

# Steel Master 1998

**COMPATIBILITA' TRA SVILUPPO SOSTENIBILE  
E NUOVI CICLI  
PER LA PRODUZIONE DELL'ACCIAIO**

**F. Dolci, CSM - Centro Sviluppo Materiali , Roma**

**A. Pichierri, Università di Torino**

Dicembre 1998

**COMPATIBILITA' TRA SVILUPPO SOSTENIBILE E NUOVI CICLI PER LA  
PRODUZIONE DELL'ACCIAIO**

**F. Dolci, CSM - Centro Sviluppo Materiali , Roma**

**A. Pichierri, Università di Torino**

**INDICE**

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. L'EFFETTO SERRA INDOTTO DALL'UOMO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. LA RESPONSABILITÀ DEGLI STATI.....</b>	<b>6</b>
<b>4. ANDAMENTO DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> NEI PAESI INDUSTRIALIZZATI ..</b>	<b>7</b>
<b>5. L'ATTUALE PRODUZIONE D'ACCIAIO IN ITALIA .....</b>	<b>9</b>
<b>6. IL NUOVO PROCESSO CLEAN SMELT .....</b>	<b>10</b>
<b>7. IL NUOVO PROCESSO STRIP-CASTING .....</b>	<b>13</b>
<b>8. LA NUOVA COMBUSTIONE DFT .....</b>	<b>15</b>
<b>9. LA PRODUZIONE DI ACCIAIO IN ITALIA NEI PROSSIMI ANNI.....</b>	<b>18</b>
<b>10. CONCLUSIONI .....</b>	<b>21</b>
<b>11. REFERENZE.....</b>	<b>23</b>

## COMPATIBILITA' TRA SVILUPPO SOSTENIBILE E NUOVI CICLI PER LA PRODUZIONE DELL'ACCIAIO

F. Dolci, CSM - Centro Sviluppo Materiali , Roma

A. Pichierri, Università di Torino

### **Sommario**

Negli ultimi decenni si è assistito in tutto il mondo ad un cambiamento del clima consistente generalmente in un aumento di temperatura causato a sua volta da aumento della concentrazione della CO<sub>2</sub>. In questi anni, in conseguenza di ciò, vi è stata un'azione sempre più pressante di Società ambientaliste per diffondere tali informazioni e per richiedere ai Governi leggi in difesa dell'ambiente ovvero a favore di diminuzioni di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Nell'ecosistema globale, mondiale, si sono instaurati, dopo gli “anni degli sprechi” cicli delle principali sostanze che lo stanno portando verso l'instabilità. Si è costretti quindi a dover iniziare a pensare ad uno “sviluppo sostenibile” per il quale il consumo di energia, ovvero la CO<sub>2</sub> prodotta sia sotto controllo.

A seguito della Conferenza Mondiale di Rio de Janeiro del Giugno 1992, recentemente nell'ultima Conferenza Mondiale di Kyoto (Dicembre 1997) è stato approvato un Protocollo, contenente le prime decisioni sull'attuazione operativa, per i paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione, degli impegni più urgenti e prioritari.

In particolare, tali paesi, devono ridurre nel 2010 del 5 % le principali emissioni di quei gas capaci di alterare l'effetto serra (anidride carbonica, metano, protossido d'azoto, fluorocarburi idrati, perfluorocarburi e esafluoruro di zolfo) ovvero riportare le relative emissioni nel 2010 ai livelli del 1990 per i primi tre gas e a quelle del 1995 per gli altri tre gas.

In questo lavoro sono presentate alcune tecnologie innovative per i cicli siderurgici sviluppate dal Centro Sviluppo Materiali (CSM) per andare incontro alle suddette richieste di diminuzione delle emissioni della CO<sub>2</sub>.

La prima è una nuova tecnologia chiamata “CleanSMelt” per la produzione di ghisa partendo direttamente da minerale di ferro e carbone in polvere. Questa nuova tecnologia permette una riduzione di consumi energetici e quindi di emissioni di CO<sub>2</sub> del “20 %” rispetto alla via convenzionale della produzione della ghisa oltre all’eliminazione dei due impianti convenzionali più inquinanti che sono le “cokerie” e gli impianti di “agglomerazione”.

La seconda tecnologia chiamata “Strip- casting” è relativa alla produzione di nastro a caldo a partire dall’acciaio liquido che convenzionalmente alimenta la colata continua; con questa si ha un risparmio energetico del 50% rispetto alla via convenzionale.

In fine il CSM sta anche sviluppando una nuova famiglia di bruciatori “autorigenerativi a combustione diluita” che permettono riduzioni di consumi energetici del 20 – 30 % e riduzioni notevolmente spinte anche delle emissioni di ossidi di azoto.

Occorre quindi, per rispettare gli impegni nazionali ambientali, affrontare azioni in Italia anche per diminuire le emissioni in siderurgia perché il Paese è uno dei grandi produttori d’acciaio al mondo. Da una prima previsione risulta che applicando le nuove tecnologie suddette ad una produzione d’acciaio di circa due milioni di tonnellate all’anno nel 2010 si potrebbe avere una diminuzione delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) di 3 Mt/a per interventi innovativi a cui si possono aggiungere 2 Mt/a per interventi convenzionali. Il totale delle riduzioni delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) di 5 Mt/a rappresenta circa il 10% delle emissioni 1996 ed è in perfetto accordo con le direttive di Kyoto.

## COMPATIBILITA' TRA SVILUPPO SOSTENIBILE E NUOVI CICLI PER LA PRODUZIONE DELL'ACCIAIO

F. Dolci, CSM - Centro Sviluppo Materiali , Roma

A. Pichierri, Università di Torino

### 1. Premessa

Negli ultimi decenni si è assistito in tutto il mondo ad un cambiamento del clima consistente generalmente in un aumento di temperatura causato a sua volta da aumento della concentrazione della CO<sub>2</sub>. In questi anni, in conseguenza di ciò, vi è stata un'azione sempre più pressante di Società ambientaliste per diffondere tali informazioni e per richiedere ai Governi leggi in difesa dell'ambiente ovvero a favore di diminuzioni di emissioni di CO<sub>2</sub>. Nell'ecosistema globale, mondiale, si sono instaurati, dopo gli “anni degli sprechi” cicli delle principali sostanze che lo stanno portando verso l'instabilità. Si è costretti quindi a dover iniziare a pensare ad uno “sviluppo sostenibile” per il quale il consumo di energia, ovvero la CO<sub>2</sub> prodotta sia sotto controllo.

A seguito della Conferenza Mondiale di Rio de Janeiro del Giugno 1992, recentemente nell'ultima Conferenza mondiale di Kyoto (Dicembre 1997, (1)) è stato approvato un Protocollo, contenente le prime decisioni sull'attuazione operativa, per i paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione, degli impegni più urgenti e prioritari.

In particolare, tali paesi, devono ridurre nel 2010 del 5 % le principali emissioni di quei gas capaci di alterare l'effetto serra (anidride carbonica, metano, protossido d'azoto, fluorocarburi idrati, perfluorocarburi e esafluoruro di zolfo) ovvero riportare le relative emissioni nel 2010 ai livelli del 1990 per i primi tre gas e a quelle del 1995 per gli altri tre gas.

La riduzione globale del 5 % delle emissioni dei gas che producono “effetto serra” diventa in effetti del 25 % se si tiene conto dell’attuale andamento delle emissioni che avrebbe portato un aumento del 20 %.

In questo lavoro sono presentate alcune tecnologie innovative sviluppate dal CSM (Centro Sviluppo Materiali) nel campo della produzione dell’acciaio per andare incontro alle suddette richieste di diminuzione delle emissioni della CO<sub>2</sub>.

Le più importanti tecnologie innovative sviluppate dal CSM per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti sono le tre seguenti:

- *CleanSMelt*, processo per la produzione della ghisa mediante uso diretto di minerale di ferro e fossile;
- Strip-casting, processo di produzione del nastro a caldo direttamente dall’acciaio liquido;
- DFT (Diluted Firing Technologies), combustione a bassa temperatura senza fiamma con recupero di calore

## **2. L’effetto serra indotto dall’uomo**

Ciò che preoccupa gli scienziati sono principalmente le emissioni di origine umana di gas serra che vanno ad aggiungersi a quelli già naturalmente presenti in atmosfera, incrementandone le concentrazioni e alterando il bilancio dei flussi di energia che influenza le interazioni fra le componenti climatiche.

Fra i gas che compongono naturalmente l’atmosfera ve ne sono infatti alcuni che consentono il riscaldamento della parte più bassa dell’atmosfera e che per questa funzione sono detti appunto “gas serra”: essi hanno la duplice proprietà di essere trasparenti alla radiazione solare incidente sulla terra e di essere parzialmente opachi alla radiazione

emessa dal suolo verso lo spazio. I gas serra svolgono quindi una funzione fondamentale nel bilancio dei flussi di energia che influenzano il sistema climatico.

In assenza di gas serra, la temperatura media della superficie terrestre sarebbe di 19 °C sotto lo zero. Il principale gas di serra è il vapor d'acqua che da solo riscalda l'atmosfera terrestre di circa 30 °C; seguono in ordine d'importanza l'anidride carbonica, il metano, gli ossidi di azoto, l'ozono e altri composti in traccia, che complessivamente fanno sì che l'atmosfera terrestre produca un effetto serra naturale di circa 34 °C, portando la temperatura media del pianeta a circa 15 °C.

Va precisato, perché, ciò complica il problema di un corretto bilancio quantitativo dei flussi di gas, che una parte dei gas di origine antropica hanno anche fonti naturali di emissione o di assorbimento (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), mentre altri gas serra sono esclusivamente artificiali (CFC, HCFC, HFC, ecc.).

Secondo l'IPCC, l'organismo internazionale incaricato per la valutazione scientifica dello stato delle conoscenze sui cambiamenti climatici e sulle politiche di mitigazione e adattamento, le concentrazioni dei gas serra sono aumentate in maniera significativa a partire dall'inizio della rivoluzione industriale e in futuro sono destinate a crescere in misura molto preoccupante.

Occorre inoltre sottolineare un aspetto terminologico che evidenzia la complessità del problema scientifico sottostante.

Gli organismi internazionali tengono, infatti, a precisare anche in sede divulgativa le differenze fra i termini "effetto serra", "riscaldamento globale" e "cambiamenti climatici". La temperatura è, infatti, solo uno dei parametri, anche se forse il più utile da considerare, delle molte trasformazioni del sistema climatico indotte dall'alterazione del bilancio energetico complessivo fra energia incidente ed energia emessa.

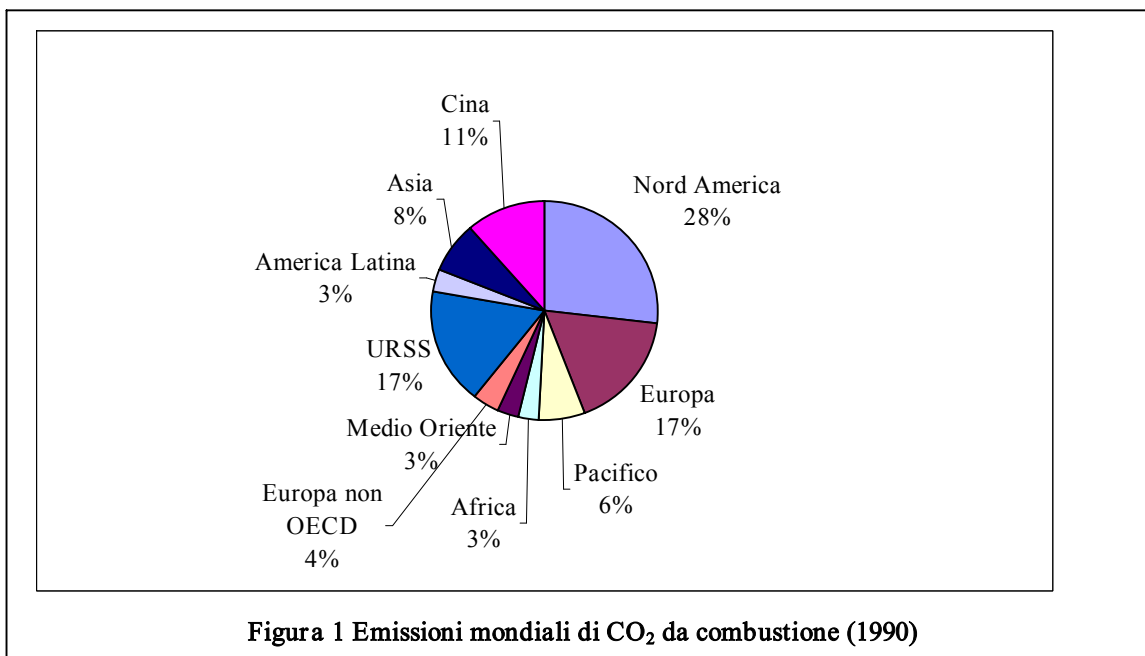
Vi sono meccanismi riguardanti i processi che trasportano l'energia verso l'alta atmosfera che interferiscono col sistema climatico in maniera relativamente indipendente dalla temperatura. Con altre parole, alcuni parametri climatici altrettanto importanti quanto la temperatura, le precipitazioni, il regime dei venti, la nuvolosità e l'umidità del suolo, possono variare molto prima che abbia luogo un riscaldamento rilevabile (oltre che, ovviamente, in seguito alla crescita della temperatura). Il riscaldamento globale è quindi solo un sintomo dei cambiamenti climatici indotti dall'effetto serra aggiuntivo di origine antropica, ma non esaurisce affatto il problema. Vi sono altre variabili climatiche che interagiscono direttamente con l'alterazione del bilancio energetico in atmosfera.

### **3. La responsabilità degli Stati**

Per quanto riguarda gli Stati, ciò che dovrebbe contare sono le emissioni di gas serra intervenute a partire dall'inizio del loro sviluppo industriale, fermo restando che molti Paesi solo da poco hanno iniziato un percorso di sviluppo e, quindi, non sarebbe equo considerare, per tutte le nazioni del globo, la stessa data di riferimento per il calcolo degli obiettivi di contenimento delle emissioni. La Convenzione quadro sui cambiamenti climatici ha scelto la strada di non considerare il contributo storico dei vari Stati a partire dal periodo preindustriale, preferendo piuttosto stabilire un anno base, il 1990, per tutti i Paesi sviluppati (detti dell'Annesso I alla Convenzione) e considerare i livelli annui di emissione per gli anni successivi al 1990. Anche accontentandoci delle emissioni annuali, e non di quelle storicamente cumulate, bisogna dire che attualmente non è possibile rispondere esaustivamente e precisamente alla domanda sulla responsabilità delle emissioni di gas serra: infatti, non sono ancora disponibili dati completi sulle emissioni annue di tutti i gas serra (per lo meno quelli inclusi nel Protocollo di Kyoto) per tutti i Paesi del globo e per tutti i settori. La Convenzione quadro sui cambiamenti climatici

impegna gli Stati firmatari a realizzare inventari nazionali delle emissioni: tuttavia, l'unico gas serra di cui sono elaborati dati affidabili ed esaustivi a livello globale è la CO<sub>2</sub>.

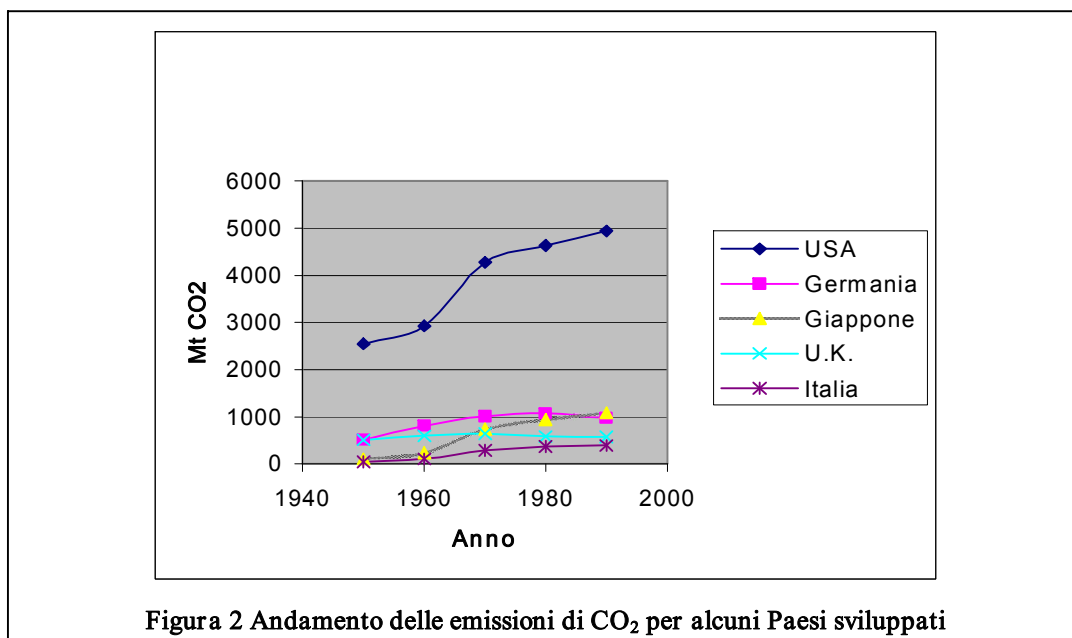
Nella Fig. 1 sono riportate le emissioni di CO<sub>2</sub> da combustione nel 1990 secondo la stima dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (1997) ripartite secondo le principali aree geopolitiche del globo.



Si nota che, su un totale di emissioni di CO<sub>2</sub> del 1990 di 21.000 Mt (21 Gt) i Paesi industrializzati sono responsabili per circa i due terzi, con un grosso contributo da parte del Nord America (Usa e Canada, per complessive 5,6 Gt di CO<sub>2</sub>), dell'Unione Europea (3,2 Gt) e dell'ex Unione Sovietica (3,6 Gt). Fra i Paesi in via di sviluppo, il contributo della Cina è quello preponderante (2,4 Gt), mentre quello dei Paesi africani, del Medio oriente e dell'America latina ammonta a meno di 2 Gt.

#### **4. Andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> nei Paesi industrializzati**

La forte crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> che si è verificata in Italia nel periodo 1950-1990 ha in realtà avuto origine da un livello di emissioni molto basso. Negli anni '50 è aumentata



lentamente; ha subito una forte accelerazione negli anni del boom economico, mentre è rallentata fortemente negli anni ottanta. Gran parte delle emissioni storiche da combustione sono imputabili all'uso della fonte petrolifera. Negli anni ottanta le emissioni da petrolio sono diminuite in termini assoluti, mentre sono aumentate quelle derivanti dall'impiego di gas naturale, a causa della sua crescente diffusione per usi civili e per la produzione di energia elettrica. Dal punto di vista delle politiche italiane sul clima, è utile confrontare l'andamento delle emissioni italiane con quello dei maggiori Paesi industrializzati (Fig. 2). Si nota che le emissioni italiane di CO<sub>2</sub>, sebbene sempre crescenti nel periodo 1950-1990, nel 1990 si collocavano ad un livello notevolmente inferiore rispetto a quelle di Paesi come la Gran Bretagna e la Germania nel 1950. Ciò è dovuto ad una molteplicità di ragioni, fra cui i diversi tempi e modelli di industrializzazione dei Paesi citati.

Dalla situazione attuale a livello internazionale, emerge che gli otto Paesi più industrializzati sono responsabili del 46,1% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, con gli USA responsabili per il 21 % a fronte di una quota di popolazione pari al 4,6% (dati 1992).

Per effettuare correttamente il confronto fra i vari Paesi è opportuno fare riferimento ad un indicatore normalizzato. Fra i vari indicatori disponibili, l'applicazione di un principio di equità internazionale nel perseguire uno sviluppo sostenibile porta a scegliere le emissioni pro - capite.

Nel 1995 l'Italia ha avuto emissioni pro - capite di CO<sub>2</sub> dall'uso di combustibili fossili di 7,4 t/anno, contro una media mondiale di 3,9 t.

La media degli otto Paesi più industrializzati è quasi tre volte superiore a quella mondiale e circa tredici volte superiore alle emissioni pro-capite dell'India (0,86 t). E' quindi evidente che una soluzione equa al problema dei cambiamenti climatici richiede innanzitutto uno sforzo di riduzione autonoma delle emissioni dei Paesi industrializzati.

Occorre inoltre sottolineare la miglior posizione dell'Italia nell'ambito dei Paesi più industrializzati.

Spicca, infatti, l'elevatissimo livello pro-capite degli Stati Uniti, che ammonta a 19,9 t quasi il triplo di quello italiano e a circa cinque volte la media mondiale (3,9 t).

## **5. L'attuale produzione d'acciaio in Italia**

L'Italia è un gran produttore e consumatore d'acciaio; occupa rispettivamente l'8° e il 6° posto nel mondo (Tab. n.1).

Sempre in Italia la produzione d'acciaio è per il 43 % secondo il ciclo integrale a partire dalle materie prime minerale di ferro e carbone (via altoforno per la produzione di ghisa e successivamente convertitore ad ossigeno per la produzione d'acciaio) e per il 57 % a partire dal rottame via forno elettrico (FEA) (Tab. n.1).

Il consumo energetico del settore siderurgico in Italia (dati 1996) è pari al 7 % del totale e le emissioni di CO<sub>2</sub> sono pari al 12 % del totale.

<i>Paese</i>	Produzione acciaio (Mt/a)	Tipo di acciaieria		
		LD (%)	FEA (%)	Martin (%)
Italia	24,3	43	57	
USA	94,7	58	42	
Corea	38,9	60	40	
Unione Europea a 15	147,0	65	35	
Giappone	98,8	67	33	
Brasile	25,2	80	20	
Cina	100,0	70	17	13
Russia	49,2	52	12	36
Mondo	749,4	60	33	7

**Tabella N. 1 Produzione d'acciaio nel mondo per paese e tipo d'acciaieria (dati 1996)**

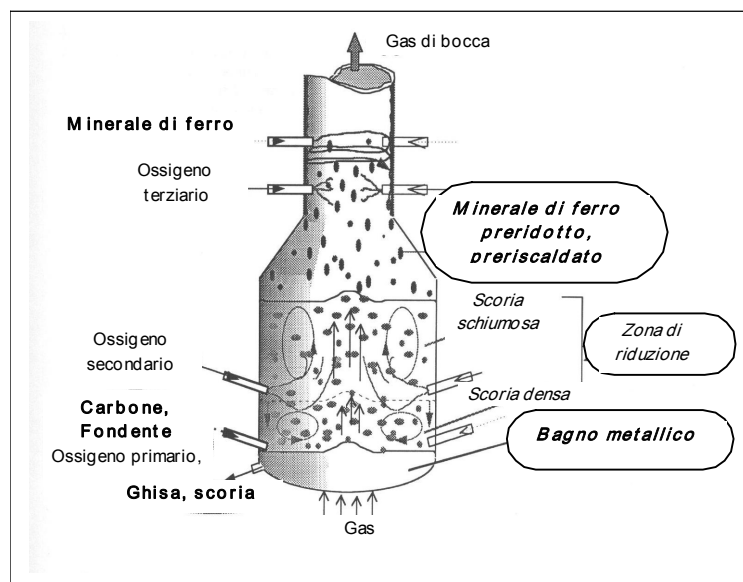
Le emissioni di CO<sub>2</sub> nel settore della Siderurgia sono oltre il 9 % (1996) di quelle (431 Mt) totali dei consumi energetici.

## 6. Il nuovo processo *CleanSMelt*

Il processo *CleanSMelt* (2,3) per la produzione di ghisa, prodotto intermedio nel ciclo integrale della produzione dell'acciaio, è un processo di riduzione in fase fusa.

In questa famiglia di processi, comunemente chiamati di Smelting Reduction, la riduzione degli ossidi metallici del minerale di ferro, avviene nella scoria liquida. Si ha, rispetto alla strada convenzionale per produrre ghisa caratterizzata dall'altoforno, l'uso diretto del carbone e di minerale di ferro fine, invece rispettivamente del coke e dell'agglomerato. Così facendo si eliminano le fasi di cokefazione e di agglomerazione che, negli stabilimenti siderurgici a ciclo integrale, sono da sempre particolarmente inquinanti.

In questo processo, (Fig.3), il minerale di ferro fine è alimentato nella zona superiore dove passano i gas caldi uscenti dalla zona sottostante e così viene preriscaldato ed in parte preridotto a bassi livelli (asportazione dell'ossigeno dai minerali di ferro).



**Figura 3 Schema del reattore del processo CleanSMelt**

Una piccola parte dell'ossigeno (terziario) è anche alimentata insieme al minerale di ferro in modo da dare luogo alla postcombustione del gas e quindi cedere al minerale stesso il calore necessario a quanto detto.

Il carbone e l'ossigeno sono iniettati nella zona inferiore del reattore sotto battente di scoria (Fig. 3) dove avviene la fusione del minerale di ferro e si completa la sua riduzione a spese del calore sviluppato dalla gassificazione del carbone con l'ossigeno introdotto in questa stessa zona (ossigeno primario e secondario).

Nella successiva tabella N. 2 è riportato il confronto tra altoforno e CleanSMelt per quanto riguarda i consumi energetici e di materie prime, avendo assunto il caso “ CleanSMelt

integrato” ovvero il caso in cui l’ossigeno necessario al processo è prodotto all’interno dell’impianto stesso a spese del contenuto entalpico del gas uscente dal reattore stesso.

Voce	Contenuto energetico		Consumi / t ghisa (t gh)			Consumi energetici		
	U.M.		U.M.	Altoforno	CleanSMelt	U.M.	Altoforno	CleanSMelt
Minerale di ferro	GJ/kg	-	kg	-	1500	GJ/t gh		
Agglomerato	GJ/kg	2,16	kg	1350	-	GJ/t gh	2,92	
Calce	GJ/kg	5,64	kg	20,0	110,0	GJ/t gh	0,11	0,62
Energia el.	GJ/kwh	10,29	kwh	70,0	-813	GJ/t gh	0,72	-8,37
Carbone	GJ/kg	31,85	kg	180,0	680,0	GJ/t gh	5,73	21,66
Coke	GJ/kg	34,66	kg	320	-	GJ/t gh	11,09	
Ossigeno	GJ/Nm3	7,20	Nm3	52	-	GJ/t gh	0,37	
Gas di export	GJ	1,00	GJ	-3,03	-	GJ/t gh	-3,03	
Totale						GJ/t gh	17,91	13,91

**Tabella N. 2 Confronto energetico tra Altoforno e “CleanSMelt integrato”**

In questo caso è previsto pure che con il calore eccedente venga prodotta energia elettrica.

In questo modo si ha un impianto integrato nel quale le materie prime entranti sono carbone, minerale di ferro e fondente ed i prodotti uscenti sono oltre alla ghisa e loppa, energia elettrica.

Da questo confronto risulta, rispetto all’altoforno, un risparmio energetico di 4 GJ / t ghisa prodotta che in percentuale è maggiore del 20%.

Per quanto riguarda infine i miglioramenti del processo *CleanSMelt* rispetto all’altoforno relativamente agli inquinanti, il confronto è riportato nella successiva tabella N.3.

Inquinante	U.M.	Altoforno	<i>CleanSMelt</i>	Variazione
CO <sub>2</sub>	Kg/t ghisa	2270	1780	-22%
SO <sub>2</sub>	Kg/t ghisa	2,15	0,15	-93%
NO <sub>x</sub>	Kg/t ghisa	2,2	0,1	-95%
VOC	Kg/t ghisa	0,3	0,0	-100%
Particolato	Kg/t ghisa	1,0	0,2	-80%

In conclusione il miglioramento del *CleanSMelt* rispetto alla via convenzionale dell’altoforno dal punto di vista energetico – ambientale può essere così sintetizzato:

- diminuzione del 20% delle emissioni CO<sub>2</sub> e del consumo energetico;
- diminuzione maggiore dell'80% delle emissioni di SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>.

Il processo *CleanSMelt* nasce da una collaborazione internazionale a livello Europeo tra Enti di ricerca di Aziende siderurgiche italiana, inglese e olandese finanziata dalla Comunità Europea. Alla collaborazione iniziale sono seguite, per motivi strategici aziendali e scelte tecnologiche diverse, attività differenziate.

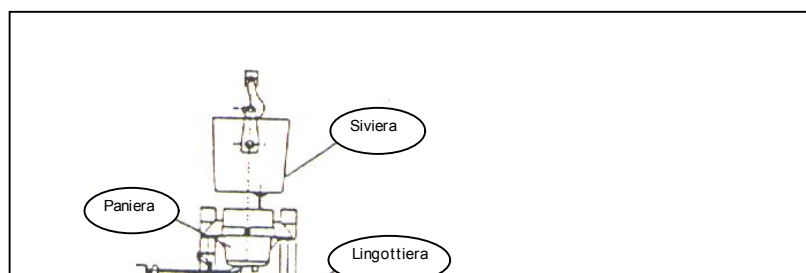
In Italia è stato sperimentato recentemente con successo su un impianto pilota, con potenzialità 3 t/h di ghisa, installato nello stabilimento ILVA di Taranto.

La prima applicazione industriale è di difficile realizzazione in quanto richiede grandi investimenti.

## 7. Il nuovo processo Strip-casting

Un altro processo notevolmente innovativo nella produzione dell'acciaio che semplifica ed accorcia consistentemente il ciclo attualmente in funzionamento è quello chiamato "strip-casting" (4).

Si tratta (Fig. 4) della tecnologia per passare direttamente dall'acciaio liquido ad un nastro (coil) con spessore molto vicino a quello finale o quello finale proprio (2 – 5 mm) eliminando così la produzione di bramme della colata continua ed i successivi raffreddamenti e riscaldamenti per le successive laminazioni, ovvero riduzioni di spessore.



**Figura 4 Schema dell'impianto strip-casting installato  
presso lo Stabilimento di Terni della Soc. AST**

Le potenzialità di miglioramento dello *Strip-casting* - rispetto alla via convenzionale della produzione del nastro a caldo d'acciaio sono:

- diminuzione del 70 % delle emissioni di CO<sub>2</sub> e del consumo energetico.

Il processo è nato da una collaborazione del CSM con lo Stabilimento Acciai Speciali Terni di Terni, è tuttora in corso di sperimentazione con successo con un Progetto multinazionale AST (Acciai Speciali Terni) – CSM – VAI (Voest Alpine, Austria) finanziato dalla Comunità Europea su un impianto pilota installato nello stabilimento AST di Terni le cui caratteristiche sono riportate nella successiva tabella N.4.

L'impianto può essere caratterizzato sinteticamente dalla capacità di colaggio di 60 t dalla larghezza dei rulli di 600 mm e dallo spessore finale del nastro di 2 – 5 mm.

La ricerca attualmente è focalizzata sull'ottimizzazione della qualità e geometria del nastro. Per l'anno 2000 è prevista la realizzazione e l'avviamento di un impianto pre-industriale, capace di produrre 500.000 t/anno, presso la KRUPP di Krefeld.

Impianto di colaggio	a rulli contrapposti
----------------------	----------------------

Mantello rulli	lega di rame	
Capacità di colaggio	t	60
Capacità panieriera	t	3
Larghezza rulli	mm	800
Diametro rulli	mm	1500
Max. velocità di colaggio	m/min	100
Spessore nastro	mm	2 - 5

**Tabella N. 4 Caratteristiche dell'impianto strip-casting installato presso lo Stabilimento di Terni della Soc. AST**

## 8. La nuova combustione DFT

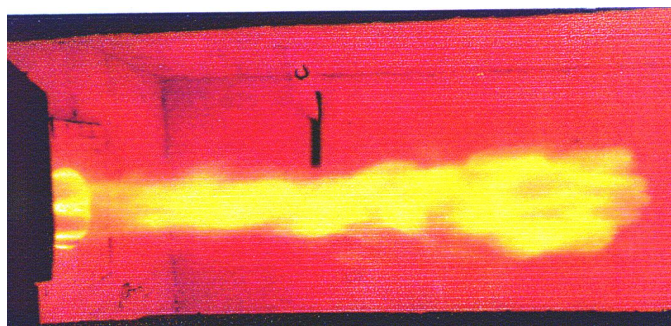
La tecnologia DFT - (Diluted Firing Technologies) (5) è una combustione senza fiamma caratterizzata da:

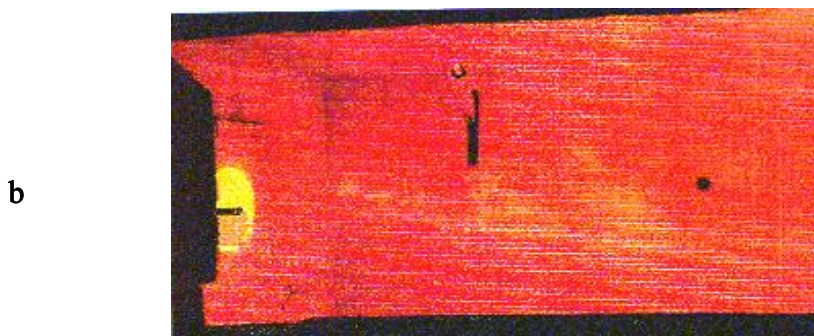
- alta temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente (circa 800 - 1000°C),
- ridotta pressione parziale di ossigeno, mediante ricircolo dei fumi all'interno della camera di combustione.

Questa nuova tecnologia di combustione accoppia i vantaggi di due tecnologie innovative già note: quella della combustione diluita (TCD) e quella del recupero energetico rigenerativo (RER).

Per TCD o DFT dall'inglese Diluted Firing Technologies, si intende una combustione che nei confronti di quella convenzionale (Fig. 5a) è caratterizzata visivamente dall'assenza di fiamma (Fig. 5b) e dal punto di vista tecnico da temperatura e da pressione parziale dell'ossigeno inferiori.

**a**





**Figura 5** Fotografie della fiamma nella combustione convenzionale (a) e in quella DFT (b)

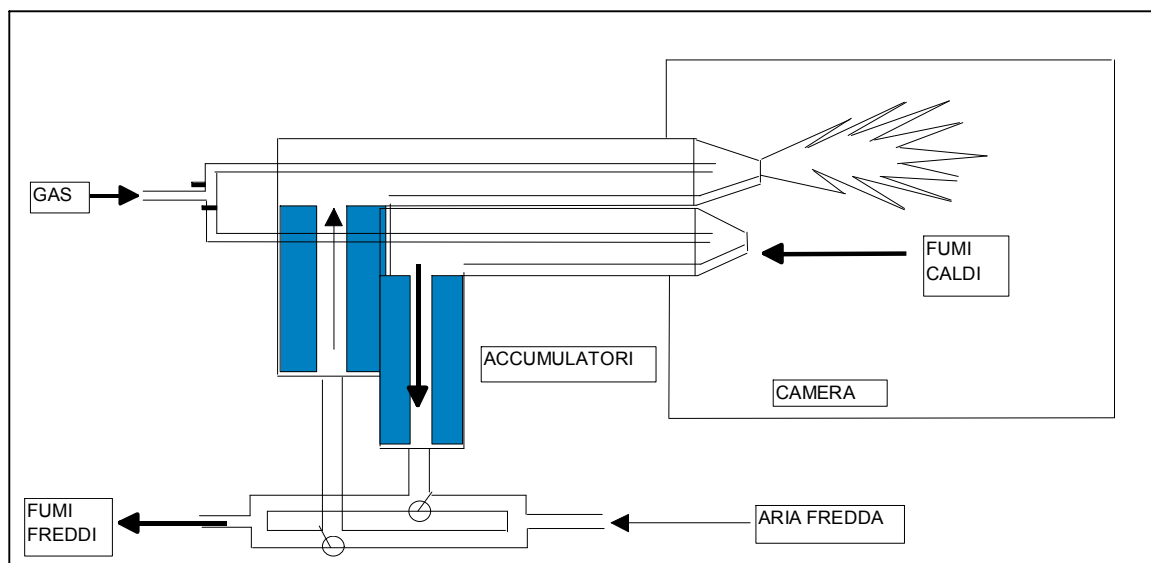
I vantaggi, in linea di principio, di tale tecnica rispetto a quella convenzionale sono dovuti all'abbassamento della temperatura della combustione vicina a quella necessaria al processo al quale si vuole cedere calore e possono essere sintetizzati come segue:

- migliore efficienza dello scambio di calore;
- riscaldamento più uniforme e controllato per lo stesso motivo;
- eliminazione dei problemi di resistenza dei materiali ;
- valori estremamente bassi delle emissioni di ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ).

Questa ultima caratteristica permette di usare quindi anche reagenti fortemente preriscaldati mediante tecniche rigenerative di preriscaldamento dell'aria comburente, ad esempio la RER. Si tratta di preriscaldare l'aria comburente a temperatura oltre 800 – 1000 °C facendola passare in un accumulatore di calore riscaldato in precedenza con i fumi della combustione stessa.

Per realizzare ciò, ogni bruciatore rigenerativo (Fig. 6) è composto da due linee comprendenti un accumulatore di calore e un ugello terminale. L'accumulatore è realizzato con materiali ceramici in geometrie ad elevato sviluppo superficiale, con configurazione geometrica «a nido d'ape» dette «honeycomb», l'ugello terminale ha una doppia funzione:

opera infatti, alternativamente da bruciatore o da bocca di aspirazione dei fumi caldi, diretti all'accumulatore e quindi al camino.



**Figura N. 6 Schema di funzionamento di un bruciatore rigenerativo**

I vantaggi, riferendo il confronto con il miglior stato dell'arte convenzionale con recupero di calore ad alta efficienza sono:

- riduzione del 25 % delle emissioni  $\text{CO}_2$  e del consumo energetico;
- riduzione dell'80% delle emissioni di  $\text{NO}_x$ .

Questi vantaggi sono stati dimostrati su un applicazione industriale dimostrativa finanziata dalla Comunità Europea (Progetto Thermie) realizzata dal CSM in siderurgia presso lo stabilimento AST di Terni su forni di trattamento, in particolare su quelli di ricottura dell'acciaio inossidabile austenitico.

Questa innovazione deriva dalla collaborazione del CSM con la Società tedesca WS progettista di bruciatori nella quale il CSM ha realizzato le modifiche del forno e svolto la sperimentazione successiva.

Questa tecnologia risulta particolarmente interessante e di larga applicazione essendo possibile la sua applicazione in molti settori industriali; adesso risulta necessaria un'opera di diffusione per farla conoscere ai diversi possibili interessati.

## **9. La produzione di acciaio in Italia nei prossimi anni**

Nella successiva figura N. 7 sono stati riportati a confronto gli schemi della produzione di acciaio nel ciclo integrale (fino al nastro – coil):

- degli “Anni 90” ovvero “attuale” e
- degli anni “2010” ovvero di quando potrebbero essere applicate le suddette innovazioni della produzione dell'acciaio da ciclo integrale quali il processo “CleanSMelt” e lo Strip-casting”.

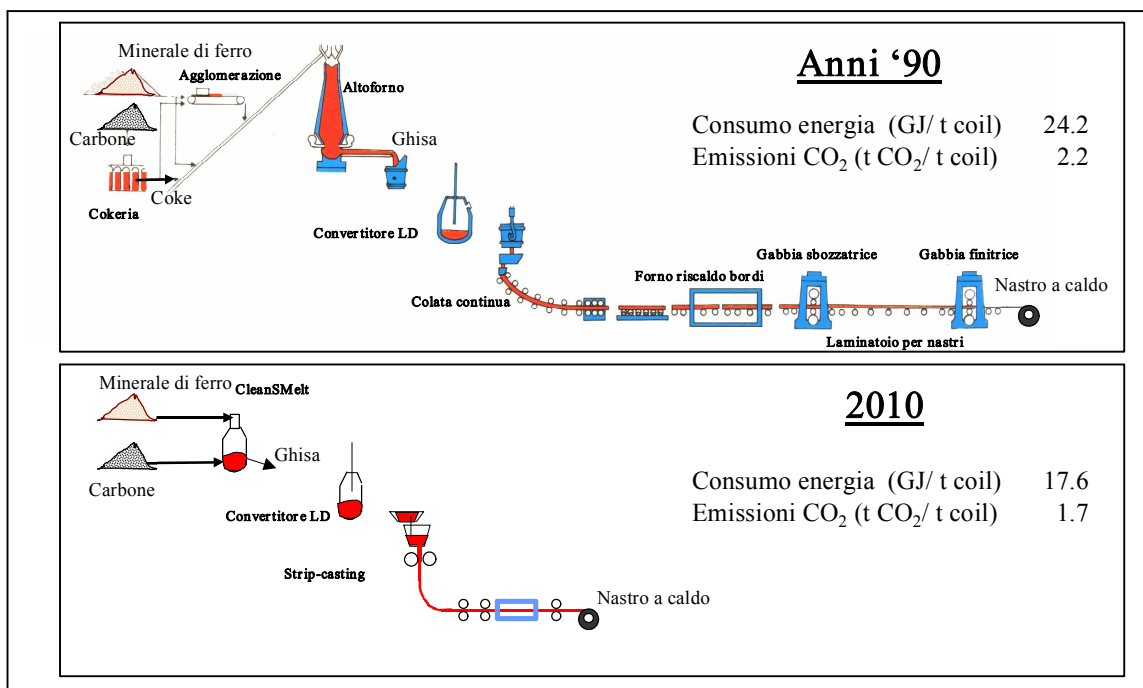
Come risulta chiaramente dal confronto dei due cicli le lavorazioni diminuiscono notevolmente e contemporaneamente il consumo di energia elettrica e le emissioni di inquinanti ovvero di CO<sub>2</sub>.

Nella successiva tabella n. 5 è riportata l'evoluzione dei consumi energetici e delle emissioni in Siderurgia, sia nel ciclo integrale, sia nel ciclo del forno elettrico dagli anni '60 a oggi e le previsioni al 2010.

Mentre per le emissioni sono state considerate quelle totali in t di CO<sub>2</sub> fino alla produzione del nastro; per quanto riguarda i consumi energetici, per evidenziare l'influenza delle innovazioni, sono stati considerati tre punti di riferimento sia del ciclo integrale, sia del forno elettrico:

- fino alla produzione di acciaio liquido,
- fino alla produzione di bramme,

- fino alla produzione di nastro.



**Figura N. 7 Evoluzione del ciclo integrale della produzione dell'acciaio**

<i>Ciclo integrale</i>		<b>Anni 60</b>	<b>Anni 90</b>	<b>2010</b>
Cons. energ. fino ad acciaio liquido	(GJ/t)	22,3	19,8	15,8
Cons. energ. fino a bramme	(GJ/t)	28,0	22,0	-
Cons. energ. fino a nastro	(GJ/t)	32,0	24,2	17,6
Emissioni CQ fino al nastro	(t CO <sub>2</sub> / t)	2,9	2.2	1.7
<i>Ciclo Forno elettrico</i>				
Cons.energ. fino ad acciaio liquido	(GJ/t)	7,8	7,0	6,0
Cons. energ. fino a bramme	(GJ/t)	12,5	7,2	-
Cons. energ. fino a nastro	(GJ/t)	17,5	11,4	7,8
Emissioni CQ fino al nastro	(t CO <sub>2</sub> / t)	1,5	1,0	0,7

**Tabella N. 5 Evoluzione dei consumi energetici e delle emissioni in Siderurgia**

Risulta evidente la forte diminuzione del consumo energetico, nel ciclo integrale 2010, fino ad acciaio liquido dovuto al processo *CleanSMelt*, la scomparsa delle bramme sempre nel 2010 per l'introduzione dello "strip-casting" in entrambi i cicli e la forte diminuzione delle emissioni nel ciclo integrale 2010, anch'essa dovuta all'introduzione del processo *CleanSMelt*.

Per prevedere la diminuzione nella siderurgia nel 2010 delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) si è valutata la possibile applicazione delle innovazioni suddette e quindi la conseguente diminuzione di emissioni (tabella N.6).

<b>Tecnologia</b>	<b>Applicazione nel 2010</b>	<b>CO<sub>2</sub> non emessa Mt/a</b>
CleanSMelt	Produzione 2 Mt/a di ghisa	1,0
Strip-casting	Produzione 2 Mt/a di nastro a caldo	0,5
DFT	70% dei forni di riscaldamento e di cottura	1,5

**Tabella N.6 Diminuzione di emissione CO<sub>2</sub> in siderurgia nel 2010 da innovazioni**

Da queste previsioni risulta nella produzione di acciaio in Italia nel 2010 una diminuzione delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) di 3 Mt/a per interventi innovativi a cui si possono aggiungere 2 Mt/a per interventi convenzionali.

Il totale delle suddette riduzioni delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) nel 2010 è 5 Mt/a pari a circa il 10 % delle emissioni 1996, in accordo con le direttive di Kyoto essendo le emissioni di CO<sub>2</sub> nel settore della Siderurgia oltre il 9 % (1996) di quelle (431 Mt) totali dei consumi energetici.

## 10. Conclusioni

In questo lavoro sono presentati alcune tecnologie innovative sviluppate dal CSM (Centro Sviluppo Materiali) per i cicli siderurgici per andare incontro alle richieste di diminuzione delle emissioni della CO<sub>2</sub>.

La prima è una nuova tecnologia chiamata “CleanSMelt” per la produzione di ghisa partendo direttamente da minerale di ferro e carbone in polvere. Questa nuova tecnologia permette una riduzione di consumi energetici e quindi di emissioni di CO<sub>2</sub> del “20 %” rispetto alla via convenzionale della produzione della ghisa oltre all’eliminazione dei due impianti convenzionali più inquinanti che sono le “cokerie” e gli impianti di “agglomerazione”.

La seconda tecnologia chiamata “Strip- casting” è relativa alla produzione di nastro a caldo a partire dall’acciaio liquido che convenzionalmente alimenta la colata continua; con questa si ha un risparmio energetico del 50% rispetto alla via convenzionale.

In fine il CSM sta anche sviluppando una nuova famiglia di bruciatori “autorigenerativi a combustione diluita” che permettono riduzioni di consumi energetici del 20 – 30 % e riduzioni notevolmente spinte anche delle emissioni di ossidi di azoto.

Occorre quindi, per rispettare gli impegni nazionali ambientali, affrontare azioni in Italia anche per diminuire le emissioni in siderurgia perché il Paese è uno dei grandi produttori d’acciaio al mondo. Da una prima previsione risulta che applicando le nuove tecnologie suddette ad una produzione d’acciaio in Italia di soltanto due milioni di tonnellate all’anno nel 2010 si potrebbe avere una diminuzione delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) di 3 Mt/a per interventi innovativi a cui si possono aggiungere 2 Mt/a per interventi convenzionali.

Il totale delle riduzioni delle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>) di 5 Mt/a rappresenta circa il 10 % delle emissioni 1996 ed è in perfetto accordo con le direttive di Kyoto.

## 11. Referenze

- 1) A. Molocchi “La scommessa di Kyoto - Politiche di protezione del clima e sviluppo sostenibile” Ed. Franco Angeli – 1998
- 2) G. Malgarini et al. “First results from CleanSMelt ironmaking pilot plant” Iron and Steel Engineer January 1997
- 3) P. Granati “ The CleanSMelt ironmaking process” Asia Steel 1998
- 4) R. Tonelli et al. “Recent developmments of twin-roll strip casting process at AST Terni Steelworks” Metec Congress, Dusseldorf – June 1994
- 5) A. Milani et al. “Abatement of fuel consumption with compact regenerative burners in energy intensive furnaces” Rapporto CSM N. 9448R – Aprile 1998