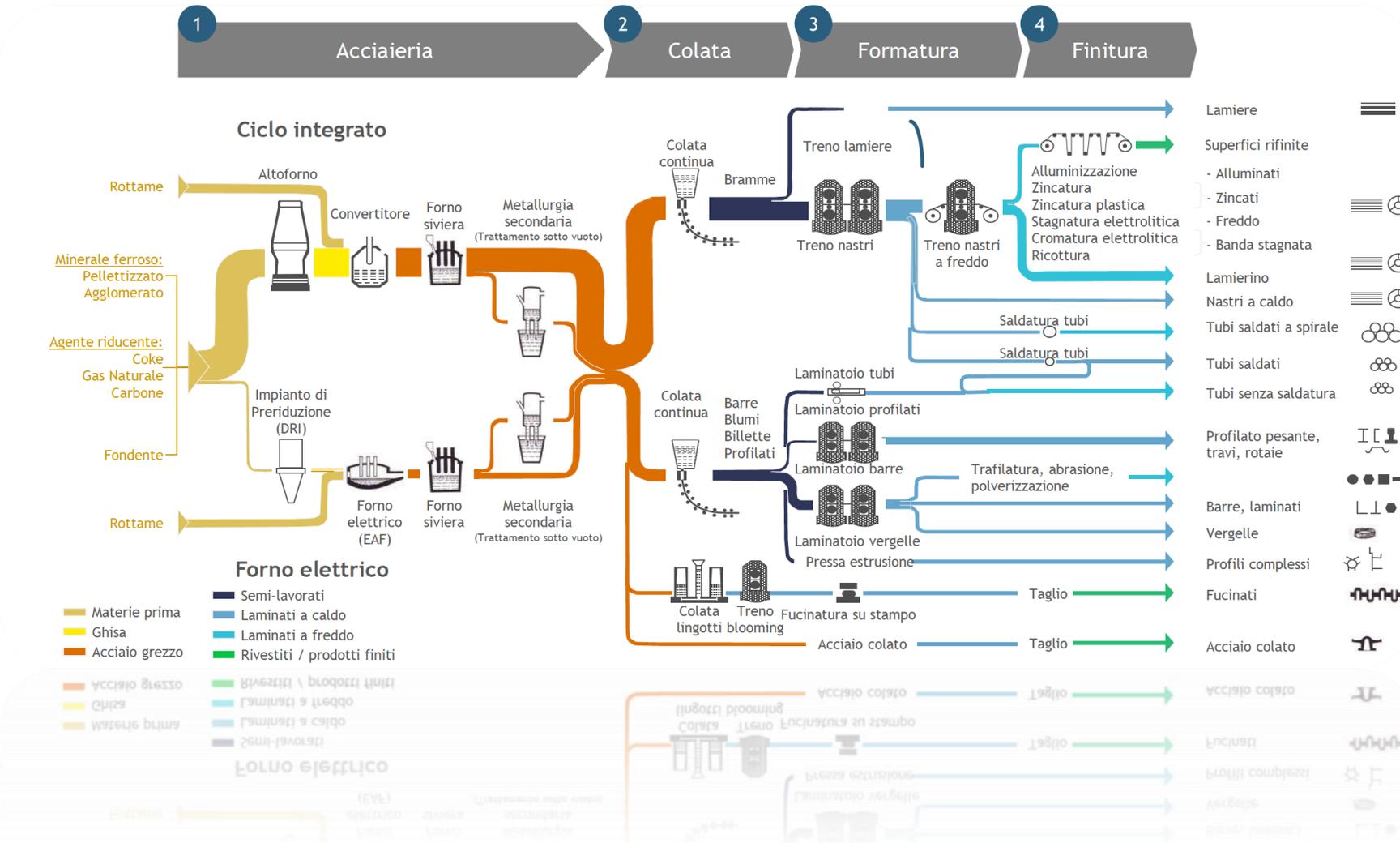
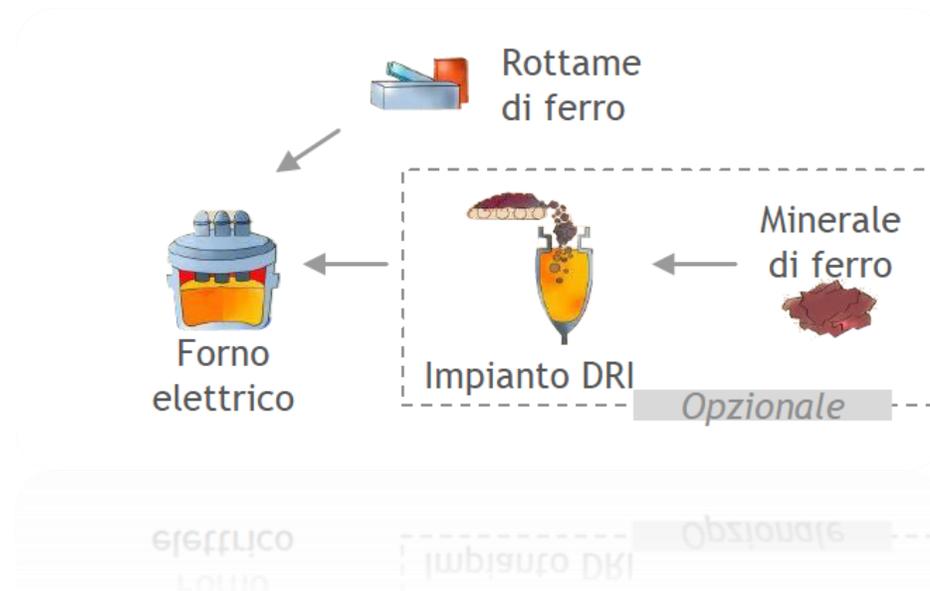
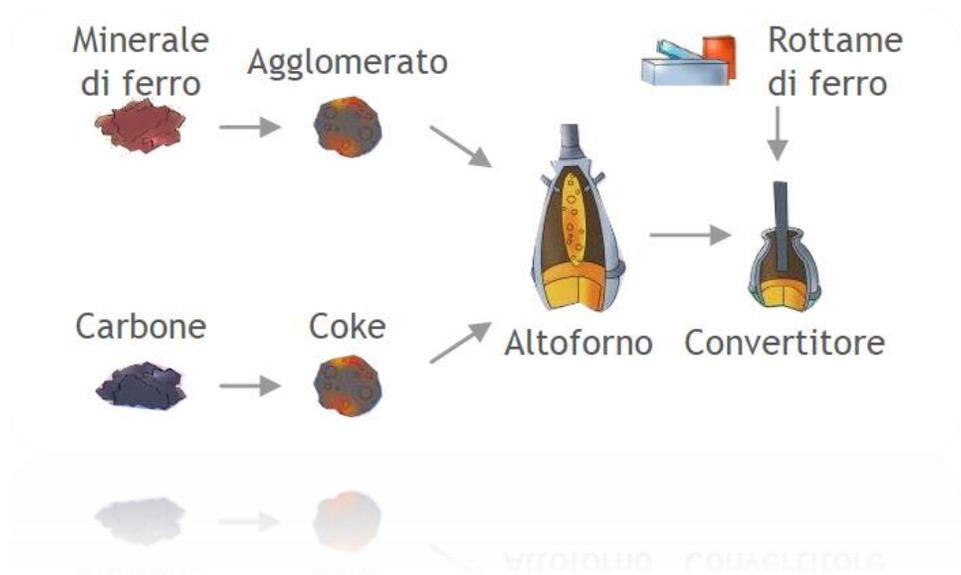




Carlo Mapelli

PROFESSORE ORDINARIO POLITECNICO DI MILANO







Materie prime

- > Carattere energetico/riducente
 - Carboni/Coke
 - Gas Naturale
 - Ossigeno
 - Idrogeno (?)
- > Fondenti
 - CaCO₃/CaO
- > Refrattari
- > Materie prime metallifere/metalliche
 - Minerali
 - Ghisa
 - Spugna di ferro (DRI/HBI)
 - Rottami
 - Alliganti/Ferroleghie



I carboni



Antracite

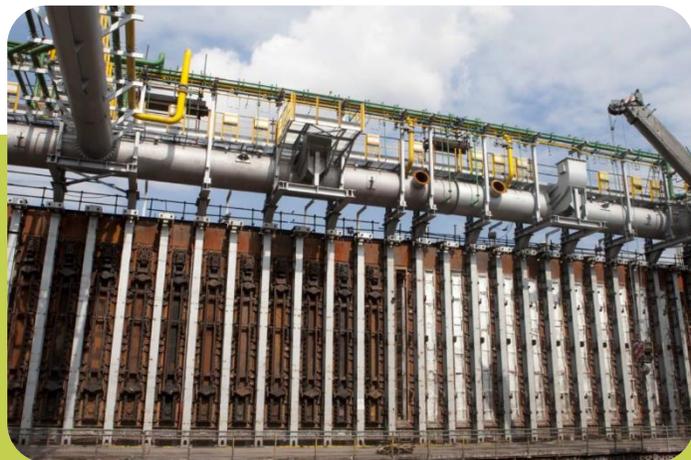
Composizione dei carboni fossili

| Tipo | Composizione (% in peso)* | | | | | | Potere cal. Kcal/g |
|------------|---------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------------------|
| | C | H | O | N | Volatili | Umidità | |
| Torba | 45-60 | 3,5-6,8 | 20-45 | 0,8-3,0 | 45-75 | 70-90 | 4,1-5,3 |
| Lignite | 60-75 | 4,5-5,5 | 17-35 | 0,8-2,1 | 45-60 | 30-50 | 6,7-7,2 |
| Litantrace | 75-92 | 4,0-5,5 | 3,0-20 | 0,7-2,0 | 11-50 | 1,0-20 | 6,9-8,8 |
| Antracite | 92-95 | 2,9-4,0 | 2,0-3,0 | 0,5-2,0 | 3,5-10 | 1,5-3,5 | 8,6-8,9 |

*calcolata sul carbone secco (con l'eccezione del valore di umidità)



Lignite

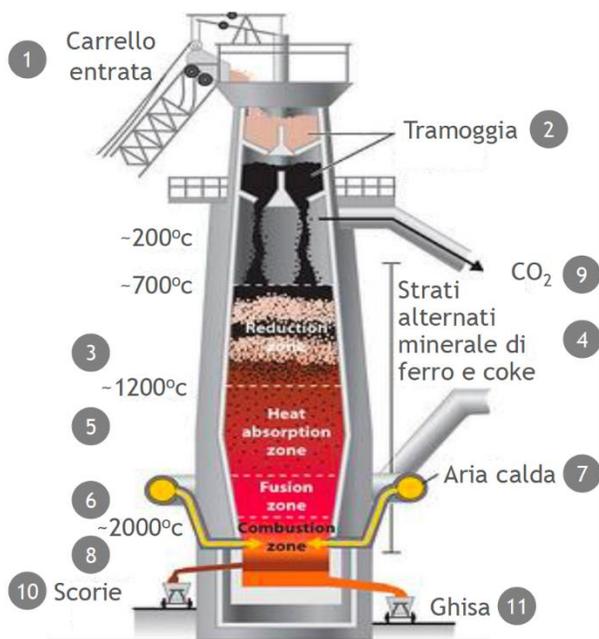


La cokefazione

- ▶ 100 °C evaporazione dell'acqua igroscopica.
- ▶ 200 °C inizio della decomposizione del carbone.
- ▶ 250-340 °C inizio di sviluppo di gas combustibili e rammollimento.
- ▶ 290 °C decomposizione dei bitumi oleosi.
- ▶ 325-450 °C sviluppo del carbone primario.
- ▶ 350-600 °C il carbone è caratterizzato da una significativa pastosità.
- ▶ 600 °C termina lo sviluppo del catrame e il processo di solidificazione della massa pastosa con formazione del cosiddetto semi-coke.
- ▶ 1000-1100 °C il processo di cokizzazione si completa realizzando una tipica consistenza porosa.



Consumi di coke e carbone



- 1 Utilizzato per caricate materie prime nell'altoforno
- 2 Distribuisce le materie prime uniformemente
- 3 Da avvio alla conversione dell'ossido di ferro in ferro
- 4 Durante la reazione, strati alternati di ferro e coke
- 5 Assorbimento calore prodotto da combustione del coke
- 6 Fusione materiali grazie al calore
- 7 Iniezione continua di aria calda per combustione coke
- 8 Combustione coke e formazione di CO / CO₂
- 9 Gas di condotto in uscita dal forno
- 10 Formazione loppa d'altoforno (sottoprodotto)
- 11 Ghisa in uscita dal foro di colata sul fondo dell'altoforno

510kg/t
310-360kg_{coke}/t_{ghisa}
200-150kg_{polverino_tubi}/t_{ghisa}

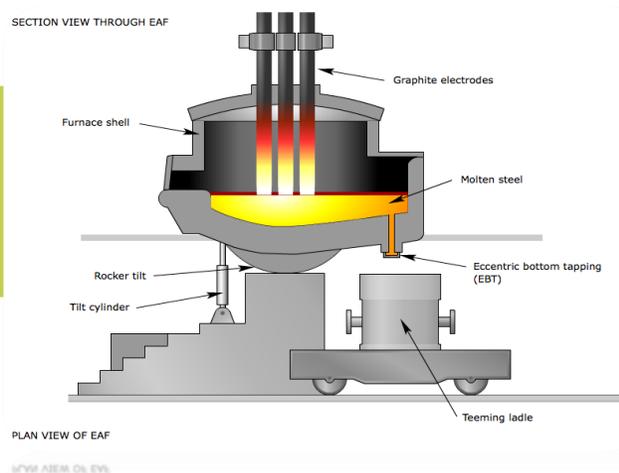
Fattori che determinano qualità e costo:

- Pezzatura
- CRI (Indice di Reazione del Coke)
- CSR (Resistenza del Coke dopo Reazione)



I carboni (pet coke e pece)

sono anche la materia prima per la costruzione degli elettrodi dei forni elettrici



Si consumano $0.8-1.2\text{kg}_{\text{elettrodo}}/\text{t}_{\text{acciaio}}$

+

Carbone utilizzato come vettore energetico per ricarburare il bagno

$3-25\text{kg}_{\text{antracite/coke}}/\text{t}_{\text{acciaio}}$



Gas Naturale

Un altoforno può consumare da $75-200\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{ghisa}}$ di gas naturale (Processo usato negli USA) in sostituzione del polverino.

I preriduttori consumano $270-300\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{DRI}}$

EAF consuma da $15-20\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{acciaio}}$

I forni di riscaldamento a servizio dei laminatoi consumano $25-30\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{acciaio}}$





Calcare e Calce



Il calcare si usa direttamente negli altoforni per calmierare la temperatura e equilibrare la presenza della silice che renderebbe la scoria troppo viscosa.

Consumo di calcare: 25-30kg/t_{ghisa}

Nei forni elettrici e nei forni di conversione della ghisa in acciaio la CaO si usa per rimuovere il fosforo (defosforazione).

EAF: 25-90kg/t_{acciaio}

BOS-BOF: 30-67kg/t_{acciaio}

Negli impianti di metallurgia secondaria (forni siviera) la CaO si usa per rimuovere lo zolfo.

SENZA CALCARE E CALCE NON SI PUÒ PRODURRE ACCIAIO



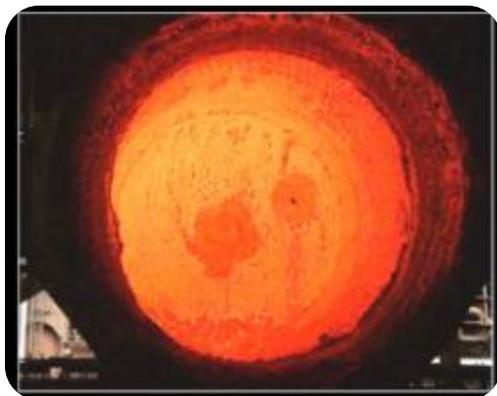
(UNICALCE - Brembilla)







I refrattari



Sono materiali di natura ceramica.
Devono proteggere dal calore e dal metallo liquido
la carpenteria metallica degli impianti.

Evitano eccessive dispersioni del calore.

Devono resistere all'aggressione chimica delle scorie.

Refrattari ricchi in silice (SiO_2) ed allumina (Al_2O_3)
si utilizzano per gli altoforni.

Refrattari a base di magnesite o calce-magnesiaca
($\text{MgO} \cdot \text{CaO}$, es. dolomite) sono utilizzati nei convertitori
ad ossigeno, nei forni elettrici e nei forni siviera.

Si devono sempre usare refrattari con composizioni
chimiche analoghe alle scorie con cui sono in contatto!

L'approvvigionamento dei refrattari e la loro
manutenzione è uno dei costi vivi più significativi
dell'esercizio siderurgico e la loro qualità impatta
significativamente sulla sicurezza.

Consumo BOS/BOF-EAF: $5\text{-}50\text{kg/t}_{\text{acciaio}}$



Minerali Ferrosi



| | |
|---|--|
| Magnetite (Ferro magnetico) | Fe_3O_4 |
| Maghemite | $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ |
| Hematite (Ematite rossa o ferro oligisto) | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ |
| Limonite (Ematite bruna) | $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ |
| Siderite (Ferro spatico) | FeCO_3 |
| Pyrite | FeS_2 |

I più utilizzati sono Hematite e Maghemite



MACINATO E ARRICCHITO



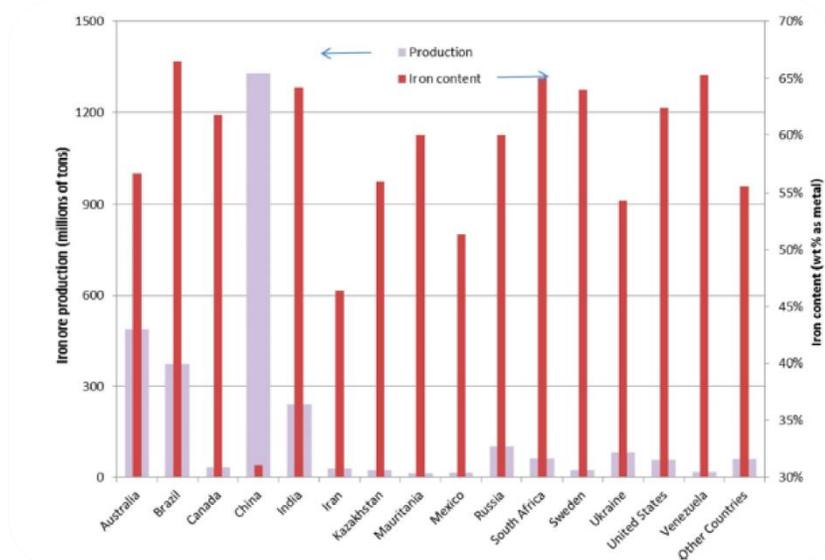
SINTERIZZATO



LUMP



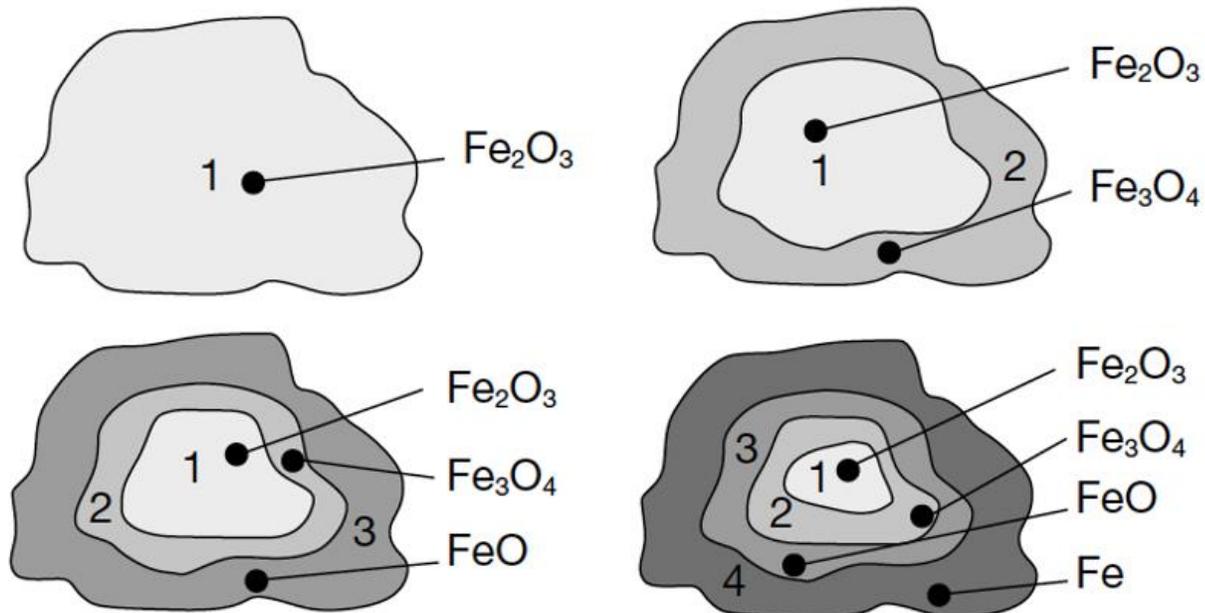
PELLETS



Chemical composition of iron ores from various countries, wt. %

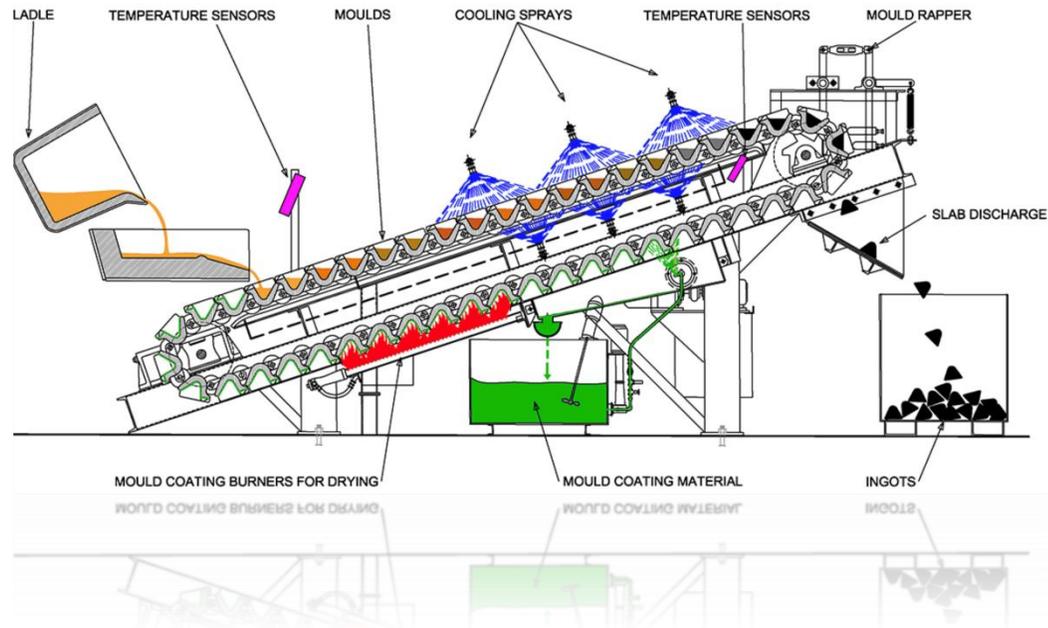
| Country | Ore, district | Fe | Mn | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | P | S |
|----------------|---------------|-------|------|------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|
| Australia | Goldsworthy | 63.2 | - | 4.9 | 1.6 | - | - | 0.035 | - |
| Belgium | Minette | 38.7 | 0.3 | 15.7 | 6.1 | 5.6 | 1.6 | 0.9 | - |
| Brazil | Itabira | 68.9 | 0.05 | 0.35 | 0.6 | - | - | 0.03 | 0.01 |
| Brazil | Carajas | ? | | | | | | | |
| Canada | Labrador | 64.7 | 1.03 | 6.3 | 1.1 | - | - | 0.08 | 0.01 |
| India | Goa | 57.8 | - | 2.5 | 6.5 | 0.7 | 0.3 | 0.04 | 0.02 |
| India | Rajhara | 64.5 | 0.01 | 3.58 | 2.46 | - | - | - | - |
| Kazakhstan | Kustanay | 45.6 | 0.16 | 15.2 | 4.7 | 6.2 | 3.0 | 0.13 | 4.04 |
| Liberia | Bomi Hills | 69.5 | 0.15 | 0.1 | 0.2 | 0.02 | 0.15 | 0.05 | - |
| Peru | Marcona | 60.5 | 0.02 | 7.0 | 1.2 | 1.0 | 0.15 | 0.09 | 0.03 |
| Russia | Olenegorsk | 32.5 | 0.03 | 43.0 | 0.25 | 2.41 | 1.52 | 0.04 | 0.04 |
| Russia | Kursk | 33.2 | 0.17 | 44.0 | 3.9 | 2.3 | 2.1 | 0.15 | 0.07 |
| South Africa | Thabazimbi | 66.6 | 0.20 | 3.5 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.025 | - |
| South Africa | Pretoria | 50.0 | 0.20 | 20.0 | 4.0 | 0.3 | 0.2 | 0.10 | - |
| Spain | Bilbao | 51.83 | 0.84 | 11.76 | 1.7 | 0.05 | 0.14 | 0.048 | 0.025 |
| Sweden | Kiruna | 66.5 | 0.1 | 1.9 | 0.5 | 2.3 | 0.9 | 0.5 | 0.005 |
| United Kingdom | Oxfordshire | 31.3 | 0.27 | 11.44 | 9.79 | 0.74 | 0.51 | 0.33 | 0.028 |
| Ukraine | Krivoi Rog | 55.0 | 0.06 | 17.0 | 2.4 | 0.2 | 0.1 | 0.06 | 0.02 |
| Ukraine | Kerch | 40.8 | 2.21 | 19.2 | 5.1 | 2.0 | 1.1 | 1.06 | 0.13 |
| USA | Mesabi | 57.5 | 0.5 | 10.1 | 0.7 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.01 |
| Venezuela | Cerro Boliver | 63.7 | 0.02 | 0.75 | 1.0 | 0.3 | 0.25 | 0.09 | 0.03 |

Concentrazioni in Fe e P sono parametri fondamentali per stabilire qualità e prezzo





Ghisa



4-4.3%C
Fonde a 1.148°C
È un significativo vettore di P e S





Rottami



Parametri fisico-chimici che governano la valorizzazione

Pezzatura

Composizione chimica (in particolare concentrazione di Cu e Sn)

Trascinamento di materiali inerti o di altri metalli

Densità apparente



ISIJ International, Vol. 57 (2017), No. 2, pp. 388–393

| Year | Country | Cr | Cu | Ni | Sn | Description on samples | Ref. |
|-----------|-------------|--------|-------|-------|-------|------------------------|------|
| 1954 | U.S. | 0.52*1 | 0.17 | 0.107 | 0.035 | Cold scrap shop only*3 | 12) |
| 1962 | U.S. | 0.71 | 0.151 | 0.085 | 0.017 | Cold scrap shop only*3 | 12) |
| 1977 | U.S. | 0.115 | 0.162 | 0.086 | 0.011 | Cold scrap shop only*3 | 12) |
| 1987 | Japan | 0.14 | 0.28 | 0.08 | 0.03 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 1989 | Japan | 0.159 | 0.327 | – | 0.024 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 1991 | Japan | 0.169 | 0.325 | – | 0.024 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 1996*2 | Japan | 0.158 | 0.297 | – | 0.031 | EAF steel scrap (n=50) | 8) |
| 1997 | Japan | 0.179 | 0.289 | – | 0.018 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 2001 | Japan | 0.174 | 0.288 | – | 0.019 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 2004 | Japan | 0.192 | 0.318 | – | 0.021 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 2007 | Japan | 0.185 | 0.281 | – | 0.020 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 2011 | Japan | 0.175 | 0.278 | 0.072 | 0.017 | EAF steel bar*5 (n=99) | 9) |
| 2011 | China | 0.093 | 0.034 | 0.048 | 0.012 | EAF steel bar (n=16) | 9) |
| 2013 | Japan | 0.201 | 0.284 | – | 0.019 | EAF steel bar*4 | 7) |
| 2011–2013 | Switzerland | – | 0.37 | – | 0.019 | EAF steel | 13) |

*1 The figure with one decimal place is illegible because of the age of the study. The number could be 0.32.

*2 Samples include new scrap and old scrap that might have been produced earlier.

*3 Survey procedures are unknown.

*4 Average of average contents of 32 EAF steels during the year obtained by questionnaire.

*5 Analyzed by a portable X-ray fluorescence analyzer.

Table 3. Contents of tramp elements by steel product forms produced in Japan.

| Steel product forms | Sample mean [%] | | | | | 90% confident interval for the population mean [±%] | | | | |
|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| | Cu | Sn | Cr | Ni | Mo | Cu | Sn | Cr | Ni | Mo |
| Rail | 0.165 | 0.000 | 0.215 | 0.063 | 0.021 | 0.041 | 0.000 | 0.066 | 0.020 | 0.007 |
| Sheet pile | 0.248 | 0.000 | 0.023 | 0.000 | 0.000 | – | – | – | – | – |
| Section | 0.176 | 0.003 | 0.109 | 0.055 | 0.016 | 0.019 | 0.001 | 0.013 | 0.006 | 0.002 |
| Bar | 0.269 | 0.015 | 0.175 | 0.078 | 0.014 | 0.013 | 0.002 | 0.010 | 0.005 | 0.001 |
| Wire rod | 0.016 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.002 | 0.013 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.002 |
| Plate and sheet | 0.039 | 0.001 | 0.048 | 0.014 | 0.003 | 0.017 | 0.001 | 0.020 | 0.006 | 0.001 |
| Pipe | 0.013 | 0.000 | 0.010 | 0.010 | 0.001 | 0.007 | 0.000 | 0.002 | 0.017 | 0.000 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pipe | 0.013 | 0.000 | 0.010 | 0.010 | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.013 | 0.000 |
| Plate and sheet | 0.039 | 0.001 | 0.048 | 0.014 | 0.003 | 0.017 | 0.001 | 0.020 | 0.006 | 0.001 |

Table 4. The amounts of tramp elements in alloys and coating weights of carbon steel produced in 2013 and the fractions of the total amounts of tramp elements to annual consumptions.

| Element | Total amounts [1 000 t] | Coating weights on carbon steel [1 000 t] | 90% confidence interval [1 000 t] | Fraction of 90% confidence intervals to the total amounts | Annual consumption ²⁴⁾ [1 000 t] | Fraction of the total amounts to the annual consumption (Numbers in parentheses are fractions for the amounts used in coatings) |
|---------|-------------------------|---|-----------------------------------|---|--|---|
| Cu | 54.6 | – | ±11.3 | ±21% | Electrolytic copper 1 516 | 3.6% |
| Sn | 4.65 | 2.7 | ±0.758 | ±16% | Electrolytic tin 1.1 Imported electrolytic tin 27.1 | 16.5% (9.4%) |
| Cr | 42.2 | –* | ±8.98 | ±21% | Imported Cr ore 16 Imported ferro-chrome 443 | 9.2% |
| Ni | 17.4 | 0.8 | ±4.56 | ±26% | Metal nickel 42 Ferro-nickel 69 | 15.7% (0.8%) |
| Mo | 3.80 | – | ±0.892 | ±24% | Imported calcined Mo ore 19.6 | 19.4% |

* The amounts of chromium used in coatings could not be evaluated.

| | | | | | | | |
|--|----|------|-----|--------|------|------------------------------------|-----------------|
| * The amounts of chromium used in coatings could not be evaluated. | Mo | 3.80 | – | ±0.892 | ±24% | Imported calcined Mo ore 19.6 | 19.4% |
| | Ni | 17.4 | 0.8 | ±4.56 | ±26% | Metal nickel 42 Ferro-nickel 69 | 15.7% (0.8%) |

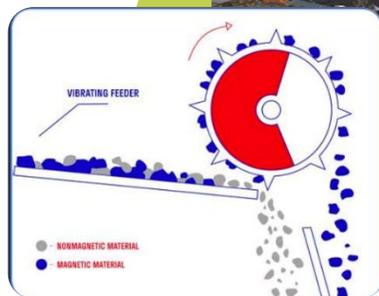


Selezione e preparazione dei rottami & sviluppo di servizi dedicati al miglioramento della qualità

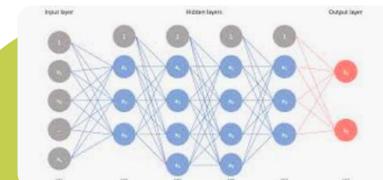
Macinazione



Selezione magnetica



**Selezione ottica automatica assistita
da sistemi di intelligenza artificiale**

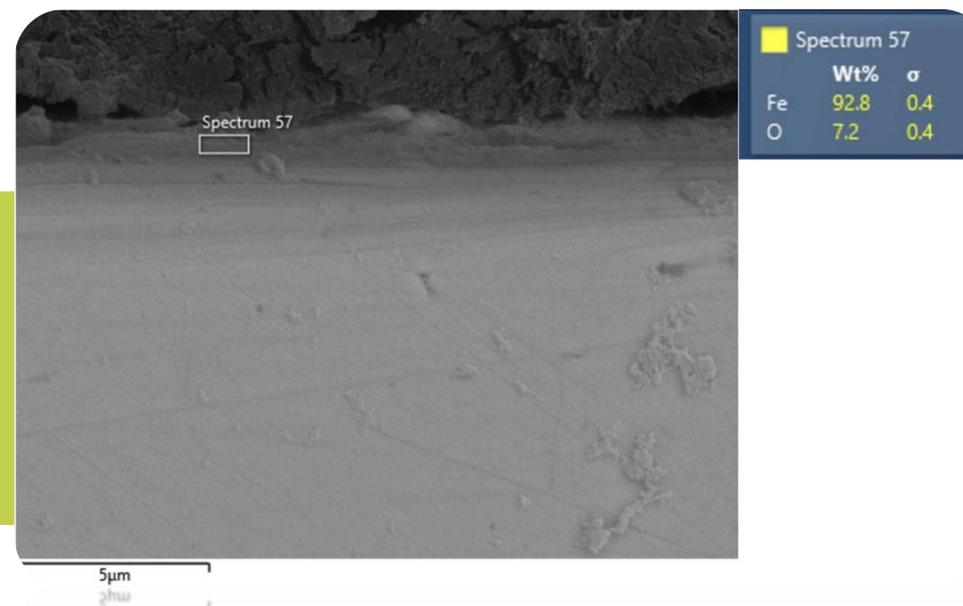
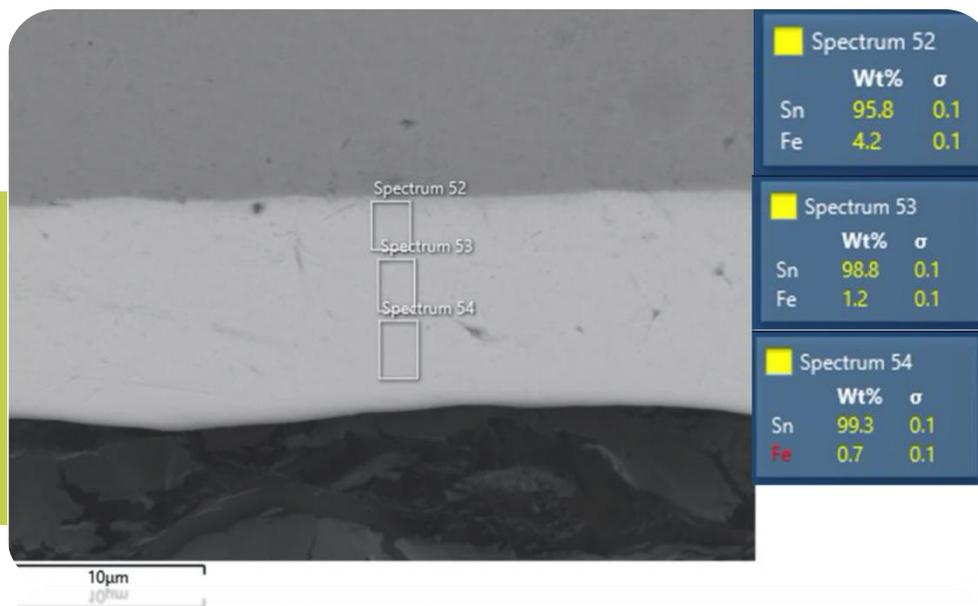


Selezione manuale





Studio di tecniche di rimozione di metalli pregiati (es. Stagno) che però inquinano la carica metallica





Spugna di Ferro DRI-HBI



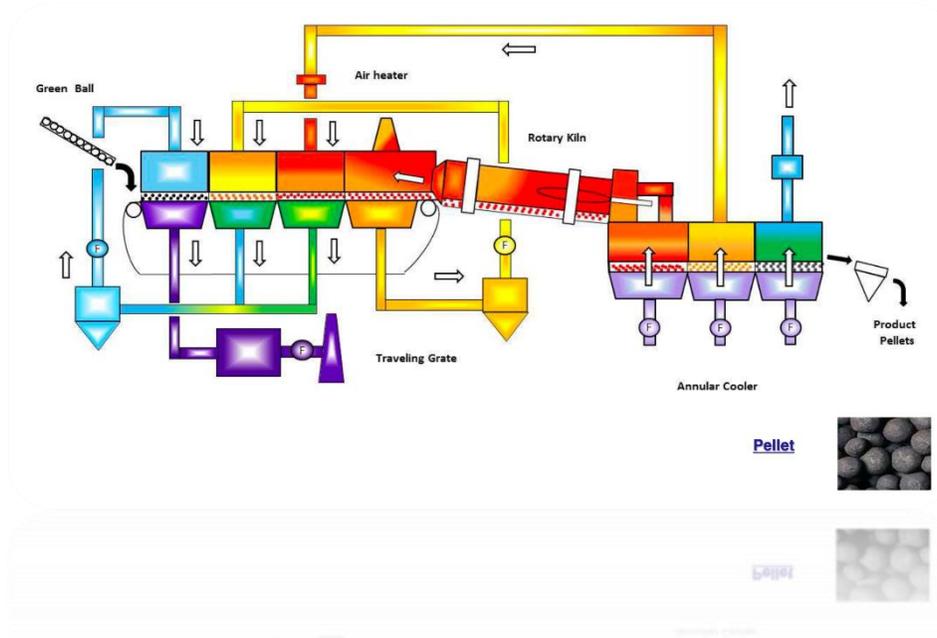
2019 Top 5 DRI Producing Nations

| COUNTRY | PRODUCTION (Million Tons) |
|--------------|---------------------------|
| India | 33.74 |
| Iran | 28.52 |
| Russia | 8.03 |
| Mexico | 5.97 |
| Saudi Arabia | 5.79 |

Source: World Steel Association, SIMA, and Midrex Technologies, Inc.



La voce più pesante (70-75%) del costo di trasformazione di DRI/HBI è il pellets di minerale

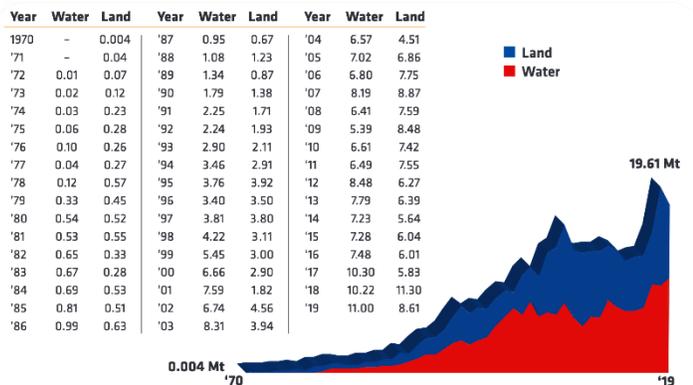
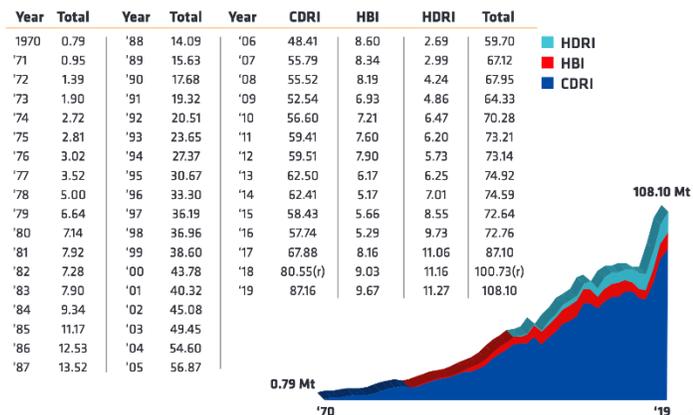


Impianto di pellettizzazione di VALE in OMAN



World DRI Production by Year (Mt)

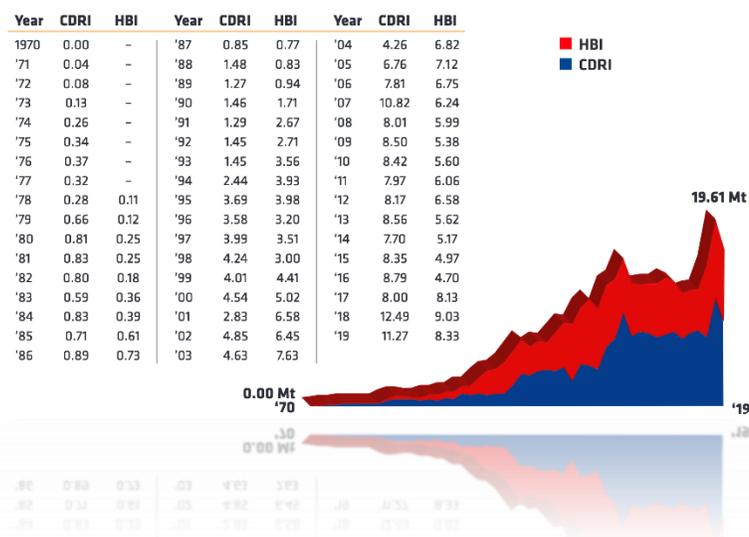
Source: Midrex Technologies, Inc.

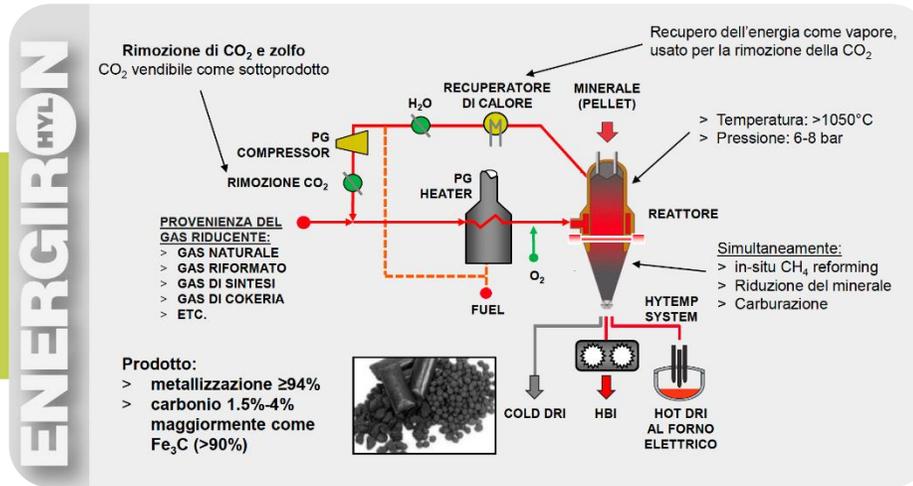


Note regarding land shipments: It is estimated that about 30% of the DRI produced in India is transported domestically to nearby melting furnaces. This tonnage is included in the figures given above.

World DRI Shipments (Mt)

Source: Midrex Technologies, Inc.





HyL - Energiron



Midrex - Algeria