

Studio sulla contaminazione da metalli nei terreni intorno al cementificio HOLCIM di Merone

Introduzione.

Ai cementifici, storicamente, sono attribuiti impatti ambientale riconducibili, in prevalenza, all'emissione di polveri.

L'introduzione di nuovi impianti per il trattamento dei fumi e delle emissioni ha ridotto in modo significativo questo tipo di problema, tuttavia permangono elementi di criticità che moderne Valutazioni di Impatto Ambientale, applicate ai cementifici e più in generale agli impianti a combustione, non dovrebbero trascurare.

Ad esempio, la tossicologia ambientale, in base ai più recenti studi epidemiologici sta progressivamente spostando la sua attenzione dalle cosiddette polveri totali sospese, normate ancora pochi anni or sono, agli effetti tossici prodotti dall'esposizione a polveri definite fini e ultrafini, ovvero con diametri aerodinamici inferiori a 10 micron, che caratterizzano le emissioni di tutti gli impianti che utilizzano la combustione.

E' stato dimostrato che queste micro particelle, possono causare effetti tossici, indipendentemente dalla propria composizione chimica, in quanto inducono risposte infiammatorie nell'organismo ospite che, a loro volta, possono spiegare l'insorgenza di diverse patologie, in particolare l'aumento di mortalità per cause cardio circolatorie, durante fenomeni di inquinamento acuto da polveri sottili (Biggeri, Bellini et al. 2004).

Tuttavia, su queste micro particelle, per le loro specifiche caratteristiche chimico fisiche, si concentrano, per adsorbimento, metalli pesanti e composti organici cancerogeni e mutageni, quali Idrocarburi Policiclici Aromatici, Diossine e Furani, a loro volta sottoprodotti della combustione.

Sono pertanto possibili sinergie tra i fenomeni infiammatori indotti dall'inalazione delle polveri e gli specifici effetti tossici dei metalli e dei composti organici adsorbiti a queste stesse polveri.

Nel caso specifico dei cementifici, diversi studi segnalano questo tipo di impianti come possibile fonte di emissione di polveri fini e di metalli tossici.

Un recente studio (Baroutian, Mohebbi et al. 2006) ha misurato la concentrazione di PM₁₀ sottovento ad un cementificio iraniano, trovando concentrazioni di polveri fini molto elevate, superiori ai valori guida stabiliti dalla Organizzazione Mondiale della Sanità. Per cercare di quantificare il ruolo delle emissioni di PM₁₀ del cementificio, i dati sperimentali sono stati confrontati con i valori di concentrazione elaborati da un modello diffusionale che, in base alle caratteristiche delle emissioni e alle condizioni meteorologiche stimava la concentrazione di PM₁₀ a diverse distanze dall'impianto.

Numerosi altri studi hanno confermato come le polveri sottili emesse da un cementificio possano essere composti da diversi metalli tossici.

Nell'inventario europeo di fonti antropogeniche di metalli (Vernet 1991) nel 1982 i cementifici erano individuati come importanti fonti di **Arsenico** (205 ton/a), **Cadmio** (12 ton/a), **Cromo** (663 ton/a), **Piombo** (8.613 ton/a), **Zinco** (3.744 ton/a).

Effettivamente, uno studio recente condotto in Giordania, nei pressi di un cementificio (Al-Khashman and Shawabkeh 2006) ha riscontrato nel suolo una maggiore concentrazione di **Piombo**, **Zinco** e **Cadmio**.

Tuttavia, in base ai dati di letteratura si riscontrano importanti differenze tra un cementificio e l'altro, per quanto riguarda l'abbondanza relativa di determinati metalli nelle loro emissioni.

Ad esempio, uno studio condotto in Germania (Ewers 1988) attribuiva ai cementifici la contaminazione di **Tallio** di terreni ed alimenti, riscontrati nelle vicinanze di questi impianti.

E' molto probabile che il Tallio, un metallo particolarmente tossico, derivasse dall'uso di ceneri di pirite, uno scarto di lavorazione utilizzato nei cementifici per la produzione di cementi ad alta resistenza.

In questi casi la contaminazione da Tallio può coinvolgere sia i lavoratori, nelle cui urine questo metallo è stato trovato a concentrazioni superiori alla media (Schaller, Manke et al. 1980), ma anche la popolazione residente nelle vicinanze dell'impianto (Brockhaus, Dolgner et al. 1981) nelle cui urine e capelli si trovavano concentrazioni di Tallio significativamente più alte che in popolazioni di controllo.

L'esposizione a Tallio della popolazione era principalmente dovuta alla contaminazione degli ortaggi coltivati in loco e nella popolazione esposta venivano riscontrati sintomi neurologici riconducibili a questa esposizione.

In Egitto, un analogo studio di tipo ambientale (Hindy, Abdel Shafy et al. 1990) attribuiva ai cementifici l'elevata concentrazione di **Vanadio** riscontrato nell'aria, nelle acque, nel suolo e nei vegetali, mentre a un cementificio turco (Isikli, Demir et al. 2003) era attribuita la maggiore concentrazione di **Cromo** riscontrata nel terreno e nei vegetali raccolti intorno all'impianto, rispetto a zone di controllo. Una maggiore concentrazione di cromo risultava essere presente nel sangue della popolazione residente nei pressi del cementificio, e a tale fatto era attribuita una maggiore frequenza di dermatiti negli esposti, rispetto ai controlli.

Studi condotti in Inghilterra (Hutton and Symon 1986) individuavano i cementifici come importante fonte di **Cadmio** (1 tonnellata/anno, a fronte di 1,9 ton/anno di cadmio stimate essere emesse in quel periodo dalle centrali termoelettriche del Regno Unito).

Più recentemente, l'emissione di Cadmio da parte di cementifici è stata confermata da ricerche effettuate su un cementificio turco (Isikli, Demir et al. 2006). Lo studio evidenziava, nei terreni e nei vegetali raccolti intorno all'impianto, una concentrazione di Cadmio superiore all'area di controllo. Anche in questo caso il Cadmio nel sangue era a concentrazione superiore nella popolazione residente nelle zone di ricaduta delle emissioni del cementificio e, per questo motivo, ritenuto responsabile della maggiore frequenza di dermatiti nella popolazione residente intorno a questo impianto.

E la concentrazione di Cadmio e **Nichel** nel plasma di soggetti esposti alle emissioni di un cementificio turco, sono risultate significativamente più elevate di quelle trovate in una popolazione di controllo (Demir, Akar et al. 2005).

Un altro metallo tossico la cui presenza nell'ambiente può essere attribuita all'attività di cementifici è il **Mercurio**. Il recente inventario delle emissioni di **Mercurio** nel Nord America (Walcek, De Santis et al. 2003) individua cementifici e inceneritori quali principali fonti di emissioni di questo metallo. E tra le più importanti fonti industriali di mercurio in Cina, dopo il carbone, (Wang, He et al. 2006) c'è la produzione di cemento, la fusione di metalli e l'industria chimica, che complessivamente immettono nell'ambiente il 23,7% del mercurio di origine antropica.

Effetti dei cementifici sulla salute

Diversi studi confermano problemi respiratori nei lavoratori addetti alla produzione del cemento, (Noor, Yap et al. 2000; Mwaiselage, Bratveit et al. 2005; Mwaiselage, Moen et al. 2006), attribuibili alla esposizione a polveri, che risulta molto variabile, a seconda delle mansioni (Mwaiselage, Bratveit et al. 2005).

Studi condotti su linfociti di lavoratori indiani impiegati nella produzione di cemento hanno anche riscontrato un significativo aumento di aberrazione cromosomiche (Fatima, Prabhavathi et al. 2001), segnale di una possibile esposizione lavorativa a composti mutageni.

Un minor numero di studi epidemiologici, oltre a quelli già citati in relazione all'esposizione a Cadmio, Vanadio e Tallio, ha valutato il possibile impatto dei cementifici sulla salute di chi abita nelle loro vicinanze.

In particolare, le emissioni di cementifici sono state associate a disturbi respiratori degli abitanti, specialmente nella popolazione infantile. Disturbi quali naso otturato e lacrime agli occhi sono stati diagnosticati con maggiore frequenza in bambini del Lancashire che vivevano nei pressi di un cementificio (Ginns and Gatrell 1996).

In Israele, un analogo studio (Goren, Hellmann et al. 1999) evidenziava una maggiore frequenza di tosse e di asma nei bambini che vivevano vicino ad un cementificio, rispetto a coetanei che abitavano in zone prive di fonti inquinanti. Le misure di particolato sospeso e PM₁₀ evidenziavano un frequente superamento dei rispettivi standard israeliani di qualità dell'aria (200 µg/m³ e 150 µg/m³).

Uno studio epidemiologico condotto in Cina (Yang, Chang et al. 2003) ha individuato un maggior rischio di parti prematuri nella popolazione che vive nel raggio di 2 chilometri da un cementificio. Gli autori, esclusi diversi fattori confondenti, ipotizzano che tale rischio possa dipendere dall'inquinamento prodotto dal cementificio.

Scelte tecnologiche ed impatti ambientali.

In anni recenti il panorama nazionale della ambientalizzazione della produzione di cemento è stato caratterizzato da due scelte, in parte contrastanti.

La prima scelta è stata l'introduzione nei cementifici di sistemi di trattamento polveri e trattamento fumi sempre più efficaci che hanno sensibilmente ridotto l'emissioni di polveri totali e di inquinanti

gassosi e presumibilmente i rischi sanitari connessi a queste esposizioni (Schuhmacher, Domingo et al. 2004).

La seconda scelta, sempre più frequente negli ultimi anni, in particolare in Italia, è quella di autorizzare i cementifici a trattare numerosi scarti di produzioni industriali sia come fonti energetiche, alternative a quelle convenzionali (carbone, metano), sia come vere e proprie materie prime per la produzione del clinker.

I cementifici come sistemi di smaltimento rifiuti

La scelta di utilizzare scarti di lavorazioni nella produzione di cemento, ha degli elementi di ragionevolezza, anche in base al fatto che il procedimento per la produzione di clinker presenta elementi positivi, in grado di ridurre possibili rischi ambientali: intrinseca neutralizzazione di emissioni acide, assenza di scarti di lavorazione, alte temperature, lunghi tempi di reazione.

Tuttavia, queste caratteristiche, unite ad aspetti economici di crescente importanza, quali l'aumento dei costi del petrolio, l'aumento dei costi di smaltimento dei rifiuti, i pesanti ritardi nell'avviare politiche di riduzione della produzione di rifiuti e di riciclaggio, stanno di fatto trasformando i cementifici italiani in impianti per lo smaltimento di rifiuti industriali ed urbani.

Questa ultima scelta pone l'oggettivo problema che, a seconda del tipo di materiali e combustibili utilizzati nel processo di produzione del cemento, si possono verificare sostanziali modificazioni nella qualità delle emissioni e dei fumi, tali da influenzare in modo significativo l'impatto ambientale e sanitario di questa attività produttiva.

E' ovvio che la composizione chimica dei fumi di un cementificio dipende dai combustibili e dalle materie prime utilizzate da questo tipo di impianto.

Metalli facilmente volatili quali mercurio, cadmio, zinco, inevitabilmente si ritrovano nelle emissioni a camino, nonostante l'adozione di efficienti sistemi di captazione fumi.

Ed è altrettanto inevitabile che la granulometria delle polveri che superano tutti i sistemi di filtrazione adottati sia particolarmente fine, ovvero quella potenzialmente più pericolosa.

Questa problematica è riscontrabile nei dati desunti dalla letteratura scientifica sull'impatto ambientale di metalli pesanti indotti dalla attività di cementifici, già brevemente descritti.

In questi studi, effettuati in periodi e luoghi diversi, diversi metalli sono stati individuati come causa di pesante contaminazione del terreno: Tallio, Cadmio, Vanadio, Cromo.

E' molto probabile che queste differenze siano riconducibili all'uso di diversi combustibili e di diverse materie prime utilizzate per la produzione di "clinker" nei cementifici oggetto di studio.

L'uso nei cementifici di materiali di scarto di origine industriale, caratterizzati da alto potere calorifico, in particolare polimeri quali quelli presenti nei pneumatici o negli imballaggi di plastica o nelle resine sintetiche, ovvero in rifiuti che giustamente sono classificati non pericolosi, presentano un altro problema non trascurabile: la produzione di composti tossici a seguito delle complesse reazioni termiche che possono avvenire nel forno e tale fenomeno è meno controllabile, laddove la qualità del combustibile è molto variabile e poco definibile, caratteristica comune agli attuali combustibili da rifiuto.

Un esempio di questo fenomeno è la presenza di diossine e furani nei fumi dei cementifici, accertata da adeguate misure a camino, nonostante le alte temperature che si raggiungono nei forni.

Nell'ultimo inventario europeo delle emissioni di diossine (Quass, Fermann et al. 2004) è stato stimato che la quantità massima di diossine emesse nel 2005 dai cementifici europei ammonta a 50 gr (I-TEQ), un valore in netto aumento (+ 137%), rispetto al valore massimo stimato, da questa stessa fonte, nel 1985 (21 gr) e in controtendenza rispetto al dato generale che valuta, nello stesso periodo, una generalizzata riduzione delle emissioni di diossine da tutte le fonti (-86%), esclusi i forni elettrici per la produzione dell'acciaio (+17%).

In base ai dati di questo inventario si può stimare che nel 1985, tra tutte le emissioni di diossine di origine industriale presenti in Europa, il contributo dei cementifici era pari allo 0,2%.

Nel 2005 la quantità di diossine emessa in Europa dai cementifici rappresenta il 3,3 % di tutte le emissioni di fonte industriale.

Il commento che si può fare a questo dato è che mentre venti anni or sono il contributo dei cementifici alle emissioni totali di diossine si poteva considerare trascurabile, oggi non è più così e l'attenzione del legislatore dovrebbe, per lo meno, evitare che questi impianti emettano più diossine di quanto non facessero negli anni passati.

In base ai risultati degli studi qui citati, l'Istituto Nazionale Ricerca sul Cancro di Genova, ricevuto l'incarico dall'Associazione Rete Donne Brianza di studiare possibili problemi di contaminazione ambientale attribuibili all'attività del cementificio Holcim, operante nel Comune di Merone, ha suggerito l'effettuazione di uno studio preliminare sul territorio dei comuni limitrofi all'impianto, per valutare possibili contaminazioni del suolo da metalli, riconducibili all'attività del cementificio.

L'impianto HOLCIM di Merone

In base alle informazioni disponibili, nel cementificio di Merone operano:

- cinque mulini a tamburo rotante con sfere per la macinazione della farina cruda e due mulini per la macinazione dei combustibili solidi: carbon fossile, coke di petrolio, terre di sbianca.
- Due forni Lepol, denominati forno 5 e forno 3
- Un forno Prepol As, denominato forno 4
- Sei mulini a tamburo rotante con sfere per la macinazione del clinker.

Le materie prime utilizzate dal cementificio di Merone, considerate di tipo convenzionale sono:

- Marna e calcare marnoso
- Calcare
- Pietra di gesso

Sono considerate materie prime secondarie utilizzate presso il cementificio di Merone, residui di specifiche lavorazioni come:

- Ceneri volanti
- Ceneri di pirite
- Scorie metallurgiche

Come combustibili sono utilizzati combustibili convenzionali quali

- Carbon fossile
- Coke da petrolio
- Olio combustibile

E combustibili "alternativi"

- Terre da sbianca
- Peci Laboni

Emissioni

Nell'impianto di Merone sono state individuate sette emissioni convogliate da controllare con idonee indagini analitiche:

- Emissione 133: dal primo mulino/essiccatore della miscela di combustibili solidi
- Emissione 134: dal secondo mulino/essiccatore della miscela di combustibili solidi
- Emissione 43: dal forno 3 Lepol, a valle del primo filtro elettrostatico
- Emissione 43.1: dal forno 3 Lepol, a valle del secondo filtro elettrostatico
- Emissione 43.2 dal forno 3 Lepo, a valle del terzo filtro elettrostatico
- Emissione 45: dal forno 4 Prepol, a valle della filtrazione con filtri a tessuto
- Emissione 50: dal forno 5 Prepol, a valle della filtrazione con filtri elettrostatici.

Trattamento gas di scarico

I gas di scarico dei forni Prepol AS sono depurati mediante filtro a manica, quelli del forno Lepol con separatore elettrostatico.

L'aria di raffreddamento del clinker, in parte è utilizzata per la combustione e l'essiccazione delle materie prime, in parte è scaricata in atmosfera previo trattamento con filtri a granuli di sabbia.

Le polveri prodotte dalla macinazione del clinker sono abbattute con filtro a manica con immissione in atmosfera dell'aria così trattata.

I gas di scarico dei forni normalmente in funzione, Prepol 4 e Lepol 5 sono avviati a due ciminiere che nel 1998 sono state innalzate, rispettivamente a 95 e 105 metri, per meglio disperdere le emissioni.

Metalli nei combustibili convenzionali ed "alternativi" e nelle emissioni

Dalla relazione della Commissione Tecnica sui problemi ambientali della Cementeria di Merone, pubblicata nel 1992, nella Tabella 11.1, riportata di seguito nelle Tabelle I e II, si evince che nelle materie prime e nei combustibili utilizzati da questo cementificio sono presenti metalli tossici che, in parte sono, o si presume possano essere emessi in atmosfera.

In entrambe le tabelle, le quantità riportate in grassetto sono state effettivamente misurate, le quantità stampate con caratteri normali sono state stimate, assegnando ad ogni metallo il valore minimo di rilevanza dichiarato dal laboratorio di analisi.

Questo accorgimento è stato utilizzato in quanto le quantità di alcuni metalli presenti nei campioni erano a valori inferiori alla quantità minima rilevabile dal metodo di analisi scelto.

A riguardo, non possiamo esimerci dall'esprimere la nostra perplessità sul fatto che numerosi metalli tossici (cadmio, tallio, mercurio) non siano stati trovati e quindi misurati accuratamente persino nei combustibili. A nostro giudizio, questo significa che il laboratorio di analisi incaricato dell'indagine, non è stato in grado di mettere a punto un'ideale tecnica di campionamento ed analisi che, con le adeguate attrezzature e con una minima esperienza, è certamente realizzabile.

Segnaliamo comunque che, in un'altra sezione del documento della Commissione, sono riportati i risultati analitici di metalli nei cosiddetti combustibili alternativi (peci Laboni, Peci Enichem, Terre di sbianca) in base ad analisi effettuate da quattro diversi laboratori. Pur in presenza di diversi risultati, a seconda del laboratorio analizzante, piombo e cadmio sono stati misurati in tutti i tre combustibili alternativi e pertanto si può ritenere che questi metalli siano effettivamente presenti nei combustibili utilizzati dal cementificio Holcim.

TABELLA I. Metalli immessi nel forno E45 ed emessi in atmosfera dal camino E45
 Combustibili: carbon fossile e coke di petrolio
 Analisi effettuata il 22/4/1992

	Quantità metalli (grammi/ora)	
	<i>alimentate</i>	<i>emesse</i>
Piombo	1.198	0,754
Cadmio	90	0,052
Cromo	2.261	0,754
Cobalto	796	0,477
Tallio	180	0,052
Vanadio	12.221	0,477
Nichel	5.288	0,477
Rame	2.242	0,286
Mercurio	180	4,389
Arsenico	282	0,216

TABELLA II. Metalli immessi nel forno E45 ed emessi in atmosfera dal camino E45
 Combustibili: carbon fossile, coke di petrolio, terre di sbianca, peci
 Analisi effettuata il 27/4/1992

	Quantità metalli (grammi/ora)	
	<i>alimentate</i>	<i>emesse</i>
Piombo	1.362	1,051
Cadmio	89	0,111
Cromo	2.386	1,051
Cobalto	784	1,051
Tallio	177	0,111
Vanadio	11.194	1,051
Nichel	5.326	1,051
Rame	2.361	0,415
Mercurio	177	12,745
Arsenico	284	0,166

I risultati in Tabella I fanno riferimento ai risultati di misure effettuate con l'uso di combustibili quali **carbon fossile** e **coke di petrolio**, in percentuale pari al 35% e al 65%.

La Tabella II riporta i bilanci di massa dei metalli in ingresso e in uscita in atmosfera con una diversa miscela di combustibili, in cui una parte di carbon fossile è stato sostituito con combustibili "alternativi" quali **terra di sbianca** e **peci**: carbone fossile 30%, coke di petrolio 65%, terre di sbianca 5%, peci 1500 kg/ora.

In generale, le Tabelle I e II mostrano che gran parte dei metalli tossici presenti nelle materie prime e nei combustibili si trasferiscono nel prodotto finale (clinker) e nelle polveri raccolte dagli impianti di trattamento fumi.

Particolarmente rilevante risulta essere la quantità di **mercurio** che giornalmente è immessa in atmosfera e di conseguenza negli ecosistemi presenti nelle zone di ricaduta al suolo dei fumi

I risultati confermano anche l'importanza della qualità dei combustibili per quanto riguarda l'impatto ambientale; la sostituzione di una parte di carbon fossile con terre di sbianca e peci è associabile con significativi aumenti della emissione oraria di cromo, rame ed in particolare mercurio: 288 grammi al giorno, dal solo camino E45!

Controlli alle emissioni

Il controllo alle emissioni del cementificio Holcim è effettuato, di norma con frequenza annuale, dalla Società SOPRA Protezioni Ambientali, scelta tra più concorrenti, dopo un confronto dei risultati analitici su campioni a loro forniti.

Le misure alle emissioni messe a nostra disposizione sono quelle relative alle emissioni E 45 e E 50, aggiornate al novembre 2003.

Tra i parametri analizzati, quelli di maggior interesse per questo studio riguardano le analisi delle polveri e dei metalli presenti in queste due emissioni.

I metalli analizzati sono:

- Berillio (Be)
- Cadmio (Cd)
- Mercurio (Hg)
- Cobalto (Co)
- Cromo trivalente (Cr 3+)
- Cromo esavalente (Cr 6+)
- Rame (Cu)
- Manganese (Mn)
- Nichel (Ni)
- Piombo (Pb)
- Antimonio (Sb)
- Selenio (Se)
- Stagno (Sn)
- Tallio (Tl)
- Vanadio (V)
- Zinco (Zn)

Le Tabelle III e IV sintetizzano i risultati dell'ultima campagna di misura a nostra disposizione relativa a polveri totali e metalli emessi dai camini E45 e E50, al servizio del forno produzione clinker n°4e n°5.

Le misure sono state effettuate il 28 novembre 2003 e i valori riportati sono le medie di dieci misure orarie. In grassetto i metalli che, in base alle misure effettuate nell'aprile 1992 (Tab I e Tab II), sono certamente presenti nelle emissioni, ovvero le cui concentrazioni in quella campagna di misura erano superiori al minimo determinabile. Si suppone che questi stessi metalli siano presenti nelle emissioni anche se nelle successive analisi le loro concentrazioni erano inferiori al valore minimo determinabile.

TABELLA III. Emissioni di polveri e metalli da E45 Forno Clinker n.4
28 Novembre 2003

	<i>microgrammi/Nm³</i>	<i>Limiti di accettabilità** microgrammi/Nm³</i>
Polveri	16.100	150.000
Berillio	<0,4	100
Cadmio	<0,7	200
Mercurio	11,3	200
Cobalto	<3,6	
Cromo III	5,2*	5.000
Cromo VI	3,6	1.000
Rame	2,1*	5.000
Manganese	9,8	5.000
Nichel	2,6*	1.000
Piombo	<3,6	5000
Antimonio	<3,6	5000
Selenio	<7,3	1000
Stagno	<14,5	/
Tallio	<7,3	200
Vanadio	<3,6	3000
Zinco	<7,3	/

* Valore medio calcolato attribuendo alle concentrazioni inferiori ai limiti di sensibilità un valore pari al 50% della concentrazione minima determinabile.

**Valore limite fissato dalla Regione Lombardia

TABELLA IV Emissioni di polveri e metalli da E50, Forno Clinker n. 5
28 novembre 2003

	<i>microgrammi/Nm³</i>	<i>Limiti di accettabilità** microgrammi/m³</i>
Polveri	2.800	150.000
Berillio	<0,4	100
Cadmio	<0,8	200
Cobalto	<3,9	
Mercurio	6,5	200
Cromo III	5,4*	5.000
Cromo VI	3,9	1.000
Rame	0,9*	5.000
Manganese	3,8	5.000
Nichel	5,0*	1.000
Piombo	<3,9	5000
Antimonio	<3,9	5000
Selenio	<7,7	1000
Stagno	<15,4	/
Tallio	<7,7	200
Vanadio	<3,9	3000
Zinco	<7,7	/

* Valore medio calcolato attribuendo alle concentrazioni inferiori ai limiti di sensibilità un valore pari al 50% della concentrazione minima determinabile.

**Valore limite fissato dalla Regione Lombardia

Sottolineamo il fatto che il metodo di analisi scelto dalla SOPRA non permette di avere misure accurate della maggior parte dei metalli, in quanto le concentrazioni di questi metalli nei fumi sono inferiori ai limiti di rilevanza del metodo analitico scelto, il quale, evidentemente, è stato calibrato solo per verificare il rispetto dei limiti di legge e non per effettuare misure reali.

Le concentrazioni medie di tutti i metalli analizzati nelle emissioni dei due camini sono nettamente inferiori ai valori limiti fissati dalla regione Lombardia per questa specifica emissione (cementificio di Merone).

Metalli: concentrazioni nei fumi e quantità emessa in atmosfera.

Ai fini della tutela per la salute pubblica, l'analisi dei metalli nei fumi deve tenere in debito conto il fatto che la loro tossicità può essere rilevante a seguito di fenomeni di concentrazione nell'ambiente e di bio accumulo lungo la catena alimentare, una volta che questi metalli si sono depositati sul suolo o su superfici lacustri.

In questo caso il parametro di riferimento per una corretta valutazione del rischio tossicologico non è la concentrazione nell'aria, ma la quantità del metallo che, in un'adeguata unità di tempo, si deposita al suolo.

Infatti, è opportuno, ai fini di prevenire l'insorgenza di malattie nella popolazione, tenere sotto controllo l'andamento nel tempo della concentrazione nel suolo di quel determinato metallo tossico emesso dall'impianto.

Grazie al continuo apporto della fonte inquinante la concentrazione di questi metalli tenderà ad aumentare, sia nel suolo che nei vegetali cresciuti su questo stesso suolo. Il costante consumo di vegetali contaminati può esporre l'utilizzatore finale a concentrazioni che potrebbero essere critiche anche per la possibile concentrazione del metallo in specifici organi bersaglio.

Analoghe considerazioni si devono fare se l'ambiente dove si verificano le ricadute è un bacino imbrifero che alimenta laghi o fiumi: in questo caso il bio accumulo dei metalli da parte di pesci usati per l'alimentazione umana, può essere particolarmente critico per la salute dei consumatori.

Caratteristiche di tossicità per bio accumulo lungo la catena alimentare sono possedute dal **cadmio**, dal **mercurio**, dal **tallio**.

La stima del rischio in base alla quantità di metalli emessi è particolarmente importante per i cementifici, le cui emissioni convogliate sono particolarmente elevate.

In particolare, le ultime misurazioni disponibili per i principali camini del cementificio Holcim (novembre 2003), riportano valori di portata oraria compresi tra 337.248 e 389.624 Nm³ per il camino E45 e tra 323.722 e 334.396 Nm³ per il camino E50.

Pertanto la portata complessiva dei due camini si aggira su 670.000 Nm³ all'ora e anche le misure più recenti confermano che le quantità di mercurio giornalmente emesse da questi due camini è dell'ordine di diversi grammi.

Campionamento ed analisi terreni.

In base all'incarico ricevuto dall'Associazione Rete Donne Brianza e tenuto conto delle informazioni sugli impatti dei cementifici e quelle relative alle emissioni del cementificio Holcim di Merone, riportate nell'introduzione a questa relazione, si è approntato uno studio preliminare per valutare la contaminazione di metalli nei terreni intorno al cementificio Holcim di Merone.

Nel territorio dei comuni di Merone, Alzate Brianza, Monguzzo, Lambrugo, Inverigo, Costa Masnaga, Rogeno, Pusiano, sono stati individuati 14 siti, la cui localizzazione, insieme al numero di identificazione dei campioni di terreno raccolti in ciascun sito, è riportata nella Figura 1.

In questi siti sono stati prelevati complessivamente 17 campioni di terreno superficiale.

La Tabella V riporta, per ognuno dei campioni analizzati, il nome delle località dove sono stati fatti i prelievi, l'altezza sul livello del mare e le coordinate geografiche di ogni campionamento, valutate con apparecchiatura GPS, con una approssimazione di circa 10 metri, e le principali caratteristiche del sito.

TABELLA V. Descrizione dei siti di campionamento

<i>Campione</i>	<i>Data</i>	<i>Località</i>	<i>Altezza livello mare (m)</i>	<i>Lat Long</i>	<i>Descrizione</i>
1	28/6/05	v. C. Battisti zona lavatoio	263	45° 46' 29,8" 9° 14' 26,5"	Nel bosco a circa 30 metri dal nastro marne
2	28/6/05	v. C. Battisti zona lavatoio	“	“	“
3	28/6/05	Alzate Brianza	376		Bosco pulito Campo di mais a 30 m
4	28/6/05	Alzate Brianza	“		“
5	22/11/05	S.Biagio	186	45° 47' 10,6" 9° 10' 57,0"	Bosco robinie
6	22/11/05	Cavogno	339	45° 46' 34,9" 9° 12' 45,3"	Bosco robinie
7	22/11/05	Ca' De Ladri	323	45° 46' 0,5" 9° 14' 13,6"	Sambuchi
8	22/11/05	Carpanea	278	45° 45' 0,6" 9° 14' 37,7"	Bosco platani e robinie
9	22/11/05	Camisasca	274	45° 45' 59,8" 9° 14' 52,1"	Bosco robinie, mirtilli Vicino campi coltivati
10	22/11/05	Maggiolino	280	45° 46' 51,8" 9° 15' 36,9"	Bosco robinie e platani
11	22/11/05	Lido di Moiana	277	45° 47' 25,7" 9° 15' 34,9"	Bosco castagno
12	22/11/05	Moiana – Rogeno	265	45° 47' 4,5" 9° 15' 50,2"	Prato tagliato Campo di grano a 30 m
13	22/11/05	Fusiano. Isola cipressi	272	45° 48' 51,1" 9° 16' 20,0"	Fascia pulita Provinciale a 80m
14	13/6/06	v. C. Battisti zona lavatoio	263	45° 46' 29,8" 9° 14' 26,5"	Nel bosco a circa 30 metri dal nastro marne
15	13/6/06	Alzate Brianza	376	45° 45' 39,5"	Bosco castagno e Pini

				9° 09' 52,0"	30 m da strada Alzate–Cantù
16	13/6/06	Nobile	305	45° 46' 26,6" 9° 14' 3,9"	Bosco pini
17	13/6/06	Cascina Boscaccio	262	45° 46' 35,1" 9° 15' 2,0"	Bosco latifoglie

Volutamente, come siti di campionamento del terreno, sono state scelte zone boschive; pertanto, caratteristica comune di tutti i siti di campionamento è il prelievo di terreni con una elevata percentuale di humus, non utilizzati a scopo agricolo e non direttamente perturbati da pesante attività antropica quale l'aratura e la distribuzione diretta di concimi chimici e fitofarmaci.

Per quanto possibile, la scelta dei siti è stata fatta in modo da essere sufficientemente lontani da strade ad alta percorrenza.

In ogni sito, per il campionamento è stata individuata una superficie di circa un metro quadrato, in piano, accessibile e libera da rovi ed arbusti.

I campionamenti sono stati effettuati in tre periodi diversi.

La prima fase di campionamento, avvenuta il 28/6/2005 ha avuto l'obiettivo di una valutazione preliminare del tipo di terreno superficiale, della presenza dei metalli pesanti ritenuti più significativi e della riproducibilità delle loro concentrazioni.

A tale scopo sono stati scelti due siti.

Il primo sito (campioni 1-2) denominato "Lavatoio", si trova circa a 800 metri di distanza dal cementificio, in direzione Sud-Sud-Ovest, rispetto all'impianto. E' una zona, che in base al modello diffusionale realizzato nell'ambito dell'attività della Commissione tecnica sui problemi ambientali della cementeria di Merone, dovrebbe essere caratterizzata dai valori di massima ricaduta delle polveri emesse da 32 fonti di emissioni di polveri presenti nel cementificio.

Il secondo sito (campioni 3-4) si trova in località Alzate, a circa 8 chilometri di distanza dal cementificio, in direzione Sud-Ovest; è stato scelto come zona di possibile ricaduta a lunga distanza delle emissioni dei camini Holcim E45 e E50, lontana da strade ed agglomerati urbani, in base alle più recenti elaborazioni effettuate dall'ARPA di Como.

Per verificare la riproducibilità del metodo di campionamento e l'omogeneità della distribuzione dei metalli nel terreno, in ognuno di questi due siti, il 28/5/2005, sono stati effettuati due prelievi diversi, con le stesse modalità di campionamento, ma su due diverse superfici distanti, l'una dall'altra, una decina di metri.

La seconda fase di campionamento è avvenuta il 22/11/2005 e ha raccolto nove campioni di terreno in altrettanti siti diversi, in modo da acquisire campioni di terreno che, presumibilmente avevano risentito in modo diverso delle emissioni di polveri da parte del cementificio.

Una terza ed ultima fase di campionamento è stata realizzata il 13 Giugno 2006, con quattro campionamenti, di cui una in località Merone, nella stessa zona "Lavatoio" già oggetto di campionamento nel 2005, una in località Alzate, in un sito diverso da quello scelto nell'indagine preliminare, in modo che fosse più lontano da attività agricole rispetto al primo campionamento e

due nuovi punti di monitoraggio, in località Nobile e Cascina Boscaccio, rispettivamente a Sud Ovest e Sud Est, rispetto al cementificio.

In quest'ultima fase, anche alla luce dei risultati della seconda campagna, e per una migliore identificazione delle possibili fonti di emissione dei metalli nel terreno, sono stati anche analizzati alcuni nuovi metalli, in particolare: **mercurio, manganese, nichel, rame, cromo, potassio.**

Metodo di campionamento ed analisi del terreno

I campioni di terreno numerati da 1 a 4 sono stati raccolti il 28/6/2005, i campioni numerati da 5 a 13 sono stati tutti raccolti il 22/11/2005 e i campioni numero 14 -15-16-17 sono stati raccolti il 13 Giugno 2006.

In ogni sito, tolto lo strato superficiale di foglie secche, si è proceduto alla raccolta di campioni di terra nei primi tre centimetri di suolo sull'intera superficie selezionata, utilizzando strumenti in polietilene ed evitando di raccogliere ciottoli, radici e residui di legno. In ogni sito si è raccolto circa un chilo di terreno che posto in un sacchetto di polietilene, entro il giorno successivo al prelievo è stato portato al laboratorio di analisi.

Nel laboratorio, i campioni sono stati setacciati e per successive ripartizioni si è preparato un campione statisticamente rappresentativo del campione originario che è stato sottoposto all'analisi dei metalli.

In tutti i 17 campioni di terreno raccolti nelle tre diverse campagne, sono stati analizzati: Cadmio (Cd), Vanadio (V), Alluminio (Al). In tutti questi stessi campioni, tranne i primi quattro, è stato analizzato anche il Tallio.

A scopo esplorativo, nei quattro campioni raccolti nella prima campagna del Giugno 2005, sono stati analizzati altri 16 metalli: Selenio, Zirconio, Stronzio, Scandio, Nichel, Zinco, Arsenico, Molibdeno, Bario, Lantanio, Cerio, Olmio, Molibdeno, Wolframio, Rame, Piombo.

Nei campioni raccolti il 13/6/2006, oltre a Cadmio, Vanadio, Alluminio e Tallio, sono stati analizzati Nichel, Rame, Piombo, Cromo, Manganese, Mercurio, Potassio.

La Tabella VI riporta le concentrazioni dei 19 metalli misurati nei campioni 1-2-3-4, raccolti il 28 Giugno 2005. In questa Tabella sono riportati in grassetto i metalli normati per quanto riguarda la concentrazione limite accettabile nel suolo

Nella Tabella VII sono riportate le concentrazioni dei metalli analizzati nei nove campioni di terreno prelevati il 22/11/2005.

Nella Tabella VIII sono riportate le concentrazioni dei metalli misurate nei campioni raccolti il 13/6/2006

In grassetto, i metalli la cui concentrazione è risultata superiore ai valori limite nei terreni utilizzati a verde pubblico (Tab. IX).

TABELLA VI. Concentrazione metalli nei campioni di terreno ($\mu\text{g/g}$ peso secco) raccolti il 28/6/2005

	<i>Camp 1</i>	<i>Camp 2</i>	<i>Camp 3</i>	<i>Camp 4</i>
Cadmio	2,24	2,27	1,80	1,80
Vanadio	3,4	3,0	3,0	2,9
Selenio	0,088	0,170	0,043	0,063
Zirconio	0,140	0,130	0,006	0,010
Stronzio	16	16	6,3	6,8
Scandio	3	3	2	2,4
Nichel	25	27	23	23
Zinco	40	41	36	31
Arsenico	7	7,8	8,3	8,5
Molibdeno	0,074	0,077	0,076	0,107
Bario	113	67	141	42
Lantanio	14	13	13	15
Cerio	28	25	29	30
Olmio	0,34	0,32	0,30	0,31
Molibdeno	0,34	0,32	0,30	0,31
Wolframio	0,031	0,031	0,041	0,054
Rame	9	10	10	10
Piombo	38	45	22	42
Alluminio (<i>mg/g</i>)	13,56	13,40	18,85	18,93

TABELLA VII: Concentrazione metalli nei campioni di terreno ($\mu\text{g/g}$ peso secco) raccolti il 22/11/2005

<i>Campioni</i>	<i>Cd</i>	<i>V</i>	<i>Tl</i>	<i>Se</i>	<i>Zr</i>	<i>Sr</i>	<i>Al</i> <i>mg/g</i>
5	0,18	1,35	0,38	<0,1	0,05	7,25	10,15
6	0,10	1,45	0,23	0,14	0,05	6,80	10,21
7	0,21	1,95	0,44	0,14	0,07	7,21	14,52
8	0,13	1,62	0,17	<0,1	0,07	9,22	11,34
9	0,15	1,68	0,20	<0,1	0,07	8,80	11,38
10	0,10	2,10	0,21	<0,1	0,06	6,85	14,30
11	0,10	1,45	0,20	<0,1	0,06	7,88	11,32
12	0,13	1,86	0,22	<0,1	0,09	5,49	12,50
13	0,22	1,64	0,12	<0,1	0,06	9,38	11,19

TABELLA VIII: Concentrazione metalli nei campioni di terreno ($\mu\text{g/g}$ peso secco) raccolti il 13/06/2006

<i>Camp</i>	<i>Cd</i>	<i>V</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Tl</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Hg</i>	<i>Al</i> <i>mg/g</i>	<i>m</i>
14	0,76	49,9	52,05	24,4	1,6	52,6	58,00	503,7	0,75	20,93	3.
15	0,31	58,0	37,6	32,5	0,37	121,7	54,15	272,5	1,06	25,62	2
16	0,63	41,8	42,5	25,8	1,94	47,2	37,04	601,6	0,46	16,36	3
17	0,20	32,7	26,9	19,9	0,46	33,3	32,47	368,3	0,41	14,08	2

Risultati e discussione

Riproducibilità

I campioni di terreno raccolti in duplicato, ad una decina di metri di distanza l'uno dall'altro (Campioni 1-2; 3-4) sono risultati molto omogenei (Tab.VII) per la maggior parte dei metalli analizzati.

L'unica eccezione è rappresentata da **Bario, Piombo, Selenio**, le cui concentrazioni nei due campioni limitrofi, presentano importanti differenze.

La riproducibilità dei dati depone a favore della qualità delle procedure di campionamento ed analisi adottate.

E' un risultato positivo anche per questo studio, in quanto conferma l'uniformità della deposizione dei principali metalli studiati nei microambienti scelti.

Limiti accettabili

Le concentrazioni di **Cadmio** nei campioni **1** e **2**, di **Tallio** nei campioni **14** e **16**, di **Piombo** e **Mercurio** nel campione **15**, sono risultati superiori ai valori considerati accettabili per l'uso di verde pubblico (Tabella IX), in base all'attuale normativa (DM 25/10/1999, n°471)

Particolarmente elevato anche il **Cadmio** trovato nei campioni 3 e 4, anche se inferiore al corrispondente valore accettabile.

Le concentrazioni di **Cadmio** trovate nei campioni 1, 2, 3, 4 (tra 1,80 e 2,27 µg/gr) sono significativamente più elevate dei valori riscontrati in tutti gli altri siti monitorati.

Le concentrazioni di **Cadmio** trovate successivamente nei campioni da 5 a 13, con valori compresi tra 0,10 e 0,22 µg/gr sono paragonabili alle concentrazioni tipiche dei terreni superficiali di aree non antropizzate (0,1-0,4 µg/gr) (Friberg 1974; Page 1981).

I campioni di terreno n° 1 e n° 2, prelevati nel sito denominato "Lavatoio", si caratterizzano, rispetto a tutti gli altri anche per una più elevata concentrazione di zirconio. Significativamente più elevato in questi stessi due campioni le concentrazioni di **stronzio**.

TABELLA IX. Valori concentrazione limite accettabili ($\mu\text{g}/\text{gr}$ (peso secco) nel suolo per le destinazioni d'uso

Metallo	Siti ad uso verde pubblico, privato residenziale	Siti ad uso commerciale ed industriale	Conc. Massima a Merone e Comuni limitrofi
Arsenico	20	50	8,5
Cadmio	2	15	2,27
Mercurio	1	5	1,06
Nichel	120	500	52
Piombo	100	1000	122
Rame	120	600	32,5
Selenio	3	15	0,17
Tallio	1	10	1,94
Vanadio	90	250	58
Zinco	150	1500	41

Tra tutti i campioni in cui è stato analizzato, il **Tallio**, metallo tossico, presente in numerose emissioni industriali tra cui i cementifici (Saha 2005) è risultato a concentrazioni superiori al limite accettabile per il verde pubblico, nei **campioni 14 e 16**, raccolti rispettivamente presso la zona Lavatoio, **via C. Battisti** e **Località Nobile**

Le concentrazioni di **Tallio** nel terreno, considerate “normali” sono comprese tra 0,01 e 0,5 $\mu\text{g}/\text{g}$; pertanto, tranne i campioni 14 e 16, più inquinati, tutti gli altri campioni si collocano nella fascia alta di questo “range”.

Entrambi questi due siti si trovano nelle zone di possibile ricaduta del cementificio e il Tallio è presente, come contaminante, nelle ceneri di piriti che risultano essere utilizzate dal cementificio Holcim di Merone.

Il **Piombo** è risultato superiore al limite nel **campione 16**, raccolto nel sito denominato **Località Nobile**.

La concentrazione normale di Piombo nei suoli è compresa tra 10 e 50 mg/kg .

Nello stesso campione n° 16 si è anche constatata una concentrazione di Mercurio, di poco superiore ai limiti di legge, per zone verdi, con industrializzate.

Le concentrazioni di mercurio nel terreno, considerate normali, vanno da 0,02 a 0,41 mg/kg .

In tutti i campioni di terreno in cui è stato misurato il mercurio, questo metallo è stato trovato a concentrazioni superiore al valore massimo considerato normale.

Discussione

A causa dei diversi periodi in cui sono stati raccolti i primi quattro campioni di terra (28 Giugno 2005) e i restanti nove campioni, raccolti il 22 novembre 2005, abbiamo analizzato in modo separato questi due gruppi di campioni.

Il motivo di questa scelta è che il primo campionamento è stato effettuato dopo un lungo periodo di siccità che può aver facilitato l'accumulo sul suolo delle polveri sedimentabili. Il campionamento

successivo è stato effettuato dopo piogge più o meno intense che possono aver dilavato le polveri e i metalli accumulatisi in superficie, in particolare quelli più solubili.

L'analisi delle componenti principali, applicata ai primi quattro campioni, ci ha permesso di verificare che i due campioni prelevati nel sito denominato "Lavatoio", pur presentando entrambi alte concentrazioni di cadmio, hanno una composizione in metalli diversa dai due campioni di terreno raccolti nel sito di Alzate Brianza e questo fa presupporre che almeno una parte metalli trovati nei due siti possano avere origini diverse.

Un altro elemento di riflessione è la modifica delle concentrazioni di metalli riscontrata nel sito "Lavatoio" e "Alzate", a distanza di circa un anno da un campionamento all'altro.

La Tabella X mette a confronto le concentrazioni dei metalli misurate in due differenti campagne di prelievo, effettuate a circa un anno di distanza.

TABELLA X. Concentrazioni di metalli nel terreno dei nei siti Lavatoio e Alzate, campionati nel 2005 e nel 2006

	LAVATOIO			ALZATE 1	ALZATE 2
	2005	2006		2005	2006
Nichel	25-27	52		23-23	37,6
Piombo	38-45	52,6		22-42	122
Vanadio	3,4 -3,0	49,9		3,0 -2,9	58
Rame	9-10	24,4		10-10	31,5
Cadmio	2,2-2,3	0,76		1,80-1,80	0,31
Alluminio (mg/g)	13,56-13,40	20,93		18,85-18,93	25,6

Nel sito "Lavatoio", la composizione di metalli nel terreno, da un anno all'altro, segnala importanti modifiche.

La concentrazione di rame e nichel nel 2006 è circa il doppio di quella riscontrata nel 2005 e il Vanadio aumenta di circa 15 volte. Al contrario, il Cadmio nel 2006 risulta a valori nettamente inferiori rispetto al 2005, con una diminuzione di circa 3 volte.

Poiché tutti i tre campioni di terreno raccolti in zona Lavatoio, distano tra di loro solo di alcuni metri e sono stati raccolti tutti in una zona ecologicamente simile, si può affermare che la composizione chimica del terreno superficiale, a distanza di un anno si è effettivamente modificata.

Peraltro, nei due siti in località Alzate si riscontrano modificazioni nella composizione in metalli molto simili a quelli riscontrati nel sito Lavatoio: aumenta Vanadio, Rame, Piombo e Nichel e diminuisce il Cadmio.

Ricordiamo che il sito Alzate 2 è diverso da quello di Alzate 1. I due siti distano tra loro alcune centinaia di metri. Infatti, volutamente nel 2006 si è deciso di spostare il punto di campionamento, rispetto a quello scelto nel 2005, in quanto quest'ultimo era nelle vicinanze di campi di granturco e in un bosco che chiaramente era stato oggetto di taglio, situazioni che suggerivano specifiche possibili contaminazioni di tipo antropico.

Al momento non abbiamo informazioni sufficienti per spiegare questi fenomeni.

E' possibile ipotizzare diverse condizioni meteorologiche che possono aver modificato qualitativamente e quantitativamente le deposizioni secche ed umide da un anno all'altro, la solubilizzazione e l'assorbimento da parte della vegetazione dei metalli più biodisponibili depositatisi durante la lunga stagione secca, significativi cambiamenti dell'emissione di metalli nelle attività antropiche impattanti sulle due zone.

Non è possibile escludere che i fenomeni registrati in queste campagne di monitoraggio possano essere, almeno in parte, attribuite all'attività del cementificio, nelle cui emissioni sono presenti i metalli analizzati; inoltre i siti di Alzate e Lavatoio si trovano in zone di possibile ricaduta delle emissioni del cementificio. Ovviamente per confermare questa ipotesi sono necessari ulteriori approfondimenti e studi specifici.

Conclusioni

Le alte concentrazioni di Cadmio, Tallio, Piombo e Mercurio riscontrate in periodi diversi nei siti Baggero, Nobile e Alzate Brianza sono da attribuire a contaminazione di origine antropica ed rappresentano un fenomeno da non sottovalutare per le possibili conseguenze sulla salute umana.

Riteniamo opportune ulteriori indagini per confermare questo risultato, valutarne con maggiore dettaglio estensione ed entità, identificarne con certezza le cause.

L'accertata presenza di numerosi metalli tossici (mercurio, piombo, cadmio, rame, arsenico) nelle emissioni del cementificio Holcim, la non trascurabile quantità di tali metalli, giornalmente immessa nell'ambiente (in particolare il mercurio) e la presenza di aree vulnerabili nelle possibili zone di ricaduta delle emissioni del cementificio, quali terreni ad uso agricolo e i due laghi oggetto di pesca sportiva, meritano una dovuta attenzione.

A riguardo le iniziative da attivare dovrebbero essere:

- Censimento di tutte le principali fonti di metalli pesanti (in particolare Mercurio, Cadmio, Tallio e Piombo) presenti in zona
- Nel Cementificio Holcim effettuare costanti misure a camino dei metalli, adottando metodiche di prelievo ed analisi in grado di misurare le loro reali concentrazioni, in particolare quelle del cadmio, del mercurio, del tallio ed altri specifici metalli da usare come traccianti (ad esempio, vanadio e nichel)
- Effettuare uno studio esplorativo sulla contaminazione di mercurio, cadmio e composti clorurati persistenti nei pesci presenti nel lago di Pusiano
- Approntare un modello diffusionale basato su aggiornate misure meteorologiche rappresentative della zona e che tenga conto degli effetti della orografia sulla direzione dei campi di vento, per stimare, con maggiore accuratezza, quali siano le zone di massima ricaduta delle polveri fini emesse dal cementificio
- Allestire, in base ai risultati del modello, una rete fissa di monitoraggio di polveri fini sedimentabili con periodiche valutazioni sulla composizione in metalli.
- A tale scopo si ritiene possa essere un valido strumento di campionamento l'uso di licheni espuntati da utilizzarsi come sistemi di campionamento passivi.
- Tenere sotto regolare controllo la concentrazione di metalli tossici nei suoli sensibili e nei sedimenti del lago

BIBLIOGRAFIA

Literature Cited

- Al-Khashman, O. A. and R. A. Shawabkeh (2006). "Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan." Environ Pollut **140**(3): 387-94.
- Baroutian, S., A. Mohebbi, et al. (2006). "Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant." J Hazard Mater.
- Biggeri, A., P. Bellini, et al. (2004). "[Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution--MISA 1996-2002]." Epidemiol Prev **28**(4-5 Suppl): 4-100.
- Brockhaus, A., R. Dolgner, et al. (1981). "Intake and health effects of thallium among a population living in the vicinity of a cement plant emitting thallium containing dust." Int Arch Occup Environ Health **48**(4): 375-89.
- Demir, T. A., T. Akar, et al. (2005). "Nickel and cadmium concentrations in plasma and Na⁺/K⁺ ATPase activities in erythrocyte membranes of the people exposed to cement dust emissions." Environ Monit Assess **104**(1-3): 437-44.
- Ewers, U. (1988). "Environmental exposure to thallium." Sci Total Environ **71**(3): 285-92.
- Fatima, S. K., P. A. Prabhavathi, et al. (2001). "Analysis of chromosomal aberrations in men occupationally exposed to cement dust." Mutat Res **490**(2): 179-86.
- Friberg, L. (1974). Cadmium in the environment, 2nd ed. Cleveland, Ohio, CRC Press.
- Ginns, S. E. and A. C. Gatrell (1996). "Respiratory health effects of industrial air pollution: a study in east Lancashire, UK." J Epidemiol Community Health **50**(6): 631-5.
- Goren, A., S. Hellmann, et al. (1999). "Respiratory problems associated with exposure to airborne particles in the community." Arch Environ Health **54**(3): 165-71.
- Hindy, K. T., H. I. Abdel Shafy, et al. (1990). "The role of the cement industry in the contamination of air, water, soil and plant with vanadium in Cairo." Environ Pollut **66**(3): 195-205.
- Hutton, M. and C. Symon (1986). "The quantities of cadmium, lead, mercury and arsenic entering the U.K. environment from human activities." Sci Total Environ **57**: 129-50.
- Isikli, B., T. A. Demir, et al. (2006). "Cadmium exposure from the cement dust emissions: a field study in a rural residence." Chemosphere **63**(9): 1546-52.
- Isikli, B., T. A. Demir, et al. (2003). "Effects of chromium exposure from a cement factory." Environ Res **91**(2): 113-8.
- Mwaiselage, J., M. Bratveit, et al. (2005). "Variability in dust exposure in a cement factory in Tanzania." Ann Occup Hyg **49**(6): 511-9.
- Mwaiselage, J., M. Bratveit, et al. (2005). "Respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease among cement factory workers." Scand J Work Environ Health **31**(4): 316-23.
- Mwaiselage, J., B. Moen, et al. (2006). "Acute respiratory health effects among cement factory workers in Tanzania: an evaluation of a simple health surveillance tool." Int Arch Occup Environ Health **79**(1): 49-56.
- Noor, H., C. L. Yap, et al. (2000). "Effect of exposure to dust on lung function of cement factory workers." Med J Malaysia **55**(1): 51-7.
- Page, A. (1981). Cadmium in soils and its accumulation by food crops. International Conference on Heavy Metals in the Environment, Amsterdam, CEP Consultants, Ltd.
- Quass, U., M. Fermann, et al. (2004). "The European dioxin air emission inventory project--final results." Chemosphere **54**(9): 1319-27.
- Saha, A. (2005). "Thallium toxicity: a growing concern." Indiana J Occup Environ Med **9**: 53-56.
- Schaller, K. H., G. Manke, et al. (1980). "Investigations of thallium-exposed workers in cement factories." Int Arch Occup Environ Health **47**(3): 223-31.
- Schuhmacher, M., J. L. Domingo, et al. (2004). "Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood." Environ Res **95**(2): 198-206.

- Vernet, J. P. (1991). Heavy Metal in the Environment. Amsterdam-London-New York-Tokio, Elsevier.
- Walcek, C., S. De Santis, et al. (2003). "Preparation of mercury emissions inventory for eastern North America." Environ Pollut **123**(3): 375-81.
- Wang, D., L. He, et al. (2006). "Estimation of mercury emission from different sources to atmosphere in Chongqing, China." Sci Total Environ **366**(2-3): 722-8.
- Yang, C. Y., C. C. Chang, et al. (2003). "Preterm delivery among people living around Portland cement plants." Environ Res **92**(1): 64-8.

Vernet, J.P. Ed. in Heavy in the Environment. Trace Metals in the Environment1. Elsevier, 1991

WHO. Environmental Health Criteria 135. Cadmium. Environmental Aspects. WHO. Geneva, 1992