

La plataforma multifuncional para el tratamiento de los desechos de la zona siderúrgica de Piombino, Italia: Un proyecto de importancia nacional^(*)

A. Grilli*, L. Mazzei**, R. Pietrini*, E. Fornasari** y R. Butta**

Resumen Los empresarios y la Administración italiana han llevado a cabo, a lo largo de los últimos años, objetivos comunes para la descontaminación de las áreas industriales de Piombino. La realización de una plataforma multifuncional permite tratar y descontaminar sitios de interés nacional y tiene como meta la valoración de las áreas descontaminadas, la gestión racional y la recuperación de los residuos siderúrgicos en una planta de producción de conglomerados hidráulicos (CIC).

Palabras clave Residuos siderúrgicos. Descontaminación de sitios siderúrgicos. Remediación de suelos.

The multifunctional platform for the treatment of the refusals of the iron and steel industry in Piombino (Italy): A plan of national interest

Abstract The industrialists and the Italian Administration have carried out common objectives throughout the last years for the decontamination of the industrial areas of Piombino. The accomplishment of the multifunctional platform allows to treat and to decontaminate sites of national interest and has as it puts the valuation of the decontaminated areas, the rational management and the recovery of the remainders of iron and steel industry in a plant for the production of hydraulic concrete (CIC).

Keywords Iron and steel plants remainders. Decontamination of iron and steel worker sites. Soils remediation.

1. INTRODUCCIÓN

El área industrial de Piombino es centro de la producción del acero integral. La actividad siderúrgica^[1] ha modificado, irreversiblemente, un territorio de 851 Ha que abarca sitios de interés nacional en los que la descontaminación es un objetivo prioritario^[2 y 3]. La producción del acero implica una cantidad enorme de subproductos (800.000 t/año) siendo necesario contemplar escenarios de tratamiento y de recuperación de dichos residuos^[4 y 5]. Los empresarios y las instituciones locales han promovido la recuperación y rehabilitación de los espacios^[6] mediante la creación de una sociedad de participación pública (75 % del capital) y privada

(el 25 %), T.A.P. s.r.l., que lleva a cabo la gestión integrada de los residuos siderúrgicos y los desechos de la descontaminación. Dicha sociedad ha iniciado, desde el año 1999, un complejo camino administrativo para la realización de una plataforma multifuncional de tratamiento y de recuperación de desechos, comenzando sus actuaciones de recuperación centrándose inicialmente en un área de 8 Ha. La actuación se ha centrado en tres niveles: Plan de la caracterización del sitio (A), Plan de descontaminación (B) y Plan para el desarrollo y producción de conglomerados hidráulicos (C).

(*) Trabajo recibido el día 10 de mayo de 2003 y aceptado en su forma final el día 25 de marzo de 2004.

(*) A.R.P.A.T. Toscana Italia. Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Servizio Sub-Provinciale di Piombino, 57025 Piombino Via Adige 12 Loc. Montegemoli. Italia.

(**) T.A.P. s.r.l. Italia. Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Servizio Sub-Provinciale di Piombino, 57025 Piombino Via Adige 12 Loc. Montegemoli. Italia. 1042-A. Venezuela.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En la tabla I se esquematizan las fases experimentales del trabajo y la naturaleza de los ensayos efectuados sobre las muestras representativas de cada fase:

- Se han ejecutado 15 sondeos de indagación (Fig. 1), uno de referencia externa y el resto en 5 pozos del control. Para cada punto se ha tomado un testigo medio en la correspondencia de los cambios de la litología y a las profundidades donde se observaron anomalías. Se analizaron, en cada caso, 40 agentes contaminantes recogidos en la norma de referencia^[7], entre ellos, metales pesados, compuestos de nitrógeno, fenoles, cianuros, microcontaminantes orgánicos, disolventes aromáticos, disolventes organoclorados e hidrocarburos ($C > 12$ y $C < 12$).
- Se realizaron mezclas de conglomerantes, con un volumen de 100 cm³. Posteriormente, se maduraron a 40 °C, durante 30 d, para acelerar su compactación. Sobre las muestras maduras se efectuaron diversos ensayos mecánicos para determinar sus propiedades físicas.
- La extracción se realizó mediante inmersión del material, en la misma forma en la que es utilizado, en un volumen de agua desionizada, 5 veces el volumen testigo, con eliminación de la fase líquida remanente a los intervalos de tiempo de: 2, 8, 24, 48, 72, 102, 168 y 384 h, para una duración total del ensayo de 16 d. El testigo, después de cada fase de la extracción, se filtró y analizó, determinando 18 parámetros analíticos indicados en la norma de referencia^[10].

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Una vez realizada la caracterización de los suelos contaminados, los resultados experimentales indican la presencia arcilla, de baja permeabilidad, a pH = 8,00, con un espesor de 6-8 m, hasta 15-20 m por debajo del relleno extremadamente permeable y constituido por las escorias siderúrgicas, con un espesor medio de 3 m. y con un pH = 12. Los resultados analíticos de los testigos del substrato arcilloso y de las capas superficiales permiten clasificar este suelo como suelo industrial de buenas características, conforme a la norma de referencia^[7], y permite, así mismo, detectar dos extensiones, denominadas área 1 y área 2, señaladas en la figura 1, en las que se ubican cuatro zonas (A, B, C, D) en las cuales se ha confirmado la presencia de los residuos contaminados con arsénico, cadmio, plomo y cinc. En estas zonas, el contacto de los materiales depositados con el agua pluvial, produce lixiviados alcalinos (pH = 12), en los que se detecta la presencia de algunos compuestos orgánicos, como consecuencia de restos de residuos de coquería existentes en la zona.

Posteriormente, se estudió la obtención de un conglomerado hidráulico catalizado (CIC), obtenido a partir de la mezcla de materiales conglomerantes con materiales granulados, potencialmente recuperables, escogidos de entre diversos residuos generados en el ciclo siderúrgico y cuyas características físico-químicas y medioambientales los hacen compatibles con su uso como materiales en ingeniería civil.

Teniendo en cuenta los contenidos en metales pesados existentes en los residuos siderúrgicos

Tabla I. Procedimiento experimental

Table I. Experimental procedure

Fase	Procedimiento experimental	Muestras
A	Definición estratigráfica y modelo hidrogeológico local ^[7]	45 (Suelo) ^(a,b)
	Realización de sondeos y pozos de control	10 (Aguas subterráneas) ^(b)
B	Plan de Gestión de los desechos producidos por la descontaminación ^[8]	18 (Materiales de excavación) ^(b)
C	Producción de conglomerados hidráulicos catalizados Control geotécnico ^[11-14] y medioambiental ^[9 y 10] de la puesta en obra	3 (Aguas del tratamiento) ^(b)
		5 (Residuos siderúrgicos)
		2 (Residuos construcción)
		8 (Mezclas y Ensayos) ^(c)
		32 (Escorrentías) ^(d)

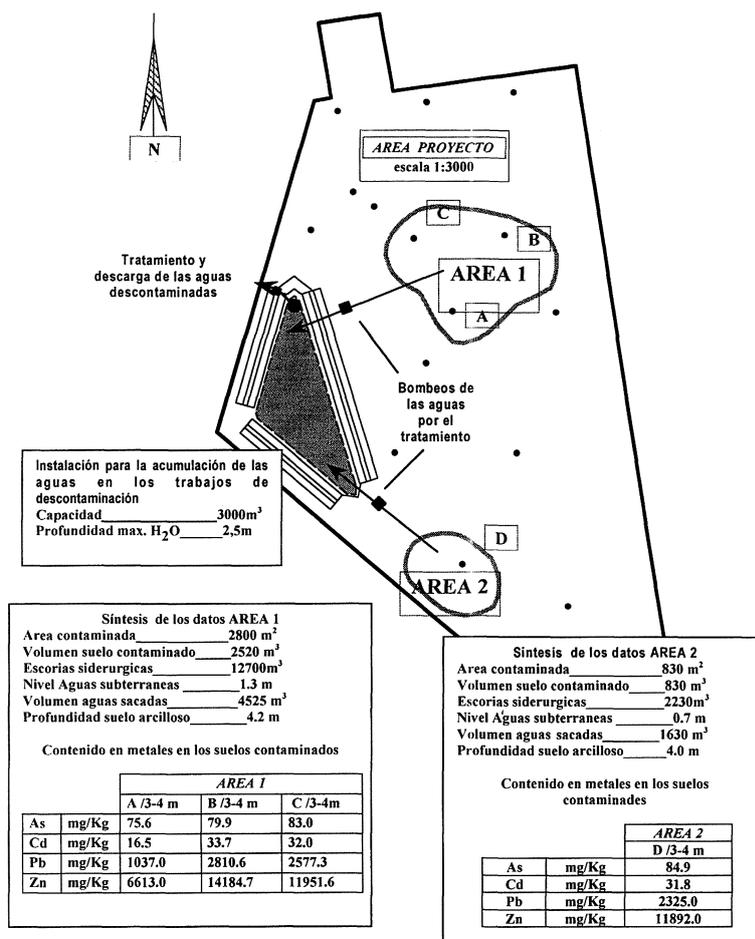


Figura 1. Representación de la zona de actuación descontaminada.

Figure 1. Representation of zone of decontaminated performance.

utilizados (Tabla II) así como la referencia europea relativa a la clasificación de residuos (2001/118/CE)^[14], los subproductos elegidos no tienen carácter tóxico ni peligroso y, por lo tanto, no hay impedimentos normativos para su utilización y mezcla con otros materiales^[8].

Tabla II. Contenido en metales pesados en los residuos siderúrgicos utilizados

Table II. Heavy metal content in the remainders of iron and steel industry

Residuo siderúrgico	As	Cd	Pb	Zn	Cr (VI)
	%	%	%	%	%
Escoria granulada de Horno Alto	<0,004	<0,001	<0,002	<0,004	<0,0001
Escoria LD	<0,004	<0,001	<0,002	<0,004	<0,0001
Polvo de Horno Alto	<0,004	<0,001	0,007	<0,004	<0,0001
Lodo de Horno Altos	<0,004	<0,001	0,035	0,089	<0,0001
Lodo de Acería LD	<0,004	<0,001	0,109	0,276	<0,0001

Se realizaron diversas mezclas de residuos siderúrgicos para estudiar la influencia de los diversos componentes durante el proceso de fraguado, consolidación y compactación de los materiales finales (Tablas III y IV).

Todos los materiales tienen características adecuadas para la formulación del CIC con la adición de un catalizador mezclado en el porcentaje del 1 % en peso sobre la mezcla final.

A partir del estudio del comportamiento de las mezclas descritas anteriormente, se optimizó el contenido en escoria del horno alto, para adaptar su composición en el CIC a la producción anual remanente, ya que la mayor parte de la producción se dedica a la fabricación de cemento. Se comprobó que, una adición del 10 % en peso de escoria de horno alto junto con 1 % en peso de catalizador, proporcionaba una mezcla idónea para su empleo, obteniéndose, además, mediante el ensayo Proctor modificado^[12], la adición óptima de agua para obtener un conglomerado hidráulico adecuado. Esta

Tabla III. Producción de residuos siderúrgicos en Italia y porcentajes de cada uno de ellos en las diversas mezclas ensayadas

Table III. Production of iron and steel remainders in Italy and percentage of each one of them in the diverse tried mixtures

Residuos siderúrgicos	Disponibilidad t/año	pH	Granulometría (mm)	% peso en las mezclas
Escoria de Horno Alto	474.000 *	10,3	< 2	8 % - 35 %
Escoria LD	255.000	12,0	< 20	73,7 %
Polvo de Horno Alto	30.000	8,8	< 0,1	8,7 %
Lodo de Horno Alto	16.000	8,2	< 0,1	4,6 %
Lodo de Acería LD	45.000	9,5	< 15	13 %

* (Actualmente, la mayor parte de este residuo se utiliza en la fabricación de cemento).

Tabla IV. Otros componentes utilizados en al obtención del CIC

Table IV. Other components used in a the obtaining of the CIC

Otros componentes de la mezcla	% peso en las mezclas
Residuos construcción ^[10 y 13]	30 %
Catalizador sólido	0,7 % - 1,8 %
Catalizador líquido	0,3 % - 2 %.
Agua (Sustancias orgánicas < 0,2 %)	9 % - 12 %

proporción es del 11 % en peso de la mezcla final. En la figura 2 se representa la composición porcentual en peso de la mezcla óptima.

Los resultados experimentales obtenidos con esta mezcla demuestran que los valores de la densidad seca del conglomerado hidráulico catalizado varían entre 1,90 y 2,25 g/cm³ con valores del

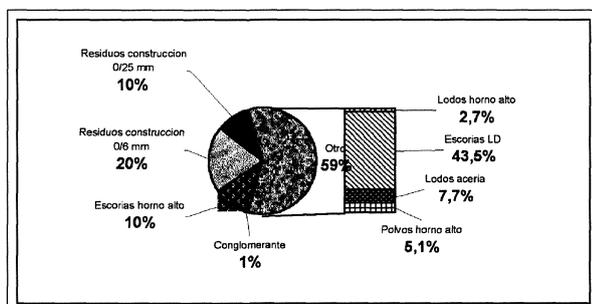


Figura 2. Componentes y proporciones de la mezcla óptima para la obtención del CIC.

Figure 2. Components and proportions of the optimal mixture for the obtaining of the CIC.

Índice de California Bearing Ratio (C.B.R.) (75 % - 140 %) muy superiores, en todos los casos, al exigido por la norma Italiana UNI 10006^[13] que regula la utilización de materiales en la construcción de firmes de carreteras.

Finalmente, es necesario destacar algunos aspectos de interés acerca del impacto medioambiental que puede suponer la utilización de los residuos siderúrgicos como material para la descontaminación de suelos. En este sentido, en estudios anteriores^[4 y 5], se analizó el impacto medioambiental de estos residuos y de las mezclas catalizadas producidas a partir de ellos. Los estudios realizados para determinar el comportamiento a la lixiviación a largo plazo y la capacidad de cambio, indican el cumplimiento de los límites establecidos por la legislación vigente^[10]. Al mismo tiempo, el empleo de los CIC permite disminuir entre un 77 % y un 99 % los contenidos en metales pesados en de los lixiviados que producen los suelos contaminados en comparación con los valores previos al proceso litosintético, lo que pone de manifiesto, además, una elevada capacidad inertizadora de las escorias siderúrgicas.

Con base en estos resultados se ha podido, finalmente, abordar la construcción de la plataforma multifuncional, cumpliéndose los siguientes objetivos:

- La descontaminación del sitio se ha basado en operaciones *off-site* con retirada y tratamiento de los suelos contaminados (tratamiento de una cantidad aproximada del 15 % de los materiales extraídos de las áreas 1 y 2) y tratamiento *on-site* de las aguas interceptadas por medio de la neutralización o de la ósmosis inversa.

- b) Obtención de un material novedoso, conglomerados hidráulicos catalizados, cuyo desarrollo y fabricación ha permitido la consecución de un modelo patentado, y que es equiparable, en cuanto a su comportamiento y fiabilidad, con los denominados cementos mixtos que se utilizan normalmente en la construcción de firmes de carreteras. En la formulación del CIC la presencia de polvos de Horno Alto, de elevado contenido de hierro y la de granulometría muy fina, aumenta la capacidad portante de la mezcla. El ambiente, fuertemente básico, asegurado por la presencia de los catalizadores específicos, exalta progresivamente la capacidad hidráulica de la escoria de Horno Alto. El CIC alcanza su mayor capacidad a los 90 d de su fabricación. En este sentido, es necesario destacar que la mezcla sólo se activa al añadir el agua; por lo que puede realizarse la mezcla y preparación de los materiales antes de su empleo, lo cual facilita su transporte y almacenamiento.
- c) Los residuos de construcción son un buen aditivo debido a sus características granulométricas, pH (alrededor de 10) y contenido en calcio.

4. CONCLUSIONES

Se ha logrado la descontaminación del sitio destinado a la plataforma polifuncional de Piombino obteniéndose resultados satisfactorios del control geotécnico y medioambiental. Al mismo tiempo, se ha logrado el desarrollo de nuevos materiales (C.I.C.) obtenidos a partir de residuos y subproductos siderúrgicos, lo que permitirá su revalorización y evitará el vertido incontrolado de los mismos, aumentando, así, su valor añadido. Esta revalorización supone, además, el ahorro de materias primas naturales (caliza, sílices, etc.).

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Sr. Irio Pierozzi, Presidente de la T.A. P. s.r.l. por su apoyo al Proyecto.

Al Dr. F.A. López, Investigador Científico del CENIM (CSIC) por la supervisión del Proyecto y la lectura y corrección de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] A. GRILLI *et al.*, Atti 3° Convegno Nazionale Sulla Protezione E Gestione Delle Acque Sotterranee Per Il Iii Millennio, Vol. 1, Parma, 1999, pp. 2121 – 2130.
- [2] Legge 9 Dicembre 1998, N.426, G.U. Della Repubblica Italiana N.291 del 14 Dicembre 1999.
- [3] Decreto Del Ministero Dell'ambiente 10 Gennaio 2000, G.U. Della Repubblica Italiana N 46 del 25 Febbraio 2000.
- [4] G. ALLEGRI *et al.*, Atti IV Forum Europeo Dei Rifiuti Milano, Vol 1, 2000, pp. 107-131.
- [5] G. ALLEGRI *et al.*, Atti Ii Convegno Nazionale "Valorizzazione E Riciclaggio Dei Rifiuti Industriali" L'aquila, 1999, Acta p. 48.
- [6] Protocollo Di Intesa Presso La Presidenza Del Consiglio Dei Ministri, Roma, 1999.
- [7] Decreto Del Ministero Dell'ambiente 25 Ottobre 1999, N 471, G.U. Della Repubblica Italiana N 293 Del 15 Dicembre 1999.
- [8] Decreto Legislativo 5/02/1997 n.22/97, G.U. Della Repubblica Italiana N.38 del 15 Febbraio 1997.
- [9] Norma UNI 10802:2002 del 20/02/2002.
- [10] Decreto Del Ministero Dell'ambiente 5 Febbraio 1998, G.U. Della Repubblica Italiana N 88 Del 16 Aprile 1988.
- [11] Norma UNI EN 1097-6:2002 del 01/02/2002.
- [12] American Society For Testing And Materials (ASTM) Publications: D 1557-78.
- [13] Norma UNI 10006:2002 Del 01/06/2002.
- [14] Decisione della Commissione 2001/118/CE del 16/01/2001.