

Influenza delle attività antropiche sulla concentrazione di metalli pesanti nei suoli di un'area urbana

Madela Torretta, Massimiliano Confalonieri, Roberto Zangari
ARPA Lombardia, Dipartimento di Monza

Riassunto

La città di Sesto San Giovanni, situata immediatamente a nord di Milano, è stata interessata in passato dalla massiccia presenza di insediamenti industriali dedicati alla produzione dell'acciaio ed alla lavorazione dei metalli in genere. Con la chiusura e la conseguente dismissione delle aree industriali, hanno avuto inizio le attività di bonifica di una consistente porzione del territorio (pari a quasi il 30% della superficie urbana), nell'ambito delle quali è stato possibile ottenere una caratterizzazione sistematica della composizione geochemica dei terreni interessati.

In questo studio, in particolare, sono stati considerati i risultati delle analisi ottenute da campioni prelevati in corrispondenza degli orizzonti più superficiali di suolo sia nelle aree industriali vere e proprie sia nelle aree urbane esterne, normalmente adibite ad usi non produttivi. Il confronto tra le caratteristiche dei suoli delle aree industriali e quelli delle aree urbane in genere evidenzia il forte impatto della produzione siderurgica sulla composizione del suolo dovuto alle ripetute e consistenti movimentazioni dei materiali di riporto, con conseguente rimescolamento e rimozione del suolo naturale con un orizzonte di origine antropica. La presenza diffusa di metalli pesanti nell'area urbana, tuttavia, non sempre è correlabile con le lavorazioni svolte nelle adiacenti aree industriali; per alcuni elementi come il piombo e lo zinco si evidenzia una componente di origine antropica probabilmente riconducibile al traffico veicolare, certamente molto intenso in corrispondenza delle principali vie di comunicazione.

Parole chiave: suolo urbano, metalli pesanti, materiale di riporto, scoria di acciaieria.

Abstract

In the past decades the presence of massive industrial sites dedicated to the steel production and to the metal processing characterized Sesto San Giovanni, a town located in the northern area of Milano.

After the dismissal of the aforementioned activities these industrial areas underwent to a process of remediation investing a huge portion of the territories (almost a 30% of the urban surface): this allowed a systematic characterization of the geochemistry of the soil.

In this study the results of the analysis obtained from sampling the top-most layer of soil, both from properly industrial and external urban areas (non-productive areas), were used to compare samples from industrial and urban areas, generally showing a strong impact of Fe industry on the soil composition, due to repeated and large imported matter with consequent removal of undisturbed with man-made soil. Nevertheless the widespread presence of heavy metals in the urban area is not always linked with the near industrial areas activities; some elements such as Pb and Zn show an anthropogenic origin, probably due to vehicles traffic, certainly intensive close to major road junctions.

Keywords: urban soil, heavy metal, imported matter, Fe industry dross.

Premessa

I suoli nelle aree urbane, caratterizzate da alta densità insediativa e intenso sviluppo industriale, possono essere considerati quasi completamente di origine antropica. In questi contesti l'uso del suolo risulta infatti estremamente diversificato in relazione alle differenti esigenze di sfruttamento del territorio.

Aree industriali e impianti di pubblico servizio (acquedotti, depuratori, centrali elettriche, discariche, inceneritori, ecc.), giardini pubblici e privati, campi da gioco e parchi, orti, aree di espansione fluviale, aiuole spartitraffico e tratte ferroviarie, fanno parte dell'ampio spettro dei possibili utilizzi del suolo presenti in un centro urbano.

Alcuni studi recenti hanno in particolare evidenziato come la presenza di reti stradali e/o industrie manifatturiere in un'area urbana determini un incremento nel contenuto di metalli pesanti nei suoli (Kelly et al, 1996) con evidenti conseguenze sotto il profilo ambientale e sanitario.

Al fine di valutare l'impatto complessivo delle attività industriali sulla composizione dei suoli in un'area cittadina, è stato condotto uno studio sulla distribuzione dei principali metalli pesanti negli orizzonti superficiali dei terreni presenti nel territorio di Sesto San Giovanni, città caratterizzata in passato da una forte presenza dell'industria siderurgica.

Le caratteristiche del suolo

Il suolo urbano è stato definito come il prodotto della mescolanza e del riporto (anche di materiali estranei al suolo e di origine antropica), soggetto a processi di contaminazione specifici e situato in aree urbane e suburbane (Craul, 1992); esso si differenzia dagli altri tipi di suolo perché è più influenzato nella sua composizione dall'azione umana che dagli agenti naturali.

Contrariamente ai terreni naturali, infatti, il suolo urbano non ha profilo, o meglio presenta una grandissima variabilità, sia verticale che orizzontale, proprio perché alla base della sua formazione non ci sono processi pedogenetici, ma la stratificazione di detriti, materiale di riporto, inerti da demolizione, resti di scavi di fondamenta e talvolta, come nell'area in esame, scorie da processi di fusione.

La presenza di materiali di natura calcarea, quali cemento e calcestruzzo, determina lo spostamento del pH verso l'alcalinità con importanti riflessi sul comportamento dei

metalli pesanti; infatti nei suoli urbani a causa della reazione alcalina è stata riscontrata una riduzione della solubilità dei metalli pesanti.

La composizione del suolo urbano influenza anche la capacità di filtrare, accumulare e detossificare gli inquinanti organici.

Oltre ai materiali estranei al suolo come i materiali da costruzione, i mattoni, la calce, il legno trattato, la plastica, il vetro, l'asfalto, il metallo, la carta e i rifiuti organici, possono essere presenti diversi gruppi di contaminanti chimici. In questo lavoro vengono presi in considerazione i metalli pesanti quali l'arsenico, il piombo, lo zinco, il mercurio, il rame, il cadmio e il cromo che possono derivare da attività domestiche e/o industriali.

I suoli nell'area a nord di Milano

La città di Sesto San Giovanni si colloca a nord di Milano, nella porzione meridionale dell'alta pianura lombarda.

Il confine orientale del territorio comunale coincide con il percorso del fiume Lambro mentre il limite settentrionale risulta segnato dalla presenza dell'autostrada Torino-Venezia, una delle più importanti vie di comunicazione del nord Italia.

L'area di Sesto San Giovanni costituisce in particolare l'espansione settentrionale, senza soluzione di continuità, della conurbazione milanese. Come conseguenza si ha una forte frammentazione delle superfici a verde e alterazione dei suoli (ERSAL, 1999).

Geologicamente, i terreni del sottosuolo di Sesto San Giovanni possono essere compresi nell'ambito del *Livello Fondamentale della Pianura* (LFP), tradizionalmente caratterizzato da depositi di origine fluvio-glaciale tardo pleistocenici, costituiti da sabbie e ghiaie con ciottoli.

In prossimità degli argini del Lambro si sviluppano sedimenti più recenti, associabili all'attività deposizionale del corso d'acqua stesso. Dal punto di vista petrografico e litologico, l'origine dei depositi del Lambro è strettamente riconducibile alla porzione di catena prealpina che, nell'ambito del bacino idrografico di

riferimento, affiora in corrispondenza del triangolo lariano, tra Como e Lecco, e che si contraddistingue per la presenza in affioramento di unità geologiche mesozoiche di natura prevalentemente calcarea.

L'elevato grado di antropizzazione del territorio ha tuttavia influenzato drasticamente le caratteristiche dei materiali superficiali, determinando nel complesso una significativa alterazione del suolo e dei primi livelli del sottosuolo con conseguente rimescolamento delle frazioni litologiche e perdita delle informazioni pedogenetiche.

La storia industriale della città di Sesto San Giovanni

Lo sviluppo della città di Sesto San Giovanni è legato alla storia industriale delle *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*, della *Marelli* e della *Breda*. L'attività siderurgica del gruppo Falck ebbe inizio nel 1906 su un'area precedentemente ad uso agricolo ed in parte boscata. Negli stabilimenti di Sesto San Giovanni si svolgevano le attività e i cicli produttivi tipici dell'industria siderurgica, per la produzione di acciaio da rottame e di ghisa solida tramite fusione.

Il primo insediamento produttivo era costituito da un nucleo dello stabilimento *Unione*, comprendente 4 forni Martin - Siemens, che nel 1906 occupava una superficie di circa 12 ettari.

Tra il 1917 e il 1933 vennero costruiti gli stabilimenti *Concordia*, per la produzione di lamiere e tubi saldati, *Vittoria A*, per la produzione del filo d'acciaio, *Vittoria B*, specializzato nella trafilatura a freddo e *Vulcano*, per la produzione di ghisa e leghe di ferro.

Lo smaltimento delle acque era organizzato in modo omogeneo per tutti i siti: l'area Falck utilizzava la rete fognaria comunale e disponeva di una rete privata che raccoglieva le acque industriali. In origine gli stabilimenti Vittoria A e B erano allacciati alla fognatura comunale mentre Unione e Concordia, tramite collettore privato, scaricavano direttamente nel fiume Lambro. Successivamente gli impianti di trattamento delle acque vennero localizzati nell'area *TRAI*, utilizzando sistemi di depurazione via via più complessi. All'inizio degli anni '80 anche gli scarichi industriali di Vittoria A e B vennero convogliati al TRAI per la depurazione. La crisi mondiale della siderurgia nel 1971 e del petrolio nel 1974 crearono serie difficoltà alle Falck, determinando la chiusura dello stabilimento Vulcano il 29 febbraio 1979. Da allora, la crisi industriale ha investito tutto il gruppo al punto che nel 1995 i forni delle acciaierie Falck si spensero definitivamente. Parallelamente alla crescita, allo sviluppo e al declino delle acciaierie Falck si svolse, nella stessa città di Sesto San Giovanni, la storia industriale della società *Ercole Marelli*.

Il grande stabilimento di Sesto San Giovanni dell'Ercole Marelli fu inaugurato nel 1905; esso era dedicato alla produzione di ventilatori, piccoli motori elettrici, elettropompe, centrifughe, trasformatori elettrici e, nel periodo della prima guerra mondiale, magneti per aerei.

Un secondo stabilimento sorse nel 1921 e fu dedicato alla costruzione di trasformatori, generatori, elettromotrici, turboalternatori e grandi pompe destinati alle centrali elettriche di tutto il mondo. Il massimo sviluppo della società fu raggiunto nella prima metà degli anni '60; a partire dal 1968 l'azienda iniziò una fase di radicale ristrutturazione, per far fronte all'abbassamento dei prezzi nel settore elettromeccanico, e venne riorganizzata in 4 divisioni: energia; impianti e sistemi industriali di trazione e per marina; prodotti di serie; aerotecnica. Nel marzo 1981 la società venne sottoposta alla procedura di amministrazione straordinaria e successivamente fu posta in liquidazione. Nella zona più meridionale di Sesto, al confine con Milano, erano infine presenti gli stabilimenti della Breda. Il primo stabilimento alle porte della città per la produzione di materiale ferroviario sorse nel 1903.

Alla vigilia della prima guerra mondiale l'industria ampliò la sua produzione costruendo tra l'altro, oltre a locomotive a vapore ed elettriche, caldaie, macchine utensili, proiettili, vetture ferroviarie, carri merci, pezzi fucinati, trattori e macchine agricole.

Il periodo di massimo sviluppo della Breda si ebbe negli anni '50 e '60 con la produzione delle carrozze per la Metropolitana Milanese e di componenti per l'industria nucleare.

Negli anni '80 ebbe quindi inizio il declino industriale e la società Breda entrò in amministrazione controllata. Attualmente solo nelle aree immediatamente a nord di Milano si hanno produzioni industriali ad alto contenuto tecnologico mentre le restanti porzioni di territorio sono oggetto di un ampio intervento di riqualificazione urbanistica.

Raccolta e trattamento preliminare dei dati

Lo studio della distribuzione dei metalli nei suoli dell'area urbana di Sesto San Giovanni è stato condotto partendo da 991 referti analitici ottenuti dalle indagini di caratterizzazione condotte nell'ambito delle attività previste per la bonifica delle aree industriali dismesse presenti nel territorio comunale, comprendendo in particolare quelle incluse nel perimetro del *Sito di interesse nazionale di Sesto San Giovanni*.

Tali informazioni riguardano i risultati analitici, sia di parte privata che di parte pubblica (laboratorio ARPA - Dipartimento di Monza) raccolti nel periodo compreso tra gli anni 2002 e 2004, riferiti ai campioni provenienti dalle porzioni più superficiali di suolo (tra 0.0 e 1.0 ÷ 1.5 m dal piano campagna).

Per l'archiviazione e la gestione dei dati è stato implementato un database in MS Access®, collegato a un S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) per la georeferenziazione dei punti di campionamento e la rappresentazione cartografica delle differenti caratteristiche dei suoli.

Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di Sesto San Giovanni

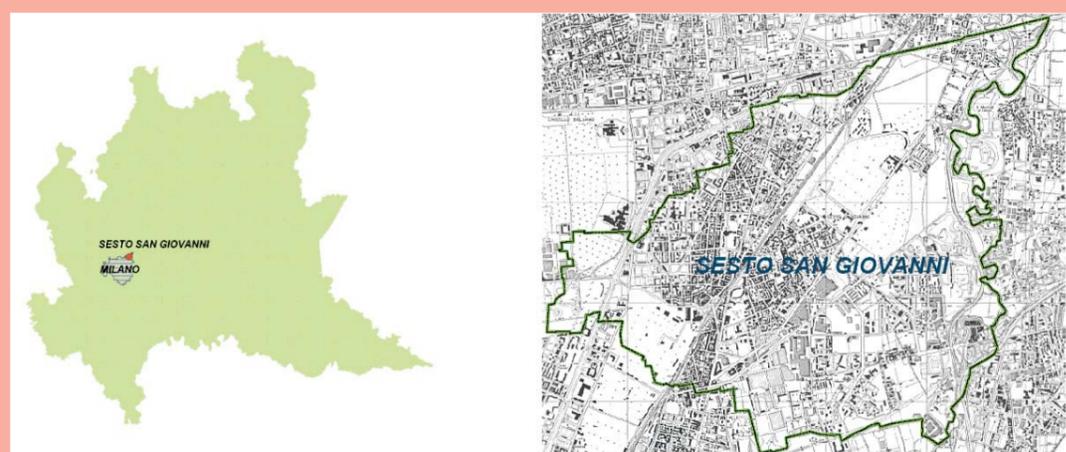
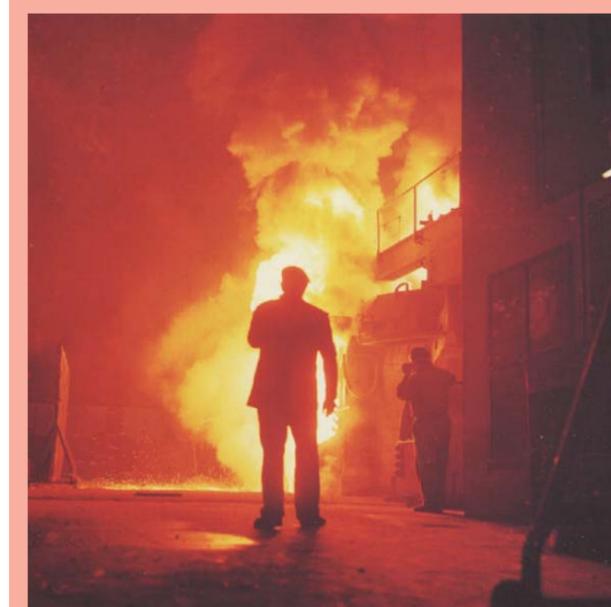


Figura 2. Caricamento di un forno elettrico Falck (tratto da: www.sestosg.net - Bigazzi, 1992)



I dati disponibili in archivio relativi agli orizzonti superficiali di suolo provenienti dai campionamenti effettuati nelle aree industriali dismesse sono stati integrati con i risultati derivanti da campioni del fondo naturale prelevati nell'area urbana.

Nel caso specifico per *campioni del fondo naturale* devono intendersi i campioni prelevati nelle aree, adiacenti i siti interessati da attività produttive, nelle quali si presume l'assenza di contaminazione derivante direttamente dall'attività stessa, nonché quelli prelevati in corrispondenza delle aree a verde a destinazioni d'uso non produttivo, comunque interessate da trasformazioni antropiche in genere o da rimozione degli orizzonti pedogenetici naturali.

A tal fine, la raccolta dei campioni è stata effettuata selezionando i punti di prelievo in modo tale da ottenere una distribuzione il più possibile omogenea delle concentrazioni di fondo che caratterizzano le restanti aree urbane e determinare, attraverso l'elaborazione statistica dei dati analitici, uno standard di composizione dei suoli del fondo naturale da confrontare con le concentrazioni dei terreni all'interno delle aree industriali.

I punti di prelievo sono stati scelti tenendo

anche conto della necessità di ottenere una rappresentazione della qualità dei suoli per tutti i possibili utilizzi previsti nelle aree ad uso non industriale; in particolare, i campioni provenivano da aree con i seguenti utilizzi:

- parchi giochi, giardini pubblici e scuole;
- orti e/o terreni agricoli;
- aiuole spartitraffico;
- giardini privati;
- rilevati ferroviari;
- argini o aree fluviali.

Complessivamente sono stati raccolti n. 20 campioni del fondo naturale per ciascuno dei quali sono state effettuate le analisi di laboratorio sulla frazione granulometrica < 2 mm ai sensi del DM 471/99 con la determinazione dei seguenti metalli: As, Cd, Cr VI, Crtot, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn, Fe e Al.

Le metodiche analitiche utilizzate per ciascun parametro sono riportate nella **tabella 1**.

Elaborazione statica dei dati

L'analisi dei dati è stata condotta anche applicando le tecniche statistiche descritte nelle "Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati" della Provincia di Milano

Figura 3. Esecuzione dello scavo e prelievo del campione (campioni del fondo naturale)



Tabella 1. Metodi di prova utilizzati dall'UO Laboratorio del Dipartimento di Monza (ARPA Lombardia)

Parametro	Sigla	Metodo di prova
Alluminio	Al	spettrometria di emissione atomica
Arsenico	As	spettrometria di assorbimento atomico
Cadmio	Cd	spettrometria di assorbimento atomico
Cromo totale	Crtot	spettrometria di emissione atomica
Rame	Cu	spettrometria di emissione atomica
Piombo	Pb	spettrometria di emissione atomica
Zinco	Zn	spettrometria di emissione atomica
Nichel	Ni	spettrometria di emissione atomica
Ferro	Fe	spettrometria di emissione atomica
Mercurio	Hg	spettrometria di assorbimento atomico
Cromo esavalente	Cr VI	spettrofotometria UV-Visibile

che, pur avendo finalità e obiettivi differenti rispetto a quelli previsti dal presente lavoro, permettono di confrontare tra loro le popolazioni di dati prese in esame e verificare l'attendibilità delle ipotesi formulabili sulla qualità dei suoli nelle aree urbane.

L'insieme dei dati registrati nel database comprende quindi due differenti popolazioni:

- dati relativi a campioni provenienti da suoli interni alle aree industriali (AI);
- dati relativi a campioni del fondo naturale (FN).

La verifica è stata finalizzata all'individuazione del tipo di distribuzione dei dati, in modo da definire i test statistici più idonei per l'elaborazione degli stessi.

Nel corso della verifica sono stati inoltre valutati i valori estremi, ovvero quelli risultati inferiori al limite di rilevabilità (LR) e quelli superiori (outlier). Relativamente al concetto di limite di rilevabilità occorre precisare che tale valore può risultare differente in relazione alle caratteristiche della strumentazione utilizzata per le analisi di laboratorio e agli obiettivi dell'analisi stessa, pertanto, su un campione esteso di dati come quello considerato nel presente lavoro, è stato necessario distinguere un limite di rilevabilità:

- strumentale, rappresentato da un valore di concentrazione minimo oltre il quale le rilevazioni dello strumento risultano approssimate;
- analitico, rappresentato da un valore di concentrazione minimo determinato dal laboratorista in funzione degli obiettivi dell'analisi.

La prima verifica ha riguardato i 20 campioni del fondo naturale, i cui esiti analitici presentavano per taluni metalli valori di concentrazione inferiori al limite di rilevabilità (LR).

Per il trattamento dei dati anomali (outlier) consistenti in valori di concentrazioni elevate sono stati eseguite invece le seguenti verifiche:

- per i campioni FN è stato utilizzato, laddove applicabile (Pb, Zn e Cu), il test di Dixon;
- per i campioni provenienti dalle aree industriali, considerata l'enorme mole di dati disponibili, è stata in primo luogo verificata la curva di distribuzione dei dati e, su base qualitativa, individuata e definita la presenza di outlier in relazione alla curva stessa, senza effettivamente applicare test statistici.

La distribuzione dei dati all'interno delle AI può essere considerata statisticamente rappresentativa dell'intera popolazione in quanto i campioni sono stati raccolti da indagini effettuate su maglia regolare (in genere 50 x 50 m). Occorre tuttavia precisare che, ai fini dell'elaborazione statistica e della determinazione dei valori del fondo naturale, i campioni prelevati dalle AI sono stati considerati come provenienti da un'unica area avente dimensioni medio-grande (>1.000 m²).

In questo modo è stato possibile confrontare le curve di distribuzione cumulative di frequenza per valutare, nell'ambito dell'area urbana, lo scostamento tra i valori delle aree

verdi in genere e quelli delle aree industriali. Il confronto dei dati è stato condotto solo sui parametri considerati più significativi, escludendo pertanto quelli normalmente presenti in basse concentrazioni, quali il Cr VI, Hg, e Cd, rilevati in quantità significative solo localmente e direttamente riconducibili a ben precisi fenomeni di contaminazione. Tutte le verifiche condotte sulle popolazioni di dati disponibili hanno in generale evidenziato distribuzioni di tipo non normale; solo in alcuni casi è stato possibile, con una certa approssimazione, assimilare la curva di distribuzione dei campioni ad una gaussiana normale. Le verifiche statistiche, laddove applicate, sono state eseguite utilizzando test di tipo non parametrico.

Risultati e discussione

Viene di seguito fornita, per ciascun parametro, una valutazione di tipo qualitativo. Nel caso dei parametri più significativi, le ipotesi di distribuzione dei campioni provenienti dalle AI e dal FN sono state verificate con l'ausilio dei test statistici.

Arsenico

La concentrazione media del fondo naturale risulta pari a 9,6 mg/kg, con valori massimi compresi nei limiti previsti dal DM 471/99 per le aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale (20 mg/kg). Il 75% dei campioni presenta inoltre una concentrazione inferiore a 11 mg/kg, pari a circa la metà della concentrazione massima ammissibile per le aree a verde (allegato 1, tab. 1/A, DM 471/99). Nei siti interessati da attività produttive, le

concentrazioni di As nel suolo risultano, escludendo i valori di concentrazione chiaramente riferibili a contaminazioni localizzate (outlier), mediamente superiori (12,3 mg/kg). La presenza di Arsenico nei suoli, in concentrazioni superiori ai limiti previsti dalla normativa vigente, risulta essenzialmente localizzata nelle aree industriali e, in generale, legata ai processi siderurgici di trasformazione dei minerali di ferro. Questo metallo, infatti, può essere contenuto sotto forma di impurità nelle ceneri di pirite, polveri di colore rosso scuro costituite principalmente da ossido di ferro e derivanti dal processo di arrostitimento della pirite negli altiforni.

Piombo

I valori medi di concentrazione del Pb nei campioni FN risultano pari a 137,4 mg/kg, al di sopra del limite previsto per le aree verdi. Si osserva inoltre come anche la concentra-

Figura 4. Orizzonte di riporto nelle aree industriali costituito da ceneri di pirite



zione corrispondente al 60° percentile risulti pari a 111 mg/kg, ben al di sopra dei 100 mg/kg, concentrazione massima prevista per le stesse aree verdi. La verifica sulla distribuzione dei dati relativi ai campioni del FN ha evidenziato una distribuzione non normale, con valori massimi di concentrazione (450 e 640 mg/kg) registrati nei campioni prelevati nei suoli in corrispondenza delle aiuole spartitraffico. Nelle AI i parametri statistici che definiscono la composizione dei suoli indicano concentrazioni medie differenti a seconda che si consideri l'intera popolazione di dati piuttosto che una selezione degli stessi priva dei valori anomali (outlier).

Le concentrazioni medie per le AI risultano pari a 269,9 (con outlier) e/o a 98,4 mg/kg (senza outlier). In entrambi i casi, la concentrazione corrispondente al 95° percentile (780 mg/kg con e 300 mg/kg senza outlier) risulta inferiore al limite di 1.000 mg/kg previsto per le aree a destinazione d'uso commerciale ed industriale (allegato 1, tab. 1/B, DM 471/99). Se tuttavia si confrontano le curve di distribuzione delle popolazioni di dati riferiti al FN e alle AI, escludendo i valori superiori al 90° percentile (pari a 510 mg/kg s.s. per le AI e il FN) che possono essere considerati outlier, si osserva come le concentrazioni medie dei campioni relativi alle AI risultino inferiori a quelle delle aree urbane esterne.

Figura 5. Confronto tra le curve di distribuzione delle due popolazioni di campioni (FN e AI)

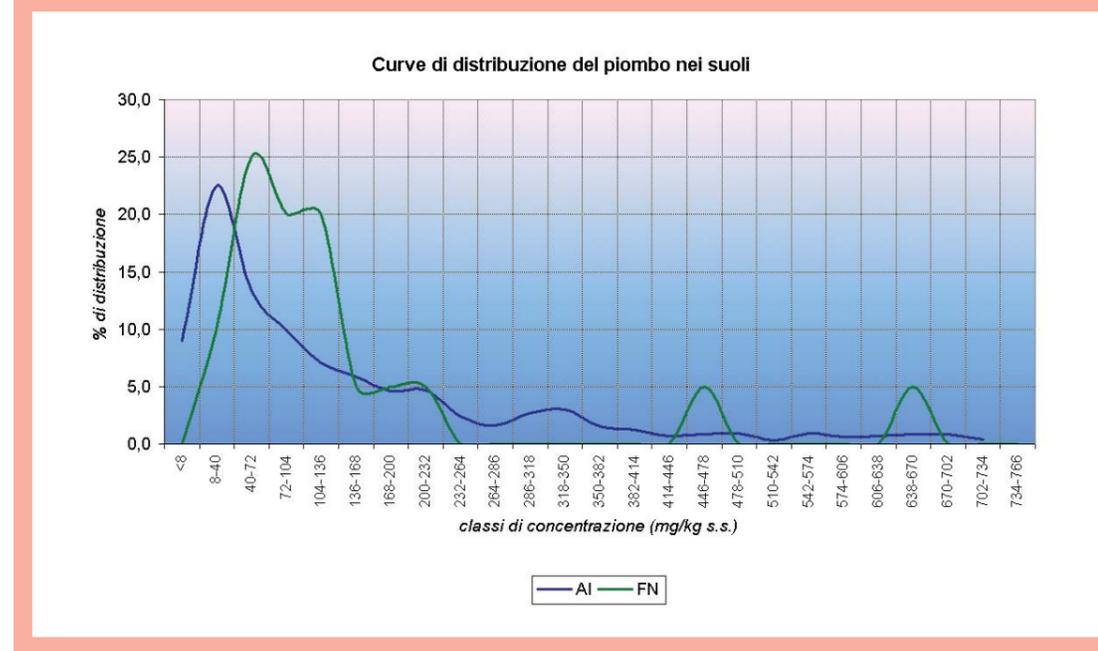


Tabella 3. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro piombo (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	< 10	< 10	137,4	640,0	150,9	1,1	25,0	55,8	100,0	132,5	234,0	100	1.000
AI	< 10	< 10	269,9	21.000	934,9	3,5	< 10	31,0	89,4	230,0	510,0		

Tabella 2. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro arsenico (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	< 5	< 5	9,6	20,0	4,0	0,4	5,8	6,8	9,5	11,0	14,2	20	50
AI	< 5	< 5	15,2	490,0	23,6	1,6	< 5	7,2	10,3	15,7	26,0		

La presenza di piombo in concentrazioni significative nei primi metri di suolo delle aree urbane è certamente e anche in parte riconducibile al traffico veicolare.

È noto infatti come il piombo sia stato fino a pochi anni fa uno dei principali additivi delle benzine.

Studi precedenti hanno evidenziato come maggiori concentrazioni di piombo normalmente vengano registrate in corrispondenza degli incroci, delle rotatorie e delle principali arterie stradali caratterizzate da traffico intenso (Kelly et al., 1996).

Cadmio

Nei suoli dell'area urbana in genere (FN e AI) il Cadmio risulta presente in concentrazioni contenute (mediana <1 mg/kg e 75° percentile pari a 1,8 mg/kg per le AI) e in situazioni ben localizzate.

La presenza di questo metallo è riconducibile essenzialmente alle scorie di fusione che spesso costituiscono uno dei componenti essenziali dei materiali di riporto delle aree industriali e delle aree urbane immediatamente adiacenti.

Nel terreno di riporto dell'aiuola spartitraffico esterna al sito ex Falck è stata per esempio rilevata la presenza di scorie e le analisi di laboratorio effettuate su un campione appositamente prelevato hanno evidenziato una concentrazione di Cadmio pari a 7 mg/kg.

Cromo esavalente

Il Cromo esavalente risulta pressoché assente nei suoli sia delle AI che del FN (90° percentile inferiore al LR), anche a causa della sua elevata mobilità ambientale.

Esso si rinviene solo in corrispondenza delle aree industriali, associato ad altri metalli, con un valore di concentrazione massimo pari a 142 mg/kg. Questo metallo non è mai stato rilevato al di sopra del LR (< 1 mg/kg) nei campioni del fondo naturale.

Cromo totale

Il Cromo totale, diversamente dal Cromo esavalente, risulta più stabile nei suoli ed è sempre presente in concentrazioni superiori al LR. Nei campioni del FN sono state rilevate concentrazioni sempre contenute nei limiti previsti per le aree a destinazione d'uso verde pubblico con valori medi pari a 51,1 mg/kg e massimi pari a 140 mg/kg.

Il valore di concentrazione corrispondente al 50° percentile, pari a 42,5 mg/kg, risulta 3 volte inferiore allo stesso limite fissato per le aree a verde.

Concentrazioni ben più significative si rinvenivano nelle AI, in corrispondenza delle quali il Cromo totale si rinviene come uno dei principali contaminanti dei terreni di riporto, normalmente come componente nelle scorie, associato ad altri metalli pesanti come rame, piombo e zinco.

La concentrazione media, in questi casi, risulta pari a 182,5 mg/kg, con una percentuale di campioni contenuta nei limiti per le aree a destinazione d'uso verde pubblico pari al 75% (75° percentile pari a 140,0 mg/kg) e un valore di concentrazione corrispondente al 90° percentile pari a 580,0 mg/kg, ben al di sotto dei limiti previsti dal DM 471/99 per le aree industriali.

La presenza di questo metallo risulta essenzialmente legata all'attività industriale di lavoro

dei metalli. In particolare si osservano due focolai di contaminazione in cui si registrano i valori di concentrazione più rilevanti, settori in cui, sulla base delle ricostruzioni storiche del sito, avveniva il deposito e lo scarico sul suolo delle scorie di acciaieria.

Mercurio

Per il Mercurio valgono le stesse considerazioni già fatte per il Cromo esavalente. Esso si presenta in concentrazioni inferiori al limite per le aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale in oltre il 90% dei campioni delle AI. Anche questo metallo è stato riscontrato, associato ad altri, come componente nei terreni di riporto frammentati a scorie. La sua presenza è pertanto riconducibile esclusivamente all'utilizzo dei residui di fonderia come materiali di riporto.

Nichel

Il Nichel è presente nei suoli dell'area urbana in concentrazioni medie pari a 37,5 mg/kg, e comunque ben al di sotto dei limiti tabellari per le aree a destinazione d'uso verde pubblico (pari a 120 mg/kg), con valori massimi di 94 mg/kg.

Nelle AI questo metallo ricorre in concentrazioni significative solo occasionalmente, considerato che il valore corrispondente al 90° percentile risulta pari a 89 mg/kg, ampiamente al di sotto dei limiti previsti per le aree a verde pubblico. La concentrazione media dei suoli nelle AI pari a 52,4 mg/kg, anche tenendo conto della distribuzione non normale dei dati, risulta solo leggermente superiore a quella del FN calcolata pari a 37,5.

Il Nichel si rinviene nei suoli presumibilmente

Figura 6. Orizzonti di riporto nelle AI costituiti da scorie e ceneri da processi di fusione



come componente secondario dei materiali di riporto associati alle scorie.

Rame

Il rame costituisce uno dei metalli più diffusi nei suoli del territorio in esame, sia nelle aree a verde sia nelle aree industriali.

Nei campioni del FN risulta tuttavia presente in concentrazioni significative solo in corrispondenza della stessa aiuola spartitraffico in cui è stata rinvenuta la presenza di terreno di riporto con scorie. Le concentrazioni medie del FN risultano pari a 87,0 mg/kg con valori corrispondenti al 90° percentile pari a 117,0 mg/kg. Nelle AI la concentrazione corrispondente al 75° percentile è pari a 155,0 mg/kg, oltre il limite previsto per le aree a destinazione d'uso verde pubblico ma ben al di sotto di

Tabella 4. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro cadmio (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	<1	<1	n.d.	7	n.d.	n.d.	<1	<1	<1	<1	5,5	2	15
AI	<1	<1	n.d.	75	n.d.	n.d.	<1	<1	<1	1,8	3,8		

Tabella 5. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro cromo totale (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	<1	28	51,1	140	25,8	0,5	29,9	37,8	42,5	55,8	74,2	150	800
AI	<1	<1	182,5	2.300	322,8	1,8	8,7	31,0	48,0	140,0	580,0		

quelle a destinazione industriale. La presenza di questo metallo nelle AI è chiaramente correlabile con le attività svolte nei siti in esame: esso risulta, come altri metalli, uno dei principali componenti delle scorie sebbene, in termini di concentrazioni e rispetto al Cromo totale, risulti arealmente più diffuso.

Zinco

Lo Zinco, insieme a Rame e Piombo, rappresenta uno dei metalli pesanti sempre presenti nei suoli delle aree urbane. Nei campioni del FN presenta valori medi di concentrazione pari a circa 190 mg/kg, variando da un minimo di 50 mg/kg fino ad 1.000 mg/kg. Nelle AI la presenza di questo metallo è evidentemente correlabile alla passata attività siderurgica e ai residui dai processi di fusione e lavorazione dei metalli. Almeno un terzo dei campioni provenienti dalle AI presenta infatti concentrazioni superiori al limite per le aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale (75° percentile pari a 390 mg/kg).

Anche per i campioni del FN si osserva come il corrispondente 75° percentile, pur inferiore a quello calcolato per le AI, risulti pari a 178 mg/kg, valore superiore agli standard previsti per le aree verdi.

La curva di distribuzione delle concentrazioni

di Zinco nei campioni del fondo naturale, evidenzia due picchi distinti: uno in corrispondenza dei valori di concentrazione che possono essere considerati rappresentativi di un suolo urbano standard (tra 32 e 64 mg/kg) ed uno, più marcato, caratteristico di suoli con forte presenza di materiali di riporto di presumibile origine industriale (tra 160 e 192 mg/kg). A differenza del Piombo, la presenza di Zinco nei suoli dell'area urbana sembrerebbe direttamente riconducibile all'attività industriale che ha interessato l'intera città.

Questo metallo risulta essere infatti uno dei principali componenti dei materiali di riporto che, come già osservato in precedenza, risultano diffusi nell'area urbana.

La rilevante presenza di scorie derivanti dalle lavorazioni siderurgiche, unitamente alle ripetute movimentazioni di terreno avvenute nel corso dell'ultimo secolo, hanno certamente contribuito alla diffusione di questo metallo negli orizzonti più superficiali del terreno.

Non si può tuttavia escludere per lo zinco un'origine dovuta in parte al traffico veicolare, considerato che questo metallo si rileva in concentrazioni significative e normalmente associato al piombo, in corrispondenza delle aiuole spartitraffico; è noto infatti che lo zinco

si genera anche dall'abrasione dei pneumatici sulle strade in genere

Conclusioni

Lo studio della distribuzione dei metalli pesanti nei suoli dell'area urbana di Sesto San Giovanni ha evidenziato come la presenza di questi elementi risulti chiaramente riconducibile all'attività siderurgica pregressa, il cui impatto sulla qualità dei materiali di riporto è risultato chiaramente determinante. Le aree industriali, caratterizzate in passato da insediamenti produttivi dedicati in prevalenza alla produzione, alla lavorazione e al trattamento di metalli e loro leghe, hanno occupato fino alla metà degli anni '80 quasi un terzo del territorio in esame, incidendo in modo significativo sulle caratteristiche qualitative dei suoli.

Alcuni metalli, in particolare Pb, Cu e Zn, risultano presenti in concentrazioni significative in tutta l'area urbana.

Essi costituiscono infatti i componenti principali dei materiali che in passato venivano utilizzati come terreno di riporto anche per il rimodellamento delle aree cittadine, esterne ai siti industriali. L'utilizzo diffuso in passato di scorie come materiali di sottofondo per la realizzazione di rilevati stradali e di altro genere ha contribuito a diffondere i metalli nei suoli del territorio comunale.

A questo meccanismo di diffusione si devono aggiungere la ripetuta movimentazione (accumulo e trasporto) dei materiali e degli scarti dell'industria siderurgica e la gestione incontrollata dei residui. Nelle zone verdi, più recentemente interessate da interventi di recupero

Tabella 6. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro nichel (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	< 1	21	37,5	94,0	17,6	0,5	22,9	26,3	32,5	43,0	50,2	120	600
AI	< 1	< 1	52,4	730,0	58,6	1,1	16,8	29,0	37,0	52,0	89,0		

Tabella 7. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro rame (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FN	< 5	38	87,0	499	102,3	1,2	39,9	43,3	62,0	73,5	117,0	120	600
AI	< 5	5	186,8	7.500	526,1	2,8	12,0	29,1	71,3	155,0	347,0		

Figura 7. Confronto tra le curve di distribuzione delle due popolazioni di campioni (FN e AI)

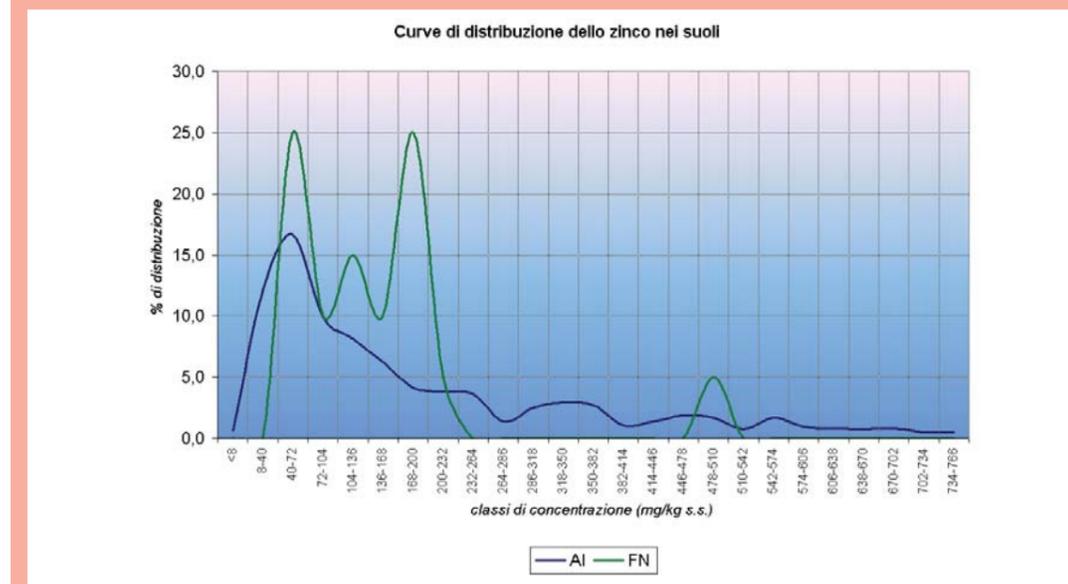


Tabella 8. Parametri statistici e valori standard di concentrazione riferiti al parametro zinco (in mg/kg s.s.)

	L.R.	min.	media	max.	dev. st.	var.	Percentili					DM 471/99	
							5°	25°	50°	75°	90°	1/A	1/B
FONDO	< 1	50	191,4	1.080	230,9	1,2	53,8	85,3	136,5	178,8	239,0	150	1.500
SITI	< 1	< 1	515,5	46.000	2.152	4,2	29,6	60,0	147,3	390,0	920,0		

ambientale quali il Parco Nord Milano, la qualità dei materiali di riporto risulta elevata con composizioni mediamente inferiori a quelle di "fondo" dell'area urbana.

La presenza di importanti arterie stradali di servizio agli insediamenti produttivi, nonché la particolare collocazione geografica di Sesto San Giovanni a cavallo tra le aree produttive della Brianza e la città di Milano, hanno determinato inoltre un significativo volume di traffico veicolare con conseguente influenza sulle concentrazioni di Piombo in prossimità dei principali snodi stradali.

Sulla base delle elaborazioni statistiche effettuate vengono quindi evidenziati i valori di concentrazione dei metalli nei suoli dell'area urbana di Sesto San Giovanni che si ritiene possano essere utili come modello di riferimento per un'eventuale valutazione dei limiti legislativi attualmente vigenti, tenendo conto dei rischi

sanitari e ambientali connessi, in particolare modo per piombo, zinco e rame, metalli pesanti più tipicamente riscontrabili nei suoli delle aree urbane in passato interessate da intenso sviluppo industriale e ripetute movimentazioni degli orizzonti superficiali.

L'esame dei dati di sintesi riportato in **tabella 9** evidenzia come per alcuni metalli quali piombo e zinco le concentrazioni medie di fondo nell'area urbana risultino di fatto superiori ai limiti previsti dal DM 471/99 per le aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale. Per questi metalli, infatti, considerando le distribuzioni dei valori di concentrazioni riscontrate, il limite per le aree a verde risulterebbe particolarmente restrittivo nelle aree urbane a forte sviluppo industriale e alta densità veicolare mentre eccessivamente "tollerante" sembrerebbe quello per le aree a destinazione d'uso produttivo. □

Tabella 9. Standard di composizione dei suoli nell'area urbana di Sesto San Giovanni e confronto con valori di concentrazione di riferimento

		As	Cd	CrVI	Crtot	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn	Fe	Al
FONDO	valore minimo	< 5	< 1	< 1	28	< 0,5	21	< 10	38	50	11.580	9.450
	mediana	9,5	n.d.	n.d.	42,5	n.d.	35,5	100	62	136,5	15.300	16.620
	valore max	20	7	< 1	140	1,2	94	640	499	1080	34.410	22.950
	media	9,6	n.d.	n.d.	51,1	n.d.	37,5	137,4	87,0	191,4	17.153	16.475
SITI	valore minimo	< 5	< 1	< 1	< 1	< 0,5	< 1	< 10	5	< 1	32	8.306
	mediana	10,3	< 1	< 1	48,0	< 0,5	37,0	99,4	71,3	147,3	17.268	12.102
	valore max	490	75	142	2.3000	157	730	21.000	7.5000	46.000	66.850	36.810
	media	15,2	n.d.	n.d.	182,5	n.d.	52,4	269,9	186,8	515,5	23.272	13.374
DM 471/99	verde pubblico, privato e residenziale	20	2	2	150	1	120	100	120	150	-	-
	commerciale e industriale	50	15	15	800	5	500	1000	600	1500	-	-
SUOLI ITALIANI*	valore minimo	4	0,07	-	20	-	5	4	7	16	-	-
	mediana	41	0,44	-	95	-	50	26	24	68	-	-
	valore max	197	0,8	-	307	-	3.240	81	200	157	-	-

*Bini et al., 1988

Bibliografia

APAT (2002), "Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo ai fini ambientali. Linee guida per un manuale di organizzazione e gestione della rete", Roma

Bigazzi D. (1992), "Fotografia dell'Acciaio" Scheiwiller, Milano

Bini C., Dall'Aglio M., Ferretti O., Gragnani R., (1988), "Background levels of microelements in soils of Italy" Environmental Geochemistry and Health, 10, 2, pp. 63-69

Bretzel F., Lubrano L., Petruzzelli G. (1997), "La qualità del suolo in ambiente urbano, studio preliminare nella città di Pisa", Qualità del suolo, pp. 82-88, Milano

Craul P.J. (1992), "Urban Soil in Landscape Design", John Wiley & Sons, USA

De Cristofaro A. (2004), "La storia di Sesto San Giovanni", Istituto per la Storia dell'Età Contemporanea (ISEC), in www.sestosg.net

D. Lgs. 5/02/1997, n. 22 - "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio" (S.O. alla G.U. n. 38 del 15/2/1997)

D.M. 25/10/1999, n. 471 - "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del D.Lgs. 05/02/1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni" (S.O. alla G.U. n. 293 15/12/1999)

D.M. 31/08/001 - "Perimetrazione del sito di interesse nazionale di Sesto San Giovanni." (G.U. n. 250 26/10/2001)

ERSAL (1999), "I suoli della pianura milanese settentrionale" Progetto "Carta Pedologica"

Kelly J., Thornton I., Simpson P. R. (1996), "Urban Geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils

in traditionally industrial and non industrial areas of Britain" Applied Geochemistry, vol. 11, pp. 363-370, GB

Legge 23/12/2000, n. 388 (art. 114, comma 24) - "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2001)" (S.O. alla G.U. n. 302 29/12/2000)

Provincia di Milano (2003), "Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati"

Torretta M., Confalonieri M., Busnelli M. (2004), "Utilizzo di un Sistema Informativo Territoriale per la gestione delle aree contaminate" Siti Contaminati, 1, pp. 144 - 15

Torretta M., Confalonieri M., Zangari R. (2004), "Distribuzione dei metalli nel suolo del territorio comunale di Sesto San Giovanni" ARPA Lombardia, progetto obiettivo 2004

Curriculum vitae

Madela Torretta: dirigente geologo dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia - Dipartimento di Monza.

Opera dal 1990 su tematiche idrogeologiche e su problematiche relative ai siti contaminati. È responsabile dell'U.O. Sistemi Ambientali, struttura organizzativa del Dipartimento a cui competono le attività in materia di suolo e bonifiche, cartografia tematica, risorse idriche e naturali, rumore e vibrazioni, radiazioni ionizzanti, non ionizzanti e qualità dell'aria.

Massimiliano Confalonieri: funzionario geologo dell'U.O. Sistemi Ambientali dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia - Dipartimento di Monza.

Ha svolto attività fino al 2001 nel settore della gestione dei rifiuti. Attualmente si occupa di siti contaminati e risorse idriche.

Roberto Zangari: funzionario dell'U.O. Sistemi Ambientali dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia - Dipartimento di Monza. Laureato in scienze ambientali si occupa di siti contaminati e risorse idriche.



OSSERVATORIO SITI CONTAMINATI

Nasce l'Associazione Nazionale "Osservatorio Siti Contaminati".

L'Associazione, senza fine di lucro, ha come finalità lo studio delle problematiche inerenti la tutela dell'ambiente dall'inquinamento, con particolare considerazione per gli aspetti connessi alla bonifica ed alla caratterizzazione dei siti contaminati, nonché delle problematiche di gestione dei rifiuti ad esse correlate.

Tra gli obiettivi fondamentali dell'Osservatorio ci sono la ricerca ed applicazione di nuove tecnologie ed approcci metodologici per il risanamento di aree contaminate, la creazione di un "prezziario" per i relativi interventi e la pubblicazione di una Vendor List delle Società operanti in ambito di gestione rifiuti, caratterizzazione e bonifica dei siti contaminati, edito annualmente con una tiratura di 25.000 copie e distribuito in tutta Italia.

Altra priorità dell'Osservatorio sarà la creazione di Gruppi di Lavoro, nell'ambito dei quali possa essere promosso il confronto fra chi opera in questo settore, a diversi livelli e con differenti ruoli e specializzazioni, con il fine comune di definire linee guida, procedure metodologiche e sistemi di supporto alle decisioni da sottoporre al legislatore.

Gli organi di stampa ufficiali dell'Osservatorio sono la rivista trimestrale Siti Contaminati, divenuta nel corso degli anni un punto di riferimento per gli operatori del settore di risanamento dei siti contaminati e di gestione dei rifiuti, ed il portale www.siticontaminati.it che può vantare una media di 3000 contatti giornalieri.

Per aderire all'Associazione e far parte degli Esperti dell'Osservatorio, ti invitiamo a collegarti alla sezione "Osservatorio" di www.siticontaminati.it o a contattare la Segreteria Nazionale al numero telefonico **011-6606384**.

Organi Ufficiali:

Presidente Nazionale: ing. **Ivano Aglietto**
 Direttore Scientifico: prof. ing. **Mariachiara Zanetti**
 Segretario Nazionale: dr. **Andrea Bertolino**
 Tesoriere: rag. **Fabrizio Bertocco**

TIPOLOGIE DI SOCI:

*= buono sconto del 20% nel caso di abbonamento alla rivista
 **= per un massimo di tre partecipanti dell'Ente o Società con status di Socio Sostenitore

	SOSTENITORE	ORDINARIO	ADERENTE
Quota associativa	€ 1200	€ 360	€ 250
Tessera associativa	Si	Si	Si
Abbonamento annuo a www.siticontaminati.it	Si	Si	Si
Abbonamento annuo alla rivista Siti Contaminati	Si	Si	No*
Sconto per la partecipazione agli eventi organizzati dall'Associazione	Si-20%**	Si-20%	Si-20%
Inserimento nel Catalogo Nazionale delle Società operanti in ambito di gestione rifiuti, caratterizzazione e bonifica dei siti contaminati, edito annualmente con una tiratura di 25.000 copie e distribuito in tutta Italia	Si	Si	No
Sconto sull'acquisto di tutte le pubblicazioni editate dall'Associazione	Si-20%	Si-20%	Si-20%
Sconto per inserzioni pubblicitarie su Siticontaminati rivista o sito	Si-25%	No	No

Se desideri far parte dell'Osservatorio Siti Contaminati, inviaci tramite fax allo **011-3839091** il coupon sottostante, compilato in ogni sua parte, allegando un curriculum vitae completo. Il Consiglio Direttivo Nazionale si riunisce con cadenza mensile per esaminare le domande pervenute.

La Segreteria Organizzativa rimane a tua disposizione per ogni chiarimento: chiamaci allo **011-6606384** oppure scrivi a: osservatorio@siticontaminati.it



OSSERVATORIO SITI CONTAMINATI

Nome		Cognome	
Società/Ente			
e-mail		Telefono	
Via			
Città		Provincia	CAP
Richiesta di iscrizione per la qualifica di socio:			
1. Sostenitore <input type="checkbox"/>		2. Ordinario <input type="checkbox"/>	
		3. Aderente <input type="checkbox"/>	
Data		Firma	