

Le emissioni della siderurgia

LE EMISSIONI DI ANIDRIDE CARBONICA DELLA SIDERURGIA

16/06/2008

Domenico Capodilupo

1



Da dove proviene l'Anidride Carbonica – CO₂

Da dove proviene l'Anidride Carbonica – CO₂

- L'anidride carbonica è il prodotto della reazione di combustione del Carbonio con l'ossigeno che produce energia.
- La reazione chimica generale che ne descrive la formazione può scriversi:



- L'Ossigeno O₂ è presente nell'aria nella misura di circa il 21% e il carbonio C è presente in natura sotto varie forme sia di origine organica (Es. Legno, carbone, petrolio, metano) che minerale inorganica (Es. Calcare).
- Insieme con l'acqua il C e l'O₂ sono i costituenti principali di tutte le forme di vita
- La reazione sopradescritta è realizzata, volutamente, per produrre l'energia (termica ed elettrica) utilizzata per la nostra vita quotidiana e per i processi industriali.

Da dove proviene l'Anidride Carbonica – CO₂

L'industria siderurgica, ha bisogno di grosse quantità di energia ed utilizza, come fonte energetica, in larga misura, proprio l'ossidazione del Carbonio.

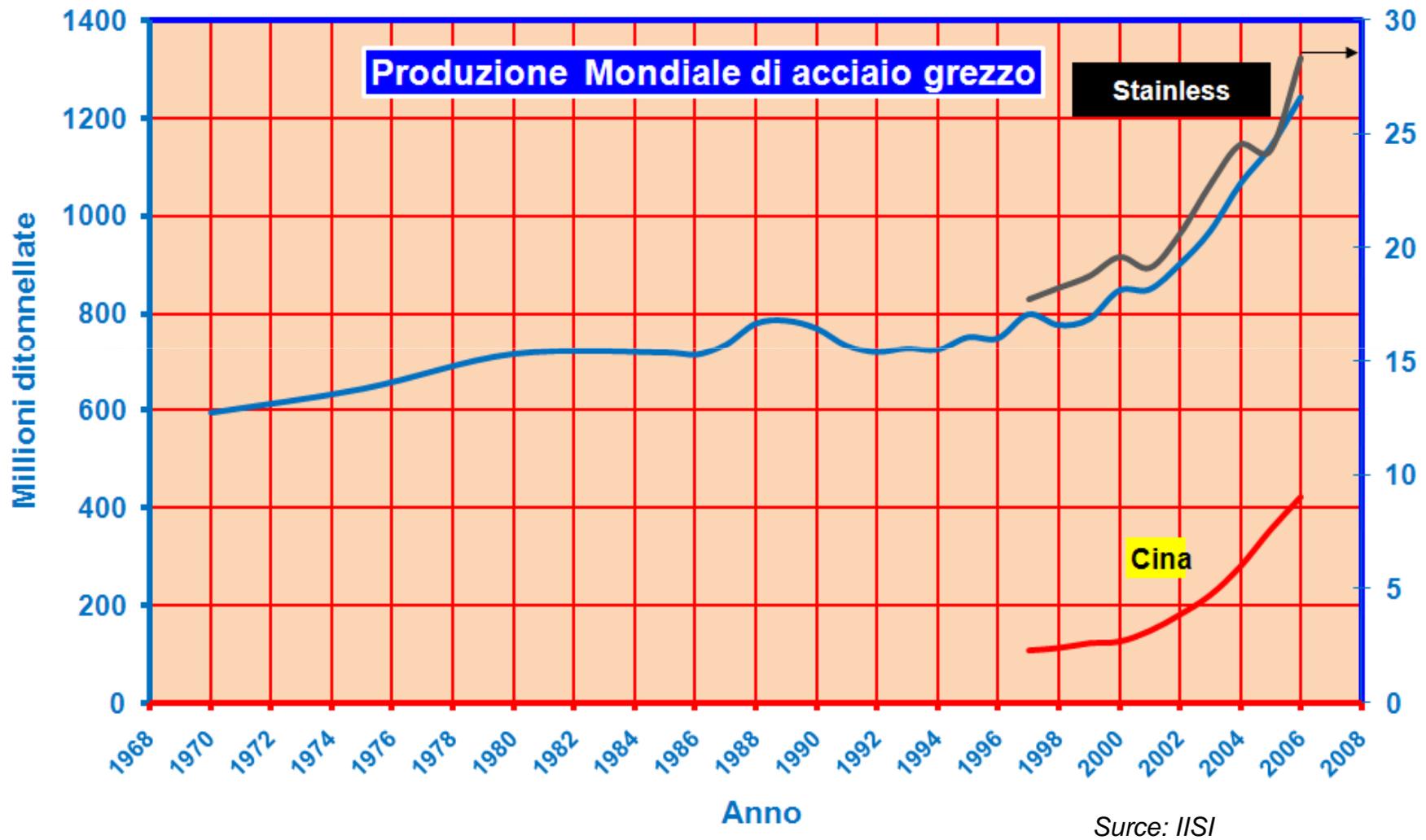
- Il carbonio, in siderurgia è usato, oltre che per l'energia, anche per rimuovere l'ossigeno dal minerale di ferro che, come noto, non esiste in natura in forma metallica, ma essenzialmente in forma di ossidi.
- I principali minerali, ossidi del ferro, sono: l'ematite (Fe₂O₃), la magnetite (Fe₃O₄) e la wurstite (FeO).
- In siderurgia quindi il carbonio svolge la duplice funzione di “fornire energia” e di “ridurre” a metallo i minerali di ferro
- La reazione chimica di riduzione è la seguente:



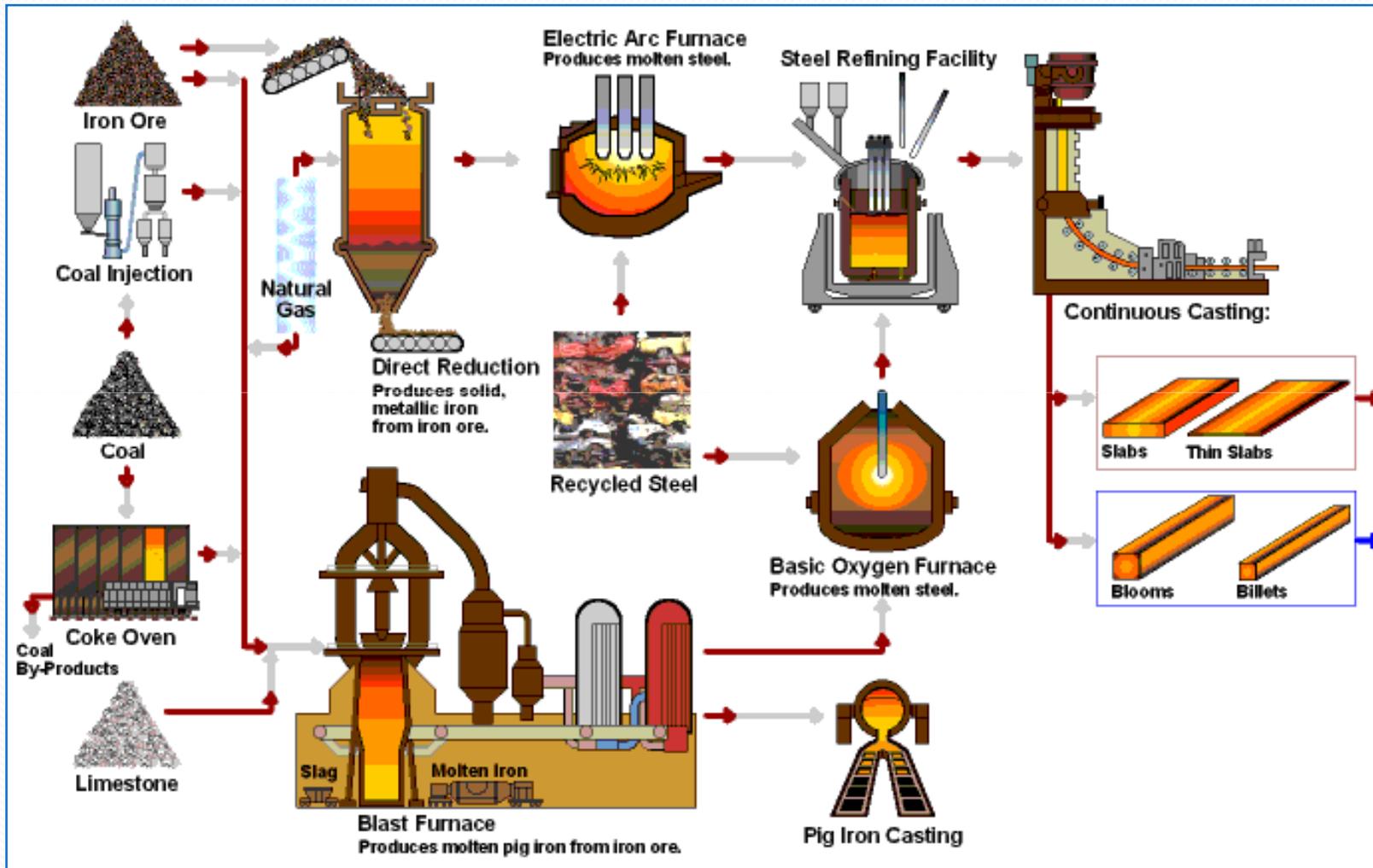


La Produzione di acciaio ed i cicli di produzione

La produzione mondiale di acciaio

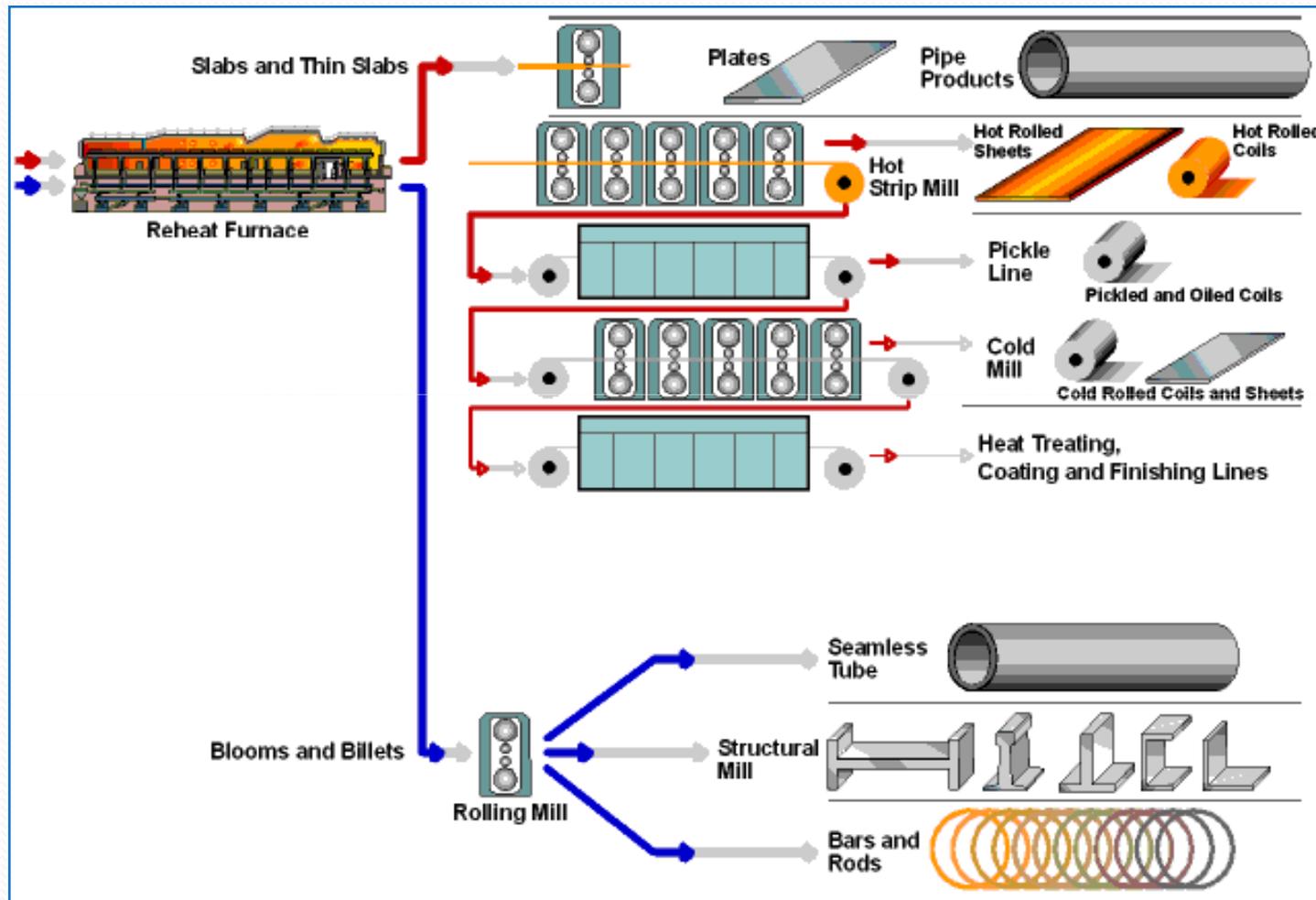


I cicli di produzione dell'acciaio



Surce: AISI- Learning center

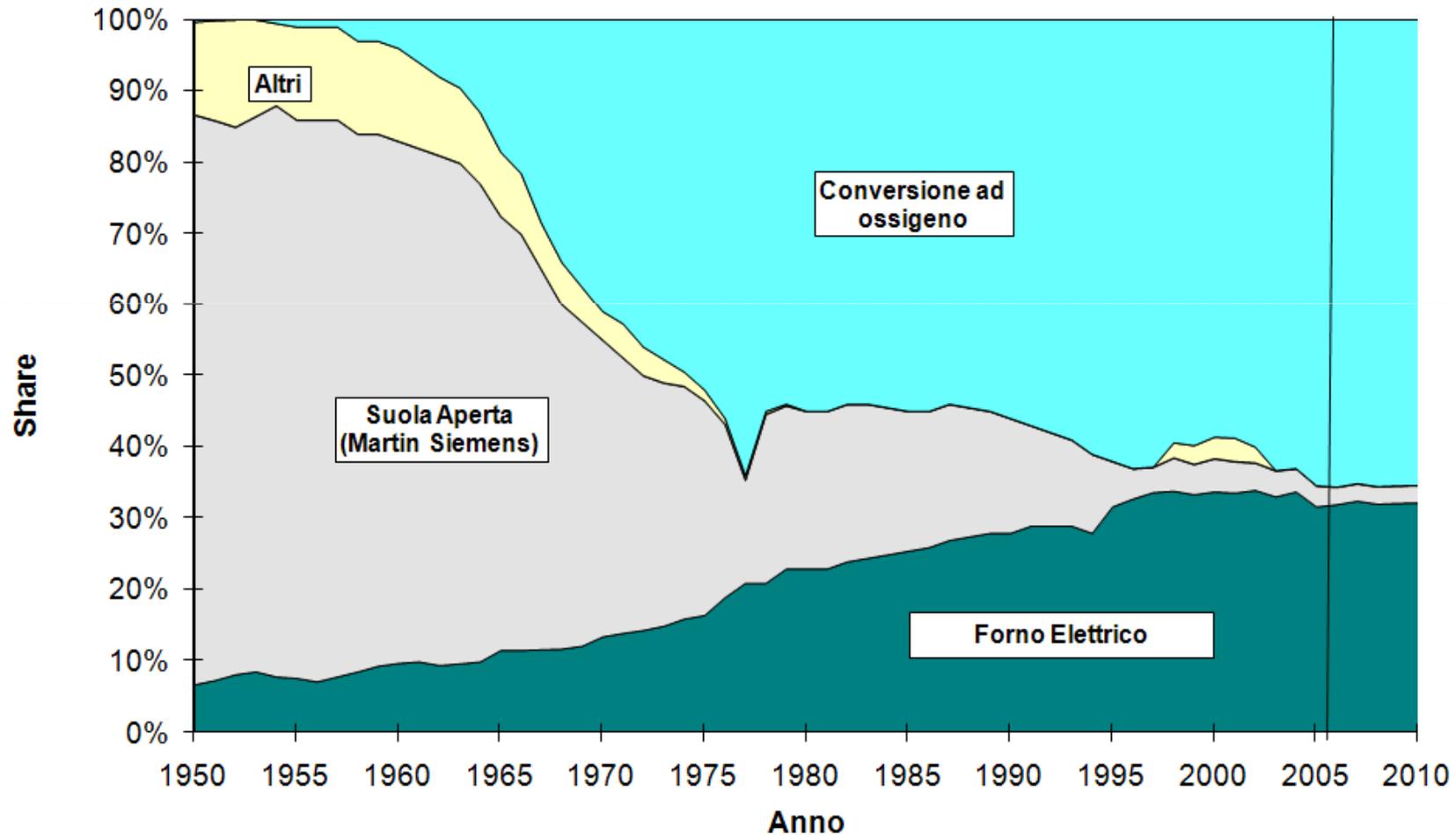
I cicli di produzione dell'acciaio



Surce: AISI- Learning center

La produzione mondiale di acciaio

Evoluzione dei processi di fabbricazione acciaio



Surce: IISI

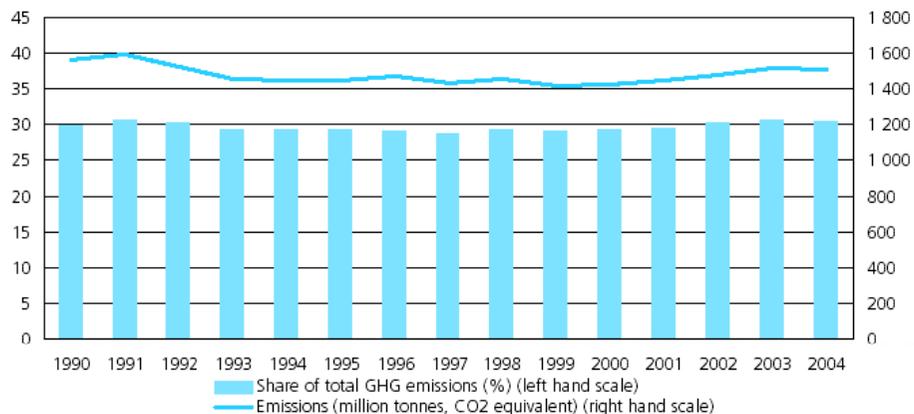


Le emissioni di CO₂ dell'industria siderurgica

Le emissioni di CO₂ dell'industria siderurgica

Figure 13.1

Greenhouse gas (GHG) emissions by energy industries, EU-25 (1)

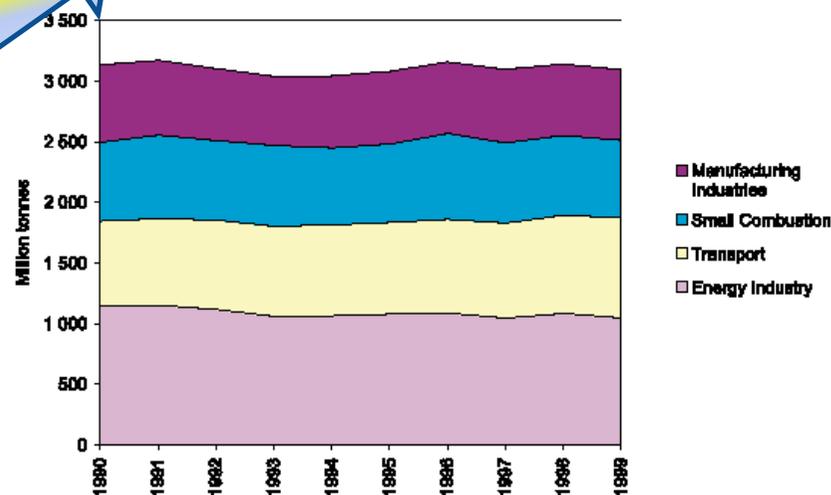


(1) Energy industries include: public electricity and heat production; petroleum refining; manufacture of solid fuels and other energy industries (IPCC common reporting format sector classification).
Source: Eurostat (Air emissions)

Source: European business Fact and figures -ISSN 1830-8147, 2007

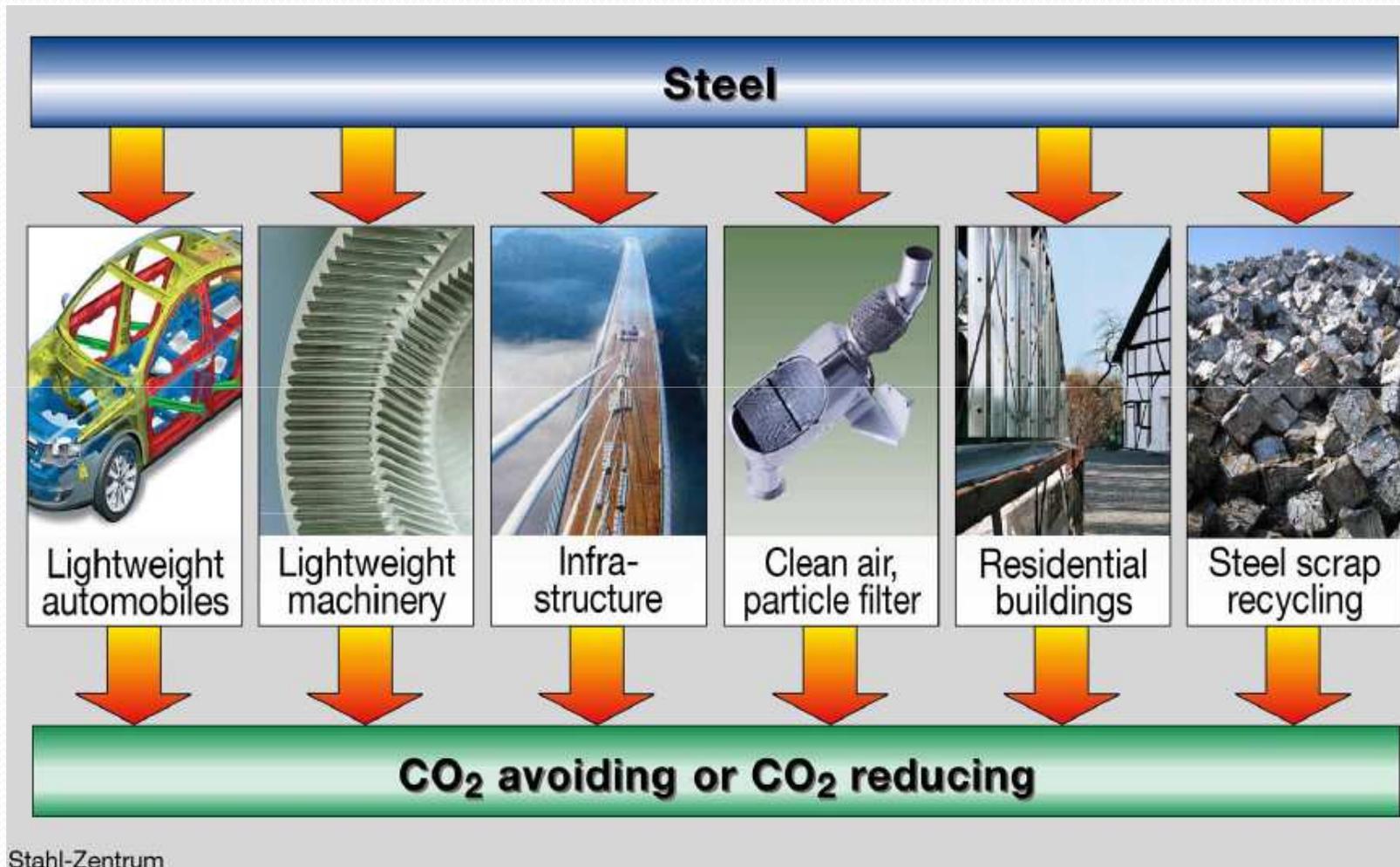


L'industria dell'acciaio fornisce un sostanzioso contributo alle emissioni "antropogeniche" di CO₂ e quindi va considerato un settore a se stante.



Source: EUROSTATISTICS -Energy and environment indicators - ISSN 1830-8147, 2007

L'acciaio per ridurre le emissioni di CO₂

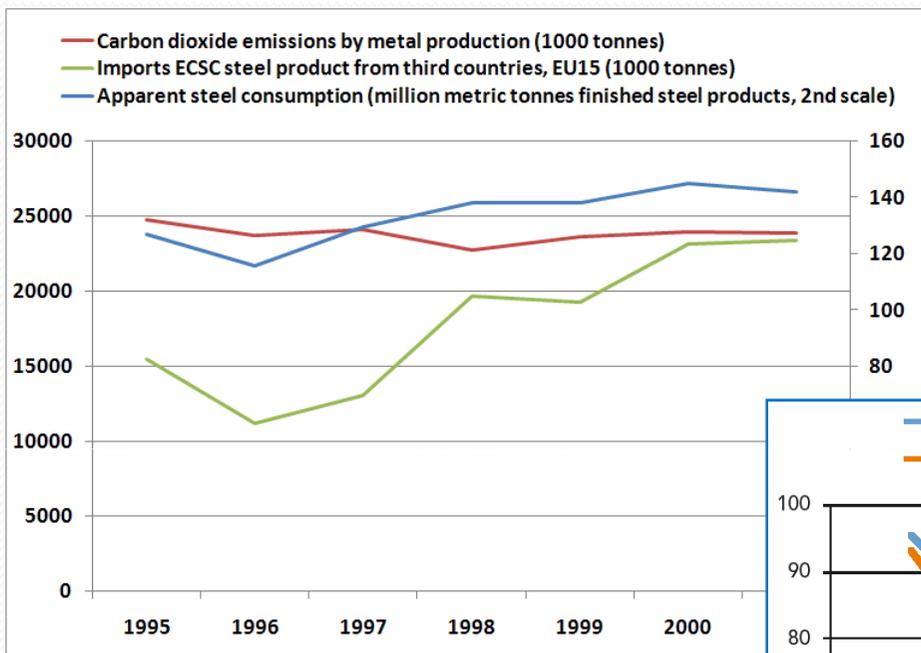


Stahl-Zentrum

Source: AISTech 2008 - The Iron & Steel Technology Conference and Exposition- Pittsburgh, May 5 - 8, 2008

Steel Institute VDEh Duesseldorf/Germany

Le emissioni di CO₂ dell'industria siderurgica



La CO₂ prodotta in paesi terzi ed importata dall'Europa

Surce: EEA European environment agency

La forte riduzione di CO₂ realizzata in siderurgia negli ultimi 30 anni.

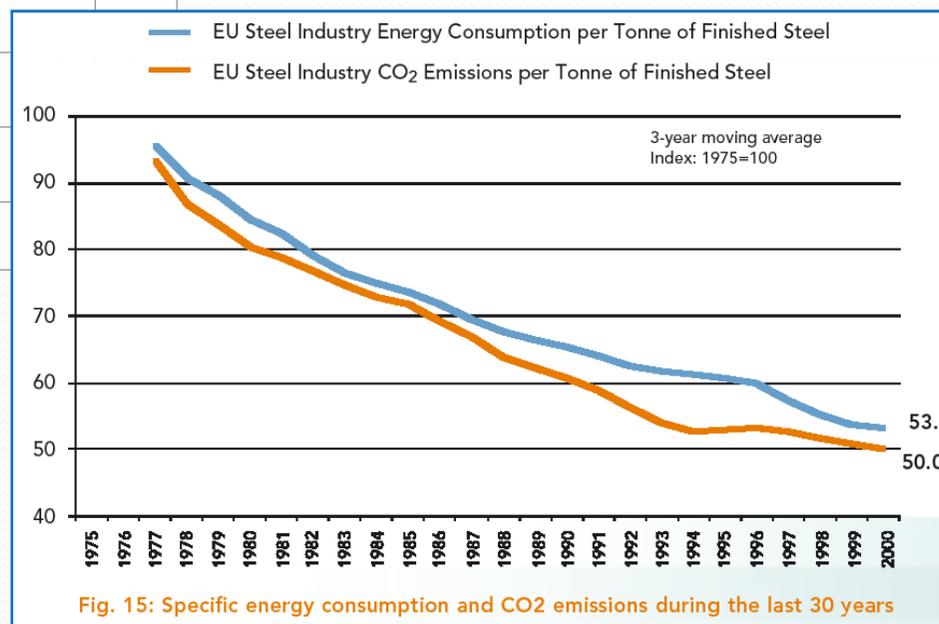


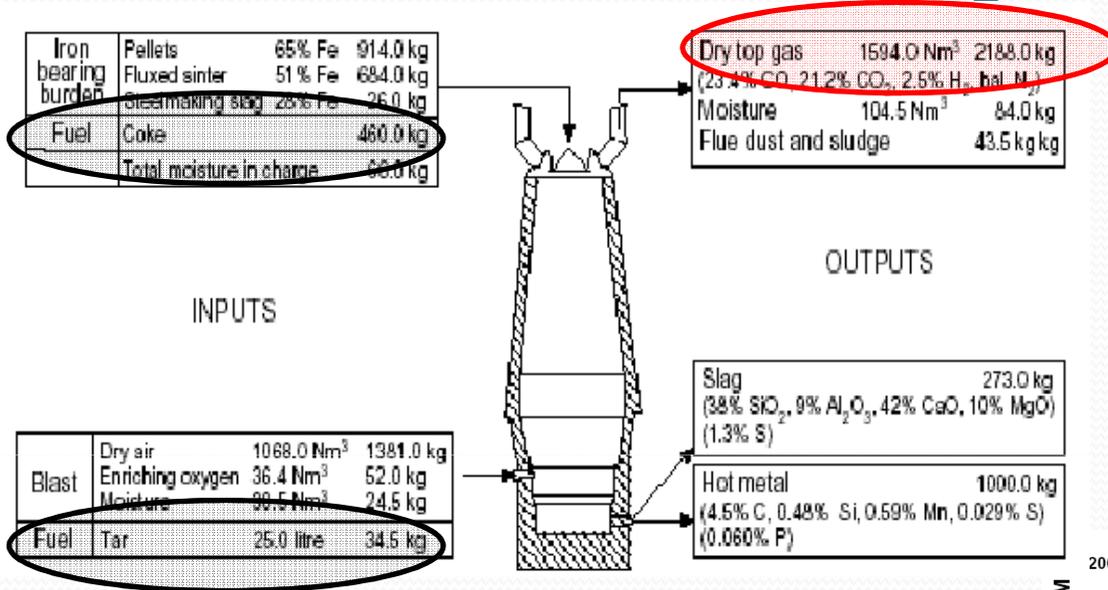
Fig. 15: Specific energy consumption and CO₂ emissions during the last 30 years

Surce: European Steel Technology Platform -ISBN 92-79-01283-5-March 2006



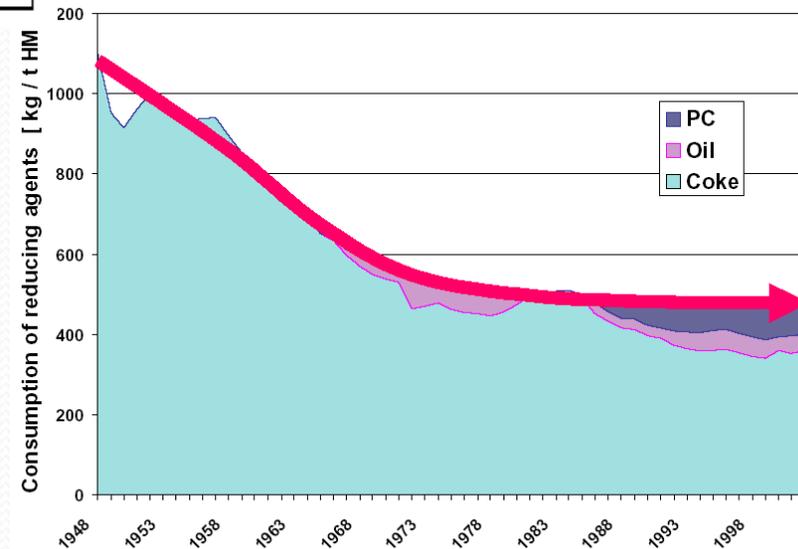
Le emissioni di CO₂ nel ciclo integrale (da minerale)

La riduzione di CO₂ in Alto forno (BF)

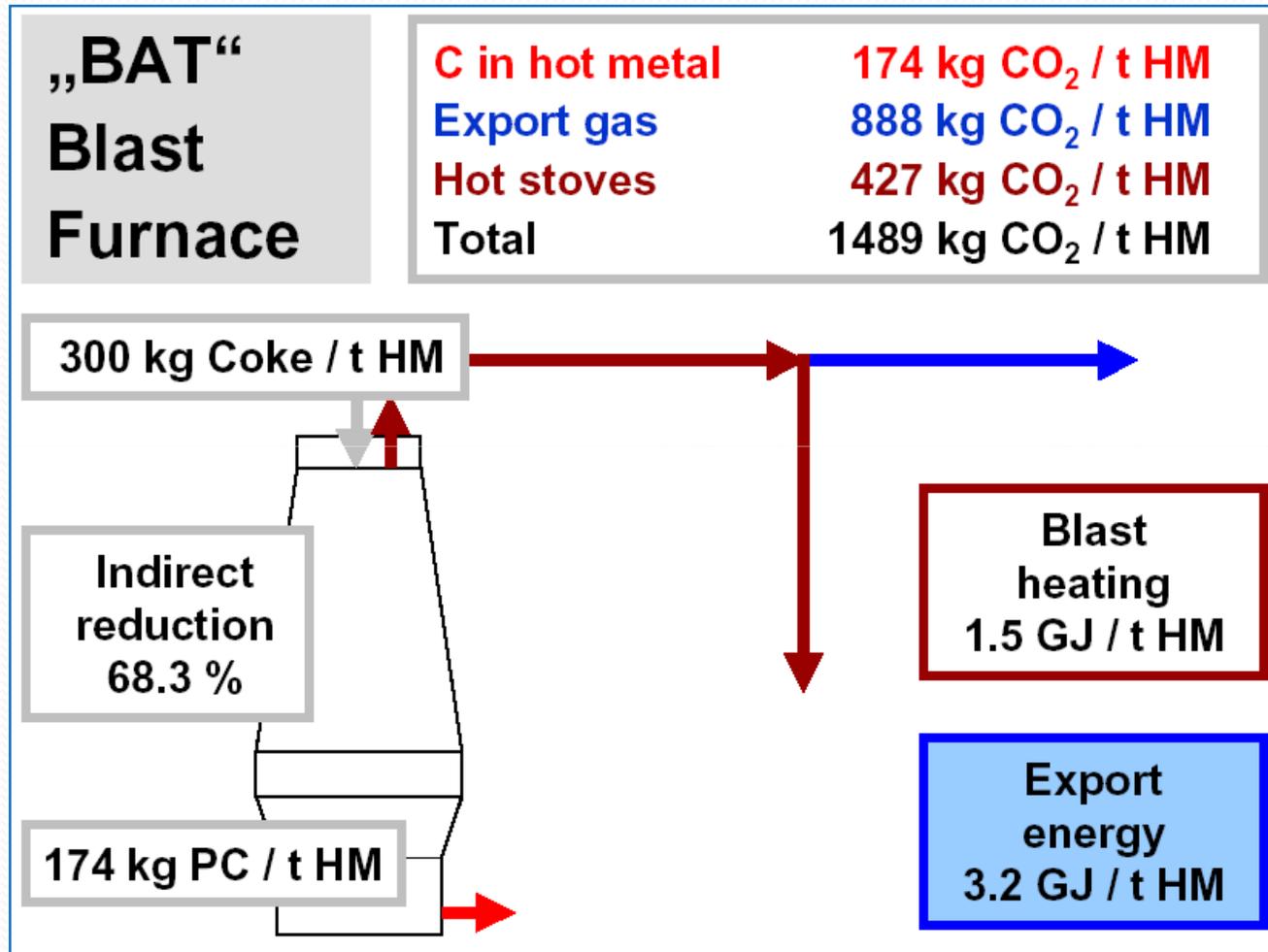


Il principale generatore di CO₂ è l'alto forno.

**Nell'alto forno entra una carica con circa il 50% di C e ne esce una ghisa contenente il 4.5 % di C.
Il resto del C è ossidato ed esce dall'altoforno come gas (CO) che viene combusto a CO₂ per generare energia**

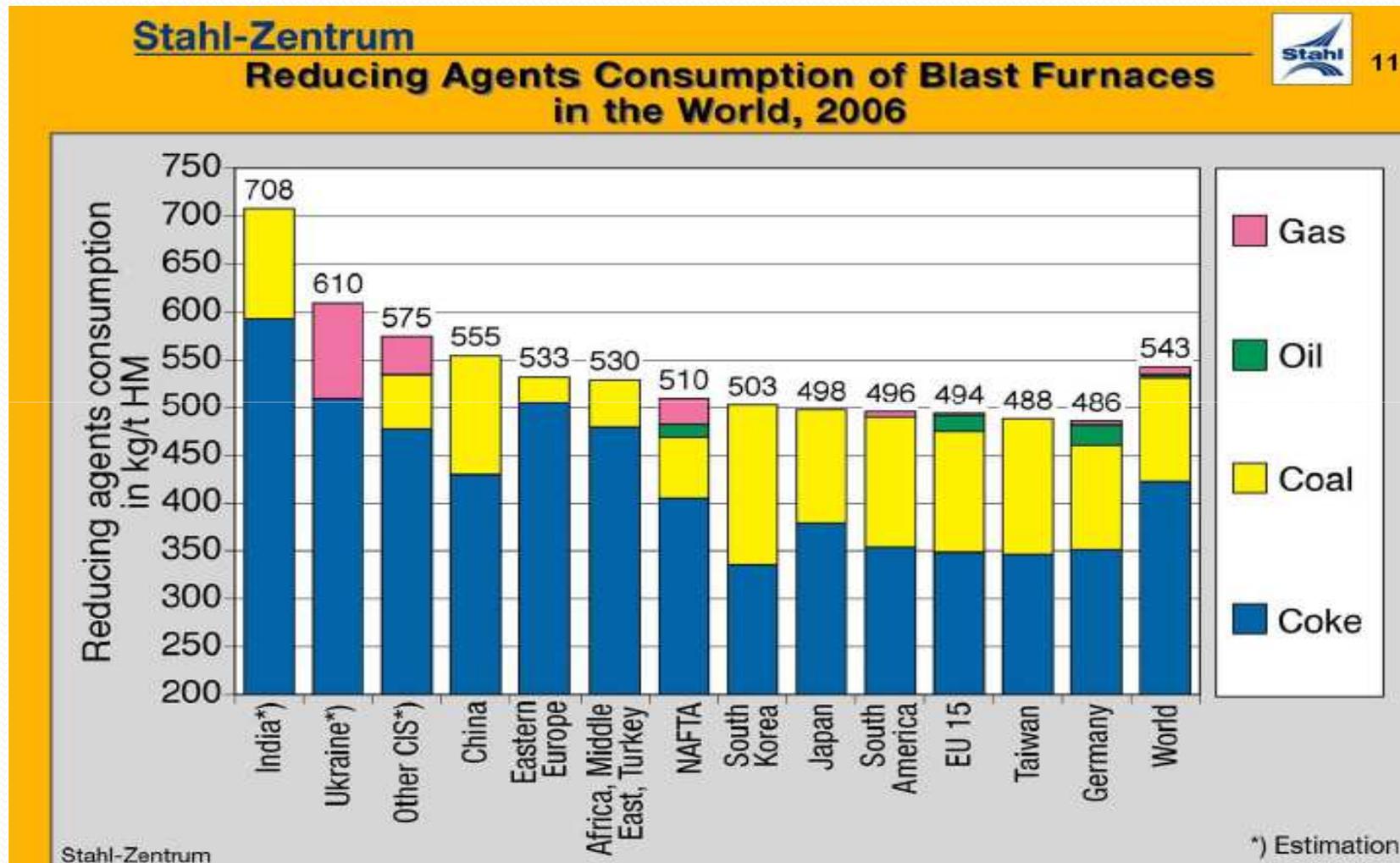


La riduzione di CO₂ in Alto forno (BF)



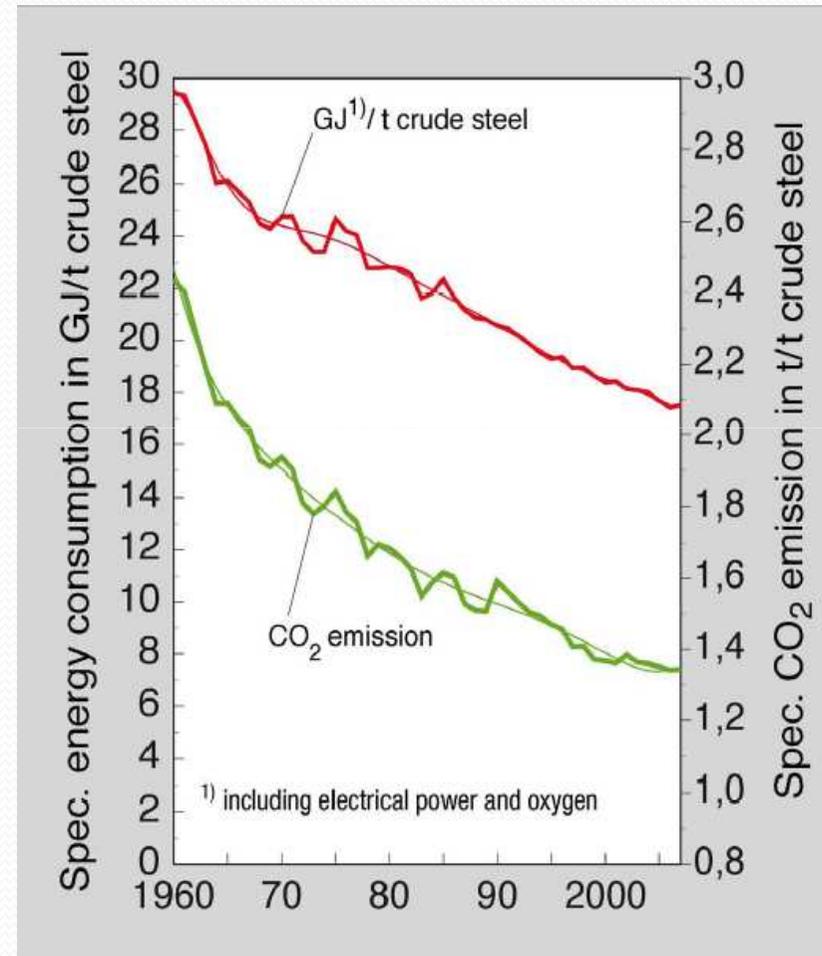
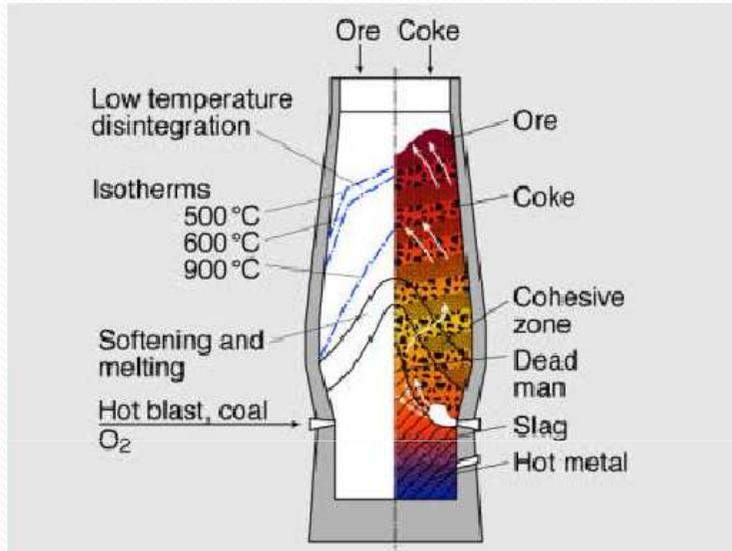
Source: Peter Schmöle and Hans Bodo Lüngen- Hot metal production in the blast furnace from an ecological point of view - 2nd International Meeting on Ironmaking and 1st International Symposium on Iron Ore, Vitoria, Brazil, 12 to 15 September, 2004

La riduzione di CO₂ in Alto forno (BF)



Source: AISTech 2008 - The Iron & Steel Technology Conference and Exposition- Pittsburgh, May 5 - 8, 2008 Steel Institute VDEh Duesseldorf/Germany

La riduzione di CO₂ in Alto forno (BF)



Energy Efficiency and CO₂ Emission of the German Steel Industry

Reduced CO₂ emission: comparison 1990/2007

-11.1 million t CO₂

Equal to 4.35 million middle-sized automobiles (15,000 km/a; 170g CO₂/km)

Surce: AISTech 2008 - The Iron & Steel Technology Conference and Exposition- Pittsburgh, May 5 - 8, 2008
Steel Institute VDEh Duesseldorf/Germany



Le emissioni di CO₂ nel ciclo da forno elettrico (da rottame)

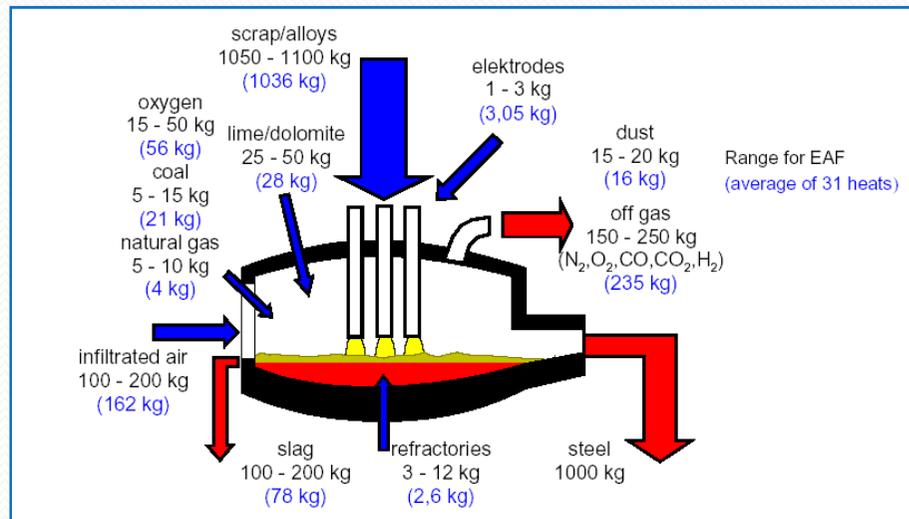
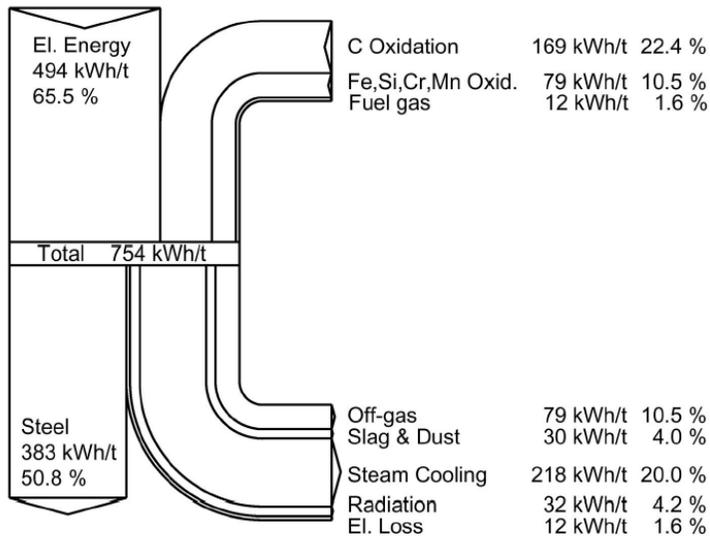
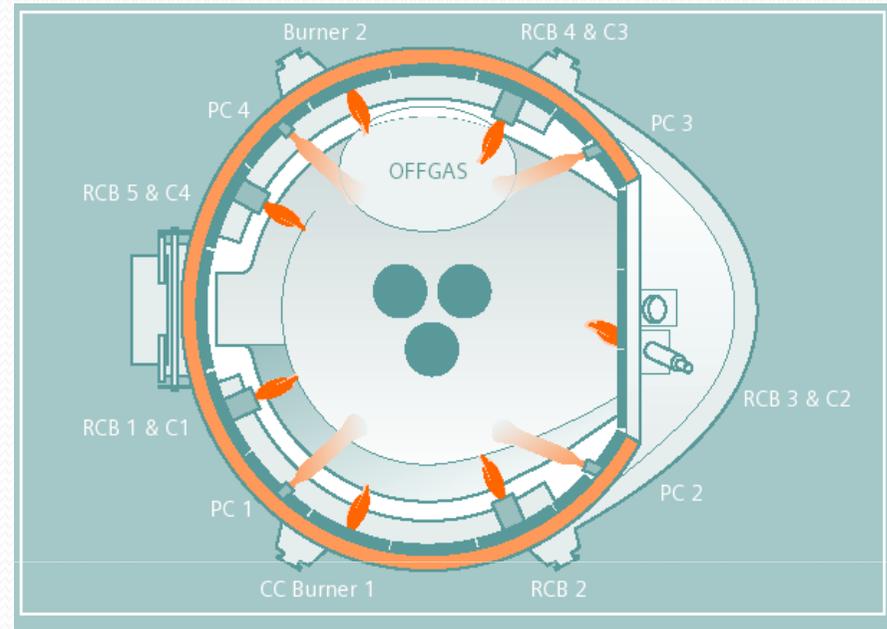
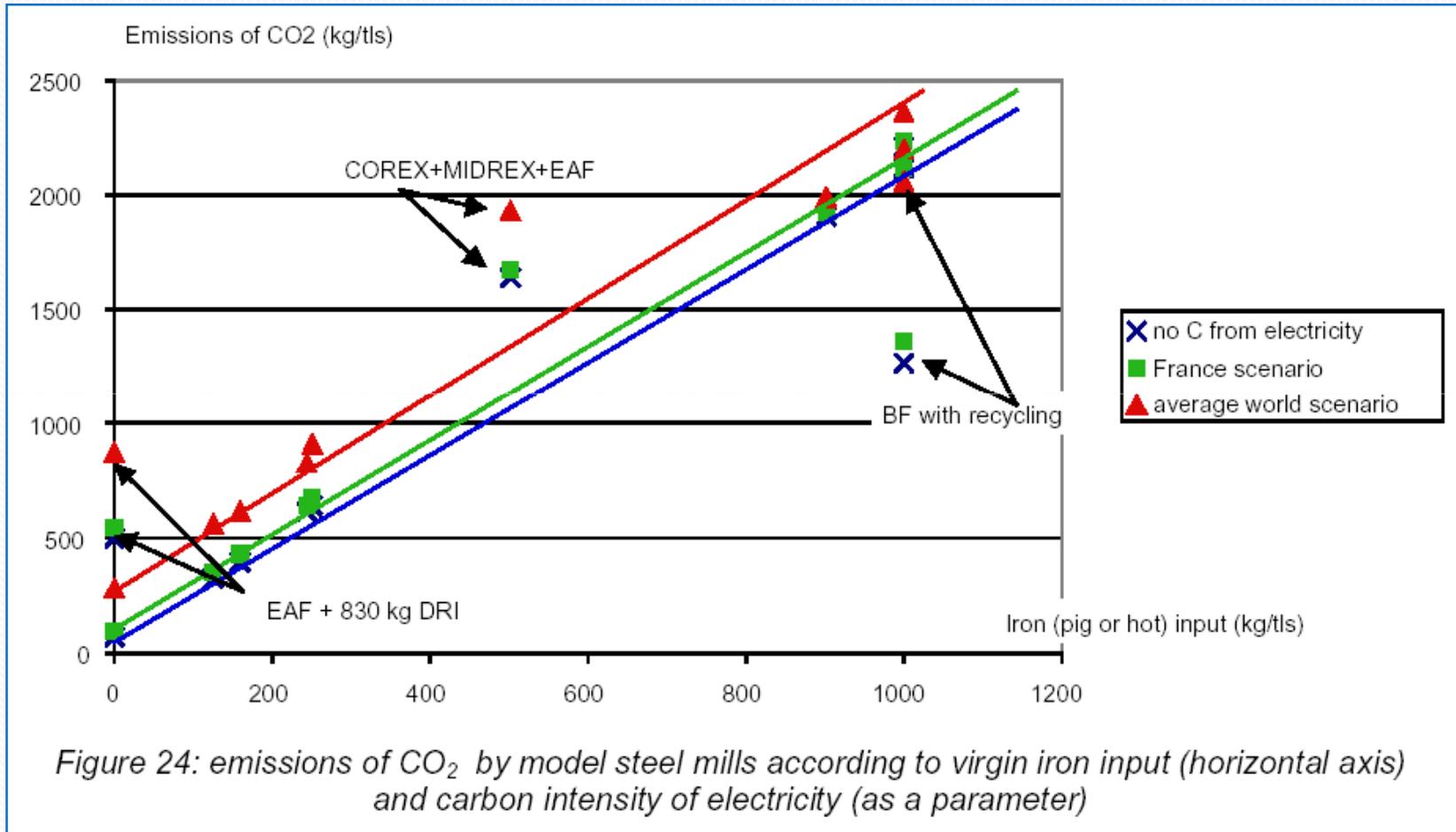


Fig. 11: Averaged energy balance for 24 heats (austenitic grades, 75t-EAF)

Il Ciclo da rottame produce meno CO₂



Source: Jean-Pierre BIRAT: Sustainable steelmaking paradigm for growth and development in the early 21st century

Il Ciclo da rottame produce meno CO₂

Table 1-16. Total Estimated Combustion-Related Emissions by Major Process in U.S. Steelmaking - 1998 ^{a,b}						
Process	Pollutant (1,000 tons)					
	SOx	NOx	CO	Particulate	VOCs	CO ₂
Cokemaking ^c	--	--	--	--	--	3,029
Sintering	20.2	7.7	2.5	5.8	0.1	2,050
Ironmaking ^d	834.0	320.8	101.5	236.1	2.0	59,800
BOF Steelmaking ^e	9.5	4.9	1.5	2.7	0.1	14,720
EAF Steelmaking ^e	162.9	62.5	19.9	44.9	0.5	24,820
Casting	27.3	10.8	3.4	7.5	0.09	2,813.8
Ingot Casting	5.5	2.5	0.8	1.5	0.03	841.0
Continuous Casting	21.8	8.3	2.6	6.0	0.06	1,972.8
SUBTOTAL	1,181.4	454.3	142.8	328.7	3.2	107,233
Other Processes (reheating, rolling, finishing) ^e	117.2	63.3	20.0	37.0	0.9	40,253
TOTAL	1,298.6	517.6	162.8	365.7	4.1	147,486

Source: Energy and Environmental Profile of the U.S. Iron and Steel Industry - U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies - DOE/EE-0229 - 2000

Il Ciclo da rottame produce meno CO₂

Table A-2. Absolute Theoretical Minimum CO₂ Emissions for Producing Steel from Pure Ore (Fe₂O₃) and Pure Scrap (Fe)

Raw Material	Temperature (degrees K)	Carbon Emissions (kg CO ₂ /tonne)		
		Fuel = Carbon	Fuel = Natural Gas	Fuel = Electricity
Ore (Fe ₂ O ₃)	1813	960	475	1,494
	1873	966	478	1,503
Scrap (Fe)	1813	142	70	221
	1873	148	73	230

Notes: Based on theoretical minimum energy consumption shown in Table 1. Absolute theoretical minimum energy consumption is independent of fuel type and not based on any actual production process. Therefore, the three main sources of fuel have been used to calculate theoretical carbon emissions for each.

Source: R.J. Fruehan, *Theoretical Minimum Energies To Produce Steel for Selected Conditions* - Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA - May 2000,

Il Ciclo da rottame produce meno CO₂

VARIABLES FOR RANKING OF IRONMAKING PROCESSES - SORT ON PROCESS CO2

RANK	SEQ. NO.	PROCESS	PROCESS CO2 (mt/mt LS)
LOWEST THIRD			
1	2	100% STEEL SCRAP	0.0874
2	3	30% DRI, 1.0% C/70% SCRAP	0.4283
3	12	HISMELT 32.7% H.M.	0.8689
4	5	30% BF H.M./70% SCRAP CP COKE	0.8974
5	6	30% MINI-BF H.M.	0.8974
6	8	30% COLD PIG IRON/70% SCRAP	0.9027
7	4	HYLSA IVM	0.9086
MIDDLE THIRD			
8	7	30% BF H.M./70% SCRAP NR COKE	0.9594
9	1	100% DRI, 1.0% C, MIDREX	1.0514
10	18	FINMET/HBI/EAF	1.0742
11	14	MAUMEE BRIQUETTE DRI/EAF	1.1498
12	10	30% TECNORED H.M. W/O COGEN	1.1545
13	9	30% TECNORED H.M. W COGEN	1.1545
14	16	CIRCORED/HBI/EAF	1.1999
HIGHEST THIRD			
15	19	GENERIC IRON CARBIDE (100%)/EAF	1.2864
16	20	GENERIC I.C. (40%)/SAF/EAF	1.3320
17	13	REDSMELT	1.3624
18	15	ITMK3 DR SHOT TO EAF	1.5213
19	17	CIRCOFER/HBI/SAF/EAF	1.6404
20	21	SL/RN ROTARY KILN	2.2869
21	11	COREX/MIDREX WITH 60% H.M.	2.9239

Si va:
da 87 kg/t con solo rottame

Surce: LOCKWOOD GREENE TECHNOLOGIES -Ironmaking Process Alternatives Screening Study- Report prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government.-October 2000 -LG Job No. 010529.01

a 2900 kg/t partendo da minerale

Il Ciclo da rottame produce meno CO₂

VARIABLES FOR RANKING OF IRONMAKING PROCESSES - TOTAL CUMULATIVE CO₂

RANK	SEQ. NO.	PROCESS	TOTAL CO ₂ (mt/mt LS)
LOWEST THIRD			
1	2	100% STEEL SCRAP	0.8909
2	3	30% DRI, 1.0% C/70% SCRAP	1.3681
3	9	30% TECNORED H.M. W COGEN	1.4350
4	7	30% BF H.M./70% SCRAP NR COKE	1.5615
5	12	HISMELT 32.7% H.M.	1.6418
6	5	30% BF H.M./70% SCRAP CP COKE	1.6746
7	6	30% MINI-BF H.M.	1.6746
MIDDLE THIRD			
8	10	30% TECNORED H.M. W/O COGEN	1.7799
9	8	30% COLD PIG IRON/70% SCRAP	1.8170
10	18	FINMET/HBI/ EAF	1.9022
11	13	REDSMELT	1.9921
12	16	CIRCORED/HBI/ EAF	2.0217
13	14	MAUMEE BRIQUETTE DRI/ EAF	2.0310
14	4	HYLSA IVM	2.0646
HIGHEST THIRD			
15	20	GENERIC I.C. (40%)/SAF/ EAF	2.0648
16	19	GENERIC IRON CARBIDE (100%)/EAF	2.1738
17	1	100% DRI, 1.0% C, MIDREX	2.2617
18	15	ITMK3 DR SHOT TO EAF	2.2742
19	17	CIRCOFER/HBI/SAF/ EAF	2.3528
20	21	SL/RN ROTARY KILN	2.4988
21	11	COREX/MIDREX WITH 60% H.M.	3.7839

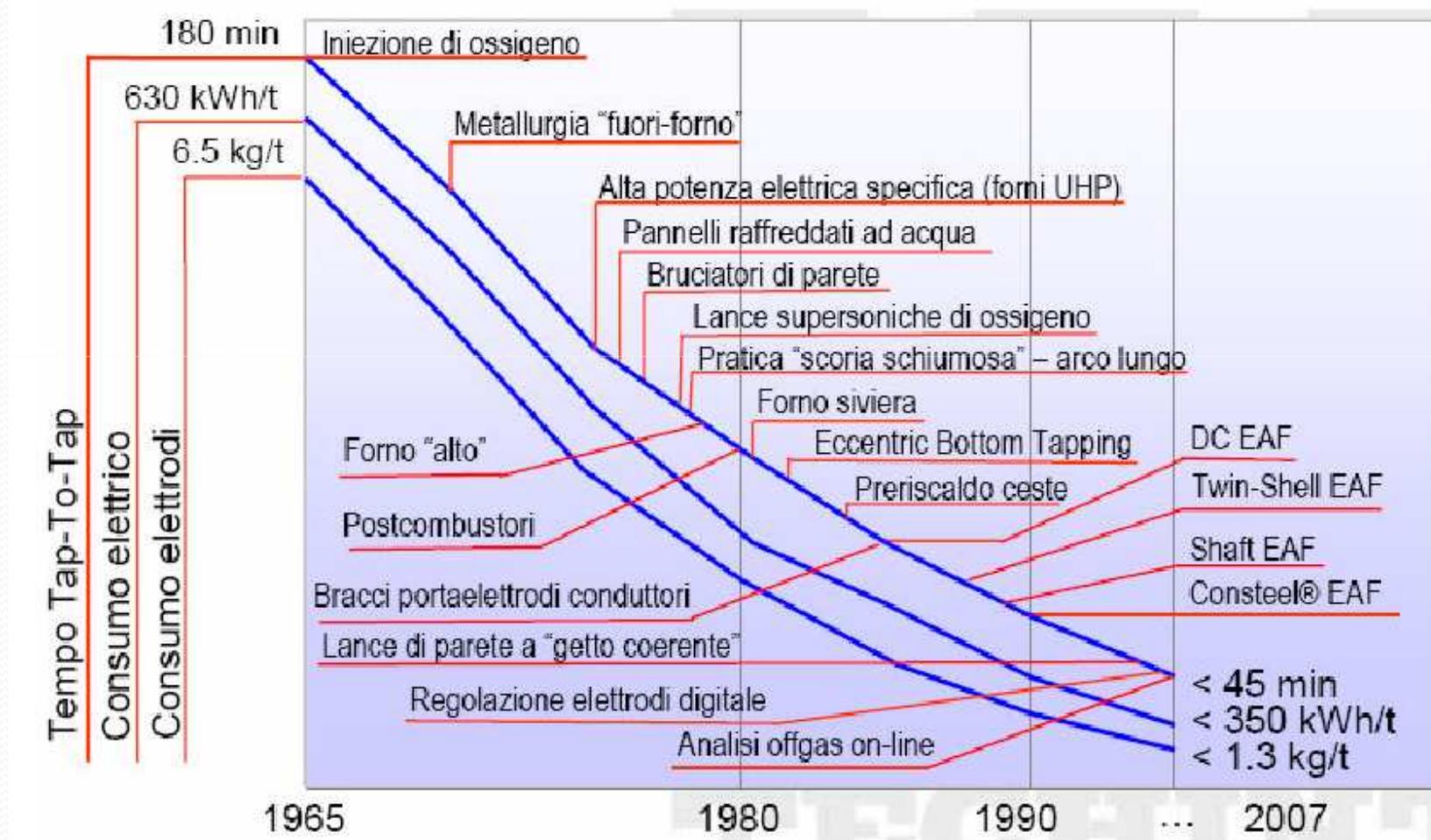
Che diventano, con l'energia elettrica:

890 kg/t con solo rottame

Surce: LOCKWOOD GREENE TECHNOLOGIES -Ironmaking Process Alternatives Screening Study- Report prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government.-October 2000 -LG Job No. 010529.01

e 3800 kg/t partendo da minerale

Meno Energia = Meno CO₂





L'IPCC – “Intergovernment
Panel on Climate Change”
inserisce la CO₂ tra i
parametri di valutazione di
impatto ambientale
dell'industria.

L'IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

- L' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è stato istituito congiuntamente dal World Meteorological Organization (WMO) e dal United Nations Environment Programme (UNEP) per valutare periodicamente l'impatto socio economico e le opzioni scientifiche di adattamento e mitigazione dei cambi climatici
- L'IPCC ha redatto una “guideline” per determinare il “Life Cycle Inventory” (LCI) con cui si può valutare l'impatto ambientale delle produzioni industriali tra cui è compresa anche l'emissione di CO₂
- L'industria dell'acciaio Europea in risposta alle istanze dell'IPCC ha lanciato una serie di progetti finalizzati alla riduzione dell'emissione di CO₂ nella produzione di acciaio raccolti nel progetto ULCOS “Ultra Low CO₂ Steelmaking Programme”, a cui hanno partecipato i principali centri di ricerca europei e produttori di acciaio tra cui Arcelor, Corus, ThyssenKrupp Stahl, Riva, Voestalpine, Saarstahl and Dillinger Hüttenwerke.

Il “Life Cycle Inventory” LCI nella produzione di acciaio

- Nel “LCI” le performances vengono valutate in termini di efficienza energetica, efficienza delle risorse, emissioni in aria, in acqua e nella terra.
- A tale riguardo il mondo dell’industria siderurgica ha adottato le regole proposte dall’ISI (International Iron and Steel Institute) ricavate uno studio che ha portato alla definizione di una tabella di riferimento per questi parametri di impatto ambientale.
- L’LCI è, quindi, un’analisi quantitativa degli inputs (risorse ed energie) e outputs (prodotti, co-prodotti, emissioni) di un sistema di produzione.
- Le principali informazioni sulla “stima del ciclo di vita” (LCA) e su “l’inventario del ciclo di vita” (LCI) si possono trovare nelle norme: ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042, e ISO 14043.
- Un esempio di queste tabelle, riferite alla produzione di 1 kg di lamiera, è riportato nelle due diapositive seguenti.

Il “Life Cycle Inventory” LCI nella produzione di acciaio

Tabella 6: Risultati dell’LCI per 1kg di lamiera laminata a caldo da ciclo integrale (Media totale)

Inputs:	Principali Voci*	Units	Media
(r)	Carbone	kg	0.589
(r)	Dolomite (CaCO ₃ .MgCO ₃)	kg	0.0250
(r)	Ferro (Fe, minerale)	kg	1.43
(r)	Calcare (CaCO ₃)	kg	-0.0077
(r)	Gas Naturale	kg	0.0402
(r)	Olio	kg	0.0469
(r)	Zinco (Zn, minerale)	kg	0.0000
	Rottame di ferro (netto)	kg	0.135
	Acqua nuova (totale)	litri	12.0

*** L’intera lista dell’ IISI LCI contiene 450 materiali.**

Source: IISI - Industry as a partner for sustainable development I -ISBN: 92-807-2187-9, 2002

Il “Life Cycle Inventory” LCI nella produzione di acciaio

Risultati dell’LCI per 1kg di lamiera laminata a caldo da ciclo integrale (Media totale)

Outputs: Voci principali *	Unità	Media
(a) Anidride Carbonica (CO ₂ , da fossili e minerali)	g	1911
(a) Monossido di carbonio (CO)	g	26.4
(a) Ossidi di azoto (NO _x come NO ₂)	g	2.18
(a) Particolato (total)	g	1.46
(a) Ossidi di Zolfo (SO _x come SO ₂)	g	2.19
(w) Acqua	litri	8.31
Sottoprodotti non Allocati (total)	kg	0.0584
Emissioni non raccolte (totale)	kg	0.204

* **L’intera lista dell’ IISI LCI contiene 450 materiali.**

Source: IISI - Industry as a partner for sustainable development I -ISBN: 92-807-2187-9, 2002

I parametri della misura di LCI in siderurgia

Dal 2005 la stessa IISI ha iniziato a pubblicare la valutazione di impatto ambientale della siderurgia mondiale (LCI) basandosi su 11 parametri tra cui la CO₂ emessa per tonnellata di acciaio prodotto

No	Indicator	Units	2005	2004
5	Energy intensity	GJ/Tonne of crude steel produced	19.1	19.0
6	Greenhouse gas emissions	Tonnes of CO ₂ /Tonne of crude steel produced	1.7	1.6
7	Material efficiency	%	95.6	96.8
8	Steel recycling	% of recycled steel used in production of crude steel	42.7	42.3

Nota: L'aumento registrato nell'emissione di CO₂ nel 2005 rispetto al 2004 è stato determinato dal forte incremento della produzione mondiale di acciaio registrato negli ultimi anni, soprattutto con il ciclo integrale.

I parametri della misura di LCI in siderurgia

- Le tabelle dell' LCI sono anche riportate nella pubblicazione dell'EUROFER "The European Steel Industry's Contribution to an Integrated Production Policy".
- L'elemento più innovativo dell'LCI è stata l'introduzione del nuovo concetto di "Co-produzione", che evidenzia come materiali impiegati nell'industria siderurgica, che non producono acciaio (es. il calcare), siano trasformati in un nuovo prodotto (la loppa) utilizzata poi nella produzione del cemento portland.
- Nel calcolo dell'LCI, quindi, questo materiale che produce CO₂ in altoforno, consente di non produrlo nel cementificio, con un bilancio complessivo favorevole, anche in termini di materiali non estratto dalla cava o depositato in discarica.
- Questo concetto è estremamente importante in quanto permette di non trarre conclusioni affrettate in termini di confronto tra le emissioni di CO₂ tra i due cicli da minerale (Ciclo integrale) e da rottame (Ciclo da Forno Elettrico).

Considerazioni sull'LCI in siderurgia

- In altri termini, come si è visto, è profondamente vero che il ciclo da rottame consuma molto meno energia ed emette molto meno CO₂ di un ciclo da minerale, ma questo significa soltanto che è strategico massimizzare la raccolta di rottame da riciclare nell'industria siderurgica indipendentemente dal ciclo utilizzato.
- Infatti, poiché il ferro non esiste in natura come metallo, occorre considerare che il rottame è di per sé un materiale contenente già gran parte dell'energia impiegata per produrlo.
- Con queste considerazioni, in base al valore calcolato dall'IISSI per la CO₂ (pari a 1,7 t per tonnellata di acciaio) con un rapporto tra ciclo da minerale e ciclo da rottame pari 68:32, si può stimare, una emissione totale di circa 2.4 miliardi di tonnellate di CO₂
- In Europa la produzione di acciaio si aggira sui 200 milioni di tonnellate ed il rapporto, tra i due cicli, è 61:39. Si può, quindi, stimare una emissione annua di CO₂ pari a circa 300 milioni di tonnellate.



Cosa fare per diminuire
ulteriormente l'emissione di CO₂.

Cosa fare per diminuire la CO₂

- Dal punto di vista tecnico, la riduzione della CO₂ in siderurgia può essere ottenuta quasi esclusivamente in termini di risparmio di energia
- La riduzione degli ossidi di ferro può avvenire in termini efficienti solo attraverso l'altoforno.
- Le tecnologie alternative (Smelting Reduction – Finmet – DIOS – COREX) consumano più carbone
- Le altre tecnologie alternative che utilizzano il metano sono solo realtà locali condizionate dalla disponibilità del gas in situ.
- La soluzione che sembra più ragionevole è di tipo “Duplex” nel senso di utilizzare come 1° reattore un sistema di pre-riduzione (con C) con sviluppo di gas minimo e che riutilizza il gas di uscita del 2° reattore. Quest'ultimo ha il compito di completare le reazioni del 1° reattore e di separare la scoria dalla ghisa.

Cosa fare per diminuire la CO₂

Energy Consumption of hot metal production with an oxy-coal melter

Items	Consumption	GJ/THM
Coal	396 kg	11.47
Oxygen	96 Nm ³	0.20 (0.61*)
Lime	95 kg	0.70
Electricity	60 kwh	0.21 (0.66*)
Gas credit (from hearth furnace)		-1.11
Total		11.47 (12.33*)

* including the losses for generation and transmission of electricity, following Stubbles[1]

To be compared with **18 GJ / tonne-HM** for good blast practice in US Steel industry in 1998 according to "Energy Use in the U.S. Steel Industry: A Historical Perspective and Future Opportunities" authored by John Stubbles, Sep. 2000, P8.

Surce: Wei-Kao Lu - GCEP Workshop University April 15 16 2008 - "Industry" Workshop, Stanford University.

Cosa fare per diminuire la CO₂

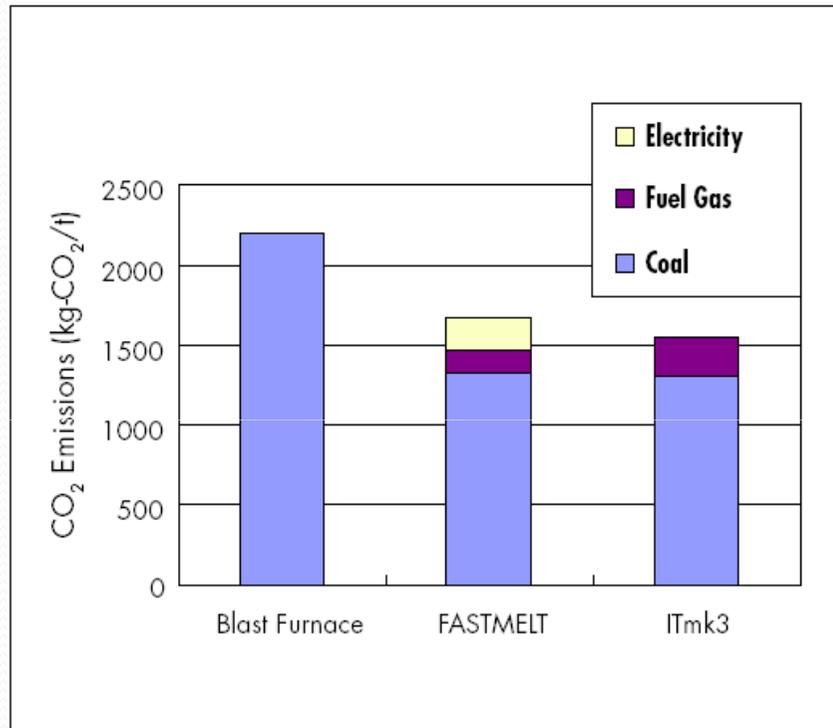
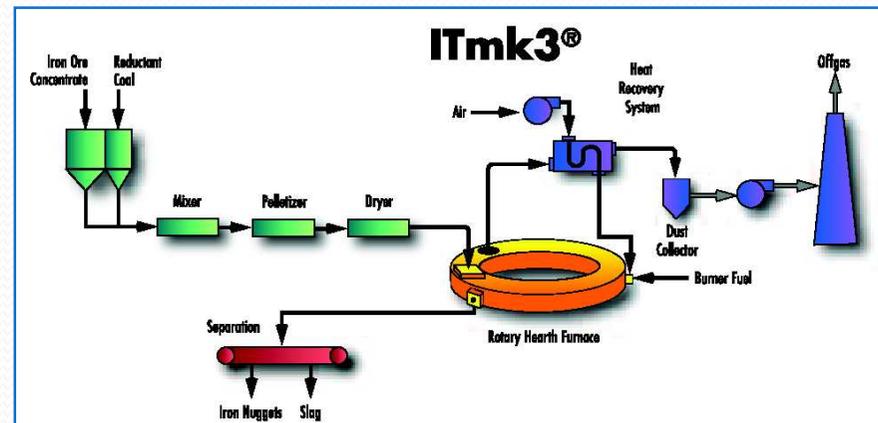
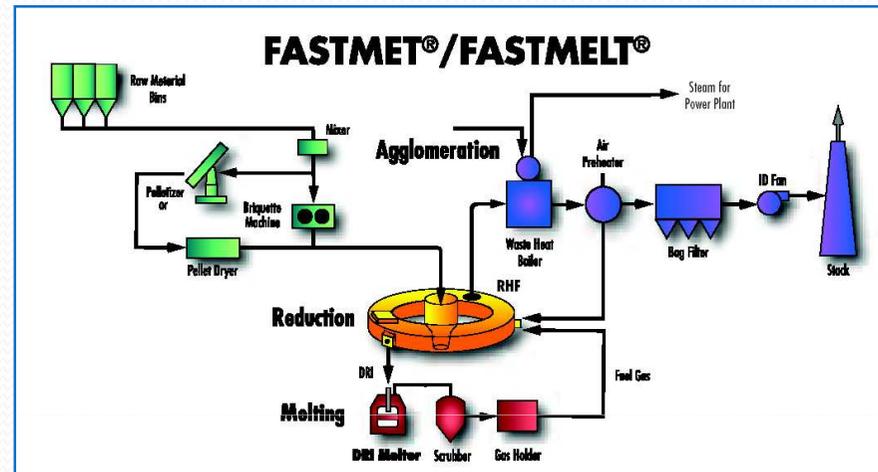


Figure 14 - CO₂ emissions of ironmaking processes

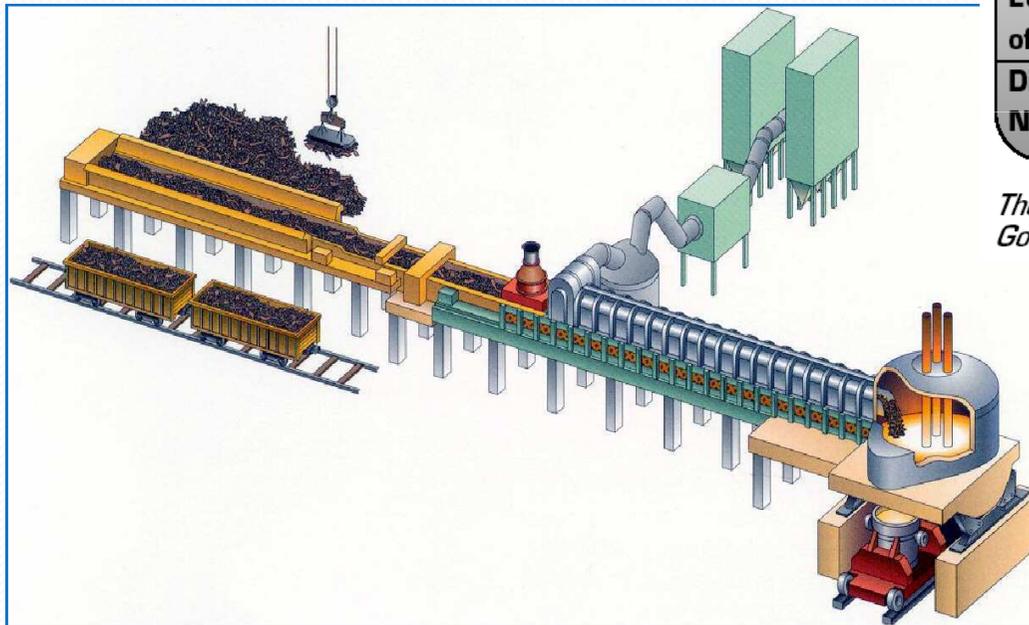


Surce: Direct from MIDREX - RHF Technologies SPECIAL REPORT SPECIAL REPORT WINTER - 2007/2008 -

Cosa fare per diminuire la CO₂

AL FORNO ELETTRICO

Il sistema Consteel® di TENOVA (ex Techint) sfrutta la carica continua per diminuire le perdite termiche durante le pause di caricamento del rottame.



Surce: AIM - la metallurgia italiana- febbraio 2007-

Noise	Always below 95 dBA 10 m away from the slag door. Average during melting below 90 dBA
Radioactivity control	High accuracy additional control (in addition to the gate control)
Equivalent tons of CO₂ released	Reduced by 10-30% compared to a batch-charged furnace
Dioxins, CO and NOx emissions	In accordance with German and Japanese regulations

The chemical energy exploitation: KT™ System and Goodfellow EFSOP™ System

Il preriscaldamento del rottame attraverso i fumi, che contengono circa il 20% del calore fornito al forno, è ancora una chimera a causa del rischio di formare diossine

Conclusioni

- **Negli anni la siderurgia ha fatto enormi progressi per ridurre il consumo di energia**
- **Ciò equivale ad aver ridotto l'emissione di Anidride Carbonica di circa il 50%**
- **Vi sono pochi margini di ridurre l'Anidride Carbonica da processo, ma ve ne sono ancora ampi per utilizzare meglio "i cascami termici".**
- **Possibili vie non possono prescindere dal fatto che l'energia recuperabile sarà in forma degradata (per polveri, inquinanti vari e temperatura).**
- **Ciò limita la possibilità di apportare grosse ed ulteriori riduzioni dei consumi diretti.**
- **Vi sono però ulteriori margini, per utilizzare al meglio, sinergicamente con altre industrie, o con il territorio questi "cascami" per favorire il risparmio di combustibile (Es. teleriscaldamento, riscaldamento delle serre), o per co-produrre vapore.**
- **Ciò equivale, in ottica LCI, a diminuire globalmente l'emissione di CO₂**