



La
Metallurgia
Italiana International Journal of the
Italian Association for Metallurgy

n. 05 maggio 2022
Organo ufficiale
dell'Associazione Italiana
di Metallurgia.
Rivista fondata nel 1909



La Metallurgia Italiana

International Journal of the Italian Association for Metallurgy

Organo ufficiale dell'Associazione Italiana di Metallurgia.
House organ of AIM Italian Association for Metallurgy.
Rivista fondata nel 1909



Direttore responsabile/*Chief editor:*
Mario Cusolito

Direttore vicario/*Deputy director:*
Gianangelo Camona

Comitato scientifico/*Editorial panel:*
Christian Bernhard, Massimiliano Bestetti,
Wolfgang Bleck, Franco Bonollo, Bruno Buchmayr, Enrique Mariano
Castrodeza, Emanuela Cerri, Lorella Ceschini, Vladislav Deev,
Bernd Kleimt, Carlo Mapelli, Jean Denis Mithieux, Marco Ormellese,
Massimo Pellizzari, Barbara Previtali, Evgeny S. Prusov, Dieter Senk,
Du Sichen, Karl-Hermann Tacke

Segreteria di redazione/*Editorial secretary:*
Marta Verderi

Comitato di redazione/*Editorial committee:*
Federica Bassani, Gianangelo Camona, Mario Cusolito,
Carlo Mapelli, Federico Mazzolari, Marta Verderi

Direzione e redazione/*Editorial and executive office:*
AIM - Via F. Turati 8 - 20121 Milano
tel. 02 76 02 11 32 - fax 02 76 02 05 51
met@aimnet.it - www.aimnet.it

Immagine in copertina: Shutterstock

siderweb
LA COMMUNITY DELL'ACCIAIO

Gestione editoriale e pubblicità
Publisher and marketing office:
siderweb spa
Via Don Milani, 5 - 25020 Flero (BS)
tel. 030 25 400 06 - fax 030 25 400 41
commerciale@siderweb.com - www.siderweb.com

La riproduzione degli articoli e delle illustrazioni
è permessa solo citando la fonte e previa autorizzazione
della Direzione della rivista.

Reproduction in whole or in part of articles and images
is permitted only upon receipt of required permission
and provided that the source is cited.

Reg. Trib. Milano n. 499 del 18/9/1948.
Sped. in abb. Post. - D.L.353/2003 (conv. L. 27/02/2004 n. 46)
art. 1, comma 1, DCB UD

siderweb spa è iscritta al Roc con il num. 26116



n.05 maggio 2022
Anno 113 - ISSN 0026-0843

indice

Editoriale / Editorial Editoriale

A cura di Carlo Mapelli..... pag.04

Memorie scientifiche / *Scientific papers* Materie Prime / Raw Materials

Economia Circolare e Simbiosi Industriale in una recente analisi dei progetti europei rilevanti relativi all'industria siderurgica

V. Colla, T. A. Branca, A. Morillon, D. Algermissen, H. Granbom, S. Rosendahl, U. Martini, R. Pietruck, D. Snaet pag.08

Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives

P. Cerchier, M. Dabalà, L. Pezzato, M. Tammaro, A. Zucaro, G. Fiorentino, G. Ansanelli, K. Brunelli.... pag.16

A way to use ladle slag to partially replace lime in BOF

R. K. Pathak, C. Gollapalli, M. V. M. Rao, B. Kumar Guttula, S. Jee, Bhaskar K, V Suguna Soumya..... pag.27

Attualità industriale / Industry news

Q-SYM² and Automatic Scrap Classification. A joint solution for the Circular economy and sustainability of Steel Manufacturing, to ensure the scrap yard operates competitively

edited by: M. Ometto, C. Ponton, D. Armellini..... pag.44

Off Topic

Studio della corrosione in condense sature di CO₂

S.Lorenzi, M.Cabrini, F.Carugo, T.Pastore..... pag.52

Atti e notizie / AIM news

Verbale della Settantanovesima Assemblea Ordinaria dei Soci AIM... pag.61

Relazione del Consiglio Direttivo anno: 2021 pag.63

Relazione del Tesoriere 2021..... pag.66

Bilancio culturale 2021 pag.71

Relazione del Collegio dei Revisori sul Bilancio al 31 dicembre 2021..... pag.76

Stato patrimoniale 2021..... pag.78

Rendiconto gestionale..... pag.79

Budget per l'anno 2022..... pag.81

Eventi AIM / AIM events pag.83

Comitati tecnici / Study groups pag.85

Normativa / Standards pag.86

“

“L'Italia è uno dei paesi più avanzati nel riciclo anche grazie all'elevata quota di acciaio che viene prodotta a partire dal riciclo dei rottami, che a livello nazionale supera il 70% della produzione, e le cifre riguardanti il riciclo di alcuni prodotti, non solo costituito da metalli, è confortante”.

"Italy is one of most advanced countries in recycling also thanks to the high share of steel that is produced from recycling of scrap, which nationally exceeds 70% of production, and the figures regarding the recycling of some products is comforting".



Prof. Carlo Mapelli
Politecnico di Milano

NECESSITÀ E OPPORTUNITÀ DELL'ECONOMIA CIRCOLARE PER L'INDUSTRIA METALLURGICA

La crescita demografica del pianeta e il desiderio di incrementare il proprio benessere da parte di una crescente platea di persone comporteranno, secondo una stima della Commissione Europea, che la domanda di materie prime crescerà di tre volte entro il 2050. È impensabile che tale domanda possa essere soddisfatta solo dall'estrazione di nuove risorse naturali, così come non è plausibile che i materiali dei prodotti dismessi possano essere smaltiti solo attraverso discariche e termovalorizzatori. Il modello estrai, usa e getta non è sostenibile a livello ambientale soprattutto se si prende in considerazione l'impatto sul consumo di suolo e di risorse idriche che esso coinvolge.

È indispensabile che il nuovo modello di sviluppo preveda il recupero dei materiali utilizzati e di quelli generati come prodotto di risultato dai processi produttivi (es.

NEEDS AND OPPORTUNITIES OF THE CIRCULAR ECONOMY FOR THE METAL INDUSTRY

According to an estimate by the European Commission, the demographic growth of planet and a growing number of people desiring to increase well-being will imply an increasing demand for raw materials, that will grow three times by 2050. It is unthinkable that this demand could be satisfied only by the extraction of new natural resources, just as it is not plausible that the materials of discarded products can be disposed only through landfills and waste-to-energy plants. The model based on extraction, use and disposal is not environmentally sustainable, especially if you take into account the impact on the consumption of soil and water resources that it involves.

The new model for future development needs to be based on recovery of the materials used and those generated as a result of the production processes (e.g., waste from the metallurgical industry). Italy is one of most ad-

scorie dell'industria metallurgica). L'Italia è uno dei paesi più avanzati nel riciclo anche grazie all'elevata quota di acciaio che viene prodotta a partire dal riciclo dei rottami, che a livello nazionale supera il 70% della produzione, e le cifre riguardanti il riciclo di alcuni prodotti, non solo costituito da metalli, è confortante:

- il riciclo degli imballaggi si è attestato al 73% dell'immesso al consumo;
- materiali dei veicoli fuori uso sono stati reimpiegati ad un livello pari al 85%.

Queste cifre sono certamente positive, ma non devono nascondere alcune criticità, perché l'obiettivo posto per il recupero dei veicoli dismessi era previsto essere almeno al 95% già nel 2015 e su altri comparti il ritardo è ancora più marcato:

- relativamente ai rifiuti di pile e accumulatori portatili, il tasso di raccolta si è attestato al 43% rispetto al 45% che doveva già essere raggiunto al 2016 e a dispetto della crescente campagna per la commercializzazione di veicoli elettrici;
- per quanto riguarda invece i Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE), ci si attesta al 39% dell'immesso al consumo, rispetto all'obiettivo del 65% che era stato previsto per il 2019.

Si sta facendo bene, ma non ancora abbastanza, con grandi opportunità per l'industria metallurgica che possiede i mezzi per produrre materiali riciclabili all'infinito, materiali inerti e contribuire allo sfruttamento in sicurezza di materiali non metallici.

A questi obiettivi è stato dedicato il tradizionale workshop di fine anno che AIM ha organizzato a Bergamo e che si arricchirà in futuro di nuove edizioni. Nelle sezioni successive di questo numero della rivista si presentano

vanced countries in recycling also thanks to the high share of steel that is produced from recycling of scrap, which nationally exceeds 70% of production, and the figures regarding the recycling of some products is comforting:

- *recycling of packaging amounted up 73% of the amount released for consumption;*
- *end-of-life vehicle materials were reused at a level of 85%.*

These figures are certainly positive, but they must not hide some critical issues, because the target set for recovery of disused vehicles was expected to be at least 95% already in 2015 and in other sectors the delay is even more marked:

- *with regard to waste portable batteries and accumulators, the collection rate stood at 43% compared to the 45% that should already have been reached in 2016 and in spite of the growing campaign for marketing of electric vehicles;*
- *about the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), it stands at 39% of the amount released for consumption, compared to the 65% target that was set for 2019.*

We are doing well, but not enough yet, with great opportunities for the metallurgical industry which has the means to produce infinitely recyclable materials, inert materials and contribute to the safe exploitation of non-metallic materials.

The traditional end-of-year workshop organized in Bergamo by AIM was dedicated to these objectives and will be enriched with new editions in the future. In the subsequent sections of this issue of the magazine some of the salient issues are presented, but it is worth remembering that the path towards a circular economy involves:

alcune delle tematiche salienti, ma vale la pena ricordare che il percorso verso un'economia circolare comporta:

- il trattamento e la selezione corretta dei rottami e dei materiali dismessi con investimenti sia in attrezzature meccaniche sia in sistemi di intelligenza artificiale in grado di realizzare selezioni automatiche dei materiali;
- progettazione e realizzazione di processi e impianti in grado di separare materiali che sono stati assemblati in un bene, in modo da valorizzare appieno i singoli materiali ed evitare inquinamenti reciproci;
- recuperare le potenzialità energetiche di materiali che non possono essere riciclati così da evitare lo smaltimento in discarica;
- progettare processi che oltre all'obiettivo di produzione principale garantiscano che i materiali di risulta non siano pericolosi per la salute e possano essere utilizzati in altri ambiti.

- *the correct treatment and selection of scrap and discarded materials coupled with investments both in mechanical equipment and in artificial intelligence systems capable of carrying out automatic material selections;*
- *the design and construction of processes and systems capable of separating materials that have been assembled into an asset, in order to fully enhance the individual materials and avoid mutual pollution;*
- *the recovery of the energy potential contained in materials that cannot be recycled in order to avoid landfill disposal;*
- *the design of processes that (in addition to the main production objective) ensure that the resulting materials are not dangerous to health and can be used in other areas.*



39^{aim} convegno nazionale

Padova, 21-23 settembre 2022

www.aimnet.it/nazionaleaim

◆ AIM annuncia la **39a edizione del proprio Convegno Nazionale**, che avrà luogo nel settembre 2022 a Padova, in concomitanza con le celebrazioni degli 800 anni dell'Università. Il Convegno Nazionale AIM è l'iniziativa di riferimento per tecnici d'azienda, ricercatori e accademici che lavorano in campo metallurgico. L'edizione 2022 del Convegno acquista un particolare significato alla luce della ripresa post-pandemica e del ruolo sempre più strategico e trasversale che le discipline metallurgiche giocano nell'ambito della transizione ecologica, della mobilità sostenibile, dell'economia circolare, delle performance sempre più elevate richieste a qualsiasi componente meccanico.

◆ Tutte le informazioni per prendere parte all'evento sono disponibili sul sito:
www.aimnet.it/nazionaleaim

Organizzato da



in collaborazione con



Evento sponsorizzato da



Economia Circolare e Simbiosi Industriale in una recente analisi dei progetti europei rilevanti relativi all'industria siderurgica

V. Colla , T. A. Branca , A. Morillon , D. Algermissen , H. Granbom, S. Rosendahl , U. Martini , R Pietruck , D. Snaet

Il settore siderurgico è fortemente impegnato nella gestione sostenibile dei suoi sottoprodotti, al fine di ridurre lo sfruttamento delle risorse naturali, il suo impatto ambientale e quindi raggiungere l'obiettivo "rifiuti zero" ("zero waste"). All'interno di un progetto di disseminazione finanziato dall'Unione Europea, è stata svolta una analisi dei risultati dei più rilevanti progetti europei incentrati sul riutilizzo e il riciclo dei sottoprodotti del settore siderurgico sia internamente che in altri settori industriali, secondo i principi dell'Economia Circolare e della Simbiosi Industriale. In questa memoria, che riassume una parte del lavoro svolto in tale progetto, viene fornita una visione globale dei principali risultati raggiunti dall'industria siderurgica europea su questo tema e le sinergie con altri settori industriali. In particolare, è stato analizzato l'impatto dei risultati delle ricerche innovative, tenendo conto di alcuni aspetti significativi, quali il livello raggiunto di applicazione pratica e di valore, inclusi gli aspetti economici e ambientali nonché le ragioni del totale o parziale raggiungimento degli obiettivi del progetto. Inoltre sono stati individuati i eventuali ostacoli al pieno sfruttamento dei risultati conseguiti nei progetti analizzati ed i possibili approfondimenti da sviluppare in futuro.

PAROLE CHIAVE: SETTORE SIDERURGICO, SOTTOPRODOTTI, RICICLO, RIUSO, ECONOMIA CIRCOLARE, SIMBIOSI INDUSTRIALE, RIFIUTI ZERO;

INTRODUZIONE

Nel 2018 in Europa (UE28) sono state prodotte 167,7 milioni di tonnellate di acciaio grezzo, di cui 98,6 milioni di tonnellate (58,2%) tramite il ciclo integrale e 69,1 milioni di tonnellate (41,8%) attraverso il ciclo del forno elettrico basato sul rottame [1].

A livello mondiale, circa il 32,9% della produzione delle acciaierie è costituita da sottoprodotti, che includono le scorie, le polveri e i fanghi, i gas e altri materiali, che possono essere utilizzati internamente o esternamente in diversi processi [2]. Nel contesto europeo, l'European Waste Framework Directive 2008/98/CE (2018) [3] si basa sul concetto di Economia Circolare (EC) con le seguenti priorità:

- la prevenzione della produzione di residui rispetto al recupero dei rifiuti;
- lo smaltimento come ultima alternativa.

Nell'Unione Europea (UE) nel 2018 sono state prodotte circa 46 milioni di tonnellate di scorie, polveri e fanghi, scaglia di laminazione e refrattari esauriti [4][5][6][7][8]. La maggior parte dei sottoprodotti è costituita dalle sco-

Valentina Colla, Teresa Annunziata Branca
TeCIP Institute, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy

Agnieszka Morillon, David Algermissen
FEhS Institut für Baustoff Forschung e.V., Germany

Hanna Granbom, Sara Rosendahl
Swerim, Sweden

Umberto Martini
RINA Consulting Centro Sviluppo Materiali S.p.A., Italy

Roland Pietruck
VDEh Betriebsforschungsinstitut GmbH, Germany

Delphine Snaet
European Steel Technology Platform, Belgium

rie (circa il 77%). Il rimanente 23% comprende le polveri e i fanghi provenienti da impianti di depurazione dei gas (15%), mentre la scaglia rappresenta il 2% e il materiale refrattario il 7%. L'esigenza industriale è quella di valorizzare i sottoprodotti e i residui sia nel processo di produzione dell'acciaio che come materie prime tramite attività di Simbiosi Industriale (SI) o uso interno a cascata, per diversi motivi [9]:

- l'inasprimento della legislazione ambientale, con l'obiettivo di ridurre ed evitare lo smaltimento in discarica;
- l'alto contenuto di ossidi di ferro e di metalli, che rende i residui pregiati come materia prima;
- le proprietà chimiche e fisiche, che consentono il riutilizzo di residui e sottoprodotti di acciaieria in altri settori o contesti.

Una migliore conoscenza della formazione, composizione e proprietà fisiche dei sottoprodotti è fondamentale per aumentare il loro riutilizzo sia all'interno che in altri settori. Ad esempio, la conoscenza delle composizioni di fase e, di conseguenza, l'applicazione di metodi di stabilizzazione ad hoc rendono le scorie idonee al loro riutilizzo e/o allo smaltimento degli inerti [10]. Per quanto riguarda il riciclo interno di alcuni sottoprodotti, un esempio è costituito dal loro utilizzo nel processo di pellettizzazione, che tiene conto del raggiungimento non solo di un'elevata qualità del pellet ma anche della riduzione degli impatti ambientali e dei costi operativi [11]. D'altro canto, impieghi innovativi di sottoprodotti in altri settori industriali sono oggetto di continua investigazione. Ad esempio, l'uso dei sottoprodotti come fertilizzanti in agricoltura rappresenta un mezzo efficace per migliorare la qualità del suolo, aumentare i raccolti e mitigare gli im-

patti ambientali, generando allo stesso tempo una nuova fonte di reddito [12]. Esperimenti condotti in diverse condizioni pedologiche e ambientali e in diversi sistemi colturali hanno anche rivelato che i metalli pesanti/metalloidi accumulati nel suolo e il loro assorbimento da parte delle piante non sono coerenti con l'applicazione di scorie e/o fertilizzanti a base di scorie, che si accumulano principalmente nelle radici ed hanno un livello molto basso di traslocazione nei cereali/frutti. Inoltre, l'utilizzo della scoria da convertitore ad ossigeno in terreni con un'elevata concentrazione di sodio è stato valutato in termini del suo effetto benefico sulla crescita del pomodoro, grazie agli ioni Ca forniti dalla scoria, portando ad una maggiore resa di pomodoro [13].

La presente memoria deriva da una parte del lavoro preliminare sviluppato nel progetto di REUSteel, co-finanziato dal Research Fund for Coal and Steel (RFCS). Lo scopo del progetto consiste nell'identificare, organizzare, combinare e integrare i risultati più rilevanti e promettenti di un gran numero di progetti finanziati dalla UE, sia precedenti che in corso, incentrati sul riutilizzo e il riciclo di sottoprodotti provenienti dal ciclo siderurgico, nonché sullo sfruttamento dei sottoprodotti provenienti da altri settori industriali nel settore siderurgico, come fonti alternative di carbonio (es. biomasse e plastica). La Figura 1 illustra le classi di sottoprodotti trattate nel progetto REUSteel ed il numero dei progetti ad essi inerenti oggetto della analisi critica integrata. La analisi è funzionale allo sviluppo di una roadmap per la ricerca futura, che promuova la valorizzazione dei risultati e rafforzi le sinergie con altri settori industriali, secondo i concetti di EC e SI [14].



Fig.1 - Sottoprodotti trattati nei progetti analizzati / by-products treated within the analysed projects.

METODOLOGIA

I progetti analizzati sono stati preliminarmente classificati per ricavarne le informazioni generali potenzialmente trasferibili e applicabili ad altri contesti industriali, evitando sovrapposizioni, duplicazioni e aspetti irrilevanti. È stato necessario aggregare una grande varietà di risultati provenienti dai vari progetti in un numero limitato di classi. I risultati considerati di interesse sono stati organizzati in sotto temi, ognuno dei quali rappresenta un argomento generale: il riciclo interno delle scorie, la valorizzazione delle scorie al di fuori del ciclo di produzione dell'acciaio, l'estrazione di materiale pregiato da rifiuti e acque reflue, riciclo interno ed esterno di sottoprodotti contenenti Fe diversi dalle scorie, nonché di sottoprodotti con altri contenuti pregiati come metalli, carbone e calce (ad es. fonti C alternative e /o generazione di materie prime secondarie per lo scambio in attività di SI e possibilità di EC), soluzioni di integrazione dei processi per la gestione, la modellazione e la simulazione dei sottoprodotti. Per ogni classe sono stati selezionati alcuni risultati significativi facilmente riconoscibili. Successivamente, sono stati valutati nel dettaglio i risultati dei progetti. Per la selezione i progetti precedenti e in corso da analizzare approfonditamente fra quelli disponibili, sono stati utilizzati i seguenti criteri:

- Rilevanza per il progetto REUSteel, ovvero contributo al riutilizzo e al riciclo dei sottoprodotti rilevanti per l'industria siderurgica:
 - o Riciclo interno delle scorie
 - o Valorizzazione delle scorie al di fuori del ciclo produttivo dell'acciaio
 - o Estrazione di materiale pregiato da rifiuti e acque reflue
 - o Riciclo interno ed esterno di sottoprodotti Fe-bearing diversi dalle scorie
 - o Riciclo interno ed esterno di sottoprodotti con altri contenuti utili e pregiati come metalli, carbone e calce
 - o Eliminazione degli elementi nocivi
 - o Minimizzazione della produzione di rifiuti e discariche
 - o Soluzioni di integrazione dei processi per la gestione dei sottoprodotti
 - o Modellazione e simulazione

La Fig.2 riassume i risultati di questa classificazione ed il corrispondente numero dei progetti disponibili.

- Tempo di completamento, cioè in relazione all'attualità e all'evoluzione delle normative, alle tematiche inerenti la sostenibilità, ecc.;
- Possibilità di reale attuazione dei risultati

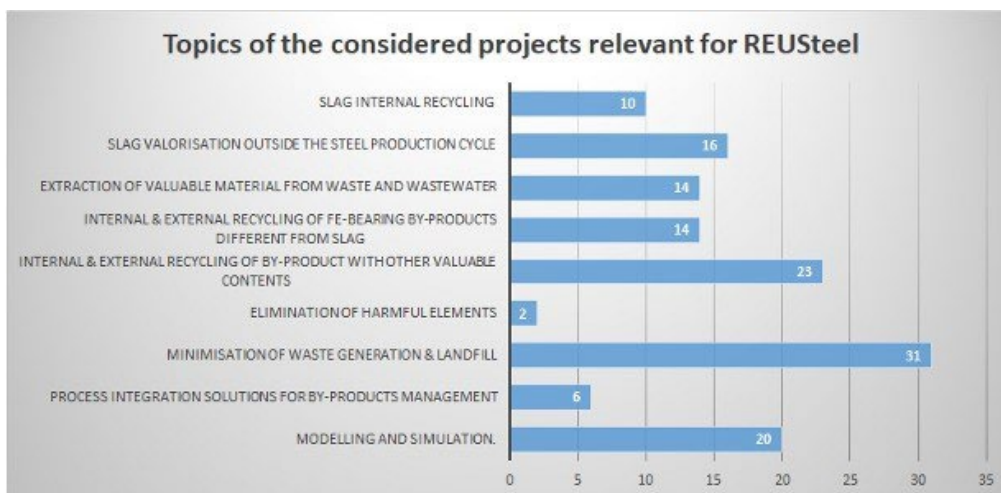


Fig.2 - View of the control system including on-line solidification model coupled with relevant detections.

È stata inoltre effettuata una classificazione per tipo di sottoprodotti in scorie, fanghi e polveri, scaglie, refrattari, altri sottoprodotti (all'interno dell'acciaieria), materie prime secondarie (al di fuori dell'acciaieria).

In base al tipo di sottoprodotto indagato, sono stati presentati gli obiettivi e le idee investigate, per individuare analogie fra gli argomenti investigati. Per i progetti che trattano più di un sottoprodotto, gli obiettivi e le idee og-

getto di studio sono stati analizzati e presentati per ciascun sottoprodotto.

I progetti sono stati analizzati e sono state raccolte le informazioni rilevanti su:

- Tipo di sottoprodotto (es. scorie, polveri, fanghi)
- Durata del progetto
- Impiego (riguardante il riutilizzo dei materiali all'interno o all'esterno della produzione di acciaio. Sono stati considerati anche casi di simbiosi industriale).
- Obiettivo del progetto (es. scorie utilizzate come filtro o fertilizzante, Zinco ad elevata purezza per il riutilizzo da polveri siderurgiche, ecc.)
- Idee di base oggetto di investigazione (tecnologie, processi, nuove pratiche operative, ecc.)
- Test effettuati (attività sperimentale sviluppata)
- Principali risultati (include tecniche, processi, ecc.)
- Successi (risultati di maggior successo)
- Fallimenti (es. risultati attesi non completamente raggiunti).
- Technology readiness levels (TRL) raggiunto
- Eventuale proseguimento
- Argomenti non chiari
- Idee interessanti che potrebbero essere ulteriormente approfondite
- Valutazione economica
- Valutazione ambientale

RISULTATI PRELIMINARI

Al fine di preparare una roadmap per il riutilizzo e il riciclo dei sottoprodotti nel settore siderurgico (che esula dai contenuti di questo articolo), sono stati inizialmente identificati l'attuale produzione industriale e l'utilizzo di sottoprodotti e residui, quale base per future attività di ricerca. Sono state identificate le esigenze industriali dell'industria siderurgica nel lungo periodo, le principali tendenze tecnologiche (quali Carbon Direct Avoidance (CDA) Smart Carbon Usage (SCU)), le sfide e le barriere (barriere strutturali, quadro normativo europeo e nazionale), esigenze della ricerca (riutilizzo e riciclo dei sottoprodotti). L'analisi preliminare qui riportata riguarda alcuni esempi di sottoprodotti, quali scorie, polveri e fanghi, che sono quelli prodotti in maggiore quantità nei processi siderurgici. Tra le opportunità, viene considerata anche

l'applicazione di tecnologie di mitigazione della CO₂ e di strumenti di modellazione e simulazione nella gestione dei sottoprodotti.

Utilizzo industriale delle scorie

Nel 2018 in Europa sono state prodotte 19,2 milioni di tonnellate di scorie di altoforno e 15,7 milioni di tonnellate di scorie da forni per la produzione di acciaio [4]. Le scorie d'altoforno comprendono la scoria granulata e la scoria raffreddata ad aria. Le scorie di acciaieria comprendono le scorie di convertitore ad ossigeno, le scorie di forni ad arco elettrico e le scorie di metallurgia secondaria (comprese la scoria del forno a siviera, scoria da degasaggio sottovuoto, scoria da decarburazione con ossigeno argon e scoria da decarburazione con ossigeno sottovuoto).

Il tasso di utilizzo delle scorie può dipendere dal tipo di scoria, dal paese o dalla singola struttura siderurgica. Nel 2018 tutte le scorie di altoforno sono state utilizzate in Europa come additivo di cemento/calcestruzzo, nella costruzione di strade o in altre applicazioni. Circa il 73% delle scorie di acciaieria è stato utilizzato nell'aggiunta di cemento/calcestruzzo, nella costruzione di strade, nell'ingegneria idraulica, nei fertilizzanti, nell'uso metallurgico o in altre applicazioni. Sebbene alcune applicazioni siano già disponibili, ciò non significa che l'acciaieria sia in grado di utilizzare tutte le scorie. Questo dipende dalle proprietà chimiche e fisiche delle scorie, dalle applicazioni disponibili entro una distanza accettabile (costi di trasporto), dai costi di utilizzo rispetto ai costi di conferimento in discarica, dalla mancanza o presenza di limiti legislativi.

Per quanto riguarda l'identificazione delle sfide future per il riuso e il riciclo delle scorie, le principali barriere non tecniche per l'utilizzo delle scorie sono rappresentate dalle normative vigenti o dalla mancanza di normative nei diversi paesi che impediscono il loro utilizzo, ma anche dalla disomogeneità delle normative all'interno dell'Europa, che impediscono il trasferimento di determinate soluzioni da un paese all'altro. Inoltre, si prevede un aumento della disponibilità di rottame in futuro. Il previsto aumento della produzione di acciaio dal ciclo elettrico si tradurrà in una maggiore produzione di scorie di diverse qualità. Pertanto, sarà necessario investigare nuovi utilizzi

delle scorie del ciclo elettrico e nuove procedure di trattamento di queste scorie, al fine di ottenere la composizione e il comportamento di lisciviazione desiderati. In un prossimo futuro in Europa è prevista anche una crescente diffusione dell'utilizzo dell'idrogeno per ridurre il minerale di ferro, attraverso una riduzione diretta per alimentare il forno elettrico. Questo porterà alla produzione di scorie con caratteristiche potenzialmente diverse da quelle prodotte nei processi convenzionali. Quindi la ricerca futura dovrà investigare nuovi percorsi di utilizzo di questo tipo di scorie.

Utilizzo industriale di polveri, fanghi e scaglia di laminazione

Polveri e fanghi provengono principalmente dai sistemi di abbattimento dei gas e degli scarichi delle acque reflue presenti in vari processi di produzione di ghisa e acciaio. Negli ultimi anni sono stati realizzati notevoli miglioramenti riducendo il livello dei materiali conferiti in discarica, poiché tali residui vengono trattati internamente, durante il processo di produzione dell'acciaio. Nel 2018 l'istituto FEhS (FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V.) di Duisburg ha svolto un'indagine sulla presenza e l'utilizzo di polveri, fanghi e scaglie di laminazione dell'industria siderurgica. 27 impianti in Germania, Paesi Bassi e Austria hanno contribuito a questa raccolta di dati [5]. Mentre circa l'80% delle polveri e dei fanghi delle ac-

ciaierie viene inviato al riciclo interno o utilizzato per altri scopi, oltre il 18% all'anno viene ancora smaltito in discarica. Sulla base dei dati sulla produzione di polveri e fanghi dei 27 impianti di ciclo integrale ed elettrico e della produzione europea annua di acciaio grezzo nel 2018 (pari a 167,7 milioni di tonnellate), la quantità di fanghi e polveri è stata stimata in 6,8 M ton/anno in Europa [15].

La scaglia viene prodotta durante il riscaldamento delle bramme nei forni a spinta o nei forni a suola mobile (scaglia primaria). Alle alte temperature dei forni di riscaldamento (> 1.200°C), la superficie di ferro delle lastre di acciaio reagisce con l'ossigeno atmosferico formando ossido di ferro (II)/(III) (incrostazione). La scaglia risultante durante il processo di laminazione viene definita scala secondaria [16]. La quantità specifica di scaglia secondaria generata durante la produzione dell'acciaio è compresa tra 2 e 8 kg per tonnellata di acciaio grezzo, mentre la quantità totale è compresa tra 0,3 e 1,3 milioni di tonnellate all'anno.

La sfida tecnologica sul riutilizzo di polveri e fanghi deriva dalla loro composizione, che, come mostrato in Tabella 1, è molto eterogenea. Oltre alle polveri secche, vengono utilizzati fanghi fluidi. Ci sono anche forti differenze nel contenuto di carbonio. Il contenuto di zinco varia tra valori minori di 1% e valori a due cifre. I residui contengono elevate quantità di composti di zolfo e cloro, nonché di metalli come rame e cromo.

Tab.1 - Composizione di polveri, fanghi, scaglia / dusts, sludges and mill scale compositions.

Composizione di varie polveri, fanghi e scaglia									
	H2O	Fe	Zn	C	CaO	Cr	Cu	S	Cl
Polvere 1 (Convertitore)	7	61	1,5	1,3	6	0,03	0,02	0,2	0,3
Polvere 2 (Convertitore)	0	45	13	0,9	18	0,03	0,02	0,04	0,3
Fanghi (Altoforno)	40	21	3,7	41	3	n.b.	n.b.	1,5	0,2
Scaglia di laminazione	13	69	0,02	0,8	0,6	0,2	0,04	0,05	n.b.

Altri sottoprodotti considerati nel progetto

I refrattari vengono utilizzati negli impianti siderurgici per scopi diversi e includono classi ad alto tenore di allumina, magnesitiche, dolomitiche e silico-alluminose, a seconda dell'impianto in cui vengono impiegate. La produzione globale annuale di refrattari è di circa 35-40

milioni di tonnellate, con fluttuazioni che dipendono dalla domanda del mercato dell'acciaio, che rappresenta il 60-70%. Nei paesi dell'UE l'industria dei refrattari ha fornito un totale di 4,3 milioni di tonnellate di prodotti e per l'industria siderurgica di 2,6 -3,0 milioni di tonnellate [17][18]. I refrattari esauriti vengono utilizzati come condizionatori

delle scorie siderurgica [19], aggiungendo calce metallurgica dolomitica, per ridurre la corrosione dei refrattari a base di MgO utilizzati per il rivestimento della parte interna del forno elettrico ad arco [20].

Nel progetto REUSteel sono stati considerati anche materiali di risulta provenienti da altre industrie e attività, che possono essere utilizzati come materie prime secondarie all'interno dell'acciaieria. Esempi di tali materiali sono le fonti di carbonio alternative (ad es. biomasse provenienti da diverse fonti, come la silvicoltura, l'agricoltura e le industrie del legno, e le plastiche) e il materiale residuo dall'industria dei metalli di base.

Tecnologie di mitigazione della CO₂

La riduzione dell'intensità di CO₂ delle industrie ad alta intensità energetica, compreso il settore siderurgico, è fondamentale per raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi [21] e gli obiettivi climatici dell'UE [22]. L'industria siderurgica europea ha già ridotto le emissioni del 26% dal 1990, grazie a miglioramenti dell'efficienza energetica e del riciclo. Nonostante l'impegno a ridurre le emissioni di CO₂ dalla produzione fino al 50% entro il 2030 rispetto al livello degli anni '90 tramite lo sviluppo ed il potenziamento tecnologico, il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050 richiederà cambiamenti radicali nei processi di produzione dell'acciaio. Esistono due principali percorsi tecnologici per la riduzione di CO₂: SCU e CDA. Entrambi mirano di ridurre sostanzialmente l'uso del carbone rispetto agli attuali processi di produzione dell'acciaio o di evitare del tutto le emissioni di carbonio [23].

Come elaborato nel progetto Greensteel [24], nel breve periodo (fino al 2030/35) è previsto che alcune tecnologie di integrazione dei processi e "Carbon Capture and Storage" (CCS), basate sul ciclo integrale convenzionale, raggiungano la diffusione industriale, così come alcune tecnologie su "Utilization of the Captured CO₂" (CCU) (ad es. Metanolo, produzione di etanolo). Inoltre, è previsto anche l'avvio della trasformazione della produzione siderurgica primaria verso il percorso basato sulla riduzione diretta con idrogeno (DR/EAF). Tuttavia, dal percorso DR/EAF si formeranno nuove polveri o fanghi dall'impianto DR, ad esempio, polveri con un basso contenuto di zinco a causa dell'assenza di materie prime contenenti zinco. Le scorie prodotte in questo processo differiranno molto dalle attuali scorie d'altoforno, per le quali l'utilizzo

nell'industria del cemento è ben consolidato. Per consentire un ulteriore utilizzo delle scorie nel settore cementizio o edile, sarà necessario un adeguamento delle scorie dei forni elettrici di nuova produzione.

Strumenti di modellazione, simulazione, monitoraggio ed ottimizzazione

Un monitoraggio e un controllo costante e accurato dei processi produttivi è fondamentale per migliorare la qualità e le caratteristiche sia dei prodotti che dei sottoprodotti, incrementare il riutilizzo e il riciclo di questi ultimi, e supportando una gestione ottimale dei flussi di materiale. In questo contesto, la modellazione e la simulazione possono supportare efficaci analisi di scenario, ai fini di una valutazione preliminare di soluzioni innovative per il pretrattamento e la valorizzazione dei materiali residui. È inoltre fondamentale integrare approcci fisici alla modellazione con tecniche di Intelligenza Artificiale (IA) e Machine Learning (ML), per sfruttare congiuntamente la conoscenza dei processi e il volume sempre crescente di dati raccolti nelle acciaierie. Ad esempio, le tecniche di IA e ML possono supportare la caratterizzazione dei materiali e dei sottoprodotti, mentre gli strumenti avanzati di modellazione, controllo e ottimizzazione dei processi possono consentire l'adattamento di singoli processi e dell'intera catena produttiva, nonché della gestione e della logistica.

Infine, nel settore siderurgico si osserva un'implementazione sempre crescente di sistemi digitali che mostrano un forte potenziale per migliorare la flessibilità e l'affidabilità dei processi. Il monitoraggio e il controllo avanzati consentono una migliore gestione delle risorse dell'impatto ambientale, della qualità e della produttività. In particolare, nel breve periodo, miglioramenti verranno acquisiti con strumenti innovativi di ottimizzazione multicriterio (supportati anche dall'IA), e, nel medio termine, attraverso la combinazione di strumenti di ottimizzazione con il controllo in tempo reale, per consentire una reazione immediata alle mutevoli condizioni dei processi e una maggiore flessibilità rispetto a fattori esterni variabili. Infine, nel lungo periodo, si prevede l'applicazione industriale e la dimostrazione dell'ottimizzazione in tempo reale dell'intero processo, considerando tutti i flussi di materiale.

CONCLUSIONI

I risultati preliminari del progetto REUSteel mostrano che, al fine di migliorare i tassi di riutilizzo e recupero in modo sostenibile, dal punto di vista ambientale e economico, è fondamentale sia aumentare la qualità dei sottoprodotti recuperati che sviluppare e implementare nuove soluzioni tecnologiche per ottenere tale qualità superiore. Questo consentirà di avvicinare il settore siderurgico verso l'obiettivo "rifiuti-zero". Per questo motivo il futuro dell'industria siderurgica è strettamente legato alla sua innovazione ed all'implementazione di nuove soluzioni tecnologiche, che contribuiranno alla riduzione degli impatti sull'ambiente.

Tra i vari strumenti tecnologici, la modellazione e la simulazione mostrano un potenziale rilevante per sostenere il miglioramento dell'efficienza energetica e dei materiali contribuendo alla sostenibilità ambientale ed economica del settore siderurgico e consentendo e rafforzando la cooperazione con altri settori industriali. Queste tecnologie permettono una gestione efficiente delle risorse consentendo un riutilizzo e un riciclo intensificato dei materiali di risulta, e possono fornire agli operatori strumenti di facile utilizzo per supportare le pratiche di EC e SI.

Inoltre, rispetto alle problematiche legate al riuso e riciclo dei sottoprodotti, è necessario condurre ricerche non solo su nuovi percorsi di utilizzo ma anche sulle loro quantità crescenti (ad esempio di scorie) per i percorsi di

utilizzo attualmente disponibili. Questo può intensificare la cooperazione intersettoriale per l'attuazione dei concetti di SI e EC in diversi settori industriali e alla creazione di una rete che faciliti lo scambio di sottoprodotti e flussi di energia non recuperati. Tutto ciò si tradurrà in una riduzione del materiale conferito in discarica e delle emissioni di CO₂, con passi progressivi verso la neutralità della CO₂ attraverso un uso più intelligente delle fonti di carbonio, e migliorando la conservazione delle risorse naturali salvaguardando i profitti e la competitività dell'industria siderurgica Europea.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro descritto nel presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del progetto intitolato "Dissemination of results of the European projects dealing with reuse and recycling of by-products in the steel sector," (Rif. REU-Steel, Grant Agreement No. 839227)", co-finanziato dal Research Fund for Coal and Steel (RFCS) dell'Unione Europea, a cui vanno i nostri ringraziamenti. La responsabilità dei temi trattati nel presente lavoro è unicamente degli autori; la Commissione non è responsabile dell'uso che potrà essere fatto delle informazioni qui contenute.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rieger J, Colla V, Matino I, Branca TA, Stubbe G, Panizza A, Brondi C, Falsafi M, Hage J, Wang X, Voraberger B, Fenzl T, Masaguer V, Faraci EL, di Sante L, Cirilli F, Loose F, Thaler C, Soto A, Frittella P, Foglio G, di Cecca C, Tellaroli M, Corbella M, Guzzon M, Malfa E, Morillon A, Algermissen D, Peters K, Snaet D. Residue Valorization in the Iron and Steel Industries: Sustainable Solutions for a Cleaner and More Competitive Future Europe. *Metals* 2021;11(8):1202. doi: 10.3390/met11081202.
- [2] World Steel in Figures 2021. Available from: <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/world-steel-in-figures-2021-now-available/>
- [3] Directive 2008/98/EC of The European Parliament And of The Council on Waste and Repealing Certain Directives. *Official Journal of the European Union*, L312, pp. 3–30.
- [4] Euroslag. Euroslag Statistics 2018. Available from: <https://www.euroslag.com/products/statistics/statistics-2018/>
- [5] Drissen P. Aufkommen und Verbleib von Stuben, Schlemmen und Walzzunder der Eisen- und Stahlindustrie, Report. *Wissenschaftsprojekte des FEHS-Instituts* 2019;2: 13–17.
- [6] Rieger J, Schenk J. Residual Processing in the European Steel Industry: A Technological Overview. *Journal of Sustainable Metallurgy* 2019; 5: 1–15. doi: 10.1007/s40831-019-00220-2.
- [7] Jankovits E, Africa VP, Chetlapalli S, Cappel J. High Value added Refractories for high Quality Steelmaking. 2016:13.
- [8] Buhr A, Bruckhausen R, Fahndrich R. The steel industry in Germany—trends in clean steel technology and refractory engineering. *refractories WORLDFORUM*. 2016;8(1):57-63.
- [9] ESTEP. Strategic Research Agenda (SRA). Sep. 2017. Available from: <https://www.estep.eu/assets/SRA-Update-2017Final.pdf>
- [10] Branca TA, Colla V, Valentini R. A way to reduce environmental impact of ladle furnace slag. *Ironmaking & Steelmaking*. 2009 Nov 1;36(8):597-602.

- [11] Matino I, Colla V, Branca TA, Romaniello L. Optimization of by-products reuse in the steel industry: valorization of secondary resources with a particular attention on their pelletization. *Waste and Biomass Valorization*. 2017 Dec; 8(8):2569-81.ilmn
- [12] Das S, Galgo SJ, Alam MA, Lee JG, Hwang HY, Lee CH, Kim PJ. Recycling of ferrous slag in agriculture: Potentials and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2020 Nov 22:1-35.
- [13] Pistocchi C, Ragaglini G, Colla V, Branca TA, Tozzini C, Romaniello L. Exchangeable Sodium Percentage decrease in saline sodic soil after Basic Oxygen Furnace Slag application in a lysimeter trial. *Journal of environmental management*. 2017 Dec 1; 203:896-906.
- [14] Branca TA, Colla V, Algermissen D, Granbom H, Martini U, Morillon A, Pietruck R, Rosendahl S. Reuse and recycling of by-products in the steel sector: Recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe. *Metals*. 2020 Mar;10(3):345. <https://doi.org/10.3390/met10030345>
- [15] Worldsteel Association. Steel Statistical Yearbook 2019 Concise version 2019. Available from: <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2019/2019-steel-statistical-yearbook-published/>
- [16] Thiel S, Thom -Kozmiensky E, Senk D, Wotruba H, Pretz T. Mineralische Nebenprodukte und Abfälle: Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. 6. Neuruppin: TK Verlag, 2019.
- [17] Chetlapalli S, Cappel J. High Value added Refractories for high Quality Steelmaking.
- [18] Buhr A, Bruckhausen R, Fahndrich R. The steel industry in Germany-trends in clean steel technology and refractory engineering. *refractories WORLDFORUM*. 2016;8(1):57-63.
- [19] Horckmans L, Nielsen P, Dierckx P, Ducastel A. Recycling of refractory bricks used in basic steelmaking: A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019 Jan 1;140:297-304.
- [20] Conejo AN, Lule RG, Lopéz F, Rodriguez R. Recycling MgO-C refractory in electric arc furnaces. *Resources, conservation and recycling*. 2006 Nov 1;49(1):14-31.
- [21] Paris Agreement. In Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris). Retrieved December 2015 Dec (Vol. 4, p. 2017). HeinOnline.
- [22] The European Green Deal. 2019. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Available from: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf
- [23] EUROFER. Low Carbon Roadmap - Pathways to a CO₂-neutral European Steel Industry 2019.
- [24] Greensteel for Europe: Technology Assessment and Roadmapping (Deliverable 1.2) 2021: 89. Available from: <https://www.estep.eu/assets/Uploads/D1.2-Technology-Assessment-and-Roadmapping.pdf>

Circular Economy and Industrial Symbiosis in a recent analysis of the relevant European projects related to the steel industry

The steel sector is deeply committed to the sustainable management of its by-products, to reduce the natural resources exploitation, its environmental impact, and to achieve its "zero-waste" goal. Within a dissemination project funded by the European Union, an analysis was carried out of the results of the most important European projects focused on reuse and recycling of by-products of the steel sector, both internally and in other industrial sectors, according to the principles of 'Circular Economy and Industrial Symbiosis. In this paper, which summarizes part of the work carried out in this project, an overall view of the main results achieved by the European steel industry on this issue and the synergies with other industrial sectors is provided. In particular, the impact of the results of innovative research was analysed, taking into account some significant aspects, such as level of practical application and achieved value, including economic and environmental aspects as well as the reasons for total or partial achievement of project objectives. Furthermore, the eventual obstacles to the full exploitation of the results achieved in the analysed projects and the potential follow-up have been identified.

KEYWORDS: STEEL SECTOR, BY-PRODUCTS, RECYCLING, REUSE, CIRCULAR ECONOMY, INDUSTRIAL SYMBIOSIS, ZERO-WASTE;

Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives

P. Cerchier, M. Dabalà, L. Pezzato, M. Tamaro, A. Zucaro, G. Fiorentino, G. Ansanelli, K. Brunelli

Millions of photovoltaic panels have been installed in Europe in the past twenty years. The average life of a panel is about 25 years and, for this reason, in Italy there will be soon more than 50 million panels that will require disposal. In order to recover the materials that they contain, various treatment technologies are available nowadays, even if most of them have not yet been industrialized.

The panels installed are mostly (> 80%) based on mono- or poly-crystalline silicon and they are composed, apart from silicon, also of glass, copper, aluminum, tin and silver. The methods of treating photovoltaic waste can be divided into: mechanical, thermal and chemical or a combination of these.

In this paper, the existing methods are analyzed and compared. Nowadays the mechanical method is the most implemented as it is the less expensive. Nevertheless, the silicon cannot be valorized because it is recovered in powder with high contamination due to the mechanical grinding. On the other hand, pure chemical treatment cause also great damages to the silicon because of EVA swelling. The use of the thermo-chemical treatment, is therefore the most promising in order to recover and reuse the silicon. This process has been tested during 2019 on a pre-industrial scale (ReSiELP project) and comprise a heating treatment to burn polymeric fraction combined with materials separation and chemical treatment of the silicon cells. The results of the constructed pilot plant, that are briefly reported, showed the feasibility of recovering several raw materials as well as different issues in the silicon purification process. Finally, the Life Cycle Assessment (LCA) of the studied process, pointed out the importance of the proper heat treatment design and the advantage of silver and silicon recovery, from an environmental point of view.

KEYWORDS: SILICONX, PHOTOVOLTAIC, RECYCLING, LCA, RESIELP PROJECT;

INTRODUCTION

In 2020, the prices of raw materials were upset, from those for manufacturing and construction to those for electronics, defense and aerospace. The main reasons for this derangement were: i) High speed of recovery of manufacturing activities, especially in emerging economies and in China; ii) Low speed of recovery in the extraction of raw materials (copper in Chile, iron ore in Australia); iii) Logistic difficulties, both for restrictions and for the lack of availability of containers.

This crisis evidenced the importance of the raw materials supply, in particular in European Union (EU). In fact, only a minor amount of the European consumption of metals is mined in the EU [1]. Therefore, among Europe's ambitions, there is reducing dependence on third country stocks, increasing the resilience and strategic autonomy and, this optics, the EU periodically produces a list of critical raw materials for European industry on the basis of two parameters: economic importance and risk of supply disruption asses-

Pietro Giovanni Cerchier^{1,2}
Manuele Dabalà¹, Luca Pezzato^{1,2},
Marco Tamaro³;
Amalia Zucaro³; Gabriella Fiorentino³;
Giuliana Ansanelli³, Katya Brunelli^{1,4};

¹ Department of Industrial Engineering, University of Padova -
Via Marzolo 9, 35131, Italy

² 9-TECH srl - Via Triestina bassa 74, 30020, Italia

³ Department for Sustainability (SSPT), C.R. ENEA Portici, P.le E. Fermi,
1, 80055, Portici (Napoli), Italy

⁴ Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering,
University of Padova - Via Marzolo 9, 35131, Italy

sment [2]. This list of strategic raw materials seems to continuously increase and it contained 14, 20, 27 and 30 materials respectively in 2011, in 2014, in 2017 and in 2020.

Metallic silicon is on this list since 2014. Silicon is hard and brittle crystalline solid with a blue-grey metallic luster, and it is a tetravalent metalloid and semiconductor [3]. It is by far the most important and popular semiconductor material since the emergence of solid-state electronics in the late fifties and the early sixties [4].

The most important property of silicon which determines its application is its degree of purity. In fact, silicon is classified according to its purity: 98% (metallurgical grade), 99.9999% (six nine or 6N) and 99.999999% (eight nines or 8N).

Silicon with 98% purity is used directly in metal industry and, for this reason, it's called "metallurgical grade" silicon. The silicon used for solar photovoltaic (PV) panel wafers must be purified to at least 6N purity and it is usually called "solar grade" silicon. Finally, a small portion of silicon, with purity 8N or higher, is used in the electronic/semiconductor industry as electronic chips (such as transistors, liquid crystal displays, diodes, etc.) and it is referred to as "electronic grade" silicon. The purity of silicon highly effects its price: metallurgical-grade silicon costs 4 US\$/Kg, solar-grade silicon costs between 15 US\$/Kg and 50 US\$/Kg whereas the purest form of silicon costs more than 50 US\$/Kg [5].

More than one million metric tons of metallurgical silicon are produced per year worldwide [6] and most of this production (ca. 70%) is used for metallurgical applications. Applications in a variety of chemical products, such as silicone resins, account for about 30% and only 1% or less of the total production of metallurgical grade silicon is used in the manufacturing of high-purity silicon [7]. The market for this high purity silicon, which has been traditionally dominated by microelectronics applications, has changed due to

the expansion of the photovoltaic industry: nowadays 30% is used the electronic industry and 60% in the photovoltaic (PV) industry [5].

PV technology is based on the PV cell, the device that is able to convert sunlight into electricity and, although there are various types of solar PV cells, the crystalline silicon (c-Si) cell dominates 80% of the market globally [8]. Thin film solar cells are second generation semiconductor-controlled solar cells made from materials such as cadmium telluride (CdTe), and copper indium gallium (di) selenide (CIGS) but the diffusion of these technologies is still limited.

The silicon PV cells typically are made of 100–500 μm silicon wafer [9]. In standard manufacturing process of p-type doped crystalline silicon based solar cell, the contacts are made with screen-printed aluminum and silver pastes [10]. Therefore, as it can be seen in Figure 1b, on the rear side of the cell there is an aluminum layer whereas on the other side there are silver contacts (fingers and busbars). Aluminum layer has a thickness of approximately 10 μm and silver contact fingers have a width of about 0.1–0.2 mm and are 0.02 mm high. Fingers are perpendicular to the busbars with a pitch of typically 2 mm. Busbars, about 1.5–2.5 mm thick, run across the thin contact fingers [11].

Silicon-based PV panels are generally made up of 60 or 72 of these silicon PV cells joined together with copper ribbons and placed between a protective glass, lying on the silicon face exposed to the sun, and a polymeric sheet glued to the back face of silicon (backsheet), useful to protect the panel from atmospheric agents [12]. These elements are joined together with two layers of encapsulant material (generally EVA) and an aluminum frame is used to join the panel to the supporting structure and to facilitate transport (Figure 1a).

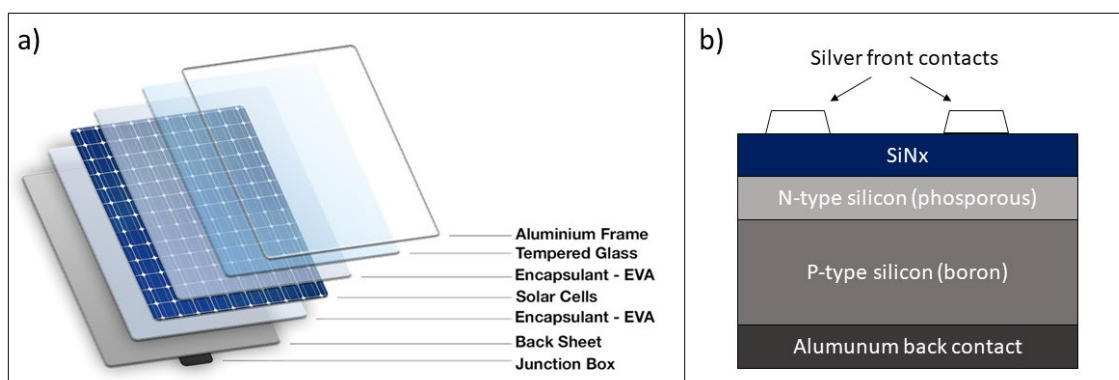


Fig.1 – Typical structure of silicon PV panel and PV cell / Tipica struttura del pannello fotovoltaico e della cella a base silicio

SILICON PV-PANELS RECYCLING

Photovoltaic (PV) systems are regarded as clean and sustainable sources of energy [13] and for this reason the cumulative global PV capacity has a growth rate of 47% per year since 2001 [14]. Global installed PV capacity reached around 400 GW at the end of 2017 and is expected to rise further to 4500 GW by 2050 [8]. Initially the installations were mainly in Europe but the primacy of installed panels is now held by China. In Europe, Italy is in second place in terms of installed power, after Germany [15].

As the estimated life of a photovoltaic plant is around 20-25 years, million tons of PV waste are expected in the world in next 30 years.[16]

Much PV waste currently ends up in landfill. Given heavy metals present in PV modules, e.g. lead and tin, this can result in significant environmental pollution issues. Furthermore, valuable metals like silver and copper are also present, which represents a value opportunity if they are recovered. Hence, the landfill option creates additional costs and it does not recover the intrinsic values of the materials present in the PV modules.

By contrary, recycling end-of-life PV modules is environmentally favorable [17]. Compared with landfill, it effectively prevents toxic and hazardous substances from the PV modules such as lead to enter the soil and groundwater, cau-

sing many negative biochemical and physiological effects on human beings and other species. Effective recycling processes also conserve precious metals such as silver, conventional resources such as aluminum, copper and glass, and energy-intensive highly pure material such as the silicon wafer. Therefore, recycling end-of-life PV modules can significantly reduce the energy consumption and carbon emission, and alleviate lifecycle resource depletion [18]. For example, it was shown that GHG emissions can be reduced by 42% upon the use of recycled silicon material [13].

Nevertheless, only about 10% of PV modules are recycled worldwide [19]. EU has set up one of the main regulatory frameworks based on WEEE directives to address electrical and electronics waste [20]: PV waste are considered electronic waste and recycling End-of-life PV panels is mandatory. Moreover, WEEE Directive 2012/19/EU prescribes to recycle at least 80% of the materials [21].

For this reason, several recycling processes have been proposed to recycle PV panels with the aim to maximize the recovery yield. Unfortunately, they are typically not industrialized yet and, furthermore, insufficient attention has been paid to evaluate whether they fulfil the fundamental pre-requisites of economic and environmental sustainability[22]. The main processes developed for PV recycling are summarized in Figure 2.

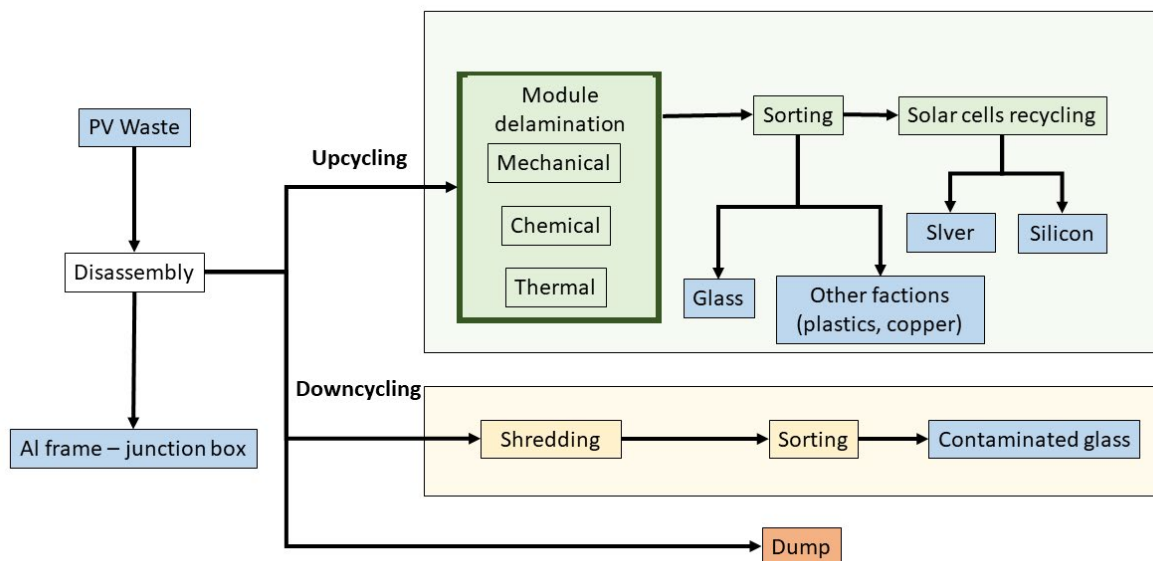


Fig.2 – Scheme of the methods for PV waste recycling/ Schema dei metodi per il riciclo dei rifiuti fotovoltaici.

Current recycling methods are based on downcycling processes, recovering only a portion of the materials and value [19]. Downcycling is typically performed by shredding and sorting of the materials and it uses recycling plants designed for laminated glass. This achieves a high material recovery rate according to the module mass, although some high-value materials (that are small in mass) may not fully be recovered. This current strategy offers legal compliance without the need for new PV-specific recycling investments [23]. In Italy the only plant that performs treatment of consistent amount of PV waste is "Nike" where the PV panels are treated mechanically. Another downcycling example is the plant realized by PV Cycle France and Veolia in Rousset near Marseille (FR): this plant is, to our knowledge, the only running industrial plant in Europe dedicated to PV waste treatment. After shredding of the material, grinding is performed and separation of cells powder. Veolia's glass cullet has still not high-transmittance solar glass as it contains EVA and pieces of Si cells. Moreover, the Si they recover is low-quality impure iron-Si, not high-purity solar-grade Si which is used to produce Si cells [24]. The main advantage of these processes is the low cost of the treatment but, as mentioned, the materials contained in PV waste are not fully valorized.

This possibility (upcycling) requires the PV panel delamination, which is actually one of the main issues of PV recycling. In fact, the removal of EVA resin used as encapsulant, that keeps the elements of PV panels together (Figure 1a), is very difficult to achieve. Another issue is that silicon cells (Figure 1b) are thin and fragile and an inefficient separation of the different materials highly decreasing their economic value, in particular for silicon fraction, that should be recovered with 6N purity in order to reuse it in PV industry.

As summarized in Figure 2, there are three main possible routes in order to perform the delamination: mechanical, thermal and chemical.

MECHANICAL DELAMINATION

In order to perform mechanical delamination, some equipment was designed to remove glass from the panels [25]. Glass recovery is important, as glass represents about

75% fraction by weight in the panel [26], nevertheless it is a material with very low value. This equipment is not able to recover the silicon cells from the PV panels and actually this operation seems to be impossible only by mechanical action.

In order assist mechanical removal of glass, some methods are based on a heating the encapsulant at a temperature which is lower than those used for combustion and pyrolysis but high enough to reduce its adhesive effect. In fact, EVA can be softened at 150°C giving possibility to remove glass [27]. The Full Recovery End of Life Photovoltaic (FRELPE) project demonstrated at pilot level the method that uses a high-frequency knife at slightly elevated temperatures for the glass removal [28]. Heated knife has been also proposed in order to perform this operation [29]. The advantage of these processes is the low energy consumption. However, as classical mechanical treatments, only glass is recovered and the sandwich without glass is destined to combustion/pyrolysis in order to recover the cells that are still contained in the encapsulant.

Interestingly, a separation of the non-glass layers by means of a water nozzle was tested by the company LuxChemtech (formerly Loser Chemie)[19].

CHEMICAL DELAMINATION

A chemical delamination of the organic part of the PV sandwich is possible by means of organic or inorganic solvents. As inorganic solvents there have been tested strong acids [30]. For example, BP Solar process was presented in 1994 at the Photovoltaic conference in Amsterdam. The process involves the decomposition of the EVA by the action of mineral acids that leave the wafer intact. However, it is only applicable to certain types of plastic material and formulations and it is still not used.

Different organic solvents have been also tested like cyclohexane or tetrachloroethylene [31], toluene, trichloroethylene, O-dichlorobenzene, benzene [32]. A developed process is the CELLSEPA®, which consists of swelling EVA layers and separating them using limonene, obtained from citrus fruits. This process, however, is not suitable for the recovery of unbroken cells, as they break due to the tensions caused by the swelling of EVA, and it

requires a long period of swap-out for the swelling. Another process developed in Photolife research project, after grinding of PV modules, uses cyclohexane for the recovery of glass, copper ribbons and backsheets while performing pyrolysis on the EVA containing PV cells [33]. Its main advantage is the recovery of high-quality glass. Nevertheless, the crucial disadvantage of these chemical techniques is the use of toxic and hazardous chemicals.

THERMAL DELAMINATION

Thermal delamination was one of the first studied methods [34]. In fact, by heating EVA at 450°C it starts degrading and it completes combustion at 500°C [35]. The process can be performed with presence of oxygen (combustion) or not (pyrolysis).

RESIELP RESEARCH PROJECT

RESIELP TECHNICAL ANALYSIS

The possibility to recover solar-grade silicon have been

studied by University of Padova since 2014. In particular, there was investigated a method for silicon recycling that comprises: i) manual dismantling of aluminum frames and junction boxes; ii) combustion of polymeric fraction, iii) mechanical separation of the different components and iv) chemical purification of PV cells. This process, in fact, was able to recover 6N silicon at lab scale. During ReSiELP (Recovery of Silicon and other materials from End-of-Life PV panels) research project, the process was validated in a pilot plant with a capacity of 1500 panels/year specifically realized. The pilot was up and running on May 2019 and had been operating until May 2020, allowing to validate the technology at TRL 7.

The heating treatment in the plant, performed on 1 m² of PV panel per treatment, allowed complete delamination of silicon cells and glass: an example of a PV panel after combustion of polymeric part is showed in Figure 3.



Fig.3 – PV panel after heating treatment in ReSiELP pilot plant/ Un pannello fotovoltaico dopo il trattamento termico nell'impianto pilota ReSiELP

After the heating treatment, the glass and PV cells were separated using aeraulic method patented by University of Padova [37]. Then the silicon cells (2 kg per batch) were chemically treated so that aluminum and silver were removed.

The materials recovered during the project are shown in Figure 4. During this study, 10 tons of EoL PV panels was treated to produce: 1790 kg of aluminum frames (Fig. 4a), 88 kg of copper ribbons (Fig. 4b), 6980 kg of glass with

high purity (Fig. 4c), 140 kg of silicon (Si-cells based) with 2N purity (Fig. 4d) and 2 kg of silver with 2N purity (Fig. 4e) [38].

Silicon was the most difficult material to recycle because it is easily contaminated with other materials (e.g. glass) and was achieved with purity less than 3N, thus lower from the 4N expected. As a matter of fact, the removal of silicon nitride and phosphorous doped layer, to reach 6N, was not performed on this material.

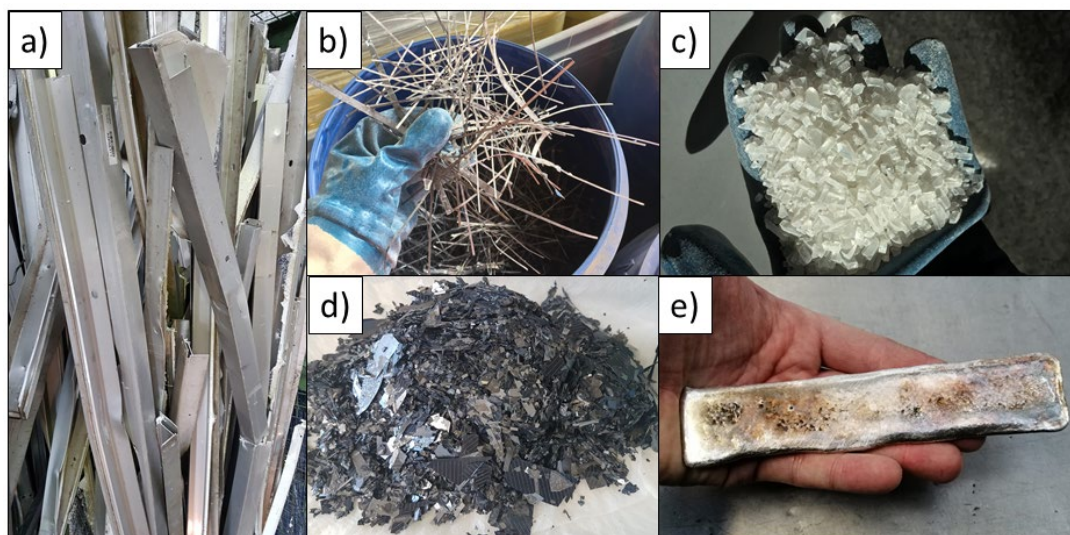


Fig.4 – Materials recovered from the ReSiELP pilot plant: aluminum (a), copper (b), glass (c), silicon (d) and silver (e). / Materiali recuperati dall'impianto pilota ReSiELP: alluminio (a), rame (b), vetro (c), silicio (d) e argento (e).

RESIELP LCA

The evaluation of the environmental impact of the studied recycling process was performed by ENEA, through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. LCA assesses the environmental impacts associated with a product, process or activity, by identifying and quantifying energy and material flows, including emissions released to the environment. Moreover, LCA allows to identify opportunities to improve the environmental performances of the analysed system [39].

The impact categories represent environmental issues of concern. The system under study (with its inputs and outputs) can contribute to each impact category in a positive way, contrasting or reducing the problem (generating

environmental benefits), or, in a negative way, increasing the problem (generating environmental burden/load).

The LCA of the Recovery line shows that, overall, the process developed within the ReSiELP project is advantageous from an environmental point of view, thanks to the recovery of secondary materials. In particular, in all the investigated impact categories, the highest loads are due to the electricity used for heat treatment and for the abatement system.

Therefore, an improvement in the energy consumption, through a reduction of energy requirements or through the adoption of renewable alternatives, would be advisable.

The calculated impacts [40] of ReSiELP recovery line are reported in Table 1.

Tab.1 - Environmental impact of ReSiELP recovery line/Impatto ambientale della linea di recupero ReSiELP (from Ansanelli et al., 2021).

Impact category	Total	Unit
Global warming / GW	-9230	kg CO ₂ eq
Fine particulate matter formation / PMF	-40.9	kg PM _{2.5} eq
Ozone formation, Terrestrial ecosystems / OF	-42.4	kg CFC11 eq
Terrestrial acidification / TA	-80.03	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication / FE	-27.1	kg P eq
Marine eutrophication / ME	-24.3	kg N eq
Human carcinogenic toxicity / HCT	-9260	kg 1,4-DCB
Mineral resource scarcity / MRS	-1550	kg Cu eq
Fossil resource scarcity / FRS	512	kg oil eq
Water consumption / WD	-767	m ³

A net environmental benefit is reached in all the impact categories (negative total values), thanks to the recovery of aluminum, most of all, and copper. Only for FRS, environmental loads are observed (512 kg oil eq), due to the fossil

depletion for electricity production, overcoming the benefits achieved by avoiding the investigated primary materials production.

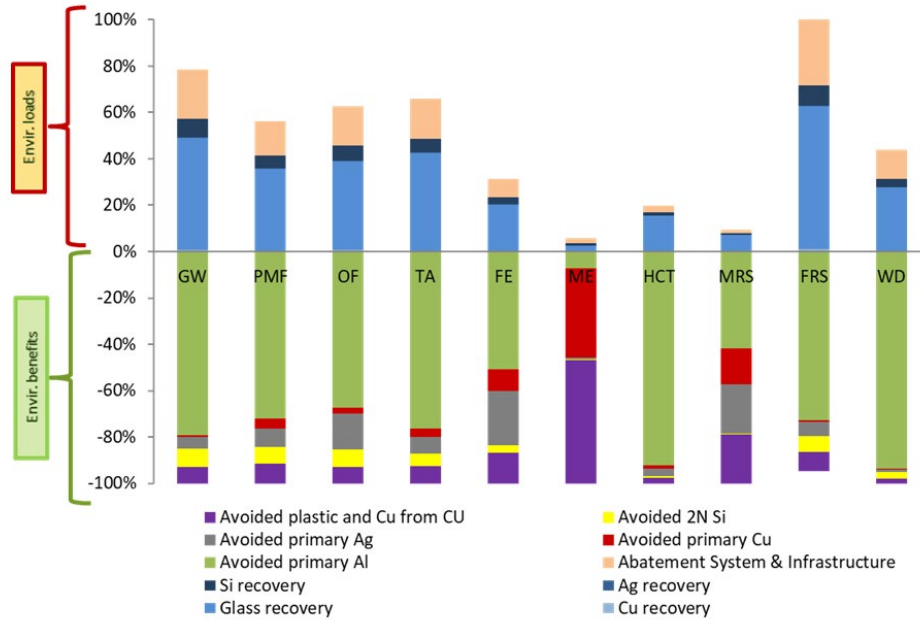


Fig.5 – Percentage contribution of each co-product to the overall environmental impacts of the Recovery line, referred to the selected FU (24 tons of End-of-Life c-Si PV panels). Results include avoided impacts (negative values) due to recovery of material flows [40].

In Figure 5, the contribution of each material to the total impacts of the Recovery line is depicted in percentage terms. Concerning the environmental savings (negative bars), it clearly appears that the avoided production of primary aluminum ranks above the other primary material productions in generating environmental benefits, with contributions higher than -90%, in WD and HCT. The ME impact category is mainly benefited by the recovery of copper from panels (-39%) and of plastic and copper from central units (53%), whereas the benefit gained for the MRS impact category is distributed among the recovery of aluminum (42%), copper (16%) and, at the same extent, of silver and central units plastic & copper (21%). The metallurgical grade silicon (mg-Si) recovery represents another advantage as its smelting plant requires ~20 MWh of electricity and releases up to 5 - 6 tons (t) of CO₂ (and CO) for every ton of mg-Si that is smelted from ore [41].

RESIELP ECONOMICAL ANALYSIS

ReSiELP process is probably the most recent examples of PV upcycling at pilot scale and, as described, it showed

technical feasibility and good environmental impact of the studied process. Nevertheless, at that stage, the process seemed not profitable from economical point of view.

The reasons were mainly due to the cost associated to: i) energy consumption from the furnace (460 eur/ton); ii) high amount of wastewater produced (550 eur/ton); iii) manpower required (1700 eur/ton).

The energy consumption of electric furnace was high due to the fact that it was not continuous, the insulation was poor and the maximum temperature that it can reach was quite low, which limits the treatment capacity. On the other hand, wastewater production was mainly due to the contamination of scrubber solution (130 eur/ton) and to the high quantities of basic wastewater produced for aluminum removal from PV cells (335 eur/ton) whereas the impact of acid WW produced for silver recovery was less significant (85 eur/ton). Finally, high amount of manpower was required because the recovery line, as a demonstrator, was not automatized.

All these issues were identified at the end of the research project and, in order to overcome them, after ReSiELP conclusion a booster project was financed by EIT RawMaterials

in 2020: "9PV". This project allowed the design and realization of a new pilot plant which comprises a continuous furnace and a machine for mechanical separation of treated material. This research is still in progress with the target of improving the efficiency of the process previously studied. The development and upscaling of recycling technologies for PV waste have huge importance because of the high quantity that will require disposal in next 20 years.

CONCLUSIONS

High amount of PV waste is expected in next years. A typical PV panels is based on silicon technology and contains important resources such as glass, aluminum, copper, silver and silicon. Silicon, in particular, is a critical raw material for European Union and EU directive prescribes recycling of PV modules. Therefore, it would be very important the implementation for PV waste of an upcycling process: a treatment able to recover and valorize all these materials.

Nevertheless, PV recycling is still an open challenge and, up to now, only downcycling process is performed at industrial scale. This process consists in grinding and sorting and only contaminated glass is recovered from PV waste. Upcycling of the material requires delamination of PV panels and this can be performed by means of mechanical, thermal or chemical treatment. Each delamination method has its

drawbacks: mechanical treatments provoke damages to the PV cells preventing pure silicon and silver recovery, chemical treatments require toxic chemicals and combustion/pyrolysis generates toxic fumes.

Among these techniques, thermal delamination seems the most promising route to valorize metallic silicon, because the PV cells are recovered with few damages and high yield and can be chemically treated for silicon purification. During ReSiELP research process, a thermo-mechanical and chemical process was studied and upscaled at TRL7 by University of Padova. This research proved the industrial feasibility of the idea and ENEA showed that the process can have positive environmental impact, due to the recovery of raw material with high embodied energy. However, in order to increase its economy, an optimization of the recovery line was necessary, which is now under studying.

ACKNOWLEDGEMENTS

This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon 2020, the EU Framework Programme for Research and Innovation.

REFERENCES

- [1] H. Sievers and L. Tercero, "European dependence on and concentration tendencies of the material production," 2012. [Online]. Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/prodcom/data/database>
- [2] E. Lewicka, K. Guzik, and K. Galos, "On the Possibilities of Critical Raw Materials Production from the EU's Primary Sources," *Resources*, vol. 10, no. 5, p. 50, May 2021, doi: 10.3390/resources10050050.
- [3] Beddiaf Zaidi and Slimen Belghit, *Silicon Materials*. IntechOpen, 2019. doi: 10.5772/intechopen.81584.
- [4] A. Ciftja, T. A. Engh, and M. Tangstad, "Refining and Recycling of Silicon: A Review," 2008.
- [5] F. Chigondo, "From Metallurgical-Grade to Solar-Grade Silicon: An Overview," *Silicon*, vol. 10, no. 3, pp. 789–798, May 2018, doi: 10.1007/s12633-016-9532-7.
- [6] F. Chigondo, "From Metallurgical-Grade to Solar-Grade Silicon: An Overview," *Silicon*, vol. 10, no. 3, pp. 789–798, May 2018, doi: 10.1007/s12633-016-9532-7.
- [7] Andrew R. Barron, "Semiconductor Grade Silicon. (2020, September 8)".
- [8] M. S. Chowdhury et al., "An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling," *Energy Strategy Reviews*, vol. 27, p. 100431, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.esr.2019.100431.
- [9] S. Bhattacharya and S. John, "Beyond 30% Conversion Efficiency in Silicon Solar Cells: A Numerical Demonstration," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-48981-w.
- [10] M. Balucani, K. Kholostov, L. Serenelli, M. Izzì, D. Bernardi, and M. Tucci, "Localized metal plating on aluminum back side PV cells," in *Proceedings - Electronic Components and Technology Conference*, Sep. 2014, pp. 1842–1847. doi: 10.1109/ECTC.2014.6897550.

- [11] A. Kuczyńska-Łażewska, E. Klugmann-Radziemska, Z. Sobczak, and T. Klimczuk, "Recovery of silver metallization from damaged silicon cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 176, pp. 190–195, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2017.12.004.
- [12] M. L. Protopapa et al., "Optical methods to identify end-of-life PV panel structure," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 171, p. 105634, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2021.105634.
- [13] M. Tawalbeh, A. Al-Othman, F. Kafiah, E. Abdelsalam, F. Almomani, and M. Alkasrawi, "Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook," *Science of The Total Environment*, vol. 759, p. 143528, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.143528.
- [14] P. Choudhary and R. K. Srivastava, "Sustainability perspectives- a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities," *Journal of Cleaner Production*, vol. 227, pp. 589–612, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.107.
- [15] "Global Market Outlook For Solar Power," 2019. [Online]. Available: www.get-invest.eu
- [16] IRENA AND IEA-PVPS, "End of Life management solar photovoltaic panels," 2016.
- [17] A. Müller, K. Wambach, and E. Alsema, "Life cycle analysis of solar module recycling process," *Materials Research Society Symposium Proceedings*, vol. 895, pp. 89–94, 2006, doi: 10.1557/PROC-0895-G03-07.
- [18] R. Deng, N. L. Chang, Z. Ouyang, and C. M. Chong, "A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 109, pp. 532–550, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.04.020.
- [19] M. M. Lunardi, J. P. Alvarez-Gaitan, J. I. Bilbao, and R. Corkish, "A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules," *Solar Panels and Photovoltaic Materials*, Jul. 2018, doi: 10.5772/INTECHOPEN.74390.
- [20] A. Sharma, S. Pandey, and M. Kolhe, "Global review of policies & guidelines for recycling of solar pv modules," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, vol. 8, no. 5. Engineering and Technology Publishing, pp. 597–610, Sep. 01, 2019. doi: 10.12720/sgce.8.5.597-610.
- [21] "DIRECTIVE 2012/19/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)."
- [22] F. C. S. M. Padoan, P. Altimari, and F. Pagnanelli, "Recycling of end of life photovoltaic panels: A chemical prospective on process development," *Solar Energy*, vol. 177. Elsevier Ltd, pp. 746–761, Jan. 01, 2019. doi: 10.1016/j.solener.2018.12.003.
- [23] Keiichi Komoto, Shohei Oyama, Takafumi Sato, and Hiroyuki Uchida, "Recycling of PV Modules and Its Environmental Impacts."
- [24] M. Tao et al., "Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 28, no. 10, pp. 1077–1088, Oct. 2020, doi: 10.1002/pip.3316.
- [25] Pasin Andrea, "WO2013057035A1"
- [26] A. Paiano, "Photovoltaic waste assessment in Italy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 99–112, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.RSER.2014.07.208.
- [27] Angelo Doni and Fabrizio Dughiero, *Electrothermal Heating Process Applied to c-Si PV Recycling*.
- [28] Federico Aleotti and L. Magistrale, "Recupero di moduli fotovoltaici in silicio cristallino a fine vita: progetto 'FRELP – Full Recovery End-of-Life Photovoltaic,'" 2018.
- [29] "<https://www.npcgroup.net/eng/solarpower/reuse-recycle/recycle-service>."
- [30] BRUTON and T. M., "Re-cycling of High Value, High Energy Content Components of Silicon PV Modules," *Proc. of 12th EC-PVSEC*, pp. 303–304, 1994, Accessed: Nov. 10, 2021. [Online]. Available: <http://ci.nii.ac.jp/naid/10007499486/en/>
- [31] T. Doi, I. Tsuda, H. Unagida, A. Murata, K. Sakuta, and K. Kurokawa, "Experimental study on PV module recycling with organic solvent method," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 67, no. 1–4, pp. 397–403, Mar. 2001, doi: 10.1016/S0927-0248(00)00308-1.
- [32] Y. Kim and J. Lee, "Dissolution of ethylene vinyl acetate in crystalline silicon PV modules using ultrasonic irradiation and organic solvent," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 98, pp. 317–322, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2011.11.022.
- [33] A. Rubino et al., "Development and techno-economic analysis of an advanced recycling process for photovoltaic panels enabling polymer separation and recovery of Ag and Si," *Energies*, vol. 13, no. 24, Dec. 2020, doi: 10.3390/en13246690.
- [34] Wambach Karsten, "EP0893250A1"
- [35] M. L. Marfn, A. Jtm-nez, J. Lrpez, and J. Vilaplana, "THERMAL DEGRADATION OF ETHYLENE (VINYL ACETATE) Kinetic analysis of thermogravimetric data 9 I," *Journal of Thermal Analysis*, vol. 47, pp. 247–258, 1996.
- [36] J. Tao and S. Yu, "Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 141. Elsevier B.V., pp. 108–124, Jul. 10, 2015. doi: 10.1016/j.solmat.2015.05.005.
- [37] Zambon Andrea and Cerchier Pietrogiovanni, "WO2019087111," 2019
- [38] P. Cerchier et al., "Innovative recycling of end of life silicon PV panels: ReSiELP," *Detritus*, no. 16, pp. 41–47, Sep. 2021, doi: 10.31025/2611-4135/2021.15118.
- [39] F. Consoli, D. Allen, U. S. A. I. Boustead, A. A. Jensen, and R. Parrish, "Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice.'"
- [40] G. Ansanelli, G. Fiorentino, M. Tammaro, and A. Zucaro, "A Life Cycle Assessment of a recovery process from End-of-Life Photovoltaic Panels," *Applied Energy*, vol. 290, p. 116727, May 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116727.
- [41] T. A. Troszak, "NATO ENERGY SECURITY CENTRE OF EXCELLENCE The hidden costs of solar photovoltaic power." [Online]. Available: [https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/](https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-)

Riciclo dei pannelli fotovoltaici a base Silicio: tecnologie e prospettive

Milioni di pannelli fotovoltaici sono stati installati in Europa negli ultimi vent'anni. La vita media di un pannello è di circa 25 anni e per questo in Italia ci saranno presto più di 50 milioni di pannelli che dovranno essere smaltiti.

I pannelli installati sono per la maggior parte (> 80%) a base di silicio, mono o policristallino, e sono composti da vari strati laminati assieme (Figura 1) e contenenti, oltre al silicio, anche vetro, rame, alluminio, stagno e argento. Il silicio è uno dei materiali più interessanti da recuperare, in quanto è annoverato fra le materie critiche per l'Europa. D'altra parte, per trovare applicazioni che lo valorizzino, il silicio richiede una purezza molto elevata e ciò rende molto difficile il riutilizzo del silicio recuperato da rifiuti.

In generale il riciclo dei materiali presenti nel pannello fotovoltaico è benefico per l'ambiente in quanto da un lato evita la contaminazione del terreno con metalli potenzialmente pericolosi (principalmente piombo e stagno nel caso di tecnologia a base silicio cristallino), dall'altro contribuisce alla conservazione delle risorse con la conseguente riduzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

Purtroppo ad oggi nel mondo solo circa il 10% dei pannelli viene riciclato e la maggior parte finisce quindi in discarica. In Europa il riciclo dei moduli fotovoltaici a fine vita è altresì obbligatorio, in quanto essi sono classificati come rifiuti elettronici. Attualmente il metodo di trattamento più utilizzato è di tipo meccanico, perché trattato del più economico: essenzialmente i moduli sono macinati recuperando un vetro contaminato di qualità piuttosto bassa. Questo processo infatti è definito come un "downcycling" del materiale. Il silicio, ad esempio, non può essere valorizzato perché viene recuperato come polvere molto contaminata con altri materiali.

Una valorizzazione del materiale, o "upcycling", è possibile solamente delaminando i diversi strati del pannello. A questo scopo sono state sviluppate negli anni diverse tecnologie di trattamento, anche se la maggior parte di esse non è ancora stata industrializzata.

Queste tecniche possono essere suddivise principalmente in meccaniche, termiche e chimiche.

I metodi meccanici si concentrano sulla rimozione del vetro attraverso coltelli o lame riscaldate. Questi metodi non riescono però a separare le celle fotovoltaiche ed i contatti in rame dalla parte polimerica che li ingloba (Figura 1).

Un trattamento chimico è possibile sia per mezzo di solventi inorganici (acidi forti) che organici (es: limonene o cicloesano) ed ha il vantaggio di consentire il recupero di un vetro di alta qualità nonché, eventualmente, del backsheet. D'altra parte, il trattamento chimico può provocare anche gravi danni alle celle fotovoltaiche, a causa del rigonfiamento indotto dal solvente, compromettendone un recupero efficiente. Inoltre ha la complicazione di impiegare solventi tossici e spesso infiammabili.

Infine un approccio di tipo termico, quali pirolisi o combustione, consente di delaminare le diverse parti del pannello eliminando la frazione polimerica, ma richiede un accorto trattamento delle emissioni prodotte, in particolare nel caso in cui il backsheet contenga fluoro.

L'approccio della delaminazione termica seguita dal trattamento chimico delle celle fotovoltaiche sembra il metodo più promettente per recuperare e riutilizzare il silicio in forma pura. Questo processo è stato testato nel corso del 2019 su scala preindustriale durante il progetto di ricerca ReSiELP. Il progetto ha realizzato un impianto di capacità 1500 pannelli/anno che, dopo la rimozione delle cornici in alluminio, effettuava un trattamento di riscaldamento per bruciare la frazione polimerica, una separazione meccanica dei materiali ed un trattamento chimico delle celle di silicio. I materiali recuperati durante il progetto sono mostrati in Figura 4. Durante il progetto sono state trattate 10 tonnellate di pannelli fotovoltaici a fine vita per produrre: 1790 kg di telai in alluminio (Fig. 4a), 88 kg di nastri di rame (Fig. 4b), 6980 kg di vetro ad elevata purezza (Fig. 4c), 140 kg di silicio (a base di celle Si) con purezza 2N (Fig. 4d) e 2 kg di argento con Purezza 2N (Fig. 4e). L'analisi LCA (Life Cycle Assessment) del processo ne ha valutato l'impatto ambientale, evidenziando come il bilancio fosse favorevole grazie al recupero di importanti materie prime. In particolare, in tutte le categorie di impatto indagate, i

carichi ambientali maggiori sono dovuti all'energia elettrica utilizzata per il trattamento termico e per il sistema di abbattimento (Figura 5). Lo studio ha quindi evidenziato l'importanza di una corretta progettazione di queste parti dell'impianto in modo che siano energeticamente efficienti, nonché ha confermato il vantaggio dal punto di vista ambientale del recupero di alluminio, rame, argento e silicio.

Nonostante i buoni risultati dal punto di vista tecnico ed ambientale, il processo non sembrava redditizio dal punto di vista economico. La ragione era principalmente dovuta ai costi connessi a: i) il consumo energetico del forno; ii) elevata quantità di acque reflue prodotte; iii) manodopera richiesta.

Tutte queste problematiche hanno portato, dopo la fine del progetto, alla successiva progettazione e realizzazione di un nuovo impianto pilota che comprende un forno continuo e una macchina per la separazione meccanica del materiale trattato. Questa nuova ricerca (9PV) è stata finanziata nel corso del 2020 con un progetto booster dall'EIT RawMaterials ed è ancora in corso con l'obiettivo di migliorare l'efficienza del processo studiato in precedenza. Studi come questi sono molto importanti affinché la grande quantità di rifiuti fotovoltaici prodotta nel prossimo futuro venga adeguatamente riciclata.

A way to use ladle slag to partially replace lime in BOF

R. K. Pathak, Veerababu Gollapalli, M. V. M. Rao, B. Kumar Guttula, S. Jee, Bhaskar K, V Suguna Soumya

With the requirements of sustainable development and to adopt principles of circular economy in steel industry, slag utilization has become a hot issue. As a consequence, 3R (Reduce, Reuse and Recycle) technique of waste handling has become most popular among the industries. This paper focuses on recycling of Ladle Slag (LS) generated after secondary refining process in BOF. Industrial trials were conducted with varying amount of recycled LS to the BOF at Visakhapatnam Steel Plant (VSP), India. The effect of LS addition on steel refining was also studied by taking intermediate steel and slag samples at different stages of refining namely, 1st, 2nd/middle and end of blow (EOB). It was observed from the trials that LS addition helps in early slag formation due to its low melting point which was confirmed by measuring in Ash Fusion equipment. Basicity and phosphate capacity of slag collected at different stages of refining was compared with and without LS addition. High basicity of slag was observed in the early stages of blow which further confirms that it helps in early slag formation. Phosphate capacity of BOF slag was calculated and found that it was better than without LS addition. Effect of LS addition on the FeO generation in the BOF slag was also studied and it was found that, particularly in first and middle stage of blow FeO generation was higher. However, FeO level was lower in the EOB stage which confirms that it has no negative effect on BOF lining. Finally, it can be concluded that addition of LS in BOF has no negative effect on steel refining and 1t of lime can easily be saved with 2t of LS addition.

KEYWORDS: LADLE SLAG, WASTE UTILIZATION, EARLY SLAG FORMATION, BOF, DEPHOSPHORIZATION;

INTRODUCTION

In most of the countries, iron and steel making industries are now putting remarkable emphasis and thrust on recycling of waste for sustainable development and environmental management [1]. Steelmaking is energy intensive process in which million tons of slag was generated as by-product. Efforts for economical use of steel plant wastes such as slag, dust, and flue gases by recycling not only helpful to reduce the environmental load and also for the conservation of natural resources [2]. During steelmaking, ferroalloys are added to the liquid metal in order to obtain the desired steel grade, and together with some additives like lime and synthetic slag which forms basic slag. Refining of steel for better desulfurization, inclusion absorption and also to fine tune the steel composition before sending to casting from Ladle heating furnace (LHF) is one of the most widely used global refining methods [3]. During this process, considerable volume of ladle slag (LS) is generated annually. The chemical composition of

**Ranjan Kumar Pathak, Veerababu Gollapalli,
M Venu Madhava Rao, V Suguna Soumya**

Visakhapatnam Steel Plant, RINL, Research and Development,
Visakhapatnam, India

Bharath Kumar Guttula, Shankar Jee

Visakhapatnam Steel Plant, RINL, Wire Rod Mill-2, Visakhapatnam,
India

Bhaskar K

Visakhapatnam Steel Plant, RINL, Steel Melt Shop, Visakhapatnam,
India

* Corresponding author: Email: ranjanpathak0684@gmail.com

ladle slag varies according to type of steel grade produced i.e. Al killed steel/ Si killed steel, grade of steel and also on amount of ferroalloys, aluminium, lime and synthetic slag additions during steel making process.

In LHF, the refining slag usually is of a high basicity and calcium oxide content, which is required for desulfurization during refining. CaO, SiO₂, Al₂O₃, and MgO are main oxides present in the slag, which makes this slag a potential binder in alkali activation [4-7]. Ladle slag is a high-calcium-based alkaline industrial solid waste contains approximately 50% CaO by weight, so it can be used to partially replace lime in a metallurgical process [8]. However due to significant variation in chemical compositions depending on the production process, it may hamper the stability of the metallurgical process in a steel plant. Therefore, for the application described above has not been widely tried by many authors [9]. It is a pre-melted flux with low melting point and its melting characteristics are very much similar to synthetic flux. So, it can also be used as an alternative for ladle flux substitution [10-14].

Unlike BF slag, the utilization of LS is very limited. But it is primarily crystalline in nature due to the high basicity and slow-cooling conditions adopted during cooling after dumping from the casting [15]. The crystalline phases usually observed are dicalcium silicate (γ -C₂S), mayenite (12CaO.7Al₂O₃), periclase (MgO) and a trace of gehlenite (2CaO.Al₂O₃.SiO₂) [16,17]. LS do not contain any harmful constituent which will affect the environment and it is a mesoporous material with large specific surface area [18, 19]. The low recycling for reuse of LS slag was mainly attributed to its volume instability i.e. disintegration of slag during cooling due to phase transformation and wide-ranging slag composition [20]. The disintegration of LS slag is a long examined problem in the steel-making process, especially while making silicon killed steels this phase transformation causes disintegration of the slag in to a fine powder. There has been quite a bit of studies were reported by various authors and suggested different additives in order to prevent disintegration and stabilization of LS slag [21-23].

RINL/VSP generates around 20 kg ladle slag per tonne of crude steel. With this estimation, more than 1 million tonnes of ladle slag is generated per annum at RINL. RINL generally makes Al/Si killed steel grades which contain low

alumina in the range of 8-18% which makes it unsuitable as replacement to synthetic slag. Variation in the chemical composition of ladle slag generated at RINL is also quite less as all generated slag is dumped at common dump yard where it gets mixed and homogenised.

The objective of the present study is to recycle ladle slag in BOF and to evaluate its effect on the process parameters. Few researchers [24-25] studied the effect of ladle slag addition on the lime dissolution rate during early slag formation in BOF. They also reported that ladle slag addition in BOF can reduce lime consumption by 2 kg per tonne of crude. But in this study, lime saving of 7.5 kg per tonne of crude steel was achieved on consistent basis in more than 60 heats (2 tonnes of ladle slag addition replaced 1 tonne of lime). Ladle slag contains high alumina and in literature [26-27], it is mentioned that high alumina hampers dephosphorization. In this study, ladle slag generated during the regular production process in RINL/VSP were recycled for partial replacement of lime in BOF and its effect on dephosphorisation at different stages of blowing were studied. In addition to that effect of ladle slag on the BOF refractory erosion, its cooling effect during blowing along with varying amount of ladle slag addition as a function of Si content in the hot metal is also studied in detail. These parameters were not studied by the previous researchers.

THEORY AND CHARACTERIZATION METHODS

Melting and XRD analysis of ladle slag

Several researchers [24-25] have reported that ladle slag addition in BOF helps in early slag formation due to its low melting point characteristics. Sanghamitra Bharati et al. [13] measured the melting point of ladle slag with Ash fusion equipment and reported that it is less than 1603 K. The slag composition reported in their study is slightly different from the current study as variation in the content of alumina and silica is quite high. Hence, in order to ascertain the melting and softening characteristics of ladle slag used in present study, melting experiments were carried out in Ash fusion equipment (Model: Carbolite GERO CAF G5, heating rate: 8°C/minute, maximum temperature: 1873 K). The chemical analysis of ladle slag is presented in Table 1. Melting range characteristics of ladle slag is presented in Figure 1. Six samples were tested with slight variation in

composition to ascertain the melting temperature range of ladle slag and found to be in the range of 1653-1693 K. From the results it was found that average melting temperature of ladle slag is 1673 K (Hemisphere temperature).

X-ray diffraction analysis was carried out for deeper insight to know the mineralogical constituents present in the ladle slag (Model: Panalytical Empyrean) using Cu K α source

between angle 2 θ of 10 $^\circ$ and 90 $^\circ$ with an increment of 0.02 $^\circ$ and is presented in Figure 2. (XRD, Panalytical Empyrean) using Cu K α source between angle 2 θ of 10 $^\circ$ and 90 $^\circ$ with an increment of 0.02 $^\circ$ and is presented in Figure 2. From the results it was observed that major mineralogical phases present in ladle slag are di-silicate calcium (C $_2$ S), periclase (MgO) and Gehlenite.

Tab.1 - Chemical analysis of ladle slag (wt. %).

	CaO	MgO	SiO $_2$	Al $_2$ O $_3$	FeO	MnO	P $_2$ O $_5$	S	Melting range (K)
Ladle Slag	40-48	11-13	18-22	8-18	1-3	1-2	0.2-0.4	0.2-0.3	1653-1693

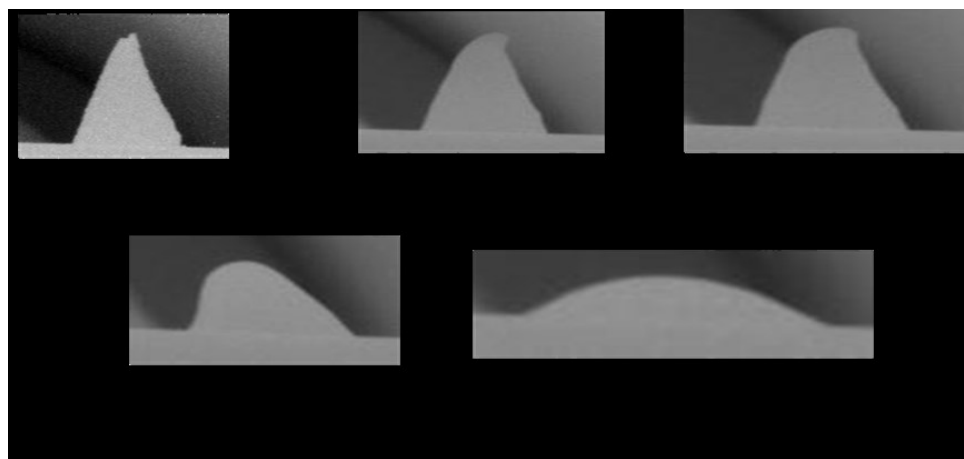


Fig.1 - Melting range determination of ladle slag generated at RINL.

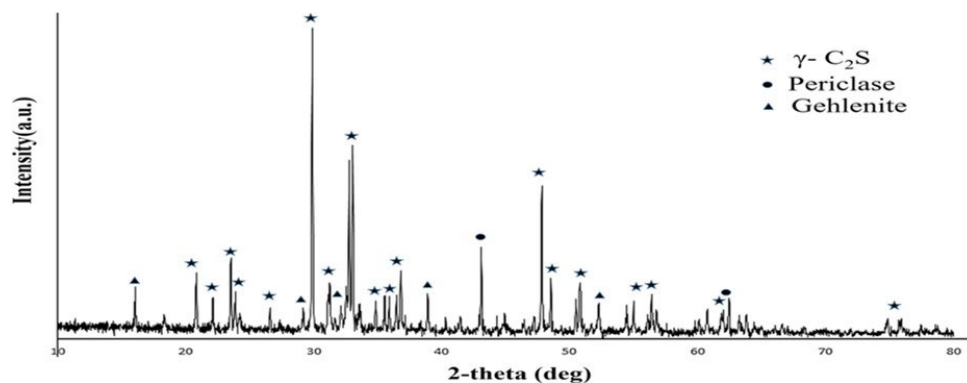


Fig.2 - XRD analysis of ladle slag.

Slag weight estimation

The slag weight calculations are based on the conservation of mass principle for the components Si/SiO₂ in the studied system is presented in Equation (1).

Silicon balance:

$$M_{SL} = [M_{HM} * \%Si_{HM} * (28/60) + M_{SC} * \%Si_{SC} * (28/60) + M_{SF} * \% (SiO_2)_{SF} + M_{CL} * \% (SiO_2)_{CL}] / [\% (SiO_2)_{SL}] \quad (eq.1)$$

Where subscripts SL, HM, SC, SF and CL denote; slag, hot metal, scrap, slag formers and coolant respectively. %Si_{HM} and %Si_{SC} is used to donate silicon wt.% in hot metal and scrap respectively. % (SiO₂)_{SF} and % (SiO₂)_{CL} is for silica content (wt.%) in slag formers and coolant respectively. Slag formers used in this study are lime, dolomite and ladle slag while iron ore is used as coolant. Unit of the calculation is in tonnes.

Cooling effect of ladle slag

Dahlin et. al. [24-25] reported that the iron ore consumption is reduced with ladle slag addition due to disturbed heat balance. However, cooling effect of ladle slag was not estimated and compared with iron ore in their study. Quantification of iron ore reduction with ladle slag addi-

tion was also not reported. In this study, an attempt was made to approximately estimate the cooling effect of ladle slag through the data available in the literature. S.K. Gupta [28] estimated the cooling effect of iron ore which was based on the two effects: a) Sensible heat of iron ore b) Reduction of FeO/Fe₂O₃. The cooling effect of iron ore is presented in Table 2. He also stated that as iron content of iron ore decreases its cooling effect decreases due to lesser amount of chemically bonded oxygen. Cooling effect of ladle slag was estimated with the specific heat capacities of slag reported by Wang et. al. [29]. The specific heat capacity of slag is presented in Table 3. Average melting point of ladle slag is taken as 1673 K as per Table 1.

Tab.2 - Cooling effect of iron ore.

Addition	Heat effect (MJ/t)	%Fe	%O ₂
Iron ore	4788	70	30

Tab.3 - Specific heat capacity of slag.

Slag	Average specific heat capacity of solid materials	Latent heat of fusion	Average specific heat capacity of liquid materials
Unit	kJ.kg ⁻¹ .k ⁻¹	kJ.Kg ⁻¹	kJ.kg ⁻¹ .k ⁻¹
	1.0	209.2	1.247

Cooling effect of ladle slag is estimated approximately 2022.2 MJ/t which is about 0.42 times of iron ore (4788/2022.2=0.42). Cooling effect of ladle slag estimated is just an approximate value but it gives insight to the blowers in real time to maintain thermal balance of BOF vessel with respect to the opening temperature.

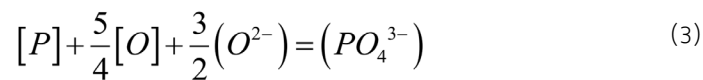
Phosphorus partition ratio and phosphate capacity of BOF slag

Yang et al. [30] have described several notations for phosphorus partition ratio, although all have explicit meaning. In this study, partition ratio is described in Equation (2).

$$L_P = \frac{\%P_2O_5}{\%P} \quad (2)$$

LP can easily be calculated from slag and corresponding steel sample compositions taken at different stages of blowing.

The dephosphorizing ability of slag can be calculated by considering its phosphate capacity.



$$C_{PO_4^{3-}} = \frac{(\%PO_4^{3-})}{P_{P_2}^{\frac{1}{2}} P_{O_2}^{\frac{5}{4}}} = \frac{K_{PO_4^{3-}} a_{O^{2-}}^{3/2}}{f_{PO_4^{3-}}} \quad (4)$$

where ($\%PO_4^{3-}$) is the mass% of phosphate ions in the slag, ($K_{PO_4^{3-}}$) is the equilibrium constant for formation of reaction given in Equation (3), (P_i) is the partial pressure of species i , (f_i) is the activity coefficient of species i and ($a_{O^{2-}}$) is the activity of in the slag. ($P_{O_2}^{\frac{5}{4}}$) can be estimated with Equation (4). Pathak et al. [32] explained the procedure for the estimation of phosphate capacity of BOF slag, the same has been adopted in this study.

Experimental Procedure

Plant trials were carried out at RINL/VSP 150 t BOF in Visakhapatnam, India. Ladle slag (LS) derived after secondary refining in ladle refining furnace (LRF) / Argon rinsing station (ARS) is dumped into the container after the casting. Then crushing and classification was carried out by using crushers, magnetic separators and screens to get ladle slag in the desired size range of 10-60 mm and used in the present study to partially replace lime in BOF.

The gas-slag equilibrium reaction in Equation (3) can be used to introduce the phosphate capacity ($C_{PO_4^{3-}}$) which is defined by Wagner et al. [31].

Plant Trials

The campaign of recycling ladle slag was conducted in 80 heats. Out of 80 heats, in 60 heats, 2 t of ladle slag was added per heat while in rest of the heats, 0.5-1.5 t of ladle slag was used.

To comprehend the partial replacement of lime with ladle slag in BOF, in every heat, ladle slag was added at the bottom the convertor after the scarp addition and studied. During trials with ladle slag, soft blowing tendency was observed which was handled by modifying lance profile without changing the oxygen flowrate. Apart from lime replacement, effect of ladle slag addition on refining of steel particularly dephosphorization, was also studied in this study. In this perspective, 16 exclusive industrial trials were carried out in which ladle slag was added in 8 heats while heats were normal heats. Steel and slag samples along with temperature were taken at different stages of refining. The stages at which samples are collected are given below.

1. Initial phase: blown oxygen ranging from 2,500–3,500 Nm³ (After desiliconisation period).
2. Middle Phase: blown oxygen ranging from 4,600–5,800 Nm³ (During peak decarburization period)

3. End of Blow (EOB): blown oxygen ranging from 7,000–7,500 Nm³.

In every heat, blowing was stopped twice and the converter was tilted forward to take slag and bath samples along with temperature. Slag samples were collected with the help of the spoon which is used to scoop the slag from the BOF converter while steel samples were taken with a lollipop sampler. The chemical composition of slag was analysed in wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) spectroscopy (Axios mAX, Malvern Panalytical, United Kingdom). The composition of steel samples was done by Thermo Fisher Scientific ARL iSpark 3500 optical emission spectrometer (OES).

RESULTS & DISCUSSION

Early slag formation

Lime dissolution is the most important aspect in BOF refining process. As per literature [33], it is clear that during blowing added lime interacts with slag and heats up with a slag layer on it then it will be solidified around the lime particles. Re-liquefaction of frozen layer and dissolution of lime can only take place after the penetration of molten slag into the pores of lime. This penetration process is intensified if sufficient amount of FeO present in the slag as it reduces the viscosity of BOF slag. Hence, optimum FeO generation is the most important aspect of lime dissolution in the early stage of blow.

In RINL, all the slag formers are added within the 3-4 minutes of the blow to avoid disturbance in the blow dynamics inside BOF. Later addition of slag formers disturbs the gas flow during blowing and hence disturbs the overall blowing process. Lime reactivity is also a concern for RINL as it is varying in the range of 270-300 which is quite low as per the standard reactivity of 350. Thus, at RINL, lime addition during blowing is deliberately kept on the higher side and will be around 10-15 times of the Si content present in the hot metal which is 1 tonne extra that is being calculated with the mass balance model to maintain end of blow slag basicity of 3.5. Lime addition decreases as Si content of hot metal increases. It is generally 15 and 12 times when Si content of hot metal is less than 0.4 and in the range 0.4 to 0.7 respectively beyond that it is 10 ti-

mes.

It was observed from the intermediate steel and slag sampling for normal heats (without ladle slag addition) particularly at the 1st stage of blow i.e., 2500-3500 Nm³ of oxygen that FeO level in the slag was low and with average value of 13.3% as shown in Figure 3. This low FeO level in early slag resulted in low basicity which is varying in the range of 1.5-2.2 with average value of 1.8. Outcome of low FeO and basicity in the early stage of blow is reflected in lower dephosphorization efficiency of 20%. Liu et al. [34] reported that dephosphorization efficiency of 44% was achieved in their study particularly in the 1st phase of blow with average basicity of 1.8. This low basicity is understandable in their study as the amount of lime was adjusted for only this stage, after that deslagging was done and another batch of lime was added. However, in this study all lime was added initially which means that lime dissolution was not proper which is reflected as low slag basicity of 1.8. Average bath temperature recorded in this study and the study conducted by the Liu et al. [34] was 1793 K and 1600-1700 K respectively.

The same trial was repeated with 2 tonnes of ladle slag addition and intermediate slag and steel samples were collected after same interval of blow. It was observed that average FeO generation was higher i.e., 15.1% compared to without ladle slag addition which in turn increases the average basicity of the slag to 2.8. High basicity of slag may be attributed to low melting of ladle slag that is 1673 K helps in its easy dissolution along with increasing kinetics of lime dissolution. Maintaining high FeO and basicity helps in achieving high average dephosphorization efficiency of 26% even though lime addition was reduced by 1 tonne with ladle slag addition as presented in Table 4. It was also observed that the slag properties are not affected but rather got improved with ladle slag addition particularly with respect to FeO, basicity and dephosphorization efficiency. Apart from high FeO and basicity of slag, average temperature of bath after 1st stage was lower with ladle slag addition i.e., 1696 K which also helped in achieving high average dephosphorization efficiency. Low opening temperature was mainly due to high cooling effect of ladle slag.

Middle blow period

As per Cicutti et al. [35] and IMPHOS report [36], middle blow period experiences the peak decarburization with sharp decrease in FeO content of the BOF slag. Cicutti et al. [35] conducted trials in 200 t converter and collected samples at different stages of refining and observed that minimum FeO was present in the slag close to the middle period of refining. The same phenomena were observed in the present study for both trials with and without ladle slag addition. High FeO level in the early stage of blow with ladle slag addition was helpful in maintaining good FeO level even in the middle blow. Average FeO level in

the middle stage of blow was 14% and 12% for with and without ladle slag addition. Phosphorus reversal in the middle blow was observed in only 2 heats without ladle slag addition which may be due to thick slag formation. Phosphorus reversal was not observed with ladle slag addition. This was possible because of low melting point of ladle slag helped in maintaining good FeO level and low viscosity of refining slag. In few heats (without ladle slag addition), thick slag was observed while taking samples in the middle blow particularly in those heats where FeO level was less than 10%. Thick slag was not observed with ladle slag addition.

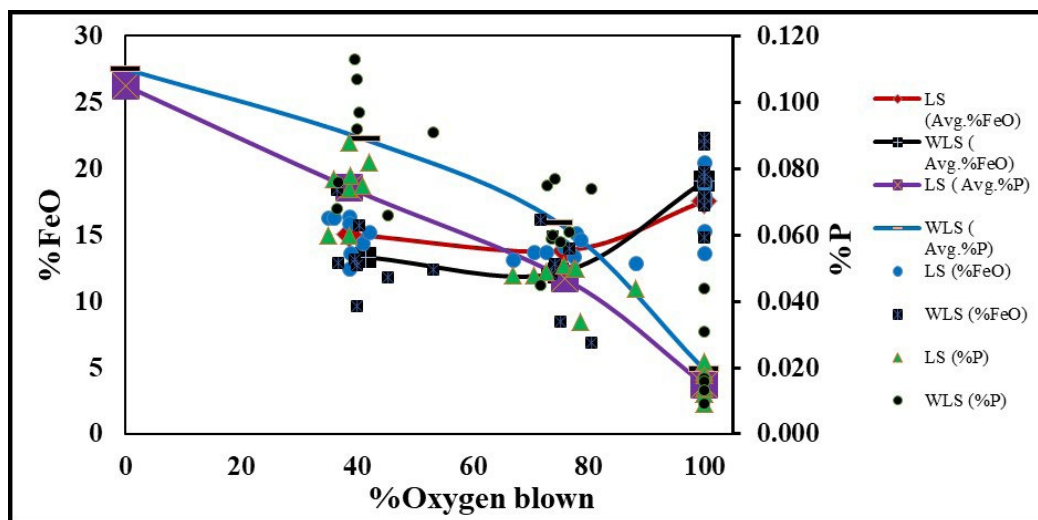


Fig.3 - Variation of wt. %FeO and wt.%P as blowing proceeds with and without ladle slag addition. (LS-with ladle slag addition, WLS-without ladle slag addition).

End of blow period

Last stage or end of blow period is characterised by weak decarburization reaction as carbon is depleting towards the end of blow. Majority of oxygen is utilized generating FeO, temperature starts to increase with decrease in slag viscosity of slag. Lime dissolution approaches towards completion and favourable conditions for dephosphorization are maintained. The comparison of slag formers addition on the basis of process parameters with and without ladle slag addition is presented in Table 4. It is observed that lime consumption was reduced by 1 tonne with addition of 2 tonnes of ladle slag is not affecting the steel

refining. Slag basicity which is the direct measure of lime available in slag and it is higher with ladle slag addition. The slag basicity was continuously increasing from 2.8-3.1-3.3 for all three stages of blow with ladle slag addition while without its addition it was 1.8-2.7-3.2 in spite of higher lime addition as shown in Table 4. Figure 3 suggests that FeO level is increased from 12% to 19% and 14% to 17.5% for both with and without ladle slag addition for the 1st and last stage of blow while some reduction was seen in FeO level particularly in middle stage of blow for both. FeO level with ladle slag addition was higher for first two stages of blow but lower in the last stage of blow. This can be

explained as iron ore addition was lower by approximately 800 kg with ladle slag addition as the cooling efficiency of ladle slag is almost 0.4 times of the iron ore and the iron ore addition was mainly done in the peak decarburization period. Hence, low iron ore addition during middle stage of blow resulted in low FeO level in the last stage of blow with ladle slag addition as shown in Table 5. The ladle slag addition effect is also visible in the opening temperature of steel bath. Hot metal temperature difference between normal heats and with ladle slag addition was 34°C and it was higher for normal heats and almost same difference of 30°C was observed end of blow stage. Input and output temperature difference was same for both trial conditions with reduction of 800 kg of iron ore. Average turndown phosphorus with ladle slag addition trials was 0.015% while it was 0.020% for normal heats. Dephosphorization

efficiency was slightly better with ladle slag addition that is 85% while it was 82% for normal heats with reduction in lime and iron ore consumption by 1 tonne and 800 kg respectively. Dephosphorization efficiency is not compromised even by maintaining low FeO level in the turndown steel. As, high FeO in slag reduces viscosity [37] and may reacts with MgO present in the refractory and erosion occurs. Thus by maintaining low FeO level in the slag with ladle slag addition at the end of blow does not have any adverse effect on refractory erosion. Moreover, low FeO level in the last stage of blow will help in improving iron yield by approximately 200 kg compared

Tab.4 -Comparison of slag formers addition on the basis of process parameters: with and without ladle slag addition.

Parameters	Unit	Normal heats*	Heats with Ladle slag addition	Difference
Hot Metal	T	136	136	±0
Scrap	T	12	12	±0
C in HM	wt.%	4.2	4.3	±0.1
Si in HM	wt.%	0.60	0.60	±0.0
P in HM	wt.%	0.105	0.111	±0.006
HM Temperature	K	1650	1616	±34
Lime actual	Kg	8415	7416	-999
Dolomite	Kg	2623	2623	0
Iron Ore	Kg	3373	2541	-832
Ladle Slag	Kg	0	2000	2000
Tapping temperature	K	1976	1946	-30
Oxygen	Nm ³	7438	7457	19
Slag Weight	T	13.1	14.3	1.2

Tab.5 - Comparison of important parameters for dephosphorization in steel during refining: with and without ladle slag addition.

Parameters	Normal Heats*			Heats with Ladle slag addition		
	2500-3500 Nm ³ (B1)	4500-5800 Nm ³ (B2)	7000-7500 Nm ³ (EOB)	2500-3500 Nm ³ (B1)	4500-5800 Nm ³ (B2)	7000-7500 Nm ³ (EOB)
%FeO in Slag	13.3	12.1	19.0	15.1	13.8	17.5
Basicity	1.8	2.7	3.2	2.8	3.1	3.3
%P in steel	0.089	0.064	0.02	0.074	0.047	0.015
Temperature (K)	1793	1927	1976	1696	1868	1946
% Dephosphorization	19.8	42.3	82.0	26.9	53.6	85.2
L_p	9.8	21.2	96.8	14.3	34.1	113.2
Phosphate capacity	18.1	17.1	17.3	19.6	18.0	17.7

*Normal Heats: Heats without ladle slag addition, B1-1st stage of blow, B2-2nd stage of blow, EOB-End of blow

Slag analysis and weight at the end of blow stage

The slag former additions are mainly governed by hot metal, scrap weight and silicon content. Comparison of slag weight with and without ladle slag addition is presented in Figure 4. It may be observed that average slag weight is 1.2 tonnes higher with ladle slag addition compared to without its addition. Since, ladle slag is treated as slag formers, the total addition of slag formers increases, which

ultimately increases the slag weight. Furthermore, the slag weight calculation is performed as a function of the hot metal silicon content. On average, the total amount of slag former additions is increased by 1001 (2000-999) kg when ladle slag is added considering the reduction in lime addition.

The two linear regressions in Figure 4 can be represented by the following equations;

With ladle slag (LS)

$$M_{SL} = 11.06x + 7.87 \quad (5)$$

Without ladle slag

$$M_{SL} = 11.26x + 6.99 \quad (6)$$

Figure 5 shows the average slag composition of heats with and without ladle slag additions. Minor differences in Al₂O₃ and FeO contents was observed with and without ladle slag heats however in other components the differences are negligible. Amount of alumina in BOF slag is an important parameter for consideration while using ladle slag as it contains high alumina (8-18%). It is mentioned

in the literature [27] that high alumina content of the BOF slag hinders the dephosphorization reaction by stabilizing calcium-aluminium-ferrite and reduces the amount of C₂S and also the phosphorus content in C₂S. It was also reported that alumina content in BOF slag should be less than 4% in order to minimize its effect on dephosphorization efficiency.

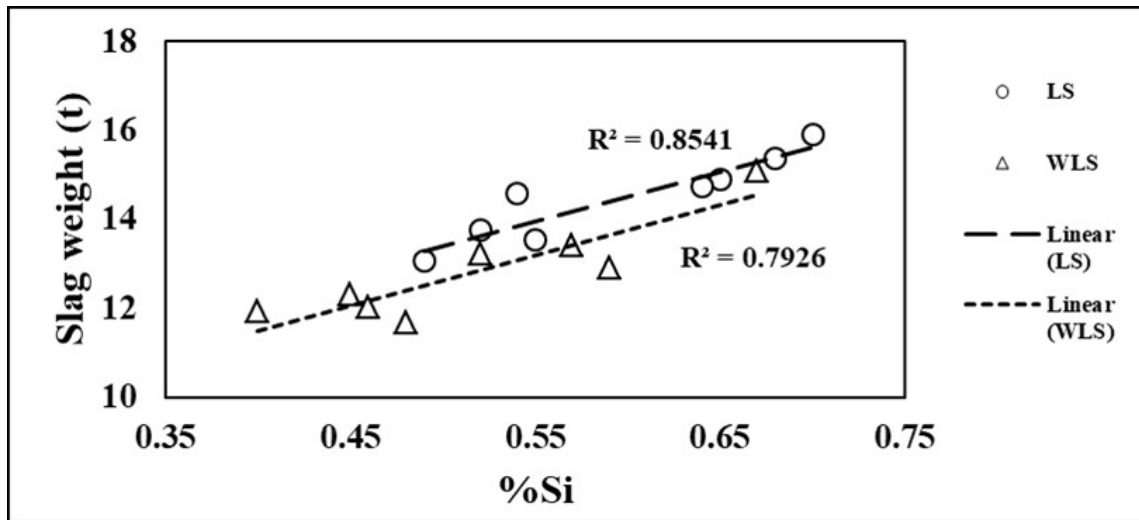


Fig.4 - Comparison of slag weight with and without ladle slag addition.

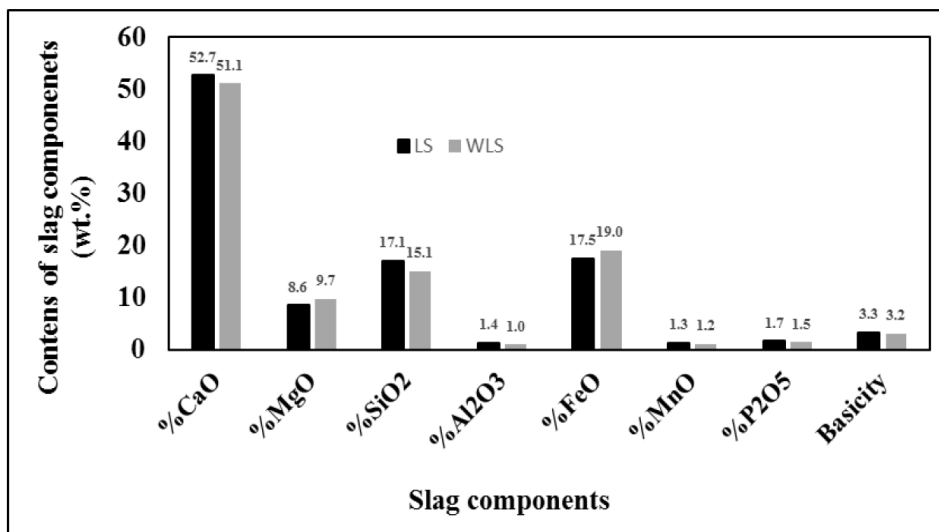


Fig.5 - Average slag composition of heats with and without ladle slag additions.

High alumina content particularly in the 1st stage of blow with ladle slag addition heats was observed in the present study. Figure 6 shows the variation of alumina in slag for all three stages of blow with and without ladle slag addition. Alumina content in the slag was 1.3-1.3-1.4% and 1.0-1.1-1.0% with and without ladle slag addition for all three stages of blow. Maximum alumina was found to be 2% in one heat with ladle slag addition while its average

value was less than 1.5% in all stages of blow.

Phosphorus partition ratio and phosphate capacity of BOF slag

Phosphorus refining is not only dependent on the FeO content and basicity of slag but it is also strongly depending on the tapping temperature as shown in Figure 7. It can be seen that the phosphorus partition ratio is decre-

ased with an increased tapping temperature. Moreover, noticeable difference in the phosphorus partition ratio is seen between normal and with ladle slag heats. Average partition ratio with ladle slag addition was 14-34-113 for all three stages of blow while it was 10-21-97 for normal heats. Higher partition ratio resulted in lower turn down phosphorus with ladle slag addition heats compared to normal heats. Turn down phosphorus with respect to tap-

ping temperature is plotted in Figure 8 and it shows that content of turn down P in steel increases with increasing temperature. Average phosphorus for normal heats was 0.02% while it is 0.015% with ladle slag trial heats. This may be due to the favourable conditions required for dephosphorisation is achieved by ladle slag addition such as high basicity, low opening temperature and optimum FeO level.

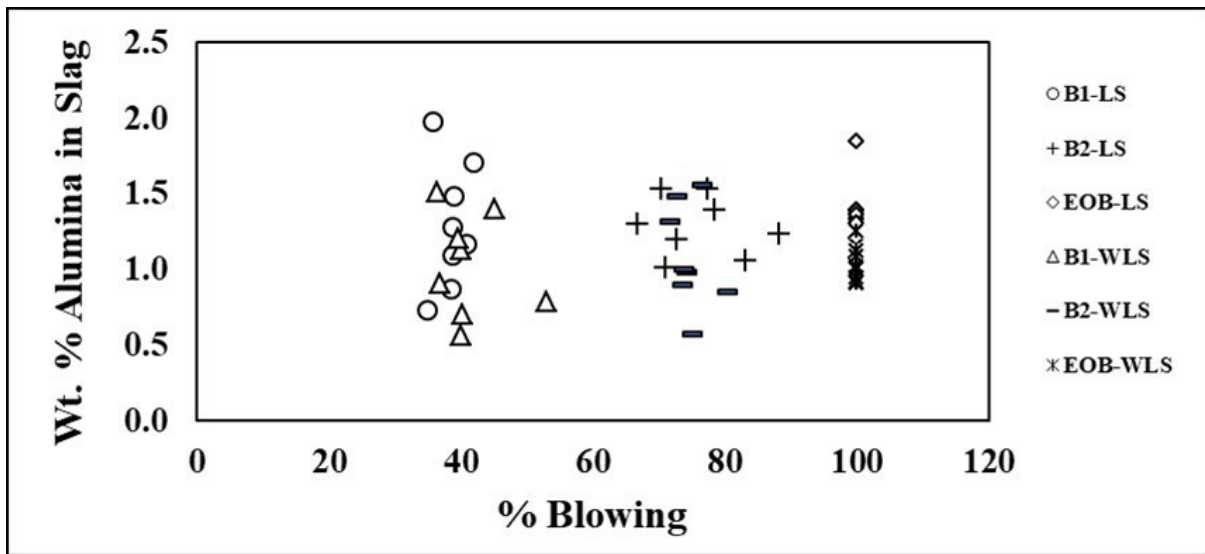


Fig.6 - Variation of alumina content with and without ladle slag addition in BOF: with and without ladle slag addition.

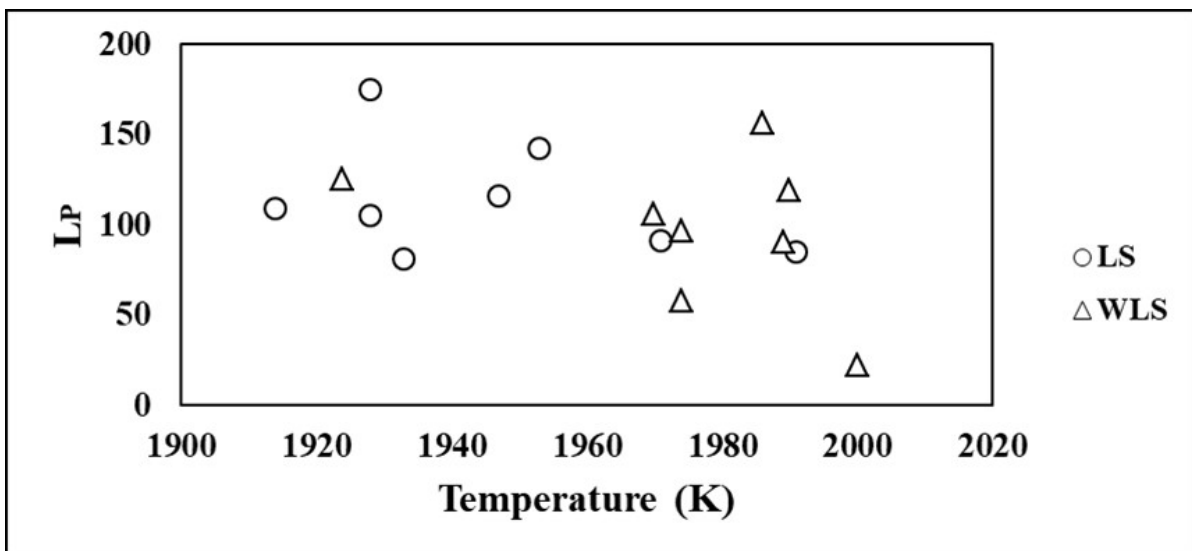


Fig.7 -Variation of L_p as a function of opening temperature in BOF: with and without ladle slag addition.

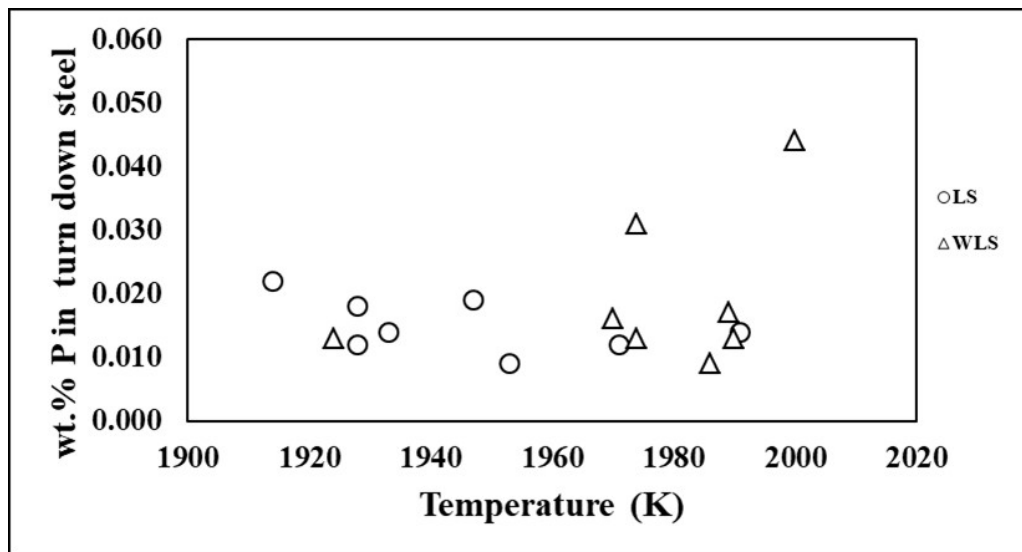


Fig.8 - Turn down phosphorus content in steel as a function of temperature in BOF; with and without ladle slag addition.

Phosphorus partition ratio is also dependent on the MgO content of slag. Chen et al. [38] and Basu et al. [39] conducted trials in industrial converter and found that the sudden decrease in L_p with increasing MgO is attributed to the significantly decreasing the activity coefficient of FeO and increasing the activity coefficient of P_2O_5 . Phosphorus partition ratio is also plotted with respect %MgO in slag as shown in Figure 9. It is following the same trend as L_p decreases with increase in MgO content of slag. It was observed that MgO level in all stages of slag contains less wt.% MgO with ladle slag addition compared to normal heats. This may be due to dilution effect as slag weight is more for heats with ladle slag addition.

Phosphate capacity of slag was calculated for all three phases of blowing and is plotted against the temperature as shown in Figure 10. From the results, it was observed that it decreases with an increase in temperature. The findings are consistent with the reported results [40-42].

This is due to the stability of ($\%PO_4^{3-}$) ion in the slag. Average phosphate capacity of BOF slag with ladle slag addition was slightly better than that of normal heats and it was presented in Table 5.

Blow condition

In some heats, soft blow was observed particularly near about 3000-4000 Nm³ of oxygen. This may be due to low melting point of ladle slag which dissolves fast and form high slag volume. This soft blowing tendency was corrected by modifying the lance profile. The comparison of lance profile is presented in Table 6. Changing initial blowing height from 2.8 m to 2.4 m helped in controlling the slag volume and the soft blowing tendency was controlled.

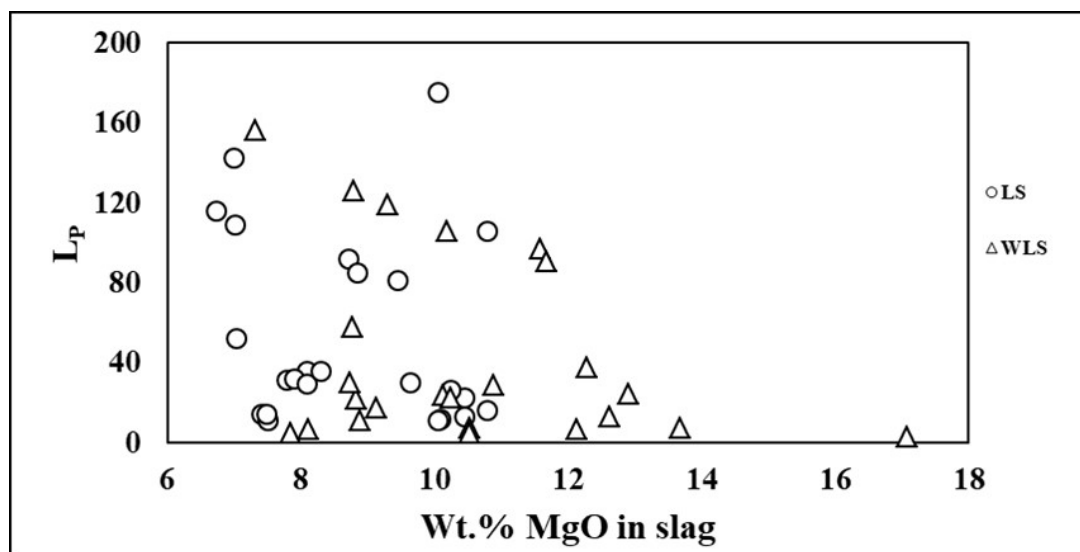


Fig.9 - Variation of L_p as a function of wt. %MgO in BOF slag: with and without ladle slag addition.

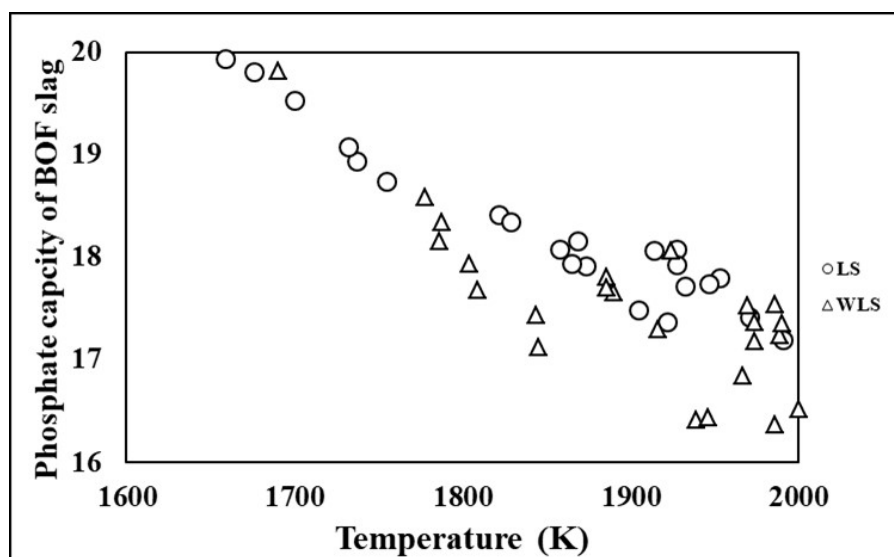


Fig.10 -Variation of phosphate capacity of BOF slag as a function of temperature-with and without ladle slag addition.

It was also observed that ladle slag addition is a function of Si content of the hot metal. Hence, ladle slag addition is encouraged to more than 2 tonnes (2.5 tonnes), when silicon content of hot metal was less than 0.4%. Because at such low Si level, slag formation is difficult and slag volume required for refining is inadequate. Ladle slag addition

may solve this problem. In similar way, ladle slag addition should be reduced or restricted to below 2 tonnes when Si level is more than 0.8% while for Si level in between 0.41-0.80% Si which is also the case of this present study, 2 tonnes of ladle slag was added. The ladle slag addition chart as a function of ladle slag is presented in Table 7.

Tab.6 - Blowing lance profile:

Existing lance profile		Modified lance profile	
Lance Height (m)	Oxygen blow range (Nm ³)	Lance Height (m)	Oxygen blow range (Nm ³)
2.8	1-1600	2.4	1-2000
2.6	1601-2800	2.2	2001-5000
2.4	2801-3600	2.0	5001-6500
2.2	3600-4100	1.8	6501-blow end
2.4	4101-4800		
2.0	4801-6500		
1.8	6501-blow end		

Tab.7 - Ladle slag addition chart as a function of silicon content of hot metal.

S No.	Wt.% Si in hot metal	Amount of ladle slag to be added per heat (kg)	Lime saving per heat (kg)	Remarks
1.	0.35-0.50	2500	1200-1300	Lime saving is 50-60% of the ladle slag addition
2.	0.51-0.80	2000	1000-1100	
3.	0.81-1.00	1500	700-800	

CONCLUSIONS

The objective of this study was to investigate the effect of recycled ladle slag in BOF on various parameters such as partial replacement of lime with ladle slag, slag formation particularly in early stage of blow, steel quality (dephosphorization efficiency), vessel lining erosion and ease of blowing operation. The results are summarized below.

1. Melting point of ladle slag was measured with the help of Ash Fusion equipment. It was found that melting range of ladle slag is varying from 1653-1693 K. Hence, average melting point taken in this study was 1673 K.
2. In the present study, it was observed that for every 2 tonnes of ladle slag addition, lime consumption is reduced by 1 tonne per heat. Hence, specific lime consumption is reduced by 7.5 kg per tonne of crude steel.
3. Ladle slag addition helped in early slag formation. This is established with the help of intermediate steel

and slag samples. Average slag basicity with ladle slag addition in 1st stage of blowing i.e., B1 was found to be 2.8 as compared to 1.8 without its addition. The slag basicity is increased in spite of low lime addition with ladle slag addition.

4. Dephosphorization efficiency of heats with ladle slag addition was slightly better than without its addition. This is further confirmed with the partition ratio and phosphate capacity of BOF slag; both showed improved results with ladle slag addition.

5. Cooling effect of ladle slag is estimated with the help of thermodynamics and it is compared with iron ore addition. It was estimated that cooling efficiency of ladle slag is 0.42 times of iron ore. Hence for every 2 tonnes of ladle slag addition, iron ore consumption is reduced by 800 kg per heat (6 kg per tonne of crude steel).

6. High cooling effect of ladle slag resulted in reduction

of iron ore requirement during blowing in order to get optimum opening temperature. This results in low FeO generation in the blow end period and helped in improving the iron yield by approximately 200 kg per heat. However, low FeO generation has no adverse effect on dephosphorisation efficiency as well as on refractory erosion with ladle slag addition.

7. It was observed that slag weight is slightly increased with ladle slag addition by 1 tonne per heat. The same

has been observed in the previous studies of several authors.

8. In some heats, soft blow was observed; this is due to early slag formation with ladle slag addition (low melting temperature). The same has been addressed by modifying the lance profile.

9. Ladle slag addition chart as a function of hot metal silicon level was also presented in this study.

REFERENCES

- [1] Branca, T.A., Colla, V., Algermissen, D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R. and Rosendahl, S (2020) Reuse and recycling of by-products in the steel sector: recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe. *Metals*10(3):345. <https://doi.org/10.3390/met10030345>
- [2] Rieger, J. and Schenk, J (2019) Residual processing in the European steel industry: a technological overview. *Journal of Sustainable Metallurgy*5(3):295-309. <https://doi.org/10.1007/s40831-019-00220-2>
- [3] Wang, Y., Yang, S., Li, J., Wang, F. and Gu, Y (2017) Cyclic use of ladle furnace refining slag for desulfurization. *Journal of Sustainable Metallurgy*3(2):274-279. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0078-0>
- [4] Lancellotti, I., Piccolo, F., Traven, K., Češnovar, M., Ducman, V. and Leonelli, C (2021) Alkali Activation of Metallurgical Slags: Reactivity, Chemical Behavior, and Environmental Assessment. *Materials* 14(3):639. <https://doi.org/10.3390/ma14030639>
- [5] Češnovar, M., Traven, K., Horvat, B. and Ducman, V (2019) The potential of ladleslag and electric arc furnace slag use in synthesizing alkali activated materials; the influence of curing on mechanical properties. *Materials*12(7):1173. <https://doi.org/10.3390/ma12071173>
- [6] Adesanya, E., Ohenoja, K., Kinnunen, P. and Illikainen, M (2017) Alkali activation of ladle slag from steel-making process. *Journal of Sustainable Metallurgy*3(2):300-310. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0089-x>
- [7] Bignozzi, M.C., Manzi, S., Lancellotti, I., Kamseu, E., Barbieri, L. and Leonelli, C (2013) Mix-design and characterization of alkali activated materials based on metakaolin and ladle slag. *Applied clay science*73:78-85. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.09.015>
- [8] Yi, Y.R., Lin, Y., Du, Y.C., Bai, S.Q. and Chen, Y.G (2021) Accelerated carbonation of ladle furnace slag and characterization of its mineral phase. *Construction and Building Materials*276:122235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122235>
- [9] Li, C.C., Lin, C.M., Chang, Y.E., Chang, W.T. and Wu, W (2020) Stabilization and Crystal Characterization of Electric Arc Furnace Oxidizing Slag Modified with Ladle Furnace Slag and Alumina. *Metals*10(4):501. <https://doi.org/10.3390/met10040501>
- [10] Brandaleze, E., Benavidez, E. and Santini, L (2018) Treatments and recycling of metallurgical slags. In *Recovery and Utilization of Metallurgical Solid Waste*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.80595
- [11] Aminorroaya-Yamini, S., Edris, H., Tohidi, A., Parsi, J. and Zamani, B (2004) Recycling of ladle furnace slags. 2nd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking (SCANMET II):379-384 Sweden: MEFOS.
- [12] Behera, N., Raddadi, A., Ahmad, S., Tewari, N. and Zeghaibi, O (2016) Use of Al-Killed Ladle Furnace Slag in Si-Killed Steel Process to Reduce Lime Consumption, Improve Slag Fluidity. In *Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts:1031-1039* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48769-4_110
- [13] Sanghamitra Bharati, V. M. Basavaraja, R. J. Jagadeesha, K. Jagteri, R. Sah, G. Prasad, T. Behl & S. Manjini (2019) From waste to wealth: recycling the secondary resource from steel ladle as a flux in Si-killed steelmaking process, *Ironmaking & Steelmaking*46(8):794-799. <https://doi.org/10.1080/03019233.2018.1432251>
- [14] Varanasi, S.S., More, V.M.R., Rao, M.B.V., Alli, S.R., Tangudu, A.K. and Santanu, D (2019) Recycling ladle furnace slag as flux in steelmaking: A review. *Journal of Sustainable Metallurgy*5(4):449-462. <https://doi.org/10.1007/s40831-019-00243-9>

- [15] Yildirim, I.Z. and Prezzi, M (2011) Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag. *Advances in Civil Engineering* 2011:1687. <https://doi.org/10.1155/2011/463638>
- [16] Shi, C (2002) Characteristics and cementitious properties of ladle slag fines from steel production. *Cement and Concrete Research* 32(3):459-462. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00707-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00707-4)
- [17] Vlcek, J., Tomková, V., Ovcacikova, H., Ovcacik, F., Topinkova, M. and Matejka, V (2013) Slags from steel production: properties and their utilization. *Metalurgija* 52(3):329-333.
- [18] Rađenović, A., Malina, J. and Sofilić, T (2013) Characterization of ladle furnace slag from carbon steel production as a potential adsorbent. *Advances in Materials Science and Engineering* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/198240>
- [19] Sofilić, T., Mladenović, A., Oreščanin, V. and Barišić, D (2013) Characterization of ladle furnace slag from the carbon steel production. In 13th International Foundrymen Conference, Innovative Foundry Processes and Materials, F. Unkić (ur.), Opatija pp:354-369.
- [20] Manchisi, J., Matinde, E., Rowson, N.A., Simmons, M.J., Simate, G.S., Ndlovu, S. and Mwewa, B (2020) Ironmaking and steelmaking slags as sustainable adsorbents for industrial effluents and wastewater treatment: a critical review of properties, performance, challenges and opportunities. *Sustainability* 12(5):2118. <https://doi.org/10.3390/su12052118>
- [21] Gollapalli, V., Tadvika, S.R., Borra, C.R., Varanasi, S.S., Karamched, P.S. and Rao, M.V (2020) Investigation on stabilization of ladle furnace slag with different additives. *Journal of Sustainable Metallurgy* 6(1):121-131. <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00263-w>
- [22] Pontikes, Y., Jones, P.T., Geysen, D. and Blanpain, B (2010) Options to prevent dicalcium silicate-driven disintegration of stainless steel slags. *Archives of Metallurgy and Materials* 55:1167-1172. <https://doi.org/10.2478/v10172-010-0020-6>
- [23] Sheshukov, O.Y., Mikheenkova, M.A., Egiazaryan, D.K., Ovchinnikova, L.A. and Lobanov, D.A (2017) Chemical stabilization features of ladle furnace slag in ferrous metallurgy. *KnE Materials Science* 59-64. <https://doi.org/10.18502/kms.v2i2.947>
- [24] Dahlin, A., Tilliander, A., Eriksson, J. and Jönsson, P.G (2012) Influence of ladle slag additions on BOF process performance. *Ironmaking & steelmaking* 39(5):378-385. <https://doi.org/10.1179/1743281211Y.0000000021>
- [25] Dahlin, A., Eriksson, J., Tilliander, A. and Jönsson, P.G (2012) Influence of ladle slag additions on BOF process under production conditions. *Ironmaking & steelmaking*, 39(5):318-326. <https://doi.org/10.1179/1743281211Y.0000000073>
- [26] N Assis, A., A Tayeb, M., Sridhar, S. and J Fruehan, R (2019) Phosphorus equilibrium between liquid iron and CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-P₂O₅ Slags: EAF slags, the effect of alumina and new correlation. *Metals* 9(2):116. <https://doi.org/10.3390/met9020116>
- [27] Deo, B, Halder, J, Snoeijer, B, Overbosch, A, and boom, R., 2004, Effect of MgO and Al₂O₃ variations in oxygen steelmaking (BOF) slag on slag morphology and phosphorus distribution. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004.
- [28] S.K.Gupta, 2020, Challenges of using iron-ore as coolant in BOF steelmaking, *Steel & Metallurgy*, 32.
- [29] Liyou Wanga, Zhengliang Xueb and Jianli Lic, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 170 (2018) 022143:1-11, doi :10.1088/1755-1315/170/2/022143
- [30] X. M. Yang, J. Y. Li, G. M. Chai, D. P. Duan and J. Zhang, "A thermodynamic model for predicting phosphate capacity of CaO-based slags during hot metal dephosphorisation pretreatment process". *Ironmaking Steelmaking*. 2017; 44(6):437-454.
- [31] C. Wagner, "The concept of the basicity of slags", *Metall. Trans. B*. 1975; 6(3):405-409.
- [32] R. K. Pathak, K. K. Sahoo, M. V. M. Rao, A. Chakrabarti, S. Jee, R. P. Singh, G. Veerababu, 2021, *AIST Transactions*, Vol. 18, No. 6:268-280. DOI 10.33313/TR/0921
- [33] B. Deo, P. K. Gupta, M. Malathi, P. Koopmans, A. Overbosch, R. Boom, "Theoretical and practical aspects of dissolution of lime in laboratory experiments and in BOF", June 2006, 5th European Oxygen Steelmaking Conference (EOSC), at Aachen, Germany. DOI: 10.13140/2.1.2982.2086
- [34] F. Liu, G. Wang, Y. Zhao, J. Tan, C. Zhao and Q. Wang, "Hot metal dephosphorisation by low basicity slag in the early phase of converting process". *Ironmaking & Steelmaking*. 2019; 46(4):392-403.
- [35] C. Cicutti, M. Valdez, T. Perez, J. Petroni, A. Gomez, R. Donayo, L. Ferro, "Study of slag-metal reactions in and LD-LBE converter". Sixth International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts. Stockholm-Helsinki, 2000.
- [36] IMPHOS: Improving phosphorus refining (EU Report)
- [37] V. O. Sinelnikov and D. Kalisz, "Influence the FEO content on slag viscosity at his spraying increase the life of the refractory lining" *Glass and Ceramics*, Vol. 73, Nos. 3 – 4, July, 2016, 144-148. DOI 10.1007/s10717-016-9844-5
- [38] G. J. Chen and S. P. He, "Effect of MgO content in slag on dephosphorisation in converter steelmaking", *Ironmaking & Steelmaking*. 2015; 42(6):432-438.
- [39] S. Basu, "Studies on dephosphorisation during steelmaking". Phd thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2007.
- [40] H. Suito, R. Inoue and M. Takada, "Phosphorus distribution between liquid iron and MgO saturated slags of the system CaO-MgO-FeOx-SiO₂". *Tetsu-to-Hagane*. 1981; 67: 2645-2654
- [41] H. Suito, R. Inoue and M. Takada, "Phosphorus Distribution between Liquid Iron and MgO Saturated Slags of the System CaO-MgO-FeOx-SiO₂". *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, 21 (1981), 40-46.
- [42] P. B. Drain, B. J. Monaghan, R. J. Longbottom, M. W. Chapman, G. Zhang and S. J. Chew, "Phosphorus Partition and Phosphate Capacity of Basic Oxygen Steelmaking Slags". *ISIJ Int*. 2018; 58(11):1965-1971.



CORSO

PRIMA EDIZIONE

Fonderia per non fonditori

30 GIUGNO 1-7-8-12-13-14 LUGLIO 2022



Courtesy of © Fonderie Almetti

Il settore della fonderia italiana è caratterizzato dalla presenza di oltre 1000 imprese, ripartite per specializzazione di produzione (176 fonderie di metalli ferrosi e 843 fonderie di metalli non ferrosi) e si posiziona al 12° posto del ranking mondiale con una produzione di 1,6 milioni di tonnellate di getti di cui circa 900.000 tonnellate ferrosi e circa 660.000 tonnellate non ferrosi. Grazie alle notevoli capacità di innovazione, sviluppate in questi anni dalle Imprese del Settore, la produzione di semilavorati e/o prodotti finiti per la gran parte dei Settori industriali, la tecnica di fonderia rappresenta oggi una tecnologia insostituibile per soddisfare le esigenze delle industrie Committenti.

La possibilità di utilizzare una vasta gamma di leghe ferrose e non ferrose, con caratteristiche chimico fisiche e tecnologiche tali da consentire la piena libertà progettuale nella realizzazione dei getti, in ogni forma e dimensione, pongono la tecnologia della fusione tra le soluzioni costruttive più convenienti per realizzare pezzi da pochi grammi ad oltre 100 tonnellate di peso unitario, con caratteristiche meccaniche e tecnologiche ai più elevati standard dei materiali da costruzione.

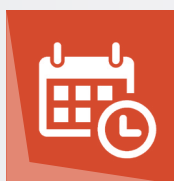
Mediante il processo attuato nella fonderia è possibile realizzare una serie di prodotti finiti (getti), con caratteristiche fisiche, metallurgiche e dimensionali ben definite, colando direttamente il metallo allo stato liquido in una opportuna forma che riproduce, in negativo, la geometria esterna del pezzo da ottenere, lasciandolo poi solidificare e raffreddare. In questo contesto, allo scopo di fare conoscere la tecnologia di fonderia, le caratteristiche dei materiali formati e colati, i vantaggi ed i limiti legati alla tecnica di produzione dei pezzi realizzati per formatura e colata e al loro più razionale impiego nelle varie applicazioni, l'Associazione Italiana di Metallurgia ed Assofond (Associazione Italiana Fonderie) sono lieti di organizzare un corso di base rivolto a tutte quelle persone che quotidianamente sono coinvolte nell'acquisto, nella progettazione, collaudo e nell'utilizzo di particolari realizzati per formatura e colata di leghe Ferrose e non Ferrose, così da offrire l'opportunità di approfondire ai "non addetti ai lavori" le proprie conoscenze sul settore e su ciò che la tecnica di fonderia è in grado di offrire, allo scopo di favorire i rapporti tra fonderia e potenziali Committenti/utilizzatori di getti, nell'interesse reciproco e consentire nel contempo un'azione formativa nel settore alle nuove leve operative.

Il Corso è dedicato alla conoscenza delle principali famiglie di leghe e alle loro proprietà, ai criteri di selezione e di progettazione in funzione degli impieghi, affrontando gli aspetti che riguardano la metallurgia, le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche, i trattamenti termici, la resistenza alla corrosione, la solidificazione, le tecnologie di produzione, i controlli, i difetti, la saldatura, l'impatto ambientale dei processi produttivi, il mercato italiano e mondiale. Il Corso si articolerà in sette giornate, per un totale di 28 ore. Alla fine di ogni giornata i docenti saranno a disposizione per approfondire i temi trattati.

Coordinamento



Prof. Giovanni Maria Caironi



30 giugno 1-7-8-12-13-14 luglio 2022

totale ore: 28



Da remoto:

Modalità sincrona

Diretta live su piattaforma Zoom

Modalità asincrona

Registrazioni su canale Youtube



Evento

FaReTra

Fair Remote Training

organizzato dal Centro di Studio
AIM/Assofond per la **Fonderia**



Segreteria organizzativa:

Associazione Italiana di Metallurgia

t. +39 02 76021132 +39 02 76397770

spedizioni@aimnet.it

www.aimnet.it

Q-SYM² and Automatic Scrap Classification

a joint solution for the Circular economy and sustainability of Steel Manufacturing, to ensure the scrap yard operates competitively

edited by: M. Ometto, C. Ponton, D. Armellini

A hype topic, one that now has become an established idea, is the possibility to increase plant efficiency by gaining and applying a better awareness of how scrap is performing in the melting process. Scrap management becomes the key point in cost reduction since it could comprise up to the 50% of the overall production costs.

Technological innovations promise to be the driver to improving raw material management, shortening its acquisition time and reducing the waste during the metallurgical process.

Expensive raw materials require a huge involvement of plant resources, and are highly dependent on the human factor. All the quality and logistics decisions belong to the judgment of the operators, increasing the chance of non-conformities (e.g., erroneous classification, material discharged in the wrong location, error loading material in the buckets).

To overcome these issues, online classification of the scrap is the keystone. Starting from the arrival of scrap at the plant, through the acceptance of the delivery note and the check-in of the carriers, Automatic Scrap Classification gives support to inbound-scrap control and classification, enabling real-time traceability of the scrap inside the bays. The Quality Control System will benefit from all the details of the material used in production.

Danieli Automation, with its Digi&Met business unit, implemented the Q-ASC a system that, leveraging Artificial Intelligence (AI) and deep learning techniques, can assist scrap classification procedures through computer vision and automatic scrap recognition. The goal of scrap identification is to localize and assign a specific class label to a given visual sample of scrap or inert/hazardous material. The classification can be conducted using different methodologies based on material shapes or dimensions.

Danieli Automation Q-ASC is the entry point for the Scrap Yard Management and can be considered as the central data hub for managing the scrap inbound to the plant, connecting all the systems requiring reliable scrap data such as ERP, MES, WMS, and the Process Control and Quality Control Systems. Q-ASC collects, consolidates and transforms data, in the form of pictures, into information for scrap classification.

STEEL INDUSTRY AND CIRCULAR ECONOMY

This article describes the optimisation of the scrap lifecycle in steel manufacturing, especially in the decarbonisation of steel manufacturing. The scrap cycle is a paradigmatic demonstration of the importance of changing the business model from Linear to Circular Economy. To achieve this, it is necessary to rethink and reshape the technological approach, exploiting the great potential contribution to reduce CO₂ emissions and waste quantities. In this sense, it is important to analyse the case study of scrap use in steel manufacturing.

**Marco Ometto, Cristiano Ponton,
Davide Armellini**

Digi&Met direction business unit, Danieli Automation S.p.a
m.ometto@dca.it / c.ponton@dca.it / d.armellini@dca.it

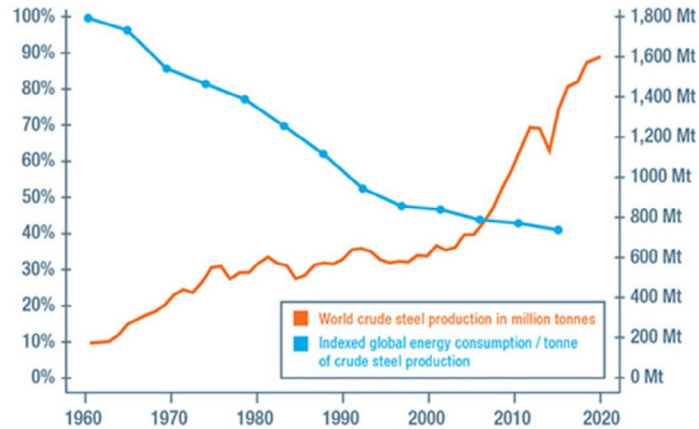


Fig.1 - Crude steel production and specific CO₂ emissions compared to 1960 (=100). Source WSA [1]

Considering that the steel is a 'permanent' material, 100% recyclable (champion of performance/OpEx), thanks to its ability to maintain unique properties when properly processed, and the increased results obtained since the 1960s in terms of steel production vs energy consumption (Fig.1 - a typical indicator of environmental efficiency), the EU decided to introduce carbon reduction as hype topic – and set this as a mandatory goal for steelmakers to accomplish. Targeting Carbon Neutral by 2050, with the intermediate target of a 45% reduction by 2030, this now represents a change in the priorities of Climate Change, and it has practical implications on the steel sector concerning both for manufacturing and usage.

In this challenging context, the transition from the Linear Economy to the Circular Economy (Fig.2) plays a big role in

the progress toward carbon neutrality.

In terms of definitions and differences, the Linear Economy model follows the "take-make-dispose", step-by-step approach: raw materials are collected, transformed into products, used in the market, and finally discarded as waste. The added value is created, in this economic system, by producing and selling as many products as possible [1]. Instead, the Circular Economy paradigm follows the 4R approach: "reduce-reuse-recycle-remanufacture". To clarify: the resources and waste production are minimised; reuse of products is maximised; recycling of raw materials and material with higher quality standards, no longer usable in the normal process, are maximised; and the old products are directly remanufactured. Moreover, circularity implies that materials are reused as much as possible.



Fig.2 - The transition from Linear to Circular Economy. Source: WSA [2].

The integration of the scrap cycle as key step for efficiency and reduction of environmental footprint

The paradigm changes in the steel manufacturing business, to comply with the achievement of Carbon Neutrality by 2050, will be a long-term process requiring sizable economic efforts to exploit consistent effects, to realize Sustainable Steel Manufacturing¹.

To analyse issues and consequences with practical cases, the use-case of the scrap cycle within the EAF route is con-

sidered. The optimisation of the scrap cycle management is the key point for the future steelmaking industry to implement the process toward decarbonisation.

As a premise, the EAF route is highly relevant to this process [2], [3] due to the fact that the volume of steel produced by EAFs and the associated scrap demand will increase substantially in the coming years (see Table 1 on the impact of 1 ton of scrap in terms of savings) and initiating further actions in all of the chain's steps.

Tab.1 - Savings for each ton of remanufactured scrap comparing between EAF and BF/BOF routes.

Source: Siderweb Research Department

Savings for 1 ton of remanufactured steel	Iron Ore tons	Coal tons	Limestone kg	Electricity kWh	Oil barrels	Landfill space m ³
	1,1	0,63	55	52	1,8	2,3
Savings of EAF route vs BF/BOF route	Energy	Virgin Raw Materials	Water	Pollutants	direct emissions of CO	Mine Waste
	76%	90%	40%	76%	86%	97%

To do that, the European Commission refers to "twin green and digital transitions or also called Twin Transition" [4], pointing to the digital and climatic transitions as pre-requisites to be achieved. As a consequence, it becomes necessary to exploit the expected benefits of integrating a seamless scrap process. An example of how such integration can be realized to provide consistent benefits through the implementation is the "smartisation" of the scrap cycle. The integration will involve embedding intelligent appli-

cations based on Artificial Intelligence techniques and mathematical models. For these reasons, the integrated approach provided by the Q-SYM² suite software will be used as a practical guideline to show how seamless integration of the scrap cycle can be carried out proficiently to address the main topics of integration and smartisation, exploiting the expected benefits and solving the main issues of this challenge. As a conceptual map of the approach, consider Fig. 3.

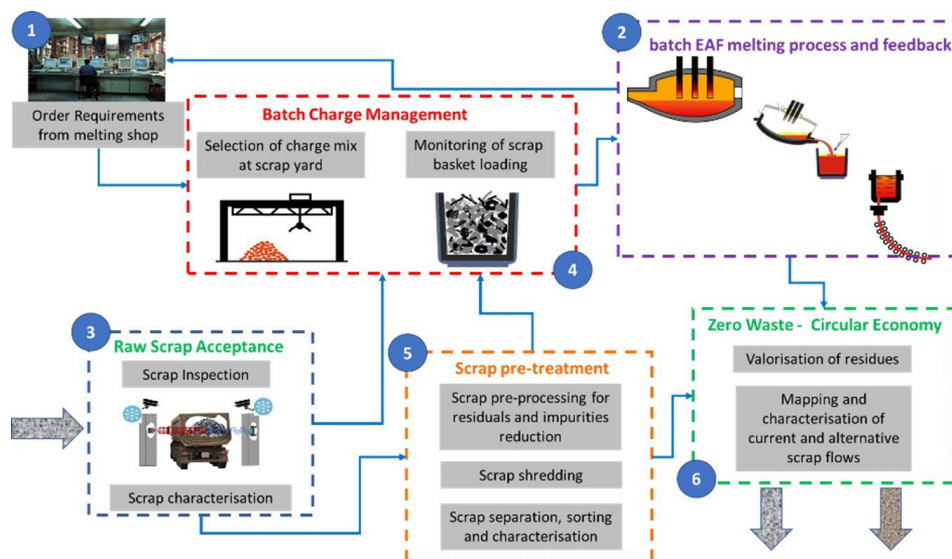


Fig.3 - The scrap cycle within the steelmaking plant.

¹Sustainability is defined according to its three pillars: "Prosperity, Planet and People." Prosperity is intended as the economic value added for the satisfaction of steel stakeholders and shareholders; Planet is intended as the reduction of the environmental footprint, such as reduction of CO₂ emissions, optimal use of resources etc.; People as the impact on social issues, such as health and safety, diffused improvement of life quality for the workers and neighbouring community, creation of workplaces, increase in training people for new or improved skills, etc.

Issues, benefits and approach of the integrated scrap chain: Q-SYM² as an integrated system for Smart Scrap Cycle Management.

The scrap cycle is inherently circular. In this context, Q-SYM² is an example of an efficient and effective tool for optimising scrap management, developed by the Danieli Automation company. The system has been designed by a group of analysts, experts in steel manufacturing, with the direct involvement of scrap suppliers and steelmakers (part of the Danieli Holding) and the cooperation of selected Danieli customers to address objectives, needs and priorities.

The target stakeholders in this process are:

1. scrap suppliers running the part of the scrap supply chain from preliminary classification to the discharge of trucks and rail cars to steel plants (revised block 3 and as-it-is block 5).
2. steelmakers running the scrap cycle internally (at least block 3 and block 5; block 6 might not be included in the value chain and left to third parties).

The digitalisation of steel manufacturing is a step-by-step process. Some considerations will be made in the following regarding the key steps for system implementation with the aim of optimising operations in order to provide the best scrap charge to the EAF.

Step1: The key objective of the seamless integration and smartisation of the scrap cycle

The main objective of the seamless integration and smartisation of the scrap cycle consists of providing the furnace with the best classified raw material, processed upstream by equipment or machinery so as to improve the transformation costs in the melting process.

From the functional point of view the integration does not consider, in this discussion, the direct in-line access to the purchasing process and the possibility of sharing timely data to improve management performances. Instead, checking the information from and to the purchasing process and, in general, between the scrap management system and the Enterprise Resource System (ERP), opens the possibility of extending the vision of the smart system to a set of new functions.

The full integration of meltshop and machinery and the efficient data flow is the basic pillar of the integrated intelligent system necessary to achieve smart management of scrap. Q-SYM² is based on a set of new technologies as in-

telligent vision, AI-based software and optimisation modules that efficiently support the decision makers in each step, from the characterisation phase to the optimisation of the furnace loading. The customisable HMI and process monitoring features provide real-time suggestions on the optimal resolution of the main operational issues.

Step 2: Check of the ICT infrastructures

A crucial aspect in the conceptual design of the integration process is realized by a consistent data flow among different equipment, sensors and systems, to plan and execute operations as fast as possible. Planning, scheduling and supervision of operations need reliable links with upward, if any, and downward manufacturing areas. It is well known that the efficiency of the scrap process is directly affected by the level and performances of the ICT infrastructure. So, a first step for checking the ICT landscape of companies is required to get the maximum level of expected performances and benefits. The optimal scrap management needs a continuous exchange of information with the inventory, the purchasing process and the Enterprise Resource Management (ERP), as shown by the aside Fig. 4.

Furthermore, a proper IT infrastructure influences the performance, providing real-time data to the final end-users, reducing manual data entry, and creating an historical knowledge base for analysis.

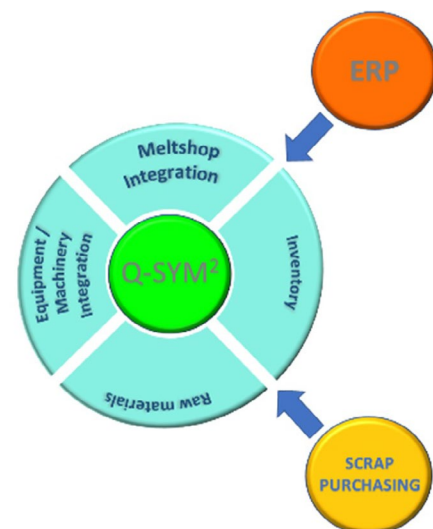


Fig.4 - Q-SYM²: the seamless integration of functions in the scrap chain and connections to key functions and systems.

On these considerations, Q-SYM² has been developed by looking particularly at the interoperability and the easy integration with legacy and new systems. Another main aspect of Q-SYM² is its modularity, to allow its evolution in time with the implementation of basic and advanced functionalities according to the available investment and the technology maturity.

Step 3: Progressive implementation and evolution of the Intelligent Scrap Yard Management.

The achieved versus expected benefits are the key factor to decide how to evolve the system with additional trainings of the AI models, or with new investments in technologies

to improve the efficiency of the scrap yard. To measure performances and efficiency to improve operational and organizational procedures, a continuous improvement approach is required. The "management-by-KPIs" approach is supported by a dedicated BI module that gives insights on the measures, the possible areas of improvement, and the actions required to achieve it. Table 2 gives a view at a glance of such expectations and the directions of the possible improvements. For both basic and advanced functions, the set of benefits and correlated KPIs to measure them are listed. To a certain extent, this is a segment of the process monitoring up to the melting process.

Tab.2 - Basic and extended benefits of Intelligent Scrap Yard Management and relevant KPIs.

BASIC FUNCTIONS		ADVANCED CAPABILITIES	
EXPECTED BENEFITS	KPIs	EXTENDED BENEFITS	EXTENDED KPIs
MANAGEMENT COST REDUCTION	Management effectiveness	MELTING PROCESS IMPROVEMENT	Rate of Material continuously charged
	Automated inventory management		Reduction of material inventory buffer
	Labor costs		Detailed input for process setup and control (e.g. volume, weight, scrap composition)
MATERIAL TRACKING ACCURACY	Incoming material quality		Rate of Execution of furnace production according to Furnace recipes
	Real time inventory		Detect non conformities
PERFORMANCE INCREASE	Availability of the furnace production schedule & recipes for machine setup/loading		BUSINESS INTELLIGENCE
	No delay on discharging activities due to operator presence	Data available for business analysis (e.g. End To End process, yield calculation, inbound scrap quality analysis)	
	Reduction of crane number / usage	ANTI - FRAUD / SECURITY	Rate of Material conforms to the supplier declaration
	Reduce transformation costs	ALTERNATIVE BUSINESS	Waste material (non ferrous) recycling
SAFETY	Remove operators from the warehouse		
	Virtualized environment		
	Remote control		

ICT evolution impact on scrap management systems.

Considering the exponential evolution of the ICT systems of the last decade, which likely will continue in the immediate future, it is essential to have the possibility of evolving the systems with additional modules. Q-SYM² is a Smart System implemented with a modular design that allows it to grow it in an easy way, implementing at the time additional modules and associated functions. Being part of an extendable suite, with the possibility of customization, Q-SYM² makes it possible to comply with ICT and technological evolution to adopt new, standardized connection protocols or new, emerging technologies for scrap management.

gement.

A view of the complete Q-SYM² suite, comprised of Core and Advanced Modules, is given in Fig. 5. This provides a functional description based on the six clusters and, for each of them, the relevant basic and advanced modules.

For example, the MELTSHP INTEGRATION cluster shows the basic module "FURNACE MONITORING" with the three advanced modules dealing with scrap processing, equipment instructions and monitoring of the charge mix. Charge Mix Monitoring is carried out closing the loop between the best approximation of the scrap charge, the already loaded scrap and the melting process evolution. The charge

management is done in the cluster Track; the loop consists of the real time tracking of the available scrap in the yard, the data received through the machine sensors during the

process and the furnace requirements in terms of melting recipes.

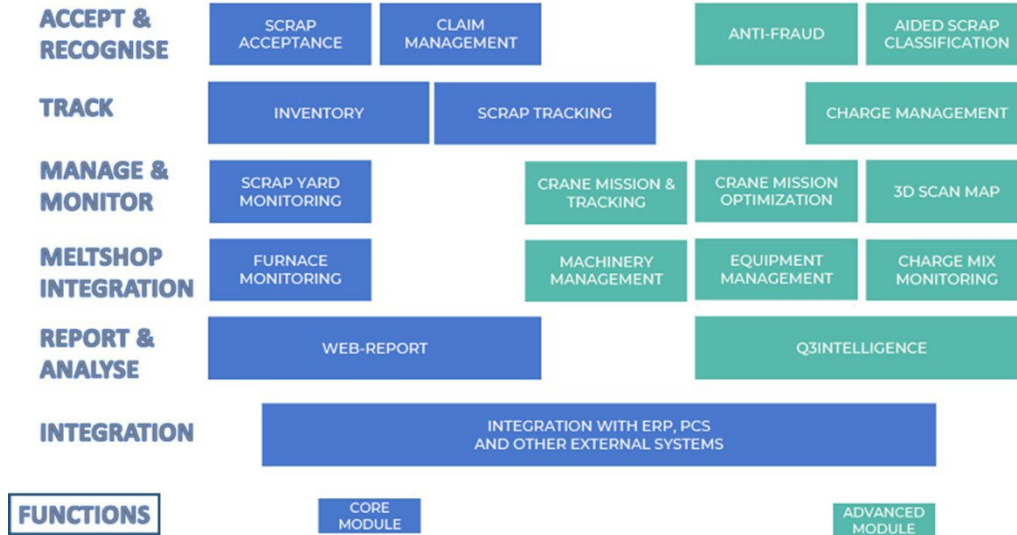


Fig.5 - Functional Clusters, Core and Advanced Modules.

The system architecture based on micro services represents the best solution to make updatable software according to new functions and the evolution of ICT. This is a noticeable feature of Q-SYM².

ICT new technologies contribute to the possibility to include architectural enhancements such as IoT, Cloud and Edge Computing. In particular IoT, when the exchange of

the secured data is integrated, can lead to further increase in terms of flexibility, interoperability and connectivity.

From the point of view of new features according to new needs, the CAPEX (and then OpEx) of the system can be a limitation. However, knowing exactly the complexity of the problem and the goals to be achieved, it leads to a system designed to be flexible in use and modular in CAPEX.

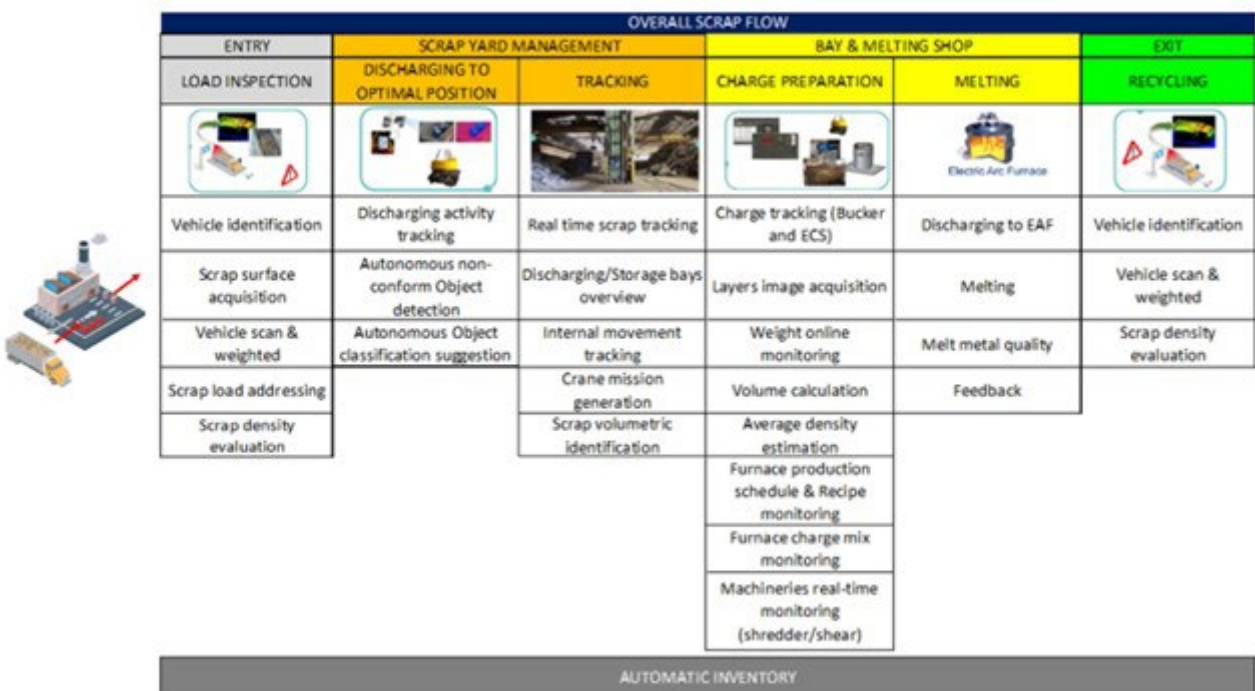


Fig.6 - The overall flow of the scrap cycle. Features and actions.

Each module performing specific actions, as listed above, is connected to the nearest modules with an already mentioned seamless connection. Coupled with Fig.6,

the data flow must follow the operational logic into the often-mentioned seamless chain (see Fig.7).

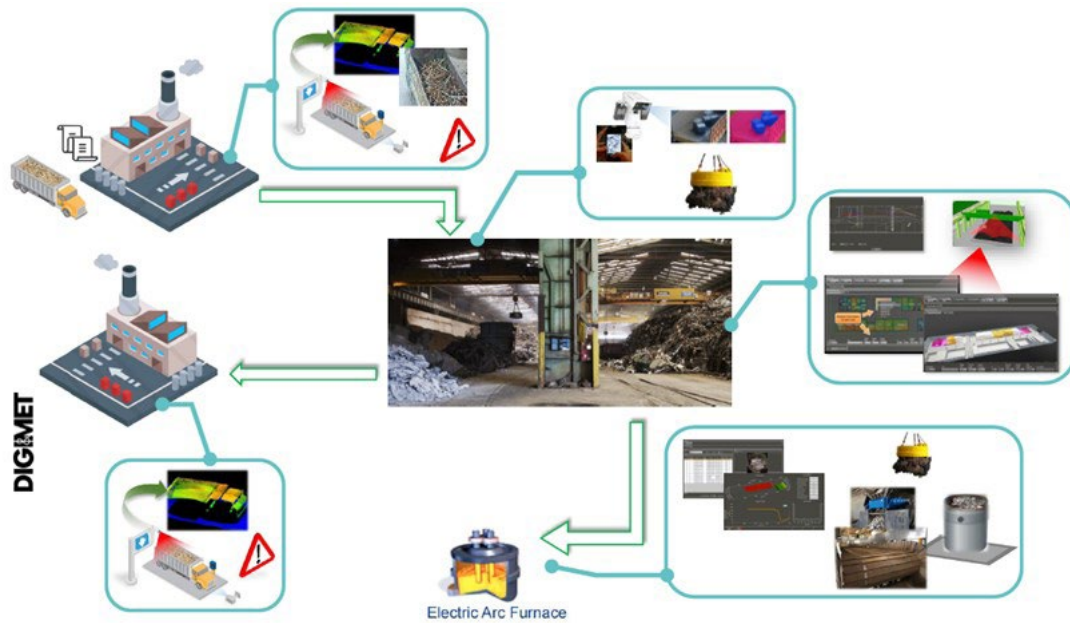


Fig.7 - Logic flow of scrap operations. Data flow mirrors the operational flow.

Automatic scrap classification: a centralized datahub to ensure the scrap yard competitiveness

The Q-SYM² smart system implements the emerging ICT technologies, leveraging the application of the AI (Artificial Intelligence) along with the deep learning techniques, to overcome the issues on the scrap classification, nowadays highly depended on the human factor.

The Q-SYM², with the advanced module called Q-ASC, supports the online scrap classification through computer vision and automatic scrap recognition. Starting at the arrival of the scrap at the plant, through the acceptance of the delivery note and the carriers check-in, the Automatic Scrap Classification gives support to the scrap inbound

control and classification enabling a real-time traceability of the scrap inside the bays.

The goal of scrap identification is to localize and assign a specific class to the different areas of a load or to automatically detect the presence of inert/hazardous material. The classification can be conducted using different methodologies based on material shapes, dimensions and other visual characteristics. The analysis and the material recognition, executed by the system, is conducted on the images acquired by fixed cameras or mobile devices.

Q-ASC is driven by the key factors of higher efficiency, higher reliability, higher safety and lower OpEx of the scrap yard.



Fig.8 - Comparison between original scrap acquisition and detected ones.

CONCLUSIONS

The context and trends to automatise the scrap management with an integrated seamless flow of operational data has been presented using the up-to-date software package Q-SYM² developed by the DIGI&MET Division of the Danieli Automation Company part of the Danieli Group. Q-SYM² aims at providing the best scrap charge to the EAF. Therefore, the approach based on large use of AI, Deep and Machine Learning has been applied to provide both the self-learning capabilities and the tailored optimisation of operations, considering the scrap characteristics dynamics.

This is a consequence of the inherent Circularity of scrap inside the steel sector, with still a large potential of contributing to the reduction of the environmental footprint.

Based on such premises, the needs coming directly by the steelmakers and the scrap suppliers have been considered as the main requirements for developing a modular and interoperable system, fully compliant with the Industry 4.0 paradigm. In this sense, the strong connection among operational logic, ICT architecture and potentials, and functionalities have been discussed.

Credible and provable benefits with its relevant KPIs, both in the systems implementation and operational and monitoring phases, had been analysed.

Saying that, the relevant dataflow must mirror the scrap flow for optimising operations with the aim to decrease OpEx, that it is still a complex issue, but with further room for implementation.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Steel in the circular economy, © World Steel Association 2015, ISBN 978-2-930069-80-7 [1] ESTEP AISBL, [2] Brussels, The Clean Steel Roadmap, November 17, 2020, <https://www.estep.eu/assets/Uploads/20210106-CSP-Roadmap-afterPublicConsultation2.pdf>
- [3] Green steel by EAF route: a sustainable value chain in the EU Circular Economy scenario, WORKSHOP REPORT, Bergamo, Nov 2019, ESTEP AISBL, E.Malfa et al., January 2020, <https://www.estep.eu/assets/Uploads/20191129-WorkshopReport-ESTEP-EAFGreenSteel-FinalDraft.pdf>
- [4] ENVIRONMENT, Eco-innovation Action Plan, https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/green-and-digital-twin-transition-also-spurs-inclusive-eco_en

Studio della corrosione in condense sature di CO₂

edited by: S.Lorenzi, M.Cabrini, F.Carugo, T.Pastore

Lo scopo di questo lavoro è lo studio della velocità di corrosione dell'acciaio nelle condense sature di CO₂. Sono state realizzate prove di perdita di peso in autoclave, esponendo dei provini completamente immersi in acqua satura di CO₂ a 20 bar e 50°C, in fase gassosa, in presenza di CO₂ satura di H₂O a 20 bar e 50 °C e su provini esposti in CO₂ satura di acqua con le pareti raffreddate a diverse temperature. Per realizzare queste prove è stato messo a punto un apposito sistema di raffreddamento dei provini in testa all'autoclave. Le prove sono state effettuate con diversi tempi di esposizione. I risultati ottenuti hanno evidenziato velocità di corrosione molto elevate in fase acquosa, che tuttavia si riducono al crescere del tempo di esposizione per la formazione di una scaglia di carbonato di ferro. I provini in CO₂ gassosa satura di acqua danno velocità di corrosione trascurabili. I provini in CO₂ con condensa mostrano delle velocità di corrosione che crescono al diminuire della temperatura di parete a causa dell'aumento della quantità di condensa.

PAROLE CHIAVE: CORROSIONE CO₂, GEOTERMIA, CCTS;

INTRODUZIONE

La corrosione dell'acciaio da parte della CO₂ riveste sempre maggiore importanza poiché alle ben note problematiche dell'industria dell'estrazione, del trasporto e della raffinazione del petrolio [1], negli ultimi anni si sono aggiunti lo sfruttamento dei pozzi geotermici [2] e le tecnologie per la cattura, il trasporto e lo stoccaggio dei fumi di combustione per ridurre le emissioni di gas serra [3] [4]. I meccanismi di corrosione in soluzioni sature di CO₂ a bassa e media pressione sono studiati da oltre 50 anni, e attualmente vi sono modelli previsionali anche molto complessi per stimare la velocità di corrosione in funzione della pressione parziale di CO₂, della temperatura, del pH e dei sali presenti in soluzione, nonché della formazione di scaglie più o meno protettive, anche se dei lavori recenti hanno sottolineato come questi modelli non siano efficaci nella predizione della velocità di corrosione in presenza di alte pressioni di CO₂, superiori alle condizioni supercritiche [1] [5] [6]. Tuttavia, questi modelli non tengono conto di condizioni particolari, quali quelle che possono verificarsi in seguito alla formazione di condensa sulle pareti interne fredde di tubazioni che trasportano gas umidi. Queste condizioni prendono il nome di "top of the line corrosion" e sono ancora molto poco studiate [7]. La fase condensata contiene una miscela di acqua ed idrocarburi che danno vita ad un film o alla formazione di gocce. Tale soluzione può essere molto corrosiva nelle prime fasi di esposizione nel caso contenga disciolti gas acidi quali CO₂

**Sergio Lorenzi, Marina Cabrini,
Francesco Carugo, Tommaso Pastore**

Università di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze applicate

e H₂S. Tale fenomeno corrosivo si osserva in presenza di flussi stratificati caratterizzati cioè da una separazione tra la fase gassosa e quella liquida, al contrario dei flussi anulari o intermittenti che bagnano l'intera superficie della tubazione. La transizione di fase vapore-liquido sulla parete è funzione del gradiente di temperatura tra il fluido trasportato e l'ambiente esterno. Il caso peggiore è rappresentato dai cosiddetti "punti freddi", caratterizzati da un'alta velocità di condensazione di acqua (WCR-water condensation rate), laddove l'isolamento termico della pipeline risulta danneggiato.

Il presente lavoro presenta i risultati preliminari di uno studio sull'effetto della condensa in presenza di vapore saturo e alte pressioni parziali di CO₂ caratteristiche degli impianti geotermici [2].

METODOLOGIA SPERIMENTALE

Le prove sono state eseguite su un acciaio HSLA (High Strength Low Alloy) API 5L X65 a struttura sorbitica. Sono stati impiegati provini cilindrici di Ø 16mm ed altezza 20mm, forati internamente in modo da poter essere fissati sul portacampioni attraverso delle viti M8 in acciaio inossidabile AISI 316. Le basi e l'interno del cilindro sono stati schermati con teflon in modo che solo la superficie laterale (circa 10 mm²) fosse esposta all'ambiente aggressivo. Le dimensioni di ogni provino sono state misurate con un calibro ventesimale, mentre per la densità è stato preso come riferimento

il valore medio di 7,81 kg/dm³. Il peso è stato misurato con una bilancia analitica con precisione ± 0.01 mg. Le prove sono state effettuate in un'autoclave in titanio con capienza di 6 L, parzialmente riempita con 1 L di acqua distillata, alla temperatura di 50°C e pressione di 20 bar di CO₂. I tempi di esposizione sono compresi tra le 45 ore (circa 2 giorni) e le 452 ore (18 giorni). Il pH della soluzione in queste condizioni è stato calcolato tramite la norma Norsok M506 pari a 3,7.

La Fig. 1a mostra lo schema di posizionamento dei provini in autoclave: per ciascuna prova, tre provini sono stati completamente immersi nell'acqua saturo di CO₂, tre in CO₂ saturo d'acqua e i tre rimanenti in CO₂ saturo d'acqua, ma collegati ad un sistema di raffreddamento all'interno del quale è stata fatta circolare una miscela di acqua e glicole etilenico alla temperatura di 30 o 5 °C. Per valutare l'efficienza del sistema realizzato per riprodurre le condizioni di top line corrosion, è stato misurato, a pressione atmosferica e in assenza di CO₂, il volume di acqua condensata da un vapore saturo a 50 °C in funzione della temperatura del liquido refrigerante circolante nel portacampioni; alla temperatura di 30 °C non si ha condensa, quindi lo scambio termico nel portacampioni non è sufficiente a raggiungere il punto di rugiada. Abbassando la temperatura del liquido refrigerante si osserva una quantità di condensa che aumenta con il tempo e al diminuire della temperatura del refrigerante (Fig. 1b).

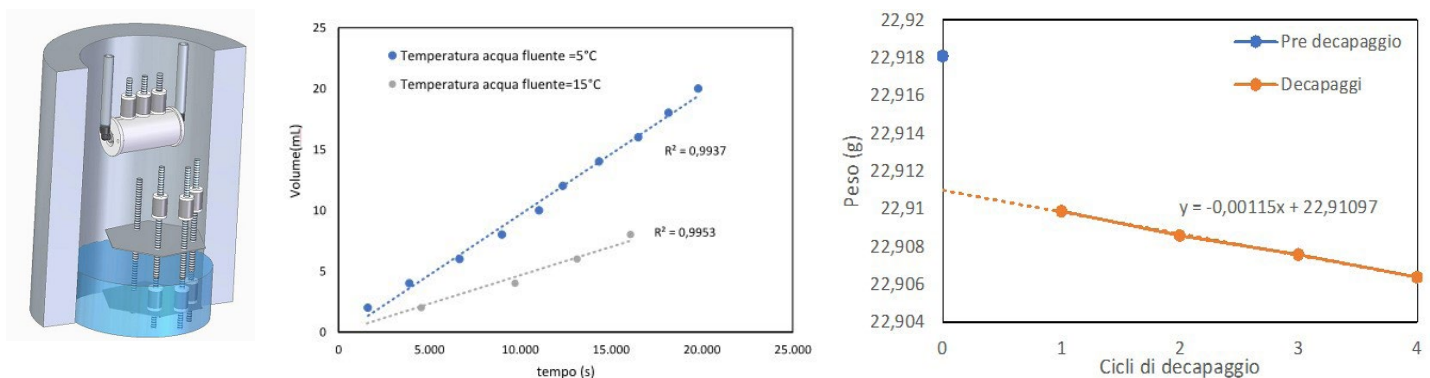


Fig.1 - (a) schema di posizionamento dei provini in autoclave; (b) volume di acqua condensata dal vapore saturo a 50 °C e 1 atm (senza CO₂) in funzione della temperatura del liquido refrigerante del portacampioni; (c) esempio di calcolo della perdita di peso in funzione dei decapaggi dei provini / (a) positioning scheme of the specimens in the autoclave; (b) volume of condensed water by saturated vapor at 50°C and 1 atm (without CO₂) as a function of the temperature of the cooling fluid; (c) example of the calculation of the loss of weight of the specimens during pickling.

La valutazione della perdita di peso al termine delle prove è stata eseguita in accordo alla norma ASTM G1-90. Ogni provino è stato decapato con una soluzione al di HCl

20% inibita con 3.5 g/L di esametilentetrammina a 60°C per 60 secondi. In accordo con la norma ASTM G1-90, i cicli di decapaggio sono stati ripetuti fino ad ottenere un an-

damento lineare nelle misurazioni in funzione dei cicli di decapaggio effettuati. Il peso finale del provino è stato ricavato per estrapolazione al tempo zero della retta che interpola l'andamento della perdita di peso (Fig. 1c).

Per l'esecuzione delle prove si è posizionato il portacampioni con i provini assemblati in autoclave, quindi si è messa l'acqua distillata preventivamente deaerata per 24 ore con N_2 . Dopo la chiusura dell'autoclave sono stati eseguiti tre cicli di pressurizzazione e depressurizzazione con N_2 a 40 bar per verificare la tenuta dell'autoclave e per eliminare l'ossigeno, quindi si è proceduto ad accendere il termostato e contemporaneamente eseguire con altri tre cicli di pressurizzazione e depressurizzazione con CO_2 a 40 bar per spiazzare l'azoto e saturare la soluzione. L'autoclave è stata portata alla pressione di prova con CO_2 solo dopo il raggiungimento della temperatura di prova. A questo punto si è iniziata la ricircolazione del fluido refrigerante nel portacampioni superiore. La prova è stata mantenuta in queste condizioni per il tempo stabilito, trascorso il quale l'autoclave è stata rapidamente depressurizzata e raffreddata in modo da lasciare i provini il minor tempo possibile in condizioni diverse da quelle di prova.

RISULTATI E DISCUSSIONE

La velocità di corrosione dei provini immersi sono superiori di circa due ordini di grandezza rispetto a quelle dei provini in vapore e condensa, a conferma del ruolo preponderante dell'acqua nella sweet corrosion [8]. Tale velocità risulta in ogni caso sempre inferiore a quella calcola-

bile con il modello di DeVaard e Milliams [9] e diminuisce all'aumentare del tempo di esposizione. Il modello di DeVaard e Milliams considera infatti la superficie del metallo priva di depositi di prodotti di corrosione, può essere quindi significativo solo nei primissimi istanti di immersione, e rappresenta la massima velocità di corrosione a quella temperatura e pressione parziale di CO_2 . All'aumentare del tempo di esposizione, la velocità di corrosione diminuisce grazie alla formazione di una scaglia parzialmente protettiva di carbonato di ferro (siderite) (Fig. 2a). La scaglia si forma per precipitazione, quando in soluzione la concentrazione di ioni Fe^{2+} raggiunge il prodotto di solubilità del carbonato di ferro, è necessario pertanto che una certa quantità di ferro passi in soluzione perché queste condizioni si verifichino. Per temperature inferiori a 60 °C, questa scaglia non è completamente protettiva (Fig. 2b), ma riesce ugualmente a rallentare il processo di corrosione [4]. In presenza di una spessa scaglia porosa, la velocità di corrosione è determinata dalla diffusione dell'acido carbonico fino al metallo, non essendo il carbonato di ferro un buon conduttore elettronico e ionico. Nei provini esposti nel vapore saturo di CO_2 la reazione di corrosione è possibile solo se sulla loro superficie è presente un velo di acqua condensata. In queste condizioni l'apporto di CO_2 dalla fase gas è nettamente favorito, ma, allo stesso tempo, a causa del ridotto volume di soluzione, si raggiungeranno più rapidamente le condizioni di sovrassaturazione di Fe^{2+} e CO_3^{2-} , che portano alla formazione di una scaglia sottile e compatta (Fig. 2c).

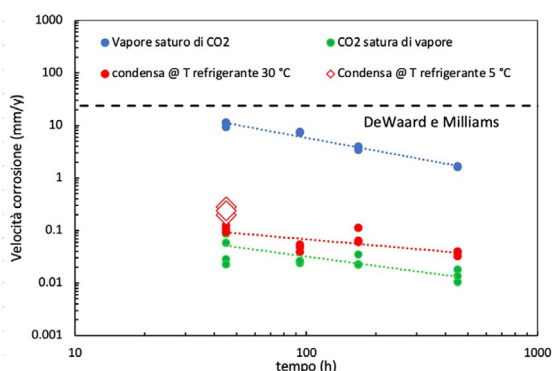


Fig.2 - (a) effetto del tempo di immersione sulla velocità di corrosione dei provini nelle diverse posizioni; (b) aspetto del provino immerso in acqua saturo di CO_2 dopo la prova di 168 h; (c) aspetto del provino dopo la prova in condensa con temperatura del fluido refrigerante 5 °C (t 45 h) / (a) effect of the time of immersion on the corrosion rate of the specimens in different positions (b) specimen tested in CO_2 saturated water after 168 h; (c) specimens after the test in condensed water saturated by CO_2 with temperature of cooling fluid at 5 °C (time of exposure 45 h)

Confrontando le velocità di corrosione a tempi brevi in funzione della temperatura del fluido refrigerante (Fig. 3) si osserva come la velocità di condensa influenzi notevolmente la velocità di corrosione. In assenza di raffreddamento delle pareti del provino o per ΔT troppo bassi, corrispondenti a velocità di condensazioni trascurabili, le velocità di cor-

rosione sono molto basse, ma si osserva il raddoppio della velocità di corrosione quando la temperatura del fluido refrigerante del portacampioni è diminuita da 30 a 5 °C; ciò è attribuibile all'aumento della velocità di condensazione del vapor d'acqua che solubilizza la CO_2 .

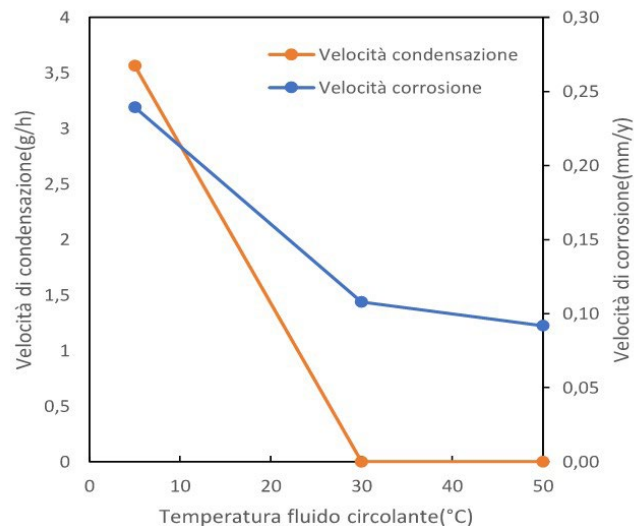


Fig.3 - Effetto della temperatura del fluido refrigerante sulla velocità di corrosione e di condensa dell'acqua / effect of the temperature of the cooling fluid on the corrosion rate and water condensation rate

CONCLUSIONI

È stato messo a punto un sistema per la realizzazione di prove di corrosione in presenza di CO_2 in condizioni di condensa simulanti le condizioni dette di "top of the line corrosion". Le prove preliminari effettuate hanno dimostrato che, in presenza di condensa le velocità di corrosio-

ne risultano superiori a quelle in sola CO_2 satura d'acqua, ma inferiori a quelle in totale immersione, probabilmente per il raggiungimenti in tempi più brevi della condizione di precipitazione della siderite. Il lavoro proseguirà con la verifica dell'effetto della temperatura di parete e della quantità di condensa sulla formazione della scaglia.

RIFERIMENTI

- [1] Kahyarian A, Singer M, Nesić S. Modeling of uniform CO_2 corrosion of mild steel in gas transportation systems: A review. *J. Natural Gas Sci. Eng.* 2016; 29: 530-549
- [2] Pátzay G, Stahl G, Kàrmàn F, Kàlmàn E. Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water. *Electrochem. Acta.* 1998; 43; 137-147.
- [3] Sim S, Bocher F, Cole i, Chen X-B, Birbilis N. Investigating the Effect of Water Content in Supercritical CO_2 as Relevant to the Corrosion of Carbon Capture and Storage Pipelines. *Corrosion.* 2014; 70: 185-195.
- [4] Cabrini M, Lorenzi S, Pastore T, Radaelli M. Corrosion rate of high CO_2 pressure pipeline steel for carbon capture transport and storage. *Metallurgia Italiana.* 2014; 106: 21-27
- [5] Nešić S. Key issues related to modelling of internal corrosion of oil and gas pipelines – A review. *Corr. Sci.* 2007; 49: 4308-4338.
- [6] Cabrini M, Lorenzi S, Pastore T. Corrosion Behavior of Carbon Steels in CCTS Environment. *Int. J. Corr.* 2016; 3121247
- [7] Singer M. Top-of-the-line corrosion,» in *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*, Woodhead Publishing in Series in Energy, 2017, pp. 385-408.
- [8] Greenwell H. Studies on Water-Dependent Corrosion In Sweet Oil Wells. *Corrosion.* 1953; 9: 307-312.
- [9] De Waard C, Milliams D. Carbonic acid corrosion of steel. *Corrosion.* 1975; 31: 177, 1975.

Study of CO₂ condense corrosion

Aim of the work is to study the corrosion rate of steel in CO₂ saturated condensates. Weight loss tests were carried out in an autoclave, exposing specimens completely immersed in water saturated with CO₂ at 20 bar and 50° C, in the gaseous phase, in the presence of CO₂ saturated with H₂O at 20 bar and 50° C and on specimens exposed in gaseous CO₂ saturate with water with the walls cooled to different temperatures. To carry out these tests, a special cooling system for the specimens at the head of the autoclave was developed. The tests were carried out with different exposure times. The results obtained showed very high corrosion rates in the aqueous phase, which however are reduced as the exposure time increases due to the formation of an iron carbonate scale. The samples in gaseous CO₂ saturated with water give negligible corrosion rates. The specimens in CO₂ with condensation show corrosion rates that increase as the wall temperature decreases due to the increase in the amount of condensate.

KEYWORDS: SWEET CORROSION, CO₂, GEOTHERMIC, CCTS;

Rottame: per la Cina un "peso" sempre maggiore

Per la materia prima ci sarà un ruolo fondamentale nella decarbonizzazione.
Ma ancora molta strada resta da compiere

A cura di: S. Ferrari



Stefano Ferrari è nato nel 1980. Nel 2005, poco prima della laurea in Consumi, distribuzione commerciale e comunicazione d'impresa conseguita all'Università IULM di Milano, inizia a collaborare con siderweb. Nel corso degli anni diventa redattore, direttore responsabile e, dal 2014, è responsabile dell'Ufficio Studi, divisione aziendale di siderweb che si occupa di approfondimenti, rilevazione prezzi, consulenze e formazione.

Un ruolo più "pesante". Anche nel comparto del rottame. La Cina, che già domina il mercato dei prodotti finiti in acciaio e quello del minerale ferroso, è destinata nei prossimi anni ad assumere un ruolo sempre più preponderante anche nel segmento del rottame, del quale è peraltro già il maggior consumatore mondiale. Lo ha detto durante il convegno "Raw materials & recycling" Stefano Ferrari, responsabile dell'Ufficio Studi di siderweb.

MONDO: PRODUZIONE & MATERIE PRIME

«Prendendo in considerazione il decennio 2011-2020 – ha esordito Ferrari – del quale abbiamo dati definitivi e consolidati, si nota che la produzione mondiale di acciaio è salita in maniera molto decisa, nonostante la pandemia, passando da 1,538 miliardi di tonnellate a 1,884 miliardi di tonnellate, con un incremento del 22,5%». Questo aumento, che espresso in volumi è stato pari a 346 milioni di tonnellate, è stato appannaggio soprattutto degli altiforni. «Nonostante la sempre maggior tendenza dell'industria siderurgica globale verso produzioni più "green" – ha proseguito –, ad oggi il mercato continua ad essere contraddistinto da una predominanza della tecnologia degli altiforni, che hanno sfornato circa il 73% del totale dell'acciaio realizzato a livello mondiale». Nel corso dell'ultimo decennio, inoltre, la produzione da altoforno è salita del 28,9%, mentre quella da forno elettrico solo del 9,9%. «Su quest'ultima – ha precisato Ferrari – ha però inciso il risultato del 2020: con la pandemia l'output è sceso di circa 30 milioni di tonnellate rispetto all'anno

precedente, con una contrazione del 5,7%, mentre quello degli altiforni è salito della medesima quantità». Ciò ha portato, nel 2020, il settore delle materie prime siderurgiche ad essere ancora dominato dal minerale ferroso, che rappresenta, appunto, il 64,3% degli input produttivi usati dalle acciaierie globali. Il rottame rimane fermo al 31,7% mentre il DRI al 17,8%. L'anno precedente, nel 2019, la situazione era simile ma con un accento leggermente diverso: il minerale aveva una quota di mercato del 61,9%, il rottame del 33,7% ed il DRI del 4,5% (4,1% l'anno successivo). «Questo dato ci mostra plasticamente che il forno elettrico è notevolmente più reattivo dell'altoforno: le chiusure a seguito dei lockdown hanno colpito in misura maggiore i forni elettrici, provocando il calo nell'utilizzo del rottame». Un altro motivo della riduzione dell'impiego del rottame è "geografico": «la produzione siderurgica nel 2020 è rimasta sostanzialmente stabile rispetto al 2019 grazie alla crescita della Cina dove domina la tecnologia dell'altoforno, mentre nel resto del mondo (in calo) c'è una maggior presenza del forno elettrico».

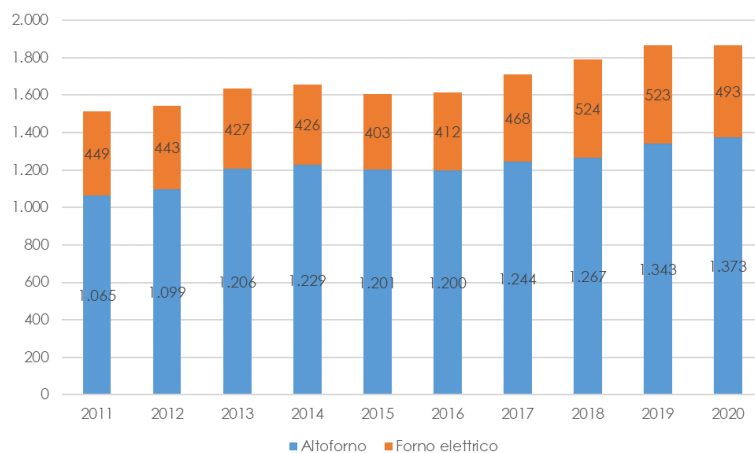


Fig.1 - Produzione mondiale di acciaio. (In milioni di tonnellate, fonte: BIR)

MONDO: IMPEGO DEL ROTTAME & COMMERCIO ESTERO

Analizzando il consumo di rottame nel mondo, si nota nel decennio preso in esame un cambiamento nella leadership globale. Mentre dal 2011 al 2016 il principale consumatore era l'Unione Europea, con un consumo medio annuo di 93,0 milioni di tonnellate ed una quota di mercato media del 26,2%, dal 2017 in poi la Cina ha superato il Vecchio Continente, con una vertiginosa crescita. In particolare, l'incremento è stato concentrato tra il 2017 al 2019, quando la domanda del Paese è passata da 90,1 milioni di tonnellate a 215,9 milioni di tonnellate, con un aumento del 139,6%. Nel 2020 la quota di mercato cinese era del 47,6%, contro il 16,7% dell'Europa, il 10,8% degli USA, il 6,5% della Turchia e della Russia, il 6,3% per il Giappone ed il 5,6% per la Corea del Sud. Nell'ultimo decennio gli unici due Stati tra quelli analizzati che hanno incrementa-

to la domanda di rottame sono stati la Cina (+129,3% tra il 2011 ed il 2020) e la Russia (+8,9%).

Dal punto di vista del commercio estero globale di acciaio, nel decennio 2011-2020 è stato abbastanza stabile nel complesso, attestandosi ad una media di 100 milioni di tonnellate annue. Di queste, all'export, circa 60 sono appannaggio di sette Stati o aree: UE, USA, Giappone, Russia, Canada e Australia. L'Unione europea è il maggior esportatore di rottame, con volumi stabilmente sopra i 20 milioni di tonnellate annue e con un incremento di oltre il 20% rispetto al 2011, così come sono in aumento le quote del Giappone (+40,7% a 7,657 milioni di tonnellate) e dell'Australia (+33,2% a 2,325 milioni di tonnellate), mentre l'altro grande player all'export, ovvero gli USA, ha diminuito di oltre un quarto (-27,4%) le proprie quote. All'import il maggior player è la Turchia (22,435 milioni di tonnellate acquistate all'estero), davanti a India e USA.

Tab.1 - Principali esportatori mondiali di acciaio (in milioni di tonnellate, fonte: BIR)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Δ % 2020/2011
EU	18,813	19,579	16,806	16,953	13,743	17,769	20,085	21,656	21,793	22,627	20,3%
USA	24,373	21,397	18,495	15,340	12,976	12,819	15,016	17,332	17,685	16,874	-30,8%
Giappone	5,442	8,586	8,129	7,339	7,839	8,698	8,208	7,402	7,657	9,387	72,5%
Russia	4,042	4,349	5,549	5,765	5,646	5,524	5,320	5,591	4,059	4,728	17,0%
Canada	4,832	4,248	4,521	4,510	3,415	3,632	4,409	5,107	4,369	4,512	-6,6%
Australia	1,745	2,245	2,200	2,362	1,898	1,583	1,979	1,968	2,325	2,093	19,9%
Hong Kong	1,136	1,099	1,193	1,292	1,239	1,347	1,380	1,295	0,958	0,607	-46,6%

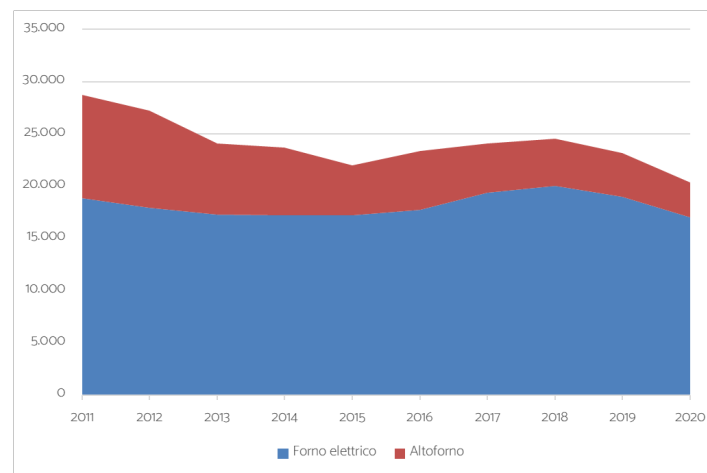


Fig.2 - Produzione italiana di acciaio. (In migliaia di tonnellate, fonte: Federacciai)

CONCLUSIONE

«Anche se spesso il rottame viene indicato come alternativa ecologica immediata per rendere più "green" la siderurgia – ha proseguito Ferrari –, negli ultimi anni la quota di mercato del minerale non è certo scesa. Ed anche durante la crisi del Covid è stato il rottame a pagare la "tassa" più alta. Per arrivare ad una transizione green, quindi, la strada appare ancora molto lunga».

Analizzando il comparto internazionale del rottame «si segnala il ruolo sempre più preponderante della Cina, che

nel 2020 ha consumato quasi il 33% del totale del rottame globale, contro il 16% del 2011. Anche nel mercato del rottame, dove tradizionalmente l'Europa, gli USA e la Turchia erano protagonisti, si dovrà fare i conti con la Cina nei prossimi anni». Soprattutto nell'ottica «green», con i consumi di rottame che saliranno per mitigare il "carbon footprint" della siderurgia mondiale.



**ASSOCIAZIONE
ITALIANA DI
METALLURGIA**



COORDINAMENTO DELLA
RICERCA E DELLA DIDATTICA
IN METALLURGIA

24-27 JULY 2022

BERTINORO (FC) ITALY

Metallurgy Summer School

SURFACE ENGINEERING OF METALS

The Metallurgy Summer School on Surface Engineering of Metals organized by CoMET is focused on the treatments of metals which modify their surface characteristics to meet the specific needs of different industrial applications.

The scope of the school is to provide a deep understanding of fundamental concepts, processing and characterization techniques, as well as experimental and numerical approaches to the involved problems. It is organized in lectures on both theoretical aspects and applications, and the attendees will be involved in the analysis of case studies under tutor guidance.

The program proceeds from basic concepts to applications. An introductory section is devoted to the solid-state diffusion and the solution of related problems, through analytical and numerical approaches. The experimental techniques most commonly used for investigating the structural and chemical surface properties, will be then illustrated with a selection of representative practical examples. The lectures of the second day will describe and discuss the design criteria, strategies and classification of surface treatments for structural and functional applications, with particular attention to the techniques for manufacturing engineered surfaces from vapour and liquid phase. In conclusion, the program will focus on specific applications, regarding current scientific and technological challenges: batteries and fuel cells, functionalization, corrosion and protection of metal surfaces in automotive, aerospace and medical fields. The school is mainly addressed to PhD students of engineering, materials science, physics and chemistry but post-docs and master students are also welcome.



Directors

Prof. Benedetto Bozzini
Politecnico di Milano

Prof. Roberto Montanari
Università di Roma 'Tor Vergata'

Scientific and organising committee

Prof. Massimo Pellizzari
Università di Trento

Prof. Paolo Piccardo
Università di Genova

Prof. Alessandro Morri
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna



24-27 July 2022



Centro Residenziale Universitario

Via Frangipane, 6
Bertinoro (FC), Italy



Secretariat

Associazione Italiana di Metallurgia

t. +39 02 76021132 +39 02 76397770

aim@aimnet.it

www.aimnet.it

Verbale della Settantanovesima Assemblea Ordinaria dei Soci AIM

La 79a Assemblea Ordinaria dei soci AIM ha avuto luogo giovedì 28 aprile 2022 alle ore 15.30 in seconda convocazione, dato che la prima era andata deserta. Sono presenti 47 Soci (42 fisicamente e 5 rappresentati per delega).

Relazionano, oltre al Presidente uscente ing. Mazzolari, il Tesoriere, dr. Stefano Vittadini, e il Revisore dei conti, dr.ssa Anna Giacobelli.

ORDINE DEL GIORNO:

1. Relazione del Consiglio Direttivo AIM
2. Relazione del Tesoriere
3. Relazione del Collegio dei Revisori dei Conti
4. Approvazione bilancio consuntivo 2021 e previsionale 2022
5. Elezione dei Nuovi Consiglieri
6. Nomina del Collegio dei Revisori dei Conti
7. Varie ed eventuali

L'ing. Mazzolari comunica che l'Assemblea è stata convocata con avviso telematico ai Soci e, poiché si svolge in seconda convocazione, come previsto dallo Statuto, è valida qualunque sia il numero dei presenti.

L'ing. Mazzolari chiede all'Assemblea di modificare la successione dei punti all'Ordine del Giorno, anticipando l'elezione dei nuovi Consiglieri e del Collegio dei Revisori. L'Assemblea concorda; pertanto vengono nominati come scrutatori il Segretario Generale Federica Bassani ed il Tesoriere Stefano Vittadini e si dà inizio all'elezione.

Si passa quindi ad esaminare i punti all'Ordine del Giorno: circa il primo punto, l'ing. Mazzolari legge la relazione del Consiglio Direttivo relativa alle attività svolte nel 2021; il Tesoriere illustra in seguito la relazione sul bilancio 2021 ed il previsionale 2022; infine, il revisore dr.ssa Giacobelli, in rappresentanza del Collegio dei Revisori dei Conti, legge la relativa relazione sul bilancio 2021.

Dopo aver aperto e concluso la discussione, l'Assemblea approva all'unanimità il bilancio consuntivo 2021 e il bilancio previsionale 2022.

L'ing. Mazzolari informa quindi i Soci che il Consigliere ing. Marco Alfonso ha rassegnato le dimissioni e che il Consiglio Direttivo, nella seduta del 25 novembre 2021, ha proposto di completarsi per cooptazione invitando l'ing. Andrea Colombo di A.C.S.A. Steel Forgings Spa, il cui mandato scadrà con l'Assemblea dei Soci del 2024. L'Assemblea, invitata a ratificare la nomina, approva all'unanimità la proposta del Consiglio Direttivo.

In chiusura dei lavori, l'ing. Mazzolari legge i risultati dell'elezione e dà lettura del relativo verbale; vengono eletti come membri del Consiglio Direttivo per il quadriennio 2022-2026 i signori:

Bonollo Prof. Franco
Ferraiuolo Dr. Alessandro
Franchini Sig.ra Alessandra
Fusato Ing. Maurizio
Gianotti Sig. Ezio
Malfa Ing. Enrico
Marten-Perolino Ing. Matteo
Maurigh Ing. Francesca
Panza Sig. Silvano
Poggio Dr.ssa Raffaella
Vezzosi Dr.ssa Cinzia

Per il Collegio dei Revisori vengono confermati il dr. Arrigo Berenghi, la dr.ssa Anna Giacovelli e il dr. Maurizio Perugini. La proclamazione del verbale di votazione non riceve osservazioni o contestazioni da parte dell'Assemblea. Il Presidente ringrazia e saluta i Soci convenuti.

L'Assemblea termina alle ore 16.15.

Il Presidente
Ing. Federico Mazzolari

RELAZIONE DEL CONSIGLIO DIRETTIVO Anno: 2021

Cari Soci ed Amici, Vi ringrazio vivamente per la Vostra partecipazione all'Assemblea dei Soci.

Mi appresto a lasciare la Presidenza dopo un quadriennio di grandi soddisfazioni, nonostante la pandemia che ha caratterizzato negativamente per la prima volta dopo molti anni il bilancio dell'Associazione nel 2020. Il 2021 ha dato invece importanti risultati sia dal punto di vista culturale che economico, riportando sulla giusta rotta l'attività associativa.

Manifestazioni

Nel 2021 l'Associazione ha organizzato 28 manifestazioni, di cui:

- 11 Corsi di formazione ed aggiornamento, di cui 1 in presenza e 12 ibrido;
- 12 Giornate di Studio, di cui 1 in presenza;
- 3 Convegno Internazionali;
- 2 Convegni Nazionali, ovvero la 38° edizione del Convegno Nazionale AIM e la 21° edizione delle Giornate Nazionali di Corrosione e Protezione.

Le manifestazioni sopra indicate hanno raccolto complessivamente 1895 partecipanti, dei quali il 30% non soci ed il 20% studenti (soci junior).

Mi fa piacere sottolineare l'ottimo riscontro del convegno internazionale ECCC dedicato alla colata continua, che nonostante i rinvii e le restrizioni dettati dalla pandemia ha raccolto 284 partecipanti, per la maggior parte in presenza.

Soci

Benemeriti	18
Sostenitori	74
Ordinari	885
Senior	44
Junior	202

Si rileva un lieve miglioramento rispetto ai numeri del 2020, in particolare per quanto riguarda i soci sostenitori, ordinari e junior.

Premi e riconoscimenti

Durante la manifestazione Made in Steel, sono state conferite:

- la Medaglia Giolitti a Alessandro Banzato, Presidente di Federacciai nonché Presidente e Amministratore Delegato di Acciaierie Venete;
- la Medaglia Di Caprio a Massimo Zoppegni, Presidente del Centro Inox.

In occasione del 38° Convegno Nazionale AIM, che si è svolto in modalità telematica, sono stati annunciati i lavori vincitori ex aequo del Premio Daccò 2020:

From powder to heat treatment: a comprehensive microstructure-driven process optimization for the powder bed fusion of the AlSi7Mg0.6

di Lavinia Tonelli (Università degli Studi di Bologna)

Compensazione delle deformazioni da ritiro nei componenti pressocolati in lega di Zinco

di Marco Galbiati (Politecnico di Milano - Bruschi Spa)

ed il vincitore del Premio Felice Dr Carli 2020: Ing. Silvia Cecchel di Streparava.

Il Premio Daccò 2021 è stato invece assegnato ex aequo ai lavori:

Evaluation of the use of foundry sand cores on solidification and on the characteristics of structural castings: a comparison between organic and inorganic cores and validation with simulation

di Anna Mantelli (Università degli Studi di Brescia)

Utilizzo di un sistema di ispezione ottica automatica atto al rilevamento dei difetti di colata continua basato su algoritmi di Machine Learning per l'analisi dell'incidenza delle marche di oscillazione su bramme di acciaio inossidabile austenitico AISI 316L e 316LI

di Federica Di Giovanni (Politecnico di Milano), Andrea Francesco Ciuffini (Acciai Speciali Terni), Davide Mombelli (Politecnico di Milano)

Le medaglie dei premi De Carli 2020 e Daccò 2020, 2021 nonché 2022 verranno consegnate ai vincitori in occasione della cerimonia d'apertura del 39° Convegno Nazionale AIM, il 21 settembre 2022 a Padova.

Centri di Studio

Esprimo un doveroso e sentito ringraziamento ai numerosi componenti dei nostri Comitati Tecnici, che con grande passione e spirito associativo mettono a fattor comune le proprie conoscenze, competenze ed esperienze garantendo così l'alta qualità e aderenza alle esigenze del settore di riferimento dell'offerta formativa e in generale delle attività culturali di AIM.

Attività editoriale

Si è provveduto alla ristampa di 200 copie del Siderurgia (W. Nicodemi, C. Mapelli) e alla produzione di 50 tabelloni murali Diagramma di Stato Fe-C (AA. VV.).

Attività 2022

Il 2022 si è aperto con l'eccellente risultato dell'iniziativa webinar Il ruolo dei materiali nell'economia dell'idrogeno, con oltre 180 partecipanti, seguito dall'ottimo riscontro del Corso Metallurgia per non Metallurgisti, erogata in modalità telematica ad oltre 140 iscritti.

Ad oggi sono già state programmate 28 manifestazioni per l'anno 2022, delle quali ritengo opportuno menzionare:

- il 27° Convegno Nazionale Trattamenti Termici, che si svolgerà a Genova in due giornate: 26 e 27 maggio
- il Convegno internazionale ESSC & DUPLEX, dedicato a acciai inossidabili e duplex, con sede a Bardolino dal 15 al 17 giugno;
- il già citato 39° Convegno Nazionale AIM, ospitato dall'Università di Padova nelle date: 21-23 settembre;
- la dodicesima edizione del prestigioso convegno internazionale ROLLING, dedicato alla laminazione degli acciai, programmato a Trieste dal 26 al 28 ottobre;
- la seconda edizione del workshop internazionale IWSQ, con focus sulla qualità superficiale dei prodotti da colata continua, che, come ormai da tradizione, si svolgerà a Bergamo nei giorni: 1-2 dicembre.

Il 39° Convegno Nazionale AIM offrirà anche l'opportunità di celebrare con i Soci e la comunità metallurgica il 75° anniversario di AIM, ricorso lo scorso anno e ricordato per ora solo sulle pagine del numero di ottobre 2021 de La Metallurgia Italiana.

Per le restanti iniziative, Vi invito a prendere visione dell'elenco distribuito.

Conclusioni

Concludo con un caloroso saluto e ringraziamento ai Consiglieri e ai Soci che mi hanno supportato negli ultimi quattro anni e esprimo i miei migliori auguri di buon lavoro al nuovo Presidente, Silvano Panza, a cui passo il testimone.

Arrivederci a Padova, in settembre, dove auspico di incontrarvi numerosi!

Il Presidente
Ing. Federico Mazzolari

RELAZIONE DEL TESORIERE SUL RENDICONTO DELL'ESERCIZIO 2021

Signori Soci,

Il presente bilancio assolve il fine di informare in merito all'attività posta in essere dalla Vostra Associazione nel conseguimento dello scopo istituzionale, esprimendo le modalità tramite le quali ha acquisito ed impiegato risorse, e di fornire, per mezzo di valori quantitativo – monetari, una rappresentazione chiara veritiera e corretta della situazione

patrimoniale, finanziaria, e del risultato della gestione conseguito dall'Ente nell'intervallo temporale cui il bilancio si riferisce. Il presente bilancio è la sintesi delle istituite scritture contabili, volte alla sistematica rilevazione degli eventi che hanno interessato l'Associazione e che competono all'esercizio cui il bilancio si riferisce. Il bilancio si compone dello Stato Patrimoniale, del Rendiconto gestionale, della presente Relazione. Il documento di Stato Patrimoniale esprime la complessiva situazione patrimoniale e finanziaria dell'Associazione alla data di chiusura dell'esercizio ed espone in termini comparativi i valori riferibili all'esercizio precedente.

Il documento di Rendiconto gestionale espone le modalità tramite le quali l'Ente ha acquisito ed impiegato risorse, evidenzia le componenti economiche positive e negative che competono all'esercizio e sintetizza il risultato di gestione conseguito. La forma prescelta è a sezioni contrapposte esponendo in termini comparativi i valori riferibili all'esercizio precedente, con separata specifica dei proventi e degli oneri in funzione della area gestionale di appartenenza (attività tipica /istituzionale o attività accessoria/commerciale)

La presente relazione, facente funzione di nota integrativa, assolve lo scopo di fornire ulteriori informazioni sulle voci più significative, con criterio descrittivo ed analitico, ritenute utili ad una chiara comprensione delle evidenze riportate nei documenti di Stato Patrimoniale e Rendiconto gestionale ed a favorirne l'intelligibilità. La redazione del bilancio è stata eseguita nel rispetto del generale principio di prudenza e nella prospettiva di continuazione dell'attività della Associazione; è stato inoltre applicato il principio della competenza economica. Lo Stato Patrimoniale e il Rendiconto gestionale sono redatti in unità di euro e la presente relazione contiene illustrazioni ai dati di bilancio in unità di euro.

Il bilancio che vado a illustrarVi rappresenta i dati consuntivi di un esercizio ancora fortemente caratterizzato dal perdurare della situazione di emergenza sanitaria dovuta alla diffusione del Corona Virus. Detta situazione aveva imposto un significativo ridimensionamento all'attività convegnistica e formativa in sede di pianificazione e stesura del budget 2021, con conseguente impatto sui ricavi; giova sottolineare come il dato consuntivo superi del 20% l'obiettivo di budget, consentendo la piena copertura dei costi e il raggiungimento di un utile insperato.

Il rendiconto che vado ad analizzare chiude con un avanzo di gestione pari ad Euro 102.543, di cui Euro 94.483 afferenti la gestione istituzionale e Euro 7.969 derivanti dalla gestione commerciale. L'esercizio precedente chiudeva con un disavanzo di Euro 161.192, coperto con le riserve disponibili.

Stato patrimoniale attivo**IMMOBILIZZAZIONI:**

Le movimentazioni dell'esercizio sono le seguenti:

Costo storico ad inizio esercizio	1.801.647
Fondo ammortamento ad inizio esercizio	-353.775
Valore netto ad inizio esercizio	1.447.872
Acquisti dell'esercizio	2.120
Cessioni dell'esercizio, al netto fondo amm.to	0
Ammortamenti dell'esercizio	-52.628
Valore netto a fine esercizio	1.397.364

Le movimentazioni intervenute nell'esercizio sono per lo più riconducibili all'accantonamento delle quote di ammortamento. Nello specifico Vi ricordo come nel corso dell'esercizio precedente, in forza della significativa contrazione nell'attività riconducibile alla pandemia dovuta alla diffusione del COVID-19, ai sensi del D.L. 104/2020,

si era ritenuto stanziare ammortamenti limitatamente al 33% del valore delle quote piene, con una riduzione parametrata all'effettiva riduzione dei ricavi da manifestazioni. Per quanto la citata disposizione normativa sia stata riproposta per l'esercizio 2021, abbiamo ritenuto di procedere all'accantonamento delle quote piene.

RIMANENZE:

Nel corso dell'esercizio, si è avuta la seguente movimentazione:

Prodotto	Inizio esercizio	Fine esercizio	Differenza
Libri e pubblicazioni	25.032	24.904	-128
Materiale vario per convegni	6.808	6.000	-808
Libretti AIM	0	0	0
TOTALE MAGAZZINO	31.840	30.904	-936

Il criterio utilizzato per la valutazione delle rimanenze è quello del minore tra il costo unitario di acquisizione ed il valore di mercato.

CREDITI VERSO I CLIENTI:

Si tratta di crediti sia per quote di partecipazione a convegni che per acquisti di volumi e di atti dei convegni. L'importo esposto a bilancio è pari ad euro 9.502. Nel corso dell'esercizio sono stati effettuati accantonamenti

al fondo rischi per euro 1.880 corrispondenti a posizioni di dubbia esigibilità; si è provveduto ad utilizzare il fondo edesimo a storno dei crediti comprovata inesigibilità, per euro 3.472;

Descrizione	2020	2019
Crediti verso clienti correnti	16.938	21.641
Fondo svalutazione crediti	-7.436	-9.028
Valore netto a bilancio	9.502	12.613

TITOLI:

Il valore nominale dei titoli in portafoglio ammonta a euro 2.409.241; il valore è invariato rispetto a quello dell'esercizio precedente stante l'assenza di operazioni di investimento/disinvestimento. Segnaliamo unicamente la concentrazione avvenuta in capo a Banca Intesa in seguito all'incorporazione di UBI Banca avvenuta nel corso del

2021. La quotazione di mercato dell'intero portafoglio al 31.12.2021 è pari ad € 2.576.440 (nel 2020 il dato si attestava a € 2.513.448) con una rivalutazione media rispetto al valore di carico dello 6.7%. Nel dettaglio, le performances dei tre investitori che gestiscono il patrimonio dell'associazione sono le seguenti:

Gestore	Capitale gestito	Quotazione a inizio esercizio	Quotazione a fine esercizio	Variazione valore	Variazione %
CREDEM	902.144	945.504	969.320	23.816	2,52
BANCA INTESA	1.214.290	1.262.069	1.292.737	30.668	2,43
BANCO DESIO	292,806	306.339	314.382	8.043	2,63
Totale	2.409.240	2.513.912	2.576.439	62.527	2,49

La situazione sopra rappresentata esprime il risultato globale della gestione del patrimonio mobiliare; a livello di pura rappresentazione contabile il risultato non compare nel bilancio che vi viene sottoposto che espone solamente i risultati conseguiti per cassa e quindi, precisamente, le

plusvalenze realizzate da eventuali cessioni e l'ammontare delle cedole incassate.

Le cedole accreditate in conto sono passate da euro 3.602 a euro 3.006; non risultano plusvalenze né minusvalenza.

FONDO LIQUIDAZIONE:

La AIM ha in essere due polizze assicurative a garanzia delle indennità di cessazione del rapporto dei dipendenti in forza; a quella esistente fino al 2015 con INA si è assomata una stipulata con Cattolica, ove vengono versati i premi a partire dal 2016. Il saldo al 31.12.2021, pari a complessivi euro 135.972 (di cui 76.149 su Cattolica) risente di

un utilizzo effettuato nel corso dell'esercizio a fronte di una liquidazione anticipata nonché dell'adeguamento annuale al fondo trattamento fine rapporto maturato a favore dei dipendenti (Euro 163.685), che verrà effettuato nel corrente 2022.

RATEI ATTIVI:

Accoglie i ricavi di competenza dell'anno in corso che avranno manifestazione finanziaria nel corso dell'esercizio successivo.

RISCONTRI ATTIVI:

Accoglie i costi di competenza degli anni successivi relativi a fatture contabilizzate nell'anno in corso.

Stato patrimoniale passivo**FONDO DI DOTAZIONE**

E' principalmente costituito da riserve costituite con il riporto a nuovo degli utili maturati nel passato per € 3.727.591, decrementatesi nel 2021 in virtù dell'utilizzo effettuato per parziale copertura della perdita del 2020 (€ 69.178) per la parte eccedente l'integrale liberazione della Riserva Statutaria esistente per € 92.014, conseguentemente azzeratasi.

Giova menzionare nelle voci del patrimonio vincolato, il saldo dei fondi destinati a terzi costituito la fondo Borsa Daccò accantonato per € 5.000.

DEBITI VERSO ISTITUTI BANCARI

La partita in esame è sorta nel corso dell'esercizio 2016 in occasione dell'accensione del mutuo ipotecario contratto con il Banco Desio per complessivi Euro 800.000 della durata di 10 anni, per l'acquisto dell'ufficio di Milano. Il saldo al 31/12/2021 pari a Euro 169.141, è principalmente riconducibile al capitale residuo (€ 168.646) al netto delle rate pagate nell'esercizio e del rimborso anticipato di capitale effettuato nel 2019 per Euro 300.000.

Si segnala che l'Associazione non ha ritenuto opportuno ricorrere a moratorie ovvero altri istituti resi disponibili dai decreti Covid.

FORNITORI:

Il saldo esistente a fine esercizio è pari ad euro 9.667 comprensivo delle fatture da ricevere. Nessuno dei debiti esistenti è scaduto.

DEBITI VERSO L'ERARIO E VERSO GLI ENTI PREVIDENZIALI:

Il debito si riferisce agli importi dovuti per contributi e tributi relativi al mese di dicembre 2021 e già tutti versati nei termini di legge.

ALTRI DEBITI:

La posta in questione pari a € 22.396, è interamente rappresentata da incassi anticipati su quote di partecipazione di competenza del 2022.

RATEI PASSIVI:

Si tratta di costi imputati all'esercizio in corso che avranno manifestazione finanziaria nel corso dell'esercizio successivo.

Rendiconto gestionale**RICAVI:**

L'attenuarsi delle restrizioni governative riconducibili all'emergenza sanitaria, oltre alla riproposizione degli eventi in remoto mediante piattaforma webinar, consente una recupero dei ricavi rispetto al dato 2020 (€ 274.958) registrando un dato complessivo pari a € 684.324, ben lontano dal dato 2019 di € 812.713, ma che, come anticipato, supera sensibilmente le previsioni del budget.

In particolare nell'esercizio si sono svolte 28 manifestazioni di cui 5 in presenza, ciò ha determinato ricavi totali delle manifestazioni per euro 522.963 contro i 116.737 del 2020 e i 535.795 del 2019.

COSTI:

La dinamica sopra richiamata sul fronte dei ricavi ha consentito di assorbire i costi fissi che sono principalmente costituiti dal costo del personale che si attesta a complessivi € 271.584.

Si è fatto cenno alla ripresa degli ammortamenti in misura ordinaria che impattano per € 52.628.

PROVENTI FINANZIARI:

Come già detto in commento alla gestione degli investimenti finanziari, la redditività espressa in bilancio è rappresentata dalle cedole incassate ed accreditate direttamente in conto corrente.

In bilancio non viene rappresentata la variazione di quotazione intervenuta nell'esercizio sul totale degli investimenti finanziari e ciò perché, trattandosi di investimenti immobilizzati e non di capitale circolante, vengono contabilizzate solamente le espressioni finanziarie effettivamente realizzate.

INFORMAZIONI SUI FATTI DI RILIEVO AVVENUTI DOPO LA CHIUSURA DELL'ESERCIZIO

Dopo la chiusura dell'esercizio non sono avvenuti fatti di rilievo da segnalare, i cui effetti possano impattare i saldi e le valutazioni testè dettagliate. A oggi non siamo in grado di prevedere quali possano essere le dinamiche a venire dell'epidemia Covid-19 piuttosto che della situazione geopolitica legata al conflitto in essere in Ucraina, ne conseguentemente stimarne la portata economica sull'attività futura di AIM e l'impatto sul patrimonio.

CONCLUSIONE:

La gestione economica dell'Associazione nell'anno 2021 chiude pertanto con un avanzo di Euro 102.453 al netto delle imposte di competenza di Euro 19.010.

In ottica di destinazione di detto avanzo, alla luce delle previsioni statutarie, l'ipotesi di stanziare una Riserva per l'erogazione di contributi per il sostegno ad iniziative di ricerca nell'ambito metallurgico risulta coerente con la struttura economica e finanziaria del bilancio consuntivo testè commentato nonché dei dati di budget per l'anno 2022, e sostenibile, in misura non eccedente il 16% dell'avanzo di gestione.

Milano, 28 aprile 2022

IL TESORIERE
(dott. Stefano VITTADINI)

BILANCIO CULTURALE 2021 / CULTURAL BALANCE 2021

CONVEGNI

38° CONVEGNO NAZIONALE AIM

Evento virtuale - 18-19-20-25-26 gennaio 2021

Organizzato dall'AIM

162 partecipanti

XIV GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

Evento virtuale - 29-30 giugno-1-2 luglio 2021

Organizzato dall'AIM e dal CdS Corrosione

120 partecipanti

HTDC - 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE HIGH TECH DIE CASTING

Virtual event - 22-25 giugno 2021

Organizzato dai CdS Metalli Leggeri e CT Pressocolata

76 partecipanti

ECCC - 10TH EUROPEAN CONTINUOUS CASTING CONFERENCE

20-22 ottobre, Bari 2021

Organizzato dall'AIM

284 partecipanti

1ST INTERNATIONAL MEETING RAW MATERIALS & RECYCLING

Bergamo, 1-2 dicembre 2021

Organizzato dall'AIM

93 partecipanti

CORSI

FAILURE ANALYSIS 11^a edizione

Corso - 24-25 febbraio, 3-4-5 marzo 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Controllo e Caratterizzazione Prodotti

83 partecipanti

GLI ACCIAI INOSSIDABILI 11^o edizione

Corso - 8-9-15-16-26-7 marzo, 8-9-15-17-22-23 aprile 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dall'AIM

66 partecipanti

RIVESTIMENTI

III modulo: RIVESTIMENTI PER VIA UMIDA

Corso modulare - Milano, 10-11-17-18 marzo 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Rivestimenti e Tribologia

22 partecipanti

FATICA TERMICA. AUMENTARE LA DURATA STAMPO

Corso - 20-21-27-28 aprile 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CT Pressocolata

45 partecipanti

TRATTAMENTI TERMICI

Corso modulare

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Trattamenti Termici e Metallografia

INTRODUZIONE ALLA METALLURGIA DI BASE PER I TRATTAMENTI TERMICI

8-9 giugno 2021

Modulo 1 - TRATTAMENTI TERMICI E TERMOCHIMICI LEGHE FERROSE

15, 16, 17 giugno 2021

Modulo 2 - TRATTAMENTI TERMICI LEGHE FERROSE

6-7 luglio 2021

Modulo 3 - TRATTAMENTI INNOVATIVI, APPLICAZIONI, IMPIANTI E NORME

14, 15 luglio 2021

Modulo 4- TRATTAMENTI TERMICI LEGHE NON FERROSE

27-28 settembre 2021

70 partecipanti complessivi

REFRATTARI SIDERURGICI E LORO APPLICAZIONI

Corso modulare - 21-22-28-29 settembre e 5-6 ottobre 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Acciaieria

41 partecipanti

METALLURGIA SICURA

Corso itinerante - Vicenza, 23 settembre – Lonato (BS), 30 settembre - Aosta, 7 ottobre 2021

Organizzato dal GdS Ambiente e Sicurezza

97 partecipanti

PROVE MECCANICHE

Corso - 26-27 ottobre, 9-10 novembre 2021

Webinar FaReTra Organizzato dal CdS Controllo e Caratterizzazione Prodotti

62 partecipanti

LEGHE DI ALLUMINIO

Corso di base - 17-18 novembre 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Metalli Leggeri

53 partecipanti

CORROSIONE PER NON CORROSIONISTI

Corso - 24-25 novembre 2021

Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Corrosione e Caratterizzazione dei Prodotti

45 partecipanti

TECNOLOGIA DI FORMATURA DELLE ANIME IN SABBIA PER GETTI IN LEGA LEGGERA

Corso - Bergamo c/o Kilometro Rosso, 2-3 dicembre 2021

Organizzata dal CdS Metalli Leggeri

50 partecipanti

GIORNATE DI STUDIO

INGEGNERIZZAZIONE DELLE SUPERFICI: DESIGN E CARATTERIZZAZIONE

Giornata di Studio - 17 febbraio 2021

Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Metallurgia Fisica e Scienza dei Materiali

65 partecipanti

ECONOMIA CIRCOLARE PER LA NUOVA VITA DEI MATERIALI

4-11 maggio 2021

Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Ambiente e Sicurezza

59 partecipanti

STRUTTURE LEGGERE

Giornata di Studio - 18-19 maggio 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Metalli Leggeri
20 partecipanti

PERFORMANCE E DEGRADO DEI MATERIALI METALLICI UTILIZZATI IN CAMPO EOLICO: CAPIRE PER PREVENIRE

Giornata di Studio - 24-25 maggio 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Materiali per l'Energia
31 partecipanti

DIFETTI NEI GETTI PRESSOCOLATI: POROSITÀ DA GAS

Giornata di Studio - 15 giugno 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CT Pressocolata
32 partecipanti

LA SFIDA DELLA NEUTRALITA' CARBONICA

Giornata di Studio - 7 settembre 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Acciaieria
78 partecipanti

PRESSOCOLATA DELLE LEGHE DI ZINCO

Giornata di Studio - 6-7 ottobre 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CT Pressocolata
26 partecipanti

MATERIALI TERMOELETTRICI E TECNOLOGIE PER IL RECUPERO DI CALORE DISPERSO - 200 ANNI DI STORIA, DALLA SCOPERTA DELL'EFFETTO SEEBECK ALLE APPLICAZIONI

Giornate di Studio - 13 ottobre 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS AIM Metallurgia Fisica e Scienza dei Materiali
25 partecipanti

LE POTENZIALITÀ DELLA SIMULAZIONE NUMERICA PER I TRATTAMENTI TERMICI

Giornata di Studio - 10 novembre 2021
Webinar FaReTra - Organizzata dal CdS Trattamenti Termici e Metallografia
46 partecipanti

IL CICLO DI FABBRICAZIONE DI UNA VALVOLA. NORMATIVE, PROGETTO, ACCIAIO, FUCINATURA COLLAUDO. LE SPECIALIZZAZIONI PER I CAMPI DI UTILIZZO

Giornata di Studio - Bergamo c/o Kilometro Rosso, 11 novembre 2021
Organizzata dal CdS Forgiatura
94 partecipanti

GREEN ECONOMY E ASPETTI AMBIENTALI PER L'INDUSTRIA DEI RIVESTIMENTI

Giornata di Studio - 17-18 novembre 2021
Organizzata dal CdS Rivestimenti e Tribologia
21 partecipanti

SEMINARIO

LA NORMATIVA: GLI ACCIAI E I TRATTAMENTI TERMICI NELL'INDUSTRIA AUTOMOTIVE

Seminario - 26 novembre 2021
Webinar FaReTra - Organizzato dal CdS Trattamenti Termici e Metallografia
29 partecipanti

VISITE DI STUDIO

Visita in stabilimento c/o AFV Acciaierie Beltrame
Vicenza, 23 settembre
(nell'ambito del Corso itinerante **METALLURGIA SICURA**)

Visita in stabilimento c/o Feralpi Siderurgica
Lonato (BS), 30 settembre
(nell'ambito del Corso itinerante **METALLURGIA SICURA**)

Visita in stabilimento c/o Cogne Acciai Speciali
Aosta, 7 ottobre 2021
(nell'ambito del Corso itinerante **METALLURGIA SICURA**)

INIZIATIVE PATROCINATE DA AIM

A STEEM FOR STEEL

PREMIO ALLA MEMORIA LUCA BERTOLINI
mCD del Dip. "Giulio Natta" Politecnico di Milano, ACI-IC

STC – Steels for Cars & Trucks - gennaio 2021
VDEh - TEMA Technologie Marketing AG

Fiera A&T 2020 – Automation & Testing - 12-14 febbraio 2021
A&T sas

I giovani e le scienze - 6-8 marzo 2021
FAST

ECHT 2021 and QDE – 2nd International Conference on Quenching and Distortion Engineering - 26-28 aprile 2021
AWT

Corrosione e sicurezza fra competenze e responsabilità - 25 maggio 2021
APCE

METEF - giugno 2021
Edimet

19ª edizione Maintenance Stories – Fatti di Manutenzione
8ª edizione Energy Week
1ª edizione Building Asset Management Days
giugno 2021 - A.I.MAN.

17th European Conference on Applied Behavior Analysis (ABA) - 24-25 giugno 2021
AARBA

CONGRESSO EUROPEO DI BBS - 24-27 giugno 2021
Aarba

Archeologia mineraria: conservazione e tutela - 25 settembre 2021
Associazione Il Patrimonio Storico-Ambientale, Torino
Dipartimento di Scienze della Terra (UNITO)
Dipartimento di Studi Storici (UNITO)

Made in Steel - Ottobre / Novembre 2021
Siderweb

EMO - 4-9 ottobre 2021
UCIMU

Ambienti ad altissima resistività; esperienze di gestione e progettazione di sistemi di Protezione catodica / «Live After Death»; estensione dell'operatività di sistemi di protezione catodica oltre la vita progettata - 9 ottobre 2021
NACE Italia Milano Section

32° BI-MU - 14-17 ottobre 2021
EFIM-ENTE Fiere Italiane Macchine SPA

OPEN HOUSE – Produzione Industriale e ambiente - 15 ottobre 2021
Silco

Il mese della manutenzione
18a edizione Maintenance Stories – Fatti di Manutenzione
4° Convegno dell'Osservatorio Italiano della Manutenzione 4.0
Novembre 2021 - AIMAN

Bilanci d'acciaio - 12 novembre 2021
Siderweb

2a Giornata di Studio Pietro Pedferri "Durabilità delle opere in calcestruzzo armato"
27 novembre
PoliLapp

XXIX Congresso Nazionale A.I.MAN.
5° Convegno dell'Osservatorio Italiano della Manutenzione 4.0. - Novembre 2021
A.I.MAN.

Il mese della manutenzione:
5° Convegno dell'Osservatorio italiano della Manutenzione 4.0 - 8-19 Novembre 2021
2° CèManutenzioneXte - 22 - 26 Novembre 2021
XXIX Congresso Nazionale A.I.MAN - 29 - 30 Novembre 2021
AIMAN

Bilancio d'acciaio 2021 – Trafilerie: quali prospettive per il 2022? - 11 novembre 2021
Siderweb – Lecco Auditorium Casa dell'Economia

Bilancio d'acciaio 2021 – Analisi in chiave strategica e prospettiva dei bilanci 2020 della filiera - 18 novembre 2021
Siderweb – Modena Biper Banca Forum Monzani

Piazza delle Fonderie by Metef - 23-25 novembre 2021
Metef

CACRCS 2021 - 30 novembre - 3 dicembre 2021
COLLEGIO DEI TECNICI DELLA INDUSTRIALIZZAZIONE EDILIZIA

11° Giornate Nazionali di Saldatura - 2-3 dicembre 2021
IIS

RELAZIONE DEL COLLEGIO DEI REVISORI SUL BILANCIO AL 31 DICEMBRE 2021

Signori Soci,

il Bilancio di chiusura al 31 dicembre 2021 predisposto dal Vostro Consiglio Direttivo espone i seguenti dati (arrotondati all'unità di Euro):

Valori di bilancio	31/12/2021	31/12/2020	Variazioni
Attivo Stato Patrimoniale			
Immobilizzazioni	1.397.364	1.447.872	-50.508
Attivo Circolante	182.703	192.867	-10.164
Attività finanziarie	2.409.241	2.409.241	-
Disponibilità liquide	345.525	231.529	113.996
Ratei e Risconti	1.271	12.806	-11.535
Totale Attivo	4.336.104	4.294.315	41.789

Passivo Stato Patrimoniale			
Fondo Patrimoniale	3.727.591	3.796.769	-69.178
Risultato di esercizio	102.453	-161.192	263.645
Patrimonio Netto	3.830.044	3.635.577	194.467
Fondi e accantonamenti	5.000	97.014	-92.014
Trattamento di fine rapporto	163.686	154.596	9.090
Debiti	234.647	282.465	-47.818
Ratei e risconti	102.727	124.663	-21.936
Totale Passivo	4.336.104	4.294.315	41.789

Conto Economico			
Valore della Produzione	684.327	274.957	409.370
Costi della Produzione	-557.473	-417.584	-139.889
Differenza	126.854	-142.627	269.481
Proventi ed oneri finanziari	-5.391	-8.569	3.178
Risultato prima delle imposte	121.463	-151.196	272.659
Imposte sul reddito	-19.010	-9.996	-9.014
Risultato di esercizio	102.453	-161.192	263.645

Possiamo confermarVi che le singole voci dello Stato Patrimoniale e de Conto Economico concordano con le risultanze della contabilità, la cui regolare tenuta a sensi di legge, è stata da noi riscontrata nel corso dell'esercizio.

I Revisori ricordano che l'Associazione, come per l'anno precedente, tiene separata contabilmente l'attività istituzionale dall'attività commerciale, al fine del corretto calcolo dell'IVA e delle imposte sul reddito Ires ed Irap.

In particolare si da atto che:

- sono state rispettate le norme civilistiche circa la valutazione degli elementi dell'attivo, del passivo e del conto economico;
- le immobilizzazioni materiali ed immateriali sono state sistematicamente ammortizzate in relazione alla loro utilità sociale; si ricorda come nel corso dell'esercizio precedente, in forza della significativa contrazione nell'attività riconducibile alla pandemia dovuta alla diffusione del COVID-19, ai sensi del D.L. 104/2020, si era ritenuto stanziare ammortamenti limitatamente al 33% del valore delle quote piene, con una riduzione parametrata all'effettiva riduzione dei ricavi da manifestazioni. Per quanto la citata disposizione normativa sia stata riproposta per l'esercizio 2021, si è ritenuto di procedere all'accantonamento delle quote piene.

- le immobilizzazioni finanziarie sono state valutate al costo e non vi sono state perdite durevoli di valore;
- i crediti sono valutati al valore presumibile di realizzo;
- le disponibilità liquide, depositi bancari e denaro e valori in cassa, sono espresse in base al valore numerario;
- i fondi rischi sono relativi al fondo svalutazione crediti;
- i ratei e risconti sono iscritti in bilancio nel rispetto della loro competenza temporale;
- il fondo trattamento di fine rapporto dei dipendenti risulta determinato in modo congruo e rappresenta quanto maturato a tale titolo a favore dei dipendenti al netto degli eventuali anticipi corrisposti. L'Associazione ha in essere due polizze assicurative a garanzia delle indennità di cessazione del rapporto dei dipendenti in forza.
- i debiti sono iscritti a bilancio al valore nominale.

I criteri di valutazione utilizzati nella formazione del bilancio chiuso al 31 dicembre 2021 non si discostano dai medesimi utilizzati per la formazione del bilancio del precedente esercizio.

La valutazione delle voci di bilancio è stata fatta ispirandosi a criteri generali di prudenza e competenza nella prospettiva della continuazione dell'attività.

Nel corso dell'esercizio abbiamo vigilato sull'osservanza della legge e dello statuto e sul rispetto dei principi di corretta amministrazione.

Diamo atto quanto segue:

- abbiamo partecipato all'Assemblea Ordinaria dei Soci ed alle riunioni del Consiglio Direttivo, tutte svolte nel rispetto delle norme statutarie e legislative che ne disciplinano il funzionamento;
- abbiamo ottenuto dal Consiglio Direttivo le informazioni sul generale andamento della gestione;
- abbiamo valutato e vigilato sull'adeguatezza del sistema organizzativo ed amministrativo/ contabile;
- abbiamo vigilato sull'impostazione generale data dal Consiglio Direttivo al bilancio chiuso al 31 dicembre 2021, verificandone la rispondenza ai fatti ed alle informazioni di cui abbiamo avuto conoscenza a seguito dell'espletamento dei nostri doveri e quindi non abbiamo osservazioni al riguardo.

In relazione alle informazioni sui fatti di rilievo avvenuti dopo la chiusura dell'esercizio, si segnala, come riportato nella Relazione del Tesoriere, che non sono avvenuti fatti di rilievo da segnalare i cui effetti possano impattare i saldi e le valutazioni del bilancio al 31 dicembre 2021. A oggi non si è in grado di prevedere quali possano essere le dinamiche a venire dell'epidemia Covid-19 piuttosto che della situazione geopolitica legata al conflitto in essere in Ucraina, ne conseguentemente stimarne la portata economica sull'attività futura di AIM e l'impatto sul patrimonio.

Signori Associati,

in considerazione di quanto sopra esposto, formuliamo il nostro assenso all'approvazione del bilancio in esame, nonché della proposta del Consiglio Direttivo in merito all'imputazione dell'avanzo di esercizio, pari ad Euro 102.453.

IL COLLEGIO DEI REVISORI DEI CONTI

Milano, 28 aprile 2022

Dott. Arrigo Berenghi

Dott. Maurizio Perugini

Dott.ssa Anna Giacovelli

STATO PATRIMONIALE 2021

Stato Patrimoniale	Dati in euro Anno 2021	Dati in euro Anno 2020
ATTIVO		
A) QUOTE ASSOCIATIVE ANCORA DA VERSARE		
B) IMMOBILIZZAZIONI		
I- IMMOBILIZZAZIONI IMMATERIALI		
1) costi di sviluppo		
2) diritti di brevetto industriale e diritti di utilizzazione delle		
3) spese di manutenzione da ammortizzare		
4) oneri pluriennali	1.170	1.861
5) altre		
TOTALE	1.170	1.861
II- IMMOBILIZZAZIONI MATERIALI		
1) terreni e fabbricati	1.392.896	1.442.219
2) impianti e attrezzature	0	0
3) altri beni	3.298	3.791
4) immobilizzazioni in corso e acconti		
5) altre		
TOTALE	1.396.195	1.446.010
III- IMMOBILIZZAZIONI FINANZIARIE		
1) partecipazioni		
2) crediti		
di cui esigibili entro l'esercizio successivo		
3) altri beni		
TOTALE	0	0
B) TOTALE IMMOBILIZZAZIONI	1.397.364	1.447.872
C) ATTIVO CIRCOLANTE		
I- RIMANENZE		
1) materie prime, sussidiarie e di consumo		
2) prodotti in corso di lavorazione e semilavorati		
3) lavori in corso su ordinazione		
4) prodotti finiti e merci	30.904	31.840
5) acconti		
TOTALE	30.904	31.840
II- CREDITI		
1) verso clienti	9.502	12.613
di cui esigibili oltre l'esercizio successivo		
2) verso altri	142.297	148.415
di cui esigibili oltre l'esercizio successivo	135.972	141.701
TOTALE	151.799	161.027
III- ATTIVITA' FINANZIARIE NON IMMOBILIZZATE		
1) partecipazioni		
2) altri titoli	2.409.241	2.409.241
TOTALE	2.409.241	2.409.241
IV- DISPONIBILITA' LIQUIDE		
1) depositi bancari e postali	345.095	230.913
2) assegni		
3) denaro e valori in cassa	430	616
TOTALE	345.525	231.529
C) TOTALE ATTIVO CIRCOLANTE	2.937.469	2.833.638
D) RATEI E RISCONTI	1.271	12.805
TOTALE ATTIVO	4.336.104	4.294.315

RENDICONTO GESTIONALE

ONERI	ANNO 2021	ANNO 2020	PROVENTI E RICAVI	ANNO 2021	ANNO 2020
1) Oneri da attività tipiche	463.881	349.943	1) Proventi e ricavi da attività tipiche	570.631	239.159
1.1) Acquisti	17.507	70.000,00	1.1) Da convegni e corsi	418.063	98.576
1.2) Corvegni e corsi	89.455	2.000,00	1.2) Da contratti con enti pubblici		
1.3) Godimento beni di terzi			1.3) Da soci e associati	144.083	139.155
1.4) Personale	225.415	207.992	1.4) Da non soci		
1.5) Ammortamenti	43.681	15.472	1.5) Altri proventi e ricavi	1.679	1.428
1.6) Oneri diversi di gestione	85.943	72.368	1.6) Altri	6.806	
1.7) Altri	1.880	3.472			
2) Oneri promozionali e di raccolta fondi	2.000	18.000	2) Proventi da raccolta fondi	0	0
2.1) Borsa di studio	2.000	18.000	2.1) raccolta 1		
2.2) raccolta 2			2.2) raccolta 2		
2.3) raccolta 3			2.3) raccolta 3		
2.4) attività ordinaria di promozione			2.4) altri		
3) Oneri da attività accessorie	91.592	49.641	3) Proventi e ricavi da attività accessorie	113.694	35.799
3.1) Acquisti commerciali	2.955	2.689	3.1) Da attività commerciali	9.730	14.171
3.2) Servizi vari commerciali	15.918	2.747	3.2) Variazione rimanenze	-936	3.468
3.3) Godimento beni di terzi			3.3) Da soci e associati		
3.4) Personale	46.169	31.079	3.4) Da non soci		
3.5) Ammortamenti	8.947	2.312	3.5) Altri proventi e ricavi	104.900	18.161
3.6) oneri diversi di gestione	17.603	10.814	3.6) Altri		
3.7) Altri					
4) Oneri finanziari	13.539	13.394	4) Proventi finanziari e patrimoniali	8.148	4.825
4.1) Su rapporti bancari			4.1) Da rapporti bancari		
4.2) Su prestiti	4.171	4.967	4.2) Da altri investimenti finanziari	3.006	3.606
4.3) Da patrimonio edilizio			4.3) Da patrimonio edilizio		
4.4) Da altri beni patrimoniali			4.4) Da altri beni patrimoniali		
4.5) Oneri straordinari	9.368	8.427	4.5) Proventi straordinari	5.142	1.219
5) Oneri di supporto generale	0	0			
5.1) Acquisti					
5.2) Servizi					
5.3) Godimento beni di terzi					
5.4) Personale					
5.5) Ammortamenti					
5.6) Altri oneri					
TOTALE ONERI	571.012	430.978	TOTALE PROVENTI	692.473	279.783
IMPOSTE	19.010	9.996			
Risultato gestionale positivo	102.453		Risultato gestionale negativo		-161.192

Stato Patrimoniale	Dati in euro Anno 2021	Dati in euro Anno 2020
PASSIVO		
A) PATRIMONIO NETTO		
I- FONDO DI DOTAZIONE		
II- PATRIMONIO VINCOLATO		
1) riserve statutarie		92.014
2) fondi vincolati per decisione degli organi istituzionali		
3) fondi vincolati destinati a terzi	5.000	5.000
III- PATRIMONIO LIBERO		
1) risultato gestionale esercizio in corso	102.453	-161.192
2) riserve accantonate negli esercizi precedenti	3.727.591	3.796.769
TOTALE	3.835.044	3.732.591
B) FONDI PER RISCHI E ONERI		
1) per trattamento di quiescenza e obblighi simili	163.686	154.596
2) altri		
TOTALE	163.686	154.596
C) TRATTAMENTO DI FINE RAPPORTO LAVORO SUBORDINATO		
D) DEBITI		
1) debiti verso banche	169.141	205.336
esigibili oltre l'esercizio successivo	131.446	168.646
2) debiti verso altri finanziatori		
esigibili oltre l'esercizio successivo		
3) acconti		17.805
esigibili oltre l'esercizio successivo		
4) debiti verso fornitori	9.667	17.695
esigibili oltre l'esercizio successivo		
5) debiti tributari	18.922	5.203
esigibili oltre l'esercizio successivo		
6) debiti verso istituti di previdenza e di sicurezza sociale	14.521	9.581
esigibili oltre l'esercizio successivo		
7) altri debiti	22.396	26.845
esigibili oltre l'esercizio successivo		
TOTALE	234.647	282.465
E) RATEI E RISCONTI	102.728	124.663
TOTALE PASSIVO	4.336.104	4.294.315

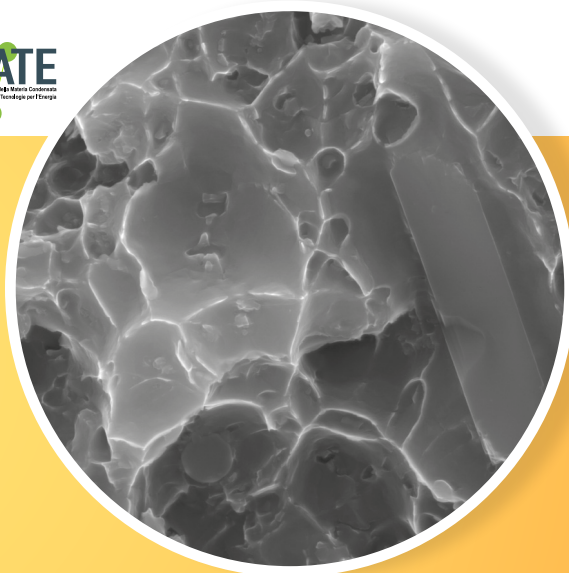
BUDGET PER L'ANNO 2022

VOCI DI CONTO	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2021	2022
	BUDGET	CONSUNTIVO	BUDGET	CONSUNTIVO	BUDGET	CONSUNTIVO	BUDGET	PRECONSUNTIVO	BUDGET
RICAVI									
Soci benemeriti	30.000,00	37.000,00	30.000,00	37.000,00	30.000,00	31.500,00	30.000,00	35.750,00	35.000,00
Soci sostenitori	45.700,00	51.000,00	45.800,00	61.500,00	45.000,00	52.500,00	50.000,00	55.500,00	55.000,00
Soci ordinari	70.000,00	71.330,00	70.000,00	77.862,50	50.000,00	52.325,00	50.000,00	48.703,00	50.000,00
Soci junior	2.000,00	2.835,00	2.000,00	2.325,00	2.000,00	2.155,00	2.000,00	3.030,00	3.000,00
Soci senior	750,00	750,00	700,00	975,00	1.000,00	675,00	600,00	1.100,00	1.000,00
Contributo METRO/STACAST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Ricavi rivista e vendita libri	25.000,00	15.560,00	14.000,00	18.562,01	14.000,00	15.599,00	12.000,00	11.410,00	10.000,00
Ricavi e contributi da manifestazioni	600.000,00	722.440,00	550.000,00	613.845,24	450.000,00	116.737,00	355.000,00	522.963,00	530.000,00
Ricavi diversi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.806,00	0,00
Proventi finanziari	10.000,00	7.005,00	8.000,00	11.570,71	8.000,00	3.606,00	3.000,00	3.006,00	3.000,00
Abbuoni e sopravvenienze	1.000,00	19.959,00	1.000,00	2.073,62	1.000,00	1.219,00	1.000,00	5.142,00	3.000,00
Utilizzo Fondo Riserva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Rimanenze finali	38.000,00	27.729,00	32.000,00	28.372,58	32.000,00	31.840,00	30.000,00	30.904,00	32.000,00
TOTALE RICAVI	822.450,00	955.608,00	753.500,00	854.086,66	633.000,00	308.156,00	533.600,00	724.314,00	722.000,00
COSTI	742		742						
Costi editoriali/rivista	19.000,00	18.468,00	16.000,00	19.180,00	16.000,00	19.754,00	16.000,00	18.467,00	22.000,00
Costi libri/materiali	15.000,00	9.968,00	6.000,00	3.119,91	4.000,00	2.689,00	3.600,00	2.955,00	5.000,00
Manifestazioni	245.000,00	269.408,00	203.500,00	187.775,46	143.000,00	33.633,00	100.000,00	104.413,00	200.000,00
Costo METRO/STACAST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Costo del personale	230.000,00	254.822,00	250.000,00	270.798,98	265.000,00	239.071,00	240.000,00	271.584,00	270.000,00
Spese generali	180.000,00	112.286,00	123.000,00	131.043,92	81.000,00	83.182,00	80.000,00	103.546,00	100.000,00
Borse di studio e premi	25.000,00	29.269,00	25.000,00	0,00	25.000,00	18.000,00	0,00	2.000,00	20.000,00
Ammortamenti e accantonamenti	55.000,00	62.180,00	60.000,00	59.380,65	55.000,00	21.256,00	50.000,00	54.508,00	50.000,00
Abbuoni e sopravvenienze	1.000,00	1.090,00	1.000,00	11.604,01	1.000,00	8.427,00	1.000,00	9.368,00	8.000,00
Esistenze iniziali	32.450,00	32.457,00	32.000,00	27.729,36	28.000,00	28.373,00	28.000,00	31.840,00	32.000,00
Minusvalenze ed oneri finanziari	0,00	27.428,00	27.000,00	12.121,16	5.000,00	4.967,00	5.000,00	4.170,00	5.000,00
Imposte sul reddito	20.000,00	23.150,00	10.000,00	21.217,00	10.000,00	9.996,00	10.000,00	19.010,00	10.000,00
TOTALE COSTI	822.450,00	840.526,00	753.500,00	743.970,45	633.000,00	469.348,00	533.600,00	621.861,00	722.000,00
RISULTATO D'ESERCIZIO	0,00	115.082,00	0,00	110.116,21	0,00	-161.192,00	0,00	102.453,00	0,00

CORSO DI BASE

21-22 GIUGNO 2022

Microscopia elettronica in scansione per metallurgisti



Con l'avvento e la diffusione di nuovi Microscopi Elettronici a Scansione (SEM), più compatti, e di semplice utilizzo, il ricorso al SEM sta diventando sempre più frequente non solo in ambito accademico, ma anche in ambito industriale, nel controllo qualità e nelle indagini sulle failures. La microscopia elettronica in scansione, però, non è 'solo' una tecnica di microscopia che ha un elevato potere risolutivo, consentendo di vedere anche dettagli nanometrici. Può infatti fornire anche un'ampia gamma di informazioni microanalitiche aggiuntive ottenibili variando le modalità di osservazione e i rilevatori utilizzati.

Con il SEM è possibile indagare la morfologia nella micro- e nano-scala di superfici piane o variamente strutturate, e valutarne la composizione, qualitativamente, con segnali con elettroni retrodiffusi (Back-Scattered Electrons - BSE) o in maniera più precisa con la spettroscopia a dispersione di energia e di lunghezza d'onda (EDS e WDS), ma anche la struttura cristallografica con la tecnica a diffrazione da elettroni retrodiffusi (EBSD). Inoltre l'evoluzione tecnologica ha ampliato la gamma delle soluzioni operative, rendendo possibile l'osservazione di campioni sottili in trasmissione (STEM), o l'osservazione di campioni anche non conduttivi a pressioni prossime a quelle ambiente (Environmental-SEM).

Tuttavia, le potenzialità di un SEM possono non essere sfruttate pienamente, qualora non si abbia una adeguata conoscenza della struttura di questo strumento e dei limiti delle varie tecniche di osservazione: l'importanza di un corretto allineamento dello strumento è spesso sottovalutata, come anche la mancanza di conoscenza dei fondamenti della fisica dell'interazione degli elettroni con la materia e delle tecniche di acquisizione dei vari segnali, può portare ad una erronea interpretazione dei risultati o limitare la piena fruizione delle potenzialità dello strumento. Inoltre anche la modalità di preparazione dei campioni deve essere appropriata per non limitare l'indagine ed ottenere informazioni attendibili.

Con questa iniziativa, alla terza edizione, il Comitato Tecnico di Metallurgia Fisica e Scienza dei Materiali dell'AIM organizza un Corso in cui si forniscono ai partecipanti le basi teoriche e pratiche di un corretto utilizzo del SEM, e l'introduzione alle molteplici tecniche di analisi ad esso integrate. L'iniziativa si rivolge a quanti, nel mondo industriale e nella ricerca, vogliono affrontare la microscopia elettronica in scansione con maggior consapevolezza, in quanto operatori ed utilizzatori diretti del SEM, oppure perché fruitori dei risultati prodotti.

Il Corso si svolgerà in due giornate consecutive presso le sedi di Milano e Lecco del CNR - Istituto ICMATE. Nelle due giornate verranno affrontati gli aspetti teorici dello strumento e delle varie tecniche di analisi, e applicazioni pratiche a casi studio affrontati con differenti tipologie di strumenti.

Coordinatori:

Giuliano Angella e Paola Bassani



21 giugno 2022

9.00 > 17.30

22 giugno 2022

9.00 > 16.30



21 giugno 2022

MILANO - CNR - AREA RICERCA 1

Via Corti 12, Milano

22 giugno 2022

LECCO - CNR ICMATE

Via G. Previati 1/E, Lecco



Evento organizzato in collaborazione con



Sponsorizzato da



Hitachi High-Tech

© Hitachi High-Tech Europe GmbH



Segreteria organizzativa

Associazione Italiana di Metallurgia

t. +39 02 76021132 +39 02 76397770

spedizioni@aimnet.it

www.aimnet.it

Docenti:

Dr. Giuliano Angella - Istituto CNR-ICMATE, Milano

Ing. Paola Bassani - Istituto CNR-ICMATE, Lecco

Prof. Marcello Cabibbo - Università Politecnica delle Marche

Prof.ssa Emanuela Cerri - Università di Parma

Ing. Riccardo Donnini - Istituto CNR-ICMATE, Milano

Ing. Dario Ripamonti - Istituto CNR-ICMATE, Milano

Ing. Elisabeth Sfameli - RTM Breda, Cormano

Eventi AIM / AIM events

CONVEGNI

ESSC & DUPLEX 2021 - 11TH EUROPEAN STAINLESS STEEL CONFERENCE SCIENCE & MARKET & 8TH EUROPEAN DUPLEX STAINLESS STEEL CONF. & EXHIB. – Bardolino (Verona), 15-17 giugno 2022
<http://www.aimnet.it/essc.htm>

39° CONVEGNO NAZIONALE AIM – Padova, 21-23 settembre 2022
<http://www.aimnet.it/nazionaleaim>

ROLLING 2022 - 12th INTERNATIONAL ROLLING CONFERENCE – Trieste, 26-28 ottobre 2022
<https://www.aimnet.it/rolling-12/>

IWSQ 2022 – 2ND INTERNATIONAL WORKSHOP ON SURFACE QUALITY OF CONTINUOUSLY CAST PRODUCTS – Bergamo, 1-2 dicembre 2022
<https://www.aimnet.it/iwsq-2.htm>

CORSI E GIORNATE DI STUDIO

Corso Modulare METALLOGRAFIA – ibrido – Milano, 31 maggio, in modalità webinar 7-8-9-14-15-28-29 giugno, 5-6 luglio, 13-14-15 settembre

Giornate di Studio GETTI PRESSOCOLATI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI – Brescia c/o Idra, 24 giugno e 29 giugno

Seminario TRASMISSIONI NELL'AUTOMOTIVE: DALL'ACCIAIERIA AL PROCESSO DI PALLINATURA – Modugno, (Bari) c/o Magna, 16-17 giugno

Corso MICROSCOPIA ELETTRONICA IN SCANSIONE – SEM - III Edizione – Milano, Lecco, 21-22 giugno

Corso TRIBOLOGIA INDUSTRIALE – ibrido – in modalità webinar, 22-23 giugno e Modena, 29-30 giugno

Corso modulare FONDERIA PER NON FONDITORI – 30 giugno, 1-7-8-12-13-14 luglio – webinar FaReTra

SCUOLA DI METALLURGIA DELLE POLVERI – Imola c/o SACMI, 5-6 luglio

Metallurgy Summer School SURFACE ENGINEERING OF METALS – Bertinoro (FC), 24-27 luglio

Corso MASTER PROGETTAZIONE STAMPI – itinerante, settembre/ottobre/novembre/dicembre

Giornata di Studio LEGHE PER ALTA TEMPERATURA PRODOTTE CON TECNOLOGIE ADDITIVE – Firenze (c/o Baker Hughes), 15 settembre

Giornata di Studio MICROSCOPIA ELETTRONICA APPLICATA ALLA FAILURE ANALYSIS – Padova, 20 settembre

Giornata di Studio ANALISI INFORTUNI – Padova, 22 settembre

Giornate di Studio CEMENTAZIONE VS NITRURAZIONE – Provaglio d'Iseo c/o Gefran, 6 ottobre

Giornata di Studio EBSD – Aosta c/o Cogne Acciai Speciali, 20 ottobre

Giornata di Studio DALLA SCELTA ALLA REALIZZAZIONE DI COMPONENTI TRATTATI TERMICAMENTE: COME EVITARE PROBLEMI TECNICI E CONTRATTUALI? – Brescia, 9 novembre

Giornata di Studio SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE NEL CAMPO DELLE COSTRUZIONI CIVILI – Milano, 10 novembre

Corso PROVE NON DISTRUTTIVE – ibrido: Milano, 16-17 novembre

Giornata di Studio VERIFICA E MANUTENZIONE DI STRUTTURE METALLICHE STORICHE: ASPETTI STRUTTURALI E METALLURGICI, DIAGNOSTICA E TECNICHE DI INTERVENTO – Milano, 21 novembre

Giornata di Studio TRATTAMENTI, RIVESTIMENTI E FINITURE SUPERFICIALI PER MANUFATTI MANUFACTURING – Milano, 23 novembre

Giornata di Studio TECNICHE DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI – Vicenza, novembre

FaReTra (Fair Remote Training) - FORMAZIONE E AGGIORNAMENTO A DISTANZA

Modalità Asincrona (registrazioni)

Corso DIFETTOLOGIA NEI GETTI PRESSOCOLATI: METALLIZZAZIONI

Corso ADDITIVE METALLURGY

Corso METALLURGIA PER NON METALLURGISTI

Giornata di Studio PRESSOCOLATA IN ZAMA

Giornata di Studio LA SFIDA DELLA NEUTRALITÀ CARBONICA

Corso itinerante METALLURGIA SICURA

Corso modulare TRATTAMENTI TERMICI

Corso modulare I REFRATTARI E LE LORO APPLICAZIONI

Corso GLI ACCIAI INOSSIDABILI 11ª edizione

Corso FAILURE ANALYSIS 11ª edizione

Giornata di Studio PERFORMANCE E DEGRADO DEI MATERIALI METALLICI UTILIZZATI IN CAMPO EOLICO: CAPIRE PER PREVENIRE

Giornata di Studio DIFETTI NEI GETTI PRESSOCOLATI: POROSITA' DA GAS

Corso PROVE MECCANICHE

Corso di base LEGHE DI ALLUMINIO

Giornata di Studio GREEN ECONOMY E ASPETTI AMBIENTALI PER L'INDUSTRIA DEI RIVESTIMENTI

Giornata di Studio IL CICLO DI FABBRICAZIONE DI UNA VALVOLA. NORMATIVE, PROGETTO, ACCIAIO, FUCINATURA COLLAUDO

Corso CORROSIONE PER NON CORROSIONISTI

Giornata di Studio TECNOLOGIE DI FORMATURA DELLE ANIME IN SABBIA PER GETTI IN LEGA LEGGERA

L'elenco completo delle iniziative è disponibile sul sito: www.aimnet.it

(* In caso non sia possibile svolgere la manifestazione in presenza, la stessa verrà erogata a distanza in modalità webinar

www.aimnet.it



Comitati tecnici / Study groups

CT LAVORAZIONI PLASTICHE DEI METALLI (LPM)

(riunione telematica del 02 marzo 2022)

Notizie dal Comitato

- Stefano Bertoni di Ecotre Valente, esperto di simulazioni di processi di deformazione plastica di metalli, viene inserito nel CT LPM al posto di Christian Cappellini.

Manifestazioni in corso di organizzazione

- La GdS "Lo sviluppo tecnologico degli impianti di produzione a caldo di vergelle di alta qualità per usi speciali" – coordinatore Parimbelli – è confermata per il 5 maggio 2022 presso Caleotto a Lecco, ora di proprietà al 100% di Feralpi. Il presidente Capoferri aggiorna sul programma, che prevede la mattinata al Politecnico di Milano, sede di Lecco, con 5-6 interventi sulla teoria, e il pomeriggio di visita agli impianti.
- La GdS "Raccorderia e pressatura; gli aspetti metallurgici" – coordinatore Mariani – subisce un ulteriore slittamento al 2023 in quanto Intertraco conferma la disponibilità per la lezione ma non per la visita agli stabilimenti, mentre Swiss Steel è disponibile solo in remoto.
- La GdS "Difettosità in laminazione" deve essere ripensata perché gli altri CT, con cui si voleva condividere l'iniziativa, hanno lavorato su altre strade. Il filo conduttore della giornata dovrebbe essere l'evoluzione di un difetto di acciaieria nel processo di laminazione e fino all'utilizzatore finale.

Iniziative future

- Capoferri sentirà il Responsabile Qualità del gruppo Pittini per organizzare una giornata sulla laminazione del tondo / vergella per cemento armato. Pittini ha sette stabilimenti e bisogna individuare l'obiettivo della GdS.
- Capoferri propone di riprendere l'organizzazione, insieme al CT Metalli Leggeri, della GdS sui metalli non ferrosi, alluminio in particolare. Prevista per il 2023.

CT METALLI LEGGERI (ML)

(riunione telematica del 01 aprile 2022)

Consuntivo di attività svolte

- Si torna a discutere dell'esito del corso di base "Leghe di Alluminio" (16 e 17 novembre 2021). Fracchia, coordinatrice insieme a Morri, mostra il riepilogo dei questionari di gradimento (17 ricevuti su 52 partecipanti). Per incentivare la compilazione Bassani suggerisce di collegare la compilazione del questionario all'attestato di partecipazione tramite un link. Diversi commenti richiedono di trattare la trafilatura e la forgiatura: occorre organizzare un modulo specifico sulla deformazione plastica delle leghe di alluminio.

Manifestazioni in corso di organizzazione

- Il coordinatore Garagnani informa sullo stato dell'organizzazione della GdS in ricordo di Giorgio Valentini "L'alluminio nell'automobile – La storia incontra il futuro". La giornata, a ingresso gratuito ma a numero chiuso con iscrizione, si svolgerà il 20 maggio 2022 presso l'Università di Ferrara in collaborazione con il museo dell'autoveicolo di Torino MAUTO, con AISA, Associazione Italiana per la Storia dell'Automobile e con ASI, Club Officina Ferrarese del motorismo storico. La scaletta, già presentata nella precedente riunione, prevede 8 interventi in totale più una tavola rotonda finale.

Iniziative future

- Si discute della possibilità di organizzare una manifestazione sulla saldatura, e per questo sarà contattato l'Istituto Italiano della Saldatura per strutturare un'attività a fine 2022 o nel 2023. Nel 2019 il CT ML aveva organizzato una giornata focalizzata sulla saldatura ad arco, ora si pensa di allargare ad altre tecniche: la saldatura dei getti è molto attuale e merita spazio.
- Per la GdS sulla verniciatura e i trattamenti superficiali, con coordinatori Barbarossa, Grillo, Barbato e Fortini, viene presentata una prima bozza provvisoria della giornata con 3 argomenti principali, cui andranno aggiunti altri temi per rendere più accattivante la manifestazione. La data potrebbe essere nell'ultimo trimestre 2022.
- Rimangono aperte le iniziative su una possibile GdS sulla eco-sostenibilità e sulle emissioni di CO², nonché una sui laminati, comprendendo la laminazione sottile.

Normativa / Standards

Norme pubblicate e progetti in inchiesta (aggiornamento 27 aprile 2022)

Norme UNSIDER pubblicate da UNI nel mese di aprile 2022

ISO 23717:2022

Steel wire and wire products — Hose reinforcement wire

ISO 23213:2022

Carbon steel wire for bedding and seating springs

ISO 15590-3:2022

Petroleum and natural gas industries — Factory bends, fittings and flanges for pipeline transportation systems — Part 3: Flanges

ISO/TS 12835:2022

Qualification of casing connections for thermal wells

ISO 11257:2022

Iron ores for shaft direct-reduction feedstocks — Determination of the low-temperature reduction-disintegration index and degree of metallization

ISO 10423:2022

Petroleum and natural gas industries — Drilling and production equipment — Wellhead and tree equipment

Progetti UNSIDER in inchiesta prEN e ISO/DIS – maggio 2022

prEN – progetti di norma europei

prEN ISO19901-5

Petroleum, petrochemical and natural gas

industries - Internal coating and lining of steel storage tanks (ISO/DIS 16961:2022)

ISO/DIS – progetti di norma internazionali

ISO/DIS 24131-1

Internal protection by polymeric lining for ductile iron pipes — Part 1: polyurethane lining

ISO/DIS 24131-2

Internal protection by polymeric lining for ductile iron pipes — Part 2: epoxy lining

ISO/DIS 16961

Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Internal coating and lining of steel storage tanks

ISO/DIS 14556

Metallic materials — Charpy V-notch pendulum impact test — Instrumented test method

ISO/DIS 5451

Ferrovandium — Specification and conditions of delivery

ISO/DIS 683-17

Heat-treatable steels, alloy steels and free-cutting steels — Part 17: Ball and roller bearing steels

Progetti UNSIDER al voto FprEN e ISO/FDIS – maggio 2022

FprEN – progetti di norma europei

FprEN ISO 10113

Metallic materials - Sheet and strip - Determination of plastic strain ratio (ISO/FDIS 10113:2019)

ISO/FDIS – progetti di norma internazionali

ISO/FDIS 23838

Metallic materials — High strain rate torsion test at room temperature

ISO/PRF TS 21913

Temperature verification method applied to dynamic fatigue testing

ISO/FDIS 19901-2

Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 2: Seismic design procedures and criteria

ISO/PRF TS 6084

Steel and steel products — Vocabulary relating to chemical analysis

ISO/FDIS 4370

Environmental life cycle assessment and recycling of ductile iron pipes for water applications

ISO/PRF TR 4340

Water aggressiveness evaluation and optimized lining choice

ISO/FDIS 4298

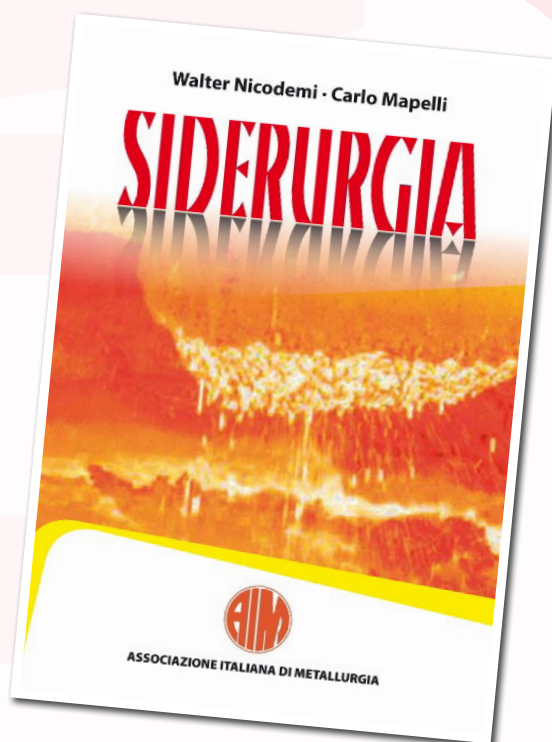
Manganese ores and concentrates — Determination of manganese content — Potentiometric method

SIDERURGIA

2011 © Associazione Italiana di Metallurgia
ISBN: 978-88-85298-81-1

Prezzo di vendita al pubblico:
Euro 46,00 (Iva assolta dall'editore)

Per informazioni e ordini:
spedizioni@aimnet.it



Un'opera ancora ispirata ai principi che hanno informato le opere succedutesi in sessant'anni: evitare trattazioni prolisse e ridondanti dei principi di base al fine di privilegiare spiegazioni chiare e sintetiche, che permettano una corretta applicazione dei concetti nell'ideazione ed esecuzione dei processi industriali e nell'esercizio degli impianti.

Dopo aver delineato brevemente la prospettiva storica in cui si inseriscono gli attuali cicli siderurgici, la trattazione è focalizzata sulla spiegazione dei principi di base della termodinamica e della cinetica di interesse siderurgico. La trattazione abbraccia successivamente le problematiche dei cicli della produzione siderurgica:

- . le materie prime
- . il ciclo da minerale fondato sull'accoppiamento altoforno-convertitore
- . il ciclo da rottame
- . i processi di metallurgia secondaria
- . i processi di colata dell'acciaio

Un testo che non presenta un carattere puramente accademico, ma che può essere utilizzato in campo industriale come supporto per la corretta progettazione e gestione degli impianti, per l'ideazione di corrette pratiche operative e per un'efficiente gestione degli impianti.



Walter Nicodemi

è stato un ingegnere e docente universitario del Politecnico di Milano, per anni titolare della cattedra "Siderurgia" e dei corsi di "Metallurgia Applicata" e "Archeometallurgia". Nel corso della lunga carriera accademica ha dato un notevole contributo alla siderurgia e alla metallurgia, ricoprendo ruoli di spicco all'interno di associazioni del settore e pubblicando numerosi testi di carattere tecnico-scientifico. Il suo gruppo di lavoro ha inoltre prodotto più di un migliaio di contributi scientifici.



Carlo Mapelli

è un docente universitario presso il Politecnico di Milano. Titolare dei corsi di "Siderurgia ed Impianti Siderurgici", "Plastic Deformation of Metals" e "Metallurgia e Materiali non Metallici". La FEMS ("Federation of European Material Society") lo ha insignito del titolo di FEMS Lecturer Award for Excellence in Material per l'anno 2010 sulla base dei risultati dell'attività di ricerca e didattica.



ESSC & DUPLEx

Bardolino · Verona · Italy, 15-17 June 2022

AIM is glad to announce the **11th European Stainless Steel Conference Science & Market** and the **7th European Duplex Stainless Steel Conference & Exhibition**, that will be jointly organized, as a single event in Bardolino (Verona) on 15th-17th June 2022.

The Conference will focus on all the aspects of development, production technology (hot and cold rolling, heat treatment, etc.), welding, corrosion and applications of stainless steels and duplex stainless steels and it addresses delegates with both academic and industrial backgrounds.

The results shall contribute to the advancement of existing and potential applications and will help to guide future development.

The event will bring together developers, designers, manufacturers and users of stainless steel from industry and academia and will compare the present and future needs to satisfy these demands now or in the future.

Short and medium term perspectives of European stainless steel flat, long products, forgings and castings will be widely discussed during the Stainless Steel Market Outlook session.

It is expected the presence of speakers representing the most important European stainless steel associations and reports coming from the big stainless steel companies.

Organized by



In cooperation with



Sponsored by



www.aimnet.it/essc.htm