



Federacciai

LA VALORIZZAZIONE DEGLI AGGREGATI DI ORIGINE SIDERURGICA

“La scoria siderurgica: da problema a risorsa”



INDICE

Introduzione	3
Capitolo 1 - Tipologie e caratteristiche delle scorie siderurgiche	5
Capitolo 2 - Inquadramento normativo	8
Capitolo 3 - Gli appalti pubblici per la costruzione sostenibile di infrastrutture viarie	16
Capitolo 4 - Registrazione REACH	18
Capitolo 5 - Norme standardizzate e percorso per la conformità	25
Capitolo 6 - Applicazioni e casi studio	29
Conclusioni	35
Appendice - Dati di produzione e principali destinazioni d'uso	36
Riferimenti	45

INTRODUZIONE

L'utilizzo di residui derivanti da processi industriali, aventi caratteristiche idonee per una loro valorizzazione e reimpiego nella realizzazione di nuovi prodotti e manufatti, è ormai una prassi seguita in Europa e in tutti i principali Paesi avanzati del mondo in risposta alla necessità e allo stimolo di realizzare un modello di sviluppo sostenibile, fondato sulla riduzione del consumo di risorse naturali e sulla minimizzazione della produzione di rifiuti.

In quest'ottica molti dei residui che un tempo venivano unicamente considerati materiali da smaltire hanno iniziato e completato un percorso virtuoso di valorizzazione, trasformandosi da problema a risorsa e assumendo una vera e propria dignità e qualifica di prodotto.

I materiali che originano dai processi di produzione dell'acciaio, quali la loppa di altoforno, la scoria da convertitore, le scorie da forno elettrico, in possesso delle caratteristiche idonee, se opportunamente gestiti rappresentano oggi sempre più un'ottima risorsa sostitutiva o complementare dei prodotti derivanti dalle risorse naturali. Grazie alla messa a punto di processi produttivi controllati, attingendo alle migliori tecnologie disponibili e al più avanzato know-how presente sul mercato, è possibile ottenere dei prodotti conformi alle esigenze del mondo delle costruzioni edili e stradali, materiali che possono sostituire in parte o totalmente i prodotti tradizionali.

Dal punto di vista ambientale i vantaggi che si ottengono dalla valorizzazione e dall'utilizzo della scoria sono molteplici: minimizzazione della produzione di rifiuti da avviare a smaltimento, riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali e del ricorso a attività impattanti sul territorio quali le cave per l'estrazione di inerti, risparmio energetico e diminuzione di emissioni di CO₂.

A questi si aggiungono ulteriori benefici derivanti da alcune caratteristiche tecniche particolarmente adatte all'impiego in certe applicazioni. Ad esempio, nella costruzione di strade è dimostrabile l'aumento della durabilità delle pavimentazioni realizzate o l'aumento della sicurezza di guida dovuta alle migliori caratteristiche di aderenza del manto stradale.

L'utilizzo sostenibile di questi materiali simili a quelli naturali deve essere pertanto sempre più sostenuto e incentivato attraverso politiche adeguate e un'ampia collaborazione tra imprese, enti e istituzioni competenti finalizzata a risolvere le incertezze di natura normativa o tecnica che possono ancora ostacolare una piena valorizzazione di queste risorse.

Il presente documento intende fornire a tutti i soggetti interessati (imprese, enti, istituzioni) un quadro di riferimento sintetico sulla materia, anche alla luce dei più recenti sviluppi della normativa Comunitaria e Nazionale, presentando in termini illustrativi le diverse tipologie e le principali caratteristiche qualitative e quantitative delle scorie siderurgiche da cui si originano aggregati artificiali, evidenziando i vantaggi derivanti da un loro utilizzo sostenibile, in piena rispondenza alle norme tecniche dei settori utilizzatori e nel più rigoroso rispetto della normativa a tutela della salute dell'uomo e dell'ambiente.

Nota

Per le proprie caratteristiche, con riferimento alla normativa tecnica, gli aggregati di origine siderurgica possono rientrare nella definizione di “aggregato minerale risultante da un processo industriale che implichi una modificazione termica o di altro tipo”, con cui nelle norme vengono classificati indifferentemente l’aggregato artificiale e l’aggregato industriale, pertanto nel proseguo del documento si utilizzerà indifferentemente l’una o l’altra dizione in relazione agli aggregati di origine siderurgica.

CAPITOLO 1

TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE DELLE SCORIE SIDERURGICHE

1.1 Premessa

L'acciaio viene prodotto fondamentalmente seguendo due distinti processi produttivi: il ciclo integrale, che fa uso di materie prime quali principalmente il minerale di ferro e il carbon fossile, e il ciclo a forno elettrico, che realizza la fusione del rottame ferroso, sfruttando le caratteristiche di completa riciclabilità dell'acciaio, a valle dei quali si trovano poi i diversi processi di affinazione. Dal ciclo integrale e dal ciclo a forno elettrico oltre al prodotto primario, vale a dire l'acciaio, si originano altri materiali quali le scorie, che possiedono caratteristiche e peculiarità differenti in base a molteplici fattori, che vanno dalle materie prime utilizzate alle tecnologie produttive adottate.

L'industria europea dell'acciaio è concorde nel distinguere essenzialmente quattro grandi famiglie di scorie siderurgiche, che saranno brevemente descritte nei paragrafi successivi:

- scoria da altoforno (granulata o raffreddata a aria), detta comunemente loppa da altoforno;
- scoria da convertitore;
- scoria da forno elettrico (dalla produzione di acciaio al carbonio o dalla produzione di acciaio inossidabile/altolegato);
- scoria da metallurgia secondaria.

1.2 Scoria da altoforno

Nell'altoforno, il processo di produzione della ghisa liquida (lega di ferro e carbonio) è ottenuto attraverso la riduzione degli ossidi metallici contenuti nel minerale di ferro caricato nell'altoforno insieme al coke e ai fondenti calcarei, costituiti principalmente da ossidi di calcio e silicio.

La scoria da altoforno, comunemente detta loppa, ha origine a seguito della separazione fisica, per differenza di densità, che si origina all'interno dell'altoforno tra la ghisa e tutti gli altri ossidi che non hanno subito la riduzione allo stato metallico. La composizione della scoria dipende dalle caratteristiche della carica, ma è costituita principalmente da ossido di calcio (CaO), ossido di magnesio (MgO) e biossido di silicio (SiO₂), e in parte da ossido di alluminio (Al₂O₃) e modeste quantità di altri composti minerali.

La loppa, estratta dall'altoforno, viene inviata a un trattamento di raffreddamento rapido e intenso, e a una granulazione. Questo processo garantisce la formazione di una fase vetrosa e di una struttura che conferisce alla loppa caratteristiche idrauliche tali da sostituire sino al 70% i materiali di carica del forno per la produzione del cemento Portland, che sono essenzialmente calcare e argille, cioè carbonati di calcio e magnesio.

Questa sostituzione permette una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ all'industria cementifera, in quanto la loppa è un prodotto che ha già subito nell'altoforno la trasformazione da carbonato a ossido col conseguente rilascio di CO₂.

1.3 Scoria da convertitore

Il convertitore a ossigeno permette di produrre acciaio attraverso l'ossidazione dell'eccesso di carbonio, silicio e manganese contenuti nella ghisa liquida, alla quale viene aggiunta anche una parte di rottame per migliorare il bilancio energetico, e calce e fondenti per migliorare la pulizia del bagno di acciaio liquido.

Sulla superficie del bagno, al termine del processo di conversione, si forma la scoria principalmente composta da ossidi di calce, silice, ferro e manganese, da tracce di altri metalli sia ossidati sia allo stato metallico.

Il fattore che può limitare l'uso della scoria da convertitore è la non sufficiente stabilità volumetrica nel breve periodo, seppure possieda buone proprietà meccaniche e di compatibilità ambientale. Intensi studi scientifici negli ultimi anni hanno dimostrato che è possibile utilizzare la scoria da convertitore sino al 7% nel settore dei materiali ceramici e sino al 15%-25% in quello civile delle costruzioni senza intaccare le prestazioni e nel pieno rispetto dei requisiti legali.

L'impiego della scoria per il recupero ambientale delle discariche è di gran lunga il più utilizzato in Europa come in Italia, ma rappresenta un'occasione perduta per migliorare i parametri di sostenibilità e riuso delle risorse.

1.4 Scoria da forno elettrico

Il forno elettrico ad arco, utilizzato nell'industria siderurgica per produrre acciaio partendo dal rottame ferroso, genera un ulteriore materiale denominato scoria di acciaieria, che si forma sopra il bagno di fusione dell'acciaio, come risultato della ossidazione del rottame e dei composti generati dagli additivi inseriti nella carica del forno elettrico.

La scoria di acciaieria varia a secondo del tipo di acciaio che si produce (scoria EAF-C dalla produzione di acciaio al carbonio e scoria EAF-S dalla produzione di acciaio inossidabile/altolegato) e la sua composizione chimica può presentare differenze legate alla tipologia del rottame utilizzato, alla quantità di ossigeno insufflato nel bagno e alla pratica di conduzione del forno.

In linea generale, la scoria può essere comunque assimilata alle rocce naturali effusive di origine vulcanica e consiste principalmente in una miscela ternaria di ossido di calcio (CaO), diossido di silicio (SiO₂) e ossidi di ferro (FeO), alla quale si aggiungono, in percentuali minori, altri componenti. Sono in particolare queste ultime altre sostanze che determinano la differenza tra le due tipologie di scoria da forno elettrico (scoria EAF-C e scoria EAF-S).

La valorizzazione della scoria di acciaieria trae origine dalla sua assimilazione alle rocce dure naturali e quindi dalla possibilità di sostituire materiale inerte in diversi settori tra cui quello delle costruzioni.

Le granulometrie ottenute dalle scorie di acciaieria vengono caratterizzate, da parte di laboratori specializzati, seguendo gli standard previsti dalla normativa vigente, e ciò ha consentito di accertare che questi materiali hanno caratteristiche spesso migliori rispetto a inerti pregiati di origine effusiva, quali ad esempio basalto, diabase e porfido, usualmente impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi speciali.

Il processo di produzione di origine e quello di trasformazione della scoria influenzano il prodotto finale e la possibilità di essere effettivamente utilizzato, per cui su di essi vengono effettuati tutti i controlli necessari. L'aggregato industriale poi ottenuto dalla scoria rispetta quanto previsto dalla normativa tecnica del settore di utilizzo.

1.5 Scoria da metallurgia secondaria

Il nome scoria SMS è l'acronimo che identifica il macrogruppo delle scorie derivanti dalla fase di affinazione fuori forno dell'acciaio, che avviene in siviera.

Anche in questo caso si tratta di differenti tipologie di scorie dalle differenti caratteristiche chimico-fisiche, derivanti dai diversi cicli produttivi dell'acciaio.

La principale caratteristica che differenzia la scoria siviera rispetto alle scorie EAF-C e EAF-S è la sua composizione chimica e in particolare il contenuto in ossidi di ferro e di calcio: nelle scorie SMS il contenuto in FeO è molto basso (ordine di grandezza 1%), mentre l'ossido di calcio CaO è molto alto (ordine di grandezza 50%). Altri elementi presenti, Al₂O₃, SiO₂, derivano dai formatori di scoria, dalla disossidazione dell'acciaio e dai refrattari MgO.

Le scorie SMS che derivano dalla produzione di acciai altolegati possono differire rispetto a quelle derivanti dalla produzione di acciai al carbonio per una diversa quantità degli ossidi di metalli presenti.

Data la presenza preponderante di ossidi di calcio e di magnesio, queste scorie dopo il raffreddamento subiscono una trasformazione del reticolo cristallino che porta alla formazione di un prodotto fine.

Il loro utilizzo principale trae origine dalla loro composizione chimica, per cui rappresentano una alternativa alla calce. Una pratica consolidata è ad esempio il riutilizzo della scoria siviera nel forno elettrico, in sostituzione dei classici scorificanti quale la calce. Un altro possibile utilizzo della scoria siviera, testato e ormai consolidato, è il suo impiego quale sostitutivo della calce nella stabilizzazione delle terre.

CAPITOLO 2

INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Premessa

Le scorie che derivano dagli impianti siderurgici, come descritto nel capitolo precedente, si differenziano tra loro per struttura, composizione, proprietà chimico-fisiche e meccaniche, ecc., e ciò è conseguenza non solo del processo produttivo, ma anche delle caratteristiche delle materie prime e delle tecnologie adottate.

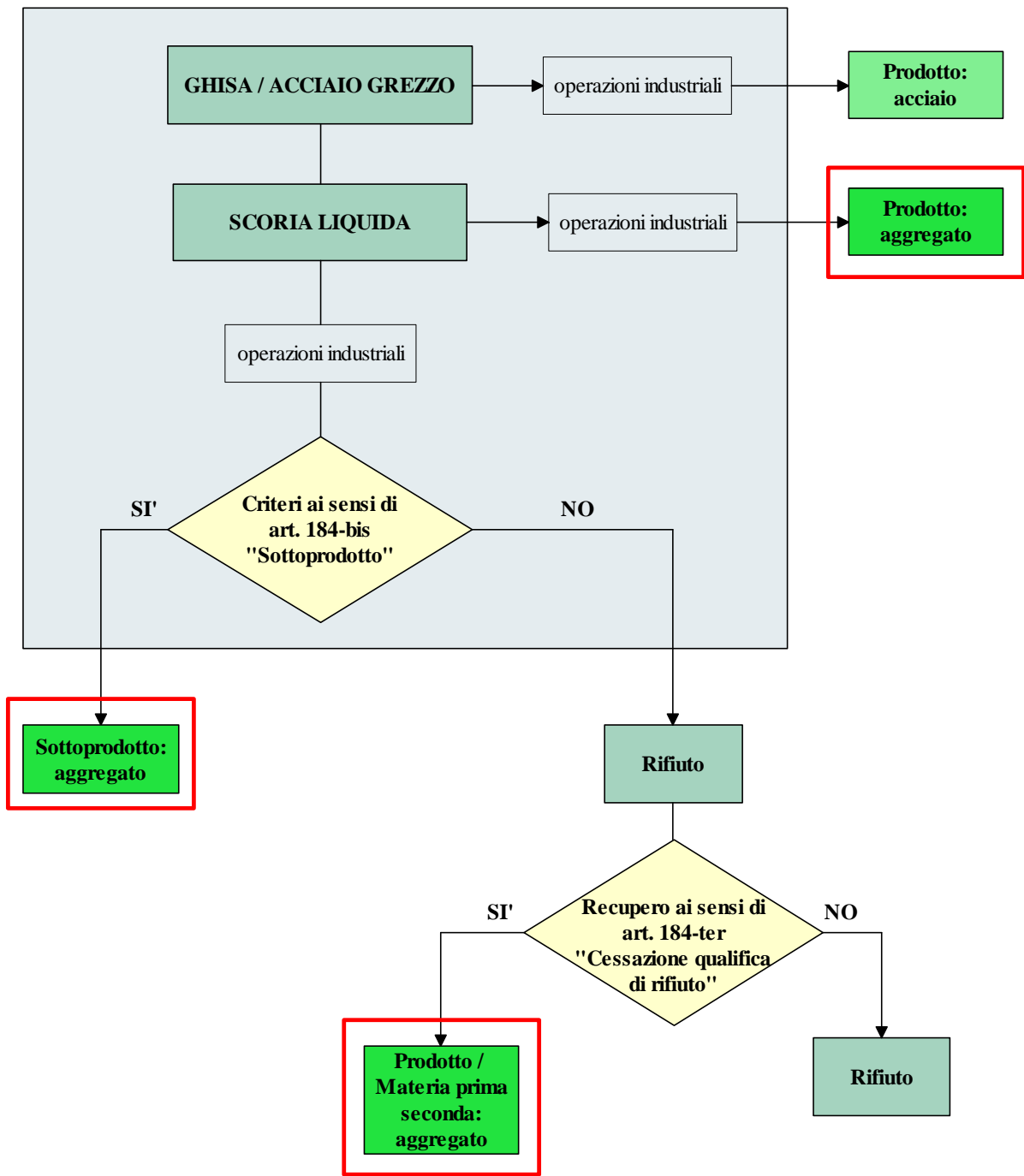
Tenuto conto di ciò, come vedremo di seguito, per poter delineare, anche solo in termini generali, il contesto normativo di riferimento, che coinvolge direttamente o indirettamente l'utilizzo di tale materiale nell'ambito del settore delle costruzioni, occorre tener presente da un lato la tipologia di scoria a disposizione degli operatori, dall'altro i diversi campi di applicazione (cemento, conglomerati cementizi, conglomerati bituminosi, rilevati stradali, ecc.).

Sebbene la concreta possibilità di utilizzo del materiale debba dipendere essenzialmente dalla sua rispondenza alla normativa tecnica specifica per le diverse applicazioni finali, e dal rigoroso rispetto di tutte le normative in materia di tutela della salute umana e dell'ambiente, non si possono tuttavia trascurare le implicazioni che derivano dalla classificazione "giuridica" del materiale come "rifiuto", "sottoprodotto" o "prodotto".

Ai sensi della normativa attualmente vigente si possono infatti presentare le seguenti situazioni:

- il materiale esce dagli stabilimenti siderurgici come vero e proprio "prodotto";
- il materiale esce dagli stabilimenti siderurgici come "sottoprodotto" in conformità alle condizioni di cui all'art 184-bis del Decreto Legislativo 152/2006;
- il materiale esce dagli stabilimenti siderurgici con la classificazione di "rifiuto" per essere avviato a un'operazione di recupero autorizzata finalizzata a un suo successivo utilizzo, in conformità alle condizioni di cui all'art 184-ter del Decreto Legislativo 152/2006 e del Decreto Ministeriale 05/02/1998.

Questo inquadramento può essere in termini generali sintetizzato attraverso lo schema seguente (fig. 2.1), basato sui documenti interpretativi di Euroslag, l'associazione che raccoglie la maggior parte dei produttori di scoria in Europa.



(Fig. 2.1 - Classificazione)

2.2 La Comunicazione COM(2007)59 interpretativa in materia di rifiuti e sottoprodotti: l'esempio della loppa da altoforno

La Commissione Europea mediante la propria Comunicazione COM(2007)59 ha inteso fornire alcuni criteri di indirizzo utili a distinguere, nell'ambito dei residui derivanti da un processo di produzione, ciò che è rifiuto da ciò che non lo è.

Nella necessità di dare una risposta su come operare una “distinzione tra i materiali che non sono l'obiettivo primario di un processo di produzione, ma che possono essere considerati sottoprodotti non assimilabili a rifiuti, e i materiali che devono invece essere trattati come rifiuti”, la Commissione ha fatto proprie le tre condizioni indicate dalla Corte di giustizia delle Comunità Europee, perché si possa fare una distinzione il più possibile precisa:

- il riutilizzo del materiale è certo e non solo eventuale;
- il materiale può essere riutilizzato senza che sia previamente trasformato;
- la preparazione del materiale per il suo riutilizzo avviene nel corso del processo di produzione.

Per rendere ancora più agevole l'applicazione dei criteri descritti, nella Comunicazione sono stati inseriti alcuni esempi concreti di materiali che si originano dai processi produttivi e che possono essere considerati “sottoprodotti”.

Tra questi si trova la loppa da altoforno, generata dalla produzione siderurgica a ciclo integrale, che viene così esclusa in modo esplicito dall'ambito dei rifiuti.

La Commissione riconosce pertanto che il processo siderurgico viene di fatto adattato sin dalle prime fasi allo scopo di conferire alla loppa da altoforno quelle caratteristiche tecniche che sono richieste per specifici utilizzi, permettendo così di utilizzare direttamente il materiale ottenuto, senza la necessità di effettuare trasformazioni che non siano parte integrante del processo stesso.

Ciò consente di utilizzare la loppa da altoforno, opportunamente rispondente anche alla normativa tecnica, per la produzione di cemento come alternativa o complemento dei materiali tradizionali, e i dati raccolti presso le aziende testimoniano il costante apprezzamento da parte degli operatori, a tal punto che in pratica la quasi totalità della loppa da altoforno è utilizzata per tali scopi.

La Comunicazione riconosce inoltre la possibilità di attribuire legittimamente la qualifica di sottoprodotto (e di escludere pertanto l'applicazione del regime dei rifiuti), anche nel caso in cui la catena del valore del sottoprodotto stesso preveda una serie di operazioni necessarie per poter rendere il materiale riutilizzabile: “dopo la produzione, esso può essere lavato, seccato, raffinato o omogeneizzato, lo si può dotare di caratteristiche particolari o aggiungervi altre sostanze necessarie al riutilizzo, può essere oggetto di controlli di qualità ecc.”.

2.3 La nuova definizione di “sottoprodotto” e la sua diretta applicabilità

Il recepimento della Direttiva CE 2008/98 (Direttiva quadro sui rifiuti) nell'ordinamento italiano, ha portato ad introdurre nel D.Lgs. 152/2006 la nuova definizione di “sottoprodotto” (art. 184-bis), che risulta più estensiva rispetto alla precedente e che è direttamente applicabile.

Sono state così specificate le condizioni che un residuo di produzione industriale deve possedere, affinché a 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:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è 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;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

Nel caso delle scorie siderurgiche, la nuova nozione di sottoprodotto, qualora sia verificata la piena rispondenza alle condizioni sopra riportate, consente già oggi di poter classificare questo materiale a tutti gli effetti come "sottoprodotto". Alcune questioni interpretative rimangono marginalmente aperte, ad esempio, laddove si richiede che non sia effettuato "alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale". A tale proposito, in mancanza di una interpretazione giuridica consolidata di "normale pratica industriale", un possibile riferimento può essere rappresentato proprio dalla Comunicazione COM (2007)59 laddove affronta il caso in cui la catena del valore del sottoprodotto stesso preveda una serie di operazioni necessarie per poter rendere il materiale riutilizzabile (si veda paragrafo 2.2), così come è possibile fare riferimento al contenuto del BREF siderurgico (si veda il paragrafo 2.5).

2.4 La definizione di "cessazione della qualifica di rifiuto" ("end of waste") e il Decreto Ministeriale 05/02/1998

Nel caso in cui un'azienda siderurgica decida di applicare alla propria scoria lo status iniziale di "rifiuto", è possibile accertare successivamente la rispondenza del materiale a quanto disposto dal nuovo art. 184-ter del D.Lgs. 152/2006 "cessazione della qualifica di rifiuto" ("end of waste"), per poterlo escludere dal campo di applicazione dei rifiuti, al verificarsi di determinate condizioni.

Ciò rappresenta una ulteriore importante novità apportata dal recepimento della Direttiva 2008/98 CE, per cui un rifiuto cessa di essere tale se, sottoposto a una operazione di recupero, soddisfa anche criteri specifici, adottati nel rispetto delle seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

In attesa che vengano promulgati appositi decreti ministeriali in conformità a tali condizioni, l'art. 184-ter prevede che si continui ad applicare il D.M. 05/02/1998.

Per quanto riguarda la scoria siderurgica, il D.M. 05/02/1998 ha individuato alcuni ambiti di utilizzo, riconoscendo le opportunità e i vantaggi ambientali e economici che derivano dal suo recupero e indicando le attività, i procedimenti e i metodi di recupero da applicare a tale materiale al fine della sua valorizzazione e del suo utilizzo.

A questo scopo negli allegati del Decreto sono elencate in modo dettagliato le condizioni generali da rispettare (tipologia, provenienza, caratteristiche, attività di recupero, caratteristiche dei prodotti ottenuti), che assicurano la conformità alle disposizioni legislative e, se necessario, alla normativa tecnica di riferimento.

È importante ricordare che seguire le prescrizioni contenute nel Decreto, in funzione dell'ambito d'uso, è condizione basilare per assicurare il rispetto della tutela della salute umana e dell'ambiente, in particolare nei casi in cui l'uso della scoria siderurgica richiede una maggiore attenzione nonché l'effettuazione di specifiche prove, come ad esempio il test di cessione nei casi in cui l'utilizzo della scoria prevede il contatto diretto con il suolo.

2.5 BREF siderurgico - “Best Available Techniques Reference for Iron and Steel production”

La valorizzazione delle scorie siderurgiche trova ampio spazio anche all'interno del BREF (BAT Reference document), il documento tecnico di riferimento a livello comunitario che ai sensi della normativa per la prevenzione e il controllo integrato dell'inquinamento (IPPC) individua e descrive per ogni settore industriale le migliori tecniche disponibili in campo ambientale (BAT - Best Available Techniques).

Il BREF viene sottoposto a una revisione periodica per tenere in considerazione lo sviluppo di nuove tecniche, e rappresenta il risultato finale del lavoro di un gruppo tecnico di livello europeo (TWG - Technical Working Group), coordinato dall'EIPPC Bureau della Commissione Europea (European Integrated Prevention Pollution and Control Bureau) e a cui partecipano rappresentanti degli Stati membri e del settore industriale oggetto di studio.

Il processo di revisione del BREF siderurgico (“Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production”) si è concluso nel 2011 e il testo definitivo è stato pubblicato nel marzo 2012. Esso costituisce, il primo documento di questo genere già pienamente conforme alla nuova Direttiva IED (Direttiva 2010/75/UE) sulle emissioni industriali.

In riferimento alle scorie, il BREF siderurgico sottolinea in più punti l'importanza di un loro idoneo utilizzo nel settore delle opere civili e nelle costruzioni stradali. Si riportano di seguito a titolo di esempio alcuni estratti dal BREF:

“Slag can be put to a variety of uses including material for road building, as concrete aggregate, as thermal insulation (mineral wool), and as a clinker substitute in cement production. Total utilisation of blast furnace slag is a target that has already been met in many cases.”

(rif. loppa da altoforno, pag. 295 - paragrafo 6.1.6 “Slag cooling and processing”)

“The technical and chemical properties of the slag make it suitable for applications in civil and hydraulic engineering as well as in agriculture.”

(rif. scoria da convertitore, pag. 359 - paragrafo 7.1.3 “Oxidation in the basic oxygen furnace”)

“Most of the BOF slag is used as an aggregate in road construction as base/sub-base, in asphalt mixtures and in water way construction (in hydraulic engineering, e.g. to stabilise shores). But there is also a percentage of BOF slag that is still put to landfill due to market conditions.”

(rif. scoria da convertitore, pag. 380 - paragrafo 7.2.2.3 “Process residues such as wastes and by-products”)

“In the EU, a growing amount of slags from carbon and low alloyed steelmaking are used as secondary raw materials, mainly for road construction and for infrastructural measures in several applications.”

(rif. scoria da forno elettrico, pag. 442 - paragrafo 8.2.2.3.1 “Slags from production of carbon steel/low alloyed steel/high alloyed steel”)

“Most of the slags from low carbon steel grades are relatively low in free lime and are suitable for various applications like road construction, earthfill and hydraulic engineering. EAF slags from carbon steel production typically meet the specifications of aggregates used in construction. The deciding factors with respect to these uses are environmental acceptability and structural suitability. If the required legal conditions for use in construction are met, the EAF slag should be crushed, screened, and sized for use. Ferrous slag components are separated via magnetic separators. The treated slag is used in various construction purposes, also dependent on the grain size.”

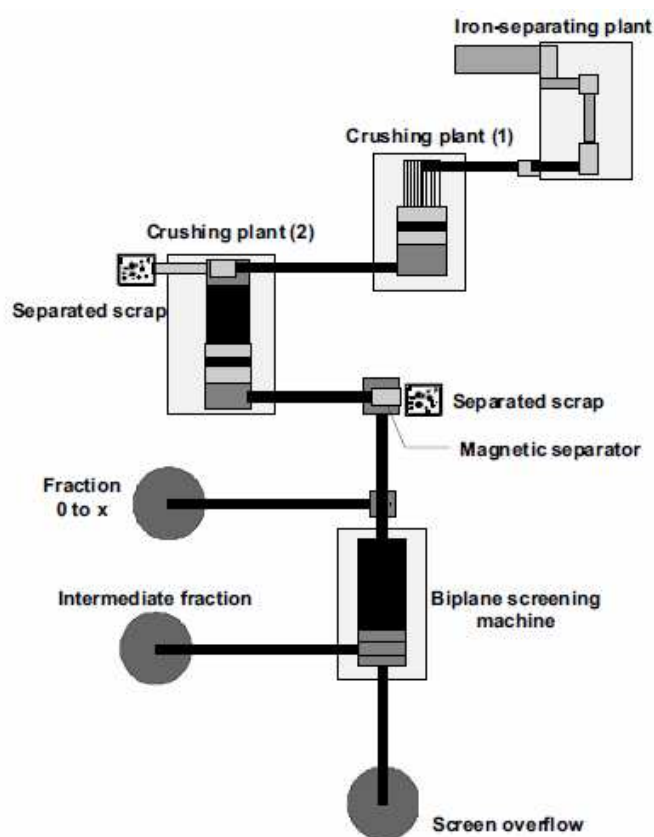
(rif. scoria da forno elettrico, pag. 474 - paragrafo 8.3.9 “EAF slag processing”)

Nel BREF è inoltre descritta la normale pratica industriale e i trattamenti a cui vengono generalmente sottoposte le scorie siderurgiche per poter essere successivamente utilizzate come aggregato nelle opere di ingegneria civile e nella costruzione delle strade.

A titolo di esempio, si riportano di seguito le pratiche industriali comunemente adottate nel ciclo a forno elettrico (pag. 426 - paragrafo 8.1.7 “Slag handling and processing”):

- eventuale miglioramento della fase di raffreddamento della scoria mediante acqua (*“The cooling of the slag may be enhanced by water sprays.”*);
- pre-frantumazione se la fase di solidificazione avviene a terra (*“If the slag is poured on the floor, it is precrushed after solidification using excavators or shovel loaders and brought to an outside storage area.”*);
- successive frantumazione e vagliatura per conferire alla scoria le granulometrie idonee all’uso nel settore delle costruzioni (*“After a certain period of time, the slag is processed in crushing and screening devices in order to give it the desired consistency for its further use in construction.”*);
- durante le operazioni di trattamento della scoria, si procede contestualmente ad effettuare il recupero delle frazioni metalliche mediante separazione magnetica, manuale o con escavatore, frantumazione e vagliatura (*“During this operation, any metallic particles contained in the slag are separated magnetically, manually or using digging, crushing and sieving in order to be recycled into the steelmaking process.”*).

Si riporta di seguito (fig. 2.2) una rappresentazione in forma schematica di un esempio di processo di lavorazione e preparazione della scoria, estratto dal paragrafo dedicato alla descrizione delle migliori tecniche disponibili per il trattamento delle scorie da forno elettrico (pag. 475 - paragrafo 8.3.9 “EAF slag processing”).



(Fig. 2.2) BREF siderurgico - Esempio di processo di lavorazione e preparazione della scoria

2.6 Conclusioni

Se da un lato il concetto di “sottoprodotto” si applica a sostanze o materiali che non entrano mai nel regime dei rifiuti, la nozione di “end of waste” prevede un’operazione di recupero autorizzata sul rifiuto atta a “trasformarlo” in prodotto riutilizzabile. In termini generali si può in ogni caso affermare che sia la nuova nozione di “sottoprodotto” che quella di “end of waste” evidenziano in maniera chiara il più recente orientamento della disciplina comunitaria, inteso a limitare a certe condizioni l’ambito di applicabilità della nozione di “rifiuto”, nel più ampio contesto della realizzazione della “società del recupero e del riciclo”, che costituisce uno degli obiettivi strategici primari dell’Unione Europea in tema di sostenibilità.

Mentre infatti in passato, anche a livello giurisprudenziale, la tendenza era quella di ampliare il più possibile la nozione di rifiuto, oggi si è fatta strada la tendenza opposta che porta ad escludere dal novero dei rifiuti un serie di sostanze o materiali che originano come residui di attività industriali e che possono essere valorizzati e impiegati come veri e propri prodotti.

Nel caso delle scorie siderurgiche questa tendenza è testimoniata anche dall'ampio spazio dedicato alla loro valorizzazione e alle tecniche di preparazione per il loro utilizzo illustrate nel BREF, il documento tecnico di riferimento a livello comunitario che individua e descrive per ogni settore industriale le migliori tecniche disponibili in campo ambientale (BAT- Best Available Techniques).

Inoltre, l'avvenuta registrazione presso l'Agenzia Europea delle sostanze chimiche (ECHA) delle diverse tipologie di scorie siderurgiche, ai sensi del Regolamento REACH, regolamento che si applica a sostanze, preparati e articoli immessi sul mercato, ma non ai rifiuti (vedi capitolo 4), costituisce un chiaro impulso verso l'attribuzione a questi materiali della qualifica di prodotto, oltre a fornire una approfondita conoscenza delle loro proprietà chimico-fisiche e del loro impatto sulla salute e sull'ambiente in modo da rendere idoneo e consapevole l'impiego.

I test e le prove di laboratorio, a cui sono state sottoposte le scorie siderurgiche per la preparazione del dossier di registrazione REACH, hanno confermato la loro somiglianza alle rocce naturali, trattandosi di un materiale composto prevalentemente da calcio, silice e ossigeno, e il Rapporto sulla sicurezza chimica (CSR) ha posto in evidenza che la scoria siderurgica non presenta alcuna caratteristica di pericolosità, ai sensi del Sistema Globalizzato di Classificazione e Etichettatura delle Sostanze Chimiche (GHS).

CAPITOLO 3

GLI APPALTI PUBBLICI PER LA COSTRUZIONE SOSTENIBILE DI INFRASTRUTTURE VIARIE

3.1 Premessa

Negli ultimi anni è cresciuta a livello internazionale la sensibilità e l'attenzione per attuare una crescita economica e sociale nel rispetto delle risorse ambientali, per cui con sempre maggior frequenza si parla di "sviluppo sostenibile".

La stessa Commissione Europea ha posto in atto da tempo diverse strategie finalizzate a sostenere e promuovere lo sviluppo sostenibile nei Paesi dell'Unione, e tra i possibili ambiti di intervento è stato individuato il settore degli acquisti di beni e servizi da parte della Pubblica amministrazione in quanto i rilevanti importi di spesa annualmente coinvolti possono realisticamente orientare il mercato verso produzioni e consumi a basso impatto ambientale.

A tale scopo la Commissione ha redatto un'apposita Comunicazione COM (400)2008, "Appalti pubblici per un ambiente migliore", la quale prevede la continua elaborazione di una serie di documenti di indirizzo che, pur non essendo prescrittivi, sottolineano la necessità di sviluppare in Europa un mercato di prodotti con un minore consumo di materie prime, a basse emissioni inquinanti e con un ridotto fabbisogno energetico.

Tra questi documenti destinati agli Enti pubblici si ha il "Green Public Procurement (GPP) Training Toolkit", una sorta di "cassetta degli attrezzi" in continua evoluzione e aggiornamento che contiene utili indicazioni per incoraggiare e favorire l'introduzione di criteri ambientali nelle procedure di acquisto di alcuni prodotti e servizi.

3.2 Il "Green Public Procurement (GPP)" e il "Green road"

Gli organismi tecnici della Commissione Europea hanno elaborato diversi "toolkit" di supporto, destinati ad essere fatti propri dalla Pubblica amministrazione, e uno di questi in particolare è stato dedicato al settore delle costruzioni stradali.

Nel documento sono stati riportati esempi concreti in cui la scoria siderurgica viene indicata come un materiale utilizzabile in sostituzione di materie prime naturali, la cui estrazione e lavorazione implica un evidente impatto sull'ambiente.

Considerando l'evoluzione della normativa nonché il progresso tecnologico, che la ricerca industriale mette in atto, la Commissione Europea ha recentemente deciso di iniziare la fase di aggiornamento di questo documento, in particolare valutando la possibilità di inserire in modo esplicito l'indicazione di elevate percentuali (40%-60%) di materiali diversi da quelli naturali che un manufatto deve necessariamente contenere per poter essere considerato "ambientalmente sostenibile".

A livello nazionale, dopo essersi dotato di un proprio “Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica amministrazione”, finalizzato a sviluppare e implementare gli acquisti verdi pubblici (GPP), il Ministero dell’Ambiente ha avviato la formazione di specifici gruppi di lavoro per elaborare documenti di indirizzo, a partire dai “toolkit” europei.

Uno dei gruppi di lavoro è stato incaricato di approfondire e definire quali sono i criteri ambientali da adottare nella progettazione, costruzione e manutenzione di infrastrutture viarie secondo i principi dello sviluppo sostenibile, andando pertanto a premiare l’utilizzo di materiali simili a quelli naturali, come sono appunto le scorie siderurgiche.

Si tratta quindi di fornire alle stazioni appaltanti le indicazioni e gli strumenti necessari per poter realizzare e mantenere una “green road”, vale a dire un manufatto con miglior efficienza d’uso delle risorse ambientali e minori impatti ambientali nel ciclo di vita rispetto ad una strada tradizionale.

CAPITOLO 4

REGISTRAZIONE REACH

4.1 Premessa

Il Regolamento CE n. 1907/2006 (Regolamento REACH), che riguarda la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche, e che non si applica ai rifiuti, ha imposto ai produttori e importatori europei lo studio delle proprietà chimico-fisiche, tossicologiche e eco-tossicologiche delle sostanze da loro prodotte o importate, allo scopo di presentare un apposito dossier di registrazione all'ECHA, l'Agenzia Europea per le sostanze chimiche.

In tale contesto, l'azienda siderurgica, che commercializza un aggregato industriale derivante dalla scoria generata nel corso del proprio processo produttivo, immette sul mercato non un rifiuto, ma bensì una sostanza per la quale ha effettuato la registrazione ai sensi del Regolamento REACH.

L'avvenuta registrazione REACH rappresenta quindi un ulteriore passo per l'attribuzione alla scoria siderurgica della qualifica di prodotto, per cui è esclusa dall'ambito dei rifiuti la scoria che è in possesso delle proprietà e delle caratteristiche che ne rendono idoneo l'utilizzo nel rispetto della tutela salute umana e dell'ambiente.

4.2 Classificazione della scoria ai sensi del Regolamento REACH

Per affrontare il tema della registrazione REACH della scoria, l'industria europea dell'acciaio si è associata nel Consorzio RFSC (REACH Ferrous Slag Consortium), scientificamente guidato dall'Istituto tedesco FEhS (Research Institute for Iron and steel slags), allo scopo di preparare un unico dossier di registrazione e di studiare il comportamento delle scorie ferrose sull'uomo e sull'ambiente, partendo comunque dall'assunzione che in generale le scorie non sono rifiuti.

A conclusione di un ampio dibattito scientifico, ai sensi del Regolamento REACH si è convenuto di classificare la scoria come sostanza UVCB, vale a dire una sostanza di composizione variabile, prodotta da una reazione complessa, così da mantenere una uniformità di classificazione e ampliare il campo di investigazione sugli effetti tossicologici e eco-tossicologici.

Sulla base dei dati già a disposizione, per arrivare alla registrazione REACH, il Consorzio RFSC ha innanzitutto suddiviso le scorie siderurgiche, in funzione della loro provenienza, in quattro famiglie principali, ognuna della quali identificata con un proprio numero CAS e/o EINECS:

- scoria da altoforno (granulata o raffreddata a aria), detta comunemente loppa da altoforno;
- scoria da convertitore;
- scoria da forno elettrico (dalla produzione di acciaio al carbonio o dalla produzione di acciaio inossidabile/altolegato);
- scoria da metallurgia secondaria.

È importante però ricordare che, ancor prima dell'entrata in vigore del Regolamento REACH, in gran parte dei Paesi del nord Europa (Belgio, Finlandia, Germania, Austria e Regno Unito) esistono da tempo accordi con le Autorità competenti in campo ambientale in base ai quali alcuni tipi di scoria sono considerati un sottoprodotto, così come avviene ad esempio per la loppa da altoforno in accordo con la Comunicazione COM(2007) 59 della Commissione Europea (vedi paragrafo 2.2).

4.3 Metodologia

Il Regolamento REACH ha richiesto di seguire un percorso ben delineato e di rilevante impegno tecnico e scientifico, che ha consentito infine di giungere a conclusioni riferibili a tutte le scorie prodotte su scala industriale dall'industria siderurgica.

Tra i diversi criteri introdotti dal Regolamento, il più rilevante è sicuramente quello relativo alla "identità della sostanza" ("sameness"), che viene rispettato quando i produttori dimostrano di possedere gli stessi requisiti per ciò che concerne:

- processo produttivo;
- componenti mineralogici;
- composizione chimica all'interno del diagramma ternario. Un diagramma ternario è una rappresentazione su un triangolo equilatero di un sistema costituito da 3 variabili e viene in genere utilizzato per rappresentare la variazione delle proprietà chimico-fisiche di un sistema costituito da 3 componenti al variare della composizione del sistema.

La "identità della sostanza" è quindi un principio che deve essere verificato per i requisiti sopra elencati per poter procedere nella registrazione per una data famiglia di scorie.

Rispettare i criteri di "sameness" significa dimostrare che tutti gli studi effettuati sulla scoria e riportati nel dossier di registrazione sono rappresentativi della produzione fatta dall'acciaieria.

Per poter soddisfare più coerentemente il criterio di "identità della sostanza", la famiglia della scoria da forno elettrico è stata poi suddivisa in funzione della tipologia di acciaio prodotto (acciaio al carbonio o acciaio inossidabile/altolegato).

Per ogni gruppo di scoria, il Consorzio RFSC ha quindi definito i parametri qualitativi e quantitativi del tal quale e del suo eluato, in modo tale da rendere univoca la caratterizzazione della scoria sulla quale sono stati poi sviluppati gli studi richiesti dal Regolamento REACH.

Famiglia	Tipologia di scoria		Numero CAS	Numero EINECS
1	Scoria da altoforno granulate (Granulated Blast furnace Slag)	GBS	65996-69-2	266-002-0
	Scoria da altoforno raffreddata a aria (Air-cooled Blast furnace Slag)	ABS	65996-69-2	266-002-0
2	Scoria da convertitore (Basic Oxygen furnace Slag)	BOS	91722-09-7	294-409-3
3a	Scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio al carbonio (Electric Arc Furnace slag from Carbon steel production)	EAF-C	-	932-275-6
3b	Scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio inossidabile/altelegato (Electric Arc Furnace slag from Stainless/high alloy steel production)	EAF-S	-	932-476-9
4	Scoria da metallurgia secondaria (Steelmaking Slag)	SMS	65996-71-6	266-004-1

4.3.1 Requisito del processo produttivo

Per il rispetto del requisito relativo al processo produttivo, si riportano di seguito a titolo di esempio le descrizioni nei casi della loppa da altoforno raffreddata a aria e della scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio al carbonio.

Scoria da altoforno: *“Le scorie granulate e raffreddate a aria sono sottoprodotti della produzione della ghisa in altoforno per riduzione termomeccanica. La scoria da altoforno si forma in un processo continuo con la fusione di calce (e/o dolomite) e di altri fondenti con i residui della fonte di carbonio e i componenti non metallici presenti nel minerale di ferro”*

Scoria da forno elettrico per la produzione di acciaio al carbonio: *“La scoria dell'acciaio al carbonio prodotto al forno elettrico è un sottoprodotto della fusione del rottame. La scoria è generata dall'introduzione di fondenti quali calce o dolomite alla temperatura di circa 1600 °C. La scoria siderurgica dal forno elettrico ha proprietà simili a quella proveniente dal convertitore. La scoria liquida, con temperatura intorno ai 1600 °C, è raffreddata in condizioni controllate formando strutture cristalline”*

4.3.2 Requisito dei componenti mineralogici

Per garantire il principio di identità per i componenti mineralogici, la scoria è stata analizzata con il metodo della diffrazione a raggi X (XRD) con sorgente radiante definita.

Ogni produttore ha pertanto fornito un diagramma XRD della propria scoria utilizzando un campione di scoria significativo e i metodi di campionatura e di analisi standard definiti dal Consorzio RFSC.

A titolo esemplificativo nelle tabelle seguenti si riportano le componenti mineralogiche più frequentemente rilevate nella loppa da altoforno raffreddata a aria:

Componenti minerali primari	Formula molecolare
Melilite (soluzione solida tra akermanite e gehlenite), calcio-aluminio-magnesio-silicato	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7\text{-Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$
Merwinite, calcio-magnesio-silicato	$\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$
Pseudowollastonite, calcio-silicato	CaSiO_3
Monticellite	CaMgSiO_4

e nella scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio al carbonio:

Componenti minerali primari	Formula molecolare
Larnite, (beta-silicato di calcio)	$\text{betaCa}_2\text{SiO}_4$
Srebrodolschite (ossidi di calcio ferro)	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$
Brownmillerite, (ossidi di calcio, alluminio e ferro)	$\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$
Spinello	CaMgSiO_4
Wuestite (soluzione solida di ossidi di ferro, magnesio e manganese)	$(\text{Fe}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Mn}_y)\text{O}_z$
Ghelenite (silicati di calcio e alluminio)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$
Bredigite (silicati di calcio e magnesio)	$\text{Ca}_{14}\text{Mg}_2\text{SiO}_{32}$

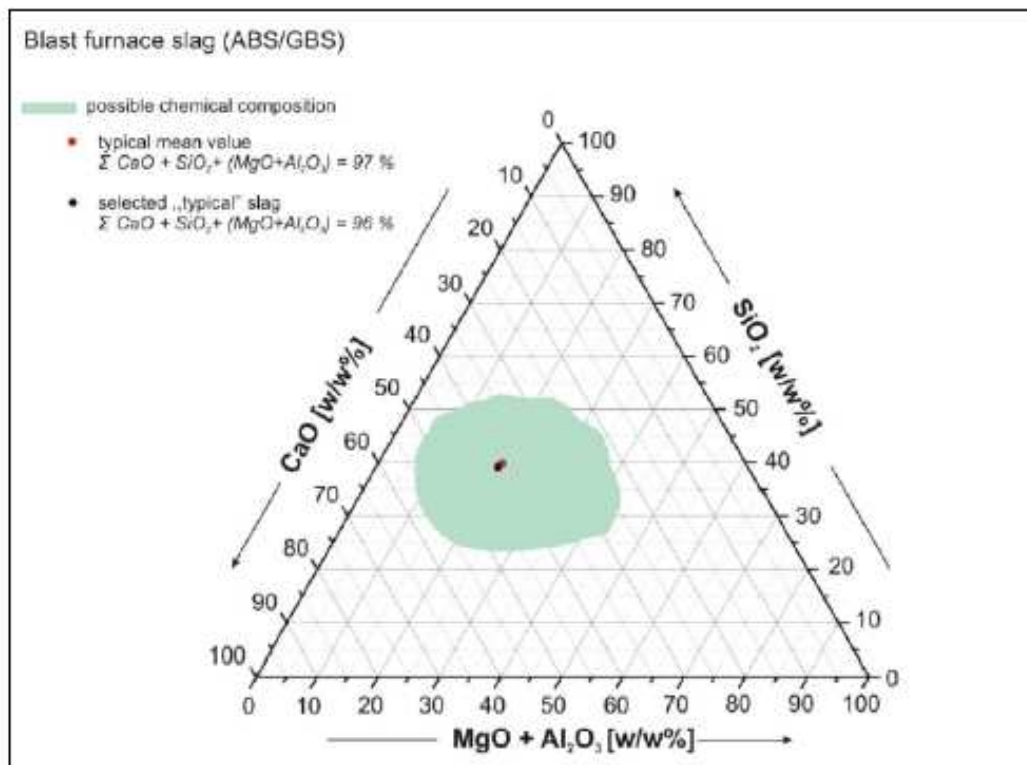
4.3.3 Requisito della composizione chimica all'interno del diagramma ternario

Riguardo al requisito dell'identità della composizione chimica, il Consorzio RFSC ha utilizzato i diagrammi ternari dove sono state prese in considerazione le consuete tre fasi, ad esempio per la scoria EAF-C CaO+MgO , $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}+\text{MnO}$.

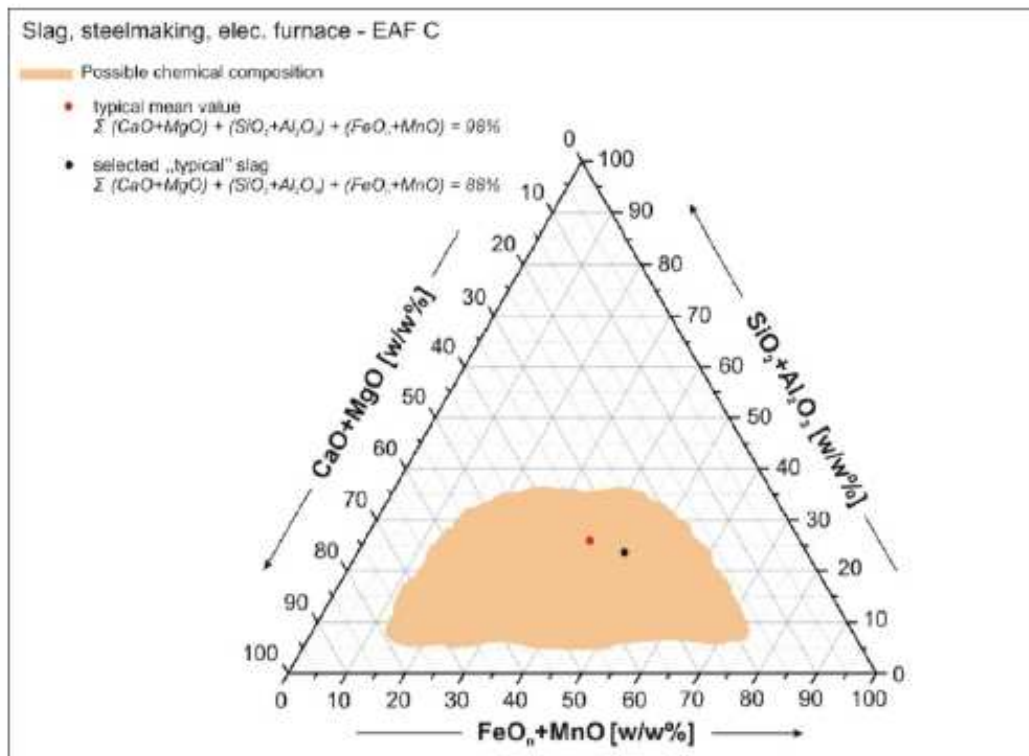
La composizione chimica delle scorie è determinata con l'analisi a raggi X (XRF secondo la Norma EN ISO 12677) oppure attraverso analisi fondate sulla digestione totale (ad esempio EPA 3052 oppure EN 13211).

Per ciascuna delle famiglie individuate, le analisi di tutte le scorie siderurgiche immesse sul mercato formano un'area sul relativo diagramma ternario, in cui sono indicate la media dei valori e la composizione scelta per effettuare i test eco-tossicologici e tossicologici.

Si riportano come esempio i diagrammi ternari per la scoria da altoforno ABS/GBS e da forno elettrico EAF-C (fig. 4.1 e fig. 4.2), in cui il punto rosso rappresenta la media dei valori e il punto nero identifica la composizione scelta per effettuare i test eco-tossicologici e tossicologici.



(Fig. 4.1 - Diagramma ternario scoria ABS/GBS)



(Fig. 4.2 - Diagramma ternario scoria EAF-C)

4.4 Rapporto sulla sicurezza chimica (CSR)

Il “Rapporto sulla Sicurezza Chimica” (CSR) di una sostanza registrata contiene il sommario dettagliato delle informazioni sulle proprietà della sostanza che costituiscono un pericolo per l’ambiente e per la salute umana e, ove necessario, una valutazione dell’esposizione e del rischio.

Nel caso della scoria, si tratta di un documento voluminoso, che ha raccolto il contributo della comunità scientifica e l’adesione del 97% dei produttori di scoria europei e che è depositato presso l’Agenzia Europea ECHA e disponibile per la consultazione e i commenti da parte dei soggetti interessati.

Il CSR indica che la scoria ferrosa non è classificata ai fini del Sistema Globalizzato di Classificazione e Etichettatura delle Sostanze Chimiche (GHS) e della Direttiva per le sostanze pericolose, e pertanto non dimostra alcuna delle caratteristiche di pericolosità.

Sono inoltre riportate le conclusioni derivanti dalla caratterizzazione delle scorie per quanto attiene gli aspetti chimico-fisici, eco-tossicologici e tossicologici.

Questi ultimi due aspetti rappresentano la caratteristica innovativa messa in campo dal Regolamento REACH per valutare l’impatto che le scorie, ma più in generale tutte le sostanze, hanno sull’uomo e sull’ambiente.

I test tossicologici eseguiti sulle scorie hanno rispettato i protocolli sviluppati dall'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) e espressi nelle linee guide periodicamente aggiornate, e si è fatto uso di riconosciuti standard per la derivazione dei valori PNEC (Predicted no effect concentration), cioè quei valori entro i quali è prevedibile che non vi siano effetti negativi sull'ambiente.

Le informazioni contenute nel Rapporto vengono trasmesse dall'acciaiera produttrice della scoria agli attori a valle della catena di approvvigionamento mediante una scheda informativa di sicurezza realizzata secondo quanto disposto dal Regolamento REACH, perché non essendo la scoria una sostanza pericolosa non è richiesta una scheda dati di sicurezza.

CAPITOLO 5

NORME STANDARDIZZATE E PERCORSO PER LA CONFORMITÀ

5.1 Inquadramento normativo

Il settore delle opere civili, essendo direttamente legato alle tradizioni costruttive del paese di origine, ha da sempre avuto un sistema di norme definite a livello di singola nazione. Questa caratteristica ha fatto sì che, nonostante la creazione di un mercato unico europeo per la circolazione delle merci, si determinasse in realtà una barriera alla libera circolazione dei prodotti industriali relativi al settore delle costruzioni.

L'Unione Europea è così intervenuta per armonizzare le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione promulgando la Direttiva 89/106/CEE "Prodotti da costruzione" (Direttiva CPD), recepita in Italia attraverso il Decreto del Presidente della Repubblica n. 246/1993.

La Direttiva stabilisce quali debbano essere i requisiti essenziali delle opere civili:

- a) avere qualità di resistenza meccanica e stabilità;
- b) garantire la sicurezza in caso di incendio;
- c) garantire che siano rispettate le norme relative all'igiene, salute e ambiente, vale a dire l'opera non deve compromettere la salute degli occupanti o l'ambiente circostante;
- d) garantire che siano rispettati i criteri di sicurezza, di protezione contro il rumore e di risparmio energetico.

Pertanto, i materiali da costruzione, definiti come "qualsiasi prodotto fabbricato al fine di essere permanentemente incorporato in opere di costruzione, le quali comprendono gli edifici e le opere d'ingegneria civile", devono essere idonei all'impiego previsto e le opere realizzate con tali prodotti devono garantire il rispetto dei requisiti sopra descritti.

Sempre in base alla Direttiva CPD, ciascun materiale da costruzione è inoltre accompagnato da un attestato di conformità che viene redatto dal fabbricante del prodotto e presuppone che "il fabbricante abbia un sistema di controllo della produzione il quale permetta di stabilire che la produzione corrisponde alle relative specificazioni tecniche".

Per talune applicazioni menzionate nelle relative specificazioni tecniche, un organismo di certificazione riconosciuto interviene nella valutazione e nella sorveglianza del controllo della produzione o del prodotto stesso in aggiunta al sistema di controllo della produzione applicato dalla fabbrica.

Per quanto concerne il requisito su resistenza meccanica e stabilità, gli organismi europei di normazione hanno elaborato una serie di norme tecniche di riferimento a cui i materiali da costruzione devono rispondere.

L'aggregato ottenuto dalla lavorazione della scoria siderurgica è un materiale meccanicamente comparabile a un aggregato naturale inerte, per cui rappresenta un'alternativa alle sabbie o ghiaie in diverse applicazioni (aggregato per calcestruzzi o miscele bituminose, materiale con cui si

costruiscono i sottofondi stradali o le massicciate ferroviarie), e come tale risponde alle norme tecniche di riferimento:

- EN 12620 “Aggregati per calcestruzzo”, recepita come UNI EN 12620;
- EN 13242 “Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l’impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione delle strade”, recepita come UNI EN 13242;
- EN 13450 “Aggregati per massicciate per ferrovie”, recepita come UNI EN 13450;
- EN 13043 “Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico”, recepita come UNI EN 13043.

L’aggregato ottenuto dalla lavorazione della scoria siderurgica, come qualsiasi altro materiale da costruzione, viene commercializzato per essere utilizzato nelle opere civili con la marcatura CE, a attestare il rispetto delle caratteristiche e dei requisiti previsti dalle norme tecniche di riferimento. Secondo l’applicazione sono previsti diversi sistemi di attestazione di conformità per la valutazione e la sorveglianza del controllo della produzione. L’attestato di conformità CE è un documento che integra il documento di trasporto.

La marcatura CE rappresenta la garanzia per l’acquirente che l’aggregato ottenuto dalle scorie siderurgiche soddisfa contestualmente i requisiti essenziali in tema di sicurezza e le norme tecniche di riferimento. Non si tratta di un marchio di qualità, quanto piuttosto la prova che il produttore è abilitato a immettere sul mercato prodotti rispondenti alle norme tecniche, garantiti nel tempo da un sistema di produzione di fabbrica controllato.

A conclusione, vale la pena ricordare che di recente è stato emanato il Regolamento Europeo 305/2011 (Regolamento CPR) che aggiorna la Direttiva CPD e che diverrà progressivamente operativo.

5.2 Ambiti di utilizzo degli aggregati artificiali siderurgici e processo produttivo

Gli ambiti di applicazione dell’aggregato artificiale ottenuto per lavorazione della scoria siderurgica sono del tutto simili a quelli degli inerti naturali. Le caratteristiche fisico-meccaniche dell’aggregato ottenuto dalla scoria non si discostano molto dalle caratteristiche dell’aggregato naturale.

Le differenze più rilevanti sono relative a:

- peso specifico, che nel caso della scoria può essere superiore rispetto a quello dell’inerte naturale, a causa del più alto contenuto di ossidi di ferro;
- colore, che paragonato con un materiale inerte di tipo calcareo, è decisamente più scuro (fig. 5.1).



(Fig. 5.1 – Esempi di pezzatura di scoria siderurgica)

Occorre specificare che ciascuna scoria è strettamente dipendente dal processo di fusione e produzione dell'acciaio, per cui sia le caratteristiche fisico-meccaniche che il colore sono la conseguenza del processo produttivo dell'acciaio, in cui le scorie svolgono l'essenziale funzione di assorbimento di alcuni elementi presenti nel bagno di acciaio liquido.

La scoria incandescente spillata dal bagno di acciaio liquido, una volta raffreddata, non è ancora in grado di soddisfare le esigenze del mercato delle costruzioni, a causa della forma e delle dimensioni dei blocchi in cui cristallizza. Inoltre, all'interno dei blocchi è anche possibile trovare tracce di acciaio che, una volta recuperate, possono essere reimmesse nel ciclo produttivo dell'acciaieria.

La scoria, per poter essere impiegata come aggregato, viene portata alle dimensioni specifiche per diversi tipi di applicazione, che ad esempio per la preparazione del calcestruzzo o del bitume per manti stradali sono:

- fini, dimensione compresa tra 0 e 4 mm;
- ghiaietto, dimensione compresa tra 4 e 15 mm;
- ghiaia (o pietrisco), dimensione compresa tra 15 e 30 mm.

Per la realizzazione dei sottofondi stradali le dimensioni possono invece essere tra 0 e 90 mm.

La scoria grezza viene lavorata per poter essere ricondotta a queste pezzature (o loro combinazioni). La tipica lavorazione della scoria, similmente a quella degli inerti naturali, avviene attraverso una prima frantumazione del materiale grossolano, a cui fa seguito un processo di vagliatura del materiale. Fra la frantumazione e la vagliatura, il materiale subisce l'asportazione completa della componente ferrosa attraverso un processo di deferrizzazione magnetica.

In fig. 5.1 sono riportate ad esempio 4 differenti pezzature di scoria granulata ottenuta dalla lavorazione del materiale tal quale a mezzo di un vaglio frantumatore e deferrizzatore.

I prodotti così ottenuti e marcati CE, vengono poi destinati al mercato utilizzatore.

Per stabilire se l'aggregato può essere utilizzato come materiale non legato, come ad esempio sottofondo stradale ai sensi della norma UNI EN 12620, esso viene sottoposto al test di cessione, secondo quanto prescritto dal Decreto del Ministero Ambiente 5 Aprile 2006, n. 186, allegato 3.

Se il test di cessione non è superato, l'aggregato può essere solo destinato ad applicazioni legate, ad esempio come componente per calcestruzzo o miscela bituminosa, e non ad applicazioni non legate, ad esempio come sottofondo stradale.

CAPITOLO 6

APPLICAZIONI E CASI STUDIO

6.1 Generalità

La scarsità di inerti naturali nelle zone dei cantieri, ad esempio stradali, e la conseguente necessità di utilizzare cave geograficamente sempre più distanti hanno di fatto condotto gli operatori a considerare l'uso di materiali alternativi allo scopo di contrastare l'eccessivo allungamento della catena di approvvigionamento e i relativi risvolti economici e ambientali. Tale ricerca ha evidenziato come gli aggregati che si originano dalle scorie siderurgiche rappresentano una valida alternativa agli inerti naturali, e rispondono pienamente ai requisiti tecnici richiesti nei capitolati.

In base alle varie esperienze, l'impiego di questa tipologia di aggregati artificiali non richiede accorgimenti specifici o adattamenti da parte delle tradizionali tecniche costruttive, per cui tali aggregati possono essere utilizzati nella realizzazione di opere di ingegneria civile, nelle costruzioni, nelle opere stradali, nei rilevati di consolidamento di zone interessate da processi di dissesto idrogeologico, ecc..

I risultati consolidati derivanti dall'utilizzo della scoria sono molti, e alcuni tra i più interessanti che pongono gli aggregati ottenuti da scorie siderurgiche tra gli aggregati sintetici più prestazionali, sono:

- riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali;
- creazione di fonti prossime di approvvigionamento di materia prima, con riduzione del trasporto su gomma e quindi inquinamento;
- risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂, in quanto si evita di estrarre, lavorare e trasportare materiali di origine naturale;
- costanza nelle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche conseguenti ai processi produttivi dell'acciaio ben definiti e standardizzati.

6.2 Applicazione nei manti di usura.

L'utilizzo di aggregati artificiali provenienti dalla scoria da forno elettrico nei manti di usura è una prassi consolidata in diversi paesi del mondo come USA, Canada, Australia, Giappone, Inghilterra, Germania, Francia.

I test di laboratorio indicano chiaramente che si tratta di un prodotto ideale per sostituire gli aggregati naturali nelle pavimentazioni stradali, grazie principalmente alle sue interessanti proprietà fisico-meccaniche, requisiti fondamentali per la sicurezza nella circolazione stradale.

La scoria da forno elettrico può sostituire tranquillamente il basalto, roccia effusiva di origine vulcanica, o il granito, roccia ignea intrusiva, uguagliando e anche superando determinate caratteristiche meccaniche come la resistenza alla frammentazione o all'abrasione superficiale.

In aggiunta alle caratteristiche specificate nel paragrafo 6.1, menzioniamo anche:

- aumento della durabilità delle pavimentazioni stradali realizzate;
- aumento della sicurezza dovuta alle migliori caratteristiche di aderenza del manto stradale.

Diverse sono le tipologie di conglomerati per i quali è opportuno prevedere l'utilizzo degli aggregati ottenuti dalla scoria:

- conglomerati drenanti singolo e doppio strato: è notoriamente dimostrato che questo tipo di conglomerati, molto efficace dal punto di vista della sicurezza della circolazione in condizioni di pioggia, presenta in condizioni normali un coefficiente di aderenza inferiore a quello di un'analogha pavimentazione chiusa. L'utilizzo di aggregati ottenuti dalla scoria permette di raggiungere anche con questo tipo di pavimentazioni un coefficiente di aderenza trasversale molto buono;
- conglomerati semiaperti antisdrucchiolo: l'uso di queste pavimentazioni in zone limitate e particolarmente pericolose consente che siano richiesti valori di aderenza molto elevati anche in condizioni di sollecitazioni di taglio molto forti da parte dei pneumatici. Grazie alla minima perdita di macrorugosità ottenibile attraverso l'uso di aggregati ottenuti dalla scoria da forno elettrico si possono mantenere nel tempo l'efficacia delle prestazioni;
- conglomerati chiusi macrorugosi tipo "splittmastix": l'uso di aggregati ottenuti dalla scoria da forno elettrico, come dimostrato dalle sperimentazioni, fornisce sufficienti incrementi di prestazione;
- microtappeti a freddo tipo "slurry-seal": analogamente a quanto descritto per i conglomerati antisdrucchiolo, l'uso degli aggregati derivanti dalla scoria produce valori di aderenza di grande efficacia in tutte le condizioni. Anche questa applicazione è stata testata con prove sul campo dimostrando, oltre la possibilità di ottenere valori di C.A.T. (coefficiente di attrito trasversale) prossimi a 90, anche la piena compatibilità dell'aggregato con l'emulsione modificata, addirittura con quantità quasi nulle di inerte rigettato per scarsa adesione.

L'esperienza tecnica di utilizzo della scoria da forno elettrico in Italia è consolidata soprattutto nelle Regioni del nord-est, tanto che oggi è possibile affermare che gran parte delle strade di questa area geografica hanno al loro interno scoria da forno elettrico, sia negli strati sottostanti di base e binder, sia negli strati superficiali d'usura, dove le caratteristiche tecniche richieste sono più restrittive.



6.3 Strati portanti in misto cementato

Gli aggregati ottenuti dalle scorie da forno elettrico trovano utilizzo anche nella realizzazione di strati portanti, sovrastrutture stradali o pavimentazioni in misto cementato.

In queste applicazioni gli aggregati sintetici ottenuti dalle scorie conferiscono ai manufatti, a parità di cemento utilizzato, una miglior resistenza.

La formazione di strati di fondazione in misto cementato è descritta e regolamentata nel “Capitolato speciale d’appalto tipo per lavori stradali” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla Direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione, ora Regolamento Europeo 305/2011, e ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all’appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242.

6.4 Sottofondi stradali non legati

Gli aggregati ottenuti dalla scoria siderurgica sono validamente utilizzati per la costruzione di sottofondi stradali non legati come regolamentata nel “Capitolato speciale d’appalto tipo per lavori stradali” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

L’esperienza tecnica di utilizzo della scoria da forno elettrico in Italia è già consolidata nell’impiego per sottofondi stradali soprattutto nelle Regioni del nord.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla Direttiva 89/106/CE sui prodotti da costruzione, ora Regolamento Europeo 305/2011, e ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante le conformità all’appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242.



6.5 Applicazioni nei conglomerati cementizi

Le particolari caratteristiche del processo di produzione degli acciai nel forno elettrico permettono di mantenere bassi i livelli del tenore di zolfo nella scoria, consentendone quindi l'utilizzo per il confezionamento di calcestruzzi ordinari e speciali, in sostituzione degli inerti naturali.

Tra le diverse applicazioni si riportano a titolo di esempio:

- l'utilizzo in calcestruzzi di basse prestazioni come magroni o Rck 25 a bassi dosaggi di cemento, per sottofondazioni, fondazioni, basamenti;
- calcestruzzi ordinari con miglioramento delle resistenze, necessario il controllo del mix design del calcestruzzo per il mantenimento delle caratteristiche reologiche allo stato fresco;
- contributo apportato nelle pavimentazioni industriali in calcestruzzo, dove molto importante è la durabilità e la resistenza alla trazione/flessione;
- manufatti prefabbricati in calcestruzzo terra umida, come tombini, pozzetti, tubazioni, blocchi per murature, ecc.;
- calcestruzzi pesanti.

I test di laboratorio dimostrano l'aumento delle proprietà meccaniche dei manufatti in calcestruzzo realizzati con aggregati industriali derivanti dalla scoria siderurgica in sostituzione di aggregati naturali tradizionali: resistenza alla compressione, alla trazione, al taglio.

I vantaggi non si limitano solamente all'aumento delle prestazioni meccaniche, ma sono anche di tipo economico e ambientale.

A parità di resistenza, nel confronto con calcestruzzi tradizionali, l'introduzione di aggregato da scoria può significare la possibilità di ridurre il quantitativo di cemento nel calcestruzzo.

La conseguenza del minor uso di cemento significa risparmio economico nella produzione del calcestruzzo, e un risparmio energetico e una riduzione di emissioni CO2 nella produzione del cemento.

Appare chiara la possibilità di ottenere dei calcestruzzi con prestazioni superiori anche per quanto riguarda la resistenza all'usura e abrasione superficiale, la resistenza alle aggressioni chimiche, al gelo-disgelo.



6.6 Utilizzi innovativi delle scorie siderurgiche

Esistono diversi studi riguardo la possibilità di sfruttare in modo innovativo le scorie siderurgiche e i loro derivati, sfruttandone proprietà e caratteristiche.

Alcuni esempi applicativi innovativi sono stati presentati nel corso della “6th European Slag Conference”, svoltasi a Madrid nell’ottobre 2011. Ad esempio è stata illustrata la possibile applicazione della scoria nella costruzione di filtri per le acque di scarico con l’obiettivo di rimuovere il fosforo.



CONCLUSIONI

Il documento ha messo in evidenza l'impegno sia tecnologico sia economico che l'industria siderurgica mette in campo per poter garantire l'immissione sul mercato di un materiale capace di rispondere alle richieste e alle esigenze degli operatori del settore delle costruzioni stradali e delle opere di ingegneria civile.

È stato illustrato come le aziende siderurgiche sono in grado di offrire materiali derivanti dalle proprie scorie, in grado di rispondere alle pertinenti specifiche tecniche di settore, operando nel rispetto della normativa a tutela della salute umana e dell'ambiente.

Si tratta del risultato di un incessante percorso virtuoso da parte delle aziende che si muovono alla ricerca del continuo miglioramento del processo produttivo, aggiornando le proprie conoscenze scientifiche e spesso sperimentando soluzioni innovative.

Solo grazie a questo percorso e alla diffusione trasparente di informazioni rigorose dal punto di vista scientifico è possibile superare gli ostacoli e le incertezze, che si sono originate nel passato a causa di alcuni usi impropri delle scorie siderurgiche e che ancora oggi emergono spesso associati alla diffusione mediatica di informazioni allarmistiche, superficiali, se non addirittura palesemente fuorvianti e errate.

I dati e le informazioni presenti nel documento mettono in evidenza che le aziende siderurgiche sono oggi in grado di garantire al cliente la fornitura con continuità di un materiale sicuro, di immediato e facile utilizzo, dalle caratteristiche omogenee nel tempo, e che non richiede la necessità di adottare particolari adattamenti delle proprie usuali tecniche costruttive.

A conclusione, occorre infine ribadire come gli indirizzi normativi dell'Unione Europea spingono con decisione verso la valorizzazione dei materiali che per le proprie caratteristiche e a determinate condizioni possono essere esclusi dall'ambito dei rifiuti, contribuendo in tal modo a creare una società virtuosa del recupero e del riciclo, compatibile con un modello di sviluppo sostenibile.

Il contributo che gli aggregati industriali derivanti dalle scorie siderurgiche possono fornire allo sviluppo sostenibile è tutt'altro che trascurabile, se si pensa anche solo alla diminuzione dello sfruttamento delle risorse naturali, il che può e deve rappresentare un elemento premiante nella partecipazione agli appalti pubblici.

L'utilizzo sostenibile di questi materiali deve essere sostenuto e incentivato attraverso politiche adeguate a livello centrale, come ad esempio la realizzazione di un sistema efficace e concretamente applicabile di Green Public Procurement, unitamente ad una più ampia collaborazione tra imprese e istituzioni competenti sul territorio a livello locale.

L'Italia, nel quadro delle politiche adottate dall'Unione Europea, deve percorrere con maggiore efficacia e consapevolezza questa strada.

APPENDICE

Dati di produzione e principali destinazioni d'uso

Premessa

Nel documento si è evidenziato come l'industria siderurgica dia origine a diverse tipologie di scoria, che si differenziano per caratteristiche chimico-fisiche, proprietà e composizione in base ai differenti processi produttivi.

Tale varietà di offerta consente alla siderurgia di rispondere in modo efficace e strutturato alle richieste e agli stimoli del settore delle costruzioni, e di mettere a disposizione un materiale ambientalmente sostenibile e in grado di essere utilizzato in settori differenti.

È quindi utile poter dare un parametro di riferimento sulla quantità media di scoria annualmente disponibile, nonché sui principali ambiti di utilizzo. A tale scopo Federacciai, con il coinvolgimento di tutte le Aziende Associate produttrici di acciaio, ha svolto una raccolta dati sul triennio 2008-2010, da cui emergono la produzione totale e le percentuali di utilizzo della scoria che non viene destinata a smaltimento in quanto in possesso delle caratteristiche idonee al suo impiego per la realizzazione di opere civili e di costruzioni stradali.

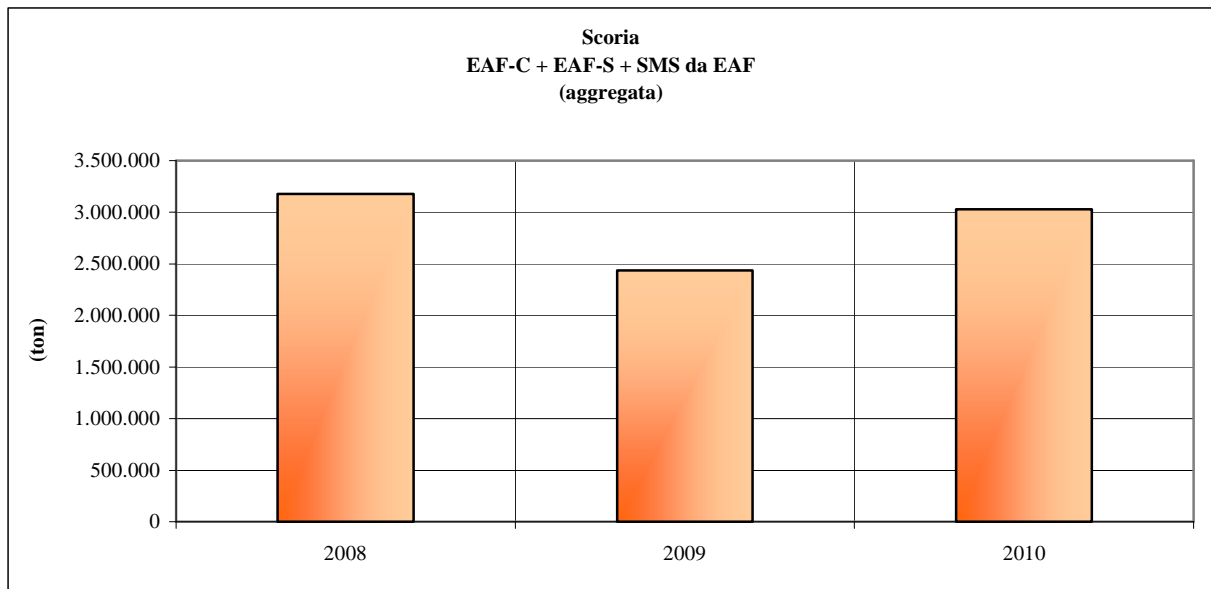
Forno elettrico

Nel caso della produzione di acciaio dal ciclo a forno elettrico (EAF) si originano essenzialmente 3 tipologie di scoria:

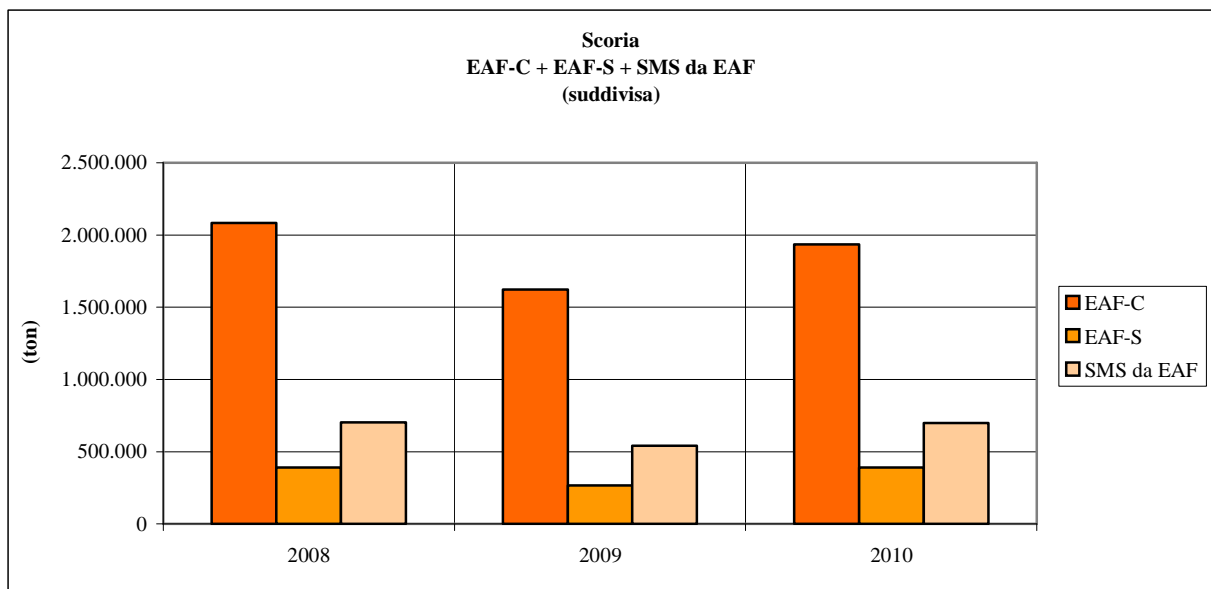
- scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio al carbonio (Electric Arc Furnace Slag - Carbon steel - EAF-C);
- scoria da forno elettrico dalla produzione di acciaio inossidabile/altolegato (Electric Arc Furnace Slag - Stainless/high alloy steel - EAF-S);
- altra scoria da metallurgia secondaria (Steelmaking slag - SMS).

Gli ambiti di utilizzo si differenziano in base alle richieste del mercato, e gli operatori hanno a disposizione un materiale che non solo risponde appieno alle condizioni tecnologiche richieste dalle fasi applicative, ma che comporta anche un notevole risparmio di risorse naturali, sempre più scarse e talvolta di difficile reperimento sul territorio.

Se si analizzano in modo aggregato i dati raccolti relativi al periodo 2008-2010, si rileva una produzione media di scoria da forno elettrico di oltre 3 milioni di tonnellate annue (fig. 1), di cui oltre il 75% viene destinata alla produzione di aggregati da utilizzare in opere di ingegneria civile, evitando il ricorso allo smaltimento. Le scorie da forno elettrico provengono principalmente dalla produzione di acciaio al carbonio (fig. 2).

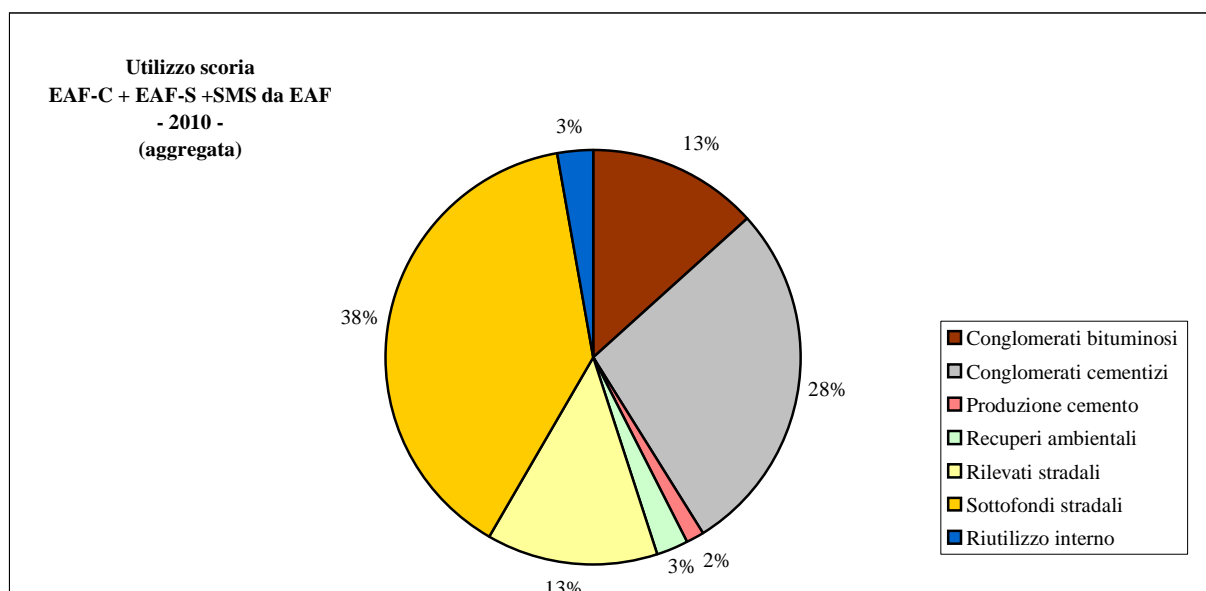


(Fig. 1 - Produzione di scoria da ciclo a forno elettrico 2008-2010, dati aggregati)



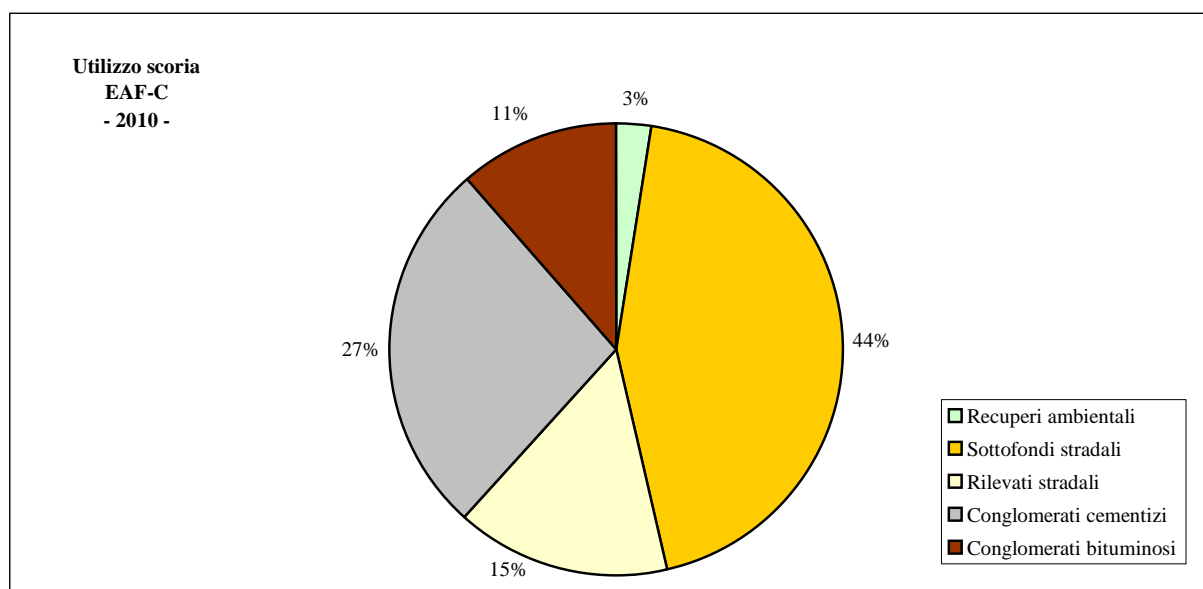
(Fig. 2 - Produzione di scoria da ciclo a forno elettrico 2008-2010, dati disaggregati)

Leggendo i dati relativi al 2010 (fig. 3), ultima rilevazione disponibile, la scoria che proviene dal ciclo a forno elettrico, e non avviata a smaltimento, è stata utilizzata soprattutto per la realizzazione dei sottofondi stradali (38%) e dei conglomerati cementizi (28%), mentre la residua quantità ha trovato impiego soprattutto per la realizzazione di conglomerati bituminosi (13%) e di rilevati stradali (13%).



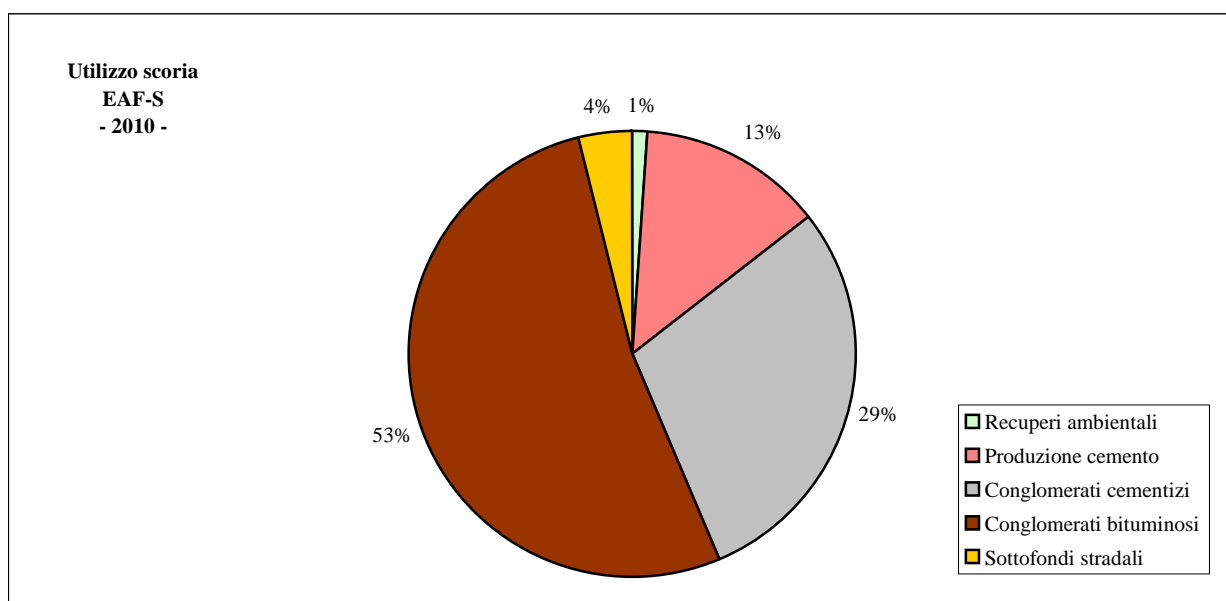
(Fig. 3 - Utilizzo della scoria da ciclo a forno elettrico 2010, dati aggregati)

Osservando inoltre i principali ambiti di utilizzo nel corso dell'anno 2010 per ciascuna tipologia di scoria, si ricava che la scoria EAF-C, derivante dal ciclo a forno elettrico per la produzione di acciaio al carbonio (fig. 4) e idonea ad ottenere aggregati, viene utilizzata principalmente per la realizzazione di sottofondi stradali (44%) e conglomerati cementizi (27%), mentre la quantità residuale è destinata alla fabbricazione di rilevati stradali (15%) e conglomerati bituminosi (11%). In termini di contributo agli obiettivi di sviluppo sostenibile, bisogna sottolineare che questa tipologia di scoria raggiunge notevoli percentuali di utilizzo pari al 90%, e solo in minima parte viene destinata allo smaltimento.



(Fig. 4 - Utilizzo della scoria EAF-C 2010)

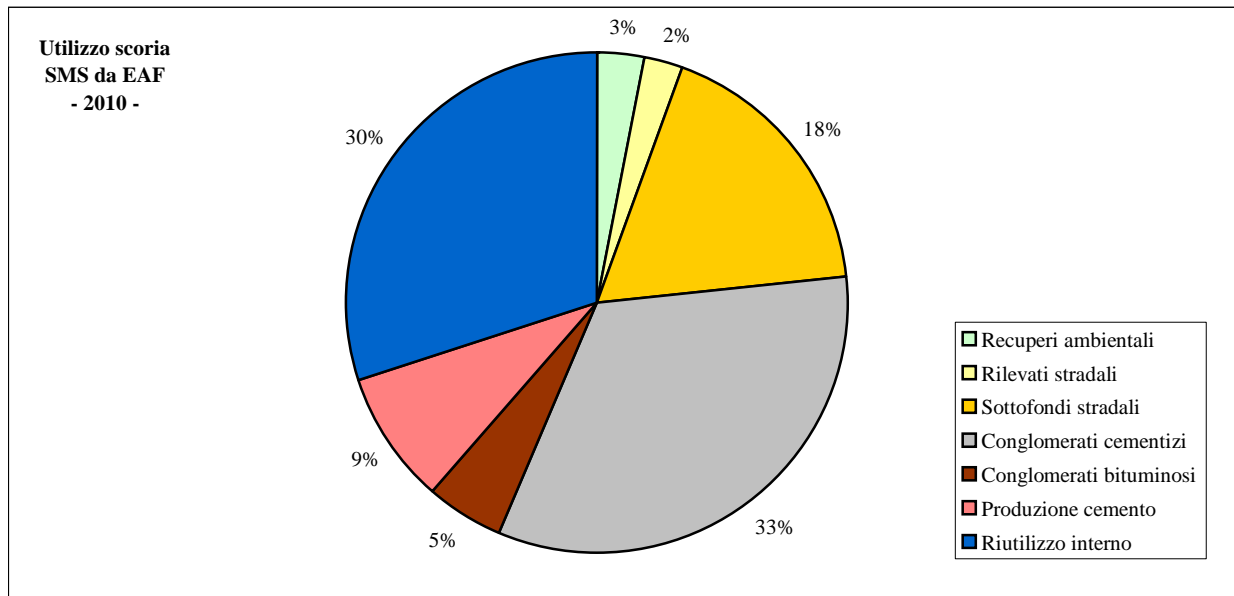
Differenti sono le percentuali di utilizzo della scoria EAF-S da forno elettrico per la produzione di acciaio inossidabile/altolegato (fig. 5). In questo caso, l'utilizzo principale della scoria non inviata a smaltimento è per la realizzazione di conglomerati bituminosi (53%), mentre le restanti quantità sono destinate ai conglomerati cementizi (29%) e alla produzione di cemento (13%).



(Fig. 5 - Utilizzo della scoria EAF-S 2010)

Nel caso infine della scoria da metallurgia secondaria derivante dal ciclo a forno elettrico (fig. 6) e avente le caratteristiche adatte a essere utilizzata, le maggiori quantità impiegate nel settore delle costruzioni sono destinate alla produzione di conglomerati cementizi (33%) e sottofondi stradali (18%).

Sfruttando inoltre il suo contenuto di ossido di calcio di alta qualità, una buona parte di questa tipologia di scoria (30%) viene utilizzata in forno in sostituzione della calce, con un ulteriore risparmio di risorse naturali.



(Fig. 6 - Utilizzo della scoria SMS da EAF-S 2010)

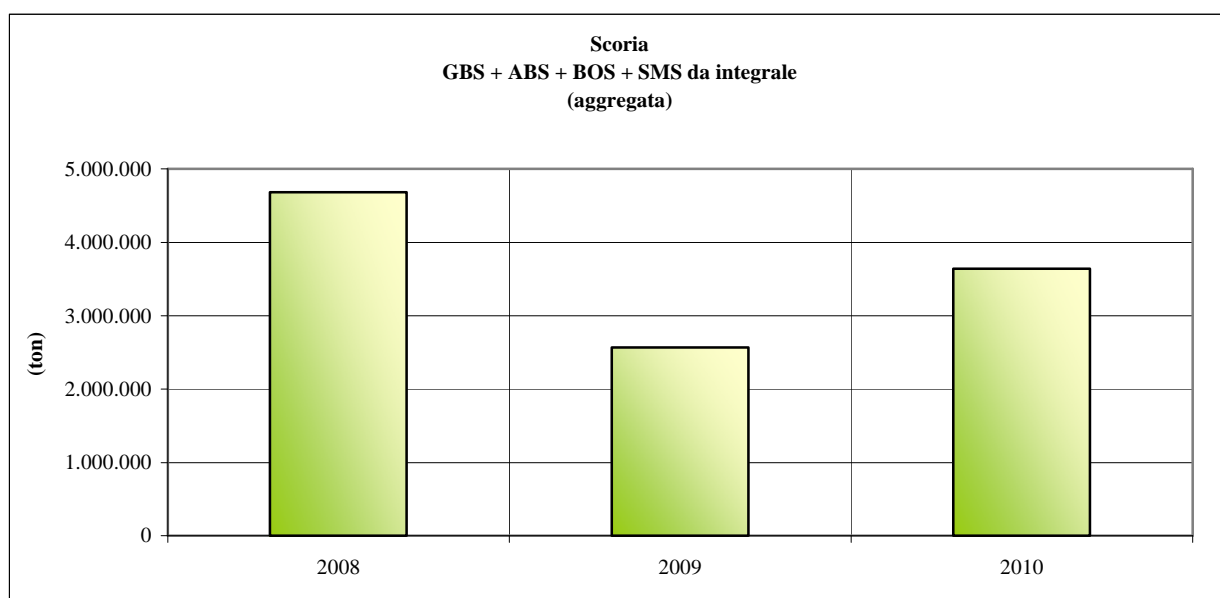
Ciclo integrale

Il ciclo integrale per la produzione di acciaio genera essenzialmente 4 tipologie di scorie siderurgiche:

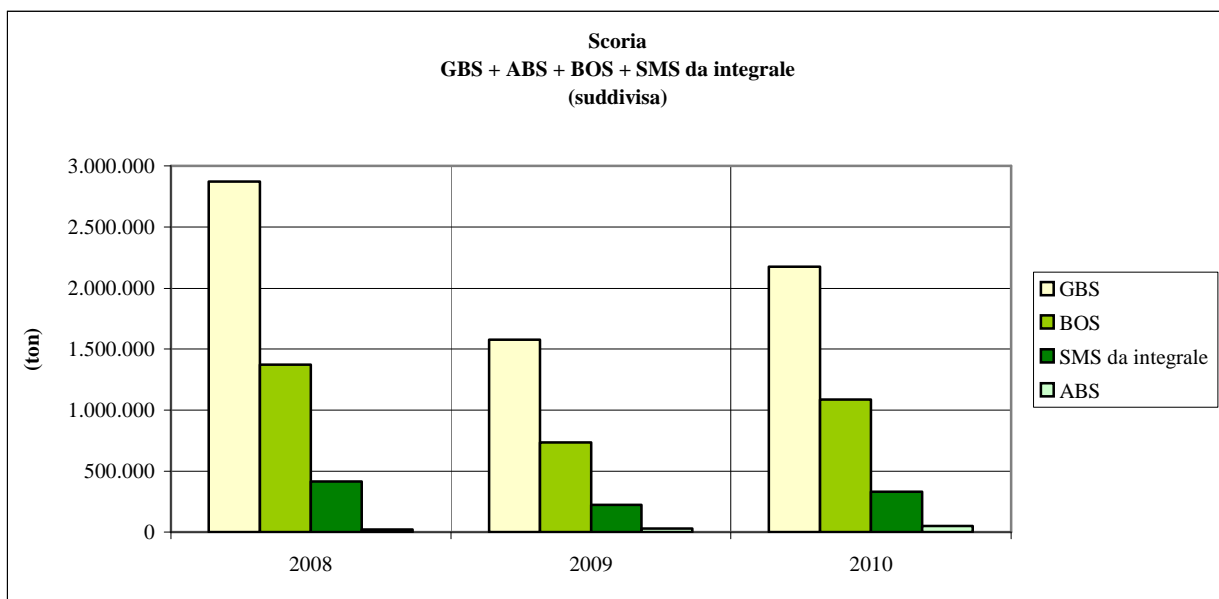
- scoria da altoforno granulata (Granulated Blast furnace Slag - GBS);
- scoria da altoforno raffreddata a aria (Air-cooled Blast furnace Slag - ABS);
- scoria da convertitore a ossigeno (Basic Oxygen furnace Slag - BOS);
- altra scoria da metallurgia secondaria (Steelmaking slag - SMS).

Considerando in modo aggregato i dati raccolti relativi al triennio 2008-2010, si ha una produzione media di scoria da ciclo integrale di ben oltre 3 milioni e mezzo di tonnellate all'anno (fig. 7), con un massimo nel 2008 di oltre 4 milioni e mezzo di tonnellate, che viene assorbita quasi completamente dal settore delle costruzioni. Meno dell'1% viene inviato a smaltimento.

La maggior parte è costituita da scoria da altoforno granulata (fig. 8).

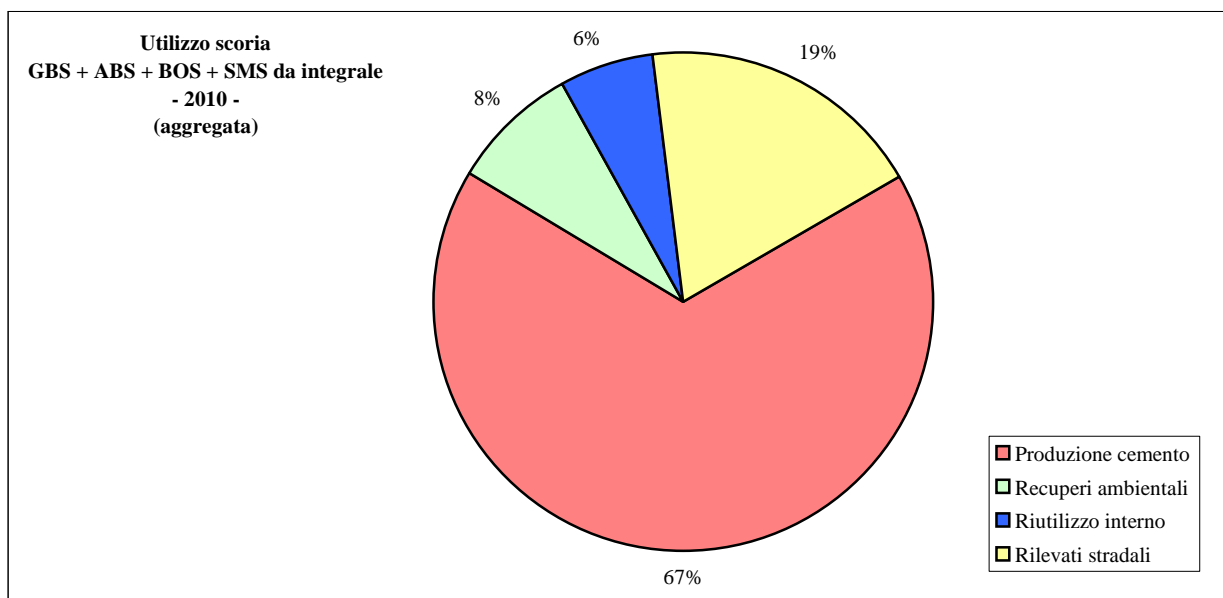


(Fig. 7 - Produzione di scoria da ciclo integrale 2008-2010, dati aggregati)



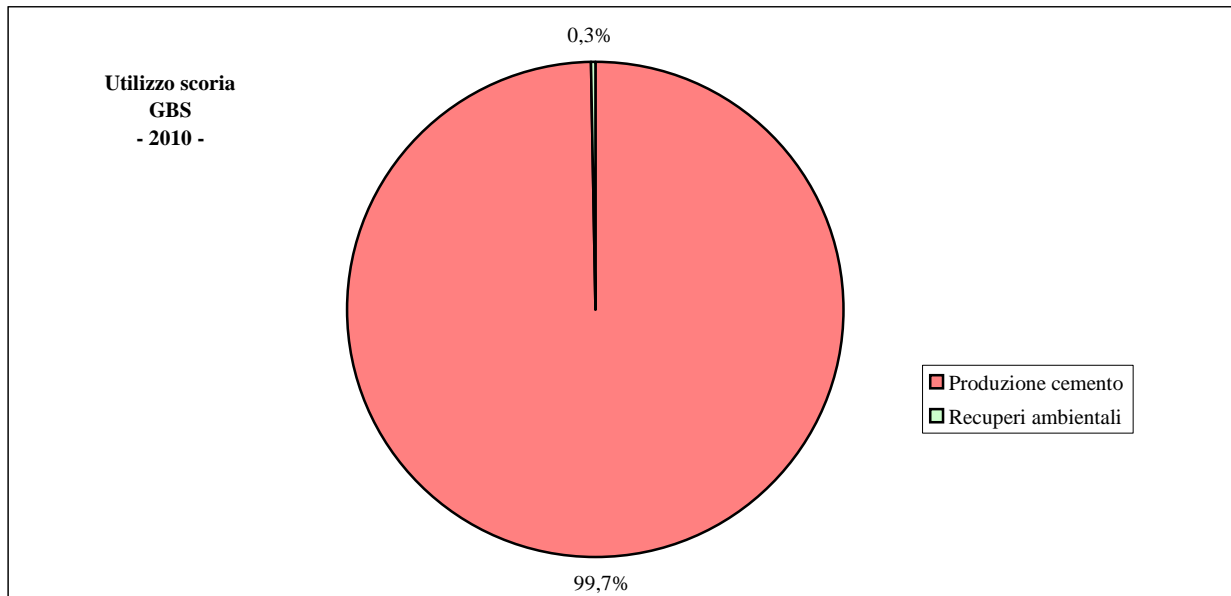
(Fig. 8 - Produzione di scoria da ciclo integrale 2008-2010, dati disaggregati)

L'impiego principale della scoria da ciclo integrale è relativo alla produzione di cemento, come confermano anche i dati relativi al 2010 da cui si ricava che quasi il 70% è stato destinato alla produzione di cemento (fig. 9).



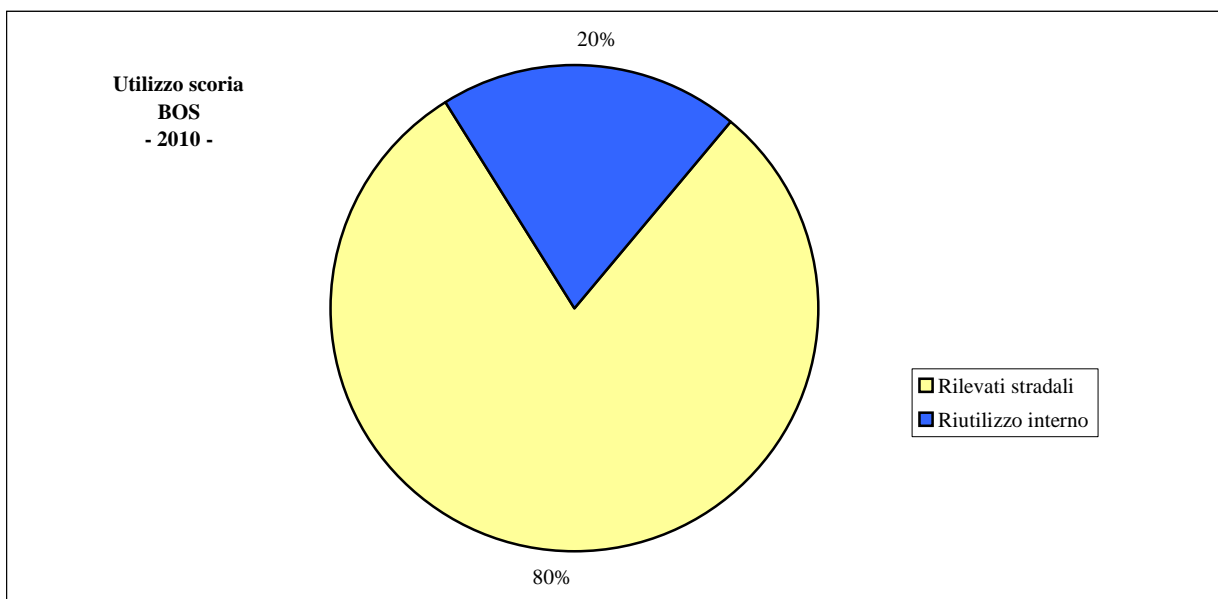
(Fig. 9 - Utilizzo della scoria da ciclo integrale 2010, dati aggregati)

La maggior parte della scoria derivante dal ciclo integrale viene generata dall’altoforno nel corso del processo di produzione della ghisa, viene comunemente chiamata loppa da altoforno e rientra da tempo tra i materiali classificabili come “sottoprodotto” (vedi paragrafo 2.2), come dimostrano anche i dati del 2010 in cui si vede, ad esempio, che la scoria GBS è stata quasi totalmente utilizzata per la produzione di cemento (fig. 10).



(Fig. 10 - Utilizzo della scoria GBS 2010)

Ancora dall’analisi della scoria da ciclo integrale, i dati del 2010 confermano che la scoria che viene prodotta dal convertitore ad ossigeno (BOS) è utilizzata principalmente nel settore delle costruzioni (80%), in particolare per la formazione di rilevati stradali (fig. 11).



(Fig. 11 - Utilizzo della scoria BOS 2010)

Conclusioni

I dati raccolti, relativi alla produzione e agli ambiti di utilizzo della scoria siderurgica, sia da ciclo integrale sia da ciclo forno elettrico, nel triennio 2008-2010, confermano come ormai si vada a consolidare presso gli operatori la prassi di utilizzare questo materiale nel settore delle costruzioni e non solo, si pensi ad esempio ai recuperi ambientali, in alternativa alle risorse naturali sempre più scarse e in linea con i principi dello sviluppo sostenibile.

Ovviamente l'uso della scoria richiede una vigilante attenzione da parte di tutti i soggetti coinvolti, dal produttore sino all'utilizzatore, per garantire che le normative siano rispettate e il materiale sia conforme alle specifiche tecniche previste per l'uso.

I numeri, specialmente a livello europeo, stanno a dimostrare che il percorso da seguire è ormai ben delineato e gli esempi virtuosi di applicazioni concrete anche nel contesto italiano dimostrano che è possibile superare diffidenze o incertezze, coinvolgendo e collaborando con tutti gli attori interessati.

Utilizzare la scoria siderurgica in alternativa o in complemento con materiali naturali significa collaborare al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale per diversi ragioni, legate ad esempio al risparmio delle risorse del pianeta, e alla diminuzione del conferimento a smaltimento preservando così il consumo di suolo.

I dati sugli utilizzi della scoria stanno infine a dimostrare come negli anni continui a crescere nell'industria siderurgica la sensibilità e l'attenzione per i temi ambientali, per cui si mettono costantemente in campo risorse tecnologiche e investimenti economici per realizzare un prodotto sempre più facilmente utilizzabile, integrabile e tecnicamente valido.

RIFERIMENTI

- Euroslag – “Ferrous Slag – Resource Development for an Environmentally Sustainable World” – 6th European Slag Conference 20th – 22nd October 2010, Madrid
- AIM – International Workshop “Valorizzazione e utilizzo della scoria da forno elettrico ad arco” – Atti del convegno, Milano 16 febbraio 2011
- S.I.I.V. – XI Convegno nazionale 2001
- Summer School S.I.I.V. – Atti del Corso edizione 2011, Brescia
- Le Strade – “Uso di inerti alternativi nei conglomerati bituminosi” – E. Razzini, J.D. Rotilio, M. Russiani, maggio 2008
- Enco Journal – “Zero waste esperienza di un’acciaiera elettrica” – L. Bianco, n. 38 e n. 39
- <http://www.euroslag.org/>
- Iron & Steel Technology – “Recycling of ladle slag and spent refractories by injection into an EAF” – S. Porisiensi, June 2004, pp. 63-66