



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Centro Interdipartimentale
per l'Energia, l'Ambiente e i Trasporti
Giacomo Ciamician



APPENDICE C

**DATI E IMPOSTAZIONE
DEL MODELLO ECONOMICO**

Appendice C

Dati e impostazione del modello economico

C.1 DATI UTILIZZATI NEL MODELLO ECONOMICO

I dati utilizzati per calibrare il modello economico sono riportati nella Tabella 1.

Tabella 1 – I dati utilizzati per la stima del modello

	PREZZO	UNITÀ DI MISURA
Minerale di ferro	118	€/ton
Carbone	203,6	€/ton
Rottami	325	€/ton
Gas Naturale	8,35	€/GJ
Gas Naturale	30,06	€/MWh
Elettricità	85	€/MWh
Calce (flux) - Lime	25	€/ton
Acqua	0,49	€/ton
Emissioni dirette di CO ₂	71,84	€/ton
Costo lavoro – BF-BOF	110,4	€/ton
Costo lavoro - EAF	64,4	€/ton
Credits - BF-BOF	-83	€/ton
Credits - EAF	-7	€/ton
CAPEX		
· BF+BOF+HR	596	€/ton Capacity
· (BF+BOF+HR)+CCU	749	€/ton Capacity
· DRI_NG+EAF+HR	1.035	€/ton Capacity
· DRI_NG+EAF+HR)+CCU	1.189	€/ton Capacity
· DRI_H2+EAF+HR	1.035	€/ton Capacity
· EAF+HR	244	€/ton Capacity
· (EAF+HR)+CCU	397	€/ton Capacity

I prezzi, come qualsiasi altra grandezza economica, variano nel tempo e sono variati moltissimo (raddoppiati e, in alcuni casi, triplicati) in particolare negli ultimi anni in relazione alla crisi pandemica ed al conflitto russo-ucraino. Attualmente (maggio 2024), i prezzi si sono riavvicinati a quelli riscontrabili nella prima decade del 2000, aumentati di alcuni punti percentuali anche a causa dei fenomeni inflativi. I prezzi utilizzati rappresentano, quindi, una stima dei costi di produzione dell'acciaio soggetta a notevole incertezza.

C.2 LE FONTI DEI DATI

Di seguito vengono descritte le fonti da cui sono stati ricavati i prezzi adottati nel presente lavoro.

C.2.1 Minerale di ferro

Come si può osservare dalla Figura 1, il future del minerale di ferro è stato negli ultimi anni piuttosto oscillante, raggiungendo il suo massimo durante i mesi dell'invasione russa dell'Ucraina.

Figura 1 - Andamento dei prezzi del minerale di ferro negli ultimi anni

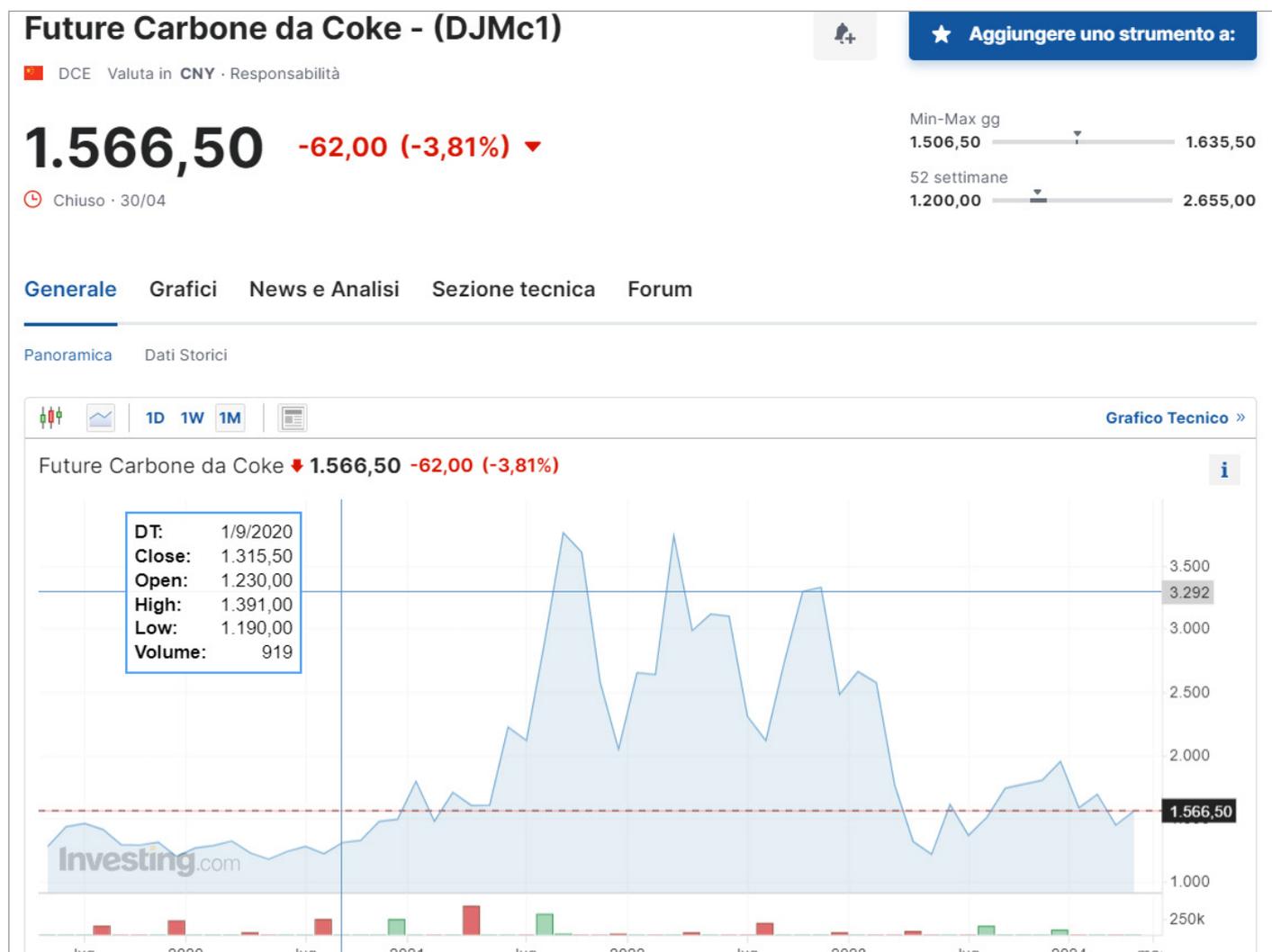


Fonte: <https://it.investing.com/commodities/iron-ore-62-cfr-futures>

C.2.2 Carbone

Come si può osservare dalla Figura 2, anche il future del carbone è stato negli ultimi anni molto oscillante raggiungendo il suo massimo durante i mesi dell'invasione russa dell'Ucraina.

Figura 2 - Andamento dei prezzi del carbone da coke negli ultimi anni

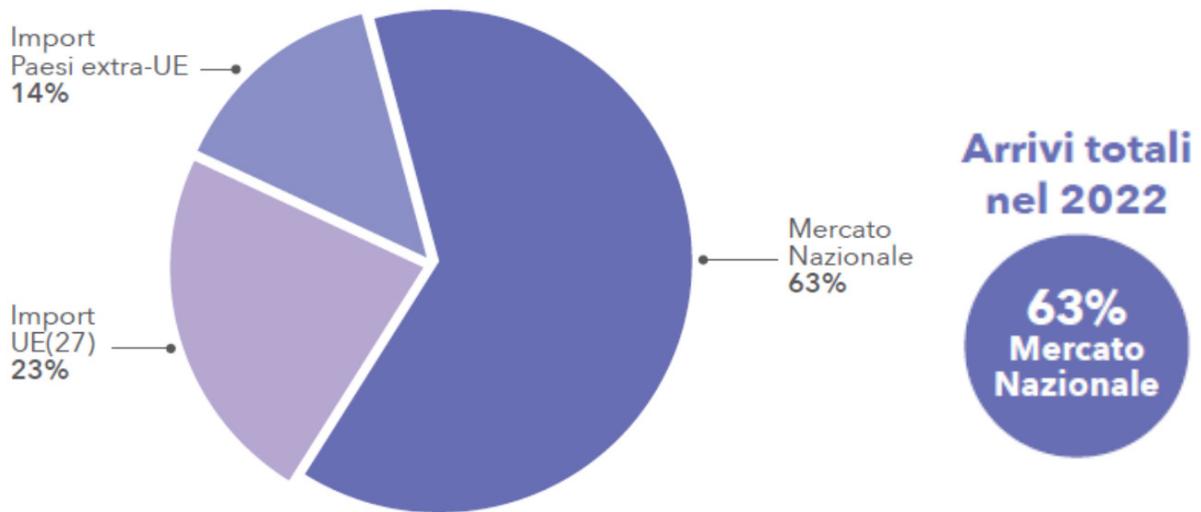


Nell'ultimo anno il prezzo si è attestato attorno ai 1.560 CNY (remimbi)/ton. Al cambio di 0,13 €/CNY, corrisponde a 200 €/ton.

C.2.3 Rottami

Dai dati Federacciai, si desume che i rottami di provenienza nazionale sono stati nel 2022 per il 63% di origine nazionale (Figura 3).

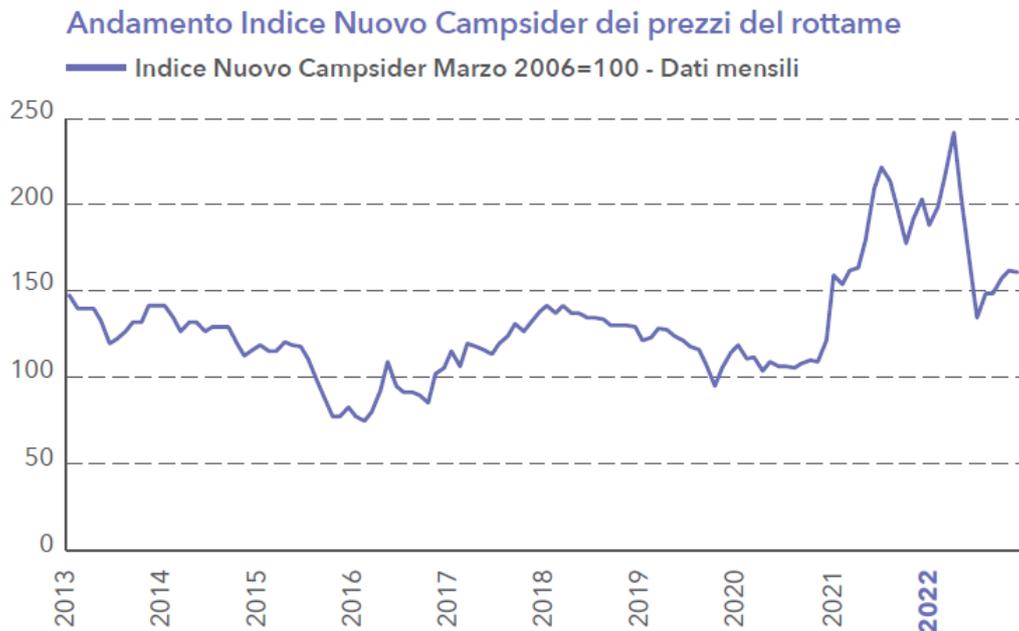
Figura 3 – Arrivi di rottame, ghisa ed HBI nel 2022



Fonte: La siderurgia in cifre, Federacciai (2023)

I prezzi del rottame hanno risentito delle tensioni internazionali sui mercati legati al conflitto Russia e Ucraina, come risulta dalla Figura 4.

Figura 4 - Andamento dei prezzi del rottame negli ultimi anni



Elaborazioni su dati Nuovo Campsider

Il nuovo indice N.C. viene calcolato con una media pesata delle categorie E3, E8, E40, 40/41, con pesi rispettivamente pari a 50%, 30%, 10%, 10%.

L'indice è imposto pari a 100 a marzo 2006.

Fonte: Elaborazioni su dati Nuovo Campsider

Fonte: La siderurgia in cifre, Federacciai (2023)

Il prezzo del rottame dipende dalla sua tipologia. I prezzi nazionali nel 2020 sono variati tra 300 e 360 €/ton (Figura 5).

Figura 5 - Andamento dei prezzi del rottame lungo il corso del 2022

ITALIA	E3 Demolizione			E40 Frantumato			E8 Lamierino			E5M Tornitura			Indice NC
	min	media ponderata	max	min	media ponderata	max	min	media ponderata	max	min	media ponderata	max	
	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	
Gennaio	325,00	345,09	380,00	410,00	429,49	455,00	435,00	457,05	478,00	319,00	331,41	357,00	189,09
Febbraio	355,00	367,82	410,00	435,00	455,15	485,00	445,00	471,90	500,00	340,00	353,41	365,00	199,19
Marzo	385,00	413,07	453,00	460,00	501,01	540,00	470,00	495,52	514,00	365,00	390,83	425,00	217,83
Aprile	415,00	471,02	524,00	515,00	539,96	580,00	470,00	534,36	585,00	410,00	451,05	469,00	242,61
Maggio	375,00	405,16	435,00	430,00	459,23	530,00	403,00	443,11	499,00	360,00	387,54	406,00	205,98
Giugno	300,00	329,07	375,00	325,00	381,63	420,00	320,00	351,82	410,00	285,00	317,70	354,00	166,68
Luglio	230,00	261,55	304,00	240,00	307,02	350,00	260,00	296,65	346,00	204,00	245,25	274,00	134,80
Agosto	255,00	295,23	336,00	300,00	337,46	370,00	290,00	320,67	338,00	246,00	272,79	290,00	149,43
Settembre	275,00	294,02	332,00	310,00	337,73	360,00	310,00	319,45	336,00	260,00	273,23	310,00	148,99
Ottobre	295,00	312,92	353,00	326,00	356,33	385,00	330,00	340,39	365,00	284,00	289,51	309,00	158,41
Novembre	300,00	321,36	354,00	335,00	361,80	388,00	335,00	349,15	364,00	285,00	292,99	326,00	162,21
Dicembre	295,00	319,68	359,00	340,00	362,54	390,00	335,00	349,33	370,00	285,00	294,46	330,00	161,93

Note:

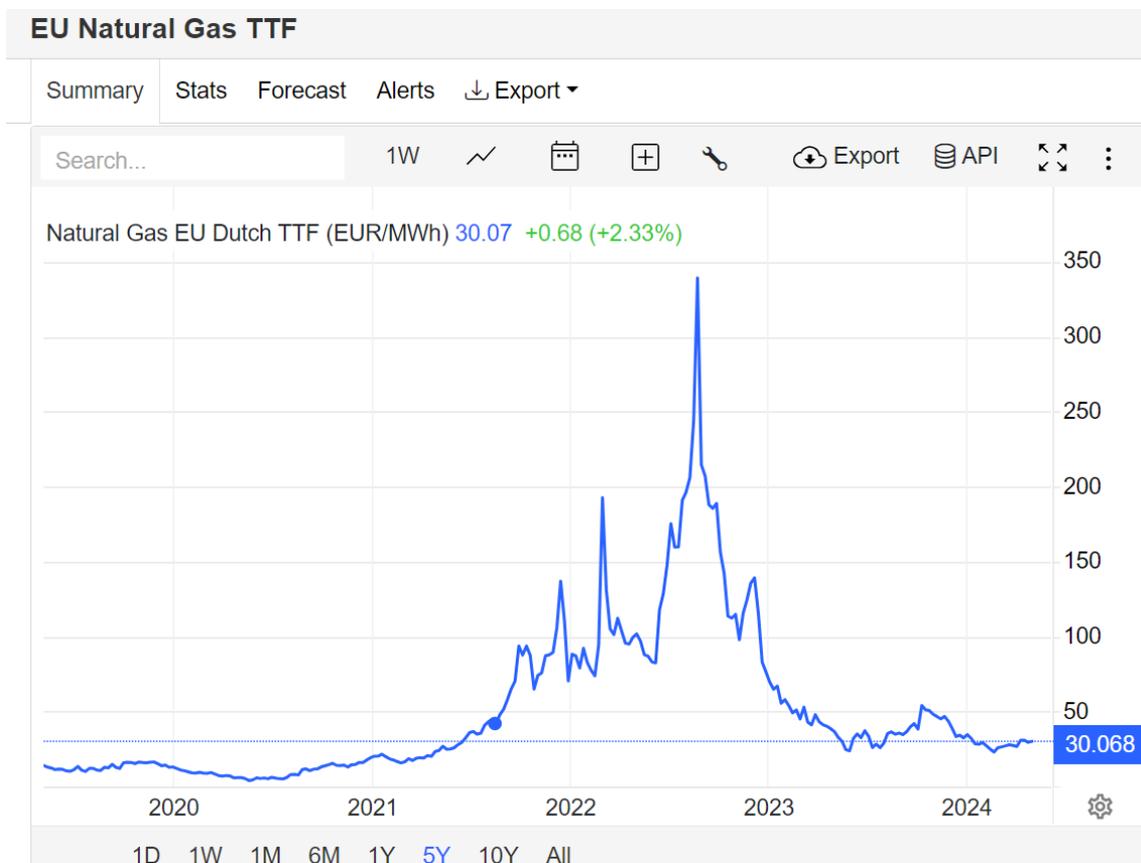
- a) La rilevazione è basata su dati forniti individualmente alla segreteria di Nuovo Campsider da un campione di acciaierie associate, che rappresenta oltre il 60% della produzione italiana di acciaio a forno elettrico.
b) La "media ponderata" è ottenuta come media pesata sui quantitativi di acquisto mensile comunicati da ciascuna azienda per ciascuna categoria.
c) L'indice N.C. viene calcolato con una media pesata delle categorie E3, E8, E40, E5M con pesi rispettivamente pari a 50%, 30%, 10%, 10%. L'indice è imposto pari a 100 per il mese di Marzo 2006.

Fonte: La siderurgia in cifre, Federacciai (2023)

C.2.4 Gas Naturale

Per il gas naturale sono stati utilizzati i valori degli scambi avvenuti presso la borsa di Amsterdam. Come si può osservare dalla Figura 6, anche il future del gas naturale ha trovato il suo massimo durante i mesi successivi all'invasione russa dell'Ucraina.

Figura 6 - Andamento dei prezzi del gas naturale negli ultimi anni

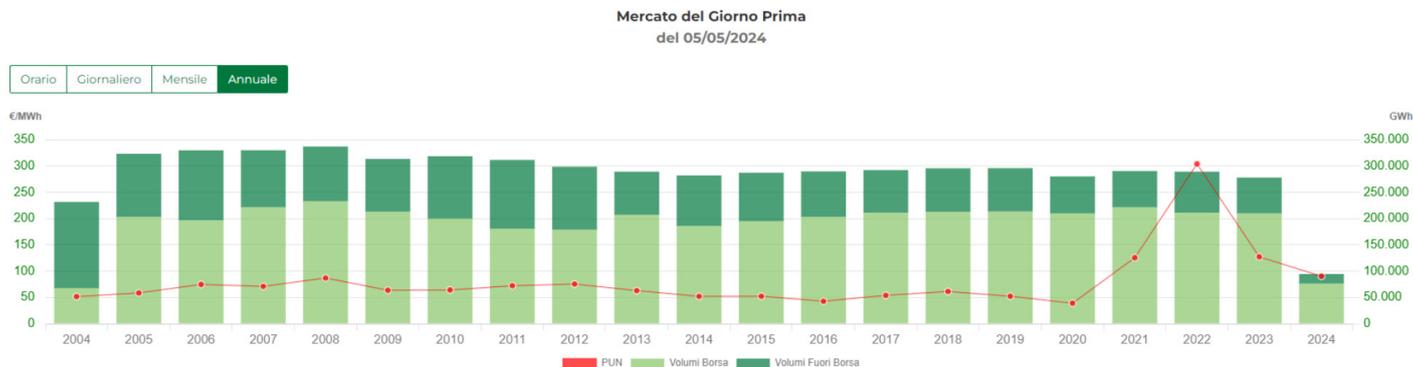


Fonte: <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>

C.2.5 Elettricità

Per il costo dell'elettricità è stato preso in considerazione il Prezzo Unico Nazionale italiano. Come si vede dalla Figura 7, per anni il PUN medio annuale è stato inferiore a 100 €/MWh. Negli ultimi tre anni è decisamente salito sopra i 100 €/MWh in corrispondenza dell'aumento del prezzo del gas naturale, toccando un picco elevatissimo nel 2022.

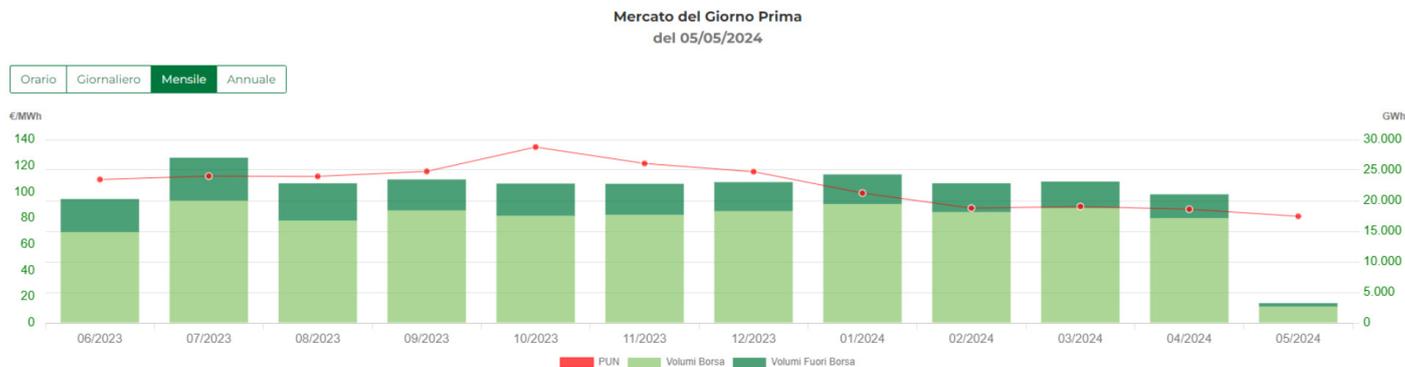
Figura 7 - Andamento dei PUN italiano negli ultimi 20 anni



Fonte: Sito del Gestore del mercato elettrico (GME)

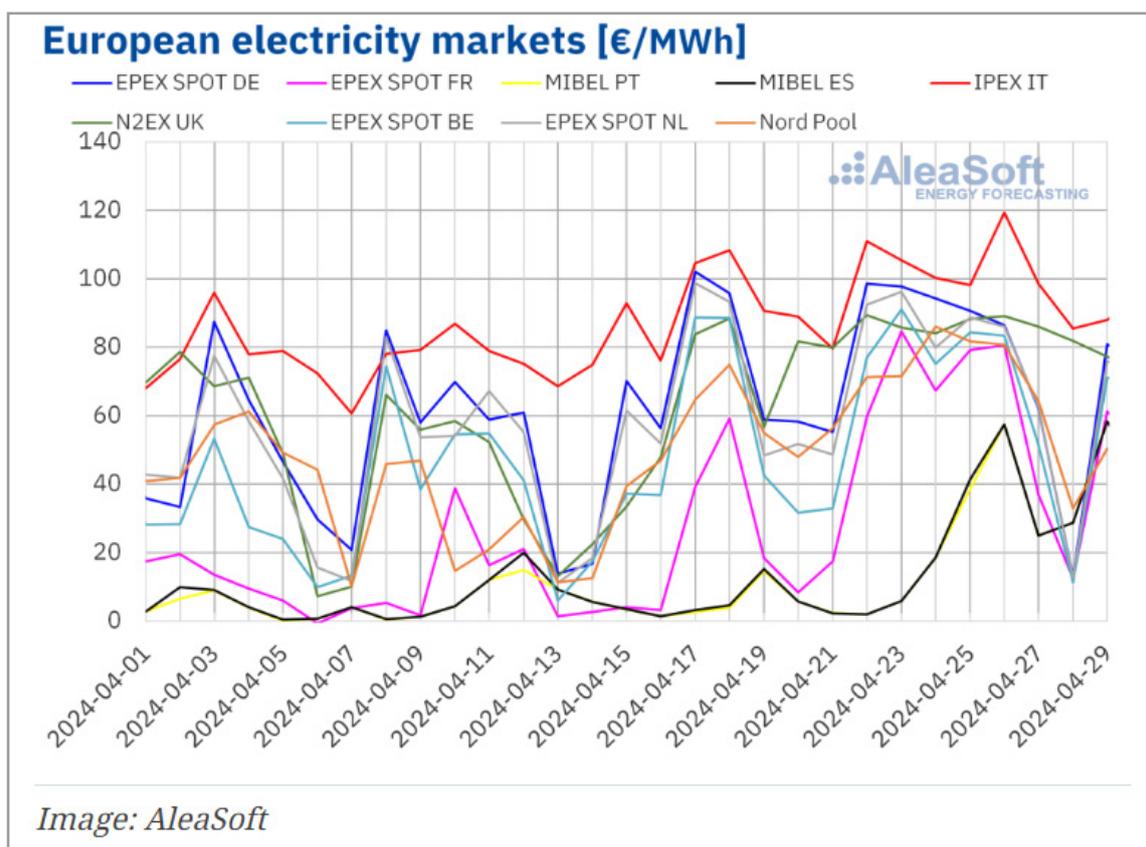
Nel 2023, il prezzo si è mantenuto sopra i 100 €/MWh, con una tendenza a scendere nel 2024 a seguito del ribasso dei costi del gas naturale ed allo sviluppo delle rinnovabili (Figura 8). Si consideri comunque che il PUN italiano è molto più alto di quello di altri paesi europei come la Spagna, Portogallo, Francia e Germania. A tal proposito, si veda la Figura 9.

Figura 8 - Andamento dei PUN italiano nel 2023



Fonte: Sito del Gestore del mercato elettrico (GME)

Figura 9 - Andamento dei prezzi dell'energia elettrica in alcuni paesi europei



Fonte: <https://aleasoft.com/it/mercati-energia/ipex-italia-prezzi-domanda/>

C.2.6 Calce (flux) - Lime

La fonte usata per il prezzo della calce è la pubblicazione di Fishedick *et al.*,¹ all'interno della quale è stato reperito il prezzo utilizzato per lo sviluppo del "BF-BOF model – Greenfield."

C.2.7 Acqua

Per valorizzare il consumo d'acqua sono state utilizzate le tariffe applicate da una delle molteplici ATO italiane, quella di Como. Essa riporta i valori illustrati in Figura 10, dove per le utenze industriali a consumo elevato il prezzo è 0,49 €/m³

Figura 10 – Il prezzo dell'acqua in provincia di Como

TARIFFA VARIABILE ACQUEDOTTO ALTRI USI anni 2021-2022-2023

€/mc		2021	2022	2023
UTENZE DOMESTICHE NON RESIDENTI	TARIFFA BASE (da 0 a 120 mc)	0,918	0,99554	1,080092
	1A ECCEDENZIA (oltre 120 mc)	1,378	1,493309	1,620139
ARTIGIANALI e COMMERCIALI	TARIFFA BASE (da 0 a 500 mc)	0,928	1,005934	1,091369
	1A ECCEDENZIA (da 501 a 25.000 mc)	1,023	1,108722	1,202887
	IDROESIGENTI (oltre 25.000 mc)	0,557	0,60356	0,654822
INDUSTRIALI	TARIFFA BASE (da 0 a 3.000 mc)	0,696	0,754162	0,818214
	1A ECCEDENZIA (da 3.001 a 25.000 mc)	0,767	0,831541	0,902165
	IDROESIGENTI (oltre 25.000 mc)	0,417	0,452497	0,490928

Fonte: <https://comoacqua.it/clienti/tariffe/>

C.2.8 Permessi di emissioni di CO₂ - (ETS)

Per il costo dei permessi di emissione di CO₂ (ETS), si riporta la Figura 11, dove si può notare che negli ultimi tempi il prezzo si sia attestato sui 70 €/tonCO₂, dopo aver sfiorato i 100 €/tonCO₂.

Figura 11 - Andamento dei prezzi dei permessi di emissione di CO₂



Fonte: <https://it.investing.com/commodities/carbon-emissions>

C.2.9 Costo del lavoro

Relativamente al costo del lavoro, diversamente da Fishedick *et al.*¹ che assume costi del lavoro differenziati tra tecnologie produttive (primario e secondario), in questo report si è assunto un costo del lavoro equivalente pari a 46.000 €, come riportato dall'Istat per il Settore 24 – Metallurgia con riferimento all'anno 2022².

In linea con il resto del documento, si è assunto che nel ciclo BF-BOF servano 2,4 occupati per tonnellata di acciaio, mentre solo 1,4 per quello secondario.

C.2.10 Credits

Il Joint Research Centre (JRC), per conto della Commissione Europea ha esaminato la struttura dei costi di 157 siti produttivi, non solo europei³. Tra le diverse fonti di costo e di efficienza hanno evidenziato anche la presenza di crediti, come definiti in Figura 12. Essi rappresentano la riduzione dei costi dovuti al riciclo di rottami e di energia durante il processo produttivo. Essi sono valutati pari a 83 €/ton per il ciclo BF-BOF e a 7 €/ton nel caso di uso di rottame in EAF.

Figura 12 – Definizione di crediti nel rapporto JRC

Credit ⁴	Credit (savings from recycled scrap and self-power generation)	Credits (Blast furnace gas credit, Basic oxygen furnace gas credit, Corex gas credit, Custom iron gas credit, Custom steel gas credit, Steam credit, Scrap reverts, Fe reverts, Tar, Benzole and Slag)
---------------------	--	--

Fonte: (Medarac et al., 2020)

C.2.11 Costi fissi dell'investimento (CAPEX)

I costi fissi dell'investimento in macchinari, terreno ed edifici per produrre acciaio nelle diverse configurazioni tecnologiche sono illustrati nella Tabella 2.

Tabella 2 – I costi fissi dell'investimento (CAPEX)

Tecnologia	CAPEX	Unità di misura	Fonte
BF+BOF+HR	596	€/ton Capacity	(Fischedick et al., 2014) ¹ - BF-BOF model 'Greenfield' 450 2010\$, based on Woertler (2013)
(BF+BOF+HR)+CCU	749	€/ton Capacity	(Fischedick et al., 2014) ¹ - BF-CCS model 566 2010\$, based on Woertler (2013)
DRI_NG+EAF+HR	1.035	€/ton Capacity	(Rosner et al., 2023) ⁴ - 1045 2022\$
DRI_H2+EAF+HR	1.035	€/ton Capacity	(Rosner et al., 2023) ⁴ - 1045 2022\$
EAF+HR	244	€/ton Capacity	(Fischedick et al., 2014) ¹ - EAF+HR Capacity Model 184 2010\$, based on Woertler (2013)
(EAF+HR)+CCU	397	€/ton Capacity	(Fischedick et al., 2014) ¹ - EAF+HR Capacity Model 184 2010\$, based on Woertler (2013)

Una delle fonti principali è la pubblicazione di Fischedick *et al.*¹, che utilizza valori di nuovi investimenti ('Greenfield'), riprendendo Woertler *et al.*⁵ I valori sono espressi in dollari del 2010, il cui valore è stato attualizzato tenendo conto che un dollaro nel 2010 varrebbe oggi 1,43 dollari.* Il costo è stato inoltre espresso in euro al tasso di cambio di 1 € per 1,08 \$. La seconda fonte è l'articolo pubblicato da Rosner *et al.*⁴ che riporta valori in dollari del 2022. Il valore è stato attualizzato tenendo conto che un dollaro nel 2022 varrebbe oggi 1,07 \$. È stato inoltre espresso in euro al tasso di cambio di 1 € per 1,08 \$.

C.2.12 Tasso di remunerazione del capitale investito - WACC

In accordo con la nota ARERA*, il WACC è fissato al 6%.

* Allegato A 1 aggiornamento del tasso di remunerazione del capitale investito per i servizi infrastrutturali dei settori elettrico e gas per l'anno 2024 (deliberazione 28 novembre 2023, 556/2023/R/COM). Modalità di calcolo dei parametri rilevanti ai fini dell'aggiornamento.

C.2.13 Durata dell'investimento

Si assume che l'investimento duri 12 anni.

C.3 STIMA DEL COSTO DI PRODUZIONE PER UNA TONNELLATA DI ACCIAIO CON TECNOLOGIE ALTERNATIVE

Per la stima del costo di produzione dell'acciaio - in letteratura definito come costo livellato di produzione dell'acciaio (Levelized Cost Of Production, LCOP), si riferisce al costo medio di produzione di una tonnellata di acciaio, considerando tutti i costi associati durante l'intero ciclo di vita del processo produttivo. Questo include non solo i costi diretti come materie prime, energia e manodopera, ma anche i costi indiretti come manutenzione, ammortamento degli impianti, gestione dei rifiuti, costi ambientali e, sempre più importante, i costi associati alla riduzione delle emissioni di carbonio e all'adozione di pratiche sostenibili. Per calcolarlo è stata utilizzata la seguente formula.

$$LCOP = \frac{(CRF)(CAPEX) + (OC_{fix}) + (CF)(OC_{var})}{(CF)(PRO)}$$

Dove

- $(LCOP)$ è il costo di produzione dell'acciaio al primo anno
- (CRF) è il capital recovery factor, ovvero il fattore di recupero del capitale. È il rapporto tra una rendita costante e il valore attuale della ricezione di tale rendita per un dato periodo di tempo**. Utilizzando un tasso di interesse i (o $WACC$), il fattore di recupero del capitale è $CRF = \frac{i(1-i)^n}{(1-i)^n - 1}$, dove n è il periodo di tempo considerato.
- (OC_{fix}) sono i costi operativi fissi (es., il costo del lavoro che non dipende dalla quantità di acciaio prodotto).
- (OC_{var}) sono i costi operativi variabili (i materiali utilizzati per produrre l'acciaio, la cui quantità dipende dalla quantità di acciaio prodotto).
- (CF) è il capacity factor, ovvero l'intensità d'uso dell'impianto.
- (PRO) è la produzione attesa annuale di acciaio a piena capacità.

** Con un tasso di interesse $i = 10\%$ e $n = 10$ anni, il $CRF = 0,163$. Ciò significa che un prestito di 1.000 dollari con un interesse del 10% verrà rimborsato con 10 pagamenti annuali di 163 dollari. Un'altra lettura che si può ottenere è che il valore attuale netto di 10 pagamenti annuali di \$ 163 con un tasso di sconto del 10% è \$ 1.000.

Ipotizzando che l'investimento duri 12 anni, che il WACC sia del 6% e che il CF (capacity factor) sia pari a 1, la Tabella 3 riporta i risultati ottenuti applicando la formula appena descritta per produrre 1 tonnellata di acciaio, sotto l'ipotesi di assenza di economia\disconomie di scala, ovvero in presenza di rendimenti di scala costanti.

Tabella 3 – I risultati ottenuti nello scenario attuale (per tonnellata di HR prodotto)

Tecnologia	UdM	BF+BOF	(BF+BOF+HR) +CCU	DRI_ NG+EAF+HR	(DRI_NG+EAF+HR) +CCU	DRI_H2+EAF+HR	EAF+HR	(EAF+HR) +CCU
Costi operativi (OPEX) variabili	€/ton	463	562	436	444	586	446	457
Costi fissi (CAPEX)	€/ton	596	749	1035	1189	1035	244	397
CAPEX*CRF	€/ton	71	89	123	142	123	29	47
Costo di produzione dell'acciaio (LCOP)	€/ton	562	679	663	689	813	533	561
Differenza con LCOP del BF-BOF	€/ton	0	118	101	127	251	-29	0
Costo Emissioni dirette CO ₂	€/ton	147	0	49	0	11	10	0
Costo Emissioni dirette CO ₂ con CCU	€/ton	0	61	0	31	0	0	2
LCOP + Certificati	€/ton	709	740	711	720	825	543	563
Differenza con LCOP del BF-BOF	€/ton	0	31	3	11	116	-166	-145

Il costo di produzione dell'acciaio (LCOP) in forma di HR (hot rolled, acciaio laminato a caldo) è più basso con la tecnologia EAF, aumenta leggermente con le tecnologie BF-BOF ed è molto più elevato con la tecnologia DRI basata sul gas naturale e accoppiata al forno elettrico. La tecnologia DRI basata sull'idrogeno e seguita da EAF genera di gran lunga i costi maggiori. La CCU aumenta i costi in tutti i casi, particolarmente quando viene aggiunta al BF-BOF.

Ciò è il risultato della somma dei costi fissi e dei costi operativi fissi e variabili. Il CAPEX del DRI è il più elevato, indipendentemente dall'agente riducente utilizzato, mentre il più basso è quello relativo al forno elettrico.

I costi operativi (OPEX) variabili della DRI_NG+EAF+HR sono i più bassi mentre quelli della DRI_H2+EAF+HR risultano i più elevati, principalmente a causa dei costi legati alla produzione di idrogeno.

Il CAPEX*CRF è il corrispondente costo annuale dell'investimento data la durata dell'investimento ed il WACC.

Nella parte bassa della Tabella 3, è stato aggiunto il costo delle emissioni dirette di CO₂, valorizzate al prezzo ipotizzato per i permessi di emissione. La somma "LCOP+Certificati" rappresenta il costo complessivo, industriale ed ambientale (valorizzato con il prezzo dei permessi), per produrre una tonnellata di acciaio con le diverse tecnologie. La tecnologia complessivamente meno costosa risulta ancora la EAF+HR, seguita dalla DRI_NG+EAF+HR che dimezza il divario con la H2_DRI+EAF+HR.

C.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Fishedick, M., Marzinkowski, J., Winzer, P. & Weigel, M. Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies. *J. Clean. Prod.* **84**, 563–580 (2014).
2. Istat. *Settore 24 - Metallurgia*. <https://www.istat.it/competitivita/files/24.pdf> (2022).
3. Medarac, H., Moya, J. A. & Somers, J. Production costs from iron and steel industry in the EU and third countries. *Jrc Tech. Rep.* 12–12 (2020) doi:10.2760/705636.
4. Rosner, F. *et al.* Green steel: design and cost analysis of hydrogen-based direct iron reduction. *Energy Environ. Sci.* **16**, 4121–4134 (2023).
5. Woertler, M. . *et al.* *Steel's Contribution to a low Carbon Europe 2050. Technical and economic analysis of the sectors CO2 abatement potential.* (2013).

Rapporto commissionato dal WWF Italia



**5 milioni di sostenitori nel mondo.
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.
1300 progetti di conservazione.
In Italia oltre 100 Oasi protette.
Migliaia le specie interessate dall'azione
del WWF sul campo.**

WWF Italia ETS
Via Po, 25/c
00198 Roma

Tel: 06844971
e-mail: wwf@wwf.it
sito: wwf.it