

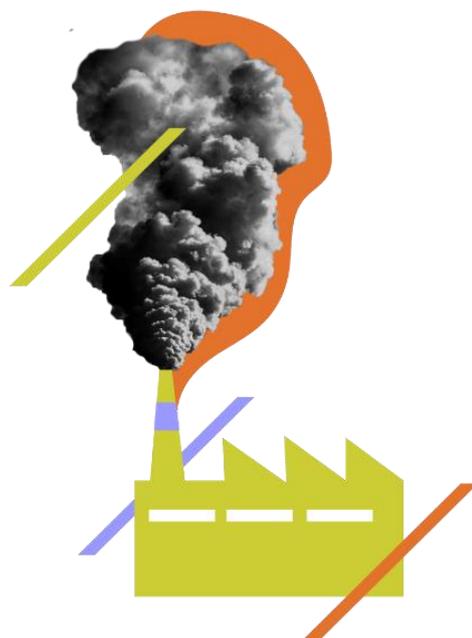


THE ITALIAN CLIMATE CHANGE THINK TANK

UNA STRATEGIA PER L'ACCIAIO VERDE

OPZIONI E SFIDE DELLA DECARBONIZZAZIONE

TECHNICAL REPORT
AGOSTO 2022



SOMMARIO

1 EXECUTIVE SUMMARY	4
2 L'INDUSTRIA SIDERURGICA ITALIANA	9
2.1 L'IMPORTANZA DI MANTENERE UNA PRODUZIONE NAZIONALE DI ACCIAIO PRIMARIO	11
2.2 LA RIPRESA POST COVID E GLI EFFETTI SULLA DOMANDA DI ACCIAIO	12
BOX 116	
LA SIDERURGIA ITALIANA – CENNI STORICI	16
3 L'ACCIAIO E L'ESPOSIZIONE AL RISCHIO CLIMA	18
3.1 IL CICLO INTEGRALE BF - BOF	18
3.2 LA TECNOLOGIA <i>DIRECT REDUCED IRON</i> (DRI)	20
3.3 I FORNI AD ARCO ELETTRICO	21
4 LE OPZIONI PER LA DECARBONIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO DELL'ACCIAIO	23
4.1 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'ACCIAIO PRIMARIO	23
BOX 2 24	
<i>CARBON CAPTURE USE OR STORAGE</i> (CCUS)	24
4.2 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'ACCIAIO SECONDARIO	26
5 SCENARI DI DECARBONIZZAZIONE DELL'INDUSTRIA SIDERURGICA ITALIANA	28
5.1.1 <i>I COSTI ATTUALI DELLA TECNOLOGIA DRI</i>	30
5.1.2 <i>I COSTI DELLA TECNOLOGIA DRI NEL MEDIO PERIODO</i>	32
5.1.3 <i>GLI IMPATTI SULL'OCCUPAZIONE</i>	33
5.1.4 <i>ESEMPI DI BEST PRACTICES</i>	34
5.2 INTEGRAZIONE E INTERAZIONE CON IL SISTEMA ENERGETICO E INDUSTRIALE ITALIANO	34
6 LE OPZIONI DI POLICY	38
6.1 MISURE DI POLITICA INDUSTRIALE DEDICATE AL COMPARTO SIDERURGICO	38
6.2 UN MERCATO PER L'ACCIAIO VERDE	39
7 CONCLUSIONI	41

APPENDICE 1 - IPOTESI

42

APPENDICE 2 – TECHNOLOGY READINESS LEVEL

44

1 EXECUTIVE SUMMARY

L'Italia è il secondo produttore di acciaio in Europa e l'undicesimo al mondo: nel 2021 nel nostro Paese sono state prodotte quasi 25 milioni di tonnellate (Mt) di acciaio. Di queste, l'84% è acciaio da riciclo, prodotto cioè dalla rifusione di rottami ferrosi realizzata nei forni elettrici ad arco (EAF – *Electric Arc Furnace*). Il restante 16% è acciaio primario, prodotto con ciclo integrale a carbone BF - BOF (*Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace*) a partire da minerali ferrosi presso lo stabilimento *Acciaierie d'Italia* di Taranto, l'unico ciclo integrale con produzione di acciaio da minerale presente sul suolo nazionale.

L'acciaio è utilizzato in diversi settori del contesto produttivo italiano e i principali consumatori sono i settori delle costruzioni, meccanico e dei prodotti in metallo. Per il nostro Paese è necessario mantenere un presidio nell'acciaio primario sia perché, al momento, è l'unico materiale utilizzabile in determinate applicazioni (come scocche e carrozzerie degli autoveicoli e latte alimentari) e sia per garantire disponibilità di rottami alle molte aziende che in Italia producono acciaio da riciclo. La completa transizione alla produzione mediante forno elettrico con sfruttamento di rottami appare difficilmente percorribile perché la domanda annuale di acciaio cresce più rapidamente del rottame disponibile e la qualità di quest'ultimo risulta essere un vincolo significativo. **Questo porta a considerare la produzione di acciaio primario un processo necessario. Dipendere dalle importazioni di rottami espone, infatti, a rischi elevati e a incertezze l'intero comparto siderurgico nazionale e molti settori fondamentali nell'economia del nostro Paese.**

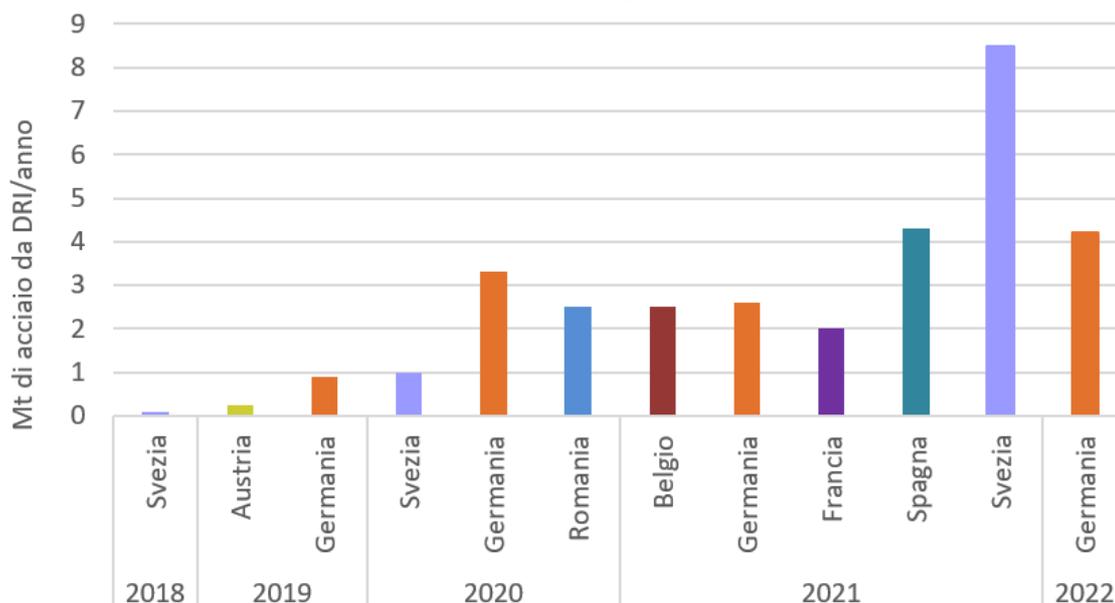
Il presente lavoro ha l'obiettivo di fornire una visione delle tecnologie disponibili per la decarbonizzazione del settore dell'acciaio in Italia e di individuare un percorso di decarbonizzazione in risposta, da un lato, ai rischi di de-industrializzazione, e dall'altro, a quelli di *lock-in* di investimenti in filiere non compatibili con la prospettiva *net zero emissions*.

Per l'abbattimento delle emissioni di gas serra derivanti dalla produzione dell'acciaio primario, la proposta di ECCO è il passaggio alla tecnologia DRI (*Direct Reduced Iron*), alimentata dapprima a gas naturale per poi gradualmente passare all'idrogeno verde. Oltre alla progressiva riduzione delle emissioni di CO₂, la tecnologia DRI consente di ottenere un immediato beneficio in termini ambientali, garantendo un'elevata qualità del prodotto finale. Non ci sono quindi valide motivazioni per posporre questo investimento. Al contrario, il mantenimento della produzione tramite altiforni è in piena contraddizione con gli obiettivi di neutralità climatica e rischia di far rimare l'Italia indietro nel percorso di decarbonizzazione dell'acciaio, facendo perdere al nostro Paese competitività nei futuri mercati dei prodotti *low carbon*.

La tecnologia DRI ha già raggiunto la piena maturità tecnologica e viene già utilizzata in alcuni paesi, come l'India (28 Mt/anno di capacità DRI) e l'Iran (26 Mt/anno di capacità DRI)¹. Sono numerosi i paesi europei che gli scorsi anni hanno annunciato di voler investire in questa tecnologia; fra questi vi sono Germania, Svezia e Spagna (Figura 1).

¹ Swalec, Caitlin; "[Pedal to the Metal](#)", *Global Energy Monitor*, giugno 2022.

Figura 1 – Paesi europei che hanno annunciato investimenti nella tecnologia DRI².



Anche molte aziende dei settori a valle hanno già comunicato di voler utilizzare acciaio verde per la fabbricazione dei loro prodotti. Fra queste c'è *Volvo*, che ha stretto un accordo con *SSAB* per progettare, realizzare e portare sul mercato le prime auto fabbricate con acciaio verde. Anche *Mercedes* è sulla stessa traiettoria, avendo già annunciato che dal 2025 per la fabbricazione di alcuni suoi modelli utilizzerà acciaio verde, fornito dalla start up svedese *H2 Green Steel*. La partnership con *HSGS* è un altro passo verso la neutralità climatica che *Mercedes* sta perseguendo come parte dell'*Ambition 2039*, il suo obiettivo di raggiungere una flotta di veicoli neutri dal punto di vista della CO₂ entro il 2039.

Nel proprio piano strategico *Kia* prevede una riduzione delle emissioni di carbonio in ogni aspetto operativo (fornitura, logistica, produzione, uso e smaltimento dei veicoli) del 97% entro il 2045, rispetto al 2019. Per raggiungere questo obiettivo la casa coreana prevede un largo impiego di acciaio verde. Altre aziende che hanno fatto simili annunci sono *Schaeffler* (produttore di cuscinetti per vari settori industriali), *Scania* (azienda svedese produttrice di veicoli industriali e proprietaria per il 46% di *Volkswagen*), *BMW*, *Orsted* (multinazionale danese che produce energia elettrica e che utilizzerà acciaio verde nei propri parchi eolici). Il mercato è chiaramente in espansione e questi anni sono decisivi per il posizionamento che l'Italia può avere: prendere ora la direzione giusta significa acquisire e mantenere un vantaggio competitivo per la filiera industriale italiana.

Per quanto riguarda l'acciaio secondario, le opzioni per la decarbonizzazione identificate sono di due livelli:

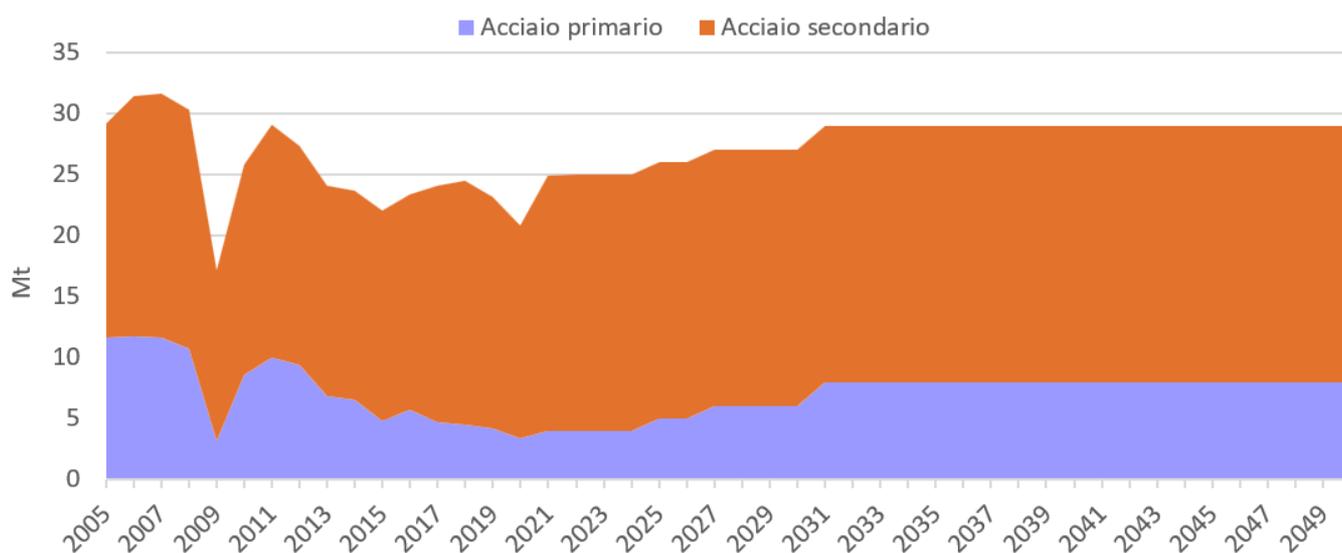
- 1. La riduzione delle emissioni dirette prodotte dai forni ad arco elettrico**, alimentando i bruciatori a idrogeno verde e utilizzando biocarbone come additivo;
- 2. Il miglioramento dei processi di raccolta e selezione dei rottami, per poter migliorare la qualità dell'acciaio secondario prodotto.** Una moderna linea dovrebbe articolarsi in uno stadio dedicato

² ["Global Steel Transformation Tracker"](#), Agora Energiewende.

all'assottigliamento del rottame, alla selezione magnetica, alla selezione ottica, a cui far seguire uno stadio finale di cernita manuale.

Per la decarbonizzazione del processo produttivo dell'acciaio primario, lo scenario al 2050 prevede il passaggio da acciaieria a ciclo integrale basata su altoforno e riduttore a ossigeno (BF - BOF) a impianti basati su riduzione diretta a gas e forni ad arco elettrico (DRI - EAF). Il punto di arrivo della completa riconversione prevede l'impiego di idrogeno verde, sia come combustibile che come agente riducente. Sulla base di queste considerazioni, nello scenario elaborato si ipotizza che gli altiforni a carbone vengano mantenuti in funzione fino al 2028. Si assume che nel 2025 entri in funzione anche un impianto DRI a gas naturale da un milione di tonnellate di acciaio all'anno, che cresce a 2 Mt dal 2027 e a 6 Mt dal 2029. Dal 2031 in poi si ipotizza che il livello produttivo cresca a 8 Mt/anno e che tutto l'acciaio primario venga prodotto solo mediante la tecnologia DRI, in un primo periodo con gas naturale e idrogeno verde, per poi passare a una produzione basata esclusivamente sull'impiego dell'idrogeno verde. Per quanto riguarda l'acciaio secondario, si ipotizza un livello produttivo costante pari a 21 Mt di acciaio all'anno, corrispondente alla produzione italiana di acciaio secondario registrata nel 2021³. In Figura 2 si riporta la produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario proposto.

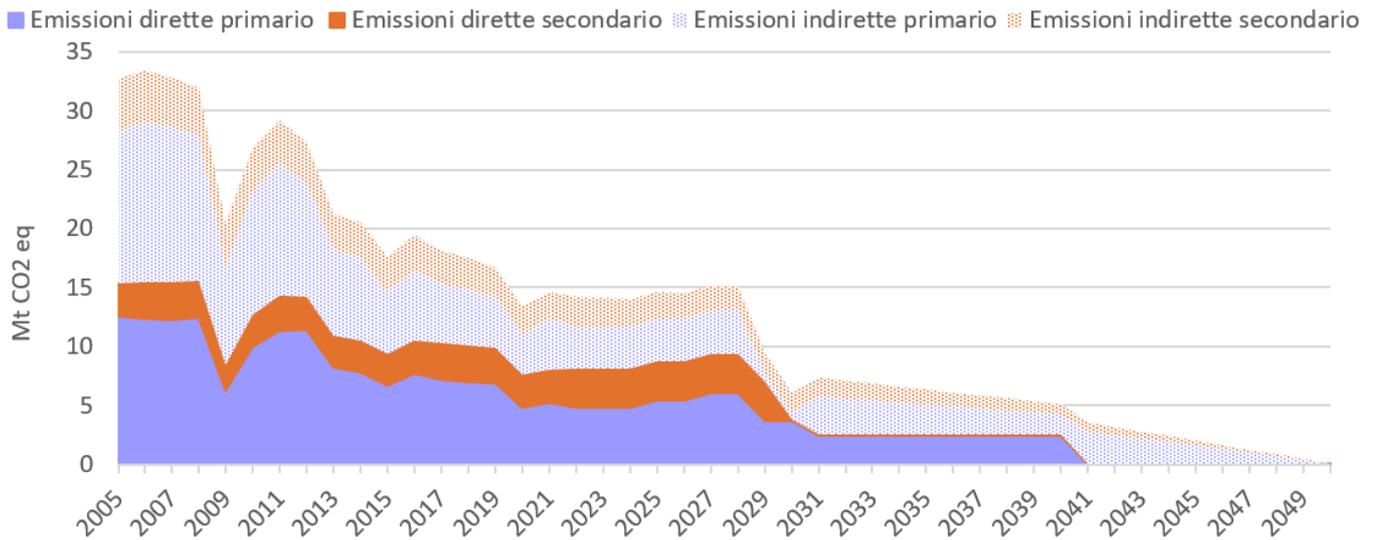
Figura 2 - Andamento della produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario elaborato.



Analizzando l'andamento delle emissioni di gas serra nel grafico seguente (Figura 3), si può notare come fino al 2028, cioè durante il periodo di funzionamento degli altiforni, le emissioni continuano a rimanere elevate. Dal 2028 in poi il passaggio alla tecnologia DRI consente un immediato beneficio in termini climatici e ambientali. Infine, con la completa alimentazione a idrogeno verde, è possibile abbattere le emissioni derivanti dalla produzione di acciaio primario. Le emissioni dirette dell'acciaio secondario si riducono dal 2030, quando si ipotizza che i bruciatori degli EAF vengano alimentati a idrogeno verde e che venga utilizzato biocarbone come additivo.

³ "La siderurgia italiana in cifre", Federacciai.

Figura 3 - Andamento delle emissioni dirette e indirette relative alla produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario elaborato.



L'analisi presentata vuole porre le basi per la costruzione di una politica italiana industriale e climatica a sostegno di una conversione sostenibile del settore dell'acciaio, volta al mantenimento della produzione industriale e della relativa filiera, in ottica di decarbonizzazione e in considerazione delle dinamiche del mercato internazionale. **Un'efficace politica industriale dovrebbe fissare obiettivi concreti a breve, medio e lungo termine e sviluppare un set di policy per promuovere e accelerare l'innovazione tecnologica e, contemporaneamente, essere di supporto alle imprese, ad esempio attraverso la creazione di un mercato per prodotti *low carbon*.**

Per accelerare lo sviluppo di processi produttivi a basse emissioni è necessaria la costruzione di impianti pilota. **Finanziamenti pubblici diretti a tali impianti possono consentire alle imprese di investire in tecnologie caratterizzate da CAPEX elevati e di ridurre il rischio associato all'adozione di soluzioni innovative.** La pubblicazione del nuovo piano industriale di Taranto può rappresentare un'occasione unica per pianificare interventi e soluzioni di riconversione che possano coniugare la sostenibilità economica e sociale degli investimenti con la sostenibilità ambientale e climatica del progetto.

Al riguardo, anche la revisione in corso della Direttiva EU ETS può rappresentare un'opportunità di sostegno per gli investimenti verso tecnologie *low carbon*. Attualmente il settore siderurgico riceve una quantità gratuita di permessi di emissione ETS che gli permette di coprire quasi completamente le proprie emissioni di CO₂. Tale ammontare dovrebbe essere ridotto nel corso dei prossimi anni, in concomitanza con l'implementazione del *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM). Se il CBAM verrà adottato, al 2030 un produttore di acciaio riceverà a titolo gratuito solamente il 50% delle quote necessarie per coprire le emissioni di un altoforno. Il restante 50% delle quote dovrà essere acquistato sul mercato ETS, dove al momento il prezzo medio della CO₂ è di circa 81 €/t⁴. Di conseguenza **i costi relativi a processi a elevata intensità di carbonio sono destinati ad aumentare, rendendo sempre meno redditizi investimenti nel settore che non prevedano un abbattimento delle emissioni di gas serra.**

⁴ "Spot Market", eex.

Anche se oggi a livello internazionale la produzione del cosiddetto “acciaio verde” è ancora a uno stadio iniziale, le particolari circostanze storiche offrono la possibilità all'Italia di diventare capofila nella produzione di acciaio verde in Europa e nel mondo, guidando il cambiamento e portando sul mercato un prodotto la cui domanda potrà solo crescere in futuro. **A tal proposito, sono necessarie policy per stimolare la domanda e favorire un prospero mercato dei prodotti *low carbon*, facendo leva innanzitutto sugli appalti pubblici.** È poi da incoraggiare un medesimo comportamento anche nel settore privato, con partnership industriali fra produttori e consumatori di acciaio. Tali partnership potrebbero essere garantite dallo Stato con strumenti quali, ad esempio, i contratti per differenza, in modo tale che l'acquirente possa acquistare acciaio verde a un prezzo che sia competitivo con quello dell'acciaio da altiforni a carbone. Il surplus di costo verrebbe pagato al produttore dallo stato.

2 L'INDUSTRIA SIDERURGICA ITALIANA

L'Italia è il secondo produttore d'acciaio in Europa e l'undicesimo al mondo: nel 2021 nel nostro Paese sono state prodotte 24,9 Mt di acciaio. La produzione siderurgica italiana è concentrata principalmente al Nord (Figura 4) ed è caratterizzata dal ciclo EAF (*Electric Arc Furnace*). **L'84% dell'acciaio prodotto nel nostro Paese è acciaio da riciclo**, prodotto cioè dalla rifusione di rottami ferrosi (oltre ad aggiunte di ghisa e spugna di ferro) realizzata nei forni elettrici ad arco. In Italia sono presenti 32 impianti di questo tipo, con una capacità produttiva media di 0,7 Mt di acciaio all'anno.

Il restante 16% è acciaio primario, prodotto con ciclo integrale a carbone BF-BOF (*Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace*) a partire dai minerali ferrosi presso lo stabilimento *Acciaierie d'Italia* di Taranto, l'unico impianto con produzione di acciaio da minerale presente sul suolo nazionale. Rispettivamente nel 2014 e nel 2020 sono state infatti chiuse le aree a caldo degli stabilimenti di Piombino e Trieste.

Figura 4 - Distribuzione geografica dei siti siderurgici italiani.

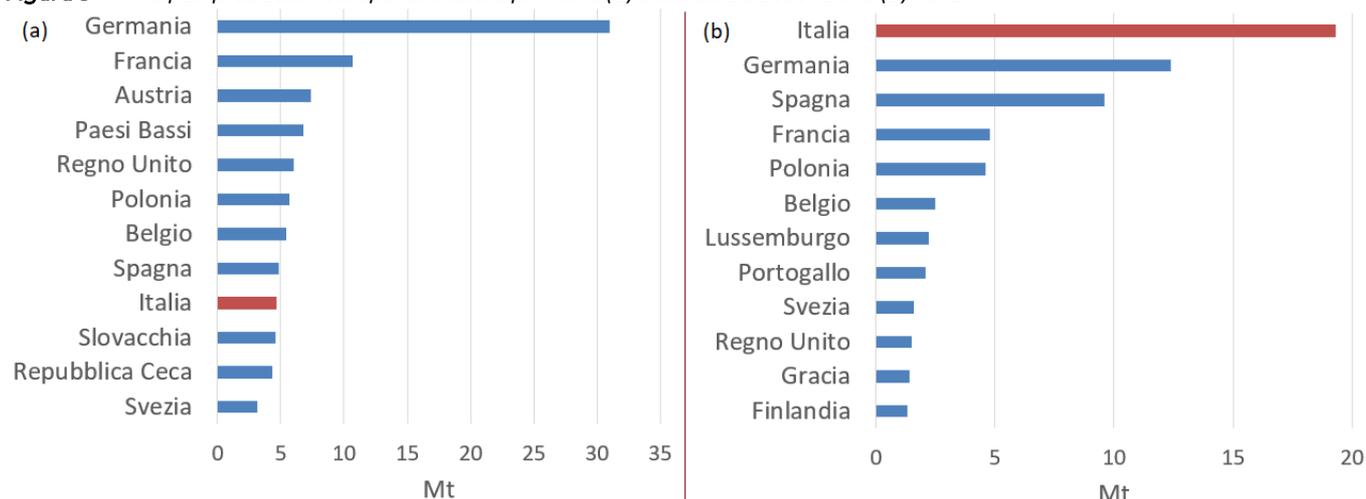


La siderurgia italiana, a partire dagli anni '90 del XX secolo, si colloca come il secondo mercato europeo sia in termini produttivi che occupazionali ed è il primo mercato europeo per volume di acciaio da riciclo⁵, come mostrato in Figura 5⁶.

⁵ "E' tempo di agire – L'industria siderurgica italiana 2019", *Federacciai*.

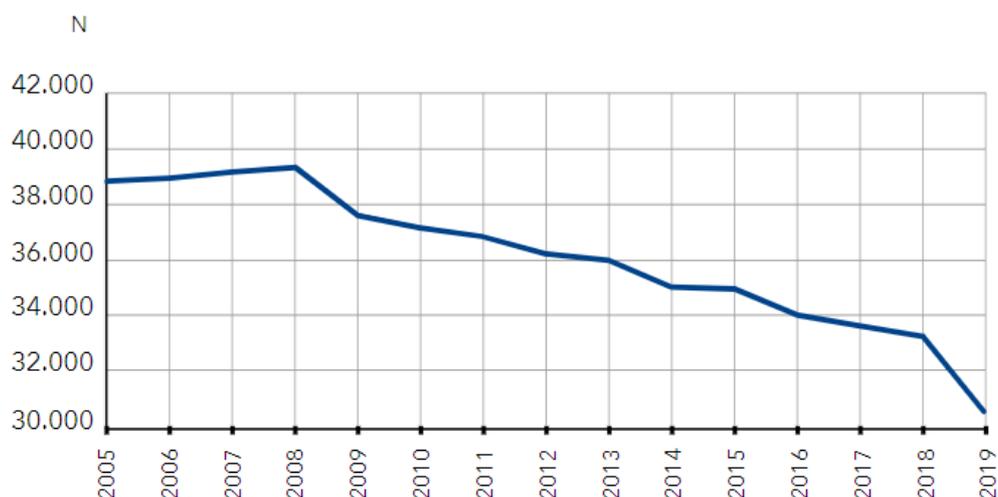
⁶ "Breakthrough Strategies for Climate-Neutral Industry in Europe", *Agora Energiewende*, aprile 2021.

Figura 5 - Principali produttori europei di acciaio primario (a) e di acciaio secondario (b) nel 2017⁷.



In Italia la siderurgia primaria impiega quasi 31 mila persone, considerando sia la produzione di semilavorati (billette, bramme, blumi e lingotti) sia le operazioni di laminazione e forgiatura⁸. Il settore siderurgico italiano ha subito pesantemente gli effetti della crisi economica del 2008, tanto che dal 2008 al 2019 ha perso circa 9 mila addetti e la produzione è calata del 24%⁹ (Figura 6). Complessivamente il settore siderurgico, dalla produzione di acciaio grezzo alla sua trasformazione in prodotti finali, impiega 70 mila addetti, con un impatto occupazione stimato in tre volte superiore se si considera anche l'indotto¹⁰. La riconversione in ottica di decarbonizzazione può e deve essere un'opportunità per il rilancio del settore e per la creazione di nuovi posti di lavoro.

Figura 6 - Andamento degli occupati nella siderurgia primaria dal 2005 al 2019¹¹.



Nel 2021 il fatturato dell'industria siderurgica primaria è stato di 37 miliardi di euro, con un'importante quota derivante dalle attività sui mercati esteri, a testimonianza di quanto la siderurgia italiana sia un'eccellenza a livello internazionale.

⁷ "World steel in figures 2009", *World Steel Association*.

⁸ "La siderurgia italiana in cifre", "Produzione Italia", *Federacciai*, 15 aprile 2021.

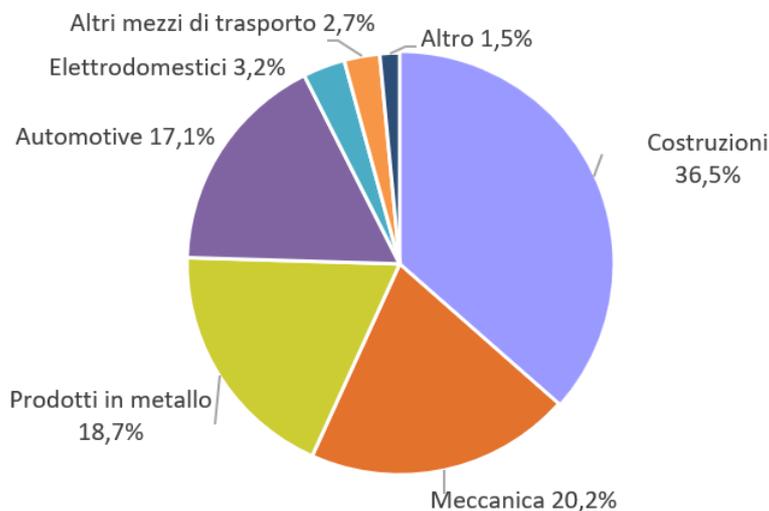
⁹ "World steel in figures 2009", *World Steel Association*.

¹⁰ "La siderurgia italiana in cifre", "Produzione Italia", *Federacciai*, 15 aprile 2021.

¹¹ "E' tempo di agire - L'industria siderurgica italiana 2019", *Federacciai*.

L'acciaio è utilizzato in diversi settori del contesto produttivo italiano e i principali consumatori sono i settori delle costruzioni, meccanico e dei prodotti in metallo (Figura 7). Nella voce "Altro" di Figura 7 copre un ruolo importante l'utilizzo dell'acciaio per la produzione di latta alimentare.

Figura 7 - Ripartizione dei consumi tra i principali settori utilizzatori di acciaio in Italia¹².



2.1 L'IMPORTANZA DI MANTENERE UNA PRODUZIONE NAZIONALE DI ACCIAIO PRIMARIO

Per il nostro Paese è necessario mantenere un presidio nell'acciaio primario sia perché, al momento, è l'unico materiale utilizzabile per determinate applicazioni e sia per garantire disponibilità di rottami alle molte aziende che in Italia producono acciaio da riciclo.

Vi sono alcuni settori in cui è indispensabile l'utilizzo di acciaio primario, ossia di acciaio prodotto a partire dal minerale di ferro. In tali settori è necessario che l'acciaio presenti ottime caratteristiche superficiali (sia per ragioni estetiche sia per resistere meglio ad alcuni fenomeni di cedimento come la corrosione) e ottime capacità di deformarsi senza fratturarsi (elevata duttilità). Tali applicazioni riguardano le carrozzerie e alcune parti della scocca delle automobili, le latta alimentari, le rotaie (nel caso di lavorati lunghi), profili complessi per l'arredamento e parti di sistemi meccanici che necessitano di deformazioni profonde. Tali settori coprono circa il 30% delle applicazioni dell'acciaio primario¹³.

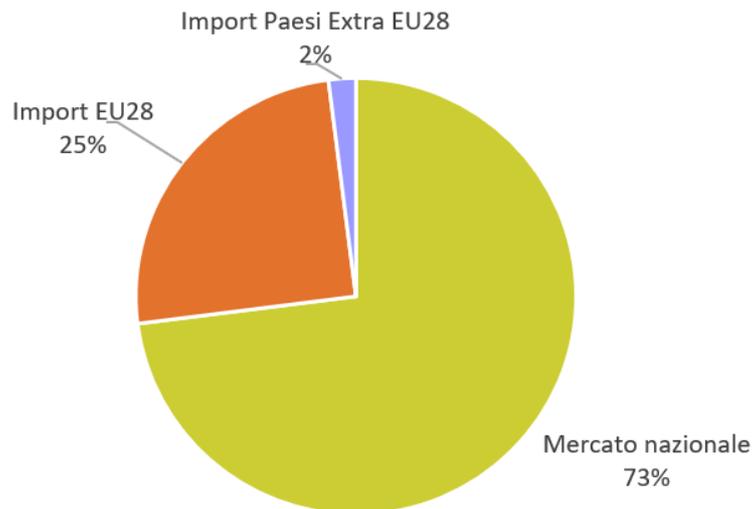
Ogni anno in Italia circa 17 milioni di tonnellate di rottami ferrosi vengono riciclati, provenienti per il 73% dal mercato nazionale (Figura 8). I produttori di acciaio secondario dipendono quindi fortemente dalla disponibilità di rottami sul mercato nazionale e il mantenimento in Italia di una produzione di acciaio primario è necessario anche per garantire stabilità e sicurezza degli approvvigionamenti alle imprese. Va ricordato inoltre che durante l'utilizzo e lo smaltimento, l'acciaio tende a essere contaminato da elementi indesiderati, come stagno e rame. È dunque necessario un *refill* di acciaio primario per produrre acciaio riciclato di buona qualità.

¹² "I settori utilizzatori", *Siderweb*, 2020.

¹³ "Steel Statistical Yearbook 2020 concise version", *World Steel Association*.

⁸ "Clima: Xi promette Cina a emissioni zero entro il 2060", *Ansa*, 17 novembre 2020.

Figura 8 - Distribuzione della provenienza del rottame nel 2019 in Italia¹⁴.



La disponibilità di rottami è quindi una variabile chiave, sia a livello italiano sia su scala internazionale. Guardando ad esempio alla Cina, nel 2019 in questo paese sono state prodotte 996 Mt di acciaio, per l'89% con ciclo integrale¹⁵. Questa quota risulta così elevata anche perché la Cina è un'economia in forte crescita, che ha visto un significativo aumento della produzione negli ultimi anni. La Cina, dunque, non ha ancora accumulato una grande quantità di rottami ferrosi e, al momento, ne ha una disponibilità limitata. Tuttavia, man mano che nei prossimi anni i prodotti e le infrastrutture raggiungeranno il fine vita, la crescente disponibilità di rottame ferroso e gli obiettivi cinesi di neutralità climatica al 2060 favoriranno un graduale spostamento dalla produzione di acciaio primario alla tecnologia dei forni ad arco elettrico¹⁶. Questa ipotesi di cambiamento avrà un impatto significativo sulla domanda di rottame sia in Cina che nel mondo. Ipotizzando, infatti, che la Cina converta anche solo il 15% della capacità installata a ciclo integrale in forni ad arco elettrico, essa raggiungerebbe, da sola, una domanda di rottami di circa 220 milioni di tonnellate all'anno. La disponibilità di rottame, specie se di buon livello qualitativo, è quindi una variabile potenzialmente critica.

Alla luce di questo, e del fatto che la completa transizione alla produzione mediante forno elettrico con sfruttamento dei rottami appare difficilmente percorribile, è evidente che la produzione di acciaio primario sia necessaria per l'Italia. **Dipendere dalle importazioni di rottami espone infatti a rischi elevati e a incertezze l'intero comparto siderurgico nazionale e diversi altri settori dell'economia italiana.**

2.2 LA RIPRESA POST COVID E GLI EFFETTI SULLA DOMANDA DI ACCIAIO

Tra gennaio e novembre 2021, l'output delle acciaierie italiane è salito del 22% rispetto al corrispondente periodo del 2020, toccando i 23 milioni di tonnellate. Nonostante ciò, lo scorso anno la bilancia commerciale della siderurgia italiana ha fatto registrare un deficit di 1,1 milioni di tonnellate, contro le 354 mila tonnellate del corrispondente periodo del 2020. Il disavanzo import-

¹⁴ "E' tempo di agire – L'industria siderurgica italiana 2019", *Federacciai*.

¹⁵ "Steel Statistical Yearbook 2020 concise version", *World Steel Association*.

export, quindi, è aumentato di oltre 730 mila tonnellate, a causa della forte domanda di acciaio da parte dell'industria italiana. In particolare, è il commercio con i paesi extra EU, come da tradizione, a mostrare il maggior sbilanciamento, con l'import che ha superato l'export di oltre 900 mila tonnellate, mentre per i traffici con i Paesi comunitari si è verificato un deficit di import di 187 mila tonnellate. In Figura 11 si riporta l'andamento del saldo import – export dei prodotti siderurgici in Italia dal 2005 al 2020. Come emerge dalla figura, il nostro Paese è stato un esportatore netto dal 2011 al 2014; in questi anni il mercato nazionale aveva subito un forte ridimensionamento, fattore che ha portato a un aumento dell'export. Dal 2015 c'è stata una ripresa del consumo interno e un calo produttivo, che hanno di nuovo reso il nostro Paese un importato netto. Nel 2019 l'import è leggermente calato in seguito all'introduzione delle Misure di Salvaguardia dell'Unione Europea, misure consistono in una combinazione di quote e tariffe che servono per garantire il mantenimento dei livelli tradizionali di commercio di acciaio sul mercato UE. L'import ha poi subito una forte contrazione nel 2020 ha causa della pandemia da Covid-19.

Figura 9 – Andamento delle importazioni siderurgiche in Italia dal 2005 al 2020¹⁷.

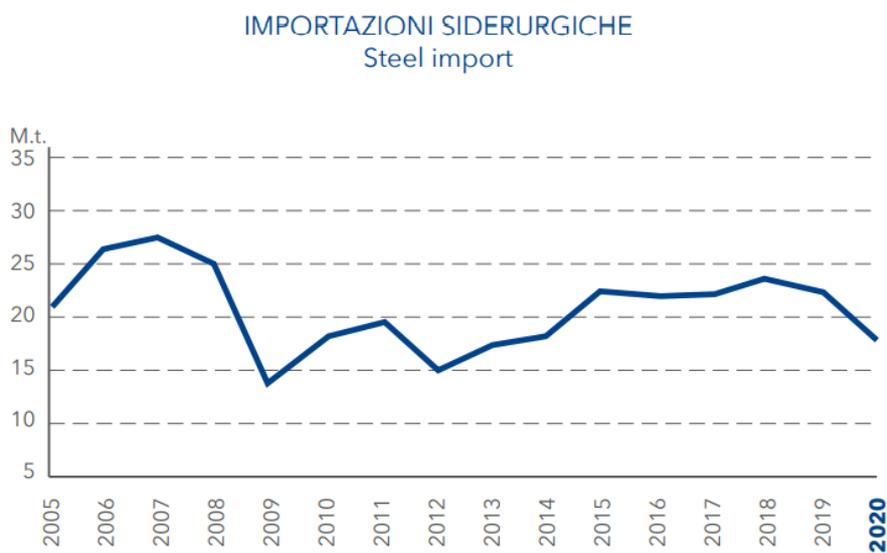
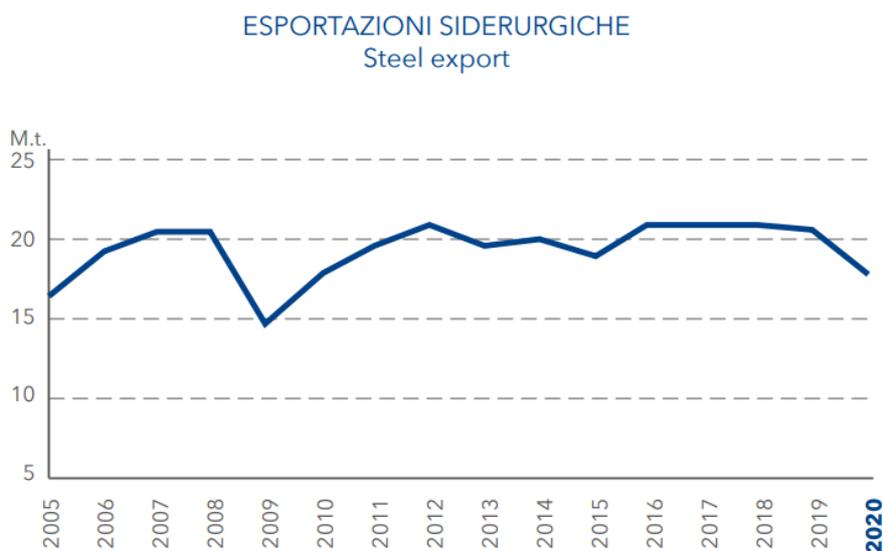
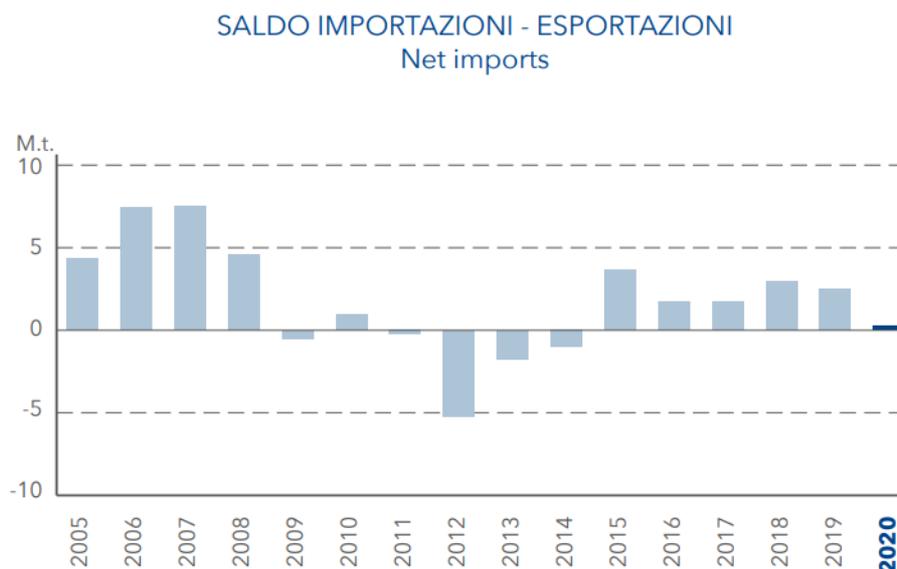


Figura 10 - Andamento delle esportazioni siderurgiche in Italia dal 2005 al 2020.



¹⁷ "La siderurgia italiana in cifre", "Produzione Italia", Federacciai, 15 aprile 2021.

Figura 11 – Andamento del saldo importazioni – esportazioni in Italia dal 2005 al 2020.



L'Italia importa acciaio principalmente da Ucraina, Germania e Francia (Tabella 1). Nel 2020 le importazioni da Cina e Russia si sono quasi dimezzate, come effetto delle Misure di Salvaguardia.

Tabella 1 – Principali paesi di provenienza delle importazioni.

Paese	Import 2019 [Mt]	Import 2020 [Mt]	Variazione % 2020-2019
Ucraina	2,4	2,1	-13,6%
Germania	1,9	1,8	-5,6%
Francia	1,9	1,3	-34,7%
Turchia	1,6	1,2	-26,8%
Russia	1,7	1	-41,8%
India	1,2	1	-23,6%
Austria	0,8	0,9	+11,5%
Corea del Sud	0,8	0,9	+7,3%
Spagna	0,8	0,6	-24,8%
Cina	1	0,5	-48,3%

L'Italia esporta prodotti siderurgici principalmente nel mercato europeo e, in particolare, a Germania, Francia e Austria (Tabella 2).

Tabella 2 - Principali paesi di provenienza delle esportazioni.

Paese	Export 2019 [Mt]	Export 2020 [Mt]	Variazione % 2020-2019
Germania	2,5	2	-20,2%
Francia	1	0,8	-21,7%
Austria	0,8	0,7	-8,7%
Polonia	0,6	0,6	-3,7%
Spagna	0,8	0,5	-32,1%
Romania	0,5	0,4	-3,9%
Repubblica Ceca	0,4	0,4	-7,6%
Turchia	0,4	0,4	-4,5%
Slovenia	0,4	0,4	-1%
Svizzera	0,5	0,4	-17,6%

Uno degli aspetti peculiari del 2021 è stato sicuramente anche la scarsità di offerta rispetto alla domanda. Questo squilibrio, che ha iniziato a sentirsi nel corso dell'ultima parte del 2020 e che ha interessato innanzitutto il comparto dei piani in acciaio al carbonio (per poi espandersi anche agli altri segmenti del mercato), ha portato a un'affannosa ricerca dei volumi da parte degli utilizzatori di acciaio e, di conseguenza, anche dei commercianti. **In molti momenti del 2021 la variabile principale per il mercato dell'acciaio non è stato il prezzo, ma la disponibilità di materiale: il buon andamento di molti settori e la disponibilità di credito hanno portato a un consistente aumento della domanda.** Ciò ha condotto a un netto abbassamento delle scorte della filiera, che sono tornate più vicine ai valori standard solo nella parte conclusiva dell'anno. Questa ricerca affannosa di acciaio, che si è sommata anche alla scarsa disponibilità di materiali provenienti dai paesi terzi (per il buon autoconsumo di quei paesi e per gli ostacoli doganali) e al caro energia, non poteva che avere una logica ripercussione sui prezzi di mercato, che sono stati in tensione fino all'estate inoltrata, raggiungendo nuovi record storici in moltissimi casi. I prezzi si sono leggermente sgonfiati (per quanto riguarda i lavorati piani¹⁸) nella parte conclusiva dell'anno, rimanendo comunque, su valori nettamente più elevati rispetto alla media storica (Figura 12). La guerra fra Ucraina e Russia, rispettivamente primo e quinto paese da cui importiamo acciaio, hanno creato ulteriori tensioni sul commercio di questo materiale, aggravate dal razionamento del gas naturale proveniente da Mosca e dall'andamento dei prezzi di tutte le commodity energetiche. A causa della combinazione di molteplici fattori di criticità, risulta difficile fare una previsione sull'andamento del prezzo dei prodotti siderurgici nei prossimi mesi. È ragionevole pensare che finché la guerra continuerà e le forniture di combustibili fossili saranno incerte, i prezzi dell'acciaio continueranno a rimanere elevati.

¹⁸ I prodotti in acciaio si suddividono in prodotti lunghi (come tondi per il cemento armato, travi, rotaie), in prodotti piani (come bobine e lamiere) e in prodotti fucinati e stampati.

Figura 12 – Andamento del Dow-Jones Commodity Index, parametro sintetico dell'andamento dei prezzi di una serie di materiali di base quotati sui principali mercati mondiali. All'indice generale (in nero, riferito all'ordinata di destra) il grafico abbina le dinamiche di due suoi sottoinsiemi: il complesso delle materie prime energetiche (in arancione) e l'insieme dei metalli (in verde), entrambi riferiti all'ordinata di sinistra¹⁹.



BOX 1

LA SIDERURGIA ITALIANA – CENNI STORICI

Per meglio comprendere e inquadrare il settore e le sue potenziali evoluzioni, è utile qualche cenno relativo alla storia della siderurgia nazionale. In Italia la nascita di questo settore risale alla prima metà del XIX secolo, ma la prima importante fase di sviluppo tecnologico iniziò nel 1870, con la diffusione dei moderni forni Martin-Siemens. In un decennio la produzione nazionale di acciaio passò da poco più di 4 mila tonnellate (media degli anni 1881-1885) a quasi 158 mila tonnellate nel 1889²⁰.

Nella prima metà del XX secolo l'offerta di prodotti siderurgici è stata caratterizzata da forti sbalzi ciclici, in particolare durante i due conflitti mondiali. Nel 1950, in piena ricostruzione postbellica, nel nostro Paese erano presenti 210 aziende siderurgiche. Le imprese di grande e media dimensione coprivano il 90% della produzione di acciaio e l'87% di prodotti laminati.

Nel periodo 1953-1974 si verificò un forte incremento della domanda di prodotti siderurgici, a beneficio della siderurgia italiana e dell'industria in generale. All'inizio di questo periodo il nostro Paese era il quinto produttore di acciaio a livello europeo, mentre nel 1975 si trovava al secondo posto, dietro la Germania e davanti a Belgio, Gran Bretagna e Francia, paesi con una tradizione siderurgica di lungo periodo. Tra i fattori che contribuirono all'espansione dell'offerta, grande importanza ebbe il crescente peso delle imprese a partecipazione pubblica; queste

¹⁹ ["Esiti 2021 e prospettive 2022 nell'andamento delle quotazioni siderurgiche"](#), Siderweb, 29 dicembre 2021.

²⁰ Goglio, Alessandro; Rosa, Giuseppe; ["Siderurgica, industria"](#), Treccani, 1994.

aziende si specializzarono nei prodotti piani, per i quali erano necessari stabilimenti di grandi dimensioni. Le politiche di sviluppo del Mezzogiorno riposero grande fiducia nella siderurgia, che si pensava potesse contribuire allo sviluppo delle regioni meridionali. Fu in quest'ottica che negli anni Sessanta venne decisa la realizzazione dell'impianto a ciclo integrale di Taranto.

Dagli anni '50 agli anni '70 anche la siderurgia privata conobbe un dinamico sviluppo in lavorazioni complementari e nella produzione di acciaio secondario. La siderurgia privata era caratterizzata da imprese di piccole e medie dimensioni, da un'elevata flessibilità operativa e manageriale e da una ricerca dinamica. Queste "mini-acciaierie" erano localizzate per lo più nel Nord Italia, un'area che poteva garantire i necessari approvvigionamenti elettrici e le forniture di rottame. L'Italia settentrionale era inoltre prossima ai grandi mercati di sbocco europei. È dunque fra gli anni Cinquanta e Settanta che l'industria siderurgica italiana assunse i connotati che la contraddistinguono ancora oggi.

Gli anni di picco dell'offerta coincisero con un periodo di calo della domanda di prodotti siderurgici, causando problemi di eccesso di capacità produttiva. Questa depressione, particolarmente rilevante negli anni tra il 1975 e il 1977, riguardò tutti i produttori europei. In Italia, tuttavia, fu aggravata dalla scarsa flessibilità delle grandi aziende pubbliche, che negli anni di calo della domanda non poterono adattare i livelli occupazionali, perdendo di conseguenza quote di mercato. Le imprese medio-piccole ebbero invece un'evoluzione diversa: la loro espansione continuò durante gli anni Settanta.

Gli anni Ottanta cominciarono con un nuovo calo della domanda, protrattosi per tre anni, durante i quali vennero persi più di 50 mila posti di lavoro, pari al 50% del totale nel 1980. La produzione venne quindi ottimizzata per favorire le attività a più alto valore aggiunto. A questo programma parteciparono anche le aziende private, che accettarono i tagli in cambio di aiuti. Questi permisero alla siderurgia privata di affrontare la nuova ondata di crisi e di rafforzare la propria competitività, innovando i processi produttivi (con la diffusione dei bruciatori ossicomustione e il preriscaldamento dei rottami) e diversificando le produzioni. Questa riorganizzazione ha marcato ulteriormente le caratteristiche che ancora oggi distinguono l'industria siderurgica italiana dal resto d'Europa. I principali produttori europei, infatti, sono maggiormente specializzati nelle lavorazioni di prodotti piani con impianti a ciclo integrale, mentre il nostro Paese si è distinto sempre più nei prodotti lunghi utilizzando forni ad arco elettrico.

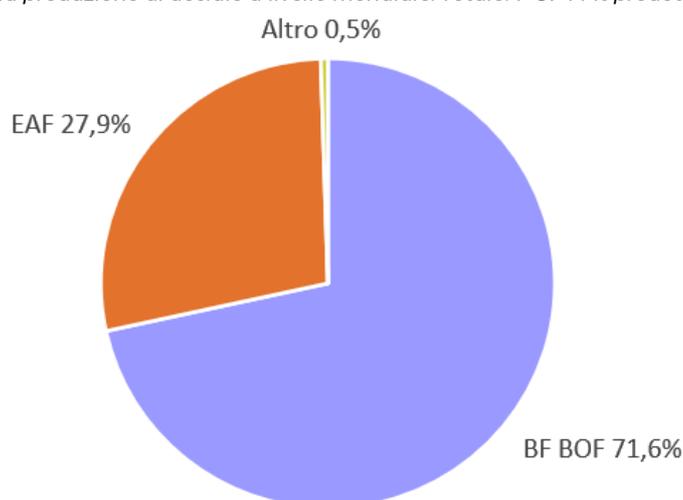
Dagli anni '90 in poi il settore è stato interessato da profonde trasformazioni, con il graduale ulteriore smantellamento dei grandi poli produttivi pubblici e la privatizzazione di quelli esistenti. Il progressivo smantellamento della produzione di acciaio primario è tutt'ora in corso: l'ultima chiusura risale solo al 2020, con lo spegnimento dell'area a caldo dello stabilimento *Arvedi* di Trieste e il suo programma di riconversione industriale. La produzione di secondario, parallelamente, prosegue nel suo percorso di specializzazione verso acciai speciali e prodotti di elevata qualità, con segmenti di mercato in espansione.

3 L'ACCIAIO E L'ESPOSIZIONE AL RISCHIO CLIMA

Esistono diverse tecniche di produzione dell'acciaio e anche molteplici tipologie di acciai. Le principali modalità di produzione sono:

- Da minerale tramite ciclo integrale BF - BOF. Questo è il sistema più diffuso al mondo e copre il 65% della produzione globale di acciaio;
- Da minerale tramite processo di riduzione diretta (DRI - Direct Reduced Iron) e forno ad arco elettrico (EAF - Electric Arc Furnace). Questo sistema ha già raggiunto la maturità commerciale, anche se non è molto diffuso;
- Da rottami (acciaio secondario) nei forni ad arco elettrico (EAF) (Figura 13).

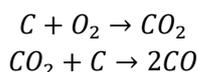
Figura 13 – Processi utilizzati per la produzione di acciaio a livello mondiale. Totale: 1'874 Mt prodotte nel 2019²¹.



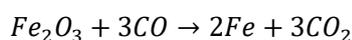
3.1 IL CICLO INTEGRALE BF - BOF

Il ciclo integrale con altoforno (*Blast Furnace* - BF) e convertitore a ossigeno (*Basic Oxygen Furnace* - BOF) è costituito dai seguenti stadi:

1. Preparazione delle materie prime (minerali ferrosi e carbone). I minerali ferrosi vengono inviati agli impianti di sinterizzazione e pellettizzazione, in modo tale da ottenere agglomerati di dimensioni adeguate. Nei forni di cokefazione, a partire dal carbone, viene prodotto il coke, che svolge il ruolo sia di agente riducente che di stabilizzatore strutturale dei materiali caricati;
2. Produzione della ghisa. Il minerale ferroso, il coke e il calcare vengono caricati nell'altoforno e dell'aria calda viene immessa dal basso. L'aria reagisce con il coke, formando monossido di carbonio (CO):



Il monossido di carbonio è l'agente riducente che permette di separare il ferro presente nei minerali, secondo la seguente reazione chimica complessiva:



²¹ "Steel Statistical Yearbook 2020 concise version", *World Steel Association*.

Si ottiene così la ghisa liquida, ovvero una lega caratterizzata da una concentrazione di carbonio pari a circa 4,3%. La ghisa viene raccolta nel crogiolo e consegnata all'acciaieria;

3. Produzione dell'acciaio. Per ottenere l'acciaio, materiale con un tenore di carbonio compreso tra lo 0,005% e il 2,11%, la ghisa viene immessa nel convertitore a ossigeno di base insieme a una certa quota di rottame (con funzione di raffreddante) e viene convertita in acciaio mediante un getto di ossigeno. Quest'ultimo reagisce con il carbonio presente nella ghisa e si forma anidride carbonica: in questo modo viene ridotto il contenuto di carbonio e si produce l'acciaio. L'acciaio viene poi inviato ai trattamenti di metallurgia secondaria e alle macchine di colata continua per la solidificazione. L'intero processo BF - BOF è schematizzato in Figura 14.

Figura 14 - Configurazione del ciclo integrale BF-BOF.



Nel processo a ciclo integrale il carbone ha molteplici funzioni:

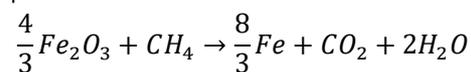
- è uno degli 'ingredienti' per la produzione della lega di acciaio;
- è la sorgente della specie chimica riducente per la produzione della ghisa;
- viene utilizzato come fonte energetica per la generazione del calore;
- svolge una funzione strutturale per il sostegno del materiale caricato nell'altoforno.

A causa di quest'uso intensivo del carbone, il processo a ciclo integrale risulta caratterizzato da elevate emissioni di CO₂, pari a 2 t_{CO2}/t_{ACCIAIO}. La produzione di acciaio da ciclo integrale è particolarmente emissiva anche in termini d'inquinanti gassosi e di polveri. Il ciclo integrale genera infatti emissioni di inquinanti cancerogeni e genotossici, come le diossine e il benzo(a)pirene.

Gli impianti articolati sulla tecnologia a ciclo integrale risultano degli esportatori netti di energia, mediante esportazione dei gas dei forni di cokeria (COG), di quelli degli altoforni e dei gas dei convertitori che, convertiti in energia elettrica, sono in grado di soddisfare completamente i fabbisogni del ciclo siderurgico e anche di vendere elettricità a utenze esterne. Questo rappresenta un vantaggio notevole per i produttori di acciaio.

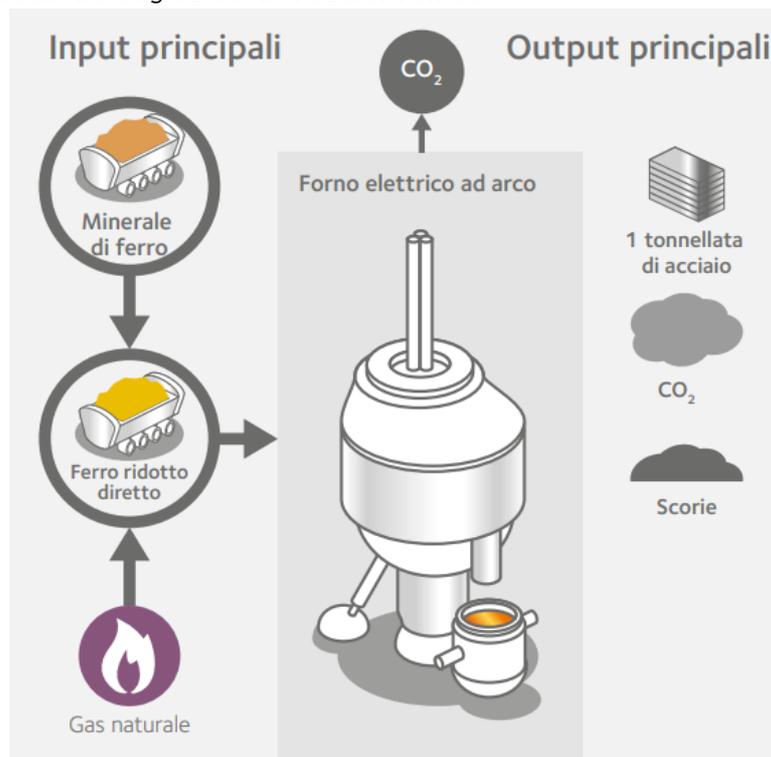
3.2 LA TECNOLOGIA *DIRECT REDUCED IRON* (DRI)

Con il processo di riduzione diretta del minerale è possibile produrre acciaio senza utilizzare il carbon coke e senza il passaggio del metallo allo stato liquido. Il processo ha inizio con il *reforming* del gas naturale e conseguente formazione di monossido di carbonio (CO) e idrogeno (H₂), che a loro volta reagiscono con il minerale di ferro e lo trasformano in spugna di ferro (DRI). In dettaglio, la reazione complessiva che governa questo processo:



Il prodotto che si ottiene viene poi fornito come materia prima ai forni ad arco elettrico, dove il preridotto, potenzialmente insieme a una frazione di rottami, viene fuso mediante elettricità e bruciatori a gas naturale (o, in futuro, a idrogeno) e viene così prodotto l'acciaio primario (Figura 15). Dal punto di vista tecnico, quindi, il DRI permette di produrre acciaio di una qualità del tutto assimilabile a quella del prodotto degli stabilimenti a ciclo integrale, poiché l'acciaio deriva direttamente dalla riduzione del minerale e la sua qualità non dipende dai processi di selezione del rottame.

Figura 15 - Produzione di acciaio con tecnologia DRI e forno ad arco elettrico²².



Un'analisi complessiva di questo ciclo deve tenere conto anche dell'impatto ambientale dell'impianto di pellettizzazione (PP), che fornisce i *pellet* di minerale di ferro necessari al forno di preriduzione. Il consumo di gas naturale per alimentare l'intero processo produttivo, considerando quindi pellettizzatori, unità DRI, forno ad arco elettrico e forno di post-riscaldamento, risulta pari a 381 Nm³/t_{ACCIAIO}, di cui l'81% destinato all'alimentazione del riduttore diretto. Il consumo di energia elettrica del processo è di 634 kWh/t_{ACCIAIO}, per l'80% destinata ad alimentare il forno ad arco elettrico.

Le emissioni dirette del processo DRI a gas naturale sono pari a 816 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}. Il 35% di queste (282 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}) è CO₂ pura separata selettivamente senza la necessità di processi aggiuntivi. Questa quota di CO₂ può essere evitata sostituendo il gas naturale con idrogeno verde come agente riducente nel sistema DRI (vedi LA DECARBONIZZAZIONE DELL'ACCIAIO PRIMARIO). In alternativa, per l'abbattimento delle emissioni è possibile optare per soluzioni basate sulla cattura della CO₂; in questo caso risulta necessaria una valutazione delle potenzialità di stoccaggio o di utilizzo dell'anidride carbonica sequestrata (BOX 2 CARBON CAPTURE USE OR STORAGE (CCUS)).

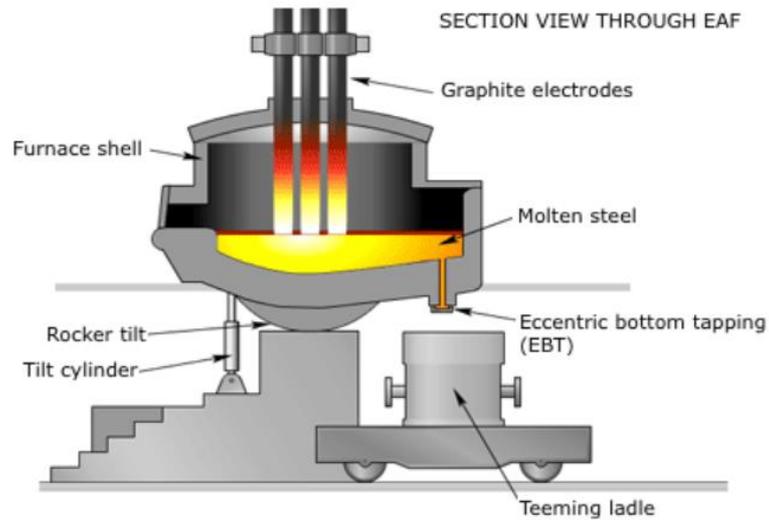
3.3 I FORNI AD ARCO ELETTRICO

La produzione di acciaio secondario si basa sulla fusione di rottami, ghisa e spugna di ferro (il "preridotto") nei forni ad arco elettrico. Si tratta, quindi, della cosiddetta 'seconda lavorazione' dell'acciaio, dal momento che parte da recuperi di materiale miscelati con ghisa e/o acciaio da riduzione e altri additivi per la produzione di nuovo acciaio. L'arco elettrico scocca fra tre elettrodi e la carica metallica e le temperature possono arrivare anche a 2000°C. Dopo la fusione, l'acciaio colato viene trasferito alla metallurgia secondaria e alla colata continua o alla fossa di lingotti per la

²² "Azione per il clima", ArcelorMittal, maggio 2019.

solidificazione dei semilavorati (cioè billette, blumi, bramme). L'intero processo è rappresentato in Figura 16.

Figura 16 - Configurazione di un forno ad arco elettrico.



Per l'alimentazione dei forni ad arco elettrico è necessario un apporto di elettricità pari a 510 kWh/t_{ACCIAIO}. Per ottimizzare il processo di fusione dei rottami, all'interno dei forni ad arco elettrico sono presenti dei bruciatori alimentati a gas naturale; per la produzione di una tonnellata di acciaio secondario sono necessari 24 Nm³ di gas naturale.

4 LE OPZIONI PER LA DECARBONIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO DELL'ACCIAIO

Nei prossimi paragrafi vengono analizzate le soluzioni di decarbonizzazione del processo produttivo sia dell'acciaio primario che secondario.

4.1 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'ACCIAIO PRIMARIO

Già con lo smantellamento degli altiforni a carbone e il passaggio alla tecnologia DRI a gas naturale è possibile abbattere le emissioni di CO₂ di circa il 70%, ottenendo importanti benefici anche a livello d'inquinamento ambientale. Per raggiungere poi gli obiettivi di neutralità climatica di lungo periodo è possibile sostituire progressivamente il gas naturale con l'idrogeno verde, senza che siano necessarie importanti modiche impiantistiche. Durante il processo DRI a gas naturale, infatti, l'idrogeno contenuto nel gas riducente contribuisce a ridurre il 66% del minerale ferroso, mentre il restante 34% è ridotto dal monossido di carbonio, che dà poi origine alla CO₂. Per la riduzione dei minerali ferrosi è possibile utilizzare solamente l'idrogeno e, impiegando idrogeno 'verde' (prodotto cioè con elettrolizzatori e con elettricità rinnovabile), è possibile ridurre in maniera consistente le emissioni di CO₂ relative alla produzione di acciaio primario, nonché tutte le emissioni connesse con l'utilizzo e il trasporto del gas naturale. Il sistema, inoltre, consente di evitare la cattura della CO₂ attraverso impianti CCS.

La produzione di acciaio mediante DRI a idrogeno verde implica un fabbisogno di energia elettrica di 4'576 kWh/t_{ACCIAIO}²³, con l'ipotesi di un consumo specifico dell'elettrolizzatore di 4,25 kWh/Nm³ di idrogeno (APPENDICE 1 - IPOTESI). L'elettricità viene utilizzata principalmente per l'alimentazione degli elettrolizzatori per la produzione di idrogeno verde (Tabella 3). La tecnologia è consolidata anche per utilizzo con solo idrogeno ed è associata a un TRL²⁴ pari a 9.

Tabella 3 – Confronto dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ delle tecnologie per la produzione dell'acciaio.

Processo produttivo	Consumo di carbone [kg/t _{ACCIAIO}]	Consumo di gas naturale [Nm ³ /t _{ACCIAIO}]	Consumo di energia elettrica [kWh/t _{ACCIAIO}]	Emissioni dirette di CO ₂ [kg _{CO2} /t _{ACCIAIO}]	Emissioni indirette e fuggitive di CO ₂ [kg _{CO2eq} /t _{ACCIAIO}]
BF BOF	365,2	30,5	166	1'912 - 2'035	54
DRI a gas naturale ²⁵	0	381	634	816	243
DRI a idrogeno verde	0	0	4'576	3,7	

²³ Valore medio atteso per le tecnologie di elettrolisi a bassa temperatura (alcalina e PEM) oggi disponibili. L'evoluzione tecnologica in corso potrà consentire una riduzione del fabbisogno elettrico, anche in relazione alla disponibilità di sistemi di elettrolisi ad alta temperatura. In accordo con i valori riportati in letteratura, si ipotizza inoltre un fabbisogno di 60 kg di idrogeno per produrre una tonnellata di acciaio.

²⁴ L'acronimo TRL – Technology Readiness Level – indica una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia. Per maggiori informazioni si rimanda all'APPENDICE 2 – TECHNOLOGY READINESS LEVEL.

²⁵ I valori riportati in Tabella per le tecnologie DRI sono riferiti all'intero processo produttivo e includono quindi consumi ed emissioni di impianti di pellettizzazione, riduttore diretto, forni ad arco elettrico e forni di post-riscaldamento.

Processo produttivo	Consumo di carbone [kg/t _{ACCIAIO}]	Consumo di gas naturale [Nm ³ /t _{ACCIAIO}]	Consumo di energia elettrica [kWh/t _{ACCIAIO}]	Emissioni dirette di CO ₂ [kg _{CO2} /t _{ACCIAIO}]	Emissioni indirette e fuggitive di CO ₂ [kg _{CO2eq} /t _{ACCIAIO}]
Variazione % DRI a idrogeno verde – DRI a gas naturale		-100%	+622%	-99,5%	
EAF	0	24	510	157	160

Le emissioni indirette associate al DRI a idrogeno verde dipendono dal fattore di emissione medio della produzione elettrica nazionale. Con un fattore di emissione pari a 300 g_{CO2}/kWh, si ottengono 1'373 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO} di emissioni indirette. Tuttavia, grazie alla progressiva decarbonizzazione del settore elettrico, le emissioni indirette sono destinate a diminuire. La Proposta per il Piano di Transizione Ecologica (PITE)²⁶ pubblicata dal Ministero della Transizione Ecologica a luglio 2021 prevede infatti che al 2030 il contributo delle rinnovabili al soddisfacimento dei consumi finali lordi sia pari al 70% nel settore elettrico. Tale valore rappresenta il contributo del settore elettrico a fronte del nuovo obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra contenuto nel pacchetto europeo *Fit for 55*²⁷ (-55% al 2030 rispetto ai livelli del 1990).

Se al 2030 venisse raggiunto il target del 70% di rinnovabili per il settore elettrico, si stima che il fattore di emissione della produzione elettrica nazionale sarebbe pari a 161 g_{CO2}/kWh. In questo scenario le emissioni indirette relative alla tecnologia DRI a idrogeno verde risulterebbero pari a 737 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}, circa la metà rispetto a quelle che si hanno con il fattore di emissione attuale.

Qualora non venissero raggiunti gli obiettivi presenti nella Proposta di PITE, le emissioni indirette associate al processo DRI a idrogeno verde sarebbero superiori. Se al 2030 il contributo delle rinnovabili fosse pari al 55% nel settore elettrico, in linea con quanto previsto dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)²⁸, si avrebbe un fattore di emissione di 205 g_{CO2}/kWh. In questo scenario le emissioni indirette sarebbero pari a 938 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}. **Risulta evidente che la penetrazione delle rinnovabili nel sistema elettrico, e la conseguente decarbonizzazione dello stesso, è una condizione necessaria per l'abbattimento delle emissioni indirette associate alla produzione di acciaio. Per questa ragione è fondamentale mantenere elevati livelli di nuove installazioni rinnovabili, al fine di raggiungere, e se possibile superare, gli obiettivi previsti dal PITE.**

BOX 2

CARBON CAPTURE USE OR STORAGE (CCUS)

Le tecnologie CCUS (*Carbon Capture Use or Storage*) permettono di sequestrare l'anidride carbonica e di stoccarla in giacimenti permanenti oppure di utilizzarla in alcuni processi

²⁶ "Proposta per il Piano di Transizione Ecologica", 28 luglio 2021.

²⁷ "[Quadro 2030 per il clima e l'energia](#)", Commissione Europea.

²⁸ "[Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima](#)", dicembre 2019.

produttivi. Può essere conveniente catturare le emissioni di CO₂ generate dal processo DRI a gas naturale dal momento che il 35% delle emissioni dirette (pari a 282 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}) si ottengono sotto forma di CO₂ pura separata selettivamente, senza la necessità di processi aggiuntivi. Queste emissioni concentrate possono essere abbattute con tecnologie CCS a fronte di un consumo di energia elettrica di circa il 10% superiore rispetto al processo DRI a gas naturale senza sistemi di cattura (Tabella 4).

Qualora si voglia ottenere un abbattimento delle emissioni più spinto, è possibile applicare la cattura della CO₂ a tutti i punti di emissione, cioè al camino del pellettizzatore, alla fornace DRI, alle emissioni concentrate del processo DRI, ai fumi della fornace ad arco elettrico, ai fumi dell'impianto calce e ai fumi in uscita dal forno di post-riscaldamento. In questo modo è possibile ottenere un abbattimento delle emissioni dirette del 97% rispetto al processo DRI a gas naturale, con emissioni residue pari a 27 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}, attribuibili all'incompleta cattura della CO₂ dai punti di emissione (efficienza di cattura assunta pari al 95%). Per ottenere tale risultato si ha un aumento del consumo di energia elettrica del 66% (Tabella 4).

Tabella 4 - Confronto dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ delle tecnologie DRI a gas naturale, DRI a idrogeno verde, DRI a gas naturale e cattura della CO₂ pura e DRI a gas naturale e cattura della CO₂ su tutte le fonti di emissione.

Processo produttivo	Consumo di gas naturale [Nm ³ /t _{ACCIAIO}]	Consumo di energia elettrica [kWh/t _{ACCIAIO}]	Emissioni dirette di CO ₂ [kg _{CO2} /t _{ACCIAIO}]	Emissioni indirette e fuggitive di CO ₂ [kg _{CO2eq} /t _{ACCIAIO}]
DRI a gas naturale ²⁹	381	634	816	243
DRI a idrogeno verde		4 · 576 ³⁰	3,7	
DRI a gas naturale + CCS della CO ₂ pura ³¹	381	695	535	53
DRI a gas naturale + CCS su tutte le fonti di emissione	381	1 · 054	27	53

²⁹ I valori riportati in Tabella sono riferiti all'intero processo produttivo ed includono quindi consumi ed emissioni di impianti di pellettizzazione, riduttore diretto, forni ad arco elettrico e forni di post-riscaldamento.

³⁰ Valore medio atteso per le tecnologie di elettrolisi a bassa temperatura (alcalina e PEM) oggi disponibili. L'evoluzione tecnologica in corso potrà consentire una riduzione del fabbisogno elettrico, anche in relazione alla disponibilità di sistemi di elettrolisi ad alta temperatura. In accordo con i valori riportati in letteratura, si ipotizza inoltre un fabbisogno di 60 kg di idrogeno per produrre una tonnellata di acciaio e un consumo specifico dell'elettrolizzatore di 4,25 kWh/Nm³ di idrogeno.

³¹ Per i processi di cattura e stoccaggio della CO₂ si adottano le seguenti assunzioni:

- Consumi per la compressione e il trasporto pari a 220 kWh/t_{CO2}, da applicarsi a tutte le sorgenti di CO₂ destinate a CCS;
- Per le sorgenti di CO₂ alle quali si applica un processo di cattura post-combustione (ovvero da gas a bassa pressione diluiti in N₂), si assume un'efficienza di cattura della CO₂ del 95% e un consumo elettrico di 486 kWh/t_{CO2}, corrispondente al consumo di una pompa di calore con COP pari a 2 che fornisca 3,5 MJ/kg_{CO2} di calore per la rigenerazione del solvente utilizzato per la cattura;
- Utilizzo di sola elettricità rinnovabile.

Per quanto riguarda lo stoccaggio della CO₂, su larga scala bisogna ricorrere allo stoccaggio geologico, dal momento che lo stoccaggio nei materiali inerti è possibile solo in misura molto limitata. I siti di stoccaggio geologico devono essere caratterizzati da una serie di parametri, quali:

1. Presenza di rocce porose e permeabili (dette rocce serbatoio);
2. Presenza di rocce impermeabili sovrastanti (dette rocce di copertura), che facciano da tappo alla CO₂ impedendole di uscire dal sito;
3. Assenza di acqua potabile (una risorsa troppo preziosa per essere utilizzata nei processi di confinamento);
4. Almeno 800 m di profondità per avere le giuste condizioni di pressione e temperatura³².

Potenziati siti di stoccaggio geologico sono pozzi esausti di estrazione degli idrocarburi o acquiferi salini. In Italia un possibile sito di stoccaggio si trova nell'Adriatico, con una capacità di 500 Mt di CO₂³³. Ipotizzando di applicare la cattura della CO₂ a tutte le fonti di emissione, di produrre 8 milioni di tonnellate di acciaio all'anno presso lo stabilimento ex ILVA di Taranto e di utilizzare la capacità di stoccaggio dell'Adriatico solamente per le emissioni dell'acciaieria tarantina, sarebbe possibile stoccare la CO₂ nell'Adriatico per 79 anni. Per sfruttare per più tempo le tecnologie di cattura, la CO₂ potrebbe essere portata all'estero, nelle aree dove si trovano i più grandi bacini di stoccaggio, come Russia, Stati Uniti e Canada. Tuttavia, ciò renderebbe l'Italia dipendente da altri paesi per il confinamento geologico della CO₂. Va inoltre tenuto conto del fatto che l'esportazione della CO₂ per essere stoccata ha un costo, che si andrebbe inevitabilmente a riversare sul prezzo dei prodotti finali.

Per tutte queste ragioni si ritiene che la CCS non rappresenti un'opzione competitiva e significativa nella strategia di decarbonizzazione anche perché, dopo aver ricevuto sussidi pubblici considerevoli, ad oggi i progetti realizzati non hanno dato alcun risultato rilevante a fronte di elevati costi. Dopo decenni di sviluppo la cattura della CO₂ ha raggiunto una capacità di circa 40 Mt di CO₂/anno³⁴, corrispondente allo 0,1% di tutta la CO₂ emessa a livello mondiale nel 2019³⁵. Gli unici esempi di applicazioni relativamente mature sono connessi all'industria petrolifera, andando però in senso contrario rispetto agli obiettivi di decarbonizzazione.

4.2 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'ACCIAIO SECONDARIO

Spostandoci sull'acciaio secondario, le opzioni per la decarbonizzazione identificate sono di due livelli:

- 1. La riduzione delle emissioni dirette prodotte dai forni ad arco elettrico;**
- 2. Il miglioramento dei processi di raccolta e selezione dei rottami, per poter migliorare la qualità dell'acciaio secondario prodotto.**

³² ["I siti per lo stoccaggio geologico"](#), ENEA.

³³ ["Rapporto locale di sostenibilità"](#), ENI, 2020.

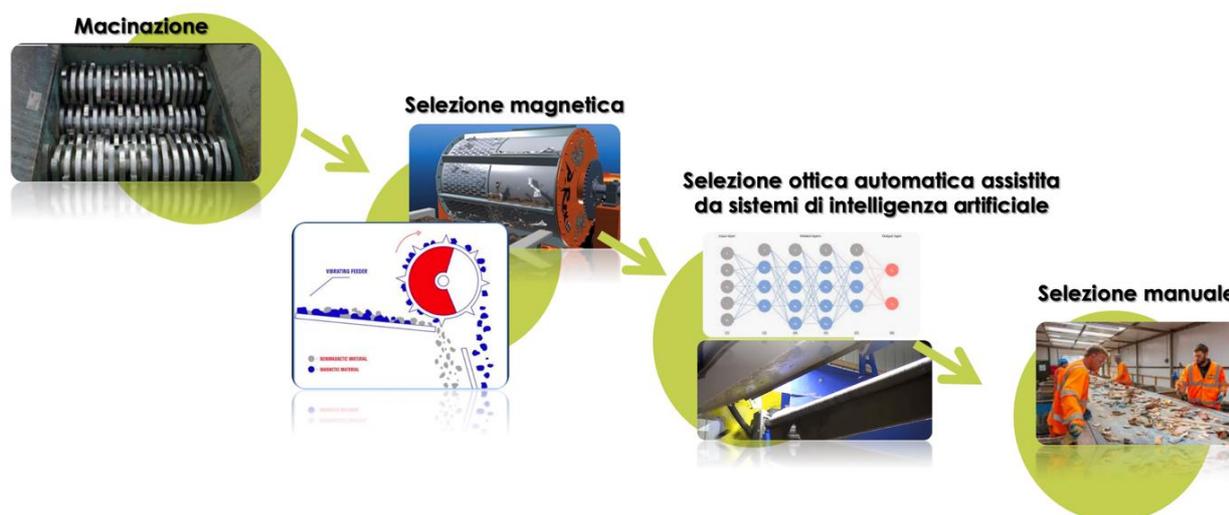
³⁴ "Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage in clean energy transitions", IEA, 2020.

³⁵ Elaborazione dati da ["Tons of Co2 emitted into the atmosphere"](#), The World Counts.

Per ridurre le emissioni dirette dei forni ad arco elettrico è possibile alimentare i bruciatori con idrogeno verde e utilizzare biocarbone come additivo, da caricare nel forno insieme al rottame. In questo modo è possibile ridurre le emissioni dirette degli EAF del 98%, passando da 157 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO} a 3,7 kg_{CO2}/t_{ACCIAIO}. Le emissioni residue sono dovute al consumo degli elettrodi in grafite.

Per produrre acciaio secondario di buona qualità è necessario che i rottami ferrosi non siano contaminati da elementi indesiderati, come rame e stagno. Ad esempio, un contenuto di rame dello 0,15% o anche inferiore rende l'acciaio inutilizzabile per la fabbricazione di molti prodotti. Attualmente il contenuto medio di rame nei rottami dei paesi OECD è circa pari allo 0,2% - 0,25%³⁶. Il miglioramento della qualità dell'acciaio ottenuto da riciclo del rottame deve appoggiarsi quindi sull'ammodernamento della filiera di selezione dei rottami stessi, per evitare progressivi inquinamenti metallurgici dovuti all'incremento della presenza di rame e stagno. Una moderna linea dovrebbe articolarsi in uno stadio dedicato all'assottigliamento del rottame, alla selezione magnetica e alla selezione ottica, a cui far seguire uno stadio finale di cernita manuale (Figura 17).

Figura 17 - Schema di una moderna linea di selezione del rottame.



³⁶ "The Circular Economy – A Powerful Force for Climate Mitigation", *Material Economics*, 2018.

5 SCENARI DI DECARBONIZZAZIONE DELL'INDUSTRIA SIDERURGICA ITALIANA

Uno degli obiettivi del presente documento è quello di fornire una panoramica delle opzioni di decarbonizzazione disponibili per la produzione di acciaio. È stato elaborato uno scenario di decarbonizzazione del processo produttivo sia dell'acciaio primario che secondario in Italia, che sono poi stati confrontati e integrati con la decarbonizzazione del sistema energetico e industriale. In questo studio vengono considerate anche le implicazioni sociali della riconversione, in particolare in termini di occupazione, e i meccanismi di sostegno e gli interventi pubblici necessari.

L'unico impianti attivo in Italia nella produzione di acciaio primario è lo stabilimento a ciclo integrale *Acciaierie d'Italia* di Taranto. Nel 2021 l'ex *ILVA* ha prodotto 4 milioni di tonnellate di acciaio, emettendo in atmosfera 9,7 Mt di CO₂³⁷. Data l'elevata intensità emissiva di questo processo produttivo, il mantenimento degli altiforni a carbone non rappresenta un'opzione percorribile nel medio-lungo periodo. Il profilo emissivo degli altoforni non è in alcun modo compatibile né con l'inserimento dell'impianto nel contesto ambientale di riferimento, né con gli obiettivi di protezione del clima.

Il passaggio da acciaieria a ciclo integrale basata su altoforno e riduttore a ossigeno (BF - BOF) a impianti basati su riduzione diretta a gas naturale e forni ad arco elettrico (DRI - EAF) è riconosciuto come il primo passo per ridurre le emissioni di CO₂ e di inquinanti con effetti locali, quali polveri sottili, NO_x, SO_x, ecc. dal processo di produzione dell'acciaio primario. Il punto di arrivo della completa riconversione prevede l'impiego di idrogeno verde, sia come combustibile che come agente riducente, e il conseguente abbandono del gas. Tuttavia, al momento si evidenziano due temi:

1. La quota di rinnovabili installate non è ancora sufficiente per coprire l'elevata domanda di elettricità necessaria per alimentare gli elettrolizzatori;
2. Gli investimenti necessari per stoccare una quantità di idrogeno tale da garantire la continuità di funzionamento di un'acciaieria di queste dimensioni, sono elevati (8,2 – 8,9 miliardi di euro). Tuttavia, al 2030 è prevista una loro significativa diminuzione, a 5,5 – 6,2 miliardi di € (per approfondire si rimanda a I COSTI DELLA TECNOLOGIA DRI NEL MEDIO PERIODO). Risulta, quindi, più conveniente posporre ai prossimi anni gli investimenti necessari per il passaggio dal gas naturale all'idrogeno verde.

Sulla base di queste considerazioni, nello scenario elaborato si ipotizza che gli altiforni a carbone vengano mantenuti in funzione fino al 2028, con un livello produttivo di 4 milioni di acciaio all'anno, circa pari all'output realizzato nel 2021. Dagli studi svolti è infatti emerso che gli altiforni già presenti a Taranto possano continuare a funzionare fino al 2028 con la sola manutenzione ordinaria, senza che siano necessari importanti interventi di restauro.

Si ipotizza che entro il 2023 vengano completati gli interventi di protezione ambientale, in accordo con quanto già dichiarato da *Acciaierie d'Italia*. Tali interventi riguardano il completamento della

³⁷ "[Rapporto esercizio 2020 Allegato-1.2 Materiali prodotti in stabilimento](#)", Ministero della Transizione Ecologica. "[European Union Transaction Log](#)", European Commission.

Si sottolinea che questo valore comprende anche le emissioni della centrale di cogenerazione dell'ex-ILVA di Taranto, gestita da *ArcelorMittal Italy Energy Srl*. Nel registro EUTL, il *Main Activity Type* della centrale è classificato come *Combustion of fuels*. Tuttavia, la centrale brucia gli off-gas dell'acciaieria, a cui cede elettricità e calore. Pertanto, in questa analisi le emissioni della centrale vengono accorpate insieme a quelle dello stabilimento siderurgico.

copertura del parco minerale, fossile e degli agglomerati, delle barriere antiventio e degli impianti di trattamento delle acque meteoritiche e di quelle derivanti dal parco. Si assume che nel 2025 venga messo in funzione un impianto DRI a gas naturale da un milione di tonnellate di acciaio all'anno; il livello produttivo di tale impianto cresce a 2 Mt dal 2027. Dal 2029 si ipotizza lo spegnimento degli altiforni a carbone e la sola produzione di acciaio tramite DRI a gas naturale (6 Mt all'anno). Dal 2031 si ipotizza una produzione di 4 Mt/anno con gas naturale e 4 Mt/anno con idrogeno verde, per poi passare, dal 2041, a una produzione basata solamente sull'impiego dell'idrogeno verde. In Tabella 5 si riassumono i livelli produttivi e le tecnologie ipotizzate nello scenario elaborato.

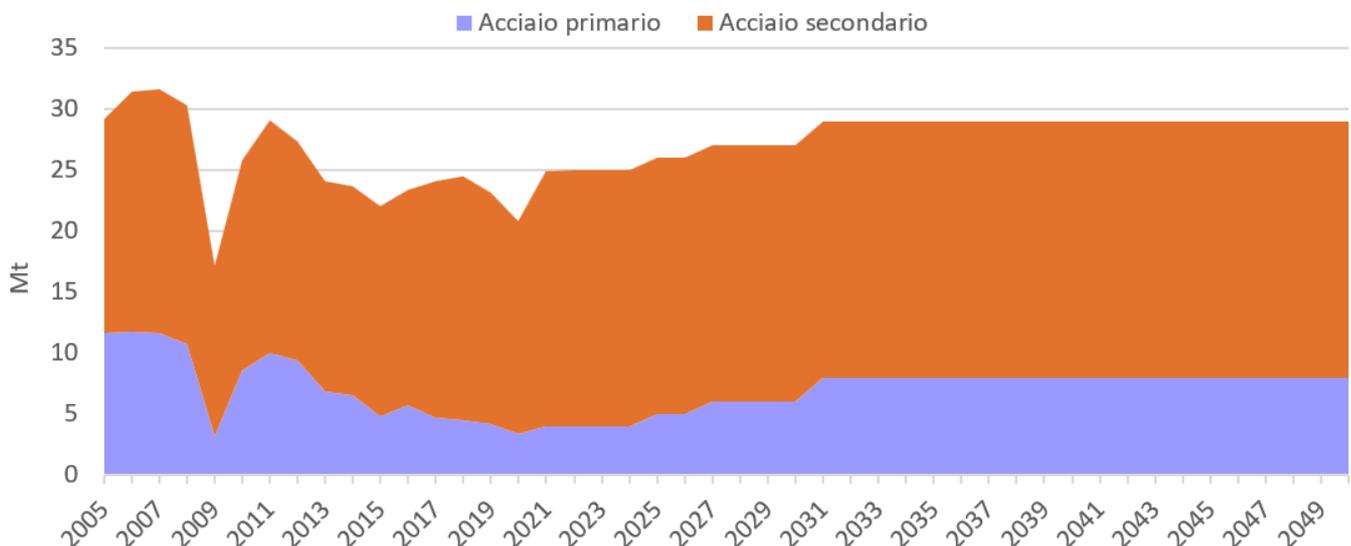
Tabella 5 – Ipotesi del livello produttivo di acciaio primario alla base dello scenario presentato.

Anni	Produzione BF -BOF	Produzione DRI GN	Produzione DRI H ₂
2021 - 2024	4 Mt/anno		
2025 - 2026	4 Mt/anno	1 Mt/anno	
2027 - 2028	4 Mt/anno	2 Mt/anno	
2029 - 2030		6 Mt/anno	
2031 - 2040		4 Mt/anno	4 Mt/anno
2041 - 2050			8 Mt/anno

Per quanto riguarda l'acciaio secondario, si ipotizza un livello produttivo costante e pari a 21 Mt di acciaio all'anno, corrispondente alla produzione italiana di acciaio secondario registrata nel 2021.

In Figura 18 si riporta la produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario proposto.

Figura 18 - Andamento della produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario elaborato.

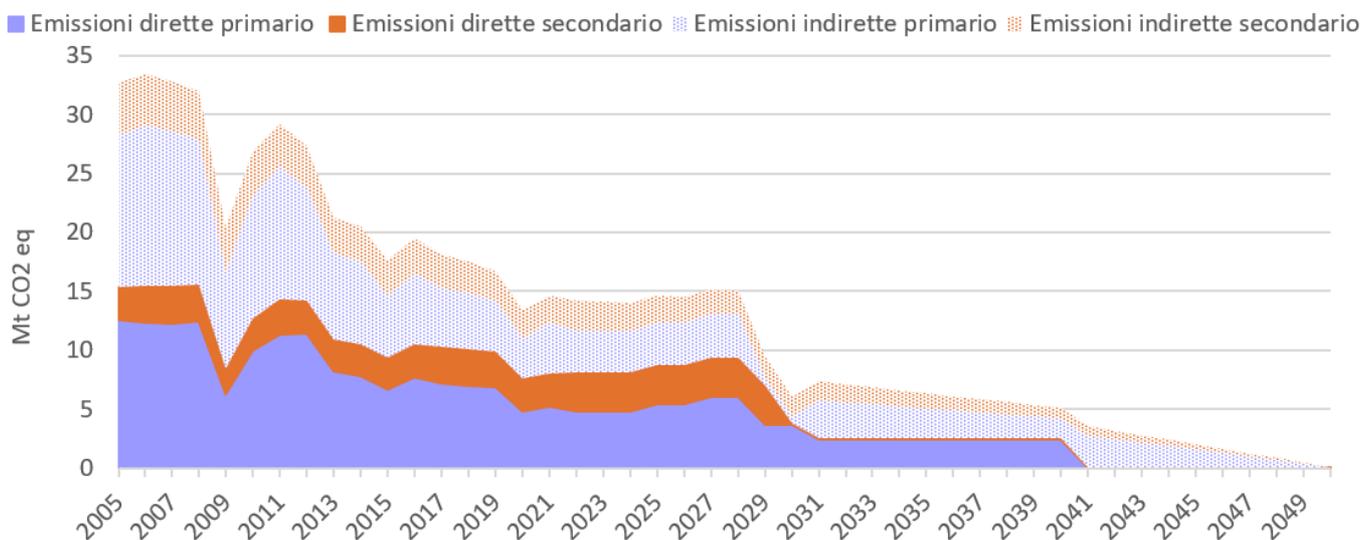


Analizzando l'andamento delle emissioni di gas serra, le emissioni dirette dovute alla produzione di acciaio primario risultano in crescita fino al 2028, quando raggiungono 6,1 Mt di CO_{2eq} (Figura 19). Ciò è dovuto al progressivo aumento del livello produttivo (fino a 6 Mt di acciaio all'anno) e al funzionamento degli altiforni a carbone. Con la chiusura degli altiforni e l'impiego della tecnologia DRI alimentata in parte a gas naturale e in parte a idrogeno verde, si ottiene una riduzione delle emissioni a 2,5 Mt di CO_{2eq} al 2031. Infine, con la completa alimentazione a idrogeno verde, dal 2041 è possibile abbattere le emissioni derivanti dalla produzione di acciaio primario.

Le emissioni dirette dell'acciaio secondario si riducono dal 2030, quando si ipotizza che i bruciatori degli EAF vengano alimentati a idrogeno verde e che venga utilizzato biocarbone come additivo.

L'impiego di idrogeno verde e forni elettrici per la produzione dell'acciaio determina un passaggio da consumi energetici diretti di combustibili primari (carbone e gas naturale) a consumi elettrici. Per quanto, dunque, le emissioni dirette di CO₂ vengano annullate, è importante monitorare anche le emissioni indirette (scope 2), ovvero quelle derivanti dalla produzione dell'energia elettrica utilizzata nei processi produttivi dell'acciaio. Per la stima delle emissioni indirette si assume che al 2030 venga raggiunto il target del 70% di rinnovabili per il settore elettrico, con un fattore di emissione della produzione elettrica nazionale pari a 161 g_{CO2}/kWh. La quota di rinnovabili nel sistema elettrico aumenta negli anni seguenti, raggiungendo il 100% al 2050.

Figura 19 - Andamento delle emissioni dirette e indirette relative alla produzione di acciaio primario e secondario in Italia nello scenario elaborato.



5.1.1 I COSTI ATTUALI DELLA TECNOLOGIA DRI

La tecnologia DRI a gas naturale è una soluzione collaudata e consolidata, che viene già utilizzata da alcuni stabilimenti siderurgici, soprattutto in Medio Oriente, dove le imprese hanno accesso a gas naturale a basso costo. Nell'ottica della decarbonizzazione della produzione di acciaio primario, il gas naturale rappresenta un combustibile di transizione, dato che comporta comunque l'emissione di gas a effetto serra sia dirette che lungo la filiera di estrazione, trasporto e distribuzione. Il ricorso al gas è motivato dai tempi della riconversione, che prevedono la chiusura degli altiforni a carbone e necessitano di attendere una maggiore penetrazione delle rinnovabili nel sistema elettrico nazionale. È necessario anche lo sviluppo di tecnologie adeguate alla produzione dei necessari quantitativi di idrogeno verde; la taglia massima degli elettrolizzatori oggi è di qualche MW, mentre si stima che per la completa riconversione dell'acciaieria di Taranto sia necessaria una capacità di elettrolisi di 2,1 – 2,7 GW.

La tecnologia DRI riveste un particolare interesse strategico nel processo di decarbonizzazione, poiché permette di effettuare il passaggio da gas naturale a idrogeno con modesti interventi sugli impianti, dal momento che l'ottimizzazione è correlata principalmente ad aspetti operativi e di qualità del prodotto, piuttosto che all'impiantistica di base.

Sulla base delle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, si assume che, a regime, lo stabilimento di Taranto possa raggiungere una produzione di 8 Mt di acciaio all'anno. L'idrogeno dovrebbe essere prodotto in loco, data la complessità e i problemi di sicurezza relativi al suo trasporto. Non è necessario che tutta l'energia elettrica venga prodotta in loco con un impianto rinnovabile dedicato, ma si ipotizza che venga approvvigionata dalla rete. Può risultare comunque energeticamente ed economicamente conveniente sfruttare le ampie superfici impermeabilizzate e di copertura già presenti nello stabilimento siderurgico per l'eventuale installazione di impianti fotovoltaici. Sarà inoltre possibile sfruttare la sovra-produzione delle rinnovabili presenti localmente con sistemi di accumulo. Gli investimenti nelle rinnovabili non sono, dunque, direttamente correlati all'acciaieria di Taranto, ma dovranno essere integrati nel contesto più ampio della decarbonizzazione del sistema elettrico nazionale.

Per la stima degli investimenti necessari per la riconversione dello stabilimento di Taranto da altiforni a carbone a DRI a gas naturale si considerano quelli relativi alla costruzione di unità di riduzione diretta, forni ad arco elettrico e pellettizzatori per la lavorazione dei minerali ferrosi.

I costi di investimento di un impianto DRI sono pari a $185\text{€}/t_{\text{DRI},Y}$ (con $t_{\text{DRI},Y}$ si intende per tonnellata di spugna di ferro prodotta annualmente); si ottiene quindi un investimento di 1,7 miliardi di euro per la produzione di 8 milioni di tonnellate di acciaio all'anno. Per i forni ad arco elettrico si stima un investimento di 0,5 miliardi di euro, ipotizzando di riutilizzare alcuni impianti ausiliari già molto efficienti presenti nello stabilimento. Per la produzione di acciaio da DRI va realizzato anche il pellettizzatore, con un costo di 0,3 - 0,4 miliardi di euro. Complessivamente, per il passaggio dell'impianto a gas naturale, si ottiene un investimento pari a 2,5 miliardi di euro, a cui si aggiungono anche i costi relativi alla dismissione degli altiforni esistenti e quelli relativi all'adattamento impiantistico derivante dalla modifica del layout.

Per il successivo passaggio dal gas naturale all'idrogeno verde sono necessari elettrolizzatori e sistemi per l'accumulo dell'idrogeno, in modo tale da poter garantire il funzionamento in continuo dello stabilimento. Considerando che per la produzione di una tonnellata di acciaio sono necessari 60 kg di idrogeno, a regime è necessario produrre 0,5 Mt di idrogeno all'anno, da cui risulta un fabbisogno di 56,4 tonnellate di idrogeno all'ora, ipotizzando un funzionamento in continuo degli elettrolizzatori. Considerando un consumo elettrico specifico degli elettrolizzatori di $48\text{ MWh}_e/t_{\text{H}_2}$, la capacità nominale richiesta è pari a $2,7\text{ GW}_e$. A un costo attuale della tecnologia di elettrolisi di 1 milione di euro per MW_e , si ottiene un investimento di 2,7 miliardi di euro.

Pur con un funzionamento in continuo degli elettrolizzatori, un impianto siderurgico richiede l'accumulo di una certa quantità d'idrogeno, per garantire sicurezza e continuità di funzionamento. Per una grande acciaieria è ragionevole accumulare una quantità d'idrogeno corrispondente a cinque giornate di lavoro, che per Taranto equivalgono a 6,8 kt di idrogeno una volta raggiunto il target produttivo di 8 Mt di acciaio all'anno³⁸. Considerando che i serbatoi di idrogeno compresso hanno un costo compreso fra 500 e 600 €/kg_{H2} e che per i compressori si può stimare un costo di 1'500 €/kW_e³⁹, è necessario un investimento di 5,3 – 5,9 miliardi di euro per i sistemi di accumulo dell'idrogeno. Si ottiene quindi che per il passaggio dal gas naturale all'idrogeno verde è necessario

³⁸ Bhaskar, Abhinav; Assadi, Mohsen; Somehsaraei, Nikpey, Homam; "[Decarbonization of the Iron and Steel Industry with Direct Reduced of Iron Ore with Green Hydrogen](#)", *energies*, 9 febbraio 2020.

³⁹ Sebbene tale valore abbia un impatto poco significativo sul risultato finale, si segnala che il dato è fortemente incerto.

un ulteriore investimento compreso fra 8 e 8,6 miliardi di euro. In Tabella 6 si riassumono gli investimenti necessari per la riconversione dello stabilimento di Taranto da altiforni a carbone alla tecnologia DRI a idrogeno verde.

Tabella 6 - Investimenti necessari per la riconversione dell'acciaio di Taranto da altiforni a carbone alla tecnologia DRI a idrogeno verde (costi attuali).

	Investimento [miliardi €]
Unità DRI	1,7
Unità EAF	0,5
Pellettizzatori	0,3 - 0,4
Subtotale passaggio da carbone a GN	2,5
Elettrolizzatori	2,7
Stoccaggio H ₂	5,3 - 5,9
Subtotale passaggio da GN a H₂	8 - 8,6
Totale	10,4 - 11,1

5.1.2 I COSTI DELLA TECNOLOGIA DRI NEL MEDIO PERIODO

Come messo in evidenza sopra, attualmente il passaggio alla produzione di acciaio tramite DRI a idrogeno verde risulta costoso in termini di capitali di investimento necessari, principalmente a causa dei prezzi elevati dei sistemi per la produzione e lo stoccaggio dell'idrogeno. È però realistico supporre che nei prossimi anni i costi per la produzione di acciaio verde diminuiscano, soprattutto grazie all'attesa diminuzione dei prezzi degli elettrolizzatori, al miglioramento dell'efficienza di queste tecnologie e alle economie di scala. Ipotizzando che nel 2030 per la produzione di un chilogrammo di idrogeno verde saranno necessari 37 kWh di energia elettrica e che il costo degli elettrolizzatori scenderà a 0,5 milioni di euro al MW, si ottiene un investimento di 1 miliardo di euro per gli elettrolizzatori⁴⁰.

Dalla letteratura⁴¹ emerge che anche i prezzi dei serbatoi per lo stoccaggio dell'idrogeno siano destinati a diminuire, a 375 - 490 € per kg di idrogeno, da cui risulta un investimento di 2,5 - 3,3 miliardi di euro. Si ha quindi che l'extra investimento necessario per il passaggio dal gas naturale all'idrogeno verde sarà compreso tra 5,5 e 6,2 miliardi di euro, circa il 30% in meno rispetto a quello ottenuto con i prezzi correnti. In Tabella 7 si riassumono gli investimenti necessari per la riconversione dello stabilimento di Taranto da altiforni a carbone alla tecnologia DRI a idrogeno verde con i prezzi al 2030.

Tabella 7 - Investimenti necessari per la riconversione dell'acciaio di Taranto da altiforni a carbone alla tecnologia DRI a idrogeno verde (costi al 2030)

	Investimento [miliardi €]
Unità DRI	1,7
Unità EAF	0,5
Pellettizzatori	0,3 - 0,4
Sub totale passaggio da carbone a GN	2,5
Elettrolizzatori	1

⁴⁰ Ipotesi *Hydrogen Europe*.

⁴¹ Gorre, Jachin; Ruoss, Fabian; Hannu Karjunen; Schaffert, Johannes; Tynjälä, Tero; "[Cost benefits of optimizing hydrogen storage and methanation capacities for Power-to-Gas plants in dynamic operation](#)", *Applied Energy*, 2020.

	Investimento [miliardi €]
Stoccaggio H ₂	4,4 - 5,2
Sub totale passaggio da GN a H₂	5,5 - 6,2
Totale	7,9 - 8,7

5.1.3 GLI IMPATTI SULL'OCCUPAZIONE

Nel corso degli ultimi anni la siderurgia primaria è stata interessata dalla chiusura di molti impianti e da un forte ridimensionamento occupazionale, tanto che dal 2008 al 2019 ha perso circa 9 mila addetti⁴². Questo calo occupazionale riguarda anche la produzione di acciaio primario ed è tuttora in corso, soprattutto in seguito alla chiusura delle aree a caldo di Piombino e Trieste e del calo del livello produttivo di Taranto. Se non si investe nell'innovazione e non ci si ripositiona sul mercato dei prodotti *low carbon*, dove oggi possiamo essere pionieri, si rischia di entrare sempre più in competizione con altre economie sul più basso prezzo di vendita (su cui siamo svantaggiati) e di essere esclusi dai nuovi mercati verdi.

Attualmente nello stabilimento di Taranto lavorano 8'200 persone, di cui 5'000 nell'area a caldo⁴³. Per uno stabilimento di produzione di acciaio da riciclo si impiegano mediamente 300 occupati per ogni milione di tonnellate di acciaio prodotte annualmente⁴⁴. Se al forno elettrico si abbinassero impianti di pre-riduzione della spugna di ferro a partire dai minerali, si dovrebbero computare altri 100 occupati per ogni tonnellata di spugna di ferro prodotta annualmente. Ipotizzando di produrre presso l'ex-ILVA 8 milioni di tonnellate di acciaio primario con la tecnologia DRI a idrogeno verde si otterrebbe una forza lavoro per il funzionamento dell'area a caldo di 3'200 persone, con un esubero di 1'800 addetti rispetto ai livelli occupazionali attuali. Ci saranno dunque meno posti di lavoro diretti, ma è un modo per prevenire una crisi già in atto.

Se una parte di tali esuberanti può essere assorbita tramite politiche attive del lavoro e sociali, quali pensionamenti anticipati, il ridotto fabbisogno occupazionale della tecnologia DRI può anche essere compensato mediante uno sviluppo di sbocchi lavorativi alternativi, come quelli nelle filiere dell'idrogeno verde e delle rinnovabili. La conversione del processo produttivo all'idrogeno verde creerebbe, infatti, le economie di scala necessarie per far nascere una filiera locale dell'idrogeno verde, che ovvierebbe alle complessità e ai problemi di sicurezza relativi al trasporto dell'idrogeno.

Le Linee Guida Preliminari della Strategia Nazionale Idrogeno¹ prevedono la creazione di oltre 200 mila posti di lavoro temporanei e fino a 10 mila posti fissi associati all'installazione di 5 GW di capacità di elettrolisi per la produzione di idrogeno verde. Con il livello produttivo ipotizzato a Taranto, è necessaria una capacità di elettrolisi di 2,1 – 2,9 GW. A partire dalle Linee Guida Preliminari si stima dunque che a Taranto gli impatti positivi sull'occupazione, solamente correlati alla produzione dell'idrogeno verde, potrebbero essere di 83 - 117 mila posti temporanei durante la fase di costruzione e 4 - 6 mila fissi.

⁴² "World steel in figures 2009", *World Steel Association*.

⁴³ "[Proposta di soluzione tecnica per il rilancio dello stabilimento di Taranto](#)", *Federmanager*, maggio 2020. Bentivogli, Marco; "[Contro i cialtroni dell'acciaio](#)", *FIM-CISL*, 27 novembre 2019.

⁴⁴ Dati da *Politecnico di Milano*.

5.1.4 ESEMPI DI BEST PRACTICES

In Europa molti grandi produttori di acciaio stanno già investendo in progetti che mirano allo sviluppo della tecnologia DRI a idrogeno verde su vasta scala. Nel 2016 SSAB, LKAB e Vattenfall hanno avviato il progetto *HYBRIT* (*HYdrogen BReakthrough Ironmaking Technology*⁴⁵), una *joint venture* con l'obiettivo di sviluppare la sostituzione del carbone con l'idrogeno verde nel processo produttivo dell'acciaio. Un anno fa sono iniziati i primi test per la produzione di acciaio verde presso l'acciaieria di Lulea, nel nord della Svezia. I primi lotti di acciaio sono stati inviati al gruppo Volvo per la progettazione di prototipi di veicoli fabbricati con questo acciaio e l'obiettivo è quello di sviluppare la tecnologia DRI su scala industriale entro il 2026. La *joint venture* ha inoltre annunciato che verrà costruito a Gaellivare, in Svezia, un impianto DRI a idrogeno verde con una capacità produttiva di 1,3 Mt di acciaio all'anno, che entrerà in funzione nel 2026 e che raggiungerà una produzione di 2,7 Mt/anno nel 2030⁴⁶.

Nel 2019 ArcelorMittal ha avviato un progetto da 65 milioni di euro per sperimentare la produzione di acciaio con idrogeno verde ad Amburgo, in Germania⁴⁷. In questo stabilimento la tecnologia DRI viene utilizzata già dal 1971, basata sull'impiego del gas naturale. Ora l'obiettivo è quello di produrre 100 kt all'anno di acciaio utilizzando prima idrogeno grigio, ossia ottenuto da gas, per poi passare gradualmente all'idrogeno verde.

Con il progetto *H2FUTURE*⁴⁸, finanziato dall'Unione Europea nel 2019, si sta studiando la produzione di idrogeno verde su scala industriale da utilizzare poi nell'industria siderurgica. A tal fine, nello stabilimento *Voestalpine* di Linz, in Austria, è stato costruito quello che attualmente è il più grande impianto pilota per la produzione di idrogeno per l'industria siderurgica, con una capacità di elettrolisi da 6 MW⁴⁹. Il finanziamento totale del progetto è di 18 milioni di euro. I primi test effettuati stanno avendo esiti positivi.

5.2 INTEGRAZIONE E INTERAZIONE CON IL SISTEMA ENERGETICO E INDUSTRIALE ITALIANO

L'opzione di decarbonizzazione dell'acciaio passa attraverso un trasferimento di consumi dal settore fossile (carbone prima e gas poi) al settore elettrico, per la produzione di idrogeno verde e per alimentare i forni ad arco elettrico. L'energia elettrica rinnovabile destinata alla produzione siderurgica di 8 milioni di tonnellate di acciaio primario tramite DRI a idrogeno verde risulta pari a 36,6 TWh/anno, corrispondenti all'8% della stima della domanda di energia elettrica al 2040⁵⁰.

⁴⁵ [Progetto HYBRIT](#).

⁴⁶ "[HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall to begin Industrialization of future fossil-free steelmaking by establishing the world's first production plant for fossil-free sponge Iron In Gällivare](#)", SSAB, 24 marzo 2021.

⁴⁷ "Azione per il clima", ArcelorMittal, maggio 2019.

⁴⁸ [Progetto H2FUTURE](#).

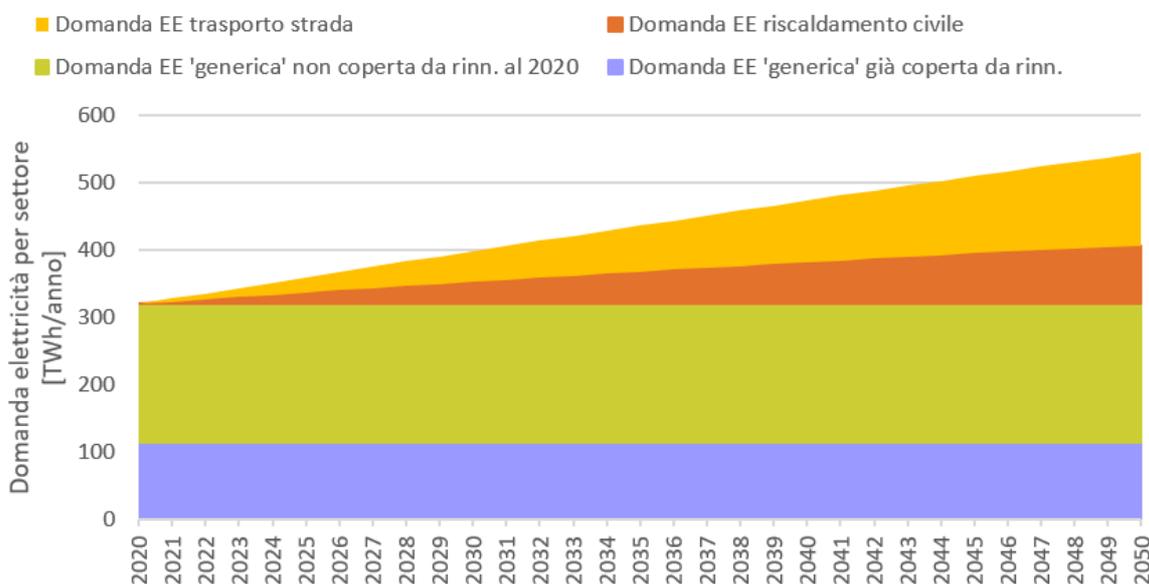
⁴⁹ "[H2FUTURE](#)", Voestalpine.

⁵⁰ Stima di *Politecnico di Milano*. Si considera la domanda dei settori trasporti su strada, riscaldamento civile e consumi generici. Per consumi generici si intendono tutti i consumi civili e industriali presenti già oggi, a cui viene sommata la domanda futura di elettricità per il riscaldamento civile con pompe di calore e quella per i trasporti. Al 2040 si stima che tale domanda di energia elettrica sarà pari a 473,7 TWh.

Di seguito si evidenziano gli impatti di tale trasformazione sul sistema elettrico italiano e le implicazioni anche rispetto alla decarbonizzazione degli altri settori. L'opzione di elettrificazione della produzione dell'acciaio primario è stata contestualizzata in uno scenario complessivo di decarbonizzazione con le seguenti assunzioni:

- **Al termine della transizione completa, si assume che il consumo di elettricità del comparto trasporti su strada sia pari a 138 TWh_e/anno.** Nel 2018 il settore dei trasporti su strada ha consumato 31 Mtep di prodotti petroliferi e 1 Mtep di gas naturale. Per la decarbonizzazione di questo settore si ipotizza la completa elettrificazione della domanda entro il 2050 mediante la sostituzione dei veicoli con motore a combustione interna con auto con motore elettrico alimentato a batteria;
- **Per il settore del riscaldamento civile si assume un consumo di elettricità al termine della transizione pari a 88 TWh_e all'anno.** Nel 2018 in Italia il fabbisogno termico per il riscaldamento civile è stato pari a 316 TWh_{th}. Per la transizione energetica di questo settore si ipotizza la completa elettrificazione della domanda entro il 2050 mediante la sostituzione delle caldaie a gas con pompe di calore elettriche, con un COP medio pari a 3, e una contestuale riduzione del fabbisogno a 263 TWh_{th}/anno grazie all'efficientamento energetico degli edifici;
- **Il fabbisogno elettrico degli altri settori si assume rimanga costante e pari a 320 TWh_e,** come registrato nel 2019, a causa dell'effetto combinato dell'efficientamento energetico e dell'elettrificazione dei consumi finali.

Figura 20 - Domanda di elettricità per settore.

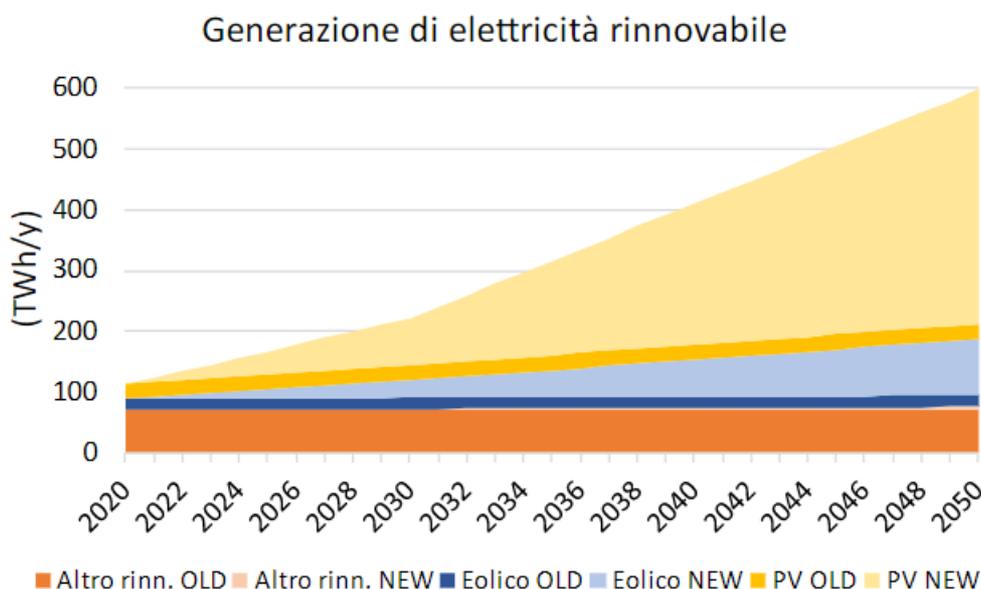


In Tabella 8 si riportano i tassi d'installazione medi annui delle rinnovabili intermittenti necessari per allinearne l'evoluzione con la prospettiva PITE, che prevede che il contributo delle rinnovabili per il soddisfacimento dei consumi finali lordi sia pari al 70% nel settore elettrico al 2030 (Figura 21).

Tabella 8 - Tassi d'installazione delle rinnovabili intermittenti dal 2020 al 2050.

		u.d.m.	Capacità installata negli scenari sviluppati	Obiettivi dei piani nazionali
Tasso installazione solare PV 2020-2030	5,5	GW/anno	75,9 GW al 2030	64 GW (proposta “nuovo PNIEC” di RSE del 2021 ⁵¹)
Tasso installazione solare PV 2030-2050	11	GW/anno	295,9 GW al 2050	200-300 GW (LTS 2050)
Tasso installazione eolico 2020-2030	1,3	GW/anno	23,7 GW al 2030	23 GW (proposta “nuovo PNIEC” di RSE del 2021)
Tasso installazione eolico 2030-2050	1,5	GW/anno	53,7 GW al 2050	40-50 GW (LTS 2050)

Figura 21 - Ipotesi di generazione di energia elettrica da idroelettrico, bioenergia, geotermico, eolico e solare fotovoltaico in Italia dal 2020 al 2050.



Non è stato considerato un significativo apporto dell'eolico off-shore che non rientra attualmente nelle strategie italiane e nel PNIEC. Tuttavia, il mix di fonti rappresenta unicamente la costruzione di un ipotetico scenario a supporto dell'analisi di integrazione della trasformazione dell'acciaio nel sistema elettrico. Una differente distribuzione per capacità di produzione delle rinnovabili non modifica i risultati del lavoro.

Per ogni milione di tonnellate di acciaio prodotto in Italia sarebbe necessario investire almeno 100 – 150 milioni in rinnovabili⁵². Uno studio di *Federacciai* ha evidenziato che la sola metà delle aziende iscritte alla federazione ha a disposizione 1200 ettari per installare pannelli fotovoltaici, che potrebbero produrre quasi un gigawatt di potenza elettrica. Oltre a queste soluzioni è possibile

⁵¹ Geri, Alberto; Delfanti, Maurizio; Benini, Michele; “[Audizio informali – Schema di Decreto Legislativo recante attuazione della Direttiva UE 2018/2001 sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili \(AG 292\) - Schema di Decreto Legislativo recante attuazione della Direttiva UE 2019/944 sulle norme comuni per il mercato interno dell’energia elettrica \(AG 294\)](#)”, RSE, 16 settembre 2021.

⁵² Meneghello, Matteo; “L’industria dell’acciaio italiana oltre i target europei contro la CO2”, *Il Sole 24 Ore*, 29 giugno 2022.

investire anche nei PPA (*Power Purchase Agreement*), cioè nei contratti di lungo termine che regolano lo scambio di energia elettrica tra un soggetto produttore e un acquirente.

La sostituzione del gas naturale con l'idrogeno verde per la produzione di acciaio primario, se non accompagnata da una sufficiente penetrazione delle fonti rinnovabili, rischia di sottrarre quote di energia rinnovabile agli altri settori, che rallenterebbero il loro processo di decarbonizzazione. Per fare in modo che questo non avvenga è importante che si aumenti fin da subito il tasso di nuove installazioni rinnovabili, in modo che la decarbonizzazione proceda in ogni settore dell'economia.

6 LE OPZIONI DI POLICY

Per raggiungere gli obiettivi di emissioni nette pari a zero al 2050 per il settore dell'acciaio, è necessario un efficace set di policy che da un lato promuovano e accelerino l'innovazione tecnologica e, dall'altro, possano essere di supporto alle imprese nell'affrontare gli investimenti necessari. Sono necessari sforzi da parte di tutti i principali attori della catena del valore dell'acciaio: aziende produttrici, consumatori e politica. Se progettata e implementata nei tempi e modi corretti, la strategia di decarbonizzazione del settore può permettere all'industria italiana di rimanere competitiva nel lungo periodo, acquisendo una posizione di leadership in alcuni segmenti di mercato e contribuendo al mantenimento e alla creazione di posti di lavoro.

6.1 MISURE DI POLITICA INDUSTRIALE DEDICATE AL COMPARTO SIDERURGICO

Per accelerare lo sviluppo di processi produttivi a basse emissioni è necessaria la costruzione di impianti pilota e dimostrativi. Affinché le aziende siano spinte in questa direzione, sono necessari **finanziamenti pubblici diretti agli impianti dimostrativi, in modo che si limitino aumenti significativi di CAPEX e si riduca il rischio d'impresa associato all'adozione di soluzioni tecnologiche innovative.**

La prossima pubblicazione del nuovo piano industriale di Taranto, legato al modificato assetto societario, rappresenta un'occasione unica per pianificare interventi e soluzioni di riconversione che possano coniugare la sostenibilità economica e sociale degli investimenti con quella ambientale e climatica del progetto. Bisogna evitare che ci sia uno spreco di risorse economiche in una doppia *trance* di investimenti, prima nella ristrutturazione degli altiforni e delle cokerie e poi per il loro smantellamento e il passaggio alla tecnologia DRI.

Al riguardo, anche la revisione in corso della Direttiva EU ETS può rappresentare un'opportunità di sostegno per gli investimenti verso tecnologie *low carbon*. Attualmente il settore siderurgico riceve una quantità di allocazioni gratuite che gli consente di coprire praticamente tutte le proprie emissioni all'interno del sistema ETS. Il piano della Commissione Europea prevede di ridurre ogni anno del 10% la quota di emissioni gratuite che vengono rilasciate a quei settori che saranno inclusi nel *Carbon Border Adjustment Measure* (CBAM), un nuovo regolamento che verrà introdotto a partire dal 2026. Entro il 2035 verrà completata l'implementazione del CBAM e l'assegnazione gratuita sarà completamente eliminata. Se si prende come anno di riferimento il 2030, un produttore di acciaio riceverà a titolo gratuito solamente il 50% delle quote necessarie per coprire le emissioni di un altoforno. Il restante 50% delle quote dovrà essere acquistato sul mercato ETS, dove al momento il prezzo medio della CO₂ è di circa 84 €/t⁵³. Di conseguenza i costi per i processi a elevata intensità di carbonio sono destinati ad aumentare, con un elevato rischio di *stranded assets*.

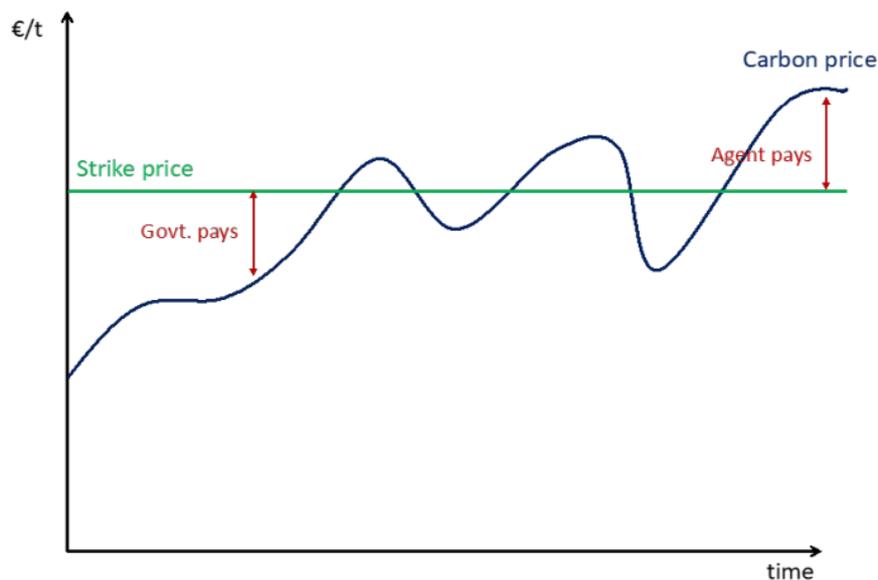
Sulla base della proposta della Commissione, le quote gratuite che non saranno più destinate ai settori inclusi nel regolamento per il *Carbon Border Adjustment Measure* (CBAM), saranno convogliate nel Fondo di Innovazione che si prevede, quindi, possa essere 'alimentato' dalla messa all'asta anche delle quote relative ai settori CBAM, in cui rientra il settore di produzione dell'acciaio. Il

⁵³ "[Spot Market](#)", eex.

fondo è uno dei maggiori programmi di finanziamento per la dimostrazione di tecnologie e processi innovativi a zero/basse emissioni e anche prodotti che sostituiscono quelli ad alta intensità di carbonio. Il testo potrebbe essere inoltre ulteriormente rafforzato per far sì che le quote provenienti dai settori CBAM siano prioritariamente riutilizzate per finanziare progetti di concreta decarbonizzazione in quei settori.

Un altro elemento di interesse della proposta in discussione risiede nella possibilità di utilizzo di meccanismi di *competitive tendering*, come i contratti per differenza (*Carbon Contracts for Difference* – CCfD), che consentirebbero di garantire l'investimento e il suo ritorno. Un *Carbon Contract* è un contratto mediante il quale un governo o un'istituzione concordano con un produttore privato un prezzo fisso del carbonio ("*strike price*") per un dato periodo di tempo. Se il prezzo di mercato è inferiore rispetto al prezzo concordato, il produttore riceve la differenza dal governo; se invece il prezzo di mercato è più alto, allora il privato deve restituire il surplus di entrate al governo. I *Carbon Contracts* sono uno strumento che permette di controbilanciare la volatilità del prezzo della CO₂. Costituiscono una forma di sovvenzione che riduce il rischio associato agli investimenti e consentono una pianificazione finanziaria a lungo termine.

Figura 22 – Principio di funzionamento dei *Carbon Contracts for Differences*⁵⁴.



6.2 UN MERCATO PER L'ACCIAIO VERDE

Per permettere alle aziende di investire in tecnologie *low carbon* e nelle soluzioni dell'economia circolare è necessario anche stimolare la creazione di una robusta domanda di prodotti verdi. Molti produttori stanno già lavorando per favorire un mercato per prodotti climaticamente neutri, ma si trovano ad affrontare diverse barriere quali, ad esempio, i costi più elevati di questi prodotti, la mancanza di familiarità con i nuovi materiali da parte degli utilizzatori, la mancanza di trasparenza e di parametri di riferimento chiari e di facile comprensione per i potenziali acquirenti, per confrontare le diverse alternative a basse emissioni di carbonio.

⁵⁴ "[Carbon Contracts for Differences: their role in European industrial decarbonization](#)", *Climate Friendly Materials Platform*, settembre 2020.

Per tutte queste ragioni sono necessarie policy per stimolare la domanda e favorire un prospero mercato dei prodotti *low carbon*, facendo leva innanzitutto sugli appalti pubblici, che possono creare uno sbocco per questi prodotti nei settori delle infrastrutture e degli edifici. È poi da incoraggiare un medesimo comportamento anche nel settore privato, con particolare riferimento alle filiere a valle della produzione di acciaio primario. Esistono *partnerships* industriali nei settori *automotive*, come quella tra *SSAB* e *Volvo* oppure come quelle che sta siglando *H2 Green Steel* con *Mercedes* e *Schaeffler*, che potrebbero essere promosse anche nei settori elettromeccanico, navale, ferroviario, delle costruzioni e degli imballaggi. Tali *partnerships* potrebbero essere garantite dallo Stato con strumenti quali, ad esempio, i contratti per differenza, in modo tale che l'acquirente possa acquistare acciaio verde a un prezzo che sia competitivo con quello dell'acciaio da altiforni a carbone. Il surplus di costo verrebbe pagato al produttore dallo stato.

Nel mercato dei prodotti a bassa intensità di carbonio trova sbocco anche l'acciaio secondario. Un'elevata quota di produzione basata sui rottami richiede una filiera di raccolta e selezione molto controllata, con flussi di rottami ben separati per evitare la contaminazione con elementi indesiderati. Una costante disponibilità di rottami di elevata qualità può permettere all'Italia di rimanere *leader* a livello europeo anche nella produzione di acciaio da riciclo. Sono, quindi, necessari investimenti per l'innovazione tecnologica degli impianti di selezione dei rottami.

Il mercato dell'acciaio verde può essere favorito anche mediante l'introduzione di *Product Carbon Requirements*, cioè di specifici requisiti che, nel lungo periodo, richiedono l'utilizzo di acciaio a basso contenuto di carbonio per determinate applicazioni. Ad esempio, in Francia, in Svezia e in alcuni paesi del Nord Europa sono state proposte normative che mirano a porre un limite massimo alle emissioni di CO₂ associate all'acciaio utilizzato negli edifici.

Anche se oggi a livello internazionale la produzione del cosiddetto 'acciaio verde' è ancora agli inizi, le particolari circostanze storiche offrono la possibilità perché il sito di Taranto possa rappresentare un progetto 'faro' dell'acciaio verde in Europa e nel mondo, anticipando e guidando il cambiamento e portando sul mercato un prodotto la cui domanda potrà solo crescere in futuro.

7 CONCLUSIONI

L'Italia è il secondo produttore di acciaio in Europa e l'undicesimo al mondo. L'84% dell'acciaio prodotto nel nostro Paese è acciaio da riciclo, mentre il restante 16% è acciaio primario prodotto presso lo stabilimento *Acciaierie d'Italia* di Taranto. Nel presente studio vengono proposte alcune soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione della siderurgia italiana, sia primaria che secondaria, e vengono individuati meccanismi di policy che permettano di accelerare la transizione verso la neutralità climatica e che allo stesso tempo consentano alle aziende di rimanere competitive a livello internazionale. Si considerano inoltre gli impatti occupazionali e si fornisce una stima di costo per ogni soluzione individuata.

Per la decarbonizzazione dalla produzione dell'acciaio primario, la proposta di ECCO è il passaggio alla tecnologia DRI (*Direct Reduced Iron*), alimentata inizialmente a gas naturale, per poi gradualmente passare all'idrogeno verde. Questa soluzione ha già raggiunto la piena maturità tecnologica, come testimoniano i numerosi paesi europei che hanno già annunciato consistenti investimenti in impianti DRI. Tale tecnologia consente di ottenere benefici in termini ambientali, ma anche di posizionare l'Italia in una zona di avanguardia nel nascente mercato dell'acciaio verde.

Per quanto riguarda l'acciaio secondario, le opzioni per la decarbonizzazione identificate sono di due livelli:

1. La riduzione delle emissioni dirette prodotte dagli EAF, alimentando i bruciatori a idrogeno verde e utilizzando biocarbone come additivo;

2. Il miglioramento della raccolta e della selezione dei rottami, per poter affinare la qualità dell'acciaio secondario prodotto.

Per raggiungere questi obiettivi servono politiche finalizzate alla promozione e all'accelerazione dell'innovazione tecnologica, al sostegno delle imprese, alla realizzazione di progetti pilota e alla creazione di una domanda *green*. **Come spiegato nello studio, è fondamentale che la politica implementi strumenti, quali finanziamenti pubblici diretti agli impianti dimostrativi, appalti pubblici vincolati ad acciaio *green*, partnerships nel settore privato tra produttori di acciaio e aziende attive nella filiera a valle, politiche occupazionali volte a ricollocare i lavoratori verso settori collegati, come quello della produzione di idrogeno verde.**

In mancanza di una politica industriale che spinga la riconversione, si rischia di vedere crollare un settore – quello dell'acciaio - molto importante per l'economia italiana. **La decarbonizzazione offre invece la possibilità preziosa di progettare la trasformazione del comparto produttivo e di dare all'Italia un vantaggio competitivo e una posizione di avanguardia in un mercato, quello dell'acciaio verde, destinato a crescere.**

APPENDICE 1 - IPOTESI

Vengono riportate le principali assunzioni alla base dell'analisi presentata:

- Il gas naturale è considerato come metano, con fattore di emissione di CO₂ di 1,96 kg_{CO2}/Nm³, a cui aggiungere emissioni fuggitive di 0,14 kg_{CO2}/Nm³, corrispondenti alle emissioni di filiera per gas da giacimento convenzionale;
- Si assume che l'elettricità consumata abbia un fattore di emissione di 300 kg_{CO2}/MWh, corrispondente al fattore di emissione medio dell'elettricità consumata in Italia nel 2018⁵⁵;
- Nel caso di apporti certificati di elettricità rinnovabile e i relativi sistemi di accumulo, si assume un fattore di emissione pari a 0 kg_{CO2}/MWh;
- Nel caso di sostituzione del gas naturale con idrogeno nel processo di riduzione del minerale di ferro, si è assunto un consumo di idrogeno pari a 632 Nm³/t_{DRI}, in linea con i dati presenti in letteratura. Il consumo specifico dell'elettrolizzatore è stato assunto pari a 4,25 kWh/Nm³, corrispondente a un rendimento del 70%, in accordo con le proiezioni di lungo periodo per gli elettrolizzatori a bassa temperatura. Il consumo energetico complessivo (idrogeno + calore) del sistema DRI a idrogeno verde è assunto pari a 8 GJ/t_{DRI}, contro i 10 GJ/t_{DRI} del sistema DRI convenzionale a gas;
- Il consumo di DRI per unità di acciaio finale prodotto è stato assunto pari a 1,1 kg_{DRI}/kg_{ACCIAIO}.

L'analisi include anche considerazioni economiche basate sulle seguenti assunzioni principali:

- Costo del gas naturale pari a 7 €/GJ (valore 2020);
- Costo di investimento dell'elettrolizzatore pari a 450 €/kW, corrispondente a uno scenario di lungo periodo;
- Costo di lungo periodo dell'elettricità rinnovabile, inclusivo di sistemi di accumulo per la gestione dell'intermittenza pari a 50 €/MWh. Si tratta di un valore opinabile, che incorpora molteplici assunzioni, come i costi di generazione dell'energia elettrica rinnovabile e di stoccaggio elettrico o mediante idrogeno post 2030;
- Disponibilità dell'impianto pari al 95% (ovvero funzionamento per 8 ` 320 h_{eq}/anno);
- Costi di investimento dell'elettrificazione delle utenze termiche trascurati;
- Costo specifico attualizzato per il sistema di compressione della CO₂ pari a 5 €/t_{CO2} (non inclusivo dei costi dell'elettricità per la compressione);
- Costo specifico attualizzato della cattura di CO₂ post-combustione pari a 50 €/t_{CO2} (non inclusivo dei costi dell'elettricità per la rigenerazione del solvente, dove si assume che la rigenerazione del solvente sia eseguita con pompa di calore). Le assunzioni sui costi di cattura di CO₂ e sul costo dell'elettricità portano a un costo complessivo della CO₂ catturata di 90€/t_{CO2};
- Costo di trasporto e stoccaggio della CO₂ pari a 30 €/t_{CO2}. Il costo di trasporto e stoccaggio ha un'elevata variabilità e incertezza, legate alla distanza di trasporto, alla natura geologica del sito di stoccaggio e alla possibilità di condivisione dell'infrastruttura. Il valore assunto può essere considerato ragionevole per un trasporto su una distanza di 700

⁵⁵ "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico", ISPRA, 2021.

km (corrispondente alla distanza tra Taranto e Ravenna) via pipeline o nave (con costo compreso tra 15 e 20 €/t) e stoccaggio off-shore (costi compresi tra 2 e 20 €/t)⁵⁶.

È importante sottolineare come molte delle assunzioni dell'analisi economica che hanno un impatto significativo sui risultati (es: costo dell'elettricità rinnovabile, costo della CCS, costo del gas naturale) siano soggette a un elevato grado di incertezza e variabilità.

⁵⁶ Smith, Erin; Morris, Jennifer; Khesghi, Haroon; Teletzke, Gary; Herzog, Howard; Paltsev, Seregy; "[The cost of CO₂ transport and storage in global integrated assessment modeling](#)", *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 20 giugno 2021.

APPENDICE 2 – TECHNOLOGY READINESS LEVEL

L'acronimo TRL – Technology Readiness Level – indica una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia. Il TRL è stato sviluppato dalla NASA nel 1974 e ad oggi è utilizzato da vari istituti di ricerca ed enti in tutto il mondo. Questo metodo può essere applicato a una qualsiasi tecnologia per valutarne il grado di maturità su una scala di valori che va da 1 a 9. L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ha esteso la scala del TRL aggiungendo altri due livelli. TRL pari a 10 per indicare una tecnologia che ha già raggiunto la commercializzazione ma che richiede ulteriore lavoro per essere integrata all'interno del sistema energetico e della catena del valore. TRL pari a 11 per quelle soluzioni che sono stati sviluppate anche sotto questo punto di vista. In Tabella 9 si riporta la scala del TRL completa.

Tabella 9 – Scala del TRL.

TRL	Descrizione	
1	Ricerca di base: esaminati i principi fondamentali	Ricerca di base
2	Formulazione delle tecnologie: enunciati i concetti e le possibili applicazioni	
3	Prova pratica dei concetti con i primi esperimenti di laboratorio compiuti	
4	Prototipo validato in laboratorio	Ricerca applicata
5	Prototipo validato in ambito industriale	
6	Tecnologia dimostrata in ambiente industriale	Sviluppo
7	Prototipo di sistema dimostrato in ambiente reale	
8	Sistema completo definito e qualificato	
9	Sistema provato in ambiente reale	Implementazione
10	Soluzione commerciale e competitiva, ma che richiede ulteriori sforzi di miglioramento	
11	Soluzione che ha raggiunto la piena maturità	Piena maturità



THE ITALIAN CLIMATE CHANGE THINK TANK

ECCO è il *think tank* italiano indipendente per il clima. La missione del gruppo di esperti di ECCO è lavorare nell'interesse pubblico per accelerare la decarbonizzazione e costruire resilienza di fronte alla sfida del cambiamento climatico.

ECCO ha un raggio d'azione nazionale, europeo e globale.

ECCO lavora per sviluppare e promuovere analisi, proposte e strategie per il clima basate sui fatti e sulla scienza in costante dialogo con esperti della comunità scientifica, decisori politici, istituzioni, società civile, imprese, sindacati e filantropia.

ECCO è un'organizzazione senza fini di lucro, non legata ad alcun interesse privato e finanziata esclusivamente attraverso risorse filantropiche e pubbliche.

Questo Rapporto è stato curato da:

Giulia Novati, Ricercatrice programma Industria, ECCO giulia.novati@eccoclimate.org

Responsabili e revisori:

Matteo Leonardi, Co-fondatore e Direttore Esecutivo Affari Domestici, ECCO

Luca Iacboni, Responsabile programmi nazionali, ECCO

Eseguito in collaborazione con i professori Carlo Mapelli, Paolo Colbertaldo, Matteo Romano e Stefano Campanari del Politecnico di Milano, che hanno supportato l'analisi quantitativa dei bilanci di energia e carbonio delle diverse soluzioni impiantistiche e degli scenari.

Le opinioni riportate nel presente rapporto sono riferibili esclusivamente a ECCO think tank autore della ricerca.

Per interviste o maggiori informazioni sull'utilizzo e sulla diffusione dei contenuti presenti in questo briefing, si prega di contattare:

Andrea Ghianda, Head of Communication, ECCO

andrea.ghianda@eccoclimate.org

+39 3396466985

www.eccoclimate.org

Data di pubblicazione:

agosto 2022