

The background of the entire page is an abstract composition of various shades of green. It features several large, rounded, organic shapes that resemble bubbles or cells, some of which are outlined in black. These shapes are arranged in a way that creates a sense of depth and movement. The overall effect is a modern, artistic representation of nature or science.

Sandro Valenza

ACCIAIO VERDE

Prospettive tecniche di una
siderurgia che sta
cambiando struttura

ACCIAIO VERDE: prospettive tecniche di una siderurgia che sta cambiando struttura

La siderurgia sta entrando in una fase storica in cui i tradizionali equilibri produttivi, chimici ed energetici vengono riscritti. Per oltre un secolo il ciclo integrale altoforno–convertitore (BF–BOF) ha rappresentato la spina dorsale della produzione mondiale, grazie alla sua continuità, alla sua robustezza e alla sua enorme capacità produttiva. Tuttavia, l'impatto ambientale del processo, strettamente legato all'utilizzo del carbon coke come agente riducente, ha spinto l'intero settore verso tecnologie alternative in grado di garantire un acciaio di qualità comparabile ma con un'impronta emissiva decisamente inferiore. Da qui nasce la transizione verso l'acciaio verde, una trasformazione che coinvolge chimica, metallurgia, energia e gestione delle risorse.



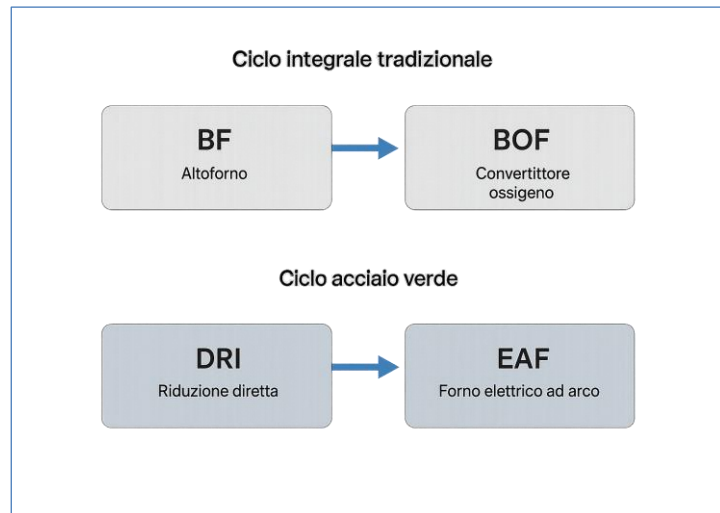
Questo cambiamento non nasce solo da una spinta innovativa, ma da una necessità oggettiva che le principali organizzazioni ambientali hanno evidenziato con chiarezza. Secondo un'analisi della WWF, il settore siderurgico è responsabile da solo di circa il 7–9% delle emissioni globali di gas serra, e di oltre l'11% delle emissioni mondiali di CO₂ nei processi industriali. Si tratta di un impatto enorme, paragonabile alle emissioni complessive di intere nazioni, e sufficiente da trasformare la siderurgia in uno dei comparti più monitorati nelle strategie globali per la decarbonizzazione.

Il dato è particolarmente significativo perché non riguarda solo le grandi acciaierie integrate, ma l'intera filiera: estrazione del minerale, produzione del coke, riduzione del minerale, fusione, colata e laminazione. Il ciclo integrale BF–BOF, pur essendo stato il motore della crescita industriale del Novecento, non può più sostenere i requisiti emissivi del presente. È proprio da questa consapevolezza che nasce l'urgenza di ripensare completamente il cuore del processo, ovvero la fase di riduzione degli ossidi di ferro. La spinta verso il DRI–EAF, e in particolare verso l'impiego dell'idrogeno come riducente, risponde esattamente a questa necessità: intervenire dove si produce la maggior parte delle emissioni, trasformando una criticità storica in un'opportunità tecnologica.

Il dato della WWF, quindi, non è una semplice cifra: rappresenta la misura quantitativa di un limite industriale che non può più essere ignorato e che dà ulteriore slancio al percorso verso l'acciaio verde. La riduzione diretta, unita all'utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili, diventa così non solo un'alternativa tecnica, ma una leva strategica per ridurre in modo drastico l'impronta climatica del settore. In questo scenario, le tecnologie come MIDREX, HYL/Energiron e i processi EAF di nuova generazione assumono un ruolo centrale, perché sono le prime a permettere una riduzione reale e misurabile delle emissioni, mantenendo al contempo la qualità metallurgica necessaria per la meccanica moderna.

Fonte: WWF – *Toolkit for Lower-Emission Steel Procurement*.

La vera svolta tecnica si concentra nella fase di riduzione del minerale. Tradizionalmente l'ossigeno presente negli ossidi di ferro viene rimosso dal monossido di carbonio generato dalla combustione e dalla gassificazione del coke. La reazione, che è il cuore dell'altoforno, porta inevitabilmente alla produzione di grandi quantità di CO₂. Nei processi di riduzione diretta, invece, il minerale non viene fuso: gli ossidi vengono trasformati in ferro solido tramite un flusso di gas riducenti. Nei sistemi più diffusi, come MIDREX o HYL, il gas è principalmente una miscela di H₂ e CO ottenuta dal reforming del metano. Nel percorso dell'acciaio verde si punta invece a impiegare idrogeno quasi puro come riducente, così che la reazione generi vapore acqueo invece



di anidride carbonica. Dal punto di vista chimico il concetto è semplice, ma industrialmente richiede un controllo preciso della temperatura (tipicamente tra 600 e 800 °C), della granulometria dei pellet e della portata di gas, perché la riduzione a base di idrogeno ha una cinetica diversa rispetto a quella guidata dal CO.

Il prodotto della riduzione diretta è il cosiddetto DRI (Direct Reduced Iron, ovvero ferro ridotto direttamente), un ferro “spugnoso” con un tenore di Fe metallico che può superare il 92–94%, e con caratteristiche molto sensibili alla qualità del minerale di partenza. Dal momento che il processo avviene allo stato solido, il DRI non presenta le stesse impurità tipiche del ferro di altoforno e richiede pellet di alta qualità, con basso tenore di zolfo, fosforo e componenti volatili. Questa purezza elevata rappresenta sia un vantaggio per la produzione di acciai speciali, sia una sfida per garantire una filiera stabile di approvvigionamento del minerale.

Una volta prodotto, il DRI viene inviato a un forno elettrico ad arco EAF (Electric Arc Furnace, cioè forno elettrico ad arco), dove viene fuso insieme a rottame di qualità o utilizzato in purezza per produzioni a basso contenuto di impurità. L'EAF moderno non è più un semplice “bruciatore elettrico”: è un impianto altamente sofisticato, integrato con sistemi di iniezione di ossigeno, carbonio, gas combustibili, sensori di temperatura e strategie avanzate di regolazione dell'arco. L'utilizzo di energia elettrica — idealmente proveniente da fonti rinnovabili — permette di eliminare l'impiego massivo di coke e di carbon fossile, riducendo ulteriormente le emissioni. Inoltre, gli EAF di nuova generazione permettono di modulare la produzione, adattandosi con più elasticità ai carichi energetici e alle richieste del mercato.



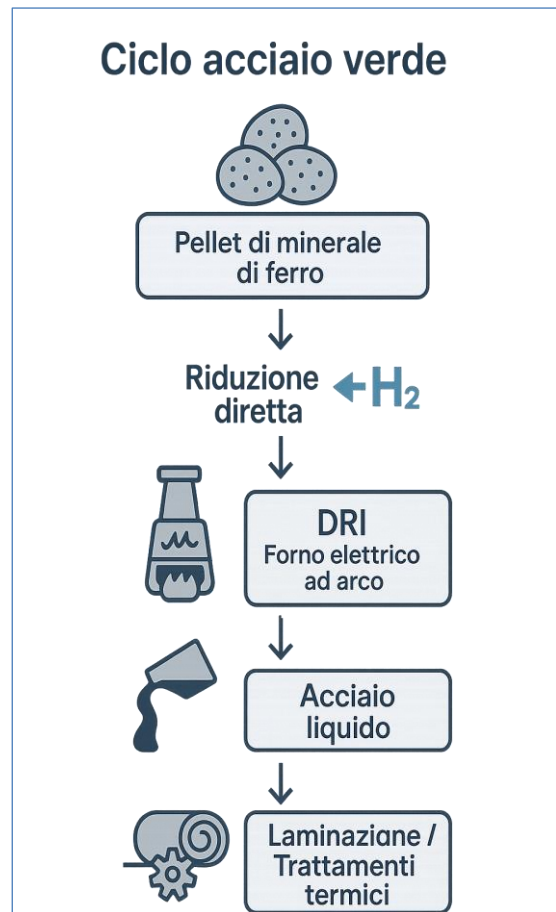
Un aspetto particolarmente rilevante è che questa trasformazione non è teorica: è già in corso in diversi impianti reali. ArcelorMittal, ad esempio, ha avviato in Spagna un laminatoio alimentato con combustione a idrogeno verde, dimostrando la fattibilità del passaggio a forni completamente decarbonizzati. In Svezia, H2 Green Steel sta costruendo un impianto integrato che utilizzerà elettricità rinnovabile e idrogeno per produrre acciaio con emissioni drasticamente ridotte. In Austria, Voestalpine, in collaborazione con Mitsubishi Heavy Industries, sta sviluppando processi avanzati in cui l'idrogeno assume un ruolo centrale nella riduzione del minerale. Anche in Italia qualcosa si muove: Acciaierie d'Italia partecipa al progetto europeo H2Loop dedicato all'introduzione dell'idrogeno nelle fasi critiche del processo siderurgico. Questi esempi mostrano che la direzione è tracciata e che la tecnologia sta rapidamente superando la fase sperimentale.

Dal punto di vista metallurgico, la combinazione DRI-EAF offre un controllo più ampio sulla composizione dell'acciaio. La minore presenza di elementi indesiderati (come rame, stagno o nichel tipici del rottame non selezionato) consente di ottenere acciai puliti, adatti a settori che richiedono uniformità e ripetibilità. È però importante comprendere che il DRI ha una porosità intrinseca che influisce sul bilancio energetico dell'EAF: è necessario più calore per la fusione e per garantire la rimozione delle scorie, e ciò richiede una gestione più attenta dei parametri operativi, dei flussi termici e delle strategie di iniezione di carbonio e ossigeno.

Nel percorso siderurgico DRI-EAF, il carbonio non proviene più dalla gassificazione del coke come nel ciclo BF-BOF. Viene invece introdotto in forme controllate — carbone iniettato nel forno, carburizer specifici, grafite o biomasse carboniose — ottenendo una composizione più precisa e riducendo drasticamente le emissioni derivanti dalla produzione e dal consumo del coke. In questo modo è possibile impostare il tenore di carbonio in funzione del grado di acciaio richiesto, senza dipendere dal tenore di C della ghisa di altoforno e con una maggiore flessibilità nel contenere impurità indesiderate.

L'evoluzione verso l'acciaio verde non modifica solo il cuore del processo siderurgico, ma influenza anche le tecnologie a valle, in particolare i trattamenti termici. Gli acciai prodotti con ciclo DRI-EAF presentano caratteristiche metallurgiche differenti rispetto a quelli ottenuti tramite ciclo integrale BF-BOF, e questo si riflette in modo concreto sulla risposta ai cicli di tempra, rinvenimento, normalizzazione e trattamento isotermico.

La differenza principale riguarda la maggiore pulizia metallurgica del materiale. Il DRI ha livelli molto più bassi di elementi tramp (indesiderati) come rame, stagno e nichel, tipici del rottame



non selezionato o della ghisa d'altoforno. Questa minore presenza di impurità riduce le segregazioni e rende la microstruttura più uniforme. Ne deriva una risposta più prevedibile e stabile alla tempra, con formazione della martensite più omogenea e una migliore ripetibilità dei risultati tra lotti diversi.

La porosità controllata tipica del DRI influisce invece sul bilancio termico. Poiché il materiale tende ad assorbire energia in maniera leggermente diversa, è necessario modulare con più precisione i gradienti di temperatura e i tempi di permanenza in forno, soprattutto per sezioni spesse. L'effetto finale, tuttavia, è positivo: deformazioni più contenute e minore tendenza alle cricche interne, grazie alla ridotta presenza di inclusioni rigide che agiscono da inneschi.

Dal punto di vista della tempra profonda, gli acciai verdi offrono spesso risultati migliori. L'assenza di impurità che ostacolano la trasformazione martensitica permette una penetrazione più regolare della durezza e una migliore uniformità nelle zone centrali dei pezzi di grande sezione. Anche il rinvenimento trae beneficio dalla maggiore pulizia: la stabilità dei carburi è più prevedibile, con minori variazioni improvvise di durezza e proprietà meccaniche.



Un altro vantaggio riguarda la ridotta necessità di normalizzazioni correttive. Negli acciai da forno elettrico tradizionali, la normalizzazione serve spesso a riequilibrare segregazioni e disomogeneità derivanti dalla qualità del rottame. Con gli acciai DRI-EAF, la microstruttura tende a essere naturalmente uniforme e la normalizzazione diventa un passaggio utile, ma meno indispensabile.

Infine, la maggiore controllabilità del processo e della chimica dei materiali permette di stringere le tolleranze termiche: tempi più mirati, minor sovratemperatura di sicurezza e un minor rischio di ottenere microstrutture indesiderate. Tutto ciò si traduce in processi più efficienti, in una resa più elevata e in una qualità più stabile, fattore cruciale per officine meccaniche e trattamentisti che cercano costanza nei risultati.

La sostenibilità, tuttavia, non si limita alla chimica del processo. Il ciclo dell'acciaio verde introduce un nuovo paradigma nella gestione dei materiali. Il rottame torna a essere una risorsa centrale, ma con un approccio più scientifico: selezione, certificazione, classificazione e analisi chimica preliminare diventano essenziali per garantire una qualità costante. L'economia circolare — concetto ormai chiave nella progettazione moderna — si integra naturalmente nella siderurgia elettrica, che permette di sfruttare rottami provenienti da settori diversi, purché siano sottoposti a trattamenti adeguati.

Per chi lavora nella meccanica questo scenario rappresenta una trasformazione concreta. Gli acciai prodotti con DRI-EAF avranno microstrutture e risposte ai trattamenti termici leggermente differenti. La presenza ridotta di impurità migliorerà la stabilità nei processi di tempra e rinvenimento, l'uniformità dei grani e la lavorabilità al tornio, alla rettifica e alla fresatura. Tuttavia, le variazioni nella composizione dei lotti, legate alla miscela tra rottame e

DRI, richiederanno una maggiore attenzione da parte dei progettisti e dei responsabili qualità, soprattutto per i componenti destinati ad applicazioni gravose.

Inoltre, l'arrivo di normative legate all'impronta di carbonio dei materiali renderà sempre più comune la richiesta di certificazioni sulla filiera energetica, sull'origine del ferro e sulla percentuale di riciclo presente nell'acciaio. Questo significa che nei prossimi anni la documentazione tecnica dei materiali sarà più dettagliata e completerà le tradizionali proprietà meccaniche con informazioni sulla sostenibilità e sulla tracciabilità del ciclo produttivo.

L'acciaio verde non è soltanto una risposta a obiettivi ambientali globali: è una nuova piattaforma tecnica su cui si basa la siderurgia del futuro. Permette maggiore efficienza, qualità più costante, flessibilità produttiva e integrazione con processi digitalizzati e automatizzati. È un'opportunità per tutta la filiera: dalle acciaierie alle officine, dai progettisti ai trattamentisti. Chi saprà aggiornare le proprie competenze seguirà un percorso che porterà a prodotti migliori, processi più stabili e un vantaggio competitivo che durerà per molti anni.

“Il futuro dell'acciaio non è verde: è necessario.”



✉ info@svsmicromeccanica.com

🌐 www.svsmicromeccanica.com

