

Procedure operative per la produzione di inerte artificiale in luogo di scoria nera

A. Barocci, G. Luzzari, M. Facchin

Gli studi tecnico-giuridici e la sperimentazione condotta dall'Acciaieria Arvedi S.p.A. nell'ultimo decennio hanno consentito di intervenire nelle diverse fasi del processo produttivo dell'acciaio per apportare procedure ed accorgimenti tecnici che hanno consentito di arrivare ad una "produzione" di inerte controllata nelle sue caratteristiche chimiche e fisiche in tutti i momenti, trasformando, di fatto, la produzione della scoria in un processo produttivo parallelo a quello della produzione dell'acciaio.

Keywords: Ambiente e sicurezza - Ecologia - Riciclaggio - Selezione materiali

INTRODUZIONE

Ogni anno, in Italia e in Europa, il settore delle costruzioni richiede enormi quantità di materiale inerte che viene reperito sul territorio provocando depauperamento delle risorse naturali non rinnovabili. La valorizzazione di alcune tipologie di materiali non naturali prodotte da cicli produttivi noti rappresenta una valida soluzione al reperimento di materiali sostitutivi di quelli naturali. La materia è regolata da diverse normative nazionali ed Europee e tutte convergono sulla necessità di limitare lo smaltimento in discarica e favorire il riciclo e recupero dei diversi materiali (Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo del 19/11/2008; DM 5/02/98 e smi; Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4; Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - "Norme in materia ambientale" e s.m.i.).

L'acciaieria Arvedi ha, da diversi anni, intrapreso la strada del recupero delle proprie scorie nere di acciaieria. Tale scelta strategica si è sviluppata fin dal 2006, anno in cui è entrata in vigore l'applicazione del test di cessione previsto dall'Allegato 3 del D.lgs. 186/06. Si è successivamente consolidata con l'iscrizione all'Albo Nazionale delle imprese che effettuano la gestione rifiuti, dapprima per produrre una materia prima secondaria adottando procedure atte a "lavorare" la scoria post-produzione concentrandosi soprattutto sulla granulometria e sulla selezione delle scorie prodotte, successivamente, attraverso un'attenta analisi del ciclo produttivo, delle materie prime impiegate, delle

tecniche specifiche di raffreddamento, dei metodi speditivi di verifica per il controllo del processo di produzione delle scorie e dei metodi di monitoraggio. Al termine di un articolato processo di studio tecnico-normativo, accompagnato da una attenta sperimentazione è giunta alla certificazione UNI dell'inerte prodotto che è utilizzato con successo per la realizzazione di importanti costruzioni, anche pubbliche.

SCORIE NERE DI ACCIAIERIA: NATURA E FORMAZIONE

Acciaieria Arvedi SpA dispone di due linee fusorie con forno elettrico EAF.

La tipologia di scoria costituente aggregato valorizzabile è la scoria nera, che deriva dal processo metallurgico di fusione a forno elettrico di rottami ferrosi e ghisa con apporto di calore in ambiente basico, mediante aggiunta di calce o calcare, che hanno la funzione di desolfurare il bagno metallico per ottenere le diverse qualità di acciaio. Le scorie allo stato liquido sono soluzioni ioniche (soluzione di ossidi, solfuri ecc.); allo stato solido sono materiali vetrosi e ceramici. Le analisi realizzate attraverso SEM-EBS (C.Mapelli, "Forum Internazionale degli acquisti verdi Cremona 2011") hanno evidenziato la costante presenza dei seguenti costituenti strutturali:

- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ a volte associato alla presenza di $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;
- $\text{MgO} \cdot \text{FeO}$ (magnesio-wustite) caratterizzato da significative concentrazioni di MnO ;
- $(\text{FeO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{MgO}) \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ (spinello) che risulta essere la fase caratterizzata dalla maggiore presenza di cromo;
- Alluminato di calcio e silicio con rapporti stechiometrici che corrisponderebbero alla fase $2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$;
- Al_2O_3 probabilmente associata alla presenza di costituenti eutettici di composizione intermedia tra anorthite ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) e gehlenite ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) caratterizzata da un punto di fusione nell'intervallo $1265^\circ\text{C} - 1390^\circ\text{C}$.

Gli ossidi che compongono le scorie possono essere sud-

A. Barocci

Consulente Ambientale - Biologa
Studio Consulenze SAB - Salò (BS)

G. Luzzari

Acciaieria Arvedi spa - Cremona

M. Facchin

Consulente Ambientale- Geologo
Lithos srl - Bergamo

divisi in due gruppi principali: componenti acidi e basici. I principali ossidi basici sono: l'ossido di calcio, di magnesio, di ferro e di manganese.

I principali ossidi acidi sono: la silice e l'anidride fosforica. Esistono poi degli ossidi anfoteri: l'allumina e l'ossido ferrico.

L'indice di basicità è il più importante parametro caratterizzante la scoria: esso riassume le caratteristiche della composizione chimica della stessa. Ci sono diversi indici di basicità, quello più semplice è il binario:

$$IB_2 = \frac{\%CaO}{\%SiO_2}$$

L'indice di basicità fornisce importanti indicazioni non solo per la produzione di acciaio ma anche nella produzione di inerte artificiale.

La correlazione tra indice di basicità e "stabilità" della scoria rappresenta un prezioso indicatore nel processo di produzione dell'inerte artificiale.

UTILIZZO DELLA SCORIA NERA

La scoria prodotta da uno stabilimento siderurgico, secondo documenti interpretativi di Euroslag, l'associazione che raccoglie la maggior parte dei produttori di scoria in Europa, si può configurare come: prodotto, sottoprodotto o rifiuto (fonte: Federacciai "La Valorizzazione degli aggregati di origine Siderurgica" 2012). Lo schema di seguito riportato sintetizza le diverse condizioni.

PRODOTTO

Si tratta di un vero e proprio prodotto commercializzato con un proprio nome commerciale. L'azienda mette appositamente in produzione l'aggregato.

Per mettere appositamente in produzione l'inerte in luogo di scoria, sono stati necessari tre anni di sperimentazione e prove iniziali aventi lo scopo di caratterizzare e designare il prodotto in funzione della sua possibile destinazione d'uso, al fine di garantire, in maniera costante nel tempo, la rispondenza degli aggregati ai requisiti previsti dalla norma. Le prove sono state ripetute in caso di ogni variazione della natura delle materie prime, delle variazioni delle condizioni di lavorazione tale da far variare le proprietà dell'aggregato.

È stata effettuata:

- Verifica puntuale delle materie prime utilizzate con limitazione per alcuni fondenti e adozione di altri (es. tipologia di calce utilizzata/ tipologia di ghisa utilizzata);
- verifica puntuale del rottame utilizzato e procedure per l'allontanamento di determinate tipologie (es. rottame con presenza di smalti);
- adozione di sistemi speditivi di verifica chimica (es. test di basicità terziario in determinati range dipendente dalle diverse condizioni di produzione);
- adozione di specifiche procedure di sversamento dell'inerte incandescente;

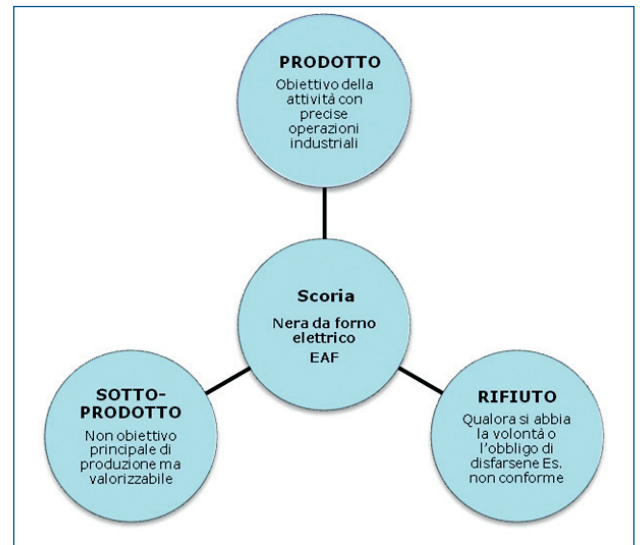


Fig. 1 - Schema esemplificativo possibili condizioni della scoria

- adozione di specifiche procedure di spegnimento e raffreddamento veloce;
- procedure di evacuazione corrette al fine di evitare formazioni di blocchi;
- adozione di specifiche procedure per il raffreddamento completo e la maturazione dell'inerte;
- acquisizione di aree di stoccaggio di rilevanti dimensioni per poter fornire quantitativi rilevanti di materiale per opere di rilievo che necessitano di una fornitura in tempi strettissimi;
- adozione di un concreto e valido metodo di campionamento ed analisi finalizzato alla messa in commercio del prodotto;
- divisione delle produzioni in partite;
- adozione di procedura e tracciabilità della partita con associazione del controllo qualità effettuato.

Per la messa in commercio di tale inerte è necessaria la Registrazione presso l'Agenzia Europea delle sostanze chimiche (ECHA) delle scorie siderurgiche ai sensi del Regolamento Reach e la Marcatura CE (2+) come previsto dal DPR 21 aprile 1993, n.246, attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione e dal Regolamento 10 dicembre 1997, n. 499 recante norme di attuazione della direttiva 93/68/CEE per la parte che modifica la direttiva 89/106/CEE in materia di prodotti da costruzione.

SOTTOPRODOTTO

Il recepimento della direttiva CE 2008/98 ha portato ad una definizione di sottoprodotto contemplata nel D.Lgs. 152/06 all'art. 184 bis. Sono state così specificate le condizioni che un residuo di produzione industriale deve possedere affinché ad esso si possa applicare lo status di "sottoprodotto", escludendolo in tal modo dall'ambito dei rifiuti, sin dalla sua generazione, e garantendone un utilizzo nel rispetto della normativa. Secondo l'art. 184 bis i sottoprodotti devono rispondere a tutti questi requisiti e condizioni:

- 1) la sostanza o l'oggetto deve essere originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, ed il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- 2) deve essere certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- 3) la sostanza o l'oggetto deve poter essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- 4) l'ulteriore utilizzo deve essere legale, ossia la sostanza o l'oggetto deve soddisfare, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non deve portare a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana. Anche per la messa in commercio di sottoprodotto è necessaria la Registrazione presso l'Agenzia Europea delle sostanze chimiche (ECHA) ai sensi del Regolamento Reach e la Marcatura CE (2+).

LA SCORIA COME RIFIUTO

Si tratta della scoria che non rispetta uno o più requisiti previsti dall'art 184 bis, ad esempio non rispetta i requisiti chimici (mancata conformità al test di cessione), presenta caratteristiche geotecniche non idonee al suo impiego se non ricorrendo a trattamenti che esulano dalle normali pratiche industriali, ecc..

Qualora non siano soddisfatti i requisiti del sottoprodotto alla scoria deve essere attribuito lo status di "rifiuto".

Essa potrà o essere trattata all'impianto di recupero (R5) autorizzato (effettuando ad esempio una deferrizzazione in serie per presenza di acciaio erroneamente scorificato) o essere destinata allo smaltimento in discarica autorizzata o al recupero presso centri terzi in grado di effettuare particolari trattamenti in caso di mancanza di conformità analitica.

L'Acciaieria Arvedi S.p.A. dispone, presso il proprio stabilimento, di un impianto di trattamento in grado di trattare 300.000 ton/anno di scorie. Grazie agli ottimi risultati ottenuti, questo impianto non viene al momento utilizzato se non per situazioni emergenziali (sempre più rare) di non conformità dell'aggregato artificiale prodotto alle specifiche di cui all'art. 184-bis.

Alla scoria di acciaieria, considerata come rifiuto, viene assegnato il codice CER 100903 o 100202 ed è inserita nel DM 5/02/98 e smi alla "Tipologia 4.4 - Scoria di acciaieria, scoria proveniente dalla fusione in forni elettrici".

L'ESPERIENZA DELL'ACCIAIERIA ARVEDI S.P.A. LA PRODUZIONE DI INERTEX

Come già anticipato, gli studi tecnico-giuridici e la sperimentazione condotta dall'Acciaieria Arvedi S.p.A. nell'ultimo decennio ha consentito di intervenire nelle diverse

fasi del processo produttivo dell'acciaio per apportare procedure ed accorgimenti tecnici che hanno consentito di arrivare ad una "produzione" di inerte controllata nelle sue caratteristiche chimiche e fisiche in tutti i momenti, trasformando, di fatto, la produzione della scoria in un processo produttivo parallelo a quello della produzione dell'acciaio.

Nello schema che segue è riportato, in maniera esemplificativa ma non esaustiva il flusso delle attività di produzione dell'INERTEX.

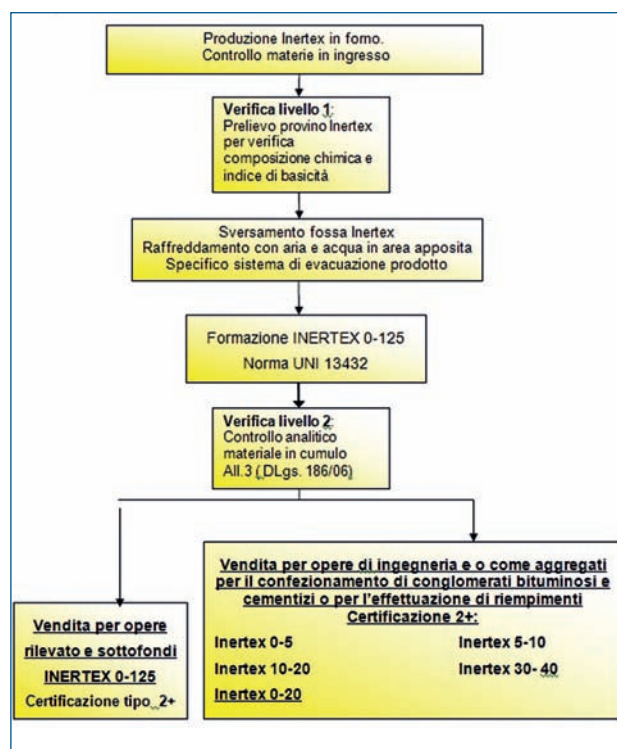


Fig. 2 - Diagramma esemplificativo di flusso del processo di produzione Inertex

VERIFICHE E CONTROLLO DI PROCESSO DI PRODUZIONE INERTEX

L'ottenimento delle costanti caratteristiche chimiche e prestazionali dell'Inertex prodotto dall'Acciaieria Arvedi S.p.A. rappresenta, tra l'altro, il frutto di una serie di controlli e verifiche sistematiche che vengono svolti in due diversi livelli che si sviluppano a valle dell'accurata scelta dei diversi fondenti e materie prime nonché la scelta specifica del rottame di alimentazione.

- Livello 1: controllo del materiale in formazione mediante verifica speditiva con un apposito indice di basicità;
- Livello 2: controllo analitico del materiale in cumuli mediante test di cessione (All. 3 D.M. 186/06) con cadenza mensile e controllo periodico mediante prove specifiche delle caratteristiche del materiale previste dalle norme UNI di riferimento.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE INERTEX CONFRONTO CON LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI NATURALI DI CAVA

Gli aggregati sono classificabili nelle seguenti tipologie:

- Naturali
- Artificiali
- Riciclati

Gli aggregati naturali includono materiali provenienti da cave in roccia, cave alluvionali sopra e sottofalda, alvei fluviali, sbancamenti e scavi, scarti di lavorazione delle pietre ornamentali.

Gli aggregati artificiali sono prodotti o sottoprodotti derivati da processi industriali, quali: scorie, loppe, ceneri e vermiculite.

Gli aggregati riciclati comprendono materiali provenienti dalla demolizione di opere in calcestruzzo, muratura e asfalti.

L'INERTEX è dunque un aggregato artificiale certificato.

In seguito al miglioramento del ciclo produttivo aziendale attuato a partire dal 2006, l'Acciaieria Arvedi S.p.A. produce l'INERTEX 0/125, che in conformità alla Norma UNI EN 13242 può essere utilizzato per la fornitura di aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici, per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade.

Per produrre aggregati destinati anche ad altre applicazioni, in particolare per il confezionamento di calcestruzzi e conglomerati bituminosi, l'INERTEX viene ridotto granulometricamente mediante frantumazione e selezionato tramite vagliatura, in modo analogo a quanto viene fatto da altre aziende per produrre gli aggregati naturali e riciclati. Vengono quindi attualmente ottenuti altri cinque tipi di aggregati, distinti in base alla classe granulometrica caratteristica di ognuno di essi:

- INERTEX 0/5
- INERTEX 5/10
- INERTEX 10/20
- INERTEX 30/40
- INERTEX 0/20

La Marcatura CE dei primi quattro prodotti summenzionati attesta l'idoneità all'utilizzo come aggregati per calcestruzzi e conglomerati bituminosi, ai sensi rispettivamente della Norma UNI EN 12620 e della Norma UNI EN 13043. L'ultimo di essi, l'INERTEX 0/20 è invece certificato come aggregato per la produzione di miscele bituminose e per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade.

Le norme sopra citate si applicano agli aggregati artificiali, naturali o riciclati, indipendentemente dalla loro origine. Per valutare se le caratteristiche dei materiali risultino idonee ai loro diversi possibili impieghi, essi vengono classificati in funzione delle prestazioni che sono in grado di offrire, piuttosto che in funzione della loro provenienza.

Tale valutazione viene effettuata mediante l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio che consentono di deter-

minare le proprietà geometriche, fisico-meccaniche e chimiche degli aggregati.

Le caratteristiche geometriche dell'INERTEX sono paragonabili a quelle che si riscontrano mediamente negli aggregati naturali e riciclati.

Nella tabella che segue, sono confrontati i valori delle prove eseguite per valutare le caratteristiche fisico-meccaniche dei sei prodotti INERTEX con quelli di prove effettuate su aggregati naturali carbonatici, magmatici e alluvionali.

Tipo di prova	Unità di misura	Aggregati naturali	INERTEX
Massa volumica	Mg/mc	2,5 - 2,8	3,6 - 3,8
Assorbimento d'acqua	%	0,3 - 3	0,9 - 1,1
Resistenza alla frammentazione	LA	15 - 35	13 - 16
Resistenza all'usura	Mde	10 - 25	5 - 6
Resistenza alla levigazione	PSV	35 - 60	53 - 54
Resistenza gelo/disgelo	%	<1 - 2	0,9 - 1,1

Tab. 1: Confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche dell'Inertex con quelle degli aggregati naturali

Come si può facilmente notare, per alcuni parametri, le caratteristiche fisico-meccaniche dell'INERTEX si discostano da quelle degli aggregati naturali.

Dal punto di vista prestazionale, infatti, si riscontrano significative differenze tra i due tipi di aggregati in particolare per quanto riguarda:

- la massa volumica,
- la resistenza alla frammentazione, determinata mediante prova di abrasione Los Angeles,
- la resistenza all'usura eseguita tramite apparecchiatura Micro-Deval,

che nell'INERTEX sono decisamente superiori rispetto a quelle medie degli aggregati naturali ordinari. Tali valori prestazionali sono addirittura migliori anche di quelli di aggregati tecnicamente pregiati, costituiti da rocce di origine vulcanica come i basalti.

Il valore della resistenza alla levigazione dell'INERTEX è inoltre paragonabile a quello che si riscontra in questi ultimi, infatti, si ricorda che maggiore è il valore di PSV e migliore è la resistenza all'abrasibilità (cioè all'usura riferita alla microtessitura degli aggregati), che è dunque elevata. Le differenze sono molto più marcate se si confrontano le caratteristiche fisico-meccaniche dell'INERTEX con quelle degli aggregati riciclati, nei quali, ad esempio, il valore LA risulta generalmente compreso tra 20 e 35 e l'assorbimen-

to d'acqua può assumere valori compresi tra il 3% e l'8% per la frazione grossa e tra l'8% e il 15% per la frazione fine.

Le prestazioni degli aggregati riciclati sono solitamente inferiori rispetto a quelle degli aggregati naturali e, qualora originati dal recupero di demolizioni indistinte, possono inoltre contenere tipologie di materiali diversi (plastica, gomma, legno, gesso, cartongesso etc.), che ne possono pregiudicare la qualità.

La resistenza meccanica dell'INERTEX è dunque complessivamente superiore rispetto a quella degli aggregati naturali e riciclati. Oltre ad essere caratterizzato dall'assenza di sostanze indesiderabili di natura organica, esso soddisfa altresì i requisiti chimici imposti dalle norme di riferimento per gli specifici utilizzi.

CONCLUSIONI

Il percorso che l'Acciaieria Arvedi S.p.A. ha da molti anni intrapreso verso uno sviluppo aziendale sostenibile ha consentito in luogo di scorie nere da forno elettrico, di ottenere l'INERTEX, materiale inerte certificato, idoneo all'impiego come aggregato per opere di ingegneria civile, sottofondi e rilevati stradali, recuperi ambientali e per il confezionamento di calcestruzzi e conglomerati (oltre che manti) bituminosi ad elevate prestazioni.

Dal punto di vista tecnico, le ottime caratteristiche fisico-meccaniche, che si è riusciti a mantenere costanti in quanto dipendenti dai processi standardizzati di produzione dell'acciaio, lo rendono preferibile agli aggregati riciclati ed estremamente competitivo anche rispetto agli aggregati naturali più pregiati, cioè quelli caratterizzati da elevati valori di resistenza meccanica.

La certificazione di Marcatura CE secondo il sistema 2+

garantisce l'impiego dell'INERTEX ad alti requisiti di sicurezza.

L'utilizzo dell'INERTEX in sostituzione degli aggregati naturali in numerose applicazioni, oltre che economicamente vantaggioso, apporta benefici dal punto di vista ambientale, in quanto riduce lo sfruttamento di risorse naturali non rinnovabili.

BIBLIOGRAFIA

1. M. AGOSTINACCHIO and S. OLITA. Proceeding of 3rd International SIIV Congress, Bari (2005).
2. D.R.REINHART, Waste Manag. Res., 11 (1993) p. 257.
3. H. MOTZ AND J. GEISELER: Waste Manag., 21 (2001), 285
4. M. TOSSAVAINEN AND E. FORSSBERG. Steel Research, 71, n.11 (2000), p.442.
5. Y. LEE AND C.L. NASSARELLA, Metallurgical and Materials Transactions B. 29B (1988), p.405.
6. D.DURINCK ET AL., Resources, Conservation and Recycling. 52 (2008), p. 1121.
7. E.R. PLUNKETT, Handbook of Industrial Toxicology, Chemical Publishing Co., New York, NY (1976), p.108.
8. M. Gelfi, G. Cornacchia, S. Conforti e R. Roberti Caratterizzazione di scorie di acciaieria e studio del rilascio di cromo (2008).
9. FEDERACCIAI " La Valorizzazione degli aggregati di origine Siderurgica" (2012).
10. C. MAPELLI, A. GRUTTADAURIA, D. MOMBELLI, F. MAGNI, P.L. LEVRANGI AND P. SIMONE Micro-structural characterization of EAF black slag and aspects associated to the release of polluting chemical species (2008).

Operating process for the production of artificial inert instead of black slag

Keywords: Steelmaking - Environment and safety - Ecology - Recycling - Materials selection

Technical and legal studies and trials conducted by Acciaieria Arvedi S.p.A. over the last decade have allowed interventions in the various steel production process phases introducing procedures and technical devices allowing "production" of inert material, the chemical and physical characteristics of which are controlled at all times, in effect transforming slag production into a process in parallel with that of steel production.