

Taranto dopo il carbone. Proposte per un futuro pulito: scenari di decarbonizzazione del siderurgico, fonti rinnovabili, lavoro



Taranto dopo il carbone. Proposte per un futuro pulito: scenari di decarbonizzazione del siderurgico, fonti rinnovabili, lavoro

Studio commissionato da Legambiente
curato da Università di Bari-Dipartimento di Scienze Politiche

AUTORI

Pasquale Cavaliere Professore di metallurgia, *Università del Salento*
Lidia Greco Professoressa di sociologia economica e del lavoro, *Università di Bari*
Alex Sorokin Ingegner, esperto energetico

HANNO COLLABORATO

Luca Antonazzo e Luca Novelli

COORDINAMENTO

Lidia Greco

COLLABORAZIONE E REVISIONE TESTI

Lunetta Franco *Legambiente*
Maria Maranò *Legambiente*

PROGETTO GRAFICO

Emiliano Rapiti

Indice

Riepilogo/Executive Summary	10
Introduzione: Le ragioni dello studio, la metodologia, il team di lavoro	12
Parte 1 - L'industria siderurgica oggi tra sviluppo e trasformazione	14
1 L'industria siderurgica italiana ed europea nello scenario mondiale	15
1.1. Introduzione	15
1.2. La produzione mondiale di acciaio	15
1.3. La produzione europea di acciaio e l'occupazione nel settore	16
1.4. La produzione italiana di acciaio e l'occupazione nel settore	20
2. Processi di produzione dell'acciaio e percorsi di decarbonizzazione della siderurgia	22
2.1. I cicli di produzione dell'acciaio: processo produttivo, intensità energetica, emissioni di CO₂ e altri inquinanti	22
2.1.1. Il ciclo integrale BF-BOF	22
<i>Il processo produttivo</i>	22
<i>L'intensità energetica</i>	23
<i>Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti</i>	23
2.1.2. Il ciclo della produzione elettrica da rottame (EAF basato su rottami)	24
<i>Il processo produttivo</i>	24
<i>L'intensità energetica</i>	25
<i>Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti</i>	25
2.1.3. Il ciclo della produzione elettrica da DRI alimentato da gas naturale (NG DRI-EAF)	26
<i>Il processo produttivo</i>	26
<i>L'intensità energetica</i>	28
<i>Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti</i>	28
2.1.4. I processi produttivi a confronto	29
2.2. I percorsi di decarbonizzazione della siderurgia	31
2.2.1. La decarbonizzazione parziale: circolarità e ottimizzazione	31
2.2.2. La decarbonizzazione completa: l'idrogeno per l'acciaio verde (H ₂ DRI-EAF)	31
2.2.2.1. L'idrogeno	31
<i>Proprietà e tipologie dell'idrogeno</i>	31
<i>La produzione di idrogeno</i>	32
<i>Gli elettrolizzatori</i>	32
<i>Costi di costruzione, stoccaggio ed energia</i>	32
<i>Le infrastrutture</i>	35
<i>Le sfide dell'idrogeno verde</i>	37
2.2.2.2. H ₂ -DRI-EAF	37
<i>Il processo produttivo</i>	37
<i>L'intensità energetica</i>	38
<i>Le emissioni di anidride carbonica</i>	40
2.3. I principali progetti di decarbonizzazione di fabbriche a ciclo integrale in Europa	41
2.4. Il progetto H ₂ Green Steel a Boden (Svezia)	46
2.5. La decarbonizzazione e il ruolo degli Stati	47
2.6. Il contesto normativo comunitario: una rassegna	47
2.6.1 L'EU ETS	47
2.6.2. Il CBAM	48
2.6.3. Il Regolamento UE sulle materie prime critiche	49
2.6.4. Il Piano di azione europeo per l'acciaio e i metalli	49
2.6.5 Il Patto per l'industria pulita (il Clean Industrial Deal)	49
2.6.6. Obiettivi e iniziative europee sull'idrogeno	50

segue >

Parte 2 - La decarbonizzazione dell'ex-ILVA: trasformazione produttiva e occupazionale	52
3. La trasformazione produttiva della fabbrica ex-ILVA	53
3.1. L'assetto produttivo dell'ex-ILVA	53
3.2. Scenari di decarbonizzazione per l'ex-ILVA	56
Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da rottami	56
Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite gas naturale (NG DRI+EAF)	56
Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite idrogeno (H ₂ DRI+EAF)	57
Una sintesi delle emissioni di CO ₂ e dei consumi energetici	58
4. Fabbisogno energetico dell'acciaieria decarbonizzata e ipotesi di mix elettrico rinnovabile al 2030	60
4.1 Combinazione produttiva di 6 milioni di acciaio con 2 mln di tonnellate di preridotto e 4 milioni di tonnellate di rottame	62
4.2 Combinazione produttiva di 6 milioni di acciaio con 2,5 milioni di tonnellate di preridotto e 4 milioni di tonnellate di rottame.	64
5. La dinamica occupazionale nella siderurgia in trasformazione	67
5.1. Introduzione	67
5.2. Occupazione, profili professionali e competenze nell'acciaieria ex-ILVA	67
5.2.1. I lavoratori dell'attuale acciaieria	67
5.2.2. La dinamica occupazionale nell'ex-ILVA in transizione	71
5.3 Occupazione, profili professionali e competenze nell'acciaieria verde	71
5.3.1. Riduzione della forza lavoro diretta, nuova occupazione nella filiera e nella fase di transizione	73
5.3.2. Profili professionali e competenze per la siderurgia green	74
5.3.3. Upskilling e reskilling: la riusabilità delle competenze	76
5.3.4. Il parere degli esperti intervistati nella ricerca	77
5.4. L'idrogeno per la siderurgia	78
5.4.1. Profili professionali e competenze	78
5.4.2. La formazione professionale nel campo dell'idrogeno: alcuni esempi utili	79
6. Il contesto della decarbonizzazione	82
6.1. La formazione tecnico-scientifica a Taranto	82
6.2. Il contesto normativo	84
6.2.1. Il PNIEC	84
6.2.2. Il PNRR e la transizione ecologica	84
6.2.3. La strategia italiana dell'idrogeno e la siderurgia	85
6.3. La strategia pugliese dell'idrogeno	86
6.3.1. Le linee generali	86
6.3.2. Siderurgia e idrogeno nella strategia regionale pugliese	86
6.4. La diversificazione economica dell'area di Taranto	90
7. Le tendenze di crescita e di occupazione nel settore delle energie rinnovabili	92
7.1. Tendenze generali	92
7.2 L'occupazione nel settore delle energie rinnovabili	93
7.2.1. Occupazione nel settore eolico in Europa	94
7.2.3. L'occupazione nel settore delle rinnovabili in Italia	95
7.3. Una previsione occupazionale a partire dal fabbisogno di energia verde dell'acciaieria di Taranto	96

Indice figure

Capitolo 1

Figura 1.1 - Rinnovabili per fonte nel 2024	15
Figura 1.2 - Generazione globale di elettricità per anno	15
Figura 1.3- Produzione di acciaio grezzo in Europa per paese	16
Figura 1.4 - Occupazione e valore aggiunto lordo dall'industria siderurgica europea	17
Figura 1.5 – Produzione siderurgica europea per tipo di processo produttivo	18
Figura 1.6 - Siti di produzione siderurgica in Europa per tipo di produzione	19
Figura 1.7- Principali siti di emissione di CO2 in Europa	20
Figura 1.8- Andamento della produzione di acciaio in Italia (mln/t) e dell'occupazione nel settore primario	21

Capitolo 2

Figura 2.1 - Il processo produttivo del ciclo integrale	22
Figura 2.2 – Energia utilizzata e sprecata nel percorso integrato	23
Figura 2.3 - Emissioni di CO2 nell'acciaieria integrata	23
Figura 2.4 – Principali flussi di carbonio nell'acciaieria integrata	23
Figura 2.5 – Portate volumetriche, poteri calorifici inferiori e composizione dei gas di scarico di una moderna acciaieria a ciclo integrale (6 mln/t acciaio annue)	24
Figura 2.6 – Forno ad arco elettrico	24
Figura 2.7 – Produzione di acciaio elettrico nelle diverse regioni del mondo	25
Figura 2.8 - Bilancio energetico dell'EAF	25
Figura 2.9 – Fattori di emissione diretta e indiretta di GHG (gas a effetto serra) nell'EAF	25
Figura 2.10 – Previsioni sulla disponibilità di rottami per tipo	26
Figura 2.11 – Previsioni sulla disponibilità di rottami per provenienza	26
Figura 2.12 - Ciclo di produzione dell'acciaio attraverso DRI+EAF	27
Figura 2.13 - Classificazione dei processi di riduzione diretta	27
Figura 2.14 - Flussi di materiale per la produzione di DRI da gas naturale	28
Figura 2.15 - Energia utilizzata e sprecata negli impianti DRI a base di carbone e gas	28
Figura 2.16 – Emissioni di CO2 per produzione di DRI	29
Figura 2.17 - Produzione mondiale mediante diverse tipologie impiantistiche	29
Figura 2.18 - Confronto delle emissioni di CO2 e intensità energetica	29
Figura 2.19 - Percorsi di decarbonizzazione	31
Figura 2.20 – Diverse tipologie di idrogeno in funzione del processo e della fonte energetica per sintetizzarlo	32
Figura 2.21 - Tecnologie disponibili per la produzione di idrogeno	32
Figura 2.22 - Livelli per la definizione del costo di un elettrolizzatore	33
Figura 2.23 - Ripartizione dei costi per un elettrolizzatore PEM e un elettrolizzatore alcalino da 1 MW	33
Figura 2.24 - Economie di scala per la produzione di stack PEM	34
Figura 2.25 - Panoramica dei sistemi e dei materiali di stoccaggio dell'idrogeno	34
Figura 2.26 - Costi di trasporto dell'idrogeno in forma di gas e attraverso LOHC	35
Figura 2.27 - Costi di trasporto dell'idrogeno in differenti stati mediante gasdotto o trasporto su gomma	35
Figura 2.28 - Costi dell'idrogeno in funzione del costo dell'energia elettrica e del tempo di funzionamento degli elettrolizzatori	36
Figura 2.29 - Problemi di sicurezza relativi all'applicazione dell'idrogeno	36
Figura 2.30 - Processo produttivo siderurgico H2-DRI-EAF	37
Figura 2.31 - Schema della produzione integrata di acciaio primario senza fossili	38
Figura 2.32 - Domanda di potenza ed elettricità per la produzione di DRI	38
Figura 2.33 - Domanda di potenza ed elettricità tenendo conto dello stoccaggio dell'idrogeno	39
Figura 2.34 - Domanda di potenza ed elettricità dell'elettrolizzatore collegato ad un parco eolico	39
Figura 2.35 - Consumo energetico nella produzione integrata di DRI	39
Figura 2.36 - Consumo di elettricità in funzione della portata di massa dell'idrogeno	40
Figura 2.37 - Costi di produzione dovuti alla transizione all'idrogeno	40

Indice figure

Capitolo 3

Figura 3.1 - L'area della fabbrica ex-ILVA a Taranto	53
Figura 3.2 - Il processo produttivo a ciclo integrale della fabbrica ex-ILVA	54
Figura 3.3 - I parchi minerali	54
Figura 3.4 - Le centrali elettriche	55
Figura 3.5 - Il ciclo integrale	56
Figura 3.6 - Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da rottami	56
Figura 3.7 - Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da gas naturale (NG DRI+EAF)	57
Figura 3.8 - Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite idrogeno (H2 DRI+EAF)	58
Figura 3.9 - Consumo energetico ed emissioni di CO2 per una produzione di 6 mln/t annue nei diversi scenari	58

Capitolo 5

Figura 5.1 - Processo produttivo e attività di supporto nell'acciaieria ex-ILVA di Taranto	68
Figura 5.2 - Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area della produzione in senso stretto (aree fusione-acciaieria-laminazione)	69
Figura 5.3 - Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area della logistica e del magazzino	70
Figura 5.4 - Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area officine centrali termiche	71
Figura 5.5 - Approccio allo sviluppo delle competenze "a forma di T"	75
Figura 5.6 - Competenze siderurgiche del futuro: tendenze	75
Figura 5.7 - Esempi di figure professionali individuate come rilevanti per l'ecosistema dell'idrogeno e livello di competenze	78
Figura 5.8 - Conoscenze e competenze trasversali e tecnico-specialistiche per il settore idrogeno	80

Capitolo 6

Figura 6.1 - "Taranto Futuro Prossimo": Il Piano Strategico Regionale	90
---	----

Capitolo 7

Figura 7.1 - Produzione di nuova energia elettrica per fonte rinnovabile - composizione % di nuova capacità installata	92
Figura 7.2 - Composizione dell'occupazione nell'EU-27 nel 2023	93
Figura 7.3 - Occupazione nell'industria eolica europea	94
Figura 7.4 - Occupazione settori energie rinnovabili in Italia (2023)	94
Figura 7.5 - Lavori nel settore delle energie rinnovabili per ambiti operativi	95
Figura 7.6 - Evoluzione della capacità installata della generazione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili in Germania dal 2005 al 2024	96
Figura 7.7 - Occupazione lorda nelle fonti rinnovabili in Germania dal 2000 al 2023	97
Figura 7.8 - Valori del fattore occupazionale per l'eolico offshore, onshore e per l'energia solare	98

Indice tabelle

Capitolo 2

Tabella 2.1- Emissioni inquinanti emessi dal ciclo integrale	24
Tabella 2.2- I principali limiti per lo sviluppo dell'idrogeno	38
Tabella 2.3- Intensità energetica richiesta per produzione di DRI in vari scenari	40
Tabella 2.4- Confronto tra cicli produttivi rispetto a intensità energetica ed emissioni di anidride carbonica	41
Tabella 2.5- Risorse finanziarie allocate dagli Stati europei per la transizione siderurgica	48
Tabella 2.6- Le principali politiche europee adottate per favorire lo sviluppo dell'idrogeno	50
Tabella 2.7- Bandi della Banca europea dell'idrogeno, progetti e finanziamenti	50

segue >

< segue

Capitolo 3

Tabella 3.1- Intensità energetica, emissioni di CO2 e variazione % rispetto al ciclo integrale per ciclo produttivo per una produzione di acciaio di 6 mln/t annue	59
--	----

Capitolo 4

Tabella 4.1- Consumo energetico per la produzione dell'idrogeno necessario alla produzione di 1 tonnellata di DRI	60
Tabella 4.2- Consumo energetico per la produzione di una tonnellata di acciaio verde H2-DRI-EAF	60
Tabella 4.3- Consumo energetico per la produzione di una tonnellata di acciaio da rottame	61
Tabella 4.4- Consumo energetico per la produzione di 6mln/ton di acciaio secondo il percorso H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)	61
Tabella 4.5- Potenza FER aggiuntiva necessaria per coprire il fabbisogno di elettricità verde dell'acciaieria di Taranto decarbonizzata H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)	62
Tabella 4.6- Nuovi impianti solari Fotovoltaico (FV) da realizzare per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)	62
Tabella 4.7- Nuovi impianti eolici da realizzare per coprire il fabbisogno di elettricità verde della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)	63
Tabella 4.8- Consumo energetico per la produzione di 6mln/ton di acciaio secondo il percorso H2-DRI-EAF (2,5 mln preredotto-3,5 mln rottame)	64
Tabella 4.9- Potenza FER aggiuntiva necessaria per coprire il fabbisogno di elettricità verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preredotto-3,5 mln rottame)	64
Tabella 4.10- Nuovi impianti solari Fotovoltaico (FV) da realizzare per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preredotto-3,5 mln rottame)	65
Tabella 4.11- Nuovi impianti eolici da realizzare per coprire il fabbisogno di elettricità verde della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preredotto-3,5 mln rottame)	65

Capitolo 5

Tabella 5.1- Lavoratori dell'acciaieria di Taranto al 2025 per aree di produzione	67
Tabella 5.2- Le principali figure professionali presenti nella ex-ILVA seguendo la classificazione delle professioni (ISTAT)	72
Tabella 5.3- Possibili fabbisogni occupazionali nel passaggio al ciclo DRI-EAF	74
Tabella 5.4- Categorie di competenze individuate come rilevanti per la transizione ecologica e digitale del settore siderurgico	75
Tabella 5.5- Formazione per l'idrogeno: un esempio di curriculum (I)	80
Tabella 5.6- Formazione per l'idrogeno: un esempio di curriculum (II)	81

Capitolo 6

Tabella 6.1- Formazione secondaria tecnico-industriale e terziaria nell'area di Taranto e provincia- Principali istituti, indirizzi di studio e profili professionali	82
Tabella 6.2- Il PNRR e la transizione ecologica: misure e risorse	84
Tabella 6.3- Misure del PNRR sull'idrogeno (risorse e progetti)	85
Tabella 6.4- PNRR e idrogeno in Puglia e a Taranto	87
Tabella 6.5- Progetti di produzione dell'idrogeno in aree industriali dismesse in Puglia	87
Tabella 6.6- Progetti sull'idrogeno localizzati nell'area di Taranto	88

Capitolo 7

Tabella 7.1- Stime occupazionali per settore a livello globale ed EU nel 2023	93
Tabella 7.2- Potenza installata e occupazione lorda per tutte le tecnologie FER nel 2023 in Germania e calcolo dei relativi fattori occupazionali (Employment factor)	97
Tabella 7.3- Scenario 2030: stima del probabile impatto occupazionale dell'incremento FER necessario per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame))	98
Tabella 7.4- Scenario 2030: stima del probabile impatto occupazionale dell'incremento FER necessario per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF (2,5 mln preredotto-3,5 mln rottame))	98

Indice tabelle

Capitolo 2

Riquadro 1 – I minerali di ferro	22
Riquadro 2- I rottami	26
Riquadro 3 – La produzione di DRI	30

Capitolo 4

Riquadro 4 – “Wind Turbines: the Bigger, the Better” – Turbine eoliche: più sono grandi meglio è	66
--	----

Capitolo 5

Riquadro 4 – La riusabilità delle conoscenze, abilità e competenze	76
--	----

Abbreviazioni

AIA – Autorizzazione integrata ambientale
AIGI – Associazioni Indotto Acciaierie d’Italia e General Industries
BAT – Best Available Techniques (migliori tecnologie disponibili)
BF – Blast Furnace (altoforno)
BFG – Blast Furnace Gas (gas d’altoforno)
BOD – Biochemical Oxygen Demand (domanda biochimica di ossigeno)
BOF – Basic Oxygen Furnace (convertitore)
BOFG – Basic Oxygen Furnace Gas (gas di convertitore)
BTX – Benzene Toluene Xylene
CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism (meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere)
CCM – Catalyst Coated Membrane (membrana ricoperta con catalizzatori)
CCS – Carbon Capture and Storage (cattura e stoccaggio del carbonio)
CCUS – Carbon Capture, Utilisation and Storage (cattura, utilizzo e stoccaggio del carbonio)
CDRI – Cold Direct Reduced Iron (preridotto freddo)
CH₄ – Metano
CO₂ – Diossido di carbonio
COG – Coke Oven Gas (gas di cokeria)
DRI – Direct Reduced Iron (preridotto)
EAF – Electric Arc Furnace (forno elettrico)
ESCO – European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (classificazione europea multilingue di abilità, competenze e occupazioni)
ETS – European Union Emissions Trading System (sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra)
FeO – Ossido ferroso
FER – Fonti di energia rinnovabile
FTE – Full Time Equivalent (equivalente a tempo pieno)
GJ – Gigajoule
GW – Gigawatt
H₂O – Acqua
H₂S – Acido solfidrico
HCl – Cloruro di idrogeno
HBI-Hot Briquetted Iron (preridotto bricchettato a caldo)
HDRI – Hot Direct Reduced Iron (preridotto a caldo)
INAPP – Istituto nazionale per le analisi delle politiche pubbliche
IPA – Idrocarburi policiclici aromatici
IPCEI – Importanti Progetti di Interesse Comune Europeo
ISTAT – Istituto nazionale di statistica
KWh – Kilowattora
LDG – Linz-Donawitz Converter Gas (gas del convertitore LD)
LH₂ – Liquid Hydrogen (idrogeno liquido)
LOHC – Liquid Organic Hydrogen Carrier (veicolo di idrogeno organico liquido)
MW – MegaWatt
N₂ – Azoto
NG – Natural gas (gas naturale)
NO_x – Ossido di azoto
PAH – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (idrocarburi aromatici policiclici)
PCB – Polychlorinated Biphenyls (policlorobifenili)
PCDDs – Polychlorinated Dibenzodioxins (dibenzodiossine)
PCDFs – Polychlorinated Dibenzofurans (dibenzofurani)
PEM – Elettrolizzatori a membrana a scambio protonico
PNIEC – Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima
PPA – Power Purchase Agreements
PtH – Power to Hydrogen (conversione dell’elettricità in idrogeno)
PTL – Porous Transport Layer (strato poroso di trasporto)
RFNBO – Renewable fuel of non-biological origin (combustibile rinnovabile di origine non biologica)
SCU – Smart Carbon Usage (utilizzo intelligente e sostenibile del carbonio)
SO_x – Ossido di zolfo
SS – Suspended Solids (solidi sospesi)
TWh – Terawattora
ULA – Unità Lavorative Annuali
USD – Dollaro Statunitense

Riepilogo/Executive Summary



Questo studio approfondisce i contorni della possibile trasformazione della fabbrica siderurgica di Taranto (l'ex-ILVA), la più grande a ciclo integrale in Europa, verso la sua completa decarbonizzazione. La produzione di acciaio 'verde' implica che l'intero ciclo di produzione debba essere alimentato tramite energia rinnovabile, che le emissioni di CO₂ siano ridotte esponenzialmente e con essa gli inquinanti. Oltre all'analisi delle trasformazioni di natura tecnica ed energetica, il Report esamina la questione del lavoro e delle trasformazioni richieste dalla siderurgia del futuro in merito ai profili professionali e alle competenze. Per entrambi questi aspetti l'idrogeno appare di particolare rilievo e, con esso, i settori legati alle energie rinnovabili.

Il rapporto presenta le principali opzioni tecnologiche sviluppate per decarbonizzare la produzione della siderurgia primaria che coinvolge, in Europa, più di 25 siti produttivi localizzati in diversi Paesi e i maggiori produttori mondiali di acciaio. Oltre a percorsi di circolarità/riciclo e ottimizzazione degli attuali processi produttivi, la tecnologia di riduzione diretta del ferro (Direct Reduced Iron- DRI), combinata con l'uso dei forni elettrici ad arco (Electric Arc Furnace - EAF), sembra rappresentare l'opzione più efficace per perseguire la decarbonizzazione completa dell'industria siderurgica in un orizzonte temporale di medio periodo. Si tratta di un processo produttivo, tecnologicamente maturo, che vede l'utilizzo in via transitoria di gas naturale per ridurre il minerale di ferro successivamente utilizzato nei forni elettrici. Il gas naturale dovrà essere sostituito da idrogeno, prodotto attraverso l'elettrolisi dell'acqua, per un abbattimento quasi totale delle emissioni. Per il raggiungimento della decarbonizzazione completa, tuttavia, l'intero ciclo di produzione deve essere alimentato tramite energia proveniente da fonti rinnovabili: dall'energia necessaria al funzionamento degli elettrolizzatori (per la produzione del cosiddetto

idrogeno verde), a quella necessaria per gli impianti di produzione di DRI e per il funzionamento degli impianti EAF.

Il Report illustra diverse opzioni disponibili per la decarbonizzazione dell'ex-ILVA, specificamente (a) la sostituzione della prima sezione degli impianti (area ghisa, altiforni, acciaieria) con 3 EAF da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno alimentati da rottami; (b) la sostituzione della prima sezione degli impianti con 3 EAF da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno, alimentati da un mix di rottami e di preredotto ottenuto mediante riduzione diretta con gas naturale, in un impianto da 2 milioni di tonnellate, localizzato a monte dei forni elettrici (NG DRI-EAF); (c) la sostituzione della prima sezione degli impianti con 3 EAF da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno, alimentati da un mix di rottami e di preredotto ottenuto mediante riduzione diretta con idrogeno, nelle due ipotesi di un impianto da 2 milioni e da 2,5 milioni di tonnellate, localizzato a monte dei forni elettrici (H₂ DRI-EAF), evidenziando i consumi energetici e le emissioni climatiche. L'utilizzo combinato di NG DRI e di rottame per alimentare i forni elettrici, nella misura rispettivamente del 30 e del 70%, per una produzione di 6 milioni di tonnellate di acciaio annue, consente una riduzione di circa il 36% di energia e tra il 60 e 85% di emissioni di CO₂ di rispetto al ciclo integrale. Con l'opzione H₂-DRI-EAF (30% preredotto-70% rottame) si ha una riduzione di poco più del 32% di energia e tra il 75 e il 90% di emissioni di CO₂ rispetto al ciclo integrale per una produzione di 6 milioni di tonnellate di acciaio annue.

Lo studio sulla trasformazione tecnico-produttiva dell'ex-ILVA è stato affiancato dall'esame delle dinamiche occupazionali sia in termini quantitativi sia in termini qualitativi. La dismissione dei processi e delle attività riguardanti le aree ghisa, altoforno, acciaieria e l'introduzione di forni elettrici e dell'impianto

di DRI determinerebbe, nel complesso, un bilancio occupazionale negativo. Sulla base della letteratura presa in esame e dell'evidenza qualitativa raccolta direttamente emergono, tuttavia, considerazioni più articolate. È indubbio che i processi alternativi al ciclo integrale siano meno intensivi in termini di lavoro; il bilancio numerico va nondimeno considerato complessivamente, anche in relazione ad attività e posti di lavoro che si attivano sia nel settore siderurgico verde, con possibilità nella filiera produttiva, sia in settori affini e/o complementari a quello siderurgico, quale quello delle rinnovabili, e non può assumere tratti conclusivi e perentori. Una valutazione quanti-qualitativa è pertanto opportuna, anche per mettere a punto una varietà di interventi di policy: dalla formazione tecnica superiore e accademica alla formazione professionale mirata, orientata dal principio della riusabilità delle competenze anche in chiave intersettoriale, da sostegni alla mobilità professionale e intersettoriale al reddito dei lavoratori. In generale il maggior livello di automazione del processo DRI-EAF richiederà l'impiego di specialisti per il funzionamento dei macchinari, degli impianti elettrici, dei sistemi informatici e dei sistemi di controllo del processo produttivo nonché per la loro manutenzione. Per quanto riguarda le competenze nella siderurgia del futuro, ambientalmente più sostenibile, quelle tecniche specialistiche e le competenze tecnologiche avanzate risulteranno cruciali, mentre si riduce l'importanza delle abilità puramente manuali. Al contempo, cresce l'importanza attribuita alle competenze trasversali. Adeguati investimenti in istruzione superiore tecnica e universitaria e per la formazione e aggiornamento delle competenze sono dunque necessari per raggiungere il duplice obiettivo di: a) favorire la riqualificazione dei lavoratori siderurgici a Taranto mettendoli

in grado di continuare a contribuire allo sviluppo di un settore rinnovato; b) dotare il territorio di un capitale umano che favorisca la sua riconversione industriale e la sua crescita sociale ed economica. Nella sfida della decarbonizzazione l'idrogeno sembra avere un ruolo di rilievo; rispetto a questo si osserva che, accanto a figure con una specializzazione specifica elevata, per le quali sarà necessaria una formazione estremamente professionalizzante, è richiesto un elevato numero di profili professionali, tecnici e ingegneristici ad ampio spettro e meno peculiari rispetto all'ambito in questione; molti dei futuri lavoratori del settore saranno però chiamati a qualificarsi relativamente alle nuove e più severe normative in materia di efficienza energetica, di emissioni, di sicurezza e, più in generale, dovranno adottare nuove pratiche di lavoro in nuovi modelli organizzativi.

Infine, il Report presenta una previsione occupazionale a partire dal fabbisogno di energia verde da parte di una fabbrica completamente decarbonizzata nonché l'indicazione che lo sviluppo del settore delle energie rinnovabili, considerato complessivamente - dalla disponibilità della materia prima al consolidamento locale delle attività manifatturiere ad esso legate - può rappresentare un importante pilastro di diversificazione dell'economia locale, quantunque non l'unico. La transizione ecologica richiede quindi l'adozione di politiche coerenti e integrate, una programmazione adeguata e investimenti certi, affinché possa rappresentare non soltanto una svolta per la tutela ambientale e la salute pubblica a Taranto, ma anche un'opportunità concreta di rigenerazione della comunità locale e di maggiore coinvolgimento di gruppi sociali rimasti sinora ai margini del dibattito, come i giovani e le donne. ■

Introduzione: Le ragioni dello studio, la metodologia, il team di lavoro

Taranto ospita la più grande fabbrica siderurgica europea a ciclo integrale, l'ex-ILVA. Epicentro da 13 anni di una ‘policrisi’ localizzata, di natura ambientale e sociale, oltre che propriamente industriale, che fatica a trovare una soluzione, la vicenda di Taranto ha drammaticamente anticipato una riflessione diventata più ampia e generale sulla sostenibilità dell’attuale modello di sviluppo economico nonché interventi e politiche per cercare di renderlo compatibile con i limiti dell’ecosistema naturale, oltre che di quello sociale. La scelta dell’Unione Europea di conseguire la neutralità climatica del continente entro il 2050, in particolare attraverso la decarbonizzazione della sua struttura industriale, rappresenta un obiettivo estremamente ambizioso tanto più per la siderurgia primaria e per le fabbriche, come quella di Taranto, che producono acciaio attraverso il ciclo integrale; in questi casi, oltre che di investimenti ingenti, la transizione verso processi a basse o nulle emissioni di carbonio richiede un ripensamento completo del processo e delle tecnologie produttive, con la relativa trasformazione delle reti di approvvigionamento/fornitura (supply chains), spesso complicato dalla presenza di impianti in marcia e dalla necessità di garantire continuità produttiva e competitività sul mercato. La locuzione inglese *hard-to-abate*, riferita anche all’industria siderurgica, suggerisce precisamente la difficile condizione di settori ad alta intensità energetica ed alta dipendenza da combustibili fossili, e di difficile elettrificazione scalabile e verde, quale può essere quella tramite l’idrogeno.

Che la decarbonizzazione dell’acciaieria di Taranto sia una questione tecnica ed economico-finanziaria e che necessiterà di tempo per realizzarsi è fuori di dubbio. Che sia anche questione politica lo è altrettanto. Il governo di questa complessa trasformazione richiede disponibilità di risorse, strategia e visione di lungo periodo, capacità di coordinamento

e collaborazione, un contesto di regolazione del mercato e degli attori in gioco, sullo sfondo di una rinnovata centralità del settore all’interno del più ampio modello di sviluppo nazionale e internazionale. In questo quadro, con le sue politiche pubbliche, industriali e di coesione territoriale, lo Stato è, o dovrebbe essere, l’attore principale in grado di garantire obiettivi di rilievo pubblico e collettivi e di mediare nel lungo periodo gli interessi del capitale, sempre più internazionale, quelli del lavoro e delle comunità locali. La nuova fase legata al raggiungimento degli obiettivi climatici necessita di una strategia politica sicura e coerente in uno scenario che risulta incerto dal punto di vista tecnologico, soprattutto per quel che riguarda l’approvvigionamento energetico, e dell’andamento del mercato e in cui gli attori privati sono indisponibili, senza sufficienti profitti, a sostenere investimenti o ad accrescere i costi di produzione necessari per perseguire l’obiettivo della neutralità climatica. Rispetto alla scelta effettuata da altri Paesi che hanno deciso di sostenere direttamente gli sforzi della loro industria siderurgica primaria verso la decarbonizzazione completa e/o anche vincolando finanziamenti a precisi progetti operativi, si veda ad esempio la Germania o la Svezia, quella dell’Italia appare eufemisticamente ambigua e indeterminata, seppure funzionale alle dinamiche di mercato e ad interessi consolidati. In aggiunta, l’aderenza al principio che la stessa Commissione Europea ha sancito di una transizione giusta imporrebbe il rafforzamento della capacità di *voice* sia dei lavoratori e delle loro organizzazioni di rappresentanza riguardo ai processi decisionali dell’azienda sia della comunità locale, tramite meccanismi di consultazione, in un processo di trasformazione che modifichi il patto socio-economico esistente a Taranto da almeno sessant’anni e le basi stesse della sua coesione sociale.

La decarbonizzazione della fabbrica ex-ILVA è certamente una sfida, anche per gli effetti estrema-

mente selettivi che produrrà soprattutto in termini occupazionali: l'assetto industriale dovrà essere modificato e gli effetti saranno differenziati e diseguali per i diversi lavoratori. Potrebbe però diventare una opportunità se l'opzione politica risultasse in grado di: a) sostenere con decisione lo spostamento della frontiera tecnologica e consentire un rilancio della siderurgia tarantina in una configurazione compatibile con la comunità e l'ambiente; b) optare innanzitutto per una diversificazione *related*, favorendo cioè l'ascesa di nuove industrie e settori ecologicamente più sostenibili affini alle industrie e ai settori già esistenti con i quali vi è una contiguità e complementarietà in termini di conoscenze e competenze, anche della forza lavoro; c) cogliere l'opportunità di questa transizione per favorire un ripensamento complessivo dello sviluppo a Taranto che sostenga l'espansione di altri settori economici, quali l'economica sociale, che aprano opportunità di protagonismo anche per gruppi sociali rimasti ai margini del modello precedente, come le donne, e/o da quello trascurati, come i giovani. Mancanza di visione o, peggio, ambiguità non possono che creare le condizioni per un esito fallimentare di una trasformazione non più rinviabile.

Questo studio è stato promosso da Legambiente e sostenuto dalla Fondazione Europea per il Clima (European Climate Foundation- ECF) con l'obiettivo di approfondire i contorni della possibile trasforma-

zione della fabbrica siderurgica di Taranto verso la sua completa decarbonizzazione. Metodologicamente l'analisi si è avvalsa in maniera complementare di tecniche quantitative e di tecniche qualitative e ha alternato fasi di ricerca desk con fasi di ricerca sul campo.¹

Lo studio ha natura scientifica, l'intento è divulgativo. Il gruppo di lavoro si è mosso nella convinzione dell'importanza di coniugare l'accuratezza dell'analisi scientifica con la chiarezza della comunicazione in modo che informazioni e acquisizioni, anche complesse, siano accessibili a tutti. Vi è la volontà di contribuire ad ampliare la conoscenza collettiva dei processi di decarbonizzazione del settore siderurgico, e in particolare rispetto al futuro della fabbrica di Taranto, al di là di ristretti gruppi direttamente interessati, affinché posizioni e scelte siano consapevoli e responsabili e le loro implicazioni siano condivise e sostenibili per la collettività.

Il gruppo di lavoro è stato composto da **Luca Antonazzo**, Università del Salento, **Pasquale Cavaliere**, Università del Salento, **Luca Novelli**, Università di Milano, **Alex Sorokin**, consulente energetico, **Lidia Greco**, Università di Bari; quest'ultima ha anche coordinato e diretto il lavoro.

Per Legambiente hanno collaborato **Lunetta Franco e Maria Maranò**. ■

1 L'analisi qualitativa si è avvalsa dei dati emersi dalla realizzazione di 10 interviste semi-strutturate con esperti nazionali e internazionali del settore siderurgico e osservatori privilegiati a Taranto.

Parte 1

L'industria siderurgica oggi tra sviluppo e trasformazione



1. L'industria siderurgica italiana ed europea nello scenario mondiale

1.1. Introduzione

L'industria siderurgica è uno dei settori chiave delle economie moderne sia per la sua produzione diretta sia perché l'acciaio, materiale tra i più versatili e riciclabili, viene utilizzato da molti altri settori, quali le costruzioni, l'industria automobilistica, quella degli alimenti (imballaggi per la conservazione), l'industria meccanica e apparecchiature domestiche e arredamento. Questa industria, tuttavia, è tra le più inquinanti, energivore e climalteranti. I processi di produzione di ferro e acciaio sono ritenuti responsabili dell'8-11% (da 3 a 4,1 miliardi di tonnellate all'anno) delle emissioni globali di anidride carbonica che nel 2023 sono state 37,7 miliardi di tonnellate; le emissioni del settore siderurgico sono principalmente dovute al consumo energetico. Secondo l'International Energy Agency (IEA), nel 2022 il settore siderurgico mondiale ha utilizzato 35 Exajoules (35×10^{18} J) di energia, ottenuti principalmente dalla combustione del carbone (26 EJ), dal consumo di elettricità (5 EJ) e dall'utilizzo del gas naturale (3 EJ) (WWF, 2024). Per mitigare le emissioni di CO₂ sono percorribili una serie di opzioni, non in alternativa tra loro: dall'adozione delle migliori tecnologie disponibili (BAT) e migliorati tassi di raccolta e riprocessamento dei rotami, al passaggio a combustibili e materie prime a più basse emissioni di carbonio, come il gas naturale

in sostituzione del carbone, alla cattura e stoccaggio del carbonio (CCS) nei processi industriali. In questa prospettiva un contributo potrebbe venire da una maggiore elettrificazione resa possibile dalla possibilità di generare elettricità da fonti energetiche a base o sulle emissioni di carbonio, come le rinnovabili (figure 1.1 e 1.2).

Sebbene la generazione globale di elettricità da solare fotovoltaico sia un ordine di grandezza inferiore rispetto alle tecnologie convenzionali, essa mostra una progressione molto accentuata.

Per le caratteristiche sopra descritte, l'industria siderurgica gioca un ruolo chiave nello sforzo di ridurre le emissioni inquinanti fissate al 55% entro il 2030 rispetto al livello del 1990 e il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050 (Eurofer, 2024).

1.2. La produzione mondiale di acciaio

La produzione mondiale di acciaio nel 2023 si attesta a quasi 2 mld di tonnellate. La crescita è costante, sebbene in rallentamento rispetto ai ritmi medi annuali soprattutto della prima metà del 2000. Nel periodo 2020-2023 la crescita media annuale è stata dello 0,4% alimentata dalla domanda proveniente dai Paesi del Sud del Mondo. La Cina domina il settore con una produzione di poco più di 1 mld di tonnellate, seguita a grande distanza da India (140,8 mln/t),

FIGURA 1.1
Rinnovabili per fonte nel 2024

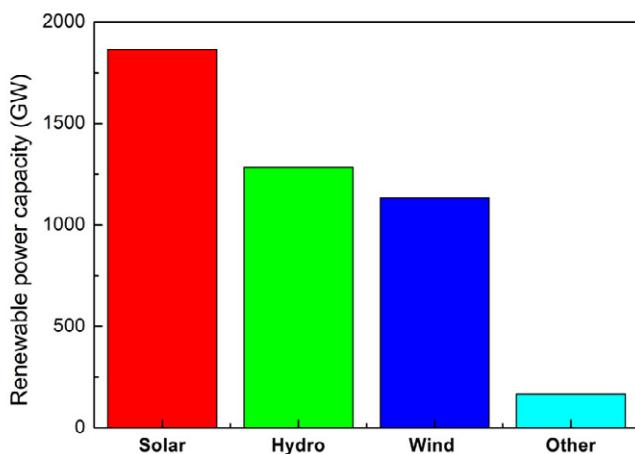


FIGURA 1.2
Generazione globale di elettricità per anno

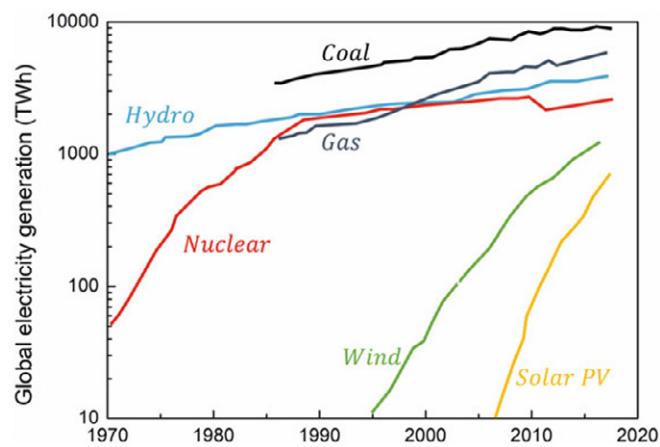


FIGURA 1.3

Produzione di acciaio grezzo in Europa per paese.

Fonte: Eurofer, 2024

All qualities • in '000 metric tonnes

EU COUNTRIES IN DESCENDING ORDER OF CRUDE STEEL PRODUCTION

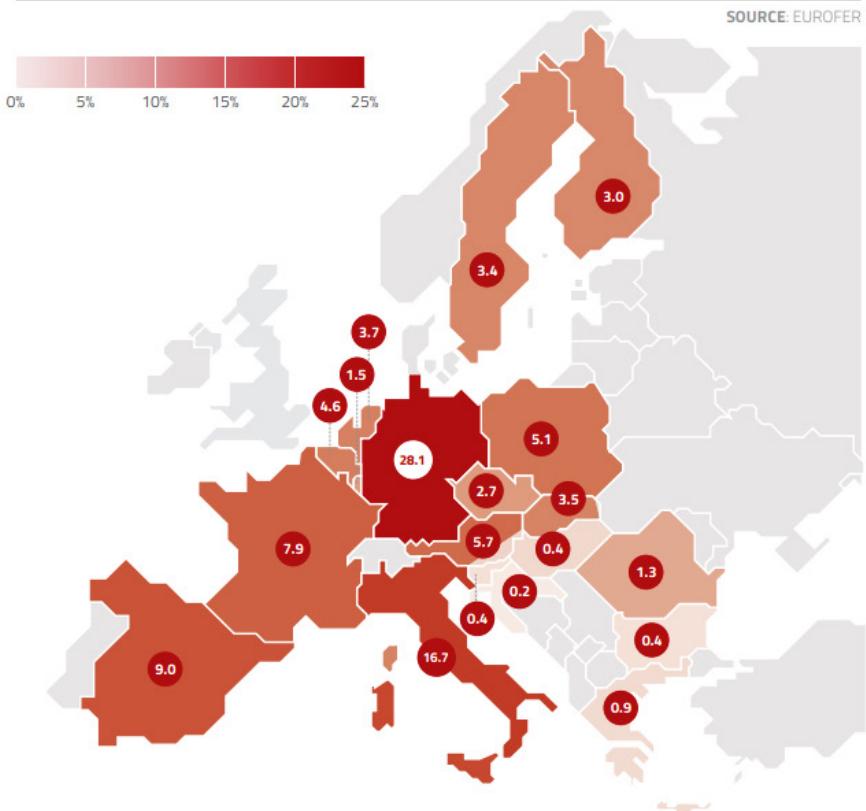
TABLE • 2023

	SOURCE: EUROFER	% shares 2023
1 GERMANY	35,438	28.1%
2 ITALY	21,055	16.7%
3 SPAIN	11,352	9.0%
4 FRANCE	10,011	7.9%
5 AUSTRIA	7,133	5.7%
6 POLAND	6,428	5.1%
7 BELGIUM	5,864	4.6%
8 NETHERLANDS	4,676	3.7%
9 SLOVAKIA	4,377	3.5%
10 SWEDEN	4,235	3.4%
11 FINLAND	3,811	3.0%
12 CZECH PUBLIC	3,369	2.7%
13 OTHERS	2,040	1.6%
14 LUXEMBOURG	1,900	1.5%
15 ROMANIA	1,622	1.3%
16 GREECE	1,181	0.9%
17 SLOVENIA	549	0.4%
18 BULGARIA	489	0.4%
19 HUNGARY	477	0.4%
20 CROATIA	212	0.2%
TOTAL	126,219	100%

EU COUNTRIES SHOWN BY RELATIVE SIZE OF CRUDE STEEL PRODUCTION

MAP • 2023

SOURCE: EUROFER



Giappone (87 mln/t), Stati Uniti (81,4 mln/t), Russia (76 mln/t) e Corea del Sud (66,7 mln/t) (World Steel Association, 2024). Dal punto di vista geografico, cresce la produzione nei Paesi in via di industrializzazione, mentre si mantiene stabile in quelli avanzati. Considerando i processi produttivi a scala mondiale, sempre nel 2024, più del 71% della produzione avviene seguendo il ciclo integrale: al di sopra di questa media, tra gli altri, si pongono la Cina, con il 90% di produzione da ciclo integrale, il Brasile (76,2%), il Giappone (73,8%), la Germania (73,2%). Tra i principali Paesi produttori, l'India presenta una buona quota di produzione da forno elettrico (56,4%), l'Iran (92%), la Turchia (71,6%), gli Stati Uniti (68,3%).

1.3. La produzione europea di acciaio e l'occupazione nel settore

Nel 2023 la produzione di acciaio grezzo nell'UE è

ammontata a 126 milioni di tonnellate in contrazione rispetto al 2022 (-7%), quando la produzione era già diminuita considerevolmente (-10,8%), dopo il forte rimbalzo post-COVID registrato nel 2021. I volumi di produzione nel 2023 rappresentano il livello più basso mai registrato, persino al di sotto di quelli registrati nel 2009 in seguito alla crisi finanziaria. Le consegne totali di prodotti finiti nel 2023 sono diminuite rispetto all'anno precedente (-4,1%), a seguito di un altro calo già registrato nel 2022 (-9,3%). Con una produzione di poco più di 35 milioni di tonnellate nel 2023, la Germania è il principale produttore di acciaio europeo (28% del totale), seguito dall'Italia con una produzione di 21 milioni di tonnellate che rappresentano il 17% del totale. La Spagna ha prodotto poco più di 11 milioni di tonnellate, il 9% del totale europeo (figura 1.3).

L'industria siderurgica europea crea all'incirca 152 miliardi di euro di valore aggiunto (lordo) e dà

FIGURA 1.4**Occupazione e valore aggiunto lordo dall'industria siderurgica europea.**

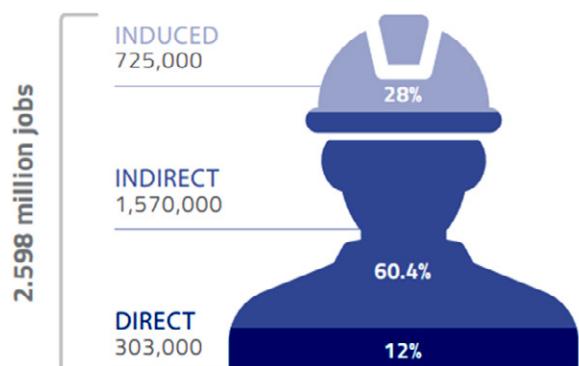
Fonte: Eurofer, 2024

EMPLOYMENT

GRAPHIC • 2023

SOURCE: OXFORD ECONOMICS

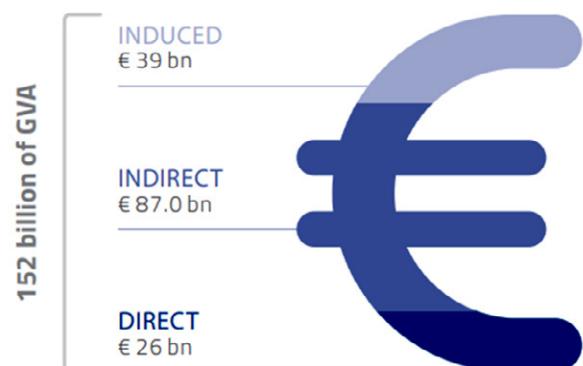
The EU steel industry supports nearly 2.6 million jobs

**GROSS VALUE ADDED**

GRAPHIC • 2023

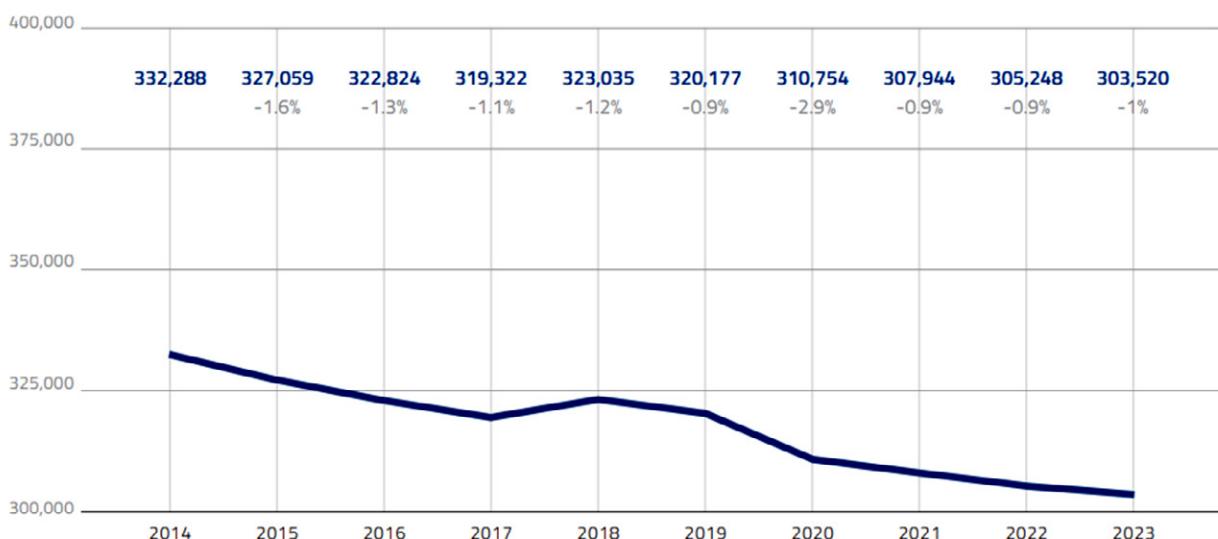
SOURCE: OXFORD ECONOMICS

The EU steel industry creates around €152 billion of Gross Value Added

**EMPLOYMENT: EVOLUTION**

GRAPH • 2014 – 2023

SOURCE: EUROFER (steel companies + national steel companies and associations)



lavoro direttamente a più di 300mila persone, con un impatto indiretto molto più consistente che arriva a coinvolgere quasi 2 milioni e 600 mila occupati. Negli ultimi dieci anni, tuttavia, il settore ha registrato una progressiva diminuzione dell'occupazione (figura 1.4).

Con circa 31mila occupati diretti nella siderurgia primaria o da forno elettrico - il 10% del totale europeo (Federacciai, 2023) - , l'Italia è il secondo Paese

in termini di occupazione diretta, dopo la Germania (79mila addetti).

Per quanto concerne il ciclo di produzione, a scala europea, il 55% della produzione segue il ciclo integrale (siderurgia primaria), di cui si osserva una lenta discesa negli ultimi 10 anni; il restante 45% proviene da forni elettrici (siderurgia secondaria) (figura 1.5).

FIGURA 1.5**Produzione siderurgica europea per tipo di processo produttivo.**

Fonte: Eurofer, 2024

All qualities • in '000 metric tonnes

EU CRUDE STEEL OUTPUT BY PRODUCTION ROUTE

TABLE, CHART • 2014 – 2023

SOURCE: EUROFER

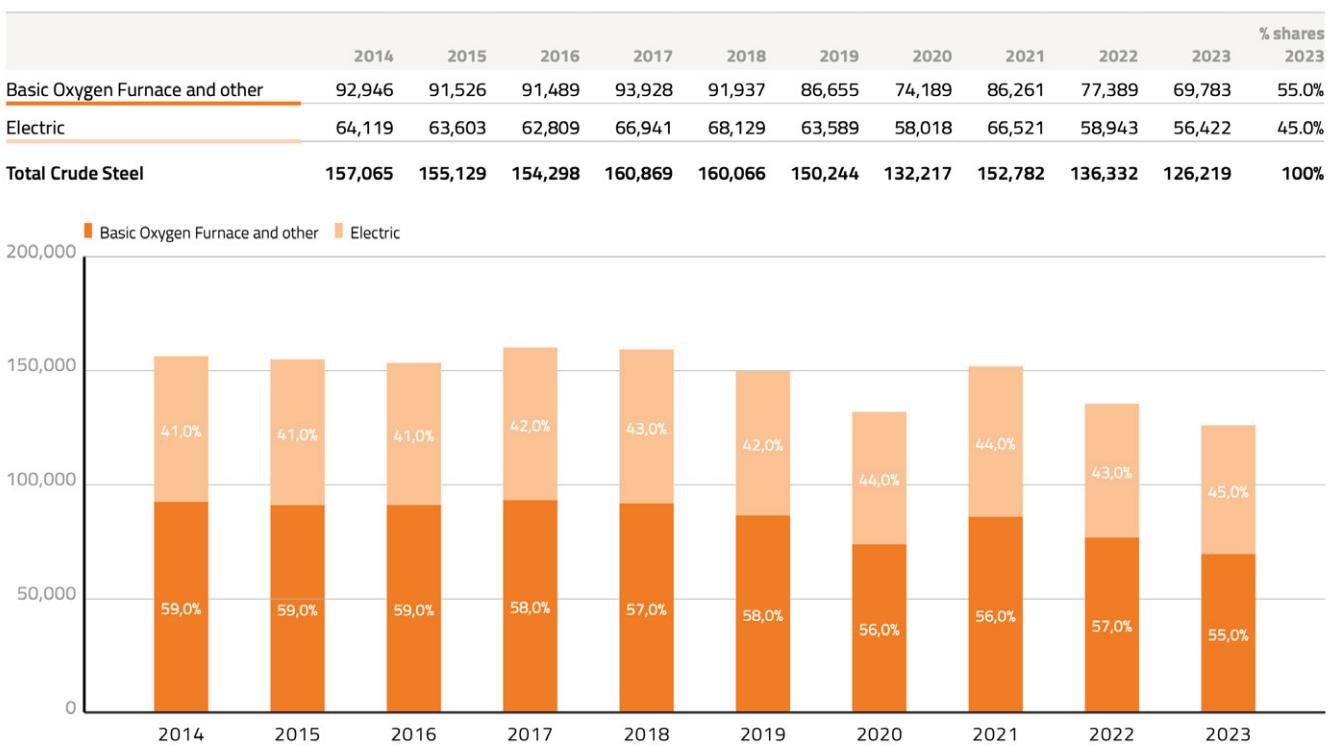


FIGURA 1.6

Siti di produzione siderurgica in Europa per tipo di produzione

Fonte: Eurofer, 2023

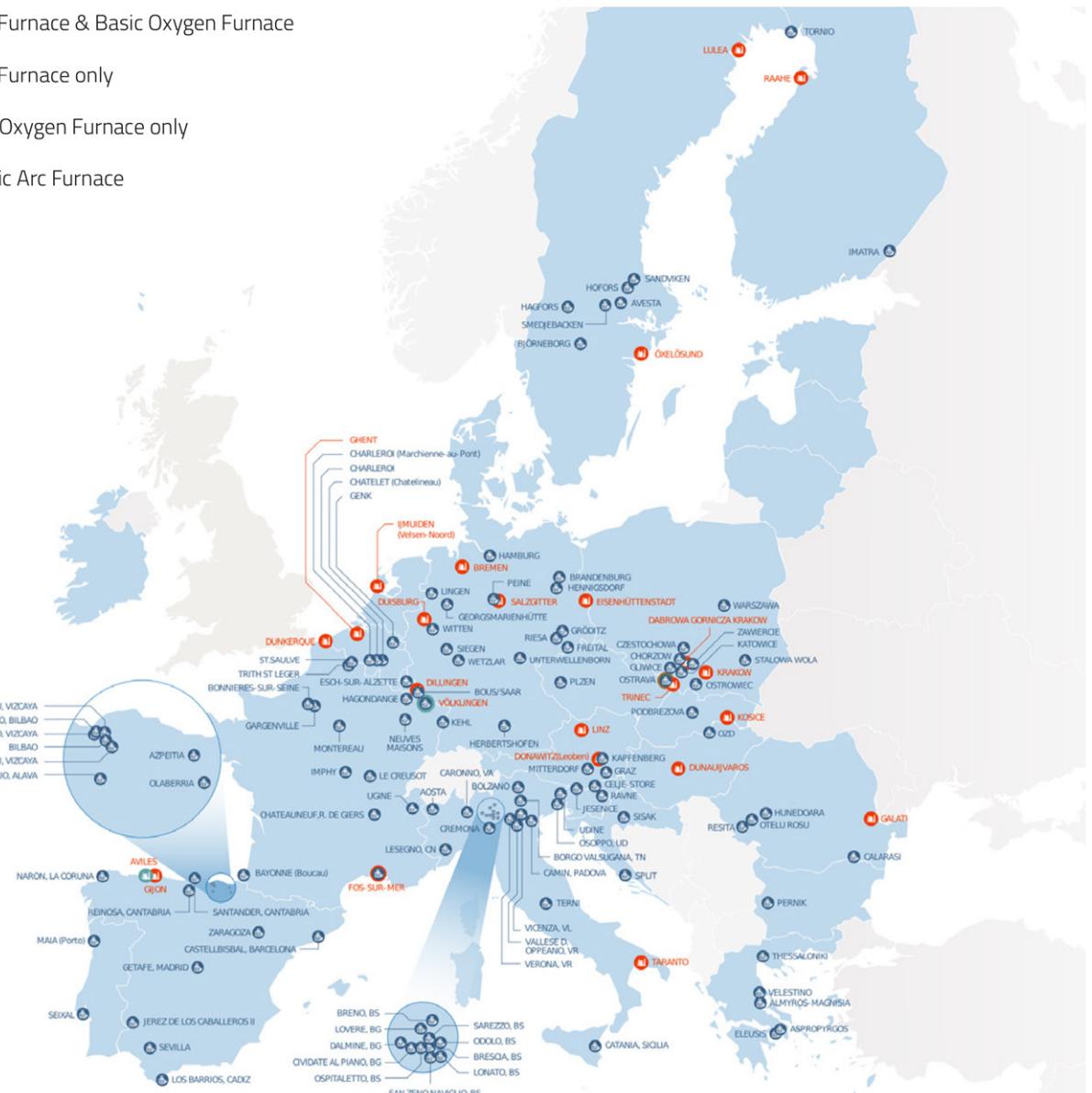
Red: BF-BOF ■ Blue: EAF

PRIMARY AND SECONDARY STEEL PRODUCTION ACROSS THE EU

MAP • 2023

SOURCE: EUROFER

-  Blast Furnace & Basic Oxygen Furnace
 -  Blast Furnace only
 -  Basic Oxygen Furnace only
 -  Electric Arc Furnace



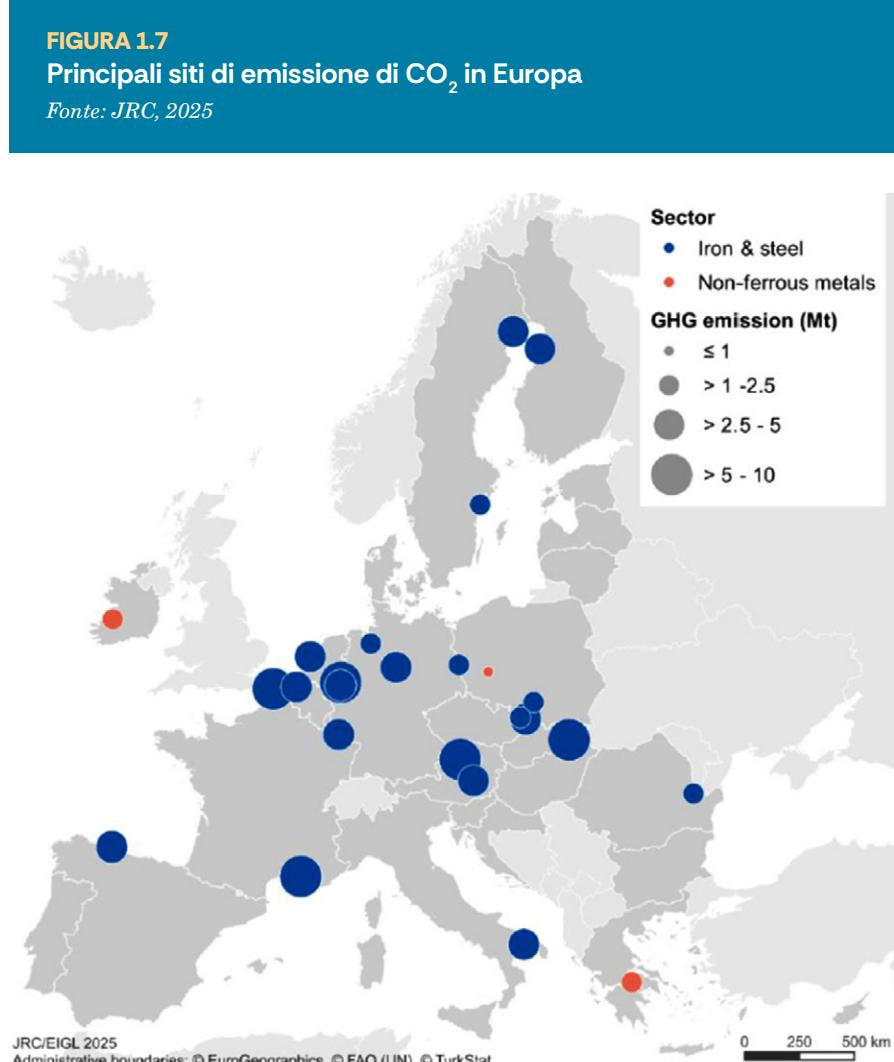
La figura 1.6 mostra a scala europea la mappa dei siti per tipo di produzione siderurgica. Più dell'80% degli altoforni (corrispondenti a circa l'80% della capacità produttiva) sono stati commissionati e costruiti durante l'espansione postbellica dell'industria siderurgica.

In Europa, le industrie metallurgiche sono tra le 100 principali produttrici di CO₂ (figura 1.7).

L'UE importa più del 90% delle sue esigenze di materie prime primarie, minerale di ferro e carbone da coke. In generale l'acciaio è fortemente commercializzato con circa il 40% della produzione scambiata a livello globale.

FIGURA 1.7**Principali siti di emissione di CO₂ in Europa**

Fonte: JRC, 2025



1.4. La produzione italiana di acciaio e l'occupazione nel settore

Nel 2023 la produzione siderurgica in Italia è stata pari a 21,1 milioni di tonnellate, diminuita del 2,5% (-543 mila t.) rispetto all'anno precedente, posizionandosi su livelli produttivi ai minimi storici nel decennio, dopo i 20,4 Mt di acciaio colato nel 2020; il fatturato dell'industria è stato stimato in 48 miliardi di euro, registrando una diminuzione media nei vari compatti del 20,6% (Federacciai, 2023) (figura 1.8).

Alla base vi è la debolezza della domanda che ha alimentato la discesa dei prezzi medi dei prodotti. Pesa la debolezza della domanda delle famiglie, la forte decelerazione degli investimenti che, in pratica, si sono dimezzati attestandosi al 4,7%, in particolare gli investimenti nel settore delle costruzioni dopo la fase delle agevolazioni fiscali, ma anche la cattiva

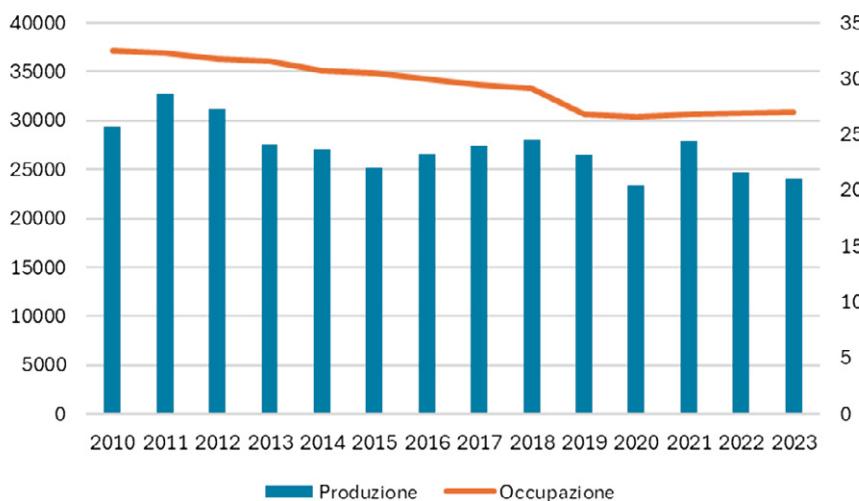
performance dell'attività manifatturiera, in particolare quella legata alla Germania. Secondo dati di Federacciai (2023) l'attività dei settori manifatturieri che impiegano acciaio ha mostrato complessivamente una maggiore tenuta, con andamenti sub-settoriali differenziati: l'aerospazio registra un miglioramento sostanzioso così come il comparto ferroviario e quello navale; aumenti più moderati si registrano per la meccanica, mentre sono in discesa gli elettrodomestici e i prodotti in metallo che includono carpenteria metallica e scaffalature. Gli occupati della siderurgia primaria nel 2023 sono poco meno di 31 mila unità (figura 1.8). Il trend occupazionale nel settore è in calo dal 2008 quando la forza lavoro occupata nella produzione primaria di acciaio raggiungeva quasi 40 mila persone.

Secondo un recente Report di WWF (2024) e riferendosi a dati forniti dal sistema di rilevazione camerale, gli occupati siderurgici complessivi, includendo oltre la siderurgia (cod. ateco 24.1) anche la fabbricazione di tubi, condotti, profilati in acciaio e ad altri prodotti (cod. ateco 24.2) e la fabbricazione di altri prodotti

della prima trasformazione dell'acciaio (cod. ateco 24.3), ammontano nel 2023 a poco meno di 69 mila; nei dieci anni precedenti diminuiscono i lavoratori dell'acciaio primario (cod. ateco 24.1), mentre aumentano quelli coinvolti nella fabbricazione di altri prodotti della prima trasformazione dell'acciaio (cod. ateco 24.3). L'industria siderurgica è concentrata soprattutto in Lombardia dove operano molte PMI nelle province di Brescia, Cremona, Milano, Mantova, Bergamo e Lecco. Altre importanti località dell'industria sono Terni, Piombino e Taranto. In Italia nel 2019 l'industria siderurgica ha prodotto 14 Mt CO₂ eq di emissioni dirette. Le quote Emission Trade System (ETS) di CO₂ per l'industria sono state 11,2 Mt, l'8% delle emissioni ETS CO₂ nazionali (Confindustria 2021). Dal 1990 ad oggi, le emissioni di CO₂ della siderurgia italiana, che oggi contano per circa il 4,5% delle emissioni complessive nazionali,

FIGURA 1.8
Andamento della produzione di acciaio in Italia (mln/t) e dell'occupazione nel settore primario.

Fonte: Federacciai, 2023



nali di gas serra, si sono più che dimezzate. La siderurgia italiana è prima in Europa nella produzione di acciaio da forno elettrico, tecnologia produttiva caratterizzata da un'impronta CO₂ molto bassa, che consente al nostro Paese di avere un'emissione specifica per tonnellata di acciaio grezzo prodotto tra le più basse d'Europa.

Si conclude questa parte osservando che le sfide che riguardano lo sviluppo del settore siderurgico, soprattutto quello europeo e italiano, sono molteplici: da un lato pesa la pressione competitiva da parte dei maggiori Paesi produttori e in via di industrializzazione e la debolezza della domanda; dall'altro lo sforzo finanziario per gli investimenti per decarbonizzare l'industria nel medio-lungo termine, accanto ai costi dell'energia e delle materie prime; la guerra commerciale con gli Stati Uniti, con l'imposizione di dazi sull'acciaio, costituisce una fonte di incertezza aggiuntiva. In aggiunta l'eliminazione graduale delle quote di emissione gratuite ETS dal 2026 con l'introduzione graduale del Meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere (CBAM) im-

plica che la produzione di acciaio a base di carbone avrà un prezzo in costante aumento (cfr. par. 2.6). In questo contesto la transizione energetica nel settore siderurgico rappresenta un'ulteriore prova per l'industria chiamata a mettere in atto strategie di breve e lungo periodo: le prime si riferiscono a tutti i possibili metodi per la riduzione e cattura delle emissioni; le seconde riguardano la decarbonizzazione completa. Rispetto a questa strada gli esperti del settore indicano l'importanza della spesa pubblica e privata in ricerca e sviluppo, degli investimenti in impianti pilota, della riduzione dei costi e l'aumento dell'efficienza delle apparecchiature di eletrolisi, dei prezzi dell'energia. In questo contesto il quadro normativo

a supporto dell'impiego di elettricità e idrogeno da fonti rinnovabili diventa una variabile importante per lo sviluppo futuro del settore.

In chiave positiva è opportuno ricordare che: l'Europa è considerata all'avanguardia nello sviluppo di impianti di DRI e di EAF; molti dei progetti siderurgici di decarbonizzazione si trovano nell'Unione; il continente è leader nella decarbonizzazione del settore energetico, considerato che nel 2022 essa ha generato la quota maggiore di energia eolica e solare tra le principali economie mondiali. Decenni di supremazia in materia di politica climatica significano inoltre che l'UE ha un vantaggio rispetto al quadro politico necessario per accelerare la transizione del settore siderurgico: a riprova, si consideri il pacchetto legislativo del Green Deal e le singole misure da esso derivate. Certamente l'Europa deve far fronte alla forte competizione proveniente soprattutto dalla Cina con l'avvio di una produzione pulita di acciaio: dopo aver limitato le autorizzazioni per nuovi altiforni, la Cina ha approvato i progetti di acciaio EAF e sta investendo massicciamente in H2-DRI ed eletrolizzatori (Choksey et al. 2025) ■

2. Processi di produzione dell'acciaio e percorsi di decarbonizzazione della siderurgia

2.1. I cicli di produzione dell'acciaio: processo produttivo, intensità energetica, emissioni di CO₂ e altri inquinanti

2.1.1. Il ciclo integrale BF-BOF

Il processo produttivo

In questo processo produttivo la ghisa viene ottenuta utilizzando principalmente minerali di ferro e idrocarburi (coke di carbonio) mediante riduzione dell'ossido di ferro ad alte temperature nell'altoforno (BF) (figura 2.1).

Qui il coke, i minerali e il calcare vengono continuamente caricati dalla parte superiore del forno; l'aria calda viene iniettata attraverso le bocchette per consentire che avvengano le reazioni di riduzione mentre i materiali di carica si muovono verso il basso. Il metallo fuso e la scoria si concentrano sul fondo del forno, mentre i gas di scarico vengono eliminati dalla parte superiore. Il materiale viene quindi convertito in acciaio nel convertitore a ossigeno basico (BOF). A causa delle operazioni

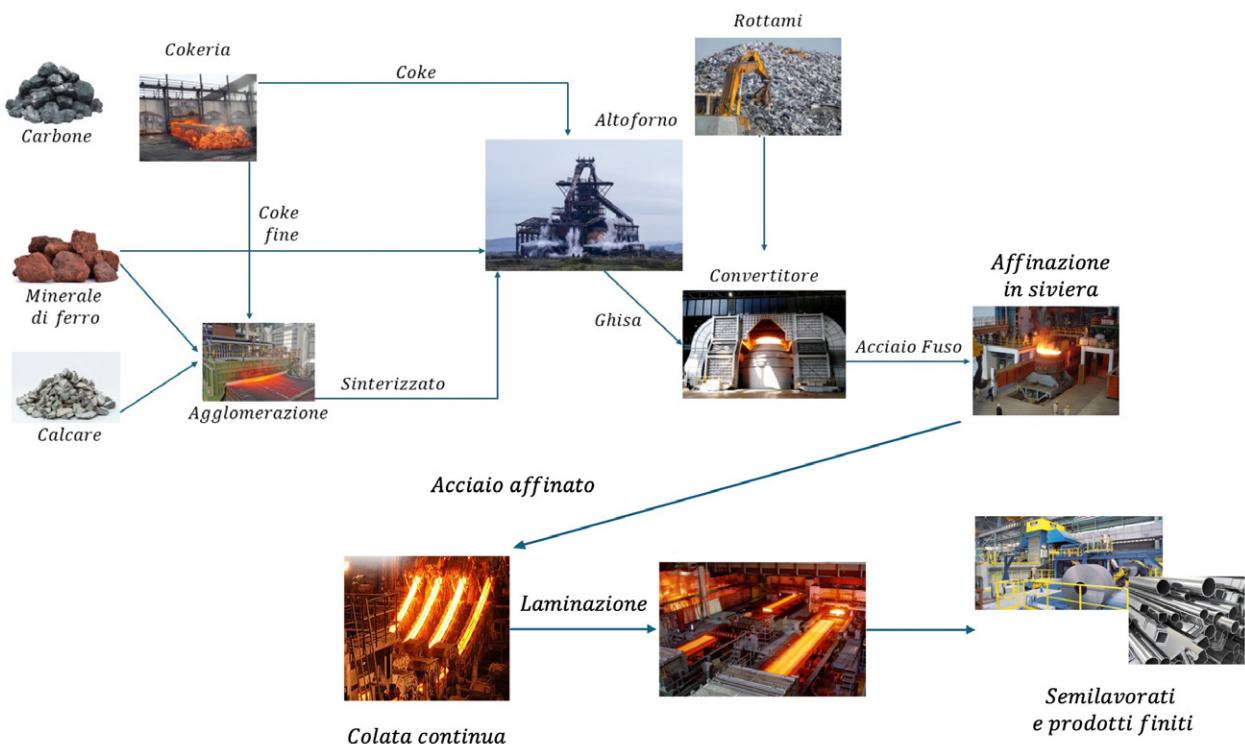
di sinterizzazione e produzione di coke, il ciclo integrale è estremamente dispendioso in termini di energia e soggetto al problema delle alte emissioni di gas serra e di inquinanti (diossine, furani, CO₂, SO_x e NO_x).

Riquadro 1

I minerali di ferro

I minerali di ferro sono prodotti per quasi 1 miliardo di tonnellate dall'Australia, 0,5 miliardi di tonnellate dall'Asia, 0,45 miliardi di tonnellate dal Sud America, 0,15 miliardi di tonnellate dal Nord America e 0,17 miliardi di tonnellate dalla CSI (anno 2022). La principale importazione di minerali di ferro è sperimentata dalla Cina per 1,3 miliardi di tonnellate, dalla CSI per 0,13 miliardi di tonnellate, dall'Europa e dal Nord America per circa 0,1 miliardi di tonnellate.

FIGURA 2.1
Il processo produttivo del ciclo integrale



L'intensità energetica

L'impianto siderurgico integrato è un sistema complesso in cui vengono consumate enormi quantità di carbone e altri materiali fossili come agenti riducenti e risorse energetiche. Il carbone è la principale risorsa per la generazione di energia. In totale l'intensità energetica di una fabbrica a ciclo integrale è mediamente di 22GJ/ton, compresa cioè tra 20-24 GJ/ton. Più specificamente, l'intensità energetica stimata dell'impianto di agglomerazione è compresa tra 0,82 e 1,54 GJ/ton; quella della produzione di ferro in altoforno è stimata a 13,63 GJ/ton; l'intensità energetica per la produzione di acciaio BOF è stimata a 0,67 GJ/ton. Il processo produttivo permette che i gas generati nel processo a monte, centrato sull'altoforno, vengono forniti ai processi a valle come potenziale fonte energetica. Di questa grande quantità di energia, tuttavia, il 48% risulta sprecata a dimostrazione dell'ampio potenziale di recupero e riutilizzo di energia in questo tipo di impianto (figura 2.2.)

Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti

L'acciaio prodotto attraverso efficienti impianti integrati BF-BOF comporta l'emissione in media di circa 2,1 tCO₂ per tonnellata di acciaio grezzo. Concentrandosi sulle emissioni di CO₂, la quantificazione per un'acciaieria tipica è mostrata nella Figura 2.3.

Il carbonio entra principalmente come carbone e in una percentuale minore come calcare, e poi viene emesso sotto forma di diversi composti attraverso va-

FIGURA 2.2

Energia utilizzata e sprecata nel percorso integrato (tutti i numeri si riferiscono a GJ/ton di acciaio)(v.%)

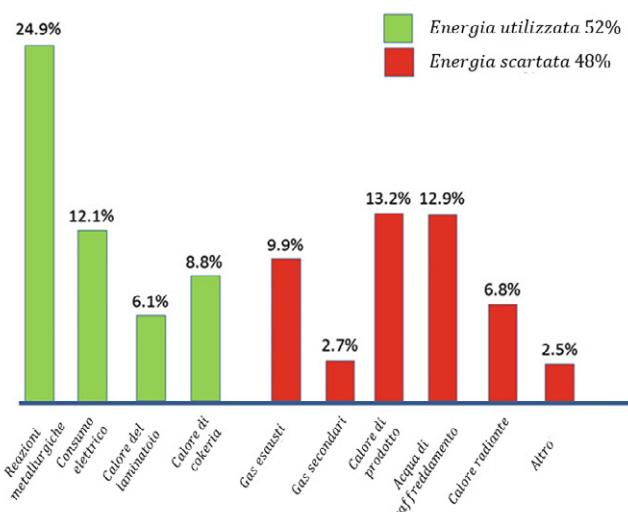


FIGURA 2.3

Emissioni di CO₂ nell'acciaieria integrata

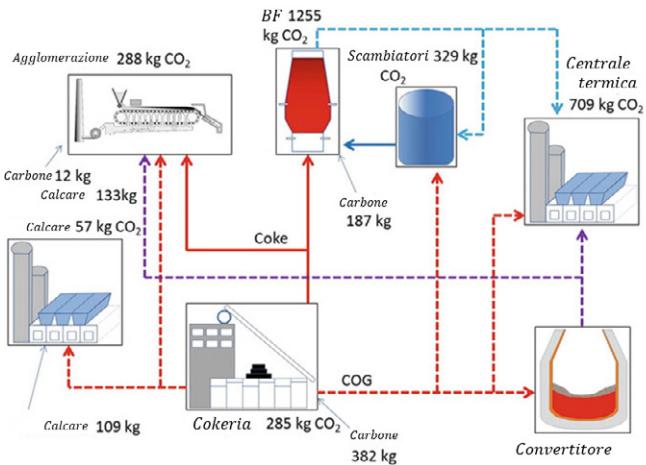
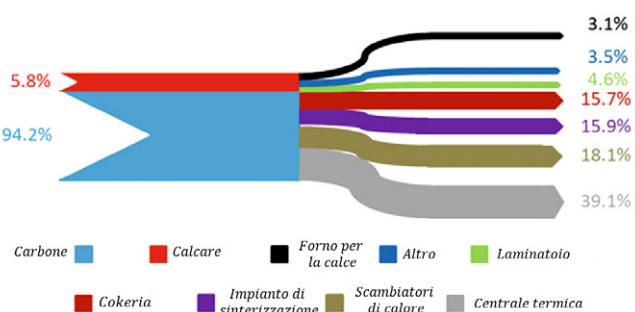


FIGURA 2.4

Principali flussi di carbonio nell'acciaieria integrata



rie rotte descritte schematicamente nella Figura 2.4.

Nel processo produttivo di un impianto siderurgico integrato sono emessi anche altri inquinanti, come indicato dalla tabella 2.1.

Gli impianti di sinterizzazione sono responsabili del 50% delle emissioni di polveri nell'acciaieria integrata. Altre emissioni rilevanti sono metalli pesanti, SO₂, HCl, HF, IPA e composti organici persistenti come PCB e PCDD/PCDF. Molte delle emissioni nelle operazioni delle cokerie sono legate allo stoccaggio, alla movimentazione, alla frantumazione e alla miscelazione del carbone. Le emissioni di composti organici volatili nell'aria provengono dalle batterie dei forni, insieme a toluene, benzene, ammoniaca e xilene. CO₂ e SO₂ sono le emissioni di gas serra più impattanti di questi impianti. I molti problemi ambientali legati alle operazioni dell'altoforno sono legati a polveri, acque reflue, SO₂ e H₂S, nonché CO₂. Una stima recente

TABELLA 2.1

Emissioni inquinanti emesse dal ciclo integrale

Processo	Materiale	Emissioni
Cokeria	Carbone	Polveri, CO, H ₂ S, catrame, fenoli, ammoniaca, SO _x , NO _x , cianuro, BOD, SS, PAH, BTX
Sinterizzazione	Minerale di ferro, polvere di coke, rifiuti	Polveri, CO, HCl, SO _x , NO _x , solfuri, fluoruri, PAH, PCDD, PCDF, PCB
Alfoforno	Pellet, minerale di ferro, sinterizzato, calcare, scoria	Gas, fanghi, fenoli, polveri, solfuri, cianuro, NO _x , H ₂ S, scoria
Convertitore	Ghisa, ossigeno, rottami, calcare, coke	Fanghi, scoria, polveri, CO, zinco, fumi
Affinazione	Acciaio liquido	Fumi, CO, CO ₂ , Mn, Zn, fluoruri, scoria

dei principali gas di scarico generati in un impianto che produce 6 milioni di tonnellate di acciaio all'anno è mostrata nella Figura 2.5. Questi gas hanno un ragionevole potere calorifico inferiore (LHV), il che implica che il loro utilizzo principale è l'uso termico quale la generazione termoelettrica. È utile osservare che essi contengono anche composti preziosi che possono essere utilizzati come agenti riducenti, come CH₄, H₂ e CO per sintetizzare un prodotto ad alto valore aggiunto. Il trattamento termochimico di questi gas è quindi un'opzione ragionevole per utilizzarli.

2.1.2. Il ciclo della produzione elettrica da rottame (EAF basato su rottami)

Il processo produttivo

Il processo produttivo del forno ad arco elettrico (EAF) implica che l'acciaio viene prodotto attra-

verso la fusione dei rottami, senza dover utilizzare sinterizzato e coke. L'EAF è il processo di riciclo dei rottami più importante e la principale alternativa al percorso BF-BOF. I rottami, la ghisa e gli additivi vengono fusi attraverso archi elettrici ad alta potenza formati tra un catodo e l'anodo; il materiale viene raffinato successivamente nelle operazioni di metallurgia secondaria (Figura 2.6).

Oltre al riciclo dei rottami, i forni elettrici sono talvolta utilizzati per recuperare i rifiuti interni, come la polvere del forno ad arco elettrico, le scorie e i materiali refrattari. Inoltre, in alcuni paesi vengono utilizzati rifiuti sociali, come pneumatici e plastica. Il processo EAF è diventato sempre più competitivo in termini di costi e qualità rispetto agli impianti siderurgici integrati; questo è dovuto alle innovazioni di processo e tecnologiche che hanno significativamente ridotto il consumo di energia e aumentato la produttività soddisfacendo le esigenze di qualità dei clienti. La percentuale di produzione di acciaio elettrico mondiale per ogni regione del globo è mostrata nella Figura 2.7.

FIGURA 2.5

Portate volumetriche, poteri calorifici inferiori e composizione dei gas di scarico di una moderna acciaieria a ciclo integrale (6 mln/t acciaio annue)

	COG	BFG	BOFG	Mix
Flusso volumetrico (Nm ³ /h)	40,000	730,000	35,000	805,000
Potere calorifico (kJ/Nm ³)	15,660	3365	7163	4141
Potenza termica (MW)	174	682	70	926
Composto	Frazione molare (%)			
CO ₂	1.2	21.6	20	20.5
CO	4.1	23.5	54	23.9
H ₂	60.7	3.7	3.2	6.5
CH ₄	22	0	0	0.1
C _x H _y	2	0	0	0.1
N ₂	5.8	46.6	18.1	43.3
H ₂ O	4	4	4	4
Ar + O ₂	0.2	0.6	0.7	0.6

FIGURA 2.6

Forno ad arco elettrico

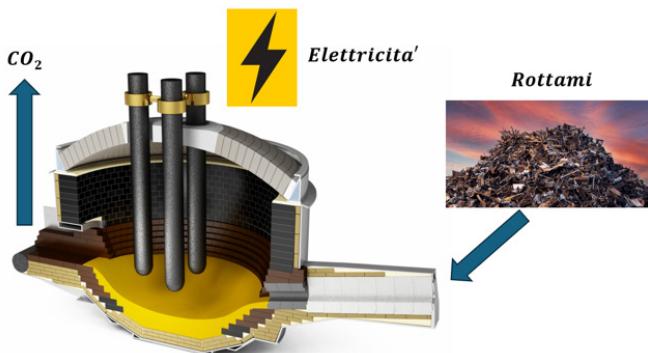


FIGURA 2.7

Produzione di acciaio elettrico nelle diverse regioni del mondo (v.%)

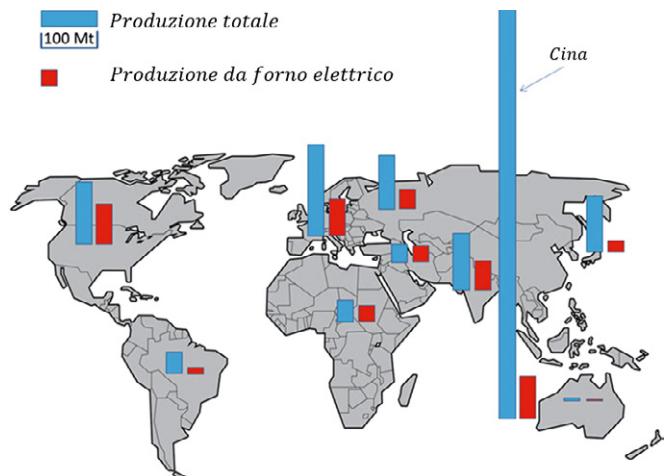
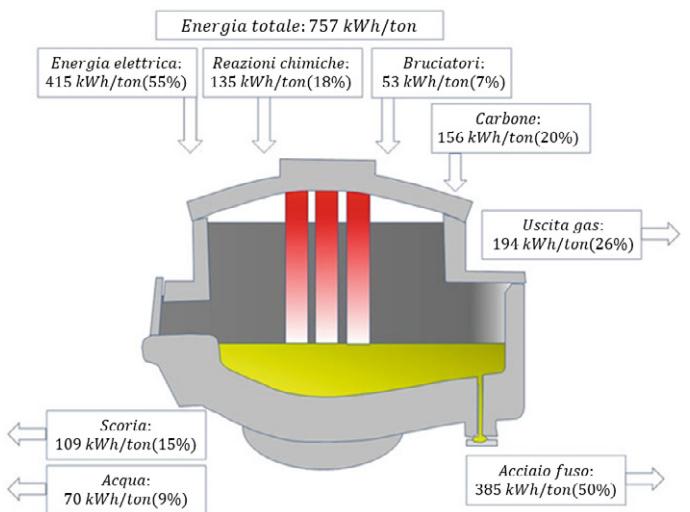


FIGURA 2.8

Bilancio energetico dell'EAF



L'intensità energetica

Il consumo di energia elettrica di un EAF durante gli anni Settanta era di circa 600 kWh/t-acciaio (circa 0,25 GJ/t); gli attuali fornì EAF altamente efficienti hanno raggiunto circa 300 kWh/t-acciaio (0,125 GJ/t). Anche il tempo di ciclo, che incide sulla produttività dell'EAF, è diminuito da 180 a 40 minuti per carichi di dimensioni comparabili col passato.

Il bilancio energetico dell'EAF è illustrato nella Figura 2.8. Gran parte del calore in ingresso viene

trasferito all'acciaio, ma una quantità significativa viene persa attraverso i gas di scarico e le scorie. Miglioramenti nell'efficienza energetica dell'EAF richiedono l'utilizzo di questo calore sprecato. Inoltre, le scorie possono contenere fino al 30% di FeO ; si tratta di perdite significative di ferro nel flusso di produzione che andrebbero minimizzate.

Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti

Nel ciclo di produzione con EAF alimentati dal rotolame le emissioni di CO₂ per tonnellata sono media-

FIGURA 2.9

Fattori di emissione diretta e indiretta di GHG (gas a effetto serra) nell'EAF

<i>Input</i>	<i>Emissioni dirette</i>	<i>Emissioni indirette</i>
<i>Carbone</i>		1.2 kg CO ₂ /kWh
<i>Petrolio</i>		1.1 kg CO ₂ /kWh
<i>Gas</i>		0.68 kg CO ₂ /kWh
<i>Energia nucleare</i>		0.0052 kg CO ₂ /kWh
<i>Energia idroelettrica</i>		0.0024 kg CO ₂ /kWh
<i>Carbone di carica</i>	3.41 kg CO ₂ /kg	0.046 kg CO ₂ /kWh
<i>Gas naturale</i>	2.75 kg CO ₂ /kg	0.35 kg CO ₂ /kWh
<i>Grafite</i>	3.63 kg CO ₂ /kg	0.046 kg CO ₂ /kWh
<i>Rottami</i>	7.33 kg CO ₂ /t	23 kg CO ₂ /kWh
<i>Oli nei rottami</i>	3.12 kg CO ₂ /kg	
<i>Polveri iniettati</i>	0.73 kg CO ₂ /kg	0.07 kg CO ₂ /kWh
<i>Ossigeno</i>		0.22 kg CO ₂ /kWh
<i>Calcare</i>		0.847 kg CO ₂ /kWh

mente pari a 640 kg-CO₂/t-acciaio rispetto ad una media di circa 2.100 kg-CO₂/t-acciaio per gli impianti siderurgici integrati. Nei forni elettrici di ultima generazione le emissioni raggiungono l'ordine dei 200 kg-CO₂/t-acciaio. La Figura 2.9 elenca il contributo alle emissioni dirette e indirette dei diversi agenti presenti nel forno elettrico.

In assenza di un controllo accurato della composizione dei rottami (eventuale presenza di vernici e/o oli), si potrebbero produrre diossine (tra 10-20 microgrammi/t acciaio), esaclorobenzeni (0,05-0,1 microgrammi/t acciaio), NOx, SOx (generalmente ben al di sotto dei limiti tollerati).

2.1.3. Il ciclo della produzione elettrica da DRI alimentato da gas naturale (NG DRI-EAF)

Il processo produttivo

La necessità di ridurre le emissioni di gas serra e il consumo di energia ha portato a un crescente interesse per lo sviluppo di tecnologie che consentano di produrre ferro ridotto direttamente (Direct Reduced Iron-DRI). La riduzione diretta è la rimozione (riduzione) dell'ossigeno dal minerale di ferro nel suo stato solido attraverso l'azione di un gas riducente. Il ferro prodotto - noto come ferro spugnoso - viene quindi immesso in un EAF dove viene convertito in

RIQUADRO 2

I rottami

L'acciaio viene riciclato attraverso vari percorsi di raccolta e pretrattamento, generando diversi gradi di rottami che variano per composizione chimica e geometria. I rottami caricati nell'EAF possono essere classificati in tre categorie: rottami obsoleti (vecchie auto, elettrodomestici, macchinari), rottami industriali (scarti di lavorazione) e rottami interni (scarti di qualità, fondo della siviera, acciaio recuperato dalle scorie). La qualità dei rottami in ingresso influenza la qualità dell'acciaio ma anche l'efficienza energetica delle operazioni EAF e gli inquinanti. Il preriscaldamento dei rottami, la cui efficienza dipende anch'essa dalla loro qualità, può ridurre il consumo di energia nell'EAF di circa 0,2 GJ/t-acciaio. Utilizzando il calore dei gas di scarico per preriscaldare i rottami, si possono risparmiare circa 90 kWh/t-acciaio, riducendo anche le emissioni indirette di CO₂. La tecnologia di preriscaldamento dei rottami, se completamente utilizzata, può ridurre le emissioni globali di CO₂ di 52 milioni di tonnellate all'anno. Il mercato dei rottami si troverà presto ad affrontare il problema della gestione e trasformazione dei rottami obsoleti (Figura 2.10 e 2.11). I rottami provenienti da UE, USA e Giappone sono considerati stabili nei prossimi vent'anni, mentre è previsto un aumento dalla Cina e dall'India.

FIGURA 2.10

Previsioni sulla disponibilità di rottami per tipo

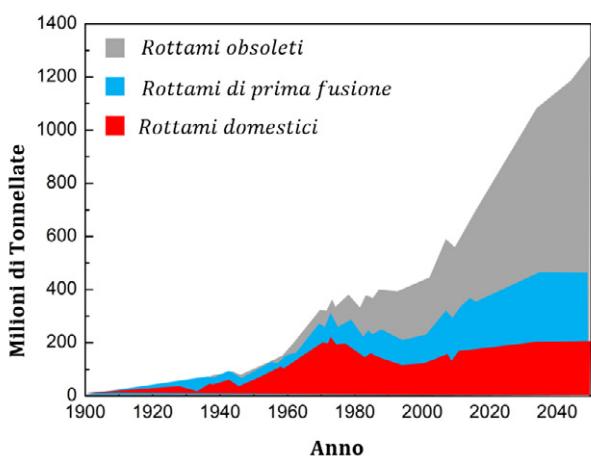


FIGURA 2.11

Previsioni sulla disponibilità di rottami per provenienza

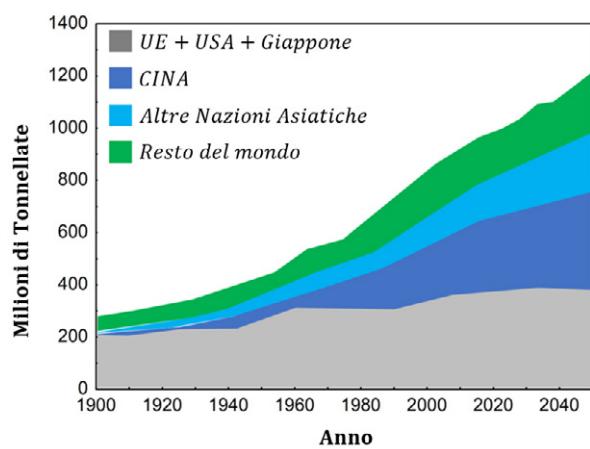
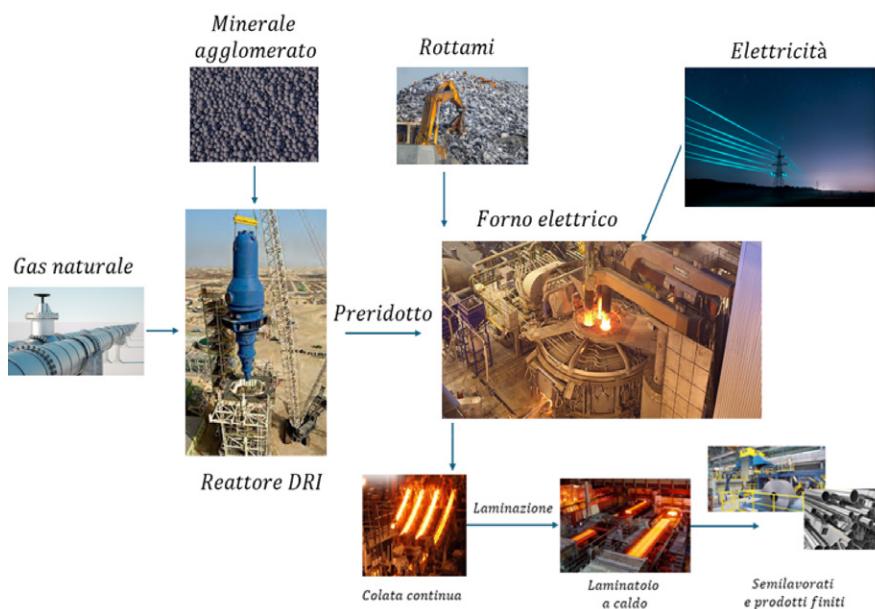


FIGURA 2.12**Ciclo di produzione dell'acciaio attraverso DRI+EAF**

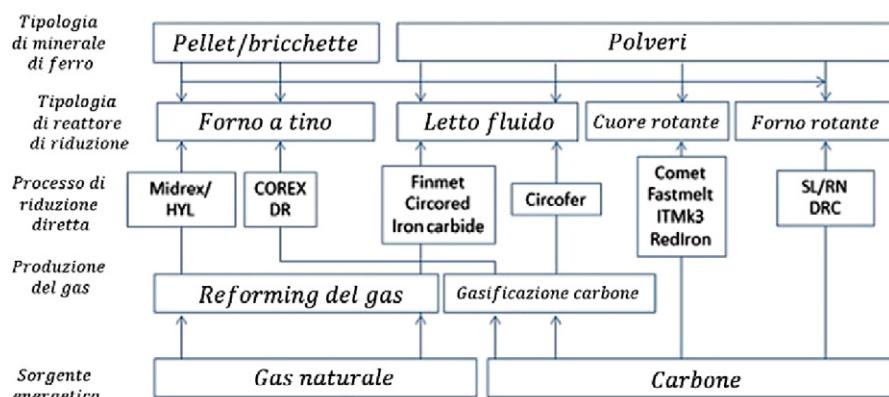
acciaio grezzo (Figura 2.12). Questo materiale altamente poroso ha un grado di metallizzazione compreso tra l'85% e il 95% con un contenuto di carbonio compreso tra lo 0,5% e il 4% a seconda della composizione del gas riducente. Durante il processo, gli ossidi di ferro vengono ridotti allo stato solido. La porosità porta ad alta reattività attraverso la potenziale ossidazione: per superare questo limite è stato sviluppato il ferro briquetato a caldo (HBI). Altri tipi di DRI sono il CDRI e HDRI.

Una classificazione dei processi di riduzione diretta considerando le risorse di minerale di ferro e l'energia, nonché le tecnologie per la produzione di gas riducenti e la riduzione del minerale di ferro a DRI/HBI è mostrata nella Figura 2.13.

Il 75% della produzione totale di DRI e HBI è prodotto da processi DR basati sul gas naturale come risorsa energetica, che deve essere convertito mediante tecnologia di reforming del gas in gas riducenti (CO e H_2). MIDREX e HYL Energiron sono i processi con le capacità più elevate installate a livello mondiale. Entrambe le tecnologie si basano su pellet e minerale in pezzi come materiale di alimentazione. La tecnologia utilizzata per la fase di riduzione è la tecnica del forno

a pozzo. Il sistema basato su forno a pozzo MIDREX utilizza pellet di minerale di ferro, minerale di ferro in pezzi o una combinazione di pellet e minerale che vengono ridotti nel reattore attraverso un gas riducente a controcorrente. L'atmosfera riducente principale è prodotta mescolando gas naturale riformato e il gas proveniente dalle operazioni precedenti del forno. Le miscele di gas vengono convertite in CO e H_2 ; il materiale viene introdotto dall'alto reagendo con i gas (a una temperatura di 900 °C) che salgono dal fondo del forno, e il materiale ridotto contiene ferro intorno al 90-95%. All'uscita del forno, il materiale può essere compresso in ferro briquetato a caldo (HBI) per lo stoccaggio e il trasporto. Il processo ha la flessibilità di produrre DRI con quantità controllabili e variabili di carbonio come desiderato dall'operatore dell'impianto. Il processo è semplice grazie all'uso del gas naturale.

A causa del continuo aumento della produzione di acciaio di alta qualità mediante EAF, la necessità di unità di ferro vergine per diluire i residui di rottami è aumentata. Il DRI viene aggiunto all'EAF per due motivi principali: come sostituto dei rottami di alta qualità e della ghisa. A causa dell'assenza di elementi di scarto, il DRI viene utilizzato per aumentare la qualità della miscela complessiva di rottami; esso ha una densità e una forma uniformi e può essere caricato continuamente e automaticamente. Il DRI

FIGURA 2.13**Classificazione dei processi di riduzione diretta**

può essere utilizzato per consentire all'impianto siderurgico di funzionare a un costo complessivo delle materie prime inferiore. Ad esempio, esso consente di utilizzare gradi di rottami più economici e di bassa qualità oppure può essere utilizzato per sostituire rottami di costo estremamente elevato o in mancanza degli stessi. Gli impianti di DRI si stanno espandendo in tutto il mondo grazie alla loro piccola scala con bassi requisiti di investimento di capitale; la piccola scala rappresenta anche il limite della tecnologia per gli impianti ad alta capacità.

L'intensità energetica

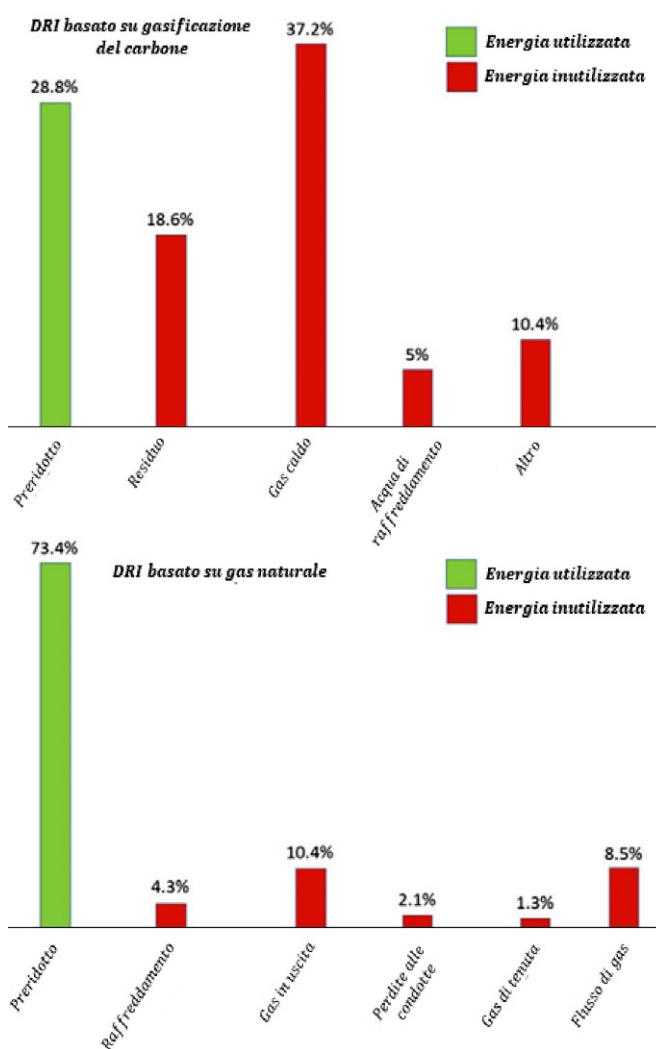
I combustibili impiegati per ottenere il DRI sono il gas naturale e/o carbone. Il consumo di energia è dell'ordine di 10,4 GJ/t-DRI, equivalente a circa 270 m³ di gas naturale per tonnellata di minerale da ri-

FIGURA 2.14
Flussi di materiale per la produzione di DRI da gas naturale

NG-DRI



FIGURA 2.15
Energia utilizzata e sprecata negli impianti DRI a base di carbone e gas



durre, a cui vanno aggiunti 75 kWh/t di minerale di consumo elettrico del reattore (figura 2.14).

Se il DRI caldo viene inviato direttamente all'EAF, parte del calore dalla riduzione diretta può essere risparmiato riducendo il consumo di energia nell'EAF. Il consumo di energia è fortemente influenzato dalle proprietà fisiche, chimiche e metallurgiche dei minerali di ferro di partenza. Rispetto all'altoforno, il DRI richiede minerali di qualità superiore; in generale, i minerali contenenti meno del 65% di ferro non sono adatti per il processo. La figura 2.15 mette a confronto l'energia richiesta e sprecata per i processi DR a base di carbone e gas.

L'intensità energetica del NG DRI-EAF è di circa 20 GJ/ton di acciaio rispetto ai 10 GJ/ton di acciaio del forno elettrico alimentato da rottame. Il consumo energetico dipende dal tipo di DRI utilizzato come input. Il contenuto di carbonio nel DRI è importante perché parte di questo carbonio rappresenta una fonte di energia esterna che, combinata con l'iniezione di ossigeno nell'EAF, promuove una schiumatura naturale della scoria mediante il CO prodotto dalla reazione dell'ossido di ferro non ridotto e del carbonio nel DRI, il che aiuta a ridurre il consumo di energia elettrica.

Le emissioni di anidride carbonica e altri inquinanti

Le emissioni di CO₂ sono quantificate nell'intervallo 0,4–1,4 t di CO₂ per tonnellata di acciaio. Le emissioni di CO₂ sono influenzate dalla qualità dei minerali di ferro e dal gas naturale utilizzato. L'integrazione di un impianto a base di ammine per la rimozione della CO₂ dai gas di scarico può ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂. Le emissioni di anidride carbonica dovute alla produzione di diversi tipi di DRI



sono elencate nella Figura 2.16.

Eventuale presenza di prodotti azotati e solforati (N_2 , H_2S) nel gas naturale potrebbero portare a minime emissioni di NOx, SOx (generalmente ben al di sotto dei limiti tollerati); anche se l' H_2S non è presente in tutti i giacimenti, solitamente viene rimosso durante il pre-trattamento del gas.

2.1.4. I processi produttivi a confronto

Per concludere si mettono a confronto i tre processi produttivi, con la relativa intensità energetica ed emissioni di gas ad effetto serra.

FIGURA 2.16
Emissioni di CO₂ per produzione di DRI

	Hyl-Energiron DRI (4C)	Hyl-Energiron DRI (2C)	MIDREX HBI (1.5)	MIDREX HBI (0.5)
C in DRI (kg/t _{DRI})	40	20	15	5
Energy demand (GJ/t _{DRI})	10,000	9404	10,000	8609
Auxiliary energy demand (GJ/t _{DRI})	2500	2500	2500	2500
Share of H ₂ (%)	0	85.9	0	96.1
H ₂ consumption (GJ/t _{DRI})	0	8056	0	8265
Mass of H ₂ (kg/t _{DRI})	0	67.1	0	68.9
NG consumption (GJ/t _{DRI})	10,000	1304	10,000	0.355
Mass of NG (kg/t _{DRI})	248.8	33.3	248.8	8.3
Mass of CH ₄ in NG (kg/t _{DRI})	198.8	26.6	198.8	6.6
C in CH ₄ (kg/t _{DRI})	149.1	20	149.1	5
C in Fe ₃ C (DRI) (kg/t _{DRI})	36.4	18.2	13.7	4.6
CO ₂ emissions (kg/t _{DRI})	413.2	6.6	496.5	1.5

FIGURA 2.17
Produzione mondiale
mediante diverse tipologie
impiantistiche (v. %)

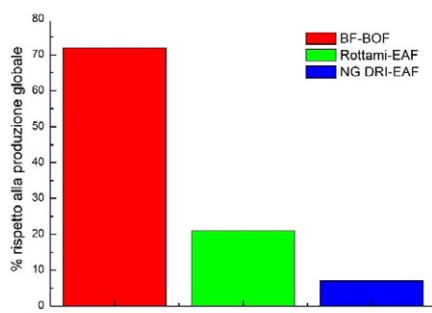
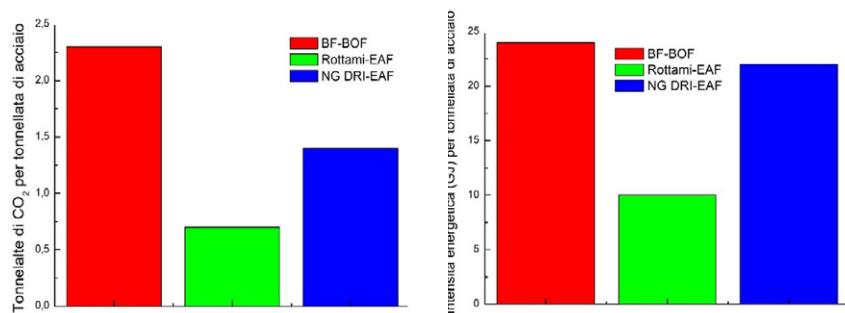


FIGURA 2.18
Confronto delle emissioni di CO₂ e intensità energetica



Riquadro 3

La produzione di DRI

Sfruttando il boom della produzione di acciaio in Cina, la produzione mondiale di minerale di ferro ha superato i 2 miliardi di tonnellate all'anno (Bt/y) all'inizio di questo decennio; rispetto al 2000 la produzione è più che raddoppiata. Circa l'80% di tutto il minerale di ferro – circa 1,6 Bt/y – viene scambiato a livello internazionale e circa il 90% di questo commercio viene trasportato su navi oceaniche. Di questo commercio marittimo, più di tre quarti proviene da Australia, Brasile o India. I produttori del minerale dalle enormi riserve del Pilbara in Australia, minerali di alta qualità, hanno beneficiato della domanda cinese – dove invece sono scarsi, crescendo in produzione di oltre il 400% dal 2000. Con una produzione di circa 450 Mt/y di minerale, di cui circa l'85% viene esportato, Il Brasile è il secondo produttore di minerale di ferro a scala mondiale.

Come si relazionano tutti i dati sulla disponibilità di gas alle località per la produzione di HBI?

I paesi con la maggiore produzione attuale di gas naturale sarebbero considerati le località principali per un impianto di HBI commerciale. Infatti, i primi cinque – USA, Russia, Iran, Qatar e Canada – hanno tutti impianti di riduzione diretta, e gli impianti di HBI commerciali sono già operativi negli USA e in Russia. Tuttavia, diversi altri paesi in Medio Oriente/Nord Africa (MENA) e nella Comunità degli Stati Indipendenti (CIS), così come Australia, Azerbaigian, Cina, India, Indonesia, Messico, Nigeria, Norvegia, Bolivia, Brasile e Venezuela, sono significativi produttori di gas naturale. Ci sono diverse località dove il minerale di ferro, mentre è in transito dalla miniera agli impianti siderurgici, potrebbe essere convertito in HBI in impianti costieri utilizzando il processo a base di gas naturale. Tra questi siti ci sono la costa meridionale del Brasile, il bacino del Mar dei Caraibi/Golfo del Messico (Venezuela, Trinidad e Tobago e la costa del Golfo degli Stati Uniti), l'Africa occidentale (Nigeria fino all'Angola), il Nord Africa (Algeria fino all'Egitto), il Mar Arabico, l'Australia occidentale e l'arcipelago malese-indonesiano. Altre località possibili sono i giacimenti di gas del Mare del Nord per i minerali che si spostano verso l'Europa occidentale; anche se senza sbocco sul mare, i giacimenti di gas siberiani sono abbastanza convenienti per i giacimenti di minerale russo-ucraini. Chiaramente, molte di queste località corrispondono agli impianti di HBI esistenti: Libia, Malesia, Russia, Venezuela e USA. La Figura 2.20 mostra la produzione mondiale di DRI per regione, corrispondente alle considerazioni precedenti. Inoltre, il gas naturale a basso prezzo espanderebbe il mercato del gas prodotto sotto forma di gas naturale liquefatto (GNL). Tuttavia, un equilibrio più stretto tra domanda e offerta non dovrebbe avere un impatto significativo sui prezzi del gas naturale. Gli studi riportano che l'impatto sui prezzi è modesto, inferiore al 2%.

In sintesi, lo scenario migliore è quando quantità sufficienti di gas naturale e minerale di ferro a prezzi competitivi sono disponibili in prossimità ragionevole di un porto oceanico. I paesi con gas naturale lungo le rotte commerciali marittime per il minerale di ferro sono possibili località per implementare economicamente un'operazione commerciale di HBI. Ad esempio, l'impianto di Voestalpine Texas LLC si trova in un sito costiero sul Golfo del Messico, utilizza gas naturale disponibile a livello regionale e minerale di ferro dalla rotta commerciale regolare Brasile-USA per produrre HBI principalmente per le operazioni siderurgiche di Voestalpine in Austria. Il modello futuro indicato per la produzione di ferro sarà quello di produrre il ferro ridotto direttamente vicino ai siti energeticamente competitivi e trasferire questi prodotti come contenitori di energia ai siti di consumo. Dando alcuni esempi dall'industria con le motivazioni, l'impianto Nucor in Louisiana (costo di 750 milioni di dollari) è stato giustificato assicurando un contratto di gas di 20 anni che non sarebbe stato possibile senza le proiezioni di produzione di gas di scisto. Per l'impianto di Voestalpine in Texas (costo 550 milioni di euro), i bassi prezzi del gas naturale (circa un quarto di quelli dell'Europa) hanno giustificato la mossa.

2.2. I percorsi di decarbonizzazione della siderurgia

2.2.1. La decarbonizzazione parziale: circolarità e ottimizzazione

Le tecnologie siderurgiche attuali si basano principalmente sui combustibili fossili, come il carbone e il gas naturale. I percorsi di decarbonizzazione dell'industria, implementati in maniera complementare, conducono ad un parziale o totale azzeramento delle emissioni di carbonio (figura 2.19).

L'economia circolare, intesa come un nuovo modello di produzione e consumo volto all'uso efficiente delle risorse e al mantenimento circolare del loro flusso costituisce uno dei possibili percorsi per ottenere prodotti durevoli, per prevenire la produzione di rifiuti e massimizzarne il recupero, il riutilizzo e il riciclo per la creazione di nuove catene di approvvigionamento di materie prime seconde, in sostituzione delle materie prime vergini. A questo riguardo si ricorda che l'acciaio è riciclabile al 100% e, se lavorato correttamente, non perde nessuna delle sue proprietà. Attualmente circa la metà di tutto l'acciaio prodotto in Europa proviene da fonti "secondarie" di recupero, sotto forma di rottami metallici. Lavorando su soluzioni più pulite ed efficienti in termini di risorse, nonché su una gamma di qualità di acciaio in continua espansione, l'industria siderurgica europea garantisce che le 130 milioni di tonnellate medie prodotte ogni anno siano ecocompatibili (Eurofer, 2024). Non ci sono tuttavia rottami sufficienti a soddisfare la domanda; il ferro grezzo "primario" è quindi ancora un fattore importante per la produzione di acciaio.

Un ulteriore percorso che migliora l'impatto am-

bientale della produzione siderurgica attiene all'uso di tecnologie di cattura, utilizzo e stoccaggio del carbonio (CCUS) e al miglioramento dei processi produttivi (integrazione di processo - PI). La Smart Carbon Usage (SCU- uso intelligente del carbonio) si riferisce invece all'utilizzo della CO₂ catturata, ad esempio per la produzione di nuovi materiali o combustibili. In pratica, CCUS e SCU mirano a ridurre le emissioni di CO₂ prodotte dalla produzione dell'acciaio, sia attraverso la cattura della CO₂, che tramite il suo riutilizzo in processi industriali; essa può essere utilizzata nella produzione di combustibili sintetici e/o stoccati in giacimenti di petrolio/gas esauriti o acquiferi salini per un immagazzinamento a lungo termine. Di solito per lo stoccaggio si usano giacimenti esauriti di idrocarburi.

2.2.2. La decarbonizzazione completa: l'idrogeno per l'acciaio verde (H2 DRI-EAF)

Per produrre acciaio 'verde', cioè senza emissioni di gas serra, l'intero ciclo di produzione - dall'estrazione mineraria alla produzione e stoccaggio del combustibile, dalla riduzione diretta alla produzione di acciaio negli EAF - deve essere alimentato tramite fonti rinnovabili. Rispetto a questo la produzione di idrogeno rappresenta un tassello cruciale.

2.2.2.1. L'idrogeno

Proprietà e tipologie dell'idrogeno

L'idrogeno è un vettore energetico simile all'elettricità. Entrambi possono essere prodotti da varie fonti energetiche e tecnologie; sono versatili e possono essere utilizzati in molte applicazioni diverse.

Se non prodotti da combustibili fossili, dal loro uso non si produce gas serra, particolato, ossidi di zolfo o ozono a livello del suolo. La differenza cruciale tra idrogeno ed elettricità è che l'idrogeno è un vettore di energia chimica; questo significa che può essere immagazzinato (compresso, liquefatto o trasformato, con perdite in termini di efficienza) e trasportato in modo stabile, come avviene oggi con il carbone, petrolio, gas naturale e biomassa.

L'idrogeno ha una bassa densità energetica per unità di volume a causa della sua leggerezza (è infatti l'elemento più leggero):

FIGURA 2.19
Percorsi di decarbonizzazione

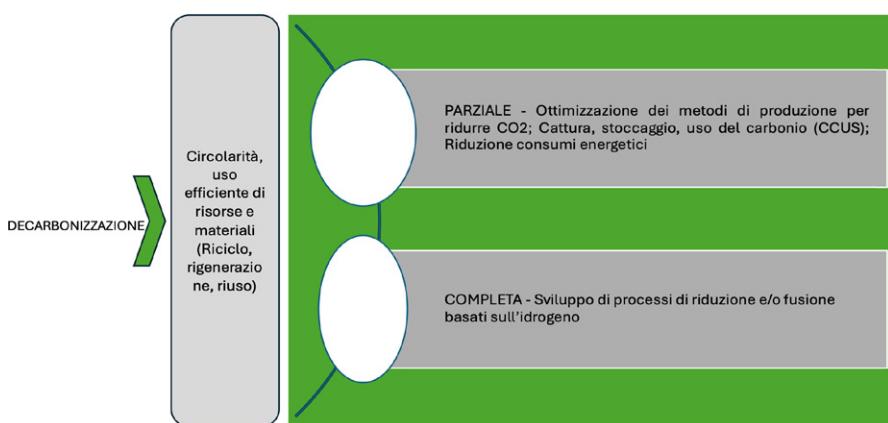


FIGURA 2.20

Diverse tipologie di idrogeno in funzione del processo e della fonte energetica per sintetizzarlo

	Idrogeno MARRONE	Idrogeno GRIGIO	Idrogeno BLU	Idrogeno TURCHESE	Idrogeno GIALLO	Idrogeno ROSA	Idrogeno VERDE
Processo	Gassificazione	Steam reforming	Steam reforming o gassificazione con CCUS	Pirolisi	Elettrolisi	Elettrolisi	Elettrolisi
Fonte energetica	Carbone	Gas metano	Gas metano Carbone	Gas metano	Energia elettrica dalla rete	Energia elettrica nucleare	Energia elettrica rinnovabile

questo significa che per avere la stessa energia di altri combustibili devono essere utilizzati volumi maggiori. L'idrogeno può essere prodotto con più processi e fonti energetiche (figura 2.20). Tra le diverse sfumature di idrogeno, quello verde, cioè l'idrogeno prodotto da energia rinnovabile, è il più adatto per una transizione energetica completamente sostenibile. L'opzione tecnologica più consolidata per la sua produzione è l'elettrolisi dell'acqua alimentata da elettricità rinnovabile. Questa tecnologia è al centro dei prossimi paragrafi.

La produzione di idrogeno

Il 95% dell'idrogeno utilizzato oggi è prodotto da combustibili fossili, mentre solo il restante 5% proviene da altre fonti alternative, inclusa la biomassa (figura 2.21). La riforma a vapore dei gas è impiegata per produrre il 60% dell'idrogeno a livello mondiale e questo è accompagnato dall'emissione di 30 milioni

di tonnellate di CO₂. Quindi, anche se l'uso diretto dell'idrogeno è privo di carbonio, la sua sintesi può essere accompagnata da enormi emissioni di gas serra. Uno dei processi più diffusi per la produzione di idrogeno è mediante elettrolisi dell'acqua – tecnologia consolidata soprattutto nell'industria chimica - in cui l'energia elettrica viene utilizzata per separare le molecole di H₂O nei loro componenti, generando idrogeno e ossigeno. Questo approccio, alimentato da fonti rinnovabili come l'energia solare o eolica, garantisce un idrogeno verde privo di emissioni.

Gli elettrolizzatori

Costi di costruzione, stoccaggio ed energia

L'impianto chiave per convertire l'energia rinnovabile in idrogeno verde, insieme all'acqua, è l'elettrolizzatore. Nonostante la loro disponibilità sul mercato, gli elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) e ad acqua alcalina sono ancora considerati altamente costosi rispetto alla produzione di idrogeno basata su combustibili fossili. Gli elettrolizzatori a PEM sono il 50%-60% più costosi di quelli alcalini, rappresentando una barriera aggiuntiva alla penetrazione del mercato.

Tuttavia, in entrambi i casi, ma soprattutto per i sistemi PEM, la tendenza è verso una riduzione dei costi considerando, tra l'altro, le economie di scala, l'automazione, un aumento della disponibilità di componenti, la maggiore domanda di mercato. La stima dei costi per gli elettrolizzatori è problematica per due ragioni: da un lato la disponibilità dei dati, considerato la loro natura riser-

FIGURA 2.21

Tecnologie disponibili per la produzione di idrogeno

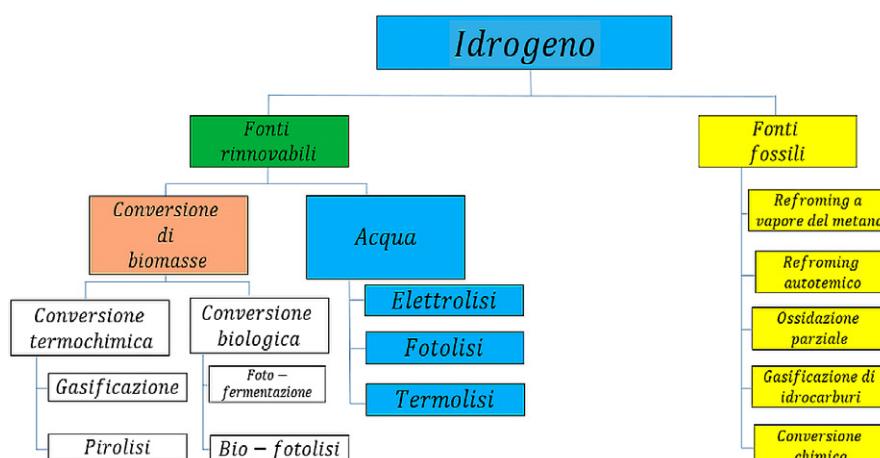
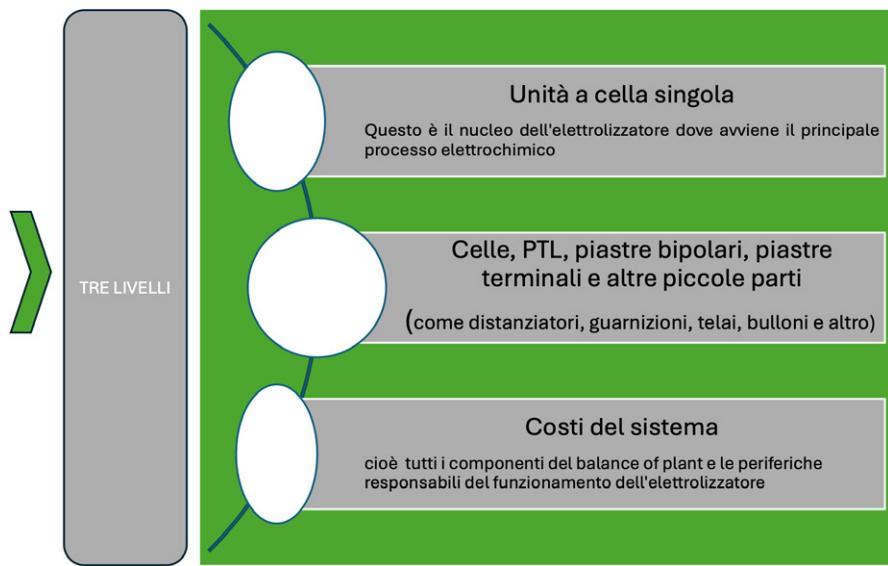


FIGURA 2.22

Livelli per la definizione del costo di un elettrolizzatore



vata legata al mantenimento del vantaggio competitivo da parte delle aziende; dall'altro la loro continua evoluzione dato il rapidissimo sviluppo delle tecnologie. I costi sono stimati rispetto ad alcuni livelli (figura 2.22).

Il primo livello include la membrana rivestita di catalizzatori per gli elettrolizzatori PEM e gli elettrodi e i diaframmi per il tipo alcalino. Il secondo livello di solito rappresenta circa il 40%-50% del costo totale. Gli elementi del terzo livello possono costituire il 50%-60% del costo totale. Oggi il principale contributore ai costi del sistema è ancora lo stack, che rappresenta il 40%-50% del totale sia per gli elettrolizzatori alcalini sia per i PEM. Questa quota dipende

molto dal design, dalla strategia di produzione, dall'azienda e dalle specifiche del cliente. Le ripartizioni dei costi per i sistemi AEM e a ossido solido non sono ancora disponibili, a causa del numero limitato di sistemi distribuiti commercialmente. I costi dei sistemi PEM vanno da 306 USD/kW fino a 4.748 USD/kW; questo dimostra la sfida di trovare numeri rappresentativi. A questo proposito i costi indicati nelle figure che seguono sono stati ottenuti sulla base della revisione approfondita della letteratura e la validazione attraverso consultazioni e revisione tra pari con vari produttori leader (Figura 2.23).

La Figura 2.24 mostra che il punto in cui la maggior parte dei componenti è dominata dai costi

dei materiali (e del lavoro nel caso dell'assemblaggio) è di circa 1.000 unità all'anno (cioè 1 GW/anno).

Passare da una scala di 10 MW/anno a 1 GW/anno consente una riduzione del 70% del costo dello stack a circa 70-80 USD/kW. Il maggior beneficio è per l'assemblaggio dello stack, che può sperimentare una riduzione del costo del 90% passando da un assemblaggio manuale a uno semi-automatizzato a un volume di circa 1 GW/anno, con un successivo passaggio ad una completa automatizzazione a 2 GW/anno. Per avere il maggiore impatto sui costi questa automazione deve avvenire a due livelli: la cella e lo stack. Oggi, l'elettrolizzatore più grande installato è un impianto da 10 MW a Fukushima,

FIGURA 2.23

Ripartizione dei costi per un elettrolizzatore PEM e un elettrolizzatore alcalino da 1 MW

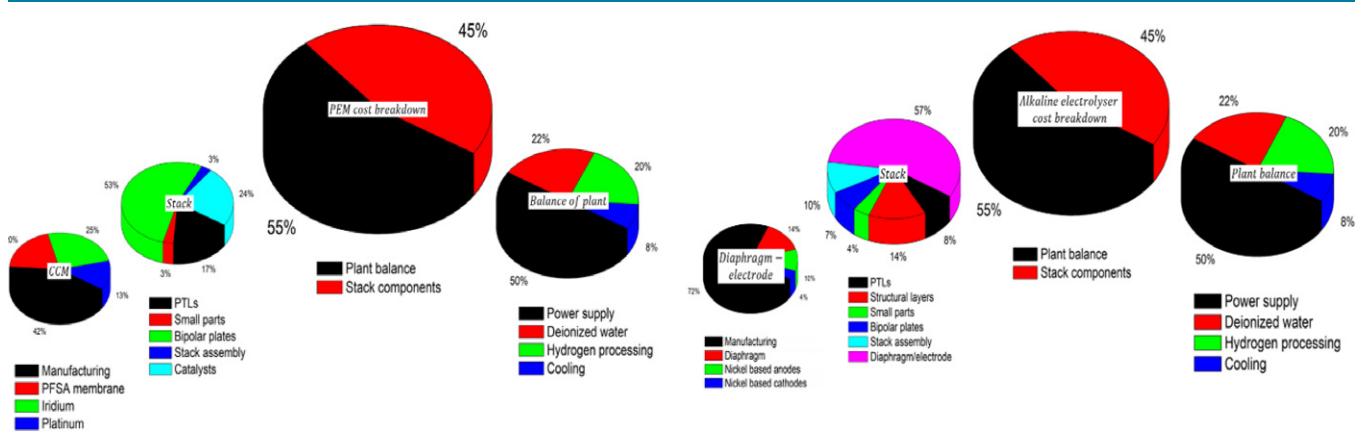


FIGURA 2.24
Economie di scala per la produzione di stack PEM

Stack component	Capacity to reap most of the economies of scale	Dominant costs at high production rates	Cost penalty for low production rates	Cost achieved at 1000 units/year
Catalysts coated membrane	1000 units/year	Platinum, Iridium, Nafion membrane	75-80%	46 USD/kW
Porous transport layer	20-100 units/year	Titanium powder, gold	110%	26 USD/kW
Frame	1000 units/year	Materials (95%)	800-900%	1.8 USD/kW
Membrane electrode assembly	1000 units/year	Materials (90%)	350%	11 USD/kW
Assembly	1000 units/year	Labor (50%)	1000%	2 USD/kW

in Giappone, che è un singolo stack. Thyssenkrupp e NEL offrono progetti fino a 20 MW, ottenuti con più stack senza degradazione dell'efficienza o della capacità di risposta dell'elettrolizzatore. Il modulo più grande di McPhy è da 4 MW, mentre il Sylizer 300 di Siemens, progettato per 17,5 MW, è costituito da 24 moduli (di meno di 1 MW ciascuno). Cummins (Hydrogenics) sta costruendo un elettrolizzatore a PEM da 20 MW a Becancour, in Canada, basato su piattaforme di stack da 2,5 MW.

Per garantire che il costo di fornitura dell'idrogeno verde sia il più basso possibile, è necessario applicare un approccio olistico alla progettazione e alle operazioni del sistema. La progettazione del sistema può essere ottimizzata per minimizzare i costi e aumentare la flessibilità, a seconda di vari fattori, come la variabilità della fornitura di elettricità, la tecnologia utilizzata per lo stack, la flessibilità della domanda di idrogeno. Non esiste un unico schema e nessuna tecnologia di elettrolizzatore è migliore di un'altra, poiché la combinazione con lo stoccaggio di elettricità e idrogeno può fornire efficacemente qualsiasi livello di flessibilità.

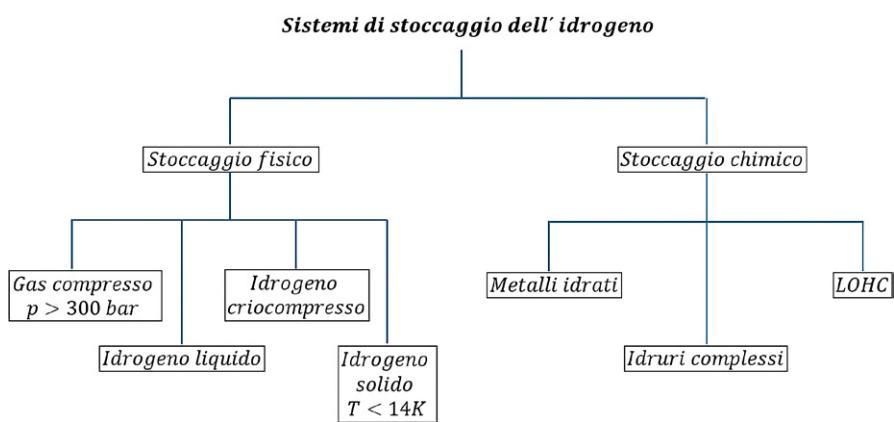
Lo stoccaggio può aiutare significativamente a disaccoppiare la fornitura variabile dalla domanda di idrogeno. Questo può avvenire sotto forma di stoccaggio elettrochimico per fluttuazioni a breve termine (prima dello stack

dell'elettrolizzatore) o sotto forma di stoccaggio di idrogeno per fluttuazioni a lungo termine (dopo lo stack, prima del destinatario a valle) (figura 2.25).

Lo stoccaggio in serbatoi, cavene e gasdotti può aiutare a disaccoppiare la produzione variabile di idrogeno dalla domanda di idrogeno inflessibile (ad esempio, per produrre ammoniaca). Lo stoccaggio è utile anche in risposta alla stagionalità delle risorse solari, eoliche e idroelettriche soprattutto in anni meteorologici insoliti (ad esempio, anni secchi o anni con periodi prolungati di bassa ventosità).

L'idrogeno in forma gassosa può essere immagazzinato seguendo due approcci: serbatoi di acciaio pressurizzati e serbatoi sotterranei. L'idrogeno può anche essere liquefatto. Questo fornirebbe circa il 75% di densità energetica in più rispetto all'idrogeno gassoso immagazzinato a 700 bar, richiedendo l'equivalente del 25%-30% dell'energia contenuta nell'idrogeno. Sviluppi promettenti in impianti su larga scala mostrano un consumo energetico di appena 6 kWh/kg di idrogeno. Quando il gas idrogeno viene liquefatto, deve essere raffreddato a -421,6 °F, rendendo l'idrogeno liquido un combustibile criogenico. Questo tipo di combustibili sono più difficili da gestire e sostanzialmente più difficili da immagazzinare rispetto ai combustibili idrocarburici come la benzina o il cherosene per aviazione. Anche con serbatoi di stoccaggio altamente isolati, a doppia

FIGURA 2.25
Panoramica dei sistemi e dei materiali di stoccaggio dell'idrogeno



parete e con giacca sottovuoto, l'idrogeno liquido può evaporare a un tasso di quasi il 9% al giorno. Questa evaporazione aumenta la pressione sulla parete del serbatoio e l'idrogeno gassoso deve essere sfiatato nell'atmosfera per evitare che il serbatoio si rompa e per ridurre eventuali problemi di sicurezza. La dormienza (periodo di inattività prima che un serbatoio rilasci H₂ per ridurre l'accumulo di pressione) è un parametro importante per l'accettabilità dello stoccaggio criogenico. Un altro problema con l'idrogeno è lo sforzo di compressione prima dello stoccaggio. A seconda del tipo di compressione utilizzata, l'energia necessaria varierà significativamente.

Per quanto riguarda il trasporto con i gasdotti, tenendo conto di tutti i costi di capitale e operativi, l'IEA stima che costerebbe circa 1 USD/kgH₂ trasportare l'idrogeno come gas per circa 1.500 km (figura 2.26). Per le navi, il gas di idrogeno deve essere liquefatto o convertito prima della trasmissione. Questo comporta un costo aggiuntivo da aggiungere al costo di movimentazione e stoccaggio dell'idrogeno, LOHC o ammoniaca.

Per l'idrogeno liquido, lo stoccaggio nei terminali di importazione ed esportazione è anche relativamente costoso. Il costo di conversione e movimentazione dell'idrogeno per 1.500 km via nave come LOHC o ammoniaca è di 0,6 USD/kgH₂ e di 1,2 USD/kgH₂ come idrogeno.

Una distanza di distribuzione di 100 km comporterebbe un prezzo dell'idrogeno consegnato (prima delle tasse e dei margini) compreso tra 7,5 USD/kgH₂ e 9 USD/kgH₂. Tenendo conto dell'efficienza di con-

versione superiore delle celle a combustibile rispetto ai motori a combustione interna, questo sarebbe equivalente a tra 1,1 e 1,3 USD per litro di benzina; questo è sotto i prezzi attuali alla pompa in Europa di circa 1,4 USD per litro, sebbene questi siano prezzi dopo le tasse (figura 2.27).

Vi sono inoltre da considerare i costi dell'energia. La figura 2.28 mostra nel rettangolo in blu il costo dell'equivalente idrogeno blu (prodotto da gas naturale). Come si vede dalla figura, man mano che il costo dell'elettricità diminuisce e la durata in esercizio dell'elettrolizzatore aumenta, il costo dell'idrogeno verde si avvicina sempre più al costo dell'idrogeno blu. Oltre 5000 ore di utilizzo di un elettrolizzatore, il costo di esercizio inizia a divenire sempre più conveniente.

Le infrastrutture

Secondo le stime attuali la creazione di un'infrastruttura per l'idrogeno è possibile con uno sforzo economico limitato. In questo contesto, i costi per il retrofit delle linee – inclusi dismissione, test di pressione dell'acqua, sostituzione di raccordi e soffianti e smantellamento delle connessioni, ecc. – possono essere stimati intorno al 10-15% di una nuova costruzione.

Le rotte dei gasdotti esistenti rappresentano un elemento estremamente prezioso del sistema di trasmissione. Sostituire o costruire nuovi gasdotti (noti come idrogenodotti) sarebbe invece molto costoso. Oltre ai costi tecnici, le procedure necessarie per la pianificazione e approvazione sono estremamente lunghe e costose, potendo richiedere da cinque a

FIGURA 2.26
Costi di trasporto dell'idrogeno in forma di gas e attraverso LOHC

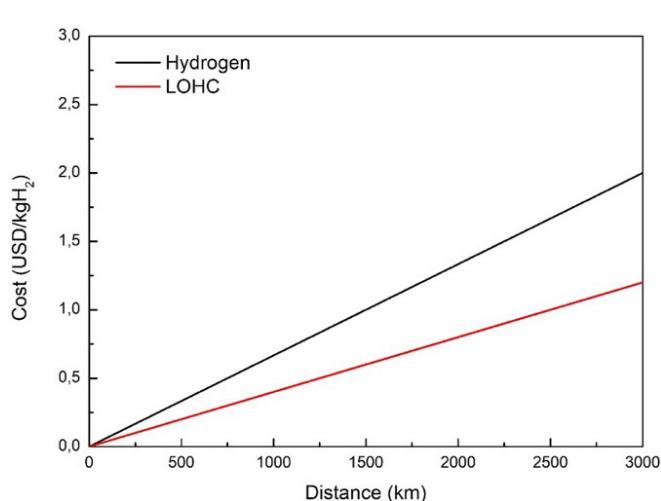


FIGURA 2.27
Costi di trasporto dell'idrogeno in differenti stati mediante gasdotto o trasporto su gomma

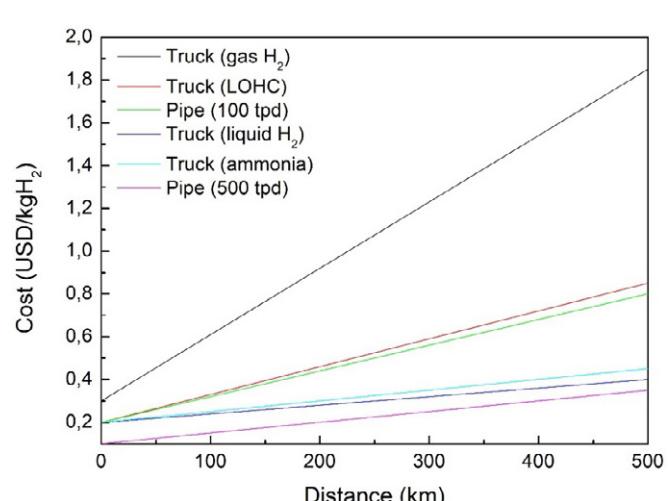
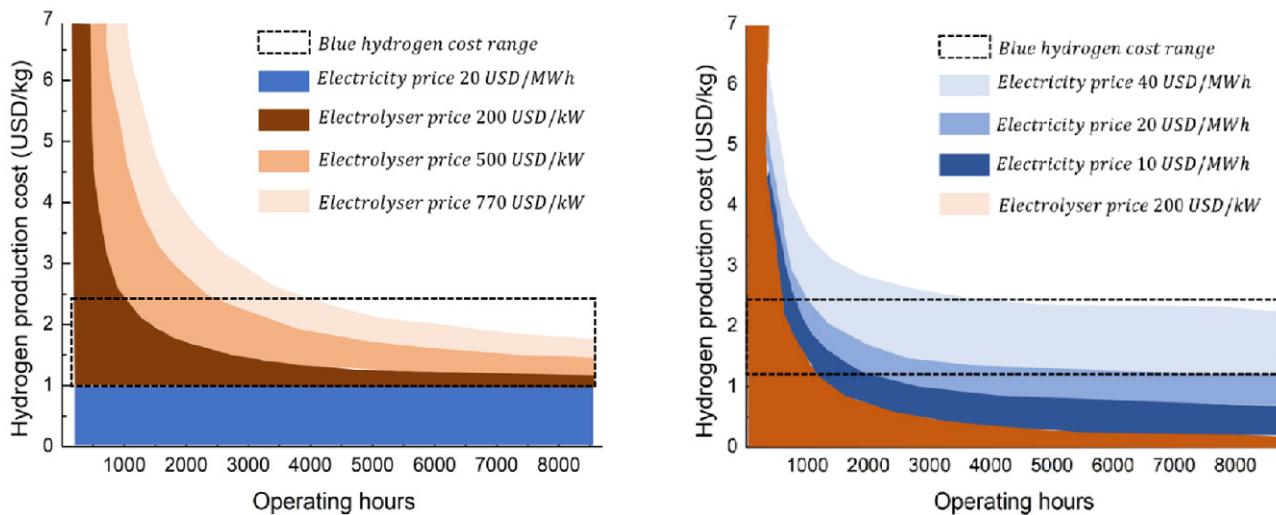


FIGURA 2.28

Costi dell'idrogeno in funzione del costo dell'energia elettrica e del tempo di funzionamento degli elettrolizzatori



sette anni dalla pianificazione iniziale alla messa in servizio. Tra l'altro, le rotte dei gasdotto della rete del gas, inclusi i loro diritti di passaggio e uso, sono disponibili e accettate dalla popolazione. Contrariamente a quanto si pensa, la densità energetica di trasporto dell'idrogeno è solo leggermente inferiore a quella del gas naturale; pertanto, il passaggio dal gas naturale all'idrogeno ha poco impatto sulla capacità di un gasdotto di trasportare energia. Nel caso dell'idrogeno si deve tenere in debito conto la tolleranza dei materiali utilizzati in temini di diminuzione della tenacità a frattura (fenomeno noto come "fragilità da idrogeno"). A seconda del grado di acciaio e delle condizioni operative del gasdotto, questa riduzione della tenacità può portare a danneggiamento di diversi componenti del gasdotto. Ad ogni buon conto, soluzioni a riguardo sono disponibili e in continua evoluzione. Comunque, nel caso dell'industria siderurgica

è consigliato produrre il preredotto in luoghi molto prossimi agli impianti di produzione degli agenti riducenti per ridurre o annullare tali problematiche.

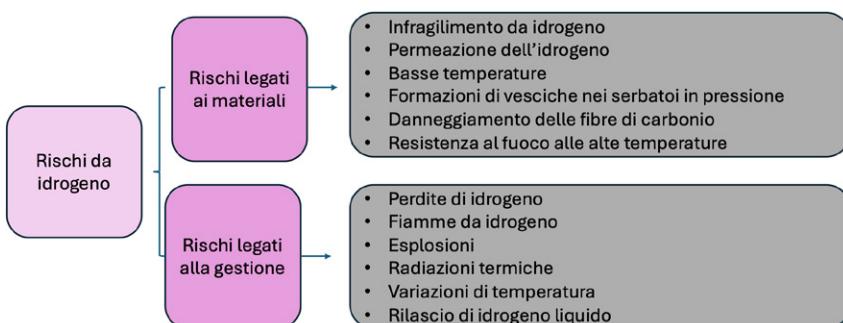
Come mostrato schematicamente nella figura 2.29, i problemi di sicurezza incontrati nelle applicazioni e nelle strutture dell'idrogeno possono essere classificati come (i) problemi legati alle proprietà dei materiali e (ii) problemi legati alla manipolazione dell'idrogeno.

I principali problemi di pericolo di manipolazione, che possono verificarsi ai serbatoi di stoccaggio di idrogeno liquido e compresso durante le operazioni, comportano spesso una perdita di contenimento (LOC). Una LOC è un rilascio incontrollato o non pianificato di materiali dal contenimento primario. Pertanto, le LOC coinvolgono sia fuoruscite che perdite: queste sono causate dal piccolo peso molecolare dell'idrogeno attraverso tubazioni o stoccaggio e

possono essere dovute a tubazioni danneggiate, raccordi allentati o una valvola nel sistema. Pertanto, qualsiasi piccola cricca o deformità all'interno del serbatoio comporta l'espulsione rapida del gas idrogeno. Le miscele di gas idrogeno con ossigeno atmosferico, a diverse concentrazioni, possono causare esplosioni. Le conseguenze di questi eventi hanno un impatto diretto o indiretto sugli esseri umani, sull'ambiente, sulle strutture e sulle proprietà. Il rilascio di idrogeno senza incidenti di

FIGURA 2.29

Problemi di sicurezza relativi all'applicazione dell'idrogeno



incendio è ancora un problema di pericolo, in particolare in spazi confinati, poiché causa asfissia. Questo perché l'H₂, che è un gas non tossico, sostituisce l'O₂ e quindi la concentrazione di ossigeno si riduce al di sotto del 19,5% in volume. L'accumulo di idrogeno in spazi chiusi adiacenti alla fonte pone quindi un pericolo di asfissia per le persone presenti.

Per quanto riguarda i principali problemi di pericolo legati alle proprietà dei materiali, l'idrogeno ha un punto di ebollizione molto basso, una densità molto bassa e una temperatura di accensione relativamente bassa di 585 °C, mentre il suo coefficiente di diffusione nell'aria è alto. Inoltre, l'idrogeno ha una bassa energia di accensione e un alto calore latente di combustione. La detonazione dell'idrogeno può verificarsi a un rapporto di concentrazione volumetrica di idrogeno nell'aria compreso tra il 4% e il 75%. D'altra parte, l'idrogeno ha un'alta permeabilità attraverso molti materiali. Queste proprietà rendono molto importanti le misure di sicurezza per l'idrogeno. Tecniche accurate di rilevamento dell'idrogeno sono fondamentali per misurare la concentrazione di idrogeno, in particolare in caso di perdite accidentali, poiché l'idrogeno è un gas incolore, inodore e insapiente, infiammabile e non rilevabile dai sensi umani.

Le sfide dell'idrogeno verde

Per sintetizzare, la tabella 2.2 sintetizza i principali limiti allo sviluppo dell'idrogeno.

2.2.2.2. H₂-DRI-EAF

Il processo produttivo

Questo ciclo di produzione, dall'estrazione mineraria alla produzione e stoccaggio del combustibile, dalla riduzione diretta alla produzione di acciaio negli EAF, implica una alimentazione completa tramite fonti rinnovabili (figura 2.30). Questo è uno scenario molto complesso. Un aspetto cruciale è rappresentato dalla posizione degli impianti di elettrolisi per produrre idrogeno, poiché questa è la sezione che consuma più elettricità dell'impianto integrato. A seconda dei requisiti di risparmio energetico, l'impianto di elettrolisi può essere posizionato vicino alla generazione di elettricità, ad esempio vicino a un parco eolico, e l'idrogeno può quindi essere trasportato tramite tubi all'impianto DRI, oppure potrebbe essere situato vicino all'impianto, a condizione che le condizioni del sistema energetico locale siano adeguate. Un'opzione è anche decentralizzare il sistema e posizionare gli elettrolizzatori separatamente vicino a diversi siti di produzione di energia. Nell'impianto DR l'idrogeno può essere utilizzato in due modi: o introdotto in un impianto a gas naturale come suo sostituto o l'impianto DR può essere basato al 100% su H₂. Il prodotto ottenuto dopo la riduzione tramite idrogeno può essere trasportato a un EAF in una posizione diversa (o pressato in ferro briquetato a caldo, HBI, che è favorevole per il trasporto).

FIGURA 2.30

Processo produttivo siderurgico H2-DRI-EAF

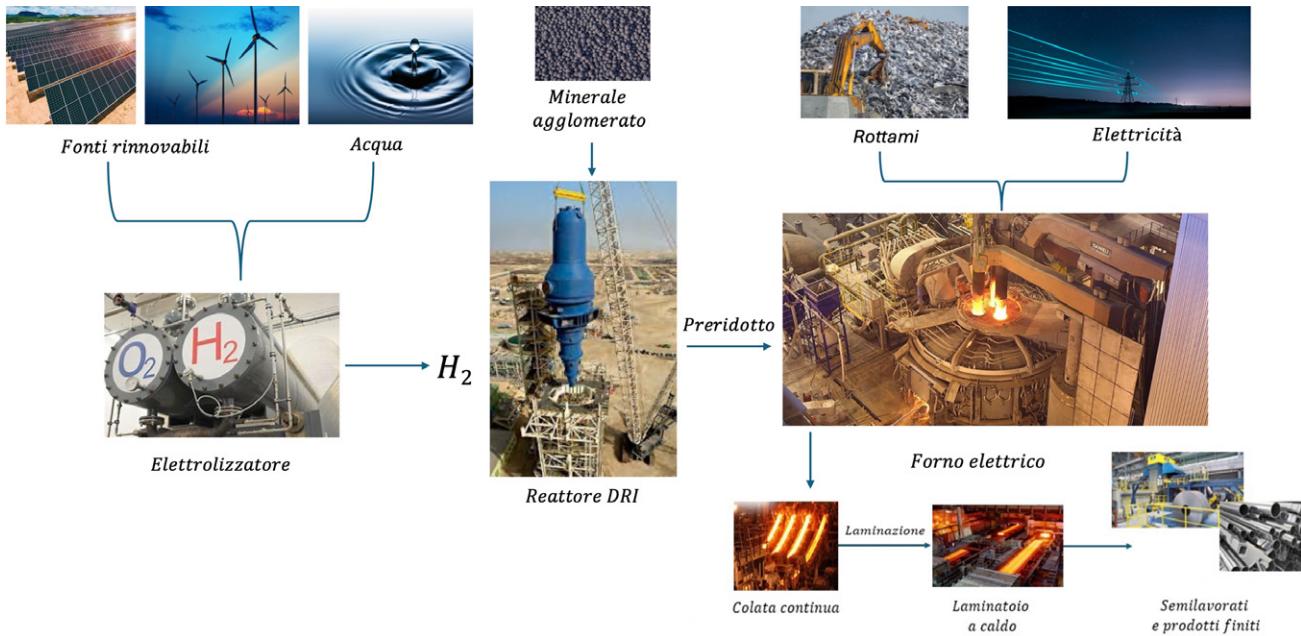
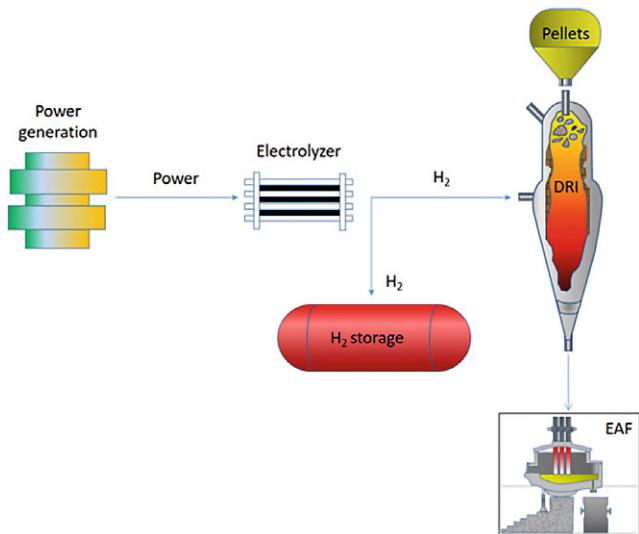


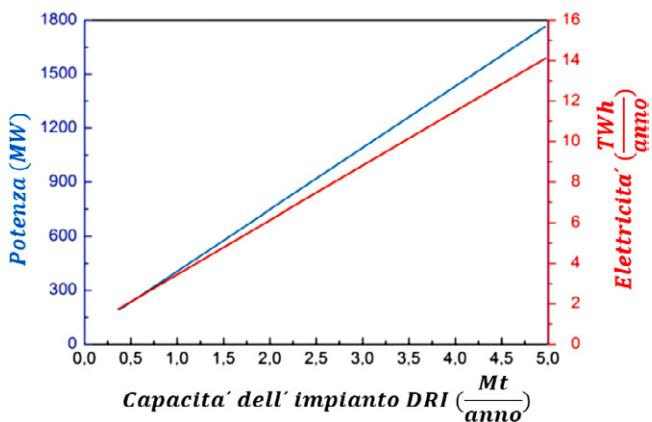
TABELLA 2.2**I principali limiti per lo sviluppo dell'idrogeno**

Materie prime	Ingente utilizzo di acqua per la sua produzione. Siccome non è possibile pensare di utilizzare acqua da rete idrica, occorre dotarsi di desalinizzatori per l'acqua di mare e di tecnologie di purificazione profonda delle acque reflue. Ingenti quantità di energia elettrica, anch'essa verde
Costi	Elevati, lungo l'intera catena del valore: dall'elettrolisi al trasporto, alle celle a combustibile
Infrastrutture	Mancanza di infrastrutture per il trasporto e lo stoccaggio, necessità di potenziamento della rete elettrica
Sicurezza	Problemi legati alle proprietà dei materiali e problemi legati alla manipolazione dell'idrogeno

FIGURA 2.31**Schema della produzione integrata di acciaio primario senza fossili****L'intensità energetica**

L'energia richiesta per la fusione nell'EAF dipende dalla temperatura di ingresso del DRI. Caricando il DRI caldo proveniente direttamente dal reattore a pozzo, si registra un aumento della produttività e una diminuzione del consumo energetico; pochi impianti nel mondo hanno l'assetto ideale con un EAF a valle dell'impianto DRI. Tuttavia, un numero significativo di impianti siderurgici riceve il DRI a temperatura ambiente; il preriscaldamento rappresenta un modo per aumentarne il valore d'uso prima che venga caricato nel forno.

Per dare un'idea del fabbisogno di elettricità, si consideri che per l'elettricità senza fossili nell'EAF la quantità di elettricità è di circa 0,5 MWh/t di acciaio liquido, mentre l'elettrolisi consuma più di 2,5 MWh/t di acciaio liquido. Per un sistema energetico basato su elettricità rinnovabile e intermittente, c'è

FIGURA 2.32**Domanda di potenza ed elettricità per la produzione di DRI**

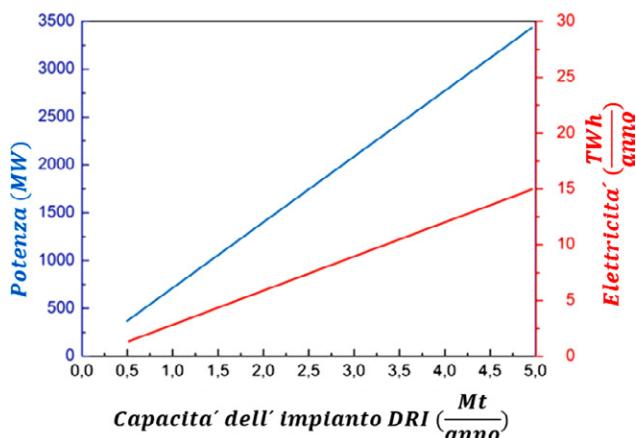
bisogno di bilanciare la potenza; pertanto, lo stoccaggio dell'idrogeno può svolgere un ruolo importante. Lo schema semplificato delle diverse sezioni delle analisi è mostrato nella Figura 2.31.

Per produrre 1 tonnellata di ferro spugnoso tramite HDRI sono necessari 50 kg di idrogeno. Il consumo di elettricità per Nm³ di idrogeno varia tra 4,6 e 5,6 kWh/Nm³, a seconda della tecnologia (elettrolisi alcalina o PEM) con una prevista diminuzione di circa 0,2-0,4 kWh/Nm³ per entrambe le tecnologie in futuro grazie ai miglioramenti tecnologici ed efficienza. I 50 kg di H₂ necessari per la produzione di 1 tonnellata di ferro spugnoso richiedono circa 2,5-3 MWh-(a seconda della tecnologia di elettrolisi) per la produzione di idrogeno. I requisiti di potenza ed elettricità a seconda della capacità del DRI sono mostrati nella Figura 2.32.

La tendenza si basa su una produzione di 8000 h/anno e un consumo di elettricità di 5 kWh/Nm³ dell'elettrolizzatore. Quindi, per produrre 1 milione di ton-

FIGURA 2.33

Domanda di potenza ed elettricità tenendo conto dello stoccaggio dell'idrogeno



nellate di ferro spugnoso sono necessari 2,7 TWh che corrispondono a 341 MW. Questi requisiti aumentano a 8,2 TWh e 1022 MW per un impianto da 3 Mt: al momento, questa è la dimensione massima degli impianti DRI installati. Se si raggiunge una capacità di 5 Mt, il requisito è di 13,6 TWh e 1700 MW.

Nel caso dello stoccaggio dell'idrogeno, la capacità dell'elettrolizzatore deve essere aumentata. Uno scenario ragionevole è considerare lo stoccaggio di idrogeno sufficiente a rifornire l'impianto H₂DRI per 7 giorni (figura 2.33). In questo scenario, il requisito per la capacità installata dell'elettrolizzatore è raddoppiato, cioè 680, 2044 e 3407 MW per 1, 3 e 5 Mt, rispettivamente. La soluzione ottimale si ritiene essere la posizione dell'impianto di elettrolisi direttamente collegato con le rinnovabili.

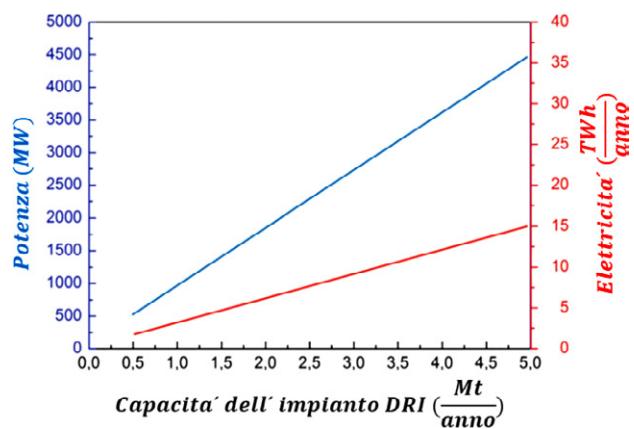
Nel caso di un parco eolico, il fattore di capacità è fissato a 0,35. In questo scenario, la capacità e l'elettricità da installare sono mostrate nella Figura 2.34. In questo caso, la capacità installata è di 900, 2700 e 4400 MW per tassi di produzione annuali di 1, 3 e 5 milioni di tonnellate di DRI, rispettivamente.

Dato che l'attuale dimensione media delle turbine eoliche onshore in Europa è di 2,7 MW, questo sarebbe equivalente a 330, 990 e 1650 turbine eoliche medie. Nel caso di un impianto rinnovabile solare fotovoltaico, l'occupazione del terreno è pari a 9, 27, 44 km² (ovviamente, questi numeri risultano considerando un'efficienza del 100% rispetto alla potenza nominale dell'impianto). La tabella 2.3 sintetizza i dati appena illustrati.

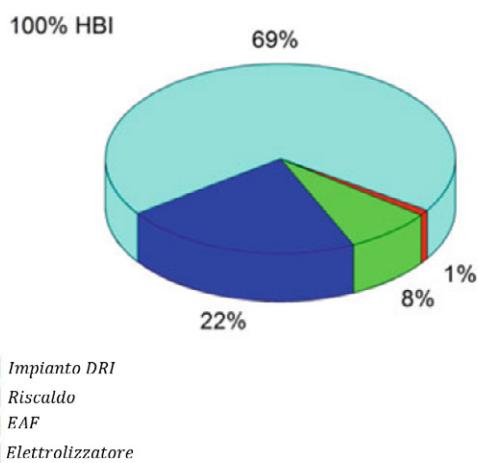
Tenendo in considerazione il consumo energetico dell'EAF, si deve considerare che esso può essere alimentato con HBI al 100% o con diverse percentuali

FIGURA 2.34

Domanda di potenza ed elettricità dell'elettrolizzatore collegato ad un parco eolico

**FIGURA 2.35**

Consumo energetico nella produzione integrata di DRI



di rottami; nel primo caso i risultati sono mostrati nella Figura 2.34: più dei due terzi del consumo energetico sono da imputare all'elettrolizzatore, seguito dal forno ad arco elettrico. È stata inoltre effettuata una valutazione del consumo energetico dell'intero impianto DRI-EAF accoppiato con l'elettrolizzatore per diverse portate di massa di idrogeno (figura 2.36).

Si osserva un aumento dell'elettricità necessaria per il riscaldamento dell'idrogeno con l'aumento della portata di massa. Il consumo di elettricità aumenta tra 3000 e 6000 kWh/t di acciaio liquido in funzione di tale portata. L'aumento massimo è dovuto all'elettricità necessaria per l'elettrolisi. Il minimo input energetico specifico per la riduzione dell'ossido

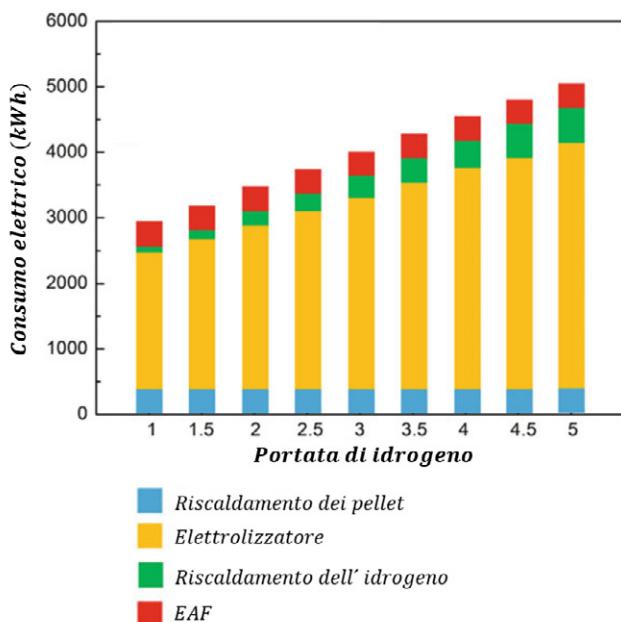
TABELLA 2.3

Intensità energetica richiesta per produzione di DRI in vari scenari

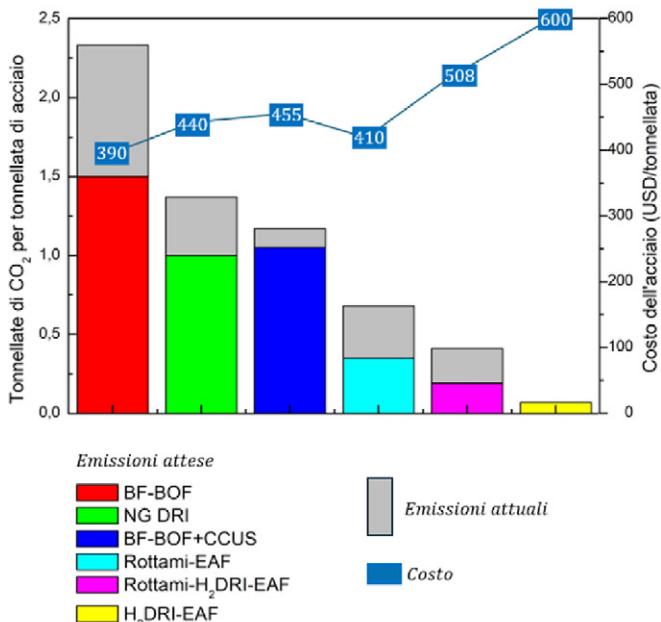
Impianto di DRI (produzione)	Intensità energetica	Stoccaggio idrogeno per rifornimento impianto DRI per 7 giorni	Parco eolico (fattore di capacità 0,35)
1 mln/t	2,7 TWh (341 MW)	680 MW	900 MW
3 mln/t	8,2 TWh (1022 MW)	2044 MW	2700 MW
5 mln/t	13,6 TWh (1700 MW)	3407 MW	4400 MW

FIGURA 2.36

Consumo di elettricità in funzione della portata di massa dell'idrogeno

**FIGURA 2.37**

Costi di produzione dovuti alla transizione all'idrogeno



di ferro a ferro tramite H_2 è di circa 6,5 GJ/t. Questo è il passaggio più energivoro dell'intero processo di produzione dell'acciaio e dovrebbe essere confrontato con 11 GJ/t per la produzione di DRI dagli attuali impianti di riduzione diretta moderni.

Analizzando lo scenario attuale è probabile che con l'aumento dei prezzi del carbone e delle quote di CO_2 , la produzione con il ciclo integrale (BF-BOF) e persino BF-CCS diventino non redditizi entro la metà del secolo. Al contrario, con una quota elevata di fonti di energia rinnovabile, la riduzione diretta con l'idrogeno (H_2 DRI) tenderà a diventare economicamente allettante nel prossimo futuro. Tuttavia, i costi di investimento elevati e l'elevata dipendenza dai prezzi dell'elettricità proibiscono un'implementazione redditizia prima del 2030-2040 senza sussidi.

Un'analisi provvisoria dei costi di decarbonizzazione porta alla conclusione che la trasformazione completamente rinnovabile comporta un aumento del 30-40% dei costi di produzione (figura 2.37). Con i costi attuali, la maggior parte dell'aumento è dovuto alla produzione dell'idrogeno verde. Come si nota, i costi di produzione rottami-EAF sono perfettamente comparabili con quelli del processo BF-BOF e più bassi rispetto al dover prevedere impianti di CCUS.

Le emissioni di anidride carbonica

La tabella 2.4. confronta le emissioni medie di CO_2 nelle diverse rotte produttive: il processo produttivo H_2 -DRI-EAF ha un livello di emissioni di anidride carbonica compreso tra l'80 e il 90% in meno della rotta tradizionale BF-BOF.

TABELLA 2.4

**Confronto tra cicli produttivi rispetto a intensità energetica ed emissioni di anidride carbonica
(1 GJ = 0,278 MWh)**

Ciclo produttivo	Intensità energetica (GJ/t)	Emissioni di CO ₂ /t	Variazione intensità energetica rispetto al ciclo integrale	Variazione emissioni CO ₂ rispetto al ciclo integrale
BF-BOF	22	2,1 ton	/	/
EAF (100% rottame)	10	0,2-0,6 ton	-54,5%	-0,85%; -65%
NG-DRI-EAF	20	0,4-1,4 ton	-9,1%	-80%; -45%
H2-DRI-EAF (100% idrogeno)	30	0,2-0,4 ton	36,4%	-90%; -80%

2.3. I principali progetti di decarbonizzazione di fabbriche a ciclo integrale in Europa¹

Il ‘parco altoforni’ europeo sta diventando obsoleto, avendo un’età media di 50 anni (Choksey et al. 2025). Siccome ogni altoforno necessita di una ristrutturazione sostanziale ogni 20 anni circa, al termine di ogni periodo le aziende siderurgiche si trovano a dover decidere se investire ingenti risorse per altri due decenni di attività o dismettere l’impianto. Di seguito si analizzano alcuni dei progetti di decarbonizzazione annunciati in Europa, Regno Unito compreso, con l’indicazione della trasformazione tecnica e dell’impatto previsionale sull’occupazione.

2.3.1. Tata Steel – Port Talbot (UK)



La fabbrica oggi e la sua trasformazione

Con una capacità produttiva di 4,7 mln/t annue, prodotte attraverso due altiforni (Eurofer 2020), lo stabilimento Tata Steel di Port Talbot è stato il primo stabilimento a ciclo integrale per capacità produttiva del Regno Unito. A settembre 2024 lo stabilimento ha chiuso la produzione per passare all’EAF: l’altoforno 4, varato nel 2013, è stato spento a metà del suo ciclo di vita. Le lastre di acciaio verranno spedite dai Paesi Bassi o dall’India per essere laminate e trattate a Port Talbot, fino a quando un nuovo EAF, alimentato con rottami di ferro, sarà completato per un investimento di circa 1,2

miliardi di sterline, di cui 500 milioni di finanziamento da parte del governo britannico.

I sindacati Community e GMB hanno proposto un approccio più graduale alla transizione, anche per evitare perdita di capacità produttiva domestica e un’eccessiva dipendenza da forniture esterne di rottami; più precisamente si suggeriva la chiusura dell’altoforno 5 e potenzialmente delle cokerie, mantenendo in funzione l’altoforno 4 con la sua capacità produttiva di 2mln/t di acciaio liquido. Accanto a questo altoforno si sarebbe inserito un EAF più piccolo da 1,5mln /t che funzionerebbe in parallelo per consentire l’abbattimento delle emissioni assicurando il mantenimento della produzione di 3,2mln/t di prodotti finiti, funzionali anche al mantenimento dei livelli occupazionali. In una fase successiva, a partire dal 2032, la proposta dei sindacati prevedeva la chiusura dell’altoforno 4 e l’inserimento di un ulteriore impianto EAF (o in alternativa un Open Slag Bath Furnace), con una capacità di almeno 2mln/t di acciaio liquido, potenzialmente associato ad un impianto DRI. Rispetto alla sostituzione dell’altoforno 5, il piano sindacale rimarcava la necessità di mantenere una certa apertura rispetto alle varie soluzioni tecnologiche utilizzabili, considerata la rapidità di innovazione nel campo della siderurgia verde. Il piano, infine, sottolineava la necessità di raggiungere una piena decarbonizzazione della produzione attraverso l’investimento in un impianto DRI e la fornitura di idrogeno. Ad oggi, tuttavia, non sembrano esservi progetti da parte di Tata Steel per l’introduzione di un impianto di DRI nello stabilimento di Port Talbot. La transizione verso EAF richiede grandi quantità di energia, molto più cara che in Europa. Il sinda-

¹ Le informazioni di questa sezione provengono da notizie di stampa affidabili, dai siti ufficiali delle imprese, dalle informazioni elaborate da associazioni del settore nonché dalle organizzazioni sindacali.

cato Unite sottolinea la necessità di porre un tetto ai prezzi dell'elettricità ed incoraggia la proprietà pubblica della rete.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Il progetto perseguito da Tata Steel comporterebbe un taglio della capacità produttiva di circa il 40%, che si traduce in una potenziale perdita di 2.800 posti di lavoro tra lo stabilimento di Port Talbot e Newport. Per i sindacati la dismissione del ciclo integrale deve realizzarsi solo quando la costruzione degli EAF sarà completata e tutti i posti di lavoro saranno tutelati. Il piano dei sindacati critica sia la proposta di Tata di ridurre la capacità produttiva e tagliare posti di lavoro sia la risposta del Governo di fornire finanziamenti all'azienda senza condizioni per la protezione dei posti di lavoro. Inoltre, in una prospettiva di rilancio e in una fase successiva, il piano propone di espandere la capacità produttiva con ulteriori EAF per raggiungere 6-9 milioni di tonnellate entro il 2034, di sviluppare la produzione di ferro DRI a idrogeno, costruire un impianto avanzato per la lavorazione del rottame e nuove infrastrutture a valle.

2.3.2. British Steel – Scunthorpe (UK)



La fabbrica oggi e la sua trasformazione

Con una capacità di 3,5mln /t annue, prodotte attraverso due altiforni (dei quattro inizialmente presenti), lo stabilimento British Steel di Scunthorpe è il secondo a ciclo integrale del Regno Unito. British Steel ha presentato dei piani per passare dalla produzione a ciclo integrale all'EAF, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di carbonio dell'85% e ad allinearsi ai target previsti dal Regno Unito. La società di ricerca e consulenza Syndex ha presentato una proposta che ha ottenuto l'approvazione del sindacato Community che la ritiene accettabile a condizione che ci sia un sostegno economico sui costi del carbonio nel periodo di transizione. La proposta di Syndex considera diverse opzioni, tra cui due EAF da 130 tonnellate ciascuno, un EAF da 300 tonnellate, la costruzione di un nuovo impianto siderurgico o l'integrazione degli EAF nell'impianto esistente. Viene raccomandata una configurazione con due EAF da 150 tonnellate installate in un nuovo impianto siderurgico costruito a Scunthorpe e il

mantenimento in funzione di due altoforni fino al 2028, e sino alla piena operatività dell'EAF (Syndex 2024). Nel caso di due EAF, la tempistica della chiusura del secondo altoforno potrebbe essere posticipata se la domanda di mercato e il costo delle materie prime consentiranno di ottenere una redditività sufficiente. Tale configurazione è considerata la più flessibile e la più efficace nel preservare i livelli di produzione e di occupazione (Syndex 2024).

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Il documento mette in evidenza come la transizione all'EAF avrà implicazioni per l'occupazione, con una riduzione prevista da circa 4.000 lavoratori nel 2024 a 2.100-2.300 lavoratori (-42/47%). Il mantenimento in funzione degli altiforni, mentre vengono introdotte le nuove tecnologie, consentirebbe una transizione più graduale, eviterebbe un eccesso di esuberi e fornirebbe più certezze a lungo termine per la fabbrica e per la comunità locale. La distribuzione dell'età della forza lavoro nello stabilimento offre qualche opportunità di mitigare gli esuberi attraverso programmi di pensionamento anticipato. Un posticipo di tre anni nella riduzione del personale (2028) potrebbe portare a una transizione più graduale, riducendo l'impatto degli esuberi, ma anche l'opportunità di preparare e qualificare i dipendenti per i nuovi ruoli associati alle operazioni di EAF. Secondo Syndex durante la fase di transizione vi è il potenziale per la creazione di 1.000-1.500 posti di lavoro legati alla ristrutturazione dello stabilimento e alla costruzione ed implementazione dei nuovi impianti per i forni elettrici, con benefici economici a breve termine per la comunità locale (Syndex 2024).

Ad aprile scorso (2025) il Governo britannico ha fatto approvare dal Parlamento lo Steel Industry (Special Measures) Act 2025 che gli ha conferito poteri straordinari per garantire la continuità della produzione di acciaio primario nel Regno Unito: la crisi di British Steel a Scunthorpe, azienda controllata dal gruppo cinese Jingye, che aveva deciso di interrompere l'approvvigionamento di materie prime essenziali per l'operatività degli altiforni, ha sollecitato un intervento di emergenza, del tutto inedito sul suolo inglese. Pur non configurandosi formalmente come una nazionalizzazione, l'intervento segna un chiaro passaggio di controllo: il governo assume la gestione operativa del sito, mentre la proprietà legale rimane a Jingye. Per mantenere in funzione gli altiforni e in attesa di soluzioni strutturali, in particolare la transizione verso gli EAF alimentati da rottame, è stato previsto un esborso di circa 230 milioni di sterline all'anno.

2.3.3. Tata Steel – IJmuiden (NL)



emissioni stimata di 1,8 tCO₂/t di acciaio prodotto. Nonostante l'impianto abbia già investito per ridurre le emissioni di CO₂, importanti progetti sono stati messi in cantiere per generare ulteriori e significativi abbattimenti, all'interno di un orizzonte di produzione di acciaio interamente sostenibile. Tra le varie opzioni considerate dagli studi di fattibilità, ha prevalso la combinazione di DRI e EAF, articolata in tre passaggi successivi, al fine di mantenere i livelli di produzione. Nel primo passaggio, da realizzare entro il 2030, si prevede di introdurre un impianto di DRI con una capacità produttiva di 2,5 mln/t in sostituzione di uno dei due altoforni. Nella seconda fase, da completare entro il 2037, si prevede l'installazione di un altro impianto di DRI da 3,5mln/t (o due impianti di portata inferiore) e la dismissione del secondo altoforno. Nella terza fase si prevede infine di ridurre l'utilizzo di gas naturale e incrementare contestualmente l'uso di idrogeno verde per raggiungere un ulteriore abbattimento delle emissioni. A tal fine sono necessari grandi quantità di elettricità prodotta da fonti rinnovabili, come nel caso dell'energia da impianti eolici offshore. Il fabbisogno stimato di idrogeno per l'impianto è di circa 380 kton all'anno che richiederà circa 4 GW di capacità annuale di elettrolisi verde.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Lo studio di fattibilità prodotto per Tata Steel dalla società di consulenza Roland Berger ha sottolineato come l'impatto occupazionale previsto sia duplice. Da un lato, la transizione creerà una quantità di occupazione aggiuntiva impiegata nella costruzione degli impianti DRI e degli EAF. A ciò va aggiunta la dismissione e lo smantellamento degli impianti esistenti e le necessarie modifiche dei processi logistici: sarà perciò necessario l'impiego di ingegneri, pianificatori, specialisti di autorizzazioni ambientali, ecc. Dall'altro, la società riconosce come la chiusura degli impianti di coke e gas naturale avrà delle ricadute sulla

forza lavoro assegnata a queste aree, dove lavorano 1.800 dei circa 9.300 dipendenti di TSN IJmuiden. Gli impianti e una parte dei processi logistici relativi alla lavorazione del carbone, del gas naturale e della sinterizzazione saranno gradualmente eliminati; in questi impianti lavorano circa 550 dipendenti. Per quanto riguarda i nuovi impianti di DRI e i fornì elettrici, Roland Berger stima che il numero di dipendenti necessari dovrebbe essere in linea con il numero di dipendenti attualmente impiegati su entrambi gli altiforni. Tuttavia, l'effettivo impatto occupazionale potrà variare in base a fattori quali le scelte effettuate rispetto alle tecnologie utilizzate, al turnover della forza lavoro ed alle professionalità necessarie.

2.3.4. Thyssenkrupp – Duisburg (DE)



Con una capacità produttiva di 11,6mln/t annue, prodotte attraverso quattro altiforni, lo stabilimento Thyssenkrupp di Duisburg è il più grande stabilimento a ciclo integrale per capacità produttiva in Germania (Eurofer 2020). Il Governo tedesco e lo Stato della North Rhine-Westphalia stanno finanziando la costruzione e la gestione del primo impianto DRI di Thyssenkrupp Steel per un totale di due miliardi di euro. Il più grande progetto di decarbonizzazione industriale in Germania è strettamente legato allo sviluppo di un'economia dell'idrogeno. Il progetto iniziale ha previsto la costruzione di un impianto di DRI ad idrogeno, per una capacità produttiva di 2,5mln/t, con finalizzazione dell'impianto prevista per la fine del 2026. Questo dovrebbe ridurre di oltre 3,5mln/t annue le emissioni di CO₂. Tuttavia, è stato rilevato che l'impianto DRI attualmente in costruzione potrebbe utilizzare gas fossile anziché idrogeno verde più a lungo di quanto inizialmente previsto. Il piano prevedeva che l'impianto funzionasse inizialmente con una miscela crescente di idrogeno verde a partire dal 2028, per poi passare interamente all'idrogeno a partire dal 2037; inoltre secondo Thyssenkrupp tutti e quattro gli altiforni del sito di Duisburg sarebbero stati progressivamente sostituiti da quattro impianti DRI. Tuttavia, la difficoltà nel contenere i costi operativi hanno portato a riconsiderare i piani iniziali. L'attuale piano prevede il completamento dell'impianto di DRI già in costruzione e la sostituzione di due altoforni

(l'altoforno 8 e 9) con l'impianto DRI a cui saranno asserviti due innovativi fonditori elettrici entro il 2030, con una capacità totale di 2,2mln/t all'anno. Una decisione futura potrebbe portare alla sostituzione di un altro altoforno con un forno elettrico ad arco di ultima generazione. Si stima che l'impianto richieda almeno 104.000 tonnellate di idrogeno verde entro il 2028, aumentando fino a 151.000 tonnellate annue entro il 2036-2037.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Relativamente ai fabbisogni di competenze, Thyssenkrupp ha avviato assieme alla Camera di Commercio di Duisburg, all'Università di Duisburg-Essen e a un centro di formazione professionale lo sviluppo e l'erogazione di una qualificazione specifica sull'utilizzo dell'idrogeno in ambito industriale al fine di allineare la formazione ai fabbisogni industriali.

2.3.5. Voestalpine – Linz (AT)



La fabbrica oggi e la sua trasformazione

Con una capacità produttiva di 4,3 mln/t annue, prodotte attraverso tre altiforni, lo stabilimento siderurgico Voestalpine di Linz è il più grande stabilimento siderurgico austriaco a ci-

clo integrale (Eurofer 2020). Voestalpine ha avviato nel 2024 il programma "Greentec Steel", un piano graduale da 1,5 miliardi di euro che consente alla società di allinearsi agli obiettivi climatici. In una prima fase, è prevista la sostituzione di un altoforno in ciascuno dei siti di Linz e Donawitz con un EAF alimentato da elettricità prodotta da fonti rinnovabili, che porterebbe ad una riduzione delle emissioni di circa il 30% a partire dal 2029 rispetto al 2019, e con un taglio annuo di quasi 4 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Il forno elettrico che verrà installato nello stabilimento di Linz avrà una capacità di 180 tonnellate per carica, per una produzione annua di 1,6 mln/t, mentre la capacità annua dell'EAF di Donawitz è stimata a 850.000 tonnellate annue. L'entrata in funzione di entrambi i forni elettrici è prevista per il 2027 e Voestalpine anticipa una produzione totale di 2,5 mln/t annue di acciaio a bassa emissione di CO₂ a partire dal 2027. L'EAF verrà alimentato da un mix di rottami, ghisa liquida e HBI prodotto da un impianto di DRI in Texas, di cui Voestalpine detiene una quota del 20%. All'interno

del progetto H2Future è stato costruito a Linz un impianto dimostrativo di elettrolisi da 6MW per la produzione di idrogeno verde. Perché la produzione di acciaio a zero emissioni di CO₂ possa realizzarsi, l'energia rinnovabile necessaria dovrebbe provenire da una rete esterna (laddove attualmente è in larga misura prodotta attraverso il recupero interno dei combustibili fossili). Nel caso di Voestalpine, ciò equivale a più di 30 grandi centrali idroelettriche.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Voestalpine ha affermato che la transizione verso l'utilizzo dell'EAF comporterà un fabbisogno di ulteriori 200 dipendenti da impiegare nei nuovi impianti di produzione dell'acciaio a Linz (125 nella produzione, 60 nella meccanica, 15 nel comparto elettrico). La previsione fatta è che, tra il 2024 e il 2026/27, la richiesta di personale possa crescere ulteriormente con l'entrata in funzione del nuovo approvvigionamento di materie prime dell'acciaieria. La società ha anche rassicurato che dalla dismissione del primo altoforno non ci sarà alcuna perdita di posti di lavoro, sottolineando che ciò che conta, tuttavia, è l'apprendimento continuo e la volontà di adattarsi all'andamento del progetto. Ad esempio, dal 2022 è stato avviato un programma di qualificazione avanzata relativo all'ingegneria elettrica per i dipendenti della durata di due anni e mezzo.

2.3.6. Salzgitter AG – Salzgitter (DE)



La fabbrica oggi e la sua trasformazione

Con una capacità produttiva di 4,8 mln/t annue, prodotte attraverso tre altiforni, lo stabilimento siderurgico Salzgitter AG di Salzgitter è il secondo stabilimento siderurgico a ciclo integrale della Germania dopo Duisburg (Eurofer 2020); qui la produzione attraverso il ciclo integrale genera circa 8 mln/t di CO₂ all'anno. Nel maggio del 2023 la società ha annunciato un progetto per l'abbattimento delle emissioni attraverso l'implementazione di un impianto di DRI ad idrogeno come parte del programma "SALCOS - Salzgitter Low CO2 Steelmaking". SALCOS prevede la produzione di idrogeno verde e la conversione della produzione di acciaio dagli altiforni ad una combinazione di DRI e forno elettrico, inizialmente basata sul gas naturale e successivamente sull'idrogeno, con un

abbattimento delle emissioni di CO₂ di oltre il 95%.

L'unità per il DRI è progettata per avere una capacità produttiva di oltre 2 mln/t l'anno. L'obiettivo è il raggiungimento di una produzione di acciaio quasi priva di emissioni di CO₂, da realizzare per fasi consecutive.

La conclusione della prima fase è prevista per la fine del 2025, e consiste nell'implementazione di un impianto di DRI, un EAF e un impianto di elettrolisi da 100 MW per la produzione di idrogeno. La società prevede l'avvio della produzione attraverso il nuovo processo a partire dal 2026, ed entro la fine del 2033 si prevede il completamento della trasformazione.

L'impianto di DRI si basa sulla tecnologia "Energiron ZR Direct Reduction", sviluppata congiuntamente da Tenova e Danieli, che può funzionare in modo flessibile con idrogeno e gas naturale in qualsiasi rapporto di miscelazione. Si prevede che l'impianto sarà in grado di fornire già metà della capacità totale di DRI prevista prima del 2033. Sarà inoltre collegato al vicino EAF tramite un sistema di trasporto pneumatico, in modo che i pellet di preredotto possano essere immessi nel forno a temperature ancora elevate, anche se provengono da distanza.

Ciò garantisce l'efficienza energetica dell'intero processo. Inoltre, attraverso il progetto WindH2, Salzgitter AG sta portando avanti una sperimentazione di produzione di idrogeno verde basato sull'energia eolica. Sono state costruite sette turbine eoliche con una potenza di 30MW, tre delle quali si trovano nell'area dell'acciaieria. L'obiettivo è di acquisire esperienza operativa nella generazione di idrogeno da energie rinnovabili per poi l'implementarla su scala industriale.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Nessuna informazione è reperibile rispetto alle previsioni sull'impatto occupazionale.

2.3.7. SSAB – Luleå (SE)



La fabbrica oggi e la sua trasformazione

Con una capacità produttiva di 2,2 mln/t annue, prodotte attraverso un altoforno, lo stabilimento siderurgico SSAB di Luleå è il primo stabilimento siderurgico

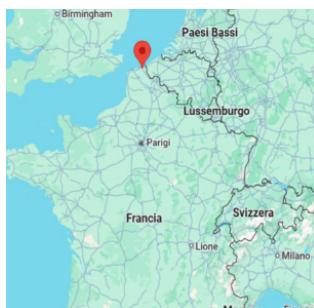
a ciclo integrale della Svezia (Eurofer 2020). Nel 2016 SSAB, in collaborazione con le società LKAB e Vattenfall, ha dato avvio al programma HYBRIT (*Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology*) con l'obiettivo di sviluppare una tecnologia per la produzione di ferro e acciaio slegata dall'utilizzo di fonti fossili. Ad agosto 2020 è stato commissionato un impianto pilota per la produzione di preredotto senza l'uso di agenti fossili a Luleå, e a marzo 2021 è stata individuata l'area di Gällivare come sede dell'impianto dimostrativo previsto per la produzione su scala industriale. Con il programma HYBRIT, le tre società intendono riorganizzare il processo produttivo, creando una catena del valore completamente priva di combustibili fossili già nel 2026. Il nuovo stabilimento di Luleå è concepito per avere una capacità produttiva di 2,5 mln/t all'anno; sarà composto da due EAF, da un impianto di laminazione diretta e da un complesso di laminazione a freddo. Lo stabilimento sarà alimentato con una miscela di DRI proveniente da Gällivare e da rottami. L'impianto di produzione di idrogeno verde a Gällivare utilizzerà una capacità di circa 500 MW di elettrolizzatori alimentati da energia elettrica non fossile. Il nuovo impianto avrà costi fissi più bassi, maggiore efficienza, tempi di consegna più brevi e consentirà l'eliminazione dei costi legati alla CO₂. L'avvio del nuovo laminatoio è previsto per la fine del 2028 e la piena capacità per la fine del 2029. Una volta completato, SSAB dismetterà l'attuale sistema basato sull'altoforno. Ai piani relativi allo stabilimento di Luleå si aggiungono quelli che riguardano lo stabilimento di Oxelösund, la cui conversione è prevista già entro il 2025. Qui SSAB ha avviato la sostituzione dei due altiforni presenti nello stabilimento con un EAF, utilizzando il preredotto come materia prima per produrre acciaio di alta qualità. È stato stimato che l'impiego della tecnologia HYBRIT possa ridurre le emissioni complessive di CO₂ della Svezia di circa il 10%. Nell'ambito del programma HYBRIT è stato progettato e costruito un impianto di stoccaggio di idrogeno da 100m³ all'interno di caverne rocciose rivestite in acciaio a Svartöberget, adiacente all'impianto pilota di DRI a Luleå. I test completati nel febbraio 2025 hanno dimostrato che l'impianto è in grado di sostenere un'utenza di idrogeno su larga scala e che è possibile ottenere un risparmio di circa il 25-40% dei costi operativi della produzione di idrogeno. Lo scopo dell'impianto di stoccaggio dell'idrogeno è principalmente quello di poter adattare la produzione di idrogeno alle fluttuazioni del mercato elettrico. In tal modo, i costi di produzione dell'idrogeno vengono ottimizzati producendo e stoccardo quando i prezzi dell'elettricità sono bassi, e

riducendo la produzione e utilizzando l'idrogeno stoccati quando i prezzi sono più alti.

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Nessuna informazione è reperibile rispetto alle previsioni sull'impatto occupazionale.

2.3.8. Arcelor Mittal – Dunkerque (FR)



Con una capacità produttiva di circa 6,7 mln/t annue, prodotte attraverso tre altiforni, lo stabilimento siderurgico Arcelor Mittal di Dunkerque è il primo stabilimento siderurgico a ciclo integrale della Francia (Eurofer 2020). Nel febbraio 2022, Arcelor Mittal aveva annunciato un investimento di 1,7 miliardi di euro per la decarbonizzazione dei suoi siti francesi (Dunkerque e Fos-sur-Mer), con l'obiettivo finale di ridurre le emissioni complessive di CO₂ quasi il 40% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2018. Tale piano di investimento, sostenuto dal governo francese, prevedeva anche la realizzazione di un'unità di DRI con una capacità annuale di 2,5 mln/t. Il piano di decarbonizzazione ha subito tuttavia un importante rallentamento e i comunicati più recenti da parte della società parlano di investimenti per 1,2 miliardi, relativi all'installazione di un EAF nello stabilimento di Dunkerque. Alcuni commentatori hanno sottolineato che tale progetto rappresenta solo una frazione dei piani originali che includevano un'unità DRI basata sull'idrogeno e che l'annuncio sull'investimento a Dunkerque è più una dichiarazione d'intenti che una decisione finale di investimento. È stato inoltre fatto notare che, da un punto di vista climatico, la creazione di un EAF senza garantire una fonte di elettricità e di ferro a basse emissioni, sia esso rottame o preredotto, solleva interrogativi sulle emissioni di gas serra.²

Previsioni di impatto sull'occupazione e i profili professionali

Nessuna informazione è reperibile rispetto alle previsioni sull'impatto occupazionale.

2.4. Il progetto H2 Green Steel a Boden (Svezia)



Fondata nel 2020 da Vargas, un incubatore di imprese innovative, H2 Green Steel ha l'obiettivo di costruire un impianto di produzione di acciaio verde su larga scala. L'impianto prevede un elettrolizzatore PEM e alcalino da 700

MW, un impianto DRI con una capacità nominale di 2,1 mln/t all'anno, un EAF da alimentare con DRI e rottami e linee di produzione a valle per produrre 2,5 mln/t di prodotti finiti in acciaio all'anno. È stata già pianificata una seconda fase di espansione della capacità produttiva. L'acciaio prodotto sarà a bassissimo tenore di carbonio; questo significa che lo stabilimento produrrà prodotti verdi di acciaio al carbonio piatto e di alta qualità destinati principalmente ai settori automobilistico, edile, delle attrezzature industriali e dell'energia.

Il processo DRI a base di idrogeno, combinato con impianti a valle elettrificati, abbatterà circa il 90% o più delle emissioni associate ai tradizionali processi di produzione primaria. Il progetto trova giustificazione in una serie di considerazioni sul futuro che porterà a rendere sempre meno redditiva la produzione tramite il ciclo integrale: tra le altre, le scelte europee legate al Green Deal; la diminuzione delle quote nell'ambito del sistema ETS e il meccanismo di adeguamento al confine del carbonio (CBAM); la crescente domanda di prodotti decarbonizzati da parte dei consumatori.

La produzione di acciaio a base di idrogeno verde è più costosa della produzione con il carbone tradizionale anche se l'obiettivo è una progressiva riduzione di questo costo. Il modello di business seguito da H2 Green Steel si basa quindi sulla domanda di clienti disposti a pagare di più per l'acciaio verde. Nel maggio 2022, H2 Green Steel ha annunciato la firma di contratti a lungo termine (5-7 anni) con impegni di volume da parte di clienti di vari settori; si tratta di volumi aggregati pre-venduti per circa 1,5 mln/t all'anno di acciaio, corrispondente al 60% della futura capacità di produzione dell'impianto. Sempre nel

² Nel 2021 AM aveva annunciato dei piani per la realizzazione di un impianto di DRI a Brema e per l'installazione di nuovi EAF a Brema e Eisenhüttenstadt, con l'obiettivo di produrre complessivamente fino a 3,5 milioni di tonnellate di acciaio all'anno entro il 2030. Il governo federale tedesco ha offerto 1,3 miliardi di euro di sovvenzioni per questi progetti. Recentemente, tuttavia, a causa degli elevati costi energetici, delle incertezze di mercato e della scarsa competitività economica dell'idrogeno, AM ha deciso di interromperli, notificando la decisione al governo tedesco.

2022 l'azienda ha annunciato un contratto di 7 anni con la Statkraft per la fornitura di 2 TWh all'anno di fornitura di energia elettrica rinnovabile per la produzione di acciaio verde.

La fabbrica di Boden è stata costruita vicino agli impianti idroelettrici svedesi ma lontano dai principali centri di consumo di energia, in modo da evitare ulteriori enormi investimenti per le infrastrutture elettriche. L'accesso al porto in acque profonde e le infrastrutture logistiche in entrata e in uscita sono altri aspetti decisivi per lo sviluppo della fabbrica. È interessante sottolineare che H2 Green Steel finanzia il suo primo progetto attraverso una combinazione di capitale proprio a livello della holding e a debito a livello di società. Gli investitori azionari di H2 Green Steel sono principalmente interessati alla decarbonizzazione complessiva dell'industria piuttosto che ad un unico progetto, come ad esempio Hitachi Energy.

Per quanto riguarda l'occupazione l'H2 Green Steel ha previsto una fase intensiva di reclutamento, circa 600 assunzioni entro il 2025, con l'obiettivo di avere circa 1.500 dipendenti in organico entro l'inizio del 2026. Il piano di reclutamento prevede una vasta gamma di competenze e ruoli, che includono tecnici, assemblatori, meccanici, elettricisti, operatori di processo, personale di manutenzione. Sono richieste inoltre competenze specifiche in elettrolisi, produzione di DRI, fusione e laminazione a caldo, nonché in digitalizzazione e machine learning. L'azienda cerca anche competenze più generali in aree come finanza, acquisti e risorse umane.

2.5. La decarbonizzazione e il ruolo degli Stati

La decarbonizzazione completa del settore siderurgico richiede ingenti risorse finanziarie ai diversi attori coinvolti: imprese, stati, Unione Europea. La Commissione europea ha approvato aiuti di Stato per quasi 9,3 miliardi di euro, principalmente sotto forma di sovvenzioni dirette, per progetti che prevedono l'uso di idrogeno rinnovabile o a basso tenore di carbonio prodotto mediante elettrolisi per gli impianti di DRI, nonché EAF e altri impianti ausiliari (per esempio elettrolizzatori, unità di fusione). Dal canto loro, le imprese chiedono incentivi finanziari e migliori condizioni per far fronte alla fase di transizione (Choksey et al. 2025). In questo contesto è cruciale il ruolo degli Stati anche per salvaguardare gli interessi di una industria ritenuta 'strategica' per i singoli interessi nazionali (tabella 2.5). L'impegno profuso in tal senso è, tuttavia, variegato. La Germania ha stanziato oltre 7 miliardi di

euro per decarbonizzare l'industria siderurgica, tra l'altro prevedendo risorse finanziarie per i costi operativi degli impianti di DRI. Altri Paesi, quali Belgio, Francia, Spagna e Svezia sperano che il sostegno finanziario per le spese in conto capitale favorisca il mantenimento dei progetti di decarbonizzazione delle imprese, talvolta accantonati per via della complessità della realizzazione, per gli eccessivi costi e per politiche ritenute insufficienti, come AM per il sito di Dunkerque.

2.6. Il contesto normativo comunitario: una rassegna

Gli interventi normativi comunitari che verranno passati in rassegna e altri hanno l'obiettivo di creare le condizioni per la creazione di un mercato dell'acciaio 'verde'. La trasformazione dei processi produttivi nel settore presentano notevoli complessità tecniche e richiedono ingenti investimenti per cui risulta indispensabile un sostegno pubblico che incida, tra l'altro, sulla trasformazione della produzione e sulla realizzazione delle infrastrutture. Inoltre, per ampliare la domanda di acciaio verde una leva consiste nel favorire committenze della Pubblica Amministrazione verso beni siderurgici decarbonizzati. Per ampliare l'offerta le politiche agiscono su più leve. Per la trasformazione della produzione in particolare il settore sembra necessitare non soltanto di risorse destinate alle spese in conto capitale (CapEx) per la trasformazione/sostituzione degli impianti ma anche di finanziamenti e interventi indirizzati al supporto dei costi operativi (OpEx). In questo quadro le politiche che consentono l'accessibilità all'energia a costi contenuti risultano cruciali per garantire la competitività delle imprese; rispetto a questo si menzionano i *Power Purchase Agreements* (PPA) che sono accordi di lungo termine tra un fornitore e un cliente per l'acquisto di energia elettrica rinnovabile ad un prezzo fisso precedentemente concordato, e i contratti per differenza, fissati da un'autorità pubblica attraverso i quali essa si impegna a coprire la differenza del prezzo dell'energia se questo dovesse discostarsi da quello del valore stipulato. Altre misure riguardanti l'offerta vengono analizzate di seguito.

2.6.1. L'EU ETS

Il Sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra (EU ETS) è il principale strumento adottato dall'Unione europea per raggiungere gli obiettivi di riduzione della CO₂ nei principali set-

TABELLA 2.5**Risorse finanziarie allocate dagli Stati europei per la transizione siderurgica (mld euro)**

Fonte: elaborazione da Choksey et al. 2025

Paese	Anno	Impresa	Località	Risorse (euro)	Breve descrizione
Germania	2023	ThyssenKrupp	Duisburg	2.3 mld	Costruzione e installazione di un impianto DRI e 2 EAF. Sostegno per il prezzo dell'idrogeno fino al 2027
	2023	Stahl-Holding-Saar	Saarland	2.6 mld	Costruzione di un impianto di DRI e 2 EAF. Iniziale uso di gas, successivo passaggio ad energie rinnovabili
	2023	AM	Bremen	1.3 mld	Costruzione di un impianto di DRI e 3 EAF. Iniziale uso di gas, successivo passaggio ad energie rinnovabili
	2023	AM	Amburgo	55 mln	Impianto dimostrativo 100% idrogeno
	2022	Salzgitter	Bassa Sassonia	1 mld	Costruzione di un impianto di DRI e un EAF. Iniziale uso di gas, successivo passaggio ad energie rinnovabili
Svezia	2024	H2 Green Steel/Stegra	Boden	260 mln	Realizzazione impianto siderurgico alimentato a idrogeno
	2022	Hybrit	Lulea	400 mln	Impianto di DRI, impianto di stoccaggio di idrogeno
Francia	2023	AM	Dunkerque	850 mln	Costruzione di un impianto di DRI e 2 EAF.
Belgio	2023	AM	Ghent	280 mln	Costruzione di un impianto di DRI e un EAF.
Spagna	2023	AM	GiJon	460 mln	Costruzione di un impianto di DRI e un EAF.

tori industriali e nel comparto dell'aviazione. Si tratta di un meccanismo di tipo cap&trade, ovvero fissa un tetto massimo complessivo alle emissioni consentite sul territorio europeo nei settori interessati (cap) cui corrisponde un equivalente numero “quote” (1 ton di CO₂eq. = 1 quota) che possono essere acquistate/vendute su un apposito mercato (trade). Ogni operatore industriale/aereo attivo nei settori coperti dallo schema deve “compensare” su base annuale le proprie emissioni effettive (verificate da un soggetto terzo indipendente) con un corrispondente quantitativo di quote. Le quote possono essere allocate a titolo oneroso o gratuito. Nel primo caso vengono vendute attraverso aste pubbliche alle quali partecipano soggetti accreditati che acquistano principalmente per compensare le proprie emissioni ma possono alimentare il mercato secondario del carbonio. Nel secondo caso, le quote vengono assegnate gratuitamente agli operatori a rischio di delocalizzazione delle produzioni in Paesi caratterizzati da standard ambientali meno stringenti rispetto a quelli europei (c.d. carbon leakage o fuga di carbonio). Le assegnazioni gratuite sono appannaggio dei settori manifatturieri e sono calcolate prendendo a riferimento le emissioni degli impianti più “virtuosi” (c.d. benchmarks, prevalentemente basati sulle produzioni più efficienti).

L’ETS in tutta Europa interessa oltre 11.000 impianti industriali e circa 600 operatori aerei. In Italia sono disciplinati più di 1200 soggetti che coprono circa il 40% delle emissioni di gas serra nazionali (Ministero dell’ambiente e della sicurezza energetica). In pratica l’ETS attribuisce un valore alla tonnellata di CO₂, le cosiddette quote di emissioni. Queste devono essere acquistate dalle industrie per un ammontare corrispondente alle loro emissioni annue. Il settore siderurgico è beneficiario di quote a titolo gratuito che però vanno gradualmente eliminate per l’entrata in vigore del CBAM.

2.6.2. Il CBAM

Il Regolamento 2023/956 del maggio 2023 istituisce un Meccanismo di Adeguamento del Carbonio alle Frontiere. Il CBAM si propone di applicare all’importazione in UE di determinati prodotti, tra cui la gran parte di quelli siderurgici, un meccanismo che integri e rispecchi il sistema ETS a cui sono soggetti i produttori UE, per contrastare il fenomeno della rilocalizzazione delle emissioni (carbon leakage) nei settori più esposti alla concorrenza internazionale.

In pratica si tratta del pagamento di un prezzo sulle emissioni incorporate in prodotti importati extra-EU, salvaguardando in questo modo gli obiettivi climatici fissati dall'UE. Il meccanismo è progettato per fare in modo che gli importatori in UE dei prodotti soggetti paghino lo stesso costo del carbonio sostenuto dai produttori UE dei medesimi prodotti, attraverso l'obbligo di acquistare e restituire annualmente un numero di certificati CBAM (valorizzati al prezzo della quota ETS) pari alle emissioni "incorporate" nei prodotti importati. Il sistema dovrebbe disincentivare le imprese che trasformano e ri-esportano i prodotti e beneficiare i produttori interni. Questo meccanismo andrà progressivamente a sostituire l'assegnazione di quote gratuite ETS ai produttori UE, fino alla completa eliminazione delle stesse dal 2034. Il Regolamento prevede un'entrata in vigore graduale degli obblighi a carico degli importatori e una piena operatività solo a partire dal 1° gennaio 2026. Nel corso della fase transitoria, iniziata ad ottobre 2023, l'unico obbligo per gli importatori è quello di comunicare le emissioni incorporate nelle merci acquistate, senza pagare la tariffa CBAM (Federacciai, 2023).

2.6.3. Il Regolamento UE sulle materie prime critiche

Nel marzo 2024 il Consiglio Europeo ha adottato il regolamento sulle materie prime critiche (ad. es. nichel, litio, grafite, magnesio, cobalto, berillio, rame, fosforo, manganese), ritenute elementi cruciali per la transizione ecologica. Si tratta di materie prime anche con un elevato rischio di perturbazione dell'approvvigionamento a causa della concentrazione delle fonti e della mancanza di sostituti validi e a prezzi accessibili. La produzione locale a scala EU è pertanto fondamentale. Rispetto a questo l'UE intende aumentare e diversificare l'approvvigionamento di materie prime critiche dell'UE, rafforzare la circolarità, compreso il riciclaggio, sostenere la ricerca e l'innovazione in materia di efficienza delle risorse e sviluppo di sostituti.

Si tratta di tutelare le catene del valore industriali (le materie prime non energetiche sono collegate a tutte le industrie lungo tutte le fasi della catena di approvvigionamento), le tecnologie strategiche in settori come spazio e difesa, il clima, l'energia e l'ambiente (le tecnologie pulite, insieme alla digitalizzazione, richiedono materie prime, insostituibili nei pannelli solari, nelle turbine eoliche, nei veicoli elettrici e nell'illuminazione efficiente sotto il profilo energetico).

2.6.4. Il Piano di azione europeo per l'acciaio e i metalli

Questo piano d'azione si basa su sei pilastri principali: garantire energia pulita abbondante e accessibile; prevenire la fuga di emissioni di carbonio; promuovere e proteggere le capacità industriali europee; promuovere la circolarità per i metalli; difendere posti di lavoro industriali di qualità; e ridurre i rischi attraverso mercati guida e sostegno agli investimenti.

L'obiettivo è garantire un approvvigionamento energetico accessibile e sicuro per il settore, favorendo l'uso degli accordi di acquisto di energia e incoraggiando gli Stati membri a sfruttare la flessibilità fiscale dell'energia e ridurre le tariffe di rete per mitigare la volatilità dei prezzi dell'elettricità. Il piano promuove un più rapido accesso alla rete per le industrie ad alta intensità energetica e supporta l'uso crescente di idrogeno rinnovabile e a basse emissioni di carbonio nei settori. Si intende inoltre prevenire la perdita di carbonio; per questo motivo la Commissione si è impegnata a pubblicare una comunicazione su come affrontare il problema della rilocizzazione delle emissioni di carbonio per le merci CBAM esportate dall'UE verso paesi terzi e a riesaminare il CBAM, probabilmente estendendo il suo campo di applicazione; si intende sia espandere e proteggere le capacità industriali europee, anche attraverso una regola per determinare l'origine delle merci metalliche sia promuovere la circolarità e favorire la disponibilità di rottami. Il Piano rientra nel Dialogo strategico sul futuro dell'acciaio europeo avviato dalla Commissione a marzo del 2025.

2.6.5. Il Patto per l'industria pulita (il Clean Industrial Deal)

Lanciato dalla Commissione Europea nel 2025 per rafforzare la competitività della sua industria e accelerarne la decarbonizzazione, il patto per l'industria pulita delinea azioni concrete per trasformare la decarbonizzazione in un motore di crescita e per affrontare una serie di sfide come l'alto costo dell'energia, la concorrenza globale e la dipendenza da materie prime esterne. La scelta dell'elettrificazione dell'industria implica l'accessibilità dell'energia, con la riduzione dei costi per imprese e famiglie, l'accelerazione dell'adozione di energie rinnovabili e dell'efficientamento energetico; le industrie ad alta intensità energetica, come acciaio, metalli e chimica, riceveranno supporto per decarbonizzarsi e per restare competitive; le tecnologie pulite (clean tech) saranno incentivate; il sostegno all'economia circola-

re si traduce in una maggiore promozione del riciclo, riuso e produzione sostenibile con l'obiettivo di ridurre gli sprechi e la dipendenza da fornitori esterni; si prevede la mobilitazione di oltre 100 miliardi di euro attraverso fondi europei, incentivi fiscali e semplificazione delle norme sugli Aiuti di Stato; la Banca per la Decarbonizzazione industriale dovrebbe sostenere finanziariamente i processi previsti. Il patto si configura come quadro unificante all'interno del quale la Commissione svilupperà percorsi di transizione settoriali. Per l'industria siderurgica si prevedono: incentivi per l'uso di idrogeno verde, recupero del calore residuo e riduzione dei costi energetici, per rendere la produzione di acciaio più sostenibile; sostegno a tecnologie a basse emissioni e strumenti finanziari per ridurre i rischi legati agli investimenti verdi; misure contro la concorrenza sleale internazionale e per evitare la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio (carbon leakage); promozione del riciclo e del riuso dei metalli per ridurre la dipendenza da

materie prime estere; protezione dei posti di lavoro e formazione per le competenze verdi del futuro.

2.6.6. Obiettivi e iniziative europee sull'idrogeno

La tabella 2.6 elenca le principali politiche adottate per favorire lo sviluppo dell'idrogeno. Tra queste si considerano gli IPCEI (Importanti Progetti di Interesse Comune Europeo) e la banca europea dell'idrogeno. Gli IPCEI sull'idrogeno sono progetti di investimento tra i diversi Paesi dell'EU per favorire la creazione di infrastrutture e di progetti destinati alla sua diffusione. Esistono quattro tipi di IPCEI sull'idrogeno: due sono stati avviati Hy2Tech e Hy2Use; altri due sono in fase di sviluppo: Hy2Infra e Hy2Move. IPCEI Hy2Tech, che ha coinvolto 41 progetti di 35 aziende, si concentra sullo sviluppo di tecnologie innovative per la produzione di idrogeno rinnovabile e a basse emissioni di carbonio, princi-

TABELLA 2.6

Le principali politiche europee adottate per favorire lo sviluppo dell'idrogeno

Politiche trasversali	
EU Green Deal; Legge europea sul clima; Strategia dell'UE per l'integrazione del sistema energetico; Strategia industriale; REPowerEU; Strategia dell'UE per l'idrogeno; Finanza sostenibile.	
Produzione	Trasporto, stoccaggio e distribuzione
Direttiva sull'efficienza energetica; Direttiva sulle energie rinnovabili; EU ETS, CBAM Pacchetto su idrogeno e mercato dei gas decarbonizzati; Legge sull'industria a zero emissioni nette; Legge sulle materie prime critiche; Strategia per le energie rinnovabili offshore.	Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente; Regolamento TEN-T-Rete transeuropea dei trasporti; Regolamento sull'infrastruttura per i carburanti alternativi; Iniziativa per carburanti sostenibili nel settore marittimo e nell'aviazione.
Usi finali	Iniziative di finanziamento
Direttiva sulla tassazione dell'energia; Direttiva sulla prestazione energetica degli edifici; Norme sugli standard di prestazione delle emissioni di CO ₂ per le autovetture e i veicoli commerciali leggeri; Norme sugli standard di prestazione delle emissioni di CO ₂ per i nuovi veicoli pesanti; Appalti pubblici per veicoli puliti.	Aiuti di Stato; Fondo per l'innovazione; Banca dell'idrogeno

TABELLA 2.7

Bandi della Banca europea dell'idrogeno, progetti e finanziamenti

Bandi della Banca europea dell'idrogeno	Progetti selezionati (n)	Finanziamento (mln euro)
1 bando (2023-2024)	7	720
2 bando (febbraio 2025)	15	992
3 bando (fine 2025)	/	1000

palmente mediante elettrolisi. Un altro obiettivo è l'utilizzo dell'idrogeno nelle celle a combustibile per applicazioni mobili o fisse.

Ulteriori punti di interesse sono lo stoccaggio, il trasporto e la distribuzione dell'idrogeno, seguiti dall'uso finale dell'idrogeno nell'industria e nei trasporti, con una chiara attenzione al settore della mobilità. Con gli IPCEI Hy2Use, che ha coinvolto 35 progetti di 29 aziende, si sostiene la filiera dell'idrogeno con (i) la costruzione di infrastrutture legate all'idrogeno, in particolare elettrolizzatori su larga scala e infrastrutture di trasporto, per la produzione, lo stoccaggio e il trasporto di idrogeno rinnovabile e a basse emissioni di carbonio; e (ii) lo sviluppo di tecnologie innovative e più sostenibili per l'integrazione dell'idrogeno nei processi industriali di diversi settori, in particolare quelli più difficili da decarbonizzare, come l'acciaio, il cemento e il vetro.

Lanciata nel 2022, la Banca europea per l'idrogeno è uno strumento della Commissione Europea finanziato da fondi dell'Innovation Fund che ha l'obiettivo di sbloccare gli investimenti privati nelle catene del valore dell'idrogeno. La Banca finanzia progetti di produzione di energia rinnovabile per soddisfare la domanda europea; si tratta fondamentalmente di uno strumento di riduzione del rischio e di creazione del prezzo di mercato. I fondi sono distribuiti secondo una somma fissa in euro/chilo di idrogeno certificato verde prodotto (combustibile rinnovabile di origine non biologica-RFNBO): la somma finanziata si basa su un calcolo della differenza dei costi dell'idrogeno verde e dei costi di corrispettivi energetici più inquinanti. La tabella 2.7 sintetizza i dati relativi ai primi due bandi della Banca; nessuno dei progetti selezionati è italiano. ■

Parte 2

La decarbonizzazione dell'ex-ILVA: trasformazione produttiva e occupazionale



3. La trasformazione produttiva della fabbrica ex-ILVA

3.1. L'assetto produttivo dell'ex-ILVA

La fabbrica siderurgica di Taranto è situata in un'area pianeggiante a nord-ovest rispetto alla città e occupa un'area di circa 15 milioni di mq; nella stessa area industriale insistono realtà produttive significative come la raffineria ENI e, fino a qualche anno fa, il cementificio Cementir (De Marzo, 2025) (figura 3.1).

Nato come ‘quarto centro siderurgico’, dopo quelli di Bagnoli, Piombino e Cornigliano, nell’ambito della politica delle Partecipazioni Statali, la sua costruzione fu avviata nel 1960 per una capacità produttiva di 4,5 milioni di tonnellate/anno di acciaio. Con il cosiddetto ‘raddoppio’, tra il 1970 e il 1975, la fab-

brica consolida l’attuale assetto produttivo per una capacità produttiva di 10,5 milioni di tonnellate/anno di acciaio. Controllata dallo Stato, attraverso il Gruppo IRI, la fabbrica viene privatizzata e ceduta al Gruppo Riva nel 1995. Dopo il periodo di Commisariamento tra il 2012 e il 2017, il siderurgico è stato nuovamente privatizzato nel 2018, ceduto alla multinazionale ArcelorMittal (AM). Oggi siamo in una fase di nuova vendita, dopo la fine della presenza della multinazionale franco-indiana.

La fabbrica ex-ILVA produce acciaio seguendo il processo del ciclo integrale (figura 3.2). L’area fusione (comunemente denominata ‘area a caldo’), in cui avviene la prima trasformazione dei minerali di ferro in prodotti primari, comprende 5 altiforni e 2 acciaierie.

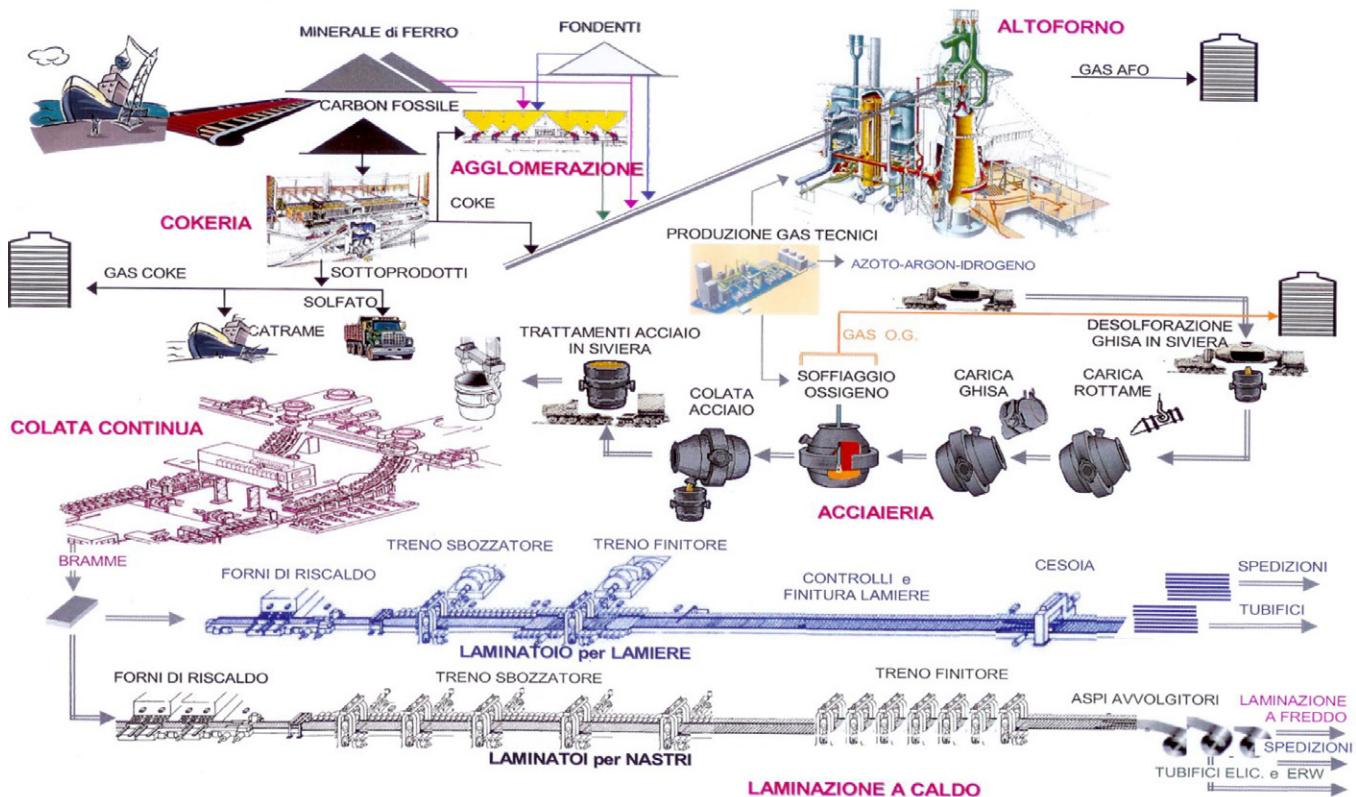
FIGURA 3.1
L’area della fabbrica ex-ILVA a Taranto



FIGURA 3.2

Il processo produttivo a ciclo integrale della fabbrica ex-ILVA

Fonte: Ispra 2024



L'arrivo delle materie prime (minerale e fossile) avviene via mare: esse vengono scaricate dalle navi su dei nastri trasportatori per essere condotte e successivamente depositate nell'area parchi primari (figura 3.3)¹.

Con ulteriori nastri trasportatori, dai parchi, le materie prime sono avviate ai trattamenti termici da cui vengono fabbricati i principali ingredienti per la produzione di ghisa liquida in altoforno, cioè il coke e l'agglomerato. Dagli altoforni² la ghisa liquida (carica calda) insieme al rottame ferroso (carica fredda) viene convertita in acciaio liquido tramite i convertitori di acciaieria³ e, dopo i trattamenti di affinamento, fatta solidificare in un sistema di colata continua in cui si forma a caldo la "bramma", vale a dire il semi-

FIGURA 3.3
I parchi minerali

1 I parchi minerali sono attualmente coperti mediante due strutture completate nel 2021. Ogni struttura ha una lunghezza di 700 metri e una larghezza pari a 254 metri, per una luce complessiva di 508 metri. La superficie dei parchi è pari a quella di 28 campi da calcio, con un'altezza assimilabile a quella di un palazzo di 25 piani. Quest'opera ha il compito di arginare la dispersione delle polveri prodotte dal carbone e dagli altri materiali fossili, necessari al momento ad alimentare gli altiforni dell'ex-ILVA.

2 La fabbrica ha 5 altiforni. Si tratta di AFO/1 e AFO/4 con diametro crogiolo 10,6 m.; AFO/2 e AFO/3 con diametro crogiolo 10,2 m.; AFO/5 con diametro crogiolo 14 m. Di questi: AFO/3 è stato dismesso da tempo, AFO/5 è fermo dal 2017, AFO/2 necessita di lavori al crogiolo, AFO/1 è, al momento in cui si scrive, fermo e sotto-sequestro per un incidente. L'unico operativo è AFO/4.

3 Vi sono due acciaierie: ACC/1 con 3 convertitori L.D. (Linz-Donawitz) da 300 tonnellate; ACC/2 con 3 convertitori L.D. da 350 tonnellate.

prodotto di acciaieria che successivamente viene inviato ai treni di laminazione per formare il prodotto finito, costituito dai cosiddetti "coils" (rotoli di nastro di lamiera di acciaio di spessore di alcuni millimetri). Le bramme prodotte in quest'area alimentano tutti gli impianti a valle sia nello stesso stabilimento di Taranto ("area a freddo") sia negli altri siti di Acciaierie d'Italia; tra gli impianti presenti a Taranto vi sono due treni di laminazione a caldo, con i relativi impianti di finitura, un treno di laminazione per la produzione di lamiere, due impianti di zincatura e 3 tubifici per la produzione di tubi saldati di medio e grande diametro (Bilancio AdI, 2022).

Gli impianti, concatenati in sequenza fino al prodotto finito, consentono inoltre il recupero di energia: i gas di processo recuperati sono utilizzati per alimentare le centrali elettriche, i fornì di riscaldo e sistemi di preriscaldò aria; anche la loppa, prodotto di scarto dell'altoforno, può essere utilizzata nei cementifici come avveniva con l'ex Cementir. Nell'area dello stabilimento si trova la Centrale di Taranto Energia, costituita da due centrali elettriche denominate CET2 e CET3 (figura 3.4). L'impianto CET2, della potenza elettrica complessiva di circa 480 MW, in funzione dal 1975, è del tipo termoelettrico tradizionale ed è composto da tre unità monoblocco simili tra loro che

producono energia elettrica e vapore utilizzando come combustibili i gas COKE(1), gas AFO(2) e gas LDG(3) prodotti dai processi dello stabilimento siderurgico e, se necessario, olio combustibile e gas naturale. L'impianto CET3, della potenza elettrica complessiva di 564 MW, in funzione dal 1996, è del tipo a ciclo combinato con cogenerazione; è composto da un sistema di trattamento e miscelazione dei gas siderurgici, da impianti ausiliari, tra cui quello per il trattamento acque reflue e da tre unità identiche che producono energia elettrica e vapore utilizzando come combustibili i gas siderurgici integrati con gas naturale.

La fabbrica, asservita da 4 moli portuali per la movimentazione delle materie prime e la spedizione di prodotti finiti, è dotata di 200 km di binari ferroviari, 50 km di strade e 90 km di nastri trasportatori.

Come anticipato, l'ex-ILVA ha una capacità produttiva massima di circa 10 milioni di tonnellate di acciaio all'anno. L'AIA (autorizzazione integrata ambientale), rilasciata a fine luglio 2025 per un periodo di validità di 12 anni, autorizza una produzione sino a 6 milioni di tonnellate di acciaio l'anno.

Considerato un livello di produzione di 6 mln/ton, il dispendio energetico medio è nell'ordine di 132 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ compreso tra 10 e 13 Mt/anno.

FIGURA 3.4
Le centrali elettriche

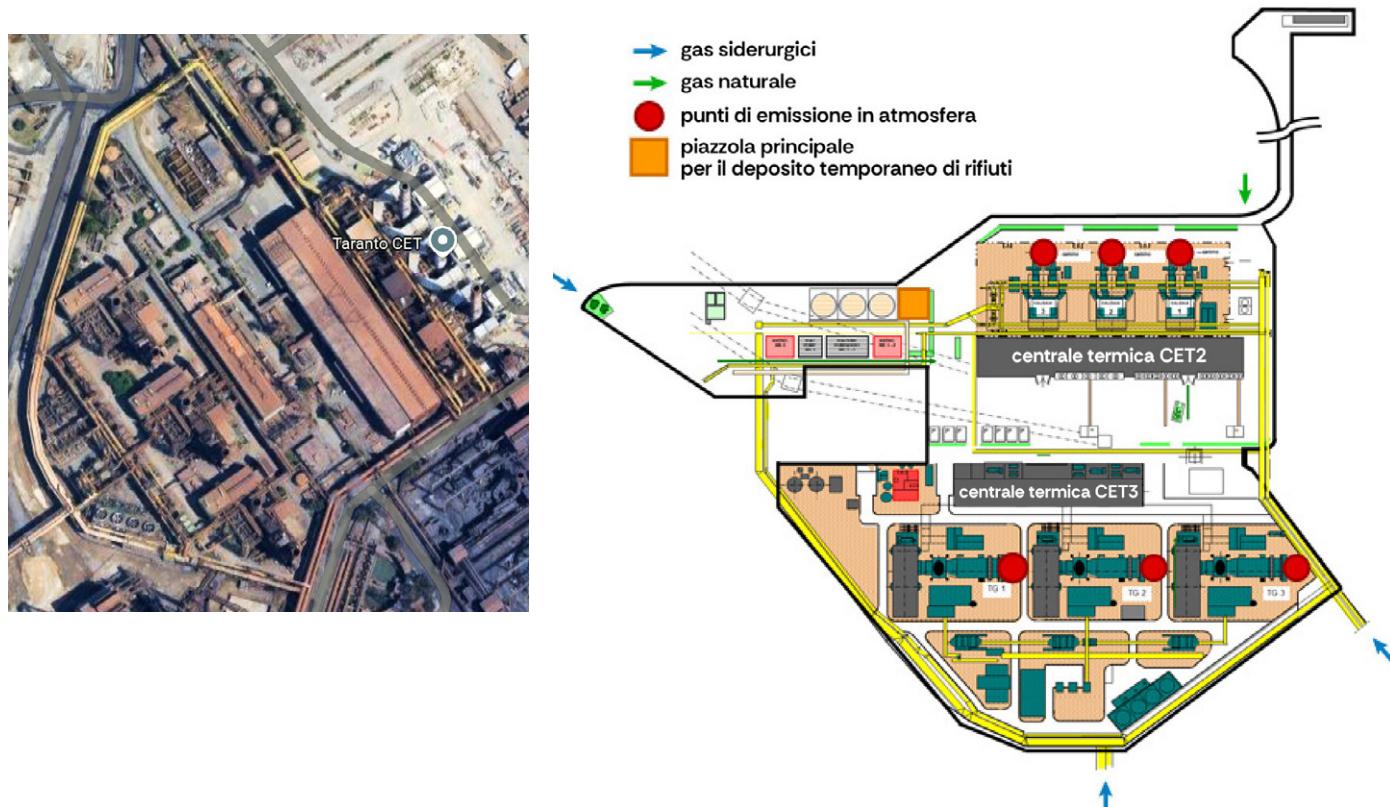
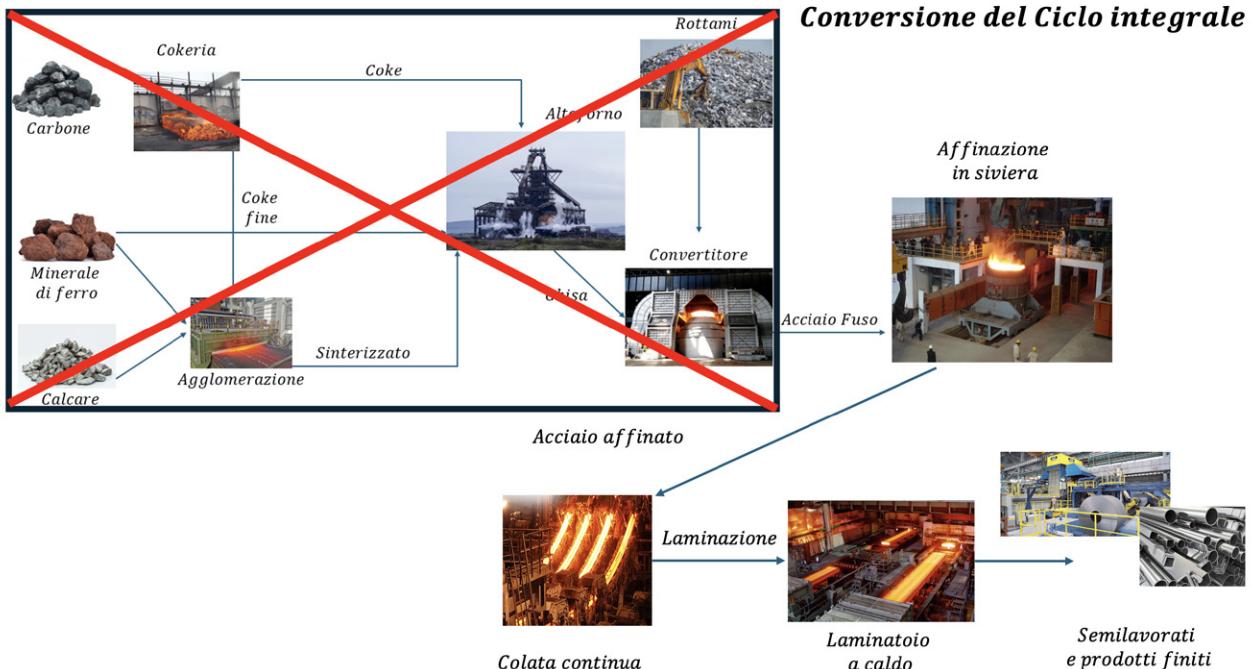


FIGURA 3.5
Il ciclo integrale



3.2. Scenari di decarbonizzazione per l'ex-ILVA

Gli scenari di decarbonizzazione considerati da questo lavoro partono da un comune elemento e cioè l'eliminazione delle aree fusione (ghisa, batterie, agglomerato, cokerie, altiforni) e acciaieria, lasciando inalterato il ciclo produttivo a valle di questi ultimi.

Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da rottami

Una prima opzione consiste nella sostituzione della prima sezione degli impianti con 3 fornì elettrici da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno alimentati al 100% da rottami (Figura 3.5).

Per quanto indicato in precedenza, e in riferimento ad una produzione di 6 mln/ton annue, questa opzione implica un dispendio energetico nell'ordine di 60 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ in un ordine compreso tra 1,2 e poco meno di 4 Mt/anno.

Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite gas naturale (NG DRI+EAF)

Una seconda opzione consiste nella sostituzione della prima sezione degli impianti con 3 fornì elettrici da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno alimentati da preredotto, ottenuto mediante riduzione diretta con gas naturale, in un impianto da 2 milioni di tonnellate localizzato a monte dei fornì elettrici (Figura 3.6).

FIGURA 3.6
Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da rottami

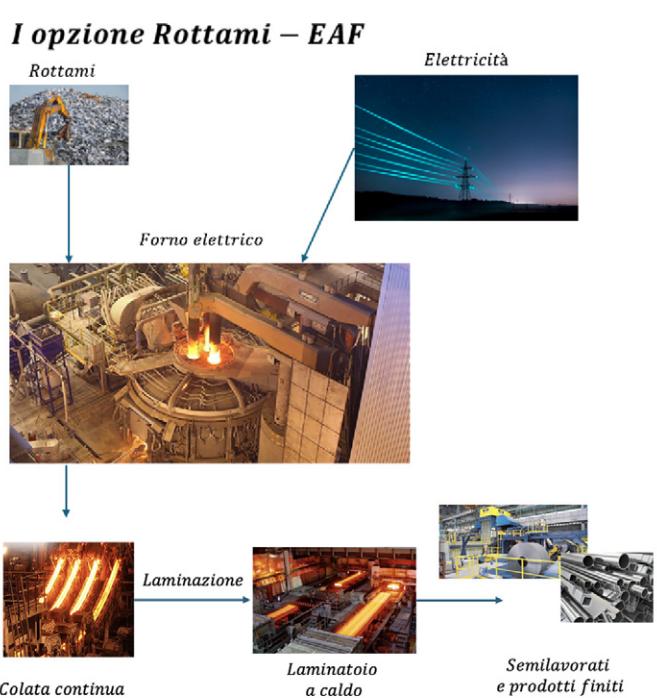


FIGURA 3.7

Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da gas naturale (NG DRI+EAF)



In questo scenario si possono avere fornì elettrici alimentati al 100% da preridotto con un dispendio energetico nell'ordine di 120 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ in un ordine compreso tra 2,4 e circa 8 Mt/anno; la scelta di DRI al 100% dipende dalla necessità di ottenere un acciaio con un attento controllo delle impurezze sin dall'inizio del processo. Gli EAF possono essere anche alimentati da un mix di rottami e di preridotto. Quest'ultimo può essere usato nell'EAF in tutte le percentuali, a seconda del tipo di acciaio che si vuole produrre. Nel caso in cui si fondano rottami, l'eventuale percentuale di DRI diventa funzione della qualità del rottame stesso: a titolo di esempio, se il rottame presenta un elevato titolo di elementi poco tollerati (primo tra tutti il rame) si tende ad aumentare la percentuale di DRI utilizzata che, nella normale pratica industriale, si aggira intorno al 30%. Nel caso di un mix di 30% di preridotto e 70% di rottame, si avrebbe un dispendio energetico nell'ordine di 84 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ in un ordine compreso tra più di 2 e poco più di 5 Mt/anno (Figura 3.7).

Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite idrogeno (H₂ DRI+EAF)

Una terza opzione consiste nella sostituzione della prima sezione degli impianti con 3 fornì elettrici

da 2 milioni di tonnellate di acciaio all'anno alimentati da preridotto, ottenuto in un impianto da 2 milioni di tonnellate localizzato a monte dei fornì elettrici, mediante riduzione diretta con idrogeno.

In questo scenario si possono avere fornì elettrici alimentati al 100% da preridotto con un dispendio energetico nell'ordine di 180 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ in un ordine compreso tra più di 1 e poco più di 2 Mt/anno; la scelta di DRI al 100% dipende dalla necessità di ottenere un acciaio con un attento controllo delle impurezze sin dall'inizio del processo. Gli EAF possono essere anche alimentati da un mix di rottami e di preridotto. Quest'ultimo può essere usato nell'EAF in tutte le percentuali, a seconda del tipo di acciaio che si vuole produrre. Nel caso in cui si fondano rottami, l'eventuale percentuale di DRI diventa funzione della qualità del rottame stesso: a titolo di esempio, se il rottame presenta un elevato titolo di elementi poco tollerati (primo tra tutti il rame) si tende ad aumentare la percentuale di DRI utilizzata che, nella normale pratica industriale, si aggira intorno al 30%. Nel caso di un mix di 30% di preridotto e 70% di rottame si avrebbe un dispendio energetico nell'ordine di 90 mln GJ/anno e un livello di emissioni di CO₂ in un ordine compreso tra più di 1 e poco più di 3 Mt/anno (Figura 3.8).

FIGURA 3.8

Dal ciclo integrale agli EAF alimentati da DRI ottenuto tramite idrogeno (H₂ DRI+EAF)

III opzione DRI con idrogeno verde

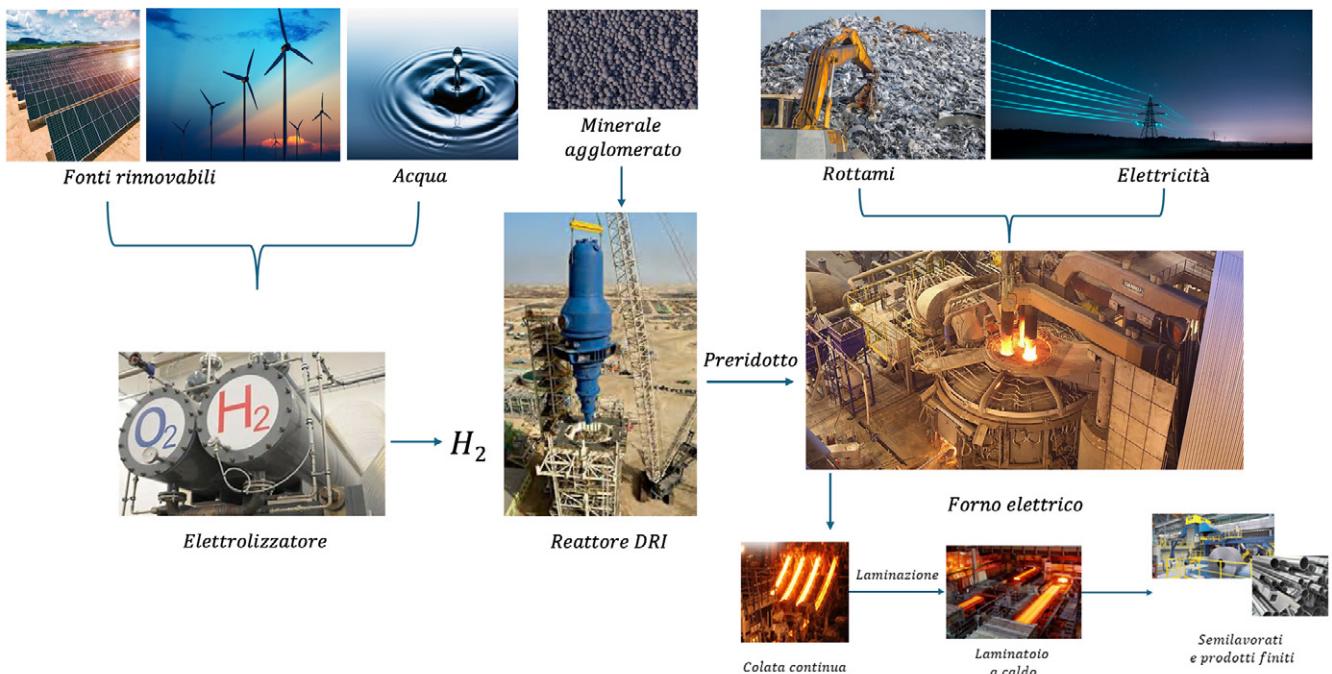
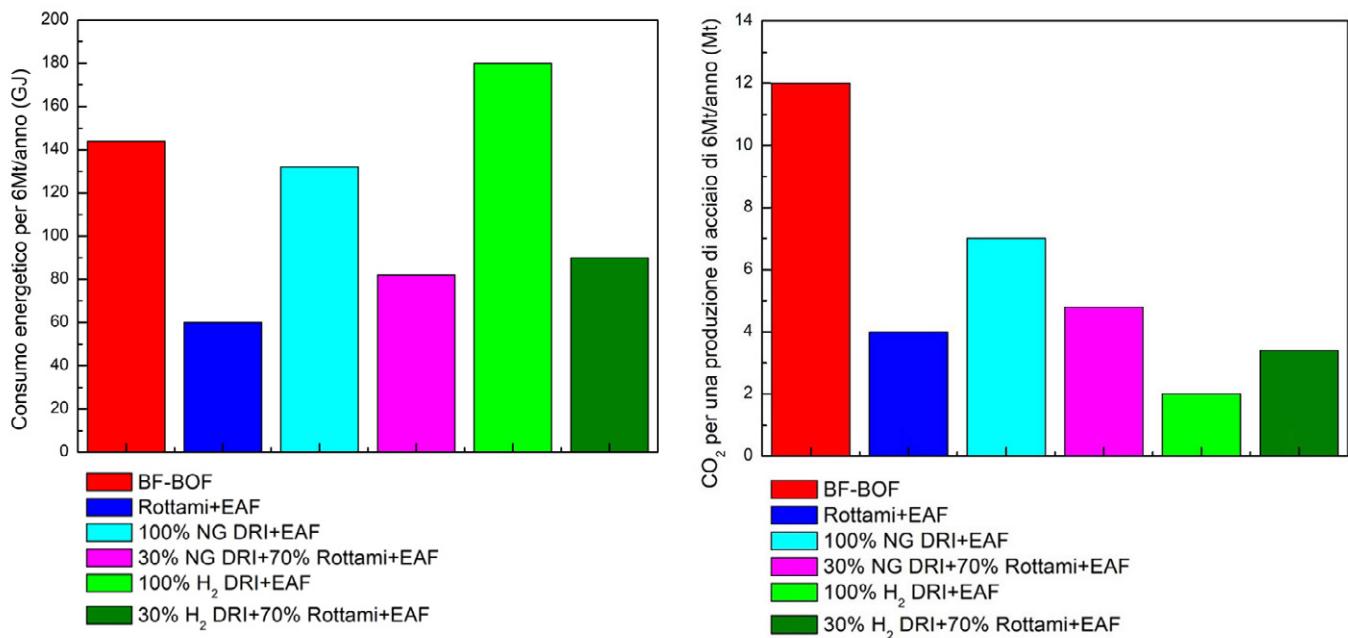


FIGURA 3.9

Consumo energetico ed emissioni di CO₂ per una produzione di 6 mln/t annue nei diversi scenari



Una sintesi delle emissioni di CO₂ e dei consumi energetici
La figura 3.9 riassume i dati appena illustrati.

La tabella 3.1 sintetizza i dati presentati e calcola la variazione dell'intensità energetica necessaria e le emissioni di CO₂ per le diverse opzioni di produzione.

TABELLA 3.1

Intensità energetica, emissioni di CO₂ e variazione % rispetto al ciclo integrale per ciclo produttivo per una produzione di acciaio di 6 mln/t annue.

Ciclo produttivo	Intensità energetica Emissioni di CO ₂ (mln/GJ)	(Mt)	Variazione intensità energetica rispetto al ciclo integrale	Variazione emissioni CO ₂ rispetto al ciclo integrale
BF-BOF	132	13	/	/
EAF (rottame)	60	1,2-3,6	-54,5%	-0,85%; -65%
NG-DRI-EAF	120	2,4-8,4	-9,1%	-80%; -45%
NG-DRI-EAF (30% preredotto-70% rottame)	84	2,1-5-1	-36,4%	-85%; -60%
H2-DRI-EAF	180	1,2-2,4	36,4%	-90%; -80%
HH2-DRI-EAF (30% preredotto-70% rottame)	90	1,2-3,0	-31,9%	-90%; -75%

È evidente la complessità del cambiamento necessario anche per la ragione che nel sito di Taranto si tratta di integrare nuovi e vecchi impianti. Come spiega una esperta intervistata durante la ricerca:

"La complessità non è tanto legata alla dimensione dell'impianto ma è legata alla possibilità di trovare, in questa prima fase, di trovare il massimo livello di integrazione [con gli impianti già presenti]. Poi per il resto abbiamo già studiato la possibilità di pre-assemblare fuori dal complesso esistente, installare il più rapidamente possibile, ci serve solo la bandiera verde se tu scegli un'area libera ... e fai da zero tutto quello che serve per l'impianto, evidentemente, impiantisticamente, è più semplice ma salgono enormemente i costi e inoltre non valorizzo l'assetto esistente".

I vantaggi di passare ad un processo produttivo che implica la pre-riduzione e i forni elettrici, acquisito su scala industriale da decenni in molti Paesi, sono evidenti e attengono principalmente alla dimensione dell'inquinamento:

"Il reale vantaggio del processo è che non viene più utilizzato carbone e quindi tutti gli inquinanti derivanti dall'uso del carbone, tra cui gli idrocarburi policiclici e tutti quegli altri contaminanti di cui ben sappiamo le conseguenze che hanno implicato sul territorio, sono azzerati... Vengono azzerati non perché faccio un'ottimizzazione di processo come nel caso della CO₂, ma perché proprio non utilizzo più il carbone.... La diossina non c'è, non c'è, perché la diossina è un derivato del carbone. Non è che vengono abbattuti, non esistono più: non sono un byproduct del processo".

4. Fabbisogno energetico dell'acciaieria decarbonizzata e ipotesi di mix elettrico rinnovabile al 2030

L'ipotesi industriale di riconversione dello stabilimento siderurgico di Taranto, su cui si basano le nostre stime sul fabbisogno energetico rinnovabile, prevede tre fornì elettrici da 2 milioni di tonnellate ed un impianto di DRI nelle due ipotesi di una taglia di 2 milioni di tonnellate e di 2,5 milioni di tonnellate.

Nelle tre seguenti tabelle si calcolano i consumi specifici per tonnellata di acciaio prodotto attraverso l'idrogeno e attraverso i rottami; si quantificano successivamente tutti i vettori energetici necessari per realizzare una produzione annuale pari a 6 milioni di tonnellate di acciaio verde l'anno nella combinazione H2-DRI-EAF.

La tabella 4.2 aggiunge anche gli altri apporti energetici necessari per completare il processo produttivo H2-DRI-EAF fino all'ottenimento di 1 tonnellata di acciaio finale. Per la fase di preriscaldamento del DRI (oppure dei rottami) può essere impiegato un qualsiasi vettore energetico in grado di fornire calore al livello di temperatura richiesto dal processo. L'impiego di calore refluo (di scarto) proveniente da altre fonti e/o fasi del processo sarebbe preferibile in quanto gratuito, mentre l'impiego del vettore elettrico rappresenta la soluzione più costosa. Usare l'idrogeno per il pre-riscaldamento sarebbe possibile, ma penalizzato dall'efficienza (ovvero dalle perdite e dai costi) degli elettrolizzatori necessari per produrre l'idrogeno. In tabella è stato ipotizzato l'im-

TABELLA 4.1

Consumo energetico per la produzione dell'idrogeno necessario alla produzione di 1 tonnellata di DRI

Consumo idrogeno (H_2)	50	kg H_2 /tDRI
Potere calorifico superiore dell'idrogeno	39,4	kWh/kg
Equivalente energetico di 50kg di idrogeno	1.970	kWh/tDRI
Efficienza media Elettrolizzatori	66%	%
Consumo elettrolizzatori per produzione idrogeno	3.000	kWh/tDRI

piego del metano (preferibilmente biometano) che rappresenta una soluzione con buona efficienza per il pre-riscaldamento

La tabella 4.3 riporta i consumi specifici, mediamente richiesti, nella produzione di acciaio dal riciclaggio dei rottami nel processo EAF. L'energia elettrica è ovviamente il vettore energetico principale usato nel processo EAF, mentre sia il carbone che il metano sono impiegati per regolare il contenuto di carbonio nel bagno di acciaio fuso, essenziale per influenzare ed ottenere le proprietà specifiche desiderate dell'acciaio prodotto.

TABELLA 4.2

Consumo energetico per la produzione dell'idrogeno necessario alla produzione di 1 tonnellata di DRI

CONSUMI SPECIFICI DI ENERGIA per tonnellata acciaio finale prodotto	Tipo energia			totale energia
	Energia elettrica	Metano	Carbone	
	kWh / t	kWh / t	kWh / t	
Elettrolizzatori - produz. Idrogeno per impianto DRI	3.000			3.000
Consumi ausiliari impianto DRI	50			50
Pre-riscaldo		300		300
Consumo impianto EAF	650			650
H2 - DRI - EAF - Totale consumi specifici	3.700	300	-	4.000

TABELLA 4.3

Consumo energetico per la produzione di una tonnellata di acciaio da rottame

CONSUMI SPECIFICI DI ENERGIA per tonnellata acciaio finale prodotto	Tipo energia			totale energia
	Energia elettrica	Metano	Carbone	
	kWh / t	kWh / t	kWh / t	
Energia elettrica (EE)	415			415
Reazioni chimiche		135		135
Bruciatori (gas)		53		53
Carbone			156	156
EAF da rottami - Totale consumi specifici	415	188	156	759

Facendo le opportune moltiplicazioni, la seguente tabella 4.4 quantifica tutti vettori energetici necessari per realizzare una produzione annuale pari a 6 milioni di tonnellate di acciaio verde l'anno. Si presentano due ipotesi. La prima prevede un impianto di produzione DRI di 2 milioni di tonnellate, che

garantirebbe la fornitura di oltre il 30% di preridotto alla produzione di acciaio di 6 milioni di tonnellate. La seconda tiene conto di un impianto DRI pari a 2,5 milioni di tonnellate che garantirebbe una fornitura di preridotto pari a poco più del 40%.

TABELLA 4.4Consumo energetico per la produzione di 6mln/ton di acciaio secondo il percorso H2-DRI-EAF
(2 mln preridotto-4 mln rottame)

Produzione acciaio	CONSUMI DI ENERGIA	Tipo energia			totale energia
		Energia elettrica	Metano	Carbone	
kt/anno		GWh/anno	GWh/anno	GWh/anno	
2.000	Elettrolizzatori - produz. Idrogeno per impianto DRI	6.000	-	-	6.000
	Consumi ausiliari impianto DRI	100	-	-	100
	Pre-riscaldo	-	600	-	600
	Consumo impianto EAF	1.300	-	-	1.300
	H2 - DRI - EAF - Totale consumi	7.400	600		8.000
4.000	Energia elettrica	1.660	-	-	1.660
	Reazioni chimiche	-	540	-	540
	Bruciatori (gas)	-	210	-	210
	Carbone	-	-	620	620
	EAF da rottami - Totale consumi	1.660	750	620	3.030
6.000	GRAN TOTALE PRODUZIONE ACCIAIO E RELATIVI CONSUMI DI ENERGIA		9.060	1.350	620
			82%	12%	6%
					100%

4.1. Combinazione produttiva di 6 milioni di acciaio con 2 mln di tonnellate di preredotto e 4 milioni di tonnellate di rottame

La tabella 4.5 riporta una ipotesi di mix energetico rinnovabile in grado di fornire la quantità di energia elettrica verde necessaria, considerando le risorse energetiche rinnovabili prevalentemente disponibili sul territorio della Regione Puglia e della Regione Basilicata.

In linea di massima il mix delle FER può essere considerato indipendente dalla tecnologia dell'acciaieria, in quanto tutta l'energia prodotta dalle FER sarà trasformata in energia elettrica verde e immessa nella rete elettrica nazionale, che poi a sua volta alimenterà l'acciaieria e tutti i produttori (elettrolizzatori) di idrogeno.

TERNA quantifica le perdite nella rete elettri-

ca mediamente al 6% a livello nazionale. Pertanto, considerando le distanze da coprire prevalentemente regionali, l'impiego della rete nazionale per il trasporto dell'energia elettrica generata da impianti FER verso gli impianti a Taranto può essere ritenuto piuttosto efficiente. Il mix delle FER dipenderà dal territorio, dalla convenienza economica, dalla nascita delle filiere industriali locali, dalla facilità di ottenere le autorizzazioni, e soprattutto dalla volontà degli stakeholder locali di agevolare / favorire / intraprendere lo sviluppo dell'acciaieria decarbonizzata e delle FER. Per minimizzare l'impatto sul territorio è stato ipotizzato un mix FER elettrici composto da:

- 30% solare-FV,
- 15% eolico onshore,
- 50% eolico offshore galleggiante,
- 5% bio e altre.

TABELLA 4.5

Potenza FER aggiuntiva necessaria per coprire il fabbisogno di elettricità verde dell'acciaieria di Taranto decarbonizzata H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)

100% FONTI RINNOVABILI PER COPRIRE IL FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA DELL'ACCIAIERIA DI TARANTO DECARBONIZZATA	Unità di misura	Totale elettricità verde	di cui:			
			Solare FV	Eolico	Bioenergie altre FER	
		100%	30%	15%	50%	5%
Fabbisogno energia elettrica acciaieria	GWh/anno	9.060	2.720	1.360	4.530	450
Ore equivalenti di esercizio FER	ore/anno	-	1.600	2.000	2.600	5.000
Potenza FER aggiuntiva necessaria	MW	4.210	1.700	680	1.740	90

TABELLA 4.6

Nuovi impianti solari Fotovoltaico (FV) da realizzare per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto H2-DRI-EAF (2 mln preredotto-4 mln rottame)

Obiettivo di produzione energia solare FV aggiuntiva		GWh/anno	2.720
Potenza solare FV aggiuntiva necessaria		MW	1.700
Superficie solare FV necessaria (considerando 4,7 milioni abitanti Puglia + Basilicata)	Valore totale	km ²	10,2
	pro-capite	m ² /abitante	2,2
Percentuale superficie solare FV rispetto alle superfici regionali di Puglia + Basilicata		%	0,03%

Per confronto: Totale impianti solari FV installati oggi in Puglia + Basilicata	MW	3.860
	Numero impianti	102.000

TABELLA 4.7

Nuovi impianti eolici da realizzare per coprire il fabbisogno di elettricità verde della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto H2-DRI-EAF (2 mln preridotto-4 mln rottame)

	Unità di misura	on-shore	off-shore galleggiante	Totale eolico
Obiettivo di produzione energia eolica aggiuntiva	GWh/anno	1.360	4.530	5.890
Ore equivalenti di esercizio	Ore/anno	2.000	2.600	
Potenza eolica aggiuntiva necessaria	MW	680	1.740	2.420
Taglia media (potenza) turbine eoliche (di ultima generazione)	MW	6	20	
Diametro rotore medio delle turbine eoliche	m	170	270	
Peso medio ciascuna turbina eolica (composta >90% da acciaio)	tonnellate	1.800	8.000	
Numero turbine eoliche da dedicare mediamente all'approvvigionamento dell'acciaieria decarbonizzata	Numero turbine	110	90	200

Per confronto: Totale turbine eoliche oggi installate in Puglia + Basilicata	Potenza totale	MW	4.600
	Numero turbine eoliche installate		2.130
	Potenza media	MW / cad	2,2



4.2. Combinazione produttiva di 6 milioni di acciaio con 2,5 milioni di tonnellate di preridotto e 3,5 milioni di tonnellate di rottame.

TABELLA 4.8

Consumo energetico per la produzione di 6mln/ton di acciaio secondo il percorso H2-DRI-EAF (2,5 mln preridotto-3,5 mln rottame)

Produzione acciaio	CONSUMI DI ENERGIA	Tipo energia			totale energia
		Energia elettrica	Metano	Carbone	
		GWn/anno	GWh/anno	GWh/anno	
2.500	Elettrolizzatori - produz. Idrogeno per impianto DRI	7.500	-	-	7.500
	Consumi ausiliari impianto DRI	130	-	-	130
	Pre-riscaldo	-	750	-	750
	Consumo impianto EAF	1.630	-	-	1.630
	H2 - DRI - EAF - Totale consumi	9.260	750	-	10.010
3.500	Energia elettrica	1.450	-	-	1.450
	Reazioni chimiche	-	470	-	470
	Bruciatori (gas)	-	190	-	190
	Carbone	-	-	550	550
	EAF da rottami - Totale consumi	1.450	660	550	2.660
6.000	GRAN TOTALE PRODUZIONE ACCIAIO E RELATIVI CONSUMI DI ENERGIA	10.710	1.410	550	12.670
		85%	11%	4%	100%

La tabella 4.9 riporta una ipotesi di mix energetico rinnovabile in grado di fornire la quantità di energia elettrica verde necessaria, considerando le risorse energetiche rinnovabili prevalentemente disponibili sul territorio della Regione Puglia e della Regione Basilicata.

Anche nell'ipotesi di un impianto di DRI di 2,5

milioni di tonnellate, al fine di minimizzare l'impatto sul territorio, è stato ipotizzato un mix FER elettrici composto da:

- 30% solare-FV,
- 15% eolico onshore,
- 50% eolico offshore galleggiante,
- 5% bio e altre.

TABELLA 4.9

Potenza FER aggiuntiva necessaria per coprire il fabbisogno di elettricità verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preridotto-3,5 mln rottame)

100% FONTI RINNOVABILI PER COPRIRE IL FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA DELL'ACCIAIERIA DI TARANTO DECARBONIZZATA	Unità di misura	Totale elettricità verde	di cui:			
			Solare FV	Eolico		Bioenergie altre FER
				on-shore	off-shore galleggiante	
Fabbisogno energia elettrica acciaieria	GWh/anno	10.710	3.210	1.610	5.360	540
Ore equivalenti di esercizio FER	ore/anno	-	1.600	2.000	2.600	5.000
Potenza FER aggiuntiva necessaria	MW	4.990	2.010	810	2.060	110

TABELLA 4.10

Nuovi impianti solari Fotovoltaico (FV) da realizzare per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preridotto-3,5 mln rottame)

Obiettivo di produzione energia solare FV aggiuntiva		GWh/anno	3.210
Potenza solare FV aggiuntiva necessaria		MW	2.010
Superficie solare FV necessaria (considerando 4,7 milioni abitanti Puglia + Basilicata)	Valore totale pro-capite	km ² m ² /abitante	12,1 2,6
Percentuale superficie solare FV rispetto alle superfici regionali di Puglia + Basilicata		%	0,04%

Per confronto: Totale impianti solari FV installati oggi in Puglia + Basilicata	MW	3.860
	Numero impianti	102.000

TABELLA 4.11

Nuovi impianti eolici da realizzare per coprire il fabbisogno di elettricità verde della futura acciaieria decarbonizzata di Taranto (H2-DRI-EAF – 2,5 mln preridotto-3,5 mln rottame)

	Unità di misura	on-shore	off-shore galleggiante	Total eolico
Obiettivo di produzione energia eolica aggiuntiva	GWh/anno	1.610	5.360	6.970
Ore equivalenti di esercizio	Ore/anno	2.000	2.600	
Potenza eolica aggiuntiva necessaria	MW	810	2.060	2.870
Taglia media (potenza) turbine eoliche (di ultima generazione)	MW	6	20	
Diametro rotore medio delle turbine eoliche	m	170	270	
Peso medio ciascuna turbina eolica (composta >90% da acciaio)	tonnellate	1.800	8.000	
Numero turbine eoliche da dedicare mediamente all'approvvigionamento dell'acciaieria decarbonizzata	Numero turbine	140	100	240

Per confronto: Totale turbine eoliche oggi installate in Puglia + Basilicata	Potenza totale	MW	4.600
	Numero turbine eoliche installate		2.130
	Potenza media	MW / cad	2,2

In sintesi, appare evidente che, mentre per l'energia solare Fotovoltaica la superficie totale occupata dagli impianti cresce proporzionalmente in funzione dell'energia verde richiesta, nel caso dell'eolico il numero di turbine risulta perfino ridotto in ragione delle taglie delle turbine di ultima generazione, ciascuna in grado di produrre una quantità di energia di molto superiore rispetto alle turbine oggi esistenti sul territorio. In quanto penisola circondata da 8000 km di coste, l'Italia dispone di immensi spazi di mare, utilizzabili impiegando la tecnologia dell'eolico offshore galleggiante. I parchi eolici posizionati a 30-50 km di

distanza dalla costa (per cui praticamente invisibili) non disturbano il paesaggio e creano di fatto aree marine protette. L'eolico offshore galleggiante presenta importanti vantaggi: oltre ad essere lontane dalla costa, le turbine eoliche sono installate in acque più profonde, dove i venti sono più forti e costanti, aumentando così la produzione di energia. Inoltre, questa nuova tecnologia riduce l'impatto ambientale e visivo rispetto alle installazioni onshore o alle turbine eoliche appoggiate sul fondale marino vicino alla costa; infine esse possono essere facilmente e completamente smantellate al termine del loro ciclo di vita.



RIQUADRO 4

"Wind Turbines: the Bigger, the Better"

Turbine eoliche: più sono grandi meglio è

Nei 50 anni di sviluppo tecnologico del settore eolico, la potenza delle turbine è raddoppiata ogni 5 anni. La potenza e l'energia raccolta da una turbina eolica è proporzionale alla superficie spazzata dalle pale, ovvero al quadrato del diametro del rotore. Quindi, raddoppiando il diametro, la potenza e l'energia prodotta aumentano di quattro volte, creando un vantaggio economico decisivo a favore delle turbine eoliche di grande taglia.

Le turbine di grandi dimensioni risultano però più visibili e generano un impatto sul paesaggio più significativo rispetto alle turbine più piccole. Paradossalmente, però, nella realtà si verifica il contrario: l'effetto visivo complessivo di un parco di turbine di grande taglia è minore. Le turbine più grandi sembrano generare MENO impatto visivo sul paesaggio, rispetto alle turbine più piccole. Come mai? Il fenomeno è dovuto al vincolo tecnico della velocità massima possibile per le punte delle pale che, per evitare l'erosione, è limitata a 90 metri al secondo (320 km/h). Pertanto, man mano che le turbine diventano più grandi e le pale più lunghe, i loro rotori devono ruotare più lentamente per non superare questo limite.

Pertanto, le turbine più recenti producono i seguenti effetti d'insieme: (a) a parità di energia prodotta, in quanto più grandi di quelle di pochi anni prima, richiedono un numero minore di turbine da installare; (b) ruotando ad una minore velocità di rotazione, le turbine più grandi generano un'impressione visiva di minor disturbo. Al contrario le turbine più piccole, di numero maggiore e che ruotano ad una velocità di rotazione maggiore, producono un effetto visivo complessivamente maggiore.

Ultimo aspetto da tenere presente - ma non meno importante – è che le turbine eoliche offshore (posizionate in mare) sono molto più grandi e producono molto più energia di quelle onshore (a terra) in quanto: (a) le turbine eoliche installabili a terra sono soggette al vincolo della trasportabilità dei componenti da movimentare con mezzi di terra che, di fatto, impediscono l'installazione a terra di turbine di potenza maggiore di 6 MW; (b) i componenti delle turbine eoliche installate in mare sono invece trasportati via nave e pertanto possono essere di dimensioni molto più grandi. Le turbine più grandi, attualmente in fase di sviluppo avanzato, superano 20 MW di potenza unitaria. Per i parchi eolici offshore da posizionare in mare si ipotizza di installare turbine eoliche da 20 MW l'una, con torri alte oltre 150 metri e rotori di diametro oltre 250 metri. Diversi fabbricanti di turbine eoliche (compreso il gruppo Vestas presente a Taranto) hanno in corso lo sviluppo di turbine di questa taglia, che prevedibilmente diventeranno disponibili sul mercato entro 2-3 anni.

5. La dinamica occupazionale nella siderurgia in trasformazione

5.1. Introduzione

Il processo di decarbonizzazione della fabbrica di Taranto comporta evidenti cambiamenti sia nella quantità di forza lavoro impiegata nello stabilimento sia nella qualità: si fa riferimento in particolare ai profili professionali, alle competenze e alle abilità richieste ai lavoratori della nuova acciaieria. In altre parole, il cambiamento della configurazione tecnologica della fabbrica si intreccia fortemente con il cambiamento della forza lavoro di cui essa avrà necessità.

Questo capitolo del Report illustra i contorni di tale cambiamento. L'analisi si basa sia su dati quantitativi -desk (ISTAT, INAPP -Istituto nazionale per le analisi delle politiche pubbliche) sia su dati qualitativi (indagine empirica con interviste semi-strutturate).

5.2. Occupazione, profili professionali e competenze nell'acciaieria ex-ILVA

5.2.1. I lavoratori dell'attuale acciaieria

Gli attuali lavoratori dell'acciaieria di Taranto sono poco meno di 8mila (tabella 5.1).¹ Poco meno di 1.700 (il 21%) lavora nell'area ghisa che comprende i parchi minerari, le cokerie, l'agglomerazione e gli altoforni; la seconda area per quantità di forza lavoro impiegata è l'acciaieria con poco più di 1.500 lavoratori (il 19,2% del totale); in complesso in queste due aree di produzione trovano occupazione circa 3.200 operai, poco più del 40% della forza lavoro totale della fabbrica. Poco meno di 1.400 lavoratori (il 17,3%) lavorano nell'area laminazione. Il restante 42,3% degli occupati della fabbrica è coinvolto in una serie di attività funzionali all'attività pro-

duttiva in senso stretto: si tratta dei lavoratori delle officine (manutenzione, riparazione), dei magazzini, della centrale termica e quanti sono impegnati nella logistica e nei servizi. Questi ultimi includono il personale dello staff, quasi 700 addetti, l'area del controllo di qualità, 248 addetti, e il servizio ecologico con 75 addetti.

Gli addetti dell'indotto dell'acciaieria sono stimati in più di 4.000 unità e lavorano in poco meno di 70 imprese (dati A.I.G.I.).² Il 17% di queste imprese sono micro-imprese (fino a 9 addetti); rientrano nelle piccole imprese (addetti compresi tra 10 e 49) il 41% delle imprese dell'indotto; un altro 41 % si configura come impresa medio-grande (50 dipendenti e più). Accanto ad aziende di pulizie industriali, trasporti, spedizioni, allestimenti di ponteggi, vi sono imprese che offrono servizi maggiormente qualificati quali quelli di progettazione, costruzione meccanica e di precisione, sicurezza, impiantistica.

TABELLA 5.1
Lavoratori dell'acciaieria di Taranto al 2025 per aree di produzione (v.a., v. %)

Area di produzione/reparti	Numero di lavoratori	
	v.a.	%
GHISA (parchi, batterie, agglomerato, cokerie, altoforni)	1.685	21,2
ACCIAIERIA	1.525	19,2
LAMINAZIONE	1.378	17,3
OFFICINE (es. manutenzioni)	1.001	12,6
MAGAZZINI (es. depositi merci e materiali)	244	3,1
ENERGIA (es. produzione gas termici)	445	5,6
LOGISTICA (es. trasporto interno, porto)	685	8,6
SERVIZI di cui	999	12,5
staff	676	8,5
qualità	248	3,1
ecologia	75	0,9
TOTALE	7.962	100,0

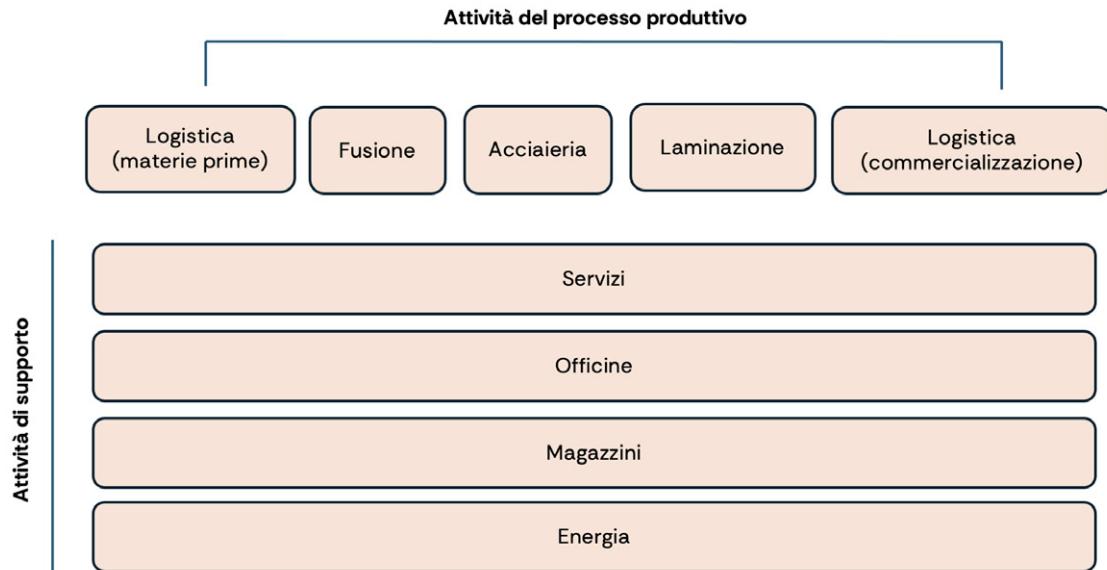
Fonte: Organizzazioni sindacali

1 Questo calcolo non prende in considerazione i lavoratori dell'ex-ILVA in A.S. che sono circa 1600.

2 L'Associazione Indotto AdI e General Industries (A.I.G.I.) include imprese del settore metalmeccanico che lavorano e collaborano con le grandi industrie della provincia di Taranto.

FIGURA 5.1

Processo produttivo e attività di supporto nell'acciaieria ex-ILVA di Taranto



La Figura 5.1 visualizza le principali aree funzionali dell'attuale fabbrica. Il processo produttivo in senso stretto si impernia su tre aree funzionali: **l'area fusione**, nella quale avviene la preparazione delle materie prime e le operazioni per l'ottenimento della ghisa; **l'area dell'acciaieria**; **l'area della laminazione** dove si effettua la lavorazione delle bramme per avere i prodotti finiti. Il processo produttivo necessita di attività logistiche a monte, che riguardano essenzialmente l'approvvigionamento delle materie prime, e a valle per il trasferimento e trasporto dei prodotti finiti verso i clienti. Vi sono poi una serie di attività di supporto alla produzione.

Sulla base dell'Atlante Lavoro realizzato dall'I-NAPP, che propone uno schema di classificazione ad albero a partire dai settori economico professionali, sono stati identificati i principali processi di lavoro relativi alla metallurgia, affiancati da altri attinenti alla logistica, ai trasporti e all'energia con l'obiettivo di identificare le aree di attività rilevanti per il nostro studio. Successivamente sono state identificate le principali professioni relative alle attività osservate con i relativi codici statistici. Di seguito si sintetizzano i principali processi di lavoro e le aree di attività.

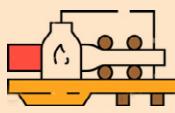
Nell'area della produzione (area fusione, acciaieria, laminazione) le principali sequenze del processo produttivo consistono nella gestione e controllo del processo produttivo, nella lavorazione di

minerali e rottami, nel caricamento dell'altoforno e raccolta della ghisa di prima fusione nel carro-siluro/siviera, il trasferimento della ghisa in acciaieria, la sua affinazione, l'esecuzione della colata dell'acciaio, l'esecuzione delle operazioni di manutenzione delle siviere. Dopo la preparazione delle materie prime (minerali ferrosi e carbone), l'invio agli impianti di sinterizzazione e pellettizzazione e un processo chimico di distillazione si ottiene il coke. Il minerale ferroso, il coke e il calcare vengono caricati nell'altoforno e dell'aria calda viene immessa dal basso per ottenere ghisa liquida. Immessa nel convertitore, insieme a una certa quota di rottame, viene convertita in acciaio. Nell'area della laminazione le bramme vengono trasformate in semilavorati (laminati, tubi, coils). Queste operazioni sono accompagnate dalla movimentazione delle cariche tramite gru di grossa portata.

Le professioni comprese nell'area della produzione sono ingegneri e tecnici metallurgici, operatori di esercizio dei parchi minerari, dell'agglomerato e delle batterie, i gruisti e gli operatori degli impianti (convertitore, acciaieria, laminatoio) e si occupano della prima lavorazione dei metalli, conducono macchine e impianti di caricamento e posizionamento dei minerali e dei rottami negli altoforni. Sono inoltre presenti professioni che manovrano macchine fisse mobili o semi moventi, che ne curano l'efficienza, ne dirigono e controllano l'azione durante il lavoro. Le professioni operanti nell'acciaieria conducono gli impianti siderurgici di colata in lingotti, lastre,

FIGURA 5.2

Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area della produzione in senso stretto (aree fusione-acciaieria-laminazione)

	AREA FUSIONE	Lavorazione e preparazione materie prime; Lavorazione di minerali e rottami per la produzione di metalli ferrosi (ghisa, acciaio)
	Sequenze processo produttivo	Stoccaggio e movimentazione delle materie prime, miscelazione, produzione del carbon coke; Caricamento dell'altoforno, esecuzione delle operazioni di manutenzione dell'altoforno, pesatura del metallo per la realizzazione della lega, predisposizione del croglio per la realizzazione della lega
	Principali professioni	Conduttore di impianti per il primo trattamento di minerali; Operatore di esercizio parchi minerali/agglomerato/batteria; Fonditori; Operatori di altoforno
	AREA ACCIAIERIA	Lavorazione di minerali e rottami per la produzione di metalli ferrosi (ghisa, acciaio)
	Sequenze processo produttivo	Esecuzione della colata di ghisa, raccolta della ghisa di prima fusione nel carro-siluro/siviera, trasferimento della ghisa di prima fusione in acciaieria, affinazione della ghisa di prima fusione per la produzione di acciaio, esecuzione della colata dell'acciaio, esecuzione delle operazioni di manutenzione delle siviere
	Principali professioni	Operatori di colata; Operatori di convertitore
	AREA LAMINAZIONE	Trasformazione di bramme in semilavorati (laminati, tubi, coils)
	Sequenze processo produttivo	Movimentazione delle bramme nei reparti di laminazione, riscaldamento delle bramme nei forni a pozzo, trasferimento delle bramme nei laminatoi, lavorazione delle bramme, manutenzione dei macchinari per la laminazione
	Principali professioni	Operatori di laminatoi
	AREA FUSIONE - ACCIAIERIA	Gestione e controllo del processo produttivo metallurgico
	Sequenze processo produttivo	Programmazione delle attività, definizione dei cicli di lavorazione, definizione degli standard di controllo della produzione, raccolta dati, verifica coerenza tra programmazione e produzione effettiva
	Principali professioni	Ingegneri metallurgici; Tecnici metallurgici
	AREA FUSIONE - ACCIAIERIA	Movimentazione delle cariche tramite gru di grossa portata
	Sequenze processo produttivo	Aggiacchio della siviera con ganci lamellari; sollevamento della siviera dalla buca al piano convertitore, traslazione della siviera per avvicinamento per carica convertitore, versamento della ghisa nel convertitore attraverso l'ausilio di un gancio secondario, monitoraggio della tempistica delle operazioni
	Principali professioni	Gruisti: gruisti di rottame, di loppa, di colata e carico

barre e gli impianti di taglio della ghisa, del ferro e dell'acciaio prodotti. Nell'area della laminazione i profili professionali conducono treni e impianti di laminazione a freddo e a caldo delle colate di ferro e acciaio.

Le principali conoscenze necessarie per il lavoro attengono alla produzione e processo: in particolare la conoscenza delle materie prime, dei processi di produzione, delle tecniche per il controllo. I lavoratori sono a conoscenza delle competenze chimiche che attengono alla composizione, struttura e pro-

prietà delle sostanze, dei processi e delle trasformazioni chimiche sottostanti; sono necessarie, inoltre, nozioni di metallurgia e di tecnologia dei materiali. Le professioni operanti in questa area sono anche chiamate a conoscere procedure e tecniche di manutenzione dei macchinari e delle attrezzature, quali convertitori e forni nonché le normative in materia di igiene e sicurezza del lavoro. È prevista anche la conoscenza delle macchine e delle attrezzature utilizzate compresa la loro progettazione, il loro uso, la loro riparazione e manutenzione.

FIGURA 5.3

Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area della logistica e del magazzino

	AREA LOGISTICA	Pianificazione e programmazione dei flussi di merce in entrata ed in uscita; gestione dei flussi di merci in entrata e in uscita
	Sequenze processo produttivo	Disegno dei flussi fisici e informativo della movimentazione delle merci, monitoraggi, programmazione ciclo della logistica; gestione operativa e amministrativa dei flussi di merci, accordi con fornitori e vettori
	Principali professioni	Ingegneri industriali e gestionali; spedizionieri e tecnici dell'organizzazione commerciale
	AREA MAGAZZINI	Pianificazione, programmazione e coordinamento attività di magazzino; gestione attività magazzino; gestione amministrativa magazzino
	Sequenze processo produttivo	Progettazione di metodi e procedure per la gestione del magazzino, controllo di gestione, programmazione delle operazioni fisiche del magazzino, registrazione movimento merci, registrazione dei movimenti delle merci in entrata e in uscita, inventariazione e aggiornamento delle giacenze
	Principali professioni	Ingegneri industriali e gestionali; Spedizionieri e tecnici dell'organizzazione commerciale; Spedizionieri e tecnici dell'organizzazione commerciale

Nell'area della logistica e del magazzino le principali attività di processo riguardano la pianificazione e la gestione dei flussi di merci in entrata in uscita dalla fabbrica e delle attività di magazzino. Tra le principali attività si annoverano il disegno dei flussi fisici e informativi della movimentazione delle merci, la negoziazione di soluzioni logistiche con i fornitori e grandi clienti, il monitoraggio e controllo della catena della logistica per ridurre i tempi di attraversamento; la gestione amministrativa del magazzino richiede la preparazione della documentazione, la registrazione delle merci, il controllo della documentazione; vi sono inoltre operazioni di movimentazione delle merci con attività di scarico, trasporto e carico, che includono la conduzione di mezzi di sollevamento e di impianti semi-automatici (Figura 5.3).

Le principali figure professionali comprese nell'area della logistica sono gli ingegneri industriali e gestionali, i tecnici dell'organizzazione commerciale (in particolare responsabili della logistica commerciale, spedizionieri), addetti alla gestione dei magazzini (allo smistamento degli ordini), addetti allo spostamento di merci e assimilati (come, ad esempio, addetti ai montacarichi alla stivatura di materiali, operaio di banchina operatore di magazzino).

Nell'area officina le principali attività riguardano l'organizzazione della manutenzione e la riparazione di macchine e di impianti la realizzazione

della manutenzione sugli stessi. Si tratta in particolare di intervenire e individuare malfunzionamenti e guasti, programmare gli interventi predisponendo attrezzature necessarie (Figura 5.4).

Le principali professioni legate all'area officina sono i tecnici meccanici, tra i quali vi sono i periti meccanici e i tecnici di apparecchiature meccaniche e a controllo numerico, vi sono tecnici elettronici (in particolare periti elettronici manutentori di hardware tecnici di rilevamento di campi elettromagnetici, tecnici per la gestione), manutentori e riparatori di apparati elettronici industriali (quali collaudatori, manutentori di sistemi di automazione), manutentori e riparatori di macchinari e impianti industriali.

Nell'area della centrale termica le principali attività riguardano la gestione degli impianti di produzione di energia che attengono la programmazione delle procedure di controllo all'impianto di produzione, il monitoraggio dei parametri di funzionamento, la programmazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria. In quest'area le principali professioni fanno riferimento ai tecnici della produzione di energia termica ed elettrica e agli ingegneri energetici. Queste professioni applicano procedure, regolamenti e tecnologie per adeguare, modificare e sviluppare il corretto ed efficiente funzionamento dei processi, sistemi e apparati per la produzione di energia elettrica, monitorano e gestiscono i sistemi di controllo e le relative apparecchiature.

FIGURA 5.4

Processi produttivi, principali attività e profili professionali nell'area officine centrali termiche

	AREA OFFICINE	Organizzazione e realizzazione della manutenzione e riparazione di macchine e impianti
	Sequenze processo produttivo	Verifica, programmazione e realizzazione interventi, alizzazione degli interventi di manutenzione/riparazione di natura meccanica e/o di natura elettrico strumentale
	Principali professioni	Tecnici meccanici ed elettronici; Aggiustatori meccanici, Riparatori e manutentori di macchinari e impianti industriali; Installatori e riparatori di impianti elettrici industriali; Elettromeccanici; Manutentori e riparatori di apparati elettronici industriali
	AREA CENTRALI TERMICHE	Gestione degli impianti di produzione di energia
	Sequenze processo produttivo	Programmazione delle procedure di controllo sull'impianto di produzione, Monitoraggio dei parametri di funzionamento e di impatto ambientale dell'impianto di produzione, Programmazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, Realizzazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria
	Principali professioni	Tecnici della produzione di energia termica ed elettrica; Ingegneri energetici

La tabella 5.2 sintetizza l'insieme delle principali figure professionali presenti in ex-ILVA e ne descrive il contenuto professionale.

5.2.2. La dinamica occupazionale nell'ex-ILVA in transizione

La decarbonizzazione della fabbrica ex-ILVA comporterà, come anticipato, la dismissione dei processi e delle attività riguardanti le aree fusione e acciaieria. Resterebbero salvaguardati i processi produttivi a valle di queste aree a partire dalla laminazione; i parchi minerari e le attività connesse alla movimentazione dei materiali non sarebbero intaccati sostanzialmente in ragione di volumi simili di materiali da utilizzare nella fabbrica decarbonizzata. Un'ulteriore area soggetta a dismissione dovrebbe essere quella relativa alla centrale termica che, com'è noto, lavora sulla base del riciclo dei gas di cokeria, altoforno e convertitore. Si sottolinea comunque che una riconfigurazione produttiva implica il ripensamento complessivo del ciclo produttivo, in particolare delle attività salvaguardate che vanno riconsiderate in chiave aggiornata. Sulla base di queste considerazioni e in termini quantitativi, la trasformazione produttiva necessaria per decarbonizzare la fabbrica ex-ILVA si stima possa comportare l'esubero di poco meno della metà dell'attuale forza lavoro, pari a poco più di 3.600 lavoratori. Un ulteriore ridimensionamento occupazionale, nell'or-

dine di poco più di un migliaio di lavoratori, è prevedibile in considerazione della minore intensità di forza lavoro richiesta dal ciclo elettrificato rispetto al ciclo integrale. Sulla base della evidenza proveniente dalla letteratura e valutando l'occupazione di acciaierie con volumi di attività paragonabili, l'inserimento di tre forni EAF richiederebbe una forza lavoro nell'ordine di 3.000 addetti diretti; un impianto di DRI richiede circa 200 occupati, circa 60 per turno di lavoro.

5.3. Occupazione, profili professionali e competenze nell'acciaieria verde

Il bilancio numerico va tuttavia valutato sia alla luce del riassetto complessivo della fabbrica dal punto di vista tecnico-produttivo e occupazionale, in riferimento quindi alle attività e ai posti di lavoro che si attiveranno nell'acciaieria decarbonizzata, con possibilità nella filiera produttiva, sia in relazione a settori affini e/o complementari a quello siderurgico. L'analisi non può quindi assumere tratti conclusivi e perentori.

La letteratura sul tema suggerisce che il numero totale di lavoratori richiesti in un'acciaieria elettrificata dipende da diversi fattori, quali il livello di automazione, l'integrazione con i processi a monte/a valle, l'organizzazione del lavoro. Una valutazione quanti-qualitativa è opportuna, anche per mettere a punto adeguati interventi di policy, primariamente

TABELLA 5.2

Le principali figure professionali presenti nella ex-ILVA seguendo la classificazione delle professioni (ISTAT)

Grande gruppo delle professioni	Voci Professionali	Descrizione
Professioni intellettuali e scientifiche	Ingegneri energetici (2.2.1.1.4)	Queste professioni conducono ricerche/applicano le conoscenze esistenti per la produzione e l'utilizzo razionale dell'energia nei settori industriale e civile; studiano nuovi metodi di conversione dell'energia.
	Ingegneri metallurgici (2.2.1.2.1)	Queste professioni conducono ricerche/applicano le conoscenze esistenti nel campo della ricerca e della produzione di nuove leghe; applicano le conoscenze delle caratteristiche tecnologiche di particolari materiali, prodotti e processi. Sovrintendono e dirigono tali attività. Sono di supporto nella progettazione di impianti, apparati e sistemi tecnici di produzione di metalli e leghe.
	Ingegneri industriali e gestionali (2.2.1.7.0)	Queste professioni conducono ricerche/applicano le conoscenze esistenti in materia di progettazione, sviluppo e valutazione di sistemi integrati per la gestione dei processi di produzione industriale e nei servizi, ivi compresi il lavoro umano, i controlli di qualità, la logistica industriale, l'analisi dei costi e il coordinamento della produzione. Sovrintendono e dirigono tali attività.
Professioni tecniche	Tecnici meccanici (3.1.3.1.0)	Queste professioni assistono gli specialisti nelle ricerche nel campo dell'ingegneria meccanica, ovvero applicano ed eseguono le procedure e le tecniche proprie per disegnare, modificare, sviluppare e verificare prodotti, macchine, attrezzature.
	Tecnici metallurgici (3.1.3.2.3)	Queste professioni assistono gli specialisti nella ricerca in materia di estrazione di leghe; sono di supporto nella progettazione di impianti, apparati e sistemi tecnici di produzione di metalli e leghe.
	Tecnici elettronici (3.1.3.4.0)	Queste professioni assistono gli specialisti nella ricerca in materia di elettronica/applicano ed eseguono procedure e tecniche proprie per disegnare, costruire, installare e modificare componenti parti, apparati e circuiti elettronici singoli o inseriti in sistemi complessi e per individuare e risolvere problemi di funzionamento.
	Spedizionieri e tecnici dell'organizzazione commerciale (3.3.4.1.0)	Queste professioni assicurano il funzionamento dell'organizzazione commerciale garantendo levasione degli ordini e l'arrivo delle merci presso la distribuzione locale.
	Tecnici della produzione di energia termica ed elettrica (3.1.4.2.1)	Queste professioni applicano procedure, regolamenti e tecnologie proprie per adeguare, modificare, sviluppare, controllare, verificare, operare e garantire il funzionamento corretto ed efficiente e la sicurezza di processi, fasi, sistemi e apparati per la produzione di energia elettrica e termica, anche da fonti rinnovabili
Professioni esecutive nel lavoro d'ufficio	Addetti alla gestione dei magazzini e professioni assimilate (4.3.1.2.0)	Queste professioni seguono le procedure relative alla tenuta dei magazzini e alla gestione dei depositi di merci e materiali, tengono scrittura delle operazioni di entrata e di uscita delle merci e dei materiali, verificano la corrispondenza tra consistenza fisica e contabile dei materiali e delle merci, supportano le attività di contabilità del magazzino, applicano le procedure di acquisizione e di consegna.
Artigiani, operai specializzati e agricoltori	Fonditori (6.2.1.1.1)	Queste professioni si occupano della prima lavorazione dei metalli ovvero fondono i metalli utilizzando appositi forni e crogoli.
	Aggiustatori meccanici (6.2.2.3.2)	Queste professioni provvedono all'aggiustamento e alla correzione manuale degli utensili da utilizzare ed eventualmente degli stessi manufatti realizzati.
	Riparatori e manutentori di macchinari e impianti industriali (6.2.3.3.1)	Queste professioni costruiscono artigianalmente, manutengono e riparano, in officina o sugli impianti stessi, macchinari, impianti industriali o le loro parti.
	Installatori e riparatori di impianti elettrici industriali (6.2.4.1.1)	Queste professioni riparano e verificano impianti elettrici industriali o specifici per particolari apparati, cabine e trasformatori elettrici.
	Elettromeccanici (6.2.4.1.3)	Queste professioni costruiscono, manualmente o con l'ausilio di attrezature semi-automatiche, montano, riparano e testano avvolgimenti per bobine, rotorì e statorì di apparati di trasformazione dell'energia elettrica.
	Manutentori e riparatori di apparati elettronici industriali (6.2.4.2.0)	Queste professioni riparano, sostituiscono parti e testano grandi apparati elettronici e strumenti elettronici di misura, agendo in laboratorio o direttamente sui luoghi in cui sono installati.
Conduttori di impianti, operai di macchinari fissi e mobili e conducenti di veicoli	Conduttore di impianti per il primo trattamento di minerali/ Operatore di esercizio parchi minerali/agglomerato/batteria (7.1.1.2.0)	Conduttore di impianti per il primo trattamento di minerali/Operatore Queste professioni conducono macchine per separare, frantumare, depurare, vagliare, agglomerare e in generale per le operazioni di primo trattamento di minerali.
	Operatori di altoforno (7.1.2.1.1)	Queste professioni conducono macchine e impianti di caricamento e di posizionamento dei minerali e dei rottami nei forni e negli altoforni; conducono gli altoforni.
	Operatori di colata/Operatori di convertitore (7.1.2.1.2)	Queste professioni conducono gli impianti siderurgici di colata in lingotti, lastre, barre e gli impianti di taglio della ghisa, del ferro e dell'acciaio prodotti.
	Operatori di laminatoi (7.1.2.2.2)	Queste professioni conducono treni e impianti di laminazione a freddo e a caldo delle colate di ferro e acciaio.
	Gruisti (di rottame, di loppa, colata e carico) (7.4.4.3.0)	Queste professioni manovrano macchine fisse, mobili o semoventi, per il sollevamento di materiali, ne curano l'efficienza, effettuano il posizionamento, ne dirigono e controllano l'azione durante il lavoro, effettuano le operazioni di aggancio e sgancio delle masse da sollevare.
	Conduttori di carrelli elevatori (7.4.4.4.0)	Queste professioni manovrano carrelli elevatori per il sollevamento e lo spostamento di merci e di grandi masse, ne curano l'efficienza, ne dirigono e controllano l'azione durante il lavoro, effettuano le operazioni di carico e scarico delle masse sollevate.
Professioni non qualificate	Addetti allo spostamento merci ed assimilati (8.1.3.1.0)	Queste professioni provvedono alle operazioni di carico, scarico e movimentazione delle merci all'interno di porti e di altri luoghi di transito.

nel campo della formazione, in grado di adeguare le competenze esistenti e attenuarne l'obsolescenza, mitigando in tal modo i possibili impatti negativi della trasformazione.

5.3.1. Riduzione della forza lavoro diretta, nuova occupazione nella filiera e nella fase di transizione

Oltre a confermare che i processi siderurgici decarbonizzati risultano essere meno intensivi in termini di lavoro (Miles et al. 2025), la letteratura sul tema suggerisce un impatto disomogeneo tra le occupazioni, con quelle addette alla produzione maggiormente colpite rispetto alle altre (la dismissione delle cokerie rappresenterebbe il 37% del totale delle perdite occupazionali). L'ordine di grandezza del ridimensionamento è condizionato da un insieme di variabili ed è pertanto difficile da anticipare. Le interviste condotte nell'ambito dello studio hanno tuttavia messo in luce come l'utilizzo di tecnologie DRI-EAF comporta cambiamenti a monte e a valle della filiera produttiva tali da aprire nuove finestre di opportunità dal punto di vista occupazionale. Come spiega una esperta di siderurgia:

"Impianto di riduzione diretta e anche il forno elettrico richiedono numeri più bassi rispetto all'altoforno, la cokeria, l'agglomerato [...]. E tuttavia l'indotto che si crea potrebbe essere più complesso rispetto all'indotto che ora è generato dal ciclo integrale com'è"

A titolo esemplificativo, uno scenario in cui l'impianto di DRI dovesse utilizzare una miscela di gas naturale e idrogeno richiederebbe la strutturazione della catena di approvvigionamento di tali gas, con la necessità di implementare infrastrutture di stoccaggio e trasporto specifiche e gestirne la manutenzione. Se l'idrogeno prodotto dovesse essere verde, sarebbe plausibile prevedere una espansione del settore delle energie rinnovabili a monte, con relative opportunità di impiego (Bezdek 2019). Inoltre, il passaggio all'utilizzo del DRI e dell'EAF comporterebbe anche l'utilizzo di una quota di rottami ferrosi, l'approvvigionamento, selezione e trattamento dei quali richiederebbero anch'essi specifici lavoratori.

Uno degli esperti consultati, coinvolti nella progettazione della possibile transizione verde della fabbrica di Taranto riferisce di come le scelte effettuate, in fase di progettazione dei nuovi impianti, abbiano

l'ambizione di salvaguardare quanto più possibile il lavoro presente nella fabbrica ionica:

"massimizzando l'utilizzo dell'asset esistente io assicuro anche l'impiego, la valorizzazione del complesso industriale esistente, e quindi anche massimizzo la manodopera asservita all'operation di quell'impianto [...] Quindi quando diciamo integriamo, vuol dire realizziamo il modulo di processo ma utilizziamo le facilities esistenti, per quelli che sono i servizi ausiliari: trasporto del minerale, stoccaggio del minerale e gli altri fluidi ausiliari necessari alla marcia"

La questione occupazionale, infine, deve essere valutata anche in un'ottica temporale di breve e lungo periodo. Se nel lungo periodo, nel ciclo integrale è plausibile aspettarsi una tendenziale riduzione della forza lavoro, nel breve periodo la fase di transizione può creare opportunità di lavoro. In primo luogo, per mantenere la propria quota di mercato e allo stesso tempo ridurre le emissioni di CO₂, è probabile che le imprese gestiscano in parallelo processi siderurgici tradizionali e processi più innovativi. In secondo luogo, la transizione verde richiederà di investire considerevoli risorse nella costruzione di nuovi impianti e/o nell'ammodernamento o nella dismissione di quelli obsoleti; questo potrebbe contribuire a sostenere la domanda di lavoro aggregata (Antonazzo et al. 2021). A questo proposito si fa riferimento ad uno studio del 2023 della commissione "HySteel", effettuato per conto della Associazione Tedesca per l'Idrogeno e le Celle a Combustibile (DWV), che calcola quantitativamente l'effetto della trasformazione della siderurgia primaria sul mercato del lavoro. Lo studio indica che solo una trasformazione completa, con mantenimento dei livelli produttivi, garantirà la conservazione dei posti di lavoro, mentre una trasformazione parziale porterebbe a perdite occupazionali significative, anche e soprattutto lungo le catene del valore a valle. Il Report stima una diminuzione del fabbisogno di personale di circa il 25% (attualmente, il settore siderurgico tedesco dà lavoro a circa 380.000 persone direttamente o indirettamente), a parità di produzione, a seguito dell'implementazione di soluzioni DRI-EAF rispetto al ciclo integrale. La perdita di posti di lavoro nelle cokerie sarebbe compensata dalla creazione di lavoro nella produzione di idrogeno, nelle attività di riciclo e nella costruzione degli impianti DRI. L'occupazione diretta potrebbe aumentare durante la fase di transizione in ragione

TABELLA 5.3**Possibili fabbisogni occupazionali nel passaggio al ciclo DRI-EAF**

Ambiti funzionali/ processi di lavoro	Profili professionali per il processo DRI/EAF
Ricerca e sviluppo	Ingegneri e specialisti , specializzati nello sviluppo di tecnologie siderurgiche innovative, nell'ottimizzazione dei processi, nel miglioramento della qualità dell'acciaio e nell'introduzione di soluzioni ecologiche
Riciclo acciaio	Tecnici e addetti , specializzati nella separazione, selezione e trattamento dei rottami di acciaio, nonché nel trasporto
Tecnologia e automazione	Ingegneri e tecnici , specializzati in automazione, sistemi di controllo, tecnologie dell'informazione, nonché progettazione, installazione e manutenzione di moderni sistemi di automazione e software di gestione dei processi siderurgici. Specialisti IT e analisti di dati
Energia	Ingegneri, tecnici, addetti specialisti dell'energia, responsabili dell'implementazione, del monitoraggio e della gestione di fonti energetiche come il gas naturale, il biogas, l'idrogeno e dell'ottimizzazione dei consumi energetici Ingegneri, tecnici e impiantisti nel settore delle tecnologie di generazione di energia rinnovabile, come gli impianti solari, eolici e di biogas
Manutenzione	Ingegneri, tecnici, addetti , responsabili della manutenzione, della riparazione e dell'upgrading dei forni elettrici, macchinari e altri impianti di produzione
Logistica	Tecnici e addetti , specializzati nella gestione del trasporto delle materie prime e della logistica

dell'implementazione di diversi tecnologie e processi fino all'eliminazione del ciclo integrale. Al contempo, nello scenario di una trasformazione riuscita, si stima la generazione di posti di lavoro nei settori a monte dell'idrogeno, dell'energia eolica e del fotovoltaico (si veda capitolo 7).

5.3.2. Profili professionali e competenze per la siderurgia green

La trasformazione della siderurgia in senso ecologico sollecita a prestare attenzione ai nuovi profili professionali e alle nuove competenze necessarie sia al settore siderurgico in senso stretto, con particolare riguardo al tema dell'idrogeno, sia in settori quali quello delle energie rinnovabili da cui dipende la possibilità stessa di decarbonizzazione.

Per quanto riguarda i profili un esperto internazionale ha suggerito che il passaggio all'utilizzo combinato di DRI e forni elettrici contribuisce ad aprire nuove opportunità in diversi ambiti e per diversi i profili professionali così come indicati nella tabella 5.3.

In generale, il maggior livello di automazione del processo con DRI-EAF richiederà l'impiego di

specialisti per il funzionamento delle moderne apparecchiature e dei sistemi di controllo del processo produttivo, nonché per la manutenzione dei macchinari, delle apparecchiature elettriche e dei sistemi informatici. Altri specialisti del settore siderurgico dovranno specializzarsi sulle nuove e più severe normative in materia di efficienza energetica e di emissioni, e più in generale dovranno adottare nuove pratiche di lavoro in nuovi modelli organizzativi.

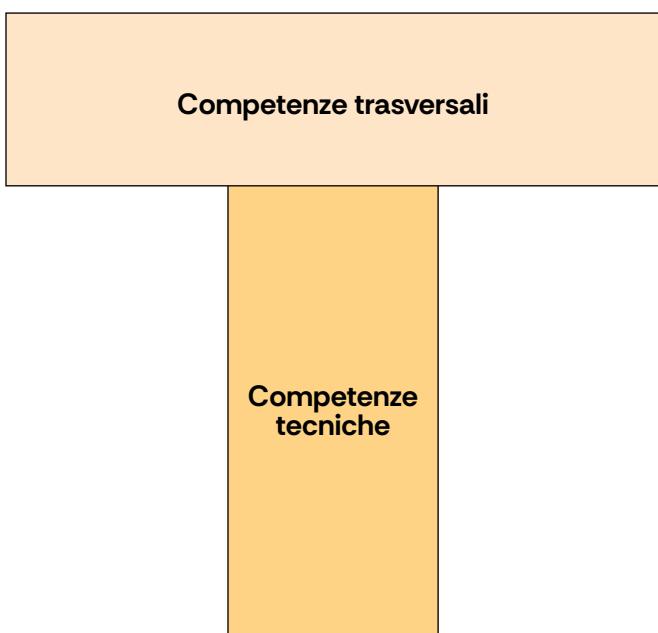
Per quanto riguarda il tema delle competenze, un interessante riferimento è costituito dal progetto ESSA³, avviato con l'obiettivo di sviluppare un'agenda europea delle competenze siderurgiche a fronte della transizione digitale e ambientale. L'approccio è quello dello sviluppo di competenze definite "T-shaped" (Figura 5.5 e tabella 5.4), ossia caratterizzate da una dimensione verticale composta da competenze tecniche e specialistiche distinte di volta in volta tra essenziali e opzionali, legate al particolare ruolo ricoperto, e da una dimensione orizzontale, di competenze trasversali (o soft), raggruppate in cinque categorie (digitali, verdi, sociali, individuali, metodologiche), che trascende invece le specificità dell'occupazione svolta.

³ Il progetto ESSA (European steel skills agenda), cominciato nel 2019 e terminato nel 2023, ha incluso 24 partner provenienti da Polonia, Spagna, Germania, Italia, Regno Unito, Belgio, Finlandia e Repubblica Ceca. Vi sono rappresentati diversi stakeholders del settore, come aziende siderurgiche, istituti di ricerca e università, associazioni di settore e sindacati. <https://www.estep.eu/projects/estep-projects/essa>

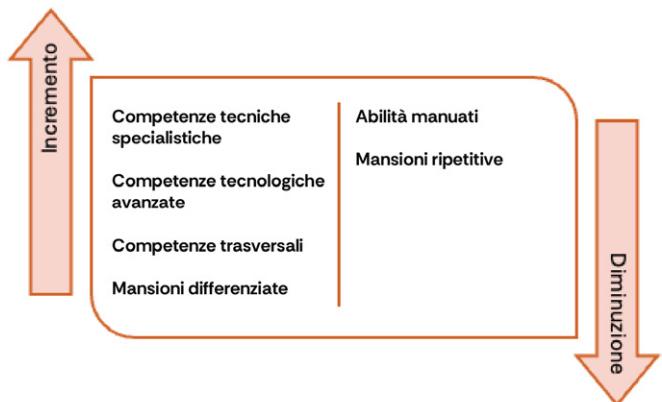
FIGURA 5.5

Approccio allo sviluppo delle competenze
“a forma di T”

Fonte: Progetto ESSA, 2023

**FIGURA 5.6**

Competenze siderurgiche del futuro: tendenze



La tabella 5.4 individua le specifiche competenze in campo siderurgico.

Complessivamente i risultati del progetto suggeriscono che nella siderurgia del futuro, ambientalmente più sostenibile, le competenze tecniche specialistiche e le competenze tecnologiche avanzate risulteranno cruciali, mentre si riduce l'importanza delle abilità puramente manuali. Al contempo, cresce

TABELLA 5.4

Categorie di competenze individuate come rilevanti per la transizione ecologica e digitale del settore siderurgico

Fonte: Progetto ESSA, 2023 (Nostra traduzione)

Competenze Tecniche	Competenze Trasversali				
	Digitali	Verdi	Sociali	Individuali	Metodologiche
Conduzione di macchinari e impianti	Competenze digitali di base	Consapevolezza ambientale	Capacità avanzate di comunicazione e negoziazione	Pensiero critico e capacità decisionale	Capacità di calcolo e comunicazione
Riparazione di macchinari e impianti	Analisi avanzata dei dati e competenze matematiche	Efficienza energetica	Capacità interpersonali ed empatia	Esperienza professionale	Inserimento ed elaborazione dati
Abilità manuali e forza fisica	Cybersecurity	Riduzione del consumo idrico	Leadership e gestione degli altri	Adattamento al cambiamento	Competenze quantitative e statistiche
Ispezione e monitoraggio di processi e prodotti	Utilizzo di strumenti complessi di comunicazione digitale	Riduzione e gestione dei rifiuti	Imprenditorialità e spirito d'iniziativa	Lavorare in modo autonomo	Elaborazione e interpretazione di informazioni complesse
	Competenze informatiche avanzate e programmazione	Riutilizzo/riciclo delle risorse	Adattabilità e apprendimento continuo	Ascolto attivo	Analisi dei processi
			Insegnamento e formazione degli altri		Creatività
					Risoluzione di problemi

Riquadro 4

La riusabilità delle conoscenze, abilità e competenze

La classificazione europea delle occupazioni, competenze e qualificazioni (ESCO) ha adottato un approccio che distingue abilità, conoscenze e competenze sulla base del criterio della riusabilità e per sostenere la mobilità professionale. I livelli di riusabilità sono quattro:

- Conoscenze, abilità, competenze **specifiche**: sono applicate solo all'interno di un'occupazione o di una specializzazione.
- Conoscenze, abilità, competenze **settoriali**: specifiche di un dato settore economico e rilevanti per più di una occupazione all'interno di quel settore;
- Conoscenze, abilità, competenze **intersettoriali**: sono rilevanti per occupazioni in diversi settori economici;
- Conoscenze, abilità, competenze **trasversali**: sono rilevanti per un'ampia gamma di occupazioni e settori;

Esempio:**Lavorazione dei metalli ferrosi****COMPETENZA SPECIFICA**

Gestire l'impianto di trasformazione dei minerali

COMPETENZA SETTORIALE

Preparare e introdurre i metalli di base nel forno

COMPETENZA INTERSETTORIALE

Applicare le tecniche di lavorazione dei metalli

COMPETENZA TRASVERSALE

Utilizzare software di comunicazione e collaborazione

Energie rinnovabili**COMPETENZA SPECIFICA**

Installare un impianto fotovoltaico

COMPETENZA SETTORIALE

Progettare un impianto di energia solare

COMPETENZA INTERSETTORIALE

Valutare il fabbisogno energetico

COMPETENZA TRASVERSALE

Adottare misure per ripercussioni negative del consumo

l'importanza attribuita alle competenze trasversali quali la risoluzione dei problemi, la capacità di autonomia decisionale, la leadership; le competenze relative all'analisi dei dati sono percepite ancora come legate a ruoli specifici, mentre sempre più attenzione viene data alle cosiddette competenze "verdi".

5.3.3. Upskilling e reskilling: la riusabilità delle competenze

Per svolgere mansioni sempre più differenziate i lavoratori siderurgici dovranno disporre di conoscenze a più ampio spettro. Un tema importante a questo riguardo è quello della trasversalità o "riutilizzabilità" delle competenze, come suggerito dalla classificazione European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO) (Riquadro 4).

Al netto di alcune nuove competenze e nuovi profili professionali, risulta possibile aggiornare le com-

petenze preesistenti in quanto si tratta di competenze spesso trasferibili e applicabili a diversi contesti e processi (Antonazzo et al. 2021). Il progetto *H2PRO: Hydrogen – a future-oriented topic for vocational education and training with regard to energy transition*, conferma che non sono richiesti requisiti di qualificazione fondamentalmente nuovi nelle professioni siderurgiche esistenti. Questo non significa, tuttavia, che non saranno necessarie alcune importanti misure di adattamento in termini di formazione continua (*upskilling-reskilling*). Ad esempio, nel caso specifico viene sottolineato come i futuri lavoratori siderurgici debbano acquisire una conoscenza generale dell'idrogeno, comprenderne l'importanza per la produzione di acciaio verde e i rischi per la sicurezza che ne possono derivare; ulteriori requisiti formativi possono derivare anche da cambiamenti nella regolamentazione del settore o da cambiamenti organizzativi e negli assetti organizzativi (Ibidem). Il tema della riutilizzabilità, e dunque della trasferibilità

delle competenze tra occupazioni e settori differenti, è un tema di particolare rilevanza nell'ambito di ogni riconfigurazione industriale. Mentre capacità quali l'utilizzazione dei software di comunicazione e collaborazione sono caratterizzate dal più ampio livello di trasferibilità, essendo sostanzialmente spendibili in qualunque ambiente organizzativo, la capacità di applicare tecniche di lavorazione dei metalli è in larga misura una competenza intersetoriale, spendibile sia in ambito metallurgico che meccanico. La gestione di un impianto di trasformazione del minerale ferroso, invece, appare più legata alla specificità del ciclo siderurgico integrale, e dunque meno trasferibile. In generale, è plausibile immaginare che lavorato-

ri interessati da transizioni industriali cercheranno occupazioni simili o dove le proprie competenze appaiano riutilizzabili (Atkins 2024).

5.3.4. Il parere degli esperti intervistati nella ricerca

Per quanto riguarda specificamente ex-ILVA, si riportano di seguito alcuni stralci di interviste con esperti siderurgici attenti conoscitori della fabbrica di Taranto relativamente ad alcune dinamiche che interesseranno i profili professionali, le conoscenze e le competenze del futuro ritenute in larga misura già presenti all'interno dell'azienda.

Quali conoscenze saranno importanti nella futura acciaieria di Taranto, in relazione agli impianti di prereduzione?



conoscenza del processo di riduzione del minerale di ferro, al controllo del grado di metallizzazione, della carburazione del DRI... Competenze chimiche e in particolare di sicurezza [...] e delle competenze specifiche legate ai processi di automazione e controllo che sono fondamentali all'interno di un impianto di prereduzione

Quali conoscenze e competenze relative a varie occupazioni presenti nel ciclo integrale a Taranto sono viste come affini a quelle richieste dai nuovi processi basati sulla riduzione diretta e sull'utilizzo degli EAF?



Operatori dell'altoforno piuttosto che manutentori meccanici, elettrici, tecnologi, responsabili di attività di qualità [...] queste sono competenze che io trovo estremamente affini. Richiederanno sicuramente una formazione su una tipologia di riduzione differente, su un impianto che sarà alimentato a gas e a idrogeno, quindi un processo sicuramente nuovo, ma che possono essere tranquillamente riutilizzate. Ci sono poi magari delle competenze che sono più affini, ad esempio l'operatore dell'acciaieria lo vedo più affine alla gestione delle attività legate al forno elettrico.

Quali competenze legate al processo produttivo destinato a scomparire con la decarbonizzazione potrebbero essere soggetti ad una formazione mirata e ad una occupazione in ambito logistico nella futura acciaieria di Taranto?



cokeria e l'agglomerato, per quanto attiene alla nostra attività, non saranno più un tema di attualità. Chiaramente sono competenze che però possono essere tranquillamente riqualificate in ambito logistico, piuttosto che nella preparazione della materia prima, cioè ci sono diversi sbocchi su cui potrà essere fatto un reskilling di queste competenze. Infine, abbiamo tutto il personale di logistica e di sicurezza, anche quello, logiche diverse, ma la competenza di base sulla logistica è assolutamente un tema dove non è richiesto un grosso reskilling

Anche alcuni intervistati nel contesto locale con ruoli imprenditoriali e istituzionali confermano che:

"Lo scenario dal punto di vista metalmeccanico è eccezionalmente valido. Abbiamo estrema competenza sia dal punto di vista proprio delle maestranze che dei tecnici. Abbiamo forse un po' meno competenze sulle figure apicali, perché i nostri giovani, visto che per tanto tempo non ci sono state grandissime opportunità sul territorio, hanno preferito migrare altrove" (imprenditore)

Il punto politico della questione viene messo in rilievo da uno degli intervistati dello studio che fa notare come la questione di fondo della transizione energetica sia quella dei costi legati ad essa e dalla volontà delle parti interessate, dove il tema delle competenze non emerge come un ostacolo alla stessa:

"Il tema della transizione energetica non è mai un tema di competenze, è un tema di sostenibilità di costi, quindi di disponibilità all'ammodernamento dei processi produttivi e all'incentivazione di un processo che evidentemente rispetto al fossile non

sempre è competitivo. perché alla fine sono sempre degli impianti industriali. Quando tu fai una transizione, fai un ammodernamento del processo, addestri lo stesso personale su quelle che sono le specificità del nuovo processo, non è che stai andando a fare un cambio drastico di quelle che sono le competenze". (esperta siderurgia)

È utile in conclusione e più complessivamente riportare il giudizio di una esperta di siderurgia che riguardo alla situazione della fabbrica di Taranto dice:

"io sono stata in Acciaieria a Taranto diverse volte in questa fase di definizione dell'integrazione, e devo dirvi la verità, siccome avevo solo letto su stampa, mi ero immaginata un sito drammaticamente obsoleto da un punto di vista industriale, cosa che non è affatto così. Ho constatato che ci sono le sale controllo esattamente come accade in tutto il resto del mondo, con gli operatori, di fronte ai quadri di controllo. Certo, il processo non è un processo che per definizione è fortemente automatizzato, ma questo è intrinseco nell'industria siderurgica, non è una specificità di Taranto. Non so se mi spiego".

5.4. L'idrogeno per la siderurgia

5.4.1. Profili professionali e competenze

Nella sfida sulla decarbonizzazione della siderurgia un ruolo di rilievo ha l'idrogeno; è pertanto importante affrontare il tema dei profili professionali e dei fabbisogni di competenze e comprendere il livello di conoscenza specifica necessario per lavorare lungo tutta la catena del valore. Nel progetto europeo "Green Skills for Hydrogen"⁴ è stata prodotta sia una mappatura preliminare dei profili professionali (attuali ed emergenti) potenzialmente più rilevanti per una economia fondata sull'idrogeno sia l'indicazione del livello di conoscenza/competenza sull'idrogeno che si ritiene necessario per ciascuna di esse (figura 5.7). Accanto a figure con una verticalizzazione specifica sull'idrogeno che necessiteranno di un livello avanzato di competenze e quindi anche di formazione, quali chimici industriali, tecnici per la produzione e lo stoccaggio dell'idrogeno, saranno richiesti profili professionali tecnici e ingegneristici ad ampio spettro (ingegneri elettronici, elettrochimici, dell'automazione, ecc.) con una formazione meno specifica riguardante l'idrogeno.

FIGURA 5.7

Esempi di figure professionali individuate come rilevanti per l'ecosistema dell'idrogeno e livello di competenze

Fonte: Green Skills for Hydrogen – Deliverable 2.1 (Dicembre 2022)



4 <https://greenskillsforhydrogen.eu/>, per esigenze di standardizzazione, la mappatura si raccorda con le classificazioni ISCO-08 (International Standard Classification of Occupations) ed ESCO

In generale:

Quali tipologie di professionisti necessitano di una formazione sull'idrogeno?

- *Operatori tecnici, quali addetti all'installazione, al funzionamento e alla manutenzione, che possono avere diverse specializzazioni e necessitano di aggiornamento/riqualificazione*
- *Professionisti con formazione ingegneristica o tecnica che iniziano a lavorare nel settore dell'idrogeno o e hanno bisogno di riqualificarsi o aggiornarsi sulle relative tecnologie.*
- *Professionisti non tecnici, quali manager, funzionari della pubblica amministrazione, legislatori, che necessitano conoscenze sull'economia dell'idrogeno e sulla catena del valore*

Il progetto ha anche individuato le conoscenze e le competenze prioritariamente richieste dal mercato del lavoro nel passaggio ad una economia dell'i-

Quali conoscenze e competenze saranno rilevanti per l'economia dell'idrogeno?

- **PRIORITÀ 1** *Gestione dei rischi e della sicurezza; Aspetti della sicurezza e dei rischi dei progetti sull'idrogeno*
- **PRIORITÀ 2** *Chimica dei polimeri e chimica inorganica; Progettazione di elettrolizzatori, eletrocatalisi, nella produzione e nel processo; Meccanica, combustione e generatori; Specialisti della liquefazione; Progettazione di impianti a idrogeno e compressori; Compatibilità dei materiali, aerodinamica, rilevamento e simulazione di perdite, combustione e accensione, lavoro con processi e oggetti ad alta temperatura*
- **PRIORITÀ 3** *Comprendere del mercato dell'idrogeno e della catena del valore; Specializzazione su ogni aspetto della catena del valore dell'idrogeno verde: produzione, logistica, stoccaggio, distribuzione, usi finali*

Fonte: elaborazione degli autori da *Green Skills for Hydrogen, Deliverable 2.1* (dicembre 2022).

In sintesi e da un punto di vista più propriamente industriale, le conoscenze e le competenze più significative nell'ambito dell'economia dell'idrogeno possono essere raggruppate in due categorie (figura 5.8).

5.4.2. La formazione professionale nel campo dell'idrogeno: alcuni esempi utili

Per quanto attiene alla formazione a livello europeo, il progetto Green Skills for Hydrogen evidenzia come l'apprendimento sul posto di lavoro e brevi corsi di formazione erogati da fornitori esterni appaiono essere le pratiche più comuni per la formazione del personale sull'idrogeno. In anni recenti il numero di programmi specializzati sul tema dell'idrogeno e delle celle a combustibile è aumentato, soprattutto a livello di lauree speciali-

drogeno, raggruppate in tre livelli di priorità come riportato nel testo che segue.

stiche. Tale crescita, tuttavia, non si riflette ancora nella composizione della forza lavoro nel settore idrogeno, dove la maggior parte dei lavoratori ha ricevuto una formazione in un ambito differente. Per quanto riguarda la formazione continua, si possono trovare corsi di formazione non tecnici di livello superiore, rivolti principalmente a manager e decisori politici.

Il progetto ha sottolineato la necessità di sviluppare corsi di formazione modulari che consentano personalizzazione e flessibilità dell'apprendimento. Le unità didattiche possono essere selezionate e combinate a seconda delle proprie esigenze formative. Seguendo questo approccio è stato definito un “core curriculum” composto da 10 moduli, i quali sono stati poi combinati in 3 possibili corsi di formazione relativi ai gruppi A, B e C (tabella 5.6).

FIGURA 5.8**Conoscenze e competenze trasversali e tecnico-specialistiche per il settore idrogeno**Fonte: *Green Skills for Hydrogen, Deliverable 2.2* (giugno 2023).**Competenze trasversali**

Manutenzione delle attrezzature e degli impianti di produzione di idrogeno

Componenti del sistema a idrogeno e integrazione con le energie rinnovabili

Aspetti legali, regolamentazione e permessi relativi a progetti H₂Salute, sicurezza e rischi legati all'H₂**Competenze tecniche e specialistiche**

Produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno

Celle a combustibile, tecnologia degli elettrolizzatori

Idrogeno nelle applicazioni di mobilità e nelle stazioni di rifornimento

Funzionamento e manutenzione delle apparecchiature e degli impianti a idrogeno

Fonte: *Green Skills for Hydrogen, Deliverable 2.2* (giugno 2023).**TABELLA 5.5****Formazione per l'idrogeno: un esempio di curriculum (I)**

Nr.	Modulo	Contenuti
1	Conoscenze di base dell'idrogeno	Proprietà dell'idrogeno; Panoramica del settore idrogeno; idrogeno verde per la decarbonizzazione e la transizione energetica
2	Applicazioni dell'idrogeno	Usi industriali dell'idrogeno; idrogeno nel settore trasporti; power-to-hydrogen per lo stoccaggio di energia e l'accoppiamento settoriale
3	Tecnologie dell'idrogeno	Produzione di idrogeno da elettrolisi; sistemi di celle a combustibile; trasporto e stoccaggio dell'idrogeno; celle a combustibile e sistemi di elettrolisi: installazione, conduzione e manutenzione
4	Sistemi eletrochimici	Introduzione ai sistemi eletrochimici; modellizzazione di sistemi eletrochimici
5	Mobilità a idrogeno	Introduzione ai veicoli elettrici ibridi a celle a combustibile (FCHEV); stazioni di rifornimento di idrogeno (HRS); FCHEV e HRS: manutenzione, protocolli e buone pratiche, normativa
6	Uso dell'idrogeno: combustione, componenti e rilevamento	Combustione dell'idrogeno; elementi ad alta pressione: recipienti, raccordi e componenti; materiali per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno; sensori di idrogeno
7	Sicurezza dell'idrogeno	Rischi dell'idrogeno per le persone e le attrezzature; sicurezza dell'idrogeno, rischi e standard; idrogeno compresso e liquido: strategie di sicurezza, rischi e problemi di sicurezza
8	Economia dell'idrogeno	Mercato dell'idrogeno; economia dell'idrogeno: costo dell'idrogeno, stato e prospettive; analisi tecnico-economica dei sistemi a idrogeno; realizzazione di progetti a idrogeno
9	Impatto ambientale e sociale dell'idrogeno	Impatto ambientale dei sistemi a idrogeno; elementi di accettabilità sociale dell'idrogeno
10	Iniziative e normative sull'idrogeno	Iniziative sull'idrogeno a livello internazionale/UE/nazionale; normativa e permessi sull'idrogeno; progetti sull'idrogeno nell'UE

TABELLA 5.6

Formazione per l'idrogeno: un esempio di curriculum (II)

	Corso	Gruppi occupazionali	Esempio Moduli
A	Introduzione all'idrogeno	Il corso è pensato per professionisti in ruoli non tecnico-ingegneristici che necessitano di acquisire conoscenze sull'economia dell'idrogeno e sulla sua catena del valore (decisori, manager, amministrazione pubblica, legislatori, ecc.)	1, 2, 3, 8, 10
B	Idrogeno per profili tecnici	Il corso è rivolto a professionisti con formazione ingegneristica o tecnica che iniziano a lavorare nel settore dell'idrogeno e necessitano di una riqualificazione sulle tecnologie dell'idrogeno	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10
C	Idrogeno per operatori della sicurezza e della manutenzione	Il corso è rivolto a operatori tecnici nell'installazione, nella conduzione e nella manutenzione. Questi profili hanno diverse specializzazioni e necessitano di aggiornamento e/o riqualificazione	1, 2, 3, 5, 6, 7

L'importanza della formazione specifica è confermata da un esperto del settore siderurgico, impegnato anche in attività di formazione per il settore:

L'utilizzo dell'idrogeno richiede una expertise specificatamente dedicata...io non sono un esperto di sicurezza però ovviamente, è chiaro che gestire situazioni dove c'è idrogeno è qualche cosa che richiede un'attenzione specifica. Non voglio dire né maggiore né inferiore ma sicuramente diversa.
... Devo dire che l'ultima tendenza che riscontro -

poi quest'anno è particolarmente forte - è che c'è una certa tendenza a una specificità di formazione. Cioè le imprese in questo momento, mentre noi stiamo uscendo come al solito, come abbiamo fatto sempre negli ultimi 20 e più anni, con un calendario definito in cui cerchiamo di concentrare gli interessi, in realtà, se stessimo appresso al mercato esclusivamente, ci chiederebbero quasi una formazione continua e specifica, quasi ogni settimana. Per cui ognuno vuole avere la sua formazione ritagliata su se stesso.

6. Il contesto della decarbonizzazione

6.1. La formazione tecnico-scientifica a Taranto

La disponibilità di forza lavoro qualificata appare un elemento cruciale per rendere possibile la decarbonizzazione della siderurgia locale e più in

generale la trasformazione della struttura produttiva in senso sostenibile. Senza pretesa di esaustività si fa qui riferimento all'offerta formativa delle principali istituzioni tecnico-scientifiche presenti sul territorio e maggiormente citate nelle interviste qualitative (tabella 6.1).

TABELLA 6.1
Formazione secondaria tecnico-industriale e terziaria nell'area di Taranto e provincia
Principali istituti, indirizzi di studio e profili professionali

Istituto/città	Indirizzi di studio	Profili professionali
IISS Righi	Elettronica ed Elettrotecnica; Meccanica e Meccatronica; Meccanica, Meccatronica ed energia; Informatica e telecomunicazioni; Conduzione/costruzione del mezzo aeronautico	Elettrotecnico Tecnico meccanico e meccatronico Tecnico energetico (fossile e rinnovabile) Tecnico per l'industria aerospaziale
ITT Pacinotti	Edilizia e costruzioni; Chimica; Informatica e telecomunicazioni; Elettronica/ elettrotecnica	Tecnico edile, Esperto di telecomunicazioni Perito informatico, Tecnico informatico Elettrotecnico, Perito chimico
ITES Pitagora	Amministrazione Finanza e Marketing Sistemi Informativi Aziendali Relazioni Internazionali per il Marketing Turismo	Contabile Tecnico marketing Tecnico delle attività turistiche Perito informatico
Istituto Mondelli-Amaldi	Elettronica ed Elettrotecnica; Meccanica e Meccatronica; Energia; Informatica e telecomunicazioni; Conduzione del mezzo aeronautico, Costruzione del mezzo aeronautico	Elettrotecnico, Tecnico meccanico e meccatronico Tecnico energetico (fossile e rinnovabile) Tecnico per l'industria aerospaziale Perito agrario
IISS Majorana	Informatica e Telecomunicazioni; Elettronica ed Elettrotecnica; Chimica, materiali e biotecnologie; Meccanica.	Esperto di telecomunicazioni Perito informatico, Tecnico informatico Elettrotecnico Tecnico meccanico e meccatronico Perito chimico
IISS Einaudi	Servizi per l'agricoltura e lo sviluppo rurale, Turismo Amministrazione, finanza e marketing Costruzioni ambiente e territorio Sistemi informativi aziendali	Perito agrario Tecnico marketing Tecnico delle attività turistiche Perito informatico, Tecnico edile
IISS Del Prete-Falcone	Biotecnologie sanitarie Elettronica ed Elettrotecnica Informatica e Telecomunicazioni Meccanica e Meccatronica	Tecnico di laboratorio Esperto di telecomunicazioni Perito informatico Tecnico informatico Elettrotecnico Tecnico meccanico e meccatronico
ITS Energia, Troia (FG), sede distaccata a Taranto	Energy Specialist; Energy and Circular Economy Specialist; Energy Manager; Building Manager.	Tecnico superiore per la gestione, manutenzione e verifica di impianti energetici, e per l'economia circolare; Tecnico superiore per le Comunità Energetiche Rinnovabili nelle Smart City; Tecnico superiore per il risparmio energetico nell'edilizia sostenibile
Politecnico di Bari LM in Ingegneria Energetica	Produzione sostenibile dell'energia; Generazione distribuita ed usi finali dell'energia; Infrastrutture energetiche	Ingegnere energetico con funzioni di progettazione, ricerca e sviluppo e gestione di impianti/infrastrutture per la produzione, distribuzione e usi finali dell'energia.

L'ITS Energia offre percorsi di specializzazione di livello post-secondario e il suo obiettivo è di formare tecnici specializzati nell'analisi e nella gestione

di sistemi per la produzione, la trasformazione e la distribuzione di energia. Prevede la formazione di quattro profili professionali:

 ITS Energia	<p>Energy specialist</p> <p>Tecnico superiore per la gestione, manutenzione e verifica di impianti energetici</p>
	<p>Energy & circular economy specialist</p> <p>Tecnico superiore dei sistemi energetici nell'economia circolare - ambiente (es. efficienza e recupero energetico nel ciclo dei rifiuti, economia circolare e delle tecnologie digitali 4.0)</p>
	<p>Energy manager</p> <p>Tecnico superiore per le Comunità Energetiche Rinnovabili nelle Smart City, analisi, gestione, realizzazione di soluzioni energetiche sostenibili: Comunità energetiche (CER e AUC), Smart City, Smart building, E-mobility</p>
	<p>Building manager</p> <p>Tecnico superiore per il risparmio energetico (gestione del patrimonio edilizio e impiantistico, miglioramento efficienza energetica, uso materiali innovativi)</p>

Nell'ambito della formazione universitaria di natura tecnica, l'attore locale principale è il Politecnico di Bari con un'ampia offerta di cicli triennali e magistrali. Si menziona, in particolare, la Laurea Ma-

gistrale in Ingegneria Energetica, erogata in collaborazione con l'Università del Salento, i cui curricoli sono dettagliati di seguito.

**Politecnico
di Bari
Laurea
Magistrale
in Ingegneria
Energetica**

	<p>Produzione sostenibile dell'energia</p> <p><i>Il processo formativo è finalizzato a formare un professionista in grado di lavorare nella generazione dell'energia elettrica mediante energie rinnovabile, agli impianti di produzione combinata di energia termica e calore, alla produzione, allo stoccaggio e alla conversione dell'idrogeno</i></p>
	<p>Generazione distribuita ed usi finali dell'energia</p> <p><i>Il processo formativo è finalizzato a formare un professionista in grado di lavorare nella progettazione e gestione delle reti energetiche, con particolare riferimento alle micro-reti, ai sistemi di produzione di calore e freddo per edifici "green" con bassissimi consumi, alla gestione dei dati e all'integrazione dei sistemi, nonché ai temi legati alla sostenibilità dei cicli di produzione con strumenti di economia circolare</i></p>
	<p>Infrastrutture energetiche</p> <p><i>Il processo formativo è finalizzato a formare un professionista in grado di lavorare nella progettazione e gestione delle infrastrutture energetiche, con particolare riferimento ai sistemi di produzione e gestione delle infrastrutture di trasporto dei vettori energetici, alla loro sicurezza e resilienza</i></p>

Si ricordano inoltre le attività del Centro di ricerca e trasferimento tecnologico (CETMA) a Brindisi dirette non soltanto a generare nuova conoscenza tramite ricerca avanzata ma anche a sviluppare applicativi in favore di aziende e istituzioni. Nato nel

1994, il CETMA è un consorzio di partner pubblico-privati tra cui l'ENEA, che detiene la maggioranza delle quote, l'Università del Salento, RINA Consulting, Lattanzio Kibs, Digimat, ecc. Tra le principali competenze sviluppate dal consorzio e utili per il

processo di trasformazione della siderurgia a Taranto vi sono quelle che riguardano l'ingegneria dei materiali, l'ingegneria informatica e il design industriale, quelle applicate in ambito ICT a supporto dell'innovazione di prodotto e processo, quelle di monitoraggio continuo con sensoristica avanzata.

6.2. Il contesto normativo

6.2.1. Il PNIEC

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) è il documento strategico attraverso il quale ciascun Stato membro dell'Unione Europea definisce gli obiettivi, le politiche e le misure per la transizione energetica e la decarbonizzazione del sistema economico. Essi copre cinque dimensioni fondamentali dell'Unione dell'energia: decarbonizzazione, efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno dell'energia e ricerca, innovazione e competitività. Il piano italiano definisce target nazionali coerenti con gli obiettivi dell'Accordo di Parigi (2015) e con il Pacchetto "Fit for 55" proposto dalla Commissione Europea nel 2021, che mira a ridurre le emissioni nette di gas serra del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 e a raggiungere la neutralità climatica dell'UE entro il 2050.

In questo documento, la siderurgia è riconosciuta come settore la cui decarbonizzazione si presenta estremamente complessa; è previsto l'utilizzo dell'idrogeno

verde, prodotto da fonti rinnovabili, come strumento chiave per la transizione verso un acciaio a basse emissioni di carbonio, dopo un periodo di phase-out del carbone in cui la materia prima principale utilizzata nel processo produttivo sarà il gas naturale, utilizzato per alimentare sia gli EAF sia gli eventuali impianti DRI. Più in generale, il PNIEC stabilisce obiettivi ambiziosi per l'utilizzo dell'idrogeno nell'industria: al 2030, almeno il 54% dell'idrogeno impiegato nel settore industriale dovrà provenire da fonti rinnovabili. Per supportare questa transizione, sono previsti incentivi attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e misure tariffarie che rendano competitivi gli investimenti in tecnologie a basse emissioni.

6.2.2. Il PNRR e la transizione ecologica

La Componente 2 della Missione 2 Rivoluzione verde e transizione ecologica del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) è dedicata all'Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile con un ammontare finanziario di quasi 24 mld di euro. La tabella 6.2 dettaglia le risorse per le diverse misure predisposte.

Con una dotazione di poco più di 3 mld di euro, la Misura 3, destinata a promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno, si focalizza sulle seguenti linee di investimento: dalla produzione di idrogeno in siti industriali dismessi

TABELLA 6.2
Il PNRR e la transizione ecologica: misure e risorse

PNRR: Componente 2 Missione 2	Risorse (mld euro)
M2C2 Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile	23,78
M2C2.1 Incrementare la quota di energia prodotta da fonti di energia rinnovabile	5,90
M2C2.2 Potenziare e digitalizzare le infrastrutture di rete	4,11
M2C2.3 Promuovere la produzione, distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno	3,19
M2C213.1 Produzione di idrogeno in aree industriali dismesse (hydrogen valleys)	0,50
M2C213.2 Utilizzo dell'idrogeno in settori hard-to-abate	2,00
M2C213.3 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale	0,23
M2C213.4 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario	0,30
M2C213.5 Ricerca e sviluppo sull'idrogeno	0,16
M2C2.4 Sviluppare un trasporto locale più sostenibile	8,58
M2C2.5 Sviluppare leadership internazionale industriale e ricerca nelle principali filiere della transizione	2,00

(Hydrogen Valleys)¹, all'utilizzo dell'idrogeno in settori *hard-to-abate*; dalla sperimentazione dell'idrogeno nel settore stradale e in quello ferroviario alla ricerca e sviluppo. Il PNRR prevede inoltre Riforme rivolte alla semplificazione amministrativa e riduzione degli ostacoli normativi alla diffusione dell'idrogeno e a promuoverne la competitività. L'acciaio rientra tra i settori hard to abate. Dei 2 mld previsti per finanziare progetti di introduzione dell'idrogeno come combustibile nella filiera industriale, uno era destinato proprio alla decarbonizzazione del polo industriale di Taranto, attraverso DRI d'Italia (società costituita da Invitalia, quindi controllata dal Ministero dell'economia e finanze), soggetto attuatore di un impianto di DRI alimentato a gas e a idrogeno verde da realizzarsi nell'area ionica (Decreto-legge Aiuti TER (2022).²

La tabella 6.3 riepiloga la situazione delle misure previste e finanziate dal PNRR a scala nazionale in relazione alla strategia nazionale dell'idrogeno (marzo 2025).

6.2.3. La strategia italiana dell'idrogeno e la siderurgia

La Strategia per l'idrogeno (2024) intende sostenere l'intera filiera dell'idrogeno con un insieme di strumenti, dalle iniziative finanziate con i fondi PNRR ad altre misure di supporto di diverso tipo (restituzione oneri di sistema, completamento del sistema delle garanzie di origine, decreto in corso di finalizzazione che riconosce tariffe di esercizio per sostenere la produzione di idrogeno. Complessivamente, i consumi di idrogeno rinnovabile al 2030 ammon-

terebbero a circa 0,25 Mton/anno, il 70% di quale sarà prodotto sul territorio nazionale (ipotizzata allo scopo una capacità elettrica di 3 GW di elettrolizzatori). Per quanto riguarda la tempistica, la strategia si articola in tre fasi. Al 2030, il primo obiettivo è la partenza delle Valli dell'Idrogeno. Nel periodo 2030-2040 ci sarà scaling up e sviluppo del mercato attraverso lo sviluppo di tecnologie H2 ready e lo sviluppo della domanda. Infine la fase 2040-2050 sarà di centralizzazione, grandi quantità, infrastrutture. L'idrogeno "potrà raggiungere" il 18% dei consumi dell'industria hard to abate e il 30% dei trasporti. In questo periodo dovrà essere operativa la rete di infrastrutture e anche l'uso dell'idrogeno come bilanciamento della rete.

La Strategia nazionale non stabilisce numeri precisi circa il tipo di idrogeno che sarà prodotto e consumato; almeno nel breve termine sia l'idrogeno verde sia quello a basse emissioni sono considerati ugualmente cruciali. Avranno un ruolo anche gli e-fuels, cioè, ammoniaca verde, metanolo e biometano soprattutto nei trasporti. L'aspetto da rilevare è che la strategia prospetta l'uso di idrogeno principalmente con blending con altri gas.

Cosa prevede la strategia italiana dell'idrogeno per la siderurgia?

La frazione di gas naturale sostituibile nel ciclo rottame con idrogeno riguarda i processi di fusione del rottame in forno elettrico ad arco, i forni di riscaldo e di trattamento dei prodotti e le operazioni di preriscaldamento dei reattori e componenti refrattari. I consumi per i servizi ausiliari (riscaldamento degli ambienti di lavoro, sistemi di trasporto

TABELLA 6.3
Misure del PNRR sull'idrogeno (risorse e progetti)

Misure PNRR sull'idrogeno	Risorse (euro)	Progetti (n.)
M2C213.1 Produzione di idrogeno in aree industriali dismesse (hydrogen valleys)	475.369.488	53
M2C213.2 Utilizzo dell'idrogeno in settori hard-to-abate	10.121.943	3
M2C213.3 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale	124.785.264	44
M2C213.4 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario	300.000.000	11
M2C213.5 Ricerca e sviluppo sull'idrogeno	157.024.068	25
Totale	1.067.300.762	136

1 Si tratta di aree dove operavano attività industriali che sono state terminate in parte o in tutto e che siano prossime (distanti meno di 50 km) ad altre utenze che possono esprimere una domanda potenziale di idrogeno anche parziale rispetto alla quantità producibile dall'impianto.

2 Nel 2023 il progetto è stato definanziato dal Governo Meloni e dal Ministro Fitto per via della tempistica di realizzazione incompatibile con quella del PNRR. Con la legge n. 56/2024 i fondi per il progetto di decarbonizzazione insistono ora sul Fondo di Sviluppo e la Coesione 2021-2027.

all'interno dello stabilimento, consumi per piccole lavorazioni, etc.) saranno probabilmente soddisfatti grazie all'uso di energia elettrica o biocombustibili; si stima che la frazione di gas naturale sostituibile con idrogeno potrebbe arrivare a circa il 78% che, considerando i consumi attualmente noti, corrisponderebbe a circa 0,88 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio). Sulla base di alcuni progetti sviluppati o in via di sperimentazione è peraltro possibile ipotizzare una sensibile riduzione del consumo di gas nei fornì di riscaldo. In alcuni casi, sia in Italia che all'estero, è già stata realizzata l'elettrificazione dei processi di laminazione che vanno dal semiprodotto dell'acciaio in billette (riscaldate con un forno ad induzione invece che a metano) ai prodotti finiti. Vi sono esempi di acciaierie a forno elettrico con laminatoio collegato direttamente ad una colata continua in presa diretta, senza la necessità di un forno di riscaldo. Per ora la maggior parte dei progetti realizzati riguarda principalmente impianti di piccola taglia, ma lo sviluppo tecnologico potrà consentire di applicare questi processi anche a impianti di grande taglia. È possibile dunque ipotizzare una riduzione degli 0,88 Mtep sopra richiamati a circa 0,63 Mtep, nell'ipotesi di circa 18 Mt/anno di acciaio prodotto da ciclo rottame.

Inoltre, se in Italia si manterrà la linea attuale di produrre acciai speciali anche mediante ciclo integrale a partire dal minerale di ferro, saranno necessari circa 0,48 Mtep per una produzione ipotetica di 6 Mt/anno di preridotto. Queste valutazioni conducono dunque a stimare uno scenario complessivo di consumo di idrogeno in siderurgia di circa 1,1 Mtep, corrispondenti ad una decarbonizzazione del settore fortemente orientata all'utilizzo dell'idrogeno. L'idrogeno però non è l'unica opzione di decarbonizzazione, per cui si può affiancare al suddetto scenario un'ipotesi più prudente, che porta comunque a confermare come indispensabile l'uso dell'idrogeno nella produzione da minerale, mentre nel ciclo da rottame si potrebbe fare in parte affidamento sulla produzione di calore con energia elettrica rinnovabile: a quest'altro scenario potrebbe corrispondere un livello minimo di penetrazione di idrogeno pari a circa 0,8 Mtep.

6.3. La strategia pugliese dell'idrogeno

6.3.1. Le linee generali

Proseguendo una politica sulle energie rinnovabili che risale agli inizi degli anni Duemila, nel 2022 la Regione Puglia pubblica H2Puglia2030, strategia regionale per lo sviluppo dell'idrogeno.

**Cosa prevede
la strategia
regionale pugliese
dell'idrogeno per
la siderurgia?**

L'obiettivo di fondo è quello di realizzare una Hydrogen Valley che risponda agli specifici bisogni locali (decarbonizzazione dell'industria siderurgi-

ca e hard-to-abate), facendo leva sugli asset locali (producibilità eolica e fotovoltaica e rilevanza del comparto industriale meccatronico). Punti fondamentali della strategia sono: sviluppare il mercato dell'idrogeno, sviluppare investimenti integrati tra le diverse province, sviluppare l'intera catena del valore (non solo impianti per la produzione del vettore H₂ o il suo utilizzo, ma anche l'industrializzazione delle macchine per la produzione dell'idrogeno, il suo trattamento, stoccaggio e distribuzione, oltre che impianti di generazione di energia pulita dedicati con cui alimentare gli elettrolizzatori), fornire i diversi settori finali.

La visione consegnata dal documento si accompagna con l'identificazione di target quantitativi al 2030 in coerenza con la Strategia nazionale per l'idrogeno. Si indica una penetrazione potenziale di idrogeno pari a circa 40-45 mila ton/anno nel 2030 con un consumo elettrico di circa 2.200 GWh/anno, pari ad una potenza aggiuntiva da installare in impianti eolici di circa 1,1 GW o in impianti fotovoltaici di circa 1,6 GW. A titolo di confronto, si ricorda che nel 2020 in Puglia erano installati circa 2,6 GW di impianti eolici e 2,9 GW di impianti fotovoltaici, per una produzione complessiva pari a 8.600 GWh/anno; e un consumo idrico di circa 400 mila m³/anno di acqua.

6.3.2. Siderurgia e idrogeno nella strategia regionale pugliese

Nel documento regionale il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione del settore siderurgico è legato allo sviluppo di un mercato dell'idrogeno verde; la transizione avrà natura progressiva: per i suoi consumi elevati e la complessità del processo di elettrificazione la siderurgia, insieme alla chimica e all'industria della carta, dovrà progressivamente arrivare ad utilizzare idrogeno fino ad azzerare le proprie emissioni di CO₂. Per quanto riguarda Taranto si ipotizza l'utilizzo di circa 8-9 mila tonnellate di idrogeno l'anno, subordinato all'evoluzione dello scenario nazionale.

La tabella 6.4 riepiloga la situazione dei progetti pugliesi e di quelli che insistono nell'area di Taranto riguardo alle misure previste e finanziate dal PNRR in relazione all'idrogeno.

TABELLA 6.4**PNRR e idrogeno in Puglia e a Taranto**

Fonte: OpenPolis

Misure PNRR sull'idrogeno	Progetti in Puglia (n.)	Progetti area di Taranto (n.)
M2C213.1 Produzione di idrogeno in aree industriali dismesse (hydrogen valleys)	7	2
M2C213.2 Utilizzo dell'idrogeno in settori hard-to-abate	0	0
M2C213.3 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale	4	1
M2C213.4 Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario	2	0
M2C213.5 Ricerca e sviluppo sull'idrogeno	3	0
Totale	16	3

TABELLA 6.5**Progetti di produzione dell'idrogeno in aree industriali dismesse in Puglia**

Fonte: Regione Puglia, Osservatorio sull'idrogeno

Azienda	Luogo	Costo	Fondi pubblici	Progetto	Posti di lavoro	Tempistica
ENEL	Brindisi, Torre Santa Susanna, Erchie	22.643.529	9.800.000	Installazione di un elettrolizzatore da 2 MW alimentato da 2 parchi solari di 8 MW	8	dal 2026
Sistemi Energetici	Foggia	3.136.734	8.000.000	Installazione di un elettrolizzatore da 3 MW con stadio di compressione alimentato da un parco solare e basato su meccanismi di riutilizzo dell'acqua	5	dal 2026
Cerichem	Cerignola	9.860.000	9.860.000	Installazione di elettrolizzatori da 1,5 MW con parchi solari dotati di accumulo di energia per alimentare la produzione di idrogeno	9	dal 2026
Acca srl	Campi Salentina	25.612.160	10.000.000	Installazione di un elettrolizzatore da 3,86 MW con annesso parco solare	10	dal 2026
Panita srl	Statte	15.905.250	10.000.000	Realizzazione di due elettrolizzatori da 2 MW cad. con un impianto di compressione e stoccaggio alimentato da un parco solare dotato di sistema di accumulo di energia elettrica	n.d.	elettrica
Reti Gas Energy Srl & Hope Group	Bari	6.880.000	6.880.000	Installazione di un elettrolizzatore da 1 MW con compressione e accumulo, alimentato da un parco solare. La produzione di idrogeno è collegata a una stazione di rifornimento di idrogeno che serve la flotta di camion dell'azienda municipalizzata di smaltimento rifiuti	n.d.	n.d.
Solarind Green srl	Taranto	28.389.533	10.000.000	Installazione di un elettrolizzatore da 3.862 MW alimentato da due parchi solari	9	
Totale		112.427.206	64.540.000		41	

TABELLA 6.6**Progetti sull'idrogeno localizzati nell'area di Taranto**

Fonte: Regione Puglia, Osservatorio sull'idrogeno

Azienda	Costo (euro)	Fondi pubblici (euro)	Descrizione del progetto	MW elettrolizzatori	Capacità produttiva idrogeno verde (T/a)	Posti di lavoro	Tempistica
Energie Salentine srl	613.430.412	474.699.772	Collegamento alla rete elettrica nazionale e Power Purchase Agreement. Impianti rinnovabili direttamente connessi all'impianto di elettrolisi. Localizzazione: Taranto e Brindisi. Capacità Totale: 452 MW di elettrolisi alcalina, collegati tramite idrogenodotto IPCEI IT21 gestito da Snam.	400	66200	20	2028
Panita srl	15.905.250	10.000.000	L'intervento prevede: a) l'installazione di due elettrolizzatori da 2 MW cad. per la produzione di idrogeno rinnovabile, dotati di tutti gli impianti ausiliari necessari al processo produttivo (trattamento acqua, compressione e sistema di stoccaggio); b) l'installazione nello stesso sito di un impianto fotovoltaico asservito agli elettrolizzatori dalla potenza nominale di ca. 5,4 MWel, dotato di sistema di stoccaggio dell'energia elettrica da 6 MWh. È prevista l'installazione di un ulteriore impianto fotovoltaico asservito agli elettrolizzatori alla potenza nominale di ca. 2,8 MWel, da realizzare in un sito diverso da quello in cui sarà prodotto l'idrogeno rinnovabile. Il progetto è localizzato nel comune di Statte in un sito industriale dismesso. L'intervento prevede di poter produrre a regime circa 260 tonnellate per anno di idrogeno rinnovabile di energia elettrica.	4	260	n.d.	dal 2026
Puglia Green Hydrogen Valley	n.d.	n.d.	Impianto per la produzione di idrogeno "verde".	100	15000	n.d.	2028
SNAM	80-90.000.000 (totale linea BR-TA)	30-40.000.000 (totale linea BR-TA)	Il progetto IT21 H2 Valley Puglia mira a creare un'infrastruttura integrata per il trasporto e la distribuzione dell'idrogeno nella regione Puglia per sviluppare una catena di approvvigionamento di H2 completa e accessibile come primo passo nella costruzione della European H2 Backbone. L'infrastruttura di trasporto H2 è collegata ai siti di generazione di H2 previsti a Brindisi e Taranto e a importanti distretti di utilizzatori finali in primis la siderurgia, con potenziali ricadute sulla raffinazione e sulla chimica). Il progetto prevede sia il repurposing di pipeline esistenti che la costruzione di nuove pipeline per trasporto idrogeno, per una lunghezza complessiva di circa 107 km. La capacità tecnica prevista del progetto si prospetta essere fino a 120.000 Nmc/h di idrogeno.	n.d	n.d	n.d.	2028

Segue >

< Segue

Azienda	Costo (euro)	Fondi pubblici (euro)	Descrizione del progetto	MW elettrizzatori	Capacità produttiva idrogeno verde (T/a)	Posti di lavoro	Tempistica
Solarind Green srl	28.389.533	10.000.000	Il progetto prevede la costruzione in un'area area industriale dismessa di un impianto per la produzione di idrogeno verde della potenza nominale di 3,862 MW alimentato sia tramite il limitrofo impianto fotovoltaico della potenza di 1,228 MWp, sia tramite l'impianto fotovoltaico sito in San Pietro Vernotico della potenza di 9,8 MWp e per la parte rimanente da RTN tramite un contratto PPA che assicuri la fornitura di energia verde. Entrambi gli impianti fotovoltaici saranno asserviti all'impianto di produzione di idrogeno. L'intervento interessa l'area industriale di Taranto, in un sito equidistante dagli stabilimenti Eni e Acciaierie d'Italia. L'idrogeno prodotto servirà alla decarbonizzazione del processo produttivo di Adl. Il sito è accessibile da strada consortile tra SS7 e SS106. In area contigua al sito, sono presenti unicamente aree ad uso industriale. L'impianto di produzione idrogeno e il primo dei due impianti di FER asserviti verranno installati sui terreni nella disponibilità del Proponente nel sito di Taranto.	3,862	31,3668	9	2026
ENI spa s. Mobility	n.d.	3.655.000	Progetto per la realizzazione di una stazione di rifornimento a base di idrogeno rinnovabile per il trasporto stradale nel comune di Taranto.	n.d.	n.d.	n.d.	2026

Più precisamente Taranto è inserita tra le aree industriali pugliesi idonee ad ospitare i siti di produzione di idrogeno verde in aree dismesse³, per la presenza di processi produttivi potenziali utilizzatori dell'idrogeno, i cosiddetti off-takers, cioè ex-ILVA, ENI e le aziende del settore chimico nell'area di Brindisi. Rispetto a questa misura sono censibili 7 progetti a scala regionale (marzo 2025) per 122 milioni di euro; 2 di questi progetti insistono nell'area di Taranto: Solarind Green e Panita (tabella 6.5).

Complessivamente i progetti sull'idrogeno localizzati nell'area di Taranto sono 6 (marzo 2025) (tabella 6.6). Oltre a quelli già menzionati e a un progetto relativo alla mobilità, altri tre progetti hanno ottenuto lo status di IPCEI - Progetti di Comune Interesse

Europeo⁴ nell'ambito del bando Hy2Infra - IPCEI. Rispetto al progetto SNAM, spiega un'esperta di DRI, si profila una integrazione con l'acciaieria.

Sta ... [SNAM] sta lavorando sulla riconversione di una condotta esistente ed è già stato meccanicamente previsto lo stacco sulla condotta per alimentare l'idrogeno all'ingresso della ceneria

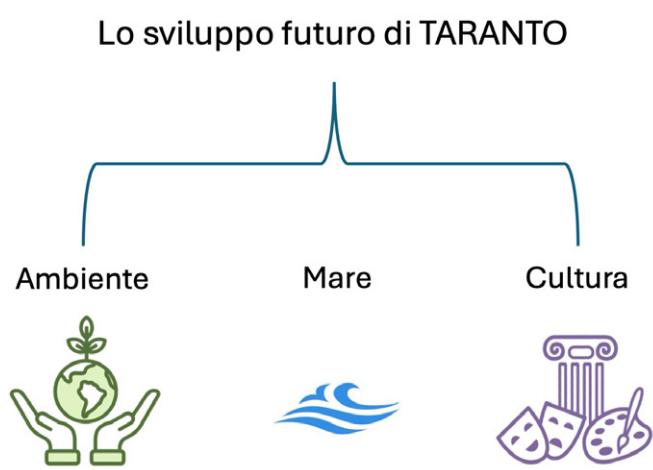
Le opportunità di sviluppo dell'economia dell'idrogeno, anche a Taranto, sono alimentate dalla considerazione che la strategia regionale punta ad abbracciare l'intera filiera produttiva; oltre a produrre

³ Per quanto riguarda Taranto le aree in questione sono in parte quelle del siderurgico, del cementificio ex-Cementir e delle officine ex-Belleli sulla via per Statte; nel novero delle possibilità vi sarebbe anche l'utilizzo della piattaforma Piastra logistica (Strategia per l'idrogeno, Regione Puglia).

⁴ Si tratta iniziative di collaborazione industriale su larga scala che riuniscono conoscenze, risorse finanziarie, e attori per raggiungere innovazione radicale e di grande rilevanza tecnologico-produttiva condivisa tra settore pubblico e privato.

idrogeno, si intende cioè implementare a scala locale tutta la catena dal valore che include ad esempio l'industrializzazione delle macchine per la produzione dell'idrogeno, il suo trattamento, stoccaggio e distribuzione, oltre che gli impianti di generazione di energia pulita con cui alimentare gli elettrolizzatori. A questo proposito è da menzionare il progetto di Metka Egn Apulia srl che costruirà un impianto fotovoltaico di potenza pari a 19.68 MW tra Statte e Taranto. Una parte dell'energia elettrica prodotta sarà immessa direttamente nella rete, mentre una quota andrà ad alimentare un elettrolizzatore con capacità di 4 MW; questo impianto dovrebbe essere in grado di produrre circa 260 tonnellate di idrogeno all'anno. Anche in relazione alla potenziale alimentazione dell'idrogeno alle aziende manifatturiere dell'area (in primis l'acciaieria ex-ILVA e la raffineria Eni), nonché al porto, e più in generale in un'ottica di transizione ecologica, si pone inoltre il primo parco eolico offshore per grandezza dell'intero Mar Mediterraneo localizzato proprio nel Golfo di Taranto. Si tratta del parco Beleolico realizzato dalla società Renexia, insieme all'azienda cinese MingYang Smart Energy che ha fornito le turbine. Insieme ad Augusta, Taranto sarà uno dei due poli industriali per l'allestimento delle piattaforme per l'eolico offshore galleggiante (decreto interministeriale 4 luglio 2025). È noto inoltre che nell'area è presente già dalla fine degli anni Novanta un'importante azienda danese che produce pale eoliche, Vestas (Vestas Blades Italia), che ha recentemente inaugurato nella città ionica una nuova linea di produzione per la turbina eolica offshore V236-15.0 MW tra le più grandi al mondo con positive implicazioni occupazionali; l'azienda ha

FIGURA 6.1
“Taranto Futuro Prossimo”:
Il Piano Strategico Regionale



previsto, oltre che l'uso della piattaforma logistica, anche la realizzazione di un'infrastruttura in grado di imbarcare le pale già pronte. Un rappresentante della Regione Puglia spiega, tuttavia, che:

I'incertezza sul principale potenziale acquirente rappresenta un ulteriore livello di complessità per il percorso regionale dell'idrogeno ... Quando hanno presentato i progetti è stato richiesto loro di allegare lettere di intenti dei potenziali acquirenti Certamente l'ex acciaieria ILVA era tra i potenziali acquirenti della maggior parte dei progetti di Taranto. Ma queste lettere di intenti non sono vincolanti; vedremo quando inizierà la produzione entro il 2026 quando le lettere di intenti saranno trasformate in contratti commerciali chi saranno i veri acquirenti

L'incertezza sul futuro dell'ex-ILVA, quindi, rimane un fattore cruciale per il successo o il fallimento dei progetti idrogeno pugliesi.

6.4. La diversificazione economica dell'area di Taranto

Il riassetto della fabbrica siderurgica a Taranto si accompagna con i tentativi di avviare una diversificazione del tessuto produttivo che permetta anche di moltiplicare le opportunità di nuova occupazione. Il documento regionale Taranto Futuro Prossimo (2019) individua una serie di direttive di diversificazione dell'economia locale. Oltre che nella cultura (intesa in senso lato, sia cultura che turismo), i pilastri dello sviluppo futuro di Taranto sono individuati nell'economia del mare e nell'ambiente. Le risorse finanziarie utilizzabili per avviare percorsi di diversificazione provengono da una molteplicità di capitoli di spesa, tra i quali vi sono quelli del CIS Taranto, i fondi dell'Unione Europea destinati alla Regione e quelli specifici destinati a Taranto, quali il Just Transition Fund, a cui si affiancano i finanziamenti del PNRR.

Per quanto riguarda la valorizzazione della cultura, della natura e del turismo, lo sforzo è duplice: da un lato favorire il riposizionamento competitivo di Taranto nello scenario internazionale attirando nuovi e significativi flussi turistici; dall'altro gettare le basi per lo sviluppo di una vera e propria industria culturale, a partire dalla produzione di cultura. Le istituzioni locali - Regione Puglia e Comune di Taranto - hanno preliminarmente identificato le

risorse naturali e culturali in grado di connotarsi come catalizzatori di cultura e turismo; tra queste rientrano il Museo Archeologico MArTA, il Museo di storia naturale Bios Taras, il Museo Diocesano di Taranto, ma anche il Centro storico della città, l'arco ionico con le sue spiagge, le isole prospicenti la città, il Mar Piccolo bonificato. Tra gli strumenti ritenuti utili per promuovere un nuovo sviluppo della città vi sono gli eventi culturali e sportivi; tra di essi hanno assunto rilevanza il Medimex⁵, SailGP, e una serie di iniziative simili, quali i tour di avvistamento dei delfini in mare aperto. A supporto di questa direttrice si muove l'istituzione del Parco Naturale Regionale del Mar Piccolo. In ultimo a partire dal 2021 Taranto è entrata nel circuito del turismo crocieristico che ha portato nell'area quasi 140 mila turisti nel 2023, +72,5% rispetto al 2021.

Per quanto riguarda l'economia del mare o economia blu⁶, vi rientrano attività quali la pesca ma anche le attività portuali e la cantieristica navale, così come le fonti energetiche rinnovabili marine, la protezione delle coste, la desalinizzazione (ARTI 2020). In Puglia⁷ nel 2018 si stimava la presenza di poco più di 2.300 imprese attive operanti in ambito marino, quindi acquacoltura, costruzione e riparazione di imbarcazioni, desalinizzazione, pesca, protezione delle coste, trasporti marittimi e più di 10.000 addetti (ibidem.).⁸ A Taranto si rilevano realtà interessanti nell'ambito della costruzione navale e del recupero e restauro di barche a vela in legno. Tra

i progetti vi è anche quello di dare una nuova linfa all'attività della cantieristica navale utilizzando l'area degli ex Cantieri Tosi, anche se fino ad ora tutte le principali iniziative in tal senso si sono arenate. Nella direttrice di sviluppo fondata sull'economia del mare un ruolo di rilievo è certamente ricoperto dal porto di Taranto e dalla logistica. Nel tempo, seppure tra molte difficoltà, è maturata l'ambizione di rafforzare il ruolo del Porto non solo come terminal container⁹ ma soprattutto come fornitore di tutta una serie di attività e servizi di supporto alla logistica, a valle e a monte del transhipment, con l'offerta di servizi alle navi (stoccaggio, lavorazione e produzione di merci) e servizi alle merci (adempimenti formali, collegamenti porto-hinterland). In aggiunta, potenzialità di espansione sono legate alla politica europea indirizzata a incrementare la connettività attraverso il completamento di reti e nodi transeuropei di trasporti (TEN-T); in questo quadro il porto di Taranto potrebbe incrementare il traffico commerciale puntando ad una completa integrazione dal punto di vista dei trasporti, la cosiddetta intermodalità, essendo un nodo al centro della rete stradale, ferroviaria e aerea, considerata anche la vicinanza con lo scalo cargo di Grottaglie.

Le energie rinnovabili rappresentano un ulteriore ambito di sviluppo per l'economia locale, sostenuto dalla scelta dell'Unione Europea di avanzare verso la decarbonizzazione. Questo tema sarà approfondito nel prossimo capitolo. ■

⁵ Si tratta di una manifestazione rivolta alla discografia, alla digitalizzazione, alla distribuzione degli spettacoli, all'attività dei festival. Medimex si è imposto come evento di livello nazionale per molti operatori pugliesi interessati a presentarsi e crescere nel mercato italiano.

⁶ Nell'economia blu si ricomprendono tutte le attività economiche legate alle risorse marine e alle coste a cui afferisce un'ampia gamma di settori consolidati ed emergenti tra loro collegati.

⁷ La Regione ha avviato la sua strategia in questo ambito nel 2022.

⁸ Includendo i settori non core (energie rinnovabili, biotecnologie, risorse minerarie, turismo, utilities) le imprese coinvolte sono più di 7mila e gli addetti poco meno di 35mila.

⁹ Al momento l'attività di transhipment è espletata dalla multinazionale Yildrim Holding SA a cui è stata rilasciata una concessione per l'uso del terminal container di 49 anni.

7. Le tendenze di crescita e di occupazione nel settore delle energie rinnovabili

7.1. Tendenze generali

Il report pubblicato dall'Agenzia Internazionale per le Energie Rinnovabili (IRENA) in collaborazione con l'Organizzazione Internazionale per il Lavoro (ILO) (2024) evidenzia una crescita del settore delle energie rinnovabili a livello globale, con una capacità aggiuntiva di produzione di 473 gigawatt (GW) nel 2023. La capacità cumulativa nella produzione di energia elettrica ha raggiunto i 3.865 GW, un incremento del 14% rispetto al 2022. Tale incremento è dovuto in particolare al contributo della Cina che ha investito nel settore più di ogni altro Paese. A scala mondiale il fotovoltaico ha rappresentato il principale motore della crescita, con 347 GW di nuova capacità installata, seguito dalle bioenergie che registrano una nuova capacità installata di 149 GW e l'eolico, +115 GW.

La Figura 7.1, riferita al contesto europeo e alla nuova capacità installata, mostra come la composizione delle fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica sia cambiata tra il 2022 al 2023: il solare

fotovoltaico ha raggiunto il primo posto, 'scavalcando' l'idroelettrico. Da sottolineare però che l'Unione Europea è importatrice netta di componenti e servizi per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Per quanto concerne l'Italia, il PNIEC recepisce gli obiettivi fissati dall'Unione Europea per contrastare il cambiamento climatico. In questo quadro le energie rinnovabili occupano un ruolo di primo piano nella politica energetica nazionale che tenderà a promuovere l'abbandono del carbone per la generazione elettrica a favore di un mix elettrico basato su una quota crescente di rinnovabili e, per la parte residua, sul gas, e riducendo le importazioni. Più precisamente si intende traghettare la quota di quasi il 40% dei consumi finali lordi di energia al 2030, in linea con il contributo atteso per il raggiungimento dell'obiettivo comunitario. Esso prevede che la forte penetrazione di tecnologie di produzione elettrica rinnovabile, principalmente fotovoltaico ed eolico onshore, permetterà al settore di coprire il 63,4% circa dei consumi finali elettrici lordi con energia rinnovabile, in notevole aumento rispetto al 37,1% rilevato nel 2022.

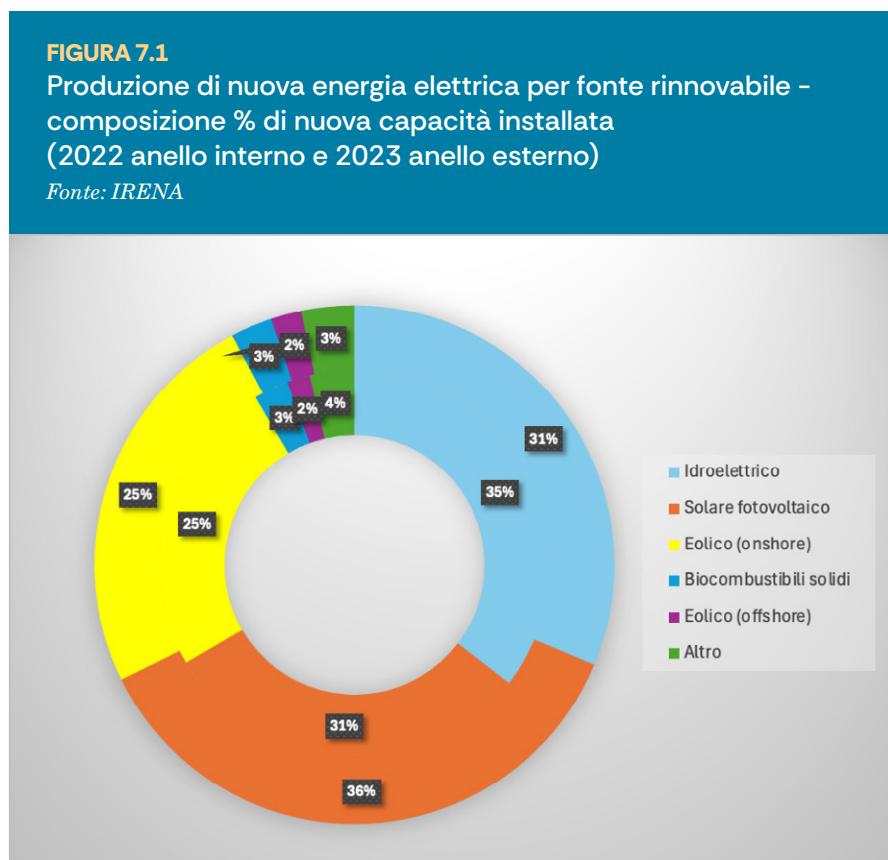
Per raggiungere questi obiettivi, il PNIEC prevede un aumento della capacità solare a 79,2 GW (dai 25,1 GW del 2022) e di quella eolica a 28,1 GW (dagli 11,8 GW del 2022) (<https://www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/pniec-italia-obiettivi-2030-rinnovabili-emissioni/>).

Dopo una crescita modesta tra il 2014 e il 2021, si è registrata una decisa accelerazione delle nuove installazioni a partire dal 2022, trainata principalmente dal fotovoltaico. La Banca d'Italia (2025) rileva che la crescita del fotovoltaico ha interessato sia impianti di grandi dimensioni (>1 MW) sia quelli di piccola e media taglia, utilizzati per l'autoproduzione. Gli impianti fotovoltaici di maggiori dimensioni hanno una maggiore incidenza al Sud. Le imprese dotate di autoproduzione FER erano oltre 26.600 nel periodo 2015-23, distribuite prevalentemente al Nord (60%).

FIGURA 7.1

Produzione di nuova energia elettrica per fonte rinnovabile -
composizione % di nuova capacità installata
(2022 anello interno e 2023 anello esterno)

Fonte: IRENA



Tra queste, la quota di imprese manifatturiere è netta, con settori come metallurgia, macchinari, industrie alimentari e gomma/plastica che mostrano una propensione più alta all'autoproduzione. Se gli impianti fotovoltaici sono distribuiti in modo più uniforme sul territorio, la capacità eolica installata è concentrata quasi esclusivamente nel Mezzogiorno (Puglia, Campania, Basilicata, Sardegna, Sicilia). Le richieste di connessione di impianti FER di grandi dimensioni alla rete nazionale (Terna) hanno raggiunto 341 GW a metà 2024. Di queste, l'85% riguarda il Mezzogiorno, concentrandosi in Puglia, Sicilia e Sardegna (il 44% di questi è solare, e il 56% eolico). Sebbene la potenza richiesta superi teoricamente gli obiettivi PNIEC, quasi il 90% delle richieste è ancora in fasi preliminari e una quota consistente potrebbe non tradursi in impianti effettivi. È opportuno sottolineare che l'aumento della quota di FER richiede un parallelo potenziamento della rete di trasmissione nazionale per gestire la maggiore dispersione geografica degli impianti e l'intermittenza e la non programmabilità delle fonti solare ed eolica. I sistemi di accumulo sono cruciali per mitigare l'intermittenza. La potenza di stoccaggio in Italia è cresciuta a 9,7 GW a fine novembre 2024, grazie quasi esclusivamente agli accumuli associati a piccoli impianti. Il piano di sviluppo di Terna prevede di raggiungere 22,5 GW entro il 2030, con un significativo aumento dei sistemi di maggiore scala, soprattutto nel Mezzogiorno.

7.2. L'occupazione nel settore delle energie rinnovabili

L'occupazione legata alle energie rinnovabili è influenzata principalmente da due fattori: l'aumento delle installazioni e della capacità di generazione di energia e le dinamiche delle industrie che producono le varie componenti necessarie (pannelli solari, turbine eoliche, turbine idroelettriche ecc.) e forniscono servizi correlati (es. supporto amministrativo e manutenzione). L'impiego (diretto ed indiretto) nella filiera delle energie rinnovabili raggiunge nel 2023 i 16,2 milioni di posti di lavoro a livello globale, registrando un incremento del 18% rispetto al 2022; di questi 1,8 si registrano all'interno dell'Unione Europea. La figura 7.2 rappresenta la com-

TABELLA 7.1

Stime occupazionali per settore a livello globale ed EU nel 2023 (in migliaia)

Fonte: IRENA e ILO (2024)

Settore	Occupazione	
	Globale	EU-27
Solare fotovoltaico	7.107	720
Biocarburanti liquidi	2.803	150
Idroelettrico	2.324	71
Eolico	1.457	282
Biomasse	765	333
Altro	1.779	256
Totali	16.235	1.812

posizione percentuale di tale occupazione. Per quanto riguarda il solare fotovoltaico, è stato stimato che l'84% dei posti di lavoro abbia riguardato l'installazione degli impianti, l'8,1% la loro conduzione e manutenzione, il 7,4% la produzione e lo 0,8% lo smantellamento e il riciclo. Quasi tre quarti dei posti di lavoro in produzione hanno riguardato la produzione di inverter. Nella stima dei posti di lavoro generati dal settore fotovoltaico è importante considerare il tipo di impianto installato. Ad esempio, gli impianti residenziali sono ad alta intensità di manodopera (per ogni KW/h installato si stima una manodopera tre volte superiore a quella necessaria per le installazioni su ampia scala).

FIGURA 7.2
Composizione dell'occupazione nell'EU-27 nel 2023 (v.%)

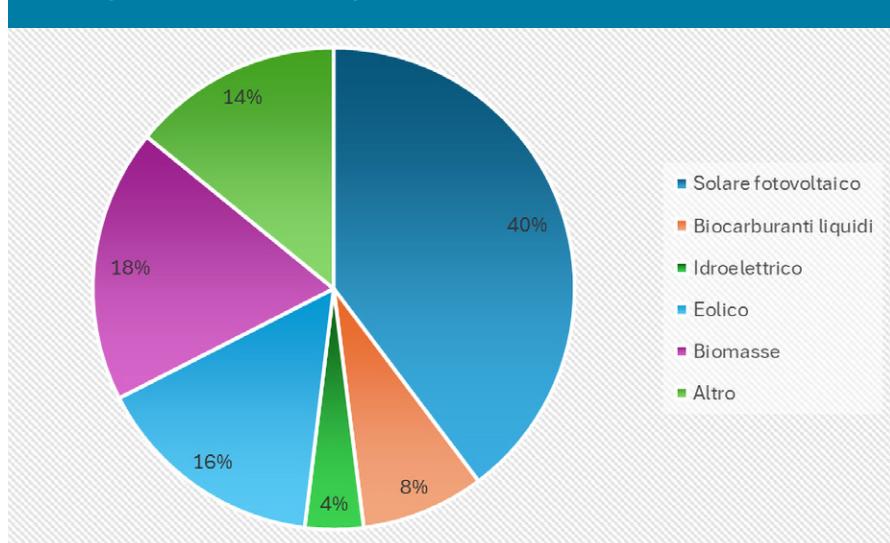
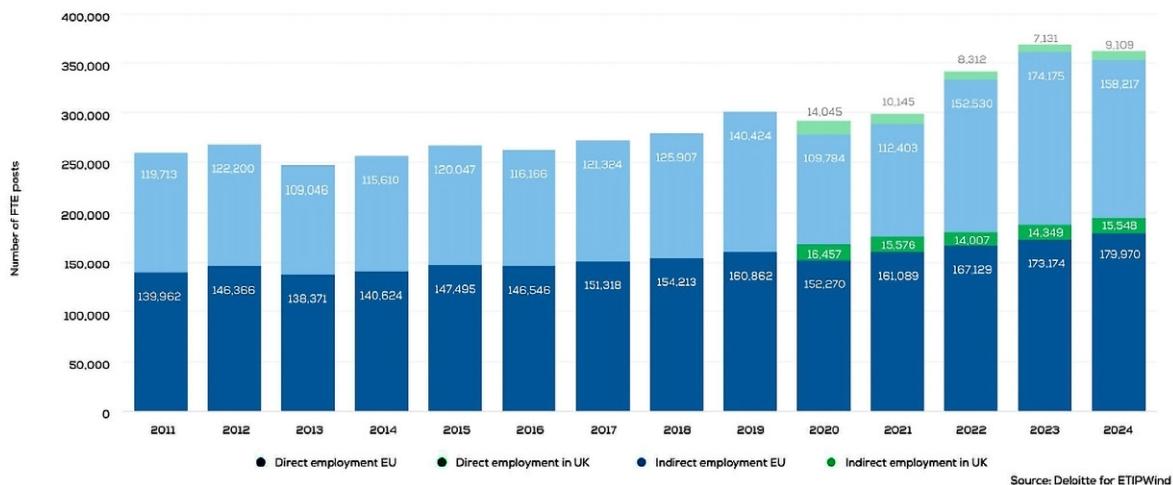


FIGURA 7.3

Occupazione nell'industria eolica europea

Jobs in the European wind industry

The European wind industry sustained 363,000 jobs in Europe including 338,000 coming from the EU. The number of people directly employed in Europe by the wind industry has increased for the ninth year in a row.



etipwind.eu

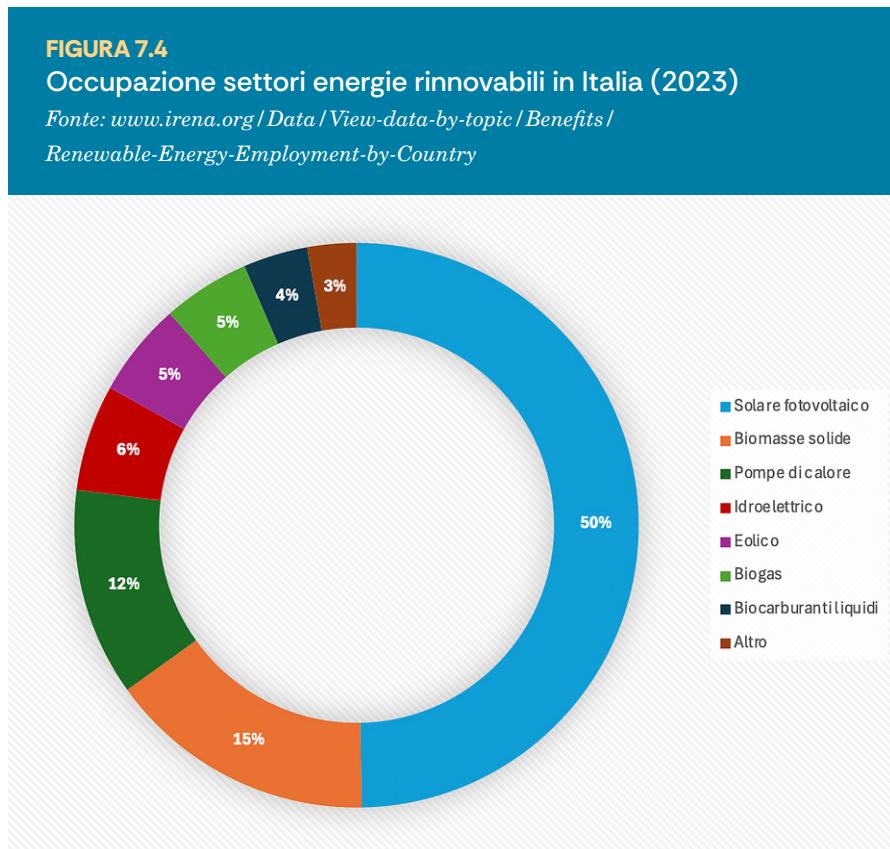
7.2.1. Occupazione nel settore eolico in Europa

Secondo ETIP (European Technological and Innovation Platform on Wind Energy) le aziende del settore eolico nell'Unione Europea impiegano attualmente circa 338mila persone, alle quali si aggiungono quasi 25mila lavoratori del Regno Unito, per un totale di 363mila posti di lavoro. I posti di lavoro diretti si riferiscono all'occupazione presso le aziende che producono turbine eoliche e presso i subfornitori che producono componenti per tali turbine; sono inclusi anche i principali servizi di ricerca e sviluppo, ingegneria e servizi specializzati nel settore eolico. I posti di lavoro indiretti spaziano dalla logistica per il trasporto marittimo e terrestre alla costruzione e manutenzione delle infrastrutture.

FIGURA 7.4

Occupazione settori energie rinnovabili in Italia (2023)

Fonte: www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Benefits/Renewable-Energy-Employment-by-Country



Dal punto di vista geografico, una parte significativa dell'occupazione diretta nell'energia eolica si concentra in tre paesi dell'unione EU: Danimarca, Germania e Spagna, oltre che nel Regno Unito. Il settore eolico è oggi meno concentrato del passato in ragione dell'apertura di centri di produzione nei mercati emergenti e alla natura locale di molte attività legate all'eolico, come la componentistica, i servizi di ingegneria e quelli legali, la promozione.

7.2.3. L'occupazione nel settore delle rinnovabili in Italia

In Italia l'occupazione nei vari settori delle energie rinnovabili si è attestata a circa 154 mila occupati nel 2023, quasi la metà dei quali impegnati nel settore del solare fotovoltaico. In questo ambito l'occupazione è raddoppiata tra il 2022 e il 2023 arrivando a più di 76 mila lavoratori (IRENA-ILO, 2024). Secon-

do il Rapporto GREENECONOMY 2023 (<https://www.statigenerali.org/wp-content/uploads/2023/11/Relazione-sullo-stato-della-green-economy-2023.pdf>) il comparto energetico esprime la necessità di figure professionali sempre più transdisciplinari, in possesso di competenze specialistiche, in ambito tecnico-economico, e soft skills. Per lo svolgimento di attività di ricerca sono ricercate figure quali quella dei ricercatori universitari pubblici e privati nel settore del fotovoltaico, delle batterie, dello stoccaggio e della trasmissione dell'energia, nella ricerca di nuovi materiali o super conduttori, così come nuovi tipi di batterie, ecc. Anche la figura del programmatore si trasforma per accogliere le mutate esigenze del mercato, che richiedono ad esempio esperti in programmazione dell'intelligenza artificiale per sistemi di smistamento elettrico, basato su modelli predittivi integrati tra meteo (sole e vento), usi residenziali, industriali e accumuli diffusi.

- | | |
|---------------------------|---|
| Green Economy 2023 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Ricercatori (es. stoccaggio, trasmissione di energia; nuovi materiali)</i> ➤ <i>Programmatore (es. dello smistamento elettrico)</i> ➤ <i>Progettista (es. di pale eoliche); costruttori di turbine, pompe di calore</i> ➤ <i>Installatori (di impianti fotovoltaici, eolici), posatori di cavi, metalmeccanici, elettricisti, elettromeccanici</i> ➤ <i>Professionisti in ambito giuridico (es. esperti in procedure autorizzative, broker di energia rinnovabile)</i> |
|---------------------------|---|

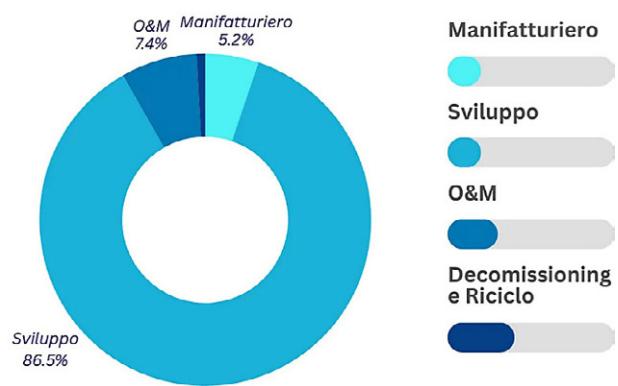
Per quanto concerne, invece, l'attività di carattere progettuale, emergono profili professionali variegati. Tra questi, si collocano le attività che vedono coinvolti soggetti con competenze diverse, in ambito geologico, ingegneristico e civile, periti e operai specializzati (tra cui operai elettromeccanici e metalmeccanici, posatori di cavi, ecc.), ma anche in ambito giuridico (come i legali per procedure autorizzative per impianti di generazione elettrica da rinnovabili).

Vi sono tanti altri mestieri legati al settore elettrico che assumono sempre maggiore rilevanza per effetto della transizione ambientale, che vanno dai broker di energia rinnovabile, ai regolatori e addetti alla gestione della rete di trasmissione, fino all'elettricista residenziale di nuova generazione. La figura seguente suggerisce al momento il maggiore impiego di lavoratori nella fase di sviluppo e Operation and Management.

FIGURA 7.5
Lavori nel settore delle energie rinnovabili per ambiti operativi (v.%)

Fonte: Rinnovabili.it

LAVORATORI EQUIVALENTI A TEMPO PIENO



7.3. Una previsione occupazionale a partire dal fabbisogno di energia verde dell'acciaieria di Taranto

In questo paragrafo si estrapolano dai dati statistici tedeschi alcuni parametri per sviluppare una previsione occupazionale relativa alle fonti rinnovabili legate al progetto dell'acciaieria decarbonizzata di Taranto.¹⁰ Si propone di utilizzare l'indicatore “fattore occupazionale” (espresso in FTE/MW dove FTE = Full-Time Equivalent corrisponde a ULA (unità lavorative annuali)/MW) dei singoli settori rinnovabili in Germania e di interesse per Taranto (in particolare solare ed eolico), ipotizzando che in Italia le proporzioni del futuro sviluppo nel settore delle FER potranno essere simili alla situazione del mercato oggi in

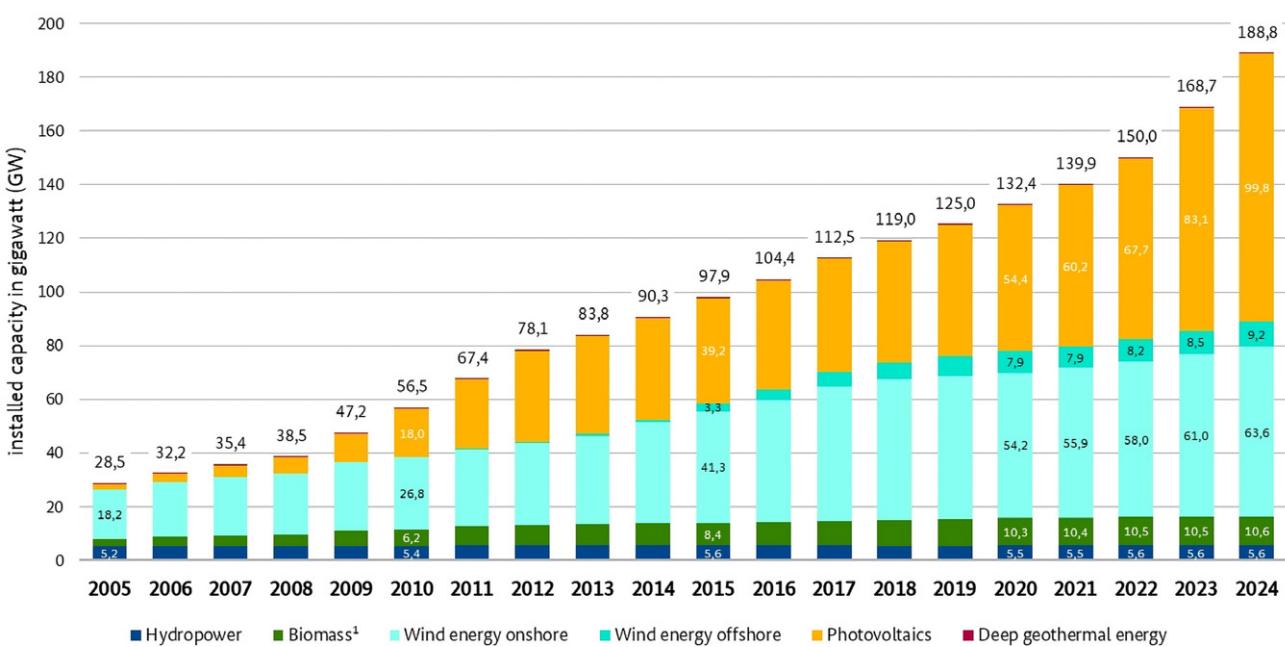
Germania. I seguenti grafici mostrano lo sviluppo della capacità installata di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili in Germania e l'occupazione generata.

Il confronto fra i due grafici (Figure 7.6 e 7.7) consente di estrarre dei parametri utili per effettuare delle stime per il caso tarantino. La tabella 7.2 riporta i risultati di questo confronto per l'anno più recente disponibile ovvero il 2023.

I valori del fattore occupazionale (employment factor- espresso in FTE/MW ovvero ULA/MW) sono calcolati in base ai dati riportati nelle colonne “Potenza installata” e “Occupazione lorda”. Il grafico riportato nella Figura 7.8 mostra questi valori calcolati per le tre tecnologie FER di maggior interesse per l'area di Taranto ovvero per l'eolico offshore, eolico onshore e per l'energia solare. Utilizzando i risultati

FIGURA 7.6
Evoluzione della capacità installata della generazione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili in Germania dal 2005 al 2024

Development of installed capacity for renewables-based electricity generation in Germany



¹ incl. solid and liquid biomass, biogas, biomethane, sewage gas and landfill gas and the biogenic fraction of waste

Source: Working Group on Renewable Energy-Statistics (AGEE-Stat); as of February 2025

10 La Germania è il paese che documenta meglio e con maggior dettaglio i risultati raggiunti nel settore delle rinnovabili sia in termini produttivi sia in relazione all'impatto economico e sociale generato dal settore. Diversamente da altre fonti che, per lo più, utilizzano criteri e metodologie di rilevamento dati non coordinati, differenti e non confrontabili, il Ministero Federale Tedesco per l'Economia e difesa dell'Ambiente e del Clima, e l'AGEE (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Gruppo di lavoro FER) presso l'UmweltBundesamt (Ente Federale per l'Ambiente - istituito per legge), pubblicano questi dati regolarmente in stretta collaborazione e coordinamento tra loro.

FIGURA 7.7**Occupazione linda nelle fonti rinnovabili in Germania dal 2000 al 2023**

Fonte: Ministero Federale Tedesco per l'Economia e Difesa dell'Ambiente e del Clima

	Windenergie an Land	Windenergie auf See	Solarenergie	Wasserkraft	Geothermie, Umweltwärme	Biomasse	Gesamt
							Angaben in Personen
							Stand: Dezember 2024
2000	45.200	0	8.800	12.300	2.100	36.500	104.900
2001	63.100	0	11.500	9.200	2.700	41.100	127.600
2002	70.200	0	11.300	5.600	2.800	44.600	134.500
2003	73.600	0	14.300	6.500	3.000	58.800	156.200
2004	66.200	0	35.400	8.700	3.800	64.500	178.600
2005	72.800	0	44.300	11.000	5.500	85.100	218.700
2006	89.400	0	44.600	12.100	11.700	111.800	269.600
2007	87.400	400	54.800	14.200	12.500	112.700	282.000
2008	88.100	3.400	88.500	14.000	17.200	113.500	324.700
2009	90.000	8.500	110.100	14.700	17.800	116.500	357.600
2010	86.600	9.900	151.600	12.700	16.300	114.400	391.500
2011	94.700	12.300	156.700	12.100	18.100	121.800	415.700
2012	107.300	19.100	126.300	10.800	17.900	116.300	397.700
2013	121.400	22.700	70.200	8.900	18.600	117.000	358.800
2014	131.500	20.700	49.900	8.700	18.500	113.200	342.500
2015	127.600	25.000	48.000	8.300	18.200	112.000	339.100
2016	137.900	29.800	44.300	7.900	19.800	111.000	350.700
2017	119.100	27.100	39.900	6.300	20.500	105.600	318.500
2018	102.900	27.600	42.000	5.900	22.200	115.900	316.500
2019	95.200	26.800	48.900	6.200	23.500	108.400	309.000
2020	106.900	22.900	57.400	6.400	29.700	116.000	339.300
2021	103.100	23.700	61.300	6.300	34.900	107.700	337.000
2022	98.400	29.000	81.200	6.500	55.200	109.700	380.000
2023*	99.100	25.500	104.500	5.900	72.100	99.200	406.300

TABELLA 7.2

Potenza installata e occupazione linda per tutte le tecnologie FER nel 2023 in Germania e calcolo dei relativi fattori occupazionali (Employment factor)

Fonte rinnovabile	Potenza installata	Occupazione linda	Employment factor
	MW	FTE	FTE / MW
Eolico	offshore	8.500	25.500
	onshore	61.000	99.100
Solare	83.100	104.500	1,3
Bio-energie	10.500	99.200	9,4
Geo-energie	-	72.100	-
Idroelettrico	5.600	5.900	1,1
Totale	168.700	406.300	

FTE = Full Time Equivalent -equivalente ad ULA = Unità Lavorative Annuali

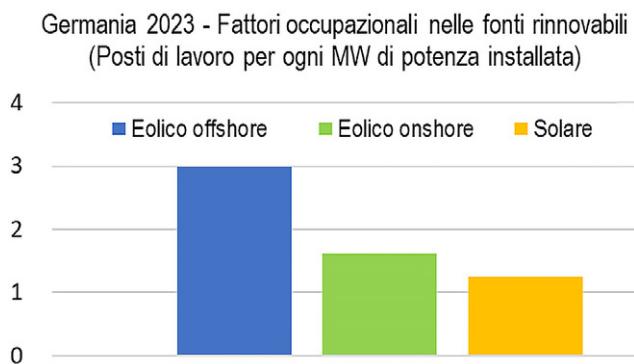
appena ottenuti, le tabelle 7.3 e 7.4 riportano nello scenario 2030 una stima dell'impatto occupazionale che potrebbe essere generato dall'incremento FER necessario per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto decarbonizzata.

Una considerazione cruciale a questo proposito è che molta, se non tutta la occupazione aggiuntiva nelle filiere delle FER dovrebbe svilupparsi a scala locale. È pertanto necessario per la buona riuscita della transizione dal punto di vista lavorativo che la parte maggiore di questa nuova occupazione

FIGURA 7.8

Valori del fattore occupazionale per l'eolico offshore, onshore e per l'energia solare

Fonte: Elaborazione dati da BMWE e AGEE



si sviluppi in Puglia e nella vicina Basilicata, in particolare nella fabbricazione di componenti per turbine eoliche, di componenti per impianti solari, nella cantieristica navale e nell'assemblaggio di grandi componenti per le enormi turbine eoliche galleggianti, nei servizi di costruzione impianti sul territorio, nella logistica e nei tanti servizi necessari per lo sviluppo della potenza FER necessaria per coprire il fabbisogno di elettricità verde della futura acciaieria di Taranto decarbonizzata. Oltre alla costruzione e alla manutenzione, la conduzione e manutenzione degli impianti genera occupazione per tutta la durata di vita delle istallazioni (Meyer e Sommer, 2024).

TABELLA 7.3

Scenario 2030: stima del probabile impatto occupazionale dell'incremento FER necessario per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF (2 mln preridotto-4 mln rottame))

100% Fonti rinnovabili per coprire il fabbisogno di energia elettrica dell'acciaieria di Taranto decarbonizzata	Unità di misura	Totale elettricità verde	di cui:			
			Solare FV	Eolico		Bioenergie altre FER
				on-shore	off-shore galleggiante	
Potenza FER aggiuntiva necessaria SCENARIO 2 mln DRI / 4 mln rottame	MW	4.210	1.700	680	1.740	90
Fattori occupazionali (determinati in base al mercato FER in Germania nel 2023)	FTE / MW		1,3	1,6	3,0	9,4
Posti di lavoro aggiuntivi nelle filiere FER in Italia (Costruzione + gestione + manutenzione)	FTE (= ULA)	9.270	2.100	1.100	5.220	850

TABELLA 7.4

Scenario 2030: stima del probabile impatto occupazionale dell'incremento FER necessario per coprire il fabbisogno di energia elettrica verde dell'acciaieria di Taranto (H2-DRI-EAF (2,5 mln preridotto-3,5 mln rottame))

100% Fonti rinnovabili per coprire il fabbisogno di energia elettrica dell'acciaieria di Taranto decarbonizzata	Unità di misura	Totale elettricità verde	di cui:			
			Solare FV	Eolico		Bioenergie altre FER
				on-shore	off-shore galleggiante	
Potenza FER aggiuntiva necessaria SCENARIO 2,5 mln DRI / 3,5 mln rottame	MW	4.990	2.010	810	2.060	110
Fattori occupazionali (determinati in base al mercato FER in Germania nel 2023)	FTE / MW		1,3	1,6	3,0	9,4
Posti di lavoro aggiuntivi nelle filiere FER in Italia (Costruzione + gestione + manutenzione)	FTE (= ULA)	11.040	2.500	1.320	6.180	1.040

Per concludere:



Gli impianti DRI e EAF richiedono meno forza lavoro rispetto al ciclo integrale,
ma rendono più articolata la filiera produttiva



La fase di transizione può offrire opportunità lavorative nelle attività di costruzione,
ammmodernamento o smantellamento dei vecchi impianti.

A parità di livelli produttivi, la transizione del settore ha un bilancio occupazionale
neutro se è completa



La siderurgia verde necessita di maggiori competenze tecniche e
tecnologiche e di competenze più diversificate. Le attuali competenze,
abilità e conoscenze potranno essere riusate.



Adeguati investimenti in formazione e aggiornamento delle competenze da parte delle
aziende e del sistema formativo pubblico sono necessari



Lo sviluppo dell'economia dell'idrogeno è fondamentale per la decarbonizzazione
del settore siderurgico



Il settore delle energie rinnovabili ha il potenziale per diventare una fonte di
occupazione soprattutto se la filiera industriale si sviluppa localmente

Bibliografia

- Antonazzo, L., Stroud, D., Weinel, M., Dearden, K., & Mowbray, A. (2021). Preparing for a just transition: meeting green skills needs for a sustainable steel industry.
- Banca d'Italia (2025) Il recente sviluppo delle energie rinnovabili in Italia. Occasional Papers, n. 908.
- Bezdek, R.H. (2019) The hydrogen economy and jobs of the future. Renew. Energy Environ. Sustain. 4, 1.
- Bilancio Adl (2022) Bilancio di sostenibilità Acciaierie d'Italia.
- Choksey, Y. et al. (2025) The State of the European Steel Transition. Creative Commons, Green Ink, UK.
- IRENA-ILO (2024) Renewable energy statistics 2024.
- Miles, J., Combemale, C., Karplus, V. J., & Pistorius, P. C. (2025). Simulating regional workforce impacts of decarbonizing integrated steelmaking. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(19), e2419294122.



Questo studio è stato supportato dalla Fondazione Europea per il Clima. La responsabilità per le informazioni e le opinioni espresse in questo studio ricade sull'autore/gli autori. La Fondazione Europea per il Clima non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni contenute o espresse in esso."