



Fig. 1 - Foto aerea del sito

Antonio Lallai

Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali

Facoltà di Ingegneria

Università di Cagliari

Pier Paolo Manca

Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali

Facoltà di Ingegneria

Università di Cagliari

lallai@dicm.unica.it, ppmanca@unica.it

BONIFICA DEL SITO FAS DI CAGLIARI

Questo articolo descrive la caratterizzazione di un sito contaminato, nonché il progetto proposto per la bonifica dell'area in cui ha operato per più di trent'anni un'acciaiera con forno elettrico ad arco. Il progetto di bonifica è stato impostato sulla base dei risultati positivi ottenuti in due differenti test di trattamento, condotti a livello di scala semindustriale, sui rifiuti più pericolosi (fumi di acciaieria) e sui materiali inquinati presenti in maggiore quantità (scorie d'acciaieria).

Lo studio di bonifica descritto si riferisce ad un sito industriale dismesso inquinato in cui ha operato un'acciaiera ad arco elettrico diretto (EAF). Questa tipologia di impianti comporta la produzione di reflu gassosi e rifiuti solidi che, se non trattati e smaltiti correttamente, possono determinare un impatto ambientale particolarmente rilevante, come documentato dagli elevati livelli d'inquinamento prodotti da acciaierie che hanno operato in diverse parti del mondo.

L'importanza della caratterizzazione e della bonifica dei siti in cui ha operato un'acciaiera EAF è giustificata dalla loro crescente diffusione nel panorama industriale mondiale. Ciò è documentato dai dati annuali di produzione di acciaio e dall'incidenza dell'applicazione di tale processo, pari rispettivamente a: 595 Mt e 14% nel 1970, 716 Mt e 23% nel 1980, 770 Mt e 28% nel 1990, [1], 850 Mt e 50% nel 2001 [2].

Il quadro mondiale presenta il 45% della produzione concentrata in Asia (Cina e India) e il 19% in Europa. In Italia - secondo Paese produttore europeo dopo la Germania - l'incidenza dell'acciaio proveniente dai forni EAF è pari al 60%, superiore alla media mondiale.

Gli scarti prodotti da un'acciaiera EAF sono costituiti principalmente da rifiuti solidi (refrattari, scorie ecc.) ed effluenti gassosi. I refrattari sono riconosciuti come materiali inerti, le scorie invece sono riconosciute tali sotto certe condizioni. Infatti, riutilizzate un tempo anche per usi geotecnici, sono oggi soggette al rispetto di una specifica normativa sulla loro capacità di cessione. Il vero problema invece è rappre-

sentato dagli effluenti gassosi in cui sono presenti particolato, che tiene un'elevata concentrazione di metalli pesanti e leggeri e contaminanti gassosi (monossido di carbonio, ossidi d'azoto e composti organici volatili e semivolatili) che contengono anche diossine e furani.

Lo studio, avviato nel 2001, ha seguito l'impostazione metodologica dell'allora vigente D.M. 471/99 [3].

Descrizione del sito

Il sito oggetto di studio si trova all'estremo sud della pianura del Campidano, in Sardegna, a qualche centinaio di metri dal bordo orientale dello stagno di Santa Gilla, e ricade nel territorio comunale di Elmas (Cagliari). L'area (Fig. 1) che si estende per circa 40×10^4 m², confina con alcune strade ad elevato volume di traffico e con la principale linea ferroviaria della Sardegna; essa, inoltre, dista circa 500 m dall'Aeroporto di Cagliari (Elmas). L'area ha morfologia pianeggiante alla quota media di circa 15 m slm.

Le formazioni geologiche presenti nell'area sono rappresentate principalmente da facies alluvionali a ciottoli e frammenti litici inglobati dentro una matrice marnoso-argilloso a bassa permeabilità e, subordinatamente, da formazioni quaternarie deposte a più riprese a permeabilità medio-bassa. Falde superficiali possono incontrarsi a diverse quote in corrispondenza di lenti ciottoloso-sabbiose intercalate tra argille, silti e marne praticamente impermeabili. Le carte idrogeologiche mostrano una profondità della falda tra i 5 e 10 m dal piano di campagna. I venti predominanti hanno direzioni provenienti dai quadranti di NW-NNW (con frequenza pari

a circa il 20%). La piovosità annua registrata tra il 1922 ed il 1992 nella stazione di Elmas ha avuto media 495 mm e deviazione standard 139 mm. In questo sito, utilizzato sino agli anni Cinquanta prevalentemente per usi agricoli, nel periodo che va dal 1962 al 1994 ha operato, per conto della Società Ferriere ed Acciaierie Sarde (FAS), un'acciaiera per la produzione di ferro tondo per cemento armato a partire da rottami ferrosi.

Piano della caratterizzazione

Caratteristiche dell'area

L'area del sito è suddivisa in due lotti, A e B (Fig. 2), di estensione e forma simili ma di utilizzo fortemente diversificato. Nel lotto A (a destra nella figura), di superficie $17,5 \times 10^4 \text{ m}^2$, sono posti i capannoni dello stabilimento e in esso avvenivano tutte le operazioni di stoccaggio delle materie prime e di messa a dimora della maggior parte dei rifiuti. Il lotto B (a sinistra nella Fig. 2), acquisito dalla FAS in tempi successivi all'inizio attività, ha superficie di ca. $23 \times 10^4 \text{ m}^2$ ed è stato utilizzato nel processo industriale solo marginalmente e in un'area di confine. Nell'area è presente una discarica (B1 in Fig. 2, al centro del confine SW), totalmente fuori terra, creata come deposito provvisorio di scorie di acciaieria e di rifiuti provenienti dalla pulizia del rottame ferroso (volume 20.000 m^3 e superficie 6.600 m^2). La parte nord del lotto B è stata, inoltre, interessata da una saltuaria attività agricola. L'area è percorsa da due canali a cielo aperto scavati nel terreno, uno convoglia prevalentemente acque meteoriche mentre l'altro è stato utilizzato anche per evacuare impropriamente fanghi derivanti dall'attività produttiva.

Strategia d'indagine e metodi di campionamento

I rifiuti prodotti dall'attività dell'acciaieria sono oggi presenti all'interno dell'area perché utilizzati insieme a terreno di riporto per regolarizzare, intorno ai capannoni, la superficie del lotto A che si presentava originariamente con una leggera pendenza verso SW. Il substrato originario su cui i riporti sono stati stesi è argilloso ed ha rappresentato una barriera naturale alla diffusione verticale e verso la falda degli inquinanti. Lo spessore dei riporti cresce gradualmente da NE verso il margine SW dove raggiunge l'altezza massima di circa 3 m. Ai fini dell'indagine il sito FAS è stato inizialmente suddiviso in quattro parti, in ragione delle attività svolte e degli spessori di riporti presenti: zona del lotto A non coperta, capannoni industriali, Lotto B e aree esterne.

La parte del lotto A non coperta (Fig. 2) è stata successivamente sud-



Fig. 2 - Planimetria del sito e individuazione delle aree d'indagine

divisa in 10 parti (da A1 ad A10), tra loro tipologicamente differenti per le fasi del ciclo di lavoro in esse svolte e per la localizzazione delle potenziali sorgenti inquinanti. In particolare, si sono riconosciute come significative: lo stoccaggio delle materie prime, la preparazione dei prodotti di alimentazione all'impianto, i processi impiantistici e le aree di scarico dei rifiuti (in fasi liquide, solide e gassose). Le aree coperte sono rappresentate dai capannoni (acciaieria, laminatoio e capannone stoccaggi). Infine, il lotto B è stato suddiviso in 4 parti (da B1 a B4). Nell'ambito dello studio sono state realizzate le seguenti attività: rilievi topografici e fotografici, perforazioni, scavo di trincee, prelievi superficiali, preparazione ed analisi di campioni (di terreno, rifiuti ed acqua), analisi chimiche, geotecniche, fisiche e mineralogiche. In particolare sono stati effettuati 55 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 13 profondi per intercettare la prima falda acquifera e 3 trincee. Le finalità sono state: verificare la presenza di sostanze inquinanti all'interno di ciascuna area, definire le caratteristiche quantitative dei singoli inquinanti, valutare i rapporti tra le concentrazioni presenti ed i limiti normativi, valutare l'estensione per superficie e volume degli inquinanti riscontrati.

La conoscenza di dettaglio delle attività svolte nel sito ha consentito di procedere secondo criteri di localizzazione deterministica e non statistica in aree ben localizzate. Le profondità indagate corrispondono al raggiungimento del substrato naturale non inquinato, che in alcuni punti è stato anch'esso indagato per valutare la composizione in profondità del substrato e l'eventuale presenza di falde acquifere.

Tipo e grado di inquinamento riscontrato

L'inquinamento riscontrato può essere descritto in riferimento sia alle diverse tipologie di materiali presenti (rifiuti o terreno inquinato), sia alle aree in cui questi sono stati rinvenuti. La Tab. 1 seguente riporta una sintesi delle informazioni raccolte che indica, oltre alla tipologia, il numero CER e l'area FAS in cui il materiale è stato individuato.

In termini molto generali, il quadro complessivo che emerge è quello di una diffusa condizione di inquinamento prodotta dalla presenza di rifiuti delle lavorazioni (prevalentemente scorie) riportati al di sopra del terreno naturale su circa 2/3 della superficie non coperta del lotto A. Concentrazioni di inquinanti particolarmente importanti sono presenti in corrispondenza di una Vasca in calcestruzzo, di un Bacino Fanghi e di una Discarica (questi due ora coperti) e della scarpata verso il muro perimetrale sud. Sono state individuate, inoltre, le seguenti situazioni particolari:

- all'interno dei capannoni: cavità colmate con materiali di demolizioni interne (contenenti sostanze inquinanti), fumi di acciaieria sulle vie di corsa dei carriponte;
- nella parte del lotto B confinate con il lotto A: cumulo costituito prevalentemente da scorie di acciaieria, canale in trincea utilizzato per lo scarico di acque meteoriche e fanghi contenenti fumi di acciaieria;
- nelle aree di confine ed esterne alla proprietà: terreno contenente fumi di acciaieria in fori di drenaggio, canali, tombini e in una tubazione di scarico verso il vicino rio Sestu. Gli inquinanti presenti sono

Tab. 1 - Tipologie di materiali presenti nell'area

Rifiuto o terreno inquinato	Codice CER	Aree o zone
Fumi di acciaieria con Zn >8% e contenenti diossine >0,01 mg/kg	10 02 07	Vasca in cls Capannoni
Fumi di acciaieria con Zn <8%	10 02 07	A7
Perossidi e/o scaglie di laminazione	10 02 10*	A6-A10
Rifiuto pulizia rottame	10 02 99*	A10-lotto B
Scorie di acciaieria	10 02 02	A6-A7-A10 lotto B-Capannoni
PCB e materiale pulverulento inquinato da PCB	17 09 02*	A6 - Capannoni
Scarti da demolizioni	17 09 03*	A6
Scarti da demolizioni	17 09 04	A6
Oli combustibili (rifiuti di carburanti liquidi)	13 07 01*	Vasca A6
Terreno inquinato da oli e scaglie ferrose		A8-A9
Terreno inquinato da fumi di acciaieria		Lotti A e B
Pneumatici	19 12 04	Capannoni-A7
Metalli ferrosi (carcasce autoveicoli, ecc.)	16 01 17	A6-A7

Tab. 2 - Quadro sintetico delle analisi chimiche distinte per contaminante e tipologia di matrice

Matrice	Metalli pesanti	Oli	PCB	Diossine	Analisi ionica	Totale
Suolo	112	18		7		137
Rifiuto	10		5	7		22
Acqua	13				12	25
Totale	135	18	5	14	12	184

costituiti principalmente da metalli pesanti (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr e Sn), generalmente diffusi in tutta l'area; in alcune zone ben definite sono inoltre presenti oli minerali e PCB. Le concentrazioni di inquinanti nei materiali di riporto campionati superano in genere i limiti, benché alti, della colonna B della Tab. 1, Allegato 1 del D.M. 471/99, ora 152/06 [4]. Mentre, il substrato argilloso naturale è caratterizzato da una presenza di inquinanti contenuta entro pochi decimetri di profondità e sempre entro i limiti di legge.

I fumi di acciaieria, presenti in forma confinata nella vasca in calcestruzzo e nelle vie di corsa, contengono elevate concentrazioni di metalli pesanti con diossine e furani. Per le loro caratteristiche chimico-fisiche, i fumi furono classificati dall'US EPA come hazardous waste già dal 1980 [5] e per essi furono stabilite specifiche modalità di smaltimento.

Per la caratterizzazione sono stati eseguiti all'interno dell'area FAS 92 accertamenti (55 sondaggi e 37 prelievi superficiali), relativi ad una superficie complessiva di 20,75x10⁴ m² (pari alla somma del lotto A e delle sub-aree B1 e B2) secondo una densità di campionamento superiore alle indicazioni della normativa. Sono stati predisposti 159 campioni per le analisi chimiche di laboratorio di suolo e rifiuto, distinti secondo il quadro di Tab. 2.

Tab. 3 - Superfici delle aree e volumi dei materiali inquinati

Denominazione	Superfici, m ²	Volumi, m ³
Lotto A	110.200	94.600
Lotto B	13.500	37.500
Vasca calcestruzzo	900	3.400
Capannoni	1.500	4.300
Totali	126.100	139.800

I campionamenti sono stati integrati con le seguenti altre attività:

- 2 campagne di misura per la definizione della superficie piezometrica;
- analisi di laboratorio di tipo geotecnico, mineralogico e fisico-chimico sulla frazione argillosa, (n. 2 diffrattogrammi e 3 prove di conducibilità idraulica);
- 3 prove di laboratorio per la determinazione della capacità adsorbente dei metalli pesanti.

I volumi dei materiali inquinati riportati in Tab. 3 sono stati stimati attraverso i rilievi topografici delle superfici e le misure delle profondità ottenute da sondaggi, trincee e pozzetti.

La Tab. 4 riporta i risultati delle analisi dei campioni di suolo e rifiuti presenti nelle aree d'indagine in termini di valori di concentrazione minimi, massimi e medi in relazione alla profondità.

Progetto di bonifica

Le soluzioni progettuali di bonifica hanno tenuto conto dei dati del Piano della Caratterizzazione, della letteratura scientifica internazionale e dei risultati di alcune prove sperimentali effettuate su scala semindustriale.

Rassegna delle tecnologie applicabili

Nell'ambito più generale dell'attività di bonifica le tecnologie si diversificano per tipologia fra: confinamento, rimozione, modifica dello stato fisico, trasformazione chimica, o combustione del contaminante (o del rifiuto). Note le caratteristiche dei contaminanti e delle matrici in cui questi si trovano (terreno, fango, acqua ecc.), si sono valutate le opportunità di scelta in base ad un'analisi approfondita delle caratteristiche dei processi (applicabilità, efficacia nella rimozione del contaminante, ecc.) e più in generale alle caratteristiche del sito FAS. In particolare, si sono prese in

considerazione, per ogni tecnologia (i) l'esigenza di spazi (per installazione degli impianti di trattamento, costituzione di cumuli di materiali ecc.), (ii) la richiesta di apparecchiature ausiliarie, e (iii) la produzione di materiali di risulta e la formazione di effluenti liquidi, effluenti gassosi o altri rifiuti.

L'applicabilità ha tenuto conto della distinzione fra tecnologie (i) provate (applicate con successo), (ii) dimostrate (utilizzate a livello di impianto pilota) e (iii) emergenti (con potenzialità ma non ancora collaudate).

Delle tecnologie prese in considerazione, nessuna di esse si ritiene in grado - da sola - di risolvere il problema della rimozione dei metalli pesanti dal terreno né quando questi si trovino ad essere gli unici contaminanti né, ancor meno, si trovino insieme alla diossina. Questo obiettivo può invece essere conseguito con l'adozione di un sistema combinato da due o più processi.

Una ipotesi potrebbe essere un processo che - attraverso trattamento - concentri in un volume minore la frazione granulometrica fine maggiormente inquinata da metalli pesanti (e diossina). Tale frazione potrebbe essere ulteriormente trattata con altri processi a valle, esempio il Soil washing.

In una seconda ipotesi i fumi di acciaieria - tal quali o ottenuti per separazione dal terreno - potrebbero essere sottoposti a trattamenti di tipo metallurgico o chimico/fisico. Il processo metallurgico consentirebbe anche un recupero di metalli pesanti non ferrosi (Pb e Zn) [2, 6], assumendo così una finalità produttiva. Questo trattamento, per effetto delle alte temperature esistenti nel forno Waelz, risolverebbe anche l'eventuale problema delle diossine. Nel caso FAS vi sarebbe un impianto metallurgico (Portovesme Srl) disponibile a soli 70 km dal sito.

Prove di trattamento

Nel rispetto di quanto indicato nell'Allegato 4 del D.M. 471/99 [3], per la definizione delle scelte fondamentali del progetto preliminare si sono effettuate alcune sperimentazioni e prove di trattamento su scala semi-industriale operando sulle tipologie di rifiuti ritenute più importanti per pericolosità degli inquinanti e per quantità presenti all'interno dell'area FAS: i fumi di acciaieria ed i cumuli di scorie. Per quanto riguarda i primi è stata effettuata una prova di trattamento presso l'impianto metallurgico della Portovesme Srl con 30 t di fumi prelevati dalla vasca in

calcestruzzo. La concentrazione riscontrata in Zn, maggiore del 25%, e l'umidità, minore del 30%, hanno dimostrato la possibilità di utilizzo dei fumi nel processo Waelz.

Per quanto riguarda le scorie d'acciaieria è stata effettuata la caratterizzazione dei prodotti provenienti da un impianto di vagliatura a secco a 3 vagli in serie (100 mm, 50 mm e 15 mm), ottenuti trattando due campioni di scorie, per un totale di circa 200 t, prelevati dal cumulo del lotto B e dalla discarica del lotto A. I risultati ottenuti con l'operazione di vagliatura, riportati in Tab. 5 e Tab. 6, evidenziano che i materiali con dimensione >2 mm, circa l'80%, sono classificabili come rifiuti inerti e pertanto sono riutilizzabili in loco o smaltibili in discarica per inerti. Invece, i materiali con dimensione <2 mm (circa 20% del totale) sono classificabili come non pericolosi e quindi smaltibili in idonea discarica.

Interventi di bonifica proposti

La progettazione della bonifica è stata sviluppata sulla base di due approcci differenti: il conferimento in discarica e il trattamento in impianto. Il primo consente di definire due soluzioni che sono state assunte come ipotesi di riferimento: la discarica in loco e la discarica esterna. Si tratta anche delle soluzioni concettualmente più semplici e presumibilmente agli estremi del campo di variazione dei costi.

Tab. 4 - Statistica descrittiva delle concentrazioni dei principali metalli pesanti (SS mg/kg)

Area	n. camp.	Prof., m	Cd	Cr III	Ni	Pb	Cu	Sn	V	Zn
A6	17	media 0,4	6,3	300	130	436	325	0,50	1,00	1.302
		max 1,2	15,9	3.196	615	1.417	1.288	0,50	-	1.740
		min 0,2	5,0	26	25	39	25	0,50	-	134
Vasca	4	media 0,0	450	318	313	50.490	2.915	577	63	141.992
		max	991	912	493	105.128	4.838	1.290	194	301.408
		min	5	520	196	83	1.431	0,5	0,5	229
A7+A10	44	media 1,5	103	260	123	12.073	999	44	10	27.241
		max 4,8	771	1.173	807	77.000	7.462	895	80	227.273
		min 0,0	5	15	10	25	25	0,2	0,5	11
A8+A9	8	media 1,0	4	218	214	158	413	0,4	2,2	708
		max 4,1	5	761	608	572	1.710	0,5	13,8	1.726
		min 0,0	0,001	0,006	0,01	0,005	0,005	0,01	0,5	0,3
Cumulo B	29	media 1,5	86	426	164	12.627	1.788	14	28	33.508
		max 3,0	703	1.421	819	115.768	20.014	184	186	252.495
		min 0,0	2	15	25	25	25	0,2	0,5	31
VdCorsa	8	media	26	557	405	3.226	1.216	3	15	19.223
		max	85	950	690	8.800	2.290	20,0	74	34.400
		min	5	66	25	87	71	0,2	0,5	740
Aree esterne	5	media	78	176	104	4.188	498	59		33.601
		max	196	358	208	10.899	1.199	110		64.884
		min	5	23	25	87	57	0,5		6.720
Totali	115									

Tab. 5 - Ripartizione dei prodotti della vagliatura dei campioni dal cumulo scorie

Classi, mm	Proporzioni	Inerte	Non pericoloso	Pezzame ferroso
+100	0,196	0,196		
-100 + 70	0,069	0,069		
-70 + 15	0,202	0,202		
-15 + 2	0,318	0,318		
-2	0,210		0,210	
Pezzame ferroso	0,005			0,005
Totali	1,000	0,785	0,210	0,005

Tab. 6 - Analisi solido secco e cessioni dei prodotti di vagliatura

Parametri analitici	0	-2mm	+2mm	-15mm	+15mm	-70mm	+70mm	Valori Limite			
	Solido secco mg/kg	Cessione mg/l	Solido secco mg/kg	Cessione mg/l	Solido secco mg/kg	Cessione mg/l	Solido secco mg/kg	Cessione mg/l	471/99 Tab. 1 col. R mg/g	201/2005 Tab. 2 mg/l	201/2005 Tab. 5 mg/l
Alluminio	16.485	19,4	24.244	0,49	----	0,64	----	0,33	----	----	----
Antimonio	7,81	----	64	----	4,95	----	1,85	----	30	0,006	0,07
Arsenico	7,61	<0,01	21,84	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	50	0,05	0,2
Cadmio	7,62	<0,001	2,67	<0,001	<1	<0,001	<1	<0,001	15	0,004	0,02
Cobalto	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	250	----	----
Cromo totale	1.152	0,107	675	0,016	913	<0,001	519	0,016	800	0,05	1
Cromo VI	<0,1	<0,01	<0,1	<0,01	<0,1	<0,01	<0,1	<0,01	15		
Mercurio	16	<0,0005	4,6	<0,0005	0,22	<0,0005	0,22	<0,0005	5	0,001	0,005
Nichel	543	<0,05	112	<0,05	54,62	<0,005	28,26	0,001	500	0,04	1
Piombo	596	0,017	131	0,025	90,6	<0,001	152	0,065	1000	0,05	1
Rame	711	0,026	345	0,004	289	<0,001	212	<0,001	600	0,2	5
Selenio	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	15	0,01	0,05
Stagno	147	<0,05	34,5	0,11	8,8	<0,01	7,73	<0,01	350		
Zinco	2.462	0,02	689	0,039	316	0,015	1.180	0,0016	1.500	0,4	5

Tab. 7 - Processi di trattamento proposti per le quattro ipotesi di bonifica

INTERVENTI DI BONIFICA			
Ipotesi 1	Ipotesi 2	Ipotesi 3	Ipotesi 4
Processo Waelz per i fumi d'acciaieria	Processo Waelz per i fumi d'acciaieria	Processo Waelz per i fumi d'acciaieria	Processo Waelz per i fumi d'acciaieria
Separazione magnetica	Separazione magnetica	Separazione magnetica	Separazione magnetica
Vagliatura a secco	Vagliatura a secco	Vagliatura a secco	Vagliatura a secco
Vagliatura a umido	Vagliatura a umido		
Ciclonatura	Ciclonatura		
Soil Washing	Soil Washing	Smaltimento in discarica esterna al sito	Smaltimento in discarica interna al sito
Inertizzazione	Inertizzazione		
	Dealogenazione		

Il secondo approccio consente di definire procedure più complesse, con costi e vantaggi ambientali variabili tra i due estremi che caratterizzano l'approccio precedente.

I processi previsti nelle varie ipotesi sono riportati in Tab. 7, i volumi di materiali interessati sono quelli indicati in Tab. 3. La soluzione del conferimento in discarica (interna ed esterna) prevede comunque lo smaltimento in metallurgia dei fumi di acciaieria, la separazione magnetica del pezzame in ferro e una separazione dimensionale a secco del materiale da collocare in discarica.

Le soluzioni impiantistiche sono riportate sotto forma di flow-sheet nella Fig. 3 che si riferisce alla soluzione più complessa che consente il trattamento delle scorie e dei terreni inquinati da fumi di acciaieria. Rispetto a questa, l'alternativa senza la dealogenazione rappresenta una soluzione più semplice.

Confronto tra soluzioni

Il confronto fra le diverse ipotesi di bonifica (Tab. 8) è avvenuto sulla base dei costi e dei benefici ambientali connessi. I primi sono espressi in termini relativi rispetto al costo maggiore stimato, quello della discarica esterna. I secondi sono differenziati tra temporanei (durante i lavori di bonifica) e permanenti (definitivi) e tra interni ed esterni (all'area FAS); inoltre, sono espressi attraverso tre possibili giudizi di incidenza ambientale: positivo, intermedio e negativo. Nel giudizio espresso nelle tre colonne si tiene conto delle seguenti motivazioni:

- per l'incidenza ambientale interna *temporanea*: durata e complessità della movimentazione dei materiali all'interno dell'area di bonifica (per asportazione carico, trasporto, trattamento, stoccaggio e conferimento esterno). Logicamente negativa nelle operazioni che si svolgono all'interno dell'area per la costruzione della discarica interna;

- per l'incidenza ambientale interna *permanente*: quantità e qualità dei rifiuti e dei materiali inquinati che, dopo trattamento o meno, restano all'interno. Positiva nei casi di totale conferimento all'esterno o nel caso di totale inertizzazione dei materiali che restano all'interno dell'area;
- per l'incidenza ambientale esterna: quantità e qualità dei rifiuti che vengono smaltiti all'esterno ed il declassamento del rifiuto ad opera di processi di trattamento applicati; si tiene conto inoltre dell'eventuale ricorso a cave di prestito per i riempimenti dei vuoti creati all'interno dell'area di bonifica. Positiva quando nessun materiale viene portato all'esterno ovvero quando ciò avviene per materiali inertizzati. Negativa quando per il totale conferimento in discarica esterna si porta fuori dall'area un materiale ancora inquinante.

Conclusioni

La buona conoscenza dell'attività pregressa svolta nel sito e la disponibilità di dati storici e d'inquadramento generale dell'area hanno consentito di indirizzare il Piano di Investigazione verso punti e zone dell'area particolarmente indiziate, evitando le incertezze connesse alle procedure di tipo statistico e facilitando la valutazione volumetrica e tipologica dei rifiuti e dei materiali inquinati presenti. Inoltre, la disponibilità di un numero elevato di dati acquisiti in fase di caratterizzazione del sito ha consentito - in fase progettuale - di definire con particolari dettagli almeno quattro ipotesi di bonifica, con particolare attenzione a due ipotesi di trattamento dei materiali. Una valutazione finale effettuata su base economica ed ambientale ha infine consentito di orientare la scelta finale verso il massimo recupero e il riuso in sito dei materiali e di ridurre ai soli fumi di acciaieria il con-

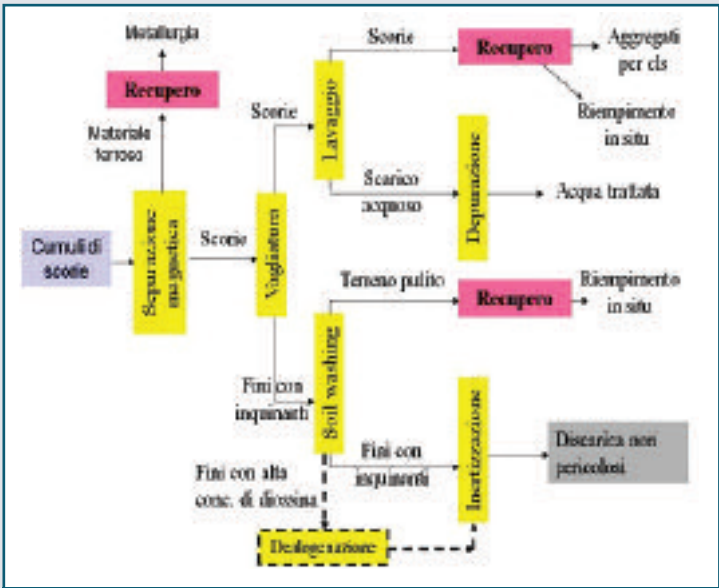


Fig. 3 - Flow sheet completo dei processi di trattamento previsti nel progetto di bonifica

ferimento all'esterno. La soluzione proposta tiene conto, peraltro, del possibile ricorso a un vicino impianto metallurgico che utilizza da tempo i fumi di acciaieria come materia prima nel suo processo produttivo.

Ringraziamenti: Lo studio è stato effettuato nell'ambito dell'attività di Consulenti Tecnici d'Ufficio della Sezione Fallimentare del Tribunale di Cagliari che ha consentito la pubblicazione dei dati acquisiti ed a cui va un particolare ringraziamento da parte degli scriventi.

Tab. 8 - Confronti tra le quattro ipotesi di bonifica dell'area FAS, per costi e incidenza ambientale

Ipotesi	Costi %	Interna		Esterna
		Temporanea	Permanente	
Trattamento completo	55	Intermedia	Positiva	Positiva
Trattamento senza dealogenazione	70	Intermedia	Positiva	Intermedia
Discarica interna	45	Negativa	Negativa	Positiva
Discarica esterna	100	Intermedia	Positiva	Negativa

Bibliografia e note

- [1] UN ECE Steel Series, Iron and Steel Scrap 1995, New York/Geneva.

[2] APAT, Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia, Rapporti 38/2003.

[3] D.M. 471/99 Supplemento Ordinario n. 218/L alla Gazzetta Ufficiale n. 293 del 15 dicembre 1999.
- [4] D.Lgs. 3/04/2006 Supplemento Ordinario n. 96 alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006.

[5] T. Sofilic *et al.*, *Journal of Hazardous Materials*, 2004, **B109**, 59.

[6] C. Raggio, *La metallurgia italiana*, 2004, **96**, 41.

ABSTRACT

Remediation of Cagliari FAS Contaminated Site

The paper describes the characterisation of a complex contaminated site where an EAF still mill operated for 32 years. In addition, the site remediation project is illustrated. The approach was to treat the contaminated materials and wastes to recover the greatest amount of inert materials to use in situ.