

LE NUOVE TECNOLOGIE DI TENOVA PER IL MIGLIORAMENTO DELLE PERFORMANCES DEL FORNO AD ARCO E IL RISPETTO DELL'AMBIENTE

M. Corbella, C. Giavani

Nel corso degli ultimi anni Tenova ha sviluppato una serie di tecnologie per i forni ad arco allo scopo di migliorarne le performances sia in termini di produttività che di rispetto per l'ambiente.

Queste tecnologie coinvolgono il processo all'EAF: la parte elettrica del processo attraverso il sistema di regolazione degli elettrodi, la parte chimica con un innovativo sistema di iniezione (KT™ injection system) ed un sistema di rilevamento on line della composizione dei fumi (Goodfellow EFSOP™), oltre alla tecnologia Consteel® per la carica in continuo del rottame.

I maggiori benefici sono stati ottenuti applicando combinazioni di queste tecnologie appositamente ridisegnate secondo le specifiche esigenze del cliente.

PAROLE CHIAVE: impianti e attrezzature, tecnologie, acciaieria, ecologia

INTRODUZIONE

Il forno ad arco ha assistito, fin dalla nascita, ad una crescita costante per via dell'aumento del volume di acciaio prodotto e per le innovazioni tecnologiche introdotte.

Parallelamente ad un costante trend in crescita della produzione di acciaio al forno elettrico ad arco, in questi ultimi decenni in particolare si è assistito ad una vera e propria rivoluzione tecnologica con l'introduzione della pratica della scoria schiumosa, l'utilizzo di trasformatori sempre più potenti, lo sviluppo dell'energia chimica, la possibilità di compiere analisi accurate della composizione dei fumi.

Dopo i grandi passi avanti compiuti con lo scopo di poter aumentare la produttività e l'efficienza dell'EAF, oggi si è arrivati ad una svolta cruciale: le regolamentazioni ambientali che si vanno delineando su scala nazionale ed internazionale pongono, infatti, una nuova sfida ai costruttori di impianti.

Tenova, nella sua storia di ricerca continua al fine di migliorare la qualità dei propri prodotti, affronta questo nuovo passo

con l'affinamento e lo sviluppo di diversi tipi di tecnologie applicabili al forno ad arco, toccando tutti gli aspetti salienti della produzione e del controllo di processo.

In questa memoria saranno brevemente illustrate queste innovazioni tecnologiche e sarà dato spazio alla presentazione di casi reali dimostrando la loro validità sia a livello produttivo che in termini di miglioramento dell'impatto ambientale.

L'ordine con cui queste tecnologie sono presentate è l'ordine cronologico con cui Tenova ne ha intrapreso lo sviluppo.

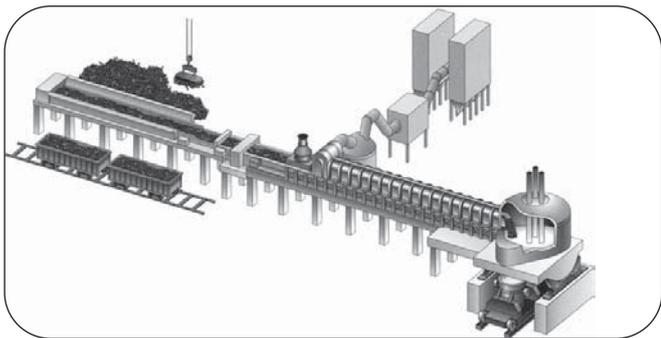
LA RIVOLUZIONE DELLA CARICA CONTINUA CON IL CONSTEEL®

La tecnologia Consteel® permette la carica del forno ad arco in modo continuo evitando l'utilizzo della carica in ceste, inoltre il rottame viene preriscaldato dai fumi caldi del forno in controcorrente.

L'introduzione del sistema Consteel® è stata una vera e propria rivoluzione: mai prima di allora era stato provato con successo, su scala industriale, un sistema di carica continua. Al momento sono ventidue gli impianti nel mondo dotati di questa innovazione tecnologica.

Con l'avviamento dei prossimi impianti in costruzione, la produzione di acciaio con sistema Consteel® sfiorerà i 15 milioni di tonnellate per anno. (Fig. 1)

Marco Corbella
Techint Spa
Cesare Giavani
Techint Spa



▲
Fig. 1

Layout tipico del sistema Consteel®.

Typical layout of the Consteel® System.

I vantaggi di questo sistema sono conseguenza del fatto che l'arco non lavora mai con rottame solido, ma interagendo solo con il bagno liquido:

- assenza di rotture di elettrodi
- migliore resa dell'energia elettrica
- riduzione nell'usura del forno, dei pannelli e della volta
- riduzione dei disturbi elettrici (flickers, armoniche)

Dal punto di vista ambientale, con l'evoluzione del sistema Consteel® accoppiato ad una corretta gestione della chimica nel forno, si ottengono ulteriori vantaggi:

- l'utilizzo della pratica con scoria schiumosa permette una sensibile riduzione del rumore dell'arco (< 95 dB), e riduzione dell'erosione del refrattario
- i fumi in uscita dalla sezione di preriscaldamento del rottame sono a temperatura sufficientemente elevata: la tecnologia Consteel® soddisfa tutte le norme in materia di emissioni di diossine secondo le specifiche europee e giapponesi
- Riduzione dal 10% al 30% della CO₂ emessa dal forno
- Riduzione della polverosità dei fumi: infatti le particelle più grandi di polvere tendono a cadere nella sezione di preriscaldamento del convogliatore che agisce da camera di sedimentazione

Inoltre, con l'installazione di un sistema di rilevamento delle radiazioni ionizzanti sul convogliatore (in aggiunta a quello di ingresso all'impianto) è possibile un controllo accurato della radioattività del rottame che sta per essere caricato in forno.

Dal punto di vista dei fumi il paragone con la tecnologia tradizionale si può riassumere con la Tab. 1:

	EAF tradizionale	CONSTEEL® EAF
Aspirazione fumi generati dal rottame	Dal primario durante fusione e affinazione. Dalle cappe (secondario) durante la carica.	Sempre dal circuito primario: la volta del forno non si apre di norma.
Controllo di temperature e ossidazione sul circuito primario	Solitamente NO	SI, sempre
Camera di post combustione	SI. Deve essere raffreddata ad acqua.	SI. È più piccola che nel forno tradizionale ed è refrattariata per mantenere la temperatura calda dei fumi. Non si usano bruciatori.
Controllo di pressione nel forno	Normalmente NO	SI, sempre

▲
Tab. 1

LO SVILUPPO DELL'ENERGIA CHIMICA ATTRAVERSO UN SISTEMA DI INIEZIONE INNOVATIVO

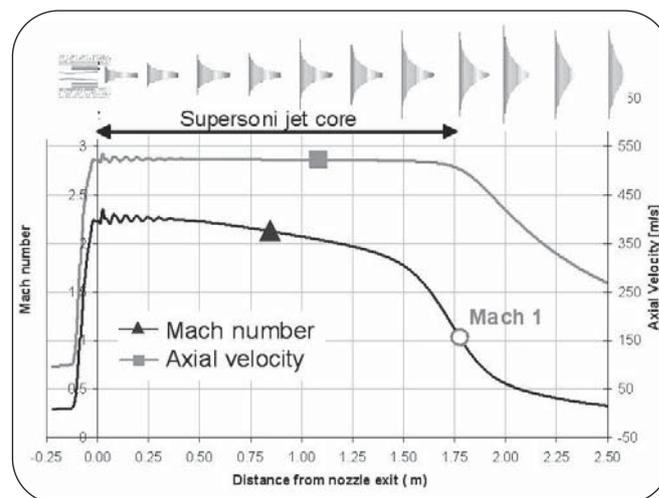
La tecnologia per l'iniezione di energia chimica al forno elettrico di Tenova è la Köster Technologie™.

Tale tecnologia permette, tramite un raffreddamento degli iniettori in rame con uno spray di acqua ed aria compressa, di evitare il rischio di perdite di acqua in caso di rottura e quindi il rischio di esplosioni.

Grazie a questo sistema innovativo, è stato possibile avvicinare ulteriormente gli iniettori di ossigeno e carbone al bagno di acciaio aumentandone l'efficienza, in completa sicurezza.

Tenova ha sviluppato e arricchito questa tecnologia per sfruttare tutte le potenzialità derivanti dall'impiego dell'energia chimica nel forno. Sono così nate nuove tipologie di iniettori/bruciatori ad efficienza sempre maggiore.

Gli ultimi sviluppi sono stati messi a punto con l'aiuto del CSM, studiando la fluidodinamica del gas che passa attraverso la parte terminale della lancia: un ugello in grado di impartire al flusso in uscita le velocità supersoniche (superiori a Mach 2) necessarie alla penetrazione del bagno di acciaio.



▲
Fig. 2

Simulazione del comportamento del jet generato dalla lancia con il nuovo tipo di ugello.

Simulation of the jet stream generated by the new nozzles.

Questo studio è stato portato avanti prima per via numerica, utilizzando codici di calcolo CFD commerciali (FLUENT®), e successivamente applicato alla ridefinizione di una nuova tipologia di ugelli studiati in modo da abbattere le resistenze fluidodinamiche (attriti viscosi e turbolenze) che il gas incontra nell'attraversamento dell'ugello.

Questo studio ha portato ad un aumento della distanza di coerenza del getto (cioè della distanza dall'ugello in cui il flusso mantiene le caratteristiche proprie di un flusso supersonico), fino a distanze ben superiori a 1,5m. (Fig. 2)

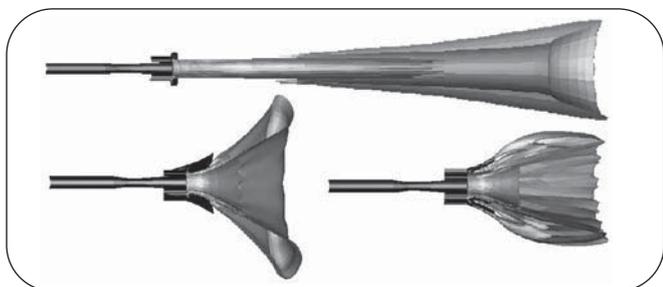
Riguardo ai consumi, il nuovo tipo di ugello ha consentito risparmi nella quantità di ossigeno iniettato a parità di posizionamento della lancia rispetto al bagno d'acciaio, aumentando la resa di iniezione.

Dal punto di vista tecnologico, il miglioramento ha aggiunto flessibilità al sistema, consentendo installazioni ad altezze più elevate rispetto al bagno d'acciaio (laddove fossero necessarie per via della tipologia di carica) e permettendo di guadagnare efficienza nella fase bruciatore.

Il secondo passo naturale di questa ricerca è stata l'ottimizzazione della lancia in funzione di bruciatore. Si è quindi trattato di ridisegnare la parte esterna dell'ugello (che conduce ossigeno e un combustibile gassoso), che è responsabile del funzionamento in modalità di bruciatore.

Il procedimento adottato è stato il medesimo: da un approccio numerico si è passati all'applicazione in campo.

Il risultato è stata la nascita di una nuova generazione di ugelli disegnati in modo da creare un fronte di fiamma differente, a seconda della tipologia di carica e delle specifiche esigenze del forno. (Fig. 3)



▲
Fig. 3

Simulazione delle diverse tipologie di fiamma realizzate con ugelli differenti.

Simulation of the different flame generated by the different nozzle types.

La combinazione di questi due lavori di ricerca ha dato ancora più flessibilità al sistema, con la possibilità di sperimentare nuove soluzioni e nuove configurazioni ad alta efficienza, altrimenti non praticabili.

LA REGOLAZIONE DEL SISTEMA CHIMICO ATTRAVERSO L'ANALISI DEI FUMI

Con il sistema di analisi offgas Goodfellow EFSOP™, Tenova completa la gamma delle tecnologie disponibili per acciaierie. Goodfellow EFSOP™ è il sistema di analisi dei fumi con il maggior numero di applicazioni nel mondo (26), ed introduce un nuovo concetto nella gestione del processo, gestendo in modo dinamico l'utilizzo dell'energia chimica del forno.

Il sistema è costituito da una lancia/sonda raffreddata installata all'interno del condotto fumi il più vicino possibile al

forno. Questa sonda è realizzata in modo da "fotografare" le caratteristiche del gas, al fine di evitare che ne venga alterata la composizione chimica. Il gas è poi inviato tramite un condotto al sistema di analisi dei fumi.

L'analizzatore, dopo aver rimosso la polvere e l'umidità dai fumi, permette l'analisi di qualsivoglia specie chimica presente. In particolare sono rilevate le concentrazioni di O₂, CO, CO₂, H₂.

Il dato chimico è quindi inviato ad un computer che, grazie ad un complesso modello matematico chiamato DECSIM™ e sviluppato da Tenova Goodfellow Technologies Inc., agisce tramite PLC sul sistema di iniezione.

La rivoluzione dell'installazione di questa tecnologia è, di fatto, la conduzione dinamica della marcia chimica del forno. È infatti il sistema stesso che, acquisendo dati dalla analisi dei fumi, è in grado di autoadattarsi alle esigenze del processo in tempo reale.

Questa tecnologia aggiunge un nuovo tipo di versatilità alla pratica al forno ad arco, in particolare:

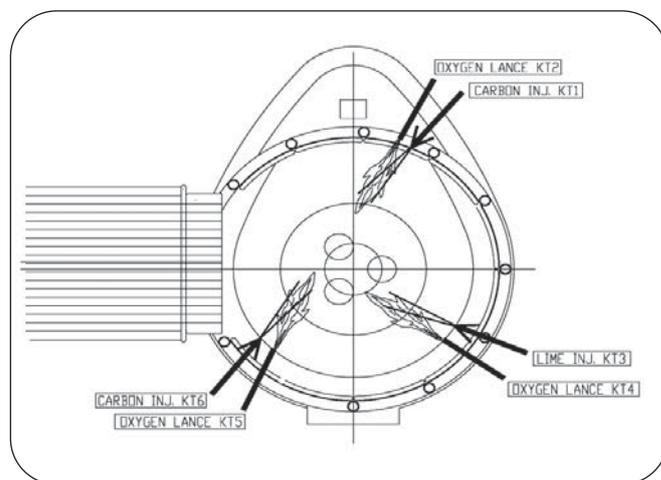
- consente di sviluppare profili tipici di composizione dei fumi in cui ci sono alte concentrazioni di CO o H₂ (e quindi prevenire in tempo reale che si realizzino le condizioni di innesco di una esplosione)
- ottimizza costantemente il profilo di iniezione e la potenza dei bruciatori o dei post combustori, calcolando l'energia potenzialmente sfruttabile nei fumi
- evita la combustione e l'esplosione dei fumi nel sistema di aspirazione
- aiuta e velocizza la creazione di nuove pratiche di conduzione del forno per migliorarne la produttività
- riduce il costo di trasformazione dell'acciaio prodotto
- riduce l'impatto ambientale migliorando globalmente l'efficienza del processo, ne limita gli sprechi e le emissioni di CO₂

APPLICAZIONI

Sayreville: iniezione e carica continua

Nel marzo 2005 un nuovo sistema di iniezione KT è stato installato nel forno Consteel® (84 t) di GERDAU Ameristeel Sayreville (NJ).

Il Consteel® di Sayreville era stato messo in marcia nel 1994. (Fig. 4)



▲
Fig. 4

Layout EAF di Sayreville.
Layout of the EAF in Sayreville.

Gerdau Ameristeel Sayreville												
2005	UNITS (US)	Base 2004	Nov	Dec	Jan	Feb	Base KT	Mar	Apr	May	Jun	Jul
Production	stgb				38650	27684	33167	30529	48092	38208	42396	
Heats	#							360	564	453	499	
Heats/day	#							25	28	27	25	
Prod. Days	#							14.4	20.1	16.8	20.0	
Heat Size	stgb							84.80	85.27	84.34	84.96	
Power On	min				39.6	39.3	39.45	36.5	34.5	33.5	34.4	
Power Off	min				26.9	21	23.95	20.7	16	17	18.1	
Tap To Tap	min				66.5	60.3	63.4	57.2	50.5	50.5	52.5	
E Energy	kWh/stgb	412.53	389.43	390.81	402	400	395.56	378.8	358.8	351.4	344	
Active Power	MW							52.8	53.2	53.1	51.0	
Oxygen	scf/stgb	923	1145.7	1106.2	1252	1250	1188.5	1585.6	1006.6	1267	1141.8	
Inject C	lb/stgb	53.25	69.29	62.13	58.3	47.96	59.42	59.43	52.44	51.4	45.74	
CaO Lime	lb/stgb	80.49	80.97	68.23	90.56	48.12	71.97	41.96	27.92	46.3	59.29	
Dolomite	lb/stgb	44.28	48.54	74.56	72.43	48.6	61.03	36.45	56.15	37.37	34.92	
Electrodes	lb/stgb	3.15		3.46	2.98	3.13	3.19	2.61	2.35	2.35	2.27	
Refractory	lb/stgb	16.63	17.57	17.04	12.78	12.86	15.06	11.78	15.95	14.6	8.3	
Metallic Yield	%				87.60	87.10	87.35	87.10	87.30	89.00	88.60	
Alloys	lb/stgb				36.6	30.9	33.7	31.19	31	31.8	33	
Ladles	heat/ladle				67	61	64.0	55	65	81	56	
FeO	%							43.6	28	34.6	29.4	31
CaO	%							19.2	23.3	18.7	25	26.7
SiO2	%							15.8	19.3	15.8	17.4	17.3
MgO	%							7.2	10.5	9.3	8.7	8.1
Al2O3	%							5.8	9	7.6	8.6	7
IB2	#							1.22	1.21	1.18	1.44	1.54
IB3	#							0.89	0.82	0.80	0.96	1.10
IB4	#							1.22	1.19	1.20	1.30	1.43

(Dati tratti da: "Results of the installation of the KT side-wall injection system for oxygen, carbon and lime at the Consteeel® EAF Gerdau Ameristeel Sayreville, NJ", AISTECH 2006, 1-4 Maggio 2006, Cleveland, USA).

Il sistema di iniezione a Sayreville consiste in 3 iniettori di ossigeno/bruciatori (KT2, KT4, KT5) ciascuno dotato di sistema di shrouding del getto, 2 iniettori di carbone (KT1, KT6) e un iniettore di calce (KT3).

La tabella 2 riporta i risultati ottenuti nei primi 4 mesi dopo l'installazione del nuovo pacchetto chimico.

Dopo già soli primi 4 mesi le condizioni operative erano ottime. Il consumo di energia elettrica è stato ridotto da 395 kWh/t a 344 kWh/t, la produttività oraria è aumentata da 80 a 97.1, con un tap to tap time che è sceso da 63,5 a 52,5 min.

Si sono inoltre riscontrati miglioramenti nei consumi di carbone, ossigeno e refrattari.

Tamsa: analisi dei fumi e retroazione sul sistema chimico.

Nel 2002 Tamsa ha installato il sistema EFSOP™ per l'analisi dei fumi.

Questa installazione ha portato alla riduzione del 4,4% dei costi di trasformazione (ossigeno, metano, energia elettrica e carbone) e al risparmio di 1 min di tempo di power on.

Successivamente, nel 2003, a Tamsa è stato installato il sistema di iniezione KT.

La tabella 3 illustra i risultati ottenuti con le due successive installazioni.

Si possono qui osservare i risultati raggiunti a Tamsa: è stato considerevolmente ridotto il consumo di energia elettrica

	Situazione iniziale (prima di EFSOP)	KT&EFSOP (Gen.-Dic. 2004)	KT&EFSOP (Nov.- Dic. 2004)	%
Energia elettrica (kWh/tls)	444.2	406	389.6	12.3%
Power-on-time (min)	62.5	61.0	61.3	2%
Metano (Nm3/tls)	13.0	8.2	8.7	33%
Carbone Totale - iniettato, caricato (kg/tls)	9.2	13.6	10.3	-11%
Ossigeno (Nm3/tls)	33.5	38.7	38.4	-14.6%
Colata (ton acciaio liquido)	142	146	158	11.2%

(12.3%) e di metano (33%). È stata ridotta l'ossidazione dell'acciaio da una percentuale iniziale di più del 40% al 32% attuale, come indicato nella chimica della scoria, mentre il consumo degli elettrodi è stato ridotto del 9%.

La riduzione di metano è stata controbilanciata da un incremento di carbone (11%), mentre l'utilizzo di ossigeno è aumentato del 14.6%.

L'insieme di queste modifiche al processo ha comunque evidenziato una riduzione generale del 4.4% del costo di trasformazione e del 2% del power on time (1 minuto).

CONCLUSIONI

In questa memoria sono state descritte le maggiori innovazioni apportate negli ultimi anni alla tecnologia del forno ad arco.

Come fornitore di equipaggiamenti, Tenova ha un approccio orientato alla ricerca di uno sviluppo ambientale sostenibile, mirato alla riduzione dei consumi e all'ottimizzazione delle risorse, insieme allo sviluppo di tecnologie diversificate al fine di essere applicate di volta in volta al caso specifico.

Grazie a questo approccio tecnologico, le problematiche ambientali e le tematiche legate alla produzione risultano strettamente interconnesse: il rispetto dell'ambiente non è più un costo da sostenere, ma diventa un'opportunità conveniente.

Per questa ragione, il filo conduttore che ha ispirato ogni fase della progettazione delle tecnologie è stato l'ottimizzazione del processo del forno ad arco, analizzato in tutti i suoi possibili aspetti.

Tenova rimane costantemente impegnata a perseguire uno sviluppo eco-compatibile, nel rispetto dell'ambiente e delle sue risorse: i casi di Sayreville e Tamsa rappresentano due esempi di applicazione di nuove tecnologie con riduzione di costi di trasformazione e di impatto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

- 1) "Numerical Simulation of a Supersonic Oxygen Lance for Industrial Applications in EAF", Scanmet II, 2nd International Conference on Process Development in Iron & Steelmaking, Luleå, Sweden, June 6th, 2004.
- 2) "Simulation of Oxygen penetration and decarburization in EAF using supersonic injection system", ISIJ International - The Iron and Steel Institute of Japan, Aug, 2004.
- 3) "Benchmark Study of the EAF Plants Using KT Injection System (Case of Long Products Carbon Steel)", 2003 Iron and Steel Exposition and AISE Annual Convention, Pittsburgh, PA-USA, Sep. 28 - Oct. 1, 2003.
- 4) "La solución para incrementar la productividad de un EAF: nueva regulación digital integrada con un sistema de inyección oxígeno/ carbón avanzado", VII Congreso Metalúrgico Cubano, La Habana, Jul. 16-19, 2001.
- 5) "New Electrical and Chemical Technologies Implemented in the Dalmine Steel Plant", MPT International, Oct-02.
- 6) "The advanced 'KT Injection System' for electrical arc furnace with high productivity", AISE 2001 Iron & Steel Exposition and Annual Convention, Sep. 23-26 2001, Cleveland.
- 7) "Increase of productivity in Dalmine steel plant through the application of innovative electrical and chemical technologies", 60th Electric Furnace Conference, Nov. 2002, S. Antonio (TX, USA)
- 8) "Results of the installation of the KT side-wall injection system for oxygen, carbon and lime at the Consteel® EAF Gerdau Ameristeel Sayreville, NJ", AISTECH 2006, May 1-4, 2006, Cleveland, USA
- 9) "Industrial application of supersonic lance: the KT system. Numeric simulation, operating practice, results & perspectives", AISTECH 2006, May 1-4, 2006, Cleveland, USA
- 10) "Consteel®: the ultimate technology for the cheapest mix of charge", MISF 2004, March, 2004, Malaysia
- 11) "Consteel® process and environment control", CHINA INTERNATIONAL STEEL CONGRESS, June 2004, Shanghai, China
- 12) "The process and environmental benefits of Consteel®" - 3rd Annual Middle East steel congress 7-10 may 2000 - Dubai, EAU
- 13) "Evaluation of Electric Arc Furnace Steel Making Route" - MPT International, February 1997
- 14) "Interaction between Electric Arc Furnace Operations and Environment Concerns", Iron & Steel Engineer, December 1997
- 15) "Optimized melting with TDRH electrode regulation: case of Dalmine", 2005.

ABSTRACT

NEW TENOVA TECHNOLOGIES TO IMPROVE EAF PERFORMANCES AND RESPECT ENVIRONMENT

Keywords: *steelmaking, technologies AEF, environment*

Tenova, former Techint Technologies, is a leading world-wide supplier of advanced technologies, products and services for the metal and mining industries.

In the last years the increase of environment-related problems has generated the need of a more conscious approach to the exploitation of natural resources and the release of pollutant into the environment.

The legislators are now enforcing new laws aiming at the reduction of the impact of the present activities keeping in mind the concept of sustainable development as a development meeting present generation needs without hampering future generations' possibility to satisfy their needs.

On the other side competition and global markets are increasing the economical challenges for the steelmakers and force them to look for reduction of their production costs.

Tenova has developed a portfolio of technologies applicable to the EAF, but also to other kind of equipment, to improve the performances in terms of productivity and environmental care. These include both the electrical and chemical aspects covering the whole EAF process.

The Consteel® system

The best performances have been achieved with the combination of these technologies with the Consteel® system, the Tenova exclusive equipment for the continuous charging of the furnace (Fig. 1).

During the continuous feeding operations the steel bath in the EAF is kept constantly liquid and the scrap entering the furnace is melted by immersion. The electric arc is working on a liquid bath, not on solid scrap. In this situation the arc is stable and it is not affected by the presence of solids like in the case of batch charges (with or without preheating). Charging continuously means to distribute the scrap charge along the whole power-on period.

From the environmental (not only energetic) point of view the Consteel® technology presents a lot of benefits that are summarized in table 1.

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

For the EAF chemical energy exploitation important results have been obtained through the installation of the KT™ injection system for supersonic oxygen, carbon and other fines into the steel bath. During recent times a lot of improvement studies have been performed in order to optimize the performances of the system, in particular the development of a new family of supersonic nozzles with enhanced coherent jet flow (Fig. 2). Moreover a new generation of lances/burners has been created with the possibility of tuning the generated flame shape in accordance to the needs of the process and of the scrap typology (Fig. 3). Other significant results have been obtained through the online control of the composition of the fumes developed during the process (Goodfellow EFSOP™). Goodfellow EFSOP™ uses continuous off-gas analysis along with process monitoring to optimize the use of chemical energy within the Electric Arc Furnace (EAF). Optimization is achieved by adjustments to the electric furnace process (carbon charge practice, injected carbon, burner methane and oxygen), according to analysis of off-gas measurements. Further benefits are provided through real-time dynamic control of oxygen and natural gas. One important result provided by the EFSOP™ analysis is an estimate of the off-gas energy losses, these are calculated as the potential energy that would have been recovered had the components of the off-gas been combusted to completion within the furnace.

Benefits include savings in:

- electrical energy
- carbon charged (and injected)
- consumption Total Oxygen and Natural Gas
- Reduction electrode consumption
- Improvement of yield
- Improvement safety

This results in significant reduction in conversion cost, increased productivity and reduction of environmental impact.