



REGIONE DEL VENETO



PR Veneto FESR 2021-2027

Obiettivo Specifico 1.1 “Sviluppare e rafforzare le capacità di ricerca e di innovazione e l’introduzione di tecnologie avanzate”

Azione 1.1.1 “Rafforzare la ricerca e l’innovazione (in collaborazione) tra imprese e organismi di ricerca”

Sub A “Rafforzare la ricerca e l’innovazione tra imprese e organismi di ricerca”

Bando per il finanziamento di progetti di ricerca e sviluppo realizzati dalle Reti Innovative Regionali e dai Distretti Industriali.

DGR n. 729 del 26 giugno 2024

“Tecnologie di recupero ad alta sostenibilità per la produzione di compositi intermetallici e minerali reattivi”
STILLMETALEVO



REGIONE DEL VENETO

STILLMETALEVO Il progetto

Il progetto di R&S denominato “**Tecnologie di recupero ad alta sostenibilità per la produzione di compositi intermetallici e minerali reattivi**” (acronimo **STILLMETALEVO**) si è posto l'obiettivo di sviluppare tecnologie innovative e sostenibili per il **recupero di materie prime critiche** quali Silicio metallico, Magnesio, Alluminio e Manganese da **rifiuti siderurgici**. Il progetto è un'iniziativa “MULTI RIR” che vede come capofila **GREEN TECH ITALY RDI**, rappresentante la **VENETO GREEN CLUSTER**, in collaborazione con **SINFONET - Smart & INnovative FOUNdry NETwork**, rappresentata dal **CONSORZIO SPRING**.

Il contesto di riferimento è la crescente importanza economica e il contemporaneo alto rischio di approvvigionamento delle materie prime critiche per l'Europa, elementi fondamentali per numerose attività industriali e per la transizione ecologica. In linea con il regolamento europeo sulle materie prime critiche, **STILLMETALEVO** mira a **valorizzare i rifiuti siderurgici** - come scorie di affinazione e fusione, terre esauste di fonderia e polveri di aspirazione - dimostrando la possibilità di recuperare materiali di interesse non solo per la siderurgia, ma anche per l'edilizia, la bioedilizia, la ceramica refrattaria e la bonifica ambientale. Attualmente, milioni di tonnellate di rifiuti siderurgici vengono smaltite in discarica solo nel Veneto, rappresentando un significativo problema ambientale ed economico.

Il progetto si è basato su una **stretta collaborazione** tra il mondo accademico (**Università degli Studi di Padova**) e **12 imprese** (5 di Sinfonet e 7 di Veneto Green Cluster), che coprono l'intera filiera: produttori di rifiuti (**FONDERIA ZANARDI SPA, FONDERIA POVOLARO SRL**), sviluppatori di processi di trattamento (**ZEROCENTO SRL, PROSERVICE SRL, PIGOZZO SYSTEM SRL**), utilizzatori dei materiali rigenerati (**ITALKER SRL, JOSEPH EGLI ITALIA SRL, TEV GROUP SRL, VILLAGA STRUTTURE SRL, FERRARI BK SRL, ALUSISTEMI SRL**) e un fornitore di servizi ambientali (**APLUS SRL**).

STILLMETALEVO ha previsto lo sviluppo di due principali **processi di trattamento**: • **Processo termomeccanico (PROSERVICE)**: Integra la rigenerazione delle terre di fonderia con il trattamento simultaneo delle polveri di aspirazione, migliorando l'efficienza energetica. • **Processo alluminio termico (ZEROCENTO)**: Innovativa tecnologia per il trattamento di scorie di fusione ad elevato valore aggiunto; può utilizzare come input anche gli output del processo termomeccanico. È previsto anche un processo di **pretrattamento dei rifiuti (PIGOZZO SYSTEM)** basato sulla compattazione a umido di polveri a reattività idraulica.

Dai processi di trattamento si otterranno diversi **output**: • **Silice rigenerata**, riutilizzabile in fonderia o come fonte di silicio per il processo alluminio termico. • **Minerali idraulicamente reattivi** (a base di argille calcinate o calcio-silico-alluminati), impiegabili nella produzione di leganti idraulici. • **Compositi intermetallici**, riutilizzabili nell'affinazione dell'acciaio e nella produzione di ghisa sferoidale. • **Calcio alluminati**, utilizzabili come flussanti in siderurgia o come minerali reattivi in ceramiche refrattarie.

Questi prodotti intermedi sono stati utilizzati dai partner per dimostrarne l'impiego come nuove materie prime per **prodotti finiti** in diversi settori: • Manufatti in composito cementizio e blocchi per la bioedilizia (**FERRARI BK**). • Manufatti in calcestruzzo strutturale (**VILLAGA STRUTTURE**). • Manufatti in calcestruzzo non strutturale per strutture fotovoltaiche (**ALUSISTEMI**). • Soluzioni per l'inertizzazione e stabilizzazione del suolo (**TEV Group**). • Soluzioni adsorbenti per il trattamento di acque contaminate (**JOSEPH EGLI**). • Manufatti in ceramica refrattaria (**ITALKER**). • Miscele inorganiche per la costruzione di strade (**ZEROCENTO**). • Manufatti in ghisa, anime e sistemi di formatura per fonderia (**FONDERIE ZANARDI E FONDERIE POVOLARO**).



Cofinanziato
dall'Unione europea



REGIONE DEL VENETO

Il progetto si inserisce nella **Strategia di Specializzazione Intelligente (S3) della Regione del Veneto 2014 - 2020** nell'ambito **"Smart Manufacturing"** e nelle traiettorie tecnologiche relative a processi innovativi di trattamento/riutilizzo di rifiuti industriali, nuovi macchinari e impianti per il risparmio energetico e materiali innovativi. È rilevante anche per **"Smart Living & Energy"** con traiettorie su soluzioni e materiali innovativi per il living, tecnologie per la progettazione e gestione degli edifici, rigenerazione urbana e tecnologie per il monitoraggio ambientale.

Il budget totale previsto per il progetto STILLMETALEVO è di **3.473.728,52 €**. Questa cifra è il risultato della somma delle previsioni di spesa per le diverse categorie nel corso dei semestri di attività del progetto.

Le principali categorie di spesa includono:

- **Spese di personale:** 1.826.105,00 €
- **Utilizzo di beni strumentali:** 62.857,24 €
- **Utilizzo di beni immobili:** 20.250,00 €
- **Consulenze tecniche e scientifiche:** 700.000,00 €
- **Costi di esercizio:** 678.571,43 €
- **Spese generali supplementari:** 185.944,85 €

Importo del sostegno pubblico concesso:

-Sovvenzione a fondo perduto: € 1.841.917,71

-Finanziamento agevolato: € 631.428,68

RELAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA DELLA TECNOLOGIA INNOVATIVA DEI PROCESSI ALLUMINOTERMICI NEL PROGETTO STILLMETAL-EVO

Programma: Bando PR FESR 2021-2027 – Regione del Veneto | Azione 1.1.4

Capofila: Green Tech Italy RDI (RIR Veneto Green Cluster)

In Sinergia con: RIR SINFONET (Consorzio Spring) e Università degli Studi di Padova (CIRCE e DII)

1. QUADRO GENERALE

1.1 Principi Fondamentali della Reazione Alluminotermica

L'alluminotermia definisce una classe di reazioni pirometallurgiche fortemente esotermiche di ossidoriduzione (redox), nelle quali l'alluminio metallico finemente suddiviso o di recupero viene impiegato come agente riducente per convertire ossidi metallici (quali ossidi di ferro, silicio, manganese, cromo, titanio o vanadio) nei corrispondenti metalli o ferroleghie allo stato elementare. Sviluppata originariamente alla fine del XIX secolo da Hans Goldschmidt, la reazione si basa sull'elevatissima affinità chimica dell'alluminio per l'ossigeno, quantificata da un'entalpia libera di formazione dell'ossido di alluminio (allumina, Al_2O_3) estremamente negativa.

A causa dell'elevato calore generato dal processo, le temperature interne della massa reattiva raggiungono rapidamente intervalli compresi tra 1400°C e oltre 2200°C . Questo livello termico consente la completa fusione sia della fase metallica ridotta (più densa, che precipita sul fondo del reattore) sia della fase minerale o scoria calcio-alluminosa (meno densa, che galleggia in superficie). La caratteristica peculiare dell'alluminotermia risiede nella sua natura autosostenibile: una volta innescata la reazione tramite un apporto termico iniziale, il processo prosegue spontaneamente senza richiedere l'impiego continuo di fonti di calore esterne o di energia elettrica.

1.2 Settori Tradizionali di Applicazione nell'Industria Europea

Storicamente, l'industria europea ha integrato i processi alluminotermici in diversi comparti produttivi e metallurgici di rilevanza strategica:

- **Saldatura Alluminotermica delle Rotaie Ferroviarie (Processo Thermit):** Rappresenta l'applicazione alluminotermica più diffusa ed empiricamente consolidata in Europa per la giunzione in opera delle rotaie in acciaio delle reti ferroviarie e tranviarie. La reazione tra ossido di ferro (Fe_2O_3 o Fe_3O_4) e polvere di alluminio produce ferro fuso ad altissima temperatura e scoria di allumina, garantendo una saldatura monolitica continua priva di giunti meccanici.
- **Produzione di Ferroleghie e Metalli Puri ad Alta Purezza:** L'alluminotermia è tradizionalmente impiegata negli impianti metallurgici europei per la sintesi di ferroleghie speciali ad ultra-basso contenuto di carbonio (es. Ferrocromo metallico, Ferrovandio, Ferrotitanio, Ferromanganese e Cromo metallico puro). Poiché il processo non utilizza il carbonio come agente riducente (a



differenza dei forni elettrici a riduzione o degli altoforni), si ottengono prodotti intermedi con tenori di carbonio inferiori allo 0,01%, indispensabili per la fabbricazione di acciai inossidabili speciali e superleghe aerospaziali.

- **Metallurgia Estrattiva e Trattamento di Minerali Complessi:** In diversi distretti industriali nord-europei e tedeschi, tecniche alluminotermiche sono state adattate per l'estrazione e il raffinamento di elementi ad alto valore da concentrati minerali o da residui pirometallurgici complesse.

1.3 Evoluzione e Nuove Sfide: Decarbonizzazione, Critical Raw Materials Act ed Economia Circolare

Negli ultimi decenni, l'industria siderurgica e metallurgica dell'Unione Europea ha affrontato una profonda ristrutturazione. La produzione tradizionale di ferroleghe in Europa è stata progressivamente dismessa o ridimensionata a causa dei costi energetici eccessivi delle utenze elettriche e della totale dipendenza dall'importazione di materie prime vergini da paesi extra-UE. L'importazione di ferroleghe e metalli critici espone la filiera manifatturiera europea a forti volatilità di prezzo, rischi geopolitici e strozzature nelle catene di approvvigionamento.

In risposta al **European Critical Raw Materials Act** e alle direttive comunitarie sulla neutralità carbonica (Fit for 55 e Regolamento UE 2020/852 DNSH), i processi alluminotermici in Europa stanno vivendo un radicale cambio di paradigma:

- **Dall'Inertizzazione al Recupero di Materie Prime Critiche:** Le scorie di acciaieria da forno elettrico ad arco (EAF) e da metallurgia secondaria in siviera (SMS/LF) sono state storicamente gestite tramite semplice raffreddamento, frantumazione e destino finale in discarica o in sottofondi stradali a basso valore aggiunto. Il nuovo approccio tecnologico sfrutta l'alluminotermia non per inertizzare il rifiuto, ma per estrarre in forma metallica gli elementi pregiati presenti sotto forma di ossidi (Silicio, Manganese, Ferro, Cromo).
- **Simbiosi Industriale con gli Scarti di Alluminio:** Per rendere il processo economicamente ed ambientalmente sostenibile, la moderna alluminotermia europea non impiega più alluminio primario vergine, bensì rottami di scarto, limature, scaglie da lavorazione meccanica e imballaggi in alluminio a fine vita (lattine EoW) che agiscono da agenti riducenti a basso costo e ad impronta carbonica azzerata.

2. IL PROCESSO ALLUMINOTERMICO SVILUPPATO IN STILLMETAL-EVO

2.1 Genesi e Contesto del Progetto STILLMETAL-EVO

In questo scenario d'avanguardia si inserisce l'attività di Ricerca & Sviluppo di **ZEROCENTO S.r.l.**, azienda della RIR SINFONET certificata UNI EN ISO 14001. L'iniziativa trae origine da un progetto preliminare co-finanziato nel 2022 dall'agenzia europea **EIT RawMaterials**, che ha dimostrato il potenziale chimico e mineralogico delle scorie di affinazione dell'acciaio. All'interno del progetto inter-RIR **STILLMETAL-EVO** (condotto con la RIR Veneto Green Cluster e l'Università degli Studi di Padova), **ZEROCENTO** ha ingegnerizzato e scalato il processo alluminotermico dal TRL 4 (sperimentazione di laboratorio) al **TRL 6**



(prototipo dimostrato in contesto industriale rilevante).

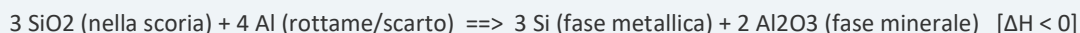
2.2 Principi Chimici, Reagenti e Meccanismo di Reazione

Il processo alluminotermico sviluppato da ZEROCENTO converte integralmente i rifiuti inorganici siderurgici — nello specifico le scorie nere da Forno Elettrico ad Arco (EAF, codice EER 10 02 02) e le scorie bianche da Metallurgia Secondaria/Siviera (SMS/LF) — in due materie prime seconde ad alto valore commerciale, senza generare alcun residuo o sottoprodotto destinato alla discarica (approccio Zero-Waste).

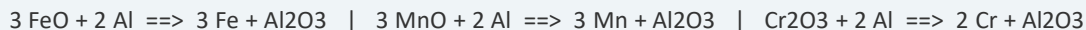
La reazione si basa sull'addizione di alluminio metallico di recupero a una miscela fusa comprende scoria siderurgica e rottame metallico, mantenuta all'interno della camera del reattore a temperature operative comprese tra **1400°C e 1700°C** (con picchi esotermici locali superiori a 2000°C). L'alluminio metallico riduce la silice (SiO₂) e gli ossidi metallici (FeO, MnO, Cr₂O₃) presenti nella scoria a Silicio, Ferro e Manganese metallici, ossidandosi contestualmente ad allumina (Al₂O₃):

EQUAZIONI CHIMICHE DI REAZIONE E SEQUESTRO METALLI

Reazione Principale di Riduzione della Silice:



Reazioni Secondarie di Sequestro dei Metalli:



La forte esotermia della reazione mantiene la miscela costantemente allo stato liquido fluido, creando un perfetto equilibrio chimico-fisico in cui il punto di fusione della massa non si innalza, rendendo il processo autosostenibile e riducendo al minimo la necessità di apportare calore o flussanti sintetici dall'esterno. Inoltre, il processo opera un rigoroso 'cleaning' della scoria, sequestrando tutti i cationi metallici pesanti e trasferendoli stabilmente nella fase metallica.

2.3 Separazione delle Fasi e Bilancio di Materia

A seguito della reazione esotermica e della decantazione nei tempi stabiliti, la massa fusa si separa nettamente per differenza di densità in due fasi liquide immiscibili:

- **Fase Metallica (Fondo del Reattore):** Una ferrolega Ferrosilicio (FeSi / FeSi25 / FeSi50) ad elevata densità e purezza, priva di contaminanti inorganici, idonea al riutilizzo diretto come carica d'alligazione e disossidante nelle acciaierie e nelle fonderie di ghisa.
- **Fase Minerale (Superficie del Reattore):** Un residuo calcio-alluminoso amorfo / sintetico (Calcio-Alluminato, CaAl₂O₄ / C12A7 Mayenite e Gehlenite), caratterizzato da un'elevata reattività pozzolanica e idraulica, impiegabile come precursore nei cementi LC3, nei geopolimeri, nelle ceramiche refrattarie e nei sistemi di filtrazione/bonifica.

I bilanci di materia di processo validati da ZEROCENTO e dall'Università di Padova dimostrano che dal



REGIONE DEL VENETO

trattamento di **1 tonnellata di scoria bianca** si ottengono mediamente **800 kg di ferrolega FeSi** e **1100 kg di calcio-alluminato**, realizzando una conversione del 100% della materia prima in ingresso.

3. INGEGNERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO E PROTOTIPO INDUSTRIALE OXITERM 10

3.1 Architettura Meccanica e Struttura del Reattore Rotativo

Per traslare la reazione dal laboratorio alla scala industriale, ZEROCENTO ha ingegnerizzato e realizzato il prototipo di forno-reattore rotativo **OXITERM 10** (Deliverable D17). La scelta progettuale si è orientata su un design a crogiolo orizzontale rotante montato su una culla oleodinamica di sostegno, abbandonando l'ipotesi iniziale a riscaldamento induttivo a causa dell'elevata inerzia elettromagnetica delle scorie siderurgiche.

Sotto-Sistema Impiantistico	Specifiche Tecniche e Caratteristiche Operative
Corpo Reattore Rotativo	Cilindro orizzontale in lamiera speciale con piste di rotolamento tornite; azionamento a rotazione continua o parziale per garantire la miscelazione meccanica intima della scoria fusa con l'alluminio.
Culla Oleodinamica e Inclinazioni	Centralina oleodinamica con cilindri ammortizzati. Inclinazione -35°/-40° per riparazione a caldo; inclinazione in avanti per caricamento rapido via skip/canale vibrante; rotazione a 90° per rifacimento del refrattario.
Gruppo di Ossicombustione	Brucciore ad ossicombustione da 0,6 MW (CH ₄ /O ₂) con camicia di raffreddamento ad acqua in circuito chiuso e scambiatore H ₂ O/aria per la stabilità termica.
SKID GAS ATEX Zona 2	Dimensioni 2500x2500x800 mm; valvole motorizzate DN25 per metano e ossigeno, trasmettitori di pressione relativa/differenziale, pressostati di sicurezza e valvole di blocco in Classe A.
Automazione e Controllo PLC/HMI	PLC Siemens S7-1200 Fail-Safe collegato a terminale Touch Screen ASEM da 7"; gestione automatizzata delle rampe termiche, arresto automatico in posizione di carico e controllo stechiometrico.

3.2 Sistema di Tenuta, Atmosfera Riducente e Spillaggio Separato

Un elemento ingegneristico chiave sviluppato da ZEROCENTO è il sistema di giunti di tenuta d'aria, che garantisce la chiusura ermetica della camera di reazione durante la rotazione. Questa soluzione impedisce le infiltrazioni parassite di ossigeno atmosferico, preservando l'atmosfera fortemente riducente indispensabile per evitare l'ossidazione indesiderata dell'alluminio metallico e ottimizzare la resa di riduzione.



REGIONE DEL VENETO

Al termine del ciclo di reazione e decantazione, lo scarico dei prodotti avviene tramite un sistema a spillaggio separato:

- **Spillata della Ferrolega:** Inclinando il forno mediante i comandi oleodinamici, il foro di colata inferiore viene posizionato al di sotto del livello della scoria minerale, colando la ferrolega liquida ad alta densità all'interno di lingottiere in ghisa.
- **Scarico del Minerale Calcio-Alluminato:** Spostando braccetto del bruciatore e canale su supporto rotante, la fase minerale fusa viene evacuata dalla bocca principale di scarico fumi e raccolta in apposite vasche scorie posizionate su carrello servito.

4. APPLICAZIONI DEGLI OUTPUT, IMPATTO AMBIENTALE

4.1 Integrazione degli Output nella Filiera Regionale STILLMETAL-EVO

Gli output generati dal processo alluminotermico di ZEROCENTO alimentano direttamente le sperimentazioni e la produzione degli altri partner industriali della filiera veneta:

- **Siderurgia e Fonderia (Acciaierie Venete, Zanardi, Povolaro):** La ferrolega FeSi viene impiegata come disossidante e legante di massa per acciai da costruzione (Q235) ed ultra-basso carbonio (IF), nonché per la ghisa sferoidale; i calcio-alluminati agiscono da flussanti sintetici e desolforanti in siviera.
- **Edilizia e Bioedilizia (Ferrari BK, Villaga Strutture, Alusistemi):** I calcio-silico-alluminati vengono impiegati come precursori a presa idraulica in sostituzione del clinker per la produzione di masselli autobloccanti, blocchi isolanti in lolla di riso mineralizzata, lastre strutturali e zavorre fotovoltaiche.
- **Ambiente e Depurazione (Joseph Egli Italia, TEV Group):** Le matrici calcio-alluminose vengono trasformate in monoliti e granuli porosi adsorbenti per l'abbattimento di metalli pesanti (Cu, Fe, Ni, Mn) e PFAS nelle acque reflue e per la stabilizzazione/inertizzazione dei suoli contaminati.
- **Ceramiche Refrattarie ed Infrastrutture (Italker, ZEROCENTO):** I calcio-alluminati sono formulati da Italker per blocchi refrattari ad alta densità (200 kg) esenti da deformazioni termiche, e da ZEROCENTO per premiscelati inorganici ad alta reattività destinati alla stabilizzazione dei sottofondi stradali.

4.2 Sostenibilità Ambientale ed Efficienza Energetica (-90% Consumi)

Il processo alluminotermico firmato ZEROCENTO introduce vantaggi ambientali straordinari, pienamente allineati al principio europeo DNSH (Do No Significant Harm):

- **Abbattimento dei Consumi Elettrici fino al 90%:** Sfruttando l'entalpia della reazione esotermica dell'alluminio, il processo riduce drasticamente la quantità di energia elettrica richiesta rispetto ai tradizionali forni ad arco pirometallurgici per ferroleghe, abbattendo la correlata impronta carbonica (CO₂).
- **Riduzione delle Emissioni di CO₂ nei Leganti Cementizi:** L'impiego dei calcio-alluminati ricavati dalle scorie in sostituzione del cemento Portland consente un abbattimento delle emissioni indirette di CO₂ dal 50% all'80% nel settore delle costruzioni.



5. CONCLUSIONI

La sperimentazione condotta da ZEROCENTO nel progetto STILLMETAL-EVO dimostra l'efficacia del processo alluminotermico come ponte tecnologico tra il settore siderurgico, l'edilizia sostenibile e la bonifica ambientale. La capacità di convertire rifiuti complessi quali le scorie EAF ed SMS in ferroleghie pregiate e leganti calcio-alluminosi ad elevate prestazioni consente di abbinare una netta riduzione dell'impronta carbonica a risultati economico-finanziari di primissimo piano.