



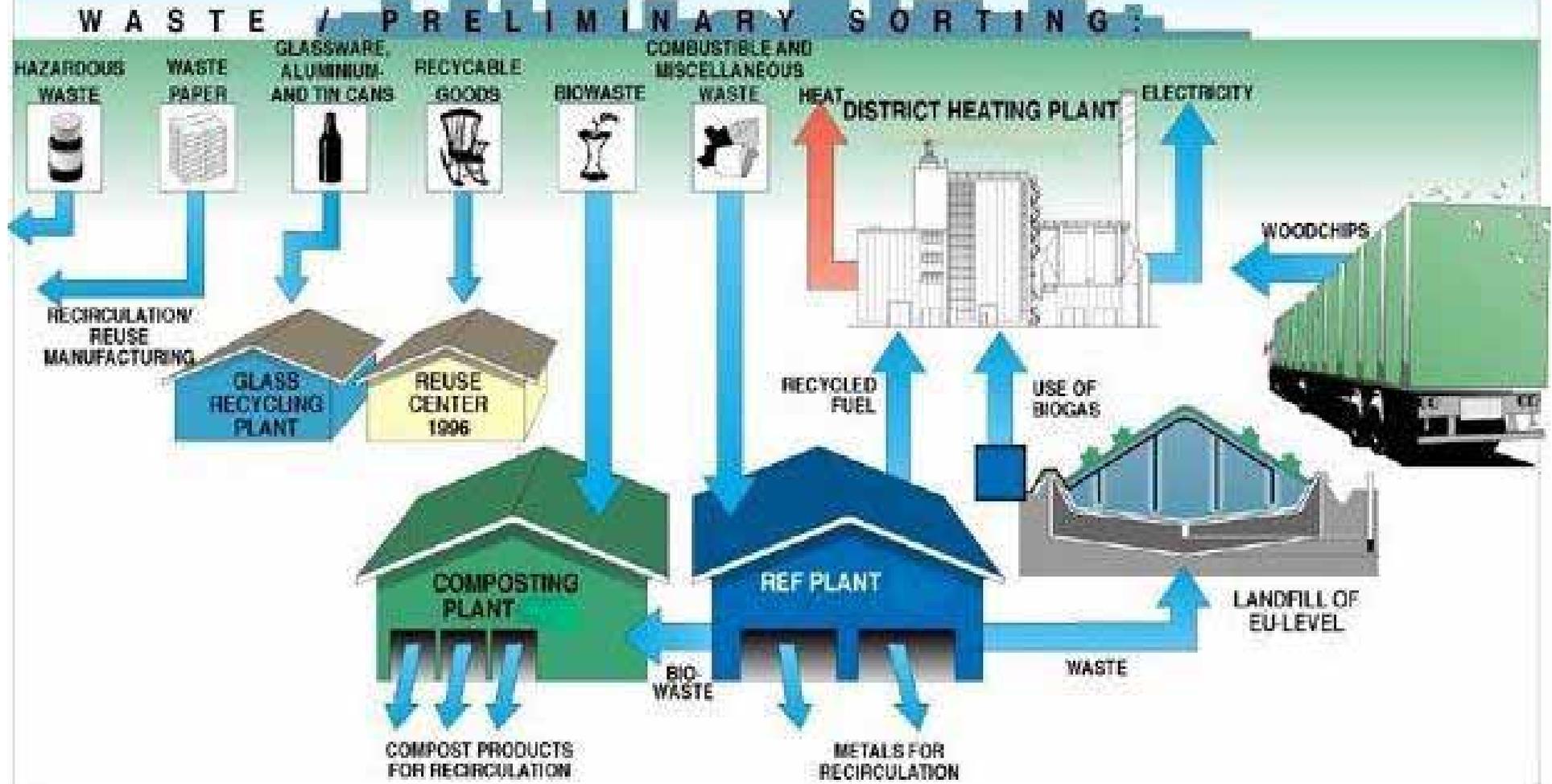
**Alma Mater Studiorum
Univ. di Bologna - Polo di Rimini**

Gli strumenti per la validazione del Sistema Integrato dei Rifiuti

**Luciano Morselli
Univ. di Bologna – Polo di Rimini**

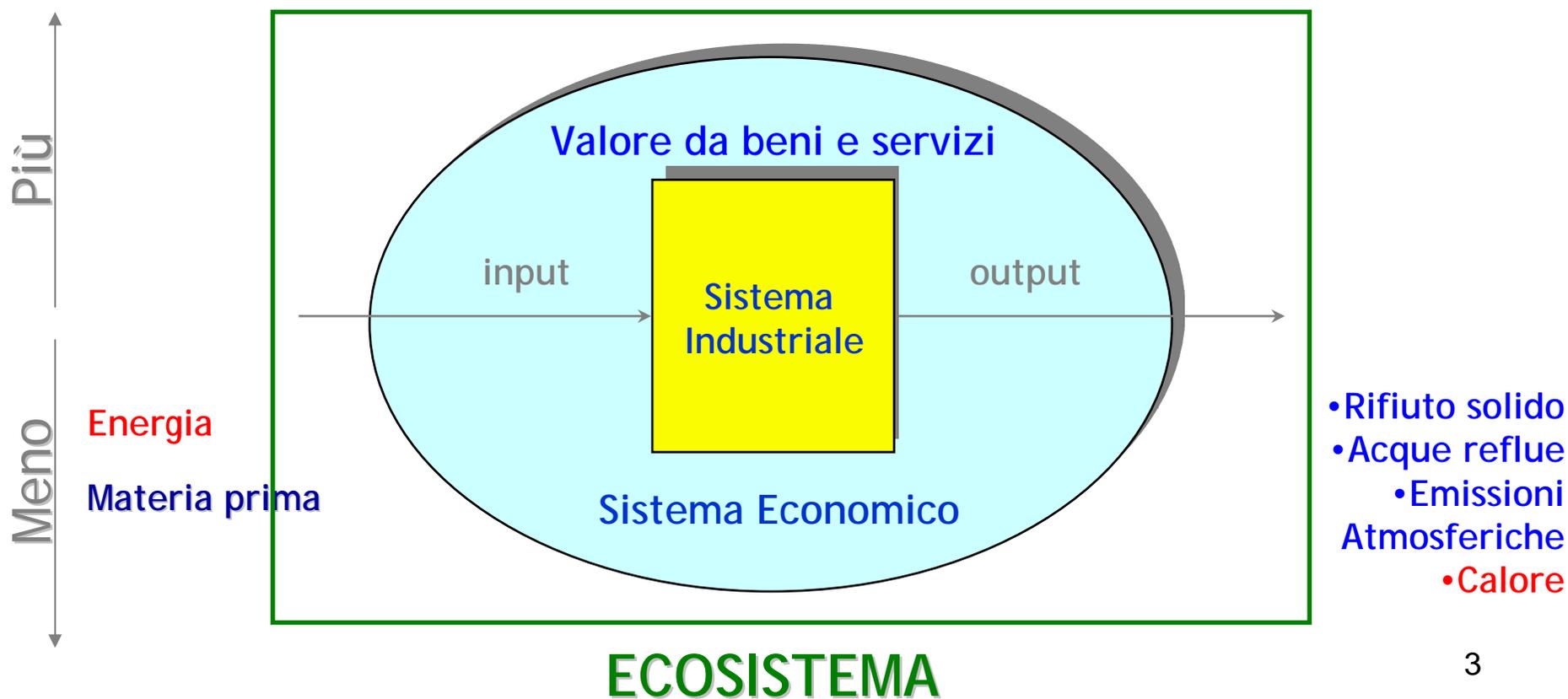
**Per una Gestione Sostenibile dei Rifiuti
TECNOLOGIE A CONFRONTO
Bologna – 9 Luglio 2007**

Waste Treatment System:



INTERAZIONE SISTEMA AMBIENTALE - SISTEMA ECONOMICO

Il rapporto Brundtland "Our common future" sullo sviluppo sostenibile (1987), introduce il concetto di "More with less" → la necessità di produrre più valore da beni e servizi con minor consumo di materia prima ed energia e meno rifiuti e prodotti di emissione



SIGR - SISTEMA INTEGRATO DI GESTIONE DEI RIFIUTI

Un Sistemi Integrato di Gestione dei Rifiuti considera il flusso dei rifiuti ed il loro Ciclo di Vita dai metodi di *raccolta*, alle tecnologie di Valorizzazione e trattamento ai controlli di processo ed ambientali al destino degli inquinanti ed il loro effetto. L'obiettivo è quello di realizzare un guadagno per l'ambiente, un'ottimizzazione economica e l'accettabilità sociale. Lo scopo è di arrivare alla definizione di un sistema pratico di gestione dei rifiuti per ogni ambito specifico

Caratteristiche generali

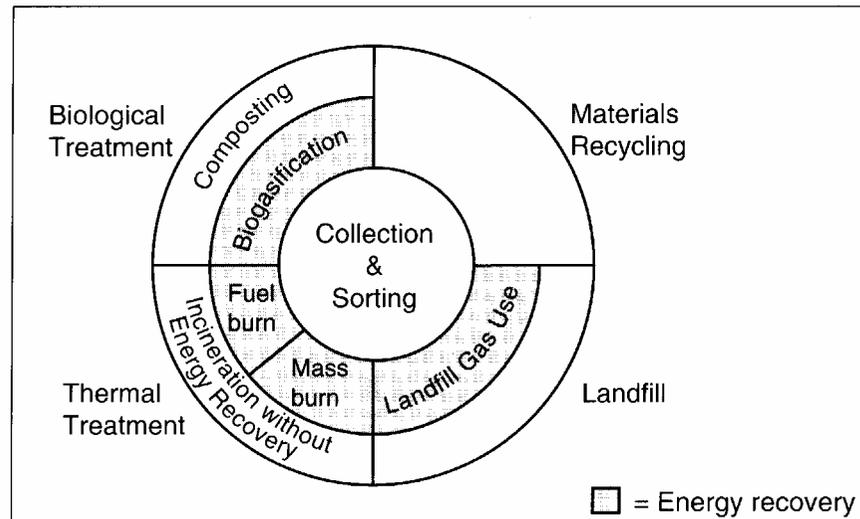
- approccio globale
- utilizzo di vari sistemi e delle migliori tecniche di trattamento e smaltimento (BAT)
- valorizzazione di tutti i materiali presenti nei flussi
- Controllo di processo ed ambientale
- **Sostenibilità Ambientale**
- **Sostenibilità Economica**
- **Accettabilità Sociale**

Strumenti disponibili

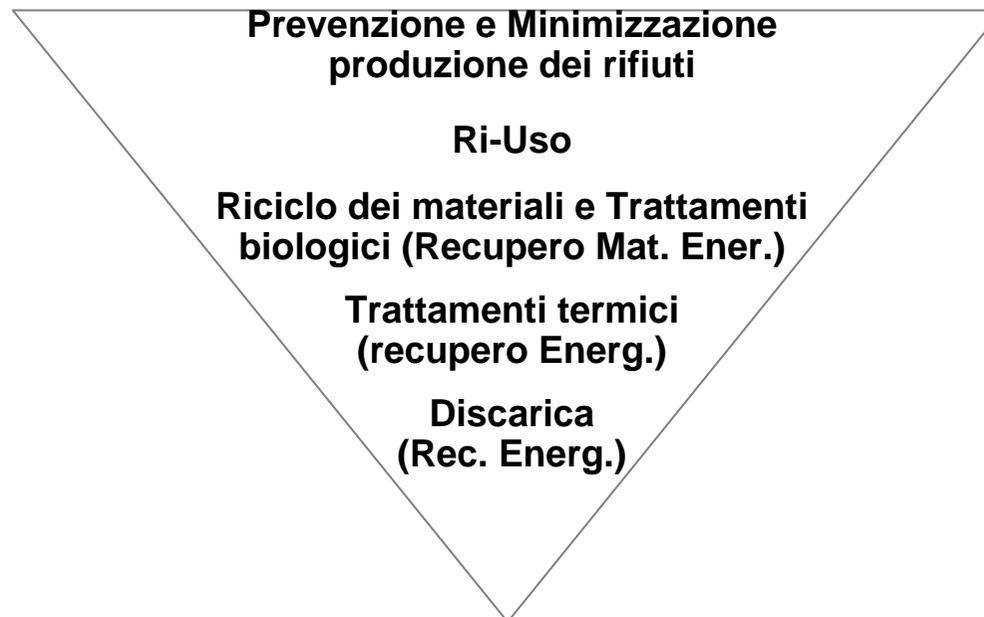
- leggi e regolamenti
- Caratterizzazione merceologica e Chim-Fisica dei rifiuti
- Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale
- LCA, Analisi di Rischio
- Ricerca, Casi Studi di riferimento

SIGR: gli Elementi – la Gerarchia

Gli elementi



Gerarchia



SIGR: il Ruolo

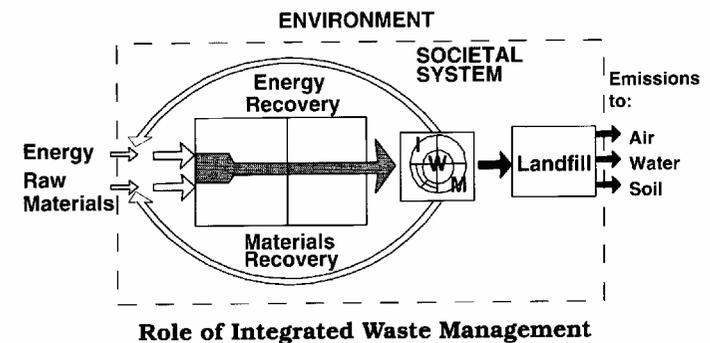
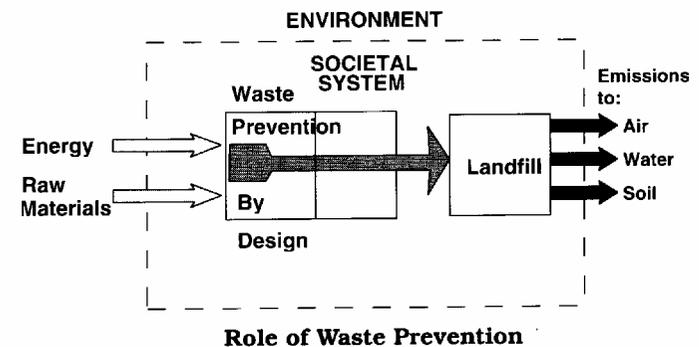
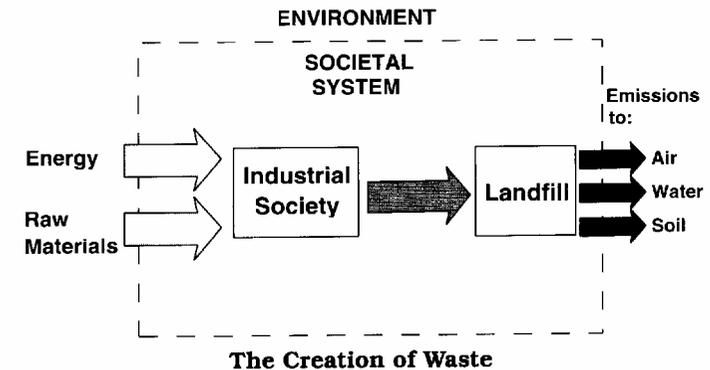
Un Sistema di Gestione dei Rifiuti deve essere:

integrato

orientato al mercato

flessibile

socialmente accettabile

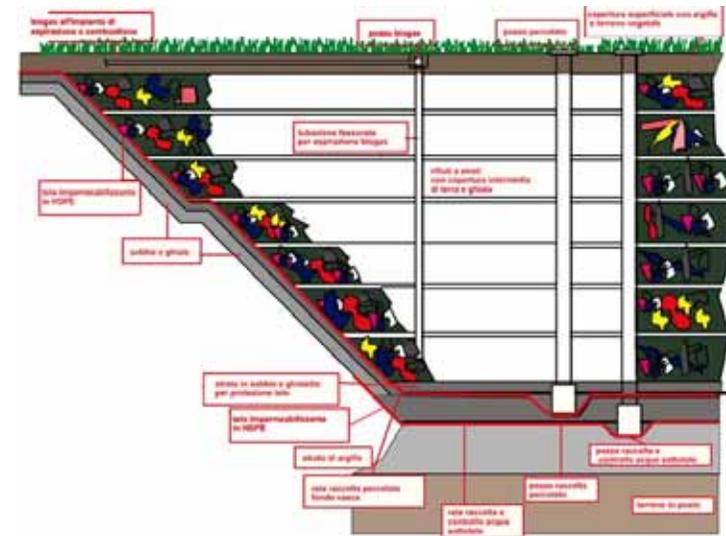


Tecnologie di gestione dei rifiuti

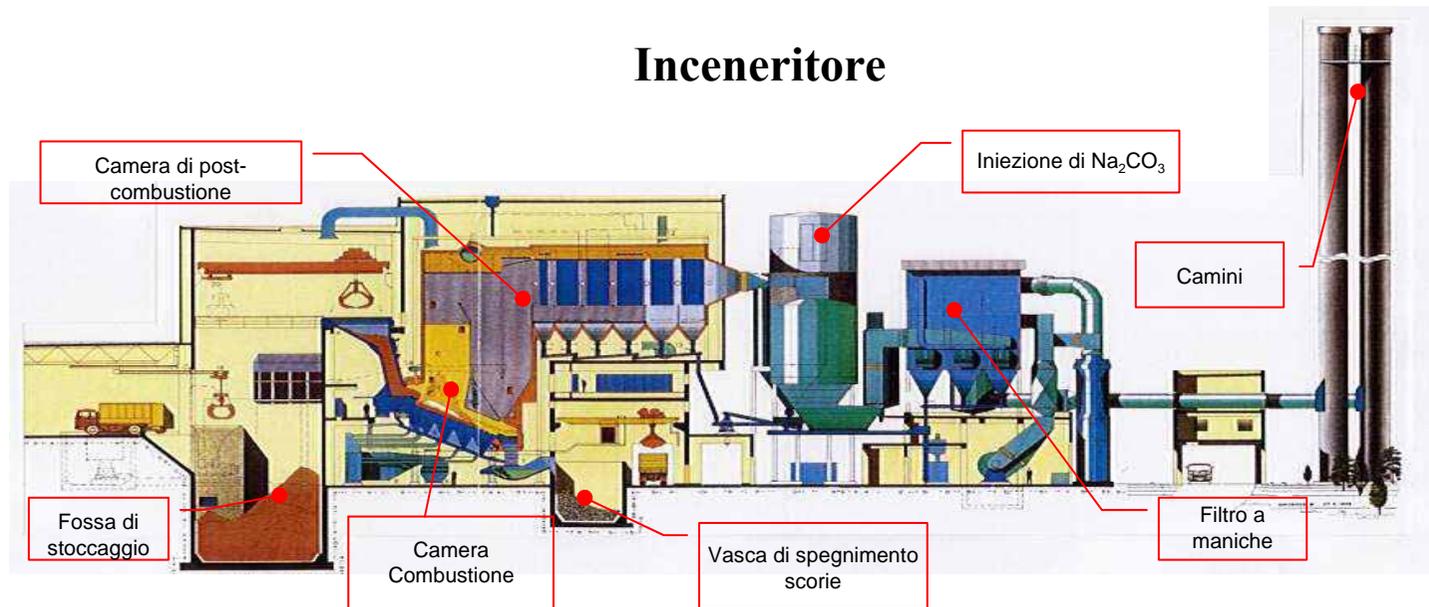
Compostaggio



Discarica



Inceneritore



VI PROGRAMMA DI AZIONE DELL'AMBIENTE

“Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta”

- L'inquinamento causato dai trasporti, dalle attività agricole, dai processi industriali e dalla gestione degli effluenti domestici e dei rifiuti contribuisce a determinare la **scarsa qualità dell'ambiente** che a sua volta ha un impatto negativo sulla salute umana.
- La **capacità del pianeta di assorbire la domanda e i rifiuti** derivanti dall'impiego delle risorse è sotto pressione e si registrano effetti negativi legati all'uso di metalli, minerali e idrocarburi.
- Il **volume dei rifiuti** all'interno della Comunità continua ad aumentare, con la conseguente perdita di territorio e di risorse e inquinamento.
- Una **parte rilevante dei rifiuti è pericolosa**.

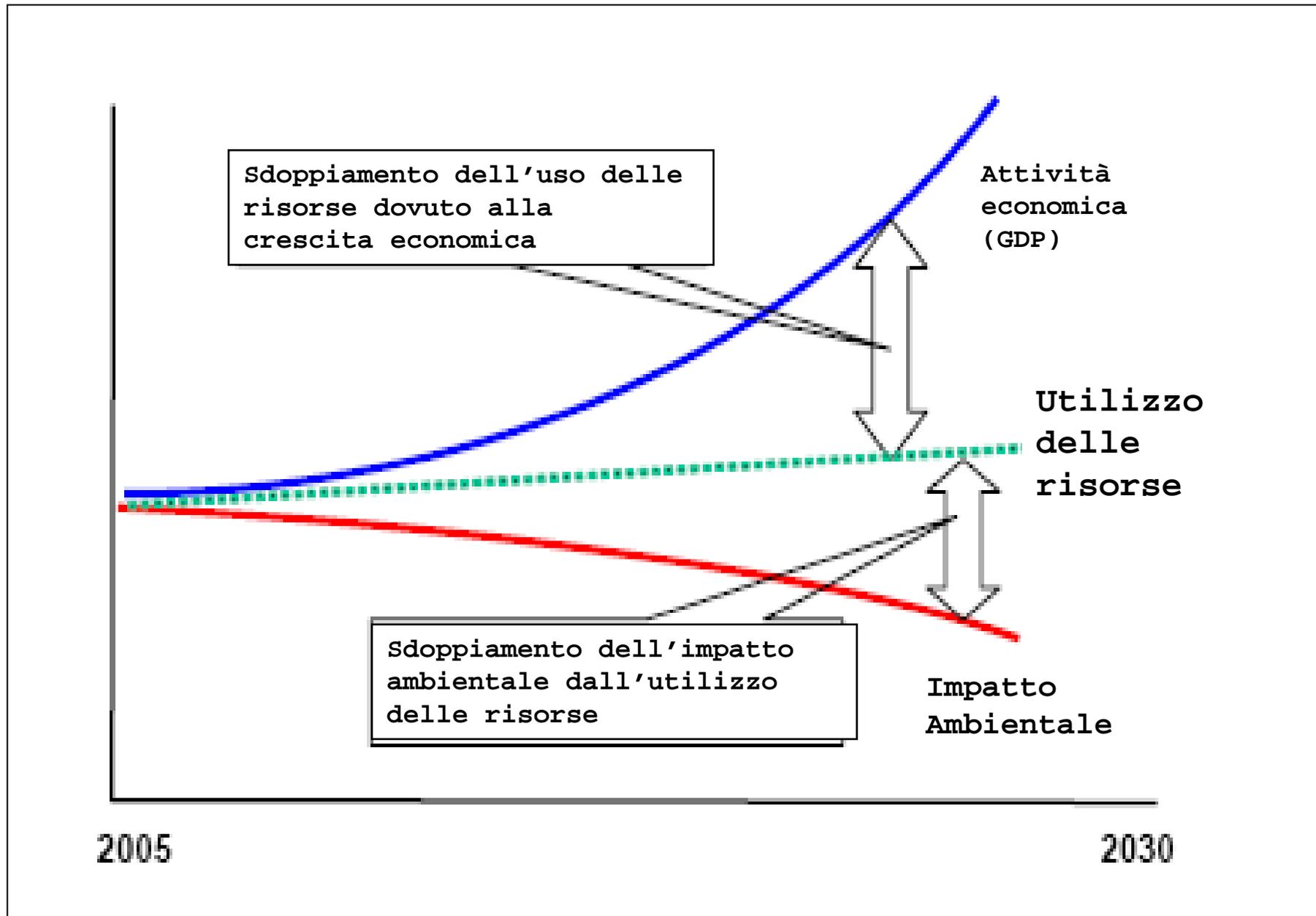
Obiettivi:

- garantire che il consumo di risorse rinnovabili e non rinnovabili e i rispettivi **impatti non superino la capacità di carico dell'ambiente**; **ridurre sensibilmente la quantità di rifiuti destinata allo smaltimento finale** e il volume di rifiuti pericolosi prodotti; ottenere una sensibile **riduzione complessiva delle quantità di rifiuti** prodotte ricorrendo a iniziative di prevenzione, a una maggiore efficienza delle risorse e al passaggio a modelli di consumo più sostenibili, dissociando in tal modo la produzione dei rifiuti dalla crescita economica;

- i rifiuti che continuano ad essere prodotti **non dovrebbero essere pericolosi** o dovrebbero presentare il minimo rischio possibile; occorre **privilegiare il recupero**, e più specificamente il riciclaggio; la quantità di rifiuti destinata allo smaltimento finale deve essere ridotta al minimo e deve essere distrutta o smaltita in sicurezza;

–infine, i rifiuti dovrebbero essere **trattati il più vicino possibile al luogo in cui vengono prodotti**, a condizione che ciò risulti compatibile con la normativa comunitaria e non comporti una riduzione nell'efficienza economica e tecnica delle operazioni di trattamento dei rifiuti.

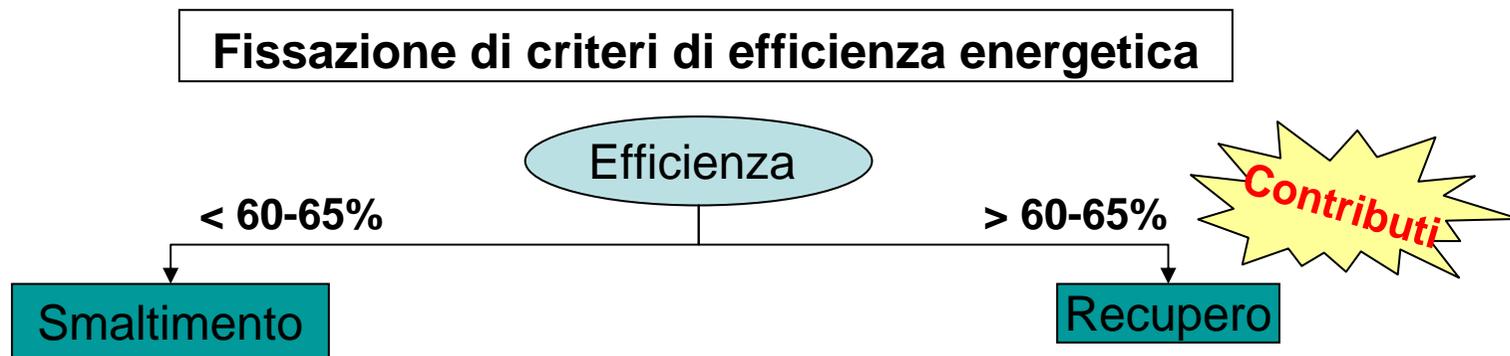
Strategia EU per le risorse



Dalla Nuova Dir. UE e dal Testo Unico sui Rifiuti

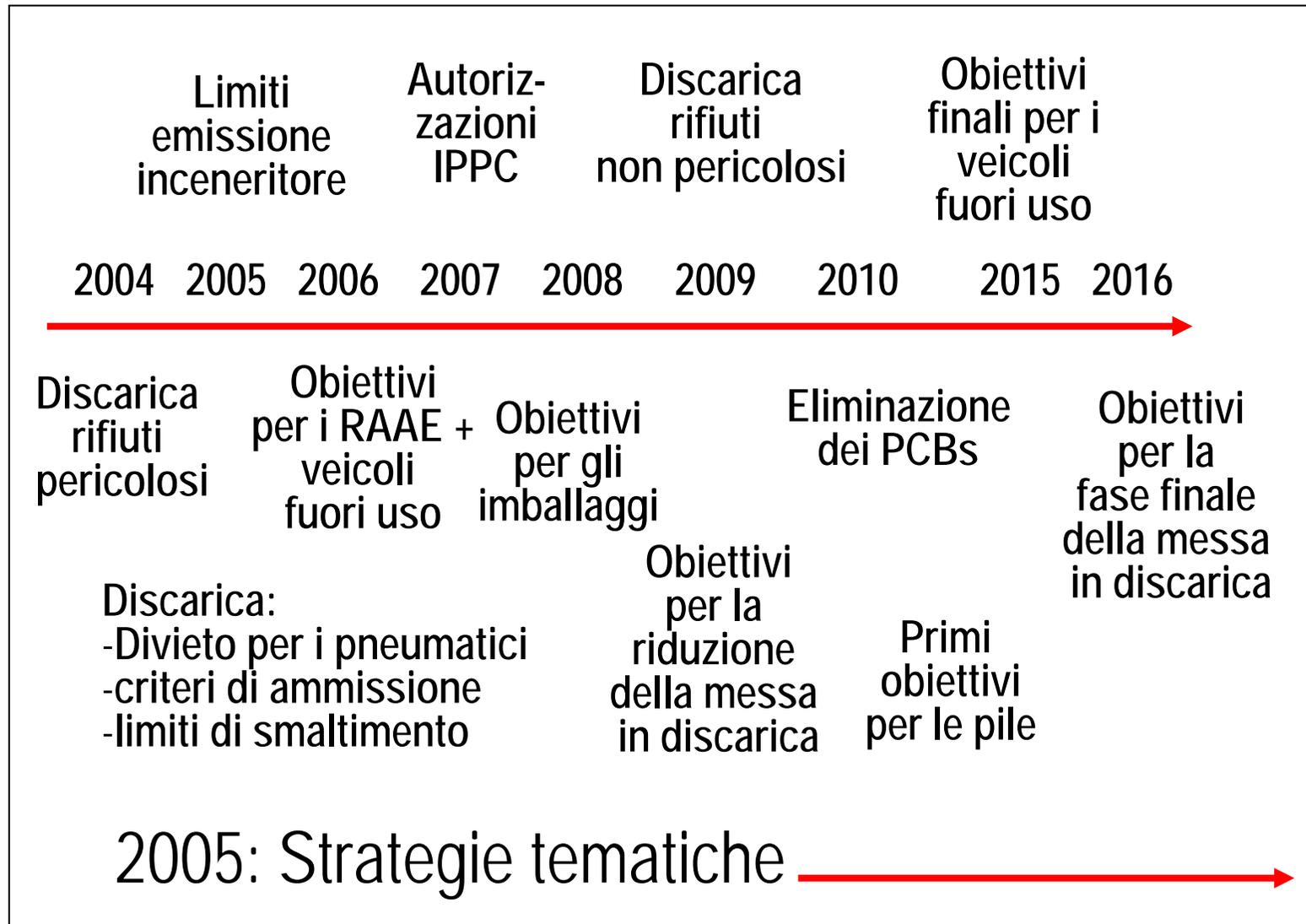
Raccolta Differenziata / Recupero dal 35% al 2006 e del 65% al 2012

- ✓ Impiego Ri-Prodotti, Beni ottenuti con materia da Riciclo
- ✓ Introdurre il concetto del **Ciclo di Vita** e relativa valutazione **LCA** nella politica in materia di rifiuti;
- ✓ Sviluppo del mercato: Attuazione del Piano di Azione sulle Tecnologie Ambientali;
- ✓ Ricerca e tecnologie con Fondi disponibili per affrontare i principali impatti ambientali connessi alla gestione dei rifiuti;
- ✓ Diffusione e trasferimento delle buone pratiche di sensibilizzazione, istruzione ed incentivazione;
- ✓ Aiuti di Stato a favore di attività di riciclaggio dei rifiuti.



SOCIETA' EUROPEA del RICICLAGGIO

Implementazione della legislazione comunitaria



I principi ispiratori della politica ambientale europea e riduzione degli impatti ambientali

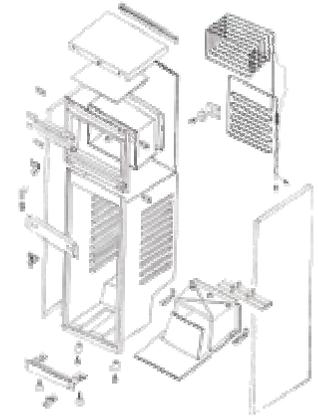
- Tutti i soggetti coinvolti devono apportare il proprio contributo: criterio della **“responsabilità condivisa”**
- **Ridurre gli impatti ambientali** e Introduzione del concetto dell'**LCA** nelle politiche sui rifiuti
- **Dalla gestione alla prevenzione: politica integrata di prodotto** (IPP, Integrated Product Policy)
- Uso di **materie prime e energie rinnovabili**
- **Minima produzione di rifiuti e massimo riciclaggio**
- **Eco-efficienza e dematerializzazione**
- **Economia dei cicli chiusi**, cioè allungare il ciclo di vita dei prodotti
- **ECODESIGN** (Strategia progettuale finalizzata al "prodotto", "processo" o "servizio" con un disegno “Ambientale”)
- **Ridurre gli ostacoli nei mercati delle materie riciclabili**

Ecodesign

DFE - DESIGN FOR ENVIRONMENT

Strategia progettuale finalizzata al "prodotto", "processo" o "servizio"

Per un prodotto industriale, il DFE deve tenere conto delle problematiche relative al ciclo di vita dello stesso, per minimizzare rifiuti ed emissioni nocive.



DFE per la selezione dei materiali

DFE nella fase di produzione

DFE per il trasporto

DFE per la fase d'uso

DFE per la fase di manutenzione

DFE per il disassemblaggio

DFE per il riciclo e riuso

- Minimizzare la presenza di sostanze tossiche
- Incorporare materiali riciclabili/riciclati nel prodotto
- Ridurre quantità e tipologie di materiali utilizzati
- Materiali compatibili tra loro in fase di riciclo
- Ridurre la quantità di rifiuti
- Minimizzare il packaging
- Usare un sistema di imballo riutilizzabile
- Aumentare l'efficienza energetica
- Facilitare l'accesso alle parti per la sostituzione
- Facilitare l'accesso alle parti per la manutenzione
- Facilitare lo smontaggio dei componenti
- Incorporare materiale riciclato
- Ridurre le tipologie di materiale
- Marchiare le parti
- Facilitare il recupero di componenti per il riutilizzo

Sistemi innovativi di controllo ambientale

- SIMA - Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale
- LCA – Life Cycle Assessment
- RA - Analisi e valutazione del Rischio per la salute umana

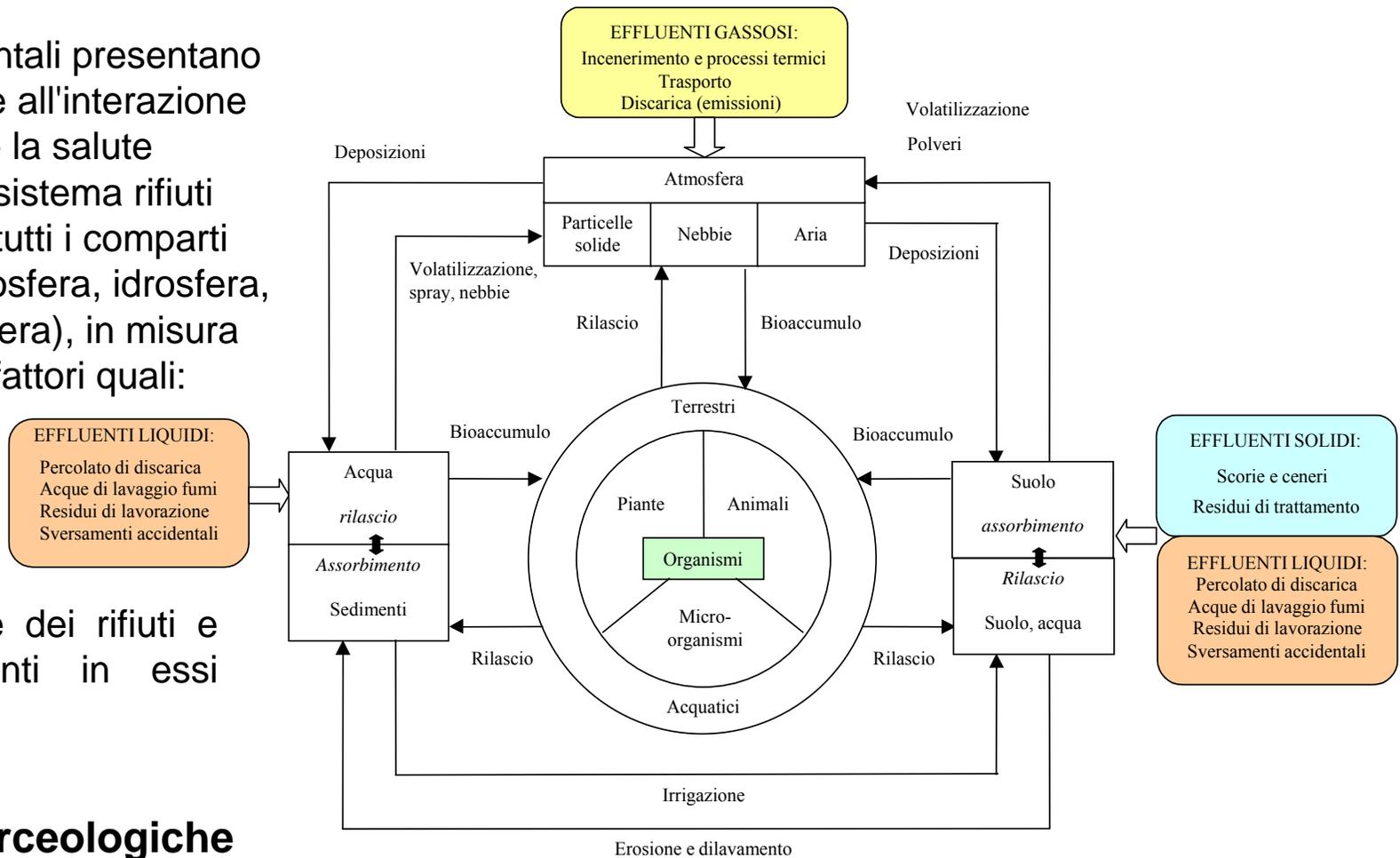
I CONTROLLI AMBIENTALI NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI

I controlli ambientali presentano specificità legate all'interazione con l'ambiente e la salute umana; infatti il sistema rifiuti interagisce con tutti i comparti ambientali (atmosfera, idrosfera, geosfera e biosfera), in misura determinata da fattori quali:

- + origine
- + trasporto
- + reazioni
- + effetti
- + destino finale dei rifiuti e dei contaminanti in essi contenuti

- ⇒ **Analisi merceologiche**
- ⇒ **Analisi chimico-fisiche**

(umidità, densità, ceneri, materie volatili, potere calorifico)



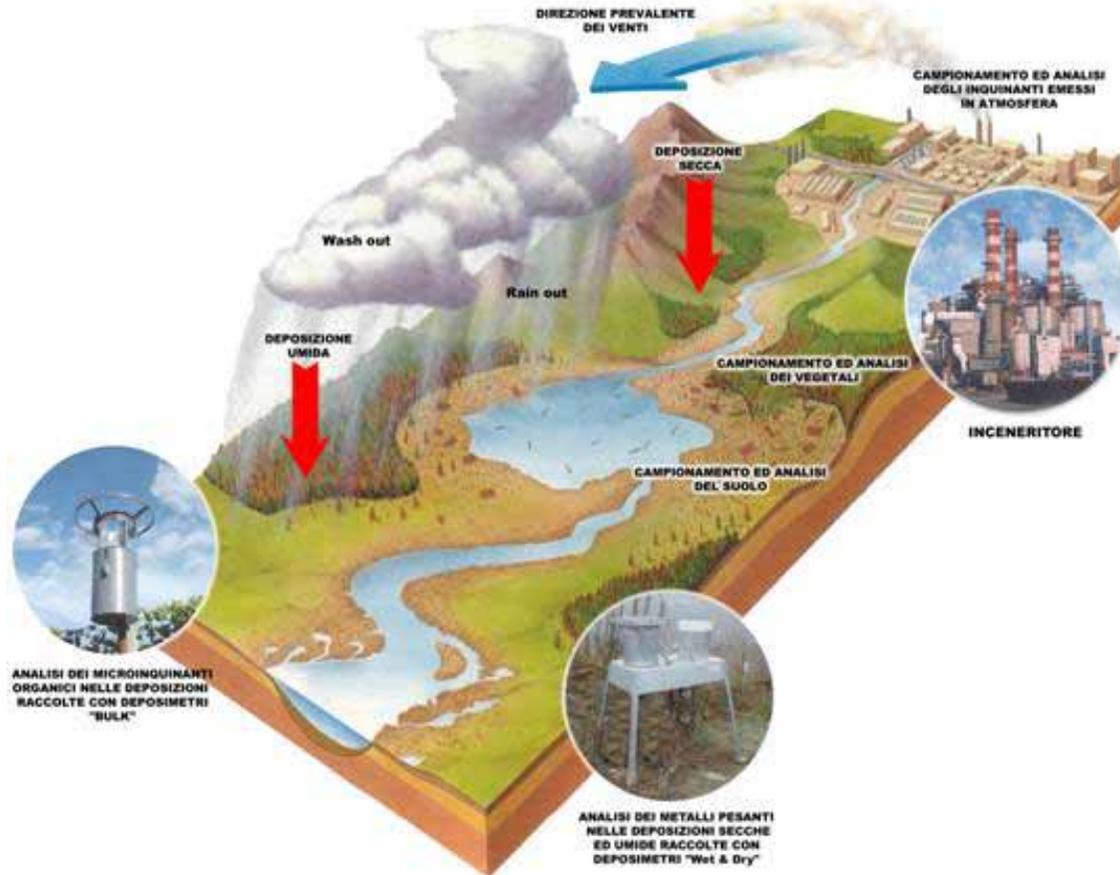
obiettivi posti:

- Rispetto dei limiti prescritti dalla normativa;
- Controllo dei parametri di processo
- Ricerca applicata sul destino inquinanti
- Elaborazione dei dati per LCA, gestione rischio, ecobilancio

Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale

Caratterizzazione della fonte di contaminazione

Campionamento ed analisi degli inquinanti emessi dall'impianto



Le fasi di applicazione di un Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale

1. Caratterizzazione della fonte di contaminazione

consiste nella determinazione della concentrazione di inquinanti emessi, nella registrazione delle caratteristiche tecnologiche e delle condizioni di esercizio dell'impianto, nel calcolo dei flussi di massa degli inquinanti emessi e dei Fattori di Emissione, e nella compilazione di un LCI/LCA.

2. Scelta degli Indicatori Ambientali

la scelta dei parametri da monitorare va fatta tenendo in considerazione sia le caratteristiche delle emissioni della fonte di contaminazione, sia i criteri di selezione di un indicatore ampiamente descritti nel paragrafo precedente.

3. Individuazione dei corpi recettori

previsione dei percorsi preferenziali di diffusione degli inquinanti, attraverso l'utilizzo di un modello matematico o statistico già collaudato rappresenta uno strumento assai importante al fine di stabilire quali siano i siti di campionamento nei quali si può trovare la maggior quantità di inquinante propagatosi dalla sorgente studiata.

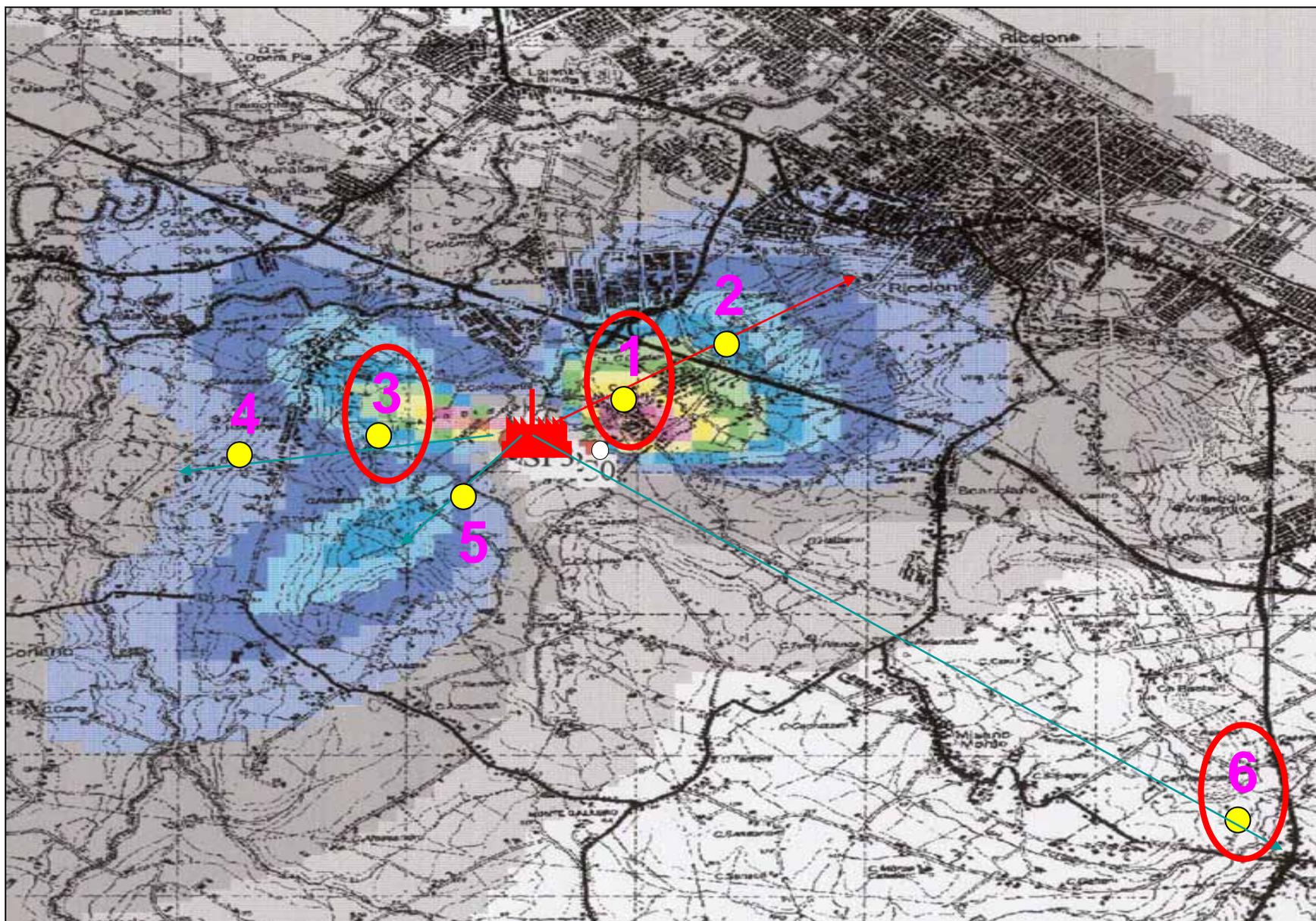
4. Caratterizzazione dei Comparti Ambientali

devono essere predisposte metodologie di controllo delle ricadute in matrici ambientali di diverso tipo allo scopo di avere una molteplicità di dati e poter quindi ottenere una visione il più possibile completa dell'impatto ambientale.

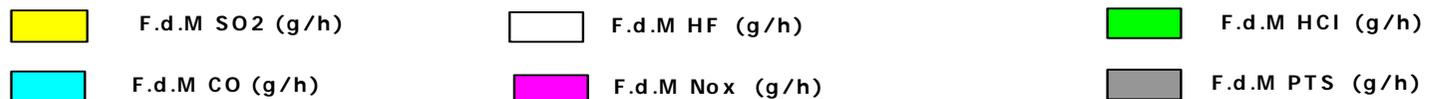
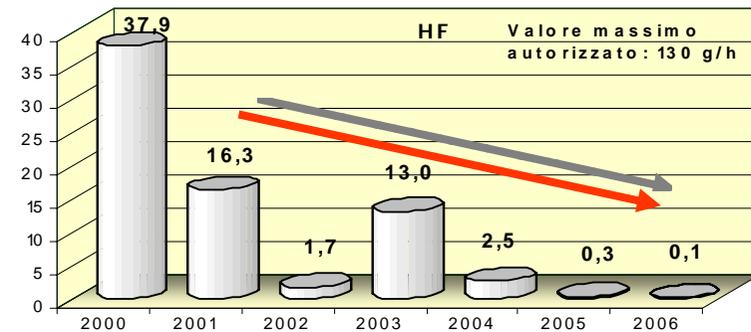
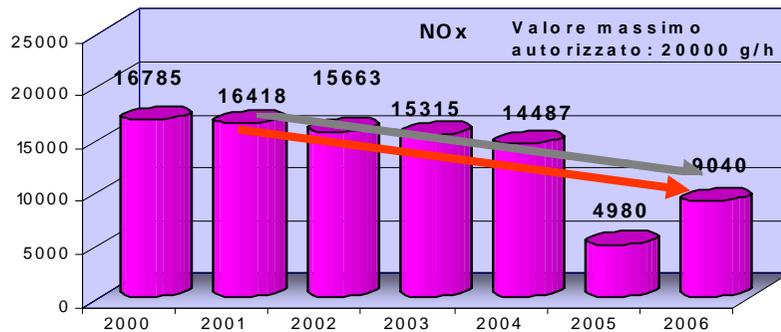
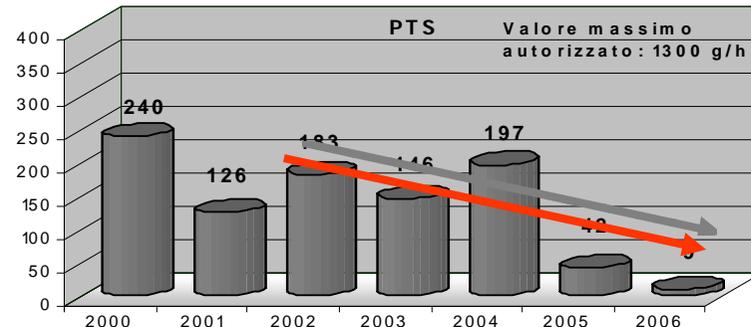
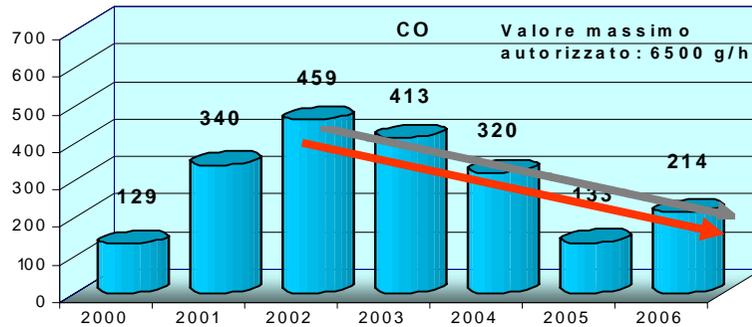
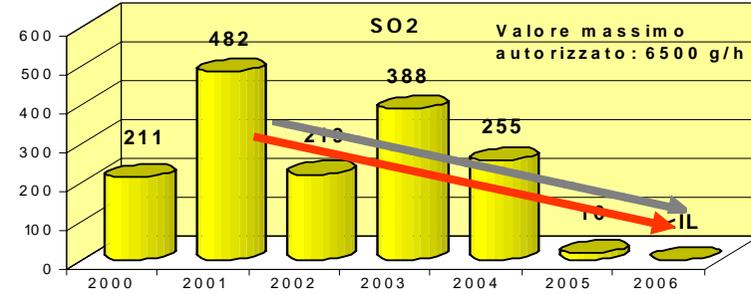
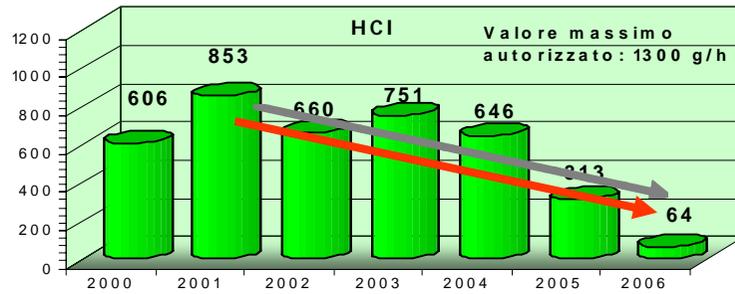
5. Elaborazione dati e ricerca di correlazioni

tecniche chemiometriche per individuare relazioni di causa-effetto tra la concentrazione degli inquinanti nelle emissioni e nelle matrici ambientali, confrontando le loro similarità.

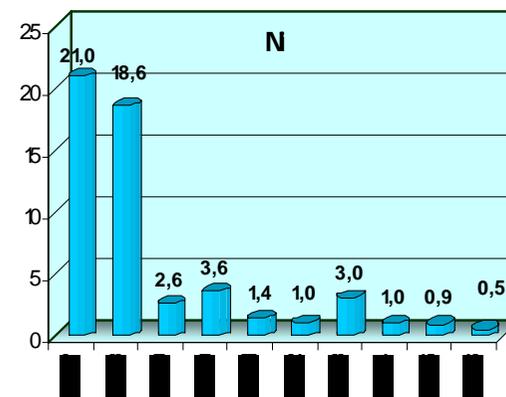
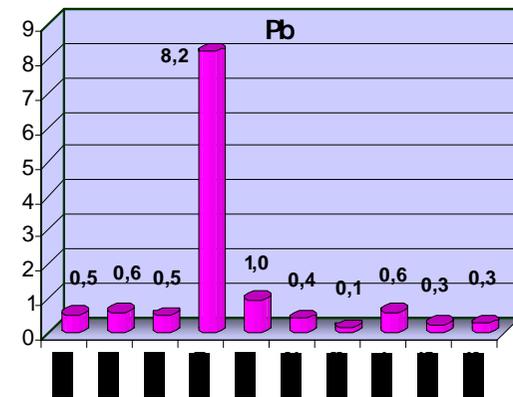
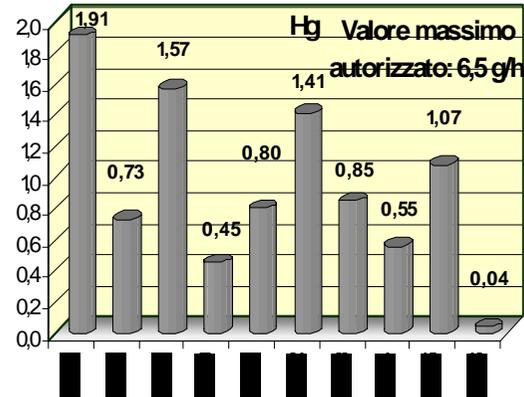
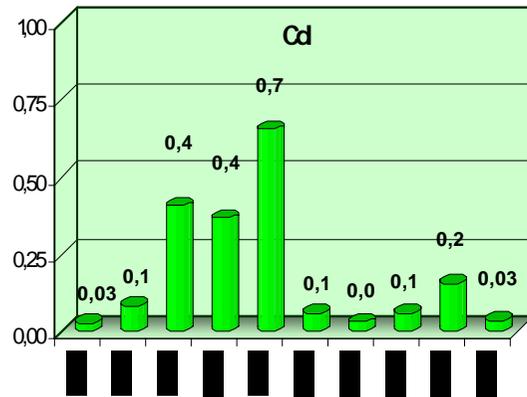
La rete di monitoraggio



Flussi di massa Macro - Inquinanti

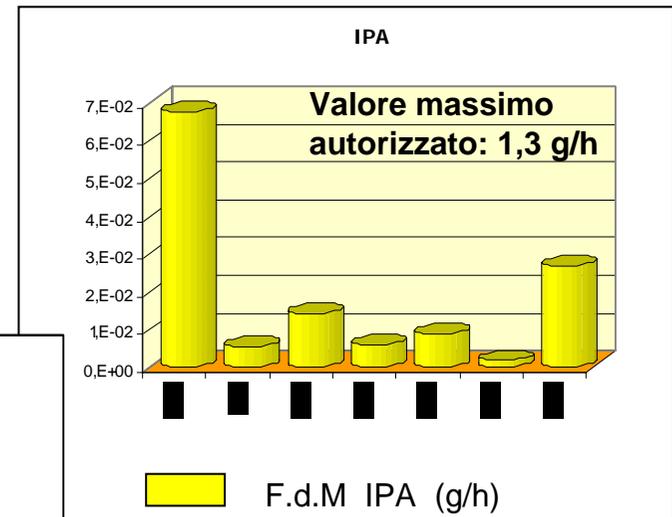


Flussi di massa Micro-Inquinanti



■ F.d.M(g/h) Cadmio
■ F.d.M(g/h) Piombo

■ F.d.M(g/h) Nichel
■ F.d.M(g/h) Mercurio



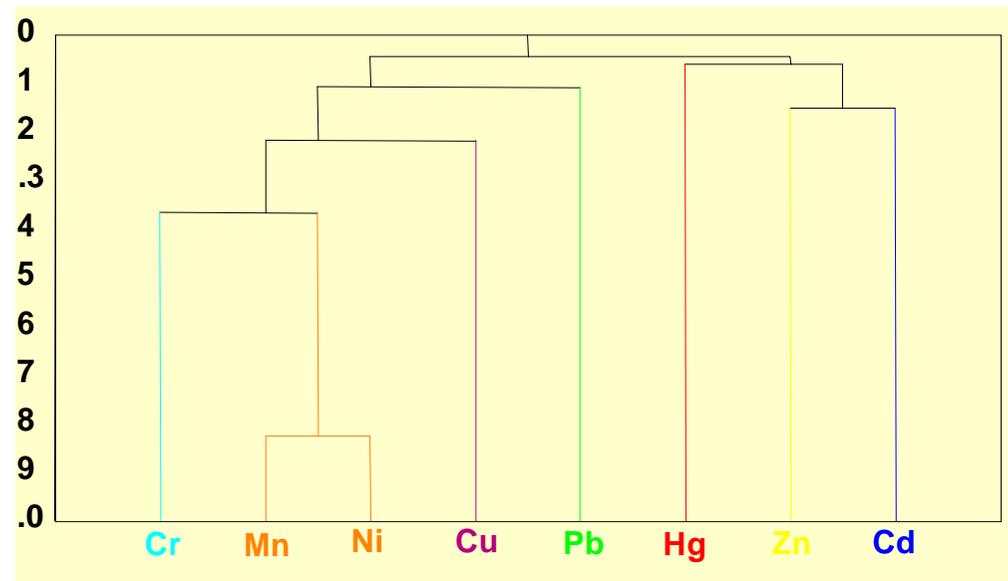
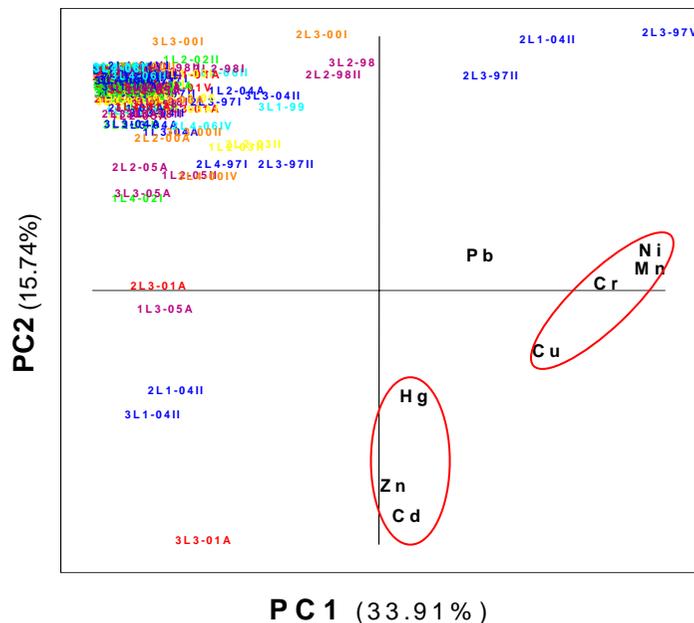
Il destino dei metalli durante la combustione, il raffreddamento dei gas e l'abbattimento degli inquinanti è determinato da:

- 1) la composizione del rifiuto entrante;
- 2) le proprietà dei singoli metalli;
- 3) le condizioni operative dell'inceneritore.

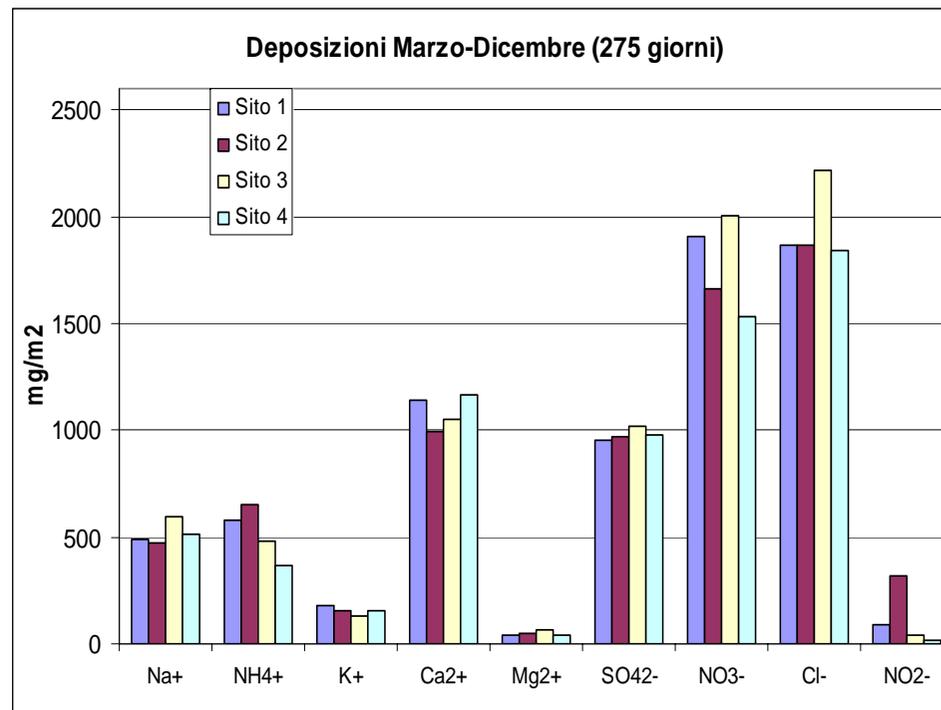
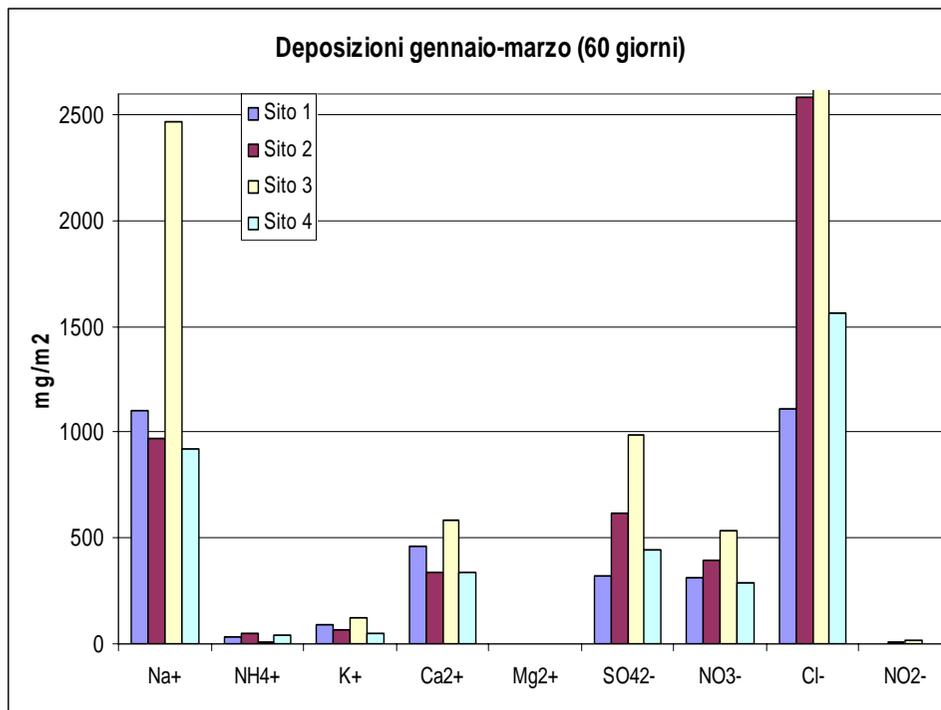
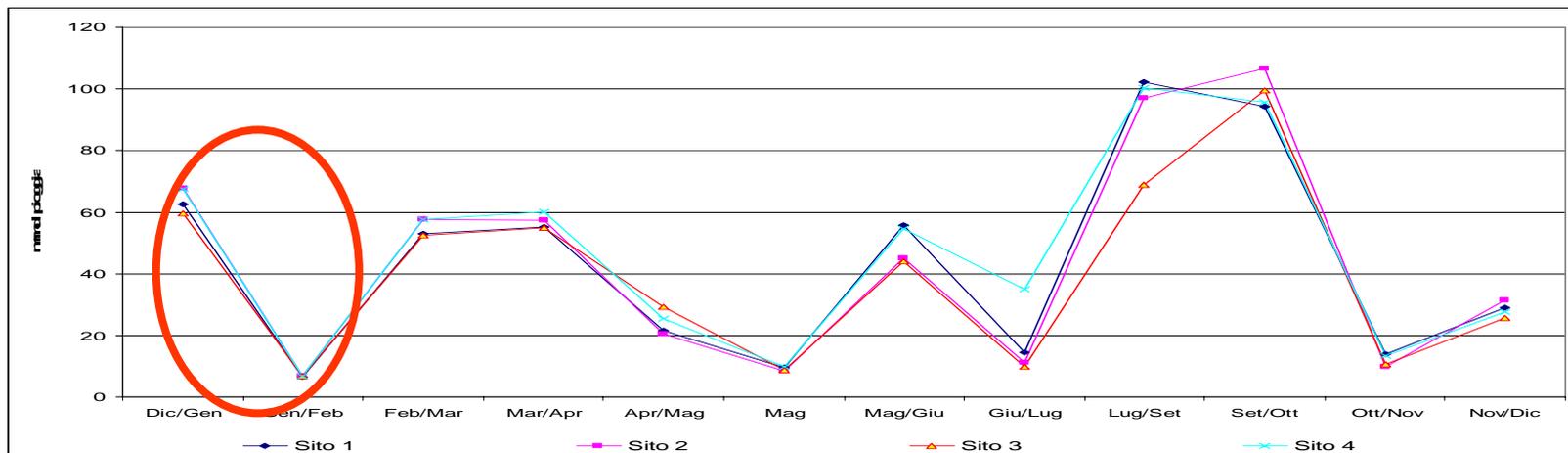
Micro-Inquinanti: Alcune riflessioni

In generale:

- 1) **Co, Cr, Cu e Ni** sono situati quasi totalmente nelle scorie, mostrando che formano quasi sempre in composti solidi, a causa della loro bassa volatilità nelle diverse forme.
- 2) **As, Pb e Zn** tendono a stare nelle scorie, anche se una certa frazione viene volatilizzata e condensata in piccole particelle minerali nel flusso dei gas.
- 3) **Cd e Hg** vengono prontamente volatilizzati durante l'incenerimento dei rifiuti e mostrano poi un diverso comportamento. Mentre la maggior parte di Cd condensa sul particolato delle ceneri volanti, il Hg rimane perlopiù gassoso durante l'intero processo (richiedendo perciò specifiche tecnologie di abbattimento).

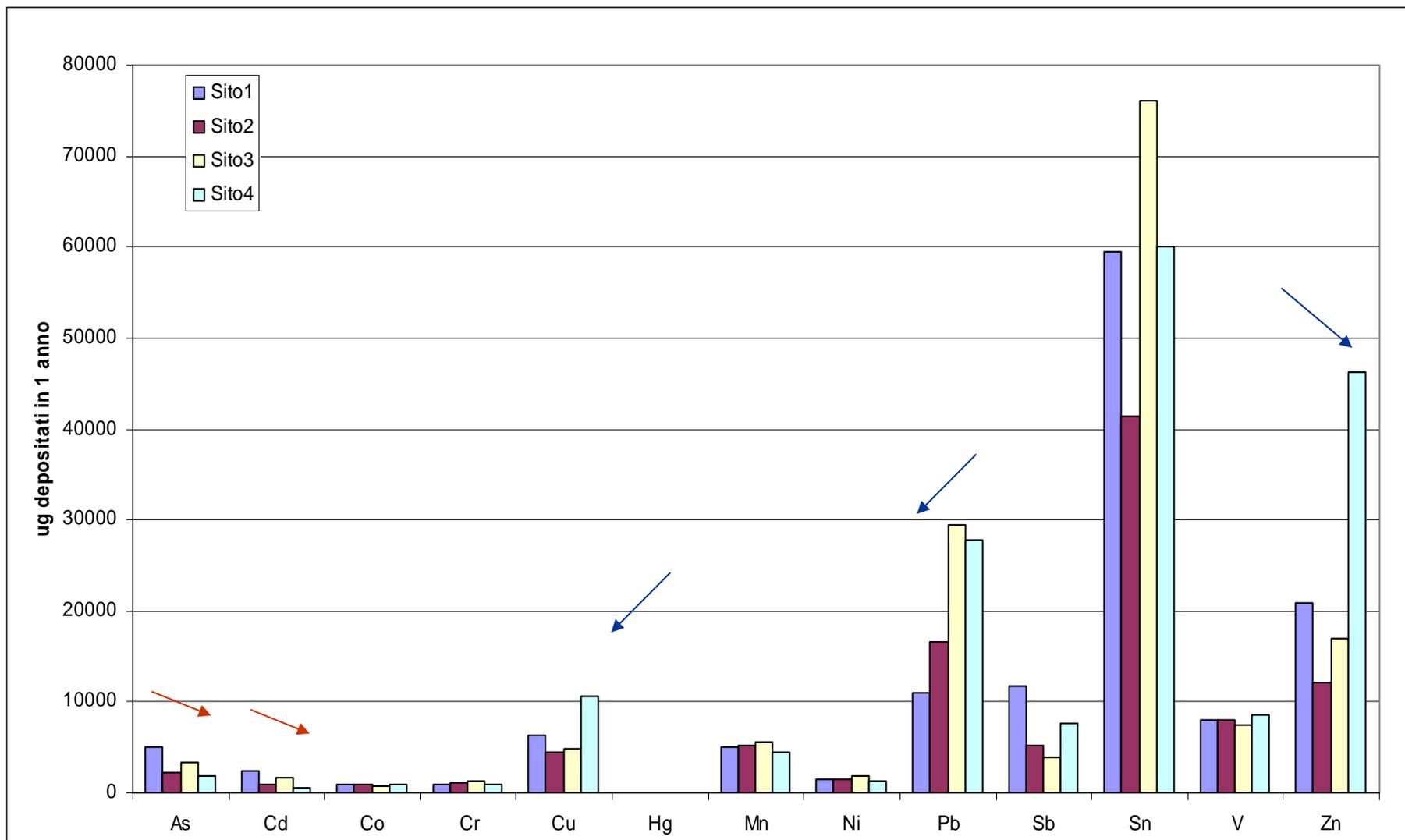


Flussi di deposizione Anioni e cationi solubili principali (dati 2006)



Flussi di deposizione Metalli (dati 2006)

Sono stime ottenute dalla somma delle deposizioni mensili. Quando la concentrazione dell'analita era minore del limite di quantificazione si è preso metà del limite e si sono calcolati i flussi in funzione della concentrazione stimata.



PROFONDITA' 0-15cm (mg/Kg ss)							
	Suolo 1	Suolo 2	Suolo 3	Suolo 4	Media	Dev.Std.	CV %
Al	31600	28100	26900	24800	27600	2400	9
As	5	< 4	< 4	7	<5	/	/
Cd	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	/	/
Co	13	13	13	13	13	0	2
Cr	58	67	77	62	66	8	13
Cu	25	24	26	27	26	1	6
Hg	31	42	27	55	39	13	33
Mn	495	636	585	524	56	63	11
Ni	43	46	49	38	44	5	10
Pb	68	25	38	56	47	19	41
Sb	< 11	< 10	< 16	< 9	<12	/	/
V	72	79	78	61	73	9	12
Zn	64	88	82	73	76	11	14

PROFONDITA' 15-30 cm (mg/Kg ss)							
	Suolo 1	Suolo 2	Suolo 3	Suolo 4	Media	Dev.Std.	CV %
Al	25500	29100	27500	26200	27100	1610	6
As	5	< 4	< 4	< 3	< 4	/	/
Cd	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	/	/
Co	12	13	13	12	12	0	1
Cr	56	72	67	63	64	7	10
Cu	27	24	24	26	25	1	6
Hg*	28*	41*	25*	50*	36	12	33
Mn	498	652	591	531	568	68	12
Ni	45	51	50	42	47	4	9
Pb	59	67	63	57	61	4	7
Sb	< 11	< 10	< 11	< 10	< 10	/	/
V	63	82	70	65	70	9	12
Zn	65	91	84	71	77	12	15

* ug/Kg ss

Analisi del Suolo (dati 2006)

Assenza di gradiente
verticale e/o
orizzontale

Assenza di
contaminazione

Concentrazioni soglia di contaminazione
nel suolo, nel sottosuolo in relazione alla
specifica destinazione d'uso dli sito
secondo il DLgs 152/06.

Metalli	Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (mg/Kg ss)	Siti ad uso commerciale e industriale (mg/Kg ss)
As	20	50
Cd	2	15
Co	20	250
Cr	150	800
Cu	120	600
Ni	120	500
Pb	100	250
V	90	250
Zn	150	1500

Flussi di deposizione PCB, IPA e Diossine (dati 2006)

Concentrazioni delle diossine, furani, PCB ed IPA nelle deposizioni atmosferiche

Campionamento estivo

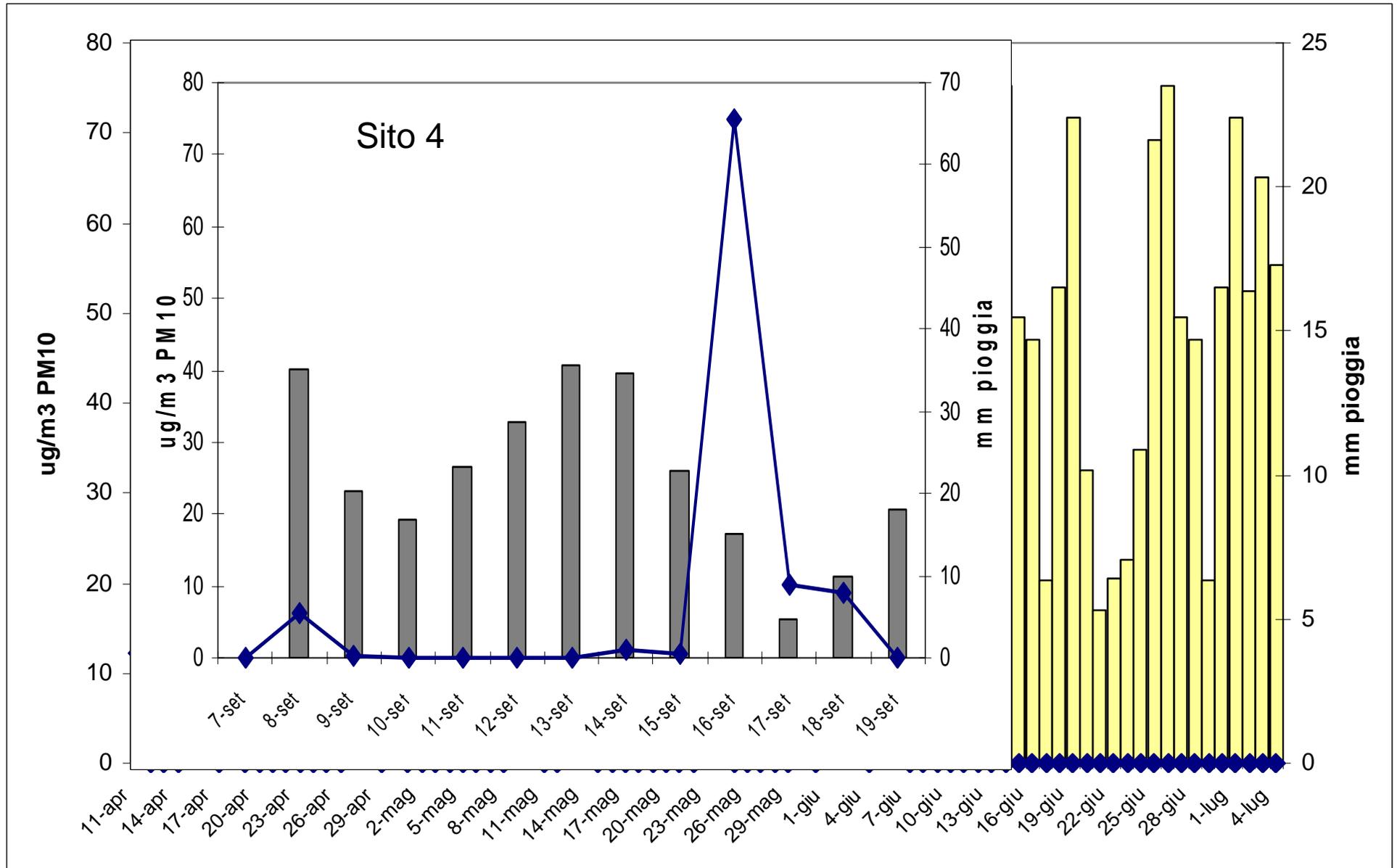
	Sito 3 I-TE Q pg/m ² d(anno)	Sito 4 I-TE Q pg/m ² d(anno)
Policloro dibenzo diossine + policloro dibenzo furani	11,51 (4201)	7,36 (2686)
	ng/m ² d	ng/m ² d
Policlorodifenili	0,16	0,09
Altri PCB	0,62	0,55
IPA	79,01	91,75

Concentrazioni delle diossine, furani, PCB ed IPA nel suolo (0-15 cm).

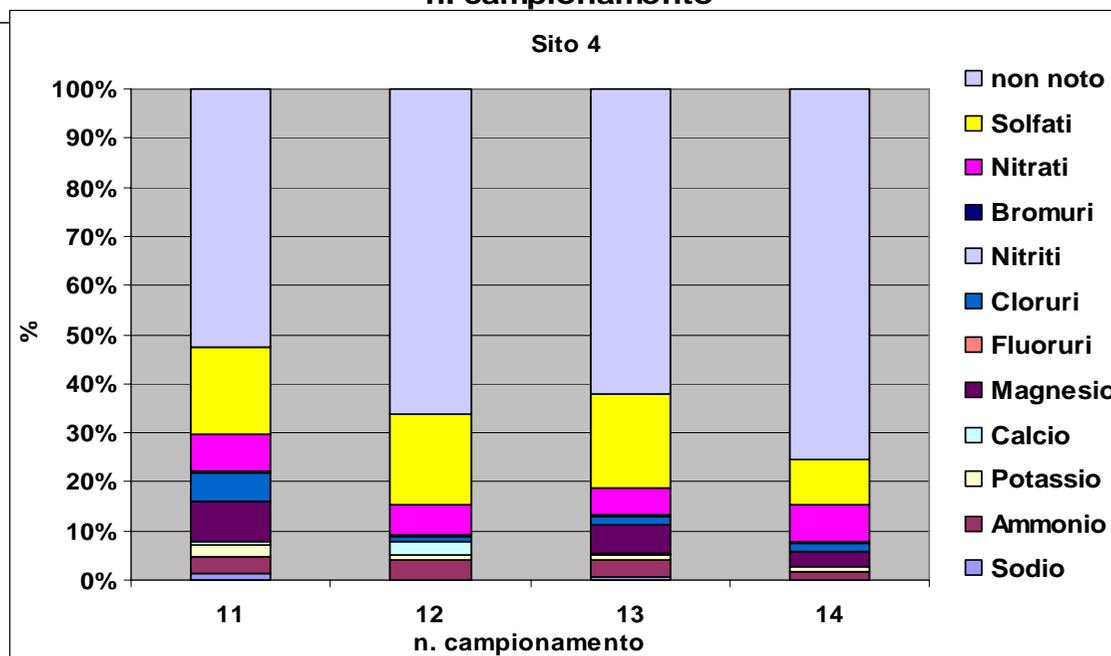
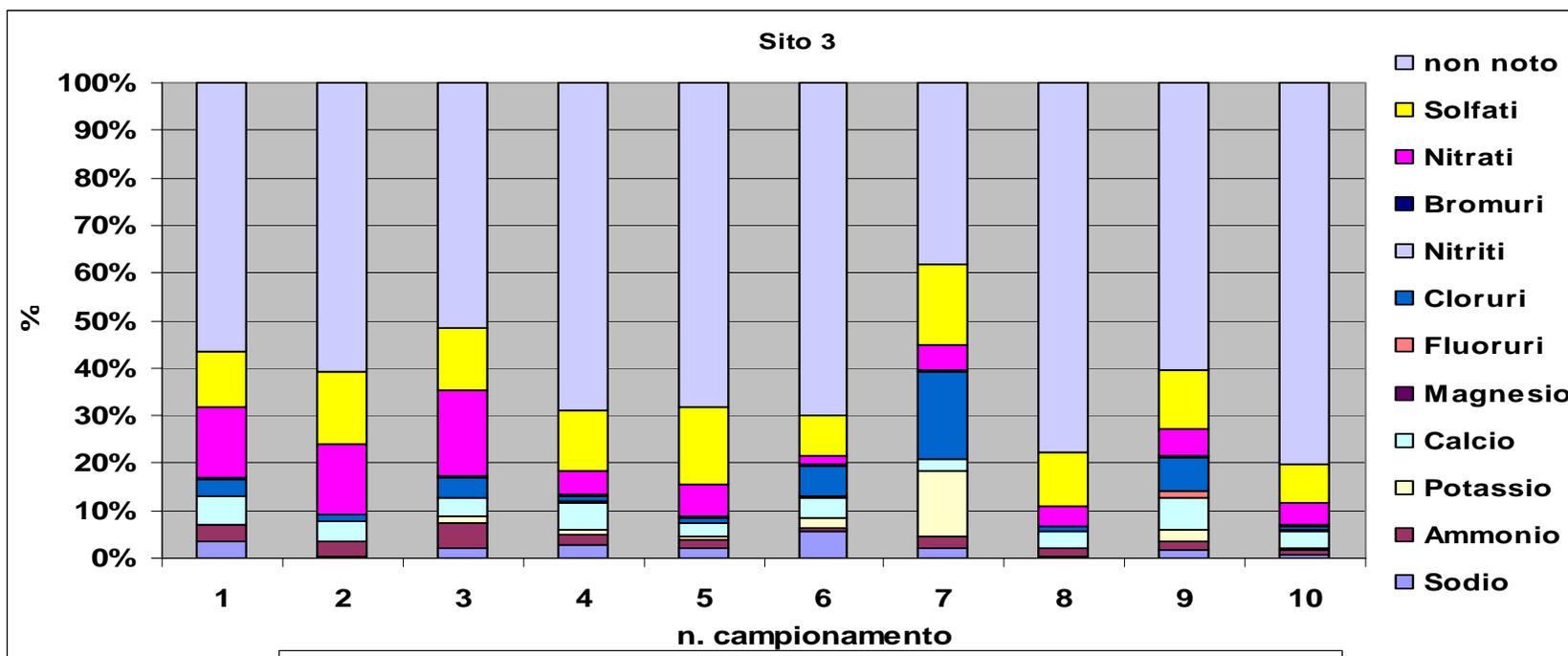
	Sito 1	Sito 2	Sito 3	Sito 4	D.Lgs 152/06*
Policloro dibenzo diossine + policloro dibenzo furani (I-TE, ng/Kg ss)	0.44	0.5077	1.2508	0.6504	100
Policlorodifenili (WHO/TE, ug/Kg ss)	0.047	0.058	0.429	0.561	60
Altri PCB's (ug/Kg ss)	0.395	0.366	2.268	2.379	
IPA (ug/Kg ss)	14	9.2	72.1	100	10000

* Le concentrazioni limite sono riferite alle soglie di contaminazione nel suolo per siti ad uso verde pubblico e privato residenziale secondo l'allegato 5 del testo unico ambientale D.Lgs 152/06.

PM10 (dati 2006)



Composizione relativa di massa dei campioni di PM10 nel sito 3 E 4



Analisi Metalli pesanti nel PM10

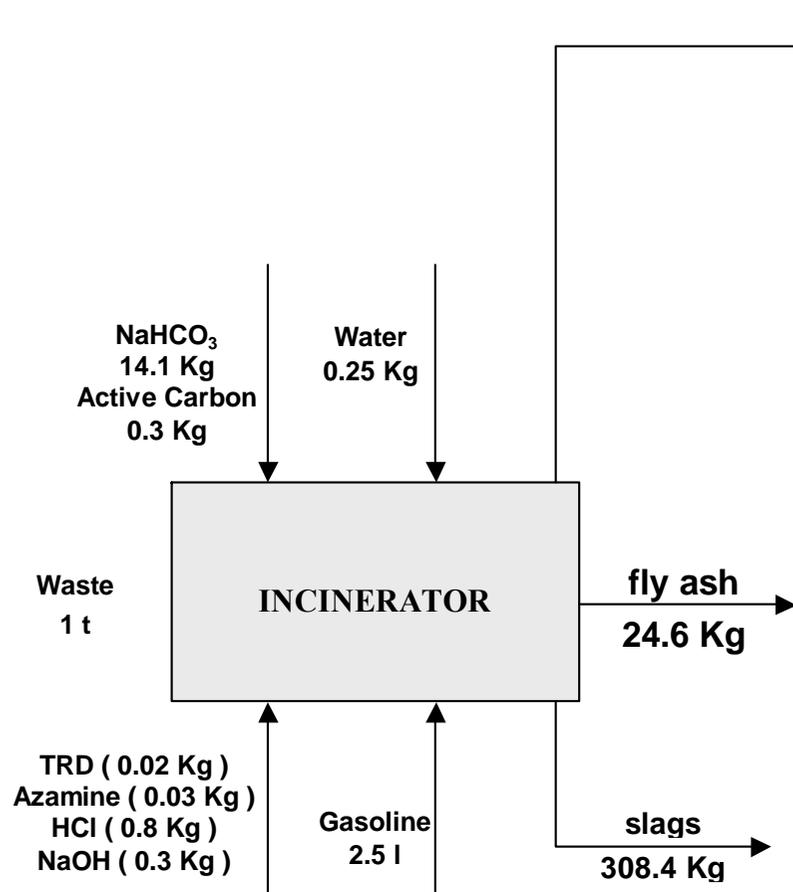
Il particolato fine mostra un arricchimento di Pb e Cu nel sito 4 come indicato anche dalle deposizioni Atmosferiche.

In elaborazione vi sono altri 2 set di dati

	Sito 3								Sito 4				
	mg/Kg (ng/Nm ³)								mg/Kg (ng/Nm ³)				
	1	4	5	6	7	8	9	Media	11	12	13	14	Media
Pb	295 (8,3)	85 (2,9)	96 (2,4)	119 (1,6)	102 (2,3)	92 (3,9)	170 (8,2)	137 (3.3)	1093 (29.9)	543 (18.2)	523 (14.4)	815 (10.1)	743 (18.4)
Cu	325 (9,2)	260 (9,0)	314 (7,7)	218 (3,0)	224 (5,1)	337 (14,3)	396 (19,1)	296 (9.6)	551 (15.1)	620 (20.7)	392 (10.8)	776 (9.7)	585 (14.1)
Ni	127 (3,6)	/	I.L.	I.L.	288 (6,6)	185 (7,8)	100 (4,8)	137	270 (7.4)	167 (5.6)	231 (6.4)	189 (2.4)	214
Cd	257 (7,3)	60,1 (2,1)	I.L.	71,9 (1,0)	22,8 (0,5)	66,3 (1,5)	33,4 (0,81)	73	41.3 (1.1)	48.6 (1.6)	30.6 (0.8)	68.9 (0.9)	47
Hg	39,1 (1,1)	6.2 (0.2)	5.2 (0.1)	6.7 (0.09)	1.9 (0.04)	3.1 (0.13)	1.0 (0.05)	9	I.L.	I.L.	I.L.	I.L.	

Fattore di Emissione di un impianto

• $(F.E.) (g/t) = (F.d.M.) (g/a) / (RSU) (t/a)$



capacity	Nm ³	6305.85
H ₂ O	Nm ³	567.52
CO ₂	Nm ³	430.15
O ₂	Nm ³	693.55
SO _x	g	15.36
NO _x	g	1062.20
CO	g	8.97
HCl	g	35.88
HF	g	2.02
NH ₃	g	9.83
Cd	mg	2.09
As	mg	3.25
Co	mg	5.83
Tl	mg	1.53
Hg	mg	92.11
Mn	mg	21.53
Pb	mg	270.42
Cr	mg	79.85
Ni	mg	11.06
Zn	mg	319.54
Cu	mg	47.32
PCDD	µg	0.21
PCB	µg	122.92
PAH	µg	491.64
Particulate	g	14.33

Pb	Cr	Cd	Ni	Cu	Hg	Be	Se	As	PCB	PCDF	PCDD	PAH
g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg	µg	µg	mg
61.56	9.77	2.74	3.87	11.61	0.024	0.023	0.012	0.023	24.65	37.6	37.6	90.73

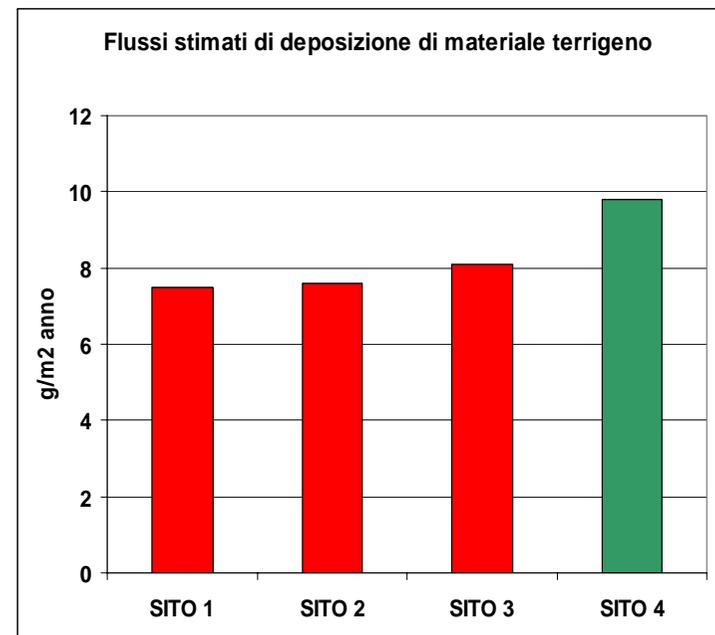
Pb	Cr	Cd	Ni	Cu	Hg	Be	Se	As	PCB	PCDF	PCDD	PAH
g	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	µg	µg	mg
388.02	11.66	7.96	8.58	231.99	0.309	0.085	0.036	0.016	1.449	<d.l.	<d.l.	90.73

EF-Fattore di arricchimento

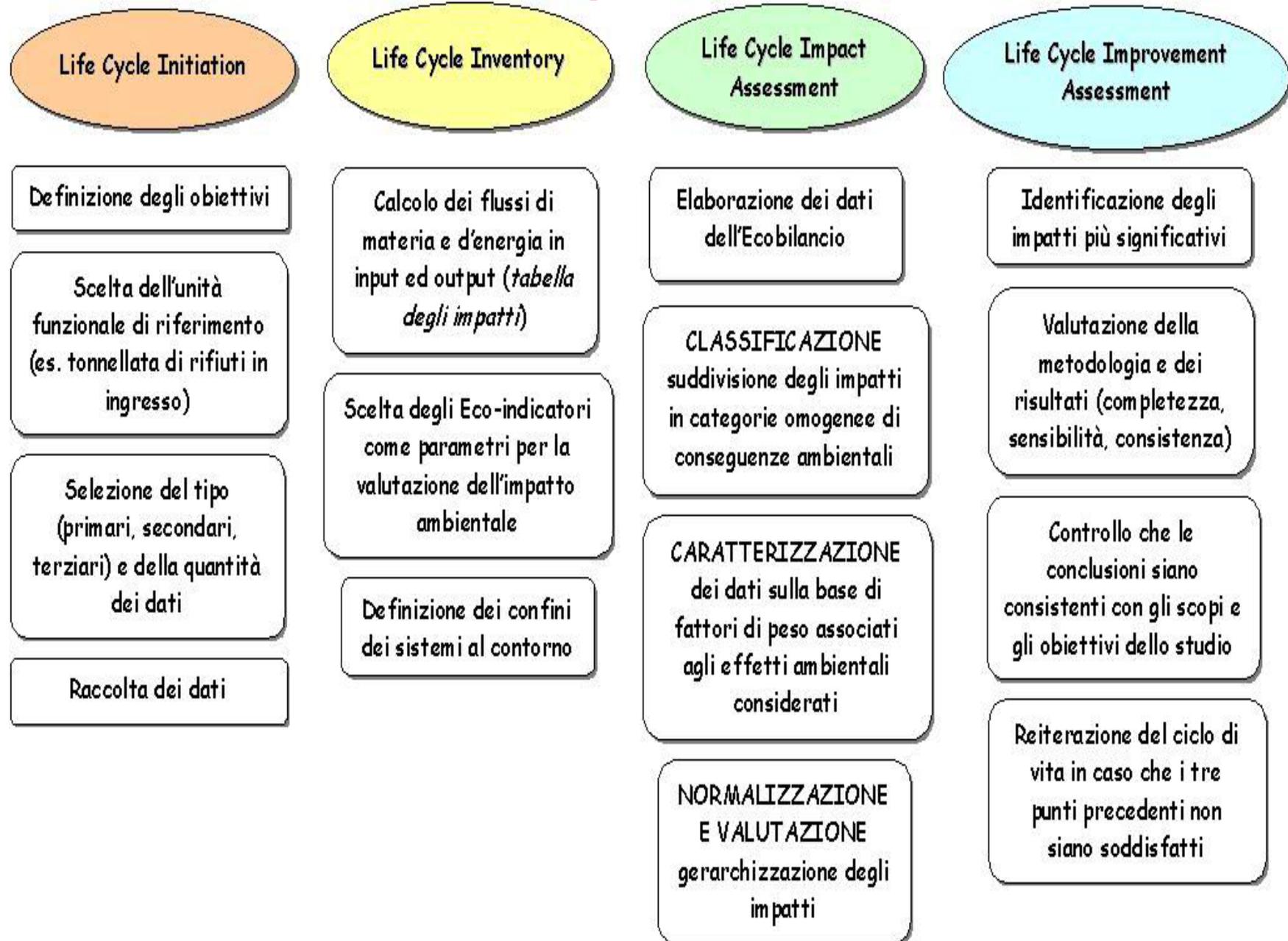
Contributo antropico al flusso di metalli pesanti tranne che per Ni, Mn, Cr, Co.

elemento	EF			
	SITO 1	SITO 2	SITO 3	SITO 4
As	140	83	109	37
Co	10	9	8	8
Cr	2	2	2	2
Cu	34	25	22	40
Hg	308	233	315	142
Mn	1	1	1	1
Ni	5	4	5	3
Pb	22	87	95	51
Sn	123	81	126	89
V	15	13	12	14
Zn	44	18	25	65

$$EF(M)_{\text{dep.atm.}} = \frac{(F.d.D_M / F.d.D_{AL})}{([M]_{\text{soil}} / [Al]_{\text{soil}})}$$



LCA – Life Cycle Assessment



LCA applicato ad un impianto di incenerimento

Confini del sistema

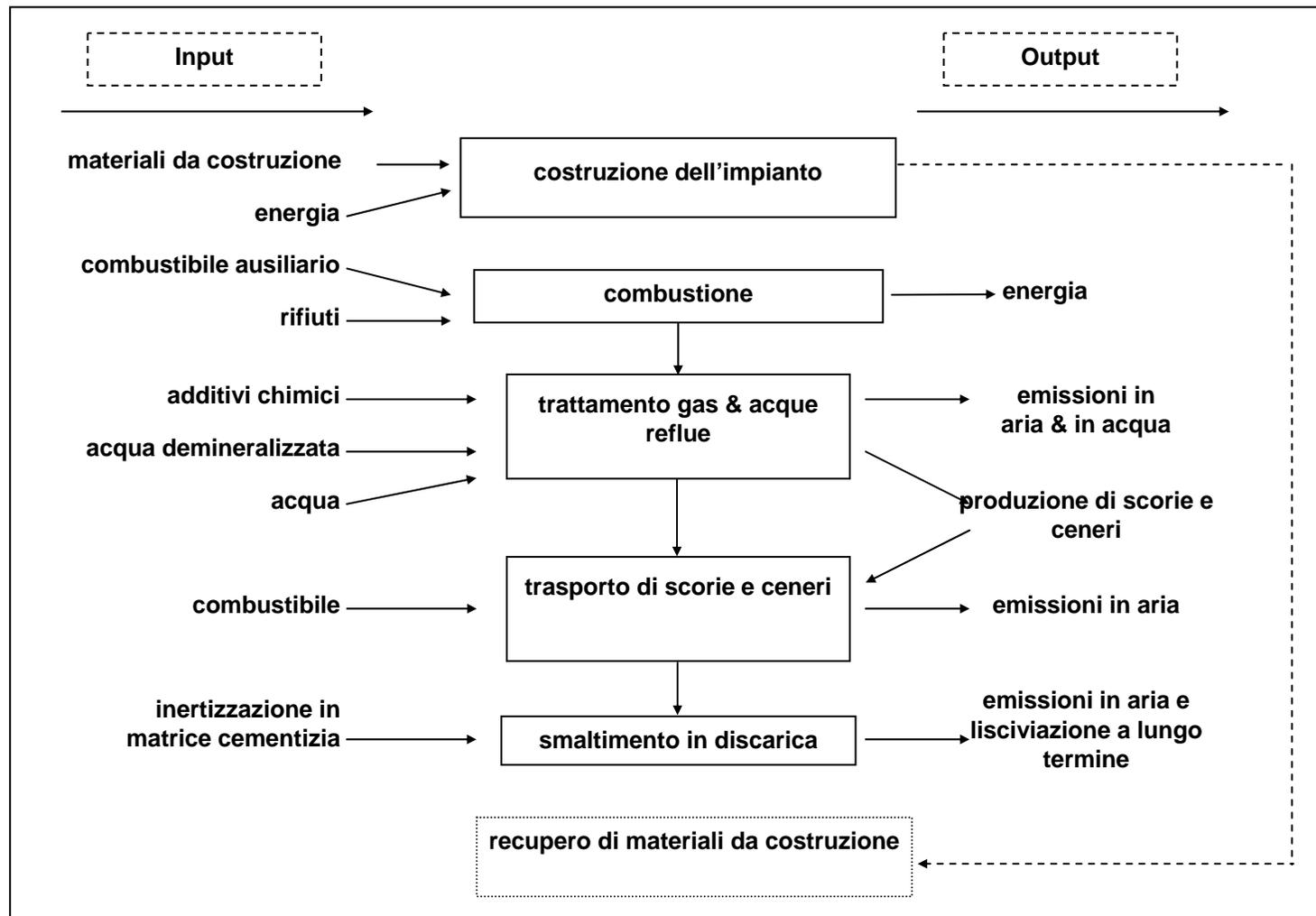


Tabella della valutazione degli impatti

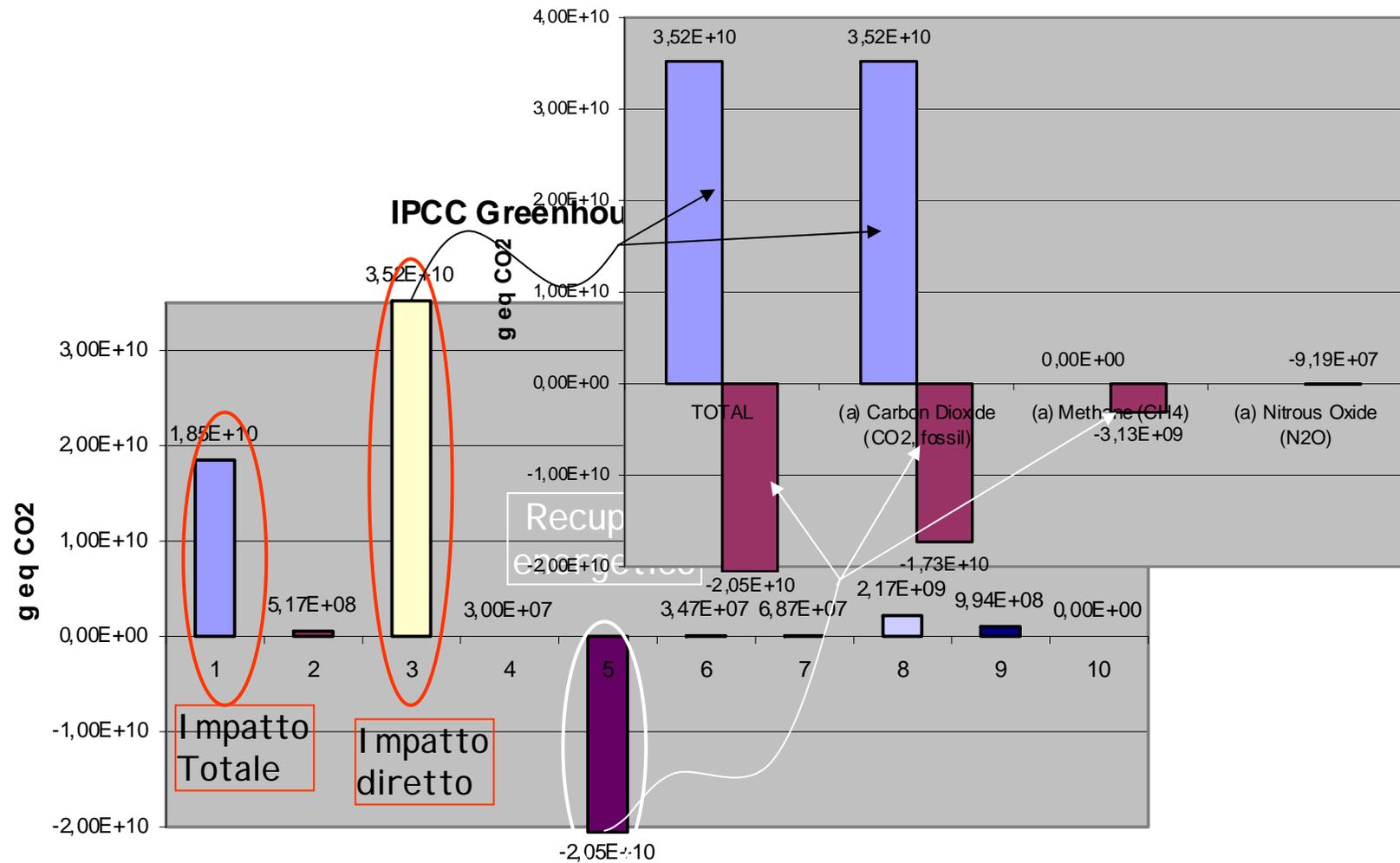
In **grassetto** sono segnati gli step che contribuiscono per più del 5% all'impatto della categoria collegata. In **blu** gli impatti evitati a causa del recupero energetico (il cui contributo è sempre > 5%), considerando il *mix energetico italiano*.

Esempio di un inceneritore di RSU:

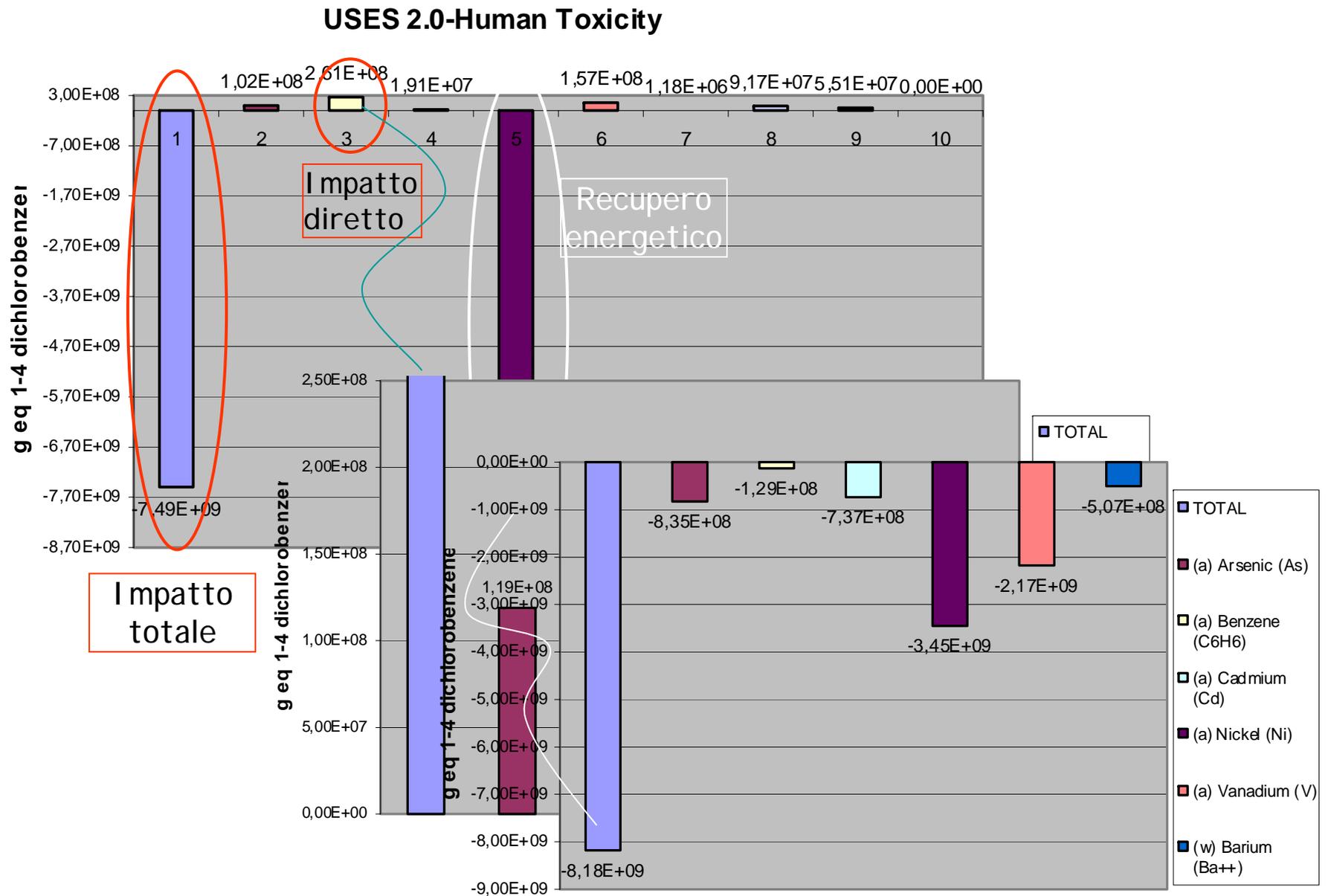
	Air acidification (g eq H ⁺)	Eutrophication (g eq PO ₄ ³⁻)	Depl. of non renewable res. (frac of riserve)	Global warming (g eq CO ₂)	Aquatic ecotoxicity (g eq 1-4 C ₆ H ₄ Cl ₂)	Terrestrial ecotoxicity (g eq 1-4 C ₆ H ₄ Cl ₂)	Sediment ecotoxicity (g eq 1-4 C ₆ H ₄ Cl ₂)	Human toxicity (g eq 1-4 C ₆ H ₄ Cl ₂)	Photochemical oxidant formation (g eq C ₂ H ₄)	Ozone depletion (g eq CFC-11)
Erection, demolition	1,65E+05	3,24E+05	4,80E-09	5,17E+08	8,50E+10	2,86E+06	4,20E+10	1,02E+08	3,87E+05	1,36E+02
Site direct impact	2,49E+06	1,40 E+07	0,00E+00	3,52E+10	3,33E+10	2,56E+08	1,73E+10	2,61E+08	3,89E+05	0,00E+00
Bottom ash	7,02E+03	3,65 E+04	5,82 E-11	3,00E+07	1,44E+11	1,43E+04	8,20E+10	1,91E+07	5,72E+04	1,35E+01
Energy recovery	-6,31E+06	-4,40 E+06	-2,66 E-08	-2,05E+10	-7,38E+12	-2,51E+08	-3,68E+12	-8,18E+09	-1,37E+07	-8,82E+03
Toxic waste	8,19E+03	4,04 E+04	8,10 E-11	3,47E+07	3,85E+11	9,08E+06	2,18E+11	1,57E+08	7,65E+04	1,18E+01
Energy generation	2,32E+04	3,98 E+04	1,82 E-10	6,87E+07	5,32E+08	7,15E+05	2,36E+08	1,18E+06	6,72E+04	8,39E-01
Gas cleaning	5,04E+05	1,41 E+06	6,38 E-09	2,17E+09	9,56E+10	2,08E+07	4,62E+10	9,17E+07	9,36E+05	4,62E+02
General pre-treatm.	2,70E+05	1,44 E+06	1,04 E-09	9,94E+08	7,38E+10	4,70E+05	3,46E+10	5,51E+07	1,42E+06	5,54E+02
Waste water treatm.	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Total	-2,86 E+06	1,29 E+07	-1,41 E-08	1,85E+10	-6,57E+12	3,89E+07	-3,24E+12	-7,49E+09	-1,03E+07	-7,64E+03

In **blu** e **rosso** sono distinti gli impatti ambientali totali **negativi** e **positivi**, rispettivamente.

Alcuni step che danno impatti **positivi**



Alcuni step che danno impatti evitati



Confronto tra diversi impianti di incenerimento di RSU in Emilia Romagna

Caratteristiche e condizioni operative:

Impianti

	A	B	C	D	E	F	G
Linee di incenerimento (L.)	L. 1-2-3	L. 1	L. 1-2	L. 1-2-3	L. 1-2-3	L. 1	L. 1-2
Età (anni)	32 (L.1, L.2); 31 (L.3)	29	29	29 (L.1, L.2); 14 (L.3)	25 (L.1, L.2); 9 (L.3)	12	3
Rifiuti inceneriti (t/y)	155,989	18,620	47,773	117,999	99,538	36,128	104,937
SNCR	–	–	√	√	√	√	√
Elettrofiltri	√	–	√	√	√	–	√
Filtri a maniche	–	√ (C attivi + NaHCO ₃)	√ (C attivi + calce)	√ (C attivi+ NaHCO ₃)	√ (C attivi + NaHCO ₃)	√ (C attivi + calce)	√ (C attivi+ NaHCO ₃)
Scrubber	acqua, NaOH, calce	acqua	acqua, NaOH	–	acqua	acqua	–
Comb. ausiliario (per tonn. di RSU)	Gas naturale: 4.02 Sm ³	Olio: 3.04 L	Gas naturale: 2.60 Sm ³	Gas naturale: 4.07 Sm ³	Gas nat.: 0.28 Sm ³ . Olio: 0.2 L	Olio: 0.90 L	Gas naturale: 1.43 Sm ³

Legenda: √ Tecnologie esistenti

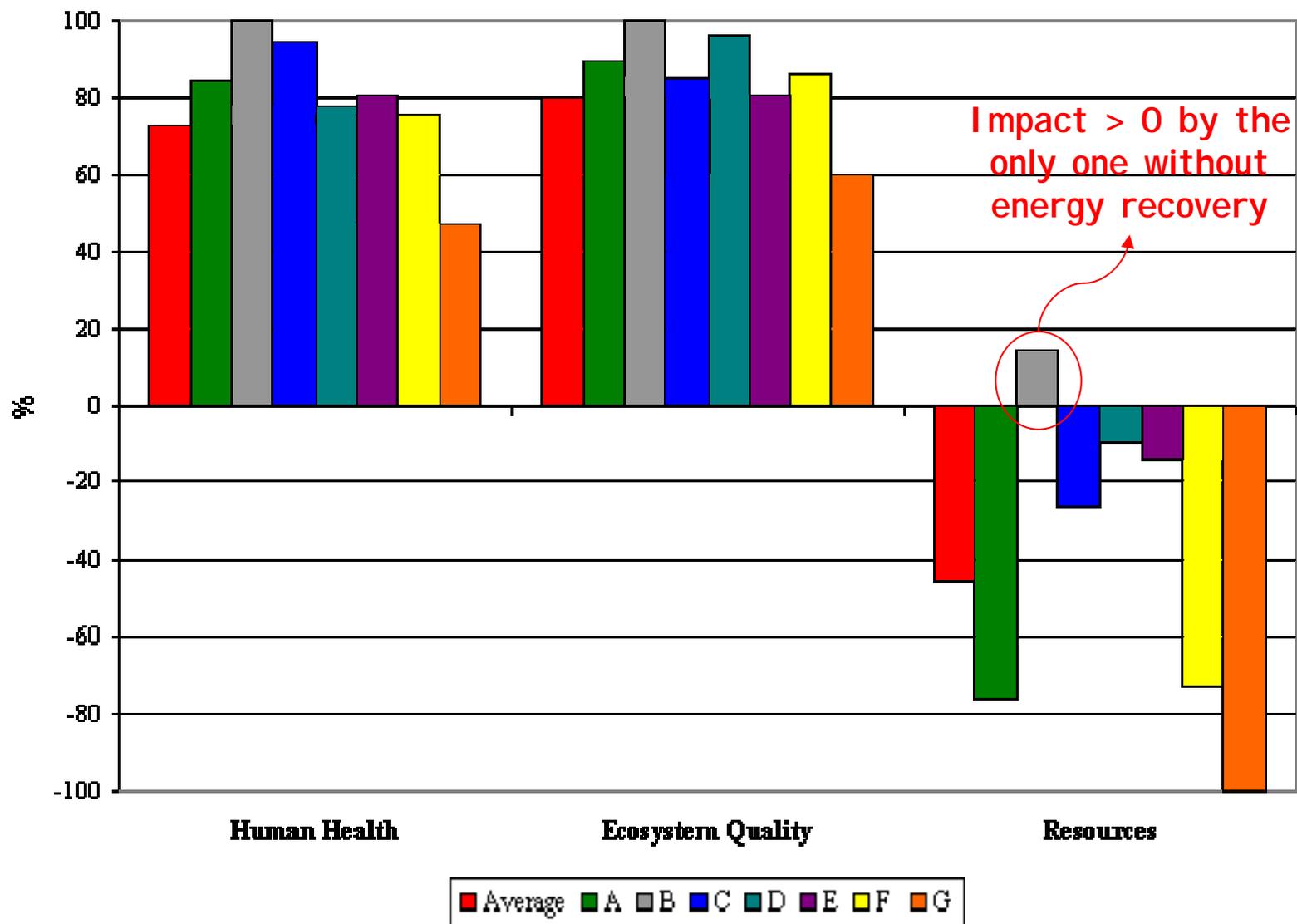
SNCR: Reattore selettivo non catalitico

Sm³: Metri cubi standard

36

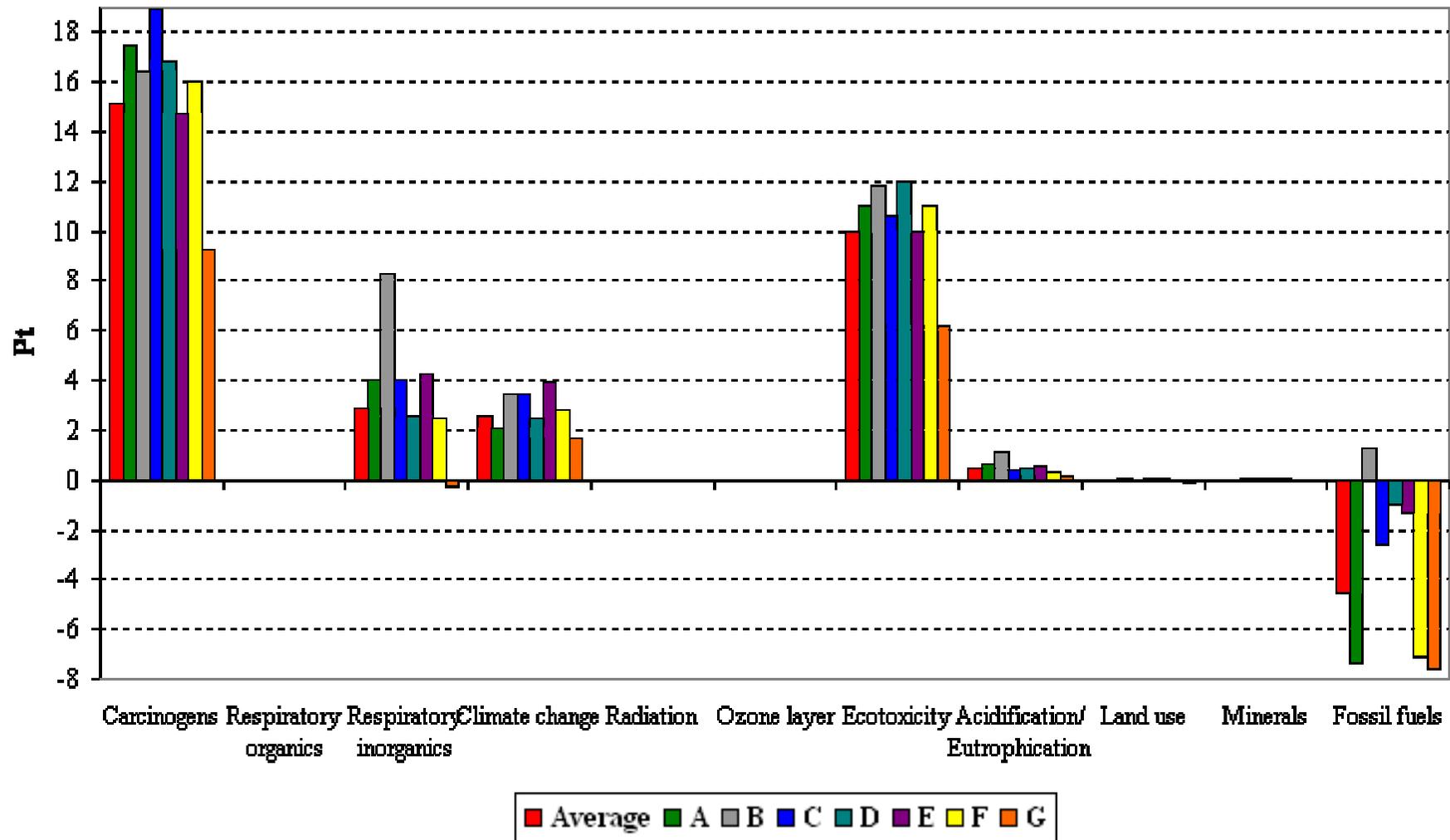
Confronto tra i diversi inceneritori

Valutazione del danno



Confronto tra i diversi inceneritori

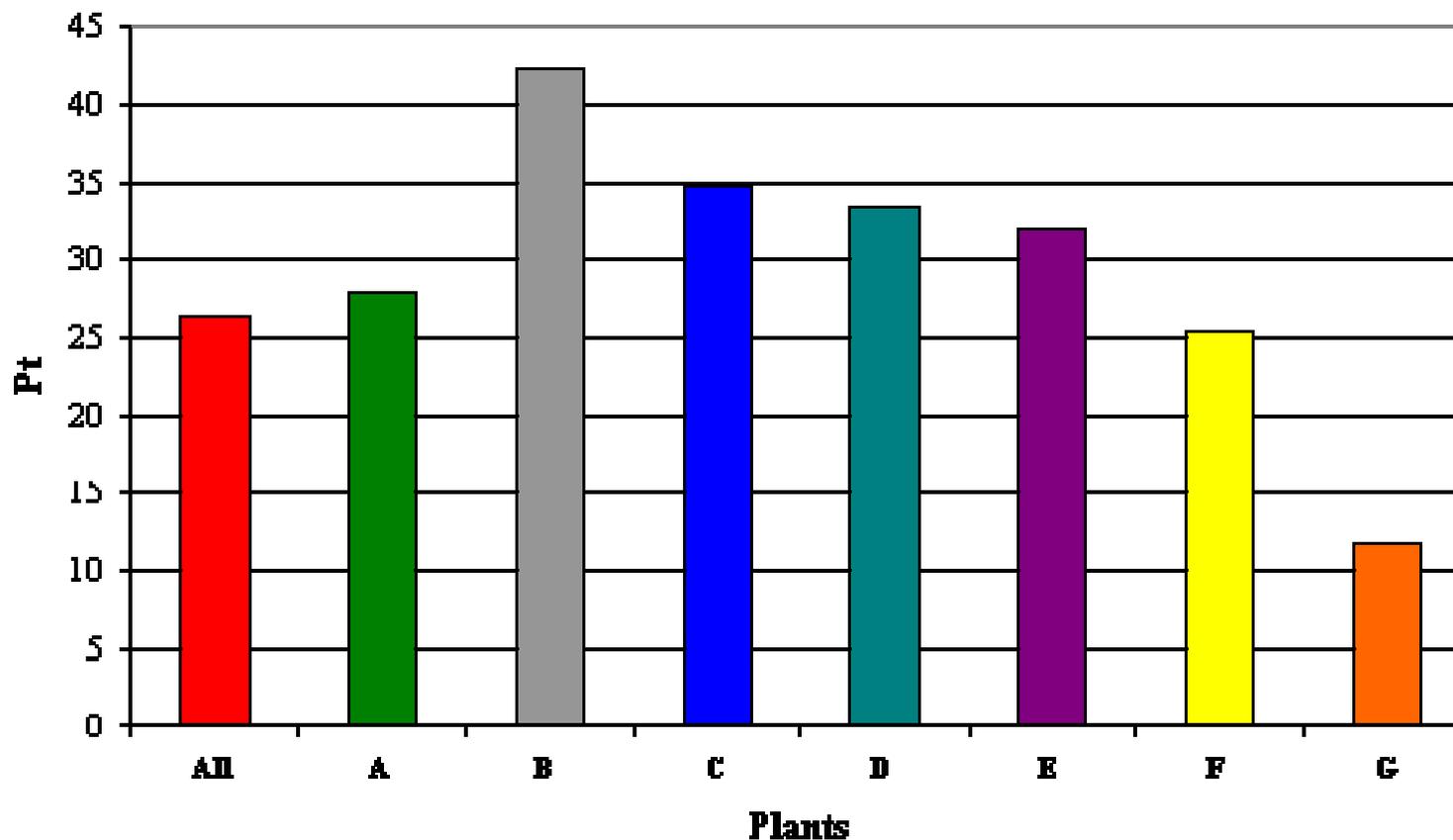
Singoli problemi ambientali influenzati dai diversi impianti di incenerimento



Pt è l'unità di misura del punteggio singolo fornita dal metodo Eco-indicator 99

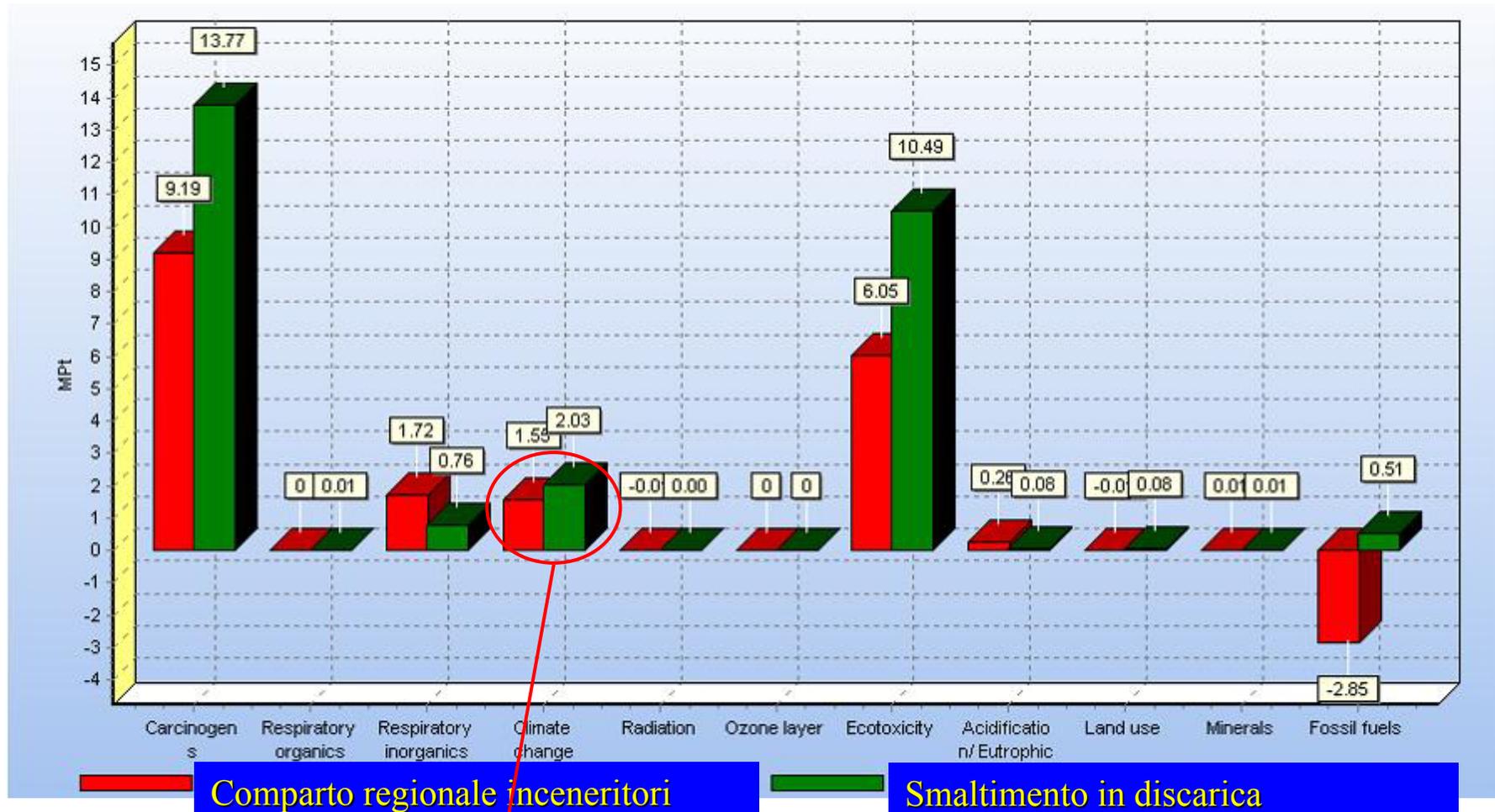
Confronto tra i diversi inceneritori

Punteggio finale dell'impatto ambientale di 1 tonn. di rifiuto incenerito dai diversi impianti



La prima barra si riferisce all'impatto medio, considerando tutti gli impianti.

Confronto Inceneritori / Discarica

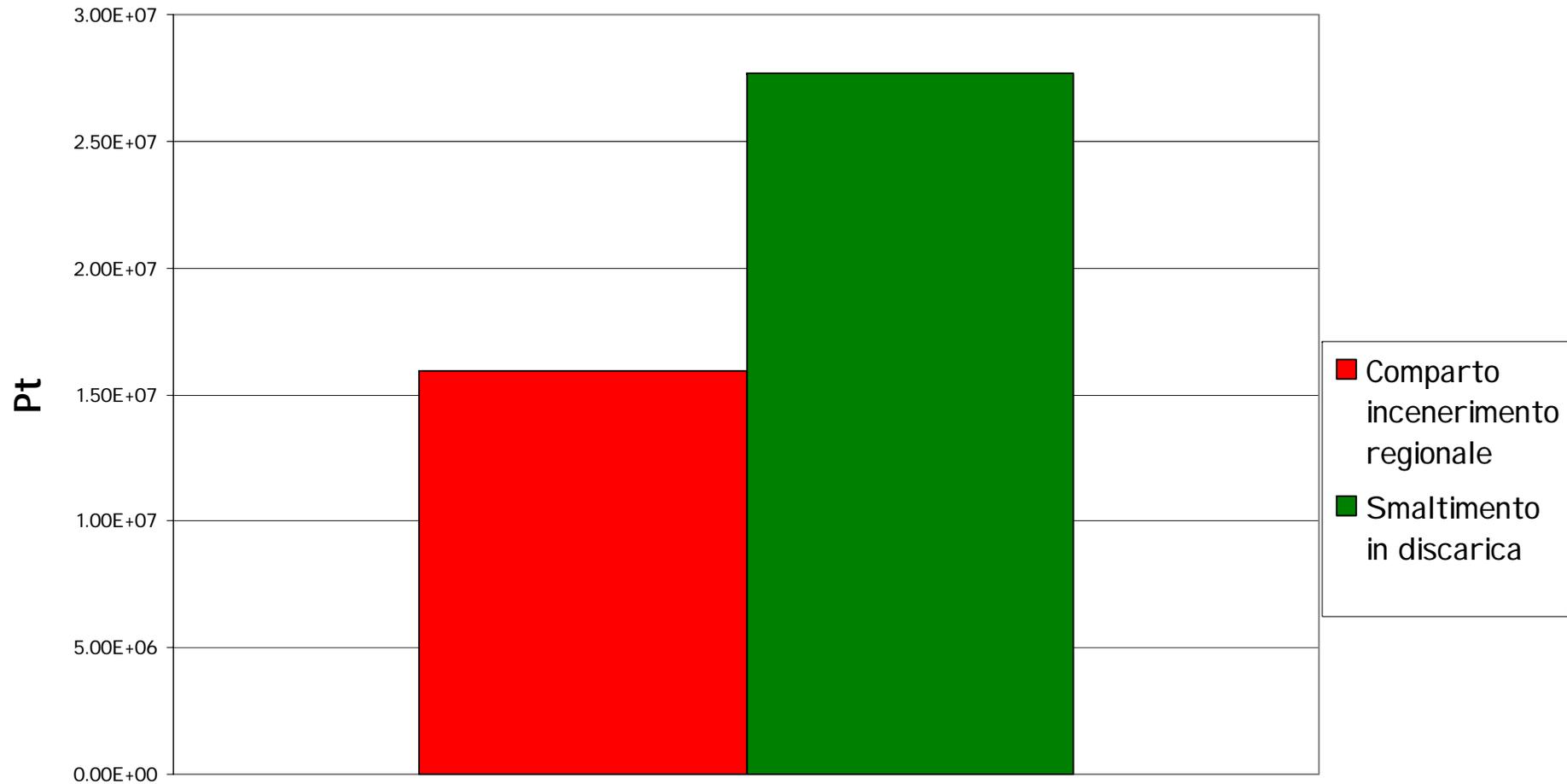


Emissioni diverse che inducono cambiamenti al clima

Sostanza	Comparto	Unità	Incenerimento	Discarica
CO ₂	Aria	DALY	59.16	20.375
Metano	Aria	DALY	-0.39	57.40
CO	Aria	DALY	0.0713	0.00112

Confronto Inceneritori / Discarica

Punteggio globale



Metodologia di analisi e valutazione del rischio per la salute della popolazione connesso al sistema di gestione dei rifiuti

DEFINIZIONE

"... Caratterizzazione dei potenziali effetti negativi per la salute umana e l'ambiente a seguito dell'esposizione ai pericoli ambientali" [NAS, 1983].



PRINCIPALI RIFERIMENTI

- ✓ US EPA, 2005, Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities.
- ✓ DEFRA, 2004, Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes.
- ✓ APAT, 2006, Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, Rev. 1.

PERFORMANCES del RISK ASSESSMENT:

LIVELLO AMMINISTRATIVO:

- ✓ Monitoraggio degli impatti;
- ✓ Metodologia di supporto alla pianificazione e gestione del territorio;
- ✓ Strumento integrante dei processi di VIA e VAS;

LIVELLO AZIENDALE

- ✓ Strumento per adottare decisioni trasparenti e sostenibili;
- ✓ Valutazione delle differenti strategie aziendali;
- ✓ Valutazione degli effetti di scenari alternativi;
- ✓ Localizzazione ottimale degli impianti;
- ✓ Certificazione aziendale;
- ✓ Comunicazione dei rischi.

PERCHE' HHRA:

"Sviluppo Sostenibile" (WCED)

↓
VI Programma di Azione Ambientale

↓
Sistema di Gestione Integrato dei Rifiuti
(LCA, LCI, Analisi Costi/Benefici, HHRA)

METODOLOGIA:

1. IDENTIFICAZIONE DEL PERICOLO

Verifica della possibile o reale presenza di uno o più agenti inquinanti ed identificazione dei possibili effetti avversi che possono cagionare

2. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Quantificazione della dose, ovvero della quantità, di agente inquinante che entra a contatto con l'organismo umano attraverso gli organi di scambio con l'ambiente (polmoni, pelle, intestino, ecc.), secondo specifici percorsi di esposizione, all'interno di uno specifico intervallo di tempo

3. RELAZIONE DOSE-RISPOSTA

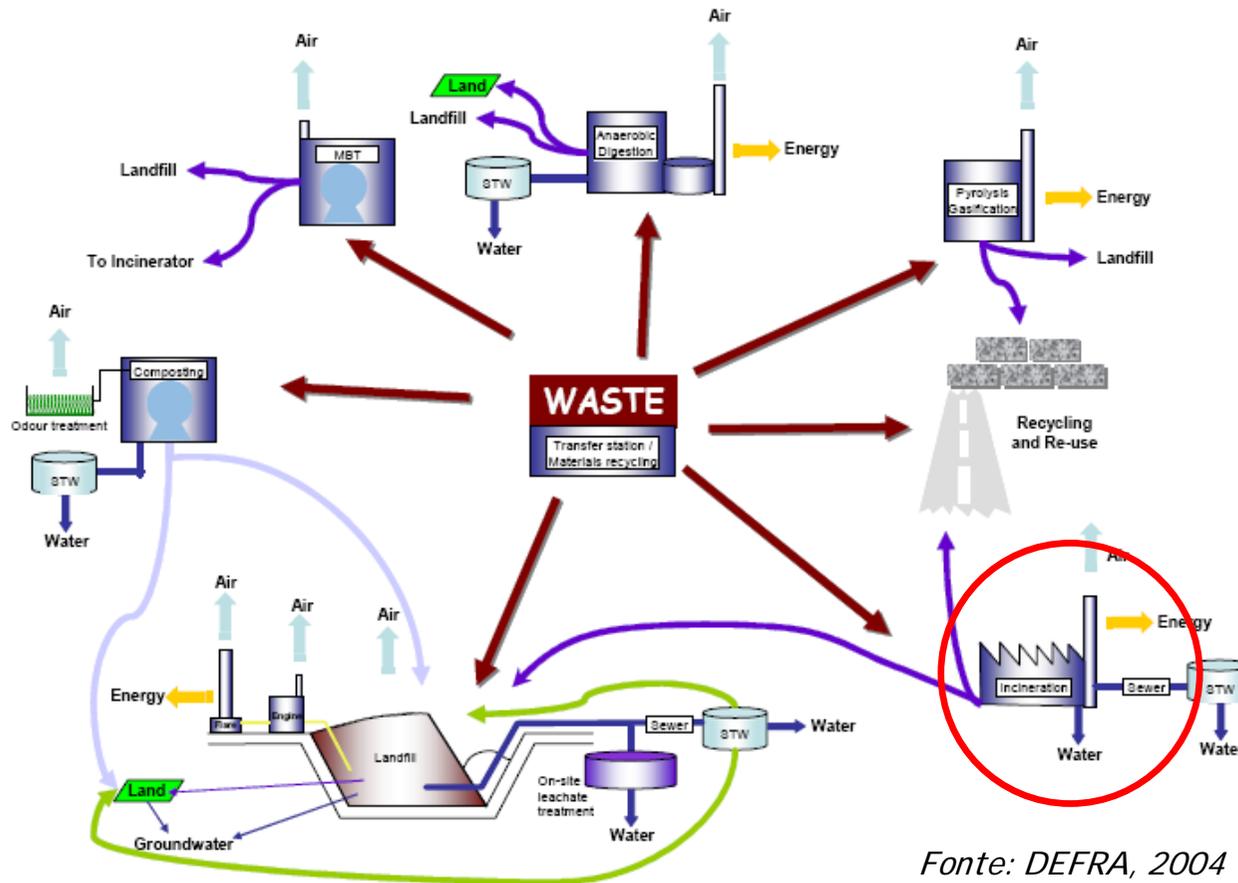
Stima della relazione esistente tra la dose di un agente chimico, o livello di esposizione ad una sostanza inquinante, con la probabilità di sviluppare degli effetti negativi

4. CARATTERIZZAZIONE DEL RISCHIO

Stima, a seguito di un pericolo identificato, della severità dell'impatto (facendo attenzione ad includere le incertezze), nonché valutazione dell'accettabilità del rischio e comunicazione dei risultati



Valutazione del rischio per la salute della popolazione connesso ad un impianto di incenerimento



Fonte: DEFRA, 2004



Progetto concluso nel giugno 2006



Definizione dello scenario di esposizione

Composti chimici di interesse

- con effetti tossici e cancerogeni:

Cd, Cr, Ni, Pb, Benzo(a)pirene, 2,3,7,8 TCDD

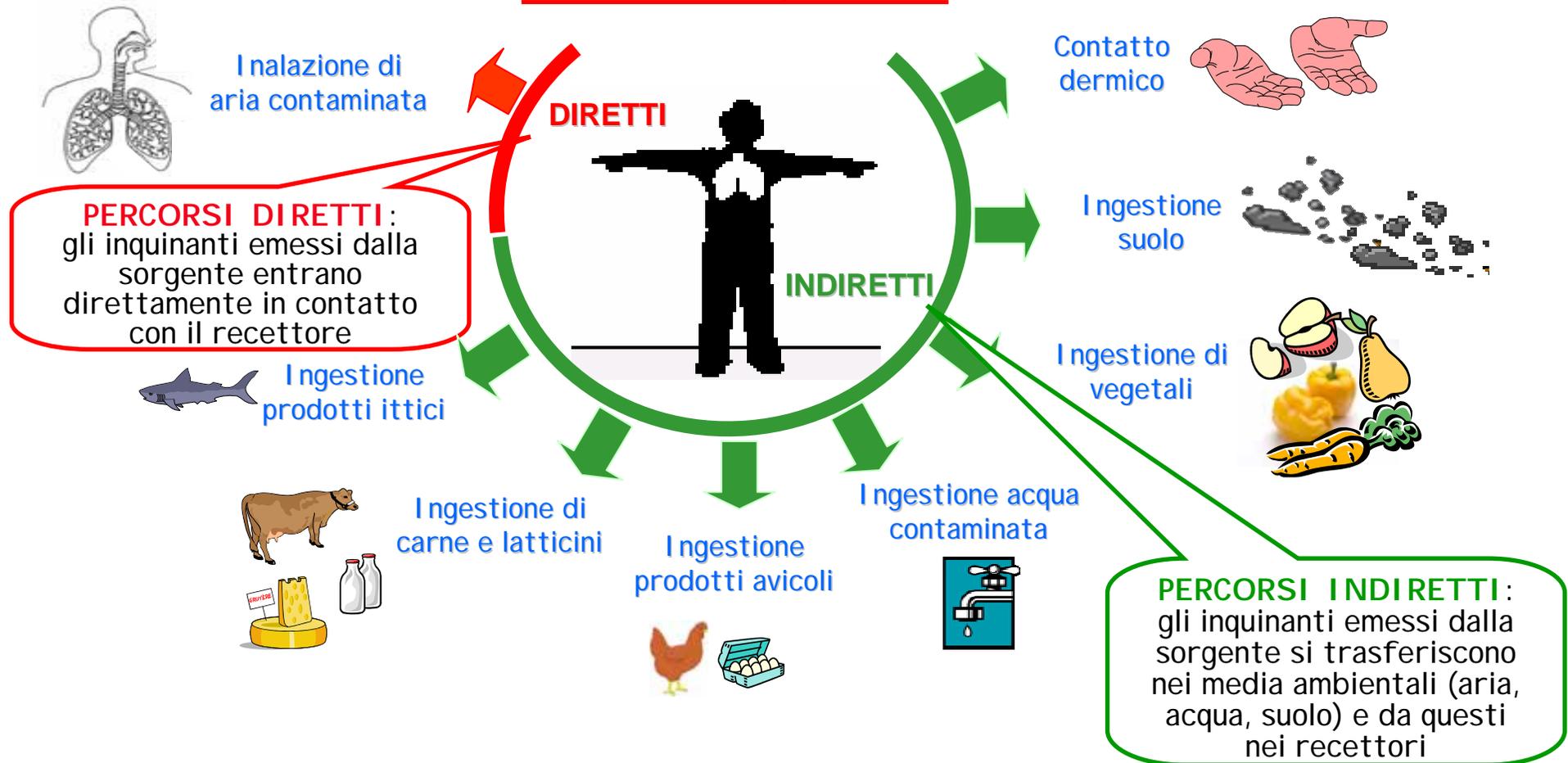
- con soli effetti tossici:

Hg, Mn, Zn

Caratterizzazione del recettore

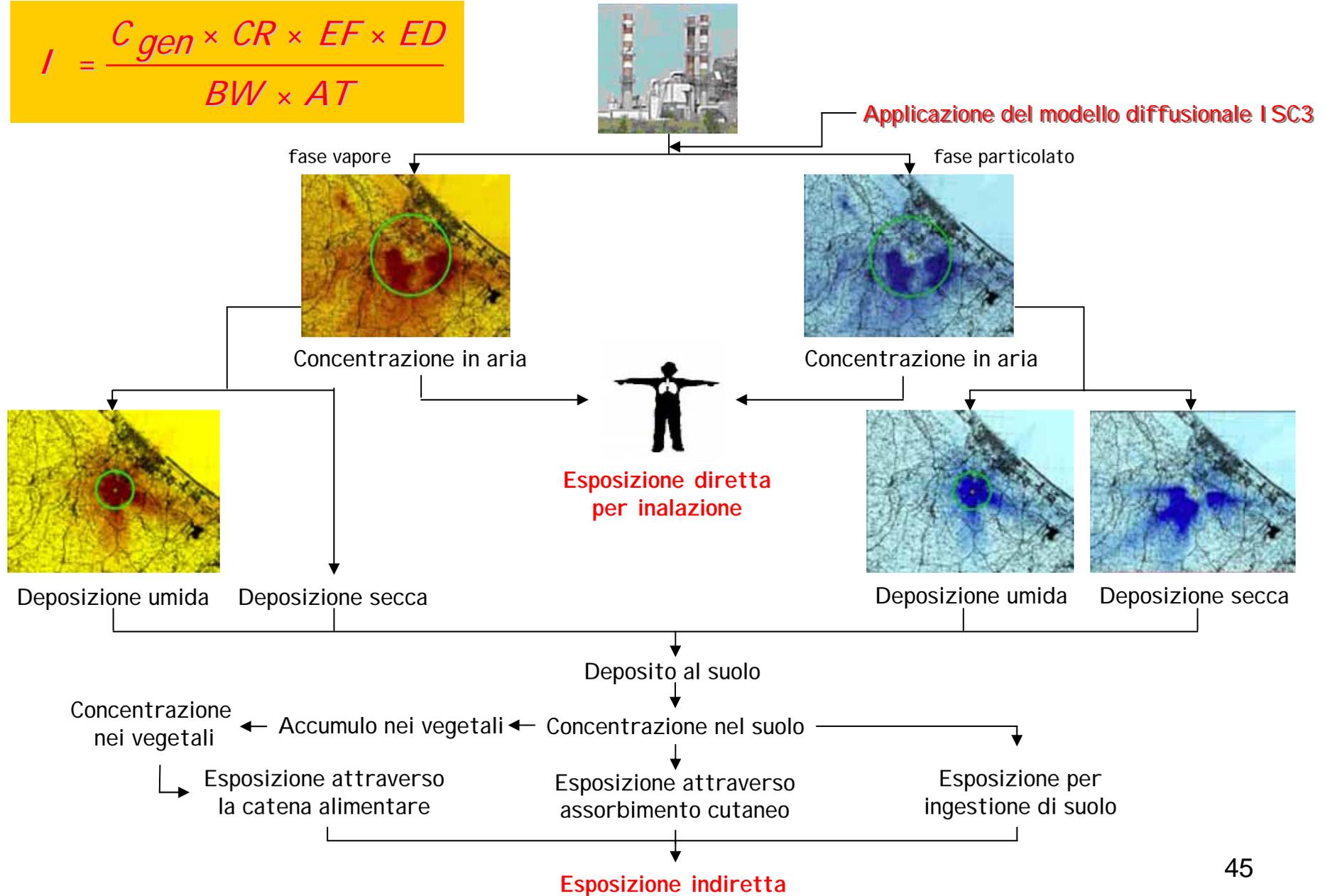
PARAMETRI :	Bambini	Adulti
Peso corporeo	15	70
Superficie corporea esposta	703	1815
Tempo di vita	6	30 - 70
Frequenza di esposizione	350	350
Durata di esposizione	6	30 - 70

Percorsi di esposizione



Valutazione dell'esposizione

$$I = \frac{C_{gen} \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$



Caratterizzazione del rischio: Sostanze tossiche

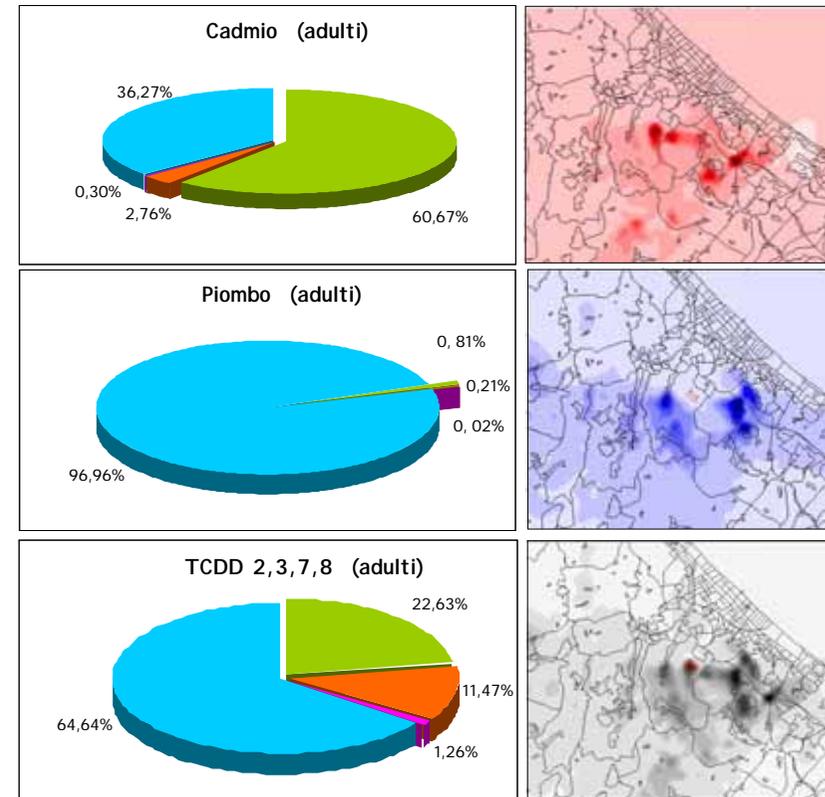
Contributo dei percorsi di esposizione:

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = I / \text{RfD}$$

Misura della magnitudo dell'esposizione a sostanze tossiche rispetto ai rispettivi livelli di esposizione standard (Rfd Reference Dose) a cui corrispondono effetti non negativi anche per le popolazioni deboli.

HQ < 1 non sussiste pericolo;
HQ > 1 esiste un pericolo

Accettabilità:



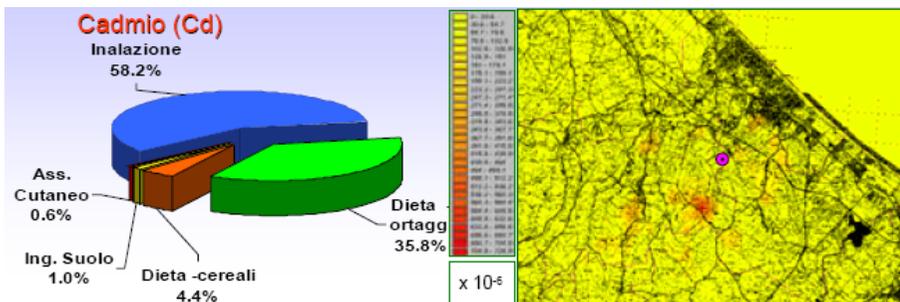
	Ingestione vegetali		Ingestione suolo		Contatto dermico		HQ INDIRECTO		HQ DIRETTO		HQ TOTALE	
	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti
Cd	1,10E-05	4,49E-06	1,90E-06	2,04E-07	2,69E-07	2,24E-08	1,32E-05	4,72E-06	4,53E-06	2,68E-06	1,77E-05	7,40E-06
Cr	1,51E-08	6,19E-09	2,55E-08	2,73E-09	3,61E-09	2,99E-10	4,42E-08	9,22E-09	5,65E-06	3,35E-06	5,69E-06	3,36E-06
Hg	2,22E-04	9,05E-05	2,41E-04	2,58E-05	3,41E-05	2,83E-06	4,97E-04	1,19E-04	1,96E-04	1,16E-04	6,93E-04	2,35E-04
Mn	1,09E-06	4,51E-07	5,32E-06	5,70E-07	7,53E-07	6,25E-08	7,16E-06	1,08E-06	2,44E-03	1,45E-03	2,45E-03	1,45E-03
Ni	3,71E-06	1,52E-06	5,05E-06	5,42E-07	7,16E-07	5,94E-08	9,48E-06	2,12E-06	6,56E-06	3,89E-06	1,60E-05	6,01E-06
Pb	7,36E-08	3,01E-08	7,40E-08	7,93E-09	1,05E-08	8,69E-10	1,58E-07	3,89E-08	6,19E-06	3,67E-06	6,35E-06	3,71E-06
Zn	1,21E-06	4,92E-07	2,40E-07	2,58E-08	3,40E-08	2,82E-09	1,48E-06	5,21E-07	3,10E-07	1,84E-07	1,79E-06	7,04E-07
IPA	5,87E-15	2,40E-15	4,38E-15	4,69E-16	6,20E-16	5,15E-17	1,09E-14	2,92E-15	5,65E-15	3,35E-15	1,65E-14	6,27E-15
PCDD	1,99E-06	8,13E-07	3,85E-06	4,12E-07	5,44E-07	4,52E-08	6,38E-06	1,27E-06	3,92E-06	2,32E-06	1,03E-05	3,59E-06

Caso studio di un Impianto di Incenerimento

Caratterizzazione del rischio (es. Cadmio).

EFFETTI TOSSICI

Contributo dei percorsi di esposizione - Quantificazione



Effetti tossici (HQ) - Accettabilità

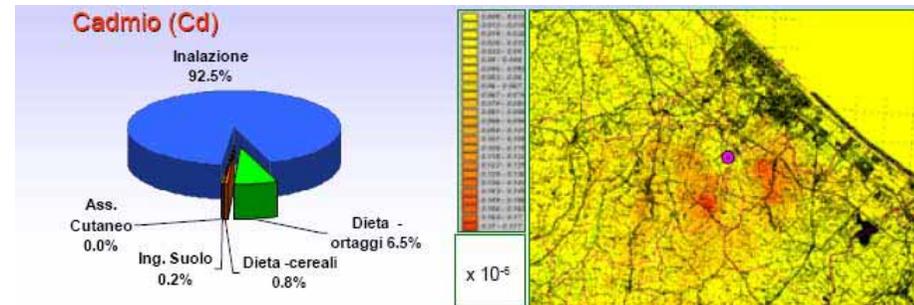
	Dieta ortaggi	Dieta cereali	Dieta Totale	Ing. suolo	Ass. cutaneo	Totale indiretti	Tot. Diretti (Inalazione)	TOT
Cadmio (Cd)								
Media	1,44E-05	1,78E-06	1,62E-05	4,10E-07	2,30E-07	1,68E-05	2,34E-05	4,02E-05
max	6,65E-04	3,03E-05	6,67E-04	1,13E-05	6,34E-06	6,68E-04	1,31E-04	7,51E-04
98° perc.	1,59E-04	1,08E-05	1,62E-04	2,72E-06	1,53E-06	1,62E-04	7,71E-05	1,35E-04

Accettabilità

HQ < 1 non sussiste pericolo;
 HQ > 1 esiste un pericolo

EFFETTI CANCEROGENI

Contributo dei percorsi di esposizione - Quantificazione



Effetti cancerogeni (ICR) - Accettabilità

	Dieta ortaggi	Dieta cereali	Dieta Totale	Ing. suolo	Ass. cutaneo	Totale indiretti	Tot. Diretti (Inalazione)	TOT
Cadmio (Cd)								
Media	2,23E-09	2,63E-10	2,50E-09	6,06E-11	5,64E-12	2,58E-09	3,16E-08	3,42E-08
max	1,03E-07	4,42E-09	1,04E-07	1,65E-09	1,54E-10	1,04E-07	1,77E-07	2,18E-07
98° perc.	2,45E-08	1,59E-09	2,49E-08	4,01E-10	3,74E-11	2,50E-08	1,04E-07	1,10E-07

Accettabilità

cancer risk < 1*10⁻⁶: *rischio trascurabile*
 1*10⁻⁶ < **cancer risk** < 1*10⁻⁴: *r. non trascurabile*
cancer risk < 1*10⁻⁴: *rischio elevato*

Studio e discussione dei risultati

- ☐ Sia per le sostanze tossiche che cancerogene l'esposizione diretta per inalazione risulta predominante su quella indiretta, soprattutto per il recettore adulto;
- ☐ Lo studio dei percorsi di esposizione indiretta sono quelli che maggiormente risentono dell'incertezza legata alla difficoltà di stima dei parametri di calcolo;
- ☐ Per Cr, Hg, Mn, Pb e TCDD2,3,7,8 le concentrazioni maggiori dell'Hazard Quotient non si registrano in corrispondenza dell'impianto ma nelle aree poste a E-S-E e O-S-O dello stesso, per poi decrescere nelle medesime direzioni;
- ☐ Per Cd, Ni e Zn le concentrazioni maggiori dell'Hazard Quotient si registrano, invece, proprio in prossimità dell'impianto e disegnano un plume con valori decrescenti in direzione E-S-E;
- ☐ Per quasi tutti gli inquinanti cancerogeni le concentrazioni maggiori si registrano in prossimità dell'impianto e decrescono prevalentemente in direzione ovest.

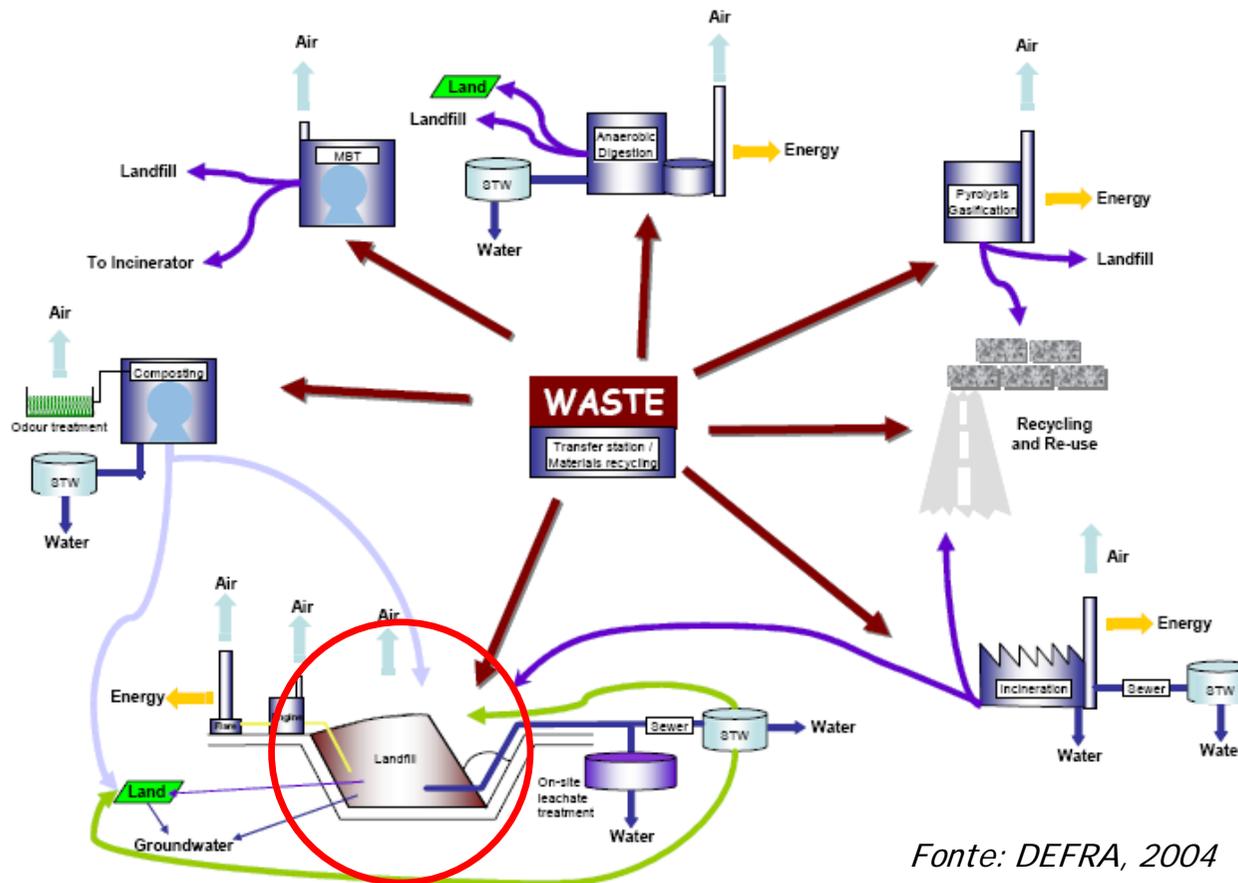
Nel caso in esame l'intera procedura di analisi è stata caratterizzata da un approccio estremamente conservativo giustificato dall'incertezza nella valutazione di molti parametri utilizzati.

PRINCIPALI INCERTEZZE RICONTRABILI:

- ✓ **Qualità delle informazioni disponibili** circa i processi di esposizione e le caratteristiche tossicologiche delle sostanze inquinanti.
- ✓ Grado di perizia con cui vengono **raccolte** e **utilizzate** le informazioni.
- ✓ **Variabilità dei parametri** utilizzati.
- ✓ **Scelta degli strumenti** per l'analisi e valutazione del rischio.



Valutazione del rischio per la salute della popolazione connesso ad un impianto di discarica



Progetto in fase di conclusione

Caratterizzazione del rischio - Sostanze cancerogene

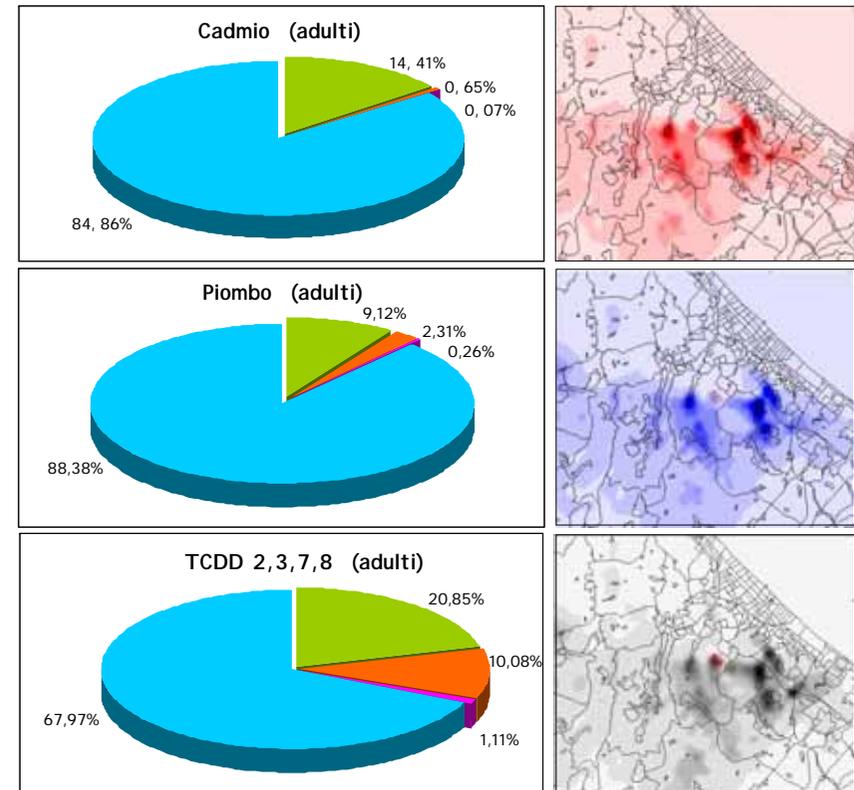
Contributo dei percorsi di esposizione:

$$\text{Individual Cancer Risk (ICR)} = I * \text{CSF}$$

Misura dell'aumento di probabilità che un singolo recettore umano ha di sviluppare il cancro nell'arco dell'intera durata della vita, in seguito all'esposizione ad agenti chimici cancerogeni

cancer risk $< 1 \cdot 10^{-6}$: *rischio trascurabile*
 $1 \cdot 10^{-6} < \text{cancer risk} < 1 \cdot 10^{-4}$: *non trascurabile*
 cancer risk $< 1 \cdot 10^{-4}$: *rischio elevato*

Accettabilità:



	Ingestione vegetali		Ingestione suolo		Contatto dermico		ICR INDIRETTO		ICR DIRETTO		ICR TOTALE	
	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti	bambini	adulti
Cd	3,52E-09	1,44E-09	6,04E-10	6,48E-11	8,56E-11	7,10E-12	4,21E-09	1,51E-09	1,43E-08	8,45E-09	1,85E-08	9,96E-09
Cr	2,76E-09	1,13E-09	4,37E-09	4,68E-10	6,18E-10	5,13E-11	7,75E-09	1,65E-09	8,35E-08	4,95E-08	9,13E-08	5,12E-08
Ni	1,11E-07	4,55E-08	1,44E-07	1,54E-08	2,03E-08	1,69E-09	2,75E-07	6,26E-08	1,19E-07	7,08E-08	3,94E-07	1,33E-07
Pb	2,33E-10	9,55E-11	2,25E-10	2,42E-11	3,19E-11	2,65E-12	4,91E-10	1,22E-10	1,56E-09	9,25E-10	2,05E-09	1,05E-09
IPA	1,90E-13	7,78E-14	1,38E-13	1,48E-14	1,95E-14	1,62E-15	3,48E-13	9,42E-14	6,91E-14	4,10E-14	4,17E-13	1,35E-13
PCDD	1,04E-09	4,27E-10	1,93E-09	2,07E-10	2,73E-10	2,27E-11	3,25E-09	6,57E-10	2,35E-09	1,39E-09	5,60E-09	5,05E-09



Laboratorio Integrato Tecnologie e Controllo Ambientale nel Ciclo di vita dei Rifiuti
Progetto Regionale a Rete PRRIITT Emilia Romagna

Responsabile Scientifico: *Prof. Luciano Morselli*
Università di Bologna-Polo di Rimini

Sede del laboratorio: ARPA – Sede Provinciale di Rimini

Nuovo personale per attività di ricerca ed innovazione:

49 anni persona, di cui 29 di ricercatori di nuova assunzione

Partecipanti: 12

Manifestatori d'interesse: 9

Sponsor: 16

www.litcar.it





UNIVERSITÀ DI BOLOGNA – POLO DI RIMINI
FACOLTÀ DI CHIMICA INDUSTRIALE
CORSO DI LAUREA IN TECNOLOGIE CHIMICHE
PER L'AMBIENTE E PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI



Diventa protagonista
dello sviluppo sostenibile

- ◆ Summer School:
Waste Recovery:
Recycling and Waste to
Energy
- ◆ Conferenze di
Ambiente
- ◆ Giornate dimostrative
Invito alla Chimica,
invito all'Ambiente
- ◆ Seminari di
ECOMONDO

EDUCATION E FORMAZIONE IN CAMPO AMBIENTALE E SULLA GESTIONE DEI RIFIUTI

***“LA CHIMICA E LE TECNOLOGIE CHIMICHE PER COMPRENDERE I PROCESSI CHE INTERVENGONO
NELL'AMBIENTE E NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI,
PER MEGLIO VALORIZZARE RISORSE, STUDIARE E PREVENIRE GLI IMPATTI E
FORMARE UNA NUOVA CLASSE DI TECNICI”***

- Corso di Laurea di 1° livello

Tecnologie Chimiche per l'Ambiente e per la Gestione dei Rifiuti

- Lauree Specialistiche

Polo di Rimini (in statuto non attivata)

Tecnologie Chimiche e Certificazione Ambientali

Bologna - Facoltà di Chimica Industriale

Prodotti, materiali e processi per la Chimica Industriale

- Corso di Alta Formazione

Tecnologie e Controllo Ambientale nel Ciclo dei Rifiuti

- Laboratorio di Ricerca a Rete Regionale **LITCAR**

**6 ANNI
DI ATTIVITA'**

www.polorimini.unibo.it



Luciano Morselli e Collaboratori

www.morselli.fci.unibo.it

Mail: morselli@fci.unibo.it