



Prospettive di Sviluppo del Sistema Energetico nel Settore Industriale al 2050



Prospettive di Sviluppo
del Sistema Energetico
nel Settore Industriale
al 2050



Indice

1. Introduzione	4
2. Principali sfide del settore industriale	7
3. Quadro normativo	11
4. Quadro attuale	17
5. Evoluzione del settore al 2040	25
6. Sintesi interazione con rappresentanti di settore	31
7. Tecnologie abilitanti	35
8. Caratterizzazione dei sottosettori	43
9. Conclusioni	99



1. Introduzione

La presente nota è parte di una serie di approfondimenti dedicati alle prospettive di sviluppo del settore energetico italiano al 2050. Il lavoro costituisce un adempimento alla Delibera 392/2024 di ARERA, che ha richiesto a Snam e Terna di sviluppare note tecniche che illustrino le prospettive plausibili di sviluppo del sistema, supportate da considerazioni quantitative con rappresentazione dei dati a livello nazionale.

In ottemperanza a tale prescrizione, Terna e Snam hanno sviluppato le note tecniche* (di seguito “note”) relativamente a:

- i consumi nel settore civile;
- i consumi nel settore industriale;
- i consumi nel settore trasporti;
- la copertura dei consumi elettrici (incluso lo sviluppo della capacità di accumulo);
- la copertura dei consumi gas (incluso lo sviluppo degli stoccaggi multi-molecola e ruolo della CCS).

Le note considerano quanto già previsto fino al 2040 nel Documento di Descrizione degli Scenari 2024 (di seguito DDS 2024) e si focalizzano su alcune delle principali sfide che i diversi settori dovranno affrontare per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione fissati per il 2050, tenendo conto degli indirizzi di policy energetica nazionale, dei relativi documenti disponibili al momento della stesura della nota (e.g. Piano Nazionale Integrato Energia e Clima 2024, Strategia Nazionale Idrogeno 2024) e delle direttive e dei regolamenti a livello comunitario in materia di politica energetica ambientale per il raggiungimento della neutralità carbonica al 2050. Un ulteriore documento che riguarda gli obiettivi 2050 è rappresentato dalla Strategia Italiana di Lungo Termine, pubblicata a gennaio 2021, che mira a delineare i possibili percorsi per raggiungere la neutralità climatica al 2050. È previsto un aggiornamento di tale documento per allinearli ai nuovi obiettivi europei di riduzione netta delle emissioni di gas serra entro gennaio 2026.

Nell’ambito del processo di elaborazione delle note, Snam e Terna hanno, inoltre, avviato una discussione con un campione di soggetti rappresentativi dei settori sopracitati al fine di rendere le valutazioni il più possibile complete e robuste.

La presente nota si focalizza sui consumi del settore industriale, e in particolare modo sui cosiddetti settori “*hard to abate*” ovvero quei comparti industriali ed economici in cui è particolarmente complesso ridurre le emissioni di gas serra, a causa di fattori tecnici, economici o strutturali.

* Le note dei tre settori di consumo sono sviluppate congiuntamente, mentre le note di copertura della domanda sono state sviluppate separatamente per quanto di competenza del TSO di riferimento



Più in dettaglio la nota affronta i seguenti settori:

- carta;
- acciaio;
- chimica;
- vetro;
- cemento;
- ceramica;
- metalli non ferrosi.

In particolare, per i settori sopra menzionati, saranno considerate le sole emissioni di “Scope 1”¹ (dirette) che comprendono a loro volta: 1) quelle inerenti alle fonti di proprietà (o controllate) dall’azienda come l’energia in loco, il gas naturale, le emissioni derivanti dalla combustione in caldaie e forni di proprietà, e 2) quelle rilasciate durante i processi industriali e la produzione in loco (ad esempio, fumi di fabbrica, sostanze chimiche).

Al contrario non saranno oggetto della presente nota le emissioni di “Scope 2” (emissioni indirette di gas a effetto serra derivanti dall’energia acquistata o acquisita, come l’elettricità, il vapore, il calore o il raffreddamento, generati fuori sede e consumati dall’azienda) e le emissioni di “Scope 3” (emissioni indirette che si verificano nella catena del valore di un’azienda dichiarante).

¹ GHG Protocol Corporate Standard



2

Principali sfide del settore industriale



2. Principali sfide del settore industriale

Il settore industriale in Italia è un elemento chiave dell'economia nazionale; rappresenta una componente significativa del PIL ed è caratterizzato da una lunga storia di eccellenza in molti settori con la presenza di distretti industriali specializzati in produzioni uniche e di alta qualità.

Grazie a queste caratteristiche l'Italia rappresenta una delle principali economie industriali del mondo ed è la seconda manifattura a livello europeo dopo la Germania. La rilevanza del settore industriale è sottolineata anche dai suoi consumi di energia che nel 2022 hanno raggiunto i 25 Mtep rappresentando circa il 22% dei consumi finali nazionali, evidenziando una forte componente di industrie "energy intensive". In questi settori la richiesta di energia è principalmente determinata dalla necessità di calore per forni, caldaie, turbine e motori, per lo più ottenuto da combustione di fonti fossili a cui sono associate gran parte delle emissioni di CO₂ del settore.

Dal punto di vista emissivo, il settore ha fatto registrare 79 MtCO₂eq nel 2022, producendo il 21% delle emissioni nazionali suddivise in "emissioni energetiche", dovute, come detto, principalmente all'utilizzo di combustibili fossili o loro derivati per una quota pari a 55 MtCO₂eq ed "emissioni di processo" per la restante quota pari a 24 MtCO₂eq. Le emissioni di processo sono generate dalle trasformazioni chimiche e fisiche necessarie per produrre determinati materiali. In questi casi, la CO₂ è un sottoprodotto inevitabile del processo, come avviene, ad esempio, per la produzione di cemento (rilascio di CO₂ dalla calcinazione del calcare) o per la produzione di acciaio (riduzione del minerale di ferro con carbon coke).

L'attuale legislazione europea, recepita anche a livello nazionale, impone anche al settore industriale una riduzione netta delle emissioni con l'obiettivo di raggiungere la neutralità carbonica al 2050.

Il percorso verso il raggiungimento di questo obiettivo è una sfida estremamente complessa che si trova a dover coniugare l'obiettivo legato alla transizione energetica con il fatto che l'industria italiana, e più in generale quella europea, devono confrontarsi con altre potenze industriali a livello mondiale; di conseguenza, la sostenibilità economica delle scelte e delle direzioni che si prenderanno per raggiungere gli obiettivi net zero diventeranno fondamentali per mantenere una competitività a livello internazionale ed evitare il rischio di delocalizzazione.



La sfida è particolarmente complessa anche a causa della profonda eterogeneità del settore industriale, che è caratterizzato da processi di lavorazione, reazioni chimiche e materiali molto diversi fra loro. Per questo motivo le soluzioni che permetteranno di traghettare il settore verso gli obiettivi di lungo termine dovranno basarsi su un mix di leve complementari.

Per quanto riguarda le emissioni energetiche, ad oggi sono disponibili una serie di opzioni tecnologiche che permetterebbero di traghettare gli obiettivi di lungo termine, tali soluzioni spaziano dall'efficientamento energetico, all'elettrificazione dei processi, dalla sostituzione dei combustibili tradizionali con biometano, idrogeno all'applicazione della CCUS (Carbon Capture Utilization Storage) o CCS (Carbon Capture and Storage). Gran parte di queste leve sono già ad oggi disponibili, alcune delle quali, come la sostituzione dei combustibili e l'elettrificazione possono richiedere modifiche di processi produttivi. Altre, quali la CCS e l'idrogeno, necessitano di un ulteriore sviluppo infrastrutturale e di filiera a livello nazionale.

Relativamente alle emissioni di processo, in cui la CCUS trova comunque applicazione, ad oggi non sempre sono disponibili tecnologie che ne permetterebbero il completo azzeramento creando un gap tecnologico che necessita di essere colmato attraverso un investimento importante in termini di ricerca e sviluppo sia dal punto di vista dei prodotti, che dei materiali, oltre che dei processi di base.

Rispetto ad altri settori, quindi, la possibilità di azzerare le emissioni del settore industriale sconta ancora un deficit tecnologico non trascurabile, a cui si aggiunge il bisogno di una politica industriale che indirizzi i significativi investimenti necessari che, come evidenziato precedentemente, devono tenere conto del contesto internazionale con cui la manifattura italiana si trova a dover competere.

Il raggiungimento degli obiettivi al 2050 sarà fortemente influenzato da molti elementi, tra cui: ulteriori progressi tecnologici, di difficile previsione al momento della stesura di tale documento, un ulteriore rafforzamento delle infrastrutture a supporto del settore industriale (es. infrastrutture per la produzione e distribuzione di combustibili verdi gassosi e non, e infrastrutture a supporto della CCUS) e un contesto normativo stabile, di lungo periodo e il più possibile comune a livello internazionale.



3

Quadro normativo



3. Quadro normativo

3.1 Europeo

Il quadro normativo europeo in merito alla decarbonizzazione del settore industriale rappresenta uno dei pilastri della transizione ecologica promossa dall'Unione Europea (UE), in linea con l'obiettivo della neutralità climatica al 2050 definito dal Green Deal Europeo. Per raggiungere tale traguardo, l'UE ha introdotto una combinazione articolata di strategie, direttive, regolamenti e strumenti finanziari che agiscono su più livelli, intervenendo sia sulle regole di mercato sia sugli incentivi all'innovazione e alla trasformazione tecnologica.

I principali strumenti normativi sono:

- **Green Deal Europeo (2019)**

Stabilisce la neutralità climatica entro il 2050, con un ruolo centrale dell'industria nella riduzione delle emissioni, nell'economia circolare e nell'adozione di tecnologie pulite.

- **Green Deal Industrial Plan (2023)**

Supporta l'industria a zero emissioni nette attraverso il potenziamento di filiere strategiche (rinnovabili, idrogeno, batterie, pompe di calore, CCS) e semplificazioni normative, come il *Net-Zero Industry Act* con l'obiettivo di aumentare la capacità produttiva dell'UE nelle tecnologie pulite necessarie per raggiungere gli obiettivi climatici europei, concentrandosi su un gruppo di tecnologie chiave a zero emissioni nette.

- **Fit for 55 (2021)**

Pacchetto legislativo che impone una riduzione delle emissioni del 55% entro il 2030, con strumenti chiave per l'industria:

- **ETS (Reg. 2023/959)**: rafforzamento del sistema di scambio delle quote di emissione, con graduale eliminazione delle quote gratuite (2026–2034).
- **RED III (Dir. 2023/2413)**: target vincolanti sull'uso di rinnovabili nei processi industriali, con attenzione all'idrogeno verde.
- **EED (Dir. 2023/1791)**: obblighi crescenti di risparmio energetico, anche per i grandi consumatori industriali.
- **CBAM (Reg. 2023/956)**: meccanismo che impone agli importatori il pagamento di certificati per le emissioni incorporate in beni industriali (acciaio, cemento, alluminio, ecc.), proteggendo l'industria europea dal carbon leakage.



- **Clean Industrial Deal (2025)**

Promuove la leadership industriale europea nelle tecnologie verdi, facilitando investimenti e semplificando le regole sugli aiuti di Stato tramite il *Clean Industrial State Aid Framework*.

- **Direttiva Emissioni Industriali (Dir. 2024/1785)**

Rafforza gli obblighi di riduzione delle emissioni per i grandi impianti industriali e amplia il campo di applicazione, promuovendo l'adozione delle migliori tecnologie disponibili (Best Available Technologies - BAT)

- **Tassonomia UE (Reg. 2023/2486)**

Definisce i criteri per qualificare le attività industriali come sostenibili, orientando i finanziamenti verso tecnologie e processi a basse emissioni.

- **Effort Sharing Regulation - ESR (2023/857)**

Regolamento europeo, che stabilisce obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra per gli Stati membri in quei settori non coperti dall'ETS (Emission Trading System), ovvero: trasporti su strada, edilizia residenziale e commerciale, agricoltura, rifiuti, piccole e medie imprese industriali (che non rientrano nell'ETS).

Il sistema europeo per la decarbonizzazione industriale combina strumenti normativi, fiscali e finanziari per trasformare in profondità i processi produttivi, ridurre le emissioni e rafforzare la competitività dell'industria europea. La transizione verso un'industria a basse emissioni è dunque sia un obbligo normativo sia un'opportunità strategica per l'innovazione e il rilancio del sistema produttivo europeo in chiave sostenibile.

3.2 Nazionale

A giugno 2024 è stato aggiornato il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), che rappresenta il principale strumento di pianificazione energetico-climatica a livello nazionale. Il PNIEC 2024 recepisce e attua il quadro normativo europeo – in particolare i pacchetti “Fit for 55” e “RePowerEU” – definendo gli obiettivi italiani al 2030 in termini di efficienza energetica, incremento delle fonti rinnovabili, riduzione delle emissioni di gas serra e sicurezza degli approvvigionamenti.

Per quanto riguarda il settore industriale, il PNIEC individua specifiche traiettorie di decarbonizzazione, con particolare attenzione ai settori ad alta intensità energetica soggetti al sistema EU ETS (Emission Trading System), per i quali è fissato un obiettivo di riduzione delle emissioni del 66% entro il 2030 rispetto al 2005.

Le principali strategie previste includono:

- Elettrificazione dei processi industriali, da promuovere attraverso strumenti di



supporto economico e fiscale come il Piano Transizione 5.0, il Conto Termico e i Certificati Bianchi, sebbene tali strumenti non siano ancora pienamente orientati a soluzioni completamente elettriche.

- Sviluppo della cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS), con riferimento al progetto pilota di ENI e SNAM a Ravenna. Il progetto prevede due fasi: una prima operativa entro il 2027 con una capacità di iniezione di 4 milioni di tonnellate annue, e una seconda dopo il 2030 con una capacità potenziale superiore a 16 milioni di tonnellate annue.
- Promozione di gas rinnovabili, come il biometano e l'idrogeno verde. Il PNIEC prevede al 2030 un consumo di circa 3,2 Mtep/anno di biometano e 330 ktep/anno di idrogeno nel comparto industriale.

Oltre al PNIEC, completano il quadro nazionale alcune strategie e strumenti settoriali:

- Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), che finanzia interventi a favore della transizione energetica dell'industria, incluse misure su efficienza, fonti rinnovabili e idrogeno verde.
- Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (2022), che orienta il settore produttivo verso un uso efficiente delle risorse e la riduzione degli scarti, contribuendo indirettamente alla decarbonizzazione.
- Libro Verde per una nuova politica industriale (2023), che delinea una visione strategica per rilanciare l'industria nazionale in chiave sostenibile e competitiva, anche attraverso l'elettrificazione, la digitalizzazione e la decarbonizzazione.
- Strategia Nazionale per l'Idrogeno (2024), che mira a definire il ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica nazionale, in linea con la strategia europea e gli obiettivi di decarbonizzazione.

Nel complesso, la strategia italiana si muove in coerenza con gli indirizzi europei, ma per raggiungere gli obiettivi di medio-lungo termine saranno necessarie ulteriori misure settoriali, in particolare nei comparti industriali non ETS, nelle PMI e nei distretti produttivi locali ad alta intensità energetica.





4

Quadro attuale



4. Quadro attuale

Dal punto di vista dei consumi finali, l'industria ha sempre avuto un ruolo rilevante, ad oggi, circa il 22% dei consumi totali nazionali (Figura 1).

A seguito della riduzione registrata fra il 2008 e il 2009 i consumi industriali si sono stabilizzati e mantenuti su un livello fra i 29 e i 25 Mtep, sempre compreso nell'intervallo 20-25% dei consumi italiani totali.

In Figura 2 possiamo osservare la ripartizione dei consumi finali sui principali sottosettori. Quelli che incidono maggiormente sui consumi finali sono: il ferro e l'acciaio, i minerali non metallici - che includono cemento, vetro e ceramica - il settore chimico e petrolchimico e quello dei macchinari. A seguire ci sono il settore dell'alimentare e quello della carta.

Elettricità e gas naturale contribuiscono in modo determinante alla copertura dei consumi industriali (Figura 3).

Figura 1 Consumi finali del settore industriale sul totale nazionale (Eurostat)

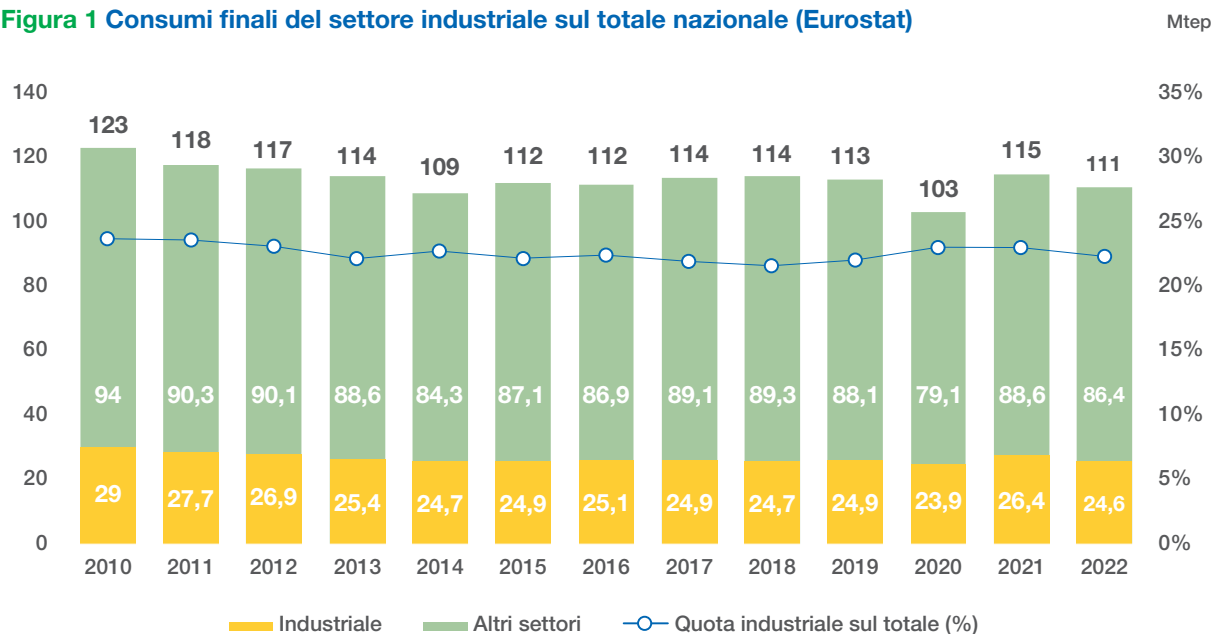
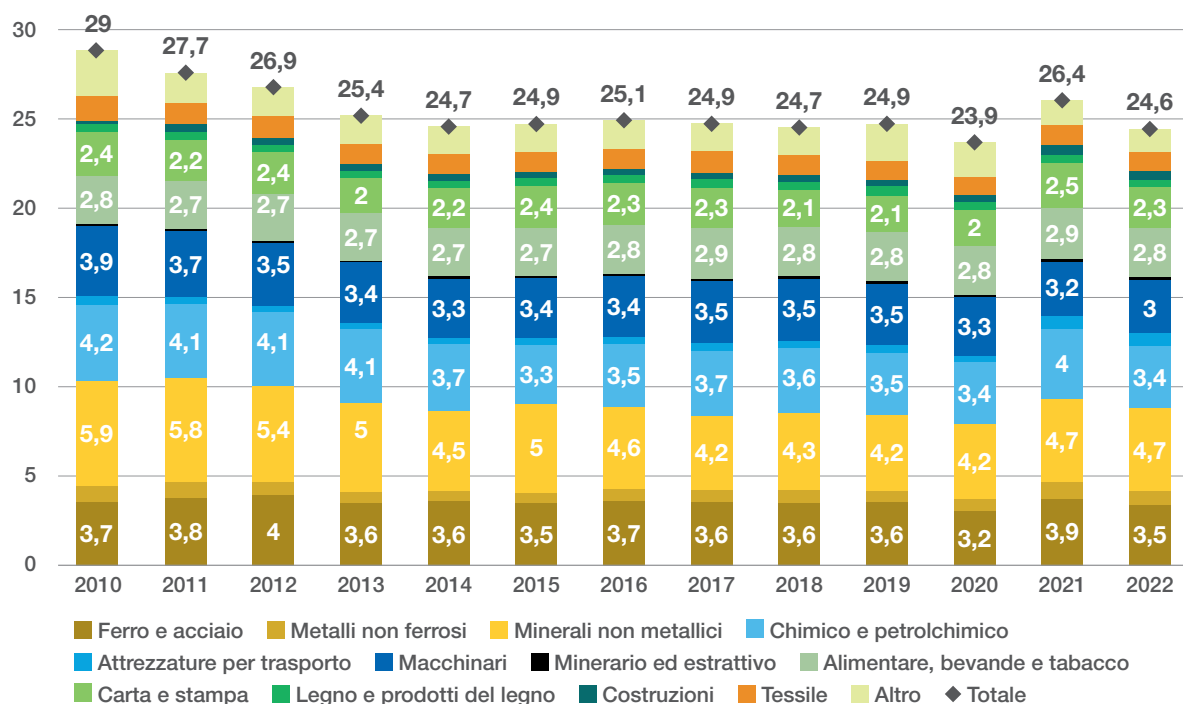
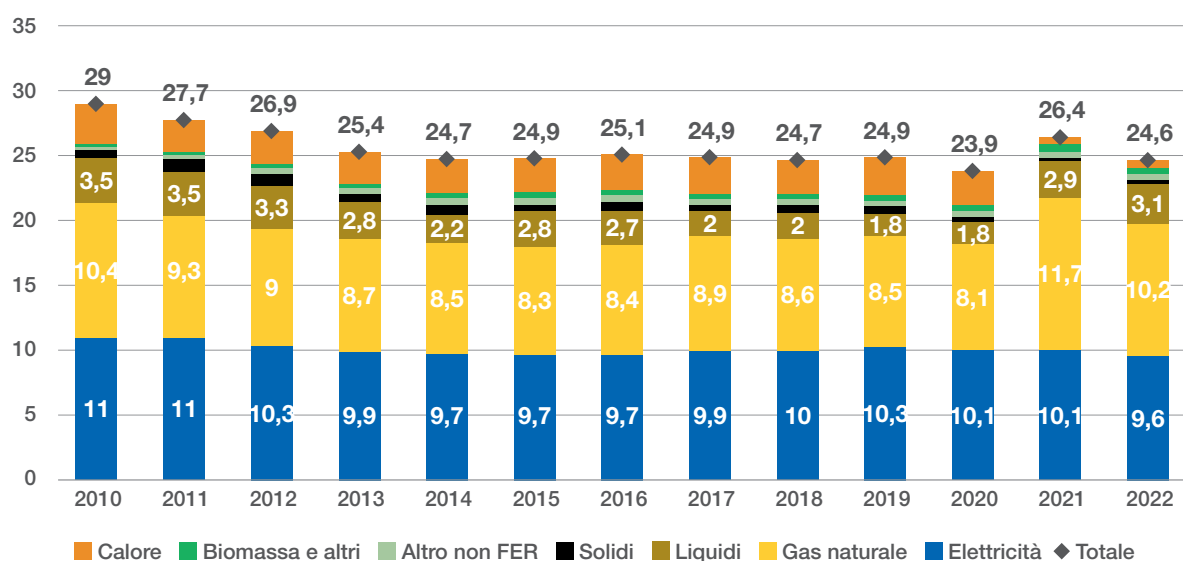



Figura 2 Consumi finali totali per sottosettore (Mtep, Eurostat)

Figura 3 Consumi finali settore industriale italiano per vettore (Mtep, Eurostat²)


² I valori fanno riferimento al bilancio energetico pubblicato da Eurostat (Energy Balance Sheet). Si segnala che la variazione tra gli anni precedenti il 2021 e gli ultimi anni disponibili (2021 compreso) dipende dalla modifica della metodologia di calcolo dei consumi finali il cui impatto maggiore si riscontra sulla quota calore. Nella nuova metodologia la quota di calore autoconsumato che prima veniva esplicitata, viene ora allocata sul vettore che è stato utilizzato per la produzione del calore stesso.



³ I dati si riferiscono ai consumi finali così come estrapolati dai bilanci Eurostat ed escludono la categoria Altro – Non specificato.

L'uso del vettore gas e del vettore elettrico è diffuso sostanzialmente in tutti i sottosettori, ovviamente con proporzioni che variano da caso a caso, come ad esempio la lavorazione dei minerali non metallici (Figura 4) dove il ruolo del primo è prevalente, oppure il settore dei macchinari che utilizza l'elettricità come vettore primario (Figura 5)³.

Figura 4 Consumi finali di gas naturale per sottosettore - media del periodo 2013-2022 (Mtep, Eurostat)

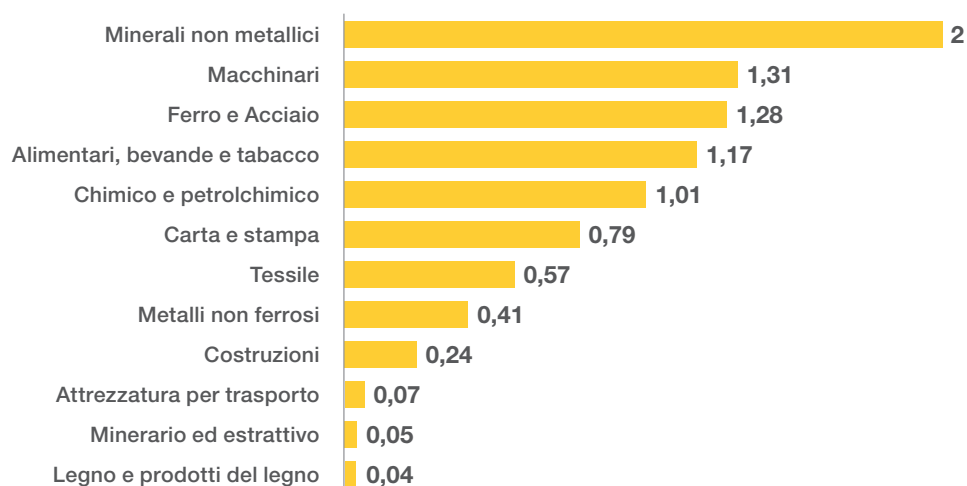
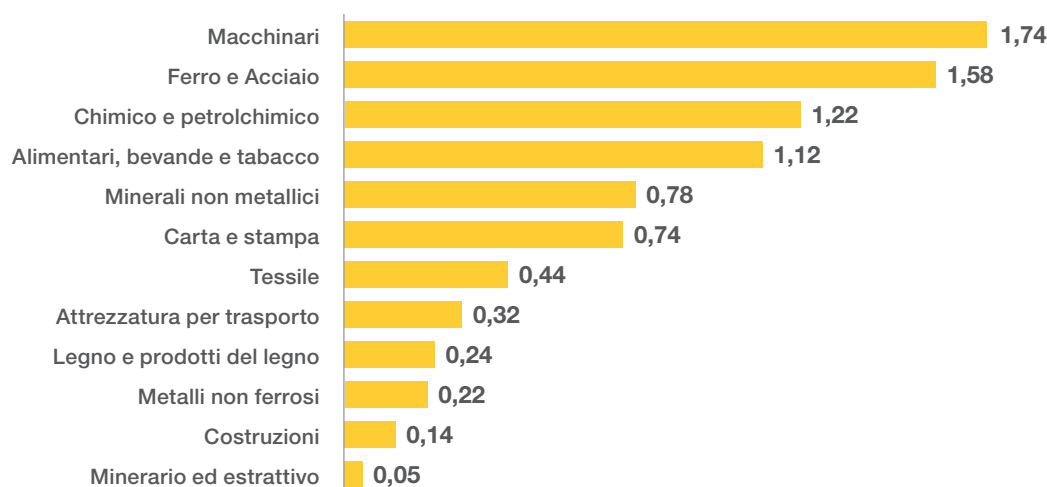


Figura 5 Consumi finali di elettricità per sottosettore - media del periodo 2013-2022 (Mtep, Eurostat)





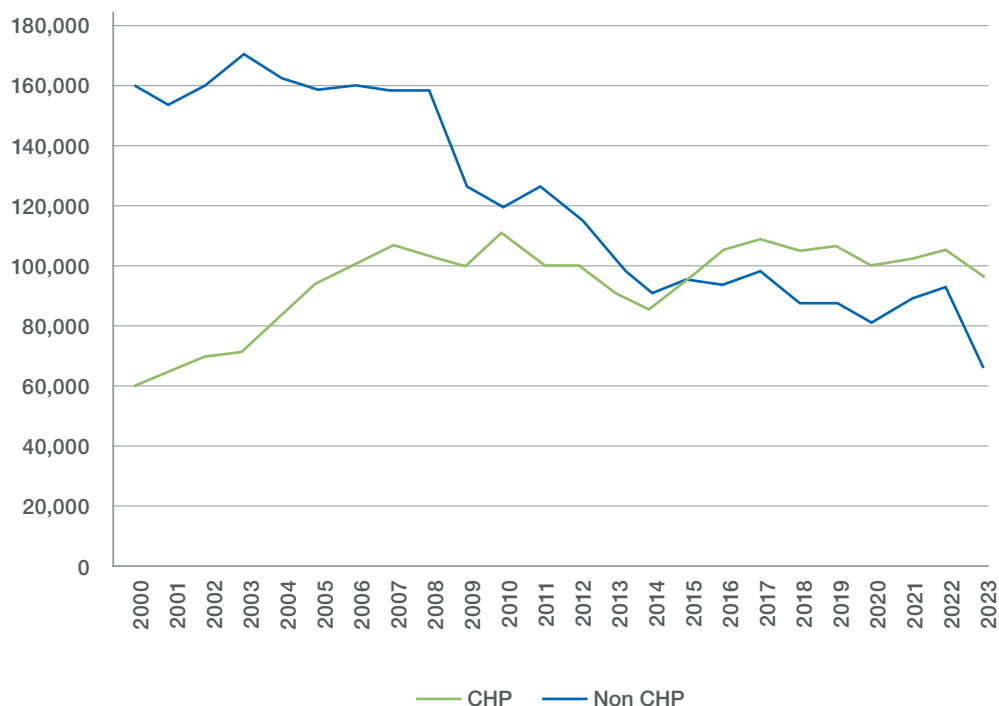
L'analisi del settore industriale italiano non può prescindere dal menzionare il tema della cogenerazione che ha rappresentato un punto di svolta per l'industria italiana offrendo soluzioni più efficienti e sostenibili. Questa tecnologia, che permette di produrre simultaneamente energia elettrica e calore utile da una stessa fonte, si è evoluta nel tempo diventando sempre più sofisticata e diffusa all'interno del settore industriale contribuendo a migliorare la competitività delle aziende riducendo i costi energetici e le emissioni ambientali.

Ad oggi, infatti, la cogenerazione rappresenta la tecnologia dominante per coprire i fabbisogni energetici dell'industria, ma ne costituisce anche la principale fonte di emissioni dirette essendo principalmente alimentata a gas naturale. Dei circa 61 GW di potenza termoelettrica installata in Italia⁴ oltre 26 GW sono cogenerativi e già da parecchi anni il loro contributo alla copertura del carico elettrico supera quello degli impianti termoelettrici puri, come mostrato in Figura 6. Il parco di cogenerazione rappresenta un asset sul quale le imprese italiane hanno investito negli ultimi decenni come leva per ridurre i costi energetici contribuendo a incrementarne l'efficienza.

4 Annuario statistico di Terna

Figura 6 Produzione elettrica per tipologia (CHP: Combined Heat and Power)

Produzione lorda [GWh]



5 Dal documento National Inventory Report si fa riferimento alla categoria Energy – manufacturing Industries and Construction (1.A.2) e alla categoria Industria process and product use (IPPU)

Contestualmente a questi consumi e all'uso dei diversi vettori energetici, la quota di emissioni nazionali riconducibile al settore industria ha raggiunto, sempre nel 2022, il 20% delle emissioni nazionali (circa 79 MtCO₂). Percentuale che è rimasta mediamente costante negli ultimi 10 anni, come rappresentato in Figura 7.

Delle 79 MtCO₂, circa 55 Mt sono riconducibili ai fini energetici, mentre le restanti 24 MtCO₂ derivano dai processi di lavorazione e uso dei prodotti, come riportato in Figura 8⁵.

Figura 7 Quota emissioni settore industria sul totale nazionale

MtCO₂ equivalenti

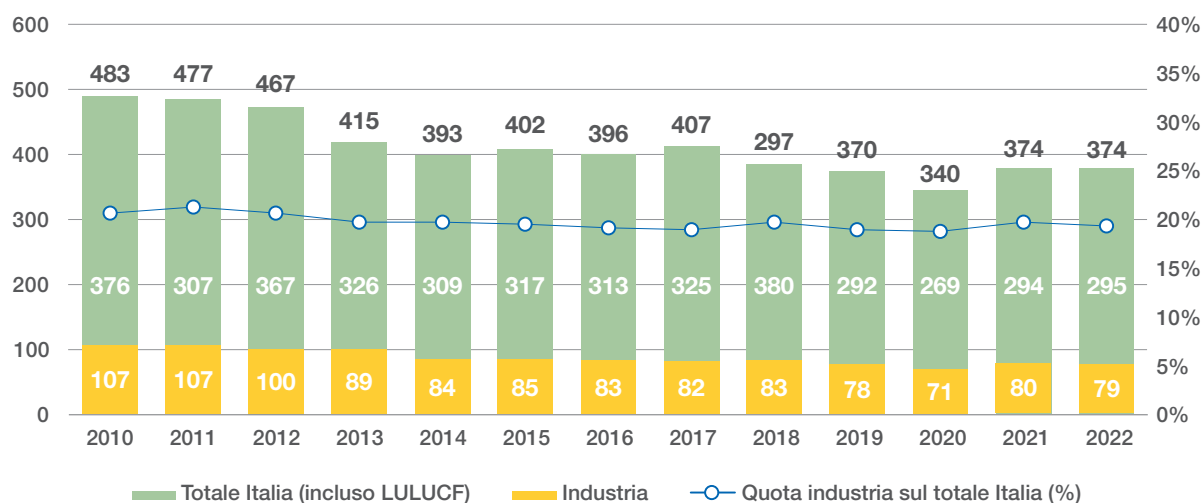
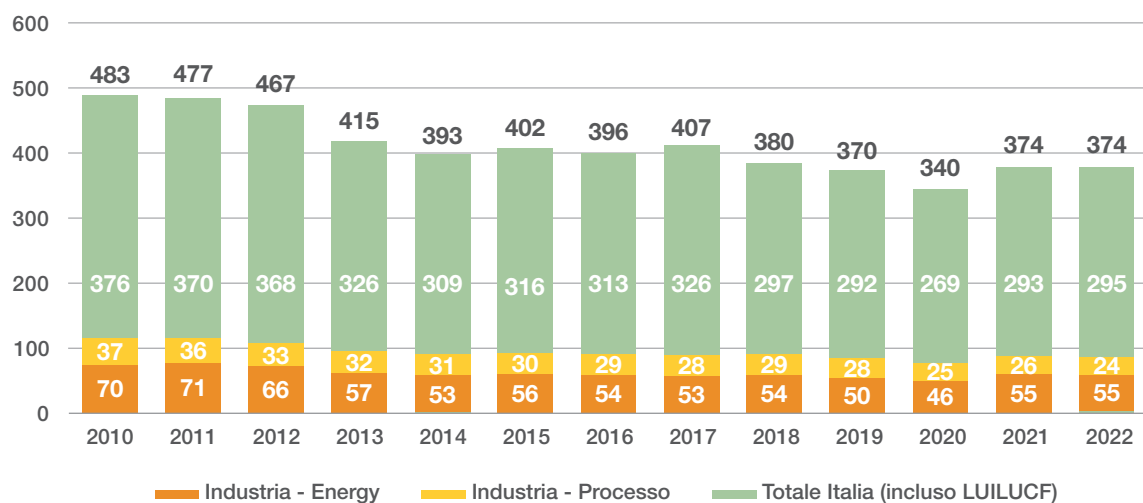


Figura 8 Quota emissioni settore industria relativa all'utilizzo del combustibile e ai processi sul totale nazionale

MtCO₂ equivalenti





Tra il 2010 e il 2014 si osserva una riduzione delle emissioni energetiche, che si sono poi mantenute costanti sopra i 50 MtCO₂eq/anno fino al 2022. Il settore industriale ha in generale visto una riduzione delle emissioni a seguito della crisi energetica del 2008 e 2009. Alcuni settori hanno tuttavia registrato ulteriori riduzioni anche negli anni a seguire che hanno influito sulle emissioni energetiche totali, in particolare nei sottosettori dell'acciaio, della chimica e dei minerali non metallici. Per quanto riguarda l'acciaio, la riduzione delle emissioni è legata anche alla riduzione dell'output produttivo dell'impianto ILVA di Taranto. Il settore dei minerali non metallici, trainato dal cemento, ha risentito della riduzione della produzione a seguito della crisi globale del 2009, ma anche dal 2013 per via della crisi del settore delle costruzioni.

Dal 2010⁶ si è registrata una costante diminuzione delle emissioni di processo guidata essenzialmente dai settori dei minerali non metallici, la cui produzione ha registrato una progressiva contrazione dal 2010, e dalla riduzione delle emissioni del settore chimico. Nel settore chimico, in particolare, la riduzione delle emissioni di processo è stata ottenuta grazie all'adozione di tecnologie di abbattimento delle emissioni nella produzione dell'acido nitrico e acido adipico e dalla diminuzione delle emissioni di gas fluorurati come conseguenza della cessazione della produzione e dell'introduzione di importanti sistemi di abbattimento delle emissioni. Anche il settore della produzione dei metalli ha contribuito alla riduzione delle emissioni di processo per via della dismissione di impianti obsoleti e della implementazione di tecnologie più moderne per la produzione di alluminio primario. Inoltre, a partire dal 2013, la chiusura dello stabilimento Alcoa di Portovesme ha ulteriormente contribuito alla riduzione delle emissioni totali.

All'interno delle emissioni di processo e di uso del prodotto, l'unica categoria che ha registrato un incremento delle emissioni è quella relativa ad applicazioni dei gas fluorurati ad effetto serra⁷ nei settori della refrigerazione, del condizionamento, dell'antincendio, degli aerosol e delle schiume. Tuttavia, le emissioni di questo sottosettore hanno raggiunto il picco nel 2014 con 14 Mt CO₂eq per poi decrescere progressivamente in virtù dell'implementazione dei diversi Regolamenti sugli F-gas che si sono succeduti negli anni e che hanno determinato la progressiva riduzione e/o la sostituzione dei gas a maggior potere climalterante con sostanze a minor o nullo effetto serra.

6 Italian Green House Gas Inventory 1990-2023. National Inventory Document 2025.

7 Nell'Inventario delle Emissioni Nazionali redatto da ISPRA fa riferimento alla categoria 2F "Product uses as substitutes for ODS", dove ODS (Ozone Depleting Substances) sono composti chimici che, una volta rilasciati nell'atmosfera, possono danneggiare lo strato di ozono stratosferico. In riferimento al Reg. (UE) 2024/590 e al Reg. (UE) 2024/573



5

Evoluzione del settore
al 2040



5. Evoluzione 2040

5.1 Il documento di Descrizione degli Scenari 2024

Il Documento di Descrizione degli Scenari (nel seguito DDS 2024), pubblicato nel 2024, rappresenta il risultato delle attività svolte da Snam e Terna ai sensi delle delibere 654/2017/R/eel e 689/2017/R/gas. Il DDS 2024 contiene gli scenari energetici di riferimento propedeutici alla predisposizione dei Piani di Sviluppo (PdS) delle reti di trasmissione e di trasporto nei settori dell'energia elettrica e del gas naturale a livello nazionale.

In questo contesto Terna e Snam hanno sviluppato scenari per l'orizzonte temporale 2030 – 2040, in particolare il documento contiene:

- Scenari che raggiungono i target di *policy*:
 - al 2030 uno scenario PNIEC Policy (coerente con il PNIEC⁸ pubblicato a giugno 2024);
 - al 2035 e al 2040 due scenari in linea con l'obiettivo net zero 2050 e con gli scenari elaborati a livello europeo dagli ENTSOs (ENTSO-E e ENTSGO⁹).
- Scenari contrastanti (elaborati al fine di valutare l'impatto delle infrastrutture pianificate su scenari differenti come richiesto dalla regolazione vigente):
 - al 2030, 2035 e 2040 uno scenario PNIEC Slow, rappresentativo di una transizione più lenta (rispetto agli scenari di policy) verso i target di decarbonizzazione.

Per quanto riguarda l'anno target 2040, il DDS 2024 ha elaborato due ipotesi di evoluzione del sistema energetico Distributed Energy Italia (DE-IT) e Global Ambition Italia (GA-IT) che sono coerenti alle storyline degli analoghi scenari elaborati a livello europeo dagli ENTSOs.

Maggiori informazioni e dettagli sono presenti all'interno del DDS 2024 disponibile sui siti di Snam e Terna. I seguenti paragrafi illustrano brevemente lo sviluppo del settore civile negli scenari contenuti nel DDS 2024, ovvero nell'orizzonte temporale 2030 – 2040, rappresentando un punto di partenza per l'evoluzione del settore civile nel decennio seguente.

5.2 Evoluzione dei consumi settore industriale

Come evidenziato nei precedenti paragrafi, la transizione energetica del settore industriale italiano è complessa e sfidante per una serie di fattori che vanno dalla forte eterogeneità delle tecnologie e dei processi coinvolti alla scarsa maturità tecnica e commerciale di soluzioni a basse emissioni in molti settori hard to

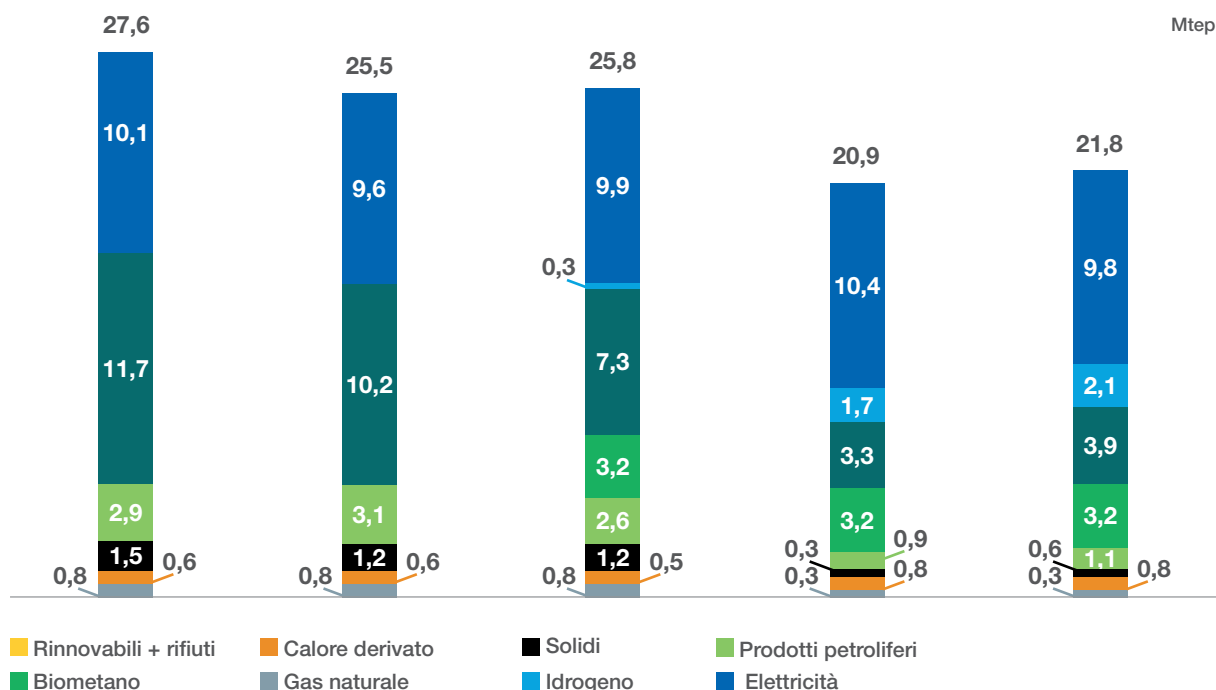
8 Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) inviato dal MASE e dal MIT alla Commissione Europea il 30/06/2024, declinando a livello nazionale gli obiettivi dei pacchetti legislativi europei "Fit-for-55" e "RepowerEU".

9 Relativamente agli scenari ENTSOs (pubblicati a fine maggio in versione draft) sono state considerate le informazioni più aggiornate disponibili durante la realizzazione del presente DDS 2024.



abate. Di rilievo sono inoltre i temi dell'efficienza economica, molto rilevante per la manifattura italiana sempre più esposta alla concorrenza internazionale e quello della scarsa disponibilità di risorse energetiche che da sempre caratterizza il nostro Paese. Per tutti questi motivi la transizione energetica del settore industriale dovrà far leva su tutte le soluzioni disponibili, purché economicamente sostenibili: efficientamento ulteriore dei processi anche grazie all'elettrificazione, economia circolare, progressiva sostituzione dei combustibili tradizionali con alternative a basse emissioni e adozione della CCUS.

Figura 9 Consumi finali del settore industriale (DDS 2024)





Negli scenari 2040 elaborati nel DDS 2024, il settore industriale vede ridurre i propri consumi finali di circa il 15%-18% rispetto al valore storico del 2022, attestandosi su un livello di consumi pari a 21-22 Mtep al 2040 (Figura 9).

Dal punto di vista dei singoli vettori, l'elettricità è ipotizzata in moderato aumento, grazie al ricorso a una maggiore elettrificazione dei processi, raggiungendo 9,8-10,4 Mtep a seconda dello scenario considerato. Il gas naturale subisce una naturale contrazione a favore dell'utilizzo di idrogeno e biometano e il suo utilizzo residuo si lega sempre più all'introduzione della CCUS per poterne catturare le emissioni.

In riduzione i prodotti petroliferi, sia liquidi che solidi, che arrivano a coprire una quota totale inferiore al 10% sui consumi finale del settore.





6

Sintesi interazione
con rappresentanti
di settore



6. Sintesi interazione con rappresentanti di settore

Come anticipato nel capitolo 1, la presente nota tecnica è stata elaborata da Snam e Terna a seguito di incontri con rappresentanti del settore industriale provenienti da associazioni e istituzioni di riferimento. Nel caso specifico della presente nota, sono stati consultati:

- ASSOJETRO;
- ASSOCARTA;
- ASSOFOFOND;
- CONFINDUSTRIA CERAMICA;
- ASSOMET;
- FEDERCHIMICA;
- FEDERACCIAI;
- FEDERBETON;
- ENEA;
- RSE.

Quanto emerso dalle interviste e dai materiali resi disponibili dai soggetti indicati è stato poi analizzato e valutato da Snam e Terna ai fini della predisposizione della presente nota.

Per quanto riguarda le emissioni dirette (emissioni di Scope 1), la soluzione tecnologica più menzionata è stata la Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS), considerata strategica in tutti i settori ad alta intensità emissiva soprattutto nei casi in cui le emissioni dirette sono una conseguenza del processo produttivo, come nel caso del cemento. È stato altresì evidenziato che la diffusione di questa tecnologia dovrà essere supportata dal coerente sviluppo di una infrastruttura per il trasporto e lo stoccaggio della CO₂, nonché da una opportuna evoluzione della normativa europea ETS, che ad oggi non prevede la restituzione delle quote di emissione (EUA) per la CO₂ catturata e stoccata.

Come descritto nei capitoli precedenti, la cogenerazione rappresenta ad oggi la tecnologia dominante per coprire i fabbisogni energetici dell'industria, costituendone anche la principale fonte di emissioni dirette. I soggetti intervistati ritengono che tale soluzione sia difficilmente sostituibile, puntando quindi a ridurre progressivamente l'impatto attraverso l'impiego di combustibili alternativi.



Sempre secondo gli intervistati, l'elettificazione dei processi produttivi, soprattutto per quelli che prevedono l'utilizzo di calore a bassa e media temperatura, si presenta, già ad oggi, come una soluzione praticabile, a condizione che l'infrastruttura elettrica supporti il passaggio.

L'utilizzo dei combustibili alternativi (biometano, idrogeno ma anche combustibili solidi secondari) rappresenta quindi la soluzione più citata, pur nella consapevolezza di una serie di problematiche quali l'effettiva disponibilità della risorsa in quantità adeguate, il costo di approvvigionamento rispetto alle alternative disponibili e la presenza di un contesto normativo che ne disciplini l'utilizzo in modo "accogliente".

Le soluzioni che hanno come target la riduzione delle emissioni indirette (Scope 2, non approfondite nella presente nota), ad oggi, includono prevalentemente l'autoproduzione rinnovabile e la stipula di contratti PPA di lungo termine per la fornitura di energia green.

Accanto alla sfida tecnologica, la maggior parte degli intervistati ha evidenziato il rischio concreto che la spinta alla decarbonizzazione dei processi industriali, se non adeguatamente sostenuta da meccanismi di supporto in grado di compensare le asimmetrie esistenti con Paesi extra-UE con cui le imprese italiane si trovano a competere, potrebbe comprometterne irrimediabilmente la competitività.



7

Tecnologie abilitanti



7. Tecnologie abilitanti

Al fine di ridurre le emissioni del settore industriale sarà necessaria una serie di leve, tra cui quella tecnologica. La disponibilità e lo sviluppo di tecnologie che possano traghettare il settore verso gli obiettivi 2050 rappresentano un elemento abilitante della transizione energetica. Come chiarito nei precedenti capitoli, i diversi sottosettori industriali dovranno necessariamente far leva su una serie di elementi da sfruttare in modo sinergico per ridurre o catturare le emissioni dirette che includono il ricorso alla CCUS, l'elettificazione, la sostituzione dei combustibili tradizionali con alternative decarbonizzate e – in maniera limitata – anche l'efficientamento energetico.

Il presente capitolo illustra le principali tecnologie abilitanti per la decarbonizzazione delle emissioni dirette, la cui applicazione verrà poi approfondita nel capitolo successivo. Ciascuna tecnologia viene identificata con un TRL¹⁰ di riferimento.

7.1 CCUS¹¹

7.1.1 Overview

La CCUS (Cattura, Utilizzo e Stoccaggio del Carbonio) rappresenta un insieme di processi che hanno come obiettivo quello di catturare l'anidride carbonica emessa da processi industriali, produzione e trasformazione di combustibili e produzione di energia elettrica.

L'anidride carbonica catturata può quindi venire immagazzinata negli stoccaggi geologici permanenti (ad esempio giacimenti di petrolio o di gas esauriti) oppure, se di origine biogenica, può essere riutilizzata per la produzione di carburanti sintetici per il settore dei trasporti (aviazione in particolare), per materiali da costruzione o per il miglioramento del recupero del petrolio nei giacimenti esauriti (Enhanced Oil Recovery).

La CCUS rappresenta un'opzione tecnologica rilevante nell'ottica degli obiettivi net-zero al 2050 in particolare per quei settori ad alta intensità emissiva o per quelli in cui risulta più difficile catturare emissioni di processo industriali quali il settore della produzione di cemento, di acciaio e di alcune materie prime chimiche. La CCUS permette, infatti, di catturare anche quelle emissioni difficilmente eliminabili in altro modo, senza dover alterare i processi industriali esistenti.

7.1.2 Soluzioni tecnologiche (per la cattura)

- **Assorbimento chimico** (TRL: 7-11, a seconda del settore): è un processo consolidato che si basa sulla reazione tra CO₂ e un solvente chimico (es. a

¹⁰ TRL – Technology Readiness Level indica una metrica utilizzata per valutare il grado di maturità delle tecnologie.

¹¹ <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>
IEA – Energy Technology Perspectives 2020



base di ammine). La CO₂ viene rilasciata riscaldando il solvente a temperature generalmente comprese tra 120 °C e 150 °C, permettendo la rigenerazione del solvente per cicli successivi.

- **Assorbimento fisico** (TRL 5-9, a seconda del settore): utilizza un solvente liquido per assorbire la CO₂ dai gas di scarico ad alta pressione parziale, senza che avvenga una reazione chimica. I solventi fisici più comuni sono il Selexol (eteri dimetilici del polietilenglicole) e il Rectisol (metanolo).
- Altre tecnologie in fase di sviluppo:
 - adsorbimento fisico;
 - separazione diretta;
 - separazione a membrana;
 - ossicombustione (Oxyfuelling).

7.1.3 Principali vincoli all'utilizzo

La tecnologia della CCS ha il vantaggio di essere applicabile ai processi esistenti senza la sostituzione delle macchine industriali attualmente in uso ed è, ad oggi, la principale soluzione in grado di ridurre le emissioni di processo. Ad oggi questa tecnologia, non è ancora stata applicata su impianti di piccola dimensione, anche se la struttura a distretti del settore industriale italiano permette in diversi casi la creazione di cluster per la gestione delle emissioni.

7.2 Elettificazione diretta del calore dei processi industriali

7.2.1 Overview

Premessa la difficoltà di decarbonizzazione dei settori hard-to-abate, l'elettificazione diretta dei consumi può avere un ruolo significativo. Grazie alla decarbonizzazione prevista per il vettore elettrico e alla sua efficienza intrinseca, potrebbe essere usato su larga scala, oltre che nei processi meccanici e legati alla digitalizzazione (in cui è ampiamente consolidato), anche per soddisfare il fabbisogno di calore di processo.

7.2.2 Soluzioni Tecnologiche

Molte delle soluzioni utilizzabili per l'elettificazione diretta dei processi industriali godono di un elevato grado di maturità tecnologica, ma risultano ancora economicamente poco sostenibili. Premesso che, dal punto di vista puramente tecnico, non esistono limiti di temperatura non raggiungibili con il vettore elettrico, dal punto di vista pratico è proprio la temperatura necessaria per il calore di ciascun processo¹² che ne determina la fattibilità. Di seguito si riportano alcuni dei principali esempi di tecnologie per range di temperatura¹³:

- calore a temperature medio-basse (<200°C): pompe di calore e caldaie elettriche;
- calore a temperature medio-alte (200°C<Q<500°C): caldaie elettriche;
- calore a temperature alte (800°C<Q<2000°C): forni per applicazioni specifiche.

¹² An Assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU, Agora Industry, 2024

¹³ Occorre considerare che questi valori sono indicativi e soggetti ad evoluzione tecnologica.



Le pompe di calore e le caldaie elettriche potrebbero trovare applicazione principalmente all'interno delle cartiere¹⁴ e di alcuni processi del settore della chimica^{12,15}.

Per quanto riguarda, invece, le applicazioni specifiche, al fianco di soluzioni già ampiamente utilizzate come le fornaci ad arco elettrico e i forni di riscaldamento per l'acciaio e i forni elettrici a induzione per le fonderie, si possono trovare:

- forni per la cottura della ceramica¹⁶ (TRL 8-9);
- forni elettrici per il cemento¹⁷ (TRL 3-4);
- forni di fusione per il vetro¹⁸ (TRL 7-8);
- forni per lo steam cracking¹⁹ ovvero per la trasformazione di idrocarburi leggeri per la produzione di plastica, solventi e fibre sintetiche²⁰ (TRL 3).

7.2.3 Principali vincoli all'utilizzo

La transizione verso l'elettrico potrebbe richiedere investimenti notevoli per sostituire componenti chiave di impianti produttivi o adattare quelli esistenti progettati per il funzionamento con i combustibili tradizionali. Ad esempio, se un impianto utilizza vapore generato da un processo di combustione come vettore per il trasporto dell'energia termica, potrebbe essere difficile utilizzare calore prodotto mediante energia elettrica (per es. in un forno elettrico) senza dover sostituire ampie porzioni del sistema.

Inoltre, l'elettrificazione può avere impatti sulla qualità del prodotto finale che in alcuni casi migliora, come succede nel processo di fusione del vetro nel quale l'utilizzo del vettore elettrico riduce la presenza di impurità associate ai gas di combustione (ossidi di azoto, zolfo, etc.). In altri casi, tuttavia, in assenza di una progettazione del forno adeguata, la qualità dell'output può peggiorare. Queste variazioni influenzano la fattibilità tecnica ed economica della conversione, rendendola più o meno semplice da attuare a seconda del contesto specifico del processo industriale.

7.3 Gas verdi²¹

7.3.1 Overview

Quando si parla di gas verdi per usi industriali ci si riferisce generalmente a biometano, idrogeno e metano sintetico. Per quanto riguarda il biometano e il metano sintetico, tali combustibili risultano pienamente compatibili con le stesse tecnologie utilizzate attualmente per il gas naturale (e lo stesso vale per le infrastrutture di trasporto e stoccaggio), mentre per l'idrogeno occorrono tecnologie diverse e nuove infrastrutture di trasporto e stoccaggio.

7.3.2 Soluzioni tecnologiche

Come appena detto, per quanto riguarda il biometano e il metano sintetico le tecnologie di uso finale rimangono quelle attualmente in uso e alimentate con il gas naturale. Per quanto riguarda l'idrogeno, invece, l'utilizzatore finale può continuare a utilizzare le tecnologie esistenti solo quando tale combustibile viene

14 La decarbonizzazione competitiva del settore cartario italiano: una possibile strategia tra fonti green ed elettrificazione, *Afr* per Assocarta – 2024

15 *Industrial heat pumps: five considerations for future growth*, McKinsey & Company, 2024

16 Scenari di decarbonizzazione: studio sui settori "hard to abate", Confindustria Ceramica, Luglio 2021

17 La strategia di decarbonizzazione del settore cemento, KPMG per Federbeton, 2020

18 La transizione ecologica del vetro. Sfide, ostacoli e proposte per un futuro sostenibile, KPMG per Assovetro, 2023

19 La decarbonizzazione nell'industria chimica, Società Chimica Italiana, 2023

20 La decarbonizzazione in questo caso è parziale a causa delle emissioni non energetiche.

21 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>
IEA – Energy Technology Perspectives 2020



utilizzato in blending con il gas naturale (in percentuali variabili a seconda dell'uso specifico). L'utilizzo in purezza dell'idrogeno richiede invece un aggiornamento tecnologico seppur basato su principi di funzionamento del tutto simili a quelli dei dispositivi a gas naturale, in particolare:

- caldaie e generatori di vapore ad H_2 (TRL 9);
- forni ed altre applicazioni di calore diretto ad alta temperatura (TRL 7).

7.3.3 Principali vincoli all'utilizzo

Molteplici sono i vincoli all'utilizzo dell'idrogeno. Il primo e più evidente è la sostanziale assenza della filiera industriale (produzione, stoccaggio, trasporto) che al momento sta muovendo i primi passi e dovrà attraversare tutte le fasi di evoluzione fino alla maturità. Inoltre, così come per le tecnologie di elettrificazione, l'utilizzo esclusivo dell'idrogeno comporterebbe modifiche sostanziali alle macchine di processo (e quindi necessità di ingenti investimenti). Al momento, infine, sembra difficile ipotizzare che l'idrogeno possa rappresentare una soluzione economicamente competitiva, perlomeno per le molte applicazioni energetiche in cui sono disponibili opzioni alternative.

L'utilizzo di biometano e metano sintetico invece, come descritto nel precedente paragrafo, non comporta alcuna variazione impiantistica potendo anche utilizzare le stesse infrastrutture di trasporto e stoccaggio ad oggi in uso. Per il biometano esiste un vincolo di disponibilità del prodotto, legato alla producibilità del settore agricolo che verrà affrontata nella nota dedicata (Nota copertura consumi gas) e che comporta una pianificazione organica che includa una strategia nazionale per l'utilizzo ottimale di tale risorsa. Per quanto riguarda le molecole sintetiche, invece, il principale vincolo è rappresentato dalla maturità tecnologica per la loro produzione a costi competitivi, ad oggi piuttosto bassa. Anch'essa verrà approfondita nella nota dedicata (Nota copertura consumi gas).

Come per l'elettrificazione, anche la sostituzione dei combustibili fossili con i gas verdi può portare a modifiche nel prodotto finito che vanno analizzate e considerate per ogni specifico processo produttivo, avendo impatti sulla fattibilità tecnica ed economica della conversione.



7.4 Applicazioni settoriali

Nel presente paragrafo si riporta una sintesi delle principali applicazioni delle tecnologie illustrate nei precedenti paragrafi agli specifici settori che rientrano nel perimetro di analisi delineato nel capitolo 4.

Tabella 1 Sintesi delle principali applicazioni delle tecnologie descritte

<i>Settore</i>	<i>Applicazione CCS</i>	<i>Applicazione tecnologie elettrificate</i>	<i>Applicazione tecnologie con molecole green</i>
Acciaio	1) Cattura su forni di preriscaldamento 2) Cattura applicata alla fase di riduzione con tecnologie tradizionali	1) Forni di preriscaldamento 2) Fornaci ad Arco elettrico	1) DRI a idrogeno 2) Utilizzo di H ₂ o bio/syn-gas nei bruciatori dei forni di preriscaldamento
Carta	Cattura di emissioni da cogeneratore e generatore di vapore	Elettrificazione processo di asciugatura/essiccazione	Passaggio a caldaie/cogeneratori ad H ₂ o utilizzo di bio/syn-gas nelle macchine tradizionali
Chimico	Cattura su steam methane reformer e autothermal reforming a gas naturale e di emissioni residue dalle macchine a seconda del processo	Steam reformer elettrico	1) Utilizzo H ₂ verde in sostituzione del grigio 2) Utilizzo di bio/syn-gas nei bruciatori delle macchine tradizionali
Cemento	Cattura emissioni su forno kiln	Elettrificazione parziale del processo di cottura	Utilizzo di H ₂ e bio/syn-gas nei bruciatori del forno
Vetro	Cattura su forni tradizionali	Elettrificazione dei forni di formatura	Utilizzo di H ₂ e bio/syn-gas nei bruciatori dei forni
Ceramica	Cattura su forni tradizionali	Elettrificazione parziale del processo di cottura	Utilizzo di H ₂ e bio/syn-gas nei bruciatori
Materiali non ferrosi (fonderie)	Cattura su forni tradizionali	Forni elettrici	Utilizzo di H ₂ e bio/syn-gas nei bruciatori dei forni





8

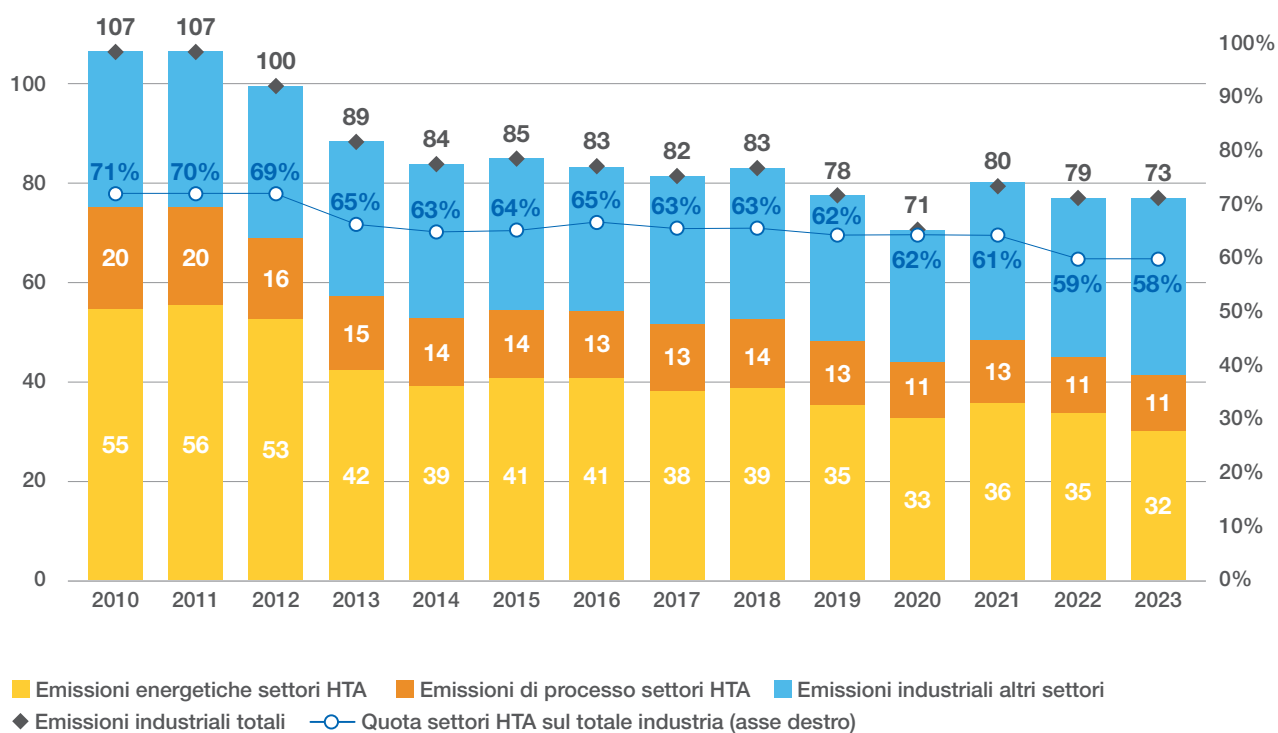
Caratterizzazione dei sottosettori



8. Caratterizzazione dei sottosettori

Il settore industriale italiano è caratterizzato da una elevata eterogeneità sia dal punto di vista della dimensione, comprendendo sia piccole imprese che grandi industrie, sia per la diversificazione e specializzazione in termini di prodotto.

Per tale motivo, questo capitolo affronterà i sottosettori separatamente e verranno analizzati e approfonditi i cosiddetti settori hard to abate (HTA) per i quali gli obiettivi di decarbonizzazione risultano particolarmente sfidanti anche in termini di disponibilità tecnologica. La Figura 10 mostra un riepilogo delle emissioni energetiche e di processo per i sottosettori HTA che verranno analizzati nel presente capitolo. Dal 2010 il valore assoluto delle emissioni di questi settori è stato caratterizzato da una progressiva decrescita, così come la quota di emissioni che questi settori rappresentano rispetto al totale industria, arrivato al 58% nel 2023.

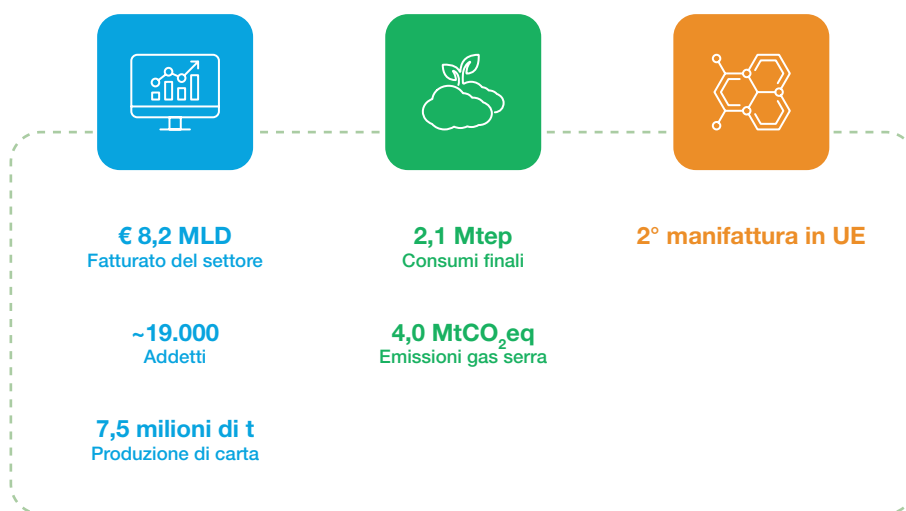

Figura 10 Riepilogo emissioni settori Hard To Abate (HTA)




8.1 Il settore della carta

Il settore della carta conta su circa 19.000 addetti, distribuiti in circa 119 imprese e 152 stabilimenti. Il fatturato nel 2023 si è attestato a 8,2 miliardi di euro; l'industria cartaria italiana si attesta al secondo posto in Europa.

Figura 11 Il settore della carta in Italia nel 2023²²



8.1.1 Caratterizzazione del settore cartario italiano

La produzione del settore carta in Italia ha raggiunto nel 2023 7,5 milioni di tonnellate di cui il 57% dedicato al mercato interno; della quota esportata, l'82% viene esportato verso l'Europa.

La produzione 2023 ha rappresentato il minimo storico dal 1994; su questo valore hanno pesato una domanda debole, sia nazionale che estera, un contesto economico stagnante e una generale perdita di competitività del settore. La produzione di carta (in termini di tonnellate di prodotto) in Italia è dominata dalla produzione di carta e cartoni per imballaggio (60% nel 2023), carta per usi igienico sanitari (21%, 2023), carta per usi grafici (15%, 2023) seguiti da carta per altri usi generici (5%, 2023).

Le emissioni del settore cartario derivano principalmente da usi energetici, mentre le emissioni di processo sono sostanzialmente nulle.

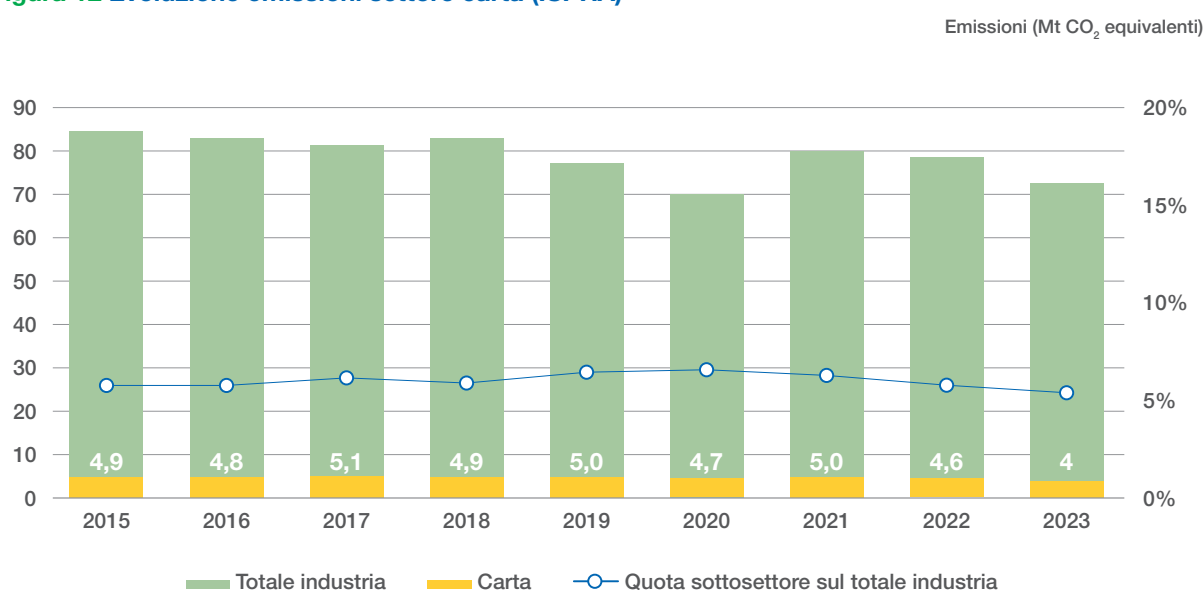
²² Dati da Assocarta
"L'industria cartaria nel
2023", ISPRA, Eurostat.



Le emissioni del settore, come mostrato in Figura 12, hanno seguito una lieve decrescita negli anni, mantenendosi però sempre al di sopra delle 4,5 MtCO₂ e rappresentando circa il 5% delle emissioni totali dell'industria italiana. Anche le emissioni per tonnellata di prodotto hanno registrato una lieve riduzione negli anni arrivando nel 2023 a circa 0,53 tCO₂/tcarta²³.

²³ Calcolato utilizzando le emissioni totali del settore (ISPRA) e la produzione (Assocarta).

Figura 12 Evoluzione emissioni settore carta (ISPRA)





In termini di consumi finali (Figura 13 e Figura 14), l'industria cartaria italiana mostra una sostanziale stabilità negli ultimi dieci anni, rappresentando circa il 10% dei consumi finali del settore industria. Il trend, piuttosto stabile si è interrotto nel 2020 a causa della pandemia di Covid-19, che ha ridotto la produzione del settore e, di conseguenza, i consumi finali; il 2021 è stato caratterizzato da un rimbalzo nella produzione che si è poi attestato sui livelli pre-Covid nel 2022.

Il gas naturale rappresenta il combustibile prevalentemente utilizzato nelle cartiere, il cui elevato utilizzo dipende sia dall'intensità del processo termico sia dall'ampia diffusione di impianti di cogenerazione ad alto rendimento (produzione combinata di calore ed energia) che caratterizza le cartiere italiane.

La tecnologia della cogenerazione, che ha avuto soprattutto negli anni Novanta importanti sviluppi nel settore cartario per l'adattabilità della tecnologia al processo produttivo, porta - come rilevato dalla Direttiva Europea 2004/8/CE, che ne promuove lo sviluppo e l'utilizzo - rilevanti vantaggi per la collettività dal punto di vista ambientale grazie alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica rispetto alle produzioni separate di energia elettrica e calore.

Grazie agli sviluppi tecnologici la produzione di energia elettrica in cogenerazione è arrivata a soddisfare circa l'80% del fabbisogno elettrico del settore²⁴, che ricorre ad acquisti dalla rete per la sola quota restante.

²⁴ Assocarta, Rapporto di sostenibilità 2023



Figura 13 Evoluzione consumi finali settore carta (Eurostat)

Mtep

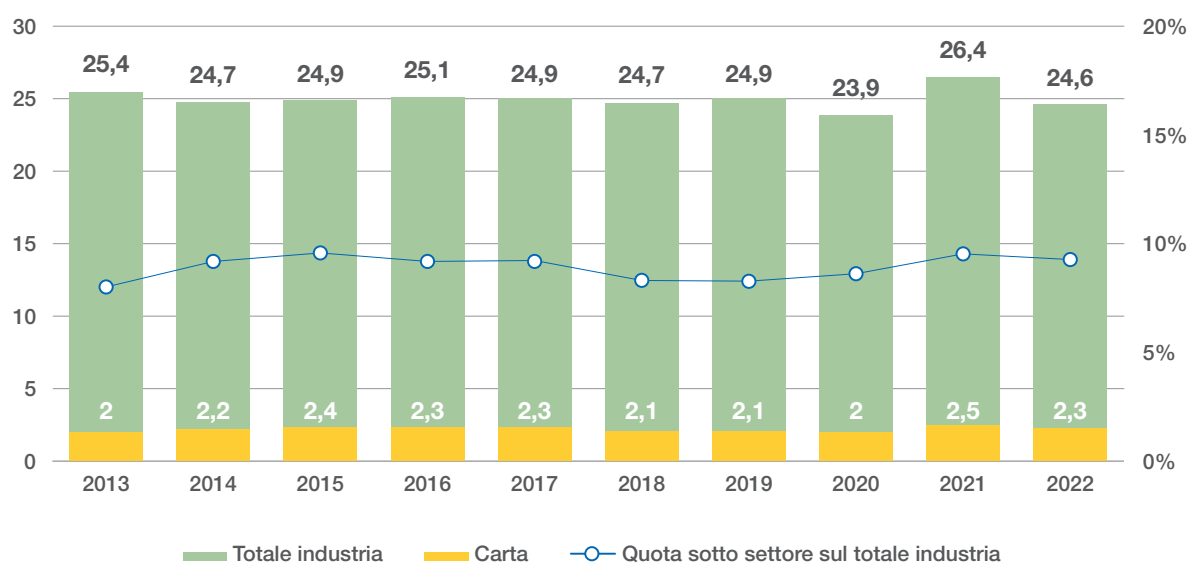
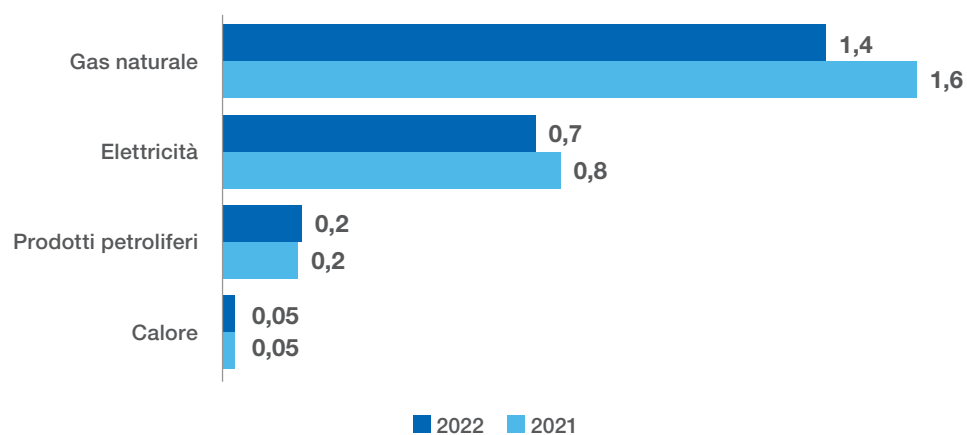


Figura 14 Consumi finali per vettore

Mtep

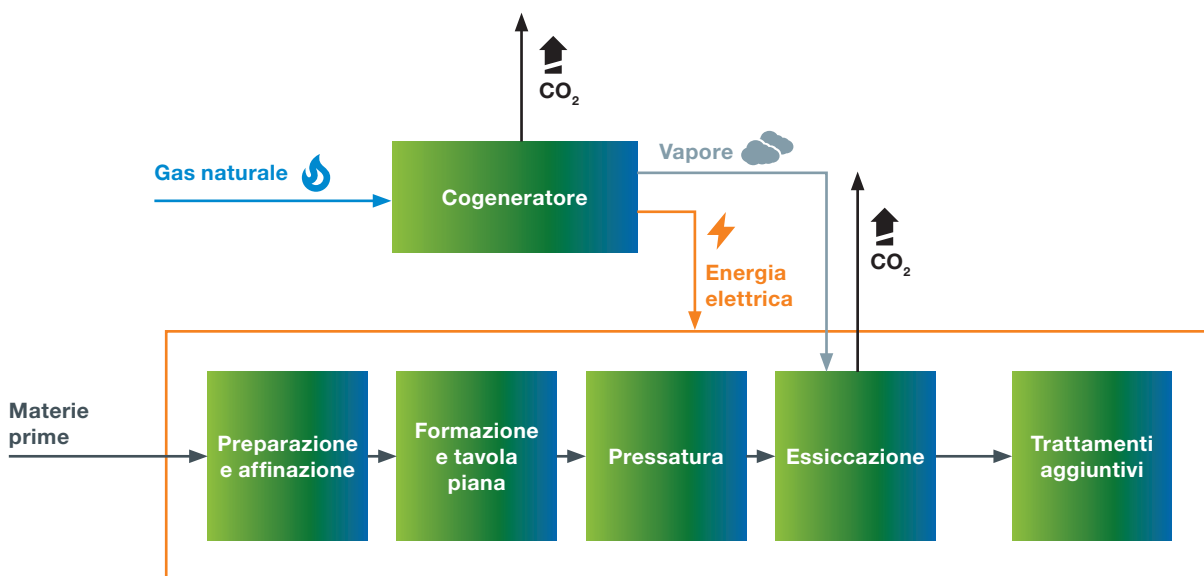


8.1.2 Processi del settore cartario

Il processo di produzione della carta, Figura 15, si compone delle seguenti fasi:

1. **Preparazione e raffinazione:** dalle materie prime (principalmente legno) viene ottenuta la pasta di legno per via meccanica o chimica che viene poi sottoposta a sbiancamento e raffinazione.
2. **Formazione del foglio:** la pasta raffinata viene diluita con acqua e distribuita su una rete continua o su un telaio oscillante dove l'acqua, drenando, lascia un foglio di fibre.
3. **Pressatura:** il foglio precedentemente creato viene pressato attraverso rulli compressori per completare la prima asciugatura e compattare le fibre.
4. **Essiccazione:** il foglio di carta passa attraverso una serie di cilindri riscaldati che rimuovono l'umidità residua.
5. **Trattamenti superficiali e aggiuntivi:** che vengono svolti a valle del ciclo produttivo come rivestimento, satinatura, impregnazione, taglio, rifilatura, imballaggio.

Figura 15 Schema processo di produzione della carta²⁵



²⁵ Emissioni dirette nella fase di essiccazione presenti solo se la cartiera non è dotata di cogeneratore.

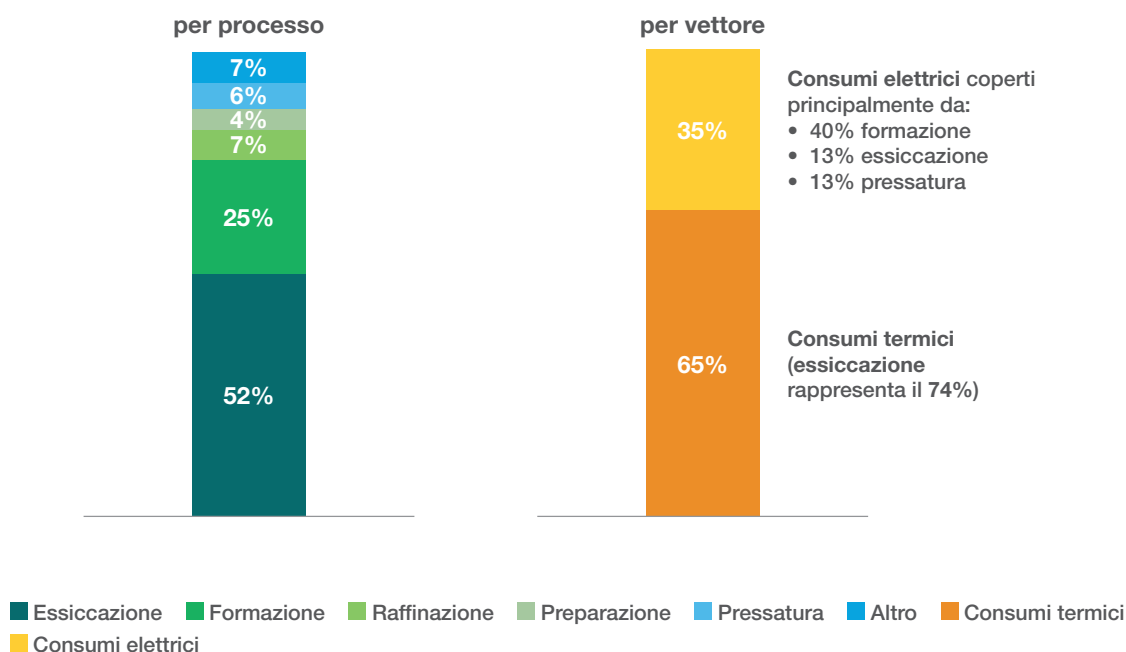


Dal punto di vista dei consumi energetici, riportati in Figura 16, il processo di essiccazione è quello più energy intensive, richiedendo più del 50% dei consumi totali, seguito dalla fase di formazione del foglio (25%).

Il processo che ha i consumi elettrici più alti è il processo di formazione (40% dei consumi elettrici), mentre quello con i consumi termici maggiori risulta essere quello dell'essiccazione (74% dei consumi termici).

Le emissioni dirette avvengono nel processo di generazione di vapore utilizzato per l'asciugatura della carta (essiccazione). Per le cartiere che ne sono dotate, l'impianto di cogenerazione, tipicamente alimentato a gas naturale, è il processo responsabile di emissioni dirette, sostituendo il generatore di vapore.

Figura 16 Ripartizione consumi energetici





8.1.3 Prospettive al 2050

La decarbonizzazione delle emissioni dirette del settore cartario riguarda principalmente le macchine che operano la combustione di gas naturale: i cogeneratori (nelle cartiere più grandi) e i generatori di vapore (nelle cartiere più piccole). L'obiettivo di ridurre e azzerare le emissioni può quindi essere raggiunto attraverso la decarbonizzazione dei combustibili e/o l'elettrificazione dei processi.

Per quanto riguarda la prima alternativa si tratta di sostituire il gas naturale utilizzato come combustibile negli impianti di cogenerazione o nei generatori di vapore con combustibili green quali biomasse o biometano e, più nel lungo termine, con metano sintetico o idrogeno. Il caso di utilizzo di biomassa o bioliquidi all'interno del cogeneratore (soluzione che trova già applicazione in alcune realtà italiane²⁶) dipende fortemente dalla disponibilità della risorsa e dalle sinergie di filiera che è possibile costruire nelle vicinanze dell'impianto. L'utilizzo di questo combustibile diventa una soluzione praticabile anche nelle cartiere più piccole che non dispongono di un cogeneratore, attraverso l'installazione di caldaie a biomassa. Nel lungo termine l'idrogeno può diventare un'alternativa al gas naturale in alcune apparecchiature come le cappe di essiccazione, comportando la sostituzione dei bruciatori con apparecchiature compatibili con questo combustibile.

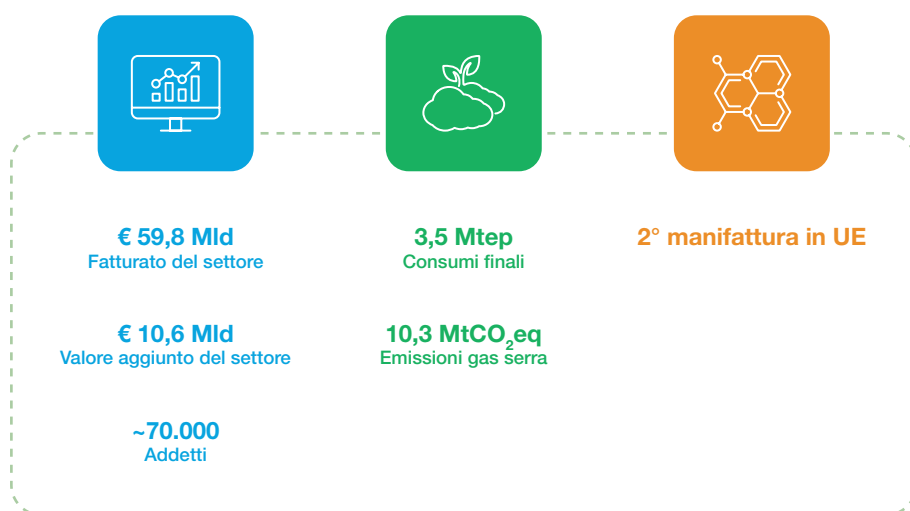
Nel settore cartario le emissioni potrebbero essere abbattute applicando la CCS, in particolare su impianti di grandi dimensioni (tipicamente cogenerativi). La localizzazione in distretti degli impianti del settore si presterebbe, inoltre, ad applicare la CCS anche ad impianti più piccoli che si trovano nelle zone limitrofe.

Una ulteriore leva di decarbonizzazione, per quanto di potenzialità limitata, è rappresentata da interventi di efficientamento, che possono applicarsi in maniera trasversale ai diversi componenti tecnologici del processo (pulper, raffinatori, cilindri, cappe, tele, presse) oltre che di recupero di calore (termocompressori, cassa a vapore).

8.2 Il settore dell'acciaio

L'Italia è il secondo produttore di acciaio in Europa, alle spalle della Germania sia per produzione sia per consumo. Il settore conta circa 70.000 addetti ed una produzione di circa 21,1 milioni di t nel 2022 per un fatturato di quasi 60 miliardi di euro.

²⁶ Bio Energia Guarcino,
<https://www.begsrl.eu/chi-siamo/>

**Figura 17 Il settore dell'acciaio nel 2022²⁷**

8.2.1 Caratterizzazione del settore dell'acciaio italiano

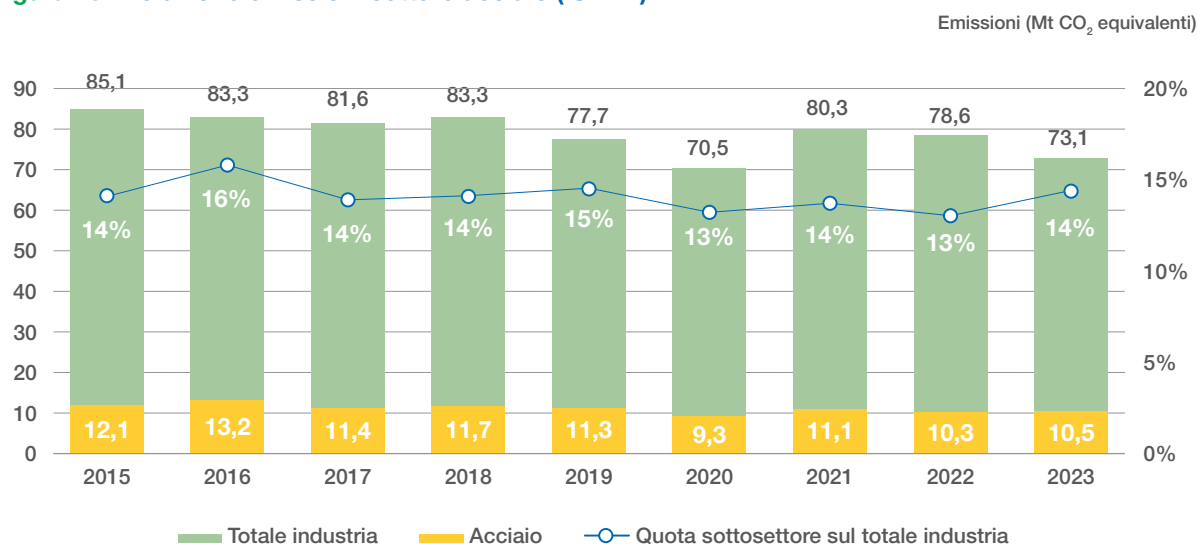
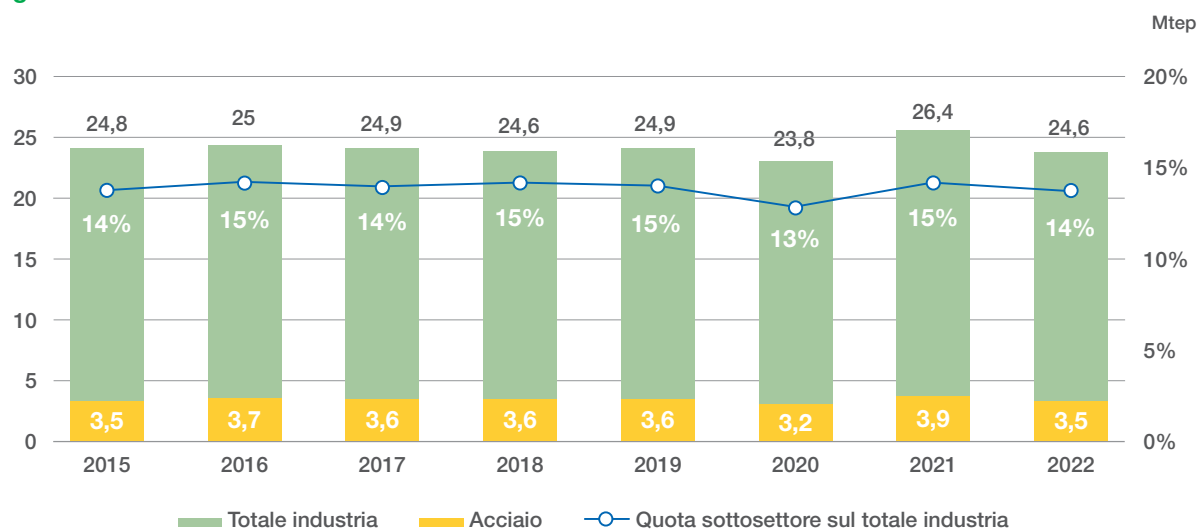
La produzione di acciaio italiana è concentrata al Nord del Paese ed è rappresentata per più dell'85% da acciaio secondario, ottenuto da rottame di ferro nei forni elettrici nelle 34 acciaierie presenti sul territorio nazionale²⁸.

L'acciaio primario viene prodotto tramite un ciclo integrale a carbone nel polo siderurgico Acciaierie d'Italia di Taranto, l'unico impianto italiano di questo tipo. Si rimanda al paragrafo successivo per una descrizione dei processi. La presenza del polo di Taranto per la produzione di acciaio primario risulta di importanza rilevante nel panorama industriale italiano. Ci sono infatti specifici settori come la produzione delle latte alimentari, di rotaie e componenti delle automobili che necessitano dell'acciaio primario, che ha, per sua natura, caratteristiche superiori. La presenza di un polo di produzione di acciaio primario è di fondamentale importanza anche per la produzione dello stesso acciaio secondario che, ad oggi, viene in larga parte alimentato da riciclo nazionale.

Il settore della produzione di acciaio è un settore altamente energivoro e con elevate emissioni lungo tutto il ciclo produttivo, riportate in Figura 18. Le emissioni totali del settore acciaio ammontano, nel 2022, a 10,3 MtCO₂eq, l'85% delle quali riconducibile ai combustibili e solo il 15% legate a emissioni di processo.

²⁷ Dati Federacciai, ISPRA, Eurostat, ISTAT.

²⁸ Dati CDP e Federacciai.

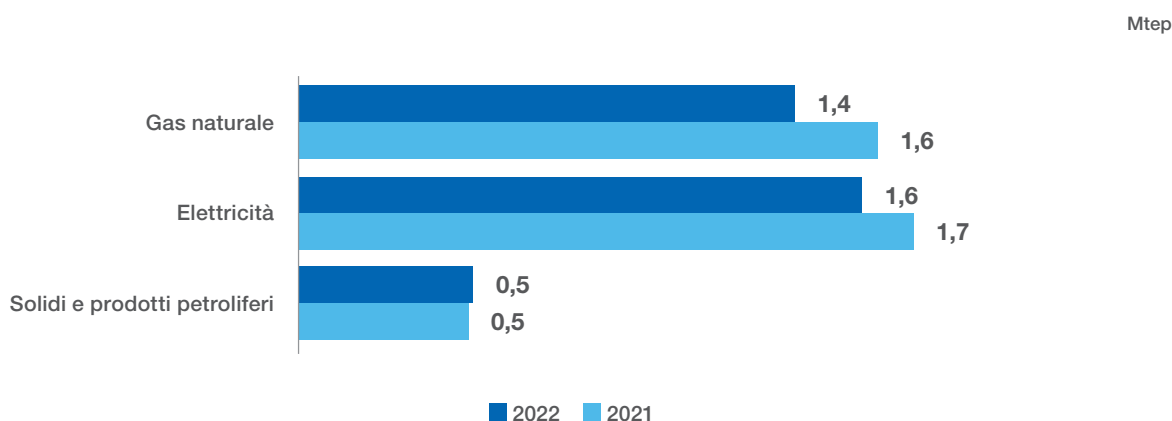
Figura 18 Evoluzione emissioni settore acciaio (ISPRA)**Figura 19 Evoluzione consumi finali settore acciaio²⁹**

In termini di consumi finali (Figura 19), rimasti sostanzialmente stabili negli ultimi anni, il settore dell'acciaio copre circa il 15% del totale industria (3,5 Mtep nel 2022).

²⁹ Eurostat.



Figura 20 Consumi finali per vettore



I combustibili più utilizzati, come mostrato in Figura 20, sono il gas naturale, tipicamente utilizzato nei bruciatori, e l'energia elettrica, utilizzata per i forni ad arco per l'acciaio secondario. Nel ciclo integrale vengono invece utilizzati principalmente gas naturale e carbone per produrre il coke.

Nell'ottica degli obiettivi di decarbonizzazione di lungo termine, una trasformazione sostanziale delle attuali modalità di produzione dell'acciaio sarà necessaria per consentirne uno sviluppo sostenibile.

8.2.2 Processi e tecnologie abilitanti

Ad oggi, circa il 71% dell'acciaio disponibile globalmente viene prodotto a partire dal minerale di ferro (acciaio "primario"), mentre la restante parte dell'acciaio è detto "secondario" in quanto proveniente dal riciclo di acciaio di scarto ("rottame") tramite fusione in forni ad arco elettrico (EAF). Sempre a livello mondiale, circa il 90% dell'acciaio primario è prodotto in altoforno (ciclo integrale BF-BOF) mentre la parte rimanente viene prodotta tramite il processo di riduzione diretta del ferro (DRI, Direct reduced iron) accoppiato con un forno ad arco elettrico.

Riassumendo, ad oggi le principali modalità di produzione dell'acciaio sono:

1. da minerale tramite ciclo BF-BOF (acciaio primario);
2. da minerale tramite processo DRI accoppiato a EAF (acciaio primario);
3. da rottame nei forni ad arco elettrico – EAF (acciaio secondario).

Ciclo integrale BF-BOF (acciaio primario)

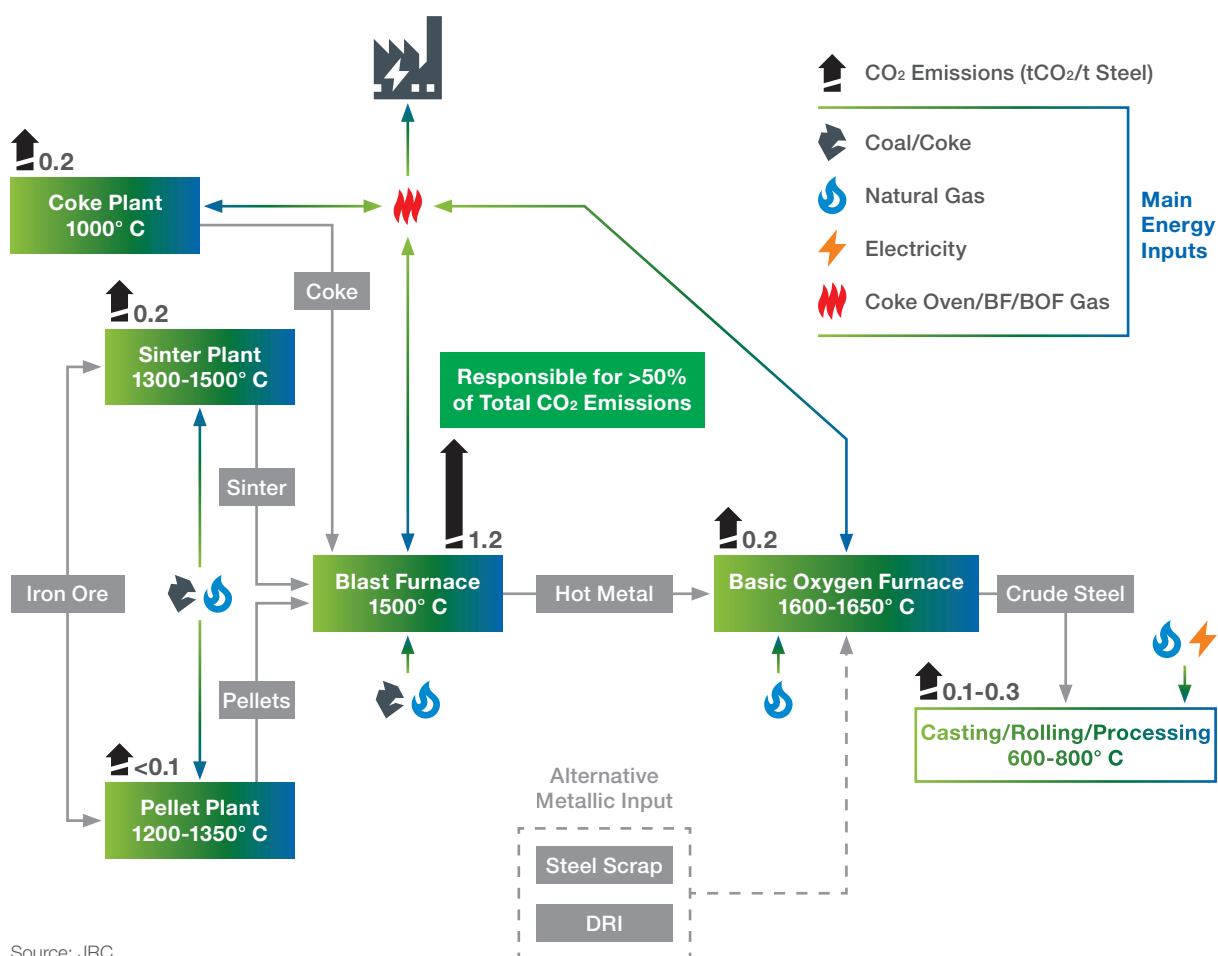
Il ciclo integrale tradizionale, schematizzato nella Figura 21 e utilizzato ad oggi negli impianti di Acciaierie d'Italia di Taranto, è caratterizzato dalle seguenti fasi:

- **Preparazione delle materie prime** (minerali ferrosi e carbone) in cui i minerali ferrosi vengono inviati agli impianti di sinterizzazione e pellettizzazione per

ottenere agglomerati di dimensioni adeguate e viene prodotto il coke, a partire dal carbone.

- **Produzione della ghisa** in cui i minerali ferrosi, il coke ed il calcare vengono caricati nell'altoforno, tramite l'immissione di aria si forma il monossido di carbonio dalla reazione con il coke che permette di separare il ferro dai minerali formando quindi la ghisa liquida.
- **Produzione dell'acciaio** tramite la conversione della ghisa che, immessa nel convertitore ad ossigeno insieme al rottame, viene trasformata in acciaio tramite getto di ossigeno.
- **Laminazione a caldo/freddo** sono le fasi finali in cui si può avere la laminazione a caldo dell'acciaio con colata continua e la laminazione a freddo seguita da ulteriori lavorazioni.

Figura 21 Schema processo di produzione dell'acciaio con ciclo BF-BOF





Le emissioni dirette in questo tipo di processo sono concentrate nella preparazione delle materie prime (produzione coke e sintetizzazione/pelletizzazione) e nella fase di produzione della ghisa nell'altoforno. Per questo tipo di processo sono pari a circa 1,9 t CO₂/t acciaio³⁰.

Direct Reduced Iron + Forno ad arco elettrico (acciaio primario)

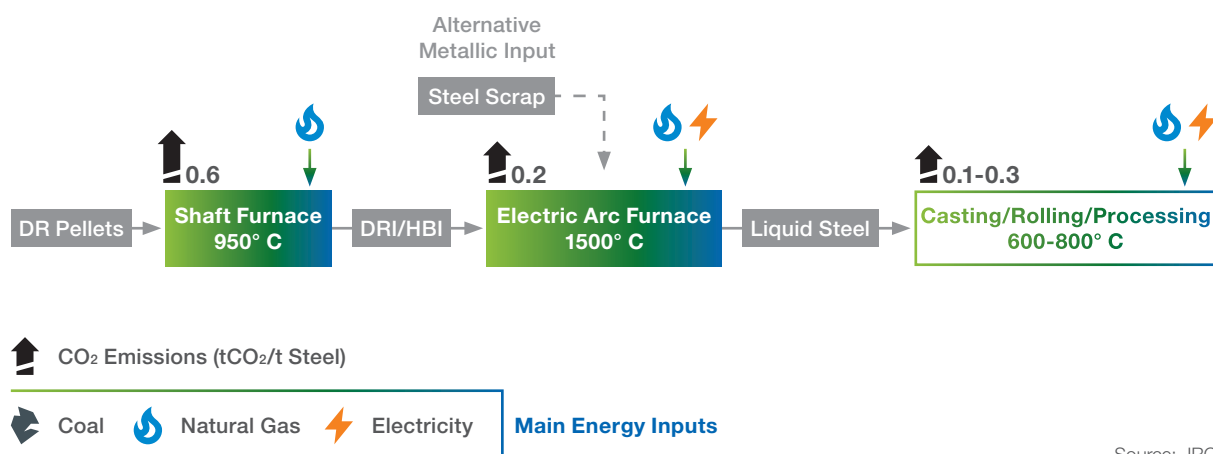
La riduzione diretta del ferro (DRI) è una tecnologia utilizzata per ridurre il ferro a partire dai minerali che lo contengono senza la necessità di convertire il ferro in fase liquida e che fa uso di gas alternativi al coke (e.g, syngas a base di idrocarburi) per il processo di riduzione³¹. Il minerale di ferro così ottenuto subisce un passaggio nel forno ad arco elettrico (vedasi la descrizione del processo per l'acciaio secondario) dove completa la trasformazione in acciaio primario. Questa tecnologia non è attualmente in uso in Italia.

Utilizzando la tecnologia DRI si evita la produzione di coke a partire dal carbone. Le fasi del processo, schematizzate in Figura 22, sono:

- **preparazione delle materie prime** con processo DRI;
- **reforming del gas** con formazione del monossido di carbonio e idrogeno che, reagendo con il ferro lo trasformano in spugna di ferro;
- **produzione dell'acciaio** la spugna di ferro, insieme a del rottame, viene inviata al forno ad arco in cui il preridotto viene fuso e trasformato in acciaio con l'utilizzo di elettricità e bruciatori a gas naturale;
- **laminazione a caldo/freddo** sono le fasi finali in cui si può avere la laminazione a caldo dell'acciaio con colata continua e la laminazione a freddo seguita da ulteriori lavorazioni.

³⁰ "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry", JRC Technical Report, EC, 2022

³¹ M. Shahabuddin et al., Decarbonisation and hydrogen integration of steel industries: Recent development, challenges and technoeconomic analysis, 2024.

Figura 22 Schema processo di produzione dell'acciaio con ciclo DRI

Questo tipo di processo - se condotto con gas naturale - riduce le emissioni di un range tra il 30% e il 60% rispetto al BF-BOF, per un totale di 0,6-1,4 tCO₂eq/t acciaio³².

Arco elettrico da rottami (acciaio secondario)

Il processo di produzione dell'acciaio secondario, schematizzato in Figura 23, inizia con il caricamento del forno con il rottame ridotto nelle dimensioni desiderate e prosegue con la successiva fusione del rottame stesso grazie alla creazione di un arco elettrico tra elettrodi di grafite inseriti nel forno e il rottame sottostante. Spesso in questi forni sono presenti anche bruciatori radiali a gas naturale che ottimizzano la fusione dei rottami uniformando la temperatura.

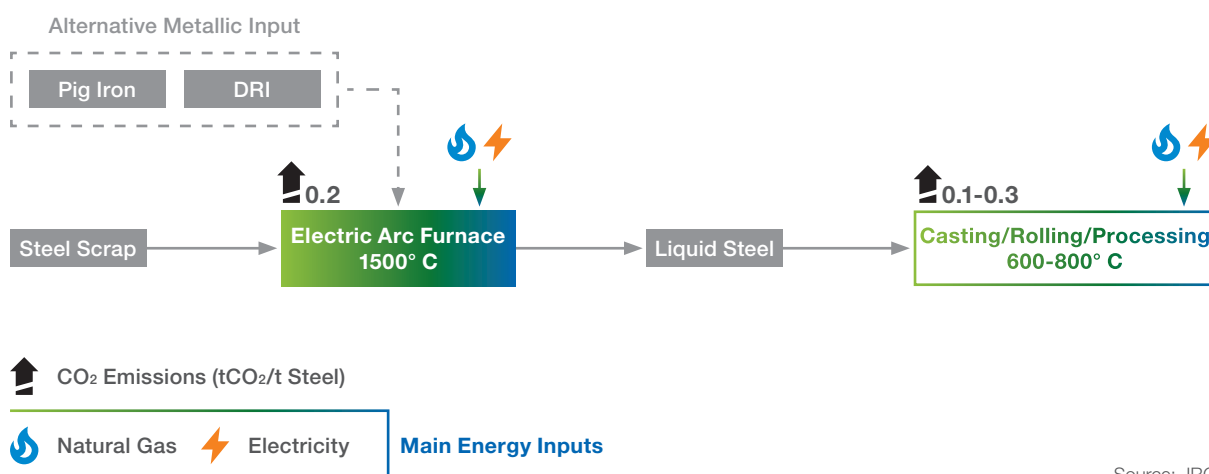
L'acciaio fuso viene poi sottoposto alla fase di affinazione che ha l'obiettivo di eliminare impurezze attraverso l'aggiunta di alcuni materiali come la calce e l'insufflazione di ossigeno. Le specie chimiche indesiderate vengono raccolte nella scoria, una miscela di ossidi che galleggia al di sopra del bagno metallico. Terminata la fase di affinazione e raggiunta la temperatura desiderata, l'acciaio è spillato dal forno per essere inviato alle successive lavorazioni.

Nel caso dei forni ad arco elettrici la quota di emissioni dirette deriva principalmente dall'utilizzo di bruciatori a gas complementari, oltre che - in misura minore - dall'utilizzo di carboni di carica come agenti riducenti, dall'insufflazione di carbone in scorie nella fase di affinazione e dall'ossidazione degli elettrodi di grafite.

Per tonnellata di acciaio prodotto le emissioni sono di circa 0,3 - 0,5 tonCO₂eq/t acciaio³³.

³² "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry", JRC Technical Report, EC, 2022

³³ "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry", JRC Technical Report, EC, 2022

**Figura 23 Schema processo di produzione dell'acciaio con ciclo EAF**

Source: JRC

8.2.3 Prospettive al 2050

Per una decarbonizzazione della produzione di acciaio al 2050 vanno considerate soluzioni per la produzione di acciaio sia primario che secondario tenendo presente che più dell'85% delle emissioni è legato all'utilizzo di combustibili (emissioni energetiche).

Decarbonizzazione acciaio primario

Il passaggio dalla tecnologia tradizionale BF-BOF al DRI accoppiato con EAF è, ad oggi, la principale opzione per la decarbonizzazione della produzione di acciaio primario. L'utilizzo della tecnologia DRI/EAF alimentata a gas naturale permette una riduzione delle emissioni del 30%-60%, tale riduzione potrebbe, in prospettiva, diventare un azzeramento con la completa sostituzione del gas naturale a favore dell'idrogeno (H-DRI/EAF). Nonostante questa soluzione tecnologica sia al momento sviluppata solo su progetti pilota, molti dei componenti fondamentali sono già disponibili commercialmente e in uso da anni nell'industria dell'acciaio: i forni elettrici sono utilizzati già per la produzione di acciaio secondario e la tecnologia del DRI è stata già testata con l'idrogeno.

Un'ulteriore soluzione che permetterebbe l'azzeramento delle emissioni del ciclo produttivo dell'acciaio primario è rappresentata dall'applicazione della CCS al processo DRI/EAF alimentato a gas naturale (in seguito GN-DRI/EAF + CCS) che permette la parziale cattura delle emissioni dirette a fronte di un aumento del consumo elettrico; qualora si voglia raggiungere un livello di abbattimento ancora maggiore, la CO₂ dovrebbe essere catturata in corrispondenza di tutti i punti di emissione, comportando tuttavia un maggiore aumento del consumo elettrico³⁴.

³⁴ Percentuali di cattura variano molto dall'applicazione, dall'investimento e dai costi operativi (anche energetici: perdita di efficienza, consumi elettrici). In teoria la cattura della CO₂ può raggiungere percentuali vicine al 100%, mentre ad oggi l'unica applicazione di questo tipo è in un DRI negli Emirati Arabi Uniti e riguarda solo il 25% delle emissioni totali dell'impianto.



Restano ovviamente diversi nodi ancora da sciogliere tra cui, ad esempio, l'integrazione complessiva tra processi, la qualità dei prodotti finali, lo scale-up dell'infrastruttura dell'idrogeno e l'integrazione di una tale tipologia di impianti in un sistema energetico a forte penetrazione di fonti rinnovabili. La tabella 2 riporta un confronto tra i consumi, in termini di vettori energetici, ed emissioni finali per tonnellata di acciaio liquido prodotto delle tecnologie di produzione di acciaio primario descritte in questo capitolo³⁵.

Tabella 2 Confronto consumi ed emissioni finali per tonnellata di acciaio liquido prodotto

	<i>Consumo gas naturale (GJ/t acciaio)</i>	<i>Consumo en. elettrica (GJ/t acciaio)</i>	<i>Consumo carbone (GJ/t acciaio)</i>	<i>Emissioni dirette tCO₂eq/t acciaio³⁶</i>
BF-BOF	1	1	18	1,6 – 2,0
GN-DRI/EGF	10	3	-	0,6 – 1,4
GN-DRI/EGF + CCS	10	3	-	0,1 – 0,45
H-DRI/EGF	-	15 ³⁷	-	0,0 – 0,1

Come specificato nei paragrafi precedenti, in Italia, il polo di Taranto rappresenta l'unica acciaieria per la produzione di acciaio primario, dunque la sola con la possibilità di utilizzare la soluzione qui descritta.

Decarbonizzazione acciaio secondario

Come già illustrato, il processo di produzione di acciaio secondario con arco elettrico da rottami ferrosi è già oggi caratterizzato da emissioni dirette estremamente ridotte (0,06 - 0,1 tCO₂eq a fronte delle quasi 2 tCO₂eq del processo primario convenzionale). Assumendo che, nel lungo termine, la produzione di energia elettrica sarà anch'essa sostanzialmente decarbonizzata, anche le emissioni indirette risulteranno quindi molto ridotte.

Una ulteriore riduzione delle emissioni dirette si otterrebbe con la sostituzione del gas naturale nei bruciatori con combustibili low carbon, come idrogeno, biometano e metano sintetico, e l'utilizzo di biocarbone³⁸ come additivo in sostituzione del carbone ancora utilizzato nel processo.

Si potrebbero, poi, ottenere benefici dal miglioramento dei processi di raccolta e selezione di rottami, con ammodernamento della filiera di selezione dei rottami e dei processi per la fase di assottigliamento e selezione degli stessi prima dell'immissione nel forno.

8.3 Il settore della chimica

Il settore chimico in Italia ha raggiunto un valore della produzione di oltre 67 miliardi di euro nel 2023³⁹. Con più di 2.800 imprese attive sul territorio nazionale e quasi 113 mila addetti altamente qualificati, l'Italia rappresenta il terzo produttore europeo e, per diverse produzioni della chimica fine e specialistica, riveste posizioni anche più rilevanti.

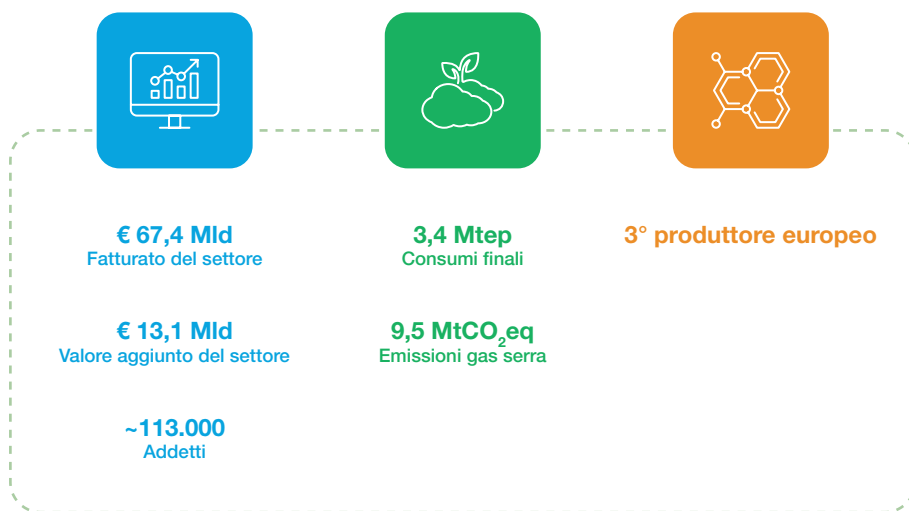
35 "IEA G20 Hydrogen report: Assumptions", June 2019 and "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry", JRC Technical Report, EC, 2022

36 "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry", JRC Technical Report, EC, 2022

37 Include consumi per la produzione di H2

38 Il biocarbone può essere ottenuto tramite pirolisi o gassificazione della biomassa per ottenere un solido ad elevato contenuto di carbonio.

39 Federchimica – "Rapporto industria chimica in Italia 2023-2024".

Figura 24 Il settore della chimica nel 2023⁴⁰

8.3.1 Caratterizzazione del settore chimico in Italia

La filiera della chimica parte dalle materie prime organiche, inorganiche e biomasse che vengono trattate e trasformate attraverso la chimica di base, i cui prodotti diventano poi i costituenti fondamentali per i prodotti della chimica fine e specialistica. La chimica di base e la chimica fine e specialistica rivestono circa il 43% ciascuno del valore della produzione complessiva della chimica in Italia; il restante 14% è coperto dalla chimica per il consumo (detergenti, cosmetici)⁴¹.

I prodotti della chimica fine e specialistica trovano poi applicazione in tutti i settori economici a valle: dall'agricoltura (circa 6%), ai servizi (14%), dai consumi (12%) all'industria (68%).

Dal punto di vista della struttura delle imprese, l'industria chimica italiana è caratterizzata dalla presenza di piccole e medie imprese (41% del valore della produzione), dai gruppi medio-grandi nazionali (21%) e da imprese a capitale estero (38%) con la presenza di poli di produzione in cui si concentrano un maggior numero di imprese. Dal punto di vista geografico c'è una maggior concentrazione nel Nord Italia (quasi il 78% dell'occupazione settoriale), in particolare in Lombardia.

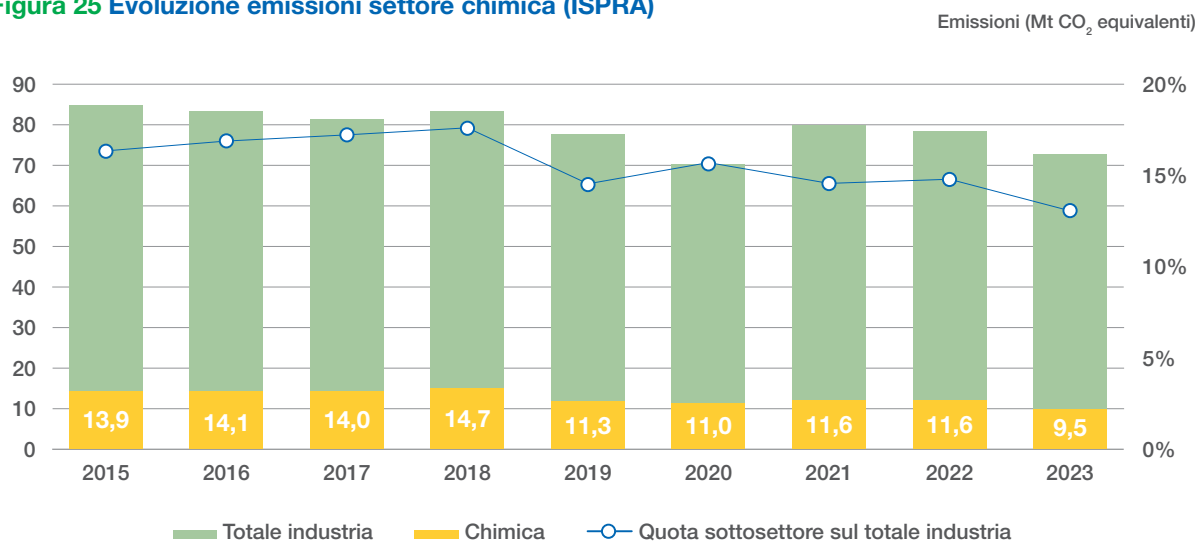
L'industria chimica è un settore altamente energivoro a causa dell'elevata intensità energetica necessaria per operare e trasformare la materia prima. Nel 2023, le emissioni dirette (scope 1) dell'industria chimica sono state 9,5 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti, in diminuzione rispetto al 2015, rappresentando circa il 13% del totale delle emissioni del settore industriale, come riportato in Figura 25. Le emissioni del settore chimico derivano sia dall'utilizzo dei

⁴⁰ Dati Federchimica, ISPRA, Eurostat.

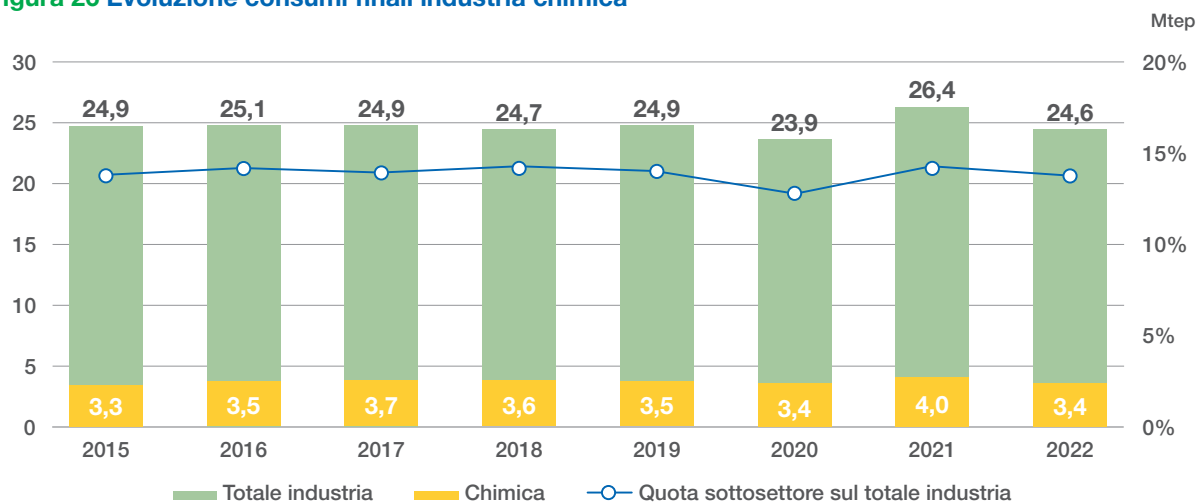
⁴¹ Federchimica - "Rapporto industria chimica in Italia 2023-2024".

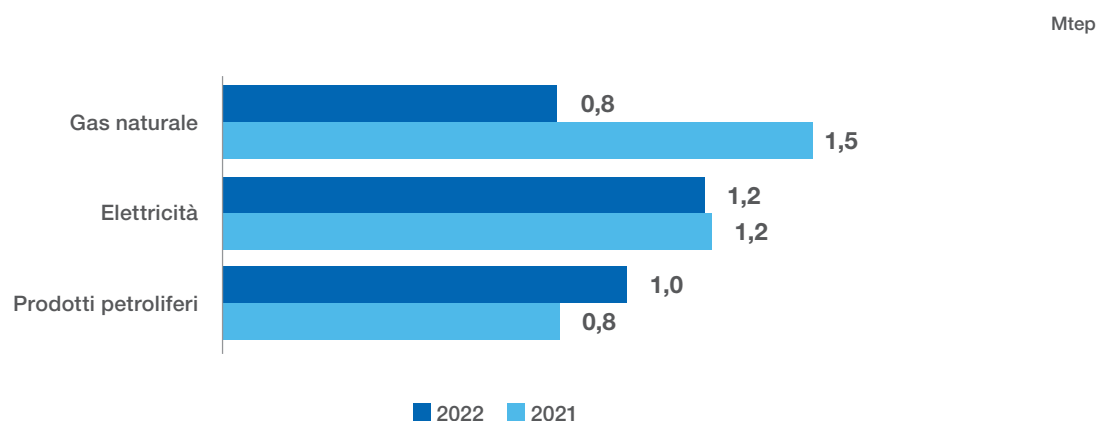


combustibili (per la quota maggioritaria), sia dai processi soprattutto per la petrolchimica, la produzione di ammoniaca, nero di carbone e prodotti fluorurati. La quota di emissioni di processo rispetto al totale è andata riducendosi negli anni dal 20% del 2015 a circa il 12% nel 2022.

Figura 25 Evoluzione emissioni settore chimica (ISPRA)

Dal punto di vista dei consumi finali, Figura 26 e Figura 27, l'industria chimica arriva a coprire quasi il 15% del consumo finale dell'intero settore industriale, con consumi molto elevati sia di gas naturale che di prodotti petroliferi che rappresentano sia una fonte energetica che una materia prima. Per questo motivo la loro completa sostituzione risulta particolarmente sfidante a tecnologie attuali.

Figura 26 Evoluzione consumi finali industria chimica

**Figura 27 Consumi finali industria chimica per vettore**

Il settore chimico ha avviato le prime bio-raffinerie per la produzione di bio-diesel e bio-etanolo; produce inoltre l'idrogeno necessario a soddisfare l'attuale domanda nazionale. Il contributo del settore supera le 150 kt (70% da steam reforming del metano per la produzione di ammoniaca, 25% dai processi di steam cracking nella petrolchimica e dalla produzione di stirene, 5% dalla produzione di cloro-soda).

8.3.2 I processi

L'industria chimica presenta fabbisogni energetici integrati di elettricità e calore, con profili di carico continui e fortemente stabili nel tempo. Questa caratteristica rende particolarmente efficace l'impiego della cogenerazione ad alto rendimento (CAR), una tecnologia che consente di massimizzare l'efficienza complessiva dei processi energetici, riducendo al contempo i consumi specifici e le emissioni di CO₂ complessive.

La cogenerazione è particolarmente diffusa nei sottosettori ad alta intensità energetica e con esigenze termiche elevate o continue, come la chimica di base (es. produzione di ammoniaca, etilene, cloro-soda), la chimica fine e farmaceutica e la produzione di materiali plastici. In questi ambiti, la disponibilità costante di vapore ad alta e media pressione, acqua refrigerata e calore di processo è essenziale per la sicurezza operativa e la competitività degli impianti.

Nel complesso, il settore chimico italiano è responsabile di circa 10 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, derivanti sia da emissioni di processo (circa il 10-15%,

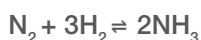


legate alle reazioni chimiche) sia da emissioni energetiche, che rappresentano la quota prevalente (circa l'80-90%). Queste ultime sono generate principalmente dalla combustione di gas naturale e altri combustibili fossili in caldaie industriali, impianti di cogenerazione e sistemi di generazione del vapore, utilizzati per soddisfare il fabbisogno termico dei processi. I settori più coinvolti includono la chimica di base, dove il calore è essenziale per reazioni ad alta temperatura (es. steam reforming, cracking), e la chimica fine, dove è richiesto per distillazioni, reazioni batch e trattamenti termici. La decarbonizzazione di questa componente energetica rappresenta una delle sfide più complesse per il settore, poiché richiede la sostituzione di combustibili fossili con fonti rinnovabili per la generazione di calore ad alta temperatura, l'elettificazione dei processi termici e l'adozione di tecnologie ancora in fase di sviluppo, come pompe di calore ad alta temperatura, caldaie elettriche e sistemi di accumulo termico.

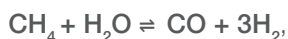
All'interno del comparto, esistono numerosi sottosettori, tra cui la produzione di acido nitrico, carburo di calcio, soda caustica, ossido di etilene, metanolo. In questo paragrafo si descrivono a titolo di esempio due processi che rivestono un ruolo centrale per peso industriale e implicazioni strategiche per la transizione climatica: la produzione di ammoniaca e quella di etilene. Questi due processi costituiscono due nodi industriali essenziali per la competitività del settore e la resilienza delle filiere produttive. La loro trasformazione rappresenta una sfida tecnologica di primo piano nel percorso di decarbonizzazione al 2050, anche per il ruolo che queste molecole potranno avere nella futura economia circolare del carbonio.

Produzione di ammoniaca

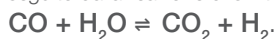
La produzione industriale di ammoniaca avviene principalmente tramite il processo Haber-Bosch, nel quale l'idrogeno (H_2) viene fatto reagire con azoto atmosferico (N_2) per ottenere ammoniaca (NH_3) secondo la reazione esotermica:



La reazione avviene in condizioni operative estreme – tipicamente a pressioni di 150–250 bar e temperature di 400–500 °C – in presenza di catalizzatori a base di ferro. L'idrogeno necessario viene ottenuto ad oggi quasi esclusivamente attraverso steam methane reforming (SMR), processo nel quale il metano (CH_4) reagisce con vapore acqueo per produrre idrogeno e monossido di carbonio:



seguito dalla reazione di shift:



Queste reazioni generano grandi quantità di CO_2 come sottoprodotto, sia da processi chimici (emissioni di processo) che dalla combustione per fornire il calore necessario (emissioni energetiche). In assenza di sistemi di cattura, ogni tonnellata di ammoniaca comporta l'emissione di circa 1,6–2,0 tonnellate di CO_2 . La dismissione di alcuni impianti nazionali ha ridotto la produzione interna, aumentando la dipendenza dall'importazione. Tuttavia, l'ammoniaca è oggi oggetto di forti interessi per l'impiego come vettore energetico dell'idrogeno (ad



es. per lo stoccaggio e il trasporto) e come prodotto essenziale per i fertilizzanti low-carbon. Opzioni tecnologiche decarbonizzate comprendono la produzione di “ammoniaca blu”, dove la CO₂ generata da SMR viene catturata e stoccata (CCS), e la “ammoniaca verde”, ottenuta mediante sintesi tra azoto e idrogeno generato via elettrolisi dell’acqua alimentata da fonti rinnovabili.

Produzione di etilene e derivati

L’etilene (C₂H₄) è il più importante building block della chimica organica di base, e la sua produzione avviene principalmente tramite steam cracking di idrocarburi leggeri (etano, propano, butano) o di frazioni di nafta. Il cracking a vapore è un processo di pirolisi condotto a temperature tra 750 e 875 °C, in cui gli idrocarburi saturi vengono decomposti in molecole più semplici, prevalentemente etilene, propilene e altre olefine. Ad esempio, la reazione base per l’etano è:



Il processo avviene in forni a tubi radianti riscaldati da combustione di gas naturale o combustibili liquidi, con tempi di residenza molto brevi (<0,5 secondi) per evitare sovracracking. La separazione dei prodotti avviene in una serie complessa di colonne criogeniche e unità di lavaggio, con elevati consumi energetici e necessità di compressione e raffreddamento. I principali impianti italiani si trovano nei poli petrolchimici di Ravenna, Brindisi e Priolo, spesso integrati verticalmente con unità downstream per la produzione di polimeri (es. polietilene, EVA, ecc.).

8.3.3 Prospettive al 2050

La decarbonizzazione del settore chimico italiano richiede un approccio differenziato, in grado di azzerare sia le emissioni energetiche, legate alla produzione di calore e vapore tramite combustione di combustibili fossili, sia le emissioni di processo, generate direttamente dalle reazioni chimiche.

La sfida principale è costituita dalla decarbonizzazione delle emissioni energetiche che rappresentano circa il 90% delle emissioni del settore. Tali emissioni derivano dalla combustione di gas naturale o altri combustibili fossili utilizzati nei generatori di calore (es. cogenerazione, caldaie), che possono essere decarbonizzati attraverso alternative come l’elettrificazione della produzione del calore, la sostituzione del gas con molecole decarbonizzate (biometano, metano sintetico e idrogeno) o la cattura della CO₂ e conseguente utilizzo o stoccaggio (es. CCUS).

Le emissioni di processo che rappresentano circa il 10-15% del totale del settore richiedono oltre alle soluzioni tecnologiche esistenti (come la cattura della CO₂ o l’uso di materie prime alternative), anche investimenti in ricerca e sviluppo sugli stessi processi chimici per l’identificazione di possibili soluzioni alternative. Facendo riferimento, ad esempio, al processo della produzione di ammoniaca citato sopra, la soluzione per la decarbonizzazione, sia delle emissioni di processo



che energetiche, è costituita dall'utilizzo di idrogeno verde come feedstock, che può eliminare il consumo di gas naturale nel processo di SMR (steam methane reformer) e le relative emissioni. L'alternativa è l'utilizzo della CCS applicata allo SMR con utilizzo nella produzione di idrogeno blu. In questo caso la dimensione degli impianti italiani è sufficientemente grande da permettere l'utilizzo della tecnologia secondo taglie già testate sul mercato.

Per quanto riguarda la produzione dell'etilene, così come per altri processi chimici, le principali soluzioni comprendono:

- elettrificazione della produzione di calore, quando c'è la possibilità di utilizzare pompe di calore elettriche e forni elettrici per cracking;
- sostituzione del gas naturale, usato come combustibile, con molecole decarbonizzate quali idrogeno, biometano e metano sintetico;
- applicazione della CCS, che permette di eliminare anche le emissioni di processo.

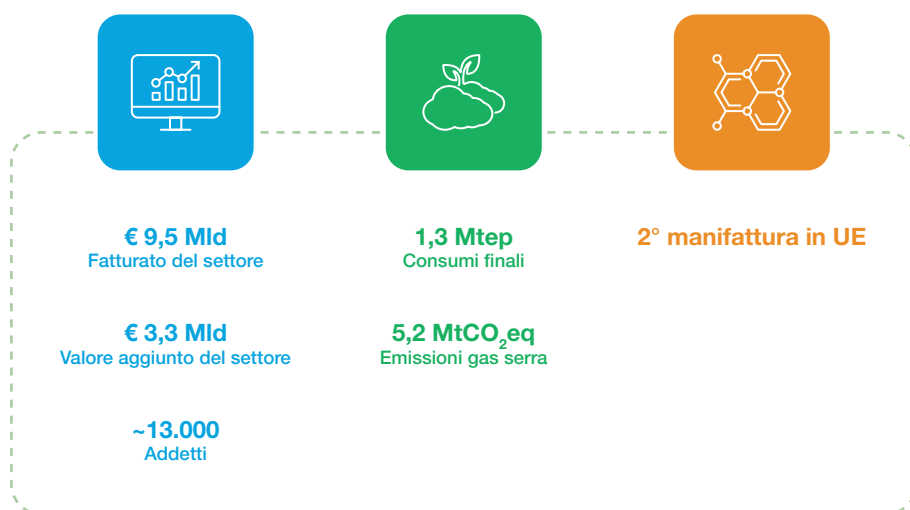
Sebbene l'efficienza energetica rappresenti una leva importante per la riduzione delle emissioni, il suo potenziale nel settore chimico, come in altri settori appare limitato. Ciò è dovuto al fatto che molte delle best practice tecnologiche e gestionali sono già ampiamente adottate, soprattutto nei grandi impianti industriali. Di conseguenza, ulteriori miglioramenti in questo ambito potranno offrire benefici marginali rispetto al contributo richiesto per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050, rendendo necessario un ricorso più deciso a soluzioni trasformative.

8.4 Il settore del vetro

L'industria del vetro italiana rappresenta la seconda manifattura in UE (la prima per vetro cavo): copre il 15% della produzione europea con 9,6 miliardi di fatturato e circa 13.000 dipendenti⁴².

La produzione e lavorazione del vetro rientra nell'ambito della fabbricazione e lavorazione dei minerali non metalliferi. Le attività del settore vetro si dividono in fabbricazione e lavorazione del vetro. In particolare, la fabbricazione del vetro è a sua volta suddivisa, a seconda della tipologia di prodotto finale, in vetro piano, vetro cavo (bottiglie, vasi, flaconeria e articoli per uso domestico) e lane e filati di vetro. La lavorazione del vetro si suddivide in base al prodotto lavorato in vetro piano o vetro cavo e quest'ultimo raggruppa a sua volta: la fabbricazione di vetrerie a uso igienico e per laboratori, la lavorazione del vetro a mano e artistico e la lavorazione di altre tipologie di vetro.

⁴² Dati dal Rapporto di sostenibilità Assovetro 2023

**Figura 28 Il settore del vetro nel 2022⁴³**

8.4.1 Caratterizzazione del settore vetro italiano

L'industria del vetro italiana si caratterizza per la presenza di aziende di piccole e medie dimensioni la metà delle quali localizzate nel Nord del Paese.

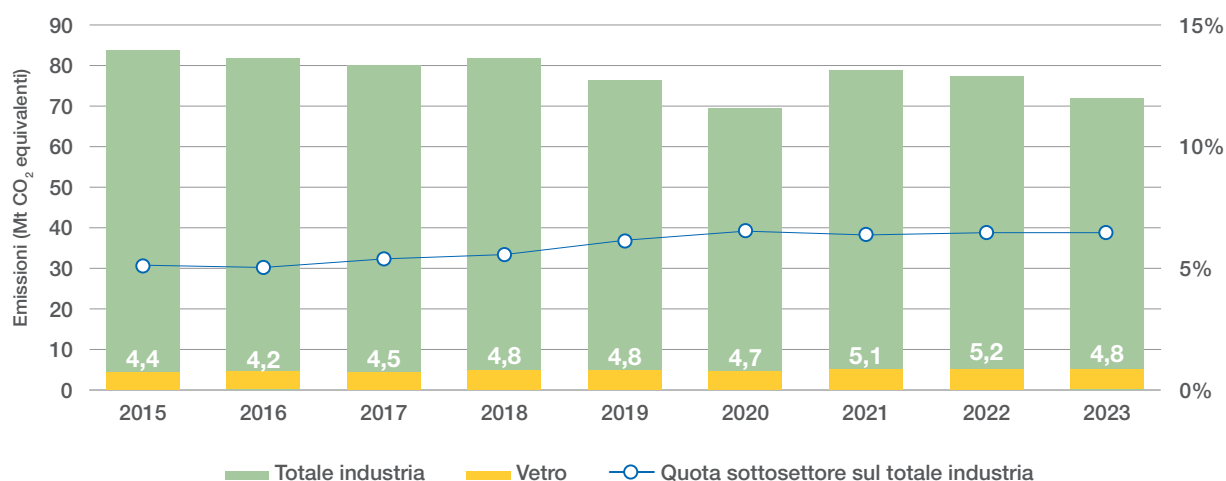
Nel 2022, la produzione di vetro piano ha coperto il 13,1% della produzione totale, mentre nell'ambito del vetro cavo la produzione maggioritaria è rappresentata dai contenitori per prodotti alimentari e farmaceutici, pari all'81% della produzione totale di vetro e al 93% della produzione del solo vetro cavo.

La produzione di vetro è un'attività energivora date le alte temperature necessarie nel processo di vetrificazione e con elevati livelli di emissioni in atmosfera, anch'essi legati al processo di fusione e fortemente dipendenti dal tipo di prodotto finale, dalle materie prime utilizzate, dal tipo di forno e dal combustibile utilizzato per alimentarlo.

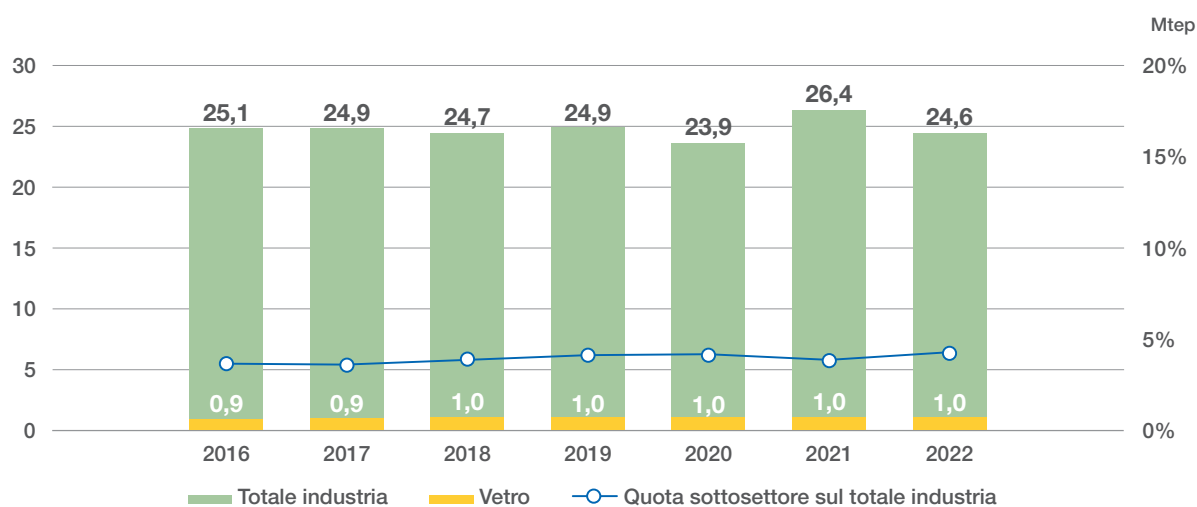
Le emissioni del settore vetro nel 2023 sono state circa 4,8 MtCO₂eq, pari al 6,6% del totale industria, come riportato in Figura 29. Le emissioni del settore vetro sono rappresentate per quasi il 90% da emissioni energetiche, la rimanente quota è rappresentata da emissioni di processo. Dalle rilevazioni di Assovetro, si osserva, un aumento dell'efficienza energetica del settore dalla riduzione delle emissioni per tonnellata di vetro fuso: dal 0,406 tCO₂eq/t vetro fuso nel 2016 a 0,379 tCO₂eq/t vetro fuso nel 2022⁴⁴.

⁴³ Dati Assovetro, ISPRA, Eurostat.

⁴⁴ Rilevazione associate di Assovetro, Rapporto di sostenibilità 2023.

Figura 29 Evoluzione emissioni settore vetro (ISPRA)

I consumi sono in genere continui e costanti tutto l'anno, con rare fermate dei forni, per manutenzioni straordinarie o fine vita degli stessi. I consumi finali del settore vetro (Figura 30 e Figura 31) sono rimasti sostanzialmente stabili dal 2016, pari a 1 Mtep, rappresentando poco meno del 5% dei consumi totali del settore industria.

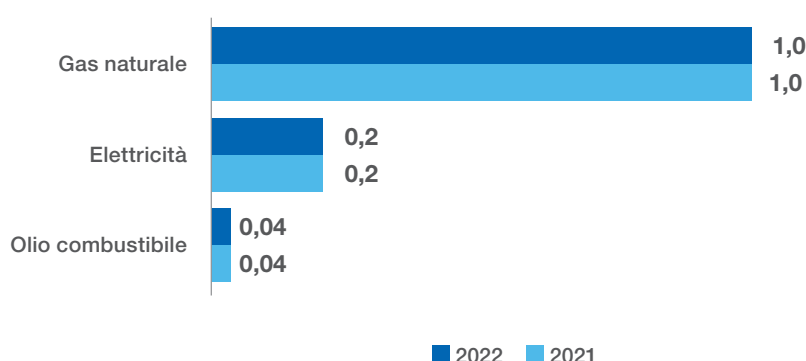
Figura 30 Evoluzione consumi finali settore vetro



Sempre secondo le rilevazioni di Assovetro, il consumo di energia per tonnellata di vetro prodotto si è anch'esso mantenuto stabile negli anni pari a 0,18 tep/t vetro fuso⁴⁵. Dal punto di vista dei vettori utilizzati, il gas è il principale combustibile impiegato nei forni (60% del totale), seguito dall'energia elettrica.

Figura 31 Evoluzione consumi finali per vettore⁴⁶

Mtep



8.4.2 I processi

L'industria del vetro è caratterizzata da molteplici processi, a seconda del prodotto finito, che hanno in comune il processo di fusione del vetro⁴⁷.

Vetro piano

Le fasi di produzione del vetro piano, schematizzate in Figura 32, sono:

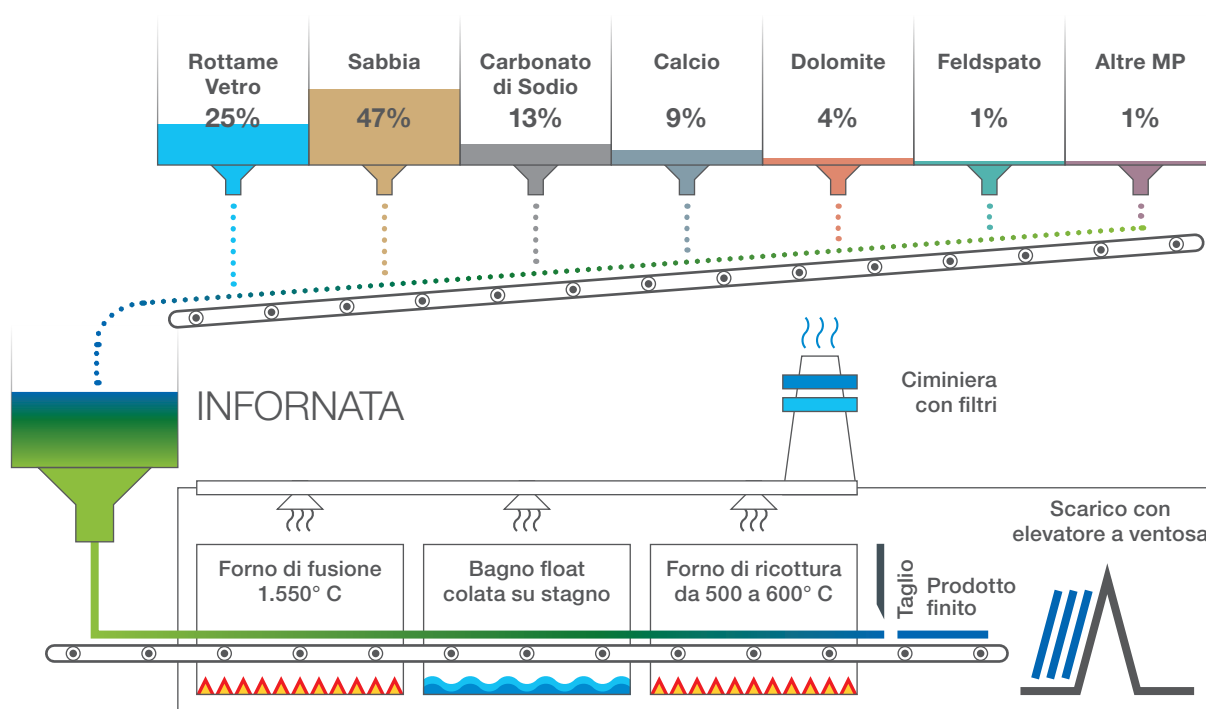
- **Fusione delle materie prime:** le materie prime, contenute in silos, vengono elettronicamente pesate, miscelate e umidificate; ottenendo così la miscela vetrificabile che viene convogliata nel forno fusorio, all'interno del quale la temperatura raggiunge i 1550 °C.
- **Bagno Float:** a 1100 °C il vetro fuso cola dal forno su uno strato di stagno fuso; galleggiando sulla superficie liquida e piana e viene tirato sino a divenire un nastro a facce parallele fino ad ottenere la larghezza e lo spessore desiderato.
- **Ricottura:** il nastro di vetro viene depositato sui rulli di un tunnel di raffreddamento, dove viene raffreddato fino alla temperatura ambiente.
- **Squadratura:** il nastro di vetro è controllato e, successivamente, tagliato in lastre standard per lo più della dimensione di 6x3,21 metri, con eliminazione dei bordi longitudinali. A fondo linea, le lastre vengono posizionate verticalmente su schienali per mezzo di elevatori a ventosa.

⁴⁵ Rilevazione associate di Assovetro, Rapporto di sostenibilità 2023.

⁴⁶ Assovetro, Confindustria.

⁴⁷ Rilevazione associate di Assovetro, Rapporto di sostenibilità 2023.

Figura 32 Schema di produzione vetro piano



Il vetro così prodotto viene sottoposto a successive lavorazioni a seconda del prodotto finito da ottenere, un esempio è il processo di tempra termica, attraverso il quale il vetro viene prima riscaldato a elevate temperature e poi raffreddato in pochi secondi, con l'obiettivo di aumentarne la resistenza meccanica.

Questo tipo di vetro trova utilizzo, ad esempio, nei settori dell'architettura (di interno ed esterni), nella produzione di vetri per mezzi di trasporto, di pannelli solari, di componenti elettronici e piani ad induzione.

Vetro cavo

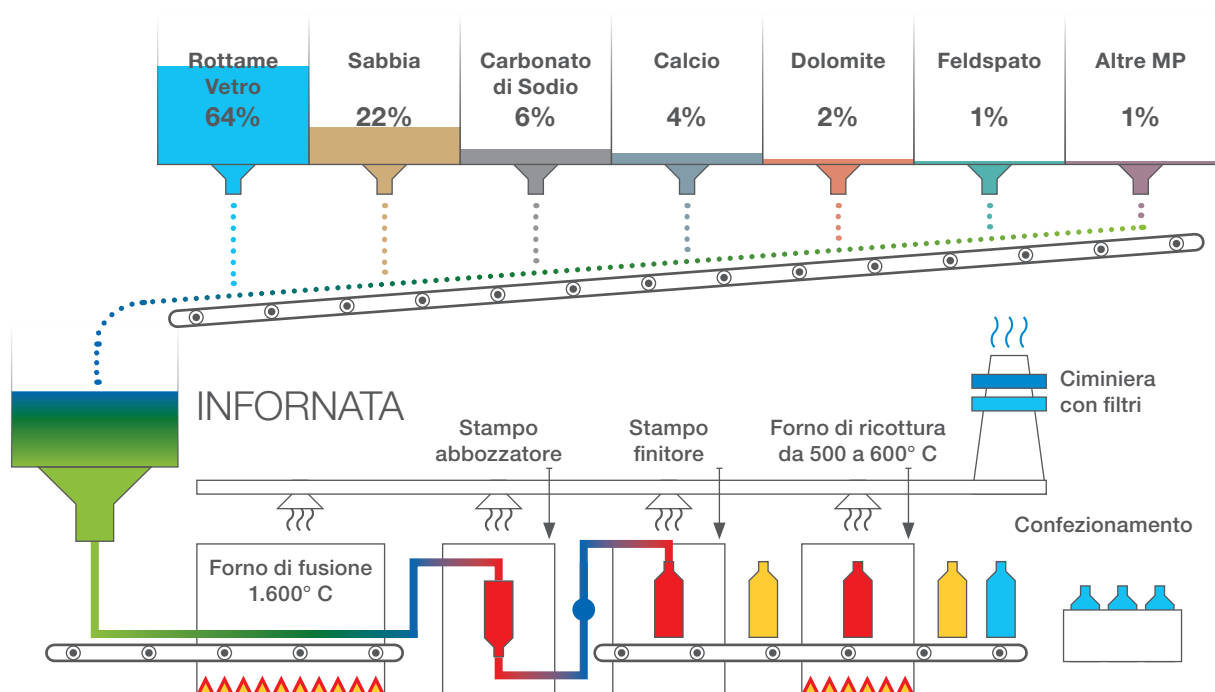
Le fasi di produzione del vetro cavo, come da Figura 33, sono:

- **Fusione delle materie prime:** le materie prime vengono opportunamente dosate, miscelate e immesse nel forno fusorio, alimentato con gas metano ed energia elettrica e autoregolato in tutte le sue funzioni, dove vengono raggiunti i 1600°C.
- **Formatura:** il liquido fuso in uscita dal forno entra in canali di condizionamento termico e, raggiunta l'opportuna viscosità, viene "tagliato" in gocce di dimensione e peso predefinito, a seconda del prodotto da realizzare. La goccia di vetro incandescente (1.200° C circa) giunge, per caduta verticale guidata, allo stampo della macchina formatrice.



- **Ricottura:** procedimento che consente di eliminare le tensioni del vetro mediante riscaldamento preliminare e successivo raffreddamento graduale del manufatto fino a raggiungere la temperatura ambiente.
- **Controllo qualità:** i pezzi prodotti vengono sottoposti a verifiche: dimensioni, forma, spessore, calibratura delle bocche, resistenza, planarità. I contenitori non idonei vengono espulsi automaticamente dalla linea di imballaggio e avviati al riciclo per essere rifusi.

Figura 33 Schema di produzione vetro cavo



I mercati di destinazione di tale vetro sono: il vetro da imballaggio, flaconeria ad uso farmaceutico, cosmetica e articoli per uso domestico quali bicchieri, piatti, stoviglie.

In generale le emissioni medie (stima Assovetro) legate alla produzione del vetro ammontano a circa 0,44 t CO₂eq/ t prodotto finito⁴⁸.

Le materie prime di riciclo, cosiddette seconde, sono un componente fondamentale nel ciclo produttivo del vetro; un'elevata qualità del rottame di vetro, derivante da un efficace sistema di raccolta differenziata, permette di reimmettere il vetro nel ciclo produttivo infinite volte senza perdere le proprie caratteristiche. Ciò permette di ottimizzare l'impiego delle risorse, aumentandone la produttività e minimizzando la produzione di scarti e di rifiuti.

⁴⁸ Assovetro, Rapporto di sostenibilità 2023.



8.4.3 Prospettive al 2050

Come già illustrato, il 90% delle emissioni di CO₂ del settore del vetro sono legate ai consumi energetici. Le strategie per la decarbonizzazione del settore della produzione e lavorazione del vetro al 2050 includono quindi:

- **Ulteriore elettrificazione dei processi attraverso l'utilizzo di forni fusori elettrici.**

Sono disponibili diverse tecnologie, tra cui i forni a resistenza (facile integrazione con sistemi di controllo digitali, ma con costi elevati e limiti nelle dimensioni e nella capacità di fusione). A livello sperimentale ci sono forni al plasma, forni a radiofrequenza e forni solari concentrati. L'ulteriore elettrificazione, come per gli altri sottosettori, necessita, inoltre di innovazione dei processi industriali.

- **Utilizzo in sostituzione al gas naturale di biometano, metano sintetico o idrogeno nei forni di fusione e di ricottura.**

Come per gli altri settori, l'utilizzo dell'idrogeno implica modifiche impiantistiche (ad esempio sostituzione dei bruciatori fino a sostituzione dei forni con nuove macchine H₂-ready) più o meno rilevanti a seconda delle percentuali di utilizzo e presuppone lo sviluppo di una filiera nazionale dedicata che garantisca la disponibilità del combustibile a costi sostenibili.

- **Utilizzo della CCUS per la cattura delle emissioni dalla combustione.**

Come per altri settori industriali è importante, in un primo momento di sviluppo della filiera, individuare dei cluster di emissioni per semplificare la cattura anche per gli impianti più piccoli.

È inoltre possibile proseguire sulla strada dell'efficientamento - per la quale il settore è peraltro già avanzato - anche se con una potenzialità ridotta di riduzione delle emissioni, se paragonata alle soluzioni sopra discusse.

Esistono infine altre soluzioni che intervengono direttamente sul processo produttivo per le quali è importante tenere monitorati gli effetti sulla qualità del prodotto finale:

- l'utilizzo ancora più elevato di rottame, nonostante una percentuale già piuttosto elevata in alcuni segmenti. C'è, infatti, ancora margine per un ulteriore aumento che potrebbe ridurre le emissioni di processo derivanti dalla vetrificazione delle materie prime (questa leva è però strettamente legata alla quantità e alla qualità della raccolta differenziata che viene realizzata);
- l'utilizzo di materie prime decarbonate, che permetterebbe una riduzione diretta delle emissioni di processo, oltre che una riduzione dell'impatto ambientale lungo la filiera di approvvigionamento di tali materie prime (l'applicazione di questa leva dipende tuttavia dalla possibilità di raggiungere gli stessi standard qualitativi dei prodotti finiti senza ridurre l'efficienza energetica del processo complessivo⁴⁹).

49 L'utilizzo di materie prime decarbonate richiede un'ottimizzazione della formulazione che non intacchi le qualità del prodotto finito.

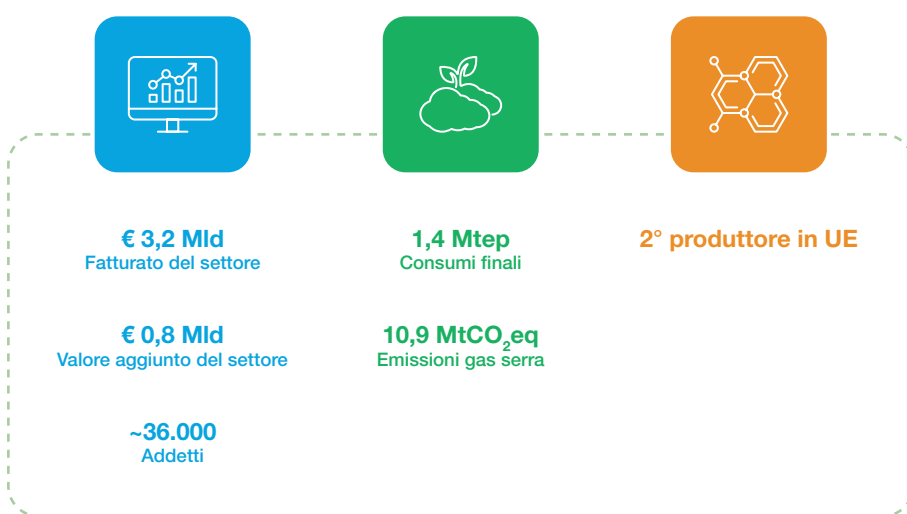
8.5 Il settore del cemento

La filiera del cemento in Italia ha registrato nel 2023 un fatturato di circa 13,3 miliardi di euro e un valore aggiunto di 3,3 miliardi di euro. La filiera del cemento



impiega più di 35,000 persone distribuite in più di 2.600 imprese. La produzione del cemento ha invece registrato rispettivamente un fatturato e un valore aggiunto di 3,2 e 0,8 milioni di euro nel 2021⁵⁰.

Figura 34 Il settore del cemento nel 2023⁵¹



8.5.1 Caratterizzazione del settore cemento italiano

La produzione del cemento in Italia nel 2023 ha raggiunto 18,8 Mt rimanendo sostanzialmente stabile sui livelli dell'ultimo decennio. In Italia sono attive 50 unità produttive di cui 30 a ciclo completo e 20 officine di macinazione equamente distribuite sul territorio nazionale⁵². Il mercato italiano è caratterizzato dalla presenza di grandi gruppi industriali con una forte presenza internazionale. Il saldo commerciale con l'estero di cemento e clinker, ormai negativo dal 2020, si è ulteriormente ampliato negli ultimi anni, con un aumento delle importazioni ed una stretta sulle esportazioni a fronte di una domanda nazionale sostanzialmente stabile.

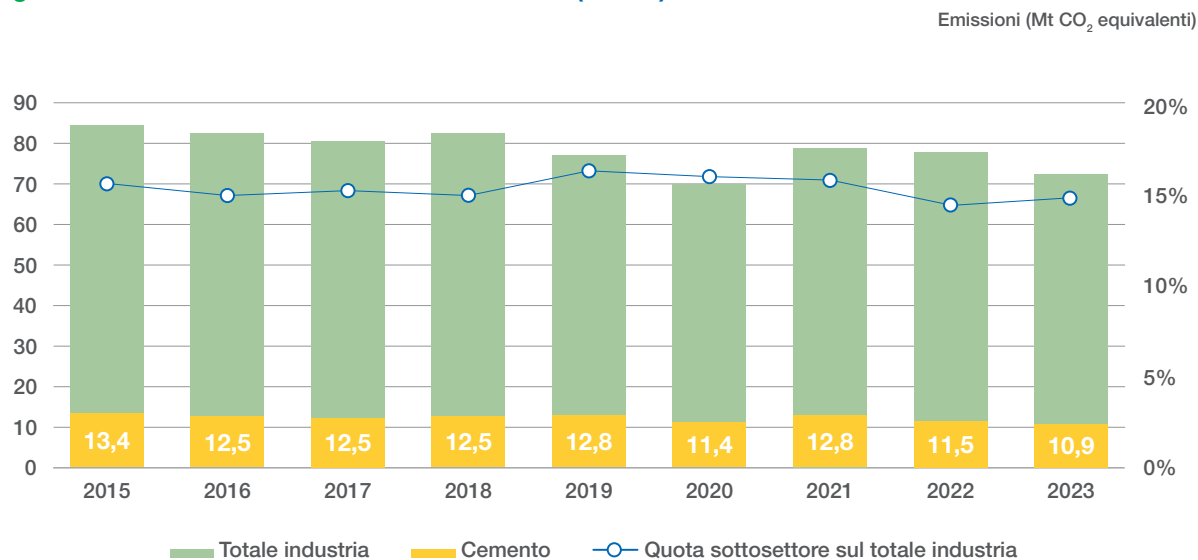
La produzione del cemento è una attività energivora e caratterizzata da elevate emissioni (Figura 35), principalmente legate alle reazioni chimiche necessarie per la produzione del cemento stesso (circa i due terzi del totale), come ulteriormente dettagliato nel paragrafo seguente. La diminuzione delle emissioni dirette di CO₂ che si osserva dal 2015 risente anche di un calo nella produzione che, ad eccezione per il 2021 in cui ha registrato un rimbalzo nella ripresa post covid-19, è andata riducendosi da 20,8 t nel 2015 a 18,8 nel 2023⁵³.

⁵⁰ Federbeton – Rapporto di filiera 2023

⁵¹ Il numero di addetti si riferisce all'intera filiera di cemento e calcestruzzo. Dati Federbeton, Confindustria.

⁵² Rapporto di Filiera Federbeton 2023

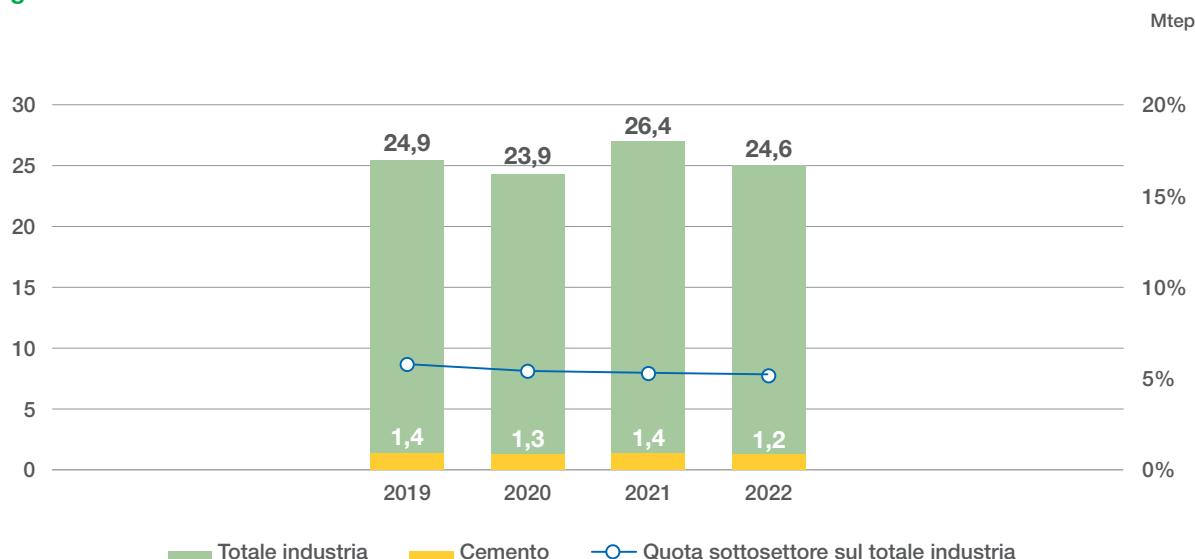
⁵³ <https://www.aitecweb.com/Economia/I-numeri-del-settore>

Figura 35 Evoluzione emissioni settore cemento (ISPRA)

Alla diminuzione delle emissioni totali di CO₂ si è accompagnata una lieve riduzione dell'intensità emissiva per tonnellata di cemento prodotto che è passata da 0,648 tCO₂/t cemento nel 2021 a 0,620 tCO₂/t cemento nel 2023⁵⁴.

I consumi finali del settore cemento (Figura 36) sono rimasti sostanzialmente costanti negli ultimi anni, di poco superiori al 5% del totale dei consumi industriali nazionali.

54 Rapporto di sostenibilità
Federbeton 2023

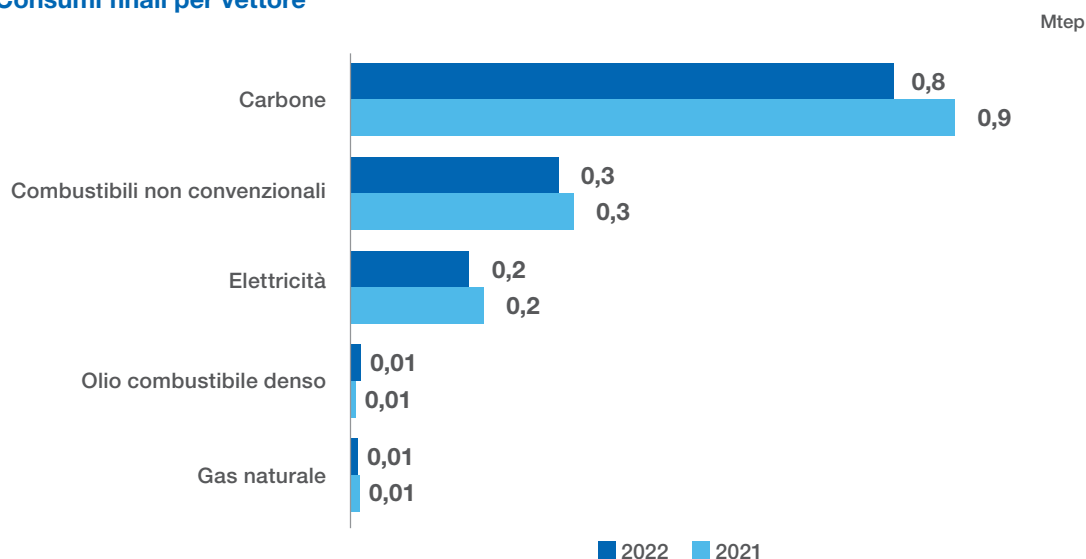
**Figura 36** Evoluzione consumi finali settore cemento

Ad oggi, in Italia, i combustibili maggiormente utilizzati sono i tradizionali combustibili fossili come il petcoke e il carbone, come mostrato in Figura 37. I combustibili alternativi (non convenzionali) quali plastiche, gomme e pneumatici, fanghi, olii e combustibili solidi secondari vengono impiegati in sostituzione dei combustibili solidi tradizionali. In particolare, dal 2019 è aumentato notevolmente l'utilizzo di combustibili solidi secondari nei cementifici italiani. Tale combustibile viene ottenuto mediante una serie di trattamenti chimico-fisici a partire da determinati rifiuti non pericolosi e non riciclabili⁵⁵. In generale, i tassi di utilizzo di combustibili alternativi in sostituzione di quelli fossili nei cementifici italiani, pari al 25,5% nel 2023 e cresciuto notevolmente dal 2019 (20,3%), sono ancora molto al di sotto della media Europea che si assesta nel 2023 poco sopra il 57,6%⁵⁶.

⁵⁵ Così come disciplinato dal decreto ministeriale n. 22 del 2013, detto anche Decreto Clini.

⁵⁶ Federbeton – Rapporto di sostenibilità 2023

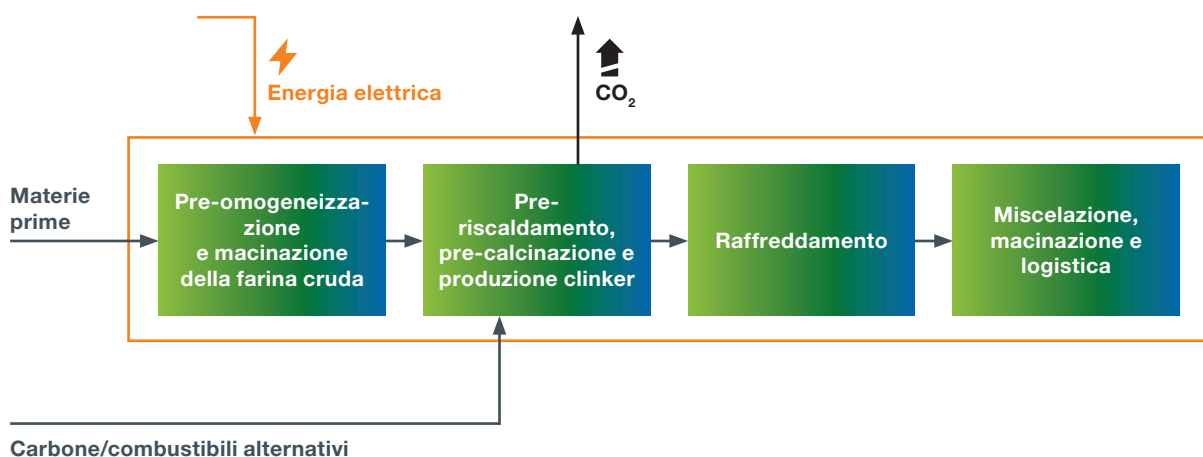
Figura 37 Consumi finali per vettore



8.5.2 I processi

La produzione del cemento, schematizzata nella Figura 38, prevede più fasi che seguono la preparazione delle materie prime (soprattutto pietre calcaree) una volta estratte, frantumate e macinate:

1. **Pre-omogeneizzazione e macinazione** della farina cruda: le materie prima vengono mescolate per ottenere la composizione desiderata e macinate a livello di polvere (la farina cruda).
2. **Pre-riscaldamento, pre-calcinazione e produzione clinker:** la farina cruda è sottoposta a preriscaldamento fino a raggiungere i 900°C, in seguito la farina è sottoposta a pre-calcinazione che porta alla decomposizione del calcare in calce. La farina entra poi in forni rotativi con silice, allumina e ossido ferroso dove, raggiunta la temperatura di 1450°C, avviene il completamento della calcinazione con la formazione del clinker.
3. **Raffreddamento** il clinker viene subito raffreddato su un raffreddatore a griglia.
4. **Miscelazione, macinazione e logistica.** Il clinker viene mescolato con altri componenti minerali, tra cui gesso, ceneri volanti e loppe d'altoforno e poi macinato fino a diventare cemento.


Figura 38 Schema processo di produzione del cemento


Il cemento viene a sua volta miscelato con acqua e additivi chimici per dare origine al calcestruzzo.

I due terzi delle emissioni dirette (Scope 1) legate alla produzione del cemento derivano da emissioni di processo generate dalle reazioni chimiche della fase di calcinazione e produzione del clinker. Il calcare, infatti, sottoposto ad alte temperature reagisce liberando anidride carbonica nell'atmosfera. Le caratteristiche intrinseche di tale processo ne rendono, quindi, particolarmente difficile la decarbonizzazione.

La quota restante di emissioni dirette (circa un terzo) è invece legata alla combustione necessaria a raggiungere le elevate temperature richieste per la formazione del clinker.

8.5.3 Prospettive 2050

Come descritto nei precedenti paragrafi, la decarbonizzazione del cemento è particolarmente sfidante perché i due terzi delle emissioni del settore sono emissioni di processo, legate alle reazioni chimiche sottese. Le soluzioni per riduzione delle emissioni al 2050, che hanno come target sia le emissioni energetiche che quelle di processo, sono state investigate da analisi approfondite dell'associazione di categoria in Italia, che ha indentificato cinque direzioni più rilevanti.



Per quanto riguarda le emissioni energetiche

- **Utilizzo di combustibili alternativi in sostituzione al petcoke, principale responsabile delle emissioni da combustione.**

Tra le altre soluzioni (fanghi da depurazione, pneumatici usati), quella indicata come di maggior potenzialità dagli esperti di settore è costituita dai cosiddetti combustibili solidi secondari, derivati dal trattamento di rifiuti solidi urbani (RSU) che non sono attualmente recuperati o riutilizzati per limiti tecnico economiche. La potenzialità di riduzione delle emissioni di gas climalteranti, tuttavia, dipende dalla percentuale di biomassa rinnovabile presente nel combustibile, con percentuali che variano significativamente a seconda della composizione del RSU⁵⁷.

- **L'utilizzo di combustibili verdi.**

L'uso di biometano, metano sintetico e soprattutto idrogeno - a valle di una fase intermedia di passaggio al gas naturale - può rappresentare una soluzione valida per la decarbonizzazione.

Per quanto riguarda le emissioni di processo, invece, l'utilizzo di materiali di sostituzione ai carbonati. Durante la produzione di clinker è possibile limitare il verificarsi della reazione di calcinazione, introducendo all'interno del processo dei materiali già decarbonatati, ovvero materiali per i quali la reazione chimica della calcinazione non avviene. L'utilizzo di prodotti decarbonatati ad oggi non è particolarmente sviluppato: attualmente solo il 5% dei materiali introdotti nel forno per la produzione di clinker è già decarbonatato, mentre la restante parte è rappresentata da risorse naturali tradizionali, prima fra tutte il calcare che, come menzionato nel paragrafo precedente, è il principale responsabile delle emissioni.

Vengono poi identificate due leve che possono avere impatto sia sulle emissioni energetiche che su quelle di processo: 1) la riduzione del rapporto clinker-cemento (rapporto in massa), sostituendo il clinker con materiali di origine vulcanica, loppe di altoforno, ecc. e 2) l'utilizzo della CCS, in quanto permette di catturare anche le emissioni di processo derivanti dalla calcinazione del clinker senza intervenire sulle caratteristiche tecniche del prodotto ed è dunque applicabile agli impianti attualmente esistenti. Nel caso della riduzione del rapporto clinker-cemento si richiede una minor produzione di clinker per la miscela finale riducendo sia le emissioni energetiche, in quanto permette di ridurre la quantità complessiva di combustibili richiesti nel processo, sia le emissioni di processo legate alla reazione di calcinazione per produrre il clinker. È importante, tuttavia, tener presente che questa soluzione ha un limite legato alle caratteristiche di prestazione del prodotto finale, oltre che all'economicità.

Alle leve sopra identificate, si aggiungono due effetti del settore che agiscono a valle del processo di produzione del cemento, ma che possono contribuire alla riduzione delle emissioni del settore: l'ottimizzazione della quantità di calcestruzzo nelle costruzioni, che comporta una riduzione del cemento necessario a soddisfare le richieste del mercato, e il processo di ricarbonatazione del calcestruzzo presente nelle costruzioni, che permette l'assorbimento della CO₂ presente nell'aria.

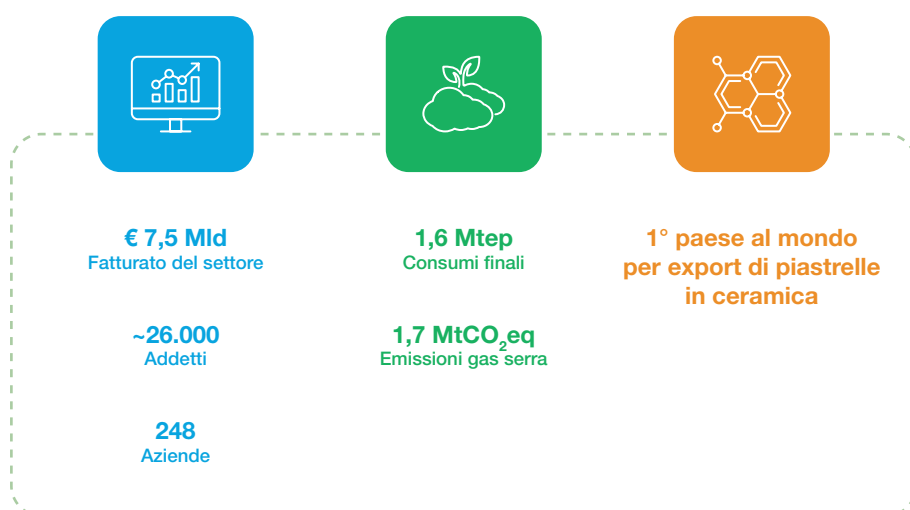
57 Per approfondire:
<https://laboratorioref.it/decarbonizzazione-a-costo-zero-il-caso-del-combustibile-da-rifiuti/>,
Il Combustibile Solido Secondario: un sostegno alla decarbonizzazione del settore del cemento e all'economia circolare – Blog Federbeton, CSS (Combustibile Solido Secondario) - Buzzi Unicem Italia - Buzzi SpA.



8.6 Il settore della ceramica

L'industria ceramica italiana è composta da 6 settori diversi: piastrelle di ceramica, laterizi, refrattari, sanitari, stoviglie e ceramica tecnica. Complessivamente le imprese operative sono 252, con più di 26.000 addetti, un fatturato di 7,5 miliardi di euro e che esportano il 75% della produzione (dati 2023).

Figura 39 Il settore della ceramica nel 2023⁵⁸



8.6.1 Caratterizzazione del settore ceramica italiano

Quello delle piastrelle in ceramica è il settore di punta per la produzione ceramica in Italia impiegando 125 aziende e più di 18.000 addetti; ha una produzione fortemente votata all'esportazione (più del 77% della produzione del 2023 è stato esportato) e trova nel gres porcellanato il prodotto di punta⁵⁹.

Più dell'80% della produzione nazionale di piastrelle viene realizzata nel distretto ceramico dell'Emilia-Romagna tra le province di Reggio Emilia e Modena, più precisamente nell'area che comprende i comuni di Sassuolo, Fiorano Modenese, Formigine, Frassinoro, Maranello, Montefiorino, Palagano e Prignano. Il distretto porta avanti una storia di eccellenza che ha origini antiche e che, ad oggi, compete sui mercati internazionali.

Per quanto riguarda la ceramica sanitaria, sono presenti 31 aziende sul territorio nazionale, 28 delle quali localizzate nel distretto di Civita Castellana (Viterbo).

Le industrie dei materiali refrattari sono 30 sul territorio nazionale la cui produzione

⁵⁸ <https://confindustriaceramica.it/w/isn-settore-ceramico-giugno-2023#:~:text=Il%20fatturato%202023%20%C3%A8%20pari,di%20Confindustria%20Ceramica%20Giovanni%20Savorani,Confindustria Ceramica>

⁵⁹ <https://confindustriaceramica.it/w/conferenza-10-giugno-2025-Confindustria Ceramica - Indagini statistiche sull'industria italiana>

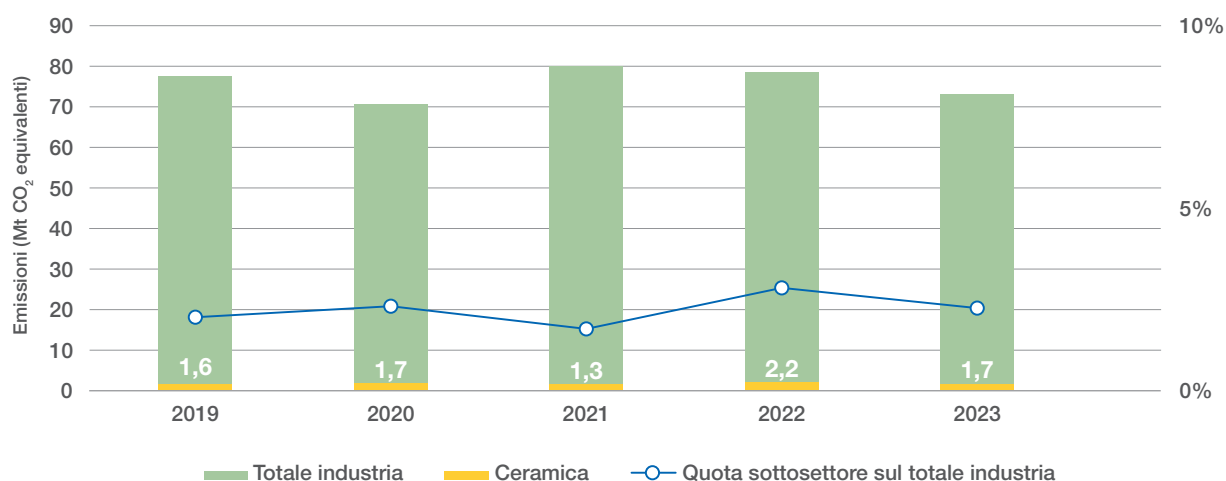


è equamente suddivisa tra mercato nazionale ed esportazioni (l'export è leggermente superiore).

I settori dei laterizi e delle stoviglie in ceramica sono invece principalmente legati al mercato nazionale e contano rispettivamente 57 e 8 aziende per un totale di quasi 4.000 addetti.

Le emissioni del settore ceramica sono rimaste pressoché costanti negli anni. Al 2023 rappresentano circa il 2% (Figura 40) delle emissioni industriali nazionali suddivise tra emissioni energetiche (circa 70% del totale delle emissioni del settore) ed emissioni di processo principalmente dovute al settore dei materiali refrattari.

Figura 40 Evoluzione emissioni settore ceramica (ISPRA)

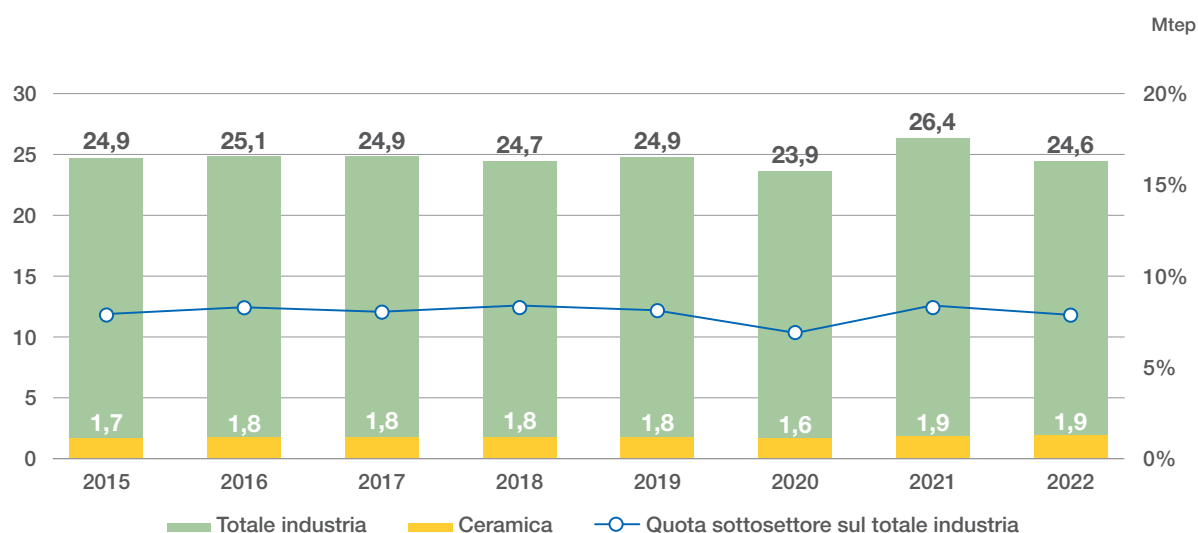




L'alto fabbisogno energetico richiesto dal ciclo produttivo colloca il settore ceramico e, di conseguenza, quello della produzione delle piastrelle in ceramica, tra i settori energivori.

I consumi finali si sono mantenuti pressoché costanti dal 2015, come riportato in Figura 41, rappresentando circa il 7% dei consumi finali totali dell'industria italiana.

Figura 41 Evoluzione consumi finali settore ceramica⁶⁰

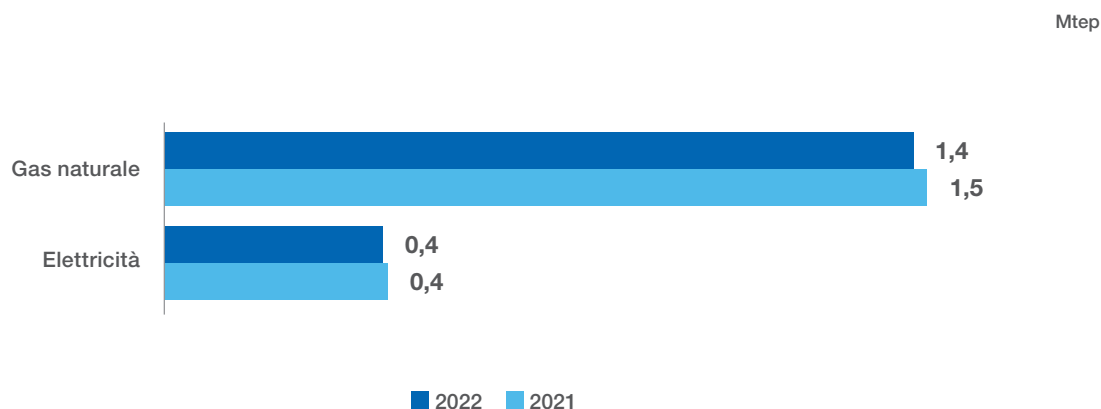


⁶⁰ Dati relativi ai consumi finali del sottosettore da Confindustria Ceramica.



Dal punto di vista dei singoli vettori (Figura 42) utilizzati, l'energia elettrica viene largamente utilizzata in tutte le fasi del processo produttivo per azionare motori elettrici, filtri, nastri trasportatori. Tuttavia, il combustibile più largamente utilizzato è il gas naturale nelle fasi di atomizzazione, essiccazione e cottura.

Figura 42 Consumi finali per vettore⁶¹



8.6.2 I processi

In questo paragrafo sarà approfondito il processo di produzione delle piastrelle di ceramica, che, come visto sopra, è la lavorazione più rappresentativa del settore in Italia.

Le piastrelle sono ottenute da materie prime quali argille, sabbie e feldspati in seguito a trattamento termico. Il loro processo di produzione varia a seconda della tipologia di prodotto finito, ma in generale può essere schematizzato come segue e come riportato in Figura 43.

1. **Macinazione:** avviene molto spesso a umido all'interno di mulini rotanti dalla forma cilindrica, in cui sono presenti, come agenti macinanti, sfere di allumina di varie dimensioni che porta alla formazione della barbotina (contenuto di acqua tra il 30% ed il 40%).
2. **Atomizzazione:** all'interno di un atomizzatore, la barbotina viene nebulizzata ad alta pressione in un cilindro essiccatore dove incontra una corrente d'aria calda (500-600 °C) che provoca l'evaporazione dell'acqua per convezione. Questo processo permette la produzione di particelle solide sferiche con dimensioni comprese tra 0.1 e 1 mm, che prendono il nome di atomizzato con umidità residua pari a circa il 5÷6%.

61 Confindustria ceramica



3. **Pressatura:** fornisce alla polvere atomizzata una consistenza meccanica sufficiente per la sua successiva movimentazione, creando la piastrella “verde”, cioè cruda.
4. **Essicamento:** ha la funzione di ridurre il contenuto d’acqua all’interno delle piastrelle crude per irrobustire il prodotto e renderlo adatto a essere movimentato, nonché di ridurre il tempo di durata del successivo ciclo di cottura. I sistemi utilizzati sono prevalentemente costituiti da essiccatoi orizzontali, all’interno dei quali le piastrelle verdi vengono a contatto con aria calda (tipicamente tra i 200 e i 250 °C) opportunamente movimentata e generata da una batteria di bruciatori.
5. **Smaltatura:** consiste nella distribuzione, sulla superficie delle piastrelle crude passanti lungo le linee, di diversi semilavorati dotati di caratteristiche estetiche diverse.
6. **Cottura,** ovvero riscaldamento del materiale ceramico mediante forni a rulli monostrato dotati di bruciatori a metano ad alta velocità. Il ciclo di cottura è costituito da una fase di preriscaldamento, una fase di cottura e una fase di raffreddamento. La temperatura massima raggiunta all’interno dei forni è compresa fra i 1200 °C e i 1250 °C.

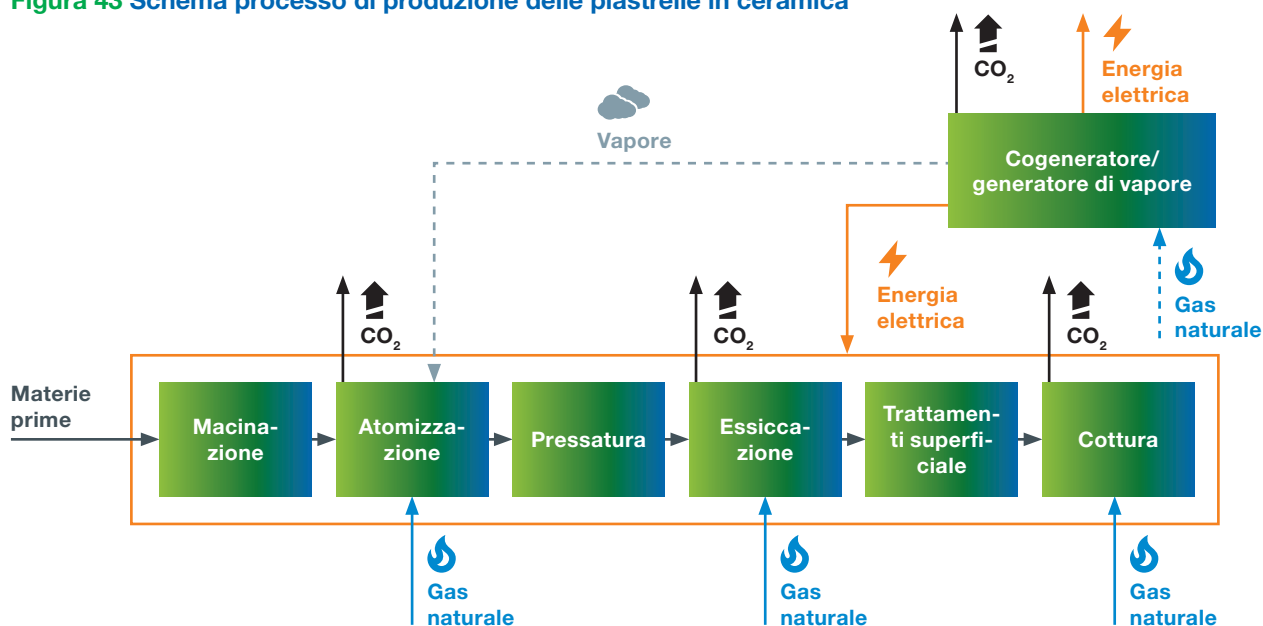
A valle della cottura le piastrelle possono essere sottoposte ad ulteriori lavorazioni e rifiniture.

La cogenerazione rappresenta, come per il settore della carta, una soluzione che ben si adatta al processo produttivo della ceramica in quanto il calore prodotto dal cogeneratore può essere recuperato e utilizzato negli altri processi produttivi, in particolare nella fase di atomizzazione. Al 2022, erano presenti più di 30 impianti di cogenerazione nel distretto ceramico che hanno coperto il 45% del fabbisogno elettrico⁶². Il 55% del fabbisogno termico dell’intero processo produttivo è legato al processo di cottura, seguito dall’atomizzazione con una quota del 36% e dall’essiccazione (9%).

⁶² <https://confindustria-ceramica.it/w/energia-da-co-generazione-e-fotovoltaico#:~:text=Un'indagine%20di%20Confindustria%20Ceramica,ai%2037%20milioni%20di%20kWp.>

La figura sottostante riporta in modo schematico il processo di produzione delle piastrelle in ceramica, nel caso in cui sia presente un cogeneratore associato all'impianto.

Figura 43 Schema processo di produzione delle piastrelle in ceramica



Le emissioni dirette in atmosfera sono rintracciabili nelle fasi di atomizzazione (circa 30%), essiccazione (quasi 20%), cottura (più del 50%); l'eventuale presenza del cogeneratore fa scendere la percentuale delle emissioni associate ai processi sopra descritti e gli associa una quota di emissioni dirette pari a quasi il 30%.

8.6.3 Prospettive 2050

Come illustrato precedentemente, le emissioni del settore ceramica sono principalmente energetiche (70% del totale) e per la restante quota di processo. La prospettiva di decarbonizzazione del settore al 2050 include l'applicazione di soluzioni analoghe a quelle viste per gli altri sottosettori. Oltre a un limitato apporto dell'efficientamento energetico, al quale il settore (come gli altri in Italia) è da sempre attento (al 2018 su ben 70 impianti in Italia era già applicato il recupero di calore dal forno di cottura⁶³), gli interventi principali riguardano:

- l'elettificazione della generazione del calore per atomizzatori ed essiccatori, con pompe di calore elettriche;

⁶³ "L'efficienza energetica nell'industria: potenzialità di risparmio energetico e impatto sulle performance e sulla competitività delle imprese", RSE, febbraio 2018



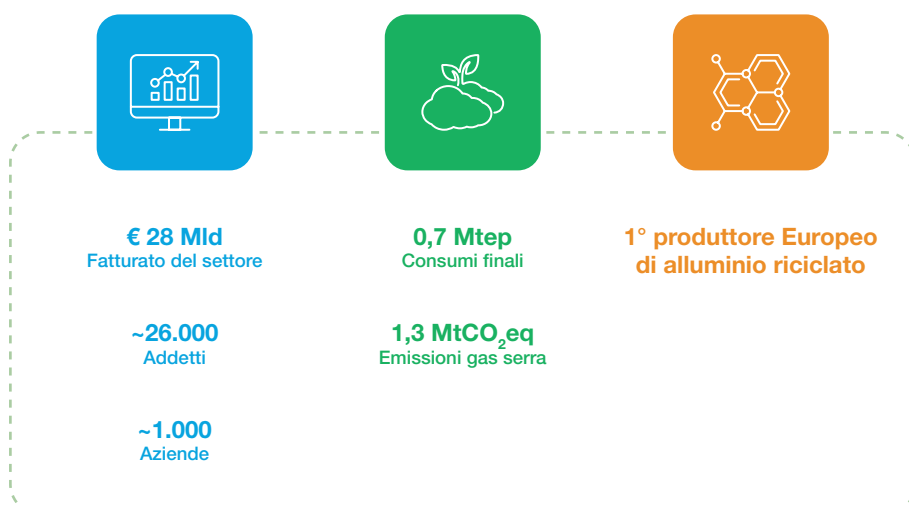
- lo sviluppo e utilizzo di forni elettrici per la cottura, con attenzione alla qualità tecnica ed estetica del prodotto finale;
- la sostituzione del gas naturale con molecole verdi, quali biometano, metano sintetico e idrogeno. Per quest'ultimo ci sono alcuni progetti pilota in cui l'idrogeno viene utilizzato in blending con il gas naturale fino al 20% in volume per alimentare i forni (anche per questa alternativa è fondamentale tenere in considerazione gli effetti sul processo e sul prodotto finale soprattutto in termini di qualità);

Infine, il settore ceramico, caratterizzato da siti di piccole e medie dimensioni (il 90% dei siti emette meno di 50 ktonCO₂/anno) concentrato in alcuni distretti, potrebbe offrire la possibilità di sviluppo di CCS come soluzione di decarbonizzazione, mediante un processo di clusterizzazione e aggregazione di più siti.

8.7 Il settore dei metalli non ferrosi

Il settore dei metalli non ferrosi ha un ruolo strategico all'interno del panorama industriale italiano; nel 2023 ha registrato un fatturato complessivo di circa 28 miliardi di euro, comprendendo circa 1.000 imprese e più di 26.000 addetti.

Figura 44 Il settore dei metalli non ferrosi nel 2023⁶⁴



⁶⁴ <https://www.assomet.it/blog/>, Eurostat, ISPRA



8.7.1 Caratterizzazione del settore metalli non ferrosi italiano

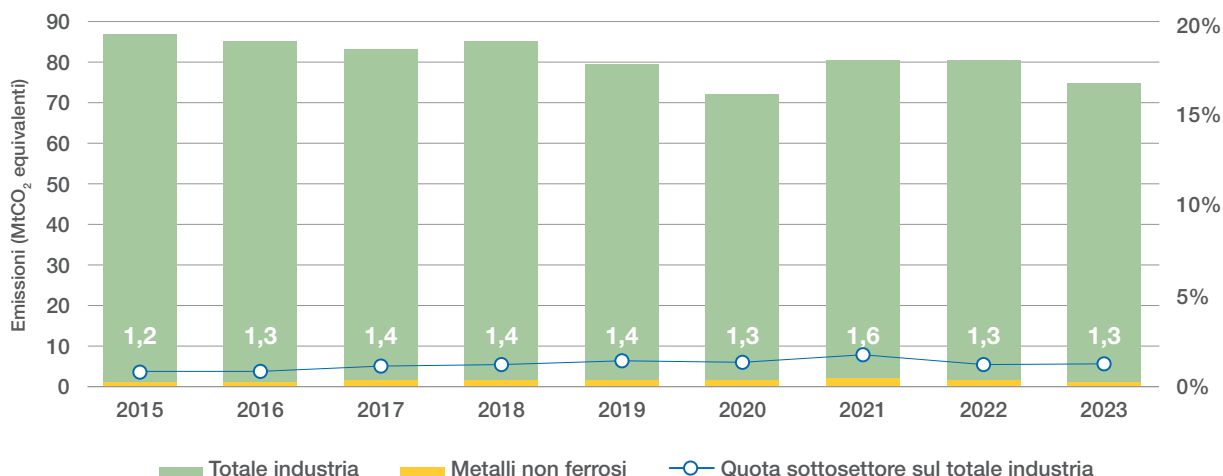
Il sottosettore dei metalli non ferrosi comprende la fabbricazione di metalli preziosi e di altri metalli che non contengono ferro come componente principale.

Include la produzione di metalli come oro, argento, platino, alluminio, rame, piombo, zinco, stagno, nichel, titanio, cobalto e magnesio, utilizzati in numerosi settori, tra cui l'aerospaziale, l'elettronica, la chimica e l'energia.

A valle della produzione primaria dei metalli, le fonderie di metalli non ferrosi si occupano della fusione e colata di questi materiali per ottenere componenti finiti o semilavorati. Le fonderie specializzate in metalli leggeri, come alluminio e magnesio, realizzano pezzi leggeri ma resistenti, impiegati soprattutto nei settori automobilistico, aerospaziale e meccanico. Altre fonderie lavorano metalli come rame, zinco o leghe speciali per produrre elementi tecnici, valvole, raccordi o oggetti decorativi. A differenza della produzione del metallo grezzo, queste attività si concentrano sulla trasformazione del metallo in forme utili attraverso processi di fusione. In Italia, la filiera dei metalli non ferrosi si sviluppa lungo un insieme articolato di processi industriali che comprendono la produzione primaria (ormai residuale), la produzione secondaria da rottami, le operazioni di raffinazione metallurgica, e le successive trasformazioni meccaniche (laminazione, estrusione, colata). L'Italia mantiene una presenza significativa nella lavorazione e nel riciclo di metalli come alluminio, rame, zinco e piombo, con una rilevante capacità impiantistica distribuita su base regionale. Il settore è fortemente integrato all'interno del panorama industriale italiano, soprattutto per quanto riguarda l'automotive, il settore aerospaziale, l'edilizia e il packaging.

Le emissioni del settore dei metalli non ferrosi, Figura 45, ammontano a circa 1,3 MtCO₂eq al 2023, rappresentando circa l'1,7% del totale nazionale. Le emissioni di questo settore sono sia energetiche che di processo, le seconde hanno rappresentato storicamente una quota variabile tra il 15% e il 18% delle emissioni totali.

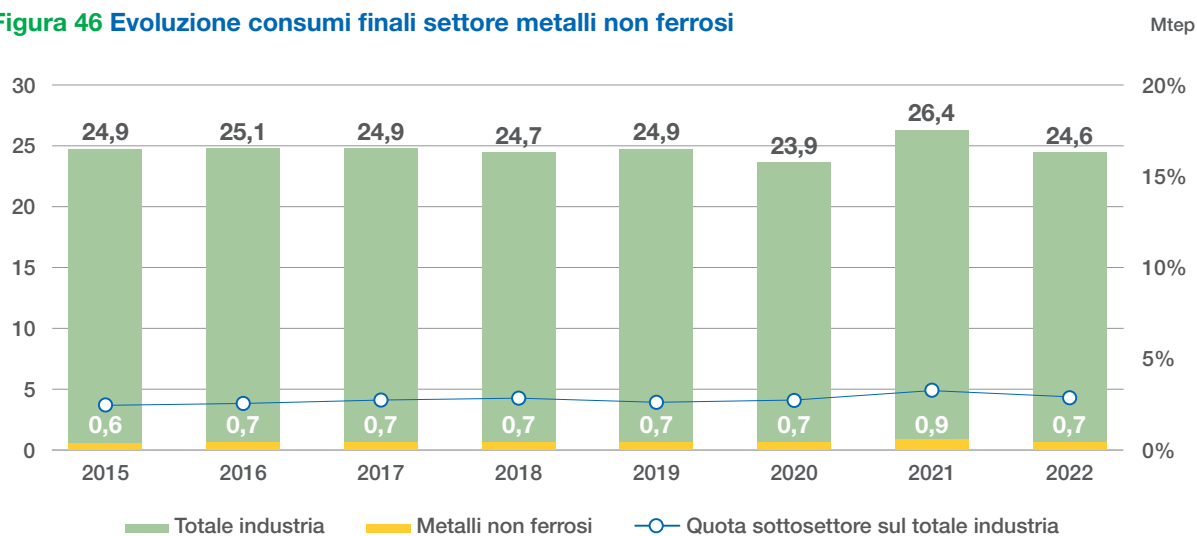
Figura 45 Evoluzione emissioni settore metalli non ferrosi (ISPRA)





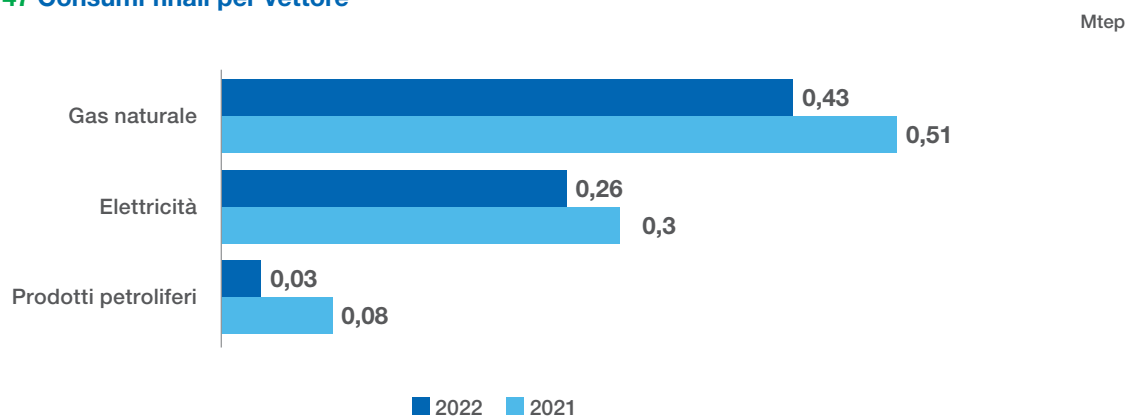
Per quanto riguarda i consumi finali, come riportato in Figura 46 e Figura 47, il settore ha riportato valori pressoché stabili negli ultimi anni pari a 0,7 Mtep, circa il 3% dei consumi nazionali dell'industria.

Figura 46 Evoluzione consumi finali settore metalli non ferrosi



Dal punto di vista dei singoli vettori, il gas naturale è quello più utilizzato come fonte di energia termica nei forni e nei processi non elettrici; seguito dall'elettricità utilizzata nei processi di fusione primaria, nei forni elettrici per la fusione e per la laminazione; ci sono poi quote minoritarie di altri prodotti di origine fossile (solidi o di derivazione petrolifera).

Figura 47 Consumi finali per vettore



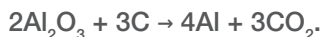


8.7.2 I processi

La produzione di metalli non ferrosi in Italia si articola prevalentemente attraverso processi di recupero e raffinazione secondaria, con una presenza limitata di produzione primaria. I principali metalli trattati includono alluminio, rame, zinco e piombo, ciascuno con specifici cicli tecnologici e requisiti energetici.

Alluminio

La produzione di alluminio primario avviene attraverso il processo Hall-Héroult, che consiste nell'elettrolisi della bauxite raffinata in ossido di alluminio (allumina, Al_2O_3) sciolta in criolite fusa (Na_3AlF_6) a circa 950 °C. Il processo avviene in celle elettrolitiche dove l'allumina si riduce secondo la reazione:



Gli anodi consumabili in carbonio generano direttamente CO_2 durante il processo elettrolitico, che rappresenta la principale fonte di emissioni dirette. Inoltre, il consumo elettrico è estremamente elevato, tipicamente tra 13 e 15 MWh per tonnellata di alluminio prodotto. A livello nazionale, la produzione primaria è stata quasi totalmente dismessa per lunghi periodi a causa dell'alto costo energetico e della concorrenza estera. Tuttavia, con la riattivazione parziale dello stabilimento di Portovesme (Sardegna) e le discussioni in corso sull'autonomia strategica europea in materia di materie prime critiche, la questione della decarbonizzazione della filiera primaria rimane rilevante.

Il processo di produzione secondaria dell'alluminio è oggi il più rappresentativo in termini di volumi e tecnologie. Esso prevede la fusione di rottami leggeri e pesanti in forni a riverbero, rotativi o a tamburo, alimentati prevalentemente a gas naturale o, in misura minore, mediante forni a induzione. Durante la fusione, vengono impiegati flussanti salini per separare le scorie e facilitare la rimozione di impurezze, e si possono generare emissioni di composti fluorurati, ossidi metallici e particolato. I fumi devono essere trattati mediante sistemi di abbattimento a secco o a umido. L'energia termica richiesta per il processo di fusione secondaria varia tra 2,5 e 5 GJ/t, notevolmente inferiore rispetto agli oltre 60 GJ/t necessari per la produzione primaria via elettrolisi (oggi pressoché assente nel Paese). Le emissioni dirette di CO_2 sono legate principalmente alla combustione di gas naturale nei forni di fusione.

Rame

Nel caso del rame, l'Italia dispone di impianti di raffinazione elettrolitica attivi, in grado di trattare rame blister o semiraffinato, ma soprattutto rame secondario ottenuto da rottami e cavi elettrici. Il processo si articola in più fasi: fusione iniziale in forni a fiamma; raffinazione anodica, e successiva elettrorefinazione in celle galvaniche con anodi solubili e catodi in acciaio inox.

La purezza raggiunta (oltre il 99,99%) consente l'impiego diretto del rame



nei settori ad alta conducibilità. L'energia elettrica specifica per l'elettrolisi è compresa tra 2,0 e 2,5 MWh/t. Le emissioni dirette, per quanto minori, derivano dalla combustione nei forni fusori durante le fasi iniziali del trattamento del rame blister o secondario.

Zinco

La produzione di zinco avviene mediante un processo idrometallurgico con calcinazione iniziale dello zinco solfuro (ZnS) in forni di tostatura a letto fluido, ottenendo ossido di zinco (ZnO) e anidride solforosa (SO_2), seguita da dissoluzione acida e elettrolisi in soluzione. Questo processo è il principale responsabile delle emissioni dirette di CO_2 in funzione del combustibile utilizzato. Inoltre, anche in questo caso, il fabbisogno elettrico per la deposizione catodica del metallo è rilevante (2,5–3,5 MWh/t).

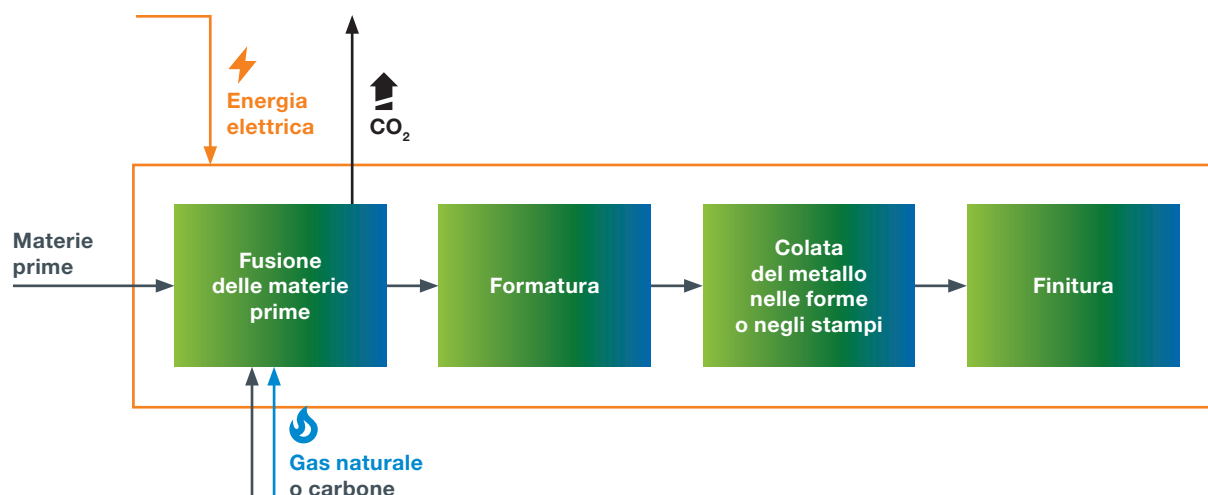
Piombo

Nel caso del piombo, trattato principalmente da accumulatori esausti, il processo secondario prevede la frantumazione dei componenti, la separazione meccanica e la successiva fusione in forni rotativi o a crogiolo. Le emissioni sono caratterizzate da ossidi di piombo (PbO , Pb_3O_4) e residui acidi, e la gestione ambientale di fumi e scorie è particolarmente delicata. Il contributo principale alle emissioni dirette di CO_2 proviene dalla fusione dei componenti metallici in forni rotativi alimentati a gas o altri combustibili fossili.

Nel complesso, la filiera italiana dei metalli non ferrosi si contraddistingue per una forte vocazione al recupero e riciclo, in linea con i principi di economia circolare, ma presenta ancora rilevanti criticità in termini di emissioni dirette da combustione e di emissioni indirette associate all'elevato consumo elettrico (non trattate nella presente nota).

**Tabella 3 Processi ed emissioni per le lavorazioni dei metalli non ferrosi**

<i>Metallo</i>	<i>Processo</i>	<i>CO₂ diretta [tCO₂/t metallo]</i>	<i>Note</i>
Alluminio primario	Elettrolisi (Hall-Héroult)	1,5 – 2,5	Da anodi di carbonio; anode effect può generare anche PFCs (GWP > 10.000)
Alluminio secondario	Fusione in forni a gas	0,2 – 0,5	Variabile in base all'efficienza e al tipo di forno
Rame secondario	Fusione + elettroaffinazione	0,2 – 0,4	Dirette da fusione; elettrolisi contribuisce alle indirette
Zinco	Tostatura + elettrolisi	0,5 – 0,7	Dirette da tostatura (ZnS → ZnO); elettrolisi impatta sulle indirette
Piombo secondario	Fusione da accumulatori esausti	0,4 – 0,6	Dipende dal contenuto organico del materiale e dal tipo di forno

Figura 48 Schema processo di produzione nelle fonderie



8.7.3 Prospettive 2050

Anche per il settore dei metalli non ferrosi, la quota preponderante delle emissioni è rappresentata da quelle energetiche (80%-85% del totale). In ottica di decarbonizzazione con orizzonte al 2050, le soluzioni includono:

- l'elettificazione attraverso l'utilizzo forni di fusione elettrici;
- la sostituzione di gas naturale con combustibili decarbonizzati: biometano, metano sintetico e idrogeno (necessario intervenire sui bruciatori, sostituendoli);
- l'applicazione della CCS, che – come già visto nei paragrafi precedenti – al momento non trova applicazioni di piccola taglia e che dunque vede come soluzione, almeno in un primo periodo, la creazione di cluster per l'inclusione di tali impianti.

8.8 Evoluzione dei consumi industriali

Come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, l'industria italiana è, ad oggi, fortemente orientata al riciclo e al recupero delle materie prime seconde rappresentando un esempio anche a livello Europeo come nel caso del vetro e dell'acciaio. Questa caratteristica implica che la quota preponderante delle emissioni dirette dei settori analizzati sia legata ai consumi energetici ovvero alla combustione delle materie prime, piuttosto che alle emissioni di processo.

La tabella seguente riporta un riepilogo delle emissioni dirette (scope 1) dei sottosettori analizzati in questo documento suddivise tra emissioni energetiche e di processo. I valori fanno riferimento all'anno 2023, così come calcolati da ISPRA per l'Inventario Nazionale delle Emissioni (edizione 2025).

Tabella 4 Emissioni per sottosettore relative all'anno 2023 (ISPRA)

<i>Sottosettore</i>	<i>Emissioni totali (Mt CO₂eq)</i>	<i>Emissioni energetiche (Mt CO₂eq)</i>	<i>Emissioni di processo (Mt CO₂eq)</i>	<i>Quota emissioni energetiche</i>	<i>Quota emissioni processo</i>
Cemento	10,9	4,1	6,7	38%	62%
Acciaio	10,5	9,2	1,4	87%	13%
Chimica	9,5	8,1	1,4	86%	14%
Vetro	4,8	4,3	0,6	88%	12%
Carta	4,0	4,0	0	100%	0%
Ceramica	1,7	1,2	0,5	71%	29%
Metalli non ferrosi	1,3	1,1	0,2	87%	13%
Totale sottosettori analizzati	42,6	31,9	10,7	75%	25%



Come si evince dalla tabella le emissioni energetiche rappresentano il 75% del totale e costituiscono più dell'80% delle emissioni in ogni sottosettore analizzato ad eccezione della ceramica in cui rappresentano il 70% e del cemento in cui la quota di emissioni di processo diventa preponderante e pari a circa il 60% del totale delle emissioni del sottosettore.

Emissioni energetiche

Per quanto riguarda la riduzione delle emissioni energetiche, legate all'utilizzo dei combustibili, è possibile identificare tre strategie principali, comuni a tutti i sottosettori:

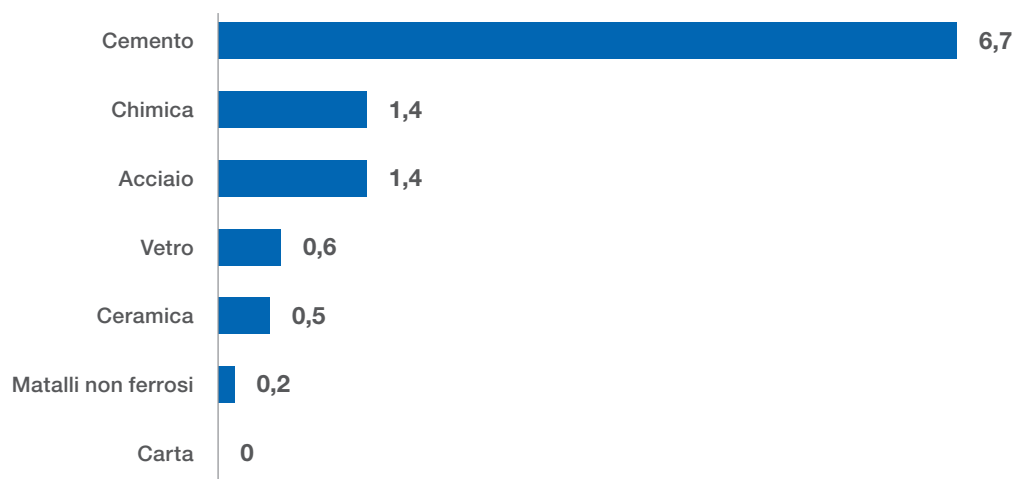
- l'elettrificazione che include il passaggio all'utilizzo del vettore elettrico in sostituzione dei tradizionali combustibili fossili per varie attività quali l'alimentazione dei forni o la generazione di vapore;
- l'utilizzo di gas verdi quali biometano e idrogeno, anch'essi in sostituzione degli attuali combustibili tradizionali;
- il ricorso alla CCUS che permette di catturare le emissioni energetiche derivanti dall'utilizzo dei combustibili tradizionali e, in aggiunta, di catturare anche le eventuali emissioni di processo presenti in sito.

L'effettiva implementazione delle leve sopra individuate dipenderà da molti fattori difficilmente prevedibili: elementi fondamentali saranno il costo delle opzioni disponibili così come l'effettiva disponibilità delle soluzioni individuate, e dove necessario delle infrastrutture abilitanti.

Emissioni di processo

Dal punto di vista della riduzione delle emissioni di processo invece le strategie da implementare sono ad oggi meno definite. Le analisi condotte sui singoli settori mostrano un gap tecnologico che necessita di essere colmato attraverso un investimento importante in termini di ricerca e sviluppo sia dal punto di vista dei prodotti, che dei materiali, oltre che dei processi di base.

La Figura 49 mostra, in ordine decrescente, le emissioni di processo per i sottosettori analizzati, relative all'anno 2023. Il cemento è il sottosettore caratterizzato dal valore più elevato di emissioni di processo, come descritto nei capitoli precedenti, seguito dalla chimica e dall'acciaio. Gli altri sottosettori raggiungono livelli emissivi inferiori. L'obiettivo di azzeramento delle emissioni di processo dovrà quindi essere valutato anche in termini di costo-opportunità delle soluzioni che possono essere applicate ai vari contesti industriali e nell'ottica degli obiettivi di riduzione delle emissioni a livello di sistema Paese.

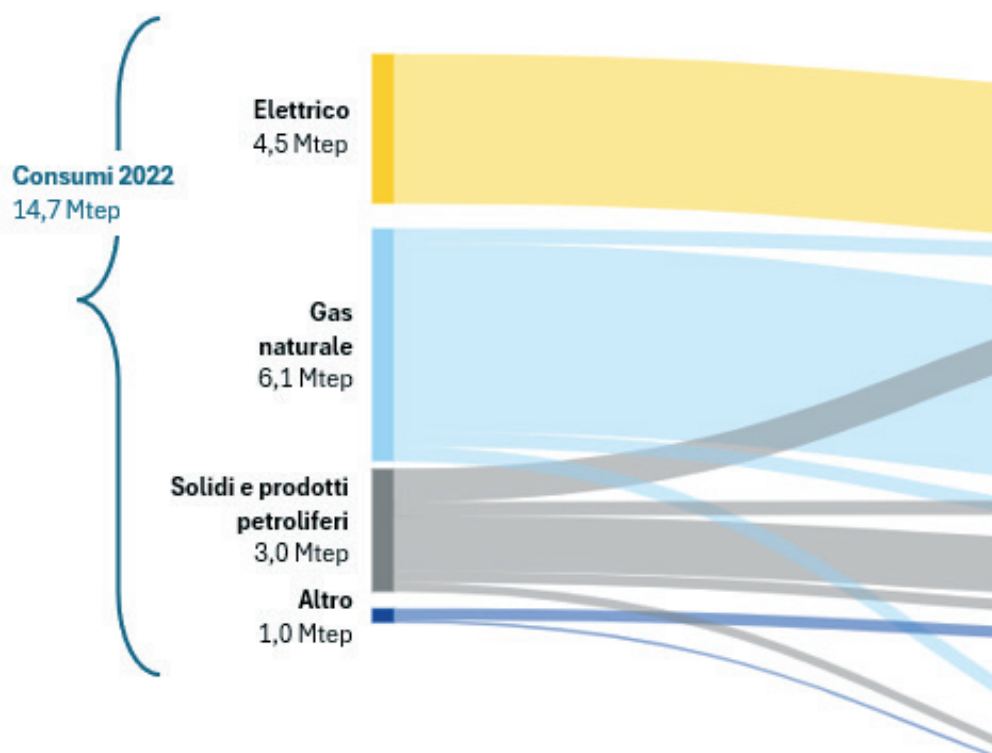
**Figura 49 Emissioni di processo per sottosettore relative all'anno 2023 (ISPRA, MtCO₂eq)**

Evoluzione consumi finali

Come chiarito precedentemente le emissioni energetiche costituiscono la quota preponderante delle emissioni totali dei sottosettori considerati, strettamente legate all'utilizzo che viene fatto dei singoli vettori.

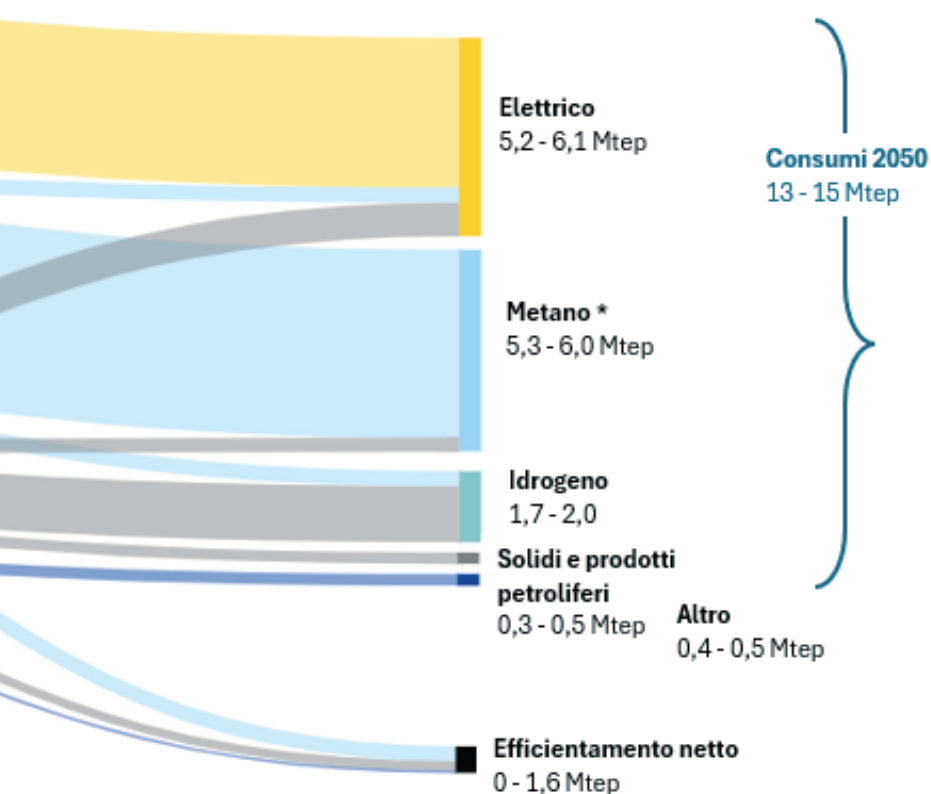
Il sankey diagram riportato in Figura 50, delinea, in modo illustrativo, una possibile evoluzione dei consumi finali per i sottosettori analizzati a partire dai consumi del 2022. L'analisi effettuata raccoglie i fondamentali input ricevuti durante la consultazione degli esperti per i sottosettori approfonditi.

Figura 50 Evoluzione dei consumi industriali analizzati
(*include metano di origine biologica o sintetica e l'eventuale gas naturale residuo accoppiato alla CCS)



Come ampiamente discusso, l'efficientamento energetico del settore industriale italiano si trova a livelli piuttosto elevati, grazie ai numerosi investimenti effettuati dalle industrie italiane negli ultimi decenni in termini sia di efficienza dei processi specifici che di tecnologie, di cui gli impianti cogenerativi sono un esempio.

Il diagramma evidenzia comunque la possibilità di un ulteriore efficientamento dei sottosettori analizzati grazie all'implementazione di soluzioni digitali e a un ulteriore efficientamento dei processi.



Un maggiore ricorso a strategie di economia circolare, l'ulteriore utilizzo di rottame come nel caso del vetro o la sostituzione di alcune materie prime come nel caso del clinker per la produzione del cemento, sono tutti elementi che potrebbero contribuire ad un risparmio energetico e quindi ad una riduzione delle emissioni. Ci sono inoltre strategie che attraverso modifiche dei processi produttivi possono comportare un risparmio energetico e una riduzione delle emissioni quali, ad esempio, la riduzione del rapporto clinker/cemento a pari qualità del prodotto finale.



Per quanto riguarda l'evoluzione dei consumi finali a livello di vettori energetici, in linea con quanto descritto nei paragrafi precedenti, si verifica una progressiva sostituzione dei combustibili ad oggi utilizzati:

- Il vettore elettrico vede un incremento che deriva dalla progressiva elettrificazione dei processi, dalla sostituzione di forni come potrebbe avvenire nel caso del vetro e della ceramica oppure con l'elettrificazione della generazione del calore con pompe di calore elettriche per atomizzatori ed essiccatori nel caso della ceramica.
- La quota di energia fornita da molecole, intesa come sommatoria di gas naturale solidi e prodotti petroliferi, continua a rappresentare anche al 2050, così come nel 2022, circa i due terzi del consumo dei settori esaminati, confermandone la rilevanza.
- I solidi e i prodotti petroliferi vedono una progressiva sostituzione con combustibili alternativi che differiscono a seconda del sottosettore considerato e delle strategie di decarbonizzazione disponibili. Un esempio è il settore del cemento dove il petcoke e il carbone potrebbero essere sostituiti con gas naturale e idrogeno.
- Il gas naturale, ad oggi ampiamente utilizzato, sarà progressivamente sostituito da biometano e metano sintetico, un esempio di tale situazione è quella del settore cartario caratterizzato dalla presenza di numerosi impianti cogenerativi, ad oggi alimentati a gas naturale, e che in futuro potrebbero sfruttare la leva di sostituzione dei combustibili per abbattere le emissioni dirette. Laddove tale sostituzione non si potrà realizzare la quota di gas naturale ancora presente al 2050 dovrà essere accoppiata all'utilizzo di CCUS, soprattutto per quanto riguarda le emissioni di processo, più difficili da decarbonizzare.
- Al 2050 l'idrogeno decarbonizzato rappresenta un'opzione applicabile a vari sottosettori nell'ambito delle leve di sostituzione dei combustibili, in particolare come alternativa al gas naturale nella produzione di calore e nelle reazioni di combustione, oppure utilizzato in sostituzione della quota attuale di idrogeno grigio prodotta da Steam Methane Reforming.

L'evoluzione dei vettori energetici illustrata è in linea con le strategie di abbattimento delle emissioni energetiche definite nei paragrafi precedenti che fanno leva sull'elettrificazione, sulla sostituzione dei combustibili fossili e sull'utilizzo della CCUS.





9

Conclusioni



9. Conclusioni

Il settore industriale italiano è caratterizzato da un livello di efficienza piuttosto elevato e, negli anni, si è dotato di diversi strumenti per far fronte alle crescenti sfide nazionali e internazionali.

Le emissioni del settore sono in gran parte (circa il 75% nel 2023) di tipo energetico legate all'utilizzo dei combustibili per le quali è possibile identificare tre macro-strategie di abbattimento applicabili a tutti i sottosettori analizzati: la progressiva elettrificazione, la sostituzione dei combustibili fossili con alternative verdi quali biometano, metano sintetico e idrogeno e l'applicazione della CCUS per la cattura delle emissioni. In particolare, la CCUS è una soluzione che permetterebbe, sotto certe condizioni tecniche, anche la cattura delle emissioni di processo.

Il percorso verso la decarbonizzazione del settore industriale è estremamente complesso da delineare in quanto soggetta a una serie di variabili esogene che includono sia decisioni normative che politiche industriali, ma che dipendono anche dalla disponibilità tecnologica e dalla fattibilità tecnica delle soluzioni individuate. In questo contesto, la ricerca e lo sviluppo (R&S) e gli investimenti ad essa dedicati rivestono un ruolo cruciale per accelerare l'adozione di tecnologie innovative, migliorare l'efficienza delle soluzioni esistenti e ridurre i costi delle tecnologie emergenti, contribuendo in modo determinante al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Di uguale importanza sono le valutazioni sulla sostenibilità economica delle soluzioni di decarbonizzazione che necessariamente verranno fatte dai soggetti direttamente coinvolti nella transizione del settore industriale. Tali valutazioni oltre che del contesto nazionale devono tenere conto anche del contesto internazionale nel quale l'industria italiana si trova a dover competere. La sfida della competitività dei costi della produzione industriale è quindi sicuramente uno tra i fattori fondamentali che il sistema produttivo industriale dovrà affrontare nella transizione.

L'evoluzione del settore industriale e, in particolare, dei settori "hard to abate" deve necessariamente tener conto di tutte le leve disponibili, ad oggi e in prospettiva, e dovrà essere affrontata nel processo di transizione energetica a livello di sistema Paese considerando il contributo che tutti i settori dei consumi possono dare in ottica di decarbonizzazione. Sarà necessario, quindi, elaborare una strategia a livello nazionale che tenga conto dei diversi livelli di priorità di ogni sottosettore, del rapporto costo opportunità per ognuno di essi e degli impatti che ci possono essere sia a livello nazionale che a livello internazionale.

Come visto nei capitoli precedenti le leve utilizzabili per la transizione energetica



del settore industriale vanno dall'elettrificazione all'efficientamento dei processi, dall'utilizzo dei combustibili quali biometano e metano sintetico fino all'implementazione della CCUS o dell'idrogeno che necessitano dello sviluppo di infrastrutture e di una filiera dedicata, quindi del coinvolgimento, a livello nazionale, di diversi attori che concordino una strategia di lungo termine da seguire che possa traghettare il settore industriale italiano verso gli obiettivi di lungo termine preservandone le peculiarità e la competitività internazionale.

