

**METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DELLE MISURE DI CONFRONTO DI
RADIOISOTOPI NEI PRINCIPALI COMPONENTI AMBIENTALI.
MISURE DI SPETTROMETRIA GAMMA.**

Prof. Piero Masini ⁽¹⁾, Ing. Maria Romano ⁽¹⁾, Ing. Giovanni Micunco ⁽²⁾ Ing. Mariano Sorbo ⁽²⁾
Ing. Francesco Salvatore ⁽³⁾, Ing. Renato Pavia ⁽⁴⁾,

⁽¹⁾ Politecnico di Bari – D.I.A.C. - Via E. Orabona, 4 – 70125 - Bari

⁽²⁾ Comando Prov.le VV.F. – Bari – Via Tupputi, 52 – Bari

⁽³⁾ Comando Prov.le VV.F. – Taranto

⁽⁴⁾ Libero Professionista

m.romano@poliba.it

SOMMARIO

La valutazione dell'inquinamento ambientale dovuta ad eventuali esplosioni in centrali elettronucleari ed alla conseguente dispersione di sostanze radioattive, ad incidenti nel trasporto delle suddette sostanze, alla manipolazione di preparati di natura radiologica in ambienti clinici per diagnosi e terapie, risulta di fondamentale importanza nella definizione del processo decisionale - operativo di intervento che consenta di garantire e tutelare nell'immediato, l'interesse pubblico generale.

Infatti, vi sono indagini nell'ambito del soccorso tecnico urgente alle popolazioni, in cui il processo evolutivo implica ed impone un processo decisionale operativo con carattere di immediatezza a salvaguardia della pubblica incolumità, della preservazione dei beni, e della tutela dell'ambiente. In tali circostanze l'efficacia e l'efficienza del processo decisionale, a fronte del processo evolutivo, dipende totalmente o quasi dalle informazioni disponibili in tempo reale. Pertanto, si evidenzia l'opportunità di individuare un obiettivo di ricerca o comunque un approfondimento che rivesta carattere di interesse scientifico, finalizzato alla determinazione dei valori di concentrazioni delle diverse matrici ambientali di radioisotopi, utilizzabili quali riferimento nelle situazioni di emergenza succitate.

In tale ottica nasce l'esigenza di ricondurre l'insieme discreto di un processo di misurazione in una o più misure rappresentative e significative in un intervallo di incertezza ritenuto accettabile.

Nel presente lavoro si intende verificare se un insieme finito di misure di spettrometria gamma su matrici ambientali diverse, effettuate in luoghi diversi, è interpolabile da una misura quali - quantitativa tale da rappresentare, a meno del prefissato scostamento, la misura di confronto dell'inquinamento radioattivo del singolo componente ambientale per una zona di interesse di estensione più o meno grande.

Si è inteso, pertanto, effettuare una serie di misurazioni di concentrazione indicative della contaminazione relativa alle principali matrici ambientali: aria, suolo, vegetazione, acqua e latte bovino.

I radionuclidi sono stati scelti in funzione delle zone preferenziali di localizzazione nel corpo umano. Tiroide: Iodio 131; Intestino: Rutenio 106, Cerio 144; Organi riproduttivi: Iodio 131, Cesio 134; Muscoli: Rutenio 103, Rutenio 106, Iodio 131, Cesio 134, Cesio 137; Polmoni: Rutenio 106, Iodio 131, Cesio 134, Cerio 144; Midollo osseo: Cesio 134

Pertanto, dal punto di vista numerico, per zone più o meno estese, le misure ottenute sono state raccolte sotto forma di vettori numerici, ognuno rappresentativo delle concentrazioni dei radioisotopi nei vari componenti ambientali. Dal punto di vista grafico i risultati verranno sintetizzati in curve di isoconcentrazione riportate sulla cartografia del territorio di applicazione.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del soccorso tecnico urgente alle popolazioni, derivante da una situazione di emergenza di inquinamento ambientale, in cui il processo evolutivo implica ed impone un processo decisionale operativo con carattere di immediatezza si evidenzia l'opportunità di poter determinare dei valori di concentrazioni delle diverse matrici ambientali di radioisotopi, utilizzabili quali riferimento.

Il presente lavoro si pone essenzialmente il seguente obiettivo:

“verificare se una certa zona di interesse del Territorio della Provincia di Bari è caratterizzato da un fondo radioattivo distribuito uniformemente, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, tale che alla stessa zona possa assegnarsi una precisa proprietà ambientale”.

Il predetto obiettivo, tradotto in termini numerici, equivale a verificare l'esistenza di vettori numerici rappresentativi delle concentrazioni medie di ogni singolo isotopo considerato e per ogni componente ambientale, affetti da uno scostamento percentuale non superiore al 20 %.

2. APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA

Il territorio di applicazione della metodologia è quello relativo ai comuni della provincia di Bari ed i punti di prelievo dei campioni sono stati scelti in funzione della possibilità di individuare un percorso della catena biologica, che partendo dalla fase di deposizione dell'inquinante arrivi alla contaminazione della specie umana mediante processi di esposizione, inalazione ed ingestione, anche di specifici alimenti.

Un siffatto percorso si realizza, in particolare, nelle aziende agricole ancora dedite all'allevamento del bestiame per la produzione di carni e latte.

Zona di interesse

Le misurazioni sono state eseguite in aziende agricole ancora dedite all'allevamento del bestiame site nei comuni di

1. Noci (sito 1)
2. Turi (sito 2)
3. Spinazzola (sito 3)
4. Altamura (sito 4)
5. Andria (sito 5)

I componenti ambientali di interesse:

Le misurazioni sono state eseguite sulle matrici ambientali

1. acqua,
2. aria,
3. erba,
4. terreno e
5. latte.

I radioisotopi di interesse:

Nelle misurazioni sono stati conteggiati gli impulsi dei radioisotopi

1. Am^{241} ,
2. Ru^{103} ,
3. Ru^{106} ,
4. Ce^{144} ,
5. Cs^{134} ,
6. Cs^{137} ,
7. I^{131} .

I metodi di calcolo

Sono stati utilizzati due metodi:

1. il metodo statistico
2. il metodo della sottrazione degli spettri.

La strumentazione

L'attività è stata valutata mediante misure di spettrometria gamma con l'utilizzo del rivelatore allo ioduro di sodio attivato al tallio NaI(tl) da 2" collegato ad un multicanale Silena Cato 2048 canali.

Per la calibrazione in energia ed efficienza è stato utilizzato un filtro ad 11 picchi ed una lozione in beaker di Marinelli anch'essa di 11 picchi distribuiti nel range di energia 88 Kev – 1836 Kev.

Per il filtraggio dell'aria è stato utilizzato un gruppo di aspirazione munito di contaltri.

I dati

Nel metodo di calcolo statistico i dati sono stati raccolti in tabelle ordinate per isotopi (righe) e per matrice ambientale (colonne), come riportato, a titolo di esempio in tabella n. 1, nonché in tabelle ordinate per isotopi (righe) e per sito (colonne), come riportato, a titolo di esempio in tabella n. 2.

Radioisotopo	Acqua	Aria	Erba	Latte	Terreno
	[Bq/Kg]	[Bq/m ³]	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]
Am ²⁴¹	1,91	0,10	27,46	1,88	82,26
Ce ¹⁴⁴	1,27	0,13	32,65	3,20	96,16
Ru ¹⁰⁶	0,45	0,48	20,67	1,16	31,91
Cs ¹³⁴	3,34	1,14	75,16	5,01	142,32
Ru ¹⁰³	0,30	3,19	80,59	5,07	441,05
I ¹³¹	0,29	0,87	70,11	5,50	294,45
Cs ¹³⁷	0,03	0,04	9,03	0,81	18,12

Radioisotopo	Noci	Turi	Spinazzola	Altamura	Andria
	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]	[Bq/Kg]
Am ²⁴¹	0,18	0,07	0,14	0,10	0,05
Ce ¹⁴⁴	0,29	0,20	0,22	0,13	0,15
Ru ¹⁰⁶	0,55	0,30	0,48	0,48	0,13
Cs ¹³⁴	1,74	1,42	1,33	1,14	0,75
Ru ¹⁰³	6,94	2,60	3,14	3,19	0,65
I ¹³¹	1,76	0,55	1,28	0,87	0,08
Cs ¹³⁷	0,14	0,02	0,03	0,04	0,04

Elaborazione dei dati

Sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra i vettori numerici rappresentativi delle concentrazioni dei singoli radioisotopi e per componente ambientale, come riportato nella tabella n. 3, a titolo di esempio per la componente ambientale aria.

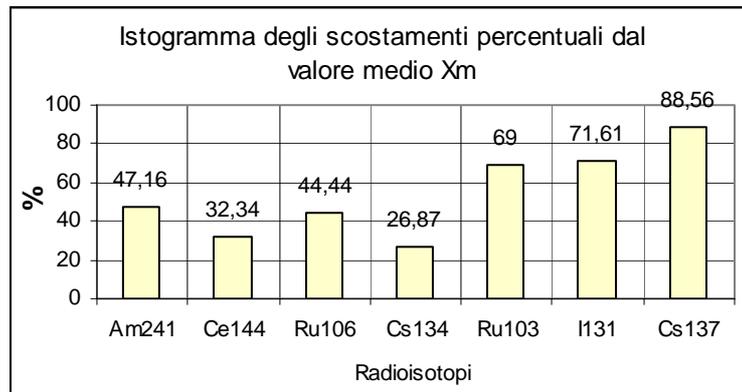
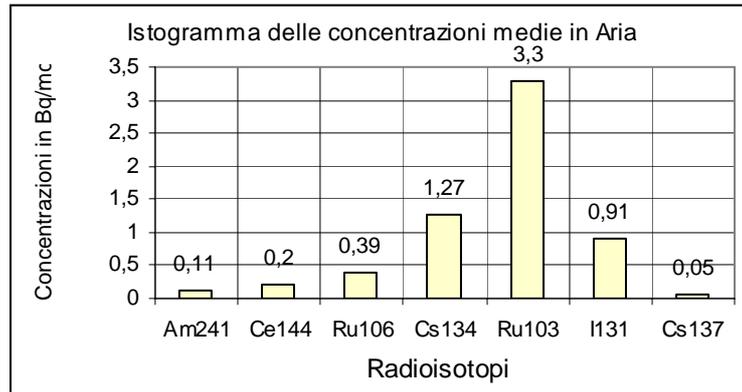
	r1	r2	r3	r4	r5
r1	1,00	0,95	0,98	0,99	0,69
r2		1,00	0,97	0,97	0,88
r3			1,00	0,99	0,75
r4				1,00	0,75
r5					1,00

Sono stati calcolati i vettori numerici Xm rappresentativi del valore medio (μ) delle concentrazioni dei singoli isotopi delle singole matrici ambientali e lo scostamento percentuale per 1σ (deviazione standard), come riportato in Tabella n. 4, a titolo di esempio per la matrice ambientale aria.

Am ²⁴¹	μ	σ	Unc %
0,18	0,11	0,05	47,16
0,07			
0,14			
0,10			
0,05			

Concentrazione medie e scostamenti percentuali

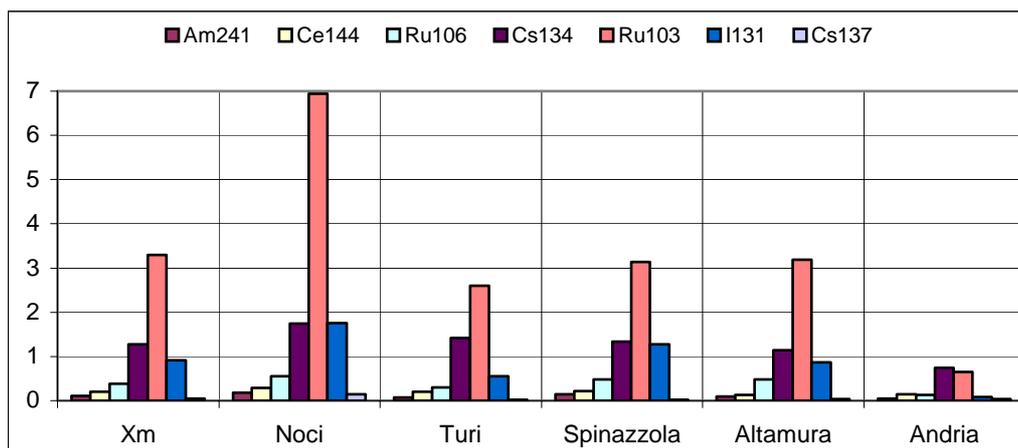
Isotopo	Valore medio delle concentrazioni	Scostamento percentuale
Am ²⁴¹	0,11	47,16
Ce ¹⁴⁴	0,20	32,34
Ru ¹⁰⁶	0,39	44,44
Cs ¹³⁴	1,27	26,87
Ru ¹⁰³	3,30	69,00
I ¹³¹	0,91	71,61
Cs ¹³⁷	0,05	88,56



I vettori numerici medi Xm sono stati correlati per singola componente ambientale con i vettori numerici delle concentrazioni reali e rappresentati in forma grafica con istogrammi.

Matrice ambientale Aria - Xm

Radioisotopo	Xm [Bq/m ³]	Noci [Bq/m ³]	Turi [Bq/m ³]	Spinazzola [Bq/m ³]	Altamura [Bq/m ³]	Andria [Bq/m ³]
Am ²⁴¹	0,11	0,18	0,07	0,14	0,10	0,05
Ce ¹⁴⁴	0,20	0,29	0,20	0,22	0,13	0,15
Ru ¹⁰⁶	0,39	0,55	0,30	0,48	0,48	0,13
Cs ¹³⁴	1,27	1,74	1,42	1,33	1,14	0,75
Ru ¹⁰³	3,30	6,94	2,60	3,14	3,19	0,65
I ¹³¹	0,91	1,76	0,55	1,28	0,87	0,08
Cs ¹³⁷	0,05	0,14	0,02	0,03	0,04	0,04

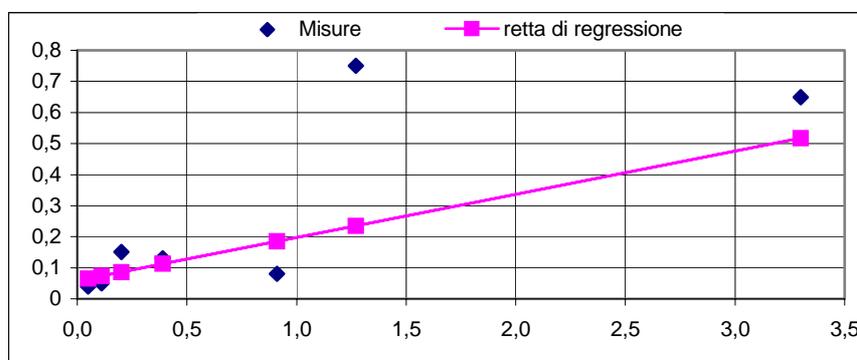


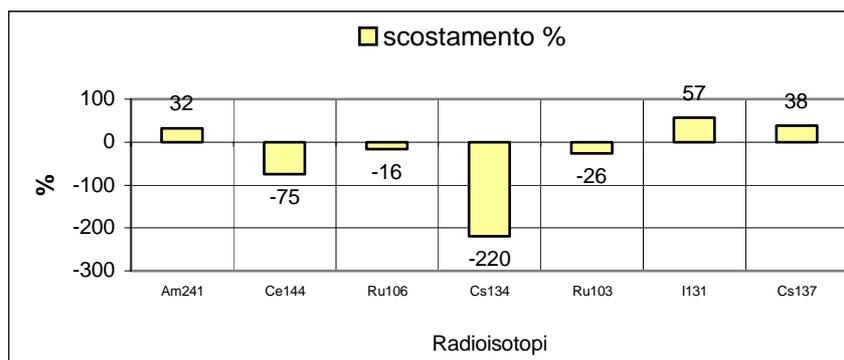
Matrice di correlazione

$r_{Xm - r_{Xm}}$	$r_{Xm - r_{X1}}$	$r_{Xm - r_{X2}}$	$r_{Xm - r_{X3}}$	$r_{Xm - r_{X4}}$	$r_{Xm - r_{X5}}$
1,00	0,99	0,98	0,99	1,00	0,77

Con l'impiego delle equazioni normali sono state calcolate le rette di regressione dei vettori numerici Xm nei vettori numerici delle misure reali, nonché gli scostamenti percentuali.

	Xm	\bar{Xm}	Xm^2	$(\bar{Xm})^2$	Y_{aria}	\bar{Y}_{aria}	$Xm * Y_{aria}$	$(\bar{Xm} * \bar{Y}_{aria})$	a	b	Fun.
Am ²⁴¹	0,11	6,23	0,0121	13,5377	0,05	1,85	0,006	3,3	0,058	0,139	0,074
Ce ¹⁴⁴	0,2		0,04		0,15		0,030		0,058	0,139	0,086
Ru ¹⁰⁶	0,39		0,1521		0,13		0,051		0,058	0,139	0,112
Cs ¹³⁴	1,27		1,6129		0,75		0,953		0,058	0,139	0,235
Ru ¹⁰³	3,3		10,89		0,65		2,145		0,058	0,139	0,517
I ¹³¹	0,91		0,8281		0,08		0,073		0,058	0,139	0,184
Cs ¹³⁷	0,05		0,0025		0,04		0,002		0,058	0,139	0,065





3. CONCLUSIONI

L'indagine conoscitiva oggetto del presente lavoro, vista in un'ottica complessiva e generale, non ha evidenziato risultati tali da poter attribuire alla zona di interesse una specifica proprietà ambientale.

Più in particolare i vettori numerici rappresentativi delle concentrazioni medie degli isotopi presenti in ogni componente ambientale sono risultati affetti da uno scostamento percentuale superiore a quella prefissata del 20%.

Invero, in un'ottica meno ristretta e meno rigorosa per quanto attiene lo scostamento percentuale, l'indagine si presta a delle interessanti osservazioni che verranno di seguito illustrate dopo un sintetico riepilogo dei dati più significativi di ogni matrice ambientale.

Componente ambientale "acqua"

Il vettore numerico medio X_m è risultato affetto da uno scostamento percentuale almeno cinque volte quello prefissato. Tuttavia le concentrazioni massime oscillano in un intervallo compreso tra 0.03 Bq/Kg e 41.34 Bq/Kg (0.8 pCi/Kg – 11.1 nCi/Kg).

Al riguardo si evidenzia che il Livello Primario di Emergenza per isotopi con tempo di dimezzamento superiore a 10 giorni è di 1000 Bq/Kg (27.02 nCi/Kg) e per lo iodio 500 Bq/Kg (13.51 nCi/Kg).

Componente ambientale "aria"

I coefficienti di correlazione sono risultati generalmente elevati ad eccezione dei coefficienti tra il vettore numerico del sito di Andria e del vettore numerico del sito di Noci che è risultato di circa 0.70.

Il vettore numerico medio è risultato affetto da uno scostamento massimo di 85.86% (Cs137) e da uno scostamento minimo di 32% (Ce144).

Le concentrazioni massime e minime oscillano tra 0.04 Bq/m³ (1 pCi/m³) e 6.94 Bq/m³ (0.817 nCi/m³).

Componente ambientale "erba"

Gli scostamenti percentuali sono risultati generalmente elevati con un minimo di 83% ed un massimo di 98%.

Il vettore medio numerico X_m è risultato affetto da uno scostamento massimo di 96.96% (Cs137) e minimo del 19.55% (Cs134).

Componente ambientale "latte"

Il vettore numerico medio X_m è risultato affetto da uno scostamento percentuale almeno cinque volte a quello prefissato. Tuttavia le concentrazioni massime e minime oscillano in un intervallo compreso tra 0.03 Bq/Kg e 26.52 Bq/Kg (0.8 pCi/Kg – 0.716 nCi/Kg).

Anche in questo caso si evidenzia che il Livello Primario di Emergenza per isotopi con tempo di dimezzamento superiore a 10 giorni è di 1000 Bq/Kg (27.02 nCi/Kg) e per lo iodio 500 Bq/Kg (13.51 nCi/Kg).

Componente ambientale “terreno”

I coefficienti di correlazione sono risultati generalmente elevati con un minimo di 0.92 ed un massimo di 0.98.

Il vettore numerico medio X_m è risultato affetto da uno scostamento percentuale massimo di 50.63 % (Am241 e da una incertezza minima del 34 % (Ce 144).

Le concentrazioni massime e minime oscillano tra 10.80 Bq/Kg (0.29 nCi/Kg) e 527.62 Bq/Kg (14.24 nCi/Kg)

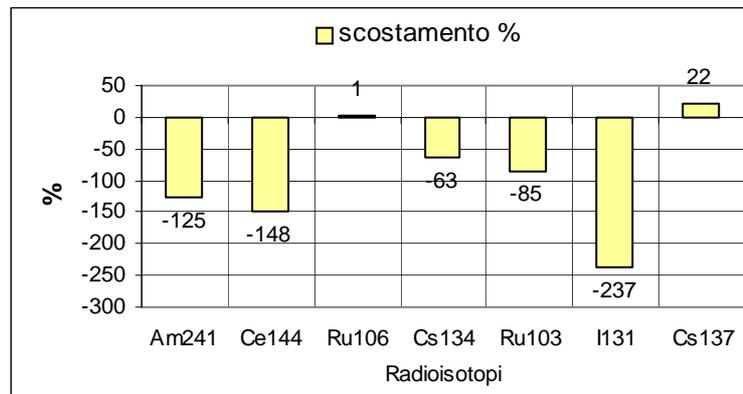
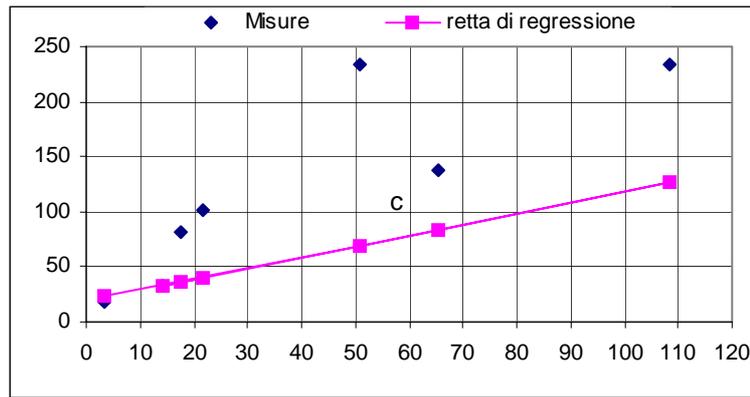
4. OSSERVAZIONI

Le componenti ambientali solide (erba – terreno) sono caratterizzate da un coefficiente di correlazione tra i vettori medi che è risultato dello 0.85 pe cui è possibile stabilire una legge di variazione tra le concentrazioni relative ai due componenti solidi.

Tale legge è rappresentata dalla retta di regressione di seguito illustrata.

	X_{m-erba}	ΣX_{m-erba}	X_m^2	$\Sigma(X_m)^2$	$X_{mterreno}$	$\Sigma X_{terreno}$	$X_m*Y_{terreno}$	$\Sigma X_{mterreno}*X_{erba}$
Am ²⁴¹	17,49	281,41	305,9001	19570	82,37	839,08	1440,651	50327,8
Ce ¹⁴⁴	21,66		469,1556		101		2187,660	
Ru ¹⁰⁶	14,37		206,4969		32,99		474,066	
Cs ¹³⁴	65,49		4288,9401		137		8972,130	
Ru ¹⁰³	108,25		11718,0625		234		25330,500	
I ¹³¹	50,69		2569,4761		234		11861,460	
Cs ¹³⁷	3,46		11,9716		17,72		61,311	

	a	b	Fun.
Am ²⁴¹	19,231	0,989	36,534
Ce ¹⁴⁴	19,231	0,989	40,653
Ru ¹⁰⁶	19,231	0,989	33,443
Cs ¹³⁴	19,231	0,989	84,001
Ru ¹⁰³	19,231	0,989	126,290
I ¹³¹	19,231	0,989	69,363
Cs ¹³⁷	19,231	0,989	22,653



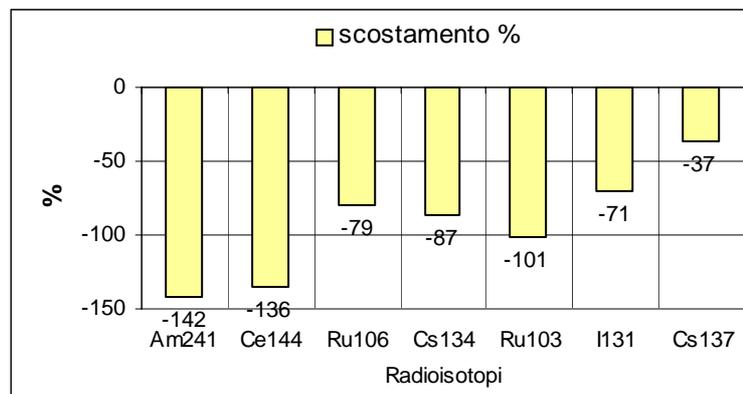
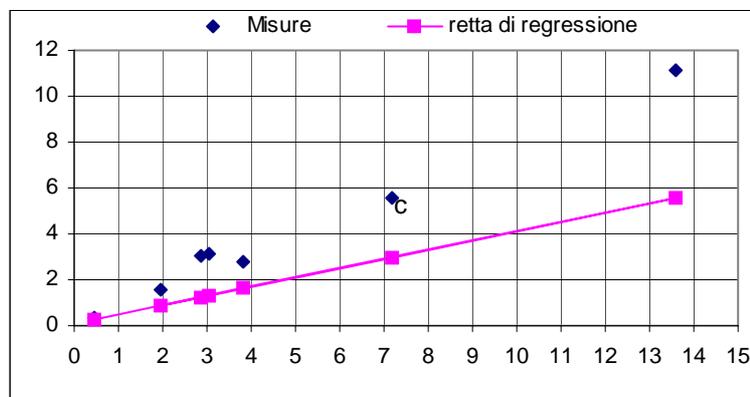
Le componenti ambientali liquide (latte e acqua) sono caratterizzate da concentrazioni inferiori a quelle dei Livelli Primari di Emergenza.

Il coefficiente di correlazione tra i vettori numerici medi è risultato di 0.99 per cui è possibile stabilire una legge di variazione tra le concentrazioni relative ai due componenti liquidi.

Tale legge è rappresentata dalle rette di regressione di seguito illustrate.

	Xm-acqua	Xm-acqua	(Xm-acqua) ²	(Xm-acqua) ²	Ylatte	latte	Xm-acqua*Xlatte	Xm-acqua*Xlatte
Am ²⁴¹	2,87	32,9	8,2369	271,6566	3,02	27,59	8,667	223,2
Ce ¹⁴⁴	3,06		9,3636		3,12		9,547	
Ru ¹⁰⁶	1,96		3,8416		1,58		3,097	
Cs ¹³⁴	7,16		51,2656		5,56		39,810	
Ru ¹⁰³	13,57		184,1449		11,15		151,306	
I ¹³¹	3,82		14,5924		2,78		10,620	
Cs ¹³⁷	0,46		0,2116		0,38		0,175	

	a	b	Fun.
Am ²⁴¹	0,093	0,402	1,246
Ce ¹⁴⁴	0,093	0,402	1,323
Ru ¹⁰⁶	0,093	0,402	0,881
Cs ¹³⁴	0,093	0,402	2,971
Ru ¹⁰³	0,093	0,402	5,548
I ¹³¹	0,093	0,402	1,629
Cs ¹³⁷	0,093	0,402	0,278



Le conclusioni esposte nelle precedenti pagine scaturiscono solo ed esclusivamente da valutazioni di tipo numeriche.

Tuttavia, per quanto i dati afferiscono ad una limitata zona del territorio della Provincia di Bari e ad un limitato numero di radioisotopi, l'intera indagine si presta a molteplici conclusioni in relazione alle diverse discipline di interesse.

Si accenna ad esempio all'interesse di natura geologica che rivestono le concentrazioni degli isotopi nei diversi campioni di terreno ed in particolare alle concentrazioni rilevate nel comune di Spinazzola che risultano essere il doppio di quelle rilevate negli altri comuni.

Per concludere si accenna ancora all'interesse di natura anche zootecnica che rivestono i coefficienti di correlazione tra il terreno e l'erba (0,85) e tra il latte e l'acqua (0,99).