autoconsumo. Infatti, se si riuscisse a soddisfare il 35% dei propri consumi utilizzando energia rinnovabile autoprodotta, si raggiungerebbe circa il fattore di emissione ipotizzato precedentemente. Le emissioni derivanti dallo Scenario Conservativo al 2050 sono concentrate principalmente all'interno del processo produttivo (emissioni dirette) per BF-BOF con CCU e nelle emissioni indirette per EAF con CCU, con un peso sul totale del 73% e del 27%, rispettivamente. La decarbonizzazione del mix energetico comporta per questo scenario una diminuzione del 23% circa delle emissioni complessive.

## 6.2.1 Implicazioni ambientali dello Scenario Conservativo

In questo scenario, l'utilizzo di idrogeno non viene considerato nella produzione siderurgica. Parte del gas naturale necessario potrà essere sostituito da biogas prodotto dalla digestione anaerobica di biomasse di scarto del settore agricolo o da rifiuti solidi urbani. L'utilizzo di biogas fornisce un apporto di carbonio di tipo biogenico, la cui emissione in atmosfera sotto forma di anidride carbonica non aumenta la quantità totale di gas serra presente in atmosfera. Inoltre, l'installazione di impianti di cattura di CO<sub>2</sub> (anche nel caso di un utilizzo massivo di biogas) permetterebbe di ridurre l'effettiva quantità di anidride carbonica in atmosfera catturandola a partire da correnti di anidride carbonica biogenica concentrate (BECCS - BioEnergy with Carbon Capture and Storage) ed eviterebbe di ricorrere a tecnologie per la cattura diretta dall'aria molto inefficienti (Direct Air Capture - DAC). Per questo scenario, la sostituzione totale del gas naturale è limitata dalla quantità di biogas presente sul mercato italiano sia per usi termici che per la produzione di energia elettrica, che corrisponde a quasi il 60% del totale richiesto<sup>40</sup> e corrisponde a  $42,8 \cdot 10^6$  GJ o 1,945 miliardi di m<sup>3</sup>, considerando un potere calorifico inferiore medio (LHV) del biogas<sup>41</sup> di 22 MJ/m<sup>3</sup>. Inoltre, anche se il quantitativo di biometano potenzialmente disponibile in Italia permettesse una sostituzione completa della fonte fossile, la destinazione promossa dal PNIEC e dal PNRR privilegia essenzialmente il riscaldamento e i trasporti, fino al punto che potrebbe rimanere poco biometano per altri usi. Inoltre, la produzione di biogas avviene generalmente all'interno di piccoli digestori localizzati nelle vicinanze dei siti di approvvigionamento delle materie prime e non risulta quindi conveniente concentrare la produzione in grandi siti produttivi per i problemi legati al trasporto delle biomasse necessarie al loro funzionamento. L'immissione di biometano (biogas privato dell'anidride carbonica residua) all'interno della rete di distribuzione del gas naturale, comporta un prolungamento dell'utilizzo della rete stessa, incentivando quindi l'estrazione di

gas naturale ed è quindi da evitare. In questo scenario, la principale fonte energetica rimarrà quindi il carbone (coke) per soddisfare i consumi termici ed energia elettrica proveniente dal mix energetico nazionale, che non sarà decarbonizzato in maniera sostanziale a causa della mancanza di investimenti. I dati sulla produzione di energia da fonti rinnovabili del 2021 è stata reperita all'interno del report statistico fornito dal GSE nel 2023.<sup>40</sup> Il carbone di origine fossile potrebbe in futuro essere sostituito da carbone di origine vegetale (biochar), ma al momento le quantità di biochar presenti sul mercato italiano non giustificano forti investimenti verso questa soluzione.<sup>42</sup> L'ipotesi del ricorso limitato all'uso di idrogeno a fini termici, che comunque sarebbe prodotto principalmente tramite Steam Methane Reforming (SMR) ed elettrolisi utilizzando elettricità dal mix energetico nazionale, non saranno in grado di garantire una reale decarbonizzazione, come ampiamente discusso in un articolo pubblicato su Applied Energy.<sup>43</sup> In aggiunta, l'utilizzo dell'idrogeno prodotto come fonte di calore piuttosto che come agente riducente, diminuirà l'efficienza energetica di tutto il sistema. Infatti, la conversione di gas naturale a idrogeno comporta delle perdite energetiche, che sarebbero evitate nel caso in cui il gas naturale fosse usato direttamente come fonte di calore.<sup>44</sup>

Si conclude evidenziando che la nascita di impianti di cattura dell'anidride carbonica sarà promossa unicamente dall'aumento del costo legato alle emissioni di CO<sub>2</sub> e l'utilizzo della CO<sub>2</sub> dovrebbe essere focalizzato alla sua conversione in prodotti utili. Nel caso in cui la CO<sub>2</sub> catturata fosse destinata ad attività di EOR (Enhanced Oil Recovery) o per la produzione di combustibili, la sua emissione in atmosfera sarebbe solamente posticipata, limitando il raggiungimento della decarbonizzazione del settore. La resa di cattura per la tecnologia (BF-BOF-HR) che è circa del 60% è stata definita basandosi sul lavoro pubblicato da Fishedick et al.,<sup>35</sup> mentre è stata ipotizzata una resa di cattura dell'80% per EAF-HR, vista la presen-

za in acciaieria di correnti calde adatte a fornire il calore necessario per il recupero del solvente, solitamente a base di composti amminici. Sebbene quindi le emissioni dirette siano limitate dall'utilizzo di questa tecnologia, non è ancora chiaro come verranno impiegati i 10,44 Mton di

anidride carbonica annuali catturati, che sia se venissero riemessi in atmosfera (ad esempio convertendoli in combustibili), che se venissero utilizzati per l'estrazione di ulteriori quote di petrolio (EOR), annullerebbero i vantaggi auspicati nell'utilizzo di questa tecnologia.

Tabella 22 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili

SOSTITUZIONE MATERIE PRIME FOSSILI CON RINNOVABILI						
Materia prima fossile	Materia prima decarbonizzata	UdM	Quantità necessaria	Quantità prodotta 2021 <sup>1</sup>	Sostituzione potenziale	Impiego in siderurgia <sup>4</sup>
Carbone	Biochar	[Mton]	4,029	0,001	0,02%	100,00%
Gas Naturale	Biogas	[GJ]	73,17*10 <sup>6</sup>	42,8*10 <sup>6</sup>	58,5%	100,00%
		[TWh]	20,32	11,8912		
Elettricità	Elettricità da REN	[TWh]	17,175	108,13	100,00%	17,05%

<sup>1</sup>Fonte: Rapporto statistico GSE 2021<sup>40</sup>

<sup>2</sup>Valore complessivo per produzione di elettricità e calore

<sup>3</sup>al valore originario di 116.3 TWh è stato sottratto il contributo del biogas

<sup>4</sup>impiego in siderurgia rispetto al totale prodotto in Italia

Lo scenario conservativo traccia una successione di eventi caratterizzati principalmente dall'immobilismo e da una prospettiva legata agli interessi a breve termine, che portano ad una decarbonizzazione parziale, se non del tutto apparente, del settore siderurgico. Le conseguenze di quest'ultimo scenario sono negative per tutti gli stakeholders legati al mondo siderurgico: le aziende perché per-

dono competitività (se non falliscono), gli enti governativi perché non raggiungono gli obiettivi imposti dall'Unione Europea (sia per il settore siderurgico, che per quello energetico), ma soprattutto tutta la comunità, perché sarà sempre più colpita sia dagli impatti diretti delle emissioni nocive non climalteranti, che ai cambiamenti legati al riscaldamento globale.

## 6.2.2 Implicazioni economiche dello Scenario Conservativo

A partire dai bilanci di massa relativi alle tecnologie descritte nel paragrafo precedente, sono stati calcolati gli investimenti annuali richiesti per la decarbonizzazione e il costo livellato di produzione dell'acciaio (LCOP) medio, pesato rispetto alla quantità prodotta da ciascuna tecno-

logia. Il calcolo è stato effettuato utilizzando le assunzioni riportate in Appendice C ed i risultati sono presentati in Tabella 23. Il costo di produzione dell'acciaio considera anche il costo dei certificati di emissioni relativo alle emissioni dirette.

Tabella 23 – Indici economici per lo Scenario Conservativo

	UdM	Scenario Conservativo
Investimenti annuali CAPEX	M€	1.478,6
Media pesata LCOP	€/ton	612,75

## 6.2.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Conservativo

Al fine di stimare l'occupazione futura sulla base degli scenari di produzione, è stato preso in considerazione il dato medio tra il 2014 al 2023. Nel caso della produzione da EAF, si notano 1,4 occupati per 1.000 ton di acciaio prodotto, mentre nel caso della produzione da altoforno si sale a 2,4 occupati. Partendo, invece, dal censimento degli impianti realizzato dal Global Steel Plant Tracker<sup>2</sup> del Global Energy Monitor, gli impianti che producono acciaio da tecnologia DRI hanno mediamente 0,6 occupati per 1.000 ton. Si tratta di un dato medio rispetto a impianti collocati in contesti molto diversi, con differenze di scala, normative e di mercato del lavoro. La differenza così grande di occupati deriva da sistemi industriali strutturalmente diversi, dalle scale di produzione, ma anche dal fatto che i dati occupazionali dell'elettrico e dell'altoforno sono calcolati sulla base da impianti anche molto vecchi, obsoleti dal punto di vista tecnologico e organizzativo, molto più labour intensive

rispetto a come verrebbero costruiti oggi con gli stessi metodi produttivi. Nell'ipotesi adottata in questo lavoro, che prevede l'integrazione tra DRI e EAF, si può assumere che l'impatto occupazionale sia più elevato del DRI da solo. Pur non essendoci dati disponibili di impianti già in funzione in merito all'ipotesi di integrazione, si assume che il processo produttivo necessiti di un maggior numero di occupati per tonnellata prodotta, dovendo gestire due fasi produttive, una delle quali maggiormente labour intensive. Nei casi dei progetti censiti dal Global Steel Plant Tracker – si tratta di circa 21 sistemi DRI-EAF in Europa, per ora in fase progettuale, che prevedono di partire tra il 2025 e 2026 – le stime occupazionali annunciate variano molto a seconda di fattori contestuali. Esse si collocano tra 1,45 e 1,8 occupati per mille tonnellate. Nel costruire le stime occupazionali dei vari scenari, si è scelto un dato mediano, di 1,6 occupati per 1000 ton.

Tabella 24 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Conservativo

Tecnologie	Intensità di lavoro	Scenario Conservativo	Occupati previsti
EAF	1,4 occupati/1.000 ton	18 Mton	25.200
BF-BOF	2,4 occupati/1.000 ton	7 Mton	11.200
DRI-EAF	1,6 occupati/1.000 ton		
<b>Totale</b>		25 Mton	42.000

Vengono utilizzati i dati camerali basati sul codice ATECO 241, perché è disponibile la serie storica dal 2014 al 2023 ed è possibile in questo modo confrontare il dato occupazione con quello della produzione, osservando la sua evoluzione nel tempo.

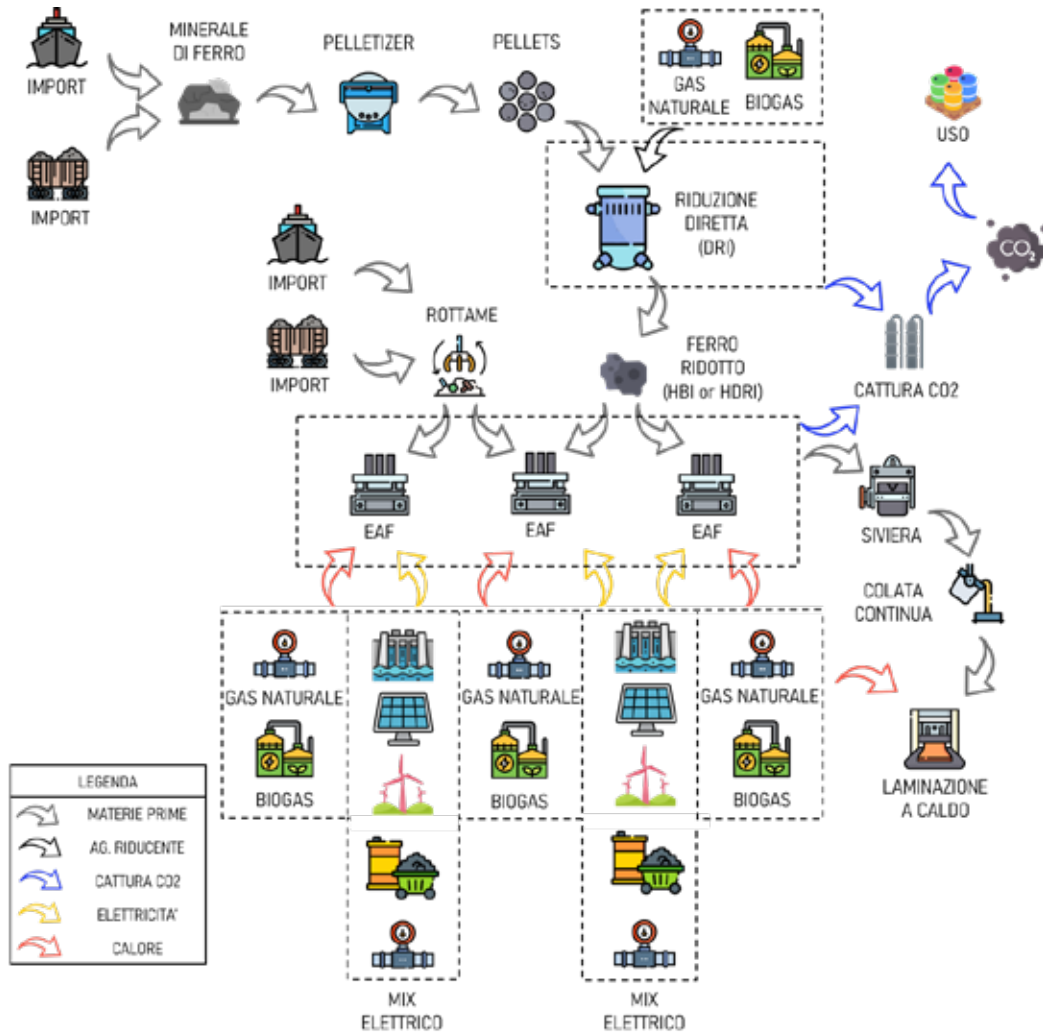
Il Global Steel Plant Tracker di Global Energy Monitor è un database che tiene traccia degli stabilimenti siderurgici nel mondo e include informazioni quali proprietario dell'impianto e società madre, stato dell'impianto, metodo di produzione, capacità dell'impianto, produzione

annuale, occupati, ubicazione. Il censimento viene effettuato a partire da banche dati nazionali e informazioni contenute in rapporto internazionali, in particolare: Steel On The Net, Comitato dell'acciaio dell'OCSE, SteelOrbis, SteelGuru, South East Asian Iron and Steel Institute (SEAIISI), Association for Iron & Steel Technology (AIST), Fastmarkets News e USGS Mineral Yearbooks, oltre a varie fonti aziendali e governative. I dati e le informazioni raccolte sono aggiornati al giorno 1° marzo 2023.

## 6.3 Lo Scenario Prospettico

Lo scenario prospettico prevede che vengano attuate le misure di mitigazione delle emissioni in maniera graduale, ovvero introducendo dei miglioramenti che dovrebbero portare a mitigare le emissioni complessive di gas serra in maniera sostanziale, installando tecnologie propedeutiche ad investimenti più ingenti nel processo produttivo sul lungo periodo. Questo scenario, che viene riportato graficamente in Figura 28, è quello che si dovrebbe instaurare nel breve/medio periodo in Italia, al fine di ottenere un'effettiva decarbonizzazione del settore siderurgico sul lungo periodo.

Figura 28 – Scenario Prospettico di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano



### 6.3.1 Implicazioni ambientali dello Scenario Prospettico

Questo scenario prevede che nel medio periodo si attuino misure propedeutiche ad una decarbonizzazione completa, come l'integrazione energetica, la cattura della CO2 (limitata ai processi DRI a gas naturale e al forno elettrico) e il suo utilizzo, l'introduzione di carbonio biogenico in sostituzione di quello fossile (quando possibile) e l'installazione di impianti fotovoltaici di piccole/medie dimensioni. Nel frattempo, i progetti pilota che sono già attivi avranno consolidato i propri risultati, generando fiducia nel mercato e stimolando investimenti nel settore, da parte sia delle aziende che delle istituzioni pubbliche. Inoltre, sempre più impianti DRI entreranno in funzione nel mondo, i cui pro-

dotti si imporranno sul mercato spinti dai consumatori che premieranno sempre di più iniziative volte alla sostenibilità, come l'utilizzo di green steel (acciaio verde) nei prodotti durevoli (per esempio, le automobili). I proprietari di EAF pre-esistenti integreranno il proprio processo produttivo da rottame introducendo sponge iron (HBI, spugna di ferro), spinti sia dalla sempre crescente scarsità e costo del rottame, sia dal peggioramento della sua qualità, causato dalla grande richiesta di materia prima di alta qualità, che ne causerà un aumento di prezzo. Inizialmente la tecnologia DRI sarà basata sul gas naturale e verrà accoppiata ad un processo di cattura e riutilizzo della CO2 in uscita. La

quota di gas naturale sarà progressivamente accoppiata da biogas (o syngas proveniente da carbone biogenico) e idrogeno, fino alla sostituzione totale della fonte fossile. Superata una breve fase transitoria iniziale in cui l'idrogeno (grigio) disponibile sul mercato deriverà principalmente da SMR (reforming del metano, eventualmente accoppiato alla cattura e riutilizzo della CO<sub>2</sub> – idrogeno blu), l'idrogeno sarà prodotto da elettrolisi utilizzando l'energia dalla rete integrata da energia auto-prodotta tramite impianti ad energia rinnovabile (idrogeno verde). Questi impianti andranno ad aumentare di potenza nel tempo, fino a fornire una quota preponderante dell'energia necessaria all'elettrolizzatore o al forno ad arco elettrico, mentre il

mix energetico nazionale sarà generato sempre di più da fonti rinnovabili. L'apporto di calore necessario all'EAF verrà fornito da una miscela di gas naturale e biometano (che consiste in biogas da cui è stata rimossa la quota di anidride carbonica inizialmente presente), mentre l'energia elettrica verrà fornita da fonti rinnovabili accoppiate al mix energetico nazionale. La maggior parte delle emissioni di anidride carbonica dirette dell'impianto verranno catturate tramite impianti dedicati, per poi essere impiegate per la produzione di sostanze dal valore aggiunto o, nel caso peggiorativo, stoccati in giacimenti salini profondi. I bilanci di materia e le emissioni relative a questo scenario sono riportate in Tabella 25.

Tabella 25 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Prospettico

SCENARIO PROSPETTICO				
Acciaio		Primario	Secondario	Totale
Fonte		Rosner et al. <sup>45</sup> ; Zecca et al. <sup>46</sup> ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	Federacciai <sup>3</sup> ; ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	
	UdM	[Mton]	[Mton]	[Mton]
Quantità		7	18	25
Tecnologia		(DRI_NG+E- AF)+CCU+HR	(EAF+HR)+CCU	Totale
Minerale	[Mton]	11,404	0	11,404
Carbone	[Mton]	0,196	0,165	0,361
Rottami	[Mton]	0	19,848	19,848
Gas Naturale	[GJ]*10 <sup>6</sup>	79,107	62,784	141,891
Elettricità	[TWh]	4,392	13,770	18,162
Calce	[Mton]	0,358	1,065	1,423
Emissioni dirette con CCU	[Mton]	3,046	0,501	3,548
Emissioni indirette con mix en. 2022 <sup>3</sup>	[Mton]	1,278	4,007	5,285
Emissioni complessive al 2022 <sup>3</sup>	[Mton]	4,325	4,508	8,833
Emissioni indirette con mix en. 2050 <sup>4</sup>	[Mton]	0,602	1,886	2,488
Emissioni complessive al 2050 <sup>4</sup>	[Mton]	3,648	2,388	6,036

<sup>1</sup>(DRI\_NG+EAF+HR)+CCU = DRI con gas naturale + forno elettrico + laminazione a caldo + cattura della CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup>(EAF+HR)+CCU = forno elettrico + laminazione a caldo+ cattura dell'anidride carbonica (80%)

<sup>3</sup>Fattore di emissione del mix elettrico italiano nel 2022: 291,1 gCO<sub>2</sub>/kWh, fonte GSE<sup>37</sup>

<sup>4</sup>Fattore di emissione ipotetico del mix elettrico utilizzato nel 2050: 137 gCO<sub>2</sub>/kWh



Come assunto in precedenza, le emissioni totali al 2050 considerano una diversa composizione del mix energetico nazionale, in cui la componente rinnovabile risulta preponderante. Come nello scenario precedente, se si considera che nel 2022 il mix elettrico nazionale è stato generato per il 31,1% da fonti rinnovabili (per le quali si considera un fattore di emissione pari a 0), un aumento della quota di rinnovabili al 67,6% comporterebbe un fattore emissivo dell'elettricità di 137 gCO<sub>2</sub>/kWh, che permetterebbe di ottenere la parità di emissioni fossili per questo scenario e per lo Scenario Auspicabile che segue. Questa diminuzione del fattore emissivo può essere raggiunta sia grazie a politiche nazionali di decarbonizzazione della generazione di energia elettrica alla fonte, sia dotandosi di impianti di generazione di elettricità decarbonizzata: sarebbe infatti sufficiente soddisfare il 35% dei propri consumi per raggiungere il fattore emissivo indicato precedentemente. Lo Scenario Prospettico suddivide le sue emissioni al 2050 abbastanza equamente fra dirette (59%) ed indirette (41%), poiché cattura della CO<sub>2</sub> emessa durante il processo produttivo non è particolarmente efficiente, come riportato nel lavoro di Zecca et al.<sup>46</sup> Una decarbonizzazione del mix energetico fino a 137 g/kWh (67,6% di energia da fonti rinnovabili, indipendentemente se dal mix nazionale o autoprodotta) porterebbe buoni benefici alle performance complessive, poiché ridurrebbe le emissioni del 32% rispetto al mix energetico del 2022. Per quanto riguarda la sostituzione delle materie prime

di origine fossile con delle alternative provenienti da fonti rinnovabili, la quantità di biochar non sembra sufficiente a soddisfare la richiesta di carbone, nonostante ci si attesti su valori molto inferiori rispetto alle quantità necessarie nell'altoforno.

La quantità di biogas necessaria a sostituire totalmente il gas naturale non è attualmente sufficiente e non sembra ipotizzabile che la sua produzione possa triplicare nell'arco di qualche decennio. Quindi se anche tutto il biogas attualmente prodotto fosse disponibile per il settore siderurgico (altamente improbabile), la sua quantità complessiva non sarebbe sufficiente a sostenere la produzione nazionale, limitando le performance finali dal punto di vista della decarbonizzazione. La cattura della CO<sub>2</sub> potrebbe aiutare a diminuire le emissioni dirette, ma rimane aperta la questione relativa all'effettivo utilizzo (o stoccaggio) a cui verrà destinata la CO<sub>2</sub>, una volta avvenuta la cattura.

La quantità di energia elettrica coinvolta nel processo produttivo è leggermente superiore allo Scenario Conservativo e richiederebbe di destinare il 16,7% della produzione nazionale da rinnovabile esclusivamente al settore siderurgico. Risulta quindi fondamentale per le aziende dotarsi di un impianto di produzione propria di energia rinnovabile, anche se al fine di soddisfare i consumi elettrici complessivi dell'impianto, sarà necessario prelevare anche energia dalla rete, che dovrà anch'essa subire una decisiva decarbonizzazione.

Tabella 26 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili

SOSTITUZIONE MATERIE PRIME FOSSILI CON RINNOVABILI						
Materia prima fossile	Materia prima decarbonizzata	UdM	Quantità necessaria	Quantità prodotta 2021	Sostituzione potenziale	Impiego in siderurgia <sup>4</sup>
Carbone	Biochar	[Mton]	0,361	0,001	0,2%	100,00%
Gas Naturale	Biogas	[GJ]	141,891*10 <sup>6</sup>	42,8*10 <sup>6</sup>	30,17%	100,00%
		[TWh]	39,414	11,891 <sup>2</sup>		
Elettricità	Elettricità da REN	[TWh]	18,162	108,1 <sup>3</sup>	100,00%	16,8%

<sup>1</sup>Fonte: Rapporto statistico GSE 2021

<sup>2</sup>Valore complessivo per produzione di elettricità e calore

<sup>3</sup>al valore originario di 116,3 TWh è stato sottratto il contributo del biogas

<sup>4</sup>impiego in siderurgia rispetto al totale prodotto in Italia



## 6.3.2 Implicazioni economiche dello Scenario Prospettico

Come per lo Scenario Conservativo, a partire dai bilanci di massa sono stati calcolati gli investimenti annuali richiesti per la decarbonizzazione e il costo livellato di produzione dell'acciaio (LCOP) medio, pesato rispetto alla quantità prodotta da ciascuna tecnologia. Il calcolo è stato effettuato utilizzando le assunzioni riportate in Appendice C ed i risultati sono presentati in Tabella 27. Il costo di produ-

zione dell'acciaio considera anche il costo dei certificati di emissioni relativo alle emissioni dirette, quindi risulta più elevato rispetto al valore attuale. Si può notare come la media pesata del costo di produzione dell'acciaio italiano risulti inferiore rispetto allo Scenario Conservativo, indicando una maggior competitività del settore siderurgico italiano nel mercato globale.

Tabella 27 – Indici economici per lo Scenario Prospettico

	UdM	Scenario Prospettico
<b>Investimenti annuali CAPEX</b>	[M€]	1.845,5
<b>Media pesata LCOP</b>	[€/ton]	607,28

## 6.3.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Prospettico

Basandosi sulle stesse assunzioni riportate precedentemente, il calcolo degli occupati per lo Scenario Prospettico è riportato in Tabella 28.

Tabella 28 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Prospettico

Tecnologie	Intensità di lavoro	Scenario Prospettico	Occupati previsti
<b>EAF</b>	1,4 occupati/1.000 ton	18 Mton	25.200
<b>BF-BOF</b>	2,4 occupati/1.000 ton		
<b>DRI-EAF</b>	1,6 occupati/1.000 ton	7 Mton	11.200
<b>Totale</b>		25 Mton	39.400

Il numero di occupati è inferiore rispetto allo Scenario Conservativo di circa 2.600 addetti, poiché l'installazione di impianti di nuova concezione prevede un efficientamento delle procedure interne ed una diminuzione degli addetti complessiva. Questa diminuzione di occupati potrà essere assorbita da altri settori, quali la produzione di energia elettrica rinnovabile. Il numero di occupati

è inferiore rispetto allo Scenario Conservativo di circa 2.600 addetti, poiché l'installazione di impianti di nuova concezione prevede un efficientamento delle procedure interne ed una diminuzione degli addetti complessiva. Questa diminuzione di occupati potrà essere assorbita da altri settori, quali la produzione di energia elettrica rinnovabile.

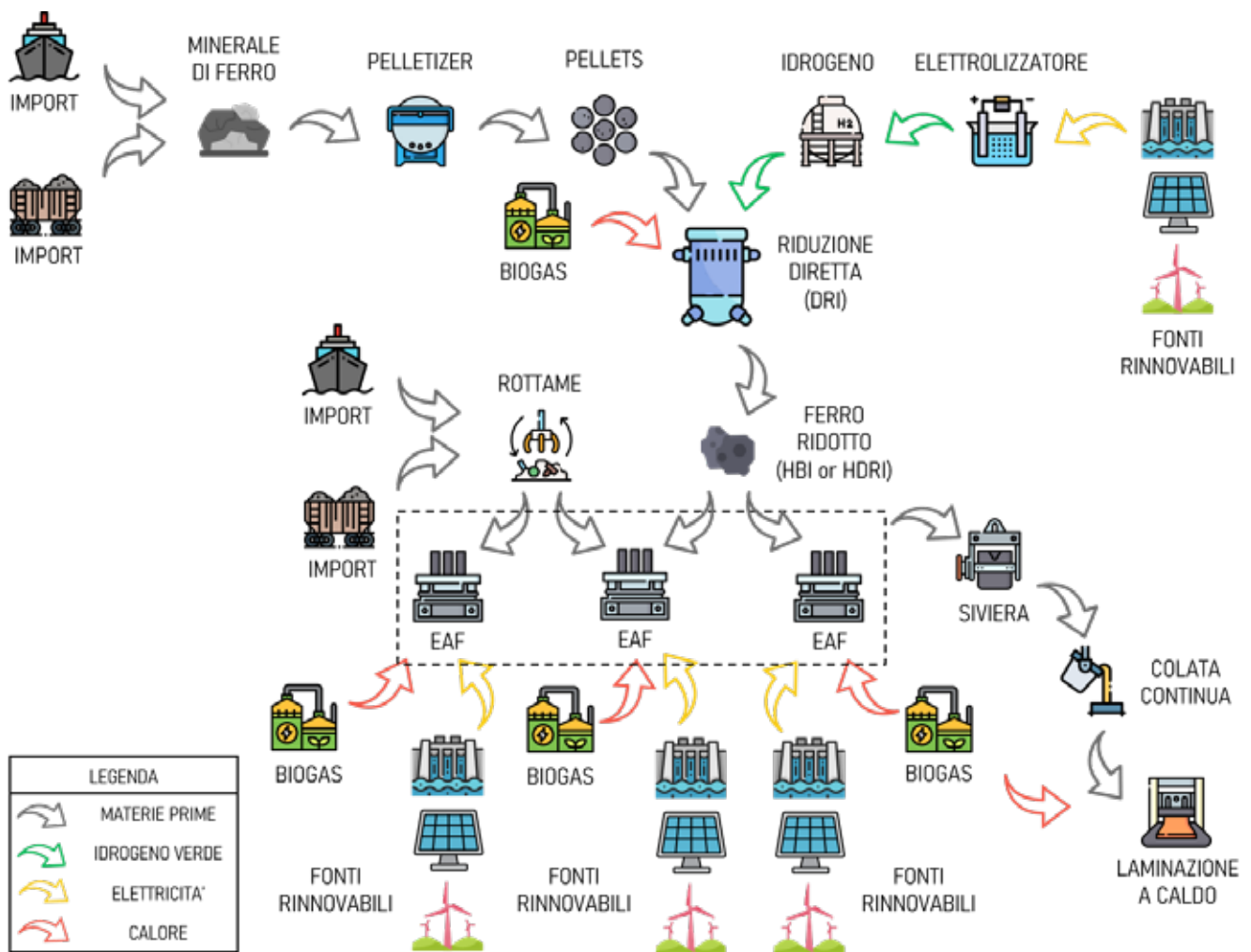
## 6.4 Lo Scenario Auspicabile

Lo scenario auspicabile, che è quello da raggiungere sul lungo periodo, vede pochi grandi siti di produzione di ferro ridotto tramite la tecnologia DRI ad idrogeno verde, accoppiata a diversi siti produttivi di acciaio tramite tecnologia EAF dove si introduce anche rottame nel ciclo produttivo, in un'ottica di economia circolare.

Lo scenario auspicabile che viene riportato graficamente in Figura 29 è quello che si dovrebbe instaurare nel lungo periodo in Italia, al fine di ottenere un'effettiva decarbonizzazione del settore siderurgico che si svincolerebbe totalmen-

te dall'uso di combustibili fossili. Sebbene lo scenario auspicabile sia quello che si vorrebbe fosse attuabile nel breve periodo, limitazioni legate alle entità degli investimenti e alle tecnologie attualmente disponibili non permettono una sua celere implementazione. Tuttavia, nel corso del presente report è stata tracciata una successione di miglioramenti progressivi che permettono di raggiungere l'obiettivo auspicato, o almeno di portarsi in una situazione prossima ad una completa decarbonizzazione, attraverso il passaggio intermedio rappresentato dallo Scenario Prospettico.

Figura 29 – Scenario Auspicabile di decarbonizzazione del settore siderurgico italiano



## 6.4. Implicazioni ambientali dello Scenario Auspicabile

L'idrogeno verde utilizzato nel processo di riduzione diretta proviene totalmente da elettrolisi dell'acqua utilizzando energia elettrica da fonti rinnovabili, che in parte viene auto-prodotta ed in parte proviene dal mix energetico nazionale, anch'esso dominato dalle energie rinnovabili, per sopperire all'intermittenza della fonte rinnovabile. Tutta l'anidride carbonica emessa dal processo di produzione dell'acciaio deriva da carbonio biogenico, per esempio dalla combustione di biogas all'interno dell'E-

AF, quindi il processo di cattura non risulta necessario, sebbene una sua implementazione possa aiutare a diminuire la quantità netta di anidride carbonica presente in atmosfera (BECCS). Inoltre gli impianti di cattura della CO<sub>2</sub> dovrebbero teoricamente essere già presenti se si è passati attraverso uno dei precedenti scenari, limitando il costo degli investimenti.

I bilanci di massa relativi allo scenario auspicabile sono riportati in Tabella 29.

Tabella 29 – Bilanci materiali annuali per lo Scenario Auspicabile

SCENARIO AUSPICABILE				
Acciaio		Primario	Secondario	Totale
Fonte		Rosner et al. <sup>45</sup> ; ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	Federacciai <sup>3</sup> ; ecoinvent v3.10 <sup>36</sup>	0,001
	UdM	[Mton]	[Mton]	[Mton]
Quantità		7	18	25
Tecnologia		DRI_H2+EAF+HR <sup>1</sup>	EAF+HR <sup>2</sup>	Totale
Minerale	[Mton]	11,404	0	11,404
Carbone	[Mton]	0,238	0,165	0,403
Rottami	[Mton]	0	19,848	19,848
Idrogeno	[Mton]	0,469	0	0,469
Gas naturale/Biometano	[GJ]*10 <sup>6</sup>	7,442	46,764	54,206
Elettricità per processo	[TWh]	3,854	13,140	16,994
Elettricità per elettrolisi	[TWh]	27,095	0	27,095
Elettricità totale	[TWh]	30,949	13,140	44,089
Calce	[Mton]	0,358	1,065	1,423
Emissioni dirette biogeniche	[Mton]	1,120	2,506	3,626
Emissioni indirette con mix en. 2022 <sup>3</sup>	[Mton]	9,006	3,824	12,830
Emissioni indirette con mix en. 2050 <sup>4</sup>	[Mton]	4,240	1,800	6,040

<sup>1</sup> DRI\_H2+EAF+HR = riduzione diretta con idrogeno + forno elettrico + laminazione a caldo

<sup>2</sup> EAF+HR = forno elettrico + laminazione a caldo

<sup>3</sup> Fattore di emissione del mix elettrico italiano nel 2022: 291,1 gCO<sub>2</sub>/kWh, fonte GSE<sup>37</sup>

<sup>4</sup> Fattore di emissione ipotetico del mix elettrico utilizzato nel 2050: 137 gCO<sub>2</sub>/kWh

Dal punto di vista delle emissioni di gas climalteranti, questo scenario riduce drasticamente le emissioni complessive del settore siderurgico, soprattutto nel caso in cui le emissioni di carbonio provengano dalla combustione di biometano, derivato da prodotti di scarto e non da colture dedicate. In tal caso infatti, le emissioni dirette derivanti dalla richiesta di calore (la più bassa fra i tre scenari) non andrebbero ad aumentare la quantità di CO<sub>2</sub> netta in atmosfera, mentre nel caso si volesse implementare la BECCS, quelle catturate e stoccate andrebbero a diminuire la quantità totale di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Nei calcoli riportati in Tabella 29, le emissioni di anidride carbonica biogenica non concorrono ad aumentare le emissioni del settore siderurgico poiché derivano da fonti rinnovabili. Poiché le emissioni indirette di origine fossile sono state calcolate considerando il mix energetico del 2022 e quello potenziale del 2050, un aumento della quota di rinnovabili nel mix energetico nazionale, grazie a semplificazioni procedurali, incentivi per nuove tecnologie e visione sistemica nazionale, porterebbe quindi a benefici non solo per l'industria siderurgica, ma per tutto il settore industriale. Come argomentato in precedenza, non è sufficiente che le aziende siderurgiche si affidino alla decarbonizzazione del mix energetico nazionale, ma è necessario che soddisfino parte dei propri consumi tramite l'installazione di impianti di generazione di energia elettrica rinnovabile (il fattore emissivo ipotizzato di 137 gCO<sub>2</sub>/kWh considera l'autoproduzione di circa il 35% dell'energia necessaria). Infatti, si può notare come una diminuzione delle emissioni specifiche del mix energetico, comporti una riduzione drastica delle emissioni indirette del 53%. Ovviamente,

esiste una correlazione diretta fra l'uso dell'energia autoprodotta e la diminuzione delle emissioni relative al consumo di energia elettrica, quindi si auspica che la quota di energia autoprodotta sia sempre maggiore, fino a coprire la maggior parte del consumo elettrico richiesto. Il calcolo ipotetico delle emissioni complessive considerando il mix energetico decarbonizzato tiene anche conto dell'utilizzo esclusivo di biometano, escludendo quindi l'emissione di carbonio biogenico.

La forte leva legata alla diminuzione delle emissioni indirette è legata al consumo elevato di energia elettrica (44,089 TWh), che è più che raddoppiato rispetto agli scenari precedenti, principalmente a causa dell'elevata quantità di elettricità necessaria al funzionamento degli elettrolizzatori (circa 57,8 MWh/tonH<sub>2</sub>). Come riportato in Tabella 30, alle condizioni attuali ciò comporterebbe l'impiego di circa il 40,8% di tutta l'energia da fonti rinnovabili prodotta in Italia nel 2021.<sup>40</sup> Si rende quindi necessario, come per tutti gli scenari precedenti, accoppiare al consumo di energia dalla rete (che dev'essere sempre più decarbonizzata) uno o più impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili. Un ulteriore aspetto da evidenziare è la ridotta dipendenza da fornitura di gas naturale, legato negli ultimi anni a tensioni geopolitiche globali, che permetterebbe di sfruttare esclusivamente la produzione di biogas interna (~80% della richiesta di calore complessiva) per soddisfare la richiesta del settore siderurgico, come riportato in Tabella 30. Ad oggi, l'aumento della produzione di biogas ha comportato la diffusione di colture dedicate, ed è quindi ancora oggetto di dibattito e controversie.

Tabella 30 – Sostituzione potenziale di materie prime di origine fossile con alternative rinnovabili

SOSTITUZIONE MATERIE PRIME FOSSILI CON RINNOVABILI						
Materia prima fossile	Materia prima decarbonizzata	UdM	Quantità necessaria	Quantità prodotta 2021 <sup>1</sup>	Sostituzione potenziale	Impiego in siderurgia <sup>4</sup>
Carbone	Biochar	[Mton]	0,403	0,001	0,2%	100,00%
Gas Naturale	Biogas	[GJ]	54,22*10 <sup>6</sup>	42,8*10 <sup>6</sup>	79%	100,00%
		[TWh]	15,06	11,8912		
Elettricità	Elettricità da REN	[TWh]	44,09	108,13	100,00%	40,8%

<sup>1</sup>Fonte: Rapporto statistico GSE 2021

<sup>2</sup>Valore complessivo per produzione di elettricità e calore

<sup>3</sup>al valore originario di 116.3 TWh è stato sottratto il contributo del biogas

<sup>4</sup>impiego in siderurgia rispetto al totale prodotto in Italia

## 6.4.2 Implicazioni economiche dello Scenario Auspicabile

Come per gli scenari precedenti, a partire dai bilanci di massa sono stati calcolati gli investimenti annuali richiesti per la decarbonizzazione e il costo livellato di produzione dell'acciaio (Levelized Cost of Production - LCOP) medio, pesato rispetto alla quantità prodotta da ciascuna tecnologia. Il calcolo è stato effettuato utilizzando le assunzioni riportate in Appendice C ed i risultati sono presentati in Tabella 31. Il costo di produ-

zione dell'acciaio considera anche il costo dei certificati di emissioni relativo alle emissioni dirette, e risulta più elevato rispetto al valore attuale principalmente a causa dell'elevato consumo di energia elettrica. Si può notare come la media pesata del costo di produzione dell'acciaio italiano (LCOP medio pesato) risulti superiore agli altri due scenari, sebbene l'aumento percentuale non risulti significativo (~2%).

Tabella 31 – Indici economici per lo Scenario Auspicabile

	UdM	Scenario Auspicabile
<b>Investimenti annuali CAPEX</b>	[M€]	1.387,5
<b>Media pesata LCOP</b>	[€/ton]	621,61

## 6.4.3 Implicazioni occupazionali dello Scenario Auspicabile

Basandosi sulle stesse assunzioni riportate precedentemente, il calcolo degli occupati per lo Scenario Auspicabile è riportato in Tabella 32.

Tabella 32 – Stime per l'occupazione futura nello Scenario Auspicabile

Tecnologie	Intensità di lavoro	Scenario Auspicabile	Occupati previsti
<b>EAF</b>	1,4 occupati/1.000 ton	18 Mton	25.200
<b>BF-BOF</b>	2,4 occupati/1.000 ton		
<b>DRI-EAF</b>	1,6 occupati/1.000 ton	7 Mton	11.200
<b>Totale</b>		25 Mton	39.400

Il numero di occupati è lo stesso rispetto allo Scenario Prospettico ed è inferiore rispetto allo Scenario Conservativo di circa 2.600 addetti, poiché l'installazione di impianti di nuova concezione prevede un'efficientamento

delle procedure interne ed una diminuzione degli addetti complessiva. Questa diminuzione di occupati potrà essere assorbita da altri settori, quali la produzione di energia elettrica rinnovabile.

# 7. VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEGLI SCENARI

Si riporta in Tabella 33 un riepilogo dei principali risultati ottenuti durante la valutazione degli scenari secondo le diverse prospettive analizzate. Le performance ambientali, economiche e sociali possono essere ricavate dall'analisi dei tre parametri evidenziati, ovvero:

- **Performance ambientali - Emissioni complessive al 2050:** questo valore riporta le emissioni complessive di CO<sub>2</sub> (dirette ed indirette) del settore siderurgico considerando una produzione di 25 Mton di acciaio al 2050. Per la previsione del fattore d'emissione dell'energia utilizzata nel processo siderurgico (137 gCO<sub>2</sub>/kWh), si considera un contributo duplice proveniente sia dall'utilizzo di energia decarbonizzata autoprodotta che una decarbonizzazione del mix energetico italiano sul lungo periodo.

Oltre ad un confronto diretto fra le emissioni calcolate per ogni scenario di decarbonizzazione (Conservativo, Prospettico e Auspicabile), può essere condotta una comparazione anche rispetto alle emissioni attuali (2022) del settore siderurgico, normalizzate per 25 Mton, considerando di non introdurre nessuna tecnologia di decarbonizzazione (Business As Usual – BAU). Dai grafici riportati nel Rapporto di Sostenibilità 2023<sup>5</sup> di Federacciai, le emissioni dirette ed indirette specifiche sono di 0,74 tonCO<sub>2</sub>/ton di acciaio, come calcolato nel capitolo introduttivo al presente

report. Moltiplicando il valore delle emissioni specifiche per una produzione complessiva di 25 Mton di acciaio, si ottiene un valore di emissioni complessive di 18,771 MtonCO<sub>2</sub>, che può essere confrontato con i valori di emissioni relativi agli scenari di decarbonizzazione per la medesima quantità di acciaio prodotta.

- **Performance economiche - Levelized Cost of Production (LCOP):** nel contesto dell'industria siderurgica, il “Levelized Cost of Production” (LCOP) si riferisce al costo medio di produzione di una tonnellata di acciaio, considerando tutti i costi associati durante l'intero ciclo di vita del processo produttivo. Questo include non solo i costi diretti come materie prime, energia e manodopera, ma anche i costi indiretti come manutenzione, ammortamento degli impianti, gestione dei rifiuti, costi ambientali e, sempre più importante, i costi associati alla riduzione delle emissioni di carbonio e all'adozione di pratiche sostenibili.
- **Performance sociali - Totale occupati (diretti ed indiretti):** si considerano il totale degli occupati direttamente all'interno del settore siderurgico per ciascuno scenario, ai quali vengono sommati i potenziali nuovi posti di lavoro generati dalla richiesta di installazione di nuovi impianti di generazione di energia decarbonizzata, come calcolati nel paragrafo dedicato (6.5.3).

Tabella 33 – Riepilogo delle principali considerazioni di carattere ambientale, economico e occupazionale relative ai diversi scenari

	UdM	Business As Usual (BAU)	Scenario Conservativo	Scenario Prospettico	Scenario Auspicabile
<b>BF+BOF+HR</b>	[Mton]	7			
<b>(BF+BOF+HR)+CCU</b>	[Mton]		7		
<b>(DRI_NG+EAF+HR)+CCU</b>	[Mton]			7	
<b>DRI_H2+EAF+HR</b>	[Mton]				7
<b>(EAF+HR)+CCU</b>	[Mton]		18	18	
<b>EAF+HR</b>	[Mton]	18			18
<b>Consumo Termico</b>	[GJ]*106	73,170	73,170	141,891	54,206
<b>Consumo Elettrico</b>	[TWh]	14,120	17,175	18,162	44,089
<b>Emissioni dirette</b>	[Mton]	16,837	6,40	2,871	3,643
<b>Emissioni indirette<sup>1</sup></b>	[Mton]	1,934	5,00	5,261	12,834
<b>Emissioni complessive al 2050<sup>1</sup></b>	[Mton]	<b>18,771</b>	<b>8,753</b>	<b>6,036</b>	<b>6,040</b>
<b>CAPEX</b>	[M€]	-	1.478,6	1.845,5	1.387,5
<b>LCOP</b>	[€/ton]	-	<b>612,76</b>	<b>607,28</b>	<b>621,61</b>
<b>Occupati in siderurgia</b>	[addetti]	-	42.000	39.400	39.400
<b>Occupati in altri settori</b>	[addetti]	-	4.674	4.950	12.080
<b>Totale occupati (dir. e indir.)</b>	[addetti]	-	<b>46.674</b>	<b>44.350</b>	<b>51.480</b>

<sup>1</sup>Fattore di emissione ipotetico del mix elettrico utilizzato nel 2050: 137 gCO<sub>2</sub>/kWh

## 7.1.1 Considerazioni di carattere ambientale

Tutti gli scenari di decarbonizzazione proposti diminuiscono le emissioni complessive del settore siderurgico rispetto al caso in cui non venga implementata nessuna azione correttiva. Infatti, nel caso in cui la produzione italiana venisse aumentata a 25 Mton utilizzando il mix tecnologico ed energetico attuale, le emissioni al 2050 sarebbero circa da 2 a 3 volte superiori rispetto agli scenari ipotizzati.

Per quanto riguarda i singoli scenari, si possono riassumere le loro principali caratteristiche come segue:

**Scenario Conservativo:** prevede una prospettiva legata alle esigenze a breve termine in cui le azioni correttive consistono nell'aggiunta della cattura della CO<sub>2</sub> alle tecnologie già presenti in Italia (BF-BOF ed EAF). In parallelo, parte dei combustibili fossili utilizzati potrebbero essere sostituiti da alternative provenienti da fonti rinnovabili o da idrogeno, tendenzialmente di tipo grigio o blu.

Nonostante la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate agli impianti di cattura sia consistente (da 18,771 MtonCO<sub>2</sub> attuali a 8,753 MtonCO<sub>2</sub> al 2050, -53,3%), la riduzione complessiva di emissioni risulta limitata rispetto agli altri scenari ed è legata alla presenza effettiva di siti di stoccaggio o di conversione in prodotti utili che non riemettono la CO<sub>2</sub> in un secondo momento.

- **Scenario Prospettico:** prevede una prospettiva a medio termine, che introduce modifiche sostanziali nei processi produttivi al fine di ottenere una decarbonizzazione completa del settore sul lungo periodo. La tecnologia BF-BOF verrà sostituita dalla tecnologia DRI basata sull'utilizzo del gas naturale (e possibilmente biometano), le cui emissioni di anidride carbonica verranno catturate e convertite in prodotti utili. L'eventuale stoccaggio (da evitare) è, come nel caso precedente, legato alla presenza effettiva di siti di stoccaggio. L'energia elettrica necessaria ai vari processi produttivi deriverà sia da impianti di produzione di energia rinnovabile, che dalla rete elettrica nazionale che sarà sempre più decarbonizzata. La riduzione delle emissioni (da 18,771 MtonCO<sub>2</sub> a 6,036 MtonCO<sub>2</sub> al 2050, -67,8%) è principalmente legata all'implementazione di tecnologie innovative, alle ottimizzazioni energetiche e all'utilizzo di combustibili bio-based, con l'eventuale opzione aggiuntiva (e ancora in fase di sviluppo su larga scala) della tecnologia di cattura della CO<sub>2</sub> seguita da utilizzi sostenibili, come la conversione in prodotti utili.
- **Scenario Auspicabile:** prevede una prospettiva a medio/lungo termine in cui l'acciaio primario sarà prodotto tramite la tecnologia DRI basata sull'utilizzo dell'idrogeno verde. Tutti i combustibili fossili verranno sostituiti da fonti rinnovabili equivalenti ed il mix energetico nazionale sarà basato principalmente su fonti decarbonizzate, accoppiandolo a impianti di generazione installati ad-hoc che diminuiranno il fat-

tore di emissione complessivo dell'elettricità utilizzata. Il carbonio introdotto nel sistema produttivo sarà principalmente di tipo biogenico, che non necessita della presenza di sistemi di cattura post-combustione. Le emissioni complessive di anidride carbonica (da 18,771 MtonCO<sub>2</sub> a 6,040 MtonCO<sub>2</sub> al 2050, -67,8%) saranno quindi legate principalmente alla componente indiretta, che, ad oggi, non è ancora sufficientemente decarbonizzata. Lo sforzo congiunto di politiche sull'energia a livello italiano e delle aziende siderurgiche nell'autoproduzione di energia pulita renderanno questo scenario il più virtuoso sul lungo periodo. Inoltre, un'ulteriore diminuzione del fattore emissivo dell'energia elettrica comporterà un miglioramento sostanziale delle emissioni complessive, al contrario degli altri scenari dove non sarà possibile diminuire ulteriormente le emissioni per i limiti tecnologici dei processi di cattura della CO<sub>2</sub>. Questo scenario è quello che richiede un minor apporto di energia dai combustibili fossili ed è quindi quello che potenzialmente può raggiungere una completa decarbonizzazione del settore siderurgico.

## 7.1.2 Considerazioni di carattere economico

Nello Scenario Conservativo, gli investimenti annuali necessari ammontano a 1,478 miliardi di euro, che è un valore rilevante, ma attuabile. Lo Scenario Auspicabile, evitando l'implementazione alla CCU, avrebbe un costo leggermente inferiore, mentre lo Scenario Prospettico, richiedendo un notevole investimento in termini di CCU, risulterebbe come lo scenario che richieda una maggior quantità di capitale investito.

La domanda di elettricità per lo Scenario Conservativo è importante, ma sostenibile e progressivamente orientabile verso l'uso di fonti rinnovabili, come quella dello Scenario Prospettico, che aumenta di poco. La richiesta di elettricità pulita da fornire nello Scenario Auspicabile, risulta molto elevata e richiede un impegno sistemico per essere soddisfatta.

A tale scopo, si riportano alcune possibili politiche per ri-orientare lo sviluppo del settore dell'acciaio in Europa ed in Italia, che verranno in seguito analizzate per evidenziare le ricadute di alcune strategie politiche sulla competitività relativa delle diverse tecnologie disponibili.

Il dibattito europeo sulle politiche per la promozione dell'acciaio verde individua diverse strategie (es., Green Steel for Europe – ESTEP), tra cui si possono elencare:

- Incrementare la disponibilità di energia elettrica "ver-



de” (ovvero proveniente da fonti rinnovabili o basso contenuto di emissioni di CO<sub>2</sub>). È largamente condiviso che la decarbonizzazione dell’industria siderurgica, indipendentemente dai percorsi tecnologici, richiederà enormi volumi di elettricità pulita a un prezzo accessibile. Incrementare la disponibilità di energia elettrica “verde” rappresenta quindi la via maestra per ridurre il contributo del settore dell’acciaio alla decarbonizzazione (soprattutto per lo Scenario Auspicabile che è quello più dipendente dalle emissioni indirette). Tuttavia, si sottolinea che numerose sfide rimangono irrisolte, tra cui le gravose procedure di autorizzazione e la mancanza di un quadro normativo a sostegno dello stoccaggio di energia elettrica.

- Applicare gli Emission Trading Schemes (ETS) al settore dell’acciaio (vedi Appendice B). Gli ETS rappresentano uno dei tasselli fondamentali utilizzati a livello europeo per ridurre le proprie emissioni di CO<sub>2</sub>. Le Direttive Europee prevedono la loro applicazione progressiva al settore siderurgico per incentivare la produzione di acciaio attraverso tecnologie meno inquinanti, cercando nel contempo di preservare la competitività del settore e consentendo investimenti in innovazione. Si è scelto di prevedere inizialmente il rilascio di certificate gratuiti (free allowances) per non mettere in difficoltà il settore europeo dell’acciaio già esposto ad una forte concorrenza internazionale, ma da più parti viene chiesto che tale regime venga progressivamente dismesso per non neutralizzare l’efficacia degli ETS.
- Applicare il Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), presentata in Appendice B;
- Applicare i Carbon Contracts for Difference (CCfDs), come riportato in Appendice B;
- Introdurre il Green procurement. Gli appalti pubblici rappresentano circa il 14% del PIL dell’UE. La

dimensione degli appalti pubblici è quindi importante per la competitività. Pertanto, vi è un incentivo a rendere gli appalti pubblici “verdi” (Green procurement), applicando cioè criteri ambientali ai materiali ad alta intensità energetica.

- Incrementare la disponibilità di rottami di acciaio di qualità elevata. Siccome la produzione per via secondaria dell’acciaio consuma meno energia e riduce considerevolmente le emissioni di CO<sub>2</sub>, incrementare la disponibilità di rottami di acciaio di qualità elevata è un pre-requisito fondamentale per rendere possibile tale tecnologia. Tuttavia, nell’UE la disponibilità di rottami di acciaio di qualità adeguata è ancora fortemente limitata. Attualmente manca un quadro politico favorevole all’economia circolare, in particolare nelle industrie pesanti. È quindi auspicabile un sostegno pubblico alla ricerca e allo sviluppo per aumentare la qualità del riciclaggio dei rottami e limitare le esportazioni di rottami verso i paesi extra-UE.

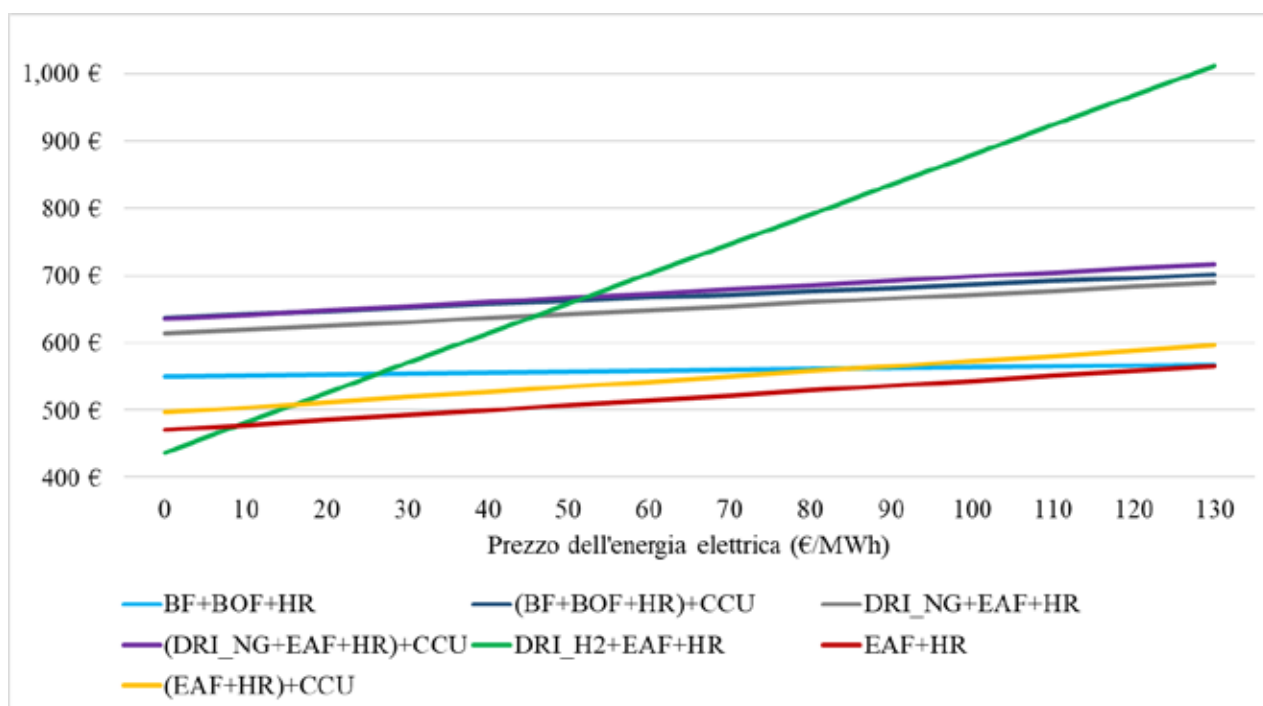
A queste strategie si accompagnano tre strategie di base:

- raggiungere una migliore sinergia tra le diverse fonti di finanziamento dell’acciaio verde (Clean Steel Partnership, Innovation Fund, IPICEI, ecc.);
- fornire un’adeguata formazione e riqualificazione della forza lavoro;
- assicurare un adeguato supporto alla ricerca e sviluppo sulle tecnologie dell’acciaio verde.

È stata analizzata la competitività delle varie tecnologie al variare di alcuni parametri critici, quali il prezzo dell’energia e il costo delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

La Figura 30 illustra la variazione del costo di una tonnellata di acciaio prodotta con le varie tecnologie al variare del prezzo dell’elettricità.

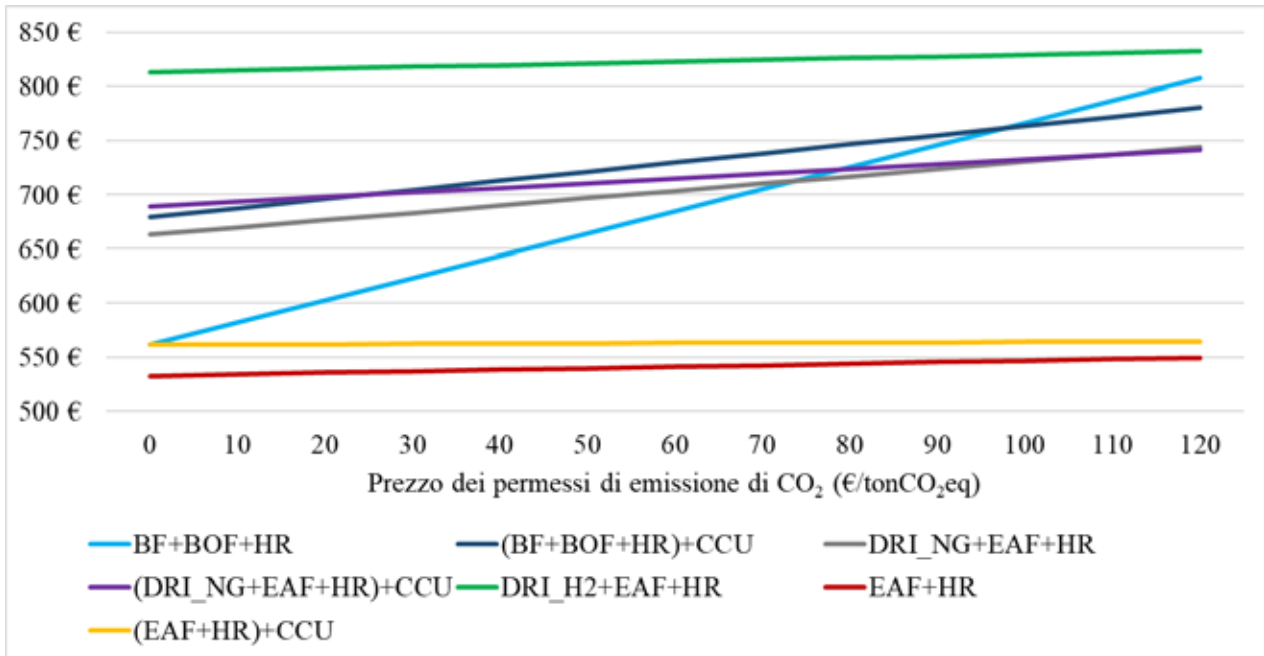
Figura 30 – Prezzo dell’energia elettrica e competitività delle tecnologie



La tecnologia più sensibile al prezzo è, ovviamente, quella DRI che usi idrogeno come agente riducente. Per prezzi molto bassi dell'energia elettrica, la DRI\_H2+EAF può essere addirittura più conveniente rispetto alle altre tecnologie, ma questo richiede un costo dell'energia elettrica al di sotto di 30 €/MWh. Per valori più vicini al PUN italiano, che attualmente si attesta attorno agli 85 €/MWh, la DRI\_H2-EAF non risulta ancora competitiva.

La Figura 31 illustra come varia il costo di una tonnellata di acciaio prodotta con le varie tecnologie al variare del costo dei permessi di emissione di una tonnellata di CO2.

Figura 31 – Costo dei permessi di emissione di CO2 e competitività delle tecnologie



La tecnologia più sensibile è, ovviamente, quella del BF+BOF+HR, che per valori molto elevati del costo dei permessi di emissione di CO2, evidenzia una riduzione molto sensibile del divario rispetto alla tecnologia DRI\_H2+EAF. Se si impone una variazione simultanea del costo dei permessi di emissione di CO2 e del prezzo dell'energia elettrica, è possibile calcolare la differenza di prezzo tra la tecnologia attualmente utilizzata per l'acciaio primario (BF-BOF+HR) e quella che nel lungo periodo può assicurare una maggior decarbonizzazione (DRI\_H2+EAF), come riportato in Tabella 34, dove sono stati individuati in rosso i valori negativi.

Tabella 34 – Differenza nei costi di produzione dell'acciaio tra DRI\_H2+EAF e BF-BOF

		Prezzo emissione di CO2 [€]												
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Prezzo elettricità [€]	0	-113	-131	-150	-169	-188	-207	-226	-245	-264	-282	-301	-320	-339
	10	-70	-89	-108	-126	-145	-164	-183	-202	-221	-240	-259	-277	-296
	20	-27	-46	-65	-84	-102	-121	-140	-159	-178	-197	-216	-235	-253
	30	16	-3	-22	-41	-60	-79	-97	-116	-135	-154	-173	-192	-211
	40	59	40	21	2	-17	-36	-55	-73	-92	-111	-130	-149	-168
	50	101	83	64	45	26	7	-12	-31	-50	-68	-87	-106	-125
	60	144	125	107	88	69	50	31	12	-7	-26	-44	-63	-82
	70	187	168	149	130	112	93	74	55	36	17	-2	-21	-39
	80	230	211	192	173	154	136	117	98	79	60	41	22	3
	90	273	254	235	216	197	178	159	141	122	103	84	65	46
	100	316	297	278	259	240	221	202	183	165	146	127	108	89
	110	358	339	321	302	283	264	245	226	207	188	170	151	132
	120	401	382	363	345	326	307	288	269	250	231	212	194	175
130	444	425	406	387	368	350	331	312	293	274	255	236	217	

Si può notare come la tecnologia DRI\_H2+EAF sia competitiva con la BF-BOF solo quando i permessi di emissione di CO2 sono elevati e contemporaneamente i costi di produzione dell'energia elettrica sono bassi.

Tale scenario richiede, quindi, un mix elettrico residuo fortemente basato sulle rinnovabili e una politica europea che continui ad imporre il pagamento dei permessi di emissioni di CO2. La prima tendenza è in atto ed anche l'Italia si sta progressivamente, anche se con notevole ritardo rispetto ad altri paesi europei (Spagna e Portogallo in primis) avvicinando a prezzi dell'energia elettrica inferiore a 70 €/MWh. L'attuale costo dei permessi di emissione è, come è stato

presentato precedentemente, abbastanza elevato e questa condizione pone dei rischi in merito alla competitività internazionale dell'acciaio europeo.

La Tabella 35 stima la differenza nei costi di produzione dell'acciaio utilizzando le tecnologie di riduzione diretta basate su due agenti riducenti differenti, ovvero l'idrogeno (DRI\_H2+EAF) e gas naturale accoppiato alla cattura della CO2, che risulta necessaria per ottenere una riduzione delle emissioni dirette (DRI\_NG+EAF+CCU). Dai risultati ottenuti, si evince che la tecnologia DRI\_H2+EAF è conveniente per prezzi dell'energia elettrica inferiore a 50 €/MWh.

Tabella 35 – Differenza nei costi di produzione dell'acciaio tra DRI\_H2+EAF e DRI\_NG+EAF+CCU

		Prezzo emissione di CO2 [€]													
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
Prezzo elettricità [€]	0	-198	-201	-204	-207	-209	-212	-215	-218	-220	-223	-226	-229	-231	
	10	-160	-163	-166	-169	-171	-174	-177	-180	-182	-185	-188	-191	-193	
	20	-122	-125	-128	-131	-133	-136	-139	-142	-144	-147	-150	-153	-156	
	30	-85	-87	-90	-93	-96	-98	-101	-104	-107	-109	-112	-115	-118	
	40	-47	-49	-52	-55	-58	-60	-63	-66	-69	-71	-74	-77	-80	
	50	-9	-11	-14	-17	-20	-22	-25	-28	-31	-33	-36	-39	-42	
	60	29	27	24	21	18	16	13	10	7	5	2	-1	-4	
	70	67	64	62	59	56	53	51	48	45	42	40	37	34	
	80	105	102	100	97	94	91	89	86	83	80	78	75	72	
	90	143	140	138	135	132	129	127	124	121	118	116	113	110	
	100	181	178	176	173	170	167	165	162	159	156	154	151	148	
	110	219	216	213	211	208	205	202	200	197	194	191	189	186	
	120	257	254	251	249	246	243	240	238	235	232	229	227	224	
	130	295	292	289	287	284	281	278	276	273	270	267	265	262	

Dalle analisi svolte si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il DRI\_H2+EAF non è, nelle condizioni attuali, una tecnologia competitiva in Italia, anche se dal punto di vista ambientale ha la potenzialità di ridurre considerevolmente le emissioni di CO2 derivanti dalla produzione primaria dell'acciaio.
- La prima importante condizione per la competitività della DRI\_H2+EAF è il costo dell'energia elettrica. Siccome con le tecnologie attuali, il costo livellato dell'energia elettrica delle rinnovabili è più basso delle altre fonti, in particolare del gas naturale che compone la gran parte del mix elettrico italiano, le politiche di promozione delle rinnovabili sono al momento lo strumento più efficace per promuovere l'idrogeno verde.
- Il modello ha permesso di stimare che la produzione di 7 Mton di acciaio verde prodotto con DRI\_H2+EAF richiederebbe da solo una quantità di energia elettrica pari al 40% della produzione attuale dalle fonti rinnovabili. È quindi essenziale non solo cambiare il mix elettrico, ma espandere in modo deciso la produzione da fonti rinnovabili, soprattutto nell'autoproduzione degli stabilimenti. Dato che le risorse idroelettriche sono quasi completamente sfruttate, sembra che l'aumento della generazione di energia rinnovabile sarà legato principalmente alla diffusione della generazione da impianti fotovoltaici ed eolici.
- La seconda importante condizione che assicuri la competitività della DRI\_H2+EAF è l'internalizzazione dei costi ambientali attraverso lo strumento dei permessi di emissione di CO2 (ETS). Il modello sviluppato ha permesso di stimare che, quando il costo dell'energia elettrica è basso (attorno a 50 €/MWh), anche dei costi dei permessi di emissione non particolarmente elevati (attorno a 50 €/ton CO2) permetterebbero alla tecnologia DRI\_H2+EAF di essere competitiva rispetto a quella tradizionale BF-BOF.
- Ulteriori strumenti quali i contributi in conto capitale, il green procurement e i contratti per differenza possono ridurre il divario di competitività del DRI\_H2+EAF,
- Il raggiungimento dello scenario auspicabile richiede importanti investimenti. È plausibile che, data la sua attuale scarsa competitività, la sua promozione richieda consistente partecipazione del capitale pubblico.
- Il DRI\_H2+EAF a livello internazionale è in fase di sperimentazione. Come per altre tecnologie, è possibile che i processi di apprendimento e le economie di scala contribuiranno a ridurre i costi e ad aumentarne la competitività. È importante che l'Italia, che dispone di aziende con capacità di progettazione e costruzione di impianti di livello internazionale, sperimenti l'utilizzazione di questa tecnologia.

## 7.1.3 Considerazioni di carattere occupazionale

Se, come previsto all'interno del report ed elaborato negli scenari prospettico e auspicabile nel nostro paese nei prossimi anni la produzione di acciaio secondario si assesterà attorno a 18 milioni di tonnellate e quella da primario con tecnologia DRI+EAF a 7 milioni di tonnellate, il fabbisogno occupazionale dovrebbe essere di circa 39.400 persone, 25.200 impegnate nel secondario e 11.200 nel primario. Le assunzioni ed i dati utilizzati per elaborare gli scenari occupazionali sono riportati nel paragrafo 1.4.2.

La transizione dalla tecnologia BF-BOF (altoforno) a quella DRI con idrogeno prodotto da fonti rinnovabili dovrà essere supportata da un incremento notevole di energia prodotta da fonti rinnovabili. L'impatto occupazione può variare in modo significativo, a seconda dell'apporto delle fonti rinnovabili nella produzione di DRI. Riprendendo gli scenari formulati, è possibile stimare il fabbisogno occupazionale permanente (legati alla gestione e manutenzione degli impianti esistenti) generato dalle nuove installazioni di impianti per la produzione di energia elettrica.

Seguendo la metodologia adottata dal GSE, che stima il fabbisogno occupazionale delle fonti energetiche a partire

da matrici di interdipendenze settoriali, possiamo stimare il fabbisogno occupazionale. La matrice è un quadro contabile che schematizza la struttura economica di un Paese in un determinato arco temporale, mettendo in evidenza in maniera sintetica e immediata le interdipendenze tra i diversi settori che compongono l'economia. La matrice unità di lavoro opportunamente trasformata permette di stimare gli impatti economici ed occupazionali (ULA) dirette e dovuti a variazione diretta della domanda finale in un certo settore in un dato anno. Le matrici sono attivate da vettori di spesa ottenuti dalla ricostruzione dei costi per investimenti e delle spese di esercizio e manutenzione, basati su dati statistici e tecnico-economici Unità di lavoro elaborati dal GSE. Secondo i dati GSE,<sup>47</sup> tra il 2013 e il 2020, il numero di occupati permanenti per GW di potenza installato è stato di 575 unità. Moltiplicando il numero di occupati per i GW installati necessari ad alimentare la produzione di acciaio nei tre scenari, possiamo stimare l'impatto occupazionale permanente (Tabella 36). Si evita di stimare il fabbisogno di occupati transitori in quanto la relazione strutturale è più difficile da stabilire.

Tabella 36 – Stime occupazionali nella produzione di energia nei tre scenari

	Unità	Scenario conservativo	Scenario Prospettico	Scenario Auspicabile
<b>Energia necessaria</b>	TWh	17,175	18,162	44,089
<b>Potenza installata</b>	GW	8,13	8,65	21,01
<b>Occupati</b>		4.674	4.974	12.081

Il capacity factor che collega la produzione di energia rinnovabile all'installazione delle varie tecnologie è stato calcolato come la media di tutta la produzione da rinnovabile rispetto alla potenza installata nel 2021, usando i dati forniti dal GSE.<sup>40</sup> Tutti e tre gli scenari suggeriscono un importante contributo occupazionale delle fonti rinnovabili, che fanno della scelta della decarbonizzazione della pro-

duzione di acciaio primaria una scelta da perseguire anche per ragioni sociali e di impatto sullo sviluppo del territorio. Chiaramente, lo Scenario Auspicabile apre alla possibilità di generare un impatto occupazionale molto importante, e allo stesso tempo rappresenterebbe fattore di spinta per la strutturazione e il rafforzamento delle filiere industriali nazionali delle rinnovabili.

## 8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. IEA - International Energy Agency. Production of crude steel by route in the Net Zero Scenario, 2018-2030. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/production-of-crude-steel-by-route-in-the-net-zero-scenario-2018-2030>.
2. worldsteel association. 2023 World Steel in Figures. (2023).
3. Federacciai. Rapporto di sostenibilità 2021. (2021).
4. Federacciai. La siderurgia italiana in cifre-The italian steel industry key statistics. 1–21 (2022).
5. Federacciai. Rapporto di sostenibilità 2023. (2023).
6. EUROFER The European Steel association. European Steel in Figures 2023. (2023).
7. Federacciai. La siderurgia italiana in cifre. (2021).
8. Federacciai. L'Industria Siderurgica Italiana. (2022).
9. Istituto per il Commercio Estero. L'Italia nell'economia internazionale. (2022).
10. European Parliament and the Council. Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020. Off. J. Eur. Union 198, 13–43 (2020).
11. European Parliament. Towards climate neutrality: Fit for 55 package. Eur. Parliam. PE 733.513 (2022).
12. Erbach, G. & Jensen, L. Hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy. Eur. Parliam. Res. Serv. 8 (2021).
13. European Commission. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. Publications Office of the European Union (2020) doi:10.4324/9781315558820-6.
14. European Commission. Regulation 2021/0367. Publications Office of the European Union (2021).
15. Lapillonne, B. & Sudries, L. Overall trends in energy efficiency in the EU. ODYSSEE-MURE Policy Br. 4 (2020).
16. European Commission. Net Zero Industry Act. Publications Office of the European Union [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en) (2023).
17. European Commission. REPowerEU Plan. Publications Office of the European Union [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en) (2022).
18. Federacciai. L'industria siderurgica italiana 2021 - Assemblea annuale 2022. (2022).
19. Boston Consulting. Industrial Decarbonization Pact - Un'alleanza per la piena decarbonizzazione dei settori hard to abate. at <https://industrialdecarbonizationpact.com/> (2022).
20. World Steel Association. Life cycle inventory methodology report. (2017).
21. Joint Research Center - JRC. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. BRef (2013) doi:10.1515/9783110556148-007.
22. Joint Research Center - JRC. Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry. BRef vol. 1 (2022).
23. Policy Department for Economic Scientific and Quality of Life Policies. Moving Towards Zero-Emission Steel. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL\\_STU\(2021\)695484\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL_STU(2021)695484_EN.pdf) (2021).
24. Italia Solare. AUDIZIONE PRESSO LA 9a COMMISSIONE SU AS 1138 – CONVERSIONE IN LEGGE DEL DECRETO LEGGE 15 MAGGIO 2024, n. 63, RECANTE DISPOSIZIONI URGENTI PER LE IMPRESE AGRICOLE, DELLA PESCA E DELL'ACQUACOLTURA, NONCHE' PER LE IMPRESE DI INTERESSE STRATEGICO NAZIONALE. (2024).
25. Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea. Direttiva (UE) 2023/2413 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 ottobre 2023 che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/1999 e la direttiva n. 98/70/CE per quanto riguarda la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e ch. 2413, 1–77 (2023).
26. European Commission. Raccomandazione 2024/1343. 1–10 (2024).
27. Cedigaz. Global biomethane market: Green Gas Goes Global. (2019).

28. King, L. C. & Van Den Bergh, J. C. J. M. Implications of net energy-return-on-investment for a low-carbon energy transition. *Nat. Energy* 3, 334–340 (2018).
29. Insitute for Energy Economics and Financial Analysis. Carbon Capture for Steel? (2024).
30. Desport, L. & Selosse, S. An overview of CO<sub>2</sub> capture and utilization in energy models. *Resour. Conserv. Recycl.* 180, 106150 (2022).
31. Godin, J., Liu, W., Ren, S. & Xu, C. C. Advances in recovery and utilization of carbon dioxide: A brief review. *J. Environ. Chem. Eng.* 9, 105644 (2021).
32. Barbera, E., Mio, A., Pavan, A. M., Bertucco, A. & Fermeglia, M. Fuelling power plants by natural gas: An analysis of energy efficiency, economical aspects and environmental footprint based on detailed process simulation of the whole carbon capture and storage system. *Energy Convers. Manag.* 252, (2022).
33. Mio, A. et al. Carbon Dioxide Capture in the Iron and Steel Industry: Thermodynamic Analysis, Process Simulation, and Life Cycle Assessment. *Chem. Biochem. Eng. Q.* 36, 255–271 (2022).
34. Alper, E. & Yuksel Orhan, O. CO<sub>2</sub> utilization: Developments in conversion processes. *Petroleum* 3, 109–126 (2017).
35. Fishedick, M., Marzinkowski, J., Winzer, P. & Weigel, M. Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies. *J. Clean. Prod.* 84, 563–580 (2014).
36. Wernet, G. et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21, 1218–1230 (2016).
37. GSE. Fattori di emissione per la produzione e il consumo di energia elettrica in Italia. (2022).
38. Terna. TERNA: NEL 2022 CONSUMI ELETTRICI ITALIANI PARI A 316,8 TWH. 2023 <https://www.terna.it/it/media/comunicati-stampa/dettaglio/consumi-elettrici-2022>.
39. ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Le emissioni di gas serra in Italia: obiettivi di riduzione e scenari emissivi. (2023).
40. GSE. Rapporto Statistico 2021 - Energia da fonti rinnovabili in Italia. (2023).
41. IEA - International Energy Agency. Outlook for biogas and biomethane. *World Energy Outlook Special Report* (2020) doi:10.1787/040c8cd2-en.
42. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA). Produzione di biochar in Italia e barriere allo sviluppo della filiera. (2023).
43. Mio, A. et al. Analysis of the energetic, economic, and environmental performance of hydrogen utilization for port logistic activities. *Appl. Energy* 347, 121431 (2023).
44. Howarth, R. W. & Jacobson, M. Z. How green is blue hydrogen? *Energy Sci. Eng.* 9, 1676–1687 (2021).
45. Rosner, F. et al. Green steel: design and cost analysis of hydrogen-based direct iron reduction. *Energy Environ. Sci.* 16, 4121–4134 (2023).
46. Zecca, N., Cobden, P. D., Lücking, L. & Manzolini, G. SEWGS integration in a direct reduction steelmaking process for CO<sub>2</sub> mitigation. *Int. J. Greenh. Gas Control* 130, 103991 (2023).
47. GSE. MONITORAGGIO DEGLI IMPATTI ECONOMICI E OCCUPAZIONALI DELLE FONTI RINNOVABILI E DELL'EFFICIENZA ENERGETICA. (2022).

# 9. APPENDICI

Appendice A - Tecnologie di produzione di acciaio e progetti di innovazione aziendali

Appendice B - Iniziative promosse dalle istituzioni e dalle associazioni di categoria

Appendice C - Dati e impostazione del modello economico





**Rapporto commissionato dal WWF Italia**



**5 milioni di sostenitori nel mondo.  
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.  
1300 progetti di conservazione.  
In Italia oltre 100 Oasi protette.  
Migliaia le specie interessate dall'azione  
del WWF sul campo.**

**WWF Italia ETS**  
Via Po, 25/c  
00198 Roma

Tel: 06844971  
e-mail: [wwf@wwf.it](mailto:wwf@wwf.it)  
sito: [wwf.it](http://wwf.it)