

## RIFIUTI SOLIDI URBANI E INQUINAMENTO SUOLO-ACQUA

L. Musmeci

Istituto Superiore di Sanità

Roma

### INTRODUZIONE

In via generale si possono distinguere tre categorie di sistemi per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani:

- a) discarica controllata;
- b) incenerimento;
- c) riciclaggio.

A rigore a questi sistemi si dovrebbero aggiungere quelli volti al recupero tramite raccolta differenziata. Ognuna di queste voci può avere peso diverso in rapporto alle caratteristiche del territorio in esame; è evidente infatti che ogni ambito territoriale ha proprie esigenze di tutela ambientale, necessità di risorse, specifiche vocazioni. Inoltre è noto che, qualunque possa essere la "tecnologia complessa" applicata (incenerimento, riciclaggio), la discarica controllata si rende sempre necessaria per lo smaltimento dei residui delle trasformazioni o lavorazioni non più convenientemente valorizzabili (sovvalli, scorie).

Scopo di questa nota è, comunque, l'esame dell'impatto ambientale di una discarica, in relazione soprattutto alla salvaguardia delle acque di falda.

Fino a non molti anni orsono, nella gestione delle discariche ci si preoccupava soltanto di affrontare problemi quali: maleodore (si sceglievano siti il più lontano possibile dai centri abitati), il disturbo arrecato da traffico di automezzi di servizio nelle zone limitrofe la discarica, e l'eventualità del trasporto eolico della frazione più leggera dei rifiuti. Solo negli ultimi anni si è cominciato a considerare la discarica come un vero e proprio impianto, e di conseguenza, sia nella fase progettuale che in quella gestionale, ci si è cominciati a porre come problema i due aspetti "più pericolosi" dal punto di vista dell'impatto ambientale: formazione di percolato e quindi "rischio" di inquinamento delle acque di falda e superficiali, formazione ed emissioni di gas.

## ORIGINE E CARATTERISTICHE QUALITATIVE E QUANTITATIVE DEL PERCOLATO

Il percolato è il liquame che si forma per il passaggio dell'acqua piovana od eventualmente, anche delle acque ruscellanti o di altra origine, attraverso i rifiuti solidi urbani (RSU) con solubilizzazione e trascinarsi in sospensione colloidale sia di sostanze organiche che inorganiche. Un minor contributo alla formazione del percolato è dato dallo svolgersi anche di alcuni processi di fermentazione e decomposizione dei rifiuti.

Questo liquame è caratterizzato da indici di inquinamento a volte superiori a quelli dei liquami urbani. Quindi, è necessario, sia in fase progettuale che gestionale prevedere le caratteristiche quali e quantitative di detto liquame al fine di limitare al massimo sino ad annullare l'impatto ambientale negativo dello stesso.

La quantità dei percolati prodotti dipende in linea generale da:

- a) meteorologia ed idrologia della zona;
- b) caratteristiche del rifiuto;
- c) caratteristiche della discarica.

In Figura 1 viene schematizzato un modello semplicistico per stimare la quantità di percolato prodotto in discarica. In tale schema, per semplicità, si fa riferimento ad una discarica ormai ultimata, e considerata come unità isolata, in modo tale che l'unico flusso di ingresso è costituito dalle precipitazioni atmosferiche. Una parte di acqua piovana si allontana dalla discarica per ruscellamento superficiale (Runoff); la parte rimanente alimenta il volume idrico trattenuto dal terreno vegetale per le esigenze delle piante, dal quale si ha, peraltro, una perdita per evapotraspirazione.

Quando l'umidità del terreno raggiunge la capacità di campo, ogni apporto ulteriore percola nell'ammasso di rifiuto sottostante, a meno di uno scorrimento orizzontale che si verifica nel caso di presenza di uno strato a bassa permeabilità (argilla).

L'infiltrazione fa aumentare l'umidità dei rifiuti finché questa supera la capacità di ritenzione. Si ha, a questo punto, produzione di percolato che raggiunge la parte inferiore della discarica.

Un altro contributo positivo o negativo alla formazione di percolato si ha per la produzione o consumo di acqua associabile alle diverse reazioni biochimiche di degradazione aerobica ed anaerobica della sostanza organica. Tale contributo è comunque trascurabile.

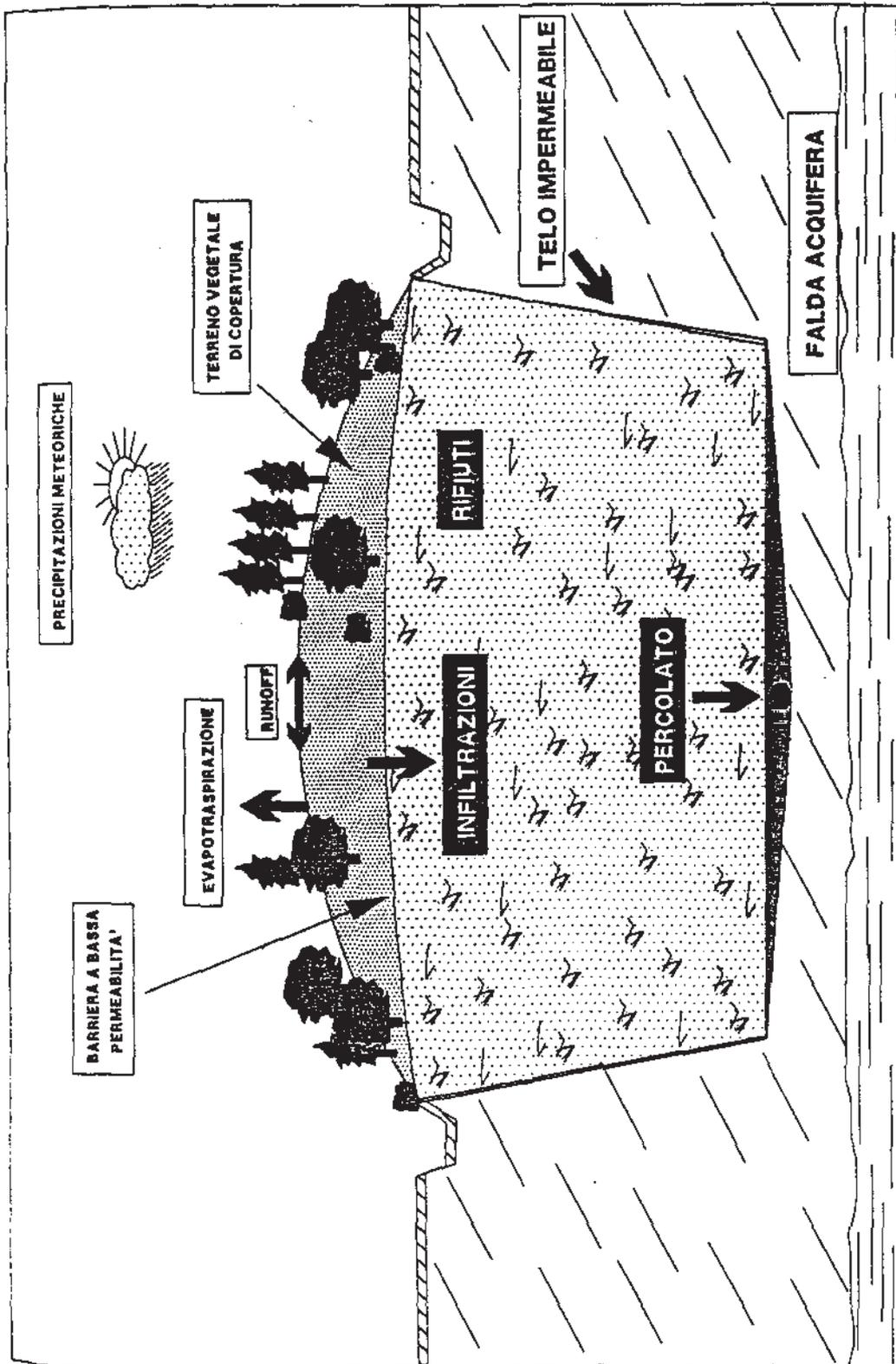


Figura 1 Modello per stimare la quantità di percolato prodotto in discarica ultimata e considerata come unità isolata, tale che l'unico flusso di ingresso è costituito da precipitazioni atmosferiche

Per impostare correttamente un bilancio idrico più generale, andrebbero considerati come flussi in ingresso, che si sommano alla precipitazione, le infiltrazioni di acque superficiali e sotterranee ed il ruscellamento di acqua piovana caduta nelle aree circostanti.

Tuttavia alcuni fattori che influenzano la produzione di percolato possono essere limitati, se non eliminati, quali il ruscellamento delle acque piovane dalle superfici limitrofe (drenaggio intorno al sito), le infiltrazioni dovute a scorrimento di acque superficiali e profonde (manti protettivi sul fondo e sulle pareti). Inoltre sempre al fine di limitare le infiltrazioni di acque in discarica si può agire sul fenomeno dell'evapotraspirazione: la quantità di umidità eliminabile è strettamente legata al tipo di suolo e di vegetazione, quest'ultima poi, anche se può sfavorire il deflusso delle acque di scorrimento superficiale, gioca, però, un ruolo determinante, permettendo di eliminare cospicue quantità di acqua. In certe particolari condizioni ambientali si è calcolato che la quantità di acqua eliminata tramite l'evapotraspirazione può raggiungere circa il 70% dell'acqua piovana, evitando, così che questa si infiltri nel deposito di RSU.

Nel caso di discariche non ancora ultimate le infiltrazioni sono ovviamente maggiori, data l'assenza di vegetazione (quasi assente il fenomeno dell'evapotraspirazione), dato il non ottimale livellamento delle superfici ed il minor spessore delle coperture intermedie. Infatti si è stimato che in discariche ancora in uso le infiltrazioni sono comprese tra il 40 e 80% delle precipitazioni.

Anche il grado di compattazione del rifiuto influenza in modo determinante la capacità di accumulo di acqua da parte dei rifiuti: più è compattato, minore è la produzione di percolato.

Perciò che concerne la composizione qualitativa del percolato essa presenta variazioni rilevanti nelle concentrazioni dei diversi parametri analitici. Per dare un'idea degli ampi campi di variabilità si riporta la Tabella 1.

Oltre alla composizione ed alle caratteristiche chimico/fisiche del rifiuto, i fattori che maggiormente influenzano la composizione del percolato sono:

- a) l'età della discarica e, quindi, il grado di stabilizzazione della sostanza organica;
- b) il bilancio idrico che ha portato alla formazione del percolato.

La quantità del percolato subisce, anzitutto, nel tempo, delle variazioni che seguono l'evolversi dei processi biologici che avvengono all'interno del rifiuto. Tali processi sono per la gran parte (e a maggior ragione nelle discariche a grande profondità contengono rifiuto molto compatto) di tipo anaerobico, caratterizzati, quindi, dalla ben nota successione di una fase acida (contrassegnata dalla produzione di acidi volatili) e da una fase metanigena (nel corso della quale gli stessi acidi sono utilizzati come substrato per la formazione di metano e  $CO_2$ ).

Tabella 1. CARATTERIZZAZIONE TIPICA DI UN PERCOLATO DI DISCARICA

PARAMETRO	Intervallo di variazione	Valori tipici
pH	5,3 - 8,5	6
COD	3.000 - 45.000	18.000
BOD <sub>5</sub>	2.000 - 30.000	10.000
Solidi totali	200 - 1.000	500
Conduttività	2.500 - 9.000	4.000
Alcalinità (CaCO <sub>3</sub> )	1.000 - 10.000	3.000
Durezza (CaCO <sub>3</sub> )	300 - 10.000	3.500
P tot.	1 - 70	25
P - PO <sub>4</sub>	5,3 - 50	15
N org.	1 - 600	200
N NH <sub>4</sub>	10 - 800	200
N NO <sub>3</sub>	5 - 40	25
Ca	200 - 3.000	1.000
Cl	10 - 3.000	500
Na	200 - 2.000	500
K	200 - 2.000	300
SO <sub>4</sub>	100 - 1.500	300
Mg	50 - 1.500	250
Fe	200 - 1.700	300
Zn	1 - 135	20
Cu	1 - 9,00	0,2
Pb	0 - 2,00	0,5
Cd	0 - 0,05	0,05

L'influenza del processo anaerobico a cui è sottoposto il rifiuto sui principali parametri che caratterizzano la composizione del percolato è così riassumibile:

- il pH passa dal campo acido nel primo periodo di vita della discarica (1<sup>a</sup> fase anaerobica) al campo basico (2<sup>a</sup> fase anaerobica);
- il contenuto di sostanza organica (misurato come COD e BOD) è elevatissimo in discariche giovani (per la forte presenza di acidi organici), mentre tende a diminuire, in seguito, per effetto del progredire della degradazione biologica;
- il rapporto BOD/COD (indice dell'aliquota di sostanza organica biodegradabile rispetto alla totale) tende a diminuire fortemente con l'età della discarica per effetto della progressiva demolizione di tutto l'organico biodegradabile: si passa da valori iniziali di 0,5-0,8 a valori di 0,07-0,048 dopo 20 anni;
- il contenuto in metalli pesanti, quali Fe, Mg, Mn, Zn e Ca è molto elevato in discariche giovani (in quanto le condizioni di pH acido favoriscono la solubilizzazione) tendendo poi a diminuire nel tempo;
- altri parametri, come  $\text{NH}_4$ , Cl, K e Na, mostrano un massimo di concentrazione dopo alcuni anni di vita della discarica in relazione alla loro migliorata solubilità, dovuta a sua volta alla decomposizione della sostanza organica che migliorerebbe la distribuzione di acqua nel rifiuto;
- altri parametri, infine, presentano concentrazioni in generale non molto elevate, con fluttuazioni irregolari: è il caso dell' $\text{NO}_3$ , P, Pb, Ni, As, Cu, Cr, Co, ecc.

Quindi, viste le caratteristiche quali-quantitative del percolato è ovvio che deve in ogni modo essere impedito che esso venga in contatto con acque superficiali o profonde.

Gli interventi per limitare al massimo l'impatto negativo del percolato, sono fondamentalmente di due specie: preventivi alla deposizione del rifiuto (idonei siti, impermeabilizzazione naturale o artificiale del fondo e delle pareti, idonei drenaggi); contemporanei o successivi alla collocazione del rifiuto (copertura giornaliera e definitiva, a scarico esaurito, e impermeabilizzante; riciclo eventuale del percolato in discarica stessa, trattamento di depurazione del surplus).

Di norma, il programma di controllo delle acque di falda, potenzialmente inquinata dai percolati provenienti dalle discariche di rifiuti solidi sia urbani che industriali, viene eseguito mediante pozzi o già esistenti o appositamente preparati. Un altro metodo consiste nel drenaggio del percolato sul fondo della discarica e, quindi, prelievo ed analisi delle acque di percolamento.

In questi ultimi anni nel Laboratorio di Igiene Ambientale dell'Istituto Superiore di Sanità in collaborazione con la Regione Veneto si sta studiando un altro possibile metodo di controllo dell'impatto ambientale di una discarica tramite l'analisi chimico/fisica e chimica di campioni di rifiuti solidi e di suolo prelevati con perforazione meccanica a secco nella discarica; più precisamente si è eseguita una serie

di carotaggi in più discariche del Veneto e per ogni discarica si sono individuati più punti ove procedere alla perforazione. La profondità del carotaggio oltre lo strato di rifiuti è in relazione alla profondità della falda acquifera, che, ove possibile, si è cercato di raggiungere per avere informazioni su eventuali inquinamenti delle acque profonde e sulle migrazioni degli inquinanti, anche in relazione al potere tampone del suolo dovuto a fenomeni di adsorbimento, dissoluzione, precipitazione e formazione di complessi.

Tale metodica di controllo non vuole sostituire le precedenti, bensì integrarle, al fine di ottenere un più alto quadro realistico delle varie situazioni.

Quindi, tale programma operativo consta di quattro fasi:

- a) informazione sulla situazione idrologica del sito;
- b) perforazione meccanica: le carote ottenute hanno un diametro medio di 100-150 mm e vengono separate secondo le profondità;
- c) trasporto presso il laboratorio dei campioni previamente congelati;
- d) preparazione ed analisi dei campioni.

Vengono presi in considerazione parametri quali pH, potenziale Redox, conducibilità, umidità, ceneri, fosforo organico ed inorganico, azoto Kjendhal, azoto nitroso e nitrico, solfati, cloruri, acidi umici e fulvici, acidi grassi volatili, che oltre a dare indicazioni sull'intorno chimico servono a darne altre sull'età della discarica e sulle trasformazioni biochimiche che avvengono in essa. Inoltre si determinano parametri quali i microinquinanti metallici ed alcuni composti organici (per es. gli organoclorurati dove se ne sospetti la presenza) che danno un'indicazione sulle possibilità potenziali di inquinamento del suolo sottostante e della falda. Tra i metalli che vengono studiati alcuni hanno rilevanza poiché, normalmente nel rifiuto, anche se di origine urbana, sono presenti in elevate concentrazioni, e questi sono Fe, Al, Mn, Zn, altri sono importanti per il loro aspetto tossicologico As, Cd, Co, Cu, Cr e Pb.

Oltre alle analisi chimiche eseguite sul campione secco, vengono eseguite prove di cessione per controllare anche l'eventuale tossicità dei rifiuti correlata soprattutto alla presenza dei metalli riportata nell'allegato al DPR 915/82.

I "test" di cessione mirano a certificare che, sottoponendo il rifiuto in modo opportuno a prove di dilavamento, l'eluato che ne deriva non comporti danni alle acque superficiali e sotterranee. Cioè il test prende in considerazione la presenza di sostanze "pericolose" nell'eluato del rifiuto solido, e ciò indipendentemente dalla concentrazione assoluta, in quanto i contaminanti sono in grado di diffondersi nell'ambiente, come prima detto, per effetto della solubilizzazione nell'acqua. In questo caso entrano in gioco tutte le interazioni tra acqua e rifiuto, mediante meccanismi acido/base, di precipitazione, di ossido/riduzione e di scambio ionico.

Allo scopo di stabilire a priori le pericolosità relative dei rifiuti e la natura delle interazioni rifiuto/ambiente sono stati proposti numerosi metodi. Tali test possono essere effettuati in "batch" con agitazione meccanica del miscuglio acqua e rifiuto, oppure in colonna con percolazione dell'acqua sopra la massa del rifiuto stesso. I test differiscono, inoltre, per il periodo di durata della prova, per le caratteristiche del liquido di estrazione e per il rapporto solido/liquido. Dei test più importanti, alcuni sono ufficiali, altri in fase di definizione.

Tra i metodi ufficiali quello promulgato dall'Environmental Protection Agency (EPA) il 19.5.78 e recepito dalla legge italiana e pubblicato sulla G.U. n. 183 del 8.8.86, utilizza acqua deionizzata acidificata a pH 5 con acido acetico 0,5N, pH che deve essere mantenuto il più possibile costante durante tutto il periodo di durata dell'operazione, la miscela viene agitata 24 ore allo scopo di mantenere in sospensione tutta la massa.

Il test EPA, sopra citato, simula i processi biochimici che avvengono in una discarica di rifiuti urbani, con formazione, nel primo stadio di degradazione, di acidi organici, quali l'acido acetico, il propionico ed il butirrico.

A titolo esemplificativo vengono riportati in Tabella 2 i risultati analitici delle concentrazioni di alcuni metalli in doppia estrazione (contenuto totale e contenuto eluato), di campioni provenienti da una discarica di RSU ricavata in una ex cava di ghiaia; lo strato di rifiuti era di circa 4 m e la perforazione è stata condotta sino ad una profondità di 10 m in un terreno composto da sabbia e ghiaia.

I campioni analizzati sono 14 di cui 5 di rifiuto e 9 di terreno.

Mentre la quantità di metallo, sia eluata che totale, varia da strato a strato e per ciascun metallo, il valore della percentuale media di estrazione si mantiene costante negli strati di rifiuto (2-4%), per poi aumentare negli strati sotto la discarica raggiungendo il valore di circa il 15%.

Dalla Figura 2 si nota come in alcuni strati di suolo la percentuale di estrazione reale si discosti da quella teorica, rappresentata dalla curva tratteggiata, ciò probabilmente per una particolare composizione del terreno e, quindi, una diversa capacità di assorbimento e di rilascio. Si può ipotizzare, quindi, che negli strati più profondi del rifiuto dove i processi di biotrasformazione e mineralizzazione del rifiuto stesso sono ad un livello avanzato, i metalli si trovino in una forma chimica più facilmente rilasciabile. Questo porterebbe ad un accumulo dei metalli stessi negli strati di suolo sottostanti la discarica ad opera delle acque di percolamento, con conseguente grave danno ambientale.

Tabella 2. QUANTITA' TOTALI E RILASCIATE DI METALLI PESANTI NEI RIFIUTI E NEL SOTTOSUOLO

	AL	AS	CD	CR	CU	FE	MN	NI	PB	ZN
C 1 TOT	257.98	412.78	8.21	2.34	9.15	1908.66	8595.20	63.32	2.11	152.44
RIL	8.05	15.72	0.32	N.D.	0.32	65.72	295.77	2.26	0.06	5.64
C 2 TOT	99.13	280.46	8.46	26.59	9.19	319.15	5164.41	4.83	8.04	664.89
RIL	3.84	8.76	0.31	0.92	0.31	10.44	164.87	0.15	0.18	21.49
C 3 TOT	0.04	392.64	N.D.	2.48	19.38	275.84	7952.29	94.43	9.44	223.66
RIL	N.D.	12.29	N.D.	N.D.	0.61	8.50	243.60	3.04	0.24	7.29
C 4 TOT	2.66	220.98	26.62	29.29	9.58	119.81	2702.30	71.88	58.57	346.11
RIL	0.08	6.87	0.29	1.16	0.29	3.45	52.15	2.16	1.51	8.91
C 5 TOT	209.46	270.95	22.77	25.04	26.18	760.47	6892.11	18.21	41.12	296.00
RIL	10.32	11.22	N.D.	1.03	1.03	28.90	262.89	0.69	1.63	10.84
C 6 TOT	76.25	47.19	2.38	0.24	8.82	19.06	1358.44	71.50	8.10	83.41
RIL	3.80	1.90	N.D.	N.D.	0.38	0.76	54.85	3.06	0.30	3.24
C 7 TOT	256.40	918.63	2.56	2.56	7.68	17.91	2049.61	28.15	6.40	191.91
RIL	18.24	35.76	N.D.	N.D.	0.40	0.79	81.67	1.19	0.24	7.73
C 8 TOT	61.98	147.50	1.07	1.07	19.24	50.23	684.00	32.06	6.84	192.39
RIL	6.56	13.99	N.D.	N.D.	1.99	4.77	74.75	3.18	0.64	18.09
C 9 TOT	98.95	219.19	1.25	1.25	8.77	28.81	815.41	23.80	9.77	81.41
RIL	9.46	19.15	N.D.	N.D.	0.82	2.47	67.88	2.05	0.74	7.20
C 10 TOT	57.42	141.78	2.69	0.90	6.28	5.38	466.62	3.59	3.77	67.30
RIL	6.63	17.03	0.40	N.D.	0.80	0.80	52.43	0.40	0.40	8.04
C 11 TOT	233.92	327.27	1.18	1.18	4.72	9.45	1110.61	2.36	17.72	59.07
RIL	20.08	28.30	N.D.	N.D.	0.40	0.80	94.79	N.D.	1.49	5.22
C 12 TOT	105.87	53.00	1.86	14.86	27.86	14.86	1114.42	40.86	6.50	130.01
RIL	6.46	2.94	N.D.	0.99	1.17	0.78	59.93	2.35	0.31	6.46
C 13 TOT	57.00	232.91	0.10	0.10	4.00	8.00	720.68	11.00	22.00	74.97
RIL	6.31	24.34	N.D.	N.D.	0.38	0.76	68.83	1.15	2.01	7.46
C 14 TOT	127.66	379.73	0.65	0.65	9.72	9.72	454.90	0.65	20.74	81.00
RIL	19.28	62.42	N.D.	N.D.	1.54	1.54	68.24	N.D.	3.05	11.57
D.S.TOT-RIFIUTI	117.73	83.00	10.31	13.54	7.76	727.75	2375.61	37.68	25.00	197.60
D.S.RIL-RIFIUTI	4.72	3.39	0.15	0.52	0.32	25.54	97.53	1.20	0.78	6.28
D.S.TOT-SUOLO	75.37	266.57	0.90	4.68	7.79	14.00	505.40	22.97	6.90	52.22
D.S.RIL-SUOLO	6.51	18.46	-	-	0.58	1.36	13.31	1.14	0.97	4.29

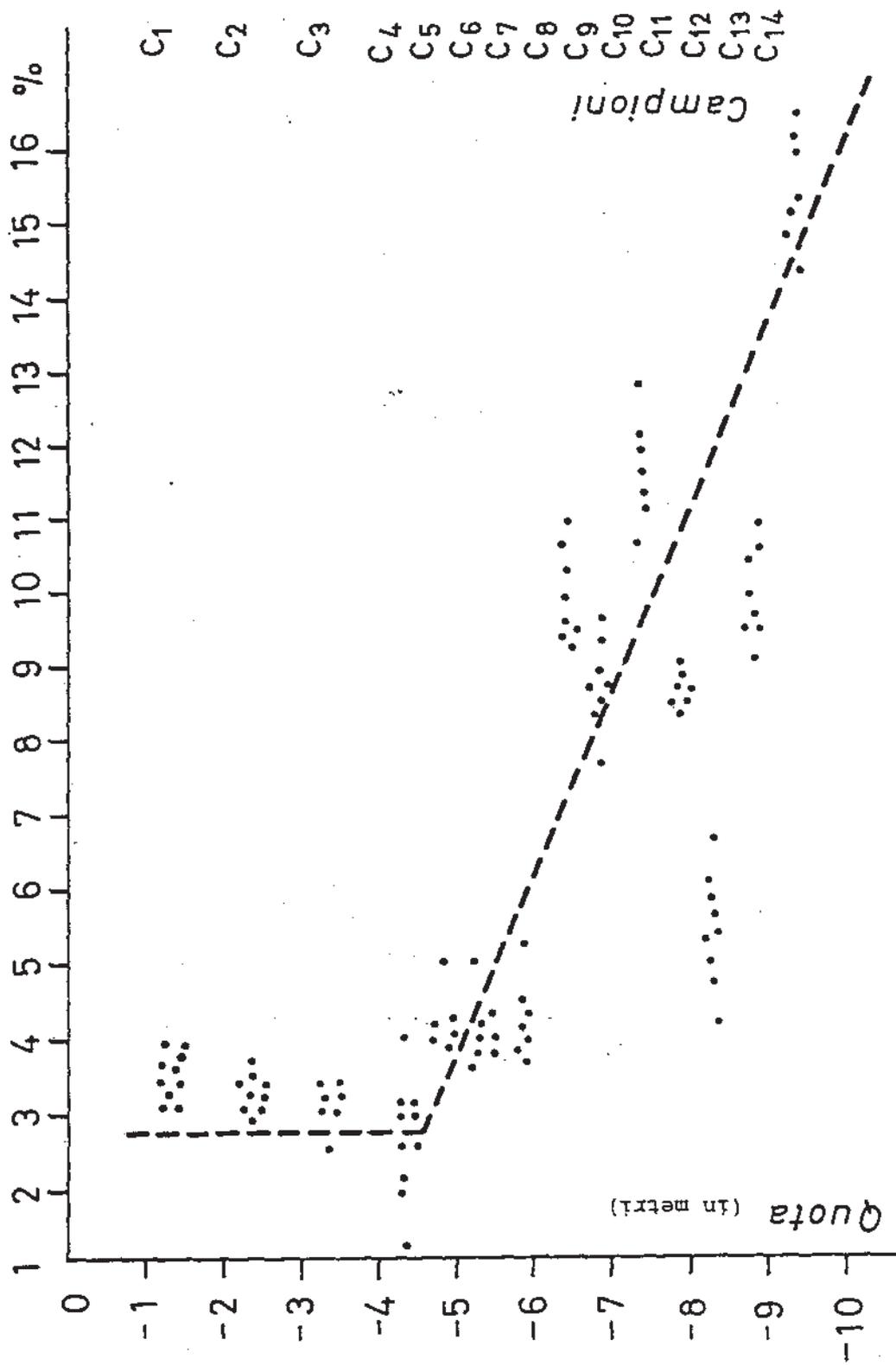


Figura 2 Deviazioni standards delle percentuali delle quantità rilasciate rispetto alle totali, calcolate per ogni campione e per ogni metallo

## BIBLIOGRAFIA

1. BONTEMPELLI R., ZAVATTIERO E. 1986. Verifica della migrazione di inquinanti da discariche nel Veneto tramite carotaggi. SEP POLLUTION, 739. Padova.
2. CASTAGNOLI O., MUSMECI L., ZAVATTIERO E. 1986. Discarica e ambiente. Valutazione di alcuni parametri in siti del Veneto. SEP POLLUTION, 755. Padova.
3. GERHARDT R.A. 1984. Landfill Leachate Migration and Attenuation in the Unsaturated Zone in Layered and Nonlayered Coarse-Grained Soils. Ground Water Monitoring Review, 4, 2, 56-65.
4. GOODALL D.C., QUIGLEY R.M. 1977. Pollutant migration from two sanitary landfill sites near Sarnia, Ontario. Can. Geotech. J., 14, 223-236.
5. GORLON M.E., HUEBNER P.M., KMET P. 1984. An evaluation of the performance of four clay-lined landfills in Wisconsin. Atti Seventh Annual Madison Waste Conference, September 11-12. University of Wisconsin.
6. MUSMECI L., OLORI L., ZAVATTIERO E. 1985. Migrazione di alcuni metalli pesanti in discariche per rifiuti solidi urbani. Atti XXI Seminario Spettrochimico AIM - V Riunione Italo-Francese di spettrometria atomica, Frascati (Roma).
7. MUSMECI L., ZAVATTIERO E., CASTAGNOLI O. 1985. Behaviour of heavy metals in municipal landfill leachate and groundwater. Heavy metals in the Environment, Athens.
8. ZAVATTIERO E., BONTEMPELLI R., MUSMECI L., CASTAGNOLI O. 1984. Indagini su una discarica non controllata in relazione alle possibilità d'inquinamento delle acque sotterranee. SEP POLLUTION, Padova.
9. ZAVATTIERO E., CASTAGNOLI O., MUSMECI L. 1985. Discariche per rifiuti solidi urbani e percolati. Istituto Superiore di Sanità, Roma, 1985 (Rapporti ISTISAN; n. 85/2).
10. ZAVATTIERO E., MUSMECI L. 1987. I percolati da discarica dei RSU: problemi e controlli. Nuova Ricerca, 3-4, 341-347.