

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”**

Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra

XVIII Ciclo

Tesi in Geochimica Ambientale:

***Determinazione dei valori Baseline e Background degli
elementi metallici nei suoli vulcanici dell'Isola di Ischia***

Tutore
Ch.^{mo} Prof.
Benedetto De Vivo

Dottorando
Dott.^{ssa} Paola
Frattoni



Cotutore
Ch.^{mo} Prof.
Aldo Cinque

Coordinatore
Ch.^{mo} Prof.
Giuliano Ciampo

Trova il tempo di lavorare:
è il prezzo del successo.
Trova il tempo di riflettere:
è la fonte della forza.
Trova il tempo di giocare:
è il segreto della giovinezza.
Trova il tempo di leggere:
è la base del sapere.
Trova il tempo di essere gentile:
è la strada della felicità.
Trova il tempo di sognare:
è il sentiero che porta alle stelle.
Trova il tempo d'amare:
è la vera gioia di vivere.
Trova il tempo di essere felice:
è la musica dell'anima.

Saggezza irlandese

INDICE

Premessa.....	1
1 - Introduzione.....	2
2 - Determinazione dei valori <i>background e baseline</i> a scala Internazionale e nazionale: Cartografia geochimica in Europa, Italia e Campania.....	5
3 - L'isola di Ischia.....	7
3.1 - Inquadramento geologico.....	7
3.1,1 - Geomorfologia ed idrologia.....	8
3.1,2 - Tettonica.....	9
3.1,3 - Attività vulcanica.....	10
3.1,4 - Qualità delle acque sotterranee.....	10
3.2 Inquadramento territoriale	12
3.2,1 – Parco veicolare.....	13
3.2,2 – Attività economiche: settori primario e secondario.....	14
4 - Il sistema suolo.....	17
4.1 - Generalità.....	17
4.2 - Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli.....	18
4.3 - Contaminazione geogenica ed antropogenica dei suoli da metalli..	19
4.3,1 - Sorgenti geogeniche.....	20
4.3,2 - Sorgenti antropogeniche.....	20
4.4 - Mobilità dei metalli nei suoli.....	21
4.5 - I suoli dell'isola di Ischia.....	22
4.5,1 - I suoli dei versanti ripidi - molto ripidi di Monte Vico.....	23
4.5,2 - I suoli del versante settentrionale del Monte Epomeo.....	23
4.5,3 - I suoli del versante meridionale del Monte Epomeo.....	23
4.5,4 - I suoli dei versanti bassi e depositi di versante.....	24
4.5,5 - I suoli dei versanti meridionali su colate di terra.....	24
4.5,6 - I suoli dei pianori costieri.....	24
4.5,7 - I suoli dei rilievi vulcanici ripidi o molto ripidi ad attività recente.....	24
4.5,8 - I suoli dei rilievi vulcanici dolcemente inclinati e ripidi ad attività recente.....	24
4.5,9 - I suoli delle superfici subpianeggianti del graben di Ischia.....	25
4.5, 10 - I suoli delle aree di spiaggia.....	25
5 - Campionatura, analisi statistica, elaborazione cartografica.....	26
5.1 – Campionatura dei suoli: Fase I e Fase II.....	26
5.1,1 - Direttive FOREGS per il prelievo dei campioni di suolo.....	26
5.2 - Trattamento dei campioni.....	27

5.3 - Analisi di laboratorio	28
5.4 - Controllo di qualità delle analisi	28
5.4,1 - Accuratezza.....	28
5.4,2 - Precisione	28
5.5 - Rilievo della radioattività naturale	29
5.6 - Elaborazione statistica dei dati geochimici	30
5.6,1 - Elaborazione statistica univariata dei dati della Fase I.....	30
5.6,2 - Analisi statistica multivariata dei dati della Fase I: analisi fattoriale in R-mode.....	31
5.6,3 - Elaborazione statistica univariata dei dati della Fase II.....	33
5.7 - Il database	33
5.8 - Elaborazione cartografica dei dati dei campioni della Fase I	34
5.8,1 - Rappresentazione puntuale dei dati (<i>Dot maps</i>).....	34
5.8,2 - Rappresentazione cartografica dei dati interpolati con il metodo IDW Multifrattale.....	34
5.8,3 - Mappe del tenore di fondo attuale (<i>baseline</i>) e delle anomalie.....	35
5.8,4 - Carte di Intervento.....	37
5.8,5 - Rappresentazione della distribuzione dei <i>factor scores</i> delle associazioni fattoriali.....	37
5.8,6 - Rappresentazione della radioattività naturale.....	38
5.9 - Elaborazione cartografica dei dati dei campioni della Fase II	38
6 - Carte geochimiche degli elementi	39
6.1 - Argento (Ag)	40
6.1,1 - Distribuzione geochimica dell'Ag nei suoli superficiali.....	40
6.1,2 - Distribuzione dell'Ag negli orizzonti A e C dei suoli.....	41
6.2 - Alluminio (Al)	43
6.2,1 - Distribuzione geochimica dell'Al nei suoli superficiali.....	44
6.2,2 - Distribuzione dell'Al negli orizzonti A e C dei suoli.....	45
6.3 - Arsenico (As)	46
6.3,1 - Distribuzione geochimica dell'As nei suoli superficiali.....	47
6.3,2 - Distribuzione dell'As negli orizzonti A e C dei suoli.....	48
6.4 - Boro (B)	50
6.4,1 - Distribuzione geochimica del B nei suoli superficiali.....	50
6.4,2 - Distribuzione del B negli orizzonti A e C dei suoli.....	51
6.5 - Bario (Ba)	53
6.5,1 - Distribuzione geochimica del Ba nei suoli superficiali.....	53
6.5,2 - Distribuzione del Ba negli orizzonti A e C dei suoli.....	54
6.6 - Bismuto (Bi)	56

6.6,1 - Distribuzione geochemica del Bi nei suoli superficiali.....	56
6.6,2 - Distribuzione del Bi negli orizzonti A e C dei suoli.....	57
6.7 - Calcio (Ca)	59
6.7,1 - Distribuzione geochemica del Ca nei suoli superficiali.....	59
6.7,2 - Distribuzione del Ca negli orizzonti A e C dei suoli.....	61
6.8 - Cadmio (Cd)	62
6.8,1 - Distribuzione geochemica del Cd nei suoli superficiali.....	62
6.8,2 - Distribuzione del Cd negli orizzonti A e C dei suoli.....	64
6.9 - Cobalto (Co)	65
6.9,1 - Distribuzione geochemica del Co nei suoli superficiali.....	65
6.9,2 - Distribuzione del Co negli orizzonti A e C dei suoli.....	67
6.10 - Cromo (Cr)	68
6.10,1 - Distribuzione geochemica del Cr nei suoli superficiali.....	68
6.10,2 - Distribuzione del Cr negli orizzonti A e C dei suoli.....	70
6.11 - Rame (Cu)	71
6.11,1 - Distribuzione geochemica del Cu nei suoli superficiali.....	71
6.11,2 - Distribuzione del Cu negli orizzonti A e C dei suoli.....	73
6.12 - Ferro (Fe)	74
6.12,1 - Distribuzione geochemica del Fe nei suoli superficiali.....	74
6.12,2 - Distribuzione del Fe negli orizzonti A e C dei suoli.....	75
6.13 - Gallio (Ga)	77
6.13,1 - Distribuzione geochemica del Ga nei suoli superficiali.....	77
6.13,2 - Distribuzione del Ga negli orizzonti A e C dei suoli.....	79
6.14 - Mercurio (Hg)	80
6.14,1 - Distribuzione geochemica del Hg nei suoli superficiali.....	80
6.14,2 - Distribuzione del Hg negli orizzonti A e C dei suoli.....	81
6.15 - Potassio (K)	83
6.15,1 - Distribuzione geochemica del K nei suoli superficiali.....	83
6.15,2 - Distribuzione del K negli orizzonti A e C dei suoli.....	85
6.16 - Lantanio (La)	86
6.16,1 - Distribuzione geochemica del La nei suoli superficiali.....	86
6.16,2 - Distribuzione del La negli orizzonti A e C dei suoli.....	88
6.17 - Magnesio (Mg)	89
6.17,1 - Distribuzione geochemica del Mg nei suoli superficiali.....	89
6.17,2 - Distribuzione del Mg negli orizzonti A e C dei suoli.....	91
6.18 - Manganese (Mn)	92
6.18,1 - Distribuzione geochemica del Mn nei suoli superficiali.....	92
6.18,2 - Distribuzione del Mn negli orizzonti A e C dei suoli.....	94

6.19 - Molibdeno (Mo)	96
6.19,1 - Distribuzione geochimica del Mo nei suoli superficiali.....	96
6.19,2 - Distribuzione del Mo negli orizzonti A e C dei suoli.....	98
6.20 - Sodio (Na)	99
6.20,1 - Distribuzione geochimica del Na nei suoli superficiali.....	99
6.20,2 - Distribuzione del Na negli orizzonti A e C dei suoli.....	100
6.21 - Nichel (Ni)	102
6.21,1 - Distribuzione geochimica del Ni nei suoli superficiali.....	102
6.21,2 - Distribuzione del Ni negli orizzonti A e C dei suoli.....	104
6.22 - Fosforo (P)	105
6.22,1 - Distribuzione geochimica del P nei suoli superficiali.....	105
6.22,2 - Distribuzione del P negli orizzonti A e C dei suoli.....	106
6.23 - Piombo (Pb)	108
6.23,1 - Distribuzione geochimica del Pb nei suoli superficiali.....	108
6.23,2 - Distribuzione del Pb negli orizzonti A e C dei suoli.....	110
6.24 - Zolfo (S)	112
6.24,1 - Distribuzione geochimica dello S nei suoli superficiali.....	112
6.24,2 - Distribuzione dello S negli orizzonti A e C dei suoli.....	113
6.25 - Antimonio (Sb)	115
6.25,1 - Distribuzione geochimica del'Sb nei suoli superficiali.....	115
6.25,2 - Distribuzione dell'Sb negli orizzonti A e C dei suoli.....	116
6.26 - Scandio (Sc)	118
6.26,1 - Distribuzione geochimica dello Sc nei suoli superficiali.....	118
6.26,2 - Distribuzione dello Sc negli orizzonti A e C dei suoli.....	119
6.27 - Stronzio (Sr)	121
6.27,1 - Distribuzione geochimica dello Sr nei suoli superficiali.....	121
6.27,2 - Distribuzione dello Sr negli orizzonti A e C dei suoli.....	123
6.28 - Torio (Th)	124
6.28,1 - Distribuzione geochimica del Th nei suoli superficiali.....	124
6.28,2 - Distribuzione del Th negli orizzonti A e C dei suoli.....	125
6.29 - Titanio (Ti)	127
6.29,1 - Distribuzione geochimica del Ti nei suoli superficiali.....	127
6.29,2 - Distribuzione del Ti negli orizzonti A e C dei suoli.....	128
6.30 - Tallio (Tl)	130
6.30,1 - Distribuzione geochimica del Tl nei suoli superficiali.....	130
6.30,2 - Distribuzione del Tl negli orizzonti A e C dei suoli.....	132
6.31 - Uranio (U)	133
6.31,1 - Distribuzione geochimica dell'U nei suoli superficiali.....	133

6.31,2 - Distribuzione dell'U negli orizzonti A e C dei suoli.....	134
6.32 - Vanadio (V)	136
6.32,1 - Distribuzione geochemica del V nei suoli superficiali.....	136
6.32,2 - Distribuzione del V negli orizzonti A e C dei suoli.....	138
6.33 - Wolframio (W)	139
6.33,1 - Distribuzione geochemica del W nei suoli superficiali.....	139
6.33,2 - Distribuzione del W negli orizzonti A e C dei suoli.....	140
6.34 - Zinco (Zn)	142
6.34,1 - Distribuzione geochemica dello Zn nei suoli superficiali.....	142
6.34,2 - Distribuzione dello Zn negli orizzonti A e C dei suoli.....	144
7 - Carte della distribuzione dei factor scores delle associazioni fattoriali...	145
7.1 - Associazione fattoriale F1: La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na.....	145
7.2 - Associazione fattoriale F2: Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr.....	145
7.3 - Associazione fattoriale F3: Ti, Tl, Bi, U.....	145
7.4 - Associazione fattoriale F4: Ni, Co, Cr, -Na	146
7.5 - Associazione fattoriale F5: K, Al, Na, Mg, Cu.....	146
8 - Carte della radioattività naturale	147
8.1 - Radioattività ²³⁸ U.....	147
8.2 - Radioattività ²³² Th.....	148
8.3 - Radioattività ⁴⁰ K.....	149
8.4 - Radioattività totale (> 0.08 MEV) (U - Th - K).....	149
8.5 - Radioattività totale (> 0.40 MEV) (U - Th - K).....	150
9 - Conclusioni	151
10 - Esperienza all'estero: Geological Survey of Finland (GTK)	155
10.1 - Introduzione.....	155
10.2 - Fonti geogeniche ed antropogeniche del Tl.....	156
10.3 - Materiali e metodi.....	156
10.3,1 - Analisi statistica dei dati.....	157
10.3,2 - Elaborazione cartografica.....	158
10.4 - Conclusioni.....	158
11 - Produzione scientifica	162
Bibliografia	163

ELENCO DELLE TAVOLE

Tavola 1 – Carta Geologica (da Vezzoli, 1988; modificato)

Tavola 2 – Carta Strutturale (da Celico et al., 1999; modificato)

Tavola 3 – Carta delle attività economiche (dati ISTAT, 1996)

Tavola 4 – Carta dell’Uso del Suolo (APAT, 1999; modificato)

Tavola 5 – Carta dei Suoli (di Gennaro et al., 1995; modificato)

Tavola 6 – Ubicazione dei siti campionati; Fase I

Tavola 7 – Ubicazione dei siti campionati; Fase II

Tavola 8 – Punti di misura della radioattività naturale

Tavole degli elementi

Tavola 9A – Ag. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 9B – Ag. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 9C – Ag. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 9D – Ag. Distribuzione delle anomalie

Tavola 9E – Ag. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 9F – Ag. Confronto tra valori *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 10A – Al. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 10B – Al. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 10C – Al. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 10D – Al. Distribuzione delle anomalie

Tavola 10E – Al. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 10F – Al. Confronto tra valori *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 11A – As. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 11B – As. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 11C – As. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 11D – As. Distribuzione delle anomalie

Tavola 11E – As. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)

Tavola 11F – As. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 11G – As. Confronto tra valori *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 12A – B. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 12B – B. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 12C – B. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 12D – B. Distribuzione delle anomalie

Tavola 12E – B. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 12F – B. Confronto tra valori *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 13A – Ba. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 13B – Ba. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 13C – Ba. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 13D – Ba. Distribuzione delle anomalie
Tavola 13E – Ba. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 13F – Ba. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 14A – Bi. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 14B – Bi. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 14C – Bi. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 14D – Bi. Distribuzione delle anomalie
Tavola 14E – Bi. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 14F – Bi. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 15A – Ca. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 15B – Ca. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 15C – Ca. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 15D – Ca. Distribuzione delle anomalie
Tavola 15E – Ca. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 15F – Ca. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 16A – Cd. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 16B – Cd. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 16C – Cd. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 16D – Cd. Distribuzione delle anomalie
Tavola 16E – Cd. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 16F – Cd. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 16G – Cd. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 17A – Co. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 17B – Co. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 17C – Co. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 17D – Co. Distribuzione delle anomalie
Tavola 17E – Co. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 17F – Co. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 17G – Co. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 18A – Cr. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 18B – Cr. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 18C –Cr. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 18D –Cr. Distribuzione delle anomalie
Tavola 18E –Cr. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)

Tavola 18F – Cr. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 18G – Cr. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 19A – Cu. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 19B – Cu. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 19C – Cu. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 19D – Cu. Distribuzione delle anomalie
Tavola 19E – Cu. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 19F – Cu. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 19G – Cu. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 20A – Fe. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 20B – Fe. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 20C – Fe. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 20D – Fe. Distribuzione delle anomalie
Tavola 20E – Fe. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 20F – Fe. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 21A – Ga. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 21B – Ga. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 21C – Ga. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 21D – Ga. Distribuzione delle anomalie
Tavola 21E – Ga. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 21F – Ga. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 22A – Hg. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 22B – Hg. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 22C – Hg. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 22D – Hg. Distribuzione delle anomalie
Tavola 22E – Hg. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 22F – Hg. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 22G – Hg. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 23A – K. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 23B – K. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 23C – K. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 23D – K. Distribuzione delle anomalie
Tavola 23E – K. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 23F – K. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 24A – La. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 24B – La. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 24C – La. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 24D – La. Distribuzione delle anomalie

Tavola 24E – La. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 24F – La. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 25A – Mg. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 25B – Mg. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 25C – Mg. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 25D – Mg. Distribuzione delle anomalie

Tavola 25E – Mg. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 25F – Mg. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 26A – Mn. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 26B – Mn. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 26C – Mn. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 26D – Mn. Distribuzione delle anomalie

Tavola 26E – Mn. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 26F – Mn. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 27A – Mo. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 27B – Mo. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 27C – Mo. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 27D – Mo. Distribuzione delle anomalie

Tavola 27E – Mo. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 27F – Mo. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 28A – Na. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 28B – Na. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 28C – Na. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 28D – Na. Distribuzione delle anomalie

Tavola 28E – Na. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 28F – Na. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 29A – Ni. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 29B – Ni. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 29C – Ni. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 29D – Ni. Distribuzione delle anomalie

Tavola 29E – Ni. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)

Tavola 29F – Ni. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 29G – Ni. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 30A – P. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 30B – P. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 30C – P. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 30D – P. Distribuzione delle anomalie
Tavola 30E – P. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 30F – P. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 31A – Pb. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 31B – Pb. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 31C – Pb. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 31D – Pb. Distribuzione delle anomalie
Tavola 31E – Pb. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 31F – Pb. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 31G – Pb. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 32A – S. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 32B – S. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 32C – S. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 32D – S. Distribuzione delle anomalie
Tavola 32E – S. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 32F – S. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 33A – Sb. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 33B – Sb. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 33C – Sb. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 33D – Sb. Distribuzione delle anomalie
Tavola 33E – Sb. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 33F – Sb. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 33G – Sb. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 34A – Sc. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 34B – Sc. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 34C – Sc. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 34D – Sc. Distribuzione delle anomalie
Tavola 34E – Sc. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 34F – Sc. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 35A – Sr. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 35B – Sr. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 35C – Sr. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 35D – Sr. Distribuzione delle anomalie
Tavola 35E – Sr. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 35F – Sr. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 36A – Th. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 36B – Th. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 36C – Th. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 36D – Th. Distribuzione delle anomalie
Tavola 36E – Th. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 36F – Th. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 37A – Ti. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 37B – Ti. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 37C – Ti. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 37D – Ti. Distribuzione delle anomalie
Tavola 37E – Ti. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 37F – Ti. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 38A – TI. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 38B – TI. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 38C – TI. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 38D – TI. Distribuzione delle anomalie
Tavola 38E – TI. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 38F – TI. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 38G – TI. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 39A – U. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 39B – U. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 39C – U. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 39D – U. Distribuzione delle anomalie
Tavola 39E – U. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 39F – U. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 40A – V. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 40B – V. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 40C – V. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 40D – V. Distribuzione delle anomalie
Tavola 40E – V. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)
Tavola 40F – V. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C
Tavola 40G – V. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 41A – W. Distribuzione puntuale delle concentrazioni
Tavola 41B – W. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni
Tavola 41C – W. Distribuzione dei valori *baseline*
Tavola 41D – W. Distribuzione delle anomalie
Tavola 41E – W. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 41F – W. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 42A – Zn. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 42B – Zn. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 42C – Zn. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 42D – Zn. Distribuzione delle anomalie

Tavola 42E – Zn. Mappa di Intervento (D.M. 471/1999)

Tavola 42F – Zn. Distribuzione del rapporto tra le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavola 42G – Zn. Confronto tra valori i *baseline* e le concentrazioni negli orizzonti A e C

Tavole delle Associazioni Fattoriali

Tavola 43A – F1. Distribuzione dei *factor scores* (La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na)

Tavola 43B – F2. Distribuzione dei *factor scores* (Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr)

Tavola 43C – F3. Distribuzione dei *factor scores* (Ti, Tl, Bi, U)

Tavola 43D – F4. Distribuzione dei *factor scores* (Ni, Co, Cr, -Na)

Tavola 43E – F5. Distribuzione dei *factor scores* (K, Al, Na, Mg, -Cu)

Tavole della Radioattività Naturale

Tavola 44A – ²³⁸U. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 44B – ²³⁸U. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 44C – ²³⁸U. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 44D – ²³⁸U. Distribuzione delle anomalie

Tavola 45A – ²³²Th. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 45B – ²³²Th. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 45C – ²³²Th. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 45D – ²³²Th. Distribuzione delle anomalie

Tavola 46A – ⁴⁰K. Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 46B – ⁴⁰K. Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 46C – ⁴⁰K. Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 46D – ⁴⁰K. Distribuzione delle anomalie

Tavola 47A – TC1 (>0,08 MeV). Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 47B – TC1 (>0,08 MeV). Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 47C – TC1 (>0,08 MeV). Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 47D – TC1 (>0,08 MeV). Distribuzione delle anomalie

Tavola 48A – TC2 (>0,40 MeV). Distribuzione puntuale delle concentrazioni

Tavola 48B – TC2 (>0,40 MeV). Distribuzione dei dati interpolati delle concentrazioni

Tavola 48C – TC2 (>0,40 MeV). Distribuzione dei valori *baseline*

Tavola 48D – TC2 (>0,40 MeV). Distribuzione delle anomalie

PREMESSA

Le prospezioni geochimiche a scopo ambientale trovano, attualmente, un campo d'azione sempre più ampio, affermandosi sempre più sia come tecnica di monitoraggio delle condizioni di salute ambientale che come strumento conoscitivo delle concentrazioni di fondo naturale dei metalli pesanti (*background*).

Uno dei ruoli principali della geochimica ambientale è quello di individuare nuove metodologie per valutare scientificamente come gestire le concentrazioni anomale dei metalli tossici e nocivi nelle diverse matrici ambientali (suolo superficiale e profondo, *stream sediments*, *overbank*, acque superficiali e sotterranee, humus, muschio, etc.) in modo da eliminare o minimizzare il loro impatto negativo sugli esseri viventi.

E' per questo motivo che negli ultimi anni i governi di molti paesi hanno attuato campagne di monitoraggio del grado di contaminazione ambientale di vasti territori e hanno stabilito i limiti di legge per elementi e composti chimici organici ed inorganici in particolar modo nei suoli e nelle acque superficiali e sotterranee.

In Italia, in particolare, con il Decreto del Ministero dell'Ambiente n°471 del 25 Ottobre 1999 vengono imposti limiti per elementi e composti chimici organici ed inorganici nei suoli e nelle acque sotterranee. Viene però specificato, nell'Art. 4, che "per ogni sostanza i valori di concentrazione da raggiungere con gli interventi di bonifica e ripristino ambientale sono tuttavia riferiti ai valori di fondo naturale (*background*) nei casi in cui sia dimostrato che nell'intorno non influenzato dalla contaminazione del sito i valori di concentrazione del fondo naturale risultino superiori a quelli indicati nell'allegato 1".

Nella letteratura anglosassone oltre al termine *background*, per definire il tenore di fondo, viene riportato anche il termine *baseline*. Per non generare confusione è bene specificare che con il termine *background* si intende la concentrazione naturale degli elementi nell'ambiente (tenore di fondo naturale); con il termine *baseline* si intende la concentrazione di elementi misurata attualmente in un determinato sito, comprendendo quindi anche la presenza di elementi di origine antropica (tenore di fondo attuale) (Salminen & Gregorauskiene, 2000).

La ricerca di metodologie idonee alla realizzazione di carte geochimico-ambientali dei valori di fondo attuale/naturale rappresenta quindi una risposta all'applicazione del D.M. 471/99. La geochimica ambientale, limitatamente agli elementi metallici, riveste, infatti, particolare importanza nello sviluppo di tecniche scientifiche atte a definire i valori *background* di riferimento.

Questa strategia, associata ad idonei interventi di recupero del territorio, si è tradotta in diversi paesi in una diminuzione dei metalli negli ecosistemi (Siegel, 2002). E' quindi indispensabile continuare ad investire in questa direzione nella ricerca scientifica per migliorare ed incrementare le conoscenze acquisite.

1 – INTRODUZIONE

Il presente lavoro è teso a sviluppare una cartografia geochimico-ambientale dei suoli vulcanici dell'isola di Ischia (Napoli). Si è posta particolare attenzione, oltre che alla rappresentazione spaziale della distribuzione di 34 elementi e della radioattività naturale nei suoli residuali dell'isola, alla determinazione dei valori del tenore di fondo attuale (*baseline*) e naturale (*background*) (Salminen & Gregorauskiene, 2000).

In passato erano considerate concentrazioni geochimiche naturali (*background*) i contenuti medi crostali (Turekian & Wedepohl, 1961). Questo approccio si è rivelato non compatibile nelle ricerche di geochimica ambientale e nei problemi specifici di inquinamento a causa della grande variazione nella composizione dei litotipi che a loro volta sono soggetti a variazioni chimiche durante i processi di alterazione e di diagenesi che portano alla formazione dei suoli.

Nel presente lavoro, ai fini della determinazione dei valori *background/baseline* e dell'individuazione della soglia di anomalia, sono stati applicati alla popolazione dei dati raccolti durante la Fase I di campionatura (198 campioni di suolo residuale superficiale distribuiti uniformemente sull'isola) sia metodi di statistica classica che metodi innovativi di rappresentazione cartografica realizzata mediante elaborazione frattale dei dati.

A questo scopo si è rivelata estremamente utile l'applicazione di una nuova metodologia per l'elaborazione dei dati; applicando un *software* specifico che utilizza i principi della geometria frattale (GeoDAS 2001; Lima et al., 2003b; Cicchella et al., 2005) e avvalendosi, inoltre, di informazioni vulcanologiche, geochimiche, litologiche, ambientali, antropiche, è stato possibile separare, per ogni elemento investigato, i valori *baseline/background* da quelli anomali.

La elaborazione di una cartografia completa dell'isola è stata volta, inoltre, alla realizzazione dell'"Atlante Geochimico-ambientale dei suoli dell'Isola di Ischia" (De Vivo et al., in stampa-b).

In aggiunta al monitoraggio dei suoli dell'isola di Ischia realizzato attraverso la prima fase di campionatura (Fase I) e di elaborazione cartografica geochimico-ambientale, è stata applicata una seconda metodologia di indagine per la determinazione dei valori di fondo naturale (*background*) di 34 elementi nei suoli. Sono stati infatti analizzati e comparati i contenuti di elementi metallici in campioni di suolo superficiale (orizzonte A o *top soil*) e profondo (orizzonte C o *bottom soil*) prelevati (Fase II) in "aree critiche" in cui sono stati riscontrati, grazie alla realizzazione della cartografia geochimica-ambientale dei suoli superficiali, valori anomali per diversi elementi; in tali punti è stato ritenuto infatti idoneo investigare per comprendere in che misura l'azione antropica si sia sovrapposta alle condizioni geoambientali del territorio contribuendo a determinare l'arricchimento di elementi tossici nei suoli (McMartin et al., 2002).

L'utilizzo di questo secondo metodo per l'individuazione dei valori *background/baseline* è stato inoltre utile per avere una ulteriore conferma della validità dell'analisi frattale dei dati eseguita dal *software* GeoDAS.

Si è posta particolare attenzione alla ricerca di metodologie innovative mirate all'individuazione dei tenori di fondo naturali in quanto la loro conoscenza in una determinata area è

fondamentale per la corretta gestione del territorio ed un idoneo uso del suolo. A livello legislativo infatti, ed in particolare secondo il D.M. 471/1999, la valutazione dello stato di contaminazione dei suoli richiede che si determinino le concentrazioni dei tenori di fondo (*backgrounds*) degli elementi chimici per un dato territorio, in quanto essi variano in modo consistente con la natura del substrato e con la situazione climatica. In assenza di tale conoscenza la mera applicazione di interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica del territorio, laddove venissero superati i limiti di tolleranza dettati dall'allegato 1 del suddetto D.M., potrebbe rivelarsi infatti fallace e lesiva per le potenzialità produttive e di sviluppo del territorio.

Lo studio si è sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica;
- informatizzazione dei dati cartografici sia in formato raster che vettoriale;
- determinazione della maglia di prelievo dei campioni di suolo superficiale per la Fase I di campionatura;
- prelievo di 198 campioni di suolo superficiale (primi 10 – 15 cm) con una densità di 1 campione ogni 0,25 Km²;
- prelievo dei valori di radioattività naturale di ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, TC1 e TC2 con scintillometro portatile GRS-500 della Scintrex Ltd (Ontario, Canada);
- preparazione dei campioni per analisi chimiche con metodologia ICP-AES per 34 elementi;
- elaborazione statistica elementare univariata e multivariata (analisi fattoriale in R-mode) dei dati geochimici con l'ausilio dei *softwares* Probplot (Stanley, 1987), KaleidaGraph 3.1 e G-RFAC (Miesch, 1990);
- realizzazione di carte puntuali, interpolate (IDW multifrattale), *baseline* e delle anomalie di ciascuno dei 34 elementi analizzati e di ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, TC1, TC2, con l'applicazione dei *softwares* GIS ArcView 3.2 (ESRI, 1997) e GeoDAS (GeoDAS, 2001);
- realizzazione di 12 carte d'intervento secondo i limiti imposti dalla normativa italiana (D.M. 471/1999);
- realizzazione di 5 carte della distribuzione dei *factor scores* delle associazioni fattoriali;
- interpretazione delle carte tematiche elaborate con i risultati analitici relativi alla Fase I ed individuazione delle "aree critiche" idonee per la Fase II della campionatura;
- Fase II: prelievo, in 26 punti, di campioni di *top soil* e *bottom soil*, preparazione dei campioni alle analisi chimiche con metodologia ICP-MS per 34 elementi; analisi statistica elementare univariata dei dati geochimici;
- realizzazione di carte dell'indice di arricchimento *r* (concentrazione orizzonte A/orizzonte C) e di mappe di confronto tra i risultati analitici negli orizzonti A e C e i valori *background/baseline* ottenuti con l'applicazione del GeoDAS sui dati della Fase I;
- interpretazione delle carte tematiche mediante correlazioni con le caratteristiche geolitologiche, dei fenomeni idrotermali e possibili fenomeni di contaminazione antropica.

Inoltre, è stato riportato il resoconto dell'attività di ricerca, svolta presso il Servizio Geologico Finlandese (GTK), sede di Espoo, nel periodo Aprile - Luglio 2004, sulle caratteristiche chimico-fisiche del TI (Frattini & Salminen, in stampa) e sulla determinazione dei valori *baseline/background* di questo elemento nei muschi, nell'humus e nei suoli dei paesi della regione di Barents (Frattini & Salminen, sottoposto).

Sono stati infine elencati i lavori scientifici fino ad ora prodotti e in corso di elaborazione.

2 - DETERMINAZIONE DEI VALORI *BACKGROUND* E *BASELINE* A SCALA INTERNAZIONALE E NAZIONALE: CARTOGRAFIA GEOCHIMICA IN EUROPA, ITALIA E CAMPANIA

In tempi recenti, per merito in particolare della comunità scientifica internazionale, è stato sviluppato un grosso lavoro nel settore della geochimica ambientale, che ha posto in rilievo l'esigenza di disporre di una cartografia geochimica regionale come base indispensabile per molteplici fini applicativi della geochimica ed in primo luogo, appunto, per quelli ambientali. Sull'onda di questa vasta sensibilizzazione e della necessità di produrre una cartografia idonea, sono nati, negli anni '90, i Progetti internazionali IUGS/IAGC (*Global Geochemical Baselines*) e FOREGS (*Forum of the European Geological Surveys Directors*) con lo scopo di creare un *network* di scienziati e di organizzazioni che potessero lavorare al fine di compilare una cartografia geochimica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (Darnley et al., 1995; Plant et al., 2001). A tale scopo il Globo Terrestre è stato suddiviso in celle quadrate con lato di 160 km. Nell'ambito delle celle ricadenti in territorio europeo sono state effettuate le campionature di acque, sedimenti fluviali attivi (*stream sediments*), sedimenti alluvionali (*floodplain* ed *overbank*), suoli e humus (Salminen et al., 1998). Questa campionatura è stata eseguita in tutti i paesi europei a cura dei Servizi Geologici nazionali; per l'Italia, non dotata di un Servizio Geologico operativo, la campionatura è stata curata da gruppi di ricerca di alcune Università (Napoli "Federico II", Padova e Siena). Il primo volume dell'atlante FOREGS è stato pubblicato di recente (Salminen et al., 2005).

A livello internazionale, anche per effetto di questa sensibilizzazione, negli ultimi anni sono stati prodotti atlanti geochimici da parte dei Servizi Geologici nazionali di diversi paesi (BGS, 1987, 1990, 1991, 1992; Reimann et al., 1998; Bodiš e Rapant, 1999; Kadūnas et al., 1999; Ottesen et al., 2000).

Sulla base di queste premesse, in Italia gruppi di ricerca dell'Università di Napoli "Federico II", dell'Università di Siena e dell'Università di Cagliari, utilizzando dati in gran parte provenienti da pregresse campagne di prospezione geochimica, rivolte alla ricerca di risorse minerarie, hanno compilato le prime carte geochimiche riguardanti aree di ben nota vocazione mineraria: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale (De Vivo et al., 1998a, b, c; 2001). Successivamente, con l'idea di compiere un primo passo verso la realizzazione di un progetto volto alla compilazione di una cartografia geochimica dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000, è stato portato a termine il progetto relativo alla compilazione della cartografia geochimica della Regione Campania con prelievo di 1 campione di *stream sediment* o suolo ogni 5 km² (De Vivo et al., 2003; 2004a); in ogni sito campionato è stata, inoltre, misurata la radioattività totale e parziale utilizzando uno scintillometro portatile. La notevole mole di dati prodotti è stata organizzata in un *database* ed elaborata con l'ausilio di *softwares* GIS per la

produzione di carte della distribuzione degli elementi, di associazioni di elementi, di intervento per l'uso del territorio, della radioattività totale e parziale.

Con prelievi di suolo secondo una maglia di 0,5x0,5 Km nel centro città e di 1x1 Km nelle zone periferiche è stato realizzato l'Atlante dei suoli dell'area urbana e della Provincia di Napoli (Cicchella et al., 2005; De Vivo et al., 2005). Anche in questo caso è stata rilevata la radioattività naturale in ogni punto.

Inoltre, l'APAT nel 2004 ha pubblicato la cartografia geochimica dei suoli del Somma-Vesuvio (Costabile et al., 2004), ed è in stampa l'atlante geochimico ambientale del Fiume Volturno (De Vivo et al., in stampa-a).

Il gruppo di lavoro del prof. De Vivo sta attualmente elaborando gli atlanti delle aree urbane di Avellino, Benevento, Caserta, Salerno (De Vivo et al., 2004), ed è in fase di stampa l'Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'Isola di Ischia (De Vivo et al., in stampa-b).

Questo tipo di cartografia risulta di grande utilità in quanto oltre a consentire l'individuazione delle aree potenzialmente a rischio, serve a definire i valori *background/baseline* dei vari elementi geochimici indagati, in funzione delle varie litologie presenti nel substrato.

A questo scopo si è rivelata estremamente utile l'applicazione di una nuova metodologia per l'elaborazione dei dati con la messa a punto di un *software* innovativo (GeoDAS, 2001; Lima et al., 2003a; Cicchella et al., 2005) che utilizza i principi della geometria frattale. Esso è nato per l'elaborazione di dati geochimici in campo minerario ed ambientale, non è in commercio ma è frutto di un consorzio di ricerca di cui fanno parte il Servizio Geologico degli Stati Uniti, del Canada, dell'Università di York (Toronto), di alcune industrie minerarie e dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (gruppo di lavoro del prof. De Vivo, Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia).

3 – L'ISOLA DI ISCHIA

Lo scopo di questo capitolo è quello di individuare e descrivere le caratteristiche naturali e antropiche dell'isola di Ischia al fine di avere gli elementi utili per individuare le fonti geogeniche e quelle antropogeniche degli elementi metallici nei suoli dell'isola.

Sono quindi descritti l'inquadramento geologico, geomorfologico, strutturale e idrogeologico dell'isola di Ischia. Inoltre, sono riportate le caratteristiche del territorio legate al grado di urbanizzazione, alle attività economiche, alle pratiche agricole, analizzando ciò che in modo diretto o indiretto può costituire causa di inquinamento ambientale per i suoli dell'isola di Ischia: la popolazione residente, la struttura insediativa nel territorio, la rete stradale, il parco veicolare circolante, le attività economiche del settore primario e secondario.

3.1 – Inquadramento geologico

L'isola di Ischia copre un'area di circa 42 km² e raggiunge l'altezza massima di 787 m in corrispondenza del Monte Epomeo, situato nella parte centrale del territorio. Localizzata all'estremità nord-occidentale del Golfo di Napoli (fig. 3.1), costituisce, con i Campi Flegrei, le Ignimbriti Campane ed il Somma-Vesuvio, la classica Provincia Potassica Romana Quaternaria dell'Italia centro-meridionale (Vezzoli et al., 1988).



Figura 3.1 – Posizione geografica dell'Isola di Ischia.

Essa è composta quasi interamente da rocce vulcaniche appartenenti alla serie bassa in potassio e varianti in composizione da trachibasalti a latiti, trachiti e fonoliti (Tavola 1). Ad esse sono associati depositi marini in facies argilloso-sabbiosa (Formazione di Colle Jetto), detriti di versante e cumuli di frana. Le rocce vulcaniche più abbondanti sono le trachiti e le alcalitrachiti; le più antiche sono state datate intorno a 150 Ma mentre l'ultima eruzione, che è rappresentata dalla colata dell'Arso, si è verificata nel 1302 D.C.. Il sistema magmatico dell'isola è ancora attivo come testimoniato dalla diffusa attività fumarolica e dall'intensa attività sismica (Vezzoli, 1988).

3.1,1 - Geomorfologia ed idrologia

L'assetto geomorfologico è caratterizzato principalmente da fattori di non equilibrio dovuti contemporaneamente ad una attività vulcanica molto recente e ad una storia tettonica complessa. L'evento vulcano-tettonico che ha controllato maggiormente i processi morfologici di Ischia è stato il sollevamento, relativamente recente, dell'horst del M. Epomeo nella parte centrale dell'isola.

I primi ricercatori che studiarono l'isola di Ischia nel XVIII sec. erano convinti che il M. Epomeo fosse un grande vulcano centrale circondato da numerosi centri secondari; questa interpretazione fu valida fino al 1930, anno in cui Rittmann pubblicò il primo studio moderno geologico e vulcanologico di Ischia con una mappa geologica in scala 1:10.000. Egli definì il M. Epomeo come un horst vulcano-tettonico sollevato dall'intrusione di una camera magmatica superficiale (Rittmann 1930, 1948; Rittmann & Gottini, 1980).

Il settore centrale dell'isola, direttamente coinvolto nel sollevamento, non è molto esteso, ma più della metà di Ischia è coperta da depositi di *rock falls*, frane e *mud flows* che si sono verificati lungo i fianchi dell'horst (Vezzoli, 1988). Gli accumuli di frana, conseguenti a tale sollevamento, presentano due principali direzioni di scivolamento verso nord-ovest e verso sud-est rispetto al blocco risorgente, ed al loro interno sono identificabili più corpi deposizionali. La propagazione delle frane a sud-est risulta inoltre limitata da una scarpata di faglia NE-SW che rappresenta il limite tra il graben di Ischia ed il rilievo di M. di Vezzi (Fusi et al., 1990, 1993) (Tavole 1 e 2).

Crateri, apparati vulcanici e colate laviche trovano diretta espressione morfologica soltanto nella zona orientale dell'isola dove risulta concentrata l'attività dell'ultima fase vulcanica (ultimi 10 Ma). Nel settore meridionale ed occidentale, invece, l'intensa dinamica morfologica cui è stata soggetta l'isola, in seguito ai processi vulcano-tettonici, ha innescato processi fluviali, di versante e costieri che hanno obliterato quasi interamente le originarie morfologie vulcaniche (Vezzoli, 1988). In particolare vi sono evidenze talora spettacolari di movimenti attivi in tempi storici dati da dislocazioni di manufatti umani di questo secolo (località Maronti) o precedenti (Buchner G., 1975, 1986; Buchner P., 1943) e dislocazioni del suolo e della attuale superficie topografica con presenza di faccette triangolari e torrenti dislocati (Fusi et al., 1990). Questi processi si sono esplicitati e si esplicano con ritmi ed intensità molto elevati. Una conferma dell'instabilità geomorfologica dell'isola si ha dall'osservazione del pattern di drenaggio (Vezzoli, 1988) (fig. 3.2).

La morfologia dell'isola di Ischia, infatti, viene messa in evidenza più in dettaglio considerando i diversi bacini imbriferi che rispecchiano la sua struttura vulcano-tettonica e che dividono l'isola in quattro regioni e due zone costiere indipendenti che sono:

1. la regione occidentale che comprende i bacini imbriferi di Forio e di Panza;
2. la regione settentrionale occupata da quelli di Lacco Ameno e di Casamicciola;
3. la regione orientale con il bacino imbrifero di Ischia;
4. la regione meridionale, comprendente quello di Fontana e l'altro secondario di Succhivo;

5. la zona di costa sud-occidentale, ad ovest di Succhivo;
6. l'area costiera di SE.

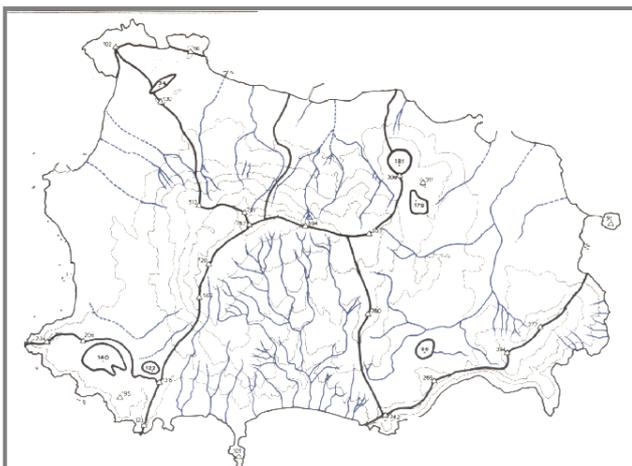


Figura 3.2 – Pattern di drenaggio dell'isola di Ischia (da Rittmann, 1930).

3.1,2 - Tettonica

L'isola di Ischia è caratterizzata da un complesso assetto strutturale, determinato dalla presenza di diversi sistemi di faglie e fratture di origine tettonica e vulcano-tettonica.

Essa è situata lungo un sistema di faglie orientato in direzione NE-SW che si estende fino all'isola di Procida ed ai Campi Flegrei.

L'isola sorge sull'estremità sud della larga piattaforma continentale e la maggior parte di essa è posta a profondità minori di 100 m. Verso nord e sud la piattaforma è direttamente connessa con le piane costiere e collega Ischia, Procida ed i Campi Flegrei; verso ovest essa scivola gradatamente verso il bacino del Golfo di Gaeta, ma verso SSW i suoi bordi degradano bruscamente per 800 m o più verso il fondale marino del bacino tirrenico (Nunziata & Rampolla, 1981).

Secondo le principali caratteristiche tettoniche l'isola di Ischia può essere divisa in tre aree strutturali (Tavola 2):

1. l'horst vulcano-tettonico del Monte Epomeo, dove la tettonica visibile è connessa col suo sollevamento; esso ha un'altezza di 787m e copre un'area di 16 Km², cioè circa il 34,5% dell'area totale dell'isola ed è delimitato da un sistema quadrangolare di faglie (Vezzoli, 1988). Un "meccanismo di taglio semplice", proposto da Orsi et al. (1991), consente di descrivere il fenomeno della risorgenza tenendo conto di tutti i vincoli geologici e vulcanologici;
2. il Monte di Vezzi, Panza e il rilievo strutturale di Monte Vico, dove le strutture ereditate dai vecchi complessi vulcanici sono associate ad elementi regionali. Queste aree rappresentano alti geomorfologici e strutturali, relativamente stabili se comparati alle adiacenti aree di sollevamento dell'horst e a quelle depresse del graben. Essi costituiscono i residui del complesso vulcanico del ciclo pre-Tufo Verde e sono separati dall' horst da sistemi regionali di faglie NE-SW e NW-SE;

3. il graben di Ischia, un'area ribassata a contorno triangolare, estesa tra l'horst e la cima di Monte di Vezzi, situata nella parte NE dell'isola; esso è riempito da prodotti effusivi ed esplosivi (principalmente lave e piroclastiti sciolte medio-grossolane) riferibili all'attività vulcanica più recente dell'isola. Il bordo meridionale della struttura è rappresentato dal sistema di faglie Carta Romana - Maronti. I suoi limiti occidentali coincidono con il margine orientale del M. Epomeo e corrispondono ad un importante sistema di faglie NS. La struttura interna del graben è complicata da una rete di faglie parallele a sistemi NS, NE-SW e NW-SE.

3.1,3 - Attività vulcanica

Il vulcanismo dell'Isola di Ischia è legato alla tettonica distensiva Plio-Quaternaria del margine Tirrenico dell'Appennino Meridionale (Zuppetta et al., 1993).

L'isola rappresenta un esempio di caldera risorgente (Chiesa et al., 1985, 1986). Sono stati analizzati, descrivendo l'assetto strutturale dell'isola, i meccanismi che hanno caratterizzato questo evento e la loro cronologia. Studi stratigrafici e geologici di dettaglio (Vezzoli, 1988; Chiesa et al., 1986; Civetta et al., 1991; Orsi et al., 1996), hanno permesso di distinguere 5 fasi vulcanologiche. Le prime due appartengono all'attività pre - Tufo Verde ("Ciclo Vecchio": 150 – 75 Ma); le tre fasi più recenti ("Ciclo Nuovo": 55 Ma – 1302 D.C.) seguono un periodo di quiescenza di circa 20 Ma testimoniato dalla presenza di depositi rimaneggiati, erosione delle superfici e attività tettonica. All'interno del Ciclo Nuovo la prima fase (55 - 33 Ma), iniziata con l'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo, ha portato alla conseguente formazione della caldera; durante la seconda fase (28 - 18 Ma) l'attività vulcanica si è concentrata nel settore sud-occidentale dell'isola, sporadicamente in quello sud-orientale; i centri vulcanici si sono installati per lo più all'interno del graben di Ischia, sulla sua prosecuzione a SW e parallelamente al suo fianco SE, indicando un controllo delle direttrici tettoniche regionali a direzione NE (Fusi et al., 1990); la terza, iniziata circa 10 Ma fa è terminata nel 1302 D.C. con l'eruzione dell'Arso (Chiesa et al., 1986).

3.1,4 - Qualità delle acque sotterranee

L'isola presenta una falda idrica di base con un deflusso radiale che trova recapito in mare. Nella zona dell'horst è presente, inoltre, una falda superficiale nella coltre di copertura; essa si raccorda a quella basale solo nel settore costiero (area di Citara). Ancora, a monte di Lacco Ameno e Casamicciola, la presenza di una falda sospesa risulta essere dovuta all'impermeabile intercalare rappresentato dalla formazione di Colle Jetto. Nell'area del graben, invece, si riscontra la presenza di un'unica falda basale da imputare alla maggiore omogeneità della porzione di acquifero saturo (i primi 100 – 200 m) (Celico et al., 1999).

Il chimismo della falda idrica di base si può riassumere in quattro categorie principali: acque bicarbonato-calciche (18-25°C; 841-1789 µS/cm), acque bicarbonato-alcaline (40-90°C; 1800-

6700 $\mu\text{S}/\text{cm}$), facies di transizione ($<50^\circ\text{C}$; 10000-20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), acque solfato-clorurato-alcaline (20-40, 80°C ; $>4000 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Celico et al., 1999).

L'esecuzione di prove di emungimento eseguite su pozzi in tutta l'isola (Penta e Conforto, 1951a, 1951b; Celico et al., 1999) ha rilevato, inoltre, un aumento della temperatura riconducibile al richiamo di acque più profonde da qualche grado fino a 30°C , ad eccezione dei pozzi più prossimi alla linea di costa. Le temperature elevate sono state spiegate tramite un modello geotermico che vede la presenza di una sorgente calda, rappresentata da un grande corpo magmatico giacente al di sotto di 3000 m (Barberi et al., 1979; Nunziata & Rapolla, 1981; Celico et al., 1982; De Gennaro et al., 1984) che riscalda, per conduzione, un acquifero profondo. I movimenti convettivi, che si sviluppano in questo acquifero caldo, permettono al vapore di risalire in superficie, riscaldando gli altri acquiferi incontrati lungo il percorso.

In linea generale le sorgenti che hanno temperature di emersione molto elevate (tra 30°C e 90°C), sono ubicate lungo faglie e fratture in corrispondenza delle quali sono stati riscontrati fenomeni fumarolici riconducibili alla risalita di vapore e gas (Santi, 1955; Rittmann & Gottini, 1980; Carapezza et al., 1988; Celico et al., 1999; Lima et al., 2001, 2003a). Tutto ciò è confermato da analisi chimiche che mostrano valori che testimoniano la contaminazione con acque di ingressione marina (De Gennaro et al., 1984; Lima et al., 2003a; Panichi et al., 1992).

La distribuzione delle sorgenti idrotermali e delle fumarole è rappresentata in Tavola 2.

Il corpo idrico sotterraneo è caratterizzato da concentrazioni naturali di As, B, Be, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Sb e Se molto elevati, superiori ai limiti imposti dal D.M. 471/99; l'As, in alcuni pozzi, addirittura raggiunge valori elementali superiori ai 1000 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Lima et al., 2003a).

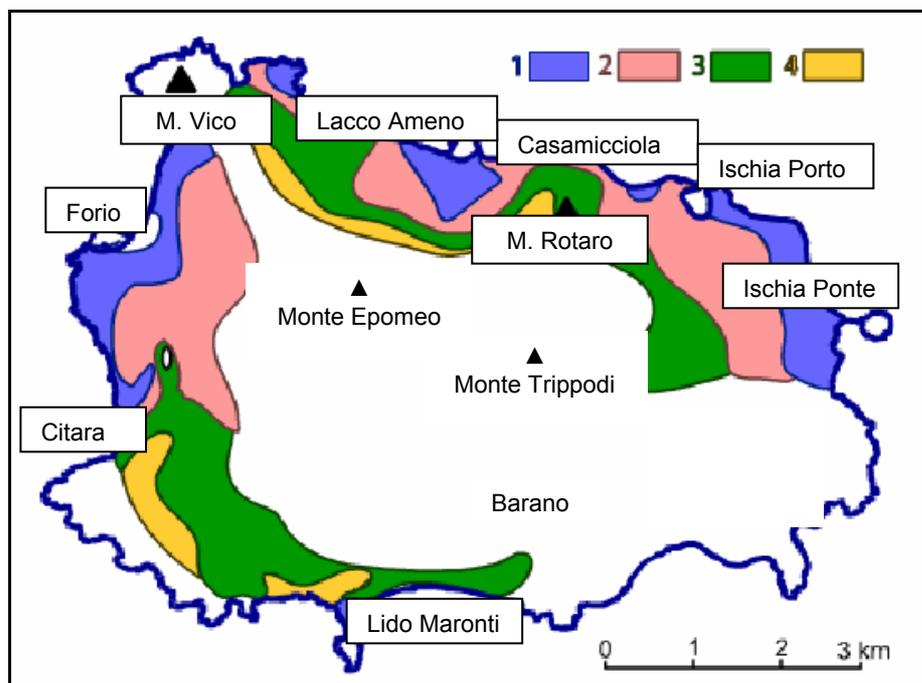


Figura 3.3 - Carta delle temperature delle acque sotterranee: 1) da 20 a 40°C ; 2) da 40 a 60°C ; 3) da 60 a 80°C ; 4) da 80 a 90°C .

Il valore medio dei cloruri è di 2257 µg/l e quello dei solfati è di 373 µg/l. I valori di questi parametri sono nettamente più elevati di quelli riscontrati nell'area flegrea (Provincia di Napoli, 2003).

In figura 3.4 è riportato l'andamento delle concentrazioni dei fluoruri e dell'As riscontrati nei pozzi dell'isola di Ischia e dei Campi Flegrei comparato ad altre zone della Provincia di Napoli o di aree ad essa limitrofe (Provincia di Napoli, 2003).

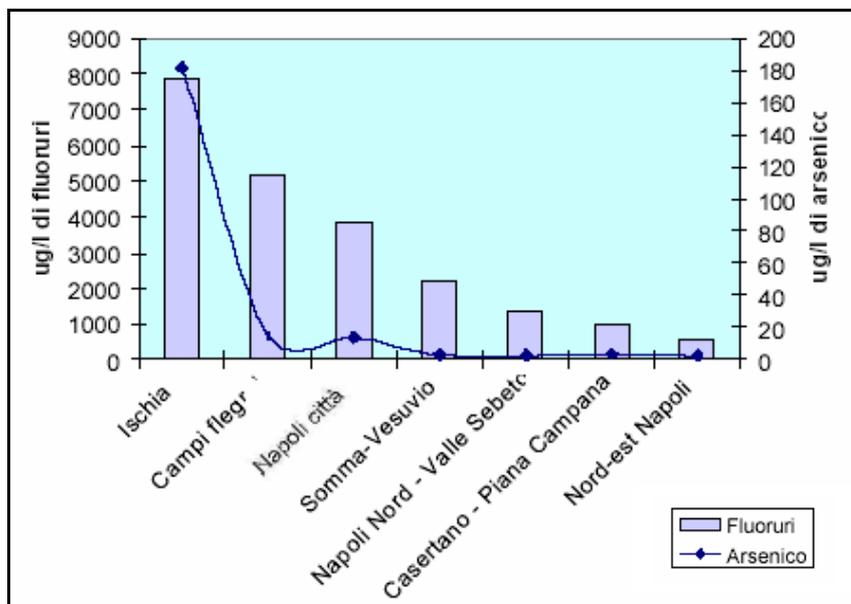


Figura 3.4 - Andamento delle concentrazioni dei fluoruri e dell'arsenico riscontrati nei pozzi dell'isola di Ischia e dell'area flegrea rispetto ad altre zone della Provincia di Napoli o di zone ad essa limitrofe (Provincia di Napoli, 2003).

3.2 – Inquadramento territoriale

L'isola di Ischia copre un'area di circa 42 km² ed è suddivisa in 6 Comuni: Barano, Casamicciola, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana. Fonti ISTAT del 2001 rilevano la presenza di circa 56.000 abitanti residenti, distribuiti nei sei Comuni così come riportato in tabella 3.1. E' da osservare che l'isola di Ischia presenta, attualmente, una percentuale di superficie agricola in media superiore al 60%, fatta eccezione del Comune di Ischia che risulta essere quello più densamente antropizzato.

Comune	Superficie (Km ²)	N° abitanti	Altimetria (m)	Grado di utilizzo della superficie agricola (%)
Barano	11.07	9242	210	95
Casamicciola	5.60	7639	43	67
Forio	12.83	13470	18	67
Ischia	8.05	17992	2	Nd
Lacco Ameno	2.70	4608	2	56
Serrara Fontana	6.69	3000	356	50

Talella 3.1 – Caratteristiche territoriali dei comuni dell'Isola di Ischia (ISTAT, 2001).

Per quanto riguarda la rete viaria essa è costituita di un'unica strada principale che percorre approssimativamente il perimetro dell'isola, e una serie di strade secondarie che conducono

verso le aree interne (fig. 3.5). Nelle zone più densamente abitate essa risulta essere più fitta, come nel graben di Ischia, nel centro del Comune di Forio e lungo la fascia costiera di Lacco Ameno e Casamicciola.

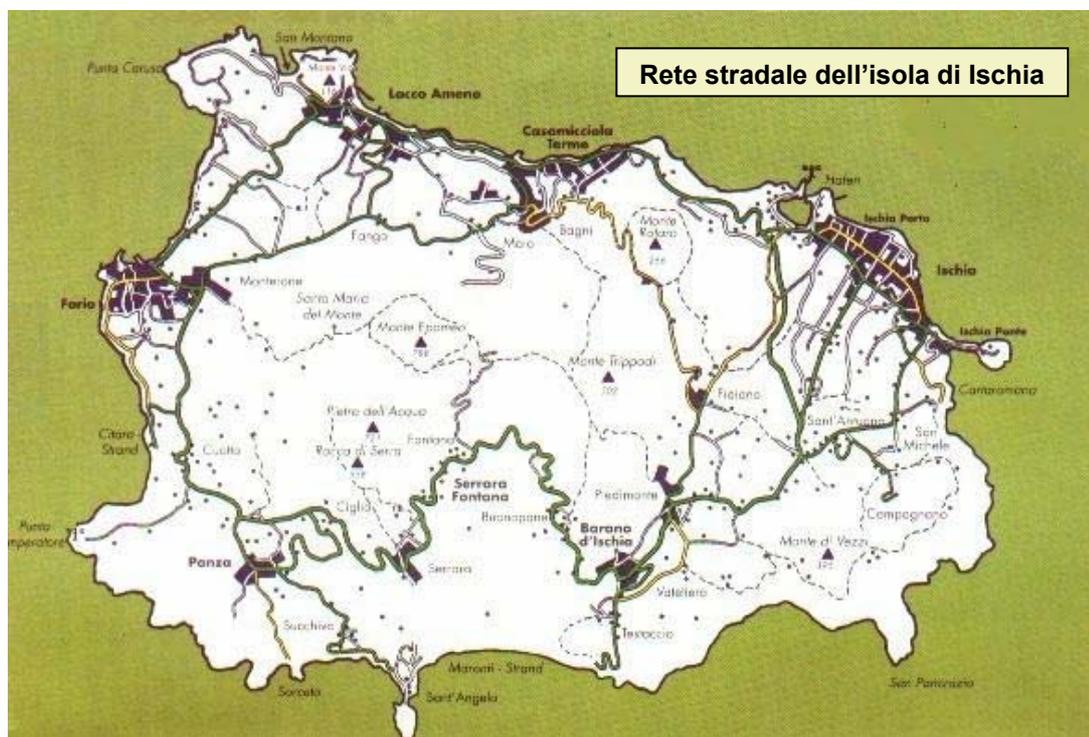


Figura 3.5 – Rete stradale dell'Isola di Ischia.

3.2,1 - Parco veicolare

In tabella 3.2 sono riportati i dati riguardanti il parco veicolare circolante nei sei Comuni dell'isola di Ischia; i dati sono parte del censimento ACI per il biennio 2000-2001 (Provincia di Napoli, 2003). A partire dai dati comunali sui veicoli circolanti e sulla popolazione residente sono stati calcolati 3 indicatori:

$r_{ab/av}$: rapporto tra il numero di abitanti residenti e numero di autovetture;

$r_{av/Kmq}$: rapporto tra il numero di autovetture e la superficie del Comune;

$r_{ab/mc}$: rapporto tra il numero di abitanti residenti e il numero di motocicli.

Comune	Auto	Autocarri trasporto merci	Motocicli	Autoveicoli speciali specifici	Autobus	Motocarri motoveicoli quadricicli	Trattori stradali
Barano	3802	252	754	38	3	366	1
Casamicciola	4078	181	1154	23	25	210	-
Forio	7351	412	2269	41	13	624	-
Ischia	10114	574	2896	92	16	542	1
Lacco Ameno	2409	105	717	15	16	125	-
Serrara Fontan	1373	98	315	8	12	195	1

Talella 3.2 - Consistenza del parco veicolare relativa all'anno 2000 e 2001.

I risultati, assieme alle medie europea, italiana, regionale e provinciale, sono riassunti in tabella 3.3.

Il dato rilevante che si evince da questa analisi è che in tutti i Comuni dell'isola di Ischia il valore del primo indicatore supera il valore relativo alla media italiana, provinciale e spesso a quella regionale.

Comune	r_{ab/av}	r_{av/Kmq}	r_{ab/mc}
Barano	2.43	343.45	12.26
Casamicciola	1.87	728.21	6.62
Forio	1.83	572.95	5.94
Ischia	1.78	1256.40	6.21
Lacco Ameno	1.91	892.22	6.43
Serrara Fontana	2.18	205.23	9.52
Media Europea	2.19	-	-
Media Italiana	1.74	-	-
Media Campana	1.89	-	-
Media Provinciale	1.77	1450	14.9

Tabella 3.3 – Indicatori r_{ab/av}, r_{av/sp}, r_{ab/mc}.

Per quanto riguarda il secondo indicatore, pur essendo i valori calcolati sempre inferiori alla media provinciale, è da osservare che i Comuni ischitani sono costituiti in media al 60% da superficie agricola, il che vuol dire che le densità di autovetture nelle aree antropizzate sono molto elevate.

I valori dati dal terzo indicatore risultano invece sempre inferiori a quello provinciale.

Questa analisi mette in evidenza la forte pressione che il traffico veicolare esercita in alcune aree ristrette di un territorio dalla estensione limitata e soprattutto munito di una rete stradale scarsamente sviluppata a causa della morfologia vulcanica fortemente articolata.

3.2,2 – Attività economiche: settori primario e secondario

In uno studio di carattere ambientale è indispensabile individuare le aree in cui, negli ultimi decenni, si è avuto un maggiore sviluppo delle attività agricole ed industriali e sottolineare l'impatto che esse hanno avuto ed hanno sul territorio in termini di inquinamento.

A tal fine sono stati esaminati i dati elaborati a cura dell'Ufficio di Statistica della Camera del Commercio di Napoli, prelevati dall'ISTAT nel corso del censimento delle industrie e dei servizi effettuato nel 1996 nei Comuni di Barano, Casamicciola, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana.

In tabella 3.4 sono stati inseriti tutti i settori di attività produttive dell'isola con i relativi codici ISTAT; in tabella 3.5, per ogni azienda, è stato riportato il numero di insediamenti e di unità lavorative di ogni singolo Comune. Il risultato ottenuto da tale analisi è il seguente: il numero complessivo di aziende attive sull'isola è pari a 2.939 per un totale di 6.762 addetti rispetto ad un numero di abitanti pari a circa 56.000 persone.

Da questa stima si rileva che le attività prevalenti nel territorio in esame sono quelle del settore primario e secondario; l'impatto, in termini di inquinamento, del settore terziario risulta del tutto assente da questa analisi (Tavola 3).

Settore	Codice
Pesca, piscicoltura e servizi connessi	A
Estrazione di minerali	B
Attività manifatturiere	C
Produzione e distribuzione di en.elettrica, gas, acqua	D
Costruzioni	E
Commercio ingrosso e dettaglio; riparazioni	F
Alberghi e ristoranti	G
Trasporti, magazzinaggio, comunicazioni	H
Intermediazione monetaria e finanziaria	I
Attività immobiliari, noleggio, informatica, ricerca	L
Altri servizi pubblici, sociali e personali	M

Tabella 3.4 - Codificazione ISTAT delle attività economiche presenti sul territorio dell'isola di Ischia. (Dati ISTAT, 1996)

- **Settore primario.** L'isola di Ischia si è guadagnata l'appellativo di "isola verde" grazie al suo clima mite mediterraneo che, nel corso dei secoli, ha favorito lo sviluppo dell'agricoltura; infatti il grado di utilizzo della superficie agricola, nella media tra i sei Comuni, supera il 60% del territorio totale.

Il prodotto che è stato ed è tuttora oggetto di una più diffusa coltivazione è la vite, importata dagli Eubei, primi colonizzatori greci dell'isola, già intorno al VII sec. A. C.. Attualmente, nonostante le difficoltà legate alla complessa orografia dell'isola e allo spesso errato uso del territorio (abusivismo edilizio), la produzione totale dell'isola è di circa 50.000 quintali d'uva l'anno, su una superficie a vigneto di circa 900 ettari, che si concentra principalmente nell'area di Barano.

Oltre i vigneti, anche se in maniera del tutto subordinata, si registra la presenza di uliveti, agrumeti, alberi da frutta e la coltivazione di ortaggi.

Per quanto riguarda poi gli alberi ad alto fusto la vegetazione più diffusa è costituita da boschi ricchi di pini e da castagneti, come il Bosco della Maddalena, il Bosco Castiglione e quelli

Comune	Imprese	Addetti	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
Barano	311	761	-	-	39	-	30	98	62	16	2	53	11
Casamicciola	437	864	-	-	29	-	34	175	88	21	7	52	31
Forio	798	1732	-	-	63	-	70	310	181	28	10	98	38
Ischia	1267	3081	-	-	85	1	83	536	198	77	13	199	75
Lacco Ameno	255	670	-	-	15	-	33	102	32	20	1	38	14
Serrara Fontana	182	415	-	-	11	-	9	48	79	14	1	9	11

Tabella 3.5 – Numero di insediamenti e di unità lavorative in ogni comune dell'isola di Ischia. (Dati ISTAT, 1996)

presenti sulle alture del Monte Epomeo dove questo tipo di vegetazione è arricchito anche dalla presenza del leccio. La Carta dell'Uso del Suolo (Tavola 4), realizzata modificando quella prodotta nell'ambito del Programma Corine dalla Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT, 1999), rappresenta i tipi vegetazionali e l'utilizzo dei suoli sull'isola.

- **Settore secondario.** E' di seguito descritta brevemente l'attività negli ambiti di maggiore interesse, cioè in quelli per i quali l'ISTAT ha rilevato un maggiore numero di aziende; i campi sono quelli del commercio e dei trasporti, delle attività manifatturiere, delle costruzioni, della ristorazione e quello alberghiero.

A partire dall'analisi degli ultimi due è ben noto che Ischia, già dai primi anni '60, ha fatto del turismo estero ed italiano una delle maggiori fonti di occupazione (tab. 3.5) grazie alla coesistenza di mare e montagna, al patrimonio storico e, soprattutto, alla abbondanza di acque termali dalle molteplici proprietà fisico-chimiche e terapeutiche. L'indotto turistico si presenta sotto forma di ospitalità in alberghi e in case-vacanza che hanno consentito di accogliere, nell'arco dell'anno 2002 (EPTN, 2002), più di 500.000 turisti. Un'affluenza tanto consistente, in un territorio dall'estensione limitata, ha fatto sì che accanto al settore alberghiero nascessero una serie di attività ad esso connessi, quali la presenza di agenzie turistiche, trasporto passeggeri e merci via terra e via mare, attività di ristorazione, produzione di artigianato tipico, noleggi e servizi per la nautica da diporto.

Tutte queste attività si sono sviluppate, a causa della morfologia articolata dell'area centrale dell'isola, lungo la fascia costiera, specie quella settentrionale. In particolar modo, come è possibile osservare dalla Tavola 4, le aree maggiormente antropizzate sono quelle di Ischia Porto, Ischia Ponte, Forio e i tratti costieri di Casamicciola e Lacco Ameno.

Per quanto riguarda le attività industriali, esse sono totalmente assenti in tutto il territorio dell'isola.

4 – IL SISTEMA SUOLO

4.1 – Generalità

La serie di processi di alterazione superficiale che legati all'attività degli agenti esogeni agiscono sulle rocce e che portano alla loro degradazione è detta pedogenesi; essa è la causa della formazione dei suoli.

I pedologi attribuiscono il termine suolo esclusivamente al materiale che ricopre la parte più superficiale della crosta terrestre e che in lassi di tempo anche molto ampi si trasforma in strati differenziati (per contenuto organico, mineralogico, per tessitura delle parti solide che lo compongono etc.) detti orizzonti (Strahler, 1984); lo spessore di questi ultimi può variare da pochi centimetri a qualche metro (De Vivo, 1995) e, se la loro progressiva formazione non è impedita da una rapida asportazione, si può formare un suolo interamente sviluppato detto maturo (Bosellini, 1989).

Il suolo costituisce un corpo dinamico in cui si verificano costantemente una serie di complesse attività chimiche, fisiche e biologiche; lontano dall'essere un sistema statico e privo di vita, esso deve essere infatti considerato un corpo in evoluzione soggetto a continue variazioni dovute alla migrazione verticale, verso il basso e verso l'alto, di materiale in sospensione ed in soluzione (Stahler, 1984). Tutto ciò è poi accompagnato da una serie complessa di reazioni chimiche ed il mezzo in cui si verifica il trasferimento e la ricostituzione di materia è l'acqua (De Vivo, 1995).

I fattori a cui sono strettamente legate la nascita e l'evoluzione di questo corpo dinamico sono, oltre quelli suddetti, le condizioni del clima, il tipo di roccia madre, il tempo, il tipo di rilievo, la vegetazione, l'intervento umano; per quanto riguarda poi la natura dei materiali che li costituiscono, i suoli sono composti da un insieme di sostanze che si trovano allo stato solido, liquido e gassoso (Strahler, 1984).

- La porzione solida è costituita sia da componenti inorganiche che organiche; le prime forniscono al suolo la parte principale del suo volume e del suo peso e sono il prodotto del disfacimento meteorico delle rocce; i frammenti che ne derivano hanno granulometria variabile da ciottolosa a sabbiosa, fino alle minuscole particelle colloidali. La parte solida organica, invece, è costituita da organismi vegetali e loro resti e da individui del regno animale; per lo più si tratta di radici, funghi, batteri, vermi, insetti e roditori.

La frazione argillosa ($\varnothing \leq 0.002$ mm) è di particolare interesse perché nel reticolo cristallino dei minerali che la compongono avvengono le sostituzioni isomorfe; esse consistono nella sostituzione del silicio (Si^{4+}) nei foglietti tetraedrici e dell'alluminio (Al^{3+}) in quelli ottaedrici con elementi aventi lo stesso numero di coordinazione ma carica inferiore (Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , ecc.). Questo provoca nel cristallo uno squilibrio elettrico e l'eccesso di cariche negative viene compensato con l'adsorbimento di cationi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Li^+ , Ba^+ , ecc.) (Biondi & Figliola, 2002).

- La parte liquida è una soluzione chimica complessa necessaria per molti fenomeni che in esso avvengono; essa è costituita prevalentemente da acqua contenente in soluzione sostanze come i bicarbonati, i solfati, i clorati, i nitrati, i fosfati ed i silicati di Ca, Mg, K, Na e Fe, oltre che sostanze organiche (Strahler, 1984).

- La parte gassosa, che riempie i pori del suolo, è costituita prevalentemente dai gas presenti nell'atmosfera (in maggior quantità CO₂ e in misura minore da O₂ e N₂) e da quelli liberati dalle attività chimiche e biologiche che ivi hanno luogo (Strahler, 1984). La composizione del gas interstiziale è comunque legata alla solubilità dei composti nella fase liquida, la porosità del terreno e l'umidità; indirettamente quindi fattori fondamentali sono la temperatura, la concentrazione dei sali e la costante di Henry delle sostanze (Sequi, 1989; Yaron et al., 1996).

4.2 - Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli

Per poter comprendere completamente la natura dei suoli è necessario conoscerne, oltre la natura dei materiali costituenti e i processi che li generano e li mantengono, anche le principali proprietà chimico-fisiche; qui di seguito sono state descritte alcune di esse.

- Colore - fornisce indicazioni sulle fasi della genesi e sugli elementi che costituiscono un suolo. Una sequenza che varia dal bianco al bruno, fino al nero è il risultato di un aumento del contenuto di humus; la sua abbondanza dipende, in genere, dalla presenza di una vegetazione rigogliosa e dalla intensa attività dei microbatteri, che è a sua volta influenzata dal clima (Strahler, 1984).

- Tessitura - è una delle principali caratteristiche del suolo e si definisce in base alla granulometria delle particelle che lo costituiscono (Strahler, 1984). La classificazione in classi tessiturali è desunta dalle proporzioni relative, in peso, delle principali frazioni granulometriche aventi dimensioni inferiori ai 2 mm di diametro (di Gennaro et al., 1995).

- Ph - fornisce una misura dell'acidità o alcalinità del suolo (Strahler, 1984).

- Struttura - si riferisce al modo in cui i granuli sono aggregati in elementi di maggiori dimensioni tenuti assieme dai colloidali del suolo; essa può essere poliedrica, colonnare, prismatica, lamellare, ecc., e comunque influenza la quantità d'acqua che questo può assorbire e la sua predisposizione all'erosione.

- Profilo del suolo - indica la suddivisione del suolo in orizzonti differenti per tessitura, colore e consistenza (fig. 4.1); è quindi in base ad esso che i suoli sono riconosciuti e classificati in ampi gruppi (Strahler, 1984).

In generale, a partire dall'alto, sono ben riconoscibili i seguenti orizzonti:

- orizzonte A, di colore scuro, molto ricco di sostanze organiche e caratterizzato da intensissima attività biologica;
- orizzonte B, di colore bruno o marrone, ricco di argille e idrossidi di ferro e di alluminio;
- orizzonte C, costituito prevalentemente dalla roccia madre più o meno alterata;

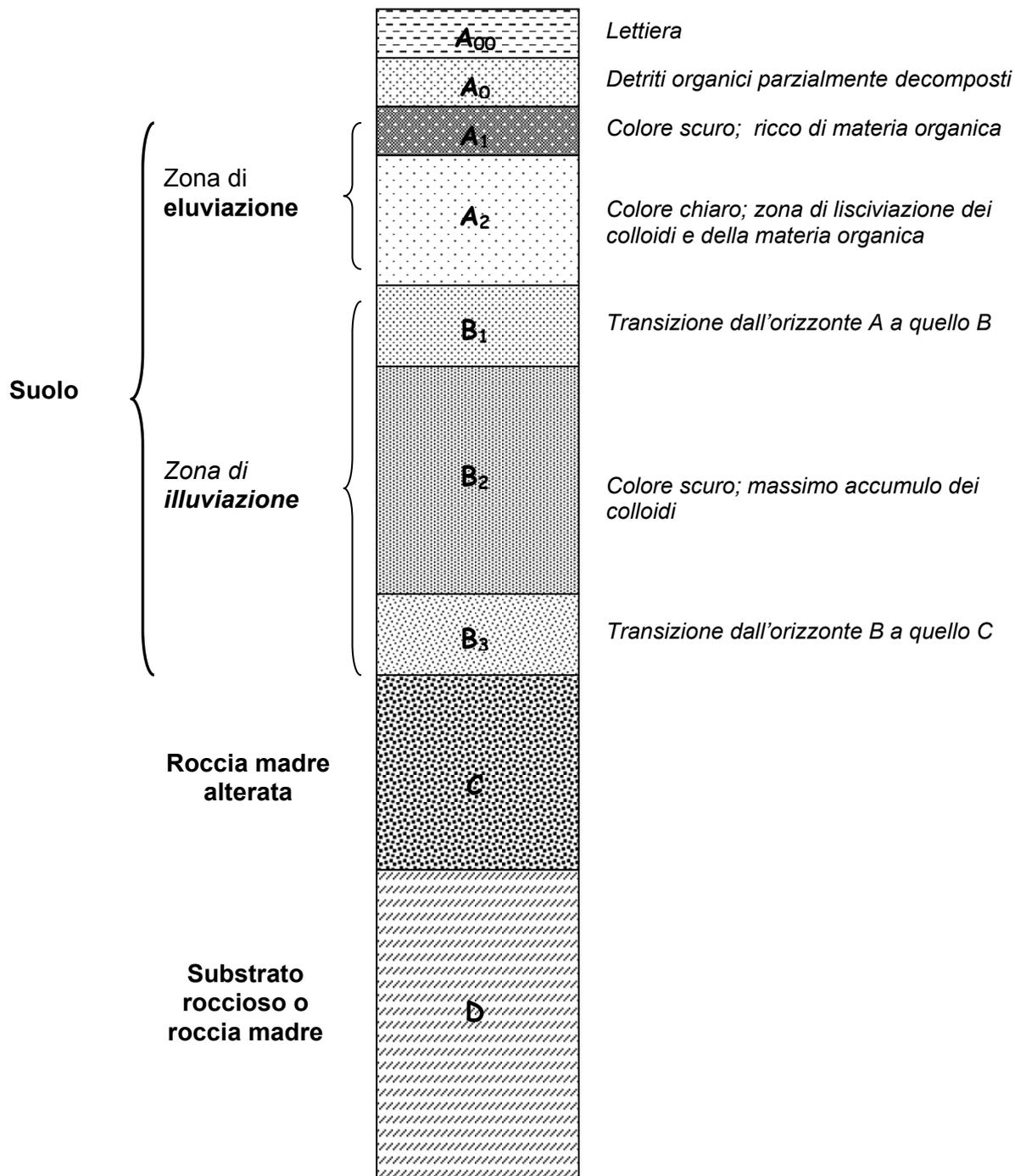


Figura 4.1 – Orizzonti del profilo di un suolo. (Da "Strahler, 1984", modificato)

- orizzonte D costituito dal substrato roccioso della roccia madre non alterata (De Vivo, 1995).

Nei suoli ben sviluppati, inoltre, ciascun orizzonte pedologico non risulta omogeneo in senso verticale; è infatti possibile effettuare ulteriori suddivisioni al loro interno in base alle differenze che si riscontrano nella tessitura, nel colore e nella composizione del materiale che li costituiscono.

Qui di seguito sono stati descritti in maniera più dettagliata i fenomeni che portano a tale differenziazione.

L'orizzonte A è caratterizzato da lisciviazione (eluviazione) per mezzo delle acque che percolano verso il basso; alcuni costituenti vengono rimossi come ioni e molecole in soluzione, altri sotto forma di particelle colloidali. Gli acidi organici (più la CO_2) prodotti dall'alterazione dell'humus contribuiscono a decomporre i minerali ed a lisciviare Na, K, Ca e Mg; Fe e Al si muovono come particelle colloidali di minerali argillosi e materiali organici; la silice tende a muoversi come acido silicico (H_4SiO_4) o silice colloidale. I minerali primari resistenti tendono invece a restare indietro nella parte superiore del suolo e tutti i costituenti lisciviati dall'orizzonte A tendono ad accumularsi nell'orizzonte B (zona di illuviazione); come risultato quest'ultimo tende ad arricchirsi in argille e in ossidi di ferro e alluminio e ad assumere un colore rossiccio. L'orizzonte C è composto dalla roccia madre in via di alterazione, la quale può essere costituita da roccia in posto oppure copertura alluvionale o ancora può essere costituita da suoli fossili (cicli pedologici fossili). La materia organica in questo orizzonte è ridotta al minimo (De Vivo, 1995).

4.3 – Contaminazione geogenica ed antropogenica dei suoli da metalli

La possibilità per i suoli di risultare arricchiti rispetto ad un elemento o a un gruppo di elementi dipende essenzialmente dalla natura delle rocce madri da cui si sviluppano. L'impatto che esercita comunque il tipo di roccia affiorante in una certa area sull'ambiente geochimico è estremamente vario; rocce simili infatti, non necessariamente determinano concentrazioni uniformi per gli elementi di cui risultano arricchite. Inoltre, le attività umane rilasciano nell'ambiente, volontariamente o involontariamente, elementi metallici potenzialmente tossici per la salute umana. Il suolo rappresenta, infatti, la sorgente dei nutrienti chimici indispensabili per la vita delle piante e l'anello di congiunzione tra il mondo vegetale e quello animale e quindi tra questi e l'uomo. Il mondo vegetale risulta seriamente danneggiato da una eccessiva concentrazione di micronutrienti; elementi quali As, Cd, Pb e Hg meritano la massima attenzione per la loro elevata tossicità e per la capacità di piante ed animali di accumularli in concentrazioni superiori a quelle in cui essi sono presenti nel suolo. Inoltre, mentre per alcuni metalli è noto il ciclo biogeochimico, così come si conoscono gli effetti sugli organismi viventi, per altri queste conoscenze sono più lacunose e la loro partecipazione ai processi pedologici non è stata ancora completamente compresa.

Sono stati di seguito brevemente descritte solo alcune cause geogeniche e antropogeniche dell'inquinamento dei suoli da metalli, prendendo in considerazione le fonti potenzialmente presenti nell'isola di Ischia.

4.3,1 – Sorgenti geogeniche

Concentrazioni elevate dei metalli nei suoli possono verificarsi naturalmente e produrre inquinamento di natura geogenica; ciò si verifica solitamente per la pedogenizzazione di rocce madri particolarmente ricche in elementi metallici (presenza di corpi mineralizzati), per la presenza di attività vulcanica e manifestazioni connesse come sorgenti termali, fumarole, fratturazioni, per intensa alterazione superficiale ed altro (De Vivo, 1995).

Negli ambienti ignei, gran parte dei metalli, durante gli stadi finali della differenziazione magmatica, tendono a concentrarsi nei fluidi acquosi residuali, detti fluidi idrotermali. Essi possono essere iniettati o infiltrarsi nelle rocce circostanti e precipitare e concentrare i metalli che trasportano, sotto forma di mineralizzazioni (economicamente sfruttabili o meno), a mano a mano che la temperatura si abbassa e per effetto delle reazioni chimiche con le rocce incassanti. Gli elementi che in genere si concentrano seguendo questa dinamica comprendono As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mo, Pb, S, U, Zn (Tarzia et al., 2002; De Vivo et al., 2004).

4.3,2 - Sorgenti antropogeniche

Arricchimento di metalli nei suoli è legato spesso al risultato di attività antropiche sia volontarie che accidentali che possono essere classificate come sorgenti puntiformi e sorgenti non puntiformi (De Vivo, 1995). Verranno qui di seguito brevemente descritte le fonti di contaminazione antropica potenzialmente presenti nell'isola di Ischia.

- I fanghi derivanti dal trattamento delle acque luride urbane ed industriali per decenni sono stati usati come fertilizzanti dei suoli. Un problema potenziale posto dal loro uso è l'accumulo di concentrazioni tossiche di alcuni metalli; essi sono stati divisi in due categorie, quelli a basso rischio (Al, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb) e quelli ad alto rischi (Cd, Cu, Mo, Ni, Zn) (CAST, 1976).

- I fertilizzanti chimici sono potenziali fonti di inquinamento perché contengono significative concentrazioni di metalli (Swaine, 1962). La fertilizzazione minerale rappresenta uno dei molteplici sistemi di energie ausiliarie messi in atto nei moderni agrosistemi per incrementare la produzione delle colture. In particolare, nei fertilizzanti si evidenziano elevate concentrazioni di As, B, Cd, Cu, Se, V e Zn.

- I pesticidi inorganici sono apportano concentrazioni anomale di Cu, Hg, Mn, Pb e Zn nei suoli. Pur essendoci attualmente una tendenza ad un uso più contenuto di pesticidi in agricoltura, resta comunque il problema di decontaminare i suoli che sono stati trattati intensivamente con i pesticidi nel passato. Uno dei casi di contaminazione ambientale più noti nella storia dell'uso dei pesticidi è quello dei clororganici, in particolare del DDT e dei suoi derivati; l'utilizzo massivo a

livello planetario, nei paesi industrializzati come in quelli in via di sviluppo, è avvenuto negli anni 50 e 60.

- L'irrigazione di suoli aridi e semiaridi rappresenta un potenziale pericolo di salinizzazione dei suoli stessi; essa può essere prodotta da un drenaggio inadeguato, dai costituenti disciolti nelle acque di irrigazione e dall'alterazione dei minerali contenuti nei suoli. Nei suoli salini si determinano alte concentrazioni di sali di metalli quali Na, Ca e Mg; essi si ritrovano sottoforma di carbonati, bicarbonati, idrossicarbonati, cloruri, solfuri, nitrati ed occasionalmente iodati (Doner & Lynn, 1977).

- Il traffico veicolare produce concentrazioni anomale in Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn nelle aree adiacenti alle strade carrozzabili (Provincia di Napoli, 2003); esse decrescono esponenzialmente man mano che ci si allontana dalle strade. L'intensità delle concentrazioni è influenzata da fattori meteorologici, dalla vegetazione, dalla topografia e dall'intensità del traffico. Questi elementi risultano concentrati generalmente nella parte più superficiale del profilo dei suoli (primi 10 - 15 cm).

- Le attività industriali producono concentrazioni più elevate di metalli nei suoli ed in particolare, a seconda del tipo di industria, si rilevano generalmente aumenti di Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni e Zn (De Vivo, 1995).

- Sorgenti puntuali come pompe di benzina, officine meccaniche, carrozzerie, cantieri navali, discariche abusive di elettrodomestici e altri oggetti contaminanti possono portare alterazioni locali del naturale contenuto di metalli nei suoli.

4.4 - Mobilità dei metalli nei suoli

L'arricchimento o l'impoverimento degli elementi metallici nei suoli è condizionato dalla mobilità relativa dei metalli nelle condizioni che regolano l'ambiente di alterazione superficiale. La distribuzione dei metalli nei profili dei suoli è controllata dai processi pedogenetici congiuntamente ai processi che regolano la distribuzione degli elementi nelle piante.

E' fondamentale quindi tenere presente che la migrazione dei metalli pesanti dipende dai seguenti parametri: contenuto d'acqua dei diversi livelli litologici incontrati; porosità efficace, densità secca, spessore dei diversi orizzonti del suolo e del non saturo, pedologia, CSC (capacità di scambio cationico), pH, Eh; permeabilità, dispersività e temperatura della zona satura, gradiente piezometrico, direzione di flusso delle falde, infiltrazione efficace, spessore del/degli acquifero/i; solubilità delle sostanze investigate, coefficiente di diffusione in acqua, peso molecolare, coefficiente di degradabilità chimica (Biondi & Figliola, 2002).

La mobilità degli elementi metallici nel suolo/sottosuolo è essenzialmente legata all'acqua (soluzione circolante). Un riferimento per valutare la mobilità è dato dal potenziale ionico (carica dell'elemento allo stato ionico diviso il suo raggio): gli elementi con basso potenziale ionico (K, Na, Ca) sono solubili in acqua come cationi semplici, mentre quelli con alto potenziale tendono a legarsi con l'ossigeno e formare ossanioni solubili (SO_4^{2-} , MO_4^{2-} , ecc.); gli elementi di

transizione con gruppo elettronico interno incompleto sono poco mobili (Ag, Cr, Cu, Fe, Zn, ecc.).

Uno dei fattori più importanti che regola il comportamento geochimico degli elementi, in presenza di acqua, è l'attività degli ioni H^+ espressa in termini di concentrazione, cioè di pH. Il pH delle acque di ruscellamento superficiale e di percolazione presiede all'alterazione chimica dei minerali e quindi alla mobilità degli elementi. Le acque degli ambienti di superficie possono presentare un intervallo di pH piuttosto ampio che può variare da circa 4 a 9. Per valori di pH da subacidi a subalcalini (6.1 - 7.8) la maggior parte dei minerali composti da Al e/o da Si sono stabili, per pH elevati (> 9.2) sono facilmente alterabili sia i silicati che gli allumo-silicati e quindi resi disponibili tutti i metalli pesanti in essi contenuti, mentre per pH < 4 sono alterabili solo gli allumo-silicati.

Altro fattore fondamentale per la mobilità è l'Eh: esso regola l'orientamento e la velocità di svolgimento delle reazioni chimiche e dipende dalla velocità con cui l'aria circola nel suolo, che a sua volta viene regolata dalla macroporosità; quando essa è elevata l'acqua filtra velocemente lasciando circolare l'aria e pertanto avvengono prevalentemente reazioni ossidanti dei composti inorganici, quando invece la circolazione è insufficiente prevalgono reazioni riducenti (orizzonti asfittici). Negli ambienti naturali superficiali caratterizzati dalla presenza d'acqua, le reazioni redox ed i prodotti che si formano sono limitati a quelli i cui potenziali redox sono compresi tra i valori dei potenziali della dissociazione della H_2O con svolgimento di ossigeno e quello con svolgimento di idrogeno. Diversi fattori agiscono sul potenziale redox quali pH, formazione di precipitati e formazione di complessi. La formazione di minerali secondari influisce in maniera determinante sulla mobilità di diversi metalli pesanti.

Inoltre è da analizzare il fenomeno dell'adsorbimento ionico (per lo più cationico) operato dai minerali argillosi del suolo o dalle particelle organiche (humus).

4.5 - I suoli dell'isola di Ischia

L'isola di Ischia costituisce un sistema di eccezionale valenza ambientale, paesaggistica, storico-culturale, naturale ed agricola sottoposto, in questi ultimi decenni, ad una elevata pressione causata in primo luogo dall'espansione delle aree antropizzate.

I suoli dell'isola si trovano, in genere, in uno stadio iniziale di differenziazione in cui il processo pedogenetico più evidente è rappresentato dalla formazione di orizzonti di superficie dallo spessore esiguo, ricchi in sostanza organica umidificata, che sovrastano direttamente il substrato pedogenetico; nelle aree subpianeggianti o pianeggianti è presente un orizzonte di alterazione debolmente differenziato. La densità urbana è bassa nelle porzioni poste a quota più elevata, mentre è maggiore nella fascia pedemontana e in quella costiera, dove le aree urbane discontinue interessano, localmente, sino al 10 % del territorio (di Gennaro et al., 1999). La vegetazione naturale occupa il 64 % della superficie dell'isola, con boschi di castagno sui versanti settentrionali, praterie xerofile, macchia, nuclei a leccio, pinete antropiche su quelli

meridionali. Sui versanti pedemontani e collinari con ciglionamenti e terrazzamenti antropici l'uso è agricolo con vigneti, orti vitati e erborati, colture ortive, incolti (Tavola 4) (di Gennaro et al. 1999).

Allo scopo di creare una base conoscitiva indispensabile per affrontare i diversi aspetti relativi alla tutela di un territorio rurale di elevatissima capacità produttiva e di inestimabile valore naturalistico, ricreativo e turistico, sono di seguito rappresentati e descritti i suoli dell'isola di Ischia (Tavola 5) (di Gennaro et al., 1999).

E' fondamentale infatti ritenere il suolo una risorsa del territorio disponibile in quantità limitata e non rinnovabile nell'orizzonte temporale umano. Per quanto concerne le caratteristiche del paesaggio ed il tipo o i tipi di suolo presenti, ciascuna delle unità di seguito descritte comprende porzioni di territorio ragionevolmente omogenee caratterizzate da attitudini produttive e da problemi di gestione specifici. Anche il rischio di degradazione delle risorse ambientali (acqua, suolo), associato ai diversi usi cui il territorio può essere destinato, risulta significativamente differenziato sia per tipologia che per intensità all'interno delle diverse aree descritte (di Gennaro, 2002; di Gennaro et al., 1999).

4.5,1 - I suoli dei versanti ripidi - molto ripidi di Monte Vico

Sono caratteristici dei versanti con pendenze elevate, comprese tra 20 e 60 %, rocciosi, dei rilievi dell'isola; il substrato pedogenetico è costituito da depositi piroclastici ricoprenti lave. Essi sono moderatamente profondi, hanno una buona disponibilità di ossigeno e la loro tessitura è sabbiosa-franca. L'uso che se ne fa attualmente è forestale, con boschi di leccio e macchia. (Endolepti-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5,2 - I suoli del versante settentrionale del Monte Epomeo

Presenti sui versanti alti, ripidi o molto ripidi del Monte Epomeo (a quote comprese tra 300 e 750 m) e dei centri eruttivi antichi, ad esposizione prevalente nord. Nella sottounità Cantoni si ritrovano suoli moderatamente profondi (50 - 100 cm) su depositi piroclastici ricoprenti il Tufo Verde, a buona disponibilità di ossigeno; la loro tessitura è moderatamente grossolana o media, franca-sabbiosa. L'uso prevalente attuale è forestale ed è rappresentato da boschi cedui di Castagno e da latifoglie mesofile. (Epilepti-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5,3 - I suoli del versante meridionale del Monte Epomeo

Presenti sui versanti alti, ripidi o molto ripidi del Monte Epomeo e dei centri eruttivi antichi, ad esposizione prevalente sud, localmente terrazzati o ciglionati. Nella sottounità Monticella i suoli sono pietrosi, scarsamente ghiaiosi (con presenza di clasti dallo 0.1 al 15 % del volume totale), moderatamente profondi (50 - 100 cm), su sottili depositi piroclastici ricoprenti il Tufo Verde ed hanno una buona disponibilità di ossigeno. La tessitura è franca, l'uso attuale è a incolto con

praterie xerofile, lembi di boschi di castagno e di latifoglie mesofile a vario stadio di degradazione; l'uso a vigneto è subordinata. (Epilepti-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5,4 - I suoli dei versanti bassi e depositi di versante

Presenti sui versanti medi e bassi moderatamente ripidi (10 – 30 %) dei rilievi vulcanici del settore occidentale dell'isola, con terrazzamenti e ciglionamenti antropici. Essi sono profondi (100 - 150 cm), impostati su depositi colluviali ed hanno una buona disponibilità di ossigeno; la tessitura è franca-sabbiosa, moderatamente grossolana e l'uso attuale è agricolo con vigneti, orti arborati e vitati. (Eutri-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5,5 - I suoli dei versanti meridionali su colate di terra

E' presente sui versanti medi e bassi, da moderatamente ripidi a molto ripidi, dei rilievi vulcanici dell'isola a prevalente esposizione sud, con terrazzamenti e ciglionamenti antropici. Essi sono in genere molto profondi (> 150 cm), scarsamente ghiaiosi e sono impostati su colate di terra; la disponibilità di ossigeno è buona e la tessitura é franca. L'uso attuale è agricolo, con vigneti, orti arborati e vitati. (Eutri-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5,6 - I suoli dei pianori costieri

Presente sui pianori costieri da subpianeggianti (0.2 – 3 %) a dolcemente inclinati (1 – 8 %) con ampi ciglionamenti e spianamenti antropici. Sono in genere molto profondi, impostati su depositi colluviali ed hanno una buona disponibilità di ossigeno; la tessitura è franca o franca-sabbiosa. La sottounità Citara risulta impostata su depositi eolici sabbiosi e la tessitura è sabbiosa. L'uso attuale è agricolo, con orti familiari arborati e vitati, vigneti e incolti. (Haplic Arenosols; FAO, 1998).

4.5,7 - I suoli dei rilievi vulcanici ripidi o molto ripidi ad attività recente

Presenti sui versanti ripidi o molto ripidi degli edifici vulcanici recenti, concentrati principalmente nel settore nord occidentale dell'isola. Nella sottounità Monte Rotaro i suoli sono pietrosi, moderatamente profondi, impostati su depositi di ceneri e scorie ed hanno una buona disponibilità di ossigeno; la tessitura è sabbiosa-franca e la ritenzione dei fosfati è alta. L'uso attuale è forestale, con pinete antropiche, boschi di leccio e macchia. (Skeleti-Vitric Andosols; FAO, 1998).

4.5,8 - I suoli dei rilievi vulcanici dolcemente inclinati e ripidi ad attività recente

Presenti sui versanti da dolcemente inclinati a molto ripidi degli edifici vulcanici recenti e dei rilievi collinari adiacenti con terrazzamenti antropici. Tipici dell'area del Monte Trippodi essi sono molto profondi, impostati su ceneri e pomici da caduta, hanno una buona disponibilità di ossigeno e un'alta ritenzione di fosfati; la tessitura è sabbiosa-franca, l'uso attuale è agricolo,

subordinatamente forestale, con vigneti, orti arborati e lembi di boschi cedui di castagno. (Eutri-Vitric Andosols; FAO, 1998).

4.5,9 - I suoli delle superfici subpianeggianti del graben di Ischia

Presenti sulle superfici da pianeggianti a dolcemente inclinate dei pianori e sulle colate laviche. Essi sono generalmente pietrosi, moderatamente profondi o profondi, impostati su ceneri e pomici da caduta ricoprenti lave ed hanno una buona disponibilità di ossigeno, la tessitura è sabbiosa-franca e l'uso attuale è di pinete antropiche, vigneti e orti familiari. (Endolepti-Vitric Cambisols; FAO, 1998).

4.5, 10 - I suoli delle aree di spiaggia

Presenti in prossimità delle aree di spiaggia, essi sono molto profondi, pianeggianti e impostati su sedimenti eolici sabbiosi. La tessitura è sabbiosa e l'uso attuale è ricreativo con macchia e incolti.

5 – CAMPIONATURA, ANALISI STATISTICA, ELABORAZIONE CARTOGRAFICA

5.1 – Campionatura dei suoli: Fase I e Fase II

Fase I - Ai fini della campionatura dei suoli la carta topografica I.G.M. in scala 1:10000 dell'isola di Ischia è stata utilizzata come riferimento per la sovrapposizione di una griglia composta di 242 celle quadrate aventi lato pari a 500 m; ad esse è stata poi assegnata una numerazione progressiva preceduta dalla sigla IS (es.: IS-043).

Una densità di campionatura così elevata è stata dettata dalla complessa distribuzione spaziale delle molteplici unità geologiche che caratterizzano un'area di appena 46 Km² (Tavola 6).

Il prelievo del suolo è stato effettuato in 198 delle 242 celle a causa di due motivi principali: 1) le celle ubicate in prossimità del mare contenevano spesso una porzione irrisoria di costa; 2) alcuni punti erano ubicati in luoghi irraggiungibili (es.: Scarrupata di Barano).

All'interno di ognuna delle celle è stato quindi prelevato un campione di suolo superficiale (*top soil*) del peso di circa 1.5 Kg ad una profondità di circa 5 – 10 cm dal piano campagna previa eliminazione della copertura vegetale; ogni campione è stato composto unendo porzioni prelevate in 3 punti posti ad una distanza di circa 5 metri al fine di ottenere un risultato rappresentativo di un'area e non di un punto. La fase di prelievo è stata preceduta dalla scelta dell'ubicazione del campione all'interno della cella, effettuata preferendo suoli non rimaneggiati per ottenere campioni rappresentativi di suolo residuale sviluppatosi direttamente sulla roccia madre. Per lo stesso motivo sono stati evitati suoli trasportati (alluvium e colluvium). Sono state sfruttate per l'analisi del profilo pedologico sezioni antropiche o naturali. Dove la scelta della situazione ottimale non è stata possibile si è proceduto alla ricerca di campi incolti prestando attenzione alla presenza di pesticidi e/o fertilizzanti ed annotando in ogni caso il tipo di coltivazione e di trattamento del suolo; in generale la campionatura è stata effettuata ad una certa distanza dalle strade, dalle pompe di benzina, dalle officine meccaniche e da tutte quelle strutture antropiche che potessero essere fonte di inquinamento diretto.

Fase II - Sulla base di una analisi dettagliata dei dati prodotti con la campionatura della Fase I sono state individuate le aree critiche in cui si è ritenuto, da una prima analisi, che l'azione antropica si sovrapponesse alle condizioni geoambientali del territorio contribuendo a determinare l'arricchimento di elementi tossici nei suoli. Inoltre, sono stati presi in considerazione anche quei punti in cui, per cause di carattere naturale (idrotermalismo), le concentrazioni degli elementi metallici analizzati hanno superato i limiti previsti nell'allegato n°1 del D.M. 471/1999.

Nelle aree così individuate (Tavola 7) è stata effettuata una nuova campionatura in 26 punti (sulla base di carta topografica 1:10000); essi sono distribuiti principalmente lungo una ampia fascia perimetrale dell'isola, essendo totalmente assenti nel settore dell'horst del Monte Epomeo aree caratterizzate da elevate concentrazioni elementali.

In ogni punto è stato prelevato un campione di suolo superficiale dall'orizzonte A (*top soil*) e un campione di suolo dall'orizzonte C (*bottom soil*), lungo la verticale, allo scopo di poter analizzare, in modo più dettagliato, le differenti concentrazioni dei metalli alle differenti profondità. Conoscere le concentrazioni elementari nella parte superficiale ed in quella di alterazione della roccia madre lungo il profilo del suolo, è un metodo utile per comprendere se fonti di natura antropogenica e/o geogenica sono responsabili della contaminazione, e in che misura (McMartin et al., 2002).

La campionatura è stata effettuata, seguendo le direttive del FOREGS (Salminen et al., 1998), su tagli naturali od antropici preesistenti o eseguendo scavi manuali in mancanza dei primi.

Il *top soil* (orizzonte A) è stato prelevato ad una profondità di circa 5 cm dal piano campagna, previa eliminazione della copertura vegetale.

Il *bottom soil* (orizzonte C) è stato campionato, in media, ad una profondità di 40 - 50 cm dal p.c., immediatamente al di sopra della roccia madre (le coperture, nell'isola, hanno solitamente spessore esiguo date le elevate pendenze).

5.1,1 – Direttive FOREGS per il prelievo dei campioni di suolo

Le modalità di campionatura utilizzate seguono le direttive del FOREGS (Salminen et al., 1998) e sono state qui di seguito elencate:

- utilizzo di utensili, ben puliti, in plastica o in acciaio inox 18/10, non smaltati, allo scopo di evitare contaminazione da metalli;
- utilizzo di guanti in plastica monouso, da cambiare al prelievo di ogni singolo campione;
- precontaminazione degli strumenti ad ogni prelievo allo scopo di ridurre la presenza di elementi appartenenti al campione prelevato in precedenza;
- in caso di campionatura da più orizzonti prelievo del materiale procedendo dal basso verso l'alto per evitarne la caduta sugli orizzonti non ancora campionati;
- prima setacciatura allo scopo di ridurre la componente grossolana caratterizzata per lo più da ciottoli, radici, fogliame, etc. e trattenere la frazione più fine utile per le analisi;
- etichettatura accurata dei campioni;
- annotazioni di campo contenenti informazioni sulla profondità di ogni singolo campione, la profondità dell'intera sezione (e quindi della roccia madre), la vicinanza a possibili fonti di contaminazione antropica (strade, pompe di benzina, officine meccaniche/nautiche, industrie, utilizzo di pesticidi, insetticidi, diserbanti, ecc.), la descrizione morfologica del sito, quella vegetazionale, il grado di umidità del campione e il suo contenuto organico;
- scatto di fotografie alle sezioni ed al sito con utilizzo del metro come riferimento.

5.2 – Trattamento dei campioni

I campioni sono stati preparati per le analisi chimiche attraverso l'essiccamento con lampade a infrarosso, ad una temperatura pari a 35° C, per evitare la volatilizzazione del Hg. L'estrazione

del materiale utile alle analisi è stata eseguita con setacci in acciaio inox in grado di trattenere la frazione sottile fino a -100 mesh (0.149 mm).

La porzione fine ottenuta è stata conservata in boccette di plastica della capacità di 20 gr contrassegnate dalla sigla del rispettivo campione.

5.3 – Analisi di laboratorio

I campioni di suolo prelevati nelle due fasi della campionatura sono stati inviati al “ACME ANALYTICAL LAB. LTD” di Vancouver (Canada).

Le analisi sono state eseguite su 35 elementi: Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti, Ag, As, Au, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hg, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sr, Th, Tl, U, V, W, Zn. I 198 campioni della Fase I sono stati analizzati col metodo ICP-AES (Spettrometria di emissione con plasma accoppiato induttivamente - *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer*); i 52 campioni prelevati nella Fase II sono stati analizzati con metodo ICP-MS: Spettrometria di massa con plasma accoppiato induttivamente (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer*). In entrambi i casi le analisi sono state effettuate previa digestione del campione in in acqua regia (liquido composto da un volume di acido nitrico (HNO₃) e tre volumi di acido idroclorico (HClO₄)). I risultati analitici dell’Au sono stati scartati in quanto inferiori al limite di rilevabilità strumentale.

5.4 – Controllo di qualità delle analisi

Prima di utilizzare i risultati analitici restituiti dall’ ACME ANALYTICAL LOBORATORIES LTD di Vancouver, i dati di entrambe le campionature sono stati sottoposti ad un controllo di qualità con il calcolo della accuratezza e della precisione. I risultati sono riportati in figg. 6.1a - 6.34a e in figg. 6.1b – 6.34b.

5.4,1 - Accuratezza

L’accuratezza indica quanto una data misura si avvicina al valore vero del campione.

Il calcolo dell’accuratezza è stato eseguito mediante la seguente formula:

$$A (\%) = [(V_v - V_m) / V_v] \times 100$$

dove V_v indica il valore di concentrazione ufficiale dello standard utilizzato dal laboratorio per l’elemento in questione e V_m il valore medio delle misure eseguite sullo standard durante l’analisi dei campioni.

La A (%) per essere accettabile deve essere ± 20 % rispetto al valore 100 (cioè 80 - 120 %); per tutti i dati il valore di accuratezza rientra in questo intervallo (De Vivo et al., 2004).

5.4,2 – Precisione

La precisione è la misura della riproducibilità delle analisi; in altre parole misura di quanto le determinazioni analitiche si distribuiscono rispetto alla media di più misure. La precisione di

un'analisi si effettua attraverso una duplice determinazione dei valori analitici di alcuni campioni che il laboratorio seleziona ciclicamente durante il corso delle analisi.

La precisione è stata definita come Differenza Relativa Percentuale (% RPD):

$$\% \text{ RPD} = (S - D) \times 100 / [(S + D)/2]$$

Il livello di accettazione è di % RPD < 35 %; esso si è verificato per i campioni di tutti i siti in esame. L'analisi, ovviamente, è tanto più precisa quanto più il risultato analitico è lontano dal limite di rilevabilità strumentale (De Vivo et al., 2004).

5.5 - Rilievo della radioattività naturale

Sui circa 46 km² dell'isola di Ischia, i siti utilizzati come stazioni di misura sono stati 167, con una densità nominale media di 1 stazione ogni 0.6 km² (Tavola 8).

La prospezione radiometrica è stata effettuata con una strumentazione portatile GRS-500 della Scintrex Ltd (Ontario, Canada). Tale strumento rileva con misure consecutive, su tempi opportunamente selezionati, le radiazioni gamma sia in modo cumulativo che in modo selettivo ossia per particolari intervalli di energia (espressi in MeV) relativi ai principali radionuclidi naturali: ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th, ⁴⁰K. I primi tre decadono con emissioni di particelle alfa e beta, accompagnate da radiazioni gamma di varia energia, e danno origine a lunghe serie di isotopi radioattivi figli; queste tre serie terminano rispettivamente con gli isotopi stabili ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb. Le percentuali di radiazioni gamma emesse dai singoli radionuclidi figli sono ben note e ci consentono di quantizzare il progenitore presente nel sito misurato. Considerando, inoltre, che il rapporto ²³⁵U/²³⁸U = 1/135 è fisso e che quindi ²³⁵U è un emettitore di radioattività naturale di secondaria importanza, per misurare la radioattività gamma dovuta all'uranio, si misura quella emessa dal ²¹⁴Bi, un figlio radiogenico dell'²³⁸U, che emette molte radiazioni gamma intorno a 1.76 MeV. Allo stesso modo per misurare la radioattività emessa dal Th, si misura quella emessa dal figlio ²⁰⁸Tl di energia intorno a 2.6 MeV.

Per quanto riguarda la radioattività dovuta al ⁴⁰K, essa è misurata sull'unica radiazione gamma emessa di energia intorno a 1.46 MeV. Il ⁴⁰K ha una abbondanza isotopica naturale di 0.01119 % del K totale e, dal momento che il K è un elemento abbondante, la radioattività del ⁴⁰K può essere notevole, specie per le rocce ad alto contenuto in tale elemento (Lima et al., 2005; Plant et al., 2003, 2005).

Lo strumento Scintrex GRS-500, per misurare la radioattività dovuta ad U, Th e K, rileva le disintegrazioni gamma tra 1.65 ed 1.87 MeV (dovute al ²¹⁴Bi), tra 2.45 e 2.79 MeV (dovute al ²⁰⁸Tl), tra 1.35 e 1.59 MeV (dovute al ⁴⁰K) rispettivamente. Lo strumento misura anche tutte le radiazioni gamma emesse dal campione in esame, in due modi: quelle superiori a 0.08 MeV (TC1) e quelle superiori a 0.40 MeV (TC2). Nelle prime vengono misurate anche radiazioni gamma di bassa energia, che possono essere anche imputabili a fondo strumentale o radiazioni gamma secondarie naturali; le seconde dovrebbero comprendere tutte le radiazioni gamma naturali effettivamente emesse dal campione. Queste misure conteggiano le radiazioni gamma

emesse dal ^{40}K e da tutti i radionuclidi figli di U e Th, unitamente a quelle di altri radionuclidi naturali meno abbondanti e meno importanti ed, eventualmente, di radionuclidi artificiali. A meno di particolari situazioni, specie per quanto riguarda i radionuclidi artificiali, la radioattività dovuta ad altri radionuclidi che non siano il ^{40}K ed i radionuclidi figli di U e Th va considerata un "fondo", da cui emergono i picchi dovuti al K ed ai figli, già menzionati, dell'U e del Th.

La radioattività può essere misurata in *Curie* (Ci), che è l'unità standard più vecchia, e corrisponde a 3700×10^{10} disintegrazioni nucleari per secondo. L'unità nel SI (Sistema Internazionale di misura) è il *Becquerel* (Bq) che corrisponde ad 1 disintegrazione per secondo. In questo caso è misurata in Bq. La calibrazione dello strumento è stata eseguita ad intervalli di 2 – 3 ore usando uno standard di bario-133. Ogni lettura data è stata calcolata come media su un intervallo di 50 secondi.

5.6 – Elaborazione statistica dei dati geochimici

L'analisi statistica dei dati geochimici è stata effettuata in modo diversificato per i campioni prelevati nelle due distinte fasi di campionamento. Sui dati analitici appartenenti ai campioni della prima fase è stata realizzata un'analisi statistica univariata (*box-plot*, cumulative di frequenza, istogrammi) (Aitchinson, 1988) e multivariata (analisi fattoriale) (De Vivo et al., 1981); sui dati analitici appartenenti ai campioni della seconda fase è stata realizzata un'analisi statistica univariata.

L'elaborazione statistica univariata è stata effettuata in entrambi i casi con i programmi Probability plot (Stanley, 1987); l'analisi fattoriale è stata realizzata con l'ausilio del *software* G-RFAC (Miesch, 1990).

5.6,1 – Elaborazione statistica univariata dei dati della Fase I

L'analisi statistica univariata dei dati era utilizzata nelle prospezioni geochimiche a scopo minerario ed è tutt'oggi usata nella geochimica ambientale per discriminare i valori di fondo naturali rispetto a quelli anomali nei diversi mezzi dell'ambiente (suoli, *stream sediments*, sedimenti lacustri, ecc.).

Attraverso la statistica classica, si è verificato il tipo di distribuzione (normale o lognormale) e se essa è rappresentativa di una o più popolazioni di dati (Sinclair, 1976).

Per ogni elemento la distribuzione statistica dei dati geochimici dei 198 campioni prelevati durante la Fase I è stata rappresentata graficamente tramite *box-plots*, curve cumulative di frequenza e istogrammi (figg. 6.1a – 6.34a). Inoltre, per ogni elemento, sono stati calcolati i seguenti parametri: media aritmetica, media geometrica, mediana, moda, valore minimo, valore massimo, 25° e 75° percentile, deviazione standard, varianza, limite di rilevabilità strumentale, accuratezza e precisione delle analisi (figg. 6.1a – 6.34a). Ai fini del calcolo statistico ai dati inferiori al limite di rilevabilità strumentale è stato assegnato un valore pari al 50% dello stesso. Inoltre, per normalizzare il valore dei dati, le concentrazioni sono state trasformate in forma

logaritmica (\log_{10}).

Box-plot - Tale rappresentazione grafica evidenzia la distribuzione di frequenza, la posizione della mediana, la dispersione, i valori di massimo e di minimo, i valori anomali. Inoltre è possibile raffrontare tra loro gruppi di dati analoghi. Il *box-plot* è costituito da un rettangolo i cui lati verticali sono paralleli alla scala di misura, quelli orizzontali sono posti in corrispondenza del primo e terzo quartile, rispettivamente Q_1 e Q_3 ; una linea parallela a questi rappresenta la mediana o il secondo quartile. Dal centro dei lati superiore e inferiore del rettangolo viene tracciata una linea che raggiunge il valore più estremo, purché non anomalo; quest'ultimo, rappresentato da un cerchio, viene riportato in corrispondenza della posizione sulla scala scelta.

Istogrammi - L'osservazione di una variabile quantitativa in una popolazione di dati si può riassumere in un grafico che riporta sulle ascisse l'intervallo all'interno del quale sono presenti i valori della variabile e sulle ordinate la frequenza, ossia il numero di individui (in unità o percentuale) che assumono i valori di tale intervallo. Tale grafico si costruisce alzando su ogni valore della variabile un rettangolo di altezza (o area) proporzionale alla frequenza di quel valore.

Curve cumulative di frequenza - Esse sono costruite utilizzando un sistema di assi cartesiani in cui sull'asse delle ascisse sono riportate le classi di frequenza e su quello delle ordinate le percentuali cumulative. Quindi nei grafici sono individuati i punti corrispondenti ad ogni classe di frequenza; questi punti sono infine uniti tra loro da una linea che rappresenta appunto il tracciato della distribuzione cumulativa delle frequenze. Questo tracciato è utile per determinare graficamente i percentili di una distribuzione, dove per percentile si intende il livello di misura al di sotto del quale cade una determinata percentuale della distribuzione.

Sull'asse delle ordinate vengono così scelti i punti corrispondenti alle percentuali desiderate; i percentili più utili e comunemente usati sono il 25°, il 50° ed il 75°, ossia i punti dell'asse delle ordinate corrispondenti a 25, 50 e 75 %. Il 25° percentile è detto anche primo quartile in quanto raccoglie il primo quarto della popolazione; analogamente, il 75° percentile è detto anche terzo quartile; infine il 50° percentile, detto anche mediana, è un indice di tendenza centrale tra i più importanti.

Con l'ausilio del Probability plot (Stanley, 1987), *software* che permette di individuare per il singolo elemento fino a 5 popolazioni di dati e di calcolarne il *threshold limit* (soglia di anomalia), sono state calcolate le soglie di anomalia per ogni elemento utilizzando le curve cumulative di frequenza e gli istogrammi dei valori logaritmici dei risultati analitici: esse sono riportate in tabella 5.1 (Ahrens, 1954; De Vivo, 1995; Lepeltier C., 1969; Sinclair, 1974, 1976; Tennant & White, 1959).

5.6,2 - Analisi statistica multivariata dei dati della Fase I: analisi fattoriale in R-mode

Lo scopo di questa applicazione è quello di ottenere informazioni circa la struttura e le relazioni

Elementi	Soglia di anomalia	Elementi	Soglia di anomalia
Ag (mg/Kg)	0.184	Mn (mg/Kg)	1590
Al (%)	4.26	Mo (mg/Kg)	2.066
As (mg/Kg)	25.10	Na (%)	0.655
B (mg/Kg)	24.70	Ni (mg/Kg)	13.69
Ba (mg/Kg)	283.4	P (%)	0.224
Bi (mg/Kg)	0.771	Pb (mg/Kg)	173.8
Ca (%)	3.717	S (%)	0.089
Cd (mg/Kg)	0.790	Sb (mg/Kg)	2.141
Co (mg/Kg)	7.31	Sc (mg/Kg)	2.538
Cr (mg/Kg)	13.48	Sr (mg/Kg)	127.1
Cu (mg/Kg)	396.8	Th (mg/Kg)	26.58
Fe (%)	2.105	Ti (%)	0.183
Ga (mg/Kg)	8.370	Tl (mg/Kg)	6.831
Hg (mg/Kg)	0.683	U (mg/Kg)	5.269
K (%)	1.993	V (mg/Kg)	55.09
La (mg/Kg)	92.04	W (mg/Kg)	1.385
Mg (%)	0.520	Zn (mg/Kg)	213.1

Tabella 5.1 – Valori della soglia di anomalia determinati con l'utilizzo del *Probability plot* (Stanley, 1987).

tra un insieme di m variabili (numero di elementi, nel caso specifico) appartenenti ad un sistema apparentemente complesso, che sono state oggetto di n misure (198 campioni) (De Vivo et al., 1981); essa consente di raggruppare le variabili sotto forma di associazioni sulla base dei loro coefficienti di correlazione. Questo tipo di analisi restituisce non una soluzione, ma una serie di soluzioni dette modelli fattoriali. La scelta del modello più consono è basata sul fatto che le associazioni prescelte sono quelle che presentano maggiore significato rispetto alle caratteristiche geologiche e all'ambiente superficiale (modello fattoriale significativo); vi è, infatti, una stretta dipendenza tra le associazioni di elementi, litologie, mineralizzazioni, fenomeni idrotermali, fenomeni di precipitazione legati all'ambiente superficiale, contaminazione antropica. Inoltre, attraverso la distribuzione dei *factor scores*, è possibile calcolare l'incidenza di ogni associazione di elementi per ogni campione e quindi in ogni sito campionato.

Per l'analisi fattoriale è stato utilizzato il programma G-RFAC (Miesch, 1990). Per semplificare l'interpretazione è stata usata la *varimax rotation* per il calcolo dei *factor scores*.

L'analisi è stata applicata a 27 elementi; sono stati eliminati dal calcolo quegli elementi i cui valori analitici sono spesso inferiori al limite di rilevabilità strumentale e quelli il cui comportamento è simile a quello di altri elementi (Ag, Au, Hg, Sc, Sr, V). I dati sono stati poi trasformati in forma logaritmica (\log_{10}) (Aitchinson, 1988) e normalizzati rispetto al V.

Tra i modelli prodotti è stato scelto il n°5, responsabile del 77,36 % della variabilità totale. Sono stati considerati rappresentativi delle associazioni gli elementi con *loading* > |0.45|. In tabella 5.2 sono riportati i dati relativi alle cinque associazioni: F1 (La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na); F2 (Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr); F3 (Ti, Tl, Bi, U); F4 (Ni, Co, Cr, -Na) e F5 (K, Al, Na, Mg, Cu).

Modello fattoriale 5 – 77.36 % della variabilità totale dei dati

F1 – 30.66% VD		F2 – 14.90% VD		F3 – 9.67% VD		F4 – 6.67 % VD		F5 – 5.66% VD	
Element	Loading	Element	Loading	Element	Loading	Element	Loading	Element	Loading
La	0.925	Zn	0.827	Ti	0.785	Ni	0.877	K	0.714
Fe	0.863	Cd	0.797	Tl	0.69	Co	0.858	Al	0.609
Th	0.836	Sb	0.782	Bi	0.629	Cr	0.721	Na	0.465
Mn	0.763	P	0.726	U	0.573	(Na)	-0.559	Mg	0.451
As	0.746	Pb	0.723					(Cu)	-0.696
U	0.667	Ca	0.659						
Al	0.517	Ba	0.561						
Mg	0.493	Cr	0.465						
Na	0.493								

Tabella 5.2 – Associazioni fattoriali del modello n°5. Variabilità dei dati (VD) per le cinque associazioni fattoriali e valore dei loadings.

5.6,3 - Elaborazione statistica univariata dei dati della Fase II

Per ogni elemento analizzato sono stati calcolati i seguenti parametri: media aritmetica, media geometrica, mediana, moda, valore minimo, valore massimo, 25° e 75° percentile, deviazione standard, varianza, limite di rilevabilità strumentale, accuratezza e precisione delle analisi (figg. 6.1b – 6.34b). Ai fini del calcolo statistico ai dati inferiori al limite di rilevabilità strumentale è stato assegnato un valore pari al 50 % dello stesso.

I dati ottenuti dall'analisi dei campioni di suolo superficiale (orizzonte A) e profondo (orizzonte C) prelevati in 26 punti sono stati rappresentati graficamente sotto forma di indice di arricchimento "r", dove

$$"r" = \text{concentrazione nell'orizzonte A} / \text{concentrazione nell'orizzonte C.}$$

Questa elaborazione è stata realizzata per i 34 elementi analizzati (figg. 6.1b – 6.34b).

Il valore dell'indice di arricchimento può essere >1, indicando arricchimento nell'orizzonte più superficiale del suolo, oppure <1, indicando in tal caso arricchimento in quello più profondo; valore pari ad uno indica che nessuna variazione avviene nelle concentrazioni elementali al variare della profondità lungo il profilo del suolo.

Inoltre, sono stati realizzati *box-plots* delle concentrazioni elementali nell'orizzonte A e in quello C per ogni elemento per effettuare confronti sulla distribuzione statistica dei valori analitici alle diverse profondità (figg. 6.1b – 6.34b).

5.7 - Il database

I dati geochimici ottenuti dalle analisi effettuate sono stati registrati ed organizzati, insieme a tutte le altre informazioni raccolte, in una banca dati (*database*) per gestirli attraverso l'utilizzo di un GIS (*Geographical Information Systems*). Nel *database* i campioni sono stati ordinati in modo tale da individuarli attraverso il loro codice identificativo (ID) e, soprattutto, attraverso le loro coordinate spaziali, riportate come coordinate geografiche chilometriche (UTM-ED50). Ad

ogni campione, ovvero ad ogni ID, sono stati associati i valori delle corrispondenti concentrazioni analitiche e tutte le altre informazioni disponibili.

5.8 - Elaborazione cartografica dei dati dei campioni della Fase I

Sono state digitalizzate la carta geologica, quella strutturale, la carta delle attività economiche, la carta dell'uso del suolo, la carta dei suoli utilizzando il software ArcView 3.2 (ESRI, 1997).

Per tutti gli elementi chimici analizzati nei campioni della Fase I della campionatura e per i valori di radioattività naturale rilevati, sono state compilate:

- carte della distribuzione puntuale ed interpolata di Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Ti, Th, Tl, U, V, W, Zn, oltre che del ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , TC1, TC2;
- per gli stessi elementi chimici e per quelli radioattivi sono state realizzate mappe dei tenori di fondo (*baseline*) e mappe dei valori anomali;
- 12 carte di intervento per As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn, seguendo i limiti imposti dal D.M. 471/99;
- 5 mappe della distribuzione dei *factor scores* delle associazioni fattoriali (F1: La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na; F2: Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr; F3: Ti, Tl, Bi, U; F4: Ni, Co, Cr, (Na); F5: K, Al, Na, Mg, (Cu)).

I *softwares* utilizzati sono i GIS ArcView 3.2 (ESRI, 1997) e GeoDAS (GeoDAS, 2001). Quest'ultimo è un programma innovativo nato per l'elaborazione di dati geochimici in campo minerario ed ambientale; esso non è in commercio ma è frutto di un consorzio di ricerca di cui fanno parte il Servizio Geologico degli Stati Uniti, del Canada, dell'Università di York (Toronto), delle industrie minerarie e dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (gruppo di lavoro del prof. De Vivo, Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia).

5.8,1 - Rappresentazione puntuale dei dati (Dot maps)

Le mappe della distribuzione puntuale delle concentrazioni sono state realizzate per rappresentare la reale concentrazione nei suoli di ogni singolo elemento chimico. Cinque intervalli di concentrazione sono stati identificati utilizzando il metodo basato sul valore medio (\bar{x}) e la deviazione standard ($\bar{\sigma}$). A tal fine, il *database* è stato richiamato all'interno del progetto cartografico utilizzando i valori delle coordinate registrate per ogni singolo campione. I siti campionati sono visualizzati all'interno della mappa digitale con una simbologia circolare di dimensione crescente al crescere del valore delle concentrazioni; gli intervalli corrispondono ai valori $\bar{x} \pm n\bar{\sigma}$, con $n = 1, 2, 3$.

5.8,2 - Rappresentazione cartografica dei dati interpolati con il metodo IDW Multifrattale

L'interpolazione è un processo realizzato attraverso l'utilizzo di specifici algoritmi matematici che permettono di generalizzare il dato geochimico trasformandolo, dalla univocità del valore

puntuale, in una informazione di tipo spaziale areale.

Per quanto numerosi possano essere i campioni prelevati e i dati di concentrazione prodotti per ogni singolo elemento analizzato in una determinata area, la loro rappresentazione cartografica puntuale non potrà mai assumere il carattere di continuità che, invece, deve essere restituito dalla rappresentazione grafica dei dati interpolati. Si rende perciò necessario formulare un'ipotesi sul comportamento della grandezza in esame fra due o più punti noti ed assumere la stessa come la migliore approssimazione possibile dei valori reali.

Il risultato di un processo d'interpolazione di dati geochimici non potrà mai prevedere, per quanto complesso ed elaborato esso sia, le variazioni locali di concentrazione dovute alla presenza di particolari condizioni geochimico-litologiche e/o a fenomeni di contaminazione antropica. L'interpolazione, quindi, non fornisce nelle aree non campionate un'informazione deterministica, ma delinea in modo probabilistico i *trends/patterns* regionali da relazionare ed interpretare a grande scala in funzione delle situazioni geologico-strutturali dell'area in esame.

Per interpolare i dati è stato utilizzato il metodo dell'IDW multifrattale (*Multifractal Inverse Distance Weighted*) grazie all'ausilio del *software* GeoDAS; esso consiste in una nuova metodologia che utilizza i principi della geometria frattale e multifrattale (Cheng, 1994, 1999; Cheng et al., 1994, 1996, 1999, 2000, 2001; Cicchella, 2002; Lima et al., 2003b; Cicchella et al., 2005). L'efficacia della sua applicazione in campo ambientale è stata dimostrata da Lima et al. (2003b) utilizzando la campionatura di riferimento della Regione Campania e da Cicchella et al. (2005) avvalendosi della campionatura di riferimento della Provincia e dell'area metropolitana della città di Napoli.

Nell'elaborazione dei dati dei suoli dell'isola di Ischia è stata utilizzata una cella che copre un'area di 50 m x 50 m, con un raggio di interpolazione fino a 0.6 km.

Per la classificazione dei colori delle carte interpolate con l'IDW multifrattale viene applicato il modello *fractal concentration-area model*, indicato come C-A. Esso consente di suddividere l'immagine da rappresentare in varie componenti che possono rappresentare caratteristiche specifiche sul territorio, e di assegnare loro diversi colori. Praticamente tale suddivisione scaturisce dalla classificazione dei *pixel* di ogni griglia così come è rappresentata nel diagramma C-A in figura 5.1. Con l'ausilio del GeoDAS, *software* con cui è stato possibile interagire per adattare i *cut-offs* più opportuni e suddividendo così l'immagine in varie componenti che rappresentano aree con caratteristiche geo-litologiche e/o attività antropiche specifiche. Gli intervalli scelti sono in numero di 9.

5.8,3 - Mappe del tenore di fondo attuale (*baseline*) e delle anomalie

Una corretta determinazione dei valori *background/baseline* ha assunto particolare importanza nella prospezione per fini ambientali in quanto la legislazione vigente in Italia (D.M. 471/1999) fissa i limiti di intervento per gli elementi metallici nocivi alla salute dell'uomo e, laddove questi limiti sono superati, rende obbligatorio il recupero delle aree contaminate con opere di bonifica

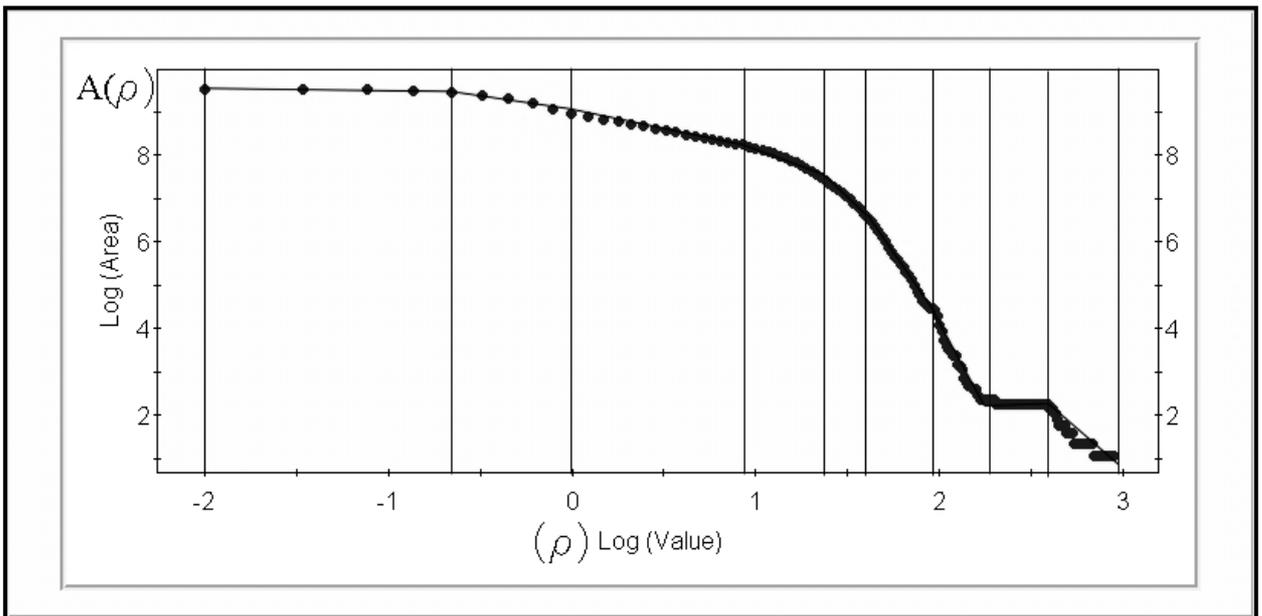


Figura 5.1 – Esempio di C-A plot.

e/o di messa in sicurezza dei siti. Lo stesso decreto stabilisce anche che i limiti di intervento possono essere, però, modificati in funzione dei valori del tenore di fondo naturale (*background*) da definire zona per zona.

Con il programma GeoDAS è stato possibile, tramite la innovativa *fractal filtering technique*, detta S-A (*separation-analysis*), separare i valori *baseline* da quelli anomali. L'assunzione geologica di base di questa tecnica è che un campo geochimico o un'immagine, generata da specifici processi geologici, può essere descritta in termini delle sue proprietà frattali che a loro volta possono essere misurate sia nel dominio di frequenza che nel dominio spaziale (Turcotte, 1997). Nel dominio spaziale, le proprietà di scala sono relazionate alla configurazione geometrica spaziale, all'istogramma della distribuzione dei valori, alla variazione di forma dovuta alla variazione dei valori, così come avviene nell'IDW Multifrattale appena descritto. Nel dominio di frequenze queste proprietà possono essere rappresentate da uno spettro di potenza (Cheng et al., 1999, 2000). Il filtro frattale usato è definito in base alla proprietà della legge di potenza di uno spettro di potenza nel dominio delle frequenze. Lo scopo è quello di dividere lo spettro di potenza in componenti caratterizzate da proprietà di scala simili. Questo tipo di filtro ha una conformazione irregolare dovuta alla struttura intrinseca anisotropa e normalmente complessa dei dati geochimici e può essere utilizzato appunto per estrarre le anomalie dai valori *baseline*. Nella discussione delle carte, all'interno dell'intervallo dei valori *baseline*, è stato poi possibile separare i valori di fondo naturale (*background*) grazie alle conoscenze geologiche e delle attività di tipo antropico dell'area in esame.

I valori negativi presenti nelle carte delle anomalie geochimiche rappresentano un impoverimento dello specifico elemento rispetto al suo tenore di fondo (valore *baseline*) in quel punto, viceversa i valori positivi rappresentano un arricchimento.

Il numero di intervalli numerici utilizzati nella cartografia dei valori *baseline* e di quelli anomali varia per ogni elemento a seconda del significato geochimico di ognuno di essi.

5.8,4 - Carte di Intervento

Esse costituiscono un valido strumento di prevenzione da forme di inquinamento naturale e non, in funzione dell'uso del territorio. Sono state compilate in base ai valori limite fissati nell'Allegato 1 del Decreto del Ministero dell'Ambiente n°471/1999 per i suoli in funzione dell'uso a verde pubblico, privato e residenziale e dell'uso industriale e commerciale del territorio. Esse sono state compilate per gli elementi contemplati dal decreto (tab. 5.3) in quanto considerati tossico-nocivi per la salute umana; in particolare per As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn.

5.8,5 - Rappresentazione della distribuzione dei factor scores delle associazioni fattoriali

Nella valutazione del significato delle anomalie geochimiche, sia per fini geo-minerari che

Elementi	LI (Residenziale)	LI (Ind./Comm.)
As (mg/Kg)	20	50
Cd (mg/Kg)	2	15
Co (mg/Kg)	20	250
Cr mg/Kg)	150	800
Cu (mg/Kg)	120	600
Hg (mg/Kg)	1	5
Ni (mg/Kg)	120	500
Pb (mg/Kg)	100	1000
Sb (mg/Kg)	10	30
Tl (mg/Kg)	1	10
V (mg/Kg)	90	250
Zn (mg/Kg)	150	1500

Tabella 5.3 – Limiti di concentrazione nei suoli imposti dal D.M. 471/1999

ambientali, risulta di grande utilità l'uso di analisi statistiche multivariate dei dati, come l'analisi fattoriale in R-mode. Essa consente una valutazione quantitativa delle diverse variabili in gioco e la loro reciproca influenza permettendo così di valutare le possibili correlazioni esistenti tra la distribuzione dei singoli elementi, caratteristiche litologiche, eventuali processi mineralizzanti, fenomeni di arricchimento legati all'ambiente superficiale, inquinamento antropico ed altro (De Vivo et al., 1981).

Attraverso la distribuzione dei *factor scores* delle associazioni fattoriali è possibile valutare l'incidenza di ogni associazione di elementi in ogni sito campionato. Le carte della distribuzione dei *factor scores* delle associazioni fattoriali (ottenuti dall'analisi fattoriale) sono state compilate con la stessa metodologia (IDW Multifrattale) utilizzata per realizzare le carte della distribuzione geochimica delle concentrazioni dei singoli elementi chimici.

Le associazioni rappresentate sono:

F1 - La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na;

F2 - Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr;

F3 - Ti, Tl, Bi, U;

F4 - Ni, Co, Cr, (Na);

F5 - K, Al, Na, Mg, (Cu).

In parentesi sono riportati gli elementi con indice di correlazione negativo.

5.8,6 - Rappresentazione della radioattività naturale

Le carte della distribuzione dei valori di radioattività naturale misurati in 167 punti distribuiti su tutto il territorio dell'isola di Ischia sono state compilate con la stessa metodologia usata per la elaborazione delle carte della distribuzione geochimica delle concentrazioni elementali. Sono state infatti prodotte mappe puntuali, interpolate (IDW multifrattale), *baseline* e delle anomalie del ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , TC1 (>0.08 MeV), TC2 (>0.40 MeV).

5.9 - Elaborazione cartografica dei dati dei campioni della Fase II

Con l'ausilio del GIS ArcView 3.2, per la rappresentazione delle concentrazioni elementali dei campioni prelevati nella Fase II, sono state compilate:

- 34 carte della distribuzione puntuale in cui sono stati rappresentati i valori del rapporto tra le concentrazioni nell'orizzonte superficiale (A) e quello profondo (C) per Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Ti, Th, Tl, U, V, W, Zn. In questo modo si può osservare nello spazio la distribuzione dei valori dell'indice di arricchimento r ;
- mappe puntuali di ogni elemento in cui, sovrapposti alle mappe *baseline* realizzate con i dati relativi alla Fase I di campionatura, sono stati riportati i valori delle concentrazioni nell'orizzonte A e in quello C rappresentati in forma di istogrammi. Queste mappe sono state realizzate con lo scopo di poter effettuare un confronto tra i valori analitici riscontrati nell'orizzonte C e quelli di *baseline*.

6 – CARTE GEOCHIMICHE DEGLI ELEMENTI

Sono qui di seguito descritte le carte della distribuzione puntuale delle concentrazioni elementali dei 198 campioni di suolo superficiale prelevati durante la Fase I di campionatura; seguono la descrizione delle mappe dei relativi dati interpolati e quelle della distribuzione dei valori *baseline* e delle anomalie. Per ogni elemento sono inoltre riportati i dati ed i grafici relativi all'analisi statistica univariata (*box-plot*, cumulative di frequenza, istogrammi) (figg. 6.1a – 6.34a).

Inoltre, è riportata per ogni elemento l'analisi sulla distribuzione dei valori analitici dei campioni prelevati nel corso della Fase II negli orizzonti A e C. In figg. 6.1b – 6.34b sono riportate le distribuzioni statistiche degli elementi negli orizzonti A e C.

6.1 - Argento (Ag)

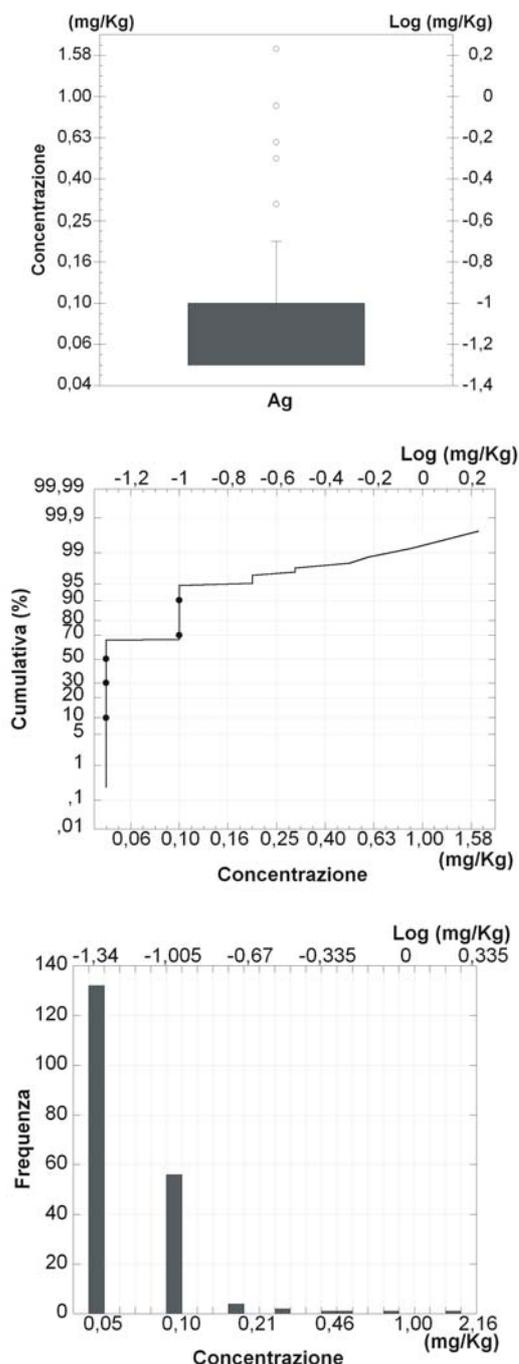
L'Ag ha proprietà fortemente calcofile ed è diffuso in mineralizzazioni a solfuri; spesso è associato con altri elementi calcofili come Pb, Co, Ni, Sb e As (Ure & Berrow, 1982). Esso non mostra consistente affinità né con i magmi basici né con quelli acidi, sebbene la sostituzione degli ioni Na^+ con gli ioni Ag^+ ne determini un arricchimento nelle rocce alcaline (Boyle, 1968). Nei minerali delle argille Ag^+ può sostituire K^+ in condizioni di bassa acidità (Ure & Berrow, 1982).

È utilizzato principalmente nella produzione di gioielli, monete, posate ed altri utensili, nella fotografia (AgBr), nei contatti elettrici, nelle protesi dentarie, nelle batterie e nei circuiti stampati, ma trova largo impiego anche in medicina per la sua azione astringente, caustica, germicida e antisettica; in alcuni stati il nitrato di Ag è utilizzato per la profilassi dell'oftalmia neonatale.

Nell'uomo l'esposizione a concentrazioni elevate di tale metallo, soprattutto sotto forma di nitrato di Ag, causa una severa irritazione del tratto gastrointestinale, lesioni al fegato, bronchite, congestione ed edema polmonare. Intossicazioni gravi possono condurre a morte (Browning, 1969).

6.1,1 - Distribuzione geochimica dell'Ag nei suoli superficiali

I dati della distribuzione puntuale dell'Ag nei suoli residuali dell'isola di Ischia (Tavola 9A) presentano le concentrazioni elementali più elevate (0.52 – 1.70 mg/Kg) in corrispondenza di tre campioni ubicati nell'area tra Ischia Ponte e Campagnano.



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.05
Massimo	1.70
Media aritmetica	0.09
Mediana	0.05
Media geometrica	0.07
Moda	0.05
25° Percentile	0.05
75° Percentile	0.10
Deviazione standard	0.143
Limite di rilevabilità strumentale	0.30
Accuratezza	7.24
Precisione	0.00

Figura 6.1a - Distribuzione statistica dell'Ag.

Concentrazioni medio-alte (0.37 – 0.52 mg/Kg) si riscontrano in due campioni, uno nell'area di Forio e uno in quella di Campagnano; nella restante parte del territorio le concentrazioni di Ag sono comprese tra 0.05 e 0.37 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati dell'Ag, così come quella del Hg (Tavola 9B), presenta alti valori di concentrazione (0.40 – 1.69 mg/Kg) nell'area a nord di Campagnano. La restante parte dell'isola presenta valori di concentrazione compresi tra 0.05 e 0.40 mg/Kg.

La mappa della distribuzione dei tenori di fondo attuale (*baseline*) dell'Ag (Tavola 9C) mostra, così come quella del Hg, i tenori più elevati (0.20 – 0.78 mg/Kg) in corrispondenza dell'area compresa tra Campagnano ed Ischia Ponte. Nella restante parte del territorio il tenore di fondo attuale è compreso tra 0.05 e 0.20 mg/Kg. Non essendoci sull'isola immissioni antropiche dell'Ag nei suoli, tali valori sono da considerare coincidenti con il tenore di fondo naturale (*background*). Essi potrebbero essere legati alla risalita di fluidi idrotermali contenenti elevate concentrazioni di questo elemento.

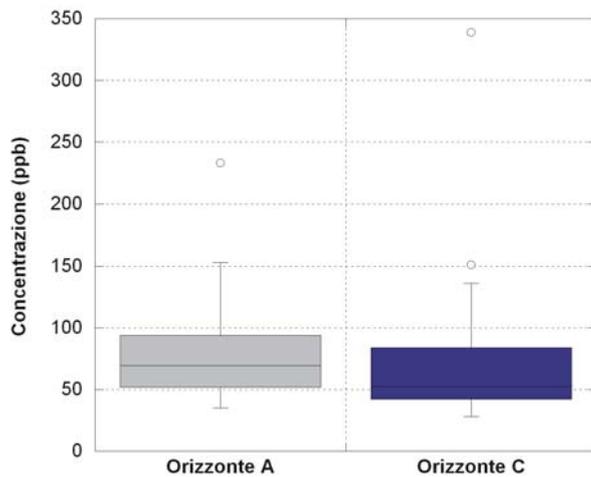
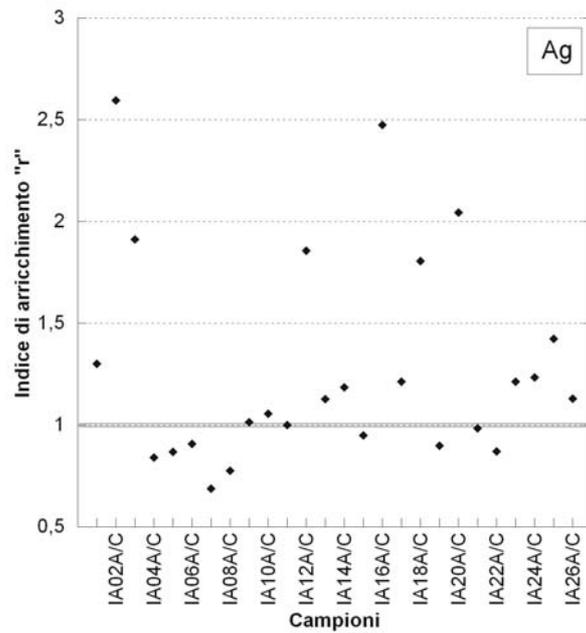
La distribuzione dei valori anomali dell'Ag (Tavola 9D) presenta i valori più elevati (0.40 – 1.10 mg/Kg) nell'area a nord di Campagnano. La restante parte del territorio presenta tenori di anomalia compresi tra -0.35 e 0.40 mg/Kg.

6.1,2 - Distribuzione dell'Ag negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dell'Ag nei differenti

orizzonti di suolo dell'isola di Ischia mostra, in generale, un arricchimento di questo elemento nell'orizzonte superficiale (Tavola 9E), con valori di *r* superiori a due unità nelle aree di Campagnano e di Ischia Porto. La restante parte del territorio è caratterizzata da valori di *r* di poco superiori all'unità, ad eccezione della zona costiera occidentale dell'isola dove *r* assume valori di poco inferiori all'unità, mostrando un arricchimento in Ag nell'orizzonte C.

Il confronto della mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*) e delle concentrazioni analitiche nei due orizzonti (Tavola 9F), mostra la presenza di valori *baseline* inferiori rispetto alle concentrazioni di Ag nell'orizzonte C.



Parametri statistici (ppb)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	35	28
Massimo	233	339
Media aritmetica	83.6	75.1
Mediana	69.5	52.5
Media geometrica	74.7	62.2
Moda	73	39
25° Percentile	53	42
75° Percentile	94	81
Deviazione standard	45.07	62.80
Limite di ril. Strum.	2.00	2.00
Accuratezza		
Precisione	0.01	0.01

Figura 6.1b – Distribuzione statistica dell'Ag negli orizzonti A e C.

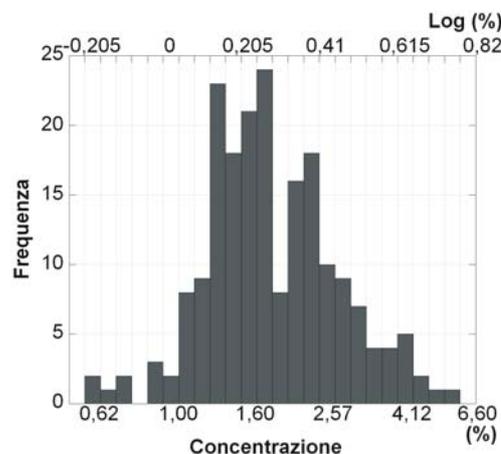
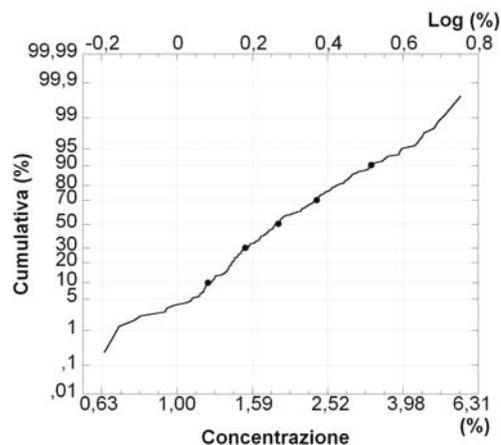
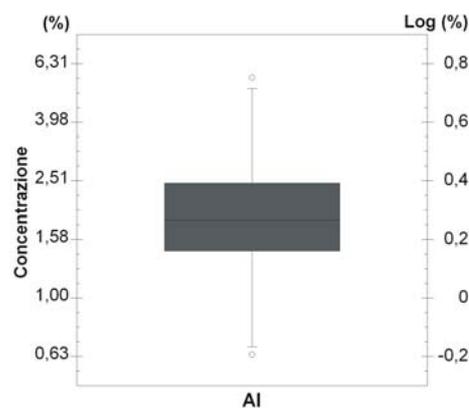
6.2 - Alluminio (Al)

L'Al è un elemento litofilo tra i più abbondanti nella crosta terrestre dopo l'O e il Si. È il maggior costituente di molti minerali ignei come i feldspati e di diversi minerali accessori e si accumula nei minerali argillosi (kaolinite, smectite, vermiculite, ecc.). La sua forma comune è quella ossidata (Al_2O_3) chiamata allumina.

Di frequente si ritrova in ambiente di alterazione meteorica come bauxite, in associazione con il Fe^{3+} a causa della piccola differenza di solubilità degli idrossidi rispettivi e per alterazione di rocce a feldspati o feldspatoidi.

È utilizzato nella fabbricazione di utensili, nell'industria metallurgica, navale, ferroviaria, automobilistica, della ceramica, negli inchiostri per la stampa, nei fuochi d'artificio, e più in generale, laddove è richiesto un materiale forte, leggero e facilmente lavorabile; è presente inoltre in alcuni medicinali quali antiacidi e antidiarroici, nelle bevande contenute in lattine di alluminio ed è utilizzato in alcune pratiche mediche come la nutrizione parenterale. È uno degli elementi più abbondanti nell'ambiente e le piogge acide hanno incrementato le quantità di questo metallo negli ecosistemi biologici.

L'assorbimento nell'uomo avviene principalmente per via intestinale. L'Al interagisce con il DNA neuronale alterando il metabolismo del Ca in vari organi, in particolare nel cervello con effetti marcati sulla funzione del sistema nervoso (De Voto e Yokel, 1994). La sindrome nota come "demenza da dialisi" è dovuta ad



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.64
Massimo	5.65
Media aritmetica	2.08
Mediana	1.85
Media geometrica	1.92
Moda	1.88
25° Percentile	1.45
75° Percentile	2.46
Deviazione standard	0.90
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	3.68
Precisione	2.00

Figura 6.2a - Distribuzione statistica dell'Al.

intossicazione da Al causata dalla somministrazione orale di idrossido di Al ai pazienti e dall'acqua utilizzata per la preparazione del fluido di dialisi. Un'altra sindrome dovuta ad un eccesso di Al è la "demenza parkinsoniana" o "sindrome di Guam". Studi epidemiologici (Henderson, 1986) hanno dimostrato che la mortalità da demenza (Alzheimer e simili) è maggiore nelle regioni dove suoli e acque presentano alte concentrazioni in Al. Esso determina, inoltre, un aumento del colesterolo e, nei soggetti esposti professionalmente, l'Al può provocare irritazione delle vie respiratorie e asma; in seguito ad inalazione cronica sono stati descritti casi di fibrosi polmonare.

6.2,1 - Distribuzione geochimica dell'Al nei suoli superficiali

La distribuzione dei valori di concentrazione dell'Al presenta elevata similitudine con quelle di Ga e Mg.

Dall'analisi della carta di distribuzione dei dati puntuali (Tavola 10A) si osserva che le concentrazioni di Al più elevate, comprese tra 2.08 e 5.65 %, si riscontrano principalmente nell'area nord-occidentale dell'isola caratterizzata dalla presenza di accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi costituiti da frammenti di Tufo Verde del Monte Epomeo; i picchi massimi, appartenenti all'intervallo 4.76 – 5.65 %, vengono infatti raggiunti nella zona del Monte Epomeo in corrispondenza degli affioramenti del Tufo Verde (Tavola 1). Valori compresi tra 2.98 e 4.76 % si riscontrano anche in alcuni campioni ubicati a Lido dei Maronti, a sud di

Campagnano ed in corrispondenza del Monte Trippodi. Concentrazioni comprese tra 0.64 e 2.08 % caratterizzano la maggior parte dei campioni del settore meridionale e della metà orientale dell'isola.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 10B) evidenzia che i valori di concentrazione più alti, compresi fra 4.27 e 5.52 %, sono stati riscontrati nei suoli della cima del Monte Epomeo ed in prossimità di Forio. Aree caratterizzate da valori relativamente alti della concentrazione di Al si individuano in tutta la parte nord-occidentale dell'isola, a Lido dei Maronti, a sud di Campagnano ed in corrispondenza del Monte Trippodi; esse sono comprese tra 2.03 e 3.92 %. Il resto dell'isola presenta valori generalmente appartenenti all'intervallo 0.64 – 2.03 %.

La distribuzione dei valori *baseline* (Tavola 10C) mostra una concentrazione del tenore di fondo attuale più elevata (fra 3.40 e 4.02 %) in corrispondenza della fascia che va dalla vetta del Monte Epomeo a Monterone; i valori più bassi (0.36 – 2.15 %) vengono registrati nei settori orientale e meridionale dell'isola. E' possibile individuare due distinti intervalli nelle mappe di *baseline*: il primo, compreso tra 0.36 e 2.15 %, caratterizza per lo più i suoli formati nell'area del graben e nella parte meridionale dell'isola; il secondo, compreso tra 2.15 e 4.02 %, caratterizza i suoli sviluppati sul Tufo Verde del Monte Epomeo e sui prodotti del suo disfacimento.

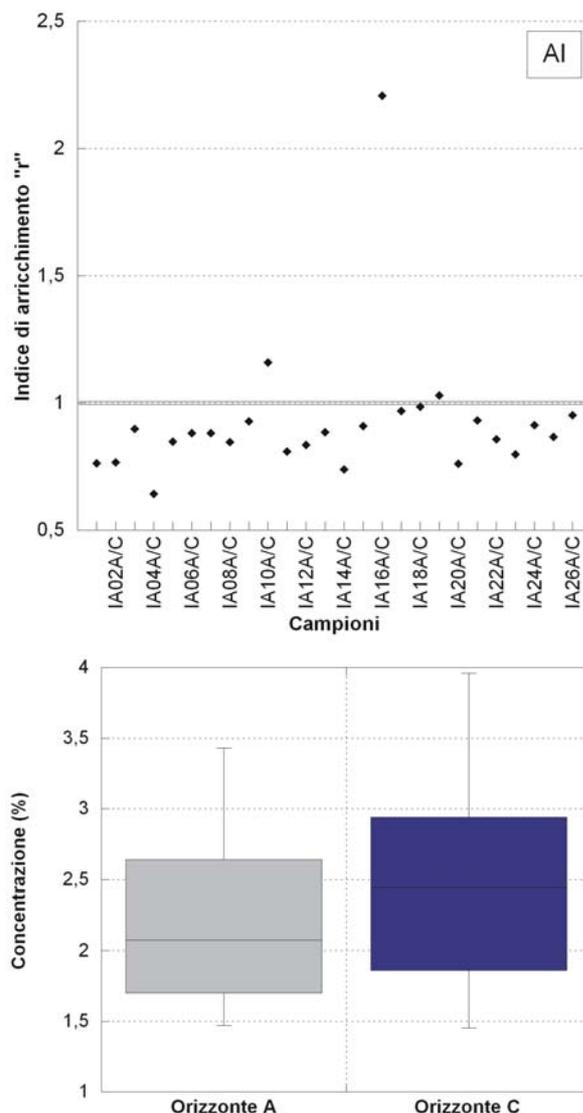
Dall'osservazione della distribuzione delle anomalie (Tavola 10D) risulta evidente l'assenza di valori anomali significativi su

gran parte del territorio; ciò testimonia la esclusiva natura geogenica delle concentrazioni elementali riscontrate per l'Al. Alti valori di anomalia (tra 2.00 e 3.01 %) si ritrovano solo in due aree molto ristrette ubicate precisamente a Sud di Campagnano ed a Nord del Monte Epomeo. Dalle considerazioni fatte sulla distribuzione delle anomalie e dei valori *baseline* è lecito affermare che nei suoli vulcanici dell'Isola di Ischia i tenori di *baseline* trovano netta corrispondenza con quelli di *background*.

6.2,2 - Distribuzione dell'Al negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dell'Al negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 10E) mostra arricchimento nell'orizzonte più profondo, costituito dai prodotti di alterazione della roccia madre. Nonostante le concentrazioni di Al nei suoli siano nettamente superiori nell'area nord-occidentale dell'isola, dove sono presenti il Tufo Verde del Monte Epomeo e i prodotti di disfacimento dello stesso (Tavola 1), i rapporti tra le concentrazioni negli orizzonti A e C sono pressoché costanti su tutto il territorio, fatta eccezione di un punto a nord di Campagnano dove $r = 2.2$.

La mappa della distribuzione dell'Al nell'orizzonte C (Tavola 10F) mostra valori rispondenti a quelli *baseline*. Questo dato conferma che, come già riscontrato dall'analisi della carta dei tenori di fondo attuale, il contributo di Al nei suoli dell'isola di Ischia è dovuto esclusivamente a fonti di tipo geogenico. La concentrazione di questo elemento nei suoli dell'isola di Ischia è,



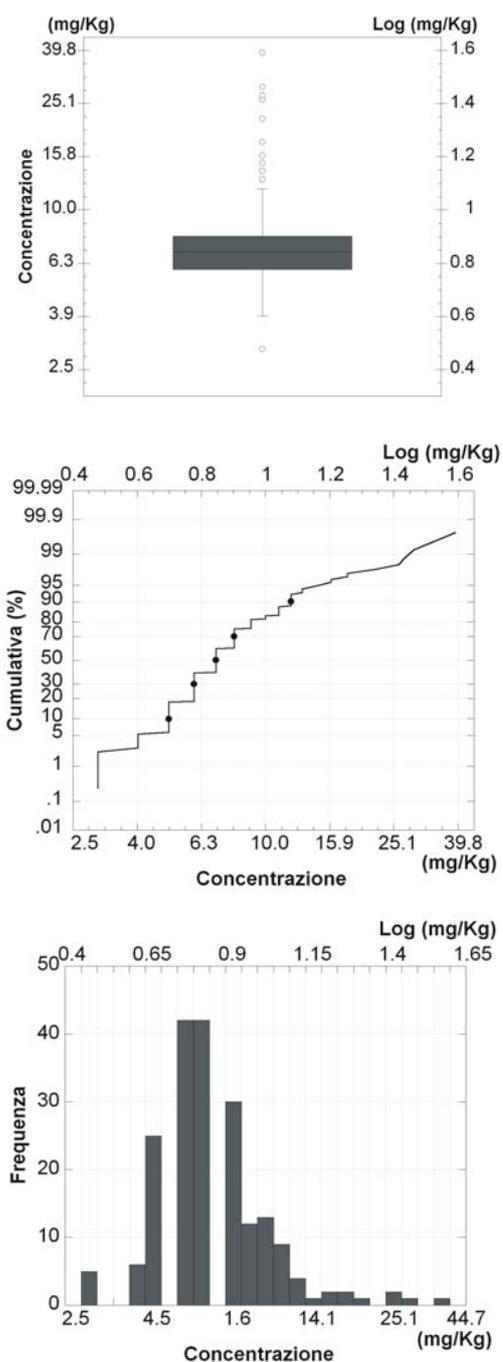
Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.47	1.45
Massimo	3.43	3.96
Media aritmetica	2.24	2.52
Mediana	2.08	2.44
Media geometrica	2.17	2.41
Moda	3.2	2.44
25° Percentile	1.73	1.86
75° Percentile	2.61	2.94
Deviazione standard	0.59	0.76
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.05	0.05

Figura 6.2b - Distribuzione statistica dell'Al negli orizzonti A e C.

infatti, da imputare alla sua presenza nella struttura delle miche e nei feldspati.

6.3 - Arsenico (As)

L'As è un elemento minore, moderatamente mobile, che presenta affinità con elementi calcofili e possiede capacità di sublimazione; è un semimetallo e può trovarsi come elemento nativo, sebbene più comunemente lo si ritrova nei solfuri e nei solfoarsenuri. Un arricchimento di As non viene riscontrato né nei magmi basici né in quelli acidi, mentre è stato riconosciuto come risultato dell'attività idrotermale (Boyle & Johnsson, 1973; Plant et al., 1989). Valori anomali sono caratteristici di depositi auriferi epitermali e mesotermali. Nelle rocce sedimentarie è concentrato nelle argille, negli ossidi idrati di Fe e Mg, nei solfati e fosfati. A bassi valori di pH e Eh permane nella forma trivalente mobile o viene ossidato in As^{5+} , relativamente insolubile, e, come AsO_4^{3-} , coprecipita con ossidi idrati di Fe e Mn, con minerali argillosi e con materiale organico (Tremearne & Jacobe, 1941). Esso è rilasciato nell'ambiente principalmente dalla combustione del carbone e attraverso le acque minerali provenienti da sorgenti e quelle effluenti dalle centrali geotermiche. L'As è contenuto in alcuni pesticidi ed erbicidi ed è talora addizionato ai mangimi per il pollame e per altri tipi di bestiame allo scopo di favorirne la crescita. È anche impiegato nella produzione della maggior parte dei microprocessori dei *computer* e viene utilizzato nell'industria siderurgica, del vetro, della ceramica e nella preparazione di farmaci e di coloranti. Può arrivare all'uomo attraverso il fumo di sigaretta e il consumo



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	3.00
Massimo	39.00
Media aritmetica	8.00
Mediana	7.00
Media geometrica	7.31
Moda	6,00
25° Percentile	6.00
75° Percentile	8.00
Deviazione standard	4.32
Limite di rilevabilità strumentale	2.00
Accuratezza	15.04
Precisione	7.00

Figura 6.3a - Distribuzione statistica dell'As.

di frutti di mare che contengono arsenobetaina (non tossica); è presente in tracce nell'aria urbana e nell'acqua.

In condizioni di alta temperatura ha capacità di sublimare anche direttamente dai minerali che lo contengono, la qual cosa aumenta notevolmente la possibilità di fenomeni di dispersione nell'ambiente circostante. Nonostante questa sua caratteristica tossicità l'As, in tracce, risulta essere un elemento necessario in quanto pare che la sua deficienza possa inibire la crescita. Si ricorda che un effetto antagonista rispetto all'As viene giocato dal Se.

L'As nell'uomo è assorbito per via inalatoria e dal tratto gastrointestinale e si accumula soprattutto a livello della cute, nel fegato, rene, cuore e polmoni provocando danni che possono persistere anche per mesi dopo il recupero da un'intossicazione. Esso attraversa facilmente la barriera placentare provocando danni al feto (Kagey et al., 1977). È, inoltre, un elemento cancerogeno e teratogeno; provoca il cancro soprattutto alla pelle, al fegato e ai polmoni (Watterson, 1998).

6.3,1 - Distribuzione geochimica dell'As nei suoli superficiali

La carta della distribuzione puntuale dei dati di concentrazione dell'As (Tavola 11A) presenta i valori più elevati (16.0 – 39.0 mg/Kg) a nord di Montevergine, ad est di Bagni ed a nord di Lido dei Maronti. Dalla Carta Geologica e da quella Strutturale (Tavole 1 e 2) si nota che in queste aree, intensamente fagliate, sono responsabili di un maggior contributo in As i fluidi profondi

che trovano, lungo le fratture, vie preferenziali di risalita. Infatti, nelle zone suddette, si nota inoltre la presenza di numerose fumarole e sorgenti di acque termali. Valori compresi tra 8.0 e 16.0 mg/Kg caratterizzano l'area a nord di Lido dei Maronti fino ad est di Ciglio oltre che la fascia costiera settentrionale dell'isola (Lacco Ameno, Casamicciola, Ischia). Tutto il resto del territorio presenta valori di concentrazione minimi, appartenenti all'intervallo 3.0 – 8.0 mg/Kg.

La Tavola 11B, che illustra la distribuzione dei dati interpolati, rispecchia pienamente quelle che sono le osservazioni fatte per i dati puntuali rappresentando le aree con i valori di concentrazioni più elevati (fra 14.7 e 37.7 mg/Kg) a nord-est di Bagni, a Montevergine e a nord di Lido dei Maronti, lungo una fascia ristretta che arriva fino ad est di Ciglio. Aree caratterizzate da valori intermedi (10.1 – 14.7 mg/Kg) si ritrovano presso Monterone e presso l'abitato di Bagni, ancora in corrispondenza di fumarole.

La rimanente parte dell'isola risulta caratterizzata da valori di concentrazione dell'As più bassi, compresi perlopiù fra 3.0 e 10.1 mg/Kg.

La distribuzione dei valori di *baseline* dell'As (Tavola 11C) si presenta piuttosto omogenea. L'intero territorio risulta quasi esclusivamente caratterizzato da concentrazioni comprese fra 3.0 e 8.1 mg/Kg, valori che rappresentano certamente il tenore di fondo naturale di questo elemento nei suoli vulcanici dell'isola. I tenori più elevati (tra 12.0 e 25.4

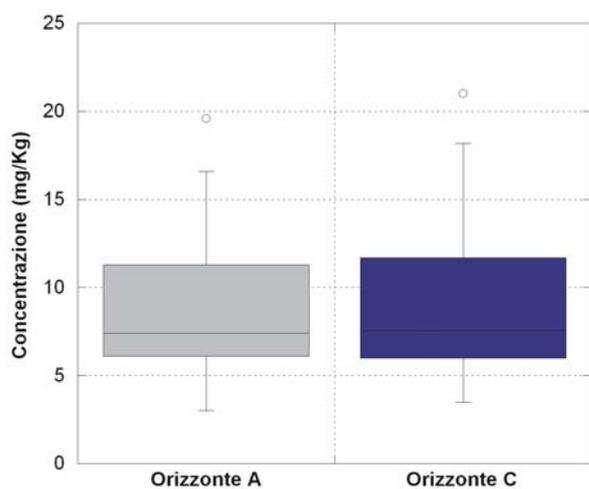
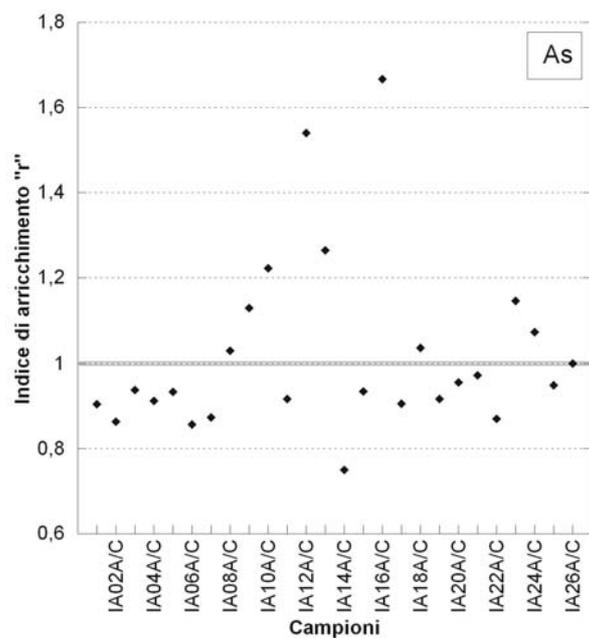
mg/Kg) sono concentrati nell'area tra Ischia e Casamicciola, a nord di Lido dei Maronti e a Montevergine, dove è intensa l'attività fumarolica ed idrotermale. Anche tali valori corrispondono al tenore di fondo naturale (*background*); infatti, la risalita di acque sotterranee fortemente arricchite in As (tenori compresi tra 100 e 1558 µg/l; Lima et al., 2003b) è responsabile delle elevate concentrazioni di questo elemento nei suoli. La distribuzione dei valori di anomalia dell'As (Tavola 11D) mostra solo due aree di limitatissima estensione fortemente anomale, con valori compresi fra 10.6 e 15.4 mg/Kg, l'una ad est di Ciglio e l'altra ad est di Bagni. Presentano valori d'anomalia medio-bassi (2.1 – 10.6 mg/Kg), oltre che le zone a ridosso di quelle con valori massimi, un'area in località Lido dei Maronti ed una zona molto ristretta ubicata in corrispondenza di Casamicciola. La maggior parte dell'isola è caratterizzata, infine, da valori di anomalia molto bassi compresi tra -2.0 e 2.1 mg/Kg. Le soglie di intervento per l'As fissate dal D.M. 471/1999 del Ministero dell'Ambiente sono di 20 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 50 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento per l'uso del territorio dell'Isola di Ischia (Tavola 11E) mette in evidenza che alcuni campioni superano i limiti fissati per l'uso residenziale/ricreativo, proprio nelle aree di Casamicciola, a nord di Lido dei Maronti e a nord di Montevergine. Il limite per l'uso industriale e commerciale non viene invece mai oltrepassato in nessun campione.

6.3,2 - Distribuzione dell'As negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dell'As negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 11F) mostra che la concentrazione di questo elemento alle diverse profondità è approssimativamente costante. I valori di *r*, infatti, sono di poco superiori od inferiori all'unità. Le uniche aree caratterizzate da arricchimento di As nell'orizzonte A (*r* = 1.7 e 1.5, rispettivamente) sono a nord di Campagnano e ad est di Ciglio. Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola; l'As, infatti, solitamente, non presenta arricchimento preferenziale né nei magmi basici né in quelli acidi, ma è riconosciuta invece la sua affinità con l'attività idrotermale.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*) realizzata usando campioni di suolo superficiale (orizzonte A), mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di As nell'orizzonte C (Tavola 11G). Questo dato è una ulteriore conferma della coincidenza, nel caso dell'As, dei valori *baseline* con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).

E' da notare, infatti, come anche nell'orizzonte C venga superato, per l'As, il limite imposto dal D.M. 471/99 per l'uso ricreativo/residenziale; ciò accade nell'area di Montevergine.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	3.0	3.5
Massimo	19.6	21.0
Media aritmetica	8.7	8.7
Mediana	7.4	7.6
Media geometrica	7.9	7.9
Moda	5.5	8.1
25° Percentile	6.13	6.00
75° Percentile	11.05	11.28
Deviazione standard	4.03	4.25
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.3b - Distribuzione statistica dell'As negli orizzonti A e C.

6.4 - Boro (B)

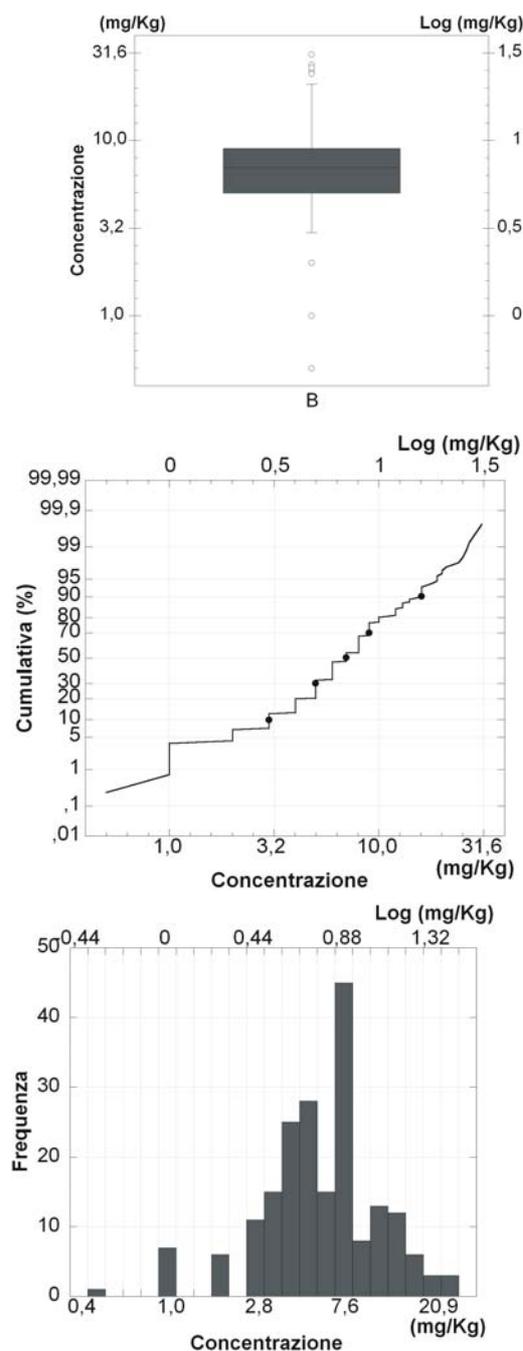
Il B è un elemento minore litofilo, estremamente mobile come borato, altrimenti con mobilità intermedia; durante i processi di *weathering* va facilmente in soluzione. Il suo contenuto nelle rocce magmatiche aumenta con l'acidità. E' principalmente contenuto nelle tormaline (3,6%) e nei fillosilicati come le miche (Wedepohl, 1978, 1995). Lo si ritrova sia in ambienti sedimentari che vulcanici; in questi ultimi è usuale ritrovarlo nei pressi delle fumarole come acido borico (H_3BO_3), nei primi è associato a depositi evaporitici come borato. Forma comunemente associazioni con Be, Li, Th, U e Nb nelle pegmatiti ed è presente nelle argilliti marine risultando un fattore discriminante riguardo alla loro origine.

Durante i processi magmatici il B si accumula nei prodotti maggiormente differenziati. Nelle rocce sedimentarie, le più alte concentrazioni di B si riscontrano generalmente nelle facies argillose ricche di materia organica, nelle quali l'elemento si concentra per adsorbimento superficiale (Ure & Berrow, 1982).

I composti del B sono tossici e, se accumulati nell'organismo, possono essere altamente cancerogeni.

6.4,1 - Distribuzione geochemica del B nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati puntuali del B (Tavola 12A) presenta le concentrazioni più elevate, comprese nell'intervallo fra 23.0 e 31.0 mg/Kg, in corrispondenza di San Francesco, Ischia Ponte, Ischia Porto, a



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.50
Massimo	31.0
Media aritmetica	8.01
Mediana	7.00
Media geometrica	6.57
Moda	6.00
25° Percentile	5.00
75° Percentile	9.00
Deviazione standard	5.11
Limite di rilevabilità strumentale	3.00
Accuratezza	15.79
Precisione	28.00

Figura 6.4a - Distribuzione statistica del B.

nord di Montevergine e a sud di Campagnano. Tutti questi punti si trovano nei pressi di sorgenti termali, come si nota dall'analisi della Carta Strutturale (Tavola 2). Valori intermedi di concentrazione (13.0 – 23.0 mg/Kg) caratterizzano i campioni prelevati lungo le fasce costiere settentrionale ed orientale dell'isola. La restante parte del territorio è caratterizzata da valori puntuali bassi compresi tra 1.0 e 13.0 mg/Kg.

I dati interpolati (Tavola 12B) individuano in maniera più definita rispetto ai dati puntuali una serie di aree caratterizzate da alte concentrazioni di B. Esso presenta valori elevati, compresi fra 12.1 e 30.4 mg/Kg, nell' area settentrionale ed in quella orientale dell'isola, ed in corrispondenza della zona di San Francesco; le concentrazioni più alte (>18.4 mg/Kg) vengono raggiunte lungo la costa, nelle immediate vicinanze di sorgenti termali. Valori medio bassi (5.8 – 12.1 mg/Kg) e bassi (1.0 – 5.8 mg/Kg) ricoprono tutto il resto del territorio dell'isola.

La distribuzione dei valori *baseline* del boro (Tavola 12C) presenta una concentrazione dei valori più elevati (fra 14.7 e 18.2 mg/Kg) prevalentemente a nord di Montevergine, ad est di Casamicciola e ad Ischia Ponte. Tenori compresi fra 9.0 e 14.7 mg/Kg caratterizzano, poi, gran parte dell'area settentrionale e di quella orientale dell'isola, oltre che la zona compresa tra San Francesco e Succhivo; tale distribuzione sembra seguire il trend della facies bicarbonato-alcaline delle acque sotterranee (Celico et al., 1999), le quali

costituiscono le falde superficiali ospitate nei detriti impostati sui tufi. In queste acque è stato dimostrato, inoltre, l'apporto dovuto a fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst Monte Epomeo, che spiegherebbe la distribuzione delle concentrazioni di B. La rimanente parte del territorio presenta valori compresi fra 1.0 e 9.0 mg/Kg. Il tenore di fondo attuale (*baseline*) di B nei suoli dell'isola coincide con il tenore di fondo naturale (*background*), non essendo evidente nessuna fonte di contaminazione antropica per tale elemento.

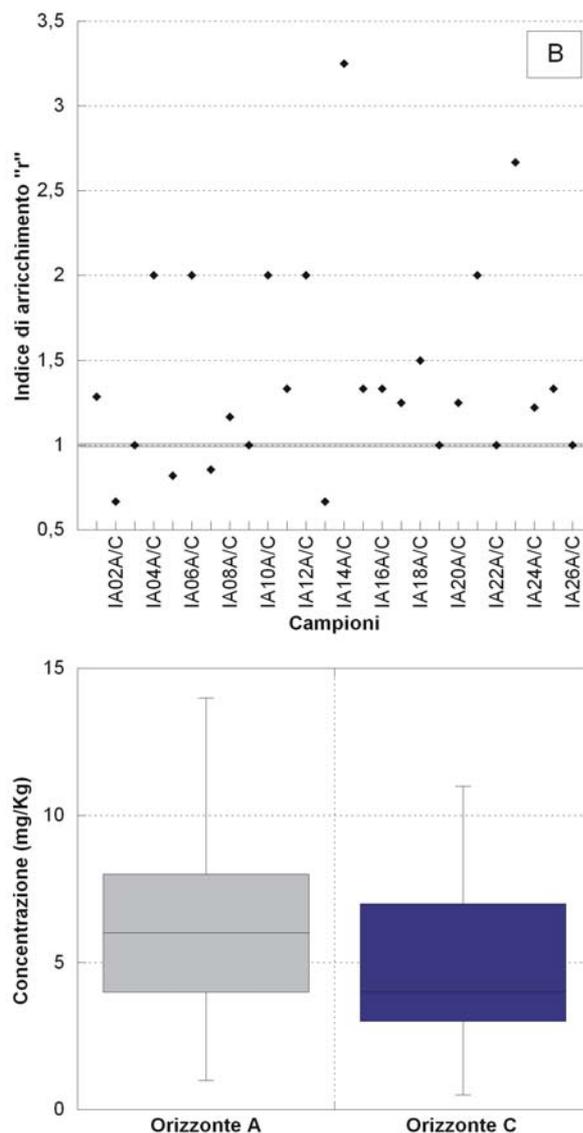
I valori d'anomalia del B (Tavola 12D) hanno una distribuzione spaziale abbastanza omogenea. Gran parte del territorio risulta essere caratterizzato da valori d'anomalia quasi nulli compresi fra -2.4 e 3.3 mg/Kg. Distribuite su tutta l'isola si osservano, poi, numerose aree di estensione molto ridotta con valori d'anomalia sia positivi che negativi corrispondenti a piccole aree rispettivamente di arricchimento (3.3 – 9.0 mg/Kg) o impoverimento (-8.1 - -2.4 mg/Kg) del B nei suoli. I punti in cui l'anomalia è più elevata (9.0 – 14.7 mg/Kg) sono quelli ubicati in corrispondenza di San Francesco, ad ovest di Lacco Ameno e a Ischia Ponte; lungo la costa a sud di Campagnano si riscontrano i valori massimi compresi tra 14.7 e 20.4 mg/Kg.

6.4,2 - Distribuzione del B negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del B negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 12E) mostra un arricchimento preferenziale nell'orizzonte superficiale, in alcune aree

anche molto marcato; a nord di Lido dei Maronti e a sud-ovest di Lacco Ameno il valore di r è uguale o superiore alle due unità. In generale r è compreso tra 1 e 2, ad eccezione di pochi punti in cui è leggermente inferiore all'unità. Il contenuto di B nei suoli dell'isola di Ischia, infatti, non è tanto legato alla sua concentrazione nella roccia madre, quanto alla risalita di fluidi profondi ricchi in tale elemento; elevate concentrazioni di questo elemento nell'orizzonte più superficiale del suolo sono correlabili perciò a fenomeni di dispersione secondaria legati ad alterazione idrotermale.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*) realizzata con l'ausilio del software GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di B nell'orizzonte A, piuttosto che in quello C (Tavola 12F); ciò è dovuto ai suddetti fenomeni di arricchimento dell'orizzonte superficiale.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.0	0.5
Massimo	14.0	11.0
Media aritmetica	6.5	5.0
Mediana	6.0	4.0
Media geometrica	5.6	4.3
Moda	4.0	4.0
25° Percentile	4.0	3.25
75° Percentile	8.0	6.75
Deviazione standard	3.36	2.51
Limite di ril. Strum.	1.00	1.00
Accuratezza		
Precisione	0.08	0.08

Figura 6.4b - Distribuzione statistica del B negli orizzonti A e C.

6.5 - Bario (Ba)

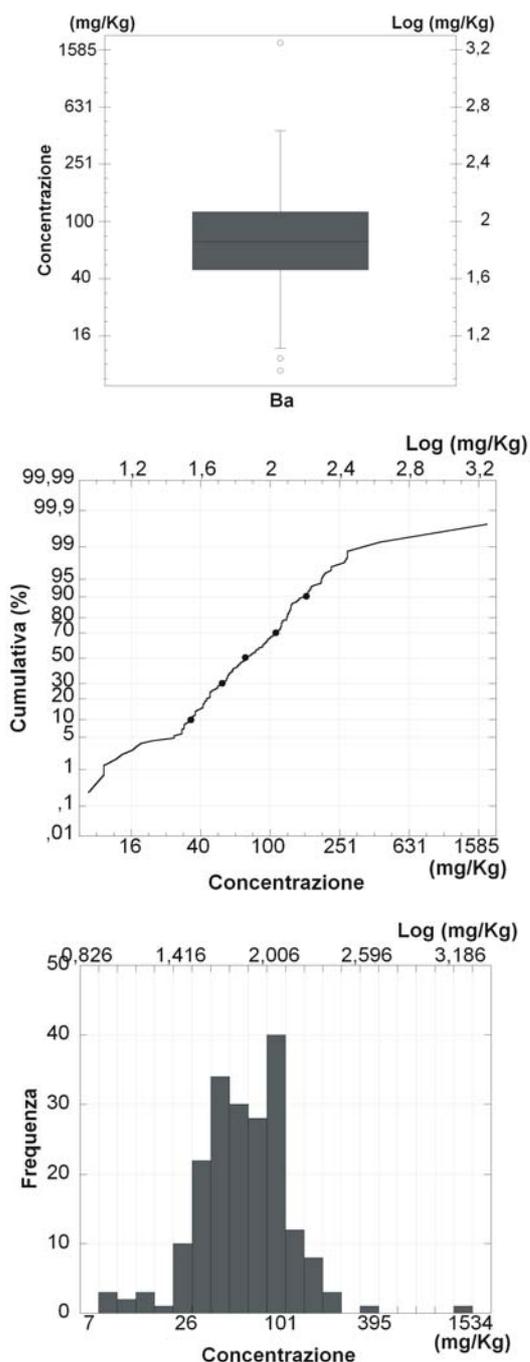
Il Ba è un elemento minore litofilo dotato di scarsa mobilità. Nei processi magmatici si rinviene con maggior frequenza nei K-feldspati e nelle miche per sostituzione del K^+ e risulta associato a Pb e Zn nei depositi a solfuri. Esso tende anche a vicariare il Ca^{2+} nei plagioclasti, nei pirosseni e negli anfiboli e in minerali non silicatici come l'apatite e la calcite. Nelle rocce sedimentarie la sua concentrazione riflette l'abbondanza di K-feldspato, di minerali argillosi e di ossidi idrati di Fe e Mn che generalmente l'adsorbono (Ure & Berrow, 1982).

È utilizzato in molte leghe, nella pittura, nei saponi, nella gomma e nella manifattura di ceramiche e vetro. Il solfato di Ba è utilizzato come radioopacizzante nella diagnosi ai raggi-X.

La tossicità del Ba dipende dalla sua solubilità. Nell'uomo i composti solubili del Ba sono assorbiti e, in piccole quantità, accumulati nello scheletro. Le intossicazioni da Ba sono rare; l'ingestione accidentale di sali solubili di Ba provoca gastroenterite, paralisi muscolare, fibrillazione ventricolare ed extrasistole (Reeves, 1986).

6.5,1 - Distribuzione geochimica del Ba nei suoli superficiali

Il Ba presenta una distribuzione puntuale dei dati (Tavola 13A) caratterizzata da una concentrazione elevata in corrispondenza di un unico punto (1766 mg/Kg) situato leggermente a sud di Campagnano. Un unico campione con la concentrazione di 429 mg/Kg è ubicato sulla costa occidentale



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	9.00
Massimo	1766
Media aritmetica	95.3
Mediana	72.0
Media geometrica	72.9
Moda	45
25° Percentile	46
75° Percentile	116
Deviazione standard	131.89
Limite di rilevabilità strumentale	1.00
Accuratezza	0.43
Precisione	4.00

Figura 6.5a - Distribuzione statistica del Ba.

in prossimità di Forio; nella maggior parte dei siti campionati le concentrazioni sono comprese tra 9 e 185 mg/Kg, fatta eccezione di alcuni di essi ubicati lungo la costa di Forio, Lacco Ameno e a nord-est di Bagni, aree in cui le concentrazioni sono comprese tra 185 e 358 mg/Kg.

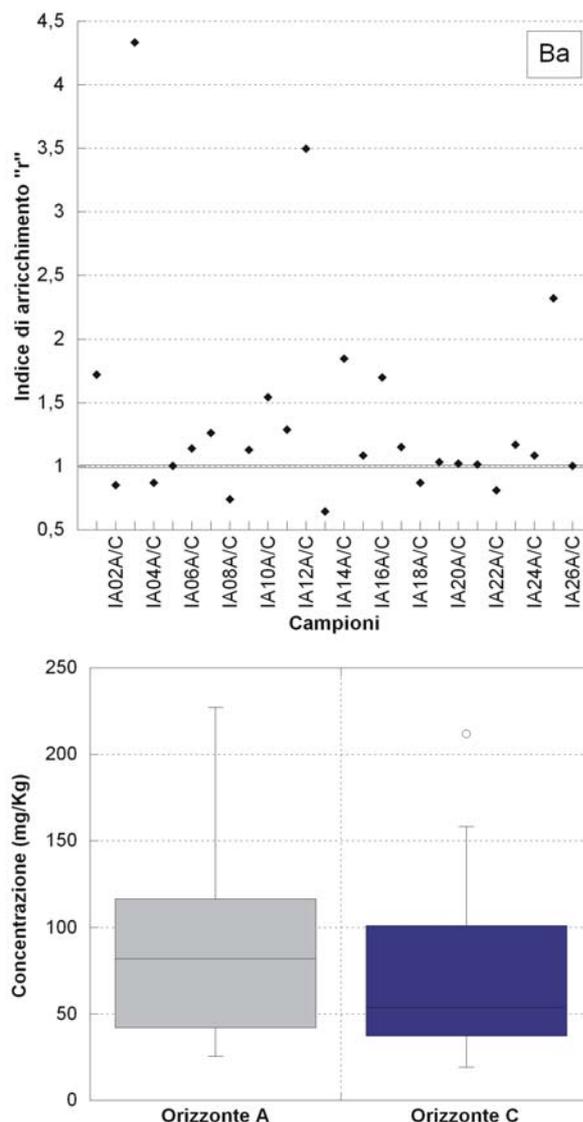
La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 13B) mette in evidenza che il Ba, su quasi tutta la superficie dell'isola, presenta valori di concentrazione compresi tra 9 e 180 mg/Kg; nelle zone di Forio e di Lacco Ameno essi ricadono nell'intervallo di 180 - 585 mg/Kg, e solo a Campagnano si riscontrano valori compresi tra 585 e 1727 mg/Kg.

La distribuzione dei valori *baseline* del Ba (Tavola 13C) mostra il tenore di fondo più elevato (fra 205 e 263 mg/Kg) nell'area di Campagnano; generalmente esso rimane comunque compreso tra 9 e 135 mg/Kg su quasi tutta l'isola, ad eccezione dell'area di Forio e di quella attorno a Campagnano dove presenta valori appartenenti all'intervallo 135 - 205 mg/Kg.

La distribuzione dei valori anomali (Tavola 13D) del Ba è totalmente omogenea; infatti in tutta l'isola essi sono compresi fra 148 e 190 mg/Kg, tranne che nella zona di Campagnano dove si riscontrano valori che variano tra 190 e 1532 mg/Kg.

6.5,2 - Distribuzione del Ba negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Ba negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 13E) mostra un arricchimento preferenziale nell'orizzonte superficiale; a ovest di Ischia



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	25.7	19.1
Massimo	227.1	211.8
Media aritmetica	85.2	73.0
Mediana	82.1	53.8
Media geometrica	72.3	58.3
Moda		21.5
25° Percentile	43.4	37.8
75° Percentile	115.3	100.9
Deviazione standard	49.48	50.28
Limite di ril. Strum.	0.50	0.50
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.5b - Distribuzione statistica del Ba negli orizzonti A e C.

Porto ($r = 4.3$), a nord-est di Ciglio ($r = 3.5$) e a nord di Lacco Ameno ($r = 2.3$) tale

arricchimento è molto marcato. La restante parte dell'isola presenta valori di r compresi tra 1 e 2, ad eccezione di pochi punti in cui esso è leggermente inferiore all'unità.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata usando campioni di suolo superficiale (orizzonte A), mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Ba nell'orizzonte A, piuttosto che in quello C (Tavola 13F), a causa dei suddetti fenomeni di arricchimento nell'orizzonte superficiale. E' da sottolineare che le anomalie del Ba sono comunque legate a fenomeni di origine naturale.

6.6 - Bismuto (Bi)

Il Bi è un elemento minore immobile, calcofilo; come tale, avendo affinità con lo zolfo, si trova in natura in depositi a solfuri in associazione con As e Sb. Si comporta come un elemento incompatibile e si concentra nelle rocce più differenziate come graniti e pegmatiti.

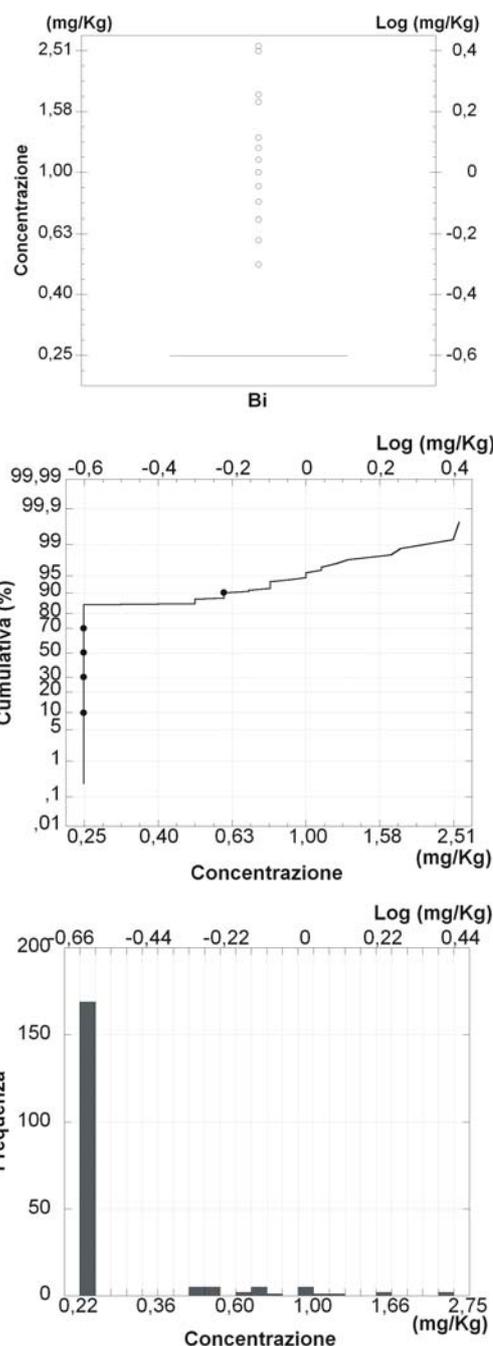
In ambiente superficiale e in condizioni di Eh e pH normali, lo ione Bi^{3+} viene rapidamente idrolizzato e tende a formare sali basici insolubili. Come As, Sb e Pb, il Bi, nei suoli, è facilmente adsorbito da ossidi secondari di Fe e Mn e da materiale organico.

Il Bi ha una lunga storia per il suo uso come farmaco soprattutto in Europa e in Nord America. I sali insolubili trivalenti del Bi sono usati per il trattamento della diarrea e di altri disturbi gastrointestinali; il bismuto di sodio è utilizzato in soluzioni intramuscolari per il trattamento della malaria e vari sali di Bi sono utilizzati come astringenti, antisettici e in preparazioni cosmetiche.

L'esposizione ad alte concentrazioni di Bi nell'uomo causa confusione mentale, riflessi irregolari, diarrea, febbre, inappetenza ed encefalopatia; i disturbi diventano fatali se il paziente persiste nell'uso di composti di tale elemento (Thomas et al., 1977).

6.6,1 - Distribuzione geochemica del Bi nei suoli superficiali

I dati puntuali del Bi (Tavola 14A) presentano una distribuzione simile a quella dell'As; le concentrazioni più elevate (fra 1.01 e 2.60 mg/Kg) si riscontrano nelle zone a nord di Montevergine, a nord di Lacco Ameno e ad ovest di Ischia Porto. Valori



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.25
Massimo	2.60
Media aritmetica	0.36
Mediana	0.25
Media geometrica	0.30
Moda	0.25
25° Percentile	0.25
75° Percentile	0.25
Deviazione standard	0.33
Limite di rilevabilità strumentale	2.00
Accuratezza	2.71
Precisione	0.00

Figura 6.6a - Distribuzione statistica del Bi.

intermedi, compresi tra 0.68 e 1.01 mg/Kg, si riscontrano in punti situati nelle medesime aree. Nella restante parte dell'isola i campioni sono caratterizzati da concentrazioni di Bi molto basse comprese tra 0.25 e 0.68 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 14B) mostra i valori più alti (0.93 – 2.55 mg/Kg) in due zone: l'area nord-occidentale dell'isola, precisamente la porzione di territorio che comprende Lacco Ameno, Montevegine, Monte Vico e ad ovest di Ischia Porto; entrambe queste porzioni di territorio sono caratterizzate dalla presenza di lave trachitiche di tipo ponziano (Prodotti del Monte Rotaro e colate di Zaro). Valori medio bassi, compresi tra 0.59 e 0.93 mg/Kg, si ritrovano nelle stesse zone sopra descritte; essi ricoprono però un'area più ampia arrivando rispettivamente a nord di Monterone e alle pendici settentrionali del Monte Trippodi. Il resto del territorio è caratterizzato da valori molto bassi, compresi nell'intervallo 0.25 – 0.59 mg/Kg.

Il Bi presenta una distribuzione del tenore di fondo attuale (Tavola 14C) che evidenzia, principalmente, la presenza di due intervalli. I valori *baseline* più elevati, compresi fra 0.45 e 1.38 mg/Kg, caratterizzano un'area alquanto limitata corrispondente alla zona a nord del Monte Rotaro e a quella a nord-ovest di Lacco Ameno. La restante parte del territorio presenta tenori molto bassi, compresi nell'intervallo fra 0.25 e 0.45 mg/Kg.

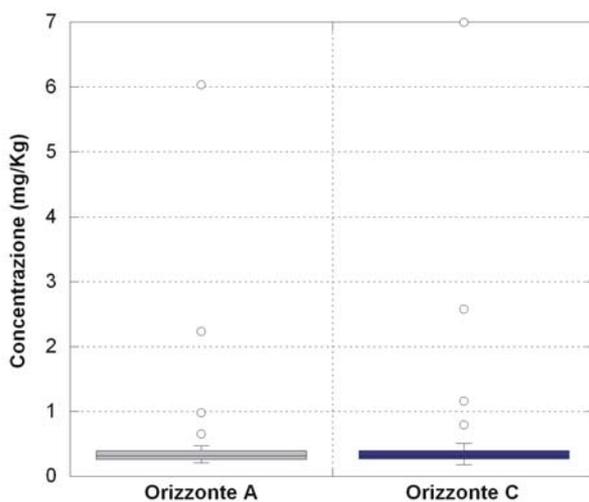
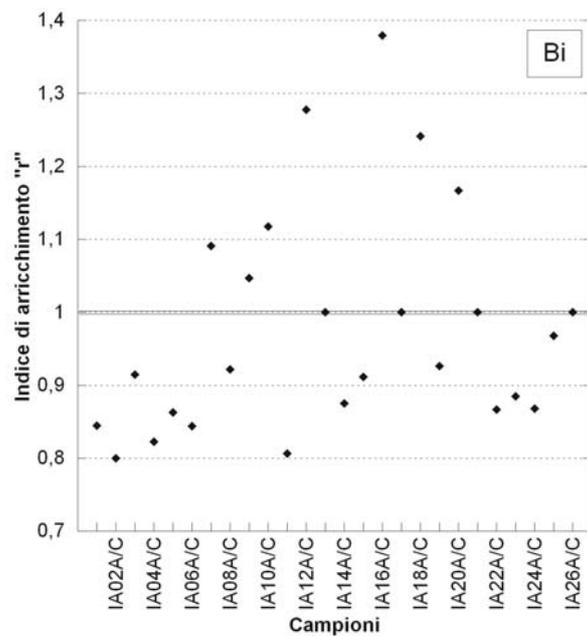
La carta della distribuzione delle anomalie del Bi (Tavola 14D) è caratterizzata, nella maggior parte dell'isola, da valori di

anomalie trascurabili compresi tra -0.72 e 0.29 mg/Kg. In corrispondenza delle lave trachitiche di Monte Rotaro e di Zaro si riscontra la presenza di aree di limitata estensione caratterizzate da valori anomali compresi fra 0.29 e 1.82 mg/Kg, con picchi più elevati (>1.00 mg/Kg) ubicati in corrispondenza della costa.

6.6,2 - Distribuzione del Bi negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Bi negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 14E) mostra che la concentrazione di questo elemento alle diverse profondità è approssimativamente costante. Si riscontra un leggero arricchimento nell'orizzonte C; i valori di *r* sono comunque di poco inferiori o pari ad 1 nella maggior parte del territorio, fatta eccezione di pochi punti, uniformemente distribuiti, nei quali è evidente un lieve arricchimento nell'orizzonte superficiale. Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola; il Bi, come l'As, mostra affinità con l'attività idrotermale.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata usando campioni di suolo superficiale (orizzonte A), mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Bi nell'orizzonte C (Tavola 14F), confermando la natura geogenica del Bi nei suoli e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26.00	26.00
Minimo	0.21	0.18
Massimo	6.03	6.99
Media aritmetica	0.64	0.71
Mediana	0.32	0.32
Media geometrica	0.39	0.41
Moda	0.23	0.34
25° Percentile	0.26	0.28
75° Percentile	0.40	0.39
Deviazione standard	1.17	1.37
Limite di ril. Strum.	0.02	0.02
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.6b - Distribuzione statistica del Bi negli orizzonti A e C.

6.7 - Calcio (Ca)

Il Ca è il quinto in ordine di abbondanza fra tutti gli elementi e costituisce il 3.5 % in peso della crosta continentale (Ure e Berrow, 1982); è un elemento litofilo moderatamente mobile che entra facilmente nei reticoli di molti minerali silicatici e fosfatici. In natura non si trova allo stato libero ma forma un gruppo di minerali proprio: i carbonati. È uno dei maggiori costituenti dei minerali primari come i plagioclasti e i pirosseni, è maggiormente arricchito nelle rocce basiche ed ultrabasiche. Generalmente non viene coinvolto nel metamorfismo di medio e alto grado, ma può essere mobilizzato durante processi di alterazione a basse temperature e formare minerali secondari come dolomite, calcite e granato (Wedepohl, 1978). La calcite e la fluorite si rinvengono spesso anche come minerali idrotermali in vene.

I sedimenti carbonatici (soprattutto calcari e dolomie) costituiscono una importante fonte di Ca. Nella maggior parte delle rocce sedimentarie la concentrazione di Ca riflette l'abbondanza di calcite e dolomite, benché altri minerali solfati come gesso e anidrite rivestano una certa importanza, soprattutto nelle arenarie e nelle evaporiti. In certi sedimenti detritici il plagioclasio è il minerale che ospita la maggiore quantità di Ca.

Nelle acque superficiali il Ca viene rilasciato in seguito all'alterazione dei plagioclasti, dei pirosseni, degli anfiboli e dell'epidoto, nonché dei carbonati e dei solfati presenti nelle rocce sedimentarie. Di tutte queste

fasi, il CaCO_3 è quella meno solubile in acque alcaline, mentre si dissolve rapidamente in ambienti mediamente acidi in presenza di una sufficiente concentrazione di CO_2 . Il calcio in soluzione si rinviene principalmente come ione Ca^{2+} (ad eccezione di condizioni fortemente alcaline), può essere rimosso sia da uno scambio cationico con ioni H^+ , nei siti elettronegativi sulla superficie dei minerali argillosi, sia perché viene incorporato da organismi viventi.

La disponibilità di sufficienti quantità di Ca solubile nei suoli è di importanza fondamentale per la loro fertilità. Ricordiamo anche che il Ca è uno degli elementi essenziali dal punto di vista biologico.

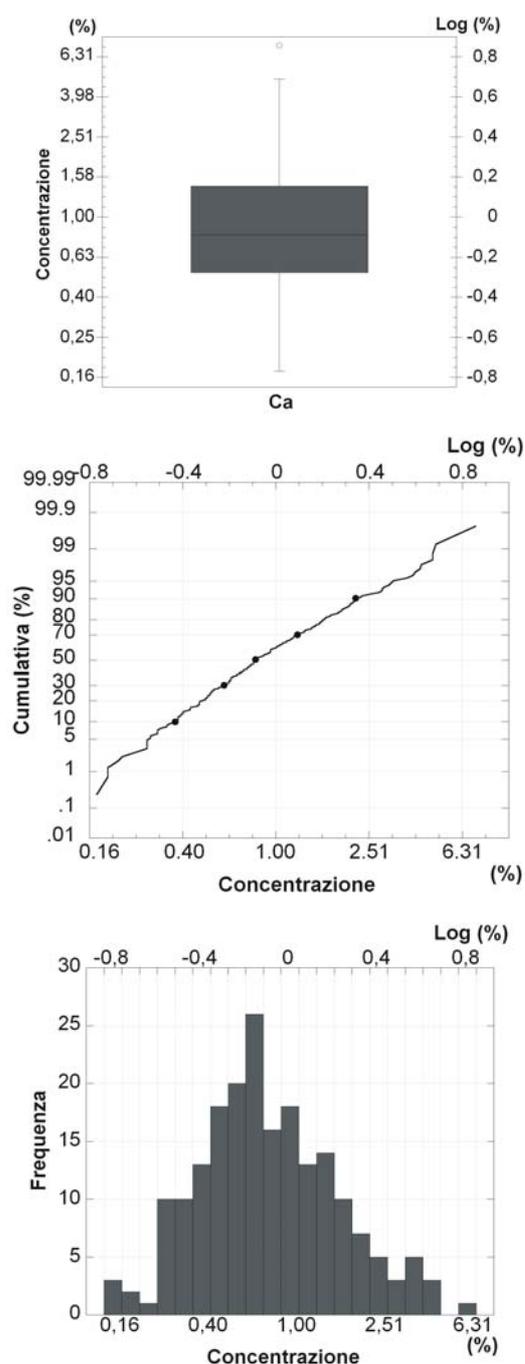
6.7,1 - Distribuzione geochimica del Ca nei suoli superficiali

I dati puntuali del Ca (Tavola 15A) presentano le concentrazioni elementari più elevate (da 4.2 a 7.2 %) in corrispondenza di alcuni punti situati nei settori settentrionale ed orientale dell'isola. Concentrazioni intermedie comprese tra 2.2 e 4.2 % si riscontrano in campioni distribuiti su tutti i tratti costieri dell'isola. Le aree più interne del territorio sono caratterizzate, invece, da concentrazioni di Ca tra 0.2 e 2.2 %.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 15B) rispecchia generalmente quella dei dati puntuali, presentando aree caratterizzate da valori elevati (fra 3.7 e 7.0 %), principalmente in corrispondenza dei territori di Forio, Lacco Ameno, Montevergine, Casamicciola e

Campagnano. Valori intermedi compresi fra 1.0 e 3.7 % caratterizzano generalmente le aree di territorio a ridosso delle zone che presentano concentrazioni più elevate, oltre che parte della fascia occidentale e di quella meridionale dell'isola. Il settore centrale, parte di quello settentrionale e di quello meridionale sono caratterizzati da concentrazioni più basse appartenenti all'intervallo 0.2 – 1.0 %.

La distribuzione dei tenori di fondo attuali (*baseline*) (Tavola 15C) presenta una concentrazione dei valori più elevati (2.0 – 3.1 %) in corrispondenza di Forio, Lacco Ameno, Casamicciola, Ischia Ponte e Campagnano. Tenori di fondo intermedi, compresi fra 1.0 e 2.0 %, caratterizzano perlopiù le aree costiere, ovvero la fascia settentrionale, quella occidentale, parte della meridionale e di quella orientale. La rimanente porzione dell'isola è caratterizzata da valori *baseline* compresi fra 0.2 e 1.0 %. La distribuzione dei valori di fondo attuale sembra seguire il *trend* della facies bicarbonato-alcaline delle acque sotterranee, le quali costituiscono le falde superficiali ospitate nei detriti impostati sui tufi. In queste acque è stato dimostrato, inoltre, l'apporto dovuto a fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst Monte Epomeo, che spiegherebbe la distribuzione delle concentrazioni di Ca (Celico et al., 1999; Lima et al., 2003b). Dalle osservazioni fatte si può concludere che i tenori di fondo attuale del Ca nei suoli dell'isola di Ischia coincidono con quelli di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.17
Massimo	7.18
Media aritmetica	1.16
Mediana	0.82
Media geometrica	0.88
Moda	0.95
25° Percentile	0.53
75° Percentile	1.42
Deviazione standard	1.01
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	5.00
Precisione	2.00

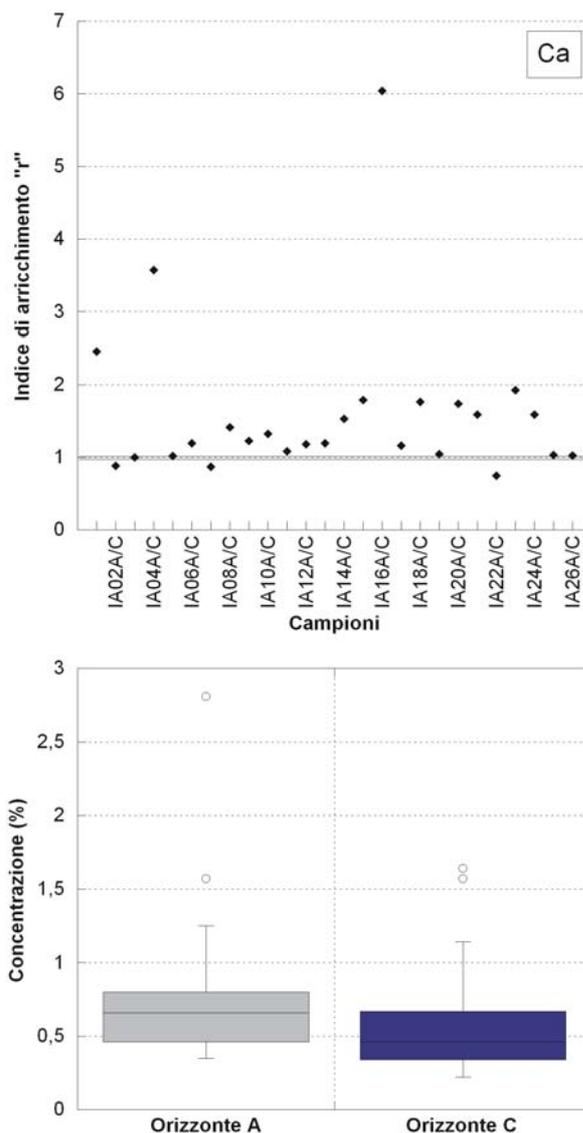
Figura 6.7a - Distribuzione statistica del Ca.

I valori di anomalia più marcati (Tavola 15D), compresi fra 3.8 e 5.2 %, si riscontrano nei suoli dell'isolotto di Ischia Ponte; in punti isolati, lungo l'intera fascia costiera, sono presenti piccoli lembi di territorio con valori di anomalia intermedi (1.1 – 3.8 %). Il resto dell'isola presenta tenori molto bassi, compresi tra -1.7 e 1.1 %.

6.7,2 - Distribuzione del Ca negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Ca negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 15E) mostra arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte superficiale. I valori di r sono compresi per lo più tra 1 e 2; r raggiunge valori superiori alle 2 unità ($r = 2.5$) ad ovest di Casamicciola, alle 3 unità ($r = 3.6$) a nord di Montevergine e valore pari a 6.0 a nord di Campagnano. Leggeri arricchimenti dell'orizzonte C si verificano in pochi punti. L'arricchimento in Ca nell'orizzonte superficiale è spiegato dalla natura secondaria del fenomeno di apporto di tale elemento. Il suo contenuto nei suoli non è, infatti, legato alla natura della roccia madre, quanto alla risalita di fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst Monte Epomeo, considerando che la distribuzione del Ca (Tavola 15A), come lo Sr, segue il *trend* della facies bicarbonato-alcina delle acque sotterranee (Celico et al, 1999).

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Ca nell'orizzonte A (Tavola 15F), confermando la natura



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.35	0.22
Massimo	2.81	1.64
Media aritmetica	0.79	0.57
Mediana	0.66	0.46
Media geometrica	0.69	0.49
Moda	0.78	0.46
25° Percentile	0.47	0.34
75° Percentile	0.80	0.63
Deviazione standard	0.51	0.38
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.05	0.05

Figura 6.7b - Distribuzione statistica del Ca negli orizzonti A e C.

geogenica dello stesso nei suoli dell'isola e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.

6.8 - Cadmio (Cd)

E' un metallo calcofilo, di conseguenza è concentrato nei solfuri, e presenta una mobilità che è funzione sia della materia organica sia degli ossidi di ferro e manganese poiché viene da questi adsorbito. Risulta relativamente immobile in ambienti mineralizzati, ma diviene relativamente mobile qualora si trovi in ambienti non mineralizzati (Bowen, 1982). In ambiente idrotermale lo si ritrova in filoni associato a Pb e Zn; più di quest'ultimo può essere selettivamente adsorbito e complessato da composti umici, da minerali argillosi e da ossidi secondari di Fe. Ciò può determinare una differenziazione nei *patterns* di dispersione di Zn e Cd, anche se provenienti dalla stessa fonte, e potrebbe costituire la causa di anomalie di Cd. In natura entra nei reticoli dei minerali come elemento in tracce.

Le concentrazioni di Cd più elevate si riscontrano generalmente nelle argilliti, specialmente in sedimenti ricchi di materia organica, nei noduli oceanici manganesiferi e in rocce fosfatiche; concentrazioni minori si osservano nelle rocce ignee, metamorfiche, nelle arenarie e nei calcari (Fergusson, 1990).

Essendo in natura comunemente associato a Zn e Pb, l'estrazione e la lavorazione di questi metalli conduce spesso a contaminazione ambientale da Cd così come l'utilizzo di carbone e altri combustibili fossili. Un'alta resistenza alla corrosione, preziose caratteristiche elettrochimiche ed altre utili proprietà chimiche fanno sì che esso trovasse larga applicazione

nell'industria. Il Cd è infatti usato nelle batterie al Ni-Cd, nei televisori in bianco e nero e nei tubi catodici di quelli a colori. Il solfuro di cadmio è utilizzato come pigmenti giallo e alcuni composti sono usati come stabilizzanti nel PVC. La produzione e l'uso di Cd sono destinate ad aumentare e l'inquinamento ambientale va tenuto in seria considerazione.

Generi alimentari non contaminati quali carne, pesce, grano contengono in media 50 µg di Cd per Kg di peso fresco; queste concentrazioni aumentano considerevolmente quando i cibi sono contaminati dal Cd presente nel suolo e/o nell'acqua.

I polmoni sono la principale via di assorbimento del Cd da parte dell'uomo; gli effetti tossici dell'esposizione cronica si manifestano con danni renali, perdita della capacità respiratoria, ipertensione (Lauwerys et al., 1979). E' un elemento che può causare tumori in numerosi organi, soprattutto nei polmoni e nella prostata; esso è anche un teratogeno e embrionale (Smith, 1999). Il selenio risulta essere il miglior elemento protettivo contro il Cd.

6.8,1 - Distribuzione geochimica del Cd nei suoli superficiali

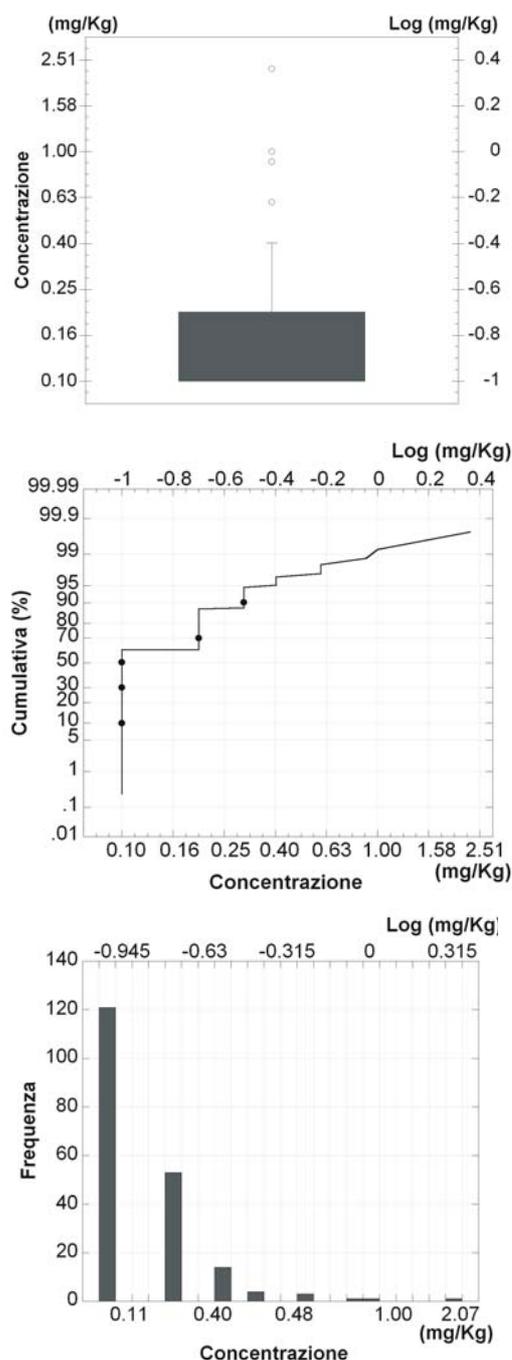
Dall'osservazione della carta di distribuzione dei dati puntuali del Cd (Tavola 16A) si riscontrano valori analitici elevati (0.60 – 2.30 mg/Kg) in corrispondenza di soli sei campioni ubicati nelle aree più antropizzate dell'isola, più precisamente nelle zone di Forio, Ischia Porto, Lacco Ameno, Casamicciola e

Campagnano. Quattro campioni, situati nell'area del graben di Ischia, presentano concentrazioni intermedie comprese tra 0.40 e 0.60 mg/Kg; la restante parte dell'isola presenta, invece, valori bassi compresi tra 0.10 e 0.40 mg/Kg.

La carta dei dati interpolati (Tavola 16B) evidenzia quanto già descritto per i dati puntuali: l'area dell'abitato di Forio presenta i valori più elevati (1.20 – 2.26 mg/Kg), mentre zone di ridotta estensione (la fascia costiera tra Casamicciola ed Ischia Porto e l'area a sud di Campagnano) sono caratterizzate da valori medi di concentrazione compresi fra 0.27 e 1.20 mg/Kg. La maggior parte dell'isola presenta valori di Cd bassi (0.10 – 0.27 mg/Kg).

La distribuzione dei valori *baseline* del Cd (Tavola 16C) risulta essere fortemente omogenea, con tenori compresi tra 0.20 e 0.41 mg/Kg, su tutto il territorio dell'isola fatta eccezione dell'area ristretta di Forio dove il valore di fondo raggiunge i 0.65 mg/Kg; valori inferiori a 0.52 mg/Kg corrispondono al tenore di fondo naturale (*background*), mentre quelli compresi nell'intervallo 0.52 – 0.65 mg/Kg potrebbero essere legati a cause antropogeniche (traffico veicolare).

La carta delle anomalie (Tavola 16D) mostra alti valori (0.95 – 1.87 mg/Kg) proprio nell'area di Forio. Tutto il resto dell'isola presenta tenori molto bassi, che partono da un minimo di -0.42 fino a raggiungere un valore medio di 0.49 mg/Kg. Le soglie di intervento per il Cd, fissate dal D.M. 471/1999, sono 2 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e 15 mg/Kg per l'uso



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.10
Massimo	2.30
Media aritmetica	0.17
Mediana	0.10
Media geometrica	0.14
Moda	0.10
25° Percentile	0.10
75° Percentile	0.20
Deviazione standard	0.19
Limite di rilevabilità strumentale	0.20
Accuratezza	5.11
Precisione	0.00

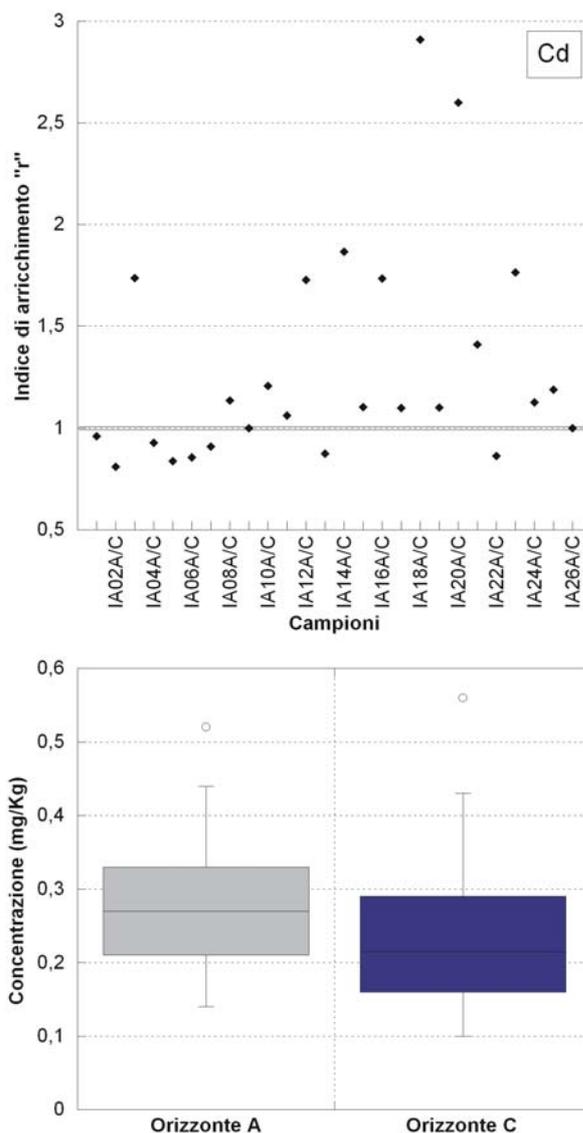
Figura 6.8a - Distribuzione statistica del Cd.

industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento (Tavola 16E) prodotta per l'elemento in esame individua l'esistenza di un unico campione, ubicato nell'area dell'abitato di Forio, avente una concentrazione di Cd pari a 2.3 mg/Kg, che supera la soglia per uso a verde pubblico, privato e residenziale del suddetto Decreto.

6.8,2 - Distribuzione del Cd negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Cd negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 16F) mostra arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte superficiale. I valori di r sono compresi per lo più tra 1 e 2; r raggiunge valori superiori alle 2 unità a sud di Barano ($r = 2.6$) e a sud del Monte Trippodi ($r = 2.9$). Leggeri arricchimenti dell'orizzonte C si verificano in pochi punti ubicati principalmente lungo la costa occidentale dell'isola. L'arricchimento nell'orizzonte superficiale è spiegato in parte dalla natura secondaria del fenomeno di apporto del Cd (risalita di fluidi idrotermali), in parte ad un apporto di tipo antropico di natura prettamente puntuale, come evidenziato nelle mappe della distribuzione dell'elemento nei suoli superficiali (Tavole 16A, 16B).

La mappa della distribuzione del Cd negli orizzonti A e C (Tavola 16G) mostra valori contenuti sempre nell'intervallo di concentrazione del tenore di fondo naturale (*background*) stabilito grazie all'ausilio del GeoDAS; le concentrazioni del Cd non raggiungono mai valori appartenenti all'intervallo del tenore di fondo



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.14	0.10
Massimo	0.52	0.56
Media aritmetica	0.28	0.24
Mediana	0.27	0.22
Media geometrica	0.27	0.22
Moda	0.24	0.19
25° Percentile	0.21	0.16
75° Percentile	0.33	0.29
Deviazione standard	0.09	0.11
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.05	0.05

Figura 6.8b - Distribuzione statistica del Cd negli orizzonti A e C.

attuale (> 0.52 mg/Kg), dimostrando la natura del tutto puntuale della contaminazione antropica riscontrata nell'area di Forio.

6.9 - Cobalto (Co)

E' un elemento di transizione siderofilo, che gode anche di tendenze litofile e calcofile. La sua mobilità è intermedia ed è controllata principalmente da fenomeni di adsorbimento e coprecipitazione di Fe e Mn (Wedepohl, 1978). Generalmente è associato a Ni e Mg in rocce basiche ed ultrabasiche, ed è presente in tutti gli ambienti naturali da quello sedimentario a quelli magmatico ed idrotermale. In quest'ultimo si ritrova in filoni assieme a Ni, As, Ag e Cu come smaltite (CoAs_2) e cobaltite (CoAsS).

Il Co è generalmente arricchito nelle rocce basiche. Nelle rocce sedimentarie tende a sostituire Fe^{2+} e Mn^{2+} ed a concentrarsi nella frazione più fine. In genere, arenarie e calcari hanno bassi contenuti in Co (< 2 mg/Kg); arcose e grovacche hanno contenuti mediamente superiori e, comunque, legati alla abbondanza di minerali mafici (Ure & Berrow, 1982). Concentrazioni di Co di circa 50 mg/Kg sono comuni in marne a grana molto fine, mentre le concentrazioni medie di Co che si riscontrano nelle argilliti nere sono più basse (Vine & Tourtelot, 1970).

Il Co viene utilizzato dall'uomo nell'ingegneria aeronautica, nella produzione di metalli, leghe (calamite, estremità di trapani); i sali di Co si usano nell'industria della ceramica, per la produzione del cemento, del vetro, per la produzione di brillanti e del colore blu permanente.

Il Co è un elemento essenziale per l'uomo nella dieta, infatti entra nella composizione

della vitamina B12. Una carenza di Co causa anemia microcitica. In campo occupazionale il 30% viene assorbito dai polmoni sotto forma di Co inorganico e si concentra rapidamente nel sangue (Ghittori et al., 2002). A livello della cute viene assorbito sotto forma di metallo o di sali. L'eliminazione avviene attraverso i reni. L'esposizione occupazionale a polvere di Co causa manifestazioni allergiche a carico della cute, asma e fibrosi polmonare. Alcuni composti del Co sono considerati cancerogeni.

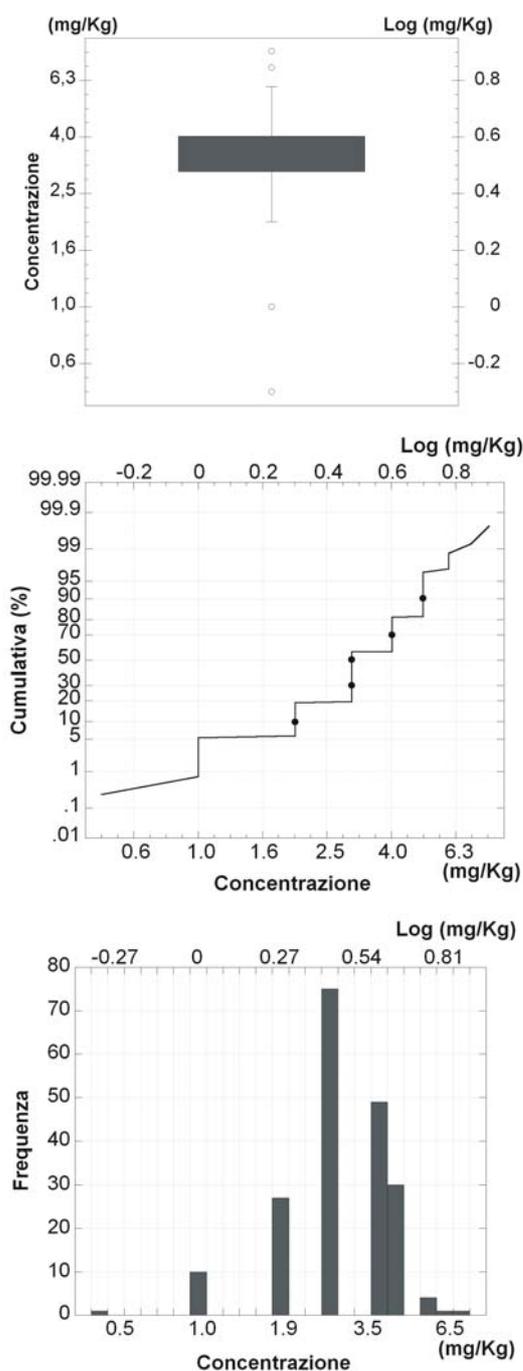
6.9,1 - Distribuzione geochimica del Co nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati puntuali del Co (Tavola 17A) mostra la presenza di due campioni con un contenuto di Co elevato (fra 7.0 e 8.0 mg/Kg) ubicati nella zona di Bagni, area caratterizzata da intensa attività idrotermale. Valori mediamente alti (fra 5.8 – 7.0 mg/Kg) si riscontrano in pochi campioni prelevati a nord di Bagni, ad Ischia Porto e a nord di Barano. La parte restante dell'isola presenta una distribuzione abbastanza omogenea con valori della concentrazione di Co compresi tra 0.5 e 5.8 mg/Kg; solo la fascia che ne delimita la costa meridionale presenta valori minimi appartenenti all'intervallo 0.5 – 3.4 mg/Kg. E' da notare che questo elemento presenta una distribuzione delle concentrazioni molto simile a quelle dell'As e del Ni. La carta di distribuzione dei dati interpolati del Co (Tavola 17B) mostra che i valori di concentrazione più elevati (da 4.3 a 7.7 mg/Kg) sono distribuiti perlopiù in prossimità

di sorgenti termali; ciò è ben evidente nelle aree di Casamicciola, Bagni, Ischia Porto, a sud di Lacco Ameno e a Forio. Inoltre, questi valori si riscontrano anche in prossimità dell'intersezione dei sistemi di faglie principali che delimitano il graben di Ischia, come nel caso della zona di Barano (Tavola 2); tali sistemi rappresentano vie preferenziali di risalita di fluidi profondi. Valori medi di concentrazione (da 2.0 a 4.3 mg/Kg) sono distribuiti omogeneamente su tutta l'isola, fatta eccezione della fascia costiera meridionale (Lido dei Maronti, Succhivo) in cui si riscontrano tenori compresi tra 0.5 e 2.0 mg/Kg.

La distribuzione dei valori *baseline* del Co (Tavola 17C) presenta le concentrazioni dei tenori di fondo attuale più elevate (4.2 – 4.3 mg/Kg) in un'ampia striscia estesa da Ciglio a Piedimonte. Valori intermedi, appartenenti all'intervallo 2.9 – 4.2 mg/Kg, ricadono in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e a ridosso dell'area caratterizzata dai valori massimi. I valori *baseline* coincidono con quelli di fondo naturale (*background*), non essendo il contenuto di Co nei suoli dell'isola influenzato da alcuna fonte di contaminazione antropica.

I valori di anomalia del Co (Tavola 17D) più marcati, compresi fra 2.7 e 4.0 mg/Kg, si riscontrano a nord di Montevergine (Lava di Zaro), a Bagni, ad est di Casamicciola, a sud di Campagnano. Le soglie di intervento per il Co, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 20 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 250 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio.



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.50
Massimo	8.00
Media aritmetica	3.41
Mediana	3.00
Media geometrica	3.16
Moda	3.00
25° Percentile	3.00
75° Percentile	4.00
Deviazione standard	1.21
Limite di rilevabilità strumentale	1.00
Accuratezza	4.17
Precisione	0.00

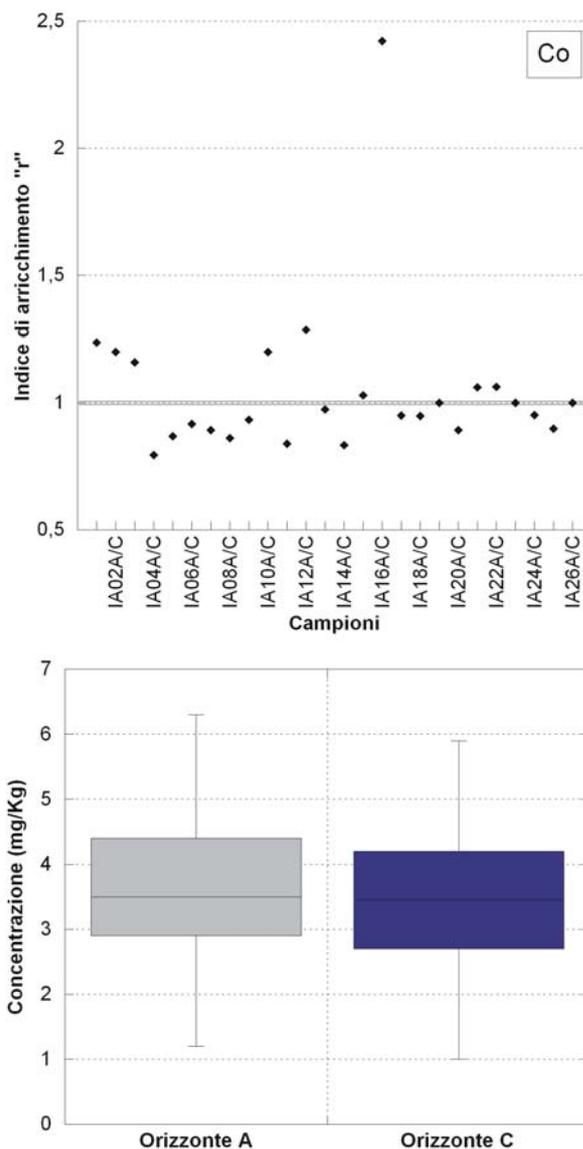
Figura 6.9a – Distribuzione statistica del Co.

E' evidente che in nessun campione le concentrazioni analitiche del Co superano tali limiti (Tavola 17E); per questo elemento non è quindi necessario nessun intervento sui suoli dell'isola, non comportando esso alcun rischio per la salute umana.

6.9,2 - Distribuzione del Co negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Co negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 17F) mostra che la concentrazione di tale elemento è pressoché costante lungo il profilo verticale dei suoli; leggeri arricchimenti ($1.0 \leq r \leq 1.3$) ed impoverimenti ($0.8 \leq r < 1.0$) si riscontrano in maniera omogenea su tutta l'isola. In un unico punto, ubicato a nord di Campagnano, r è pari a 2.4, mostrando un forte arricchimento nell'orizzonte A. Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola; il Co, infatti, come l'As, mostra una forte affinità con l'attività idrotermale (Boyle & Johansson, 1973).

La mappa della distribuzione del Co negli orizzonti A e C (Tavola 17G) mostra concentrazioni superiori ai valori di fondo attuale (*baseline*), che nel caso del Co coincidono con quelli di fondo naturale (*background*). Tali anomalie sono comunque interpretabili come legate a fenomeni di natura geogenica, quali la risalita di fluidi profondi ricchi in Co che causa arricchimento dell'elemento nei diversi orizzonti dei suoli.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.2	1.0
Massimo	6.3	5.9
Media aritmetica	3.6	3.5
Mediana	3.5	3.5
Media geometrica	3.4	3.3
Moda	3.1	2.5
25° Percentile	2.9	2.7
75° Percentile	4.3	4.2
Deviazione standard	1.23	1.19
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.01	0.01

Figura 6.9b – Distribuzione statistica del Co negli orizzonti A e C.

6.10 – Cromo totale (Cr)

È un elemento minore con bassa mobilità ed affinità litofila. Si ritrova in alcuni ossidi come la magnetite, l'ilmenite e soprattutto la cromite (FeCr_2O_4); questi sono molto resistenti all'alterazione ed in particolare la cromite può accumularsi in sabbie fluviali e marine. Il passaggio in soluzione avviene lentamente come Cr^{3+} , per la dissoluzione di ossidi e silicati ferromagnesiaci in condizioni acide (Wedepohl, 1978).

Il Cr in ambiente magmatico è essenzialmente associato a rocce ultrabasiche (1000-3000 mg/Kg), in cui si rinviene insieme agli elementi Ni e Mg (Wedepohl, 1978); inoltre è abbondante nelle rocce sedimentarie. In entrambi i casi può essere presente in fasi detritiche primarie. Durante i processi di alterazione, il Cr^{3+} si comporta come il Fe^{3+} e l' Al^{3+} dando luogo a diffusi accumuli in ossidi secondari e argille. La concentrazione media del Cr nelle argilliti è di 83 mg/Kg, mentre valori relativamente più bassi caratterizzano le arenarie (27 mg/Kg) e i carbonati (1-16 mg/Kg). Ha una tendenza a coprecipitare con gli ossidi di Fe e ad essere adsorbito dalle argille e dal materiale organico.

Il cromo è utilizzato come catalizzatore, come pigmento, nell'industria dell'acciaio, nella produzione di leghe, nella cromatura galvanica, nella fotografia, nella concia delle pelli e nella fabbricazione dei bicromati. È presente in tracce nel cemento. Il cromo si presenta più spesso nei due stati di valenza Cr^{3+} e Cr^{6+} . La via di assorbimento principale è quella inalatoria. Il Cr^{6+} è prontamente assorbito dai polmoni mentre

lo è scarsamente il Cr^{3+} . L'assorbimento attraverso la via gastrointestinale è scarso per entrambe le forme di Cr. Il Cr^{6+} può essere assorbito attraverso la cute. Le membrane cellulari sono permeabili al Cr^{6+} mentre non lo sono al Cr^{3+} . In vivo il Cr^{6+} assorbito viene ridotto a Cr^{3+} il quale si lega facilmente all'emoglobina. I più alti livelli di Cr si riscontrano nei polmoni, nel fegato, nei reni e nella milza. Il Cr viene escreto principalmente con le urine dove compare nella sua forma trivalente. Tutti i composti del Cr sono altamente tossici e potenziali agenti cancerogeni per l'uomo. L'inalazione di composti insolubili del Cr può causare pneumoconiosi.

6.10,1 - Distribuzione geochimica del Cr nei suoli

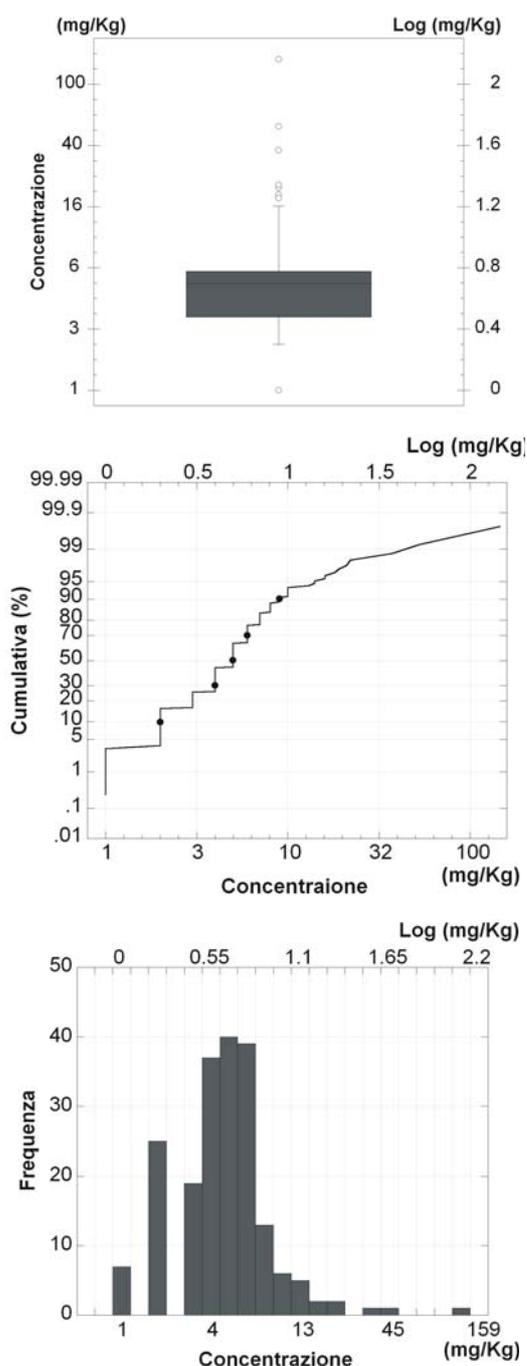
La distribuzione dei dati puntuali (Tavola 18A) presenta le concentrazioni più elevate (fra 39 e 145 mg/Kg) in soli due campioni ubicati l'uno a ovest del porto di Ischia e l'altro in prossimità di Campagnano. In un campione, a sud di Forio, si riscontra una concentrazione pari a 36 mg/Kg, mentre tutto il resto dell'isola è caratterizzata da concentrazioni di Cr comprese tra 1 e 28 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati del Cr (Tavola 18B) mostra un numero ridotto di aree, di limitata estensione, caratterizzate da alti valori di concentrazione compresi fra 24 e 141 mg/Kg; esse si trovano, in particolare, ad Ischia Porto, a sud di Campagnano e a sud di Forio. Tutte le zone elencate sono generalmente bordate da strette fasce di territorio caratterizzate da

valori che passano gradualmente a concentrazioni comprese fra 9 e 24 mg/Kg. La restante parte della superficie dell'isola presenta concentrazioni molto basse appartenenti all'intervallo 1 - 9 mg/Kg; in particolare l'area caratterizzata dalla presenza di Tufo Verde e dai prodotti del suo disfacimento (frane da crollo e colate fangose) e quella di Succhivo - Lido dei Maronti sono caratterizzate dai valori in assoluto più bassi, compresi tra 1 e 4 mg/Kg.

I tenori di fondo attuale più elevati (*baseline*), compresi tra 8 e 15 mg/Kg, si concentrano nell'area nord-orientale dell'isola ed a nord di S. Francesco (Tavola 18C); valori appartenenti all'intervallo 1 - 8 mg/Kg sono invece caratteristici della sua intera superficie; in particolare, tenori minimi compresi tra 1 e 5 mg/Kg ricoprono la fascia centro-occidentale dell'isola. Non sono evidenti sull'isola sorgenti di contaminazione antropica di questo elemento nei suoli, risultando una totale coincidenza tra i valori di tenore di fondo attuale e quelli di tenore di fondo naturale (*background*). Leggeri arricchimenti nelle zone antropizzate (Ischia Porto e Casamicciola) potrebbero essere legati al traffico veicolare.

Le anomalie raggiungono i valori più elevati, compresi tra 70 e 134 mg/Kg, solo in una ridottissima area ubicata nella zona di Ischia Porto (Tavola 18D); appartenenti all'intervallo 20 - 70 mg/Kg sono valori che caratterizzano lembi di territorio ubicati a nord di San Francesco e a sud di Campagnano, oltre che l'area a ridosso di



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	1.0
Massimo	145
Media aritmetica	6.4
Mediana	5.0
Media geometrica	4.7
Moda	5
25° Percentile	3
75° Percentile	6
Deviazione standard	11.21
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	1.1
Precisione	11.0

Figura 6.10a– Distribuzione statistica del Cr.

quella rappresentata dalla massima anomalia. La restante parte dell'isola presenta valori molto bassi, compresi tra – 10 e 20 mg/Kg.

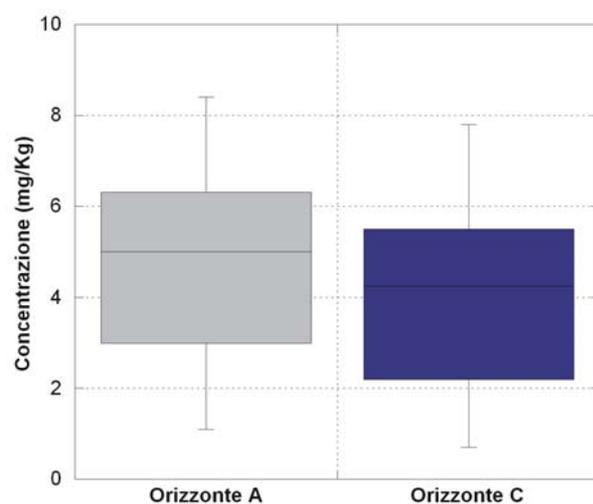
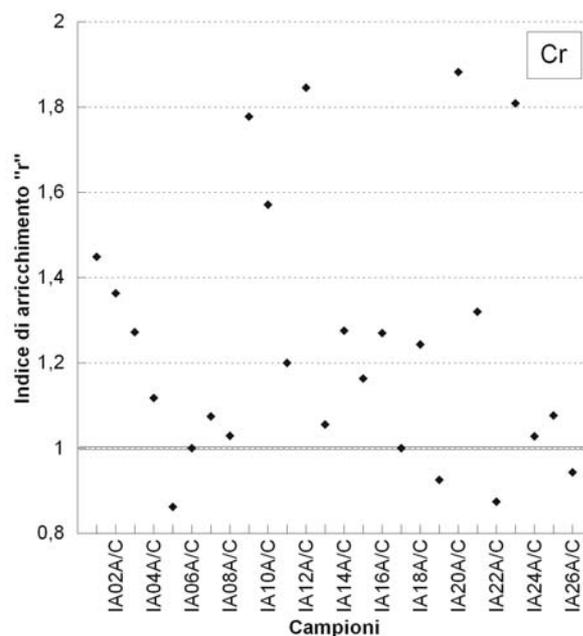
Le soglie di intervento per il Cr, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 150 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 800 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio.

Nessun campione di suolo presenta concentrazioni analitiche superiori ai suddetti limiti (Tavola 18E); il Cr nell'isola non costituisce quindi un rischio per la salute umana.

6.10,2 - Distribuzione del Cr negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Cr negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 18F) mostra un arricchimento dell'elemento nell'orizzonte superficiale. Solo in alcuni punti risulta un leggero arricchimento nell'orizzonte C ($r = 0.9$).

La mappa della distribuzione del Cr negli orizzonti A e C (Tavola 18G) mostra concentrazioni contenute negli intervalli dei valori di fondo attuale (*baseline*) ottenuti con l'ausilio del *software* GeoDAS; è così confermata la coincidenza dei valori *baseline* con quelli di fondo naturale (*background*) del Cr nei suoli dell'isola di Ischia.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.1	0.7
Massimo	8.4	7.8
Media aritmetica	4.7	4.1
Mediana	5.0	4.3
Media geometrica	4.2	3.5
Moda	5.7	2.1
25° Percentile	3.1	2.3
75° Percentile	6.3	5.5
Deviazione standard	2.02	2.06
Limite di ril. Strum.	0.50	0.50
Accuratezza		
Precisione	0.09	0.09

Figura 6.10b– Distribuzione statistica del Cr negli orizzonti A e C.

6.11 - Rame (Cu)

Il Cu è un elemento fortemente calcofilo e forma sia solfuri che ossidi (Helgeson, 1979). Basalti, gabbri e rocce ultrabasiche contengono mediamente più Cu delle rocce intermedie e granitiche. È fortemente concentrato, con altri elementi calcofili, durante i processi idrotermali. Si ritrova associato con Pb, Zn, Mo, As, Se e Ni in depositi a solfuri ed è dotato di una mobilità intermedia, controllata da adsorbimento e coprecipitazione su ossidi di Fe e Mn. In ambiente idrotermale il Cu si trova in filoni associato a Zn, Pb, Au e Ag.

Nei sedimenti non mineralizzati la concentrazione di Cu è perciò determinata soprattutto dalla composizione del detrito di base, dagli ossidi secondari di Fe e Mn, dai minerali delle argille e dalla materia organica (Forbes et al., 1976). È arricchito nelle rocce clastiche a grana fine, in particolare nelle argille nere, rispetto ai sedimenti quarzoso-feldspatici e carbonatici.

I suoi composti sono ampiamente usati in agricoltura e possono dare anomalie da drenaggio. L'affinità del Cu con la materia organica è ampiamente documentata (Rippey, 1982).

Il Cu è un elemento ampiamente distribuito in natura ed essenziale per la vita. Il rame nell'uomo è ben assorbito dal tratto gastrointestinale ed è trasportato nel sangue legato a due proteine, l'albumina e la ceruloplasmina. La maggior parte del Cu è conservata nel fegato e nelle ossa. Durante i primi dieci anni di vita, la concentrazione di Cu nei tessuti diminuisce,

fatta eccezione per il cervello, dove raddoppia nel passaggio dall'infanzia all'adolescenza. La bile rappresenta la via di escrezione principale per quest'elemento ed ha un ruolo importante nel mantenere costante il suo livello nell'organismo. Un accumulo di Cu nell'organismo può causare anomalie al sistema nervoso, al fegato e ai reni. L'avvelenamento dovuto all'ingestione di sali di Cu, molto spesso sotto forma di solfati, può provocare anche la morte.

6.11,1 - Distribuzione geochimica del Cu nei suoli superficiali

La distribuzione puntuale dei dati analitici del Cu (Tavola 19A) evidenzia una concentrazione dei valori più elevati (400 - 685 mg/Kg) in alcuni campioni del settore sud-orientale dell'isola, in corrispondenza dell'area compresa tra Piedimonte e Barano. In alcuni campioni prelevati anch'essi nell'area suddetta si riscontrano inoltre concentrazioni appartenenti all'intervallo 185 - 400 mg/Kg. Nell'isola sono distribuiti in modo più o meno uniforme, prevalentemente lungo le fasce costiere, campioni con tenori di Cu medio-alti (78 - 185 mg/Kg); il resto del territorio presenta suoli con valori compresi tra 4 e 78 mg/Kg.

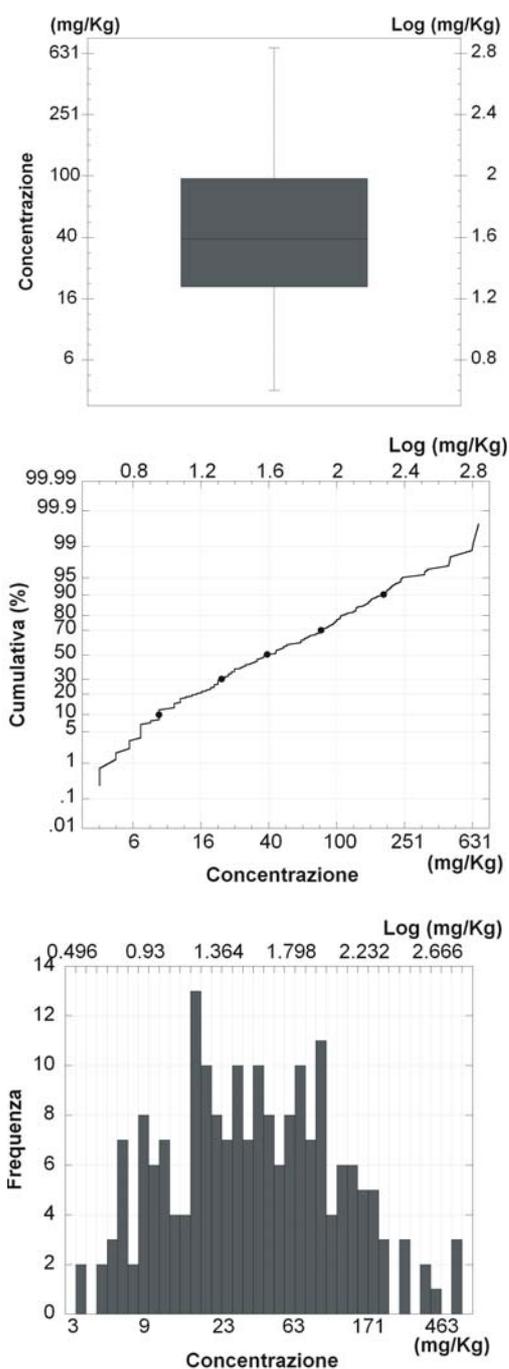
I dati interpolati (Tavola 19B) sottolineano la presenza di concentrazioni molto elevate (336 - 668 mg/Kg) in corrispondenza del settore sud-orientale dell'isola; a ridosso di queste aree i valori decrescono gradualmente fino a ricadere nell'intervallo 72 - 139 mg/Kg, in piccoli lembi di territorio distribuiti lungo tutto il bordo costiero. Il

resto dell'isola è ricoperto da concentrazioni comprese fra 4 e 72 mg/Kg; i valori minimi (4 – 14 mg/Kg), inoltre, ricoprono tutta l'area corrispondente agli affioramenti di Tufo Verde (Tavola 1), Bagni, l'angolo nord-occidentale dell'isola (Montevergine) e la zona a ridosso di Lido dei Maronti.

La distribuzione dei tenori di fondo attuale del Cu (*baseline*) (Tavola 19C) mostra la presenza di valori elevati (230 – 315 mg/Kg) in corrispondenza dell'area compresa tra Piedimonte e Barano; essi sono ascrivibili ad una sovrapposizione del contributo naturale con quello di carattere antropico; tale picco, infatti, risulta essere giustificato dalla presenza di una intensa attività della coltura della vite nella quale è utilizzato comunemente il "verderame" (solfato di rame), antiparassitario che contiene una alta concentrazione dell'elemento in questione. Attorno a questa zona si riscontrano ancora tenori elevati che passano gradatamente a valori di 110 – 230 mg/Kg. Tenore di fondo naturale dell'isola (*background*) può essere considerato quello compreso tra 4 e 110 mg/Kg, intervallo che ricopre tutto il resto del territorio.

Valori anomali elevati (Tavola 19D), compresi tra 144 e 369 mg/Kg, si riscontrano nell'area compresa tra Barano e Piedimonte; il resto dell'isola è caratterizzato perlopiù da valori appartenenti all'intervallo -42 – 31 mg/Kg.

Le soglie di intervento per il Cu, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 120 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 600 mg/Kg per l'uso industriale e commerciale del territorio. La carta di intervento del Cu (Tavola 19E)



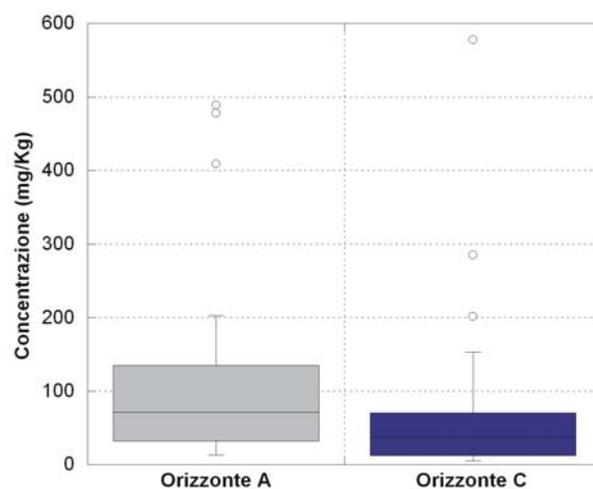
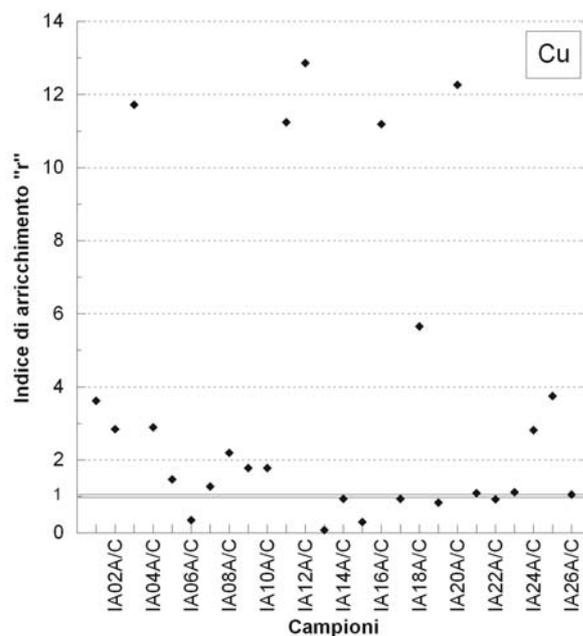
Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	4.0
Massimo	685
Media aritmetica	78.1
Mediana	39.0
Media geometrica	41.2
Moda	9.0
25° Percentile	19
75° Percentile	96
Deviazione standard	107.99
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	1.0
Precisione	5.0

Figura 6.11a–Distribuzione statistica del Cu.

mostra che parte dei suoli campionati nell'area del graben di Ischia è caratterizzata da una concentrazione superiore alla soglia imposta per l'uso a verde pubblico, privato e residenziale. Due campioni prelevati nell'area tra Barano e Piedimonte superano, inoltre, la soglia di 600 mg/Kg imposta per l'uso industriale/commerciale del territorio.

6.11,2 - Distribuzione del Cu negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Cu negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 19F) mostra forti arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte superficiale. I valori di r superano, infatti, in alcuni punti, le 10 unità; ciò avviene nelle aree di Ciglio ($r = 11.2$; 12.9), Campagnano ($r = 11.3$), Ischia Porto ($r = 11.7$) e Barano ($r = 12.3$). Leggeri arricchimenti dell'orizzonte C si verificano in pochi punti ubicati nella zona di Forio, tra Piedimonte e Campagnano e a Lido dei Maronti, tutte aree caratterizzate da una intensa attività idrotermale. L'arricchimento nell'orizzonte superficiale è spiegato in parte dalla natura secondaria del fenomeno di apporto del Cu (risalita di fluidi idrotermali), in parte ad un contributo di tipo antropico, dovuto all'uso diffuso del "verderame" (solfato di rame), antiparassitario che contiene una alta concentrazione dell'elemento in questione. La mappa della distribuzione del Cu negli orizzonti A e C (Tavola 19G) mostra valori contenuti nell'intervallo di concentrazione *background*, stabilito con il GeoDAS, in tutte le aree dell'isola ad eccezione che nella



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	12.8	5.3
Massimo	489.0	577.4
Media aritmetica	120.7	79.6
Mediana	71.1	37.2
Media geometrica	72.9	37.2
Moda		
25° Percentile	34.5	12.5
75° Percentile	132.4	69.6
Deviazione standard	135.7	121.9
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.11b – Distribuzione statistica del Cu negli orizzonti A e C.

zona compresa tra Piedimonte, Campagnano e Barano. E' questa l'area in cui i valori *baseline* di Cu sono più elevati a causa del contributo antropogenico.

6.12 - Ferro (Fe)

Elemento maggiore siderofilo, il Fe è uno dei maggiori costituenti dei silicati ferromagnesiaci come olivina, pirosseni, anfiboli e biotiti ed è anche abbondante sotto forma di ossidi (magnetite) e sotto forma di solfuri (pirite, pirrotite ecc.). È molto abbondante nelle rocce ultramafiche e mafiche mentre nelle rocce sedimentarie la sua concentrazione è influenzata dalle condizioni di pH-Eh (Ure & Berrow, 1982). Una volta rilasciato nell'ambiente lo ione Fe^{2+} è altamente solubile; in condizioni di pH ed Eh crescenti e in ambiente aerobico precipita formando incrostazioni di ossidi idrati. Il Fe^{3+} è invece dotato di bassa mobilità e precipita sottoforma di ossidi di ferro idrati solo in ambienti con $pH > 3$. Lo ione ferroso (Fe^{2+}) permette di individuare ambienti riducenti, inoltre si ritrova anche nelle acque termominerali e può provenire dalla decomposizione delle pirite. Lo ione ferrico (Fe^{3+}) è meno frequente nelle acque naturali.

Il Fe è un metallo essenziale di grande interesse scientifico e medico, ma spesso è causa di gravi intossicazioni dovute ad esposizioni accidentali acute o croniche oppure da un eccesso della sua presenza nella dieta. L'organismo umano possiede un complesso meccanismo per regolare l'omeostasi del Fe: il tratto gastrointestinale assorbe dal 2% al 15% del Fe ingerito per via orale e di questo solo lo 0.01% è eliminato. Nei periodi di maggiore richiesta di Fe (neonati, donne incinte) l'assorbimento aumenta considerevolmente. Normalmente l'eccesso di Fe viene secreto con le urine.

Fenomeni di tossicità grave si verificano spesso in seguito all'ingestione di medicine contenenti Fe e colpiscono in particolare i bambini. Negli anni '70, negli Stati Uniti vennero registrati circa 2000 casi tra i bambini, d'età compresa tra 1 e 5 anni, intossicati dal solfato ferroso contenuto nelle carte delle caramelle. Un'intossicazione severa si verifica ingerendo una quantità maggiore di 0.5 mg di Fe o di 2.5 mg di solfati ferrosi e si manifesta con vomito, seguito da segni di shock, danni al fegato e difetti nella coagulazione del sangue. L'inalazione di polveri o fumi contenenti ossidi di Fe da parte di lavoratori di industrie siderurgiche può causare l'accumulo di Fe nei polmoni e l'insorgere di tumori (Boyd et al., 1970).

6.12,1 - Distribuzione geochimica del Fe nei suoli superficiali

Dalla carta dei dati puntuali del Fe (Tavola 20A) si nota la netta differenza tra le concentrazioni caratterizzanti la metà occidentale e quella orientale dell'isola. I valori più elevati (1.60 – 2.25 %) si riscontrano in corrispondenza della metà occidentale dell'isola, quella in cui affiorano il Tufo Verde del Monte Epomeo, le colate fangose e gli accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi di Tufo Verde (Tavola 1); inoltre, in quest'area sono numerose le risorgenze termali e le fumarole. Nella zona di Ciglio e in tutto il settore orientale dell'isola i valori di concentrazione del Fe sono invece inferiori, e compresi in un intervallo che va da 0.52 a 1.60 %.

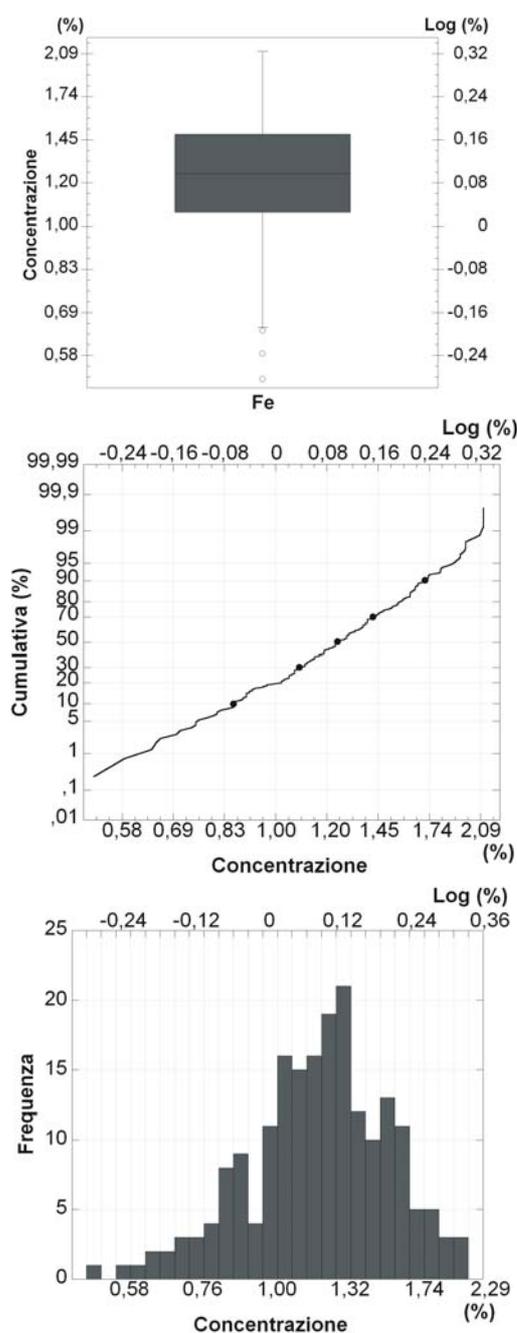
La distribuzione dei dati interpolati del Fe (Tavola 20B) conferma tale descrizione; i valori più elevati, compresi tra 1.45 e 2.04 %, ricoprono la metà occidentale dell'isola, ad eccezione della zona a sud di San Francesco e di Succhivo dove affiorano in effetti sabbie pomicee, tufi trachitici e vulcaniti trachifonolitiche. Valori intermedi (1.12 – 1.45 %) si riscontrano a ridosso delle zone in cui sono presenti le concentrazioni più alte, oltre che in una parte del settore orientale dell'isola (nelle aree di Piedimonte e di Campagnano) e nella zona di Succhivo. Nella parte occidentale dell'isola e nella fascia meridionale i valori di concentrazione sono molto bassi (0.52 – 1.12 %).

I tenori di fondo attuale (*baseline*) più elevati di Fe (Tavola 20C) risultano essere compresi tra 1.35 e 1.55 % e ricoprono proprio il settore nord-occidentale dell'isola. Valori molto bassi, compresi fra 0.52 e 1.35 %, caratterizzano invece tutto il resto del territorio. I valori del tenore di fondo attuale del Fe nei suoli dell'Isola di Ischia sono coincidenti con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).

La carta delle anomalie del Fe (tavola 20D) mostra valori molto bassi, compresi tra – 0.60 e 0.45 %, distribuiti omogeneamente su tutta l'isola. Solo in ristrettissime aree in prossimità di Bagni e del Monte Epomeo si raggiungono valori massimi di anomalia appartenenti all'intervallo 0.45 – 0.82 %.

6.12,2 - Distribuzione del Fe negli orizzonti A e C dei suoli

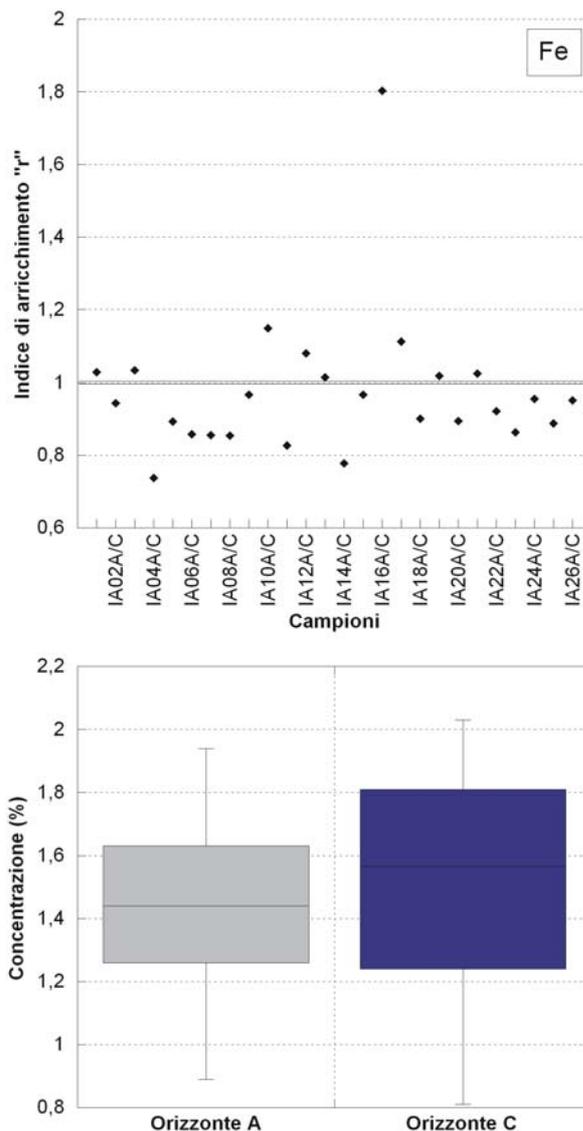
La distribuzione del Fe negli orizzonti A e C



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.52
Massimo	2.11
Media aritmetica	1.27
Mediana	1.25
Media geometrica	1.23
Moda	1.39
25° Percentile	1.06
75° Percentile	1.48
Deviazione standard	0.33
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	3.09
Precisione	3.00

Figura 6.12a–Distribuzione statistica del Fe.

dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 20E) mostra, nella metà occidentale dell'isola, arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da materiale derivante dall'alterazione della roccia madre; la concentrazione di Fe è infatti controllata, in quest'area, dalla presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e degli accumuli di frane da crollo e di scosciamento a blocchi dello stesso (Tavola 1). Nella metà occidentale dell'isola si riscontrano, invece, leggeri arricchimenti nell'orizzonte superficiale ($1.0 \leq r \leq 1.1$), legati a fenomeni di ossidazione secondaria del Fe. Solo in un punto ubicato a nord di Campagnano, r è pari a 1.8. La mappa della distribuzione del Fe negli orizzonti A e C (Tavola 20F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che corrispondono, nel caso del Fe, ai valori di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.89	0.81
Massimo	1.94	2.03
Media aritmetica	1.45	1.52
Mediana	1.44	1.57
Media geometrica	1.42	1.48
Moda	1.43	1.84
25° Percentile	1.27	1.28
75° Percentile	1.62	1.79
Deviazione standard	0.27	0.33
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.12b – Distribuzione statistica del Fe negli orizzonti A e C.

6.13 - Gallio (Ga)

E' un elemento minore dotato di una mobilità limitata. Elevati contenuti di questo metallo si ritrovano nelle miche specialmente nella muscovite ed anche nei feldspati e negli anfiboli. In ambiente di alterazione superficiale il Ga si ritrova associato con i minerali dell'Al; il comportamento geochimico di questi due elementi è molto simile. L'associazione è tale che il loro rapporto si mantiene costante in un gran numero di litologie, anche se un forte frazionamento magmatico può produrre un arricchimento preferenziale in Ga negli ultimi stadi della differenziazione dovuto alle maggiori dimensioni dello ione Ga^{3+} , selettivamente escluso dai minerali di prima formazione. Come per l'Al i minerali che lo contengono, sia in rocce ignee che metamorfiche, sono i feldspati e le miche. Sebbene il raggio e la carica dello ione Ga^{3+} siano simili a quelli del Fe^{3+} non c'è una stretta correlazione tra Fe e Ga in quanto il Fe sotto forma di ione Fe^{2+} è più mobile. Il Ga è essenzialmente immobile durante il metamorfismo, in quello di alto grado viene trattenuto nei feldspati e nei granati, e in quello di basso grado nelle miche. In particolari condizioni idrotermali, il Ga, leggermente correlato allo Zn, ha un comportamento calcofilo e molto probabilmente si arricchisce nella sfalerite. Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni del Ga sono generalmente più alte nelle argilliti alluminifere, nelle grovacche e nelle arenarie feldspatiche e più basse nelle quarziti e nei carbonati. In ambiente superficiale il Ga, come l'Al, è

relativamente immobile, a causa della bassa solubilità del suo idrossido più diffuso, $Ga(OH)_3$. Le differenze nel comportamento termodinamico di Al e Ga sono limitate, anche se durante il dilavamento, con valori di pH fra 4 e 5, il Ga è più solubile dell'Al e quindi è anche più mobile (Bowen, 1982; Brookins, 1988). Nei sedimenti fluviali il Ga è più frequentemente associato ai detriti feldspatici, ai minerali delle argille e ad ossidi secondari di Fe e Al. La distribuzione dell'elemento nei suoli è mostrata anche nella relazione con gli ossidi di Fe e Mn.

Il Ga è utilizzato come agente di contrasto in radiologia per la localizzazione di lesioni ossee, come antitumorale (trattamento del morbo di Hodgkin) e nel trattamento di ipercalcemia (Abrams & Murrer, 1993). L'uso di Ga produce diversi effetti quali dermatiti, disturbi gastrointestinali e danni renali.

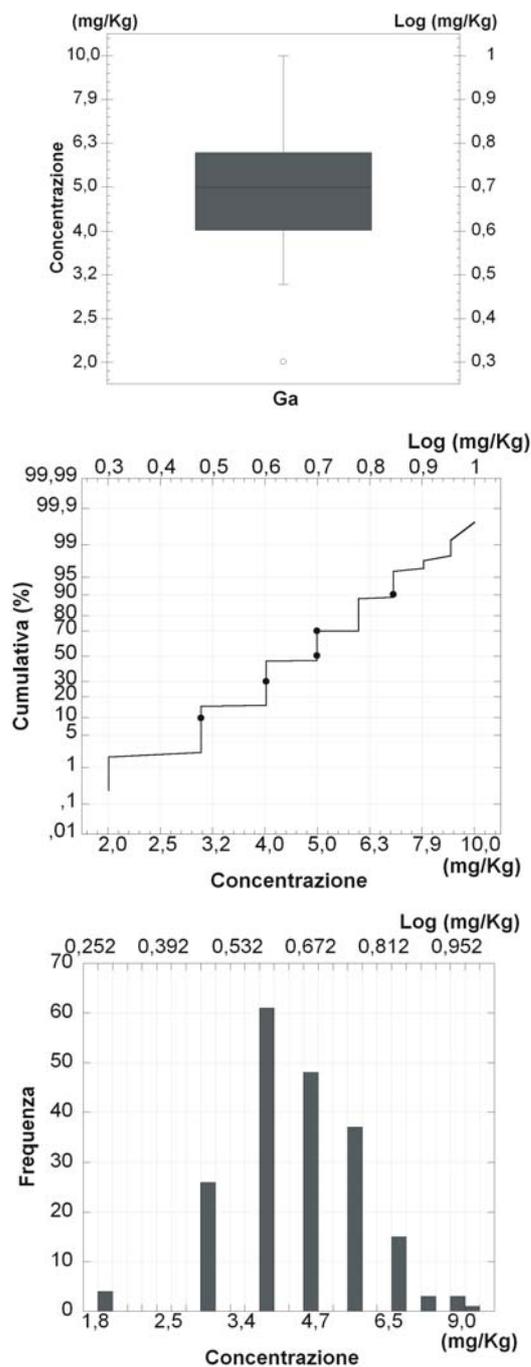
6.13,1 - Distribuzione geochimica del Ga nei suoli superficiali

Dalla analisi della distribuzione dei valori puntuali del Ga (Tavola 21A) si può notare la netta distinzione presente negli intervalli di concentrazione tra il settore occidentale e quello orientale. Questo elemento presenta distribuzione simile a quella dell'Al. Nella metà occidentale si riscontrano i valori più elevati compresi tra 7 e 10 mg/Kg, con picchi massimi tra 9 e 10 mg/Kg in alcuni campioni. Concentrazioni intermedie, appartenenti all'intervallo 5 – 7 mg/Kg, sono diffuse in modo alquanto omogeneo su tutto il settore occidentale. In molti dei punti campionati nella parte orientale, invece, si

individuano valori compresi tra un minimo di 2 e 5 mg/Kg. Questa differenza nelle concentrazioni tra i due settori dell'isola potrebbe essere legata alla presenza, nella metà occidentale, del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento (frane di crollo, colate di fango) (Tavola 1). Si nota infatti anche la forte analogia con la carta puntuale dell'Al con il quale il Ga è associato nei fenomeni di *weathering*, essendo entrambi metalli caratterizzati da una bassa tendenza ad essere lisciviati.

La carta della distribuzione dei dati interpolati del Ga (Tavola 21B) evidenzia la presenza di valori elevati (fra 6.0 e 9.8 mg/Kg) concentrati principalmente nel settore nord-occidentale dell'isola; inoltre, tali tenori si riscontrano anche in prossimità di Lido dei Maronti e di Succhivo. Concentrazioni intermedie, comprese tra 4.7 e 6.0 mg/Kg, ricoprono principalmente tutta la metà occidentale dell'isola oltre che ristrette aree ubicate in prossimità di Campagnano. I valori più bassi (fra 2.0 e 4.7 mg/Kg), infine, si riscontrano perlopiù nel settore orientale dell'isola.

I valori più elevati del tenore di fondo attuale compresi fra 5.6 e 6.9 mg/Kg (Tavola 21C), ricoprono la parte nord-occidentale dell'isola, in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde in facies saldata e degli accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi dello stesso, ed in prossimità di Succhivo. La restante parte del settore occidentale dell'isola, insieme a quella compresa tra Piedimonte e Campagnano, presenta valori di fondo attuale intermedi, appartenenti all'intervallo



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	2.00
Massimo	10.0
Media aritmetica	4.84
Mediana	5.00
Media geometrica	4.64
Moda	4.00
25° Percentile	4.00
75° Percentile	6.00
Deviazione standard	1.41
Limite di rilevabilità strumentale	-
Accuratezza	-
Precisione	0.03

Figura 6.13a–Distribuzione statistica del Ga.

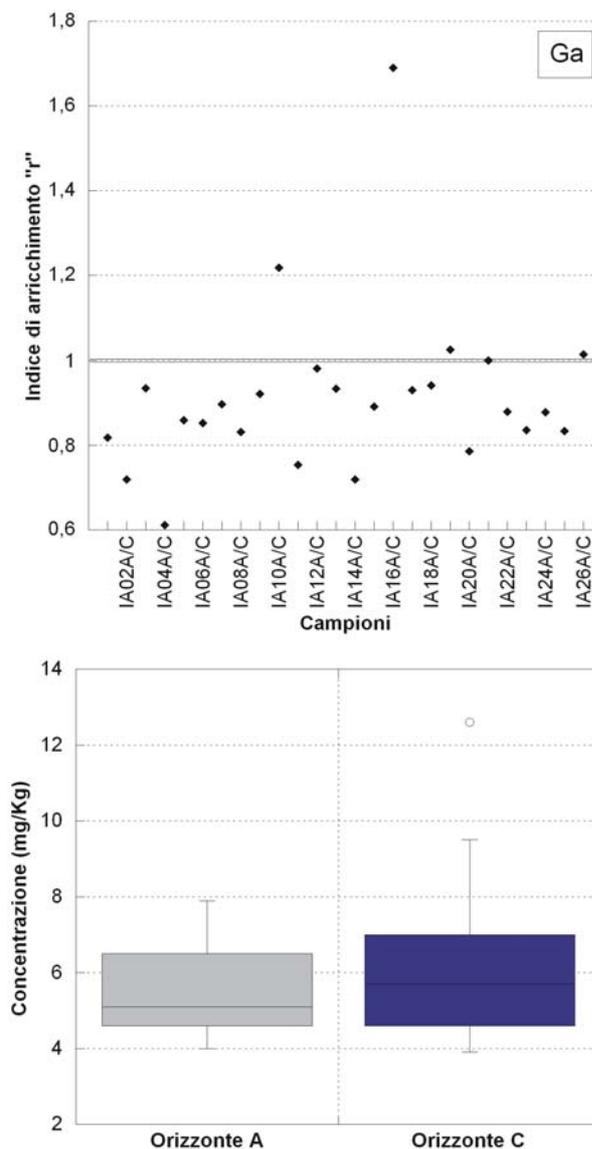
di concentrazione 4.3 – 5.6 mg/Kg. I valori più bassi si riscontrano nel settore orientale dell'isola; essi sono compresi tra un minimo di 2.0 e 4.3 mg/Kg. Le concentrazioni di Ga nei suoli dell'isola di Ischia sono legati unicamente a sorgenti di tipo naturale, comportando ciò una coincidenza tra i valori del tenore di fondo attuale e di quello naturale (*background*).

La carta che illustra le anomalie rispetto ai valori *baseline* (Tavola 21D) mostra un'assenza di valori anomali per quasi l'intero territorio (-1.0 – 0.7 mg/Kg). L'unica zona in cui i tenori dell'anomalia sono relativamente alti (2.4 – 5.8 mg/Kg) è quella del Monte Trippodi.

6.13,2 - Distribuzione del Ga negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Ga negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 21E) mostra arricchimento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da materiale derivante da alterazione della roccia madre. Nonostante le concentrazioni di Ga nei suoli siano nettamente superiori nell'area nord-occidentale dell'isola, dove sono presenti il Tufo Verde del Monte Epomeo e gli accumuli di frane dello stesso (Tavola 1), i rapporti tra le concentrazioni nell'orizzonte A ed in quello C sono pressoché costanti su tutto il territorio, fatta eccezione di un punto a nord di Campagnano dove $r = 1.7$.

La mappa della distribuzione del Ga nell'orizzonte C (Tavola 21F) mostra, in genere, valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che nel caso del Ga corrispondono ai valori di fondo naturale



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	4.0	3.9
Massimo	7.9	12.6
Media aritmetica	5.5	6.2
Mediana	5.1	5.7
Media geometrica	5.4	6.0
Moda	4.6	4.6
25° Percentile	4.6	4.7
75° Percentile	6.5	7.0
Deviazione standard	1.23	1.96
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.13b – Distribuzione statistica del Ga negli orizzonti A e C.

(*background*). La concentrazione del Ga nei suoli dell'isola di Ischia è, infatti, da imputare alla sua presenza nelle miche e nei feldspati, in associazione con l'Al.

6.14 - Mercurio (Hg)

Lo ione Hg^{2+} è polarizzabile e, comportandosi come un acido debole, si associa fortemente con una base debole, formando complessi sia con composti organici che inorganici. Tutti i depositi di Hg sono formati da soluzioni idrotermali a bassa temperatura e si ritrovano in qualsiasi tipo di roccia che si sia fratturata in modo da permettere l'ingresso delle soluzioni idrotermali. Le più ricche zone a mercurio le ritroviamo lungo le aree attive (subduzione) (Costabile et al., 2004).

Esso viene utilizzato dall'uomo in diversi settori di produzione come industria di vernici, plastiche, carta, preparazione delle amalgame dentarie, lampade, produzione di apparecchi scientifici di precisione (termometri, barometri, manometri), impianti di produzione di cloro-soda.

In natura il Hg è presente in tre forme: mercurio elementare (Hg^0), mercurio inorganico (Hg^{2+}) e mercurio organico. Il mercurio inorganico rilasciato dalle industrie nelle acque è convertito a metilmercurio dalla flora batterica e successivamente concentrato a livello dei pesci, che rappresentano la principale fonte di esposizione per i soggetti non esposti professionalmente. A livello occupazionale il Hg viene assorbito prevalentemente per inalazione o attraverso la cute. Hg^0 viene eliminato nelle feci, nelle urine, nell'aria espirata e nella saliva. Hg^0 supera la barriera emato-encefalica e si accumula nel SNC (sistema nervoso centrale). Hg^{2+} è in grado di denaturare le proteine del tratto gastrointestinale con effetti corrosivi; può

causare necrosi del tubulo renale. Il Hg organico, ed in particolare il metilmercurio, viene distribuito al SNC, al fegato, al rene; nelle donne in gravidanza attraversa la placenta con effetto teratogeno. Nei minatori esposti contemporaneamente a Hg e a Se è stato notato un minore effetto nefrotossico, forse causato dalla formazione del complesso Hg-Se.

6.14,1 - Distribuzione geochimica del Hg nei suoli superficiali

La distribuzione puntuale dei dati del Hg sull'isola (Tavola 22A), così come l'Ag, presenta una concentrazione dei valori più alti (fra 0.98 e 2.00 mg/Kg) in corrispondenza di soli tre campioni prelevati nell'area compresa tra Ischia Ponte e Campagnano. In tutto il resto dell'isola i valori analitici sono compresi tra 0.50 e 0.52 mg/Kg. Questo risultato è legato al metodo analitico utilizzato; il limite di rilevabilità strumentale (LRS) pari a 1.00 mg/Kg non ha permesso, infatti, di rilevare le concentrazioni inferiori a tale valore. Per i campioni con concentrazioni non rilevabili è stata assunta, per convenzione, una concentrazione pari al 50% del valore del LRS.

I dati interpolati (Tavola 22B) con più alti valori di concentrazione (0.510 – 0.940 mg/Kg) risultano essere concentrati esclusivamente in due aree ristrette ubicate una a nord-ovest di Campagnano e l'altra ad Ischia Ponte; il resto del territorio mostra valori di concentrazione inferiori al LRS.

La mappa dei tenori di fondo attuale del Hg (Tavola 22C) mostra che i valori *baseline*

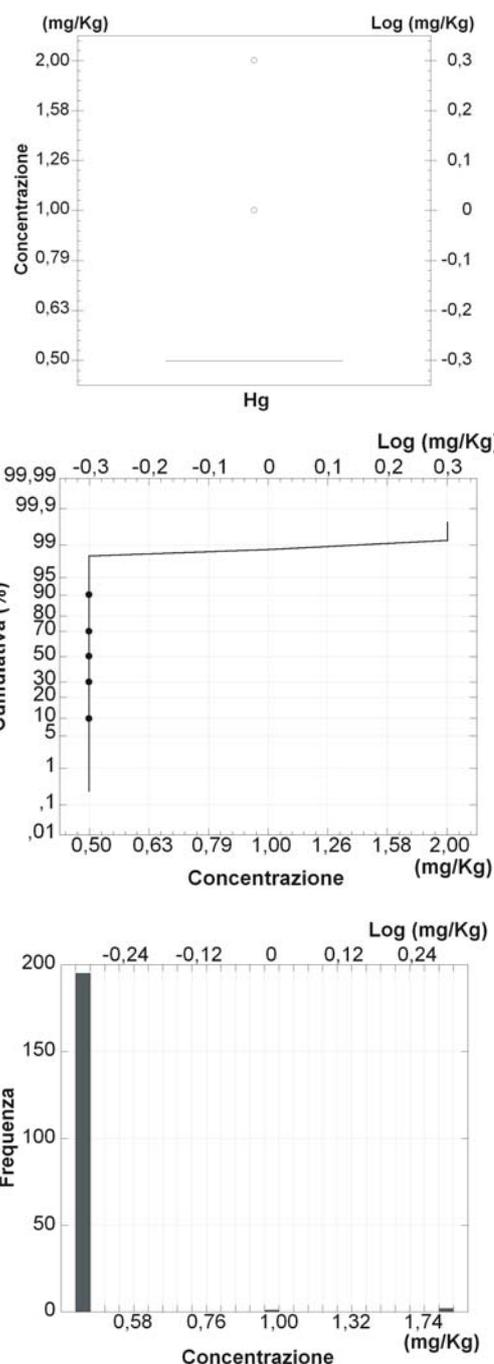
più elevati (0.650 – 0.838 mg/Kg) si riscontrano nell'area tra Ischia Ponte e Campagnano. Il resto dell'isola presenta tenori di fondo attuale compresi tra 0,500 e 0.650 mg/Kg, che possono essere considerati coincidenti con i valori di fondo naturale (*background*).

Le anomalie più marcate (Tavola 22D) si osservano in due aree ristrette, una a nord-ovest di Campagnano e l'altra ad Ischia Ponte dove si raggiungono valori compresi fra 0.403 e 1.127 mg/Kg.

Le soglie di intervento per il Hg, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 1 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 5 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento per l'uso del territorio (Tavola 22E) individua l'esistenza di tre campioni di suolo che superano abbondantemente la soglia di 1 mg/Kg di Hg imposta per l'uso residenziale ricreativo del territorio dal Ministero dell'Ambiente, nelle aree di Campagnano e Ischia Porto. In nessun campione viene invece superata la soglia per l'uso industriale e commerciale.

6.14,2 - Distribuzione dell'Hg negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Hg nei differenti orizzonti di suolo dell'isola di Ischia mostra, in generale, un arricchimento di tale elemento nell'orizzonte superficiale (Tavola 22F), con valori di *r* superiori a tre unità in diverse aree dell'isola (Monte Trippodi, Ischia Porto, a nord di Montevergine, Barano, a nord-est di Ciglio). Valori di *r* di poco inferiori all'unità, ossia un arricchimento in Hg nell'orizzonte C, si

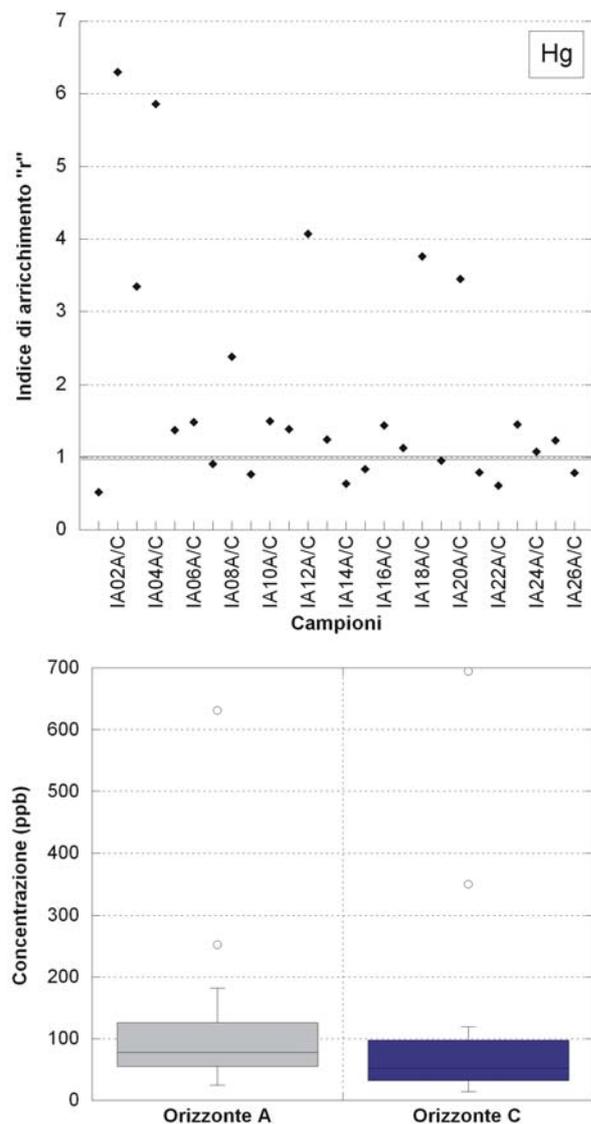


Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.50
Massimo	2.00
Media aritmetica	0.52
Mediana	0.50
Media geometrica	0.51
Moda	0.50
25° Percentile	0.50
75° Percentile	0.50
Deviazione standard	0.15
Limite di rilevabilità strumentale	1.00
Accuratezza	0.00
Precisione	-

Figura 6.14a–Distribuzione statistica del Hg.

riscontrano in prossimità di Lido dei Maronti, a Succhivo, a sud di Forio, a nord di Bagni e ad Ischia Ponte, tutte aree in cui è intensa l'attività idrotermale. Inoltre, dalla Tavola 22G, in cui sono rappresentate le concentrazioni analitiche negli orizzonti A e C, è evidente come nei punti in cui si ha arricchimento nell'orizzonte C, vengano raggiunte le maggiori concentrazioni in assoluto; questa è una evidenza della natura geogenica del Hg nei suoli dell'isola di Ischia.

Il differente metodo analitico utilizzato per l'analisi dei campioni di suolo nelle due fasi di prelievo (ICP-AES per i 198 campioni di suolo superficiale e ICP-MS per i successivi prelievi di 26 campioni nell'orizzonte A e altrettanti nell'orizzonte C), non permette un confronto tra i valori *baseline* ricavati con l'ausilio del GeoDAS e le concentrazioni nell'orizzonte C. Comunque si nota che nella maggior parte del territorio i valori di concentrazione nei due orizzonti sono inferiori a 1.0 mg/Kg, limite di rilevabilità strumentale per il Hg con il metodo ICP-AES. Questo dato conferma che i valori *baseline* sul territorio sono compresi tra 50 e 65 µg/Kg.



Parametri statistici (ppb)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	25	14
Massimo	631	694
Media aritmetica	110.1	93.2
Mediana	78.0	52.5
Media geometrica	84.1	57.7
Moda		47.0
25° Percentile	55.5	33.5
75° Percentile	122.5	95.8
Deviazione standard	117.82	138.71
Limite di ril. Strum.	5.00	5.00
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.14b – Distribuzione statistica del Hg negli orizzonti A e C.

6.15 - Potassio (K)

E' un elemento maggiore litofilo, con mobilità moderatamente alta; in zone di alterazione idrotermale esso costituisce un ottimo elemento guida perché in associazione col Cu porfirico; in tale ambiente si ritrova anche in alunite per alterazione di rocce trachitiche e riolitiche.

Il K è uno dei maggiori costituenti di molti minerali, principalmente dei K-feldspati e delle miche. Nel magma, a causa del suo grande raggio ionico, si concentra nei prodotti più differenziati per cui si arricchisce nelle rocce acide, in particolare nei graniti e nelle pegmatiti. È trasportato facilmente dalle soluzioni idrotermali, dando origine al metasomatismo del K-feldspato. Le rocce metamorfiche di grado medio-basso mostrano concentrazioni di K simili a quelle delle litologie da cui derivano. Nelle rocce sedimentarie K_2O può essere fissato dall'illite autigena o da adsorbimento sulla superficie di altri minerali. Nelle rocce arenacee è contenuto soprattutto nei K-feldspati, nelle miche e nella glauconite; di conseguenza è più abbondante nelle arcose e nelle grovacche che non nelle arenarie pure. I calcari contengono scarse quantità di K_2O .

Nelle acque superficiali il K^+ è molto solubile in un ampio intervallo di condizioni di pH ed Eh (Brookins, 1988), ed è soggetto ad una notevole dispersione durante il dilavamento. Il grande ione K^+ è però compatibile con i reticoli cristallini di molti minerali argillosi e ciò limita fortemente la sua mobilità. Il K è un elemento importante nella biosfera e viene

subito utilizzato dalle piante, ciò naturalmente limita la sua concentrazione nelle acque superficiali. L'uso molto diffuso di composti di K come fertilizzanti in agricoltura può dar luogo ad anomalie da drenaggio legate al suo assorbimento da parte dei minerali argillosi contenuti nei sedimenti fluviali.

6.15,1 - Distribuzione geochimica del K nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati puntuali ed interpolati del K mostra l'evidente controllo litologico esercitato sulle concentrazioni di questo elemento dal Tufo Verde del Monte Epomeo. In particolare, per ciò che concerne i dati puntuali (Tavola 23A), i massimi valori di concentrazione (fra 2.45 e 3.05 %) si riscontrano in corrispondenza della parte sommitale del Monte Epomeo. Inoltre, presentano concentrazioni altrettanto elevate due campioni situati l'uno nell'area di Forio e l'altro a sud di Campagnano. Concentrazioni medie (1.88 – 2.45 %) appartengono a campioni situati esclusivamente nel settore nord-occidentale dell'isola, dove sono presenti i prodotti di disfacimento del Tufo Verde, quali accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi (Tavola 1). Valori intermedi, compresi tra 0.75 e 1.31 %, si riscontrano in tutto il settore occidentale dell'isola, in corrispondenza, oltre che delle litologie sopraelencate, anche degli accumuli di colate fangose costituiti da frammenti di Tufo Verde, sul versante meridionale del Monte Epomeo. La metà orientale dell'isola, ad eccezione dell'area a sud di

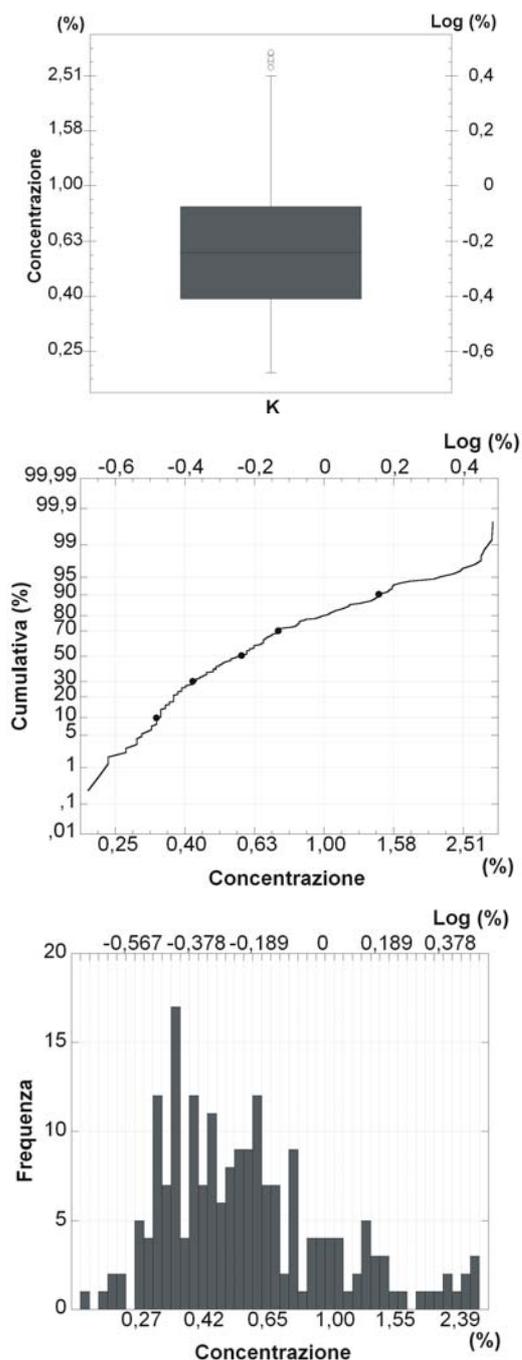
Campagnano, è rappresentata quasi interamente da campioni il cui contenuto di K è minimo (0.21 – 0.75 %).

I massimi valori di concentrazione dei dati interpolati (Tavola 23B) si individuano in corrispondenza della cima del Monte Epomeo (2.06 – 2.99 %) e di zone ristrette situate a Forio, Casamicciola e a sud di Campagnano (2.06 – 2.71 %), in corrispondenza di emergenze di acque termali e fumarole; l'attività idrotermale contribuisce probabilmente ad arricchire i suoli in questo elemento. Attorno alle aree sopraelencate le concentrazioni decrescono gradualmente verso valori compresi tra 0.67 e 0.89 % ricoprendo quasi tutto il settore nord-occidentale dell'isola. I valori di potassio più bassi (0.21 e 0.67 %) caratterizzano, invece, quasi interamente il settore orientale dell'isola; è nel graben di Ischia che si riscontrano i valori minimi di K appartenenti all'intervallo 0.21 – 0.47 %.

La distribuzione del tenore di fondo attuale, come prevedibile, mostra valori di *baseline*, in questo caso coincidenti con i valori di fondo naturale (*background*), elevati; essi sono compresi tra 1.60 e 1.90 % in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo (Tavola 23C).

Valori intermedi, appartenenti all'intervallo 0.80 – 1.60 %, ricoprono il settore nord-occidentale dell'isola; il settore meridionale e quello orientale presentano, invece, valori inferiori a 0.80 %. I tenori minimi vengono raggiunti nel graben di Ischia con valori compresi tra 0.20 e 0.60 %.

Dalla carta della distribuzione delle



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.21
Massimo	3.05
Media aritmetica	0.75
Mediana	0.57
Media geometrica	0.62
Moda	0.37
25° Percentile	0.39
75° Percentile	0.84
Deviazione standard	0.57
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	4.12
Precisione	2.00

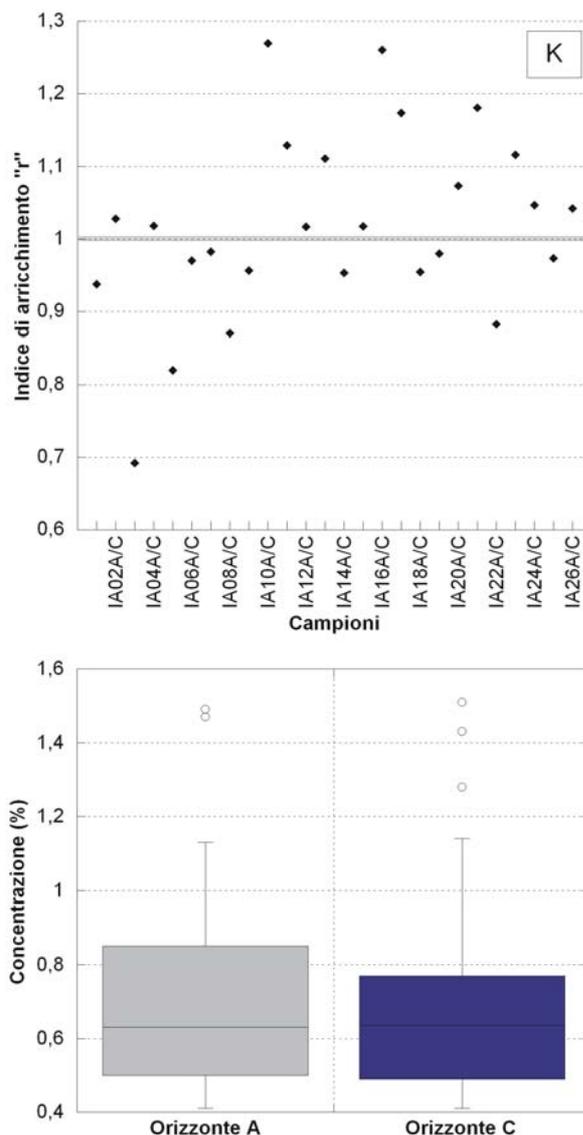
Figura 6.15a –Distribuzione statistica del K.

anomalie (Tavola 23D) si nota che i valori massimi (0.55 – 1.85 %) vengono raggiunti in corrispondenza della vetta del Monte Epomeo, di un'area ristretta a sud di Campagnano, di Casamicciola e di Forio. Il resto dell'isola presenta valori di anomalia irrilevanti appartenenti perlopiù all'intervallo -0.10 – 0.55 %.

6.15,2 - Distribuzione del K negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del K negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 23E) mostra leggero arricchimento di tale elemento nell'orizzonte superficiale. Nonostante le concentrazioni di K nei suoli siano nettamente superiori nell'area nord-occidentale dell'isola, dove sono presenti il Tufo Verde del Monte Epomeo e gli accumuli di frane dello stesso (Tavola 1), i rapporti tra le concentrazioni nell'orizzonte A ed in quello C sono pressoché costanti su tutto il territorio. Questa distribuzione è da imputare alla presenza del K, come l'Al, nelle miche e nei feldspati; esso, nella fase di alterazione della roccia madre, viene facilmente adsorbito sulla superficie dei minerali argillosi.

La mappa della distribuzione del K negli orizzonti A e C (Tavola 23F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che nel caso del K corrispondono ai valori di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0,41	0,41
Massimo	1,49	1,51
Media aritmetica	0,73	0,72
Mediana	0,63	0,64
Media geometrica	0,67	0,67
Moda	0,45	0,72
25° Percentile	0,51	0,49
75° Percentile	0,84	0,76
Deviazione standard	0,30	0,31
Limite di ril. Strum.	0,01	0,01
Accuratezza		
Precisione	0,04	0,04

Figura 6.15b – Distribuzione statistica del K negli orizzonti A e C.

6.16 - Lantanio (La)

Il La fa parte delle Terre Rare leggere ed è classificato come elemento minore immobile; lo ione La^{3+} , come il Ce, si concentra in minerali accessori quali monazite e allanite. Entrambi hanno affinità per le rocce ignee molto acide; in rocce ultrabasiche le concentrazioni sono molto basse (< 10 ppm). Il comportamento del La durante il metamorfismo non è ben conosciuto. Ci sono buone evidenze che il La, come la maggior parte delle Terre Rare, possa essere trasportato in soluzioni idrotermali di tipo alcalino (Kosterin, 1959).

Nelle rocce sedimentarie il La è trattenuto principalmente nei minerali resistenti all'alterazione come la monazite dalla quale viene rilasciato molto lentamente. Il lantanio è contenuto anche in minerali come l'apatite e la biotite dai quali, in condizioni di basso pH, viene lisciviato abbastanza rapidamente (Ronov et al., 1974). Le arenarie quarzitiche hanno tipicamente concentrazioni di La molto basse (ca. 20 mg/Kg) in confronto alle argilliti o alle grovacche (ca. 50 mg/Kg). Un arricchimento diagenetico in La e altre Terre Rare è largamente associato a ossidi idrati in lateriti, bauxiti e minerali di Fe oolitici (Ure e Berrow, 1982).

Come tutti i lantanidi ha affinità con l'ossigeno ed è concentrato nelle fosforiti e nei sedimenti argillosi. Durante i processi di *weathering* subisce frazionamento ed il suo arricchimento nei materiali alterati è relativamente alto.

Nei sedimenti fluviali il La è contenuto soprattutto nelle fasi detritiche (ad es.

monazite), dalle quali viene rilasciato molto lentamente. Una piccola frazione di La può essere presente anche in minerali come apatite e biotite, che sono entrambi soggetti a rapida alterazione in ambiente acido. Lo ione La^{3+} è poco solubile in condizioni ambientali normali e la sua dispersione è influenzata dall'adsorbimento da parte di minerali argillosi e ossidi idrati (Piper, 1974). In condizioni di alto pH può precipitare assieme a carbonati autigeni (Balashov et al., 1964).

6.16,1 - Distribuzione geochimica del La nei suoli superficiali

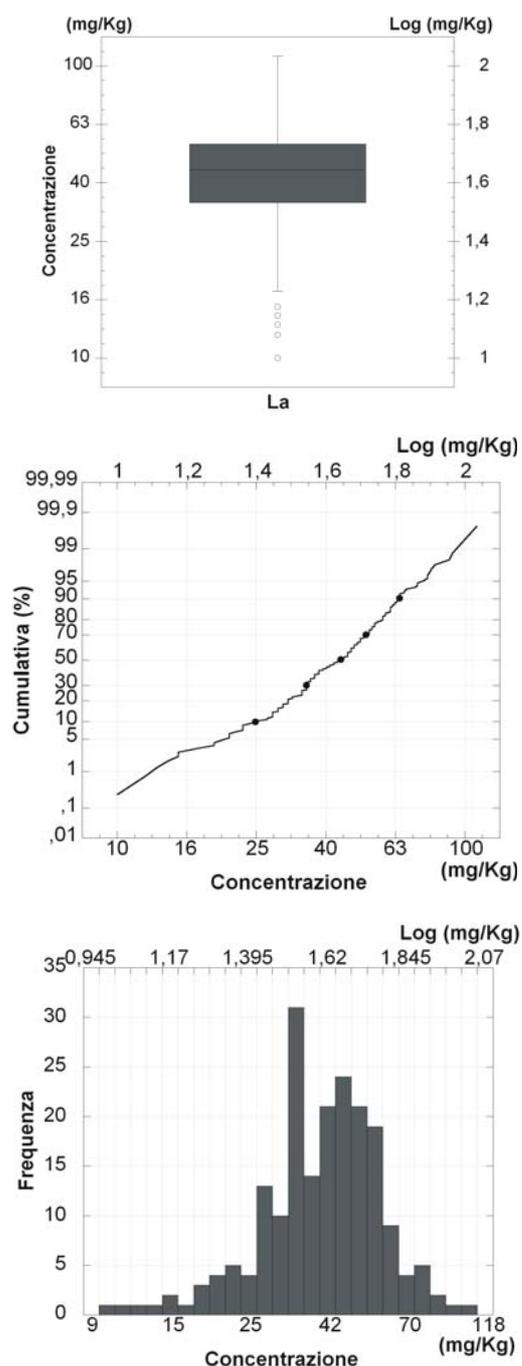
Dalla analisi della carta dei valori puntuali del La sull'isola (Tavola 24A) si individua la netta distinzione tra il settore occidentale e quello orientale nella distribuzione degli intervalli di concentrazione. La metà occidentale è caratterizzata da valori più elevati compresi tra 44 e 108 mg/Kg, con tenori massimi tra 77 e 108 mg/Kg raggiunti nella fascia di territorio ubicata tra Forio e Montevergine e nell'area a nord-ovest di Lido dei Maronti. Nella metà orientale dell'isola la totalità dei campioni presenta, invece, valori di concentrazione minimi appartenenti all'intervallo 10 - 44 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati del La (Tavola 24B) individua come aree ad alta concentrazione (68 - 106 mg/Kg) alcune parti del settore occidentale dell'Isola d'Ischia, in particolare l'area compresa tra Lacco Ameno, Montevergine e Monterone e quella a nord-ovest di Lido dei Maronti. Valori medio-alti, compresi tra 45 e 68 mg/Kg, ricoprono la restante parte del

settore occidentale dell'isola ad eccezione dell'area costiera ad ovest di Succhivo e di una zona ristretta a nord del Monte Epomeo dove si riscontrano concentrazioni medie comprese tra 30 e 45 mg/Kg. A questo intervallo appartengono anche i valori che ricoprono gran parte del settore orientale dell'isola, mentre concentrazioni basse (10 – 30 mg/Kg) ricoprono quasi tutta l'area del graben di Ischia. Questa differenza nelle concentrazioni tra i due settori dell'isola potrebbe essere legata alla presenza, nella metà occidentale, del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento (frane di crollo, colate di fango). Il La è un elemento contenuto nella biotite; a tale proposito va infatti sottolineato che si nota una forte analogia nella distribuzione dei valori di concentrazione del La con quelle di Al e Ga. Inoltre, l'abbondanza del La nell'area del Lido dei Maronti e di Lacco Ameno – Montevergine è da imputare alla presenza di sistemi di faglie responsabili della risalita di fluidi idrotermali.

I valori di fondo attuale (*baseline*) del La più elevati, compresi fra 67 e 82 mg/Kg, sono propri dei suoli a nord-ovest di Lido dei Maronti e della zona di Montevergine (Tavola 24C). Valori medio-alti, compresi tra 42 e 67 mg/Kg, ricoprono l'intero settore occidentale. Anche dall'analisi della mappa del *baseline* è ben evidente la distinzione netta esistente tra la metà occidentale e quella orientale dell'isola; quest'ultima è infatti caratterizzata da valori compresi tra 10 e 42 mg/Kg.

Osservando la tavola 24D non si riscontrano particolari situazioni d'anomalia



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	10
Massimo	108
Media aritmetica	44.6
Mediana	44.0
Media geometrica	41.5
Moda	35
25° Percentile	34
75° Percentile	54
Deviazione standard	16.52
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	0.0
Precisione	2.0

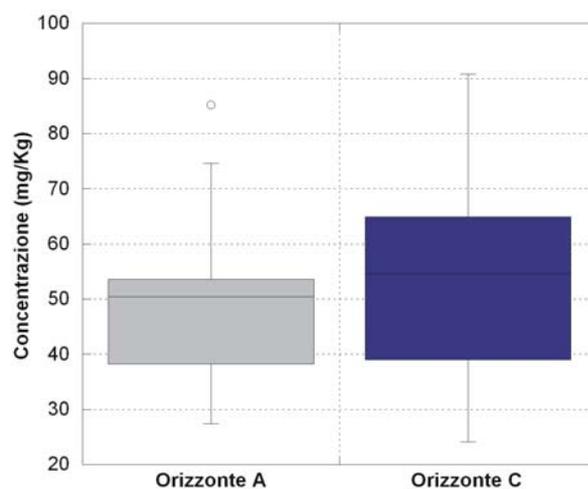
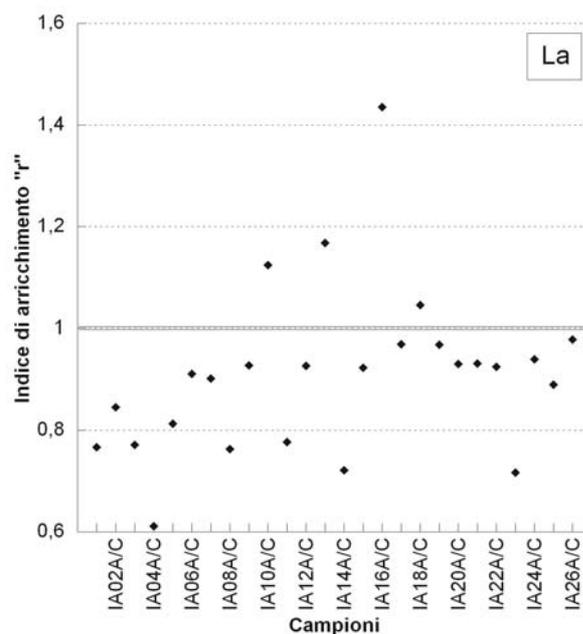
Figura 6.16a–Distribuzione statistica del La.

per il La; la maggior parte dell'isola è ricoperta da valori praticamente nulli (± 8 mg/Kg). Aree limitate, distribuite omogeneamente su tutta l'isola, presentano anomalie comprese tra 8 e 25 mg/Kg; superfici estremamente ridotte, ubicate a nord di Montevergine e a Lido dei Maronti, presentano valori medio alti appartenenti all'intervallo 25 – 41 mg/Kg.

6.16,2 - Distribuzione del La negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del La negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 24E) mostra un leggero, ma prevalente arricchimento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da prodotti di alterazione della roccia madre. Nonostante le concentrazioni di La nei suoli siano nettamente superiori nella metà occidentale dell'isola, i rapporti tra le concentrazioni nell'orizzonte A ed in quello C sono pressoché costanti su tutto il territorio, fatta eccezione di un punto a nord di Campagnano dove $r = 1.4$.

La mappa della distribuzione del La nell'orizzonte C (Tavola 24F) mostra, in linea generale, valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che nel caso del La corrispondono ai valori di fondo naturale (*background*). Il confronto tra la mappa dei valori *baseline* e le concentrazioni nell'orizzonte C dà la conferma del controllo di natura litologico (presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento) oltre che di un apporto di natura idrotermale



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	27.4	24.1
Massimo	85.2	90.8
Media aritmetica	48.5	54.9
Mediana	50.5	54.6
Media geometrica	46.7	52.0
Moda	51.6	
25° Percentile	38.3	40.6
75° Percentile	53.4	64.6
Deviazione standard	13.67	17.97
Limite di ril. Strum.	0.50	0.50
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.16b – Distribuzione statistica del La negli orizzonti A e C.

(a nord di Montevergine e nell'area tra Succivo e Lido dei Maronti) del La nei suoli dell'isola di Ischia.

6.17 - Magnesio (Mg)

E' un elemento maggiore litofilo, moderatamente mobile; si ritrova in associazione con Fe, Cr, Ni, Co e Ti nelle rocce ignee mafiche e ultramafiche. Non si ritrova allo stato nativo, si ossida all'aria e normalmente è ricoperto da uno strato di ossido che lo protegge.

Durante i processi magmatici il Mg si concentra nelle fasi di prima cristallizzazione in olivina e pirosseno. In condizioni di alta fugacità di O₂ e in presenza di H₂O viene ripartito anche tra anfibolo e mica. Le concentrazioni di MgO nelle rocce basiche (ca. 4.5 %) e ultrabasiche (ca. 6 %) sono di gran lunga superiori a quelle delle rocce ignee acide (< 1 %). Durante il metamorfismo il Mg può essere mobilizzato in maniera significativa solo quando litologie calcaree sono interessate da metamorfismo in facies di *greenschist* o da metamorfismo di contatto con formazione di dolomite, calcite magnesiacca, magnesite, periclasio e talco (Wedepohl, 1978).

Nelle rocce sedimentarie il Mg è contenuto in minerali come ankerite, dolomite, clorite e glauconite. È un comune costituente dei sedimenti arenacei, anche se la maggiore concentrazione di Mg si osserva nelle rocce argillose (Usdowski, 1970), particolarmente in quelle con alto contenuto di clorite o mica. Nei calcari il contenuto di MgO dipende dal grado di dolomitizzazione, la sostituzione del Ca da parte del Mg comunque è molto diffusa.

Carbonati come dolomite e calcite ospitano anch'esse Mg in determinate condizioni.

Nelle acque superficiali la solubilità del Mg²⁺ è alta, soprattutto in condizioni di pH neutro e alte concentrazioni di CO₂ disciolta; la sua dispersione è simile a quella del Ca²⁺, infatti è controllata sia da processi di scambio ionico, sulla superficie dei minerali argillosi, sia dalla incorporazione da parte di organismi viventi.

Riveste un ruolo molto importante nella dieta umana per il buon funzionamento di alcuni enzimi.

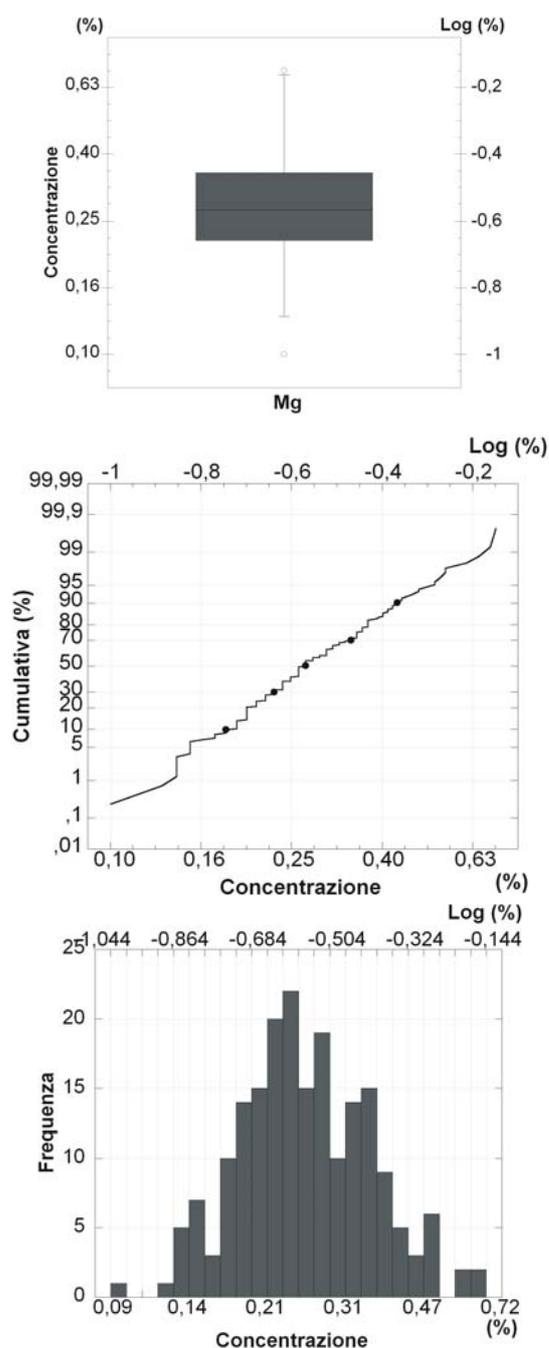
6.17,1 - Distribuzione geochimica del Mg nei suoli superficiali

La distribuzione puntuale dei dati del Mg (Tavola 25A) evidenzia una distribuzione delle concentrazioni molto simile a quella dell'Al e del Ga; in linea generale anche per il Mg si nota la presenza di concentrazioni generalmente più elevate in corrispondenza della metà occidentale dell'isola, dove affiorano il Tufo Verde del Monte Epomeo ed i prodotti del suo disfacimento, quali accumuli di frane da crollo e colate fangose. La concentrazione dei valori più alti (0.51 – 0.71 %) si riscontra perlopiù nei campioni prelevati nella parte nord-occidentale dell'isola, fatta eccezione di pochi singoli punti ubicati anche nel settore orientale (Ischia Ponte). Valori intermedi (0.29 – 0.51 %) sono generalmente distribuiti nella metà occidentale, fatta eccezione della fascia costiera meridionale in cui sono presenti prevalentemente campioni con concentrazioni appartenenti all'intervallo 0.10 – 0.29 %; a quest'ultimo appartengono

anche i valori della quasi totalità dei punti ubicati nel settore orientale dell'isola.

La mappa dei dati interpolati (Tavola 25B) meglio descrive la distribuzione delle concentrazioni di Mg su tutto il territorio dell'isola. In particolare presentano valori massimi di concentrazione (fra 0.45 e 0.69 %) i suoli di una vasta area situata nella parte nord-occidentale dell'isola che comprende parte di Forio, Montevergine, Monterone e Casamicciola; inoltre, ricadono in questo intervallo, anche le zone di Barano e di Ischia Ponte, oltre che una fascia sita ad ovest del Monte Trippodi ed un'area limitata ad ovest di Succivo. Aree caratterizzate da valori intermedi di concentrazione, compresi tra 0.29 e 0.45 %, si riscontrano a ridosso di tutte quelle che presentano valori massimi e comunque ricoprono perlopiù il settore nord-occidentale dell'isola. Il tratto costiero meridionale e la gran parte del settore orientale sono, invece, caratterizzati da concentrazioni di Mg appartenenti all'intervallo 0.10 – 0.29 %.

La distribuzione dei valori *baseline* del Mg (Tavola 25C) rispecchia la conformazione geolitologica del territorio dell'isola; è infatti prevalentemente in corrispondenza dell'area in cui affiorano gli accumuli di blocchi del Tufo Verde del Monte Epomeo che si osservano i valori più elevati (0.43 – 0.47 %). Valori compresi tra 0.30 e 0.43 % sono presenti perlopiù nel settore occidentale dell'isola, oltre che ad est di Casamicciola, a Barano e in aree molto ristrette distribuite nel settore orientale. Il bordo costiero meridionale e gran parte del



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.10
Massimo	0.71
Media aritmetica	0.29
Mediana	0.27
Media geometrica	0.28
Moda	0.26
25° Percentile	0.22
75° Percentile	0.35
Deviazione standard	0.11
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	9.38
Precisione	3.00

Figura 6.17a–Distribuzione statistica del Mg

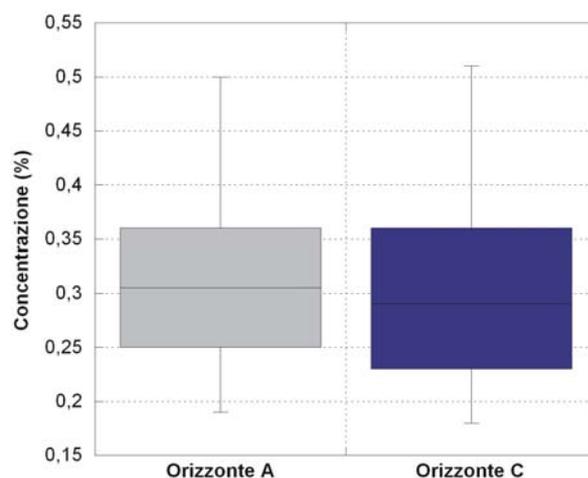
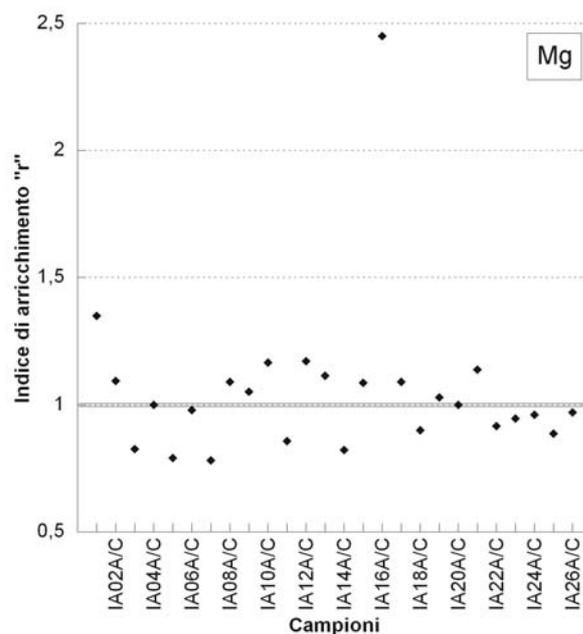
settore orientale sono caratterizzati da tenori di fondo naturale compresi tra 0.10 e 0.30 %.

Non ci sono da segnalare particolari valori anomali per ciò che concerne la distribuzione del Mg (Tavola 25D); la maggior parte del territorio è infatti caratterizzata da valori anomali di poca importanza compresi fra -0.19 e 0.17 %. Tenori leggermente superiori contraddistinguono ristrettissime aree ubicate in prossimità di Panza, di Barano, del Castello Aragonese e ad est di Casamicciola.

6.17,2 - Distribuzione del Mg negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Mg negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 25E) mostra una distribuzione uniforme di tale elemento alle diverse profondità lungo il profilo del suolo. Infatti, il valore di r è compreso tra 0.8 e 1.2 su tutta l'isola ad eccezione di un punto a nord di Campagnano dove $r = 2.6$. Nonostante le concentrazioni di Mg nei suoli siano nettamente superiori nella metà occidentale dell'isola, i rapporti tra le concentrazioni nell'orizzonte A ed in quello C sono pressoché costanti su tutto il territorio; questa distribuzione, come nel caso del K e dell'Al, è da imputare alla presenza del Mg nelle miche e nei feldspati; esso, nella fase di alterazione della roccia madre, viene poi facilmente adsorbito sulla superficie dei minerali argillosi.

Il confronto tra la mappa dei valori *baseline* e le concentrazioni nell'orizzonte C (Tavola



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.19	0.18
Massimo	0.50	0.51
Media aritmetica	0.31	0.31
Mediana	0.31	0.29
Media geometrica	0.30	0.29
Moda	0.29	0.23
25° Percentile	0.25	0.23
75° Percentile	0.36	0.36
Deviazione standard	0.08	0.09
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.17b – Distribuzione statistica del Mg negli orizzonti A e C.

25F) dà la conferma del controllo di natura litologico (Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento) sul Mg nei suoli dell'isola di Ischia.

6.18 - Manganese (Mn)

E' un elemento minore biofilo caratterizzato da una mobilità medio-bassa, fatta eccezione di ambienti riducenti e acidi di palude dove diventa molto mobile. E' un elemento molto studiato per gli effetti di coprecipitazione ed adsorbimento che esercita su molti elementi; si ritrova in associazione con Mg e Fe in numerosi silicati. In ambiente di alterazione meteorica, in rocce con depositi di tipo sovraesposto, dà luogo a concentrazioni residuali di ossidi di manganese.

Durante i processi magmatici (a bassa fugacità di O_2) il Mn è presente sotto forma di ione bivalente (Mn^{2+}) e facilmente si sostituisce a Fe^{2+} e Mg^{2+} (Ure & Berrow, 1982). Nelle rocce magmatiche il Mn è ripartito tra i silicati ferro-magnesiaci e ossidi di Fe-Ti per cui è arricchito nelle rocce basiche (ca. 1300 mg/Kg) e nelle rocce ultrabasiche (ca. 1000 mg/Kg) in confronto a quelle acide (ca. 350 mg/Kg). Il Mn può essere rimobilizzato da attività idrotermale o da fenomeni di metasomatismo regionale (Senior & Leake, 1978). Nelle rocce sedimentarie il suo contenuto è controllato sia dalla geochimica della sorgente che dalle condizioni di ossido-riduzione dell'ambiente deposizionale (Wedepohl, 1978). L'apporto di Mn è dovuto ai detriti di silicati mafici, a magnetite e ilmenite e in larga parte a ossidi secondari di Mn^{4+} che forma concrezioni o pellicole sia sui minerali primari che su frammenti litici. Le argilliti e le grovacche sono generalmente arricchite in Mn (ca. 700 mg/Kg) rispetto alle quarziti

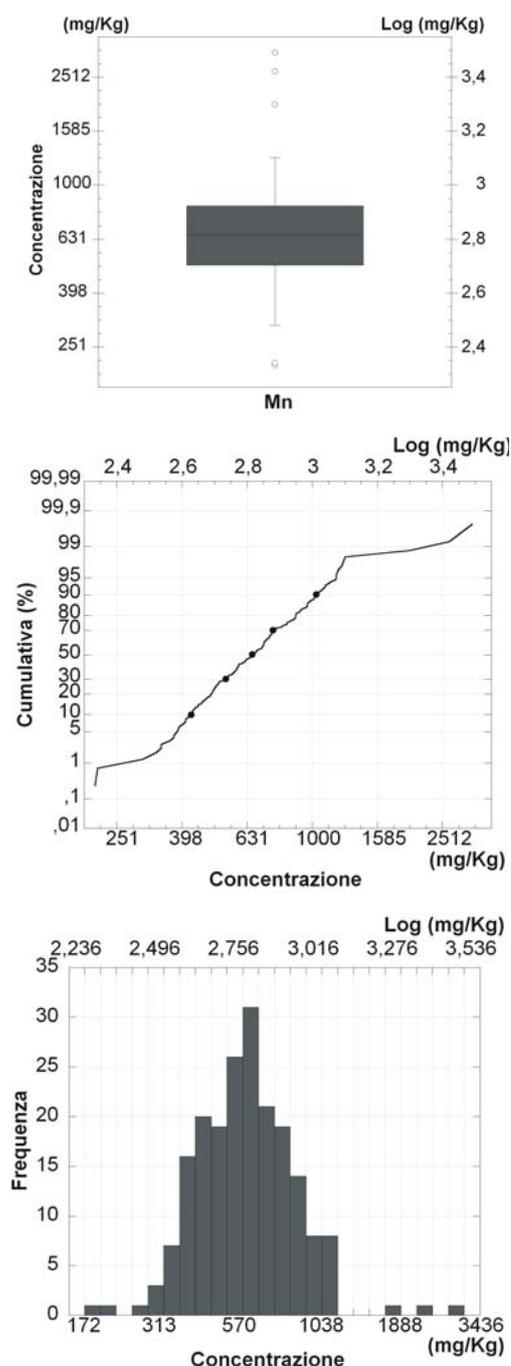
e alle arenarie (ca. 170 mg/Kg). Alcuni sedimenti a grana fine possono risultare ulteriormente arricchiti per la presenza di noduli ferro-manganesiferi di origine diagenetica o di concrezioni pisolitiche. Le rocce carbonatiche, in particolare le dolomiti, possono contenere alte concentrazioni di Mn (ca. 550 mg/Kg).

Nelle acque superficiali il Mn è presente in una varietà di fasi, come i silicati ferromagnesiaci, gli ossidi di Fe e Ti, la cui velocità di dissoluzione è relativamente lenta in ambiente ossidante o alcalino, ma è rapida in condizioni acide o riducenti. Il comportamento e la dispersione del Mn sono governati principalmente dalle condizioni di Eh. Il Mn^{4+} agisce come recettore di elettroni nel primo stadio della decomposizione anaerobica della materia organica. Come risultato si ha la rapida riduzione di Mn^{4+} a Mn^{2+} che è molto solubile in ambienti con Eh inferiore a ca. 0.8 V (con valori di pH di ca. 5.5). In ambiente ossidante la precipitazione di ossidi di Mn^{4+} avviene velocemente (in condizioni di potenziale redox simili a quelle del Fe^{3+}) e spazza via dalle soluzioni elementi come Ba, Co, Cu e Zn attraverso fenomeni di adsorbimento o coprecipitazione. Tali processi possono influenzare fortemente la distribuzione di Mn e Fe, determinando valori fortemente anomali.

6.18,1 - Distribuzione geochimica del Mn nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati puntuali del Mn (Tavola 26A) evidenzia una distribuzione

delle concentrazioni molto simile a quella dell'Al, del Ga e del Mg; esso presenta i valori più elevati (1850 - 3099 mg/Kg) in soli tre campioni ubicati nei pressi di fumarole e sorgenti termali dell'area di Ischia e di Bagni (Tavola 2). Concentrazioni comprese tra 1258 e 1850 mg/Kg vengono raggiunte in un solo punto ubicato ad est di Forio. Campioni contenenti Mn con valori analitici appartenenti all'intervallo 720 – 1258 mg/Kg ricadono principalmente nel settore occidentale dell'isola, in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento (colate di fango sul versante meridionale e accumuli di frane da crollo su quello settentrionale). Nel settore orientale, invece, corrispondente al graben di Ischia, le concentrazioni ricadono principalmente nell'intervallo 215 – 720 mg/Kg; anche i campioni prelevati nella zona di Panza - Succhivo presentano valori in tale intervallo. La distribuzione dei dati interpolati del Mn (Tavola 26B) evidenzia meglio la presenza delle aree ad alta concentrazione sopra menzionate; in particolare esse presentano valori interpolati compresi nell'intervallo 1216 - 3005 mg/Kg sono presenti a nord del Monte Epomeo, ad est di Bagni e a Ischia Ponte. Queste aree sono bordate da ristrette fasce di superficie con concentrazioni meno marcate comprese fra 990 e 1216 mg/Kg. La parte restante della metà occidentale dell'isola, fatta eccezione della zona ad ovest di Succhivo che presenta valori inferiori (358 – 700 mg/Kg), è caratterizzata da concentrazioni comprese tra 700 e 990 mg/Kg. Nel lato orientale



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	215
Massimo	3099
Media aritmetica	708.8
Mediana	655.0
Media geometrica	657.7
Moda	712
25° Percentile	506
75° Percentile	836
Deviazione standard	325.88
Limite di rilevabilità strumentale	2.0
Accuratezza	0.7
Precisione	3.0

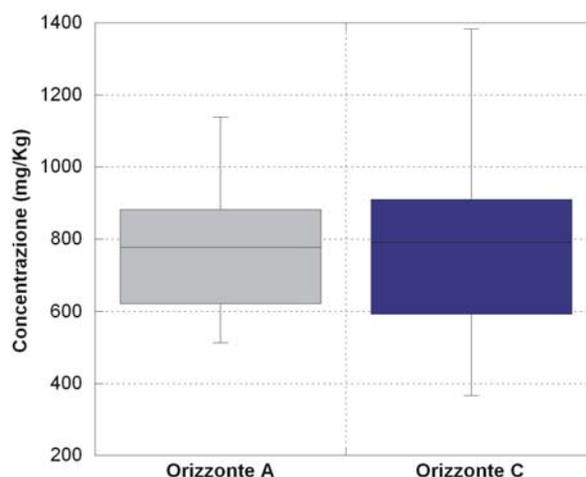
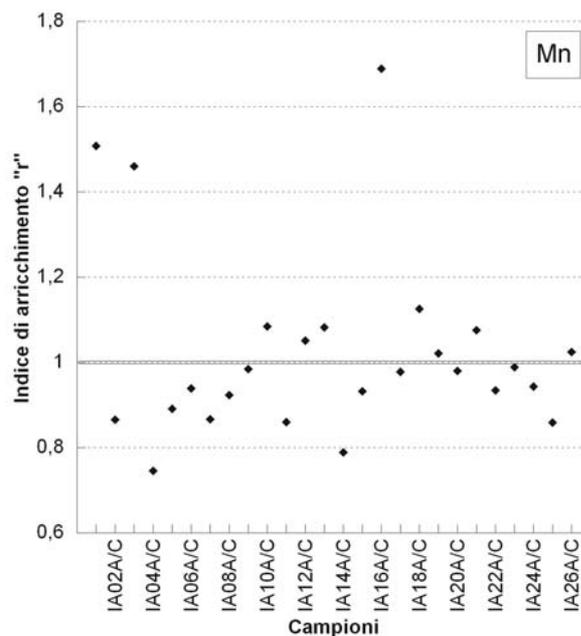
Figura 6.18a–Distribuzione statistica del Mn

dell'isola si riscontrano, invece, valori minimi appartenenti all'intervallo 218 – 700 mg/Kg. La carta della distribuzione dei tenori di fondo attuale (*baseline*) del Mn mostra i valori più elevati (fra 1154 e 1714 mg/Kg) in corrispondenza di un'area situata ad est di Monterone in cui si ritrovano numerose fumarole (Tavola 26C); ad est di Bagni è evidenziata una ristretta porzione di territorio in cui i valori *baseline* sono inclusi tra 1154 e 1450 mg/Kg. Valori compresi tra 6451 e 1154 mg/Kg ricoprono il settore occidentale dell'isola, fatta eccezione della zona ad ovest di Succhivo che presenta valori minimi; nella metà orientale dell'isola, invece, i valori sono inferiori, compresi tra 215 e 645 mg/Kg. I valori del tenore di fondo attuale del Mn nei suoli dell'Isola di Ischia coincidono con i valori di fondo naturale (*background*), non essendo presente per tale elemento nessuna fonte di natura antropica.

La carta delle anomalie del Mn (Tavola 26D) mette in evidenza che la maggior parte del territorio risulta caratterizzato da valori d'anomalia relativamente bassi (-240 – 650 mg/Kg), fatta eccezione di piccoli lembi di territorio ubicati ad est di Monterone, ad ovest di Ischia Porto e tra Ischia Porto e Ischia Ponte, in cui si riscontrano valori molto elevati compresi fra 982 e 1398 mg/Kg. Attorno a tali punti l'anomalia decresce gradatamente attraverso l'intervallo 150 – 982 mg/Kg.

6.18,2 - Distribuzione del Mn negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Mn negli orizzonti A e C



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	513	366
Massimo	1138	1383
Media aritmetica	766.4	780.1
Mediana	776.0	790.5
Media geometrica	748.7	745.3
Moda		
25° Percentile	627	594
75° Percentile	874	905
Deviazione standard	168.8	238.3
Limite di ril. Strum.	1.00	1.00
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.18b – Distribuzione statistica del Mn negli orizzonti A e C.

dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 26E) mostra, nella metà occidentale dell'isola,

arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da prodotti di alterazione della roccia madre; la concentrazione di Mn è infatti controllata, in quest'area, dalla presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e degli accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi dello stesso (Tavola 1). Nella metà occidentale dell'isola si riscontrano, invece, leggeri arricchimenti nell'orizzonte superficiale ($1.0 \leq r \leq 1.7$), con valore massimo di $r = 1.7$ in un punto ubicato a nord di Campagnano. Tale distribuzione, così come per il Fe, è imputabile a fenomeni di ossidazione superficiale secondaria.

La mappa della distribuzione del Mn negli orizzonti A e C (Tavola 26F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che corrispondono, nel caso del Mn, ai valori di fondo naturale (*background*). La distribuzione del Mn, come nel caso del K e dell'Al, è da imputare alla sua presenza nelle miche e nei feldspati; esso, nella fase di alterazione della roccia madre, viene poi facilmente adsorbito sulla superficie dei minerali argillosi.

6.19 - Molibdeno (Mo)

E' un elemento minore, dotato di elevata mobilità limitata da adsorbimento su limonite o da reazioni con Fe^{3+} per formare ferromolibdenite, o ancora da adsorbimento su minerali argillosi.

Il Mo è scarsamente incorporato nei silicati più diffusi; si rinviene principalmente in fasi accessorie come lo sfene, la titanomagnetite e in minerali del W. È un elemento fortemente calcofilo e frequentemente appare sotto forma di solfuro, la molibdenite (MoS_2), sia in pegmatiti che in sistemi mineralizzati a Cu e Mo di "tipo porfirico". È anche incorporato, particolarmente durante il metamorfismo, in solfuri molto diffusi come la pirite, la galena e la sfalerite (Ure & Berrow, 1982). L'abbondanza media del Mo nelle rocce acide è 1,5 mg/Kg (Vinogradov, 1962), nelle rocce basiche è di 1 mg/Kg (Krauskopf, 1967). Il Mo si accumula comunemente sotto forma di mineralizzazioni durante il metamorfismo (Wedepohl, 1978). In ambiente idrotermale la molibdenite si ritrova sottoforma di piccole vene, associata ad intrusioni ignee. Nei sedimenti il Mo tende a seguire il Cu e, come quest'ultimo, è fortemente complessato dal materiale organico. Le argilliti nere infatti ne risultano arricchite (più di 70 mg/Kg) rispetto a rocce quarzoso-felspatiche e a rocce carbonatiche con valori compresi tra 0.5 e 2 mg/Kg (Ure & Berrow, 1982).

La molibdenite è rapidamente lisciviata nell'acqua e in condizioni di alto Eh e pH il Mo forma complessi molibdenati solubili

che, in ambiente acido, cooprecipitano con ossidi idrati secondari di Fe, Al e Mn. Può anche venire immobilizzato in solfuri di Fe in condizioni non ossidanti ed è fortemente complessato dal materiale organico. Contrariamente a molti altri elementi il Mo è più mobile in condizioni alcaline e ossidanti che non in condizioni acide e riducenti. Il Mo è un elemento vitale per molte piante, ma alti livelli possono indurre deficienze di Cu negli animali, di conseguenza le concentrazioni di Mo e la sua attività nell'ambiente rivestono un ruolo considerevole.

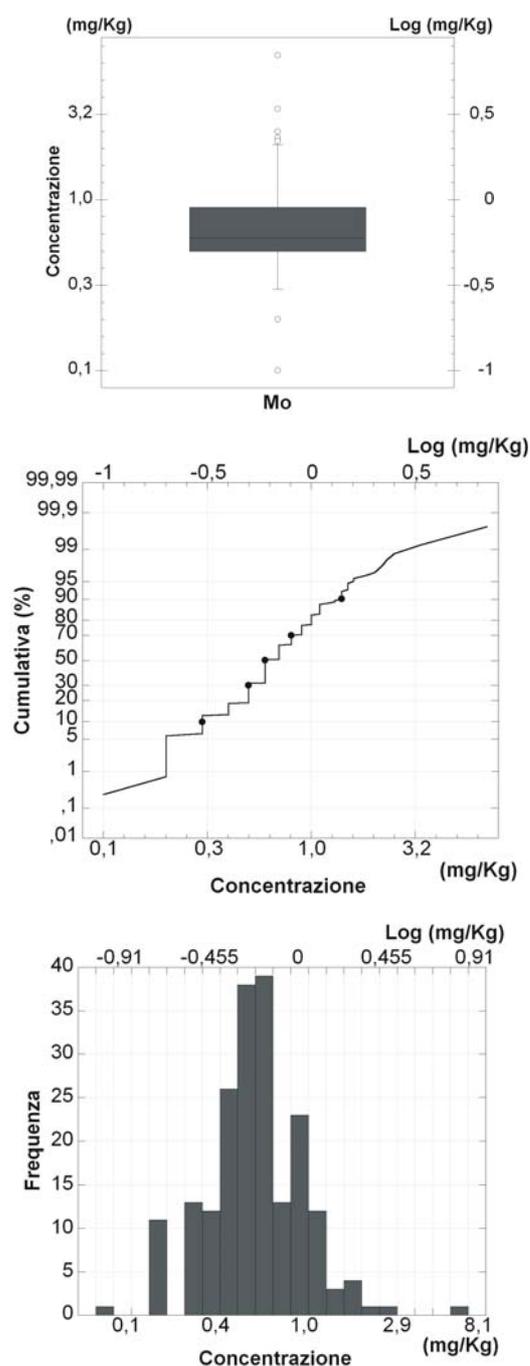
6.19,1 - Distribuzione geochemica del Mo nei suoli superficiali

I campioni puntuali (Tavola 27A) con concentrazioni più elevate di Mo (fra 2.7 e 7.0 mg/Kg) si individuano in due soli punti, l'uno in corrispondenza di Lido dei Maronti, e l'altro a nord di Montevergine; valori appartenenti all'intervallo di concentrazione 2.0 – 2.7 mg/Kg si riscontrano in campioni ubicati presso Casamicciola, Ischia Porto, Campagnano. Dalla Carta Strutturale (Tavola 2) si nota che tutti questi punti sono situati in corrispondenza di sorgenti termali; l'abbondanza relativa del Mo nei suoli residuali dell'isola potrebbe essere legata perciò alla risalita di fluidi profondi. La restante parte dei campioni è caratterizzata da valori di concentrazione compresi tra 0.1 e 2.0 mg/Kg.

La carta dei dati interpolati del Mo (Tavola 27B) mostra che le concentrazioni più elevate (3.8 – 6.8 mg/Kg) ricoprono un'area molto ristretta ubicata in prossimità di Lido

dei Maronti; attorno ad essa gradatamente le concentrazioni decrescono fino a 1.1 mg/Kg. Valori intermedi, compresi fra 1.1 e 3.8 mg/Kg ricoprono inoltre una parte della fascia costiera settentrionale ricca di fumarole e sorgenti termali (nord di Montevergine, Casamicciola, Ischia Porto), una zona ristretta a sud di Campagnano, ed, infine, piccoli lembi di territorio allineati in direzione N-S da Barano a Monte Rotaro; dalla Carta Strutturale (Tavola 2) si nota che tale allineamento è ubicato in corrispondenza di una serie di faglie principali che delimitano il fianco occidentale dell'horst del Monte Epomeo, a confine con il graben di Ischia. Il resto dell'isola è ricoperto da valori appartenenti all'intervallo di concentrazione 0.1 – 1.1 mg/Kg; tenori minimi (0.1 – 0.3 mg/Kg) caratterizzano l'area topograficamente più elevata dell'isola, dove affiora il Tufo Verde del Monte Epomeo e nella quale c'è la totale assenza di fenomeni idrotermali.

I valori *baseline* di Mo (Tavola 27C) più elevati, compresi tra 1.4 e 2.3 mg/Kg, caratterizzano la punta nord-occidentale dell'isola e l'area a nord di Lido dei Maronti. Valori intermedi (0.8 – 1.4 mg/Kg) ricoprono la fascia costiera settentrionale, una parte di territorio a sud del Monte Trippodi, un'area a sud di Campagnano e alcuni lembi appartenenti al settore sud-orientale dell'isola. La superficie restante è caratterizzata da tenori di fondo attuale compresi tra 0.1 e 0.8 mg/Kg; i valori minimi vengono raggiunti in corrispondenza dell'area compresa tra il Monte Epomeo, Monterone e Ciglio. Non essendo evidenti



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.1
Massimo	7.0
Media aritmetica	0.8
Mediana	0.6
Media geometrica	0.7
Moda	0.6
25° Percentile	0.5
75° Percentile	0.9
Deviazione standard	0.63
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	2.6
Precisione	8.0

Figura 6.19a–Distribuzione statistica del Mo

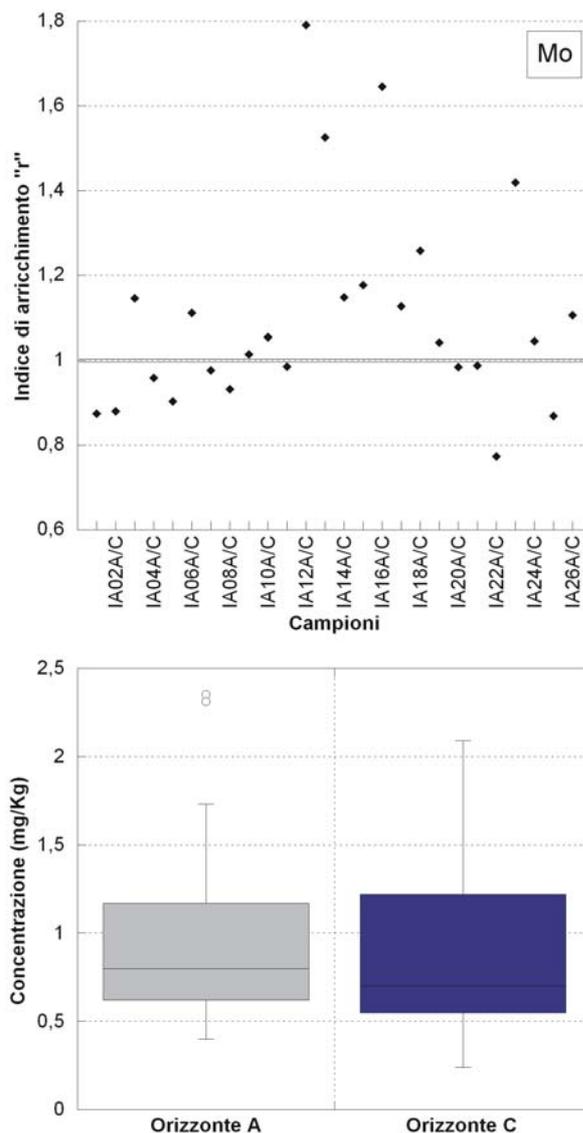
fonti di contaminazione antropiche di Mo, si può affermare che i valori del tenore di fondo attuale coincidono con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).

Le anomalie di Mo (Tavola 27D) sono pressoché nulle su tutto il territorio; esse infatti sono comprese fra -1.2 e 1.2 mg/Kg su tutta l'isola; fanno eccezione una ristretta area ubicata a nord di Lido dei Maronti, in cui vengono raggiunti valori compresi tra 1.2 e 4.9 mg/Kg, ed un altro ridottissimo lembo di territorio situato a nord di Montevertine, con valori appartenenti all'intervallo 1.2 - 2.4 mg/Kg.

6.19,2 - Distribuzione del Mo negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Mo negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 27E) mostra un arricchimento, non molto marcato ma prevalente nell'orizzonte superficiale. In pochi punti il Mo è leggermente arricchito nell'orizzonte C ($0.8 \leq r \leq 0.9$). Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola; il Mo, infatti, presenta affinità con l'attività idrotermale (Boyle & Johansson, 1973).

La mappa della distribuzione del Mo negli orizzonti A e C (Tavola 27F), mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) calcolati con l'ausilio del GeoDAS; questi ultimi corrispondono, nel caso del Mo, ai valori di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.40	0.24
Massimo	2.35	2.09
Media aritmetica	0.96	0.91
Mediana	0.80	0.70
Media geometrica	0.85	0.79
Moda	0.43	0.48
25° Percentile	0.63	0.55
75° Percentile	1.11	1.21
Deviazione standard	0.53	0.51
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.04	0.04

Figura 6.19b – Distribuzione statistica del Mo negli orizzonti A e C.

6.20 - Sodio (Na)

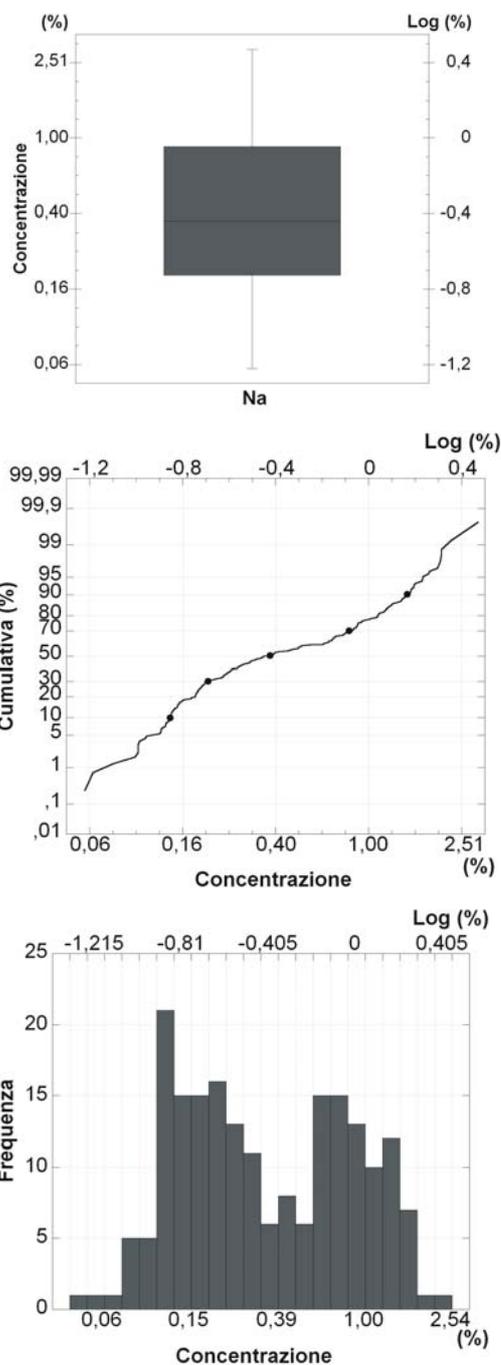
E' un elemento litofilo, appartenente al gruppo dei metalli alcalini. Si ritrova in minerali quali plagiocasi, feldspati, feldspatoidi, salgemma, sodalite, tormalina ecc.; è dotato di una mobilità moderatamente alta e si trova associato con altri elementi litofili come il K, il Rb e il Cs. Nelle acque si trova come ione facente parte del NaCl, in natura si ritrova sottoforma di solfati, carbonati e cloruri. Unitamente al K è molto diffuso in acque termominerali ed in quelle aventi lunghi tempi di residenza nell'acquifero.

Il Na è uno dei macronutrienti più importanti dal punto di vista biologico, infatti una prolungata carenza di Na provoca problemi di salute e, perciò, deve essere integrato nella dieta alimentare.

6.20,1 - Distribuzione geochemica del Na nei suoli superficiali

La distribuzione geochemica dei dati analitici relativi alle concentrazioni di Na nei suoli dell'Isola di Ischia è molto simile a quella di K e Al (Tavola 28A). I valori più elevati (1.72 – 2.95 %) si riscontrano in corrispondenza della porzione centro-occidentale dell'isola; nella parte restante di questo settore i campioni presentano concentrazioni intermedie appartenenti all'intervallo 0.62 – 1.72 %. I valori più bassi ricoprono la metà orientale dell'isola (0.06 – 0.62 %).

I dati interpolati del Na (Tavola 28B) meglio evidenziano lo spiccato controllo litologico esercitato sulle concentrazioni di questo elemento dal Tufo Verde del Monte Epomeo. Risultano caratterizzati da valori



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.06
Massimo	2.95
Media aritmetica	0.62
Mediana	0.37
Media geometrica	0.42
Moda	0.10
25° Percentile	0.19
75° Percentile	0.90
Deviazione standard	0.55
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	0.00
Precisione	3.00

Figura 6.20a-Distribuzione statistica del Na.

massimi (fra 1.40 e 2.89 %) alcuni lembi di territorio della parte occidentale dell'isola, in particolare l'area del Monte Epomeo, quelle di Lacco Ameno, Monterone e Forio, quella di San Francesco, Lido dei Maronti ed infine la zona a sud di Campagnano. Valori medi e medio-alti (0.65 – 1.40 %) ricoprono tutta la restante parte del settore occidentale dell'isola, in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento quali accumuli di frane da crollo e di colate fangose (Tavola 1). I valori minimi di concentrazione (0.06 – 0.65%) ricoprono quasi totalmente il settore orientale dell'isola, oltre che l'area ad ovest di Succhivo e la porzione di costa settentrionale dell'isola.

I tenori di fondo attuale (*baseline*) (Tavola 28C) sono particolarmente alti (fra 1.40 e 1.61 %) in corrispondenza dell'area ad est del Monte Epomeo, di quella a nord di Lido dei Maronti e di quella a nord di Forio. Valori intermedi (0.75 – 1.40) ricoprono tutta la parte restante del settore occidentale dell'isola, decrescendo fino a tenori compresi tra 0.30 e 0.65 %; i valori di fondo più bassi caratterizzano gran parte della metà orientale dell'isola (0.06 – 0.30 %).

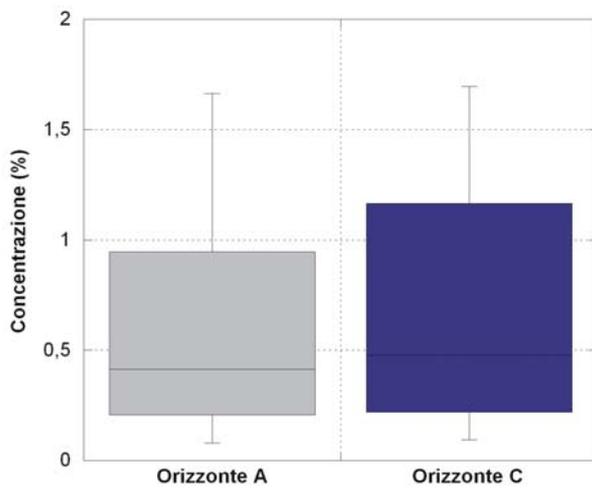
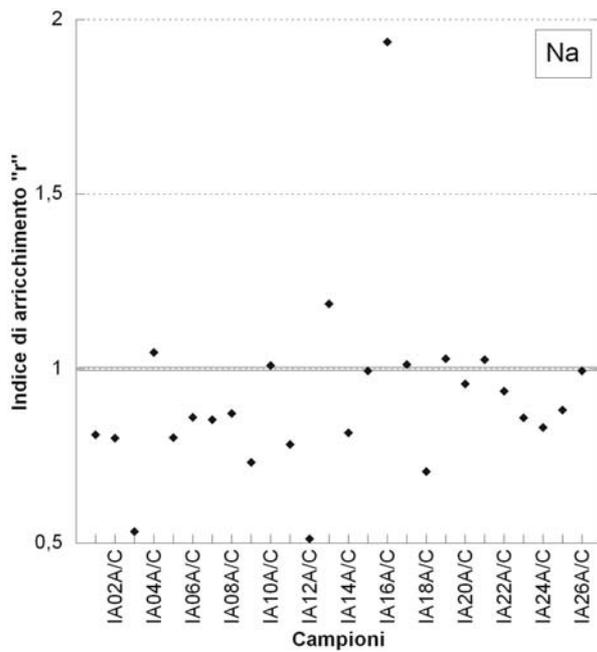
Per ciò che concerne le anomalie (Tavola 28D) non si registrano, per il Na, situazioni di particolare interesse. La quasi totalità del territorio presenta valori anomali irrilevanti, compresi fra -0.39 e 0.22 %. Si riscontrano concentrazioni relativamente marcate (0.22 – 1.45 %) solo in corrispondenza di alcune zone poco estese ubicate in corrispondenza delle aree a nord e ad est

del Monte Epomeo, a sud di Forio, a sud di Campagnano e a nord di Lido dei Maronti, tutte zone ubicate in corrispondenza di sorgenti di acque termali e/o di attività fumarolica.

6.20,2 - Distribuzione del Na negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Na negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 28E) mostra, nella metà occidentale dell'isola, arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da prodotti di alterazione della roccia madre; la concentrazione di Na è infatti controllata, in quest'area, dalla presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e degli accumuli di frane da crollo e di scoscendimento a blocchi dello stesso (Tavola 1). Nella metà occidentale dell'isola si riscontrano, invece, leggeri e poco diffusi arricchimenti nell'orizzonte superficiale, con valori r compresi tra 1.0 e 1.2, fatta eccezione di un punto, ubicato a nord di Campagnano, in cui $r = 1.9$.

La mappa della distribuzione del Na nell'orizzonte C (Tavola 28F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che corrispondono, nel caso del Na, ai valori di fondo naturale (*background*). La distribuzione del Na, come nel caso dell'Al, del K e del Mg, è da imputare alla sua presenza nelle miche e nei feldspati; è quindi netto il controllo geolitologico sulle concentrazioni di Na nei suoli dell'isola.



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.08	0.10
Massimo	1.66	1.70
Media aritmetica	0.59	0.69
Mediana	0.41	0.48
Media geometrica	0.43	0.49
Moda		
25° Percentile	0.23	0.23
75° Percentile	0.93	1.13
Deviazione standard	0.44	0.53
Limite di ril. Strum.	0.00	0.00
Accuratezza		
Precisione	0.04	0.04

Figura 6.20b - Distribuzione statistica del Na negli orizzonti A e C.

6.21 - Nichel (Ni)

E' un elemento minore siderofilo, relativamente immobile, specialmente in ambienti con pH > 6.5 per coprecipitazione con la limonite. In ambiente idrotermale esso si ritrova associato a depositi filoniani di Co, Ag, Cu.

L'abbondanza di Ni nelle rocce ignee è generalmente correlata con Mg, Cr e Co. Il nichel ha anche proprietà calcofile; si trova infatti in apprezzabili quantità nei solfuri, in associazione con Co, Cu, Pt (Wedepohl, 1978). Nelle rocce sedimentarie è contenuto soprattutto nei silicati ferro-magnesiaci, in ossidi primari di Fe, in ossidi idrati di Fe e Mn e nei minerali delle argille. È maggiormente concentrato nelle argilliti rispetto alle grovacche e ai calcari. La sua mobilità è generalmente ristretta per la tendenza ad essere adsorbito dai minerali argillosi o da ossidi idrati di Fe e Mn (Ure & Berrow, 1982).

Il Ni viene utilizzato dall'uomo nelle industrie chimiche, alimentari (produzione di grassi e olio), metallurgiche, petrolchimiche, nella produzione di plastiche, gomme sintetiche, batterie elettriche, monete e pigmenti. Esso è ubiquitario nell'ambiente; può derivare dall'erosione delle rocce, dalle emissioni vulcaniche, dal fumo di sigaretta, dall'alimentazione, dal contatto con materiali a composizione prevalentemente nicheliferi (come le monete).

Il Ni viene assorbito principalmente attraverso l'apparato respiratorio sotto forma di Ni solubile (Ni^{2+}): la deposizione delle particelle nei polmoni dipende dal loro diametro, forma e densità.

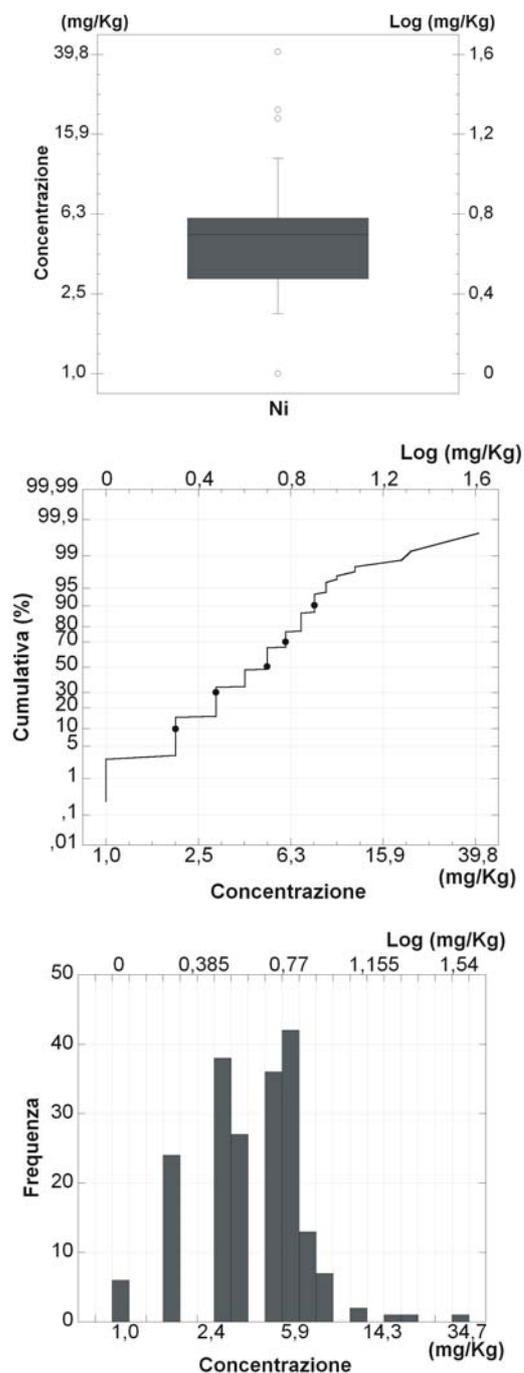
Nel tratto gastrointestinale viene assorbito solo in parte (1 – 10 % della quantità ingerita). Il Ni non viene metabolizzato e nel sangue si lega a proteine, si accumula soprattutto a livello polmonare e renale. La via di escrezione principale è quella urinaria. La tossicità del Ni varia a seconda della sua forma chimica: i sali di Ni causano dermatiti; il Ni carbonile causa cancro delle fosse nasali e del polmone.

6.21,1 - Distribuzione geochimica del Ni nei suoli superficiali

La distribuzione delle concentrazioni analitiche del Ni è molto simile a quella del Co. La carta dei valori puntuali del Ni (Tavola 29A) evidenzia la presenza di tre campioni di suolo con valori relativamente alti di concentrazione (16.0 e 41.0 mg/Kg), l'uno ubicato a sud di Campagnano, gli altri due tra Casamicciola e Bagni. Punti rappresentati da valori intermedi, compresi tra 5.0 e 12.0 mg/Kg, sono ubicati principalmente nel settore orientale dell'isola, precisamente nell'area del graben di Ischia; infine, si nota che nel settore centro-occidentale dell'isola la gran parte dei suoli è caratterizzata da valori di Ni appartenenti all'intervallo 1.0 – 5.0 mg/Kg. La carta dei dati interpolati (Tavola 29B) meglio definisce la distribuzione spaziale delle concentrazioni. I valori più alti (27.3 – 41.0 mg/Kg) si individuano in corrispondenza di un'area molto ristretta ubicata a sud di Campagnano; nell'area attorno a quella di massimo, oltre che in due zone ubicate tra Bagni e Casamicciola, i valori sono compresi tra 12.2 e 27.3 mg/Kg.

Tutti questi lembi di territorio si trovano in corrispondenza di sorgenti termali; l'arricchimento relativo di Ni nei suoli residuali dell'isola potrebbe essere quindi imputato alla presenza di acque ricche in tale elemento. Valori intermedi, compresi tra 6.2 e 12.2 mg/Kg, si riscontrano nel settore orientale dell'isola, in porzioni di territorio ubicate lungo la fascia costiera settentrionale, nell'area di Lacco Ameno e ad est di Forio. E' da notare l'allineamento in direzione NW-SE, in corrispondenza dell'angolo NW dell'isola, di lembi di territorio caratterizzati da valori medi (6.2 – 12.2 mg/Kg) e l'allineamento NS, Casamicciola-Bagni, di aree con valori medio alti (6.2 – 27.3 mg/Kg). Queste sono direzioni a cui corrispondono (Tavola 2) faglie principali, probabili vie preferenziali di risalita di fluidi profondi. Il resto del territorio presenta valori minimi, compresi tra 1.0 – 4.6 mg/Kg, concentrati esclusivamente nella metà occidentale dell'isola; la parte restante del settore orientale è caratterizzata, invece, da valori compresi tra 4.6 e 6.2 mg/Kg.

La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) individua due zone, caratterizzate da valori compresi tra 8.5 e 13.6 mg/Kg (Tavola 29C), che ricoprono l'area a sud di Campagnano e quella tra Casamicciola e Bagni, in direzione NS. Attorno ad esse si nota una fascia con tenore intermedio (6.2 – 8.5 mg/Kg); valori compresi tra 3.5 e 6.2 mg/Kg ricoprono tutto il settore orientale dell'isola, la fascia costiera settentrionale e l'area di Forio. Parte della metà occidentale dell'isola e la fascia costiera meridionale sono caratterizzati da valori minimi del



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	1.0
Massimo	41
Media aritmetica	5.1
Mediana	5.0
Media geometrica	4.3
Moda	3.0
25° Percentile	3.0
75° Percentile	6.0
Deviazione standard	3.69
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	0.4
Precisione	4.0

Figura 6.21a– Distribuzione statistica del Ni.

tenore di fondo attuale (1.0 – 3.5 mg/Kg).

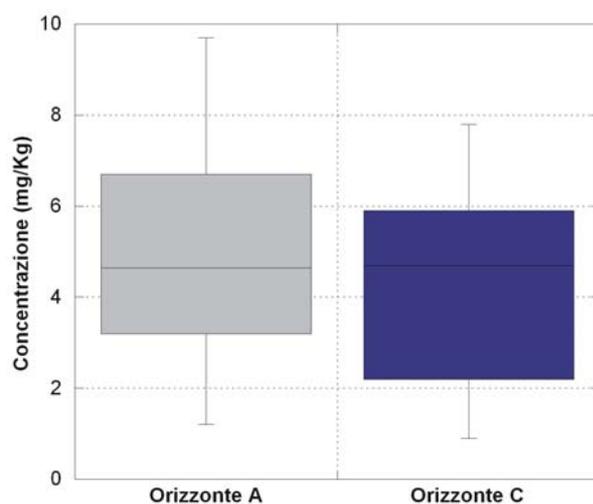
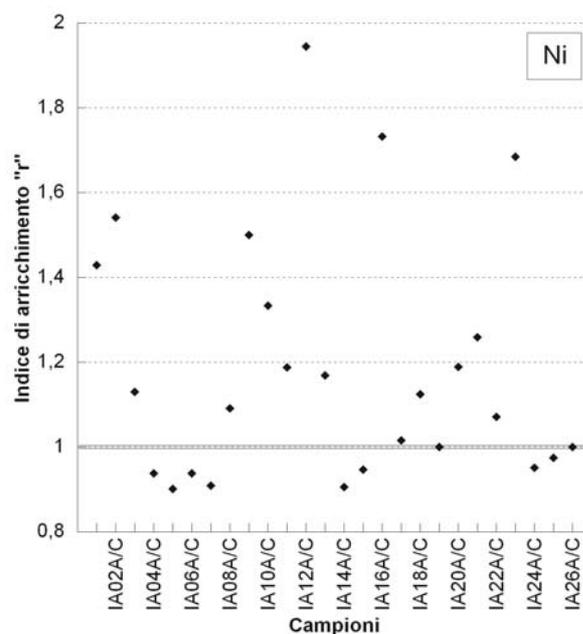
I valori di anomalia (Tavola 29D) sono pressoché nulli in tutto il territorio (-2.1 – 5.3 mg/Kg), ad eccezione di ristrette aree in prossimità di Bagni e Casamicciola (5.3 – 12.7 mg/Kg) e di una a sud di Campagnano (5.3 – 27.5 mg/Kg).

Le soglie di intervento per il Ni, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 120 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 500 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio; dall'osservazione della Tavola 29E si nota che in nessun campione di suolo i valori analitici sono tali da superare dette soglie.

6.21,2 - Distribuzione del Ni negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Ni negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 29F) mostra un prevalente arricchimento di tale elemento nell'orizzonte superficiale; leggeri e poco diffusi arricchimenti nell'orizzonte C, con valori di r pari a 0.9, si riscontrano in pochi punti dell'isola. Tale distribuzione è legata alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola e all'affinità del Ni con l'attività idrotermale. Essendo, quello idrotermale, un fenomeno di arricchimento di tipo secondario, la concentrazione del Ni nei suoli non risulta essere arricchito unicamente nell'orizzonte C, pur essendo la fonte di tale elemento di natura geogenica.

La mappa della distribuzione del Ni nell'orizzonte A e C (Tavola 29G) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) calcolato con l'ausilio del GeoDAS, che corrispondono, inoltre, nel caso del Ni, ai valori di *background*.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.20	0.90
Massimo	9.70	7.80
Media aritmetica	4.71	4.17
Mediana	4.65	4.70
Media geometrica	4.12	3.56
Moda	4.50	4.80
25° Percentile	3.25	2.25
75° Percentile	6.63	5.88
Deviazione standard	2.22	2.04
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.05	0.05

Figura 6.21b – Distribuzione statistica del Ni negli orizzonti A e C.

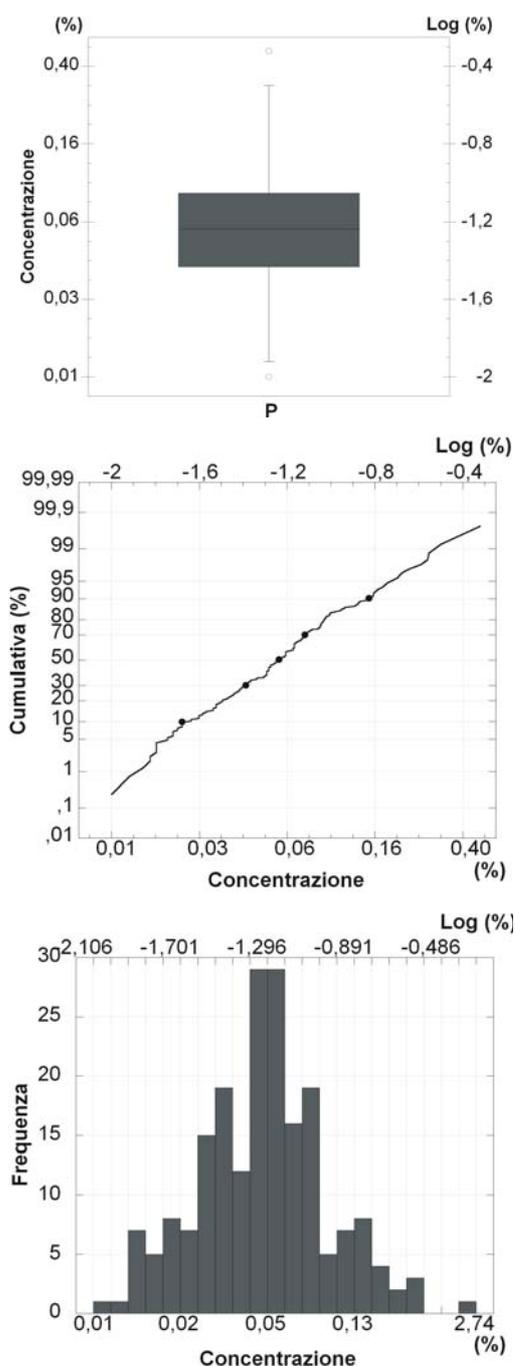
6.22 - Fosforo (P)

Il P è un elemento litofilo, con una mobilità medio-bassa limitata dalla solubilità dei fosfati di Ca. La fosforite e l'apatite sono i suoi minerali principali; lo si ritrova associato con Terre Rare e Nb nelle rocce alcaline e con l'U nelle fosforiti sedimentarie. È utilizzato nella manifattura di fiammiferi, fuochi pirotecnici, proiettili traccianti, nella produzione di porcellane, come pesticida e fertilizzante. Si ritrova inoltre in aree dove sono presenti scarichi urbani e dove vengono utilizzati i fertilizzanti complessi in cui il P è associato per lo più al K.

È un macronutriente essenziale per la vita e si trova nei tessuti nervosi, nelle ossa, nei denti, nelle cellule ed è un componente chiave del DNA e del RNA. In quantità elevate è molto tossico.

6.22,1 - Distribuzione geochemica del P nei suoli superficiali

I valori puntuali del P più elevati (Tavola 30A), compresi fra 0.25 e 0.48 %, si riscontrano solo in pochi campioni situati tra Ischia Porto ed Ischia Ponte e, lungo la costa occidentale, a Forio e San Francesco. Valori intermedi, appartenenti all'intervallo 0.19 – 1.25 %, si ritrovano in cinque campioni tra Ischia Porto, Ischia Ponte, Ciglio e Piedimonte. Su tutto il resto dell'isola sono presenti valori di concentrazione compresi tra un minimo di 0.01 e 0.19 %. I dati interpolati del P (Tavola 30B) evidenziano una concentrazione dei valori più alti (0.18 – 0.47 %) in aree ristrette in corrispondenza di



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.01
Massimo	0.48
Media aritmetica	0.07
Mediana	0.06
Media geometrica	0.06
Moda	0.07
25° Percentile	0.04
75° Percentile	0.09
Deviazione standard	0.06
Limite di rilevabilità strumentale	0.001
Accuratezza	0.00
Precisione	3.00

Figura 6.22a – Distribuzione statistica del P.

San Francesco, Forio, Ciglio, Piedimonte, Campagnano, Ischia Ponte ed Ischia Porto. Attorno a queste aree si nota il passaggio graduale a valori intermedi a partire da 0.18 ad arrivare a 0.06 %. Il resto del territorio in esame presenta valori bassi appartenenti all'intervallo 0.01 – 0.06 %.

La distribuzione dei valori del tenore di fondo attuale (*baseline*) (Tavola 30C) ricalca la situazione già riscontrata nella tavole precedenti. I più alti valori (fra 0.15 e 0.21 %) si trovano nell'area tra Campagnano e Ischia Ponte, a Ciglio e a Forio. Il territorio circostante queste aree ristrette presenta valori intermedi nell'intervallo tra 0.08 – 0.15 %. La parte restante dell'isola è caratterizzata da valori di fondo che vanno da un minimo di 0.01 a 0.08 %. I tenori più elevati, compresi tra 0.15 e 0.21 mg/Kg, potrebbero essere legati a cause di natura antropica, quali l'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti in agricoltura. Per quanto riguarda le altre aree è da notare la presenza di sorgenti termali e attività fumarolica; le concentrazioni inferiori a 0.15 mg/Kg, possono essere ascritte quindi al concetto di tenore di fondo naturale (*background*).

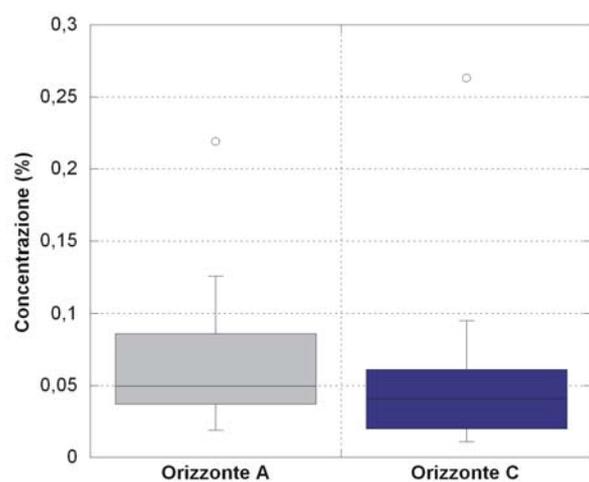
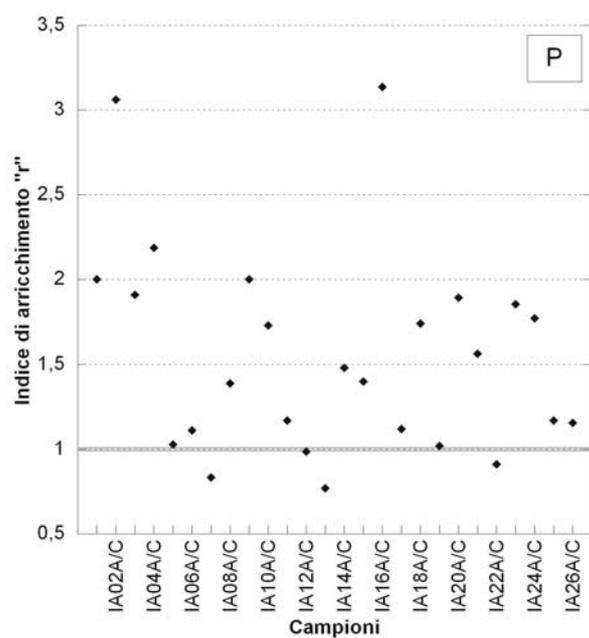
Le anomalie riscontrate per il P (Tavola 30D) non sono di grande entità. Fatta eccezione della zona a nord di Campagnano (alti valori compresi fra 0.20 e 0.31 %) e di altri piccoli lembi di territorio che presentano valori compresi fra 0,09 e 0.20 % (Ischia Porto, San Francesco, Forio, Ciglio), la maggior parte della superficie dell'isola è caratterizzata da valori

d'anomalia pressoché nulli appartenenti all'intervallo -0.10 – 0.09 %.

6.22,2 - Distribuzione del P negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del P negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 30E) mostra un prevalente arricchimento di tale elemento nell'orizzonte superficiale; leggeri e poco diffusi arricchimenti nell'orizzonte C, con valori di *r* compresi tra 0.8 e 1.0, si riscontrano in pochi punti dell'isola. Tale distribuzione è legata principalmente alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali. Essendo, quello idrotermale, un fenomeno di arricchimento geogenico di tipo secondario, la concentrazione del P nei suoli risulta essere arricchita nell'orizzonte superficiale. E' però probabile, lì dove i valori *baseline* sono compresi tra 0.15 e 0.21 %, che la natura del P nel suolo sia di tipo antropogenica (utilizzo di fertilizzanti e antiparassitari).

La mappa della distribuzione del P nell'orizzonte A e C (Tavola 30F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) calcolato con l'ausilio del GeoDAS; essi corrispondono ai valori di fondo naturale (*background*) nell'intervallo 0.01 – 0.15 %.



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.02	0.01
Massimo	0.22	0.26
Media aritmetica	0.07	0.05
Mediana	0.05	0.04
Media geometrica	0.05	0.04
Moda	0.05	0.02
25° Percentile	0.04	0.02
75° Percentile	0.08	0.06
Deviazione standard	0.04	0.05
Limite di ril. Strum.	0.001	0.001
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.22b – Distribuzione statistica del P negli orizzonti A e C.

6.23 - Piombo (Pb)

E' un elemento fortemente calcofilo, con mobilità relativamente bassa limitata dalla tendenza all'adsorbimento su ossidi di Fe e Mn e materia organica, ma favorita dalla formazione di complessi organici ed anionici. Si trova in associazione con Ag in depositi di metalli preziosi, con Fe, Zn, Cu e Sb in depositi a solfuri e con F nei silicati.

Il Pb è più arricchito nelle rocce ignee acide che in quelle basiche. È mobile negli ultimi stadi dei processi magmatici (MacDonald et al., 1973). È molto diffuso sotto forma di solfuro (es. galena) in filoni idrotermali. Nelle rocce sedimentarie la sua distribuzione è controllata dalla presenza di minerali detritici primari, di minerali argillosi e di materia organica (Heinrichs, 1974). I calcari puri e le arenarie quarzose ne contengono tipicamente meno delle argilliti e delle grovacche. Le rocce sedimentarie con le più alte concentrazioni di Pb sono le argilliti nere.

Il Pb è un metallo ubiquitario largamente presente nell'ambiente a causa del suo vasto impiego industriale (produzione di batterie, coloranti, vernici, leghe metalliche); esso è stato utilizzato, fino a pochi anni fa, come additivo nelle benzine il cui processo di combustione ha provocato l'immissione nell'ambiente di enormi quantità di questo elemento.

Le principali vie di assorbimento del Pb nell'uomo sono il tratto gastrointestinale e il sistema respiratorio (l'assorbimento varia con l'età: gli adulti assorbono circa il 10 % del Pb ingerito, i bambini fino al 40 %). Una volta assorbito, il Pb si lega all'emoglobina e

la sua eliminazione è molto limitata (Goyer, 1993). La semivita del Pb nel sangue è di 1-2 mesi per cui successive esposizioni a tale metallo possono provocare l'accumulo di quantità tossiche tali da provocare avvelenamento acuto e/o cronico. L'avvelenamento da Pb causa una serie di sintomi a carico dei sistemi gastrointestinale, neuromuscolare e nervoso che sono definiti nell'insieme saturnismo.

6.23,1 - Distribuzione geochimica del Pb nei suoli superficiali

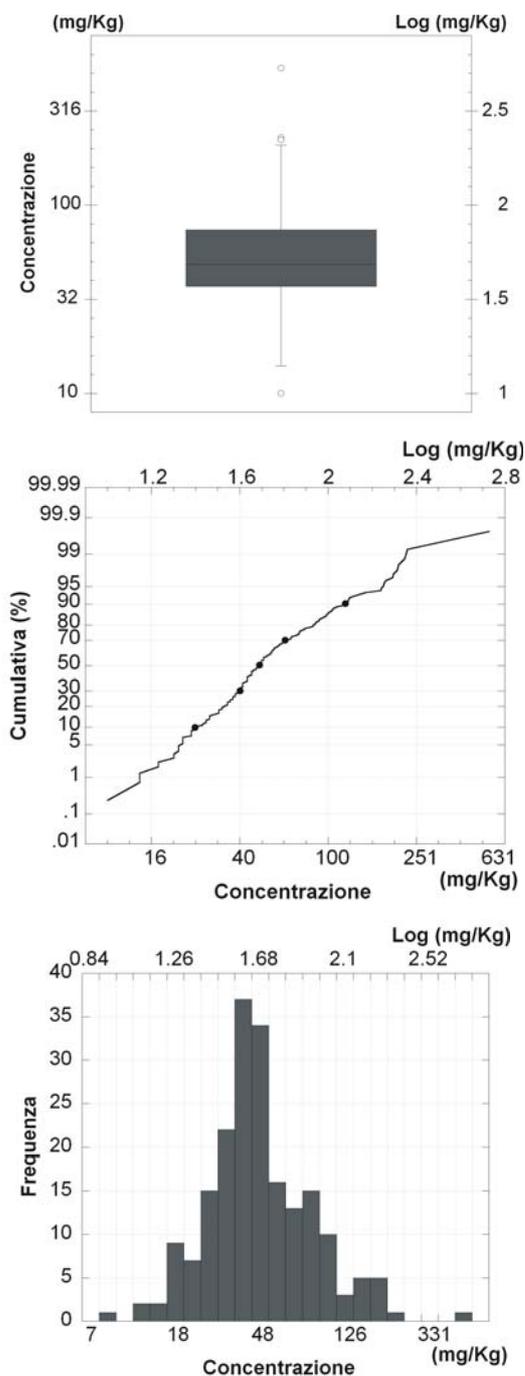
La distribuzione delle concentrazioni analitiche del Pb è molto simile a quella dell'Sb.

La carta dei dati puntuali relativi ai tenori di Pb nei suoli dell'Isola di Ischia (Tavola 31A) evidenzia la presenza di soli due campioni appartenenti all'intervallo di concentrazione 224 – 534 mg/Kg; essi sono ubicati tra Ischia Porto e Casamicciola. Valori analitici compresi fra 117 e 224 mg/Kg sono contenuti in alcuni campioni prelevati nell'area che va da Ischia Porto a Ischia Ponte a S. Antuono; essa corrisponde ad una delle più antropizzate dell'isola (Tavola 4). Inoltre, altri campioni presentano tali concentrazioni e sono situati a nord di Montevergine (colata di Zaro), a Forio, in prossimità del Monte Epomeo e del Monte Trippodi. In tutti gli altri punti campionati la concentrazione di Pb è compresa tra un minimo di 10 e 117 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 31B) presenta i valori di concentrazione più alti (fra 224 e 522 mg/Kg) in corrispondenza dell'area urbanizzata ubicata tra

Casamicciola ed Ischia Porto. Valori compresi tra 141 e 224 si riscontrano su tutto il territorio tra Ischia Porto, Ischia Ponte e Campagnano, oltre che nelle aree a sud del Monte Epomeo e del Monte Trippodi, a Forio e a nord di Monevergine. Attorno a queste zone le concentrazioni decrescono gradualmente fino a 63 mg/Kg. La superficie restante dell'isola è ricoperta da valori compresi tra 10 e 63 mg/Kg; le concentrazioni minime (10 – 31 mg/Kg) vengono raggiunte nel settore sud-orientale dell'isola (ad est di Barano), oltre che in un'area molto ristretta ubicata nel centro di Ischia.

La distribuzione dei valori *baseline* del Pb (tenore di fondo attuale) mostra che tenori molto elevati (138 - 173 mg/Kg) si riscontrano nell'area tra Casamicciola ed Ischia Porto (Tavola 31C); essi sono attribuibili al traffico veicolare legato alla forte urbanizzazione di questa zona. Tenori compresi tra 90 e 138 mg/Kg caratterizzano l'area che comprende Casamicciola, Ischia Porto e Ischia Ponte, quella a nord di Monteверgine (colata di Zaro) e quella a sud dell'abitato di Forio. Dall'analisi del territorio è evidente che in alcune di queste zone, come quella della Colata di Zaro, è difficile trovare nell'attività antropica la ragione per la presenza di elevate concentrazioni di Pb; infatti, l'influenza dell'uomo in tali aree è irrilevante; gli elevati tenori di Pb, in alcuni casi, sono da attribuire a cause di carattere naturale. Il tenore di fondo naturale (*background*) dei suoli dell'isola di Ischia per il Pb può essere considerato compreso nell'intervallo 10 – 90



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	10
Massimo	534
Media aritmetica	64
Mediana	48.5
Media geometrica	52.3
Moda	45
25° Percentile	37
75° Percentile	74
Deviazione standard	53.76
Limite di rilevabilità strumentale	3.0
Accuratezza	0.0
Precisione	5.0

Figura 6.23a–Distribuzione statistica del Pb.

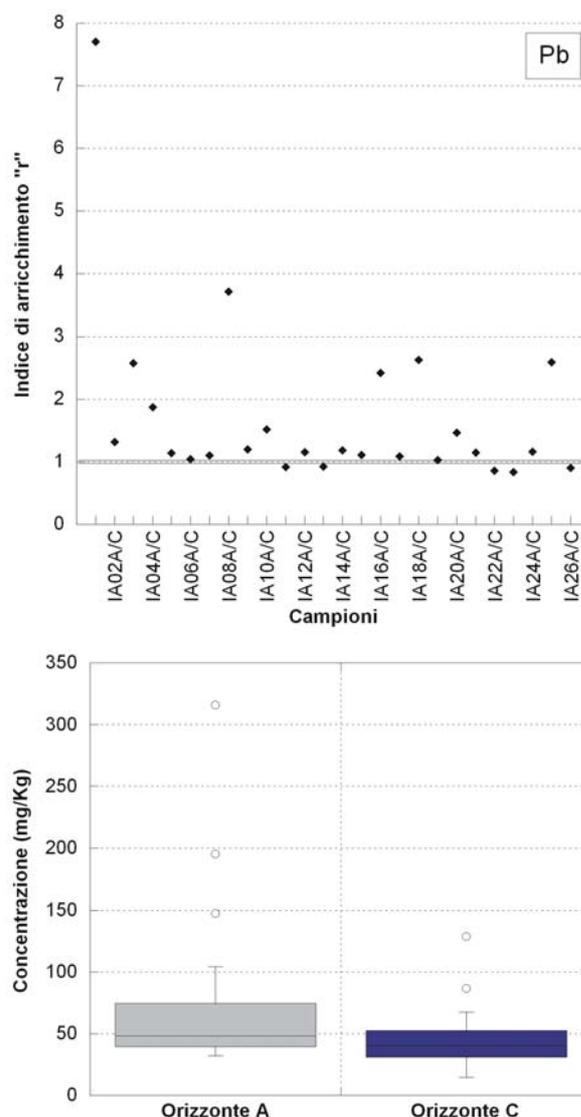
mg/Kg, valori che ricoprono quasi tutto il territorio.

La distribuzione delle anomalie (Tavola 31D) mostra, sulla maggior parte dell'isola, valori compresi tra -18 e 50 mg/Kg; in alcune aree ristrette (sud di Forio, sud del Monte Epomeo, Campagnano, colata di Zaro, Ciglio, Piedimonte, Ischia) essi sono compresi tra 50 e 150 mg/Kg, e solo nella zona tra Casamicciola ed Ischia Porto raggiungono valori molto elevati appartenenti all'intervallo 150 - 360 mg/Kg.

Le soglie di intervento per il Pb, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 100 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 1000 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento (Tavola 31E) mostra che molti campioni prelevati nell'area tra Casamicciola, Ischia Porto, Ischia Ponte e Campagnano superano la soglia imposta per l'uso residenziale/ricreativo. Inoltre, anche in singoli campioni ubicati nell'area di Ciglio, Forio, della colata di Zaro, del Monte Epomeo e del Monte Trippodi tale limite viene superato, ma la natura di tale arricchimento potrebbe essere geogenica anziché antropogenica. Il limite di concentrazione imposto per l'uso industriale/commerciale del territorio non viene invece oltrepassato in nessun campione.

6.23,2 - Distribuzione del Pb negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Pb negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 31F) mostra un prevalente arricchimento di tale elemento nell'orizzonte superficiale; valori di



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	32.0	14.7
Massimo	315.8	128.7
Media aritmetica	72.4	45.0
Mediana	48.2	40.2
Media geometrica	58.7	40.7
Moda	36.1	
25° Percentile	39.7	32.7
75° Percentile	72.8	51.7
Deviazione standard	62.87	23.00
Limite di ril. Strum.	0.01	0.01
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.23b – Distribuzione statistica del Pb negli orizzonti A e C.

r molto elevati si riscontrano nelle aree fortemente antropizzate di Ischia Porto,

Lacco Ameno e Panza ($r = 7.7$; 2.6; 3.7, rispettivamente), ma anche nelle zone per nulla antropizzate come il Monte Trippodi ($r = 2.6$). Leggeri e poco diffusi arricchimenti nell'orizzonte C, con valori di r compresi tra 0.9 e 1.0, si riscontrano in pochi punti dell'isola. Tale distribuzione è legata, come evidenziato già nella descrizione della Tavola 31B, in parte alla risalita di fluidi profondi e in parte a traffico veicolare. Essendo, sia quello idrotermale che quello antropico, fenomeni di arricchimento di tipo secondario, la concentrazione del Pb nei suoli risulta essere arricchita nell'orizzonte superficiale.

La mappa della distribuzione del Pb nell'orizzonte A (Tavola 31G) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) su tutta la superficie dell'isola, con l'eccezione di un punto nell'area di Casamicciola; in questa zona, infatti, è presente una forte anomalia dovuta al contributo antropogenico nella concentrazione del Pb nei suoli. I valori *baseline* e di anomalia (Tavole 31C, 31D) calcolati con l'ausilio del GeoDAS trovano dunque conferma nell'analisi della Tavola 31G.

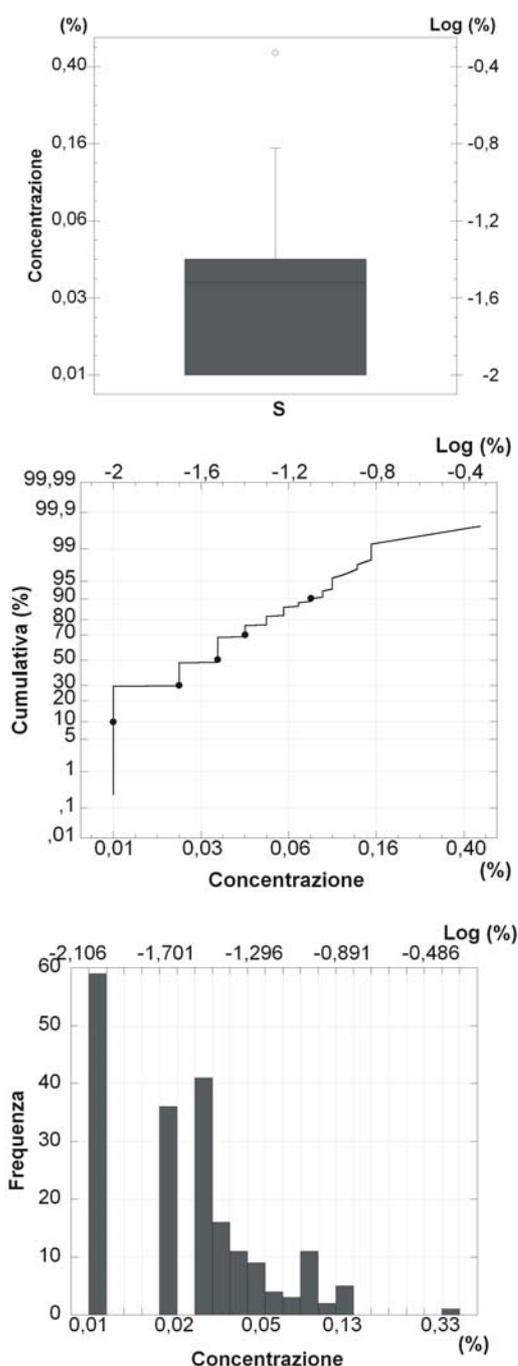
6.24 - Zolfo (S)

Lo S è un elemento non metallico che in natura si trova in tantissimi minerali (galena, cinabro, pirite, gesso ecc.) e in bassa, ma importante concentrazione, nel carbone e nel petrolio. La sua mobilità come solfato è molto alta. In ambienti sedimentari lo S si ritrova in depositi derivanti da concentrazione chimica di acque di mare. In ambiente vulcanico, se concentrato, è coltivato in aree vulcaniche recenti. Quando si bruciano combustibili contenenti quest'elemento, inevitabilmente, quale prodotto di combustione, si forma SO₂ che è un composto altamente inquinante. In agricoltura è spesso utilizzato in concimi e fertilizzanti.

6.24,1 - Distribuzione geochimica dello S nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati puntuali delle concentrazioni dello S (Tavola 32A) mostra che il valore più elevato (0.47 %) si riscontra in un solo campione prelevato ad sud-est di Lacco Ameno. Nella stessa zona sono ubicati punti con concentrazioni comprese tra 0.12 e 0.17 %; gli stessi valori caratterizzano l'area di Ischia Ponte. Concentrazioni intermedie, appartenenti all'intervallo 0.08 – 0.12 %, si rinvengono in campioni situati prevalentemente nella fascia settentrionale ed in quella orientale dell'isola. Il resto del territorio è caratterizzato da valori di S medio-bassi compresi tra 0.01 e 0.08 %.

La carta di distribuzione dei dati interpolati dello S (Tavola 32B) mostra che i suoli sono caratterizzati da valori compresi tra



Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.01
Massimo	0.47
Media aritmetica	0.04
Mediana	0.03
Media geometrica	0.03
Moda	0.01
25° Percentile	0.01
75° Percentile	0.04
Deviazione standard	0.04
Limite di rilevabilità strumentale	-
Accuratezza	-
Precisione	0.04

Figura 6.2a – Distribuzione statistica dello S.

0.15 e 0.46 % solo in un'area ristretta ubicata a sud-est di Lacco Ameno. Tenori appartenenti all'intervallo 0.08 – 0.15 % ricoprono una parte di Ischia Porto, si riscontrano a ridosso dell'area di picco, ed inoltre caratterizzano alcuni lembi della costa settentrionale nell'area di Casamicciola. Tutto il resto della superficie dell'isola è ricoperto da valori compresi tra 0.01 e 0.08 %, con una concentrazione dei minimi (0.01 – 0.02 %) lungo la fascia costiera meridionale.

La carta dei valori *baseline* (Tavola 32C) mostra che i valori di tenore di fondo naturale più elevati, compresi tra 0.12 e 0.20 %, sono distribuiti nell'area ad est di Lacco Ameno; tenori intermedi (0.04 – 0.12 %) ricoprono, inoltre, gran parte del settore settentrionale dell'isola. Tali valori sono giustificati dall'intensa attività fumarolica che è ben evidente da una analisi della Carta Strutturale (Tavola 2). La restante parte dell'isola presenta tenori di fondo attuale molto bassi compresi tra 0.01 e 0.04 %. Non essendo presenti fonti di contaminazione antropica responsabili di arricchimento di S nei suoli, si può affermare che i valori del tenore di fondo attuale di questo elemento coincidono con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).

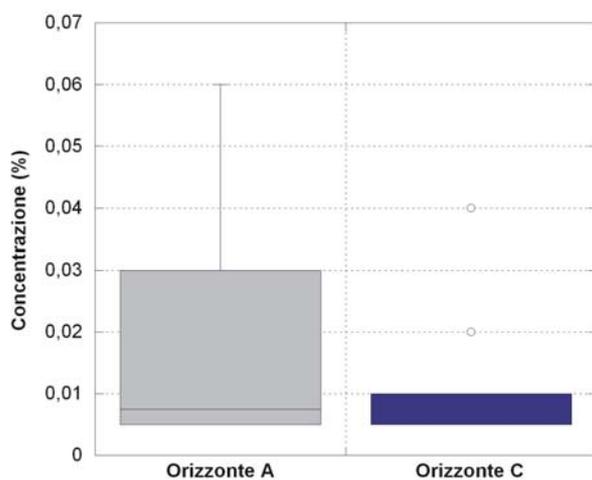
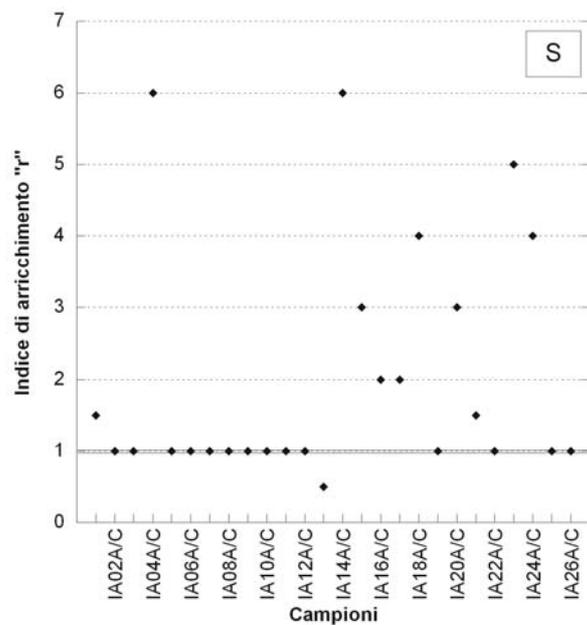
La carta della distribuzione dei valori anomali dello S (Tavola 32D) mette in evidenza che l'unica area, d'altronde molto ristretta, che presenta valori di anomalia più elevati, compresi tra 0.06 e 0.28 %, è quella ubicata ad est di Lacco Ameno; tutto il resto del territorio è caratterizzato da valori

pressoché nulli, appartenenti all'intervallo – 0.01 – 0.06 %.

6.24,2 - Distribuzione dello S negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dello S negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 32E) mostra che in tutto il settore occidentale e settentrionale dell'isola, ad eccezione dell'area a nord e a sud di Montevergine in cui $4.0 \leq r \leq 6.0$, le concentrazioni di tale elemento sono costanti e molto basse lungo il profilo del suolo ($r = 1.0$). Il settore orientale è caratterizzato, invece, da arricchimenti più marcati nell'orizzonte superficiale, oltre che da concentrazioni più elevate nelle aree di Ischia Porto, Lido dei Maronti, Ischia Ponte e Monte Trippodi. Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola. Lo S, infatti, presenta spiccata affinità con l'attività idrotermale, specie nelle aree vulcaniche recenti; tale attività induce un apporto elementare di tipo secondario dei suoli, e quindi un arricchimento nell'orizzonte superficiale.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori rispondenti alle concentrazioni di S negli orizzonti A e C (Tavola 32F). Questo dato è una ulteriore conferma della coincidenza, nel caso dello S, dei valori *baseline* con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.01	0.01
Massimo	0.06	0.04
Media aritmetica	0.02	0.01
Mediana	0.01	0.01
Media geometrica	0.01	0.01
Moda	0.01	0.01
25° Percentile	0.01	0.01
75° Percentile	0.03	0.01
Deviazione standard	0.02	0.01
Limite di ril. Strum.	0.02	0.02
Accuratezza		
Precisione	0.29	0.29

Figura 6.2b – Distribuzione statistica dello S negli orizzonti A e C.

6.25 - Antimonio (Sb)

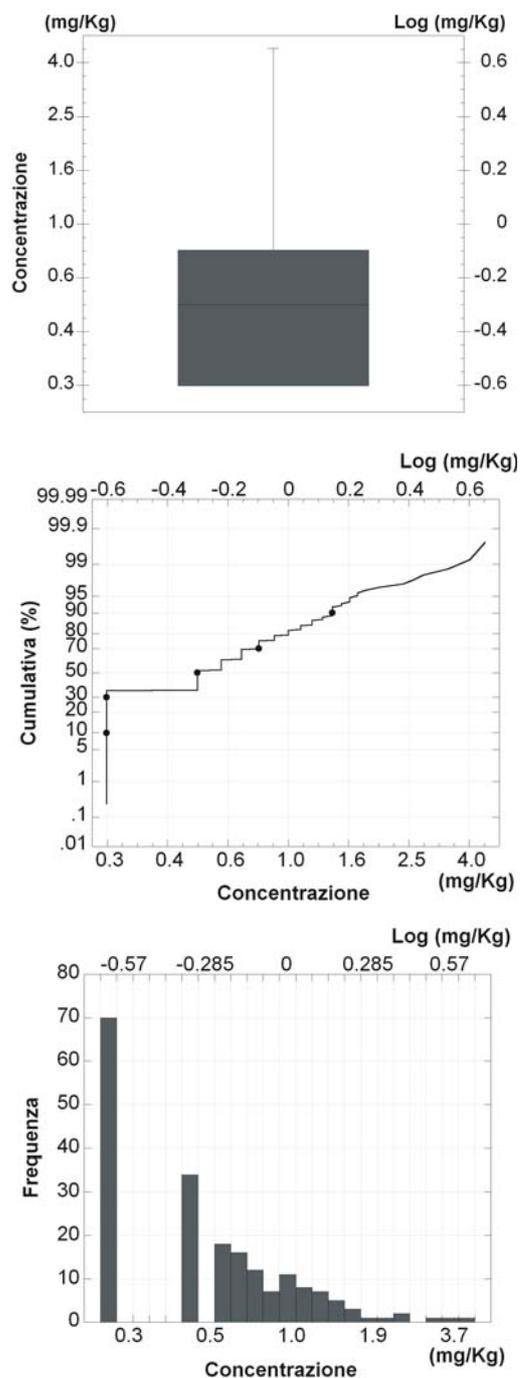
Il comportamento cristallografico e geochimico dell'Sb è simile a quello dell'As. Esso ha una concentrazione media nella crosta terrestre di 0.2 mg/kg, è solubile, molto mobile in ambienti non mineralizzati e fortemente calcofilo e, per questa ragione, la sua distribuzione nelle rocce è legata a quella dei minerali dello S. In genere le sue più alte concentrazioni (>3 mg/kg) si rinvengono tipicamente in prossimità di depositi idrotermali di galena e sfalerite. La sua concentrazione media nei suoli è di 1 mg/kg (Wedepohl, 1978).

Lo si ritrova come inquinante nelle aree industriali soprattutto nei pressi di fonderie, laddove si lavora il Cu e nei pressi di industrie che fabbricano batterie, è utilizzato anche per la produzione di ceramiche, di vetro e di pigmenti e trova impiego in medicina nella terapia della leishmaniosi.

Tutti i composti dello Sb possono causare seri danni ai polmoni ed al fegato. Gli effetti da intossicazione acuta e cronica sono in particolare a carico del tratto respiratorio provocando rinite, bronchite, tracheite, edema ed enfisema. Composti contenenti Sb possono inoltre provocare tossicità cardiaca (Winship, 1987).

6.25,1 - Distribuzione geochimica di Sb nei suoli superficiali

La distribuzione dei valori di concentrazione dell'Sb presenta elevata similitudine con quelle del Pb e dello Zn. La rappresentazione dei dati puntuali dell'Sb (Tavola 33A) evidenzia una concentrazione dei valori più elevati in



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.25
Massimo	4.50
Media aritmetica	0.70
Mediana	0.50
Media geometrica	0.54
Moda	0.25
25° Percentile	0.25
75° Percentile	0.80
Deviazione standard	0.62
Limite di rilevabilità strumentale	2.00
Accuratezza	5.88
Precisione	12.0

Figura 6.25a–Distribuzione statistica dell'Sb

corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate dell'isola; valori compresi tra 1.92 e 4.50 mg/Kg si riscontrano infatti in due campioni ubicati in prossimità della costa nell'area di Forio ed in quattro campioni ubicati tra Ischia Porto ed Ischia Ponte. Valori medi, compresi tra 0.69 e 1.92 mg/Kg, sono distribuiti per lo più a ridosso del perimetro costiero dell'isola, mentre le concentrazioni più basse (0.25 – 0.69 mg/Kg) appartengono ai campioni prelevati nell'area centrale, in corrispondenza degli alti morfologici, e lungo la fascia costiera meridionale dell'isola.

Anche la distribuzione dei dati interpolati (Tavola 33B) mette in evidenza la stretta correlazione presente tra le concentrazioni più elevate e le aree maggiormente antropizzate. I valori più elevati (2.30 – 4.41 mg/Kg) contraddistinguono, infatti, in maniera quasi esclusiva, lembi dell'area compresa tra Ischia Porto e Ischia Ponte; inoltre caratterizzano Campagnano e Forio. Valori medi, appartenenti all'intervallo di 0.59 – 2.30 mg/Kg, si riscontrano nelle aree distribuite lungo un'ampia fascia che borda gran parte dell'isola. Quasi tutto il settore centrale, la punta sud-orientale e quella sud-occidentale del territorio in esame presentano, invece, concentrazioni molto basse di Sb con valori compresi tra un minimo di 0.25 e 0.59 mg/Kg.

Dall'analisi della carta dei valori *baseline* (Tavola 33C) è possibile osservare come quasi tutta la superficie dell'isola presenti valori tra 0.25 e 1.10 mg/Kg, che possono essere considerati, a buona ragione, come valore di tenore di fondo naturale dei suoli

vulcanici dell'Isola di Ischia (*background*). Valori di tenore di fondo attuale più elevati, compresi tra 1.60 e 2.10 mg/Kg, caratterizzano invece l'area compresa tra Ischia Porto ed Ischia Ponte e quella di Forio. Queste ultime sono le due zone più densamente urbanizzate dell'isola, e gli arricchimenti di antimonio in esse presenti potrebbero essere dunque legati ad un contributo antropogenico (traffico veicolare). La distribuzione delle anomalie (Tavola 33D) supporta la precedente tesi riguardo le aree maggiormente antropizzate; le uniche zone che presentano valori relativamente alti (1.40 – 3.20 mg/Kg) sono infatti in corrispondenza del centro dei Comuni di Forio e di Ischia. La quasi completa totalità della superficie dell'isola è caratterizzata, invece, da valori d'anomalia pressoché nulli (–1.10 – 0.50 mg/Kg).

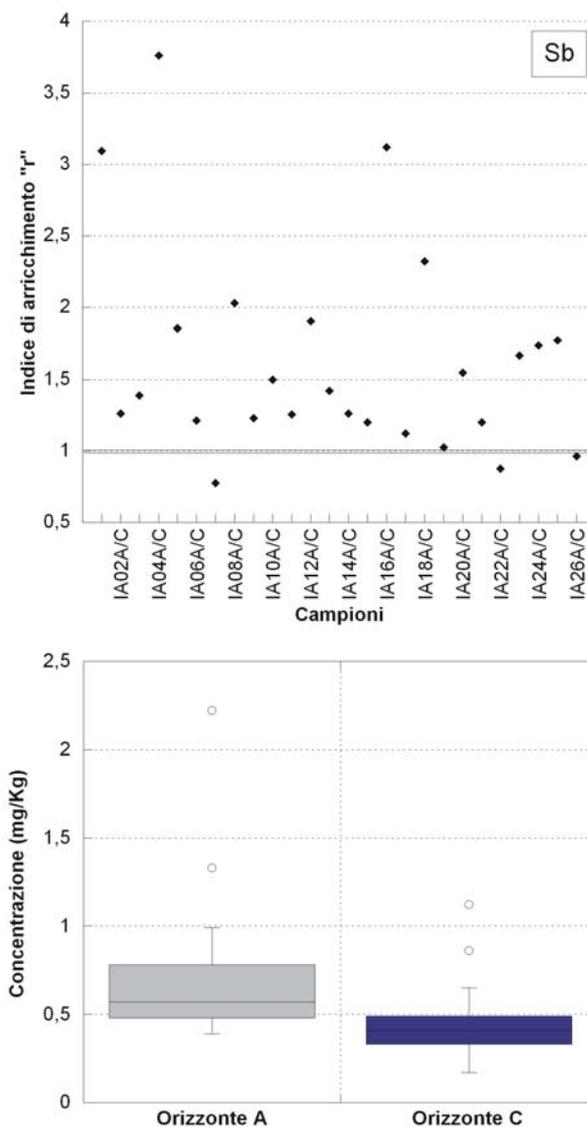
Le soglie di intervento per l' Sb, fissate dal D.M. 471/1999 del Ministero dell'Ambiente, sono di 10 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 30 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. Dall'analisi dei dati analitici rappresentati nella carta di intervento (Tavola 33E) si nota che in nessun campione le concentrazioni di tale elemento superano le soglie del rischio fissate dal D.M. 471/1999.

6.25,2 - Distribuzione dell'Sb negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dell'Sb negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 33F) mostra un marcato arricchimento nell'orizzonte superficiale, fino a raggiungere valori di $r > 3$ ad est di

Casamicciola, a nord di Campagnano e a nord di Montevergine. Solo in due punti, ubicati a sud di Forio, r è inferiore all'unità. Questo tipo di distribuzione indica la presenza di fenomeni di natura secondaria quali responsabili della concentrazione di Sb nell'orizzonte A; essi sono tanto di natura geogenica (fenomeni idrotermali) quanto di natura antropica (traffico veicolare).

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Sb negli orizzonti A e C (Tavola 33G). Questo dato è una conferma della rispondenza dei due metodi.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.39	0.17
Massimo	2.22	1.12
Media aritmetica	0.70	0.45
Mediana	0.57	0.41
Media geometrica	0.63	0.42
Moda	0.48	0.46
25° Percentile	0.48	0.33
75° Percentile	0.78	0.49
Deviazione standard	0.38	0.20
Limite di ril. Strum.	0.02	0.02
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.25b – Distribuzione statistica dell'Sb negli orizzonti A e C.

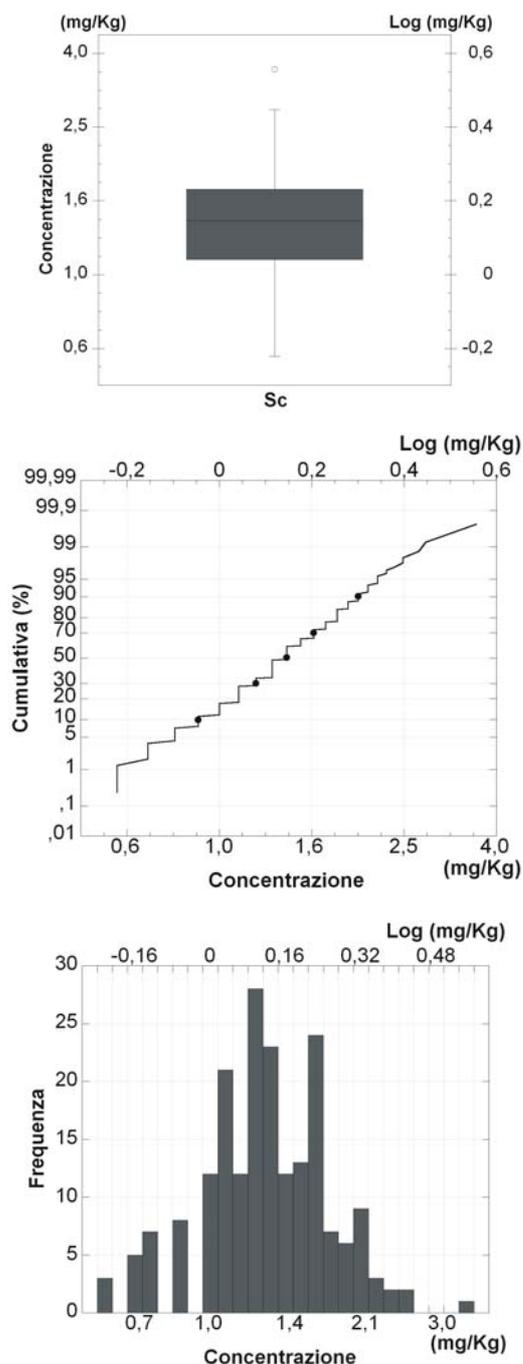
6.26 - Scandio (Sc)

E' un elemento litofilo, immobile in condizione di pH normali. Lo Sc si trova nei minerali di Sn, W e in alcuni minerali delle terre rare; lo si trova arricchito nelle rocce mafiche e nei sedimenti argillosi mentre il suo contenuto è scarso nelle arenarie e nei calcari. Esso è presente in natura, in genere, come ione Sc^{3+} che può sostituire nei reticoli cristallini Al^{3+} , Fe^{3+} , Y^{3+} e anche Ti^{4+} , cosicché questo elemento è soprattutto associato con i minerali ferromagnesiaci e la biotite. Quasi certamente non lo si trova in soluzione come semplice ione Sc^{3+} (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

6.26,1 - Distribuzione geochemica di Sc nei suoli superficiali

La distribuzione geochemica dei dati relativi alle concentrazioni di Sc nei suoli dell'Isola di Ischia è molto simile a quella di Fe, Ga, Mn e Mg. Tale osservazione trova giustificazione nella natura geogenica della distribuzione dei dati analitici di questi elementi; la loro alta correlazione è infatti strettamente legata a caratteri di natura litologica ed idrotermale.

La distribuzione dei dati geochemici puntuali dello Sc (Tavola 34A) presenta i valori di concentrazione più elevati (2.30 – 3.60 mg/Kg) in alcuni campioni del settore nord-occidentale dell'isola, in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e dei suoi accumuli di frana da crollo (Tavola 1). Valori medi, appartenenti all'intervallo 1.40 – 1.90 mg/Kg, sono concentrati interamente nella metà



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.60
Massimo	3.60
Media aritmetica	1.43
Mediana	1.40
Media geometrica	1.36
Moda	1.30
25° Percentile	1.10
75° Percentile	1.70
Deviazione standard	0.45
Limite di rilevabilità strumentale	-
Accuratezza	-
Precisione	0.01

Figura 6.26a – Distribuzione statistica di Sc.

occidentale dell'isola, mentre i valori più bassi, compresi tra 0.60 e 1.40 mg/Kg, si riscontrano nei campioni ubicati nel graben di Ischia e lungo la fascia costiera meridionale dell'isola.

La carta dei dati interpolati dello Sc (Tavola 34B) mostra una distribuzione delle aree con concentrazioni elevate (2.52 – 3.49 mg/Kg) in corrispondenza di sorgenti termali presenti ad ovest di Ischia Porto, in prossimità di Bagni ed a nord del Monte Trippodi (Tavola 2). Valori compresi tra 1.93 e 1.52 mg/Kg si riscontrano intorno alle aree suddette ed, inoltre, nelle zone di Lacco Ameno e Montevergine. Concentrazioni medie, appartenenti all'intervallo 1.34 – 1.93 mg/Kg, caratterizzano gran parte del settore occidentale dell'isola ed una fascia costiera ristretta tra Ischia Ponte e Campagnano. Il settore orientale e la fascia meridionale presentano, invece, le concentrazioni più basse di Sc comprese tra 0.60 e 1.34 mg/Kg; i valori minimi (0.60 – 0.90 mg/Kg) vengono raggiunti in corrispondenza delle trachiti fonolitiche che costituiscono la Colata dell'Arso (Ischia Ponte - Ischia Porto) e dei tufi trachitici che affiorano a sud di Ciglio.

I valori *baseline* (tenore di fondo attuale) dei suoli del settore nord-occidentale e della fascia costiera orientale dell'isola sono i più elevati (Tavola 34C); essi ricadono nell'intervallo 1.51 – 1.96 mg/Kg, con picchi compresi tra 1.96 e 2.40 in corrispondenza dell'area compresa tra Lacco Ameno e Montevergine, di una zona a ovest di Ischia Porto e di una a nord del Monte Trippodi. La restante parte del territorio è caratterizzata

da tenori di fondo attuale compreso tra 0.60 e 1.51 mg/Kg. I valori del tenore di fondo attuale sono totalmente riconducibili a quelli di tenore di fondo naturale (*background*), essendo le concentrazioni di Sc nei suoli dell'isola totalmente dovute ad un fattore litologico e/o idrotermale.

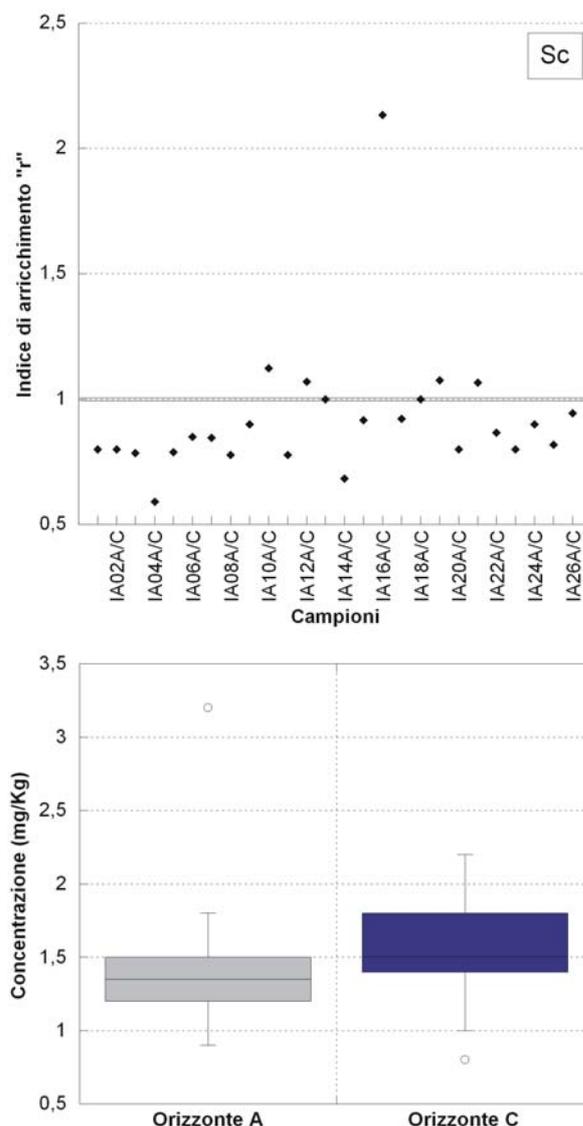
In tutta l'isola non si riscontrano particolari concentrazioni anomale fatta eccezione di due aree molto ristrette, ubicate ad ovest di Ischia Porto e nell'area di Bagni, i cui valori sono compresi tra 0.49 e 1.45 mg/Kg (Tavola 34D).

6.26,2 - Distribuzione dello Sc negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dello Sc negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 34E) mostra un leggero, ma prevalente arricchimento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da prodotti di alterazione della roccia madre. Nonostante le concentrazioni dello Sc siano nettamente superiori nella metà occidentale dell'isola, i rapporti tra le concentrazioni nell'orizzonte A ed in quello C sono pressoché costanti su tutto il territorio, fatta eccezione di un punto a nord di Campagnano dove $r = 2.1$. I punti in cui il valore di r è leggermente superiore all'unità sono generalmente punti in cui l'arricchimento di Sc nell'orizzonte superficiale è legato a fenomeni di natura idrotermale (Lido dei Maronti, nord di Campagnano).

La mappa della distribuzione dello Sc nell'orizzonte C (Tavola 34F) mostra, in linea generale, valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*), che in

questo caso corrispondono ai valori di fondo naturale (*background*). Il confronto tra la mappa dei valori *baseline* e le concentrazioni nell'orizzonte C dà la conferma del controllo di natura litologica (presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento) oltre che di un apporto di natura idrotermale (a nord di Montevergine e nell'area tra Succhivo e Lido dei Maronti) dello Sc nei suoli dell'isola di Ischia.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.90	0.80
Massimo	3.20	2.20
Media aritmetica	1.42	1.56
Mediana	1.35	1.50
Media geometrica	1.37	1.52
Moda	1.20	1.50
25° Percentile	1.20	1.40
75° Percentile	1.50	1.80
Deviazione standard	0.44	0.34
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.07	0.07

Figura 6.26b – Distribuzione statistica dello Sc negli orizzonti A e C.

6.27 - Stronzio (Sr)

Lo Sr è un elemento litofilo e, per le sue dimensioni ioniche, può sostituire sia Ca^{2+} che K^+ nei plagioclasti e nei K-feldspati; si ritrova in associazione con Ca, K, Zn, Pb e F in mineralizzazioni a solfuri. La concentrazione di Sr negli altri principali minerali costituenti le rocce è sensibilmente più bassa. Durante i processi magmatici è ripartito negli stadi intermedi del frazionamento per cui tende ad essere arricchito nelle rocce intermedie (ca. 500 mg/Kg) rispetto ai graniti evoluti (< 300 mg/Kg) e alle rocce ignee basiche (< 450 mg/Kg); concentrazioni particolarmente alte (1000 mg/Kg) sono state registrate in anortositi (Wedepohl, 1978). Lo Sr è relativamente immobile nel metamorfismo di alto grado e spesso si concentra con Ba e Zr nelle granuliti, una redistribuzione pervasiva può aversi durante l'alterazione idrotermale e nel metamorfismo di contatto. Gli alti valori nelle granuliti sono stati attribuiti a fenomeni di trasferimento di Sr alla crosta inferiore durante il degassamento del mantello (Korringa & Noble, 1971). Nelle rocce sedimentarie lo Sr si ritrova principalmente nei carbonati e nei solfati, in sostituzione del Ca^{2+} e del Ba^{2+} . Arricchimenti con concentrazioni di ca. 1000 ppm sono comuni in calcari ed evaporiti. Minerali distinti di Sr sono poco comuni, benché solfati e carbonati possono essere presenti in evaporiti e vene idrotermali (Ure & Berrow, 1982); alti livelli di Sr possono essere associati a minerali di Ba (barite, witherite) e essere legati a fenomeni di sostituzione del più grande ione Ba. I

feldspati sono i principali veicoli di Sr; le quarziti pure (< 40 mg/Kg) e le argilliti (< 400 mg/Kg) contengono generalmente quantità di Sr inferiori rispetto alle rocce quarzoso-feldspatiche (ca. 600 mg/Kg). Nelle acque superficiali lo Sr si mantiene in soluzione in condizioni di $\text{pH} < 5.5$ (Short, 1961); tende invece a precipitare come carbonato autigeno in condizioni di pH più alto o in presenza di alta pCO_2 . L'80 % dello Sr delle acque fluviali di tutto il mondo deriva dal dilavamento dei carbonati (Ure & Berrow, 1982).

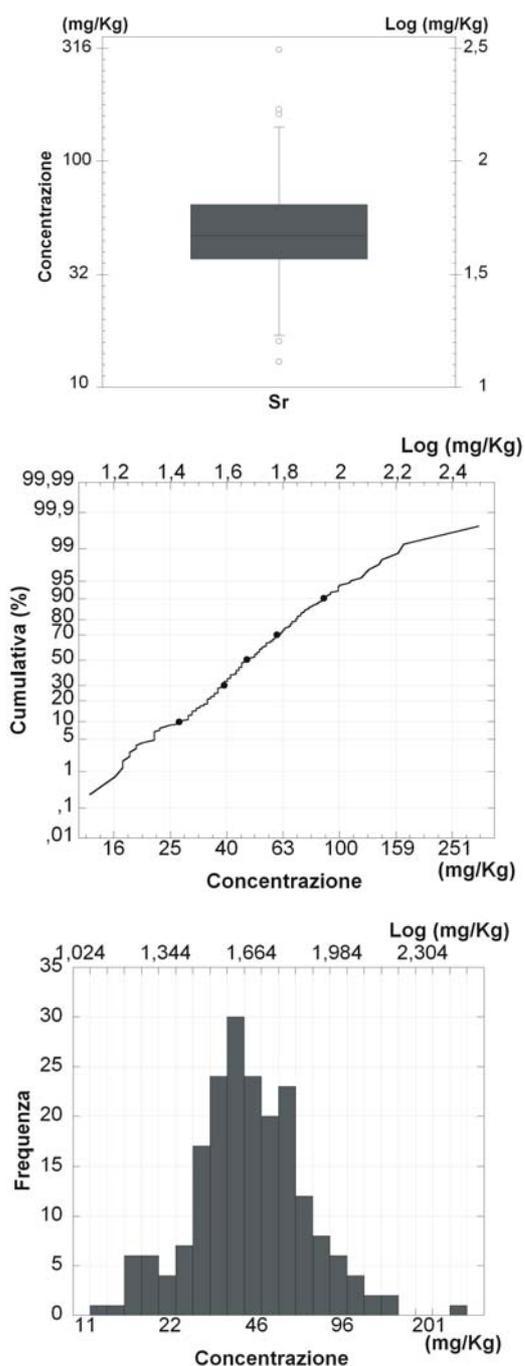
6.27,1 - Distribuzione geochimica dello Sr nei suoli superficiali

La distribuzione geochimica dei dati analitici relativi alle concentrazioni di Sr nei suoli dell'Isola di Ischia è molto simile a quella del Ca (Tavola 35A). I valori più elevati, compresi tra 150 e 311 mg/Kg, si riscontrano in due campioni ubicati nella parte settentrionale dell'isola (Lacco Ameno, Casamicciola) e in uno situato ad Ischia Ponte. Valori intermedi, appartenenti all'intervallo di concentrazione 86 - 150 mg/Kg, si riscontrano nei dintorni di Campagnano, nell'area tra Barano e Ciglio ed, inoltre, sono distribuiti, in modo più o meno omogeneo, lungo la fascia costiera occidentale dell'isola. Campioni contenenti basse concentrazioni di Sr (13 - 86 mg/Kg) sono ubicati uniformemente su tutta l'isola. La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 35B) mette meglio in evidenza la situazione sopra descritta. Le concentrazioni più elevate, comprese tra 145 e 302 mg/Kg, si riscontrano in aree ristrette in

corrispondenza di Lacco Ameno, Casamicciola, nella zona sud-orientale dell'isola e a Ischia Ponte. Valori intermedi (55 - 145 mg/Kg), oltre che a ridosso delle zone che presentano concentrazioni massime, ricoprono gran parte della fascia costiera occidentale, l'area di Campagnano, alcuni lembi di territorio a nord di Lido dei Maronti e aree ristrette distribuite in modo diffuso su tutta l'isola. Concentrazioni comprese tra 14 e 55 mg/Kg caratterizzano gran parte della superficie dell'isola e sono distribuite in modo alquanto omogeneo.

Analizzando la carta dei valori *baseline* (Tavola 35C) si nota che tenori elevati, compresi tra 84 e 145 mg/Kg, sono presenti ad Ischia Ponte e ricoprono parte della fascia costiera occidentale dell'isola oltre che piccoli lembi lungo quella orientale. Inoltre, le fasce costiere orientale ed occidentale sono caratterizzate da tenori di fondo naturale compresi tra 54 e 84 mg/Kg; la distribuzione dei valori sembra seguire il trend della facies bicarbonato-alcaina delle acque sotterranee, le quali costituiscono le falde superficiali ospitate nei detriti impostati sui tufi. In queste acque è stato dimostrato, inoltre, l'apporto dovuto alla risalita di fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst del Monte Epomeo (Celico et al., 1999). Infine, gran parte della porzione centrale dell'isola presenta tenori di fondo compresi tra 13 e 54 mg/Kg.

Per quanto concerne la stima dei valori anomali (Tavola 35D), fatta eccezione per un lembo di territorio di dimensioni ridottissime situato in corrispondenza di Ischia Ponte, che presenta valori compresi



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	13
Massimo	311
Media aritmetica	54.7
Mediana	47
Media geometrica	48.3
Moda	39
25° Percentile	37
75° Percentile	64
Deviazione standard	32.13
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	2.8
Precisione	2.0

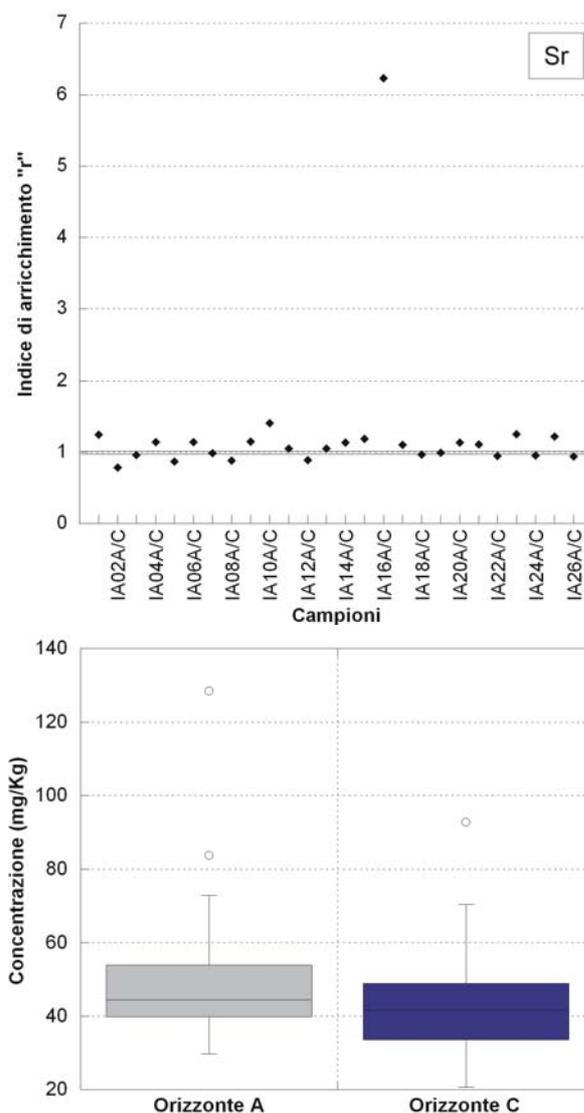
Figura 6.27a – Distribuzione statistica di Sr.

fra 107 e 222 mg/Kg, non sono da segnalare situazioni di particolare rilevanza. In generale la superficie dell'isola è caratterizzata da valori che oscillano fra -66 e 66 mg/Kg.

6.27,2 - Distribuzione dello Sr negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Sr negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 35E) mostra arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte superficiale. I valori di r sono compresi per lo più tra 1.0 e 1.4; r raggiunge valore pari a 6.2 a nord di Campagnano. Leggeri arricchimenti dell'orizzonte C si verificano in pochi punti. L'arricchimento in Sr nell'orizzonte superficiale è spiegato dalla natura secondaria del fenomeno di apporto di tale elemento. Il suo contenuto nei suoli non è, infatti, legato alla natura della roccia madre, quanto dalla risalita di fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst Monte Epomeo, considerando che la distribuzione dello Sr (Tavole 35A, 35B) segue, come il Ca, il *trend* della facies bicarbonato-alcaina delle acque sotterranee (Celico et al., 1999).

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Sr nell'orizzonte A (Tavola 35F), confermando la natura geogenica dello stesso nei suoli dell'isola e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	29.7	20.6
Massimo	128.4	92.8
Media aritmetica	50.3	44.6
Mediana	44.5	41.6
Media geometrica	47.5	42.2
Moda		33.3
25° Percentile	39.9	34.4
75° Percentile	53.8	48.5
Deviazione standard	20.27	15.64
Limite di ril. Strum.	0.50	0.50
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.27b – Distribuzione statistica dello Sr negli orizzonti A e C.

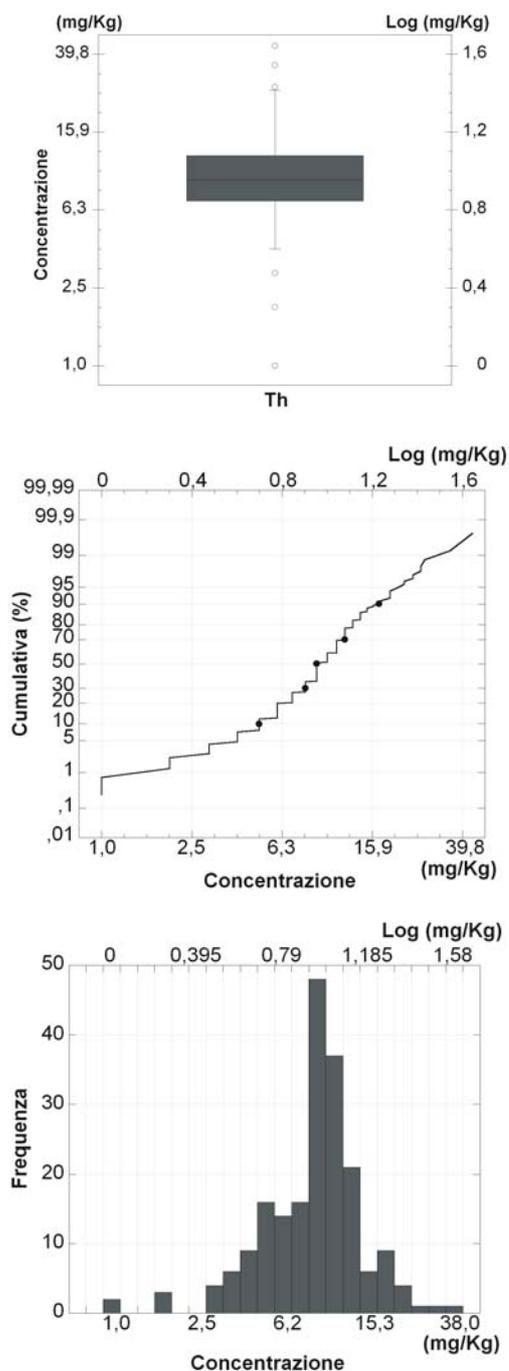
6.28 - Torio (Th)

E' un elemento alquanto immobile, classificabile come litofilo; la sua distribuzione geochemica è fortemente controllata dallo stato di ossidazione e dalle condizioni di pH e Eh. Insieme con altri elementi incompatibili (U, K, Rb e REE) si accumula nei magma residui ed è incorporato nell'ultima fase di cristallizzazione dei silicati. Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni di Th sono generalmente più basse nelle arenarie non mineralizzate che non nei sedimenti argillosi; livelli più alti si rinvengono in argille nere ricche di materiale organico e nei sedimenti fosfatici.

6.28,1 - Distribuzione geochemica del Th nei suoli superficiali

La distribuzione dei dati analitici del Th (Tavola 36A) evidenzia una concentrazione dei valori più elevati (21 - 44 mg/Kg) in corrispondenza dell'area di Lido dei Maronti e di quella ad ovest di Lacco Ameno. Dalla Carta Strutturale (Tavola 2) si evince che entrambe queste aree sono caratterizzate dalla presenza di numerose sorgenti termali e fumarole, impostate lungo faglie principali, responsabili probabilmente della risalita di fluidi profondi ricchi in tale elemento. Valori medio-bassi, appartenenti all'intervallo di concentrazione 15 - 21 mg/Kg, si riscontrano in campioni prelevati in corrispondenza delle suddette aree; la restante parte del territorio è caratterizzata, invece, da tenori molto bassi compresi tra 1 e 15 mg/Kg.

I dati interpolati (Tavola 36B) presentano le



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	1.0
Massimo	44.0
Media aritmetica	10.4
Mediana	9.0
Media geometrica	9.2
Moda	9.0
25° Percentile	7.0
75° Percentile	12.0
Deviazione standard	5.52
Limite di rilevabilità strumentale	2.0
Accuratezza	8.8
Precisione	3.0

Figura 6.28a—Distribuzione statistica del Th.

concentrazioni di Th più elevate (18.5 – 43.2 mg/Kg) in corrispondenza di un'area che si estende dalla fascia costiera di Lido dei Maronti fino a Succhivo; inoltre, tali valori caratterizzano anche la zona a nord-ovest di Lacco Ameno, che ricopre la punta nord-occidentale dell'isola. Concentrazioni comprese fra 14.8 e 18.5 mg/kg caratterizzano le aree a ridosso di quelle in cui vengono registrati i valori massimi, oltre che porzioni di territorio molto ristrette situate in corrispondenza di Monte Trippodi e di Casamicciola. La restante parte dell'isola è ricoperta da concentrazioni di Th comprese tra 4.9 e 14.8 mg/Kg, fatta eccezione della zona ad ovest di Ischia Ponte in cui si riscontrano i valori minimi (1.0 – 4.9 mg/Kg).

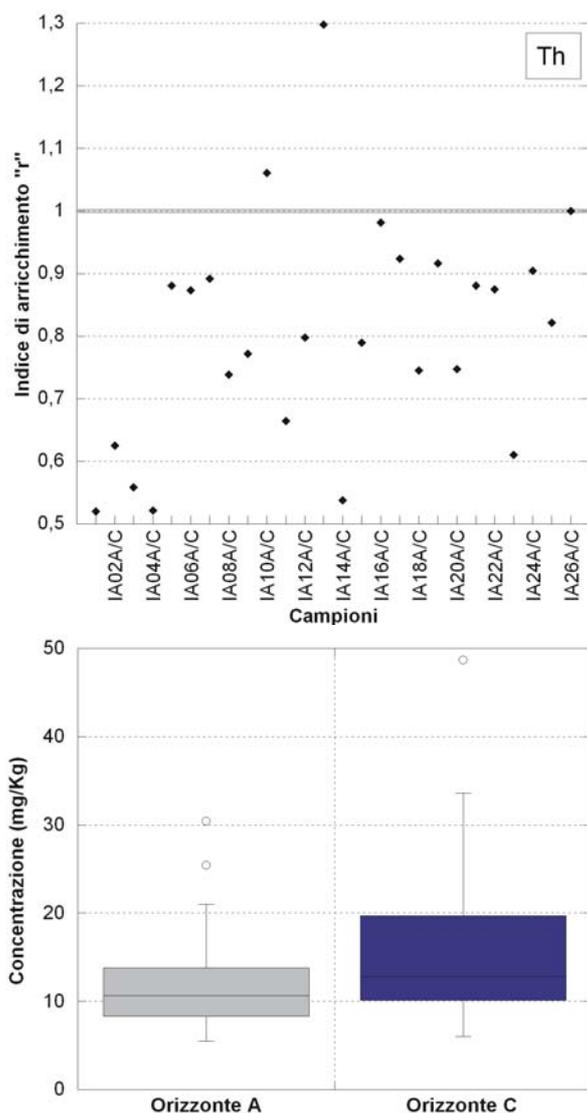
Per ciò che concerne il tenore di fondo attuale (Tavola 36C) è da notare che nell'area nord-occidentale ed in quella meridionale posta a nord-ovest di Lido dei Maronti, si riscontrano i valori massimi compresi nell'intervallo 21.9 – 27.0 mg/Kg. A partire da queste due zone i valori *baseline* decrescono gradualmente passando da tenori compresi tra 16.8 e 21.9 mg/Kg a quelli appartenenti all'intervallo 9.6 – 16.8 mg/Kg che ricoprono la fascia costiera occidentale e la parte centrale dell'isola, oltre che piccoli lembi di territorio del settore orientale. Il tenore di fondo attuale della restante parte del territorio in esame è compreso tra 1.0 e 9.6 mg/Kg. Dalle osservazioni fatte si può affermare che i valori del tenore di fondo attuale sono coincidenti con quelli del tenore di fondo naturale (*background*).

La carta della distribuzione delle anomalie del Th (Tavola 36D) mostra che gli unici dati rilevanti sono quelli che caratterizzano le due aree, molto ristrette, ubicate a nord-ovest di Lido dei Maronti e ad ovest di Monte Vico (11.6 – 28.1 mg/Kg). Il resto dell'isola è ricoperto da valori pressoché nulli compresi tra -2.9 e 4.9 mg/Kg.

6.28,2 - Distribuzione del Th negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Th negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 36E) mostra arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte più profondo, indicando un controllo sull'origine di tale elemento di natura litologica. I valori di *r* sono superiori all'unità in soli due punti ubicati a sud di Monte Epomeo ($r = 1.3$) e ad est di Succhivo ($r = 1.1$).

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Th nell'orizzonte C (Tavola 36F), confermando la natura geogenica dello stesso nei suoli dell'isola e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	5.5	6.0
Massimo	30.4	48.7
Media aritmetica	12.2	15.9
Mediana	10.7	12.8
Media geometrica	11.1	14.1
Moda	10.7	12.0
25° Percentile	8.3	10.2
75° Percentile	13.4	19.5
Deviazione standard	6.04	9.06
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza	-	-
Precisione	0.01	0.01

Figura 6.28b – Distribuzione statistica del Th negli orizzonti A e C.

6.29 - Titanio (Ti)

E' un elemento litofilo relativamente immobile; si ritrova in associazione con Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K in rocce plutoniche, con Zr, Nb, P e terre rare in rocce ignee alcaline, con Fe e Mg in rocce ignee mafiche. Vista la compatibilità del Ti nelle prime fasi del frazionamento magmatico, questo elemento è maggiormente arricchito nelle rocce basiche (> 1 % di TiO_2) e ultrabasiche (> 2% TiO_2) rispetto alle rocce ignee acide (ca. 0.2 % TiO_2) (Ure & Berrow, 1982). Esso è relativamente immobile nel corso del metamorfismo progrado; può venire al contrario mobilizzato e arricchito negli anfiboli durante il metamorfismo retrogrado granulitico-anfibolico. Il Ti normalmente non viene coinvolto nei processi idrotermali che danno luogo a mineralizzazioni a solfuri, ma fenomeni metasomatici possono dar luogo a rocce ricche in magnetite contenenti apprezzabili quantità di TiO_2 (5-10 %). Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni di TiO_2 sono determinate dall'abbondanza di ossidi detritici, silicati detritici come clorite e minerali delle argille e da fasi diagenetiche come l'anatasio (Correns, 1978). In conseguenza di ciò il contenuto di Ti è più basso nelle rocce carbonatiche e quarzitiche (0.25 %) rispetto ad argilliti e grovacche (> 0.5 %). La sua dispersione è generalmente ristretta dall'adsorbimento da parte dei minerali argillosi e viene mobilizzato più rapidamente in condizioni di basso pH (< 4.5) e in presenza di acidi organici che

possono formare complessi chelati con Ti^{4+} (Correns, 1978).

L'uomo lo utilizza molto nell'industria aerospaziale, come pigmento bianco nella pittura, come additivo di cibi quali farina bianca e prodotti caseari e, infine, è utilizzato nell'industria cosmetica e della plastica. Il Ti è considerato fisiologicamente inerte eccetto per i composti acidi che possono provocare irritazioni.

6.29,1 - Distribuzione geochimica del Ti nei suoli superficiali

La distribuzione puntuale di dati geochimici del Ti (Tavola 37A) è simile a quella del Fe; essa evidenzia una concentrazione dei valori più elevati (0.153 – 0.192 %) in corrispondenza della parte settentrionale dell'isola, da Forio ad Ischia Porto. Campioni con concentrazioni intermedie, comprese tra 0.121 e 0.153 %, sono distribuiti in modo più o meno uniforme su tutto il territorio, ad eccezione della fascia costiera meridionale dove sono prevalenti valori appartenenti all'intervallo 0.024 – 0.121 %.

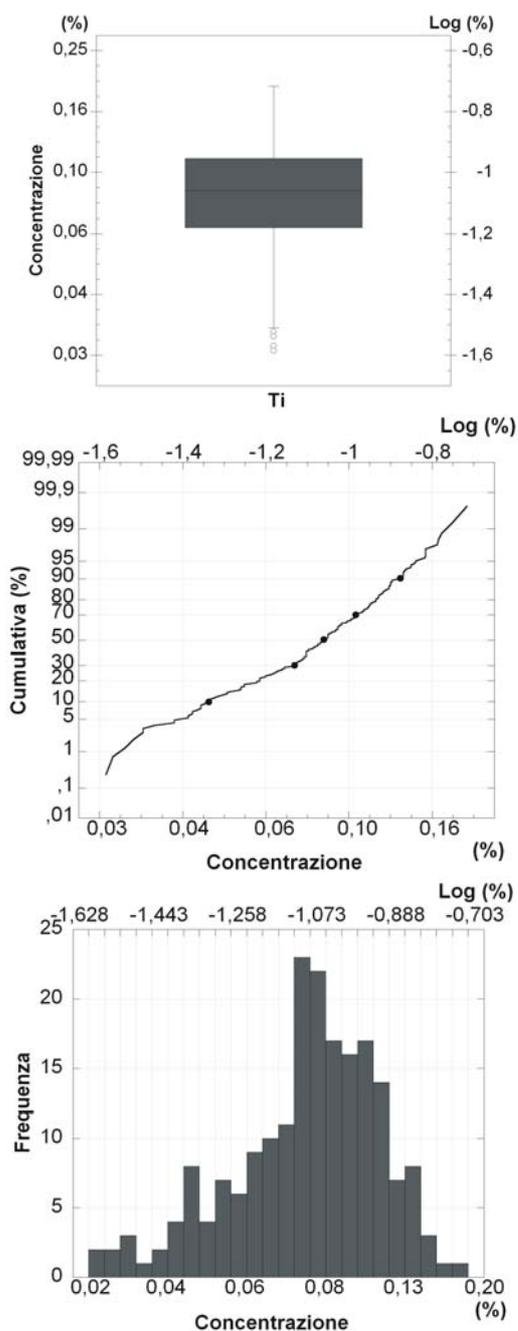
La carta dei dati interpolati del Ti (Tavola 37B) mostra che le concentrazioni più elevate (fra 0.175 e 0.189 %) sono caratteristiche di un'area situata in prossimità del Monte Trippodi. Concentrazioni medio-alte, comprese tra 0.091 e 0.189 %, si riscontrano in lembi di territorio distribuiti in modo più o meno uniforme sull'isola, mentre i valori più bassi (0.026 – 0.091 %) caratterizzano il settore sud-occidentale dell'isola, una parte di quello orientale e la zona tra Bagni e Casamicciola.

La distribuzione dei valori *baseline* (Tavola 37C) del Ti mostra che i tenori di fondo più elevati, compresi tra 0.143 e 0.175 %, caratterizzano i suoli a nord di Montevergine (colata di Zaro) e la zona di Forio. Valori intermedi, appartenenti all'intervallo 0.118 – 0.143 %, si riscontrano nelle aree a ridosso di quelle di massimo, oltre che in lembi di territorio situati prevalentemente nel settore centro-settentrionale dell'isola e di uno ubicato a nord-est di Barano. Il resto del territorio presenta tenori di fondo attuale compresi tra 0.024 e 0.118 %.

La carta delle anomalie mostra che non si riscontrano situazioni di notevole interesse per il Ti (Tavola 37D) fatta eccezione di ristrette aree ubicate in corrispondenza del Monte Trippodi, di Lacco Ameno e di Barano in cui i valori sono compresi nell'intervallo 0.054 – 0.110 %.

6.29,2 - Distribuzione del Ti negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del Ti negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 37E) mostra, nella metà occidentale dell'isola, così come il Fe, prevalente arricchimento di tale elemento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da materiale derivante dall'alterazione della roccia madre; il Ti, infatti, può entrare nel reticolo cristallino delle miche (nell'area particolarmente abbondanti per la presenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento) in sostituzione del Fe o del Mg. Nella metà occidentale dell'isola si riscontrano, invece, anche leggeri arricchimenti nell'orizzonte superficiale

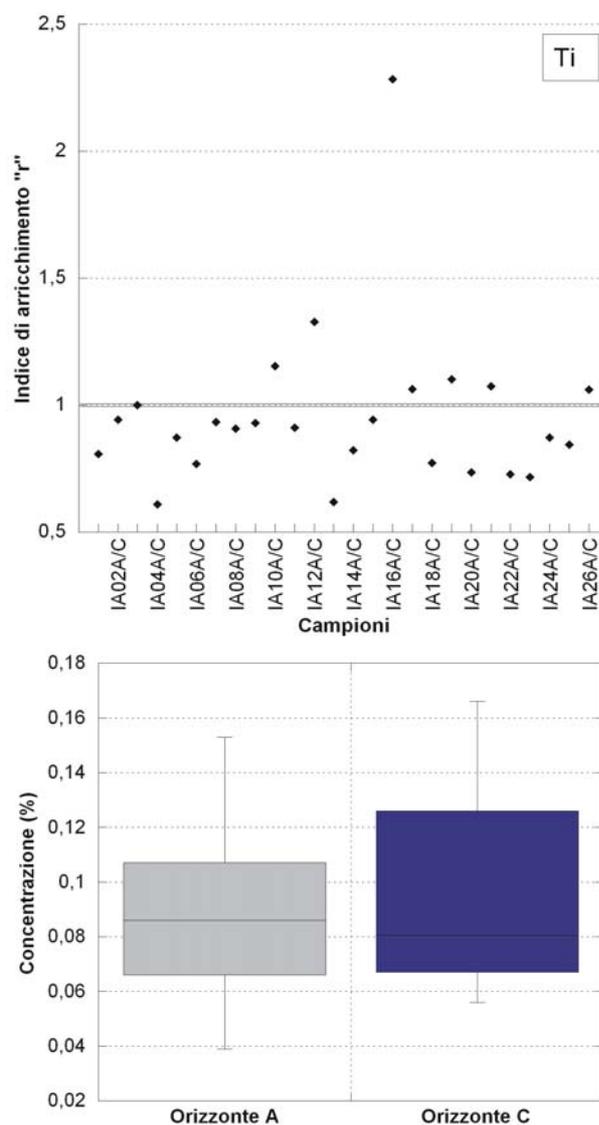


Parametri statistici (%)	
N° campioni	198
Minimo	0.03
Massimo	0.19
Media aritmetica	0.09
Mediana	0.09
Media geometrica	0.08
Moda	0.08
25° Percentile	0.07
75° Percentile	0.11
Deviazione standard	0.03
Limite di rilevabilità strumentale	0.01
Accuratezza	3.00
Precisione	4.00

Figura 6.29a– Distribuzione statistica del Ti.

($1.0 \leq r \leq 1.3$), legati probabilmente a fenomeni di ossidazione secondaria. Solo in un punto ubicato a nord di Campagnano, r è pari a 2.3.

La mappa della distribuzione del Ti negli orizzonti A e C (Tavola 37F) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) ricavati con l'ausilio del GeoDAS, che corrispondono, nel caso del Ti, ai valori di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (%)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.04	0.06
Massimo	0.15	0.17
Media aritmetica	0.09	0.09
Mediana	0.09	0.08
Media geometrica	0.08	0.09
Moda	0.10	
25° Percentile	0.07	0.07
75° Percentile	0.11	0.12
Deviazione standard	0.03	0.03
Limite di ril. Strum.	0.00	0.00
Accuratezza		
Precisione	0.11	0.11

Figura 6.29b – Distribuzione statistica del Ti negli orizzonti A e C.

6.30 - Tallio (Tl)

E' un elemento calcofilo caratterizzato da una bassa mobilità. In natura lo si ritrova associato al Nb, fatta eccezione per le rocce pegmatitiche, e al Li nelle pegmatiti. La concentrazione del Tl nella crosta terrestre aumenta all'aumentare dell'acidità nelle rocce ignee e all'aumentare della frazione argillosa nelle rocce sedimentarie. Lo ione Tl^+ è generalmente associato al K e al Rb, infatti il suo comportamento geochimico è molto simile a quello del K (Wedepohl, 1995).

Le maggiori sorgenti antropogeniche di Tl sono la combustione del carbone, la lavorazione dei metalli e l'industria del cemento. Esso è ottenuto come sottoprodotto dell'estrazione di altri metalli quali Cd, Fe e Zn. È usato come catalizzatore, semiconduttore, come pigmento, nella produzione di gioielli e in medicina come depilante. Componenti del Tl trovano impiego come veleno per ratti e insetticidi.

Nell'uomo il Tl è assorbito attraverso la pelle e dal tratto gastrointestinale; dopo avvelenamento, alte concentrazioni di questo metallo si trovano nel rene e nelle urine. Numerosi sono i casi di avvelenamento acuto da Tl caratterizzati da irritazione gastrointestinale, paralisi e disturbi psichici. Il Tl, uno dei metalli più tossici, causa danni neuronali, epatici e renali (Fowler, 1982). Queste patologie sono in genere dovute a contaminazione di cibi.

6.30,1 - Distribuzione geochimica del Tl nei suoli superficiali

Le concentrazioni analitiche puntuali più elevate di Tl (Tavola 38A), comprese tra 4.7 e 69.0 mg/Kg, si riscontrano in pochi campioni ubicati in corrispondenza del settore costiero settentrionale dell'isola, più precisamente ad ovest di Ischia Porto nell'area di Montevergine. Valori medio-alti, appartenenti all'intervallo 1.0 – 4.7 mg/Kg, caratterizzano alcuni campioni prelevati nell'area di Ischia Porto ed in quella della punta nord-occidentale dell'isola. La maggior parte del territorio è caratterizzata da concentrazioni analitiche di Tl comprese tra 0.5 e 1.0 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati del Tl (Tavola 38B) mostra che valori appartenenti all'intervallo 3.5 – 66.7 mg/Kg ricoprono l'area ad ovest di Ischia Porto e una zona ristretta a nord di Montevergine. Il resto dell'isola è caratterizzato da valori di concentrazione molto bassi compresi tra 0.5 e 3.5 mg/Kg.

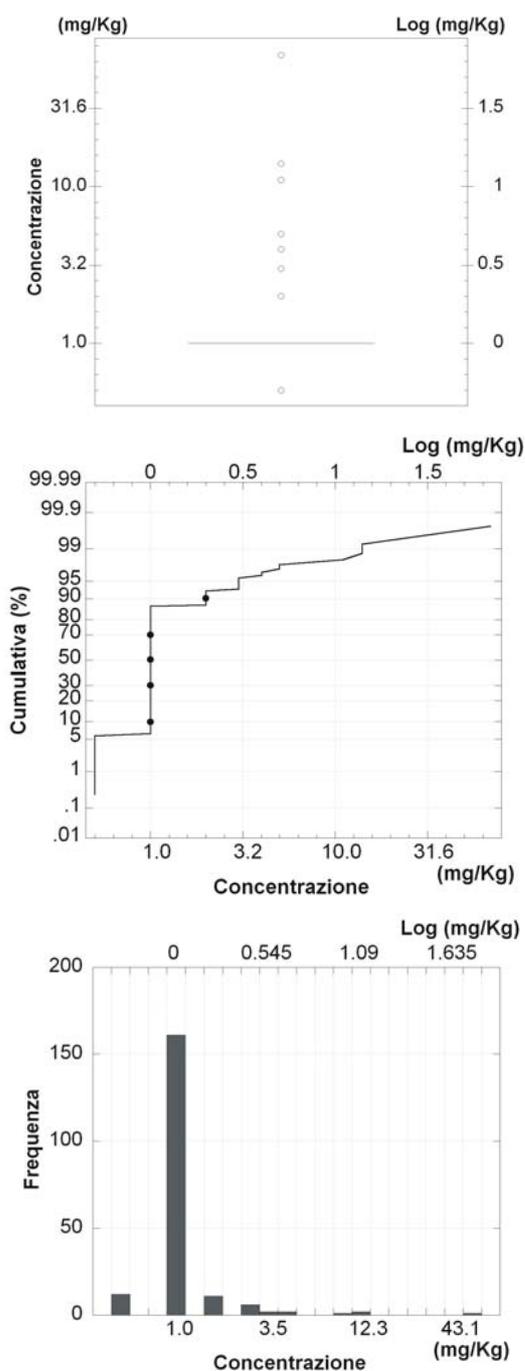
La carta dei valori *baseline* (Tavola 38C) mostra che il tenore di fondo naturale più elevato caratterizza la zona nord-occidentale dell'isola e l'area compresa tra Ischia Porto e Casamicciola (4.4 – 7.8 mg/Kg); da queste aree il valore di fondo decresce gradualmente fino all'intervallo 1.6 – 2.6 mg/Kg che caratterizza anche una piccola porzione di territorio ubicato a sud di Piedimonte. Il resto dell'isola presenta valori compresi tra 0.5 e 1.6 mg/Kg. La totale assenza di attività di carattere antropico a cui imputare arricchimento di Tl nei suoli, conduce ad affermare che i valori del tenore di fondo attuale coincidono con quelli del tenore di fondo naturale (*background*). Le

cause di concentrazioni così elevate sono infatti di carattere geogenico.

Non si notano, per ciò che concerne la stima delle anomalie (Tavola 38D), situazioni rilevanti; esse sono praticamente nulle (-5.4 – 2.5 mg/Kg) su tutta l'isola, fatta eccezione di una ristrettissima area ubicata ad ovest di Ischia Porto dove vengono raggiunti valori molto elevati, fino a 60.2 mg/Kg.

Le soglie di intervento per il TI, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 1 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 10 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento (Tavola 38E) prodotta per il TI individua come a rischio per l'uso a verde pubblico, privato e residenziale la porzione di territorio compresa tra Ischia Porto ed Ischia Ponte e quella della punta nord-occidentale dell'isola. Inoltre, due singoli campioni ubicati l'uno nei pressi di Barano e l'altro sul Monte Epomeo, superano tale limite. Dalla descrizione della mappa dei valori *baseline* è stato rilevato che i valori del tenore di fondo naturale per la maggior parte dell'isola sono superiori a 1 mg/Kg, quindi, in caso di intervento in queste aree, la soglia per uso residenziale/ricreativo stabilita dal Ministero dell'Ambiente dovrebbe essere innalzata.

Inoltre, tre campioni, prelevati nell'area di Casamicciola, superano anche il limite per l'uso commerciale ed industriale del territorio; dall'analisi della Tavola 2 è ben evidente che questa area è caratterizzata da una presenza notevole di sorgenti di acque termali, probabili responsabili dell'apporto di tale elemento nel suolo.



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.5
Massimo	69
Media aritmetica	1.7
Mediana	1,0
Media geometrica	1.1
Moda	1,0
25° Percentile	1.0
75° Percentile	1.0
Deviazione standard	5.07
Limite di rilevabilità strumentale	5.0
Accuratezza	0.0
Precisione	0.0

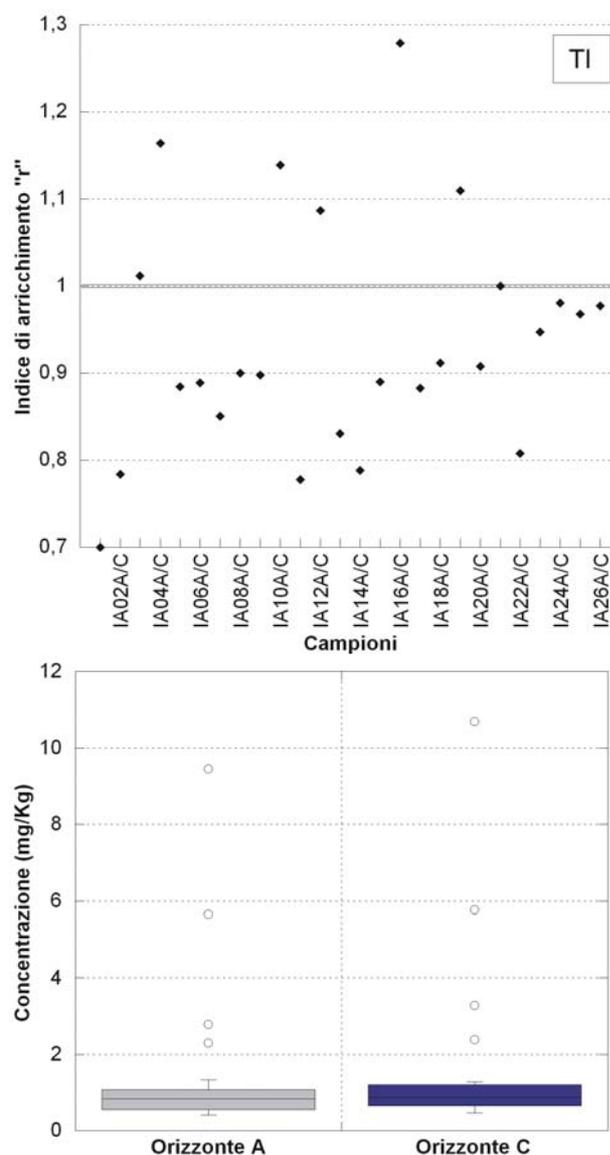
Figura 6.30a– Distribuzione statistica del TI.

6.30,2 - Distribuzione del TI negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del TI negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 38F) mostra che la concentrazione di questo elemento alle diverse profondità è approssimativamente costante. Si riscontra un leggero arricchimento nell'orizzonte C; i valori di r sono comunque di poco inferiori o pari ad 1 nella maggior parte del territorio, fatta eccezione di pochi punti, uniformemente distribuiti, nei quali è evidente un lieve arricchimento nell'orizzonte superficiale. Questo tipo di distribuzione è dovuto alla presenza diffusa di fumarole e sorgenti idrotermali sull'isola; il TI mostra infatti affinità con l'attività idrotermale.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di TI negli orizzonti A e C (Tavola 38G), confermando la natura geogenica di tale elemento nei suoli e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.

E' da notare, infatti, come anche nell'orizzonte C vengano superati, per il TI, i limiti imposti dal D.M. 471/99. Ciò accade nelle aree di Ischia Porto, Ischia Ponte, Campagnano, Lacco Ameno e a ovest di Succhivo per il limite per l'uso ricreativo/residenziale; nella zona di Montevergine per l'uso industriale e commerciale.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.41	0.46
Massimo	9.45	10.68
Media aritmetica	1.42	1.54
Mediana	0.84	0.87
Media geometrica	0.96	1.03
Moda	0.54	0.87
25° Percentile	0.57	0.66
75° Percentile	1.06	1.17
Deviazione standard	1.96	2.17
Limite di ril. strum.	0.02	0.02
Accuratezza		
Precisione	0.01	0.01

Figura 6.30b – Distribuzione statistica del TI negli orizzonti A e C.

6.31 - Uranio (U)

E' classificato come litofilo; è molto mobile in condizioni ossidanti, specialmente in acque acide e ricche in carbonati, mentre risulta immobile in condizioni riducenti.

Si ritrova in associazione con Co e Ag in depositi a solfuri. La sua mobilità è fortemente influenzata da fenomeni di adsorbimento su ossidi di Fe e Mn e materia organica. Nelle acque è molto mobile ed è utilizzato come elemento guida per la ricerca di giacimenti di U e di fosforiti ricche in U. E' un metallo radioattivo che presenta numerosi stati di ossidazione (+3, +4, +5, +6).

Nei magmi, si concentra nei prodotti differenziati degli ultimi stadi del processo magmatico spesso in minerali accessori come zircone e allanite. Graniti e pegmatiti sono più ricchi di U rispetto alle rocce ignee basiche. Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni di U sono generalmente più basse nelle arenarie che nei sedimenti argillosi; livelli più alti si rinvencono in argille ricche di materiale organico e nei sedimenti fosfatici. Tende, inoltre, a formare strette associazioni con materiale organico e forti complessi con fosfati disciolti; in questa forma può essere precipitato da Ca o Pb oppure può cooprecipitare con ossidi secondari di Fe. La solubilità dell'U può essere nettamente ridotta dalla presenza in soluzione del V con il quale forma la carnotite, minerale altamente insolubile (Drever, 1988).

L'U è ampiamente utilizzato nella produzione di energia nucleare. Nell'uomo è rapidamente assorbito dal tratto

gastrointestinale e il 60 % è escreto attraverso le urine in 24 ore, ma il 25 % è fissato nelle ossa. L'esposizione a concentrazioni elevate di composti solubili di U comporta una tossicità sistemica e renale che può talvolta risultare fatale. Queste osservazioni derivano da studi effettuati su un campione di mille lavoratori di centrali nucleari, mentre non ci sono evidenze circa la tossicità da U sulla popolazione in generale.

6.31,1 - Distribuzione geochemica dell'U nei suoli superficiali

La distribuzione dei valori analitici di U presenta una elevata somiglianza con quella del Th (Tavola 39A). Le concentrazioni puntuali più elevate, comprese fra 7.0 e 15.0 mg/Kg, si riscontrano in soli due campioni ubicati uno a nord di Montevergine e l'altro a nord-est di Succivo. Punti contenenti concentrazioni appartenenti all'intervallo 3.9 – 7.0 mg/Kg, sono situati nelle medesime aree sopra elencate, in corrispondenza dei suoli generatisi su tufi trachitici affioranti nell'area di Ciglio – Succivo - Lido dei Maronti e nella zona a nord di Montevergine (Tavola 1). La parte restante del territorio è caratterizzato da concentrazioni molto basse comprese tra 1.0 e 3.9 mg/Kg.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 39B) mostra che valori elevati, compresi tra 8.4 e 14.7 mg/Kg, caratterizzano solo l'area a nord di Montevergine. Concentrazioni appartenenti all'intervallo 3.9 – 8.4 mg/Kg si riscontrano nella fascia di territorio che circonda l'area caratterizzata da valori massimi, nell'area ad ovest di Lido dei

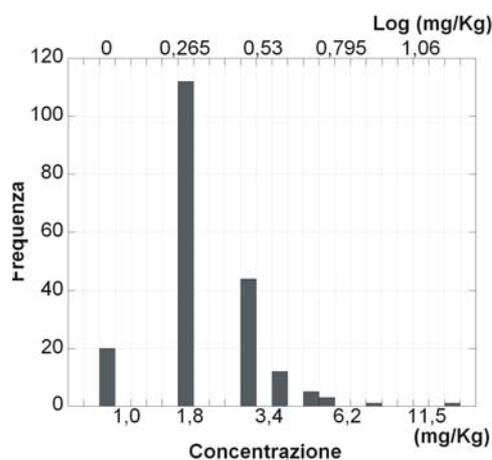
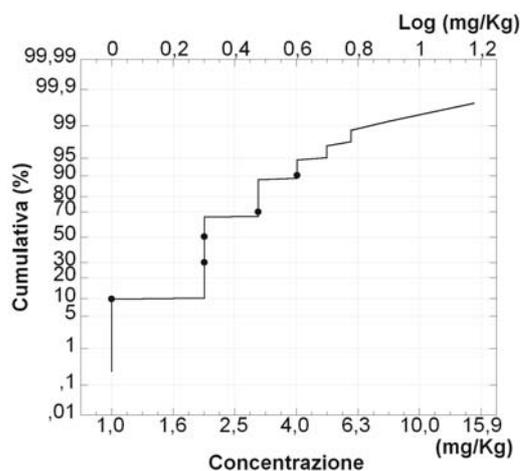
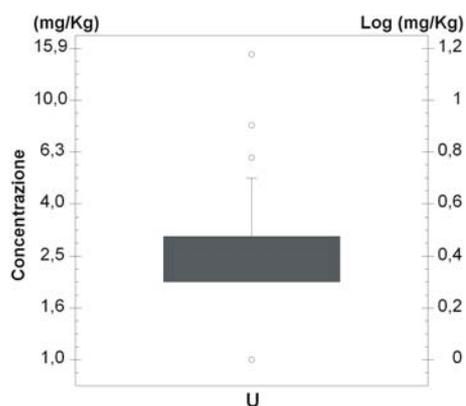
Maronti ed in lembi molto ridotti in corrispondenza del Monte Trippodi e della parte occidentale di Ischia Porto. Nel resto dell'isola i valori di concentrazione sono medio - bassi e appartengono all'intervallo 1.0 – 3.9 mg/Kg.

I valori del tenore di fondo attuale (*baseline*) più elevati (Tavola 39C), appartenenti all'intervallo 5.8 – 7.2 mg/Kg, caratterizzano i suoli dell'area a nord di Lacco Ameno. Tenori di fondo naturale compresi tra 3.7 e 5,8 mg/Kg si riscontrano nella zona posta ad ovest di Lido dei Maronti e in una fascia di territorio a ridosso di quella caratterizzata da valori massimi. Nel resto dell'isola i valori sono compresi tra 1.0 e 3.7 mg/Kg. Non essendoci fonti di contaminazione da U di carattere antropico, si può affermare i valori di *baseline* coincidono con quelli di *background* (tenore di fondo naturale).

La carta della distribuzione delle anomalie (Tavola 39D) mostra che nell'isola non si registrano particolari situazioni di rilievo. La maggior parte del territorio è infatti caratterizzato da valori anomali pressoché nulli compresi tra -0.4 e 2.8 mg/Kg; fa eccezione solo un'area di ridottissima estensione situata ad ovest di Lacco Ameno dove si raggiungono tenori compresi fra 2.8 e 10.5 mg/Kg.

6.31,2 - Distribuzione dell'U negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dell'U negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 39E), così come il Th, mostra arricchimenti di tale elemento nell'orizzonte più profondo, indicando un controllo sull'origine di tale

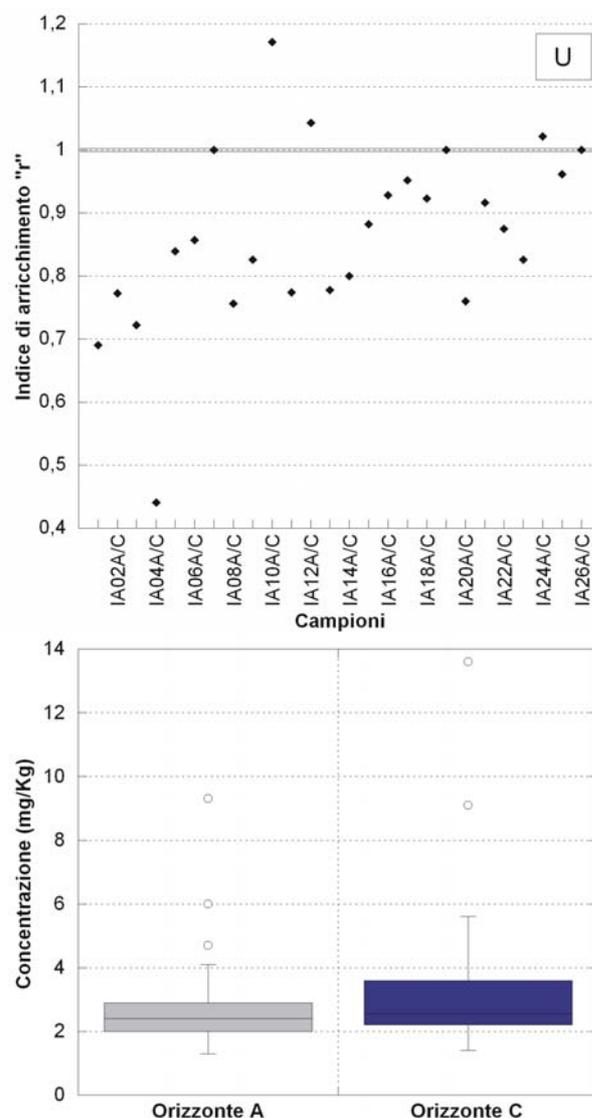


Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	1.0
Massimo	15
Media aritmetica	2.5
Mediana	2.0
Media geometrica	2.3
Moda	2.0
25° Percentile	2.0
75° Percentile	3.0
Deviazione standard	1.36
Limite di rilevabilità strumentale	5.0
Accuratezza	4.6
Precisione	0.0

Figura 6.31a– Distribuzione statistica dell'U.

elemento di natura litologica. I valori di r sono superiori all'unità ($r = 1.2$) in un solo punto ubicato ad est di Succhivo.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di U nell'orizzonte C (Tavola 39F), confermando la natura geogenica dello stesso nei suoli dell'isola e la rispondenza dei valori *baseline* con i valori *background*.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	1.3	1.4
Massimo	9.3	13.6
Media aritmetica	2.8	3.5
Mediana	2.4	2.6
Media geometrica	2.5	3.0
Moda	2.4	2.4
25° Percentile	2.0	2.2
75° Percentile	2.8	3.6
Deviazione standard	1.68	2.59
Limite di ril. strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.31b – Distribuzione statistica dell'U negli orizzonti A e C.

6.32 - Vanadio (V)

E' un elemento leggermente mobile, classificato come litofilo; si ritrova in associazione col P in fosforiti sedimentarie, con U e con il Fe in alcune mineralizzazioni e nel materiale organico. Si ritrova allo stato nativo ed, in ambiente magmatico, il V^{3+} sostituisce l'U, anch'esso trivalente in prodotti di segregazione precoce.

Le rocce basiche sono più arricchite in V delle rocce magmatiche intermedie e acide. Il suo contenuto nelle rocce sedimentarie dipende dalle quantità presenti di ossidi detritici di Fe, di minerali argillosi, di ossidi idrati di Fe e Mn e di materiale organico. Il contenuto medio di V in arenarie quarzitiche e sedimenti carbonatici è basso, valori maggiori si hanno nelle grovacche e nelle argilliti, in particolare nelle argille nere. Il comportamento del V nell'ambiente superficiale dipende molto dal suo stato di ossidazione: è relativamente immobile in ambiente riducente. Nell'ambiente superficiale il V tende a concentrarsi in due distinte frazioni geochimiche: minerali restitici, come ossidi detritici di Fe e silicati di Fe-Mg e fasi adsorbite dalla materia organica, ossidi idrati di Fe e Mn e minerali delle argille.

Il V è un elemento ubiquitario; deriva come sottoprodotto della raffinazione del petrolio, è usato nella manifattura di pigmenti, nella fotografia, come insetticida ed è presente in molti cibi quali, latte, pesce, cereali e vegetali; ha una naturale affinità per grassi e oli per cui i cibi grassi presentano alte concentrazioni di questo elemento. Il pentossido di vanadio ($V_2 O_5$) è utilizzato

nelle ceramiche. Le concentrazioni di V nell'aria e nell'acqua potabile dipendono anche dalle immissioni nell'ambiente da parte di raffinerie e dall'uso di prodotti petroliferi. L'azione tossica del V nell'uomo è confinata al tratto respiratorio (Snyder, 1999), bronchiti e broncopolmoniti sono frequenti tra i lavoratori esposti ai composti del V; esso esercita, inoltre, un'azione irritante per la pelle e per gli occhi. L'esposizione ad alte concentrazioni di V può causare disturbi gastrointestinali, tremore, depressione e danni renali.

6.32,1 - Distribuzione geochimica del V nei suoli superficiali

La distribuzione dei valori analitici del V presenta elevata similitudine con quelle di Fe e Mn. Le concentrazioni puntuali (Tavola 40A) più elevate, comprese fra 53 e 58 mg/Kg, si riscontrano in soli tre campioni ubicati corrispondenza di Forio e del Monte Epomeo. Valori medi, appartenenti all'intervallo 36 – 53 mg/Kg, caratterizzano campioni distribuiti omogeneamente sull'isola, specie nelle zone più interne; campioni contenenti concentrazioni di V inferiori, comprese tra 6 e 36 mg/Kg, caratterizzano maggiormente le aree costiere.

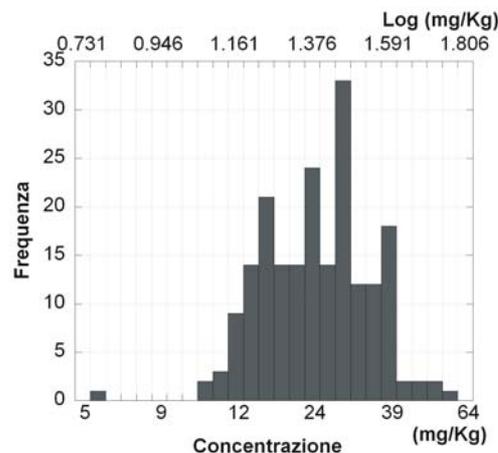
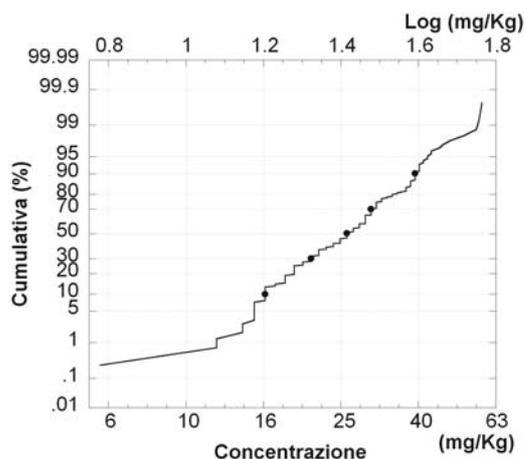
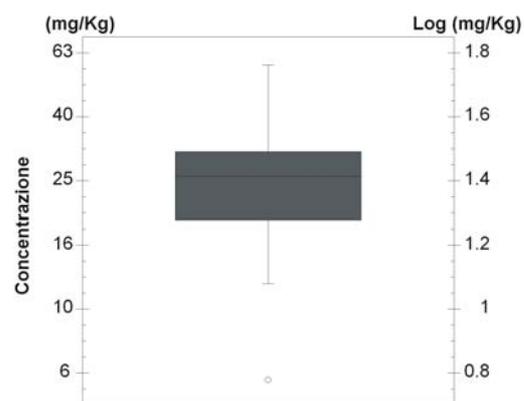
La rappresentazione dei dati mediante interpolazione (Tavola 40B) meglio evidenzia la distribuzione alquanto omogenea del vanadio nei suoli dell'isola; si nota inoltre che i valori più bassi (6 – 24 mg/Kg) si riscontrano lungo la fascia costiera meridionale e in corrispondenza dell'angolo nord-ovest dell'isola, dove

affiorano vulcaniti trachifonolitiche e tufi trachitici. Le concentrazioni relativamente più elevate (30 – 57 mg/Kg) sono presenti, invece, perlopiù nei suoli del settore occidentale dell'isola. Concentrazioni comprese tra 24 e 30 mg/Kg segnano il passaggio graduale alle concentrazioni superiori.

La cartografia dei tenori di fondo attuale (Tavola 40C) mostra che valori più elevati, compresi tra 35 e 58 mg/Kg, appartengono ai suoli dell'area di Forio (46 - 58 mg/Kg) e di alcuni lembi di territorio distribuiti soprattutto nella metà occidentale dell'isola. Valori *baseline* più bassi, appartenenti all'intervallo 24 - 35 mg/Kg, caratterizzano gran parte della superficie, fatta eccezione per la fascia costiera meridionale ed una striscia di territorio orientata in direzione NW-SE, che attraversa la parte nord-orientale dell'isola percorrendola da Casamicciola ad Ischia Ponte, che presentano valori compresi tra 6 e 24 mg/Kg. Non essendo presenti sull'isola fonti antropiche a cui imputare il contenuto di V nei suoli, si può affermare che i valori del tenore di fondo attuale coincidono con quelli del tenore di fondo naturale (*baseline*).

Non si evidenziano per il V particolari situazioni anomale (Tavola 40D). Generalmente il territorio è caratterizzato da valori compresi fra -5 e 3 mg/Kg, con alcuni eccessi (valori compresi fra 15 e 33 mg/Kg), caratteristici di aree con una estensione molto limitata ubicate a sud di Monte Epomeo ed in corrispondenza di Forio e di Ischia Porto.

Le soglie di intervento fissate per il V dal



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	6.0
Massimo	58
Media aritmetica	26.9
Mediana	26.0
Media geometrica	25.4
Moda	29
25° Percentile	19
75° Percentile	31
Deviazione standard	9.16
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	3.9
Precisione	3.0

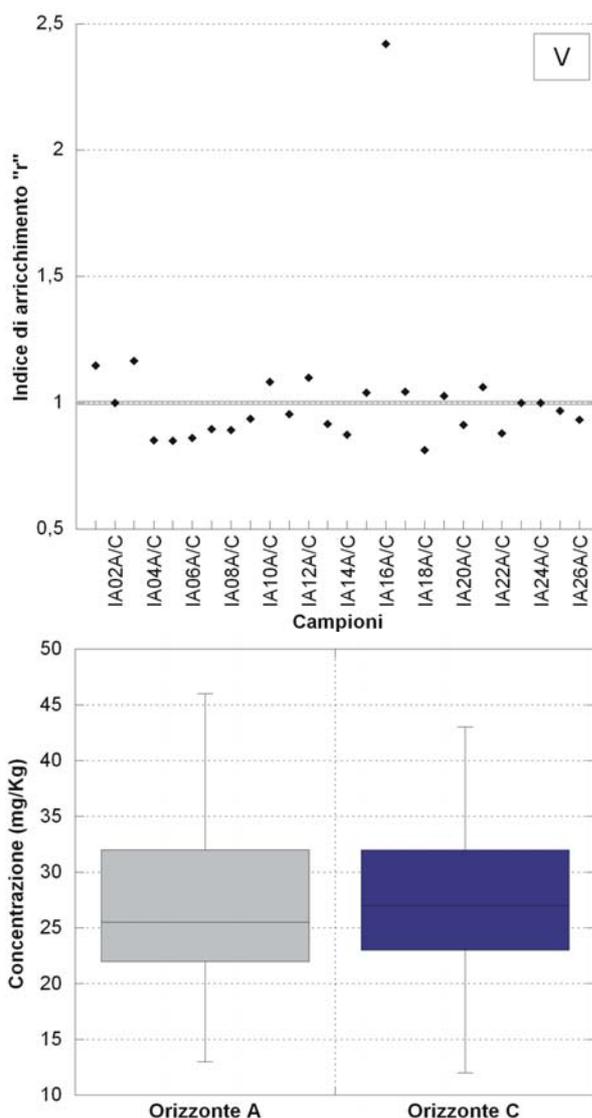
Figura 6.32a – Distribuzione statistica del V.

D.M. 471/1999 sono di 90 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 250 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento (Tavola 40E) prodotta per questo elemento mostra che in nessun campione vengono superate le concentrazioni limite imposte dal suddetto Decreto.

6.32,2 - Distribuzione del V negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del V negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 40F) mostra, nella metà occidentale dell'isola, così come il Fe e il Ti, prevalente arricchimento di tale elemento nell'orizzonte più profondo, quello costituito da materiale derivante dall'alterazione della roccia madre; il V, infatti, può sostituire il Fe. Nella metà occidentale dell'isola si riscontrano, invece, anche leggeri arricchimenti nell'orizzonte superficiale ($1.0 \leq r \leq 1.2$), legati probabilmente a fenomeni di ossidazione secondaria. Solo in un punto ubicato a nord di Campagnano, r è pari a 2.4.

La mappa della distribuzione del V negli orizzonti A e C (Tavola 40G) mostra valori coincidenti con il tenore di fondo attuale (*baseline*) ricavati con l'ausilio del GeoDAS, che corrispondono, nel caso del Ti, ai valori di fondo naturale (*background*).



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	13	12
Massimo	46	43
Media aritmetica	27	27
Mediana	25.5	27.0
Media geometrica	26.1	26.1
Moda	23.0	27.0
25° Percentile	22.3	23.0
75° Percentile	31.8	31.5
Deviazione standard	7.12	7.15
Limite di ril. Strum.	2.00	2.00
Accuratezza		
Precisione	0.02	0.02

Figura 6.32b – Distribuzione statistica del V negli orizzonti A e C.

6.33 - Wolframio (W)

Il W, conosciuto anche come tungsteno, è un elemento siderofilo con mobilità da intermedia a bassa. E' associato con Mo, Sn, Nb nei differenziati ignei; in ambiente idrotermale si ritrova in filoni con wolframite associata a cassiterite, calcopirite, arsenopirite, bismutinite, quarzo.

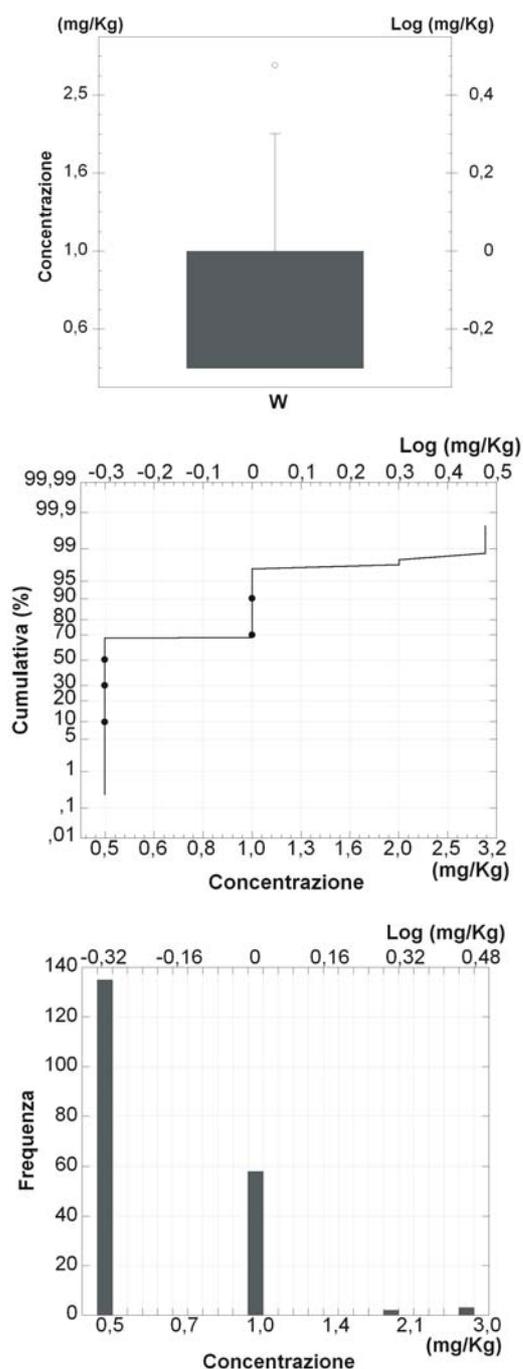
La concentrazione del W nella crosta terrestre aumenta al crescere dell'acidità nelle rocce ignee e all'aumentare della frazione argillosa nelle rocce sedimentarie. Non vi sono molti dati in letteratura circa la concentrazione di W nei suoli; Kabata-Pendias & Pendias (2001) riportano un contenuto medio di W che oscilla tra 0.7 e 2.7 mg/Kg.

E' utilizzato nella fabbricazione di lampadine elettriche, elettrodi e tubi catodici.

Dal punto di vista biologico il W non ha un ruolo significativo.

6.33,1 - Distribuzione geochimica del W nei suoli superficiali

La carta dei dati analitici puntuali (Tavola 41A) mostra che le concentrazioni più elevate di W, comprese fra 1.90 e 3.00 mg/Kg, si individuano in cinque campioni situati a nord di Montevergine, in corrispondenza di S. Francesco, ad Ischia Porto e a Campagnano. Valori bassi, appartenenti all'intervallo 0.70 – 1.10 mg/Kg, sono contenuti nei campioni prelevati dal settore orientale e dagli angoli nord-occidentale e sud-occidentale dell'isola. Concentrazioni molto basse (0.50 – 0.70 mg/Kg) caratterizzano i suoli di gran parte del settore occidentale dell'isola, in



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	0.5
Massimo	3.0
Media aritmetica	0.7
Mediana	0.5
Media geometrica	0.6
Moda	0.5
25° Percentile	0.5
75° Percentile	1.0
Deviazione standard	0.39
Limite di rilevabilità strumentale	2.0
Accuratezza	23.4
Precisione	29.0

Figura 6.33a– Distribuzione statistica del W.

corrispondenza del Tufo Verde del Monte Epomeo e dei prodotti del suo disfacimento (frane da crollo a nord e colate di fango a sud del Monte Epomeo).

La distribuzione dei dati interpolati del W (Tavola 41B) presenta le concentrazioni più elevate, comprese fra 2.00 e 2.95 mg/Kg, in aree molto ristrette in corrispondenza di Forio, ad ovest di Monte Vico e ad Ischia Porto. Valori compresi tra 1.20 e 2.00 mg/Kg caratterizzano, oltre che ristrettissime fasce attorno alle aree che presentano valori massimi, lembi ridotti di territorio in prossimità di Campagnano e ad ovest di Ischia Porto. Valori compresi tra 0.54 e 1.20 mg/Kg ricoprono gran parte del settore orientale dell'isola e quelli nord-occidentale e sud-occidentale. La restante metà occidentale è caratterizzata da concentrazioni appartenenti all'intervallo 0.50 – 0.54 mg/Kg, insieme all'angolo sud-orientale dell'isola.

Dalla carta che illustra i tenori di fondo attuale (Tavola 41C) risulta evidente che le aree di San Francesco, di Ischia Porto e quella a nord di Montevergine presentano i valori *baseline* più elevati, compresi cioè fra 1.45 e 2.11 mg/Kg. Tenori di fondo medi (da 0.75 a 1.45 mg/Kg) caratterizzano il territorio del graben di Ischia e fasce ristrette attorno alle aree di massimo suddette. La restante parte della superficie presenta valori *baseline* evidentemente più contenuti compresi nell'intervallo 0.50 – 0.75 mg/Kg.

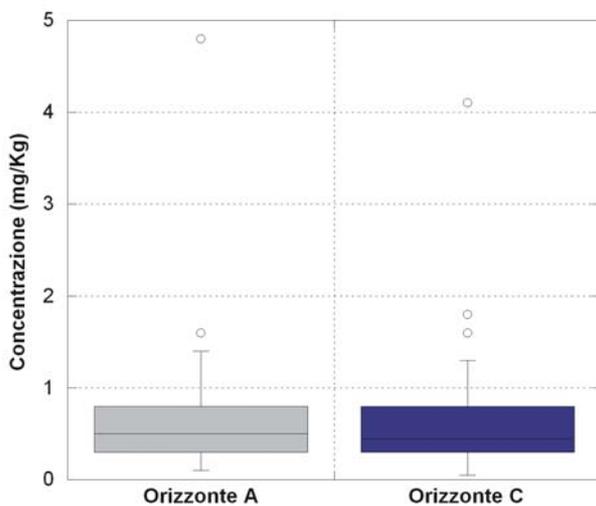
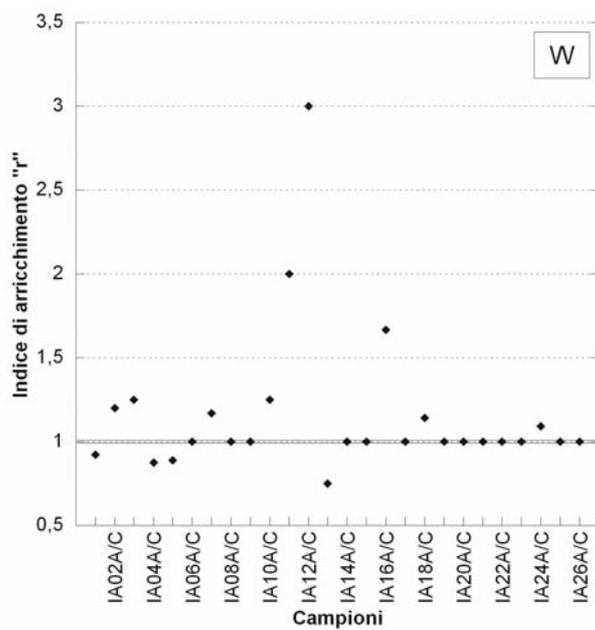
Per quanto riguarda la distribuzione delle anomalie del W (Tavola 41D) non si registrano situazioni di particolare rilievo. La maggior parte dell'isola presenta valori

anomali compresi nell'intervallo fra -0.14 e 0.39 mg/Kg. Solo aree molto ristrette, in corrispondenza di San Francesco, Ischia Porto, Campagnano e a nord di Montevergine, sono caratterizzate da valori anomali relativamente alti compresi tra 0.39 e 1.45 mg/Kg.

6.33,2 - Distribuzione del W negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione del W negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 41E) mostra arricchimento nell'orizzonte superficiale; *r* presenta valori compresi tra 1.0 e 2.0 su quasi tutto il territorio, tranne che in un punto a nord-est di Ciglio ($r = 3$) e in alcuni siti in cui è leggermente inferiore all'unità.

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del GeoDAS, mostra valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di W nell'orizzonte A (Tavola 41F). Questo dato è una conferma della rispondenza dei due metodi.



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	0.1	0.1
Massimo	4.8	4.1
Media aritmetica	0.7	0.7
Mediana	0.5	0.5
Media geometrica	0.5	0.4
Moda	0.3	0.3
25° Percentile	0.3	0.3
75° Percentile	0.8	0.8
Deviazione standard	0.92	0.83
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.00	0.00

Figura 6.33b – Distribuzione statistica del W negli orizzonti A e C.

6.34 - Zinco (Zn)

E' un elemento calcofilo, con una mobilità moderatamente alta, limitata dalla tendenza all'adsorbimento da parte del MnO_2 e della materia organica insolubile. Si trova in associazione con Cu, Pb, Ag, Sb, As in depositi di metalli base e preziosi. Esso forma utili dispersioni in acque sotterranee, in sedimenti fluviali e lacustri.

Lo Zn si rinviene più arricchito nelle rocce magmatiche basiche rispetto a quelle acide.

Nelle rocce sedimentarie la sua distribuzione è controllata dalla abbondanza dei silicati ferro-magnesiaci detritici, dalla magnetite e dai minerali argillosi (Ure & Berrow, 1982). Viene anche interamente adsorbito in ossidi di Fe e comunemente si riscontra una co-variazione con il Fe. Le rocce carbonatiche e le sabbie quarzoso-feldspatiche contengono scarse quantità di Zn rispetto alle grovacche e alle argilliti. Lo Zn mostra affinità con la materia organica e può essere mobilizzato più rapidamente dalla dissoluzione di solfuri e di contaminanti metallici galvanizzati. Il dilavamento dei solfuri in condizioni ossidanti può generare alte concentrazioni di solfati e carbonati dissolti di Zn. Altrimenti, viene rapidamente assorbito da ossidi secondari, minerali argillosi e materia organica in tutte le condizioni, ma maggiormente in condizioni di $pH < 4.5$.

Lo Zn è un metallo essenziale, presente come cofattore in più di 200 tipi di metalloproteine e una sua carenza nell'organismo genera un ampio spettro di conseguenze molto gravi per la salute, che variano a seconda dell'età e della presenza

o meno di altri metalli nell'organismo (Prasad, 1983). Deficit di Zn infatti, causano un ritardo nella crescita e nella maturazione sessuale; nei neonati invece, dermatiti, suscettibilità alle infezioni e anomalie di tipo neuropsicologico. Effetti tossici dovuti ad ingestione di Zn in eccesso sono piuttosto rari, mentre l'esposizione a fumi generati da industrie contenenti ossidi di Zn, causa la febbre da fumi pesanti.

6.34,1 - Distribuzione geochimica di Zn nei suoli superficiali

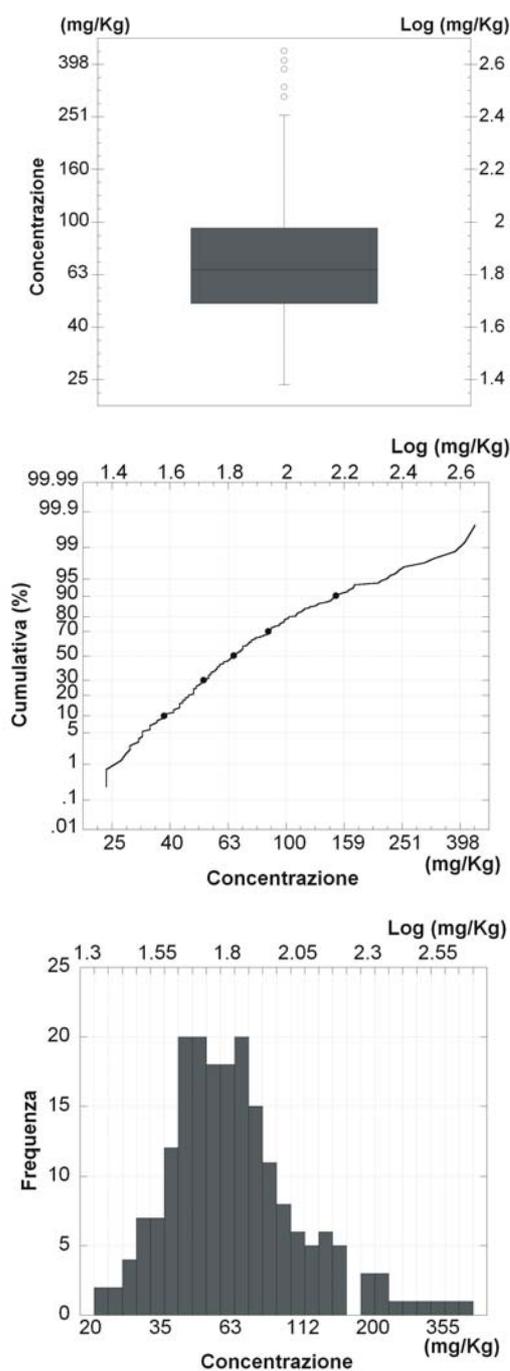
La distribuzione dei valori analitici dello Zn presenta elevata similitudine con quella dello Sb. La tavola 42A mostra che le concentrazioni elementari più elevate (276 - 488 mg/Kg) si ritrovano in corrispondenza dell'area a nord e ad ovest di Lido dei Maronti, a sud di Forio e a sud di Campagnano. Valori medio-alti, appartenenti all'intervallo 212 - 276 mg/Kg, caratterizzano alcuni campioni prelevati lungo la fascia costiera settentrionale dell'isola e nella zona a sud di Campagnano. La gran parte dei punti campionati è rappresentata da concentrazioni comprese tra 24 e 212 mg/Kg; essi sono distribuiti omogeneamente sull'isola.

La carta dei dati interpolati dello Zn (Tavola 42B) meglio evidenzia il carattere locale che hanno gli eccessi di concentrazione sull'isola. In particolare, i valori più elevati, compresi nell'intervallo 333 - 434 mg/Kg, caratterizzano aree molto ristrette a sud di Campagnano, a sud di Forio e a sud-est di Ciglio. Valori appartenenti all'intervallo 248 -

333 mg/Kg si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, lungo la costa meridionale nel tratto tra Succhivo e Lido dei Maronti. Concentrazioni medie (104 – 248 mg/Kg) ricoprono lembi di territorio distribuiti principalmente lungo l'intera fascia costiera, così come i valori medio-bassi appartenenti all'intervallo di concentrazione 71 – 104 mg/Kg. Tenori inferiori, compresi tra 24 e 71 mg/Kg, caratterizzano principalmente l'area centrale dell'isola, corrispondente all'alto morfologico del Monte Epomeo.

La distribuzione dei tenori di fondo attuale dello Zn (Tavola 42C) mostra valori *baseline* elevati (fra 180 e 242 mg/Kg) in aree ristrette ad est di Casamicciola, a Ciglio, Succhivo e Forio. Nelle aree di Forio e Casamicciola i valori elevati sono dovuti al traffico veicolare (Tavola 4). Nelle aree di Succhivo e a sud di Ciglio, dove il tasso di antropizzazione è basso e non sono evidenti forme di contaminazione antropica per questo elemento, tali valori potrebbero essere dovuti ad una intensa attività idrotermale, e quindi coincidere con i valori del tenore di fondo naturale (*background*). Valori intermedi compresi tra 65 e 180 mg/Kg caratterizzano quasi tutto il territorio, ad eccezione degli angoli sud-orientale e sud-occidentale dell'isola e del suo settore centrale che presentano tenori più bassi (24 – 65 mg/Kg). Essi possono essere ritenuti valori di fondo naturale.

Per ciò che concerne le anomalie (Tavola 42D), la maggior parte di territorio presenta valori moderati compresi fra -30 e 51 mg/Kg. Particolarmente anomale (valori



Parametri statistici (mg/Kg)	
N° campioni	198
Minimo	24
Massimo	448
Media aritmetica	84.7
Mediana	66
Media geometrica	71
Moda	48
25° Percentile	49
75° Percentile	95
Deviazione standard	64.15
Limite di rilevabilità strumentale	1.0
Accuratezza	1.4
Precisione	2.0

Figura 6.34a–Distribuzione statistica dello Zn

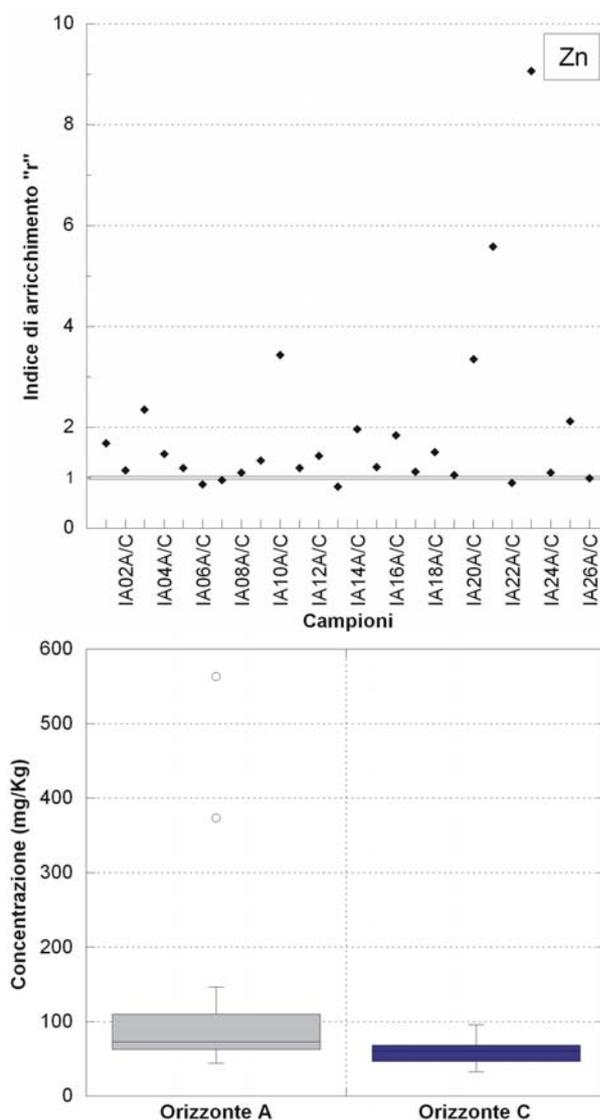
compresi fra 211 e 291 mg/Kg) risultano essere solo le aree di estensione molto limitata poste a sud di Ciglio e a Campagnano.

Le soglie di intervento per lo Zn, fissate dal D.M. 471/1999, sono di 150 mg/Kg per l'uso residenziale/ricreativo e di 1500 mg/Kg per l'uso industriale/commerciale del territorio. La carta di intervento prodotta per lo Zn (Tavola 42E) evidenzia il superamento delle soglie per l'uso a verde pubblico, privato e residenziale fissate dal Ministero dell'Ambiente in molti campioni ubicati in modo omogeneo lungo la fascia meridionale dell'isola e nel settore nord-orientale. In nessun campione viene superata, invece, la soglia per l'uso commerciale ed industriale del territorio.

6.34,2 - Distribuzione dello Zn negli orizzonti A e C dei suoli

La distribuzione dello Zn negli orizzonti A e C dei suoli dell'isola di Ischia (Tavola 42F) mostra un marcato arricchimento nell'orizzonte superficiale; i valori di r sono compresi tra 2.0 e 5.6 in diversi punti (Lacco Ameno, Ischia Porto, Barano, Lido Maronti, est di Succhivo) fino a raggiungere il valore di 9.1 in un punto a sud di Lacco Ameno. Questo tipo di distribuzione indica la presenza di fenomeni di natura secondaria quali responsabili della concentrazione di Zn nell'orizzonte A; essi sono tanto di natura geogenica (fenomeni idrotermali) quanto di natura antropica (traffico veicolare).

La mappa dei tenori di fondo attuale (*baseline*), realizzata con l'ausilio del



Parametri statistici (ppm)	A	C
N° campioni	26	26
Minimo	44.4	32.5
Massimo	563.0	95.7
Media aritmetica	111.3	58.3
Mediana	73.1	60.9
Media geometrica	88.6	56.2
Moda		
25° Percentile	62.9	46.6
75° Percentile	105.6	68.2
Deviazione standard	111.94	15.72
Limite di ril. Strum.	0.10	0.10
Accuratezza		
Precisione	0.03	0.03

Figura 6.34b – Distribuzione statistica dello Zn negli orizzonti A e C.

GeoDAS, mostra in linea generale valori *baseline* rispondenti alle concentrazioni di Zn negli orizzonti A e C (Tavola 42G).

7 – CARTE DELLA DISTRIBUZIONE DEI *FACTOR SCORES* DELLE ASSOCIAZIONI FATTORIALI

Sono di seguito riportati i commenti sulla distribuzione dei *factor scores* delle 5 associazioni fattoriali risultato dell'analisi multivariata in R-mode (De Vivo et al., 1981) applicata alle concentrazioni elementali dei 198 campioni di suolo superficiale prelevati durante la Fase I di campionatura.

7.1 - Associazione fattoriale F1: La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na

L'associazione F1, responsabile del 30.66 % della variabilità totale dei dati, nell'ambito del prescelto modello 5, presenta *loadings* di 0.93, 0.86, 0.84, 0.76, 0.75, 0.67, 0.52, 0.49 e 0.49 rispettivamente per La, Fe, Th, Mn, As, U, Al, Mg, Na.

Essa è imputabile esclusivamente a elementi di origine naturale. I *factor scores* più alti (Tavola 43A), con valori compresi tra 1.5 e 3.1, si riscontrano infatti in corrispondenza di Lido dei Maronti, Succivo e Montevergine, dove la presenza di tufi trachitici è predominante (Tavola 1). Le aree nei dintorni di quelle di massimo sono caratterizzate da valori compresi tra 1.00 e 1.50, mentre valori negativi dei *factor scores* (<-0.5) si riscontrano nella metà orientale dell'isola ed in corrispondenza di Forio e del Monte Epomeo; questi valori negativi indicano un mancato arricchimento nei suoli campionati degli elementi che costituiscono questa associazione.

7.2 - Associazione fattoriale F2: Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr

L'associazione fattoriale F2, responsabile del 14.90 % della variabilità totale dei dati, nell'ambito del prescelto modello 5, presenta *loadings* di 0.83, 0.80, 0.78, 0.73, 0.72, 0.66, 0.56 e 0.47 rispettivamente per Zn, Cd, Sb, P, Pb, Ca, Ba, Cr. Essa è controllata principalmente da elementi antropogenici, ma non può essere escluso il contributo geogenico.

La distribuzione dei *factor scores* di questa associazione (Tavola 43B) evidenzia che i valori più elevati (1.5 – 2.9) sono concentrati principalmente nella parte orientale dell'isola, in corrispondenza di Ischia Porto ed Ischia Ponte, oltre che nelle aree di Forio, Casamicciola e Barano. Le zone elencate sono quelle più urbanizzate, dove la fonte di contaminazione principale è costituita dal traffico veicolare; è quest'ultimo la causa dei *loadings* elevati di Zn, Cd, Sb e Pb. Valori più bassi, generalmente inferiori ad 0.5, caratterizzano le zone meno urbanizzate e praticamente incontaminate dell'isola.

7.3 - Associazione fattoriale F3: Ti, Tl, Bi, U

L'associazione fattoriale F3 è responsabile del 9.67 % della variabilità totale dei dati nell'ambito del prescelto modello 5, con *loadings* di 0.79, 0.69, 0.63, e 0.57 rispettivamente per Ti, Tl, Bi, U. La distribuzione dei *factor scores* (Tavola 43C) mostra che i valori più elevati (1.5 – 3.5) sono distribuiti principalmente in due aree; la prima tra il Monte Epomeo, Bagni e Monte Trippodi, la

seconda a nord-est di Lacco Ameno. Entrambe si trovano in corrispondenza di lave e tufi trachitici e trachifonolitici. Valori compresi tra 1.0 e 1.5 si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, nell'area di Succhivo. Valori negativi dei *factor scores* caratterizzano il settore occidentale dell'isola dove sono presenti il Tufo Verde del Monte Epomeo ed i suoi depositi di frana e colate fangose (Tavola 1).

7.4 - Associazione fattoriale F4: Ni, Co, Cr, -Na

L'associazione fattoriale F4, responsabile del 6.67 % della variabilità totale dei dati, nell'ambito del prescelto modello 5, presenta *loadings* di 0.88, 0.86, 0.72 e -0.56, rispettivamente per Ni, Co, Cr e Na. La distribuzione dei *factor scores* di questa associazione (Tavola 43D) mostra similitudine con quella dell'associazione F3, evidenziando un controllo litologico sul grado di correlazione degli elementi che ne fanno parte. Osservando, infatti, le mappe della distribuzione dei valori di fondo attuale del Co e del Cr è evidente la loro natura geogenica. In particolare, valori elevati dei *factor scores* (1.0 – 3.8) si riscontrano a sud e a nord di Bagni, a Casamicciola e nell'angolo sud-orientale dell'isola. Valori negativi sono distribuiti nel settore occidentale in corrispondenza degli affioramenti del Tufo Verde del Monte Epomeo, dei suoi depositi di frana e colate fangose.

7.5 - Associazione fattoriale F5: K, Al, Na, Mg, Cu

L'associazione fattoriale F5, responsabile del 5.66 % della variabilità totale dei dati, nell'ambito del prescelto modello 5, presenta *loadings* di 0.71, 0.61, 0.47, 0.45 e -0.70, rispettivamente per K, Al, Na, Mg, Cu. La distribuzione dei *factor scores* di questa associazione (Tavola 43E) mostra un totale controllo litologico. I valori più elevati (1.0 – 2.9) si riscontrano principalmente in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e dei suoi depositi di frana. Valori <0.5 sono distribuiti principalmente nel settore orientale dell'isola.

8 – CARTE DELLA RADIOATTIVITA' NATURALE

Di seguito viene presentata la cartografia prodotta per i dati ottenuti dalla prospezione radiometrica. I valori della radiazione gamma, espressi in Becquerel (Bq), registrati singolarmente e cumulativamente per ogni radionuclide considerato (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U), sono stati rielaborati con le stesse metodologie già utilizzate per la produzione della cartografia geochimica degli elementi.

In tabella 8.1 sono riportati i parametri statistici relativi ai dati radiometrici raccolti in 159 punti di misura nell'isola di Ischia, comparati a quelli della Regione Campania.

	Range (MeV)	^{40}K 1.35-1.59	^{238}U 1.65 – 1.87	^{232}Th 2.45-2.79	TC1 >0.08	TC2 >0.40
Isola 'Ischia (159)	Minimo	0,60	0,10	0,00	244	33
	Massimo	14.44	6,80	1,60	1262	360
	Mediana	4.00	1,80	0,20	427	77
	Media	4.57	2,08	0,27	473	86
	Dev. Std.	1.75	1,02	0,16	156	35
Campania (2389)	Minimo	0.50	0.10	0.00	8	1
	Massimo	11.20	4.80	2.80	740	160
	Mediana	2.60	1.00	0.30	175	31
	Media	3.01	1.20	0.37	204	39
	Dev. Std.	1.68	0.71	0.33	106	24

Tabella 8.1 – Parametri statistici dei dati radiometrici dell'isola di Ischia e della Regione Campania (De Vivo et al., 2003; Lima et al., 2004). In parentesi il numero di siti misurati; TC = Total Count.

E' evidente che, ad eccezione del ^{232}Th , i valori di ^{40}K , ^{238}U , TC1 e TC2 rilevati sull'isola di Ischia sono più elevati di quelli della Regione Campania. Non essendo conosciute nell'isola fonti di contaminazione antropica degli elementi radioattivi, questa differenza è spiegata dalla origine esclusivamente vulcanica dei suoli investigati.

8.1 - Radioattività ^{238}U

La distribuzione dei dati puntuali dell' ^{238}U (Tavola 44A), così come quelle del ^{40}K e del ^{232}Th , mostra una concentrazione dei valori più elevati (5.14 – 6.80 Bq) nell'area compresa tra Montevergine e Casamicciola. Nella stessa zona ed in quella tra Succhivo e Lido dei Maronti, i valori di radioattività sono compresi tra 3.10 e 5.14 Bq. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori relativamente bassi (0.10 – 3.10 Bq).

Dalla carta dei dati interpolati (Tavola 44B) è possibile osservare la similitudine con quella del ^{40}K e del ^{232}Th ; i valori più elevati (4.63 – 6.80 Bq) sono infatti raggiunti in corrispondenza di aree limitate poste tra Montevergine e Casamicciola. Valori relativamente più bassi, compresi tra 3.92 e 4.63 Bq, si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, anche nella zona a

nord di Succhivo, così come accade per i valori medio alti compresi tra 2.49 e 3.92 Bq. Il resto dell'isola è caratterizzata da bassi valori di ^{238}U (0.11 – 2.49 Bq).

La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) della radioattività imputabile all' ^{238}U (Tavola 44C) mostra i suoi tenori più elevati (4.02 – 4.95 Bq) nell'area tra Montevergine e Casamicciola e ad ovest di Lido dei Maronti. Valori compresi tra 3.09 e 4.02 Bq caratterizzano le aree a ridosso di quelle di massimo, ricoprendo il tratto di costa nord-occidentale dell'isola e l'area tra Succhivo e Lido dei Maronti. Valori *baseline* medio bassi (1.60 – 3.09 Bq) sono presenti a ridosso delle suddette aree e nella zona del graben di Ischia, nel settore orientale dell'isola. Il resto del territorio è caratterizzato da tenori inferiori compresi tra 0.30 e 1.60 Bq.

La carta delle anomalie (Tavola 44D) mostra una piccola area anomala (2.20 – 4.73 Bq) in corrispondenza di Casamicciola, mentre il resto dell'isola è caratterizzato da valori bassi o negativi, compresi tra -1.75 e 2.20 Bq.

8.2 - Radioattività ^{232}Th

La distribuzione dei dati puntuali (Tavola 45A) mostra una concentrazione dei valori più elevati (0.77 – 1.58 Bq) in due punti, uno situato a Montevergine e l'altro a Casamicciola. Valori di radioattività compresi tra 0.44 e 0.77 Bq, si trovano a nord di Montevergine e nell'area a nord di Succhivo. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori di radioattività imputabili al ^{232}Th compresi tra 0.03 e 0.44 Bq.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 45B) mostra i valori di ^{232}Th più elevati (0.88 – 1.58 Bq) in corrispondenza di due aree molto ristrette poste nel tratto di costa nord-occidentale dell'isola. Valori relativamente più bassi, compresi tra 0.49 e 0.88 Bq, si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, anche nella zona a nord di Succhivo. Tenori medi di ^{232}Th (0.39 – 0.49 Bq) caratterizzano, oltre le aree suddette, anche una zona molto ristretta in corrispondenza di Ischia Porto. Il resto dell'isola è caratterizzata da bassi valori di ^{232}Th (0.03 – 0.39 Bq).

La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) della radioattività imputabile al ^{232}Th (Tavola 45C) mostra i suoi valori più elevati (0.39 – 0.62 Bq) nell'area tra Montevergine e Casamicciola e nella zona compresa tra Succhivo e Lido dei Maronti. Valori *baseline* intermedi (0.27 – 0.39 Bq) caratterizzano le aree a ridosso di quelle di massimo e si riscontrano inoltre nella zona di Ischia Porto e a nord di Barano. Il resto del territorio è caratterizzato da tenori inferiori, compresi tra 0.04 e 0.27 Bq.

La distribuzione dei valori di anomalia del ^{232}Th (Tavola 45D) mostra due aree anomale di limitatissima estensione. La prima, con valori compresi fra 0.25 e 1.17 Bq, è posta a nord-est di Montevergine; la seconda caratterizza la zona di Casamicciola con valori di anomalia da 0.25 a 0.60 Bq. La restante parte di territorio presenta tenori anomali compresi tra -0.25 e 0.25 Bq.

8.3 - Radioattività ⁴⁰K

La distribuzione dei dati puntuali (Tavola 46A) mostra una concentrazione dei valori più elevati (9.80 – 14.40 Bq) in due punti ubicati a Montevergine e a Casamicciola. Valori di radioattività compresi tra 8.06 e 9.80 Bq ricoprono l'area nord-occidentale dell'isola e quella tra Succhivo e Lido dei Maronti. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori di radioattività imputabili al ⁴⁰K compresi tra 0.60 e 8.06 Bq.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 46B) mostra i valori di ⁴⁰K più elevati (11.33 – 14.39 Bq) in corrispondenza di due aree molto ristrette poste nel tratto di costa nord-occidentale dell'isola. Valori relativamente più bassi, compresi tra 6.74 e 11.33 Bq, si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, anche nella zona a nord di Succhivo e nell'angolo nord-occidentale dell'isola. Il resto del territorio è caratterizzato da bassi valori di ⁴⁰K (0.62 – 6.74 Bq). La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) della radioattività imputabile al ⁴⁰K (Tavola 46C) mostra i suoi valori più elevati (da 5.90 a 8.80 Bq) nell'area tra Montevergine e Casamicciola e nella zona compresa tra Succhivo e Lido dei Maronti. Il resto del territorio è caratterizzato da tenori inferiori compresi tra 0.93 e 5.90 Bq.

La distribuzione dei valori di anomalia del ⁴⁰K (Tavola 46D) mostra solo due aree anomale di limitatissima estensione, con valori compresi fra 3.43 e 7.89 Bq, l'una a nord-est di Montevergine e l'altra a Casamicciola. Presentano valori d'anomalia medio-bassi (1.19 – 3.43 Bq) le aree a ridosso di quella di massimo e piccole porzioni di territorio omogeneamente distribuite sull'intera isola. La maggior parte del territorio è caratterizzata, infine, da valori di anomalia molto bassi compresi tra -1.04 e 1.19 Bq, mentre aree di limitata estensione, distribuite in modo omogeneo, sono caratterizzate da anomalie negative (-3.27 - -1.04 Bq).

8.4 - Radioattività totale (> 0.08 MeV) (U - Th - K)

La distribuzione dei dati puntuali della radioattività totale (>0.08 MeV) (Tavola 47A) mostra una concentrazione dei valori più elevati (940 – 1262 Bq) nell'area compresa tra Montevergine e Casamicciola. Valori medio alti (628 – 940 Bq) sono stati registrati oltre che nell'area di massimo anche nella zona tra Succhivo e Lido dei Maronti. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori compresi tra 244 e 628 Bq.

La distribuzione dei dati interpolati (Tavola 47B) mostra i valori di radioattività totale (>0.08 MeV) più elevati (1050 - 1262 Bq) in corrispondenza di due aree molto ristrette ubicate in corrispondenza di Casamicciola e a nord-est di Montevergine. Valori relativamente più bassi, compresi tra 620 e 1050 Bq, si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree di massimo, anche nella zona a nord di Succhivo. Tenori medi (530 – 620 Bq) caratterizzano le aree suddette oltre che una zona molto ristretta posta in corrispondenza di Ischia Porto ed una posta ad est di Lido dei Maronti. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori di radioattività totale (>0.08 MeV) compresi tra 245 e 530 Bq.

La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) della radioattività totale (>0.08 MeV) (Tavola 47C) mostra i suoi valori più elevati (685 – 762 Bq) nell'area tra Montevergine e Casamicciola e a nord di Succhivo. Valori *baseline* intermedi (450 – 685 Bq) caratterizzano le aree a ridosso di quelle di massimo e si riscontrano inoltre nella zona di Ischia Porto e in generale nel graben di Ischia. Il resto del territorio è caratterizzato da tenori di fondo attuale inferiori, compresi tra 114 e 450 Bq.

La distribuzione dei valori di anomalia della radioattività totale (>0.08 MeV) (Tavola 47D) mostra due aree con alti valori di anomalia (350 – 863 Bq) di limitatissima estensione, ubicate a nord-est di Montevergine e a Casamicciola.

8.5 - Radioattività totale (> 0.40 MeV) (U - Th - K)

La distribuzione dei dati puntuali della radioattività totale (>0.40 MeV) (Tavola 48A) mostra una concentrazione dei valori più elevati (191 – 360 Bq) in tre punti ubicati a nord-est di Montevergine, a Casamicciola e a nord di Barano. Valori medio alti (121 – 191 Bq) sono stati registrati a nord di Montevergine e nella zona tra Succhivo e Lido dei Maronti. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori compresi tra 33 e 121 Bq.

La mappa dei dati interpolati (Tavola 48B) mostra che la distribuzione dei valori di radioattività totale (>0.40 MeV) rispecchia quella dei dati puntuali, mostrando i tenori più elevati (207 - 360 Bq) in corrispondenza di tre aree molto ristrette ubicate in corrispondenza di Casamicciola, a nord-est di Montevergine e a nord di Barano. Valori relativamente più bassi, compresi tra 138 e 207 Bq, si riscontrano, oltre che a ridosso delle aree che presentano valori massimi anche nella zona a nord di Succhivo. Tenori medi (99 – 138 Bq) caratterizzano, oltre le aree suddette, anche una zona molto ristretta in corrispondenza di Ischia Ponte ed una posta ad est di Lido dei Maronti. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori di radioattività totale (>0.40 MeV) compresi tra 33 e 99 Bq.

La distribuzione dei valori di fondo attuale (*baseline*) della radioattività totale (>0.40 MeV) (Tavola 48C) mostra i suoi valori più elevati (97 – 133 Bq) nell'area tra Montevergine e Casamicciola e a nord di Succhivo. Valori *baseline* intermedi (85 – 97 Bq) caratterizzano le aree a ridosso di quelle di massimo e si riscontrano inoltre nel graben di Ischia. Il resto del territorio è caratterizzato da tenori di fondo attuale inferiori, compresi tra 15 e 85 Bq.

La distribuzione dei valori di anomalia della radioattività totale (>0.40 MeV) (Tavola 48D) mostra un' area di limitata estensione con alti valori (155 – 286 Bq) in corrispondenza del Monte Trippodi. Tenori compresi tra 76 e 155 Bq si riscontrano a ridosso dell'area di massimo, a nord-est di Montevergine e a Casamicciola. Il resto dell'isola è caratterizzata da valori dell'anomalia compresi tra -64 e 76 Bq.

9 – CONCLUSIONI

Dalla tabella 9.1, dove sono stati riportati i valori medi di concentrazione degli elementi metallici considerati tossico-nocivi per la salute umana contemplati nel D.M 471/1999, si può osservare come i suoli dell'isola di Ischia siano arricchiti, insieme a quelli della Provincia di Napoli, in As, Cu, Hg, Pb, Tl e Zn. Inoltre, confrontando i dati riscontrati nei suoli dell'isola di Ischia con quelli dell'area della Provincia di Napoli si nota che nei primi c'è un arricchimento in Hg e Tl.

Elementi	A	B	C	D
As (mg/Kg)	8.0	12.4	7.65	2
Cd (mg/Kg)	0.2	0.5	0.53	0.102
Co (mg/Kg)	3.4	9.3	7.9	11.6
Cr (mg/Kg)	6.4	12.5	54	35
Cu (mg/Kg)	78.1	163	19.8	14.3
Hg (mg/Kg)	0.5	0.19	0.03	0.056
Ni (mg/Kg)	5.1	11.8	22	18.6
Pb (mg/Kg)	64.1	100	28.6	17
Sb (mg/Kg)	0.7	1.4	5	0.31
Tl (mg/Kg)	1.7	1.5	0.1	0.75
V (mg/Kg)	27.0	71	70.8	53
Zn (mg/Kg)	85.0	142	64	52

Tabella 9.1 - Concentrazione media degli elementi tossico e nocivi per la salute umana. A: suoli vulcanici dell'isola di Ischia. B: suoli vulcanici di Napoli (Cicchella et al., 2005). C: suoli della Terra (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). D: Crosta Continentale (Wedepohl, 1995).

Dall'analisi di tutti i dati raccolti durante le due fasi di campionatura, attraverso la loro elaborazione statistica univariata e multivariata, l'elaborazione cartografica e le opportune conoscenze del territorio, è stato possibile individuare la natura geogenica e/o antropogenica delle fonti responsabili dell'apporto di elementi metallici nei suoli dell'isola di Ischia. Inoltre, grazie all'applicazione delle seguenti metodologie:

- 1) analisi statistica univariata con Probability plot (Ahrens, 1954; De Vivo, 1995; Lepeltier C., 1969; Sinclair, 1974, 1976; Stanley, 1987; Tennant & White, 1959),
- 2) analisi multifrattale dei dati attraverso il *software* GeoDAS 2001 (Cheng, 1994, 1999; Cheng et al., 1994, 1996, 1999, 2000, 2001; Cicchella, 2002; Lima et al., 2003b; Cicchella et al., 2005; Albanese et al., 2005),
- 3) calcolo dell'indice di arricchimento r dato dal rapporto delle concentrazioni elementali negli orizzonti A e C (McMartin, 2002),

sono stati individuati i valori *background* e quelli *baseline* per ogni elemento nei suoli superficiali dell'isola di Ischia.

In tabella 9.2 sono riassunti, per gli elementi metallici contemplati nel D.M. 471/1999, i valori della soglia di anomalia calcolata con il metodo 1) ed i valori di fondo naturale (*background*) ed

attuale (*baseline*) ottenuti con l'applicazione del metodo 2) e confermati dal calcolo effettuato con il metodo 3); inoltre sono riportati i limiti di intervento dettati dalla normativa italiana.

I valori *background* e *baseline* sono coincidenti per quegli elementi la cui concentrazione nei suoli è esclusivamente correlata a sorgenti di natura geogenica.

Elemento	Soglia di anomalia	Background	Baseline	LI Residenziale	LI Ind./Comm.
As (mg/Kg)	25.1	< 25.4	< 25.4	20	50
Cd (mg/Kg)	0.79	< 0.52	0.52 - 0.65	2	15
Co (mg/Kg)	7.3	< 4.3	< 4.3	20	250
Cr (mg/Kg)	14	< 15	< 15	150	800
Cu (mg/Kg)	245	< 110	110 - 230	120	600
Hg (mg/Kg)	0.683	< 0.838	< 0.838	1	5
Ni (mg/Kg)	13.7	< 13.6	< 13.6	120	500
Pb (mg/Kg)	174	< 90	90 - 173	100	1000
Sb (mg/Kg)	2.14	< 1.60	1.60 - 2.10	10	30
Tl (mg/Kg)	6.8	< 7.8	< 7.8	1	10
V (mg/Kg)	55	< 58	< 58	90	250
Zn (mg/Kg)	213	< 180	180 - 242	150	1500

Tabella 9.2 – Soglia di anomalia calcolata con Probplot (Stanley, 1987); valori baseline e background secondo la S-A analysis (GeoDAS, 2001); LI = Limiti di Intervento secondo il D.M. 471/1999.

E' evidente che i metodi utilizzati portano a risultati molto simili; le soglie di anomalia calcolate con il Probplot presentano, infatti, valori approssimativamente uguali al limite superiore dei tenori di fondo attuale calcolati con il GeoDAS.

Come si può osservare la statistica univariata da sola non permette di individuare la distribuzione spaziale dei valori *background/baseline* e di quelli anomali. La cartografia geochemica ambientale consente invece di poter individuare le fonti delle concentrazioni elementari e, grazie alle conoscenze geologiche, geochemiche e di uso del territorio, di discernere le cause di contaminazione geogeniche da quelle antropogeniche.

Riassumendo i risultati ottenuti grazie alla combinazione dei diversi metodi, si possono raggruppare gli elementi analizzati a secondo della loro natura.

La presenza di valori elevati di Al, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Na, Sc, Ti è legata principalmente ad un controllo di tipo litologico; le loro massime concentrazioni si rilevano nel settore occidentale dell'isola, in corrispondenza degli affioramenti di Tufo Verde del Monte Epomeo e dei suoi depositi di frana (Tavola 1). Questa Formazione è, infatti, particolarmente ricca in miche e plagioclasti, minerali notoriamente costituiti dai suddetti elementi; una conferma della natura litologica si ottiene osservando che essi risultano prevalentemente concentrati nell'orizzonte C (costituito dai prodotti di alterazione della roccia madre) piuttosto che in quello A (maggiormente legato a fenomeni di dispersione secondaria degli elementi o ad apporti antropici).

In particolare per Fe, Mn, Ti e V, elementi legati come già detto a fonti litologiche, il valore di *r* risulta <1 e >1 rispettivamente nel settore occidentale ed in quello orientale dell'isola,

confermano il particolare arricchimento di questi elementi nell'orizzonte C laddove è presente il Tufo Verde del Monte Epomeo.

Ancora a cause di natura litologica è dovuta la presenza di elevate concentrazioni di Th e U i cui massimi tenori si riscontrano in corrispondenza di tufi trachitici a nord di Montevergine e tra Succhivo e Lido dei Maronti. Anche per questi elementi le concentrazioni nel *bottom soil* sono superiori a quelle riscontrate nel *top soil*, dando conferma della natura geogenica di tali elementi. Inoltre, la distribuzione dei dati di radioattività naturale di Th e U coincide con quella delle loro concentrazioni elementali.

Elementi quali Ca e Sr devono anch'essi la loro distribuzione a cause di natura geogenica; essi seguono la *trend* della facies bicarbonato-alcalina delle acque sotterranee, le quali costituiscono le falde superficiali ospitate nei detriti impostati sui tufi. In queste acque è stato dimostrato, inoltre, l'apporto di acque di ingressione marina dovuto alla risalita di fluidi profondi lungo le faglie marginali dell'horst del Monte Epomeo (Celico et al., 1999; Lima et al., 2003a). Il valore dell'indice *r* mostra arricchimento dei suddetti elementi nell'orizzonte superficiale, indicando che il loro apporto è dovuto ad un fenomeno di dispersione secondaria.

Un contributo primario alla componente naturale è fornito dai fluidi idrotermali associati al vulcanismo attivo dei Campi Flegrei e dell'Isola di Ischia, area notoriamente interessata dalla presenza di fumarole e sorgenti idrotermali. La contaminazione naturale dovuta alla risalita di acque geotermiche arricchite in metalli pesanti e in alcuni casi tossici è tra l'altro confermata da studi effettuati in passato sulle acque sotterranee dell'isola (Santi, 1955; Barberi et al., 1979; Rittmann e Gottini, 1980; Nunziata e Rapolla, 1981; Celico et al., 1982, 1999; De Gennaro et al., 1984; Carapezza et al., 1988; Lima et al., 2001; Lima et al., 2003a) e di aree interne ai Campi Flegrei (Tarzia et al., 2002). Elementi come As, B, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni e Sb sono addirittura contenuti nelle acque sotterranee dell'isola in concentrazioni superiori a quelli consentiti dal D.M. 471/1999 (Lima et al., 2003a). A fenomeni di natura idrotermale è legata quindi, del tutto o in parte, la presenza di elevati valori di As, B, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Tl e Zn. Infatti essi presentano concentrazioni massime nelle aree di Casamicciola, Lacco Ameno, Montevergine, San Francesco, Lido dei Maronti, nord di Succhivo e Campagnano, tutte aree caratterizzate dalla presenza di fumarole e sorgenti idrotermali (Tavola 2). Analizzando i valori dell'indice di arricchimento *r* si nota che questi elementi presentano concentrazioni superiori nell'orizzonte superficiale dei suoli ($r > 1$) o costanti lungo il profilo verticale (As, Bi, Co, Mo, Tl); questo dato è una ulteriore conferma del legame tra le elevate concentrazioni dei suddetti elementi e l'azione dell'alterazione idrotermale, un fenomeno di dispersione secondaria che ne giustifica la concentrazione prevalente nel *top soil* o lungo l'intero profilo.

Elementi quali Cd, Cu, P, Pb, Sb, Zn mostrano però valori di $r \gg 1$ (fino a diverse unità) evidenziando, per questi elementi, una sovrapposizione di cause di natura geogenica ed antropogenica. Infatti, come mostrato dalle mappe *baseline* di tali elementi i valori di fondo naturale sono inferiori a quelli di fondo attuale, mostrando la presenza di anomalie legate a fonti

antropogeniche. Le principali sono: il traffico veicolare, responsabile delle massime concentrazioni di Cd, Pb, Sb e Zn nelle aree più urbanizzate dell'isola (Tavole 4, 5); l'uso di pesticidi responsabili delle massime concentrazioni di Cu nelle aree dove è prevalente la coltivazione della vite (Barano); l'uso di concimi responsabili delle massime concentrazioni di P nell'area tra Campagnano e Ischia Ponte, a Ciglio e a Forio.

Queste conclusioni trovano conferma nei risultati dell'analisi fattoriale in R-Mode applicata ai dati analitici della Fase I di campionatura.

Le mappe di intervento, inoltre, mostrano che le soglie fissate dal D.M. 471/1999 per l'uso residenziale/ricreativo del suolo sono superate dai seguenti elementi: As, Cd, Cu, Hg, Pb, TI, Zn; le soglie per l'uso industriale/commerciale del suolo sono superate solo da Cu e TI; elementi come Co, Cr, Ni, Sb e V non superano nessuno dei due limiti ministeriali.

L' utilizzo di differenti metodi di determinazione dei valori *baseline/background* è stato dunque indispensabile al fine di discriminare le componenti di natura antropica e geogeniche responsabili delle eccessive concentrazioni nei suoli degli elementi ritenuti tossici e nocivi per la salute umana. Infatti, dall'analisi delle mappe *baseline* e dal calcolo dell'indice *r*, risulta chiaro che la presenza di valori superiori a quelli ministeriali di As, Hg e TI sono unicamente legati a cause di origine naturale (idrotermalismo), mentre la presenza di Cd, Cu, Pb e Zn è legata alla sovrapposizione di fenomeni termali da un lato e antropogenici dall'altro (traffico veicolare, agricoltura). L'utilizzo della statistica univariata ha dato inoltre ulteriore conferma della validità dell'analisi S-A (*Separation - Analysis*) eseguita sui dati analitici dal *software* GeoDAS; è stato dimostrato che la geometria multifrattale è una metodologia idonea nella separazione dei valori di fondo da quelli anomali.

Questo studio è stato indispensabile, inoltre, per poter affermare che nel caso dell'incidenza del contributo naturale nella determinazione degli elementi metallici risulta del tutto inutile, per i suoli dell'isola di Ischia, alcun intervento di bonifica e/o messa in sicurezza in quanto essi sarebbero vanificati da un continuo apporto naturale di inquinanti metallici. In particolare per As e TI è infatti da notare come anche nell'orizzonte C vengano superati i limiti imposti dal D.M. 471/99, dimostrando la necessità di un innalzamento degli stessi nel caso specifico.

Per quanto riguarda gli elementi per cui si verifica la sovrapposizione di cause naturali ed antropiche (Cd, Cu, Pb e Zn) è risultato indispensabile discriminare il valore *background* da quello *baseline* per poter individuare il limite di intervento appropriato per una eventuale bonifica.

10 - ESPERIENZA ALL'ESTERO: GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND (GTK)

E' di seguito riportato un breve resoconto sull'attività di ricerca svolta presso la sede di Espoo del GTK, Finlandia, in un periodo di 4 mesi (Aprile - Luglio, 2004).

10.1 - Introduzione

Il lavoro è stato incentrato in particolar modo su ricerche inerenti l'elemento tallio (Tl), al fine di individuarne le caratteristiche chimico-fisiche utili a spiegarne principalmente il suo comportamento nei muschi, oltre che nell'humus, nei suoli superficiali e profondi, nelle acque meteoriche e di ruscellamento; sono state ricercate, inoltre, le possibili cause geogeniche ed antropogeniche del suo accumulo nelle diverse matrici ambientali esaminate.

I muschi campionati in Finlandia (*Hylocomium splendens* e *Pleurozium scherebi*) hanno una età di 2 – 3 anni; essi sono usati come indicatore dello stato di contaminazione dell'atmosfera in quanto trovano nutrimento utile alla loro crescita proprio nell'acqua contenuta nell'atmosfera. Già altri paesi in passato hanno utilizzato questa matrice ambientale per valutare le deposizioni sulla superficie terrestre di elementi metallici contenuti nel pulviscolo atmosferico (Ellison et al., 1976; Maschke, 1981; Engelke, 1984; Steinnes, 1984; Ross, 1990) e li hanno utilizzati in progetti Europei a grande scala (Rühling, 1994; Herpin, 1997; Heim et al., 2002).

I muschi finlandesi, rispetto a quelli campionati nei paesi limitrofi, risultano caratterizzati da concentrazioni molto elevate di Tl e proprio per comprendere l'origine di tali anomalie sono stati esaminati il comportamento e le concentrazioni di tale elemento oltre che nei muschi anche nei suoli superficiali e profondi, nell'humus e nelle acque meteoriche.

Il Tl, infatti, è un elemento metallico le cui caratteristiche chimiche ed il comportamento nell'ambiente sono relativamente poco conosciute; esso, però, riscuote molto interesse a causa della sua elevata tossicità. E' un metallo non essenziale presente in piccole concentrazioni nei tessuti umani (Moeschlin, 1980); può essere assorbito dagli uomini attraverso le vie respiratorie tramite inalazione di polveri e fumi, per via cutanea e per via gastrointestinale tramite ingestione di cibi contenenti tale elemento. Intossicazioni da Tl si manifestano con perdita di capelli, disturbi alla vista, mancanza d'aria, dolori di stomaco, nevralgie, alta pressione sanguigna, tachicardia, disturbi cardiovascolari (Sobott, 1993; Kazantzis, 1986, 2000). Una forte correlazione tra malattie cardiovascolari e respiratorie e il contenuto di Tl nei muschi è stata provata da Wappelhorst et al. (2000).

La legislazione finlandese impone un limite unico per il contenuto di questo elemento nei suoli pari ad 1 mg/Kg, mentre non sono stati stabiliti ancora limiti legislativi per il contenuto nei muschi e nell'humus. In realtà, spesso, il valore di 1 mg/Kg viene abbondantemente superato, pur dove cause di carattere antropico non sono presenti e quindi dove gli interventi di bonifica imposti potrebbero avere poco senso e raggiungere scarsi risultati.

Il GTK ha ritenuto quindi indispensabile uno studio utile a separare le fonti geogeniche da quelle antropogeniche responsabili degli accumuli di Tl nei muschi e nelle altre matrici ambientali della

Finlandia. Solo in questo modo si possono infatti individuare i tenori di fondo naturale/attuale (*background/baseline*) di questo elemento nelle diverse matrici ambientali ed intervenire quindi nel modo più appropriato per impedire danni alla salute umana.

A tal fine i risultati ottenuti con questa ricerca saranno utilizzati dal GTK congiuntamente al Ministero dell'Ambiente finlandese.

10.2 – Fonti geogeniche ed antropogeniche del TI

Da dati bibliografici si evince che, a causa del raggio ionico simile a quello di K e Rb, elevati tenori di TI sono presenti nelle rocce magmatiche caratterizzate da elevati contenuti di K-feldspati, plagioclasti, biotite e muscovite (Jović, 1993).

Tenori elevati si riscontrano anche negli *shales* e nel carbone del Giurassico (Kazantzis, 2000); questo materiale organico è caratterizzato anche da alte concentrazioni di As e Sb, elementi a cui il TI risulta spesso associato.

Nei solfati il TI è preferibilmente associato ad As, Au, Cu, Fe, Hg, Pb, Sb e Zn e forma minerali indipendenti (Sobott et al., 1987; Kemper & Bertram, 1991) o, più frequentemente, entra come elemento in tracce nella galena, nella sfalerite e nella pirite (Sobott, 1993).

Accumuli antropogenici di TI sono causati per lo più dalle emissioni atmosferiche degli impianti industriali per la produzione del cemento (associazione con Bi, Cd, Pb e Zn; Kazantzis, 2000), per la estrazione e lavorazione di solfati (associazione con Cu, Fe, Pb e Zn; Micke et al., 1983; Schoer, 1984) e per la combustione di carbone o in genere di sostanze organiche fossili e dei solfati (associazione con As, Cu, Fe, Pb, Zn; Brumsack et al., 1984, Ewers, 1988, Kemper & Bertram, 1991).

10.3 – Materiali e metodi

Presso il GTK è stata effettuata una vasta ricerca bibliografica per individuare le caratteristiche chimico-fisiche del TI, le sue correlazioni con gli altri metalli, il suo comportamento nei diversi mezzi ambientali; inoltre è stata eseguita la ricerca dei valori di concentrazione media nei suoli, nelle rocce e nei minerali per identificare i contenuti naturali di tale elemento. Sono state poi esaminate tutte le possibili fonti antropiche presenti sul territorio, gli effetti sulla salute umana, i limiti imposti dalla legislazione in diversi paesi.

Successivamente sono stati estratti dai *databases* del GTK dati relativi alle concentrazioni elementari nei muschi, nell'humus, e nelle acque piovane della Finlandia e della Russia Occidentale (*Barents Ecogeochemistry Project database*; Salminen, 2003), oltre che nei suoli superficiali (orizzonte A) e profondi (orizzonte C) della Finlandia (*Agricultural Soils in Northern Europe Project database*; Reimann et al., 2003); inoltre, il *Baltic Project database* è stato utilizzato per i dati analitici nelle differenti matrici ambientali dell'Estonia.

Queste banche dati contengono i risultati delle analisi chimiche effettuate a seguito di campionature a vasta scala eseguite su muschi, humus, suoli, acque piovane ed acque

superficiali nei paesi che affacciano sul Mar Baltico e sul Mare di Barents; in particolare sono stati presi in considerazione Finlandia, Estonia e Russia occidentale (inclusa la Penisola di Kola).

Il confronto tra le diverse matrici ambientali è stato indispensabile per capire come discriminare le sorgenti geogeniche da quelle antropogeniche. Infatti, a causa della moltitudine di fattori che influenzano le concentrazioni elementali nelle diverse matrici ambientali sarebbe stato difficile provare la presenza di contaminazione (oltre che in casi estremi) analizzando un unico mezzo ambientale in uno studio a scala regionale.

Le elaborazioni statistiche e le rappresentazioni cartografiche sono state realizzate con l'ausilio dei *softwares* SPSS, Kaleidagraph 3.5, ArcView 3.2, GeoDAS 2001 (§ 5.7, 5.8, 5.9).

10.3,1 - Analisi statistica dei dati

Dopo uno studio preliminare della geologia delle aree suddette e delle attività economiche ed industriali attuali e pregresse, è stata analizzata la distribuzione delle anomalie nei muschi individuando e selezionando le porzioni di territorio caratterizzate da concentrazioni massime.

In figura 10.1 vengono illustrate le 4 aree caratterizzate da valori anomali (Vaasa, Turku, Porvoo, Jyväskylä), mentre nel settore centro-settentrionale della Finlandia (zona di Rovaniemi) sono stati individuati i campioni i cui contenuti metallici possono essere considerati quali tenori di fondo naturale (*background*). Non è infatti presente in quest'area nessuna fonte di contaminazione antropica per alcun elemento.

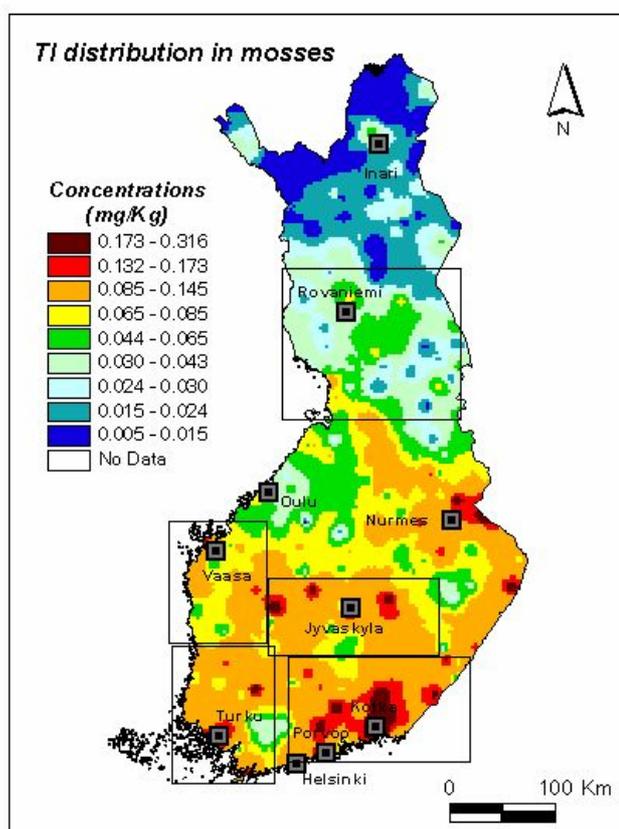


Figura 10.1 – Distribuzione del TI nei muschi in Finlandia (331 campioni). Mappa geochimica della distribuzione dei dati interpolati generata con la tecnica dell'IDW multifrattale realizzata con l'ausilio del metodo C-A (concentration - area plot) (GeoDAS, 2001). Rappresentazione delle aree selezionate per l'analisi statistica univariata.

Nelle aree selezionate sono state estratte dai *databases* le concentrazioni elementali, nelle diverse matrici ambientali, oltre che del TI anche di altri elementi indicati dalla bibliografia come strettamente correlati ad esso per cause di natura geogenica ed antropogenica; essi sono As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Tl, V e Zn.

Ai dati dell'intero territorio e a quelli delle singole aree selezionate è stata applicata la statistica univariata con l'ausilio dei *softwares* SPSS e Kaleidagraph 3.5; per ogni elemento sono stati calcolati media, mediana, moda, massimo, minimo, deviazione standard ed elaborati istogrammi, curve cumulative di frequenza e *box plot*; sono stati calcolati gli indici di correlazione tra il TI e gli altri elementi selezionati; sono stati elaborati gli indici di arricchimento (valori mediani/valori mediani nell'area *background*) per tutti gli elementi.

Inoltre sono state esaminate le relazioni esistenti tra le aree anomale nei muschi e nelle altre matrici ambientali.

10.3,2 - Elaborazione cartografica

Sono state elaborate mappe puntuali ed interpolate (IDW multifrattale), mappe *baseline* e delle anomalie delle concentrazioni geochimiche del TI nei muschi, nell'humus, nei suoli superficiali (orizzonte A) e nei suoli profondi (orizzonte C), con l'ausilio dei *softwares* ArcView 3.2 e GeoDAS (§ 5.9). In figura 10.2 sono mostrate le mappe puntuali della concentrazione del TI nelle diverse matrici ambientali sovrapposte a quelle dei tenori di fondo attuale (GeoDAS, 2001).

Le mappe interpolate dei muschi e dell'humus sono state realizzate utilizzando celle con lato di 5 Km e raggio di interpolazione fino a 50 Km, essendo la densità media di campionatura pari ad un sito ogni 1000 Km² (Salminen et al., 2003).

Per quelle del TI nei *bottomsoils* e nei *topsoils* sono state usate celle con lato di 5 Km ed un raggio di interpolazione fino a 60 Km, essendo la densità media di campionatura pari ad un sito ogni 2500 Km² (Reimann et al., 2003).

Un esempio di mappa interpolate è dato in figura 10.1.

10.4 – Conclusioni

Il lavoro elaborato ha mostrato che le anomalie da TI nei muschi della Finlandia sono dovute alla sovrapposizione di più cause, con sorgenti di natura sia geogenica che antropogenica.

L'analisi separata delle 4 aree critiche selezionate ed il confronto con i dati relativi all'intero territorio oltre che la valutazione del comportamento del TI e degli elementi ad esso correlati nelle diverse matrici ambientali, ha permesso di individuare le fonti delle anomalie in ognuna delle quattro zone e di discriminarne la natura.

Le uniche due aree in cui le concentrazioni di TI nelle diverse matrici ambientali è legata al contributo di entrambe le fonti sono quelle di Porvoo e di Turku, nel sud del paese.

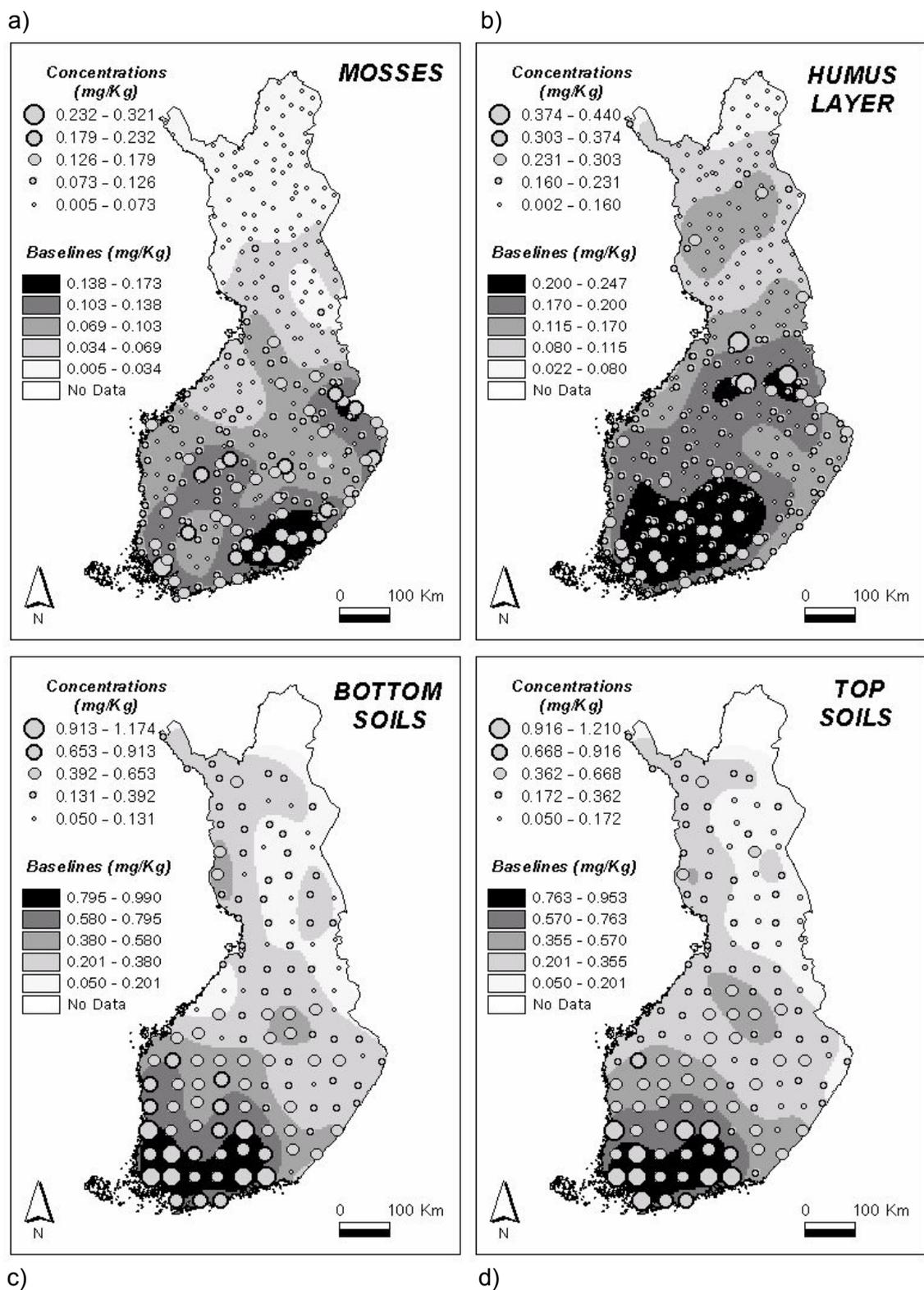


Figura 10.2 - Concentrazioni analitiche del TI sovrapposte alle mappe baseline in: a) muschi, b) humus, c) suoli profondi e d) suoli superficiali.

Nell'area di Porvoo i valori più elevati di TI nei muschi sono dovuti principalmente alle emissioni in atmosfera di fabbriche di cemento e di centrali termiche che usano combustibili fossili per la produzione dell'energia. Inoltre, una fonte secondaria è costituita dal *Rapakivi granite*, un

granito estremamente ricco in K presente in questa area. Il limite tra il valore di fondo naturale e i tenori legati a cause antropiche cade nell'intervallo 0.138 – 0.173 mg/Kg (fig. 10.2a).

Nell'area di Turku il contributo antropico è dato dalle emissioni atmosferiche delle fabbriche di cemento e degli impianti di lavorazione dei solfati; la fonte geogenica consiste invece nel *Litorina clay*, argille litoranee particolarmente ricche in TI. Il limite tra i valori *background* e quelli di fondo attuale cade nel *range* 0.103 – 0.138 mg/Kg. Ciò è confermato anche dall'analisi dei dati nell'humus e delle acque meteoriche e dal confronto delle concentrazioni nei suoli superficiali ed in quelli profondi.

Nell'area centrale della Finlandia (Ijvaskila) e nella zona di Vasa è stato dimostrato che i tenori di fondo attuale nei muschi e nelle altre matrici corrispondono ai valori di fondo naturali, non essendo imputabili le anomalie riscontrate ad alcuna fonte di contaminazione antropica.

Lungo la costa meridionale, dove era stato supposto un trasporto eolico di lunga distanza di particelle sottili emesse dalle centrali termoelettriche dell'Estonia settentrionale (combustione di *oil shales* particolarmente ricchi in TI) (Jalkanen et al. 2000; Teinmaa et al., 2002), è stato dimostrato, con questo lavoro, che le concentrazioni di TI nei muschi nelle vicinanze delle centrali estoni (max = 0.175 mg/Kg) sono inferiori a quelle contenute nei muschi della Finlandia meridionale. Le cause delle concentrazioni elevate di TI nei muschi, ed in genere nelle diverse matrici ambientali della Finlandia meridionale, è da imputare quindi a cause interne al paese, sia che siano di natura geogenica che antropogenica.

Inoltre, è stato riscontrato, che a differenza che nelle altre matrici, il TI nei muschi non presenta indici di correlazione elevati con gli altri elementi metallici esaminati, anche quando essi dovrebbero essere chiaramente legati alla stessa fonte. Ciò è stato osservato sia nel caso di fonte del TI sia di natura geogenica che antropogenica. Infatti, nell'area di Ijvaskila, dove l'alto tenore di TI nei muschi è legato alla presenza dei graniti, esso presenta bassi indici di correlazione con K e Rb, mentre questi sono decisamente più elevati nei suoli superficiali e profondi (tab. 10.1).

Selected area	Moss	Humus-layer	Top soil (*)	Bottom soil (*)
Finland	Pb, Sb, V	K, Pb, Rb	K, Rb	K, Pb, Rb, Zn
Ijveskyla	-	Cu, Pb	K, Mn, Pb, Rb, V, Zn	Ca, Co, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, V, Zn
Porvoo	-	Zn	Cr, Fe, K, Rb, Zn	Fe, K, Pb, Rb, V, Zn
Turku	-	As, Co, Cr, K, Rb, V, Zn	As, Co, Cr, Fe, K, Pb, Rb, V, Zn	Fe, K, Zn
Vasa	Rb	Cr, Pb, Rb, V	As, Co, Cr, K, Mn, Ni, Rb, V, Zn	Co, Cr, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V, Zn
Rovaniemi	Pb, V	Cu, Rb >0.45: Ca, K, Pb, Zn	Cr, K, Rb	Co, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, V, Zn

Tabella 10.1 – Elementi il cui indice di correlazione con il TI è ≥ 0.5 . oppure ≥ 0.8 (*).

La scarsa correlazione che il TI nei muschi mostra verso gli altri elementi con i quali è correlato invece nelle altre matrici ambientali ha portato a concludere che c'è un probabile arricchimento preferenziale del TI nei muschi rispetto ad altri elementi. Anche se fino ad ora non esiste una ricerca volta in questa direzione, sarebbe interessante investigare se possano esserci ragioni di tipo biologico che permettono ai muschi di catturare dall'atmosfera un quantitativo di TI superiore rispetto a quello di altri elementi o che comunque gli impediscano di smaltirlo una volta assorbito.

Inoltre, durante i 4 mesi, sono state svolte diverse escursioni incentrate sui temi della geochimica di diverse matrici ambientali (humus, top soil, bottom soil, acque superficiali, acque sotterranee) partecipando attivamente alla campionatura di acque di scarico della miniera di Ylivieska (estrazione di solfuri), e realizzando le analisi in situ delle acque (T, pH, Eh, conducibilità elettrica) utilizzando i mezzi di una unità mobile del GTK.

11 - PRODUZIONE SCIENTIFICA

Pubblicazioni sottoposte o in stampa

- 1) De Vivo B., Lima A., Frattini P. & Cicchella D., in stampa. Atlante geochimico-ambientale dei suoli vulcanici dell'Isola di Ischia. Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia – Università degli Studi di Napoli Federico II.
- 2) Frattini P., Lima A. and De Vivo B.. Background and baseline concentration values of human health harmful elements and gamma ray survey in the volcanic soils of ischia island (Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* (sottoposto per la stampa).
- 3) Frattini P. & Salminen R. – Thallium handbook. GTK, Espoo, Finland (in stampa).
- 4) Frattini P. & Salminen R. - Sources of Tl in surficial deposits in the Baltic region (Sottoposto).

Atti di Convegni

- 1) Lima A., Albanese S., Aragione V., Cicchella D., De Vivo B. e Frattini P., 2002. Cartografia geochimico-ambientale dei suoli dell'Isola d'Ischia (Napoli, Italia). Atti del convegno GIS-Day, Benevento, Novembre 2002.
- 2) Lima A., De Vivo B., Albanese S., Aragione V., Cicchella D., Costabile S. and Frattini P. 2003. Heavy metals background values determined on top soils of Mt. Somma-Vesuvius and Ischia volcanic terrains. EGS XXVII General Assembly, Nice, April 2003.
- 3) De Vivo B., Lima A., Albanese S., Cicchella D, Fedele L., Frattini P., 2004. Geochemical environmental maps of soils of Campania region urban areas, Italy. Goldschmidt Conference, 5-11 June, Copenhagen: abstract 4.7.P05.
- 4) Frattini P., Lima A., De Vivo B. and Cicchella D., 2004. Geochemical environmental atlas of the volcanic soils of Ischia Island (Naples, Italy). Workshop "DWO16 – Global Geochemical Baselines". 32nd International Geological Congress, Florence (Italy), August 20-28, 2004.

Partecipazione alla realizzazione del FOREGS Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Background Information.

BIBLIOGRAFIA

- Abrams M. & Murrer B. A., 1993. Metal compound in therapy and diagnosis. *Science*, 261:725-730.
- Ahrens L. H., 1954. The lognormal distribution of the elements. A fundamental law of geochemistry and its subsidiary. Part I. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 5: 49-73.
- Aitchinson J., 1988. *The statistical analysis of compositional data*. Chapman and Hall, London.
- APAT, 1999. *Programma Corine: Coordination of Information on the Environment*.
- Balashov Yu A., Ronov A. B., Migdisov A. A., Turanskaya N. V., 1964. The effect of climate and facies environment on fractionation of rare earths during sedimentation. *Geochem. Internat.*, 1: 951 - 969.
- Barberi M., Di Girolamo P., Locardi P., Lombardi G. & Stanzione D., 1979. Petrology of the calc-alkaline volcanics of the Parete 2 well (Campania, Italy). *Period. Mineral.*, 48, 53.
- BGS (British Geological Survey), 1987. *Regional Geochemical Atlas Series. Great Glen*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1990. *Regional Geochemical Atlas Series. Argyll*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1991. *Regional Geochemical Atlas Series. East Grampians*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1992. *Regional Geochemical Atlas Series. Lake District*. British Geological Survey, Keyworth.
- Biondi F. A. & Figliola A., 2002. Inquinamento dei suoli. In: *Bonifica dei siti inquinati, corso di aggiornamento professionale 18-20 Marzo 2002*, Soc. It. Geol. Amb., pp. 26.
- Bodiš D. & Rapant S., 1999. *Geochemical Atlas of the Slovak Republic*. Ministry of the Environment of Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic.
- Bosellini A., 1989. *Le scienze della terra*. Italo Bovolenta editore.
- Bowen H. J. M., 1982. *Environmental chemistry*. Royal Society of Chemistry Specialist Periodical Report Series. London.
- Boyd J. T., Doll R., Foulds J. S., Leiper J., 1970. Cancer of the lung in iron ore (haematite) miners. *Br. J. Industr. Med.*, 27: 97-103.
- Boyle R. W., 1968. *Geochemistry of silver and its deposits*. *Geol. Survey of Canada Bull.*, 160.
- Boyle R.W. & Jonasson I.R., 1973. The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Prospecting*, 2: 251-296.
- Brookins D. G., 1988. *Eh-pH diagrams for Geochemistry*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Browning E., 1969. *Toxicity of industrial metals*. Butterworth, London.
- Brumsack H. J., Heinrichs H. & Lange H., 1984. West German Coal Power Plants as Sources of Potentially Toxic emissions. *Environ. Technol. Lett.* 5: 7-22.

- Buchner G., 1975. Nuovi aspetti e problemi posti dagli scavi di Pitecusa con particolari considerazioni poste sulle oreficerie di stile orientaleggiante antico. In *Contribution a l'étude de la Société et de la Colonisation Eubéennes*, Pubbl., 59, Centre Jean Bérard, Napoli.
- Buchner G., 1986. Eruzioni vulcaniche e fenomeni vulcano-tettonici di età preistorica e storica dell'isola di Ischia. *Eruptions volcaniques, tremblements de terre et vie des hommes dans la Campanie Antique*, Pubbl., 7, Centre Jean Bérard, Naples.
- Buchner P., 1943. Formazione e sviluppo dell'Isola di Ischia. *Rivista di scienze naturali "Natura"*, Milano.
- Carapezza M., Hauser S., Parcelo F., Scelzi E., Valenza M., Favara R., Guerrieri S., 1988. Preliminary studies on the geothermal fluids of the Island of Ischia: Gas Geochemistry. *Rend. Soc. It. Miner. Petrol.*: 43, 967-974.
- CAST, 1976. Application of sewage sludge to cropland, appraisal of potential hazards of the heavy metals to plants and animals. Report 64, Council of Agr. Sci. & Tech. Ames, Iowa.
- Celico P., De Gennaro M., Ghiara M. R., Nunziata C., Rampolla A., Stanzione D., 1982. Nota illustrativa alla carta geotermica d'Italia (Campania). Progetto Finalizzato Energetica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia.
- Celico P., Stanzione D., Esposito L., Formica F., Piscopo V., De Rosa B., 1999. La complessità idrogeologica di un'area vulcanica attiva: l'isola di Ischia (Napoli, Campania). *Boll. Soc. Geol. It.*, 118: 485- 504.
- Cheng Q., 1994. Multifractal modelling and spatial analysis with GIS: Gold potential estimation in the Mitchell-Sulphurets area. Northwestern British Columbia. Unpublished PhD thesis. University of Ottawa, Ottawa, 268 pp.
- Cheng Q., 1999. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, 65: 175-194.
- Cheng Q., Agterberg F. P., Ballantyne S. B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51: 109-130.
- Cheng Q., Agterberg F. P., Bonham-Carter G. F., 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation.. *Journal of Geochemical Exploration*, 56: 183-195.
- Cheng Q., Xu Y., Grunsky E., 1999. Integrated spatial and spectrum analysis for geochemical anomaly separation. *Processings of the International Association For Math Geology*, Teeting, Trondheim, Norway, 1: 87-92.
- Cheng Q., Xu Y., Grunsky E., 2000. Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation. *Nature Resources Research*, 9: 43-56.
- Cheng Q., Bonham-Carter G. F., Raines G. L., 2001. GeoDAS - A new GIS system for spatial analysis of geochemical data sets for mineral exploration and environmental assessment. The 20th International Geochemical Exploration Symposium (IGES), May 6th to 10th, Santiago de Chile, 42-43.
- Chiesa S., Cornette Y., Forcella F., Gillot P. Y., Pasquarè G., Vezzoli L., 1985. Carta geologica dell'Isola di Ischia. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Chiesa S., Poli S., Vezzoli L., 1986. Studio dell'ultima eruzione storica dell'isola di Ischia. *Bollettino GNV*, 1: 153-166.

- Cicchella D., 2002. Nuove metodologie geochimiche ambientali per la valutazione dell'inquinamento dei suoli da metalli pesanti: l'area metropolitana e della Provincia di Napoli. Tesi di Dottorato in Geofisica e Vulcanologia, XV ciclo: pp.133, tavv. 109; Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università degli studi di Napoli "Federico II".
- Cicchella D., De Vivo B., Lima A., 2005. Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial area of Napoli (Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5, Issue 1: 29-40.
- Civetta L., Gallo G., Orsi G., 1991. Sr and Nd isotope and trace elements constraints on the chemical evolution of the magmatic system of Ischia (Italy) in the last 55 ka. *Journal Volcanological Geothermal Reserce.*, 46: 213-230.
- Correns C. W., 1978. Titanium. In: *Handbook of geochemistry*. Wedepohl K.H. editore. (Berlin-Hidelberg: Springer-Verlag.
- Costabile S., De Vivo B., Rolandi G., 2004. Cartografia geochimica ambientale dei suoli del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia Volume LXVIII*. Serv. Geol. Naz., APAT, Dip. Dif. Del Suolo. Editor: De Vivo B..
- Darnley A. G., Bjorklund B., Gustavsson N., Koval P. V., Plant J., Steenfelt A., Tauchid T. M. & Xie X. J., 1995. A Global Geochemical Database for environmental and resource management. Recommendations for international geochemical mapping, Earth Sciences report 19. UNESCO Publishing, Paris.
- Decreto del Ministero dell'Ambiente n°471 del 25 Ottobre 1999. Testo integrale.
- De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M. R. & Stanzione D., 1984. Geochemistry of thermal waters on the Island of Ischia (Campania, Italy). *Geothermics* 13(4): 361-374.
- De Vivo B., 1995 – Elementi e metodi di geochimica ambientale. Liguori editore. Napoli.
- De Vivo B., Lima A., Perrone V., Marigliano Ramaglia V., 1981 – L'uso dell'analisi fattoriale e regressiva nella prospezione geochimica: un esempio di applicazione su una campionatura di suoli nel bacino del Rio Legenda (Mozambico) – *Boll. Soc. Geol. It.*, 100: 107-127.
- De Vivo B., Boni M., Marcello A., Costabile S., Di Bonito M. e Russo A., 1998a. Cartografia geochimica della Sardegna. In: *cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale* (De Vivo B., Riccobono F. e Sabatini G.) *Monografia Mem. Serv. Geol. It.*.
- De Vivo B., Costabile S., e Lima A., 1998b. Cartografia geochimica della Calabria. In: *cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale* (De Vivo B., Riccobono F. e Sabatini G.) *Monografia Mem. Serv. Geol. It.*.
- De Vivo B., Riccobono F., Sabatini G., 1998c. Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale. *Monografia Mem. Descritt. Della Carta Geologica d'Italia. Serv. Geol. Naz.,vol. LV, 144 pp.*.
- De Vivo B., Boni M., Costabile S., 2001. Cartografia geochimica ambientale della Sardegna. Carte d'intervento per l'uso del territorio. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico Nazionale, Volume LVII*.
- De Vivo B., Lima A., Cicchella D., Albanese S., 2003. *Atlante geochimico-ambientale della Regione Campania*. De Frede Editor, Napoli.

- De Vivo B., Lima A., Albanese S., Cicchella D., Fedele L. and Frattini P., 2004a. Geochemical environmental maps of soils of Campania Region urban areas, Italy. 14th Annual Goldschmidt Conference, 5-11 June: abstract 4.7.P05.
- De Vivo B., Lima A., Siegel F. R., 2004b. Geochimica ambientale. Metalli potenzialmente tossici. Liguori Editore, Napoli.
- De Vivo B., Lima A., Cicchella D., Albanese S., 2005. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana della Provincia di Napoli. Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia – Università degli Studi di Napoli Federico II.
- De Vivo B., Lima A., Cicchella D., in stampa-a. Cartografia geochimica ambientale del bacino del fiume Volturno. Carte della radioattività e del rischio per l'uso del territorio. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico Nazionale.
- De Vivo B., Lima A., Frattini P. & Cicchella D., in stampa-b. Atlante geochimico-ambientale dei suoli vulcanici dell'Isola di Ischia. Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia – Università degli Studi di Napoli Federico II.
- De Voto E. & Yokel R. A., 1994. The biological speciation and toxicokinetics of aluminium. Environ Health Perspect, 102: 940-951.
- di Gennaro A., 2002. I sistemi di terre della Campania. Napoli, Regione Campania.
- di Gennaro A., D'Antonio A., Ingenito M. R., Lulli L., Marseglia G., Terribile F., Toderico L., 1995. I suoli della provincia di Napoli. Studi sul Mezzogiorno. Camera di Commercio, Industria, Artigianato, Agricoltura; Napoli.
- Doner H. E. & Lynn W. C., 1977. In: Minerals in soil environments (Dinauer R. C., ed.): 75-96. SSSA, Madison, Wisconsin.
- Drever J. I., 1988. The geochemistry of natural waters. New Jersey: Prentice-Hall.
- Ellison G., Newham J., Thompson I., 1976. Heavy metal contents of moss in the region of Consett (North-East England). Environmental Pollution, 11: 167-174.
- Engelke R. 1984. Schwermetallgehalte in Laubmoosen des Hamburger Stadgebietes und Untersuchungen zur Sensibilität bei experimenteller Belastung. Universität Hamburg.
- EPTN, 2002. Ente Provinciale per il Turismo di Napoli, Ufficio Statistica. Rilevazione 2002.
- ESRI Programs, 1997. GIS ArcView 3.2.
- Ewers U., 1988. Environmental Exposure to Thallium. Sci. Total Environ., 71: 285-292.
- FAO, 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resources, Reports n°84, Rome.
- Fergusson J. E., 1990. The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Oxford: Pergamon.
- Forbes E. A., Posner A. M. e Quick J. P., 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, Zn on goethite. Journal of Soil Science, 27: 154-165.
- Fowler B. A., 1982. Indium and thallium in health. Trace Metals Human Health. Butterworth, London: 74-82.

- Fusi N., Tibaldi A., Vezzoli L., 1990. Vulcanismo, risorgenza calderica e relazioni con la tettonica regionale nell'isola di Ischia. Mem. Soc. Geol. It..
- Fusi N., Tibaldi A., Vezzoli L., 1993. Vulcanismo, risorgenza calderica e relazioni con la tettonica regionale nell'isola di Ischia. Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano.
- GeoDAS, 2001. GeoData Analysis System for Windows. GIS by York University in collaboration with GSC-USGS, Toronto, Canada.
- Ghittori S., Alessio A., Maestri L., Negri S., Sgroi M., Zadra P., 2002. Schede informative per il monitoraggio biologico. Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia Vol. XXIV- N.3 Suppl. Luglio/Settembre – PI-ME, Pavia.
- Goyer R. A., 1993. Lead toxicity: current concerns. Environ Health Perspect, 100: 177-187.
- Heim M., Wappelhorst O., Market B., 2002. Thallium in terrestrial environmental-occurrence and effects. Ecotoxicology, 11(5): 369-377.
- Heinrichs H., 1974. Die Untersuchung von Gesteinen und Gewässern auf Cd, Sb, Hg, Pb, Bi mit der flammenlosen Atomabsorption. Unpublished PhD thesis, University of Gottingen.
- Helgeson H. C., 1969. Thermodynamics and hydrothermal system at elevated temperatures and pressures. American Journal of Science, 267: 729 - 804.
- Henderson A. S., 1986. The epidemiology of Alzheimer's disease. Br Med Bull, 42: 3-10.
- Herpin U., 1997. Moose als Bioindikatoren von Schwermetalleinträgen; Möglichkeiten und Grenzen für flächenhafte und zeitabhängige Aussagen. Dissertation, University of Osnabrück.
- ISTAT, 1996. Dati dell'Ufficio di Statistica della Camera de Commercio di Napoli.
- ISTAT, 2001. Dati dell'Ufficio di Statistica della Camera del Commercio di Napoli.
- Jalkanen L., Mäkinen A., Häsänen E., Juhanoja J., 2000. The effect of anthropogenic large particulate emissions on atmospheric aerosols, deposition and bioindicators in Eastern Gulf of Finland Region. Sci. Total Environ., 262: 123-136.
- Jović V., 1993. Thallium in rocks, soils, plants: past progress and future needs. N. Jb. Miner. Abh. 166: 43-52; Stuttgart.
- Kabata-Pendias A. & Pendias H., 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed., CRC Press USA.
- Kadūnas V., Budavicius R., Gregoranskiene V., Katinas V., Kliangiene E., Radzevicius A., Taraskevicius R., 1999. Geochimical Atlas of Lithuania. Geological Survey of Lithuania, Geological Institute, Vilnius.
- Kagey B. T., Bumgarner J. E., Creason J. P., 1977. Arsenic levels in maternal-fetal tissue sets, in Hemphill OD. Columbia University of Missouri Press: 252-256.
- Kazantzis G., 1986. Thallium in: Friberg L., Nordberg G. F. and Vouk V. B. (eds.), Handbook on the Toxicology of metals. 2nd Ed., Vol. II: 549-567. Elsevier, Amsterdam- New York – Oxford.
- Kazantzis G., 2000. Thallium in the environment and health effects. Environmental Geochemistry and Health 22: 275-280.

- Kemper F. H. & Bertram H. P., 1991. Thallium in: *Metals and Their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Ernest Merian ed., Münster, Fed. Rep. Of Germany: 1227- 1241.
- Korringa M. K. & Noble D. C., 1971. Distribution of Sr and Ba between natural feldspar and igneous melt. *Earth and Planetary Science Letters*, 11: 147-151.
- Kosterin A. V., 1959. The possible modes of transport of the rare earths by hydrothermal solutions. *Geochem. Internat. (traduzione inglese)*: 381 - 387.
- Krauskopf K., 1967. *Introduction to geochemistry*. Kogakusha: McGraw Hill.
- Lauwers R. R., Roels H. A., Bucket J. P., 1979. Investigation on the lung and kidney function in workers exposed to cadmium. *Environ Health Perspect* 28: 137-146.
- Lepeltier C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphycal representation. *Econ. Geol.*, 64: 538-550.
- Lima A., Daniele L., De Vivo B., Sava A., 2001. Minor and trace elements investigation on thermal groundwaters of Ischia Island (Southern Italy). *Proceedings of Water Rock Interaction-10 (Cidu R., Edt), Balkema*, 2: 981-984.
- Lima A., Cicchella D., Di Francia S., 2003a. Natural contribution of harmful elements in thermal groundwaters of Ischia island (southern Italy). *Environmental Geology*, 43: 930-940.
- Lima A., De Vivo B., Cicchella D., Cortini M., Albanese S., 2003b. Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of Campanian Region (Italy). *Applied Geochemistry*, 18: 1853-1865.
- Lima A., Albanese S., Cicchella D., 2005. Geochemical Baselines for the radioelements K, U and Th in the Campania Region, Italy: a comparison of stream sediment geochemistry and gamma-ray surveys. *Applied Geochemistry*, 20: 611-625.
- MacDonald R., Upton B. G. T. and Thomas J. E., 1973. Potassium and fluorite-rich hydrous phase co-existing with peralkaline granite in South Greenland. *Earth and Planetary Science Letters*, 18: 217 - 222.
- Maschke J., 1981. Moose als Bioindikatoren von Schwermetallimmissionen. In: Cramer J., editor. *Bryophitum Bibliotheka* 22, Vaduz.
- McMartin I., Henderson P. J., Plouffe A. and Knight R. D., 2002 – Comparison of Cu-Hg-Ni-Pb concentrations in soils adjacent to anthropogenic point sources: examples from four Canadian sites – *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2: 57-74.
- Micke H., Bertram H. P., Kemper F. H., 1983. Thallium in : *Ulmans Encyklopädie der technischen Chemie*, 4th Ed., 23: 103-114. Verlag Chemie, Weinheim-Deerfield Beach/Florida-Basel.
- Miesch Programs, 1990. G-RFAC. Grand Junction, CO, USA.
- Moeschlin S., 1980. Thallium poisoning. *Clin. Toxicol.*, 17: 133-146.
- Nunziata C. & Rapolla A., 1981. Interpretation of gravity and magnetic data in the Phlegrean Fields geothermal area, Naples, Italy. *Jour. Geother. Res.*, 5: 209-225.
- Orsi G., Gallo G., Zanchi A., 1991. Simple shearing block-resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia. *Journal Volcanological Geothermal Reserche*, 47: 1-11.

- Orsi G., Piochi M., Campatola L., D'Onofrio A., Gialanella L., Terrasi F., 1996. 14C geochronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5000 years. *Journal Volcanological Geothermal Reserce*, 71: 249-257.
- Ottesen R. T., Bogen J., Bolkiven B., Volden T., Haugland T., 2000. *Geochemical Atlas of Norway*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- Panichi C., Bolognesi L., Ghiara M. R., Noto P., Stanzione D., 1992. Geothermal assessment of the island of Ischia (southern Italy) from isotopic and chemical composition of the delivered fluids. *Journal Volcanological Geothermal Reserce*, 49: 329-348.
- Penta F. & Conforto B., 1951a. Risultati di sondaggi e ricerche geominerarie nell'isola di Ischia dal 1932 al 1943 nel campo del vapore, delle acque termali e delle forze endogene in generale. *Ann. Geof.* 4, 1.
- Penta F. & Conforto B., 1951b. Sulle misure di temperatura del sottosuolo nei fori trivellati in presenza di acqua e sui relativi rilievi freaticometrici in regioni idrotermali. *Ann. Geof.* 4: 43-93.
- Piper D. Z., 1974. Rare-earth elements in the sedimentary cycle: a summary. *Chemical Geology*, 14: 285 - 304.
- Plant J., Breward N., Forrest M.D. and Smith R.T., 1989. The gold pathfinder elements As, Sb and Bi: their distribution and significance in the southwest Highlands of Scotland. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B: Applied Earth Sciences*, 98: B91-101.
- Plant J.A., Reeder S., Salminen R., Smith D.B., Tarvainen T., De Vivo B. and M.G. Petterson, 2003. The distribution of Uranium over Europe: geological and environmental significance. *Applied Earth Science (The Institution of Mining and Metallurgy)*, 112 (B1): 221-238.
- Plant J., Smith D., Smith B., Williams L., 2001. Environmental geochemistry at the global scale. *Applied Geochemistry*, 16: 1291-1308.
- Plant J.A., De Vivo B., O'Connor P., Reeder S., Salminen R., Smith B. and T Tarvainen, 2005. Uranium distribution at the European scale: Implications for exploration. *IAEA Symposium*.
- Prasad A. S., 1983. Human zinc deficiency. *Biol. Aspects of metals and metal-related deseas*. Raven Press, New York: 107-119.
- Provincia di Napoli, 2003. Secondo rapporto sullo stato dell'ambiente della Provincia di Napoli. Assessorato all'Ambiente.
- Reimann C., Äyräs M., Chekushin V., Bogatyrev I., Boyd R., Caritat P. de, Dutter R., Finne T. E., Halleraker J. H., Pavlov V., Räsänen M. L., Strand T. & Volden T. (1998). *Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region*. NGU, GTK, CKE Spec. Publ., Grytting AS.
- Rippey B., 1982. Sediment-water interactions of Cu, Zn e Pb discharged from a domestic waste water source into a bay of Lough Neagh, Northern Ireland. *Environmental Pollution (B)*, 3: 199 - 214.
- Rittmann A., 1930. *Geologie der insel Ischia*. Z.f. Vulkanol. Ergänzungsbad, 6.
- Rittmann A., 1948. Origine e differenziazione del magma ischitano. *Schweiz Miner. Petrogr. Mitt.*, 28: 643-698.
- Rittmann A. & Gottini V., 1980. L'isola di Ischia. *Geologia. Bollettino Servizio Geologico Italiano*.

- Ronov A. B., Balashov A., Girin Y. P. e Bratishko R. K., 1974. Regularities of rare elements distributions in the sedimentary shell and in the crust of the earth. *Sedimentology*, 21: 171-193.
- Ross H. B., 1990. On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium scherebi*) for estimating atmospheric trace metals dposition. *Water Air Soil Pollution*, 50, pp: 63-76.
- Rühling Å., 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe; estimation based on moss analysis. *Nord*, 9.
- Salminen R., Tarvainen T., Demetriades A., Duris M., Fordyce F. M., Gregorauskiene V., Kahelin H., Kivisilla J., Klaver G., Klein H., Larson J. O., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mjartanova H., Mouvet C., O'Connor P., Odor L., Ottonello G., Paukola T., Plant J. A., Reimann C., Schermann O., Siewers U., Steenfelt A., Van der Sluys J., De Vivo B., William L., 1998. Geological Survey of Finland, guide 47. Also available from: www.gsf.fi/foregs/geochem/fieldman.pdf.
- Salminen R. & Gregorauskiene V., 2000. Considerations reading the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. *Applied Geochemistry*, 15: 647-653.
- Salminen R., Bbogatyrev I., Chekushin V., Glavatskikh S., Tenhola M. and Tomilina O., 2003. Barents Ecogeochemistry: a Large Geochemical Baseline Study of Heavy Metals and other Elements in Surfaceal Deposits, NW-Russia and Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 36: 45-52.
- Salminen R. (Editor), Batista M. J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Gilucis A, Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein P., LIS J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., Mrnkova J., O'Connor P.J., Olsson S., Ottesen R. T., Petersell V., Plant J. A., Reeder S., Salpeteur I., Sandström H., Siewers U., Steenfelt A. and T. Tarvainen,. 2005. FOREGS Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Background Information, Methodology, and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo.
- Santi B., 1955. Manifestazioni esalativo-idrotermali dell'isola di Ischia. *Bull. Vulcanol.* XVI.
- Senior A. & Leake B. E., 1978. Regional metasomatism and the geochemistry of the Dalradian metasediments of Cannemara, West Ireland. *Journal of Petrology*, 19: 585 - 625.
- Sequi P., 1989. *Chimica del suolo*. Patron Editore, Bologna.
- Schoer J., 1984. In: Hutzinger O. ed.: *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 3 (C9). Springer-Verlag, Berlin, 143-214.
- Short N. M., 1961. Geochemistry variations in four residual soils. *Journal of Geology*, 69: 534 - 571.
- Siegel F. R., 2002. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer ed.; Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Sinclair A. J., 1974. Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs. *J. Geochem. Explor.*, 3: 129-149.
- Sinclair A. J., 1976. Application of probability graphs in mineral exploration. *AEG SP*. Vol. 4, Toronto.
- Smith S. K., 1999. Cadmium. In: C. P. Marshall and R. W. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of geochemistry*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 656.

- Snyder G. A., 1999. Vanadium. In: C. P. Marshall and R. W. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of geochemistry*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 656.
- Sobott R. J. Gordon, 1993. Environmental aspects of Thallium. *N. Jb. Miner. Abh.*, 166: 77–81; Stuttgart.
- Sobott R. J., Klaes R. & Moh G., 1987. Thallium containing mineral system. Part I: natural assemblages of Tl-sulfosalts and related laboratory experiments. *Chem. Erde* 47: 195-218.
- Strahler A. N., 1984. *Geografia fisica*. Piccin editore.
- Staine D. J., 1962. The trace element content of fertilizer. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Bucks, England.
- Stanley C. R., 1987. Probplot, an interactive computer program to fit mixtures of normal (or lognormal) distribution with maximum likelihood of optimization procedures. *Assoc. Explor. Geochem., Spec. Publ.*, 14, pp. 39.
- Steinnes E. (1984). – Monitoring of trace element distribution by means of mosses. – *Fresenius J. Anal. Chem.*, 317: 87-97.
- Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R. A., McGill R. A. R., Parrish R. R., 2002. Anthropogenic vs. natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2: 45-56.
- Teinemaa E., Kirso U., Strommen M. R., Kamens R. M., 2002. Deposition flux and atmospheric behaviour of oil shale combustion aerosols. *Oil Shale 2003*, Tallin, Estonia, 20 n.3S: 429-440.
- Tennant C. B. & White M. L., 1959. Study of the distribution of some geochemical data. *Econ. Geol.*, 54: 1281-1290.
- Tremearne T. H. & Jacob K. D., 1941. Arsenic in natural phosphates and fertilizers. US department of Agriculture Technical Bulletin, 781.
- Thomas D. W., Hartly T. F., Sobocki S., 1977. Clinical and laboratory investigations of the metabolism of bismuth containing pharmaceuticals by man and dogs. *Clinical Chemistry and Clinical Toxicology of metals*. Elsevier, Amsterdam: 293-296.
- Turcotte D. L., 1997. *Fractals in geology and geophysics*. 2nd Edition, Cambridge University Press, New York.
- Turekian K. K., Wedepohl K. H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* 72: 175-192.
- Ure A. M. & Berrow M. L., 1982. The elemental constituents of soils. 94-204. In: *Environmental chemistry*, Vol. 2. Editore: Bowen HJM. London: Royal Society of Chemistry Special Report Series.
- Uzdowski H. G., 1970. Magnesium. In: *Handbook of Geochemistry* (Section 12 G-2). Editore: Wedepohl K.H. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Vezzoli L., 1988. Island of Ischia. C.N.R., Quaderni del "La Ricerca Scientifica", Roma.
- Vine J. D. e Tourtelot E. B., 1970. Geochemistry of black shale deposits: a summary report. *Economic Geology*, 65: 255-272.

- Vinogradov A. P., 1962. Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth's crust. *Geochemistry*, 7: 641 - 655.
- Wappelhorst O., Kühn I., Oehlmann J., Market B., 2000. Deposition and disease: a moss monitoring project as an approach to ascertaining potential connections. *The Science of Total Environment* 249: 243-256.
- Watterson A., 1998. Toxicology in the working environment. In: J. Rose, Ed., *Environmental toxicology: current developments*. Gorgon and Breach Science Publishers, Amsterdam: 225-252.
- Wedepohl K. H., 1978. *Handbook of Geochemistry*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochemical Cosmochemical Acta*, 59: 1217-1232.
- Winship K. A., 1987. Toxicity of antimony and its compounds. *Adv. Drug. React. Acute Pois. Rev.*, 2: 67-90.
- Yaron B., Calvet C., Prost R., 1996. *Soil pollution: processes and dynamics*. Springer, Berlin (D).
- Zuppetta A., Sava A., Zuppetta C., 1993. Evoluzione vulcano-tettonica dell'Isola di Ischia: un modello per gli ultimi 33 Ka di attività. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 112: 353-369.

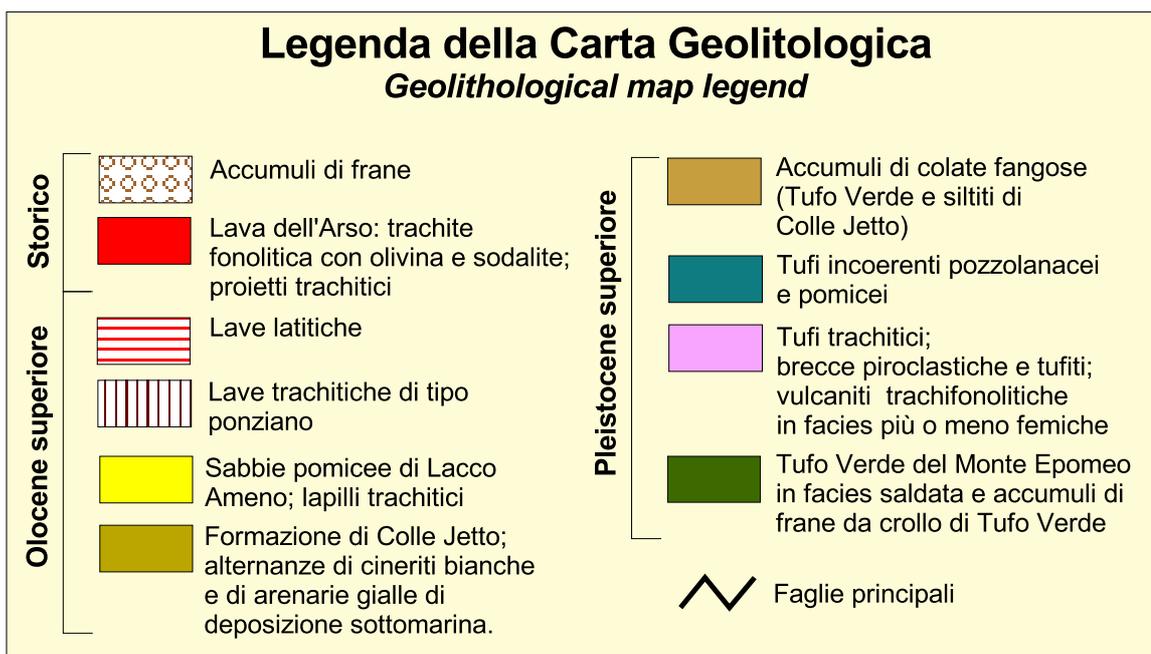
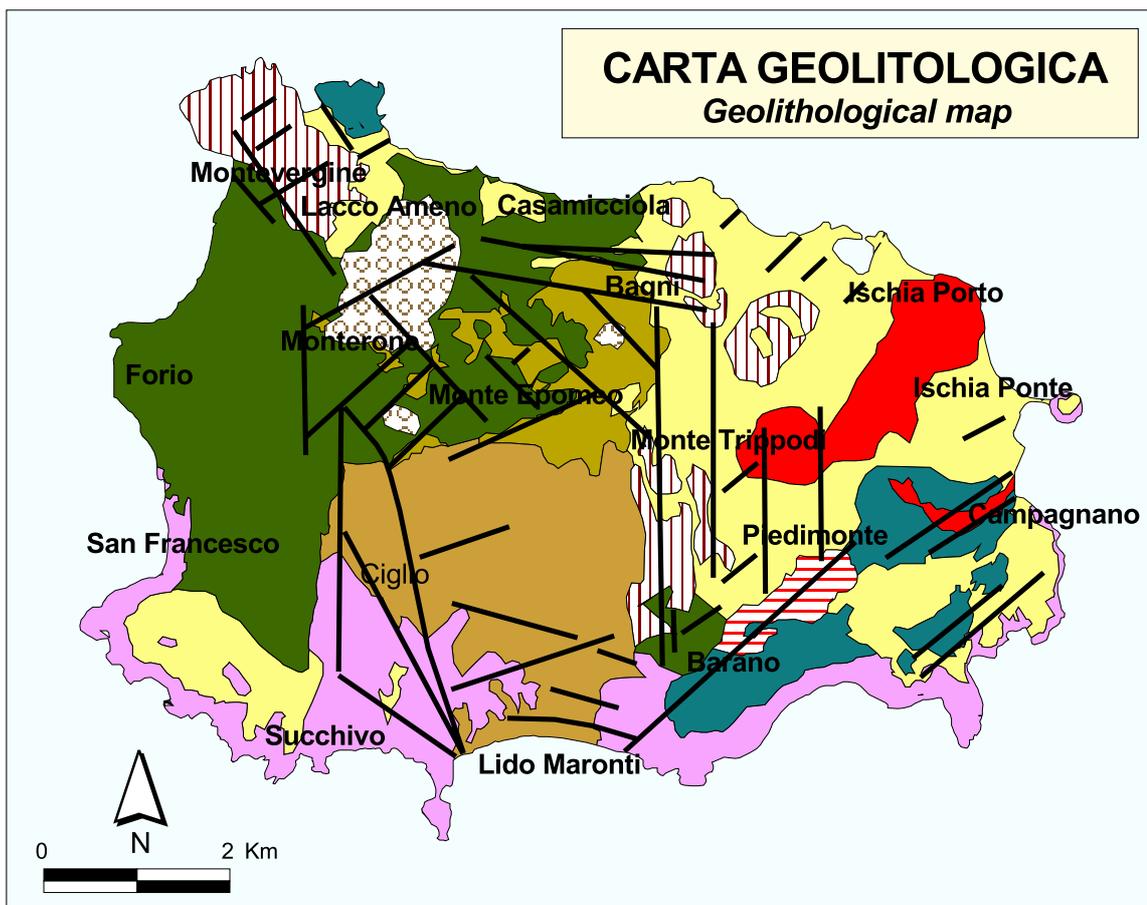


TAVOLA 1

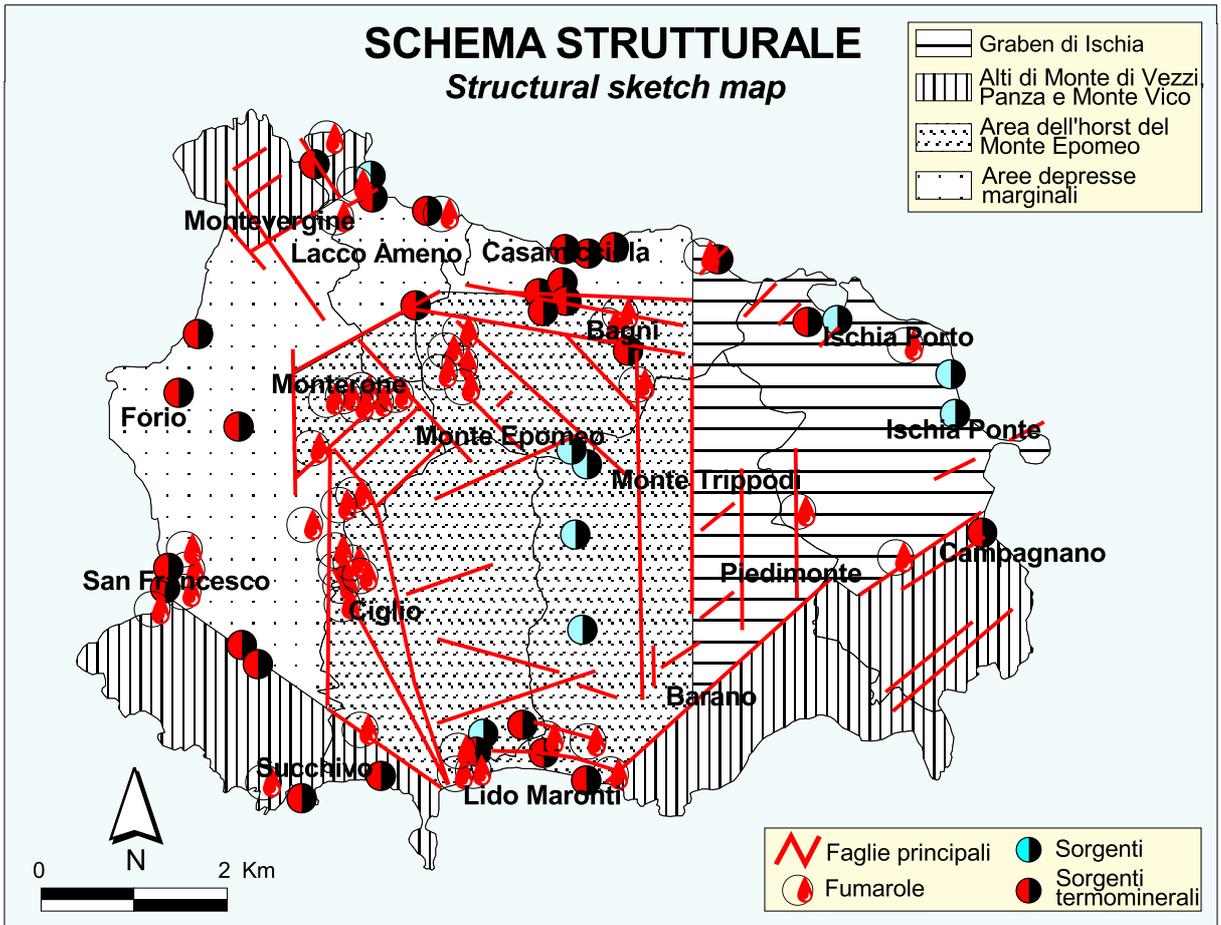


TAVOLA 2

CARTA DELLE ATTIVITA' ECONOMICHE

Economic activities map

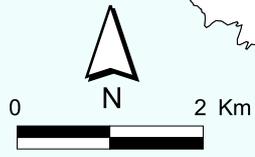
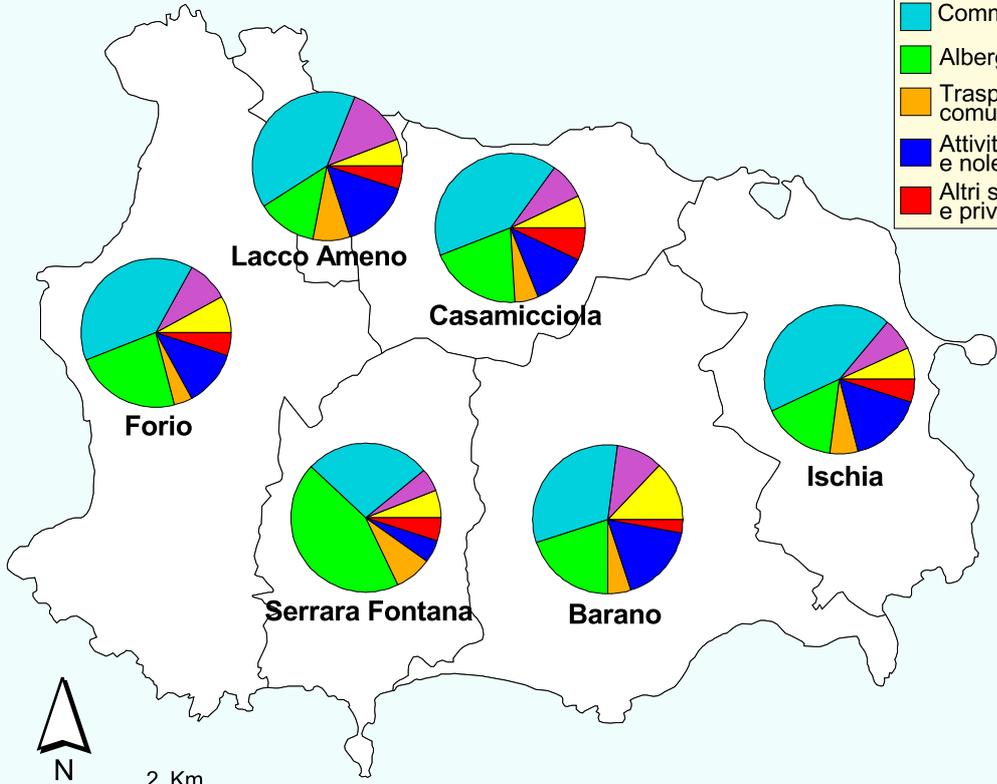


TAVOLA 3

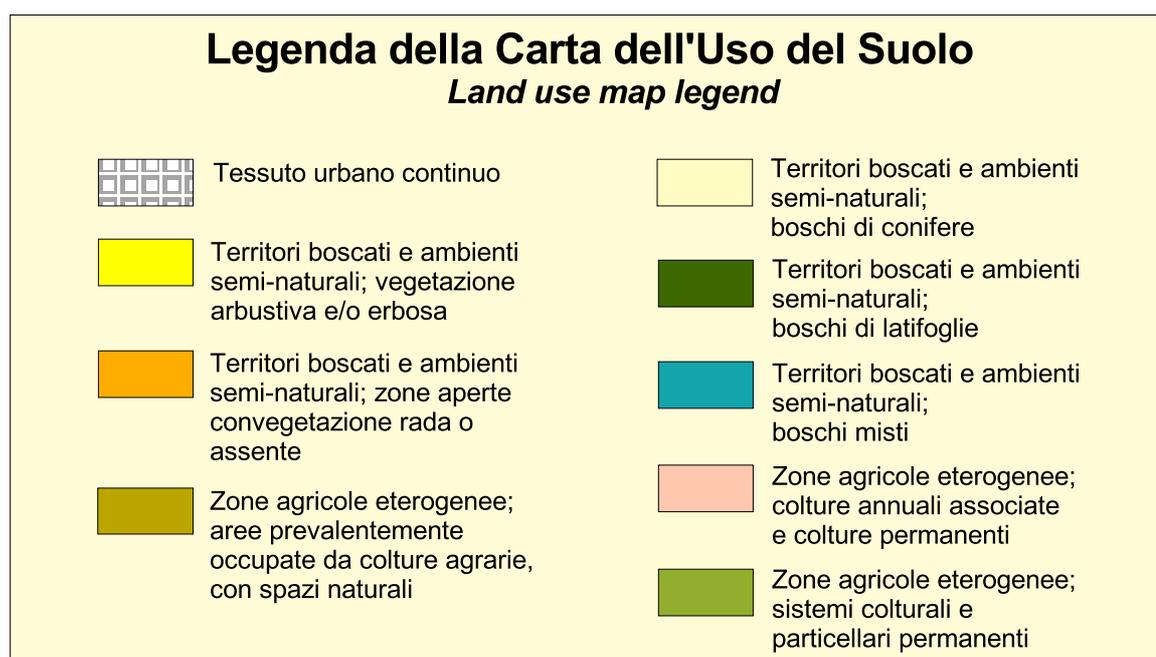


TAVOLA 4

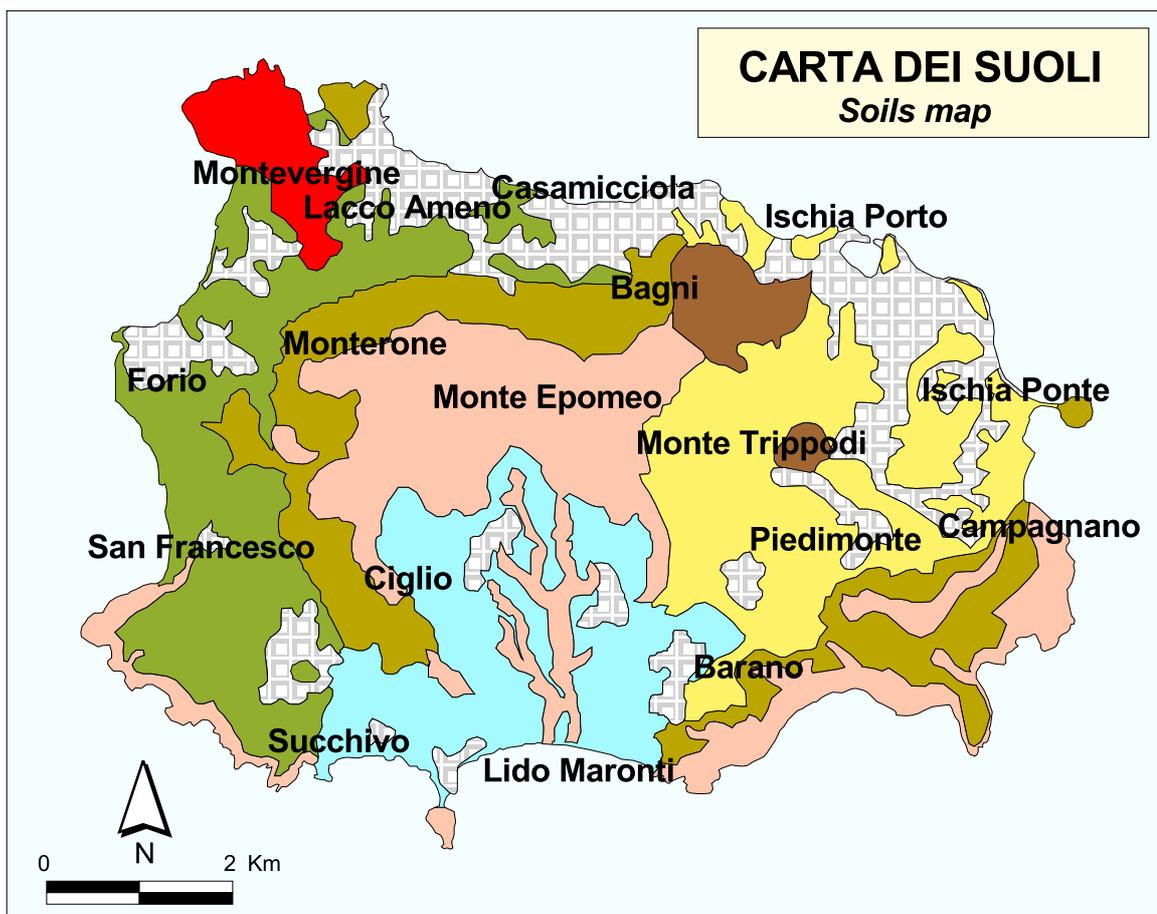
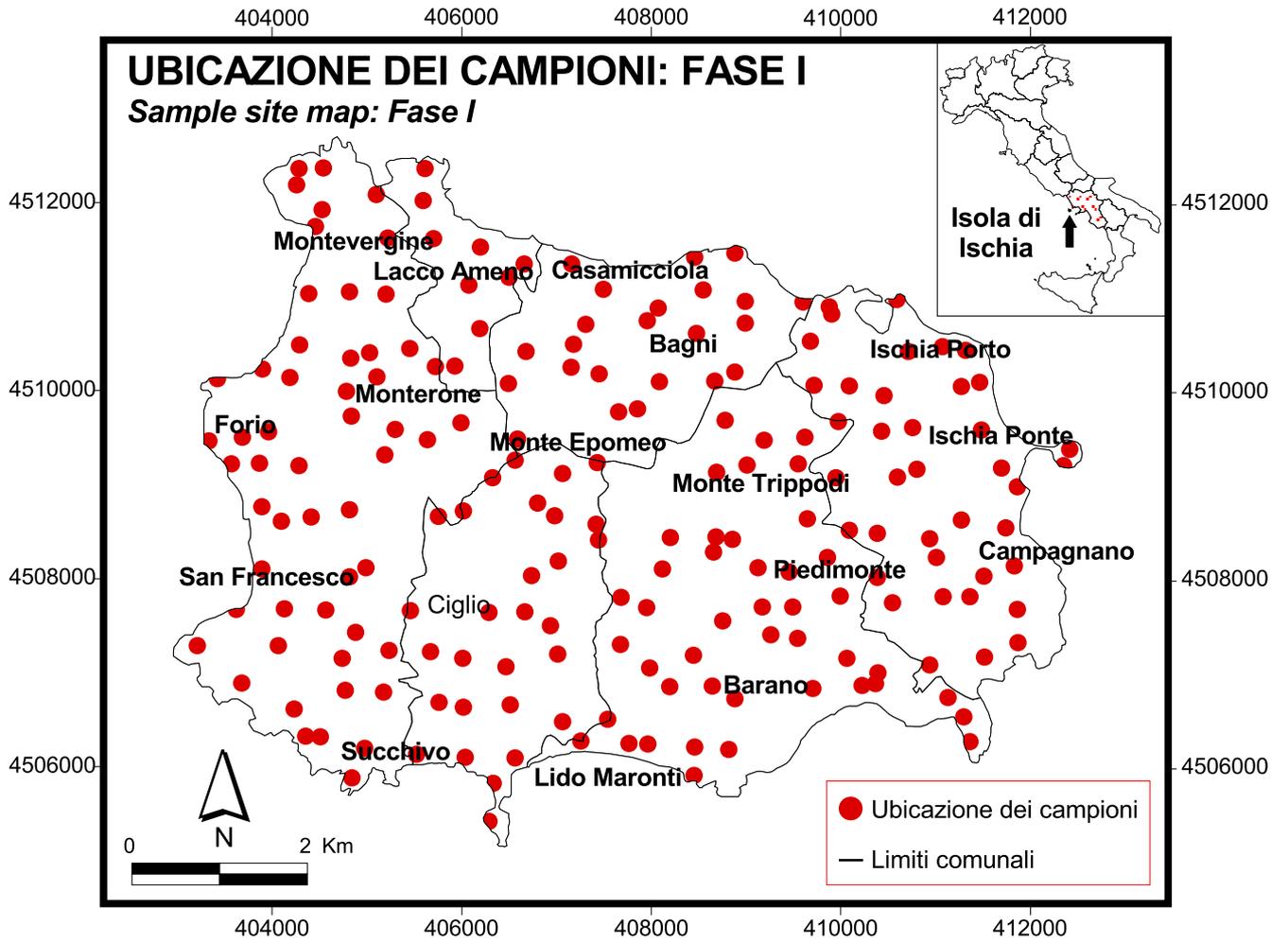


TAVOLA 5



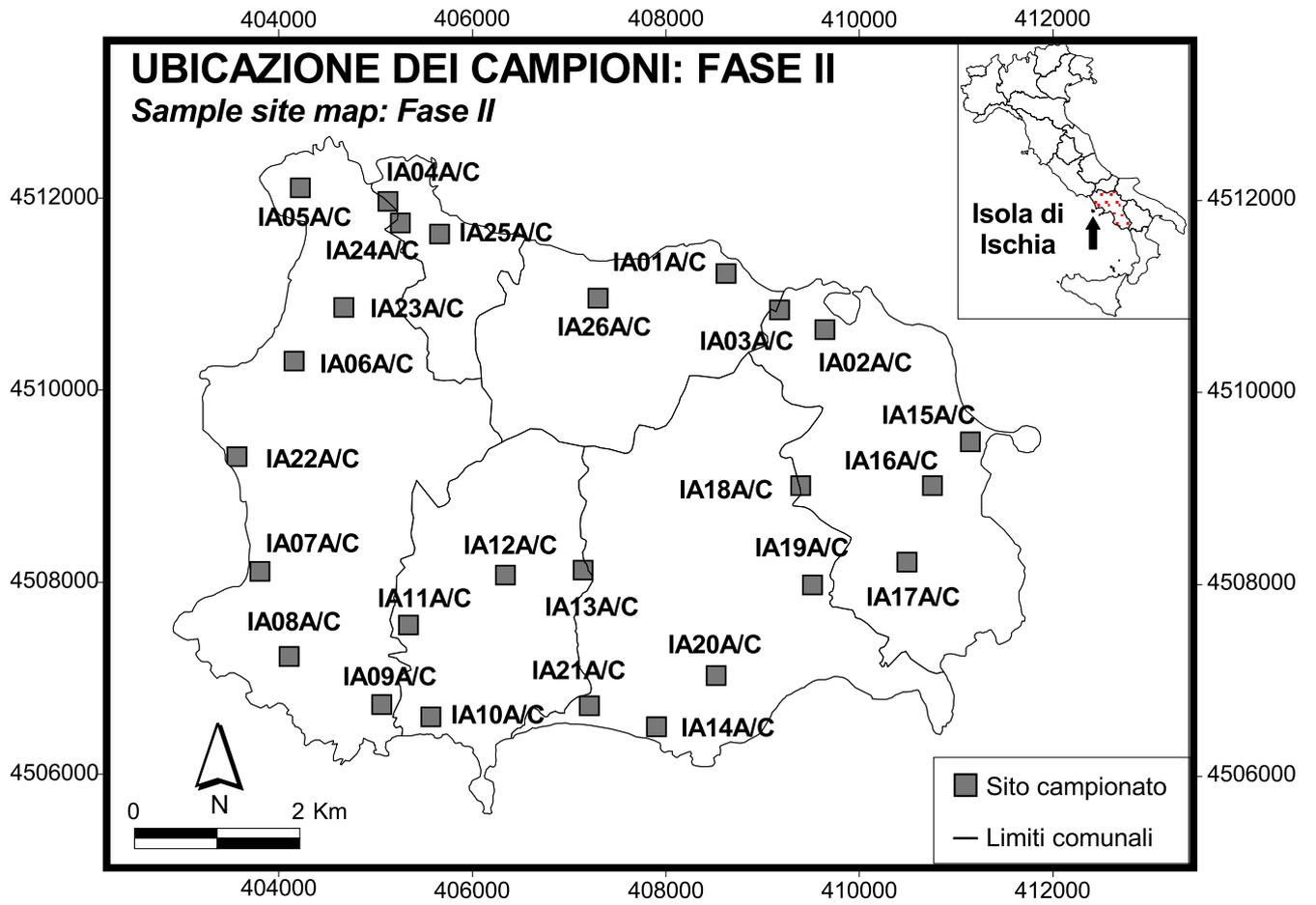


TAVOLA 7

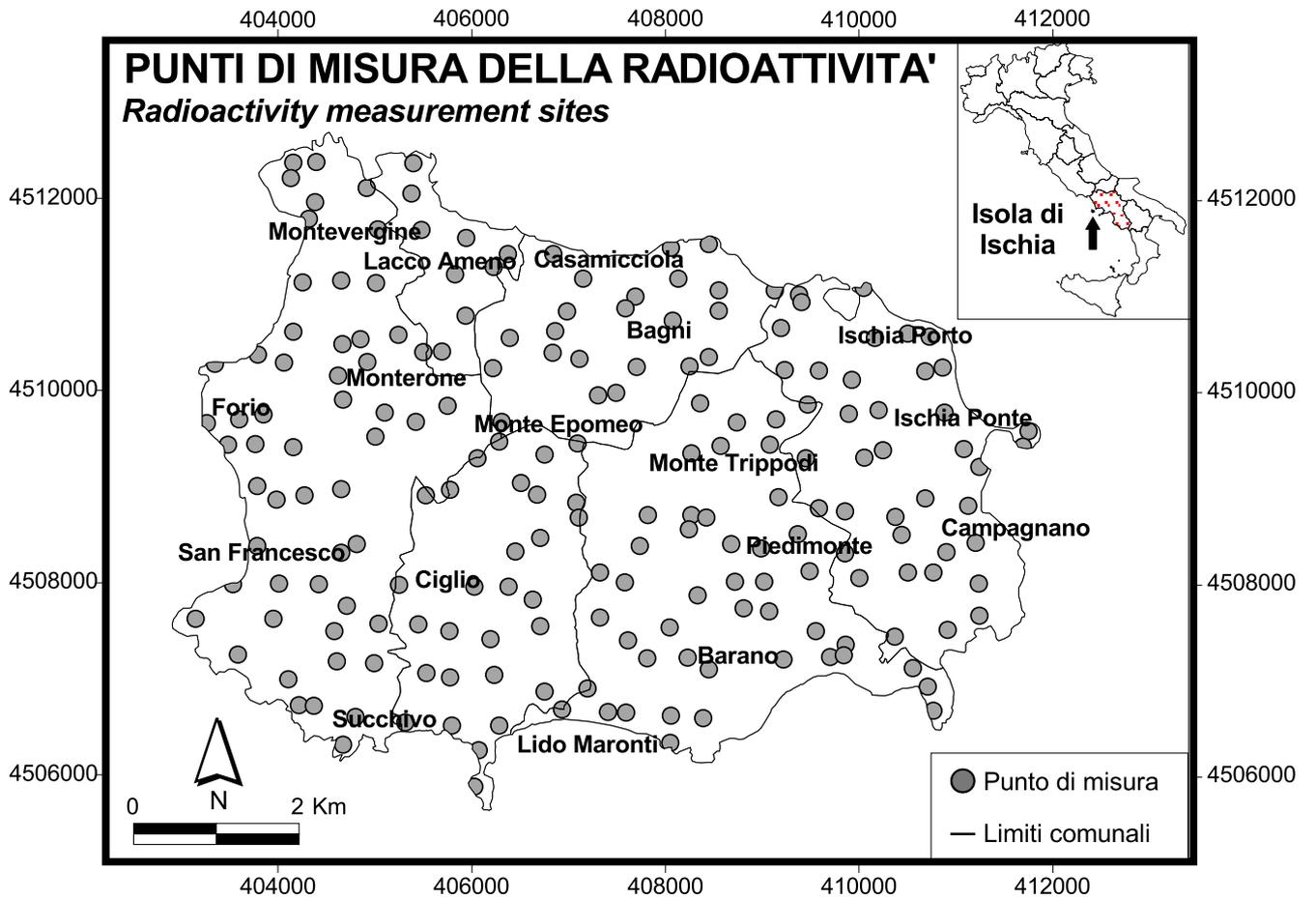


TAVOLA 8

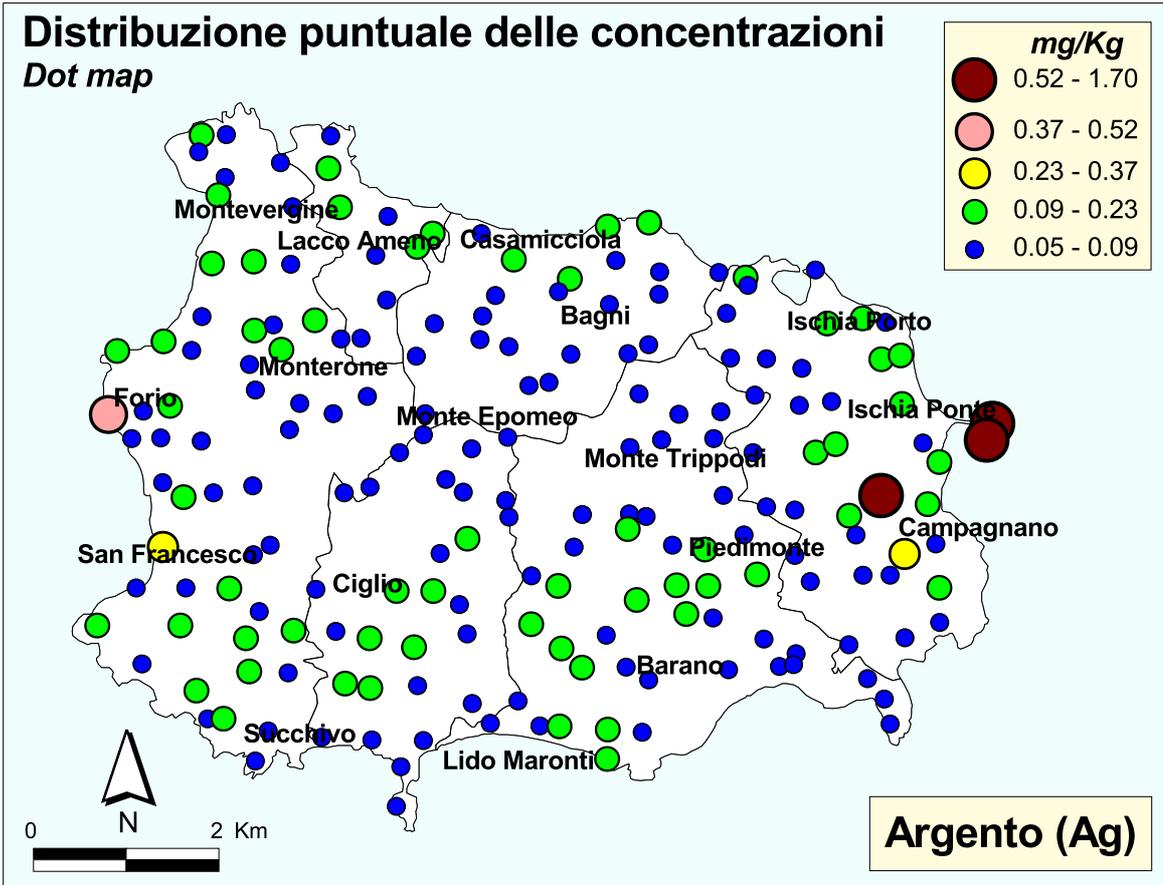


TAVOLA 9A

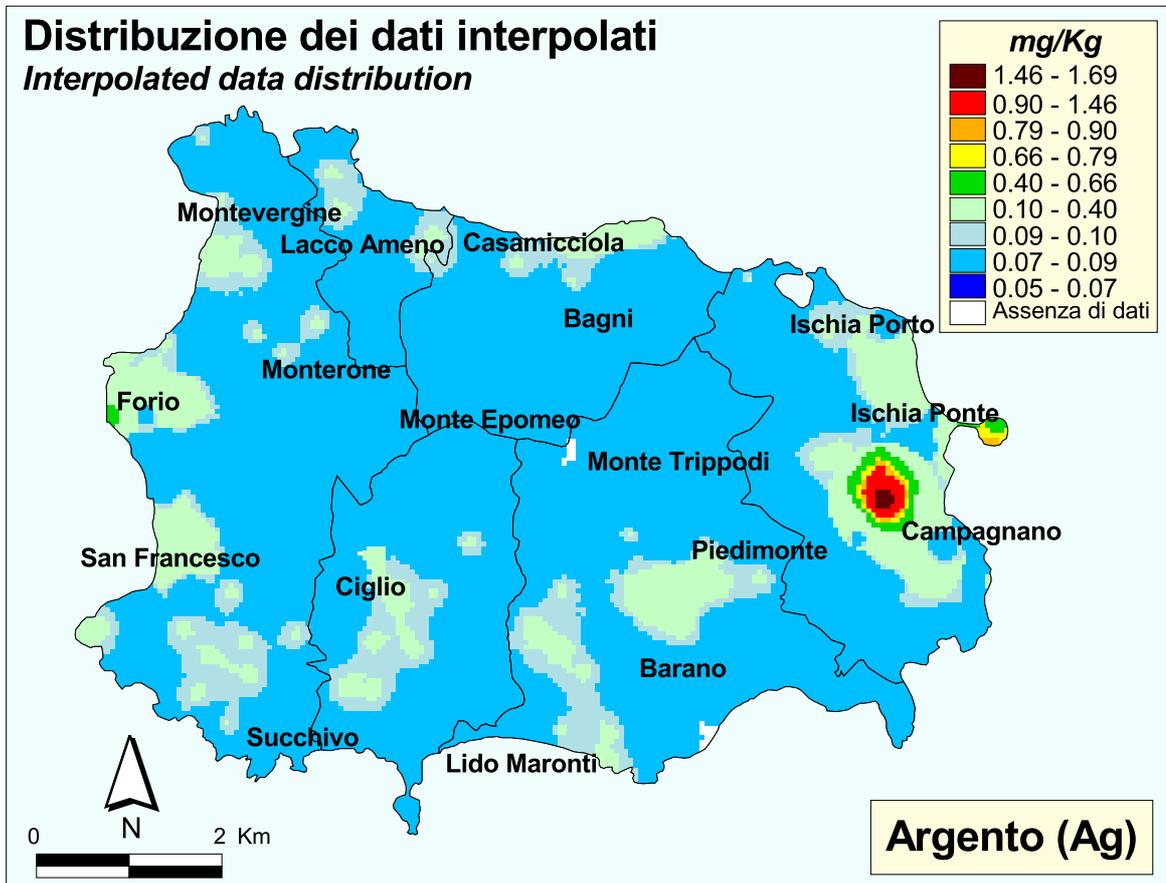


TAVOLA 9B

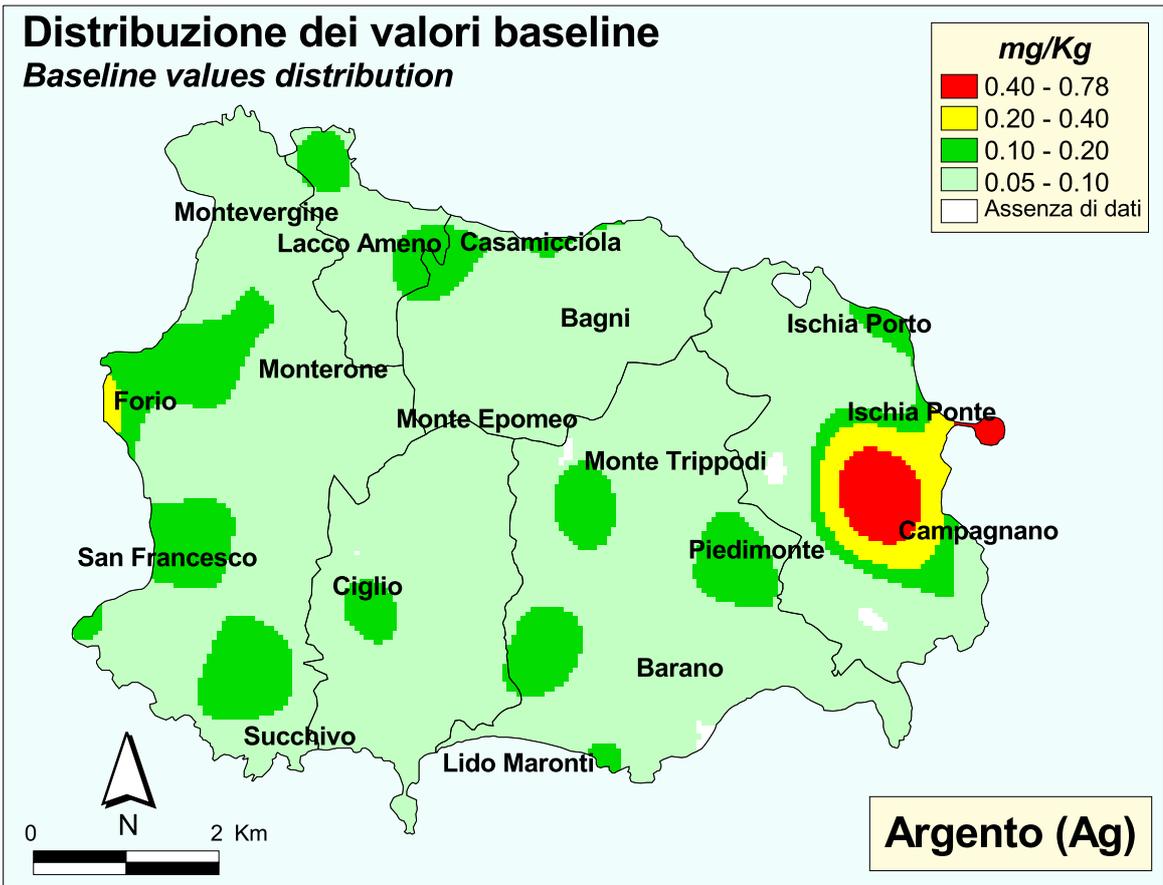


TAVOLA 9C

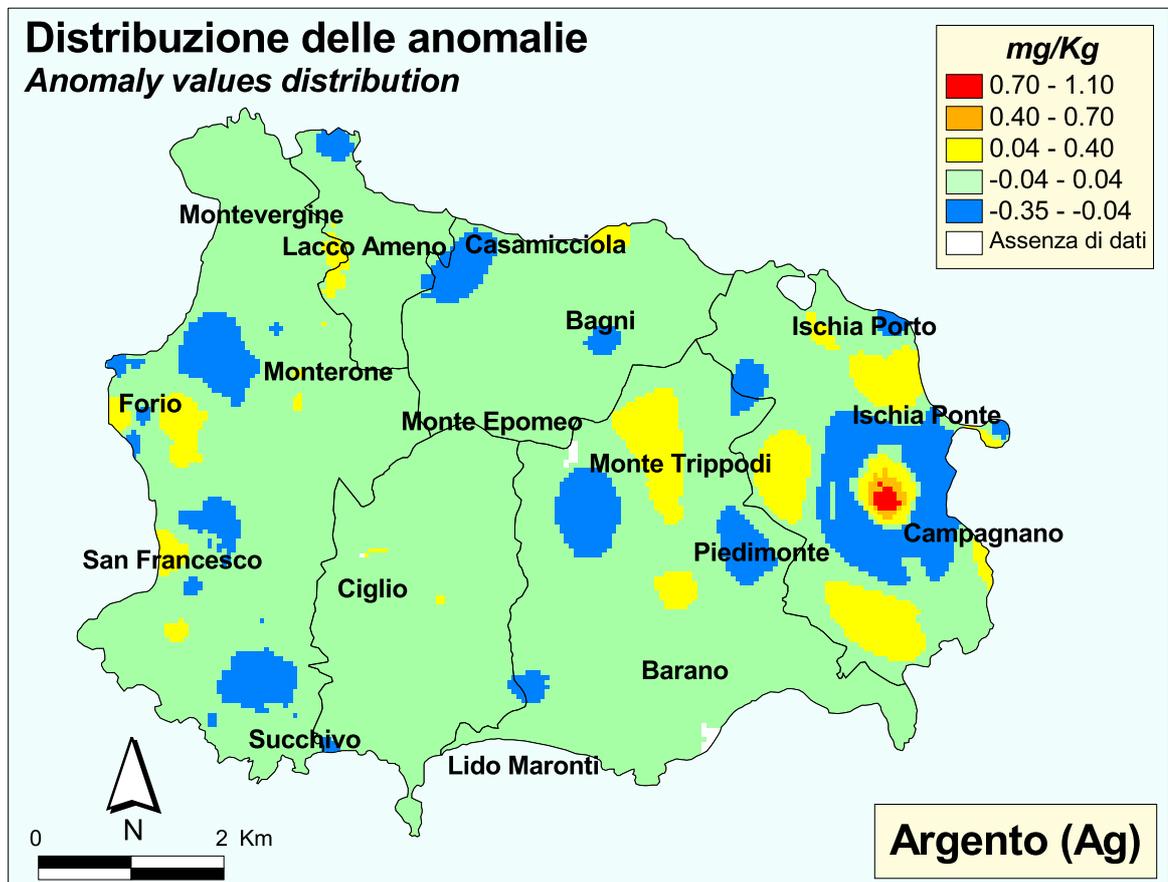


TAVOLA 9D

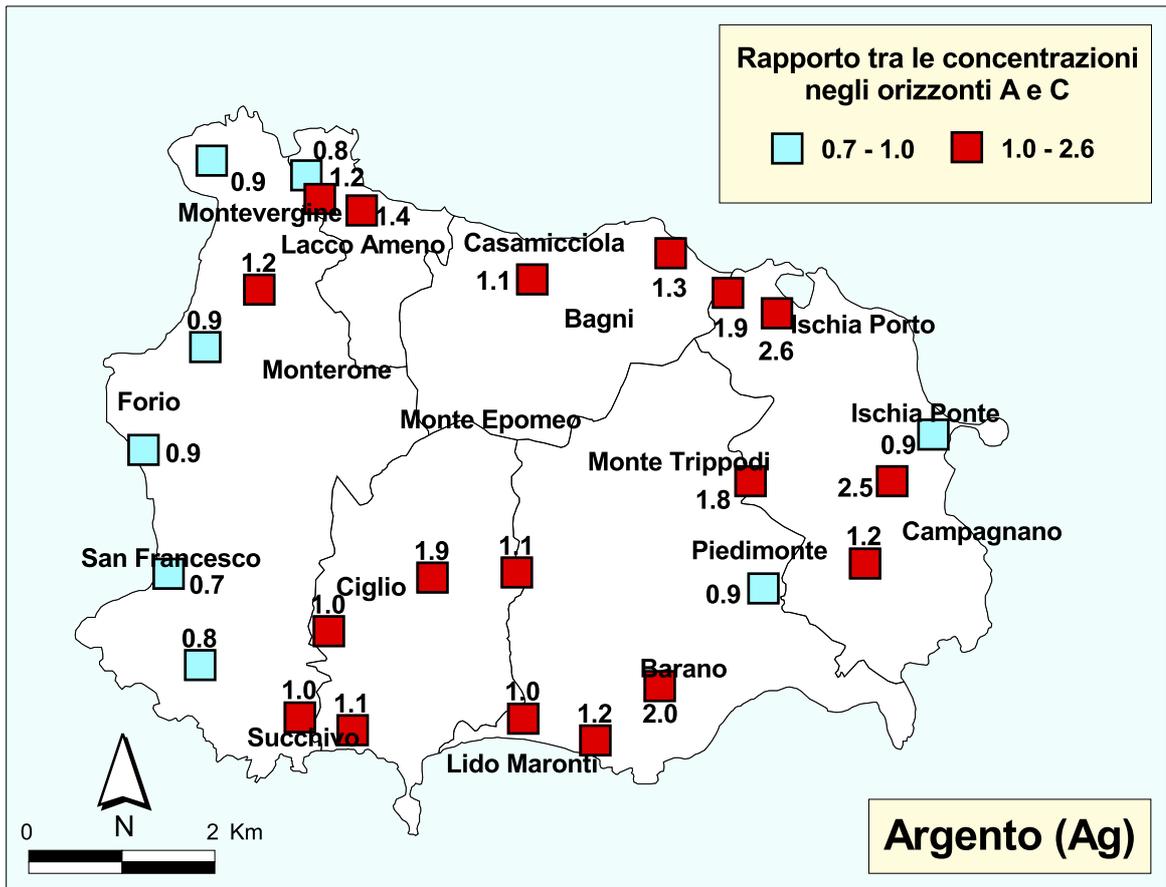


TAVOLA 9E

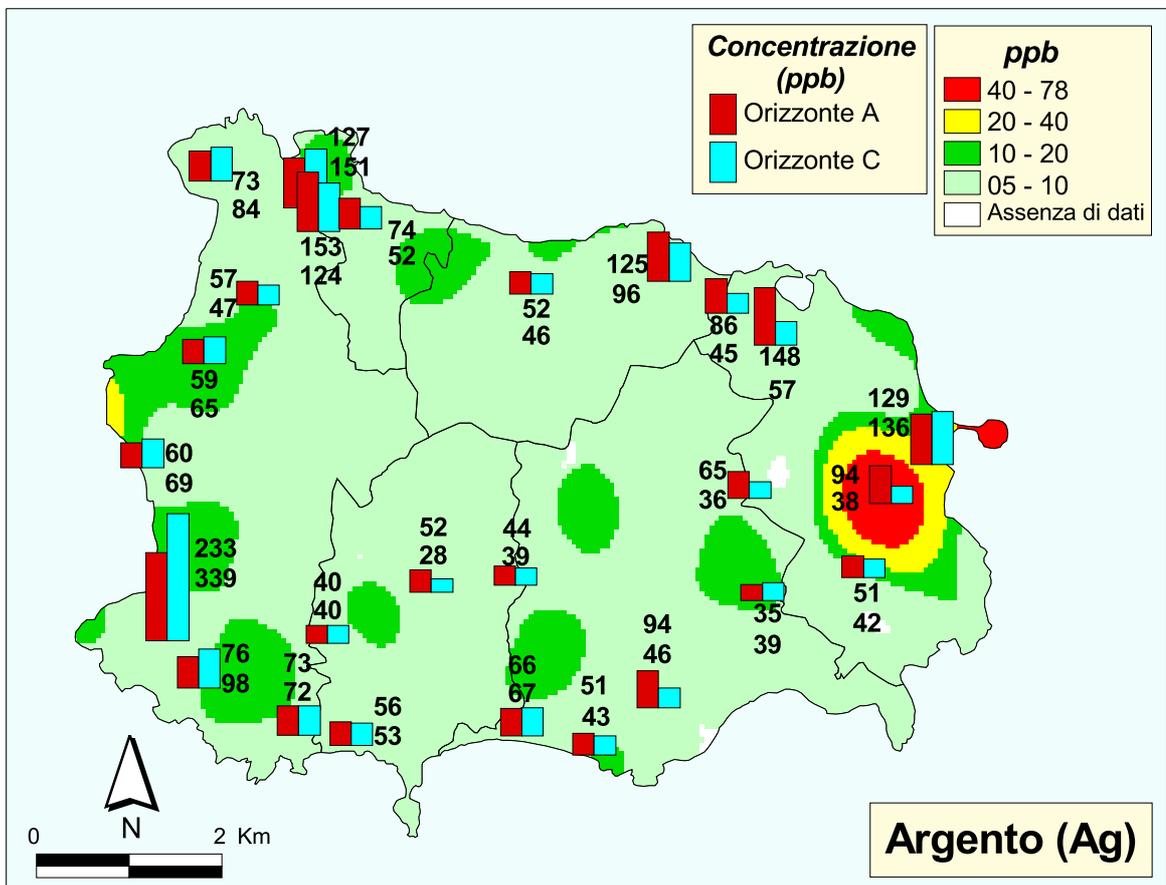


TAVOLA 9F

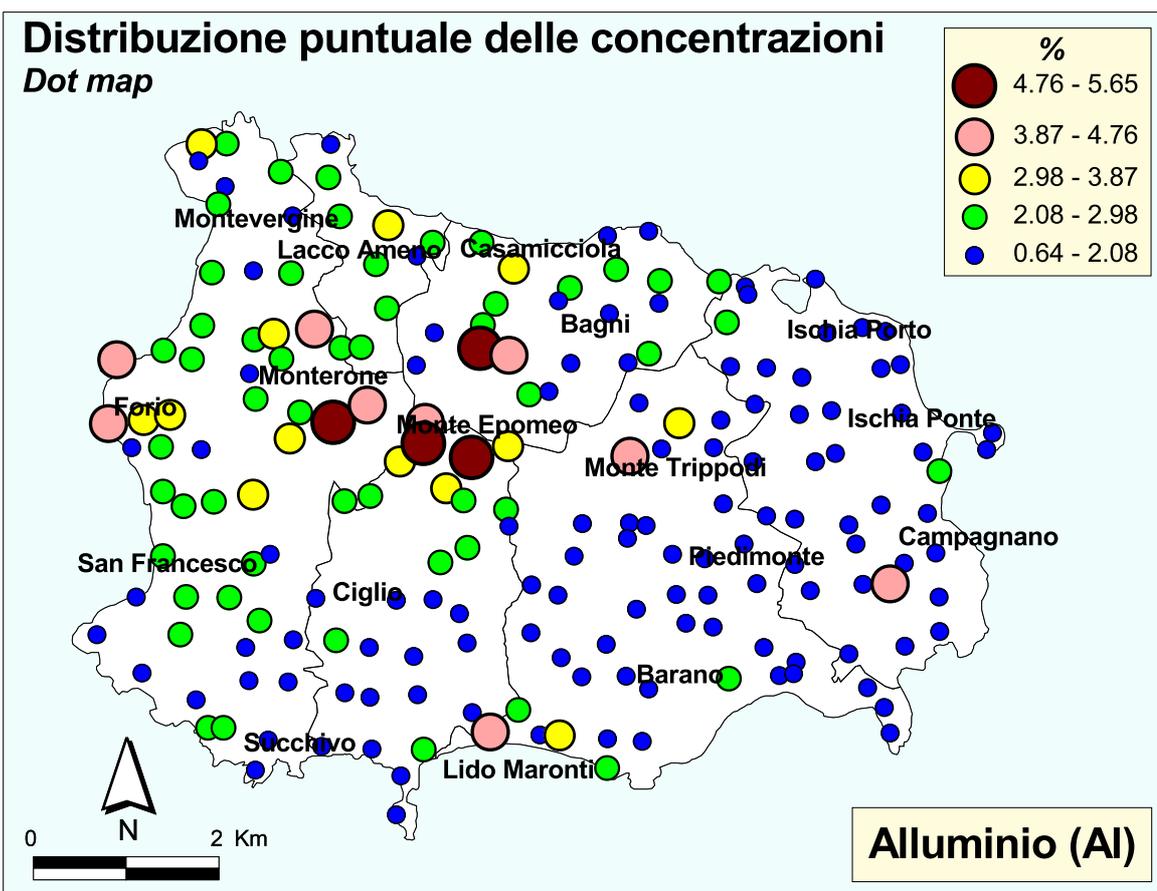


TAVOLA 10A

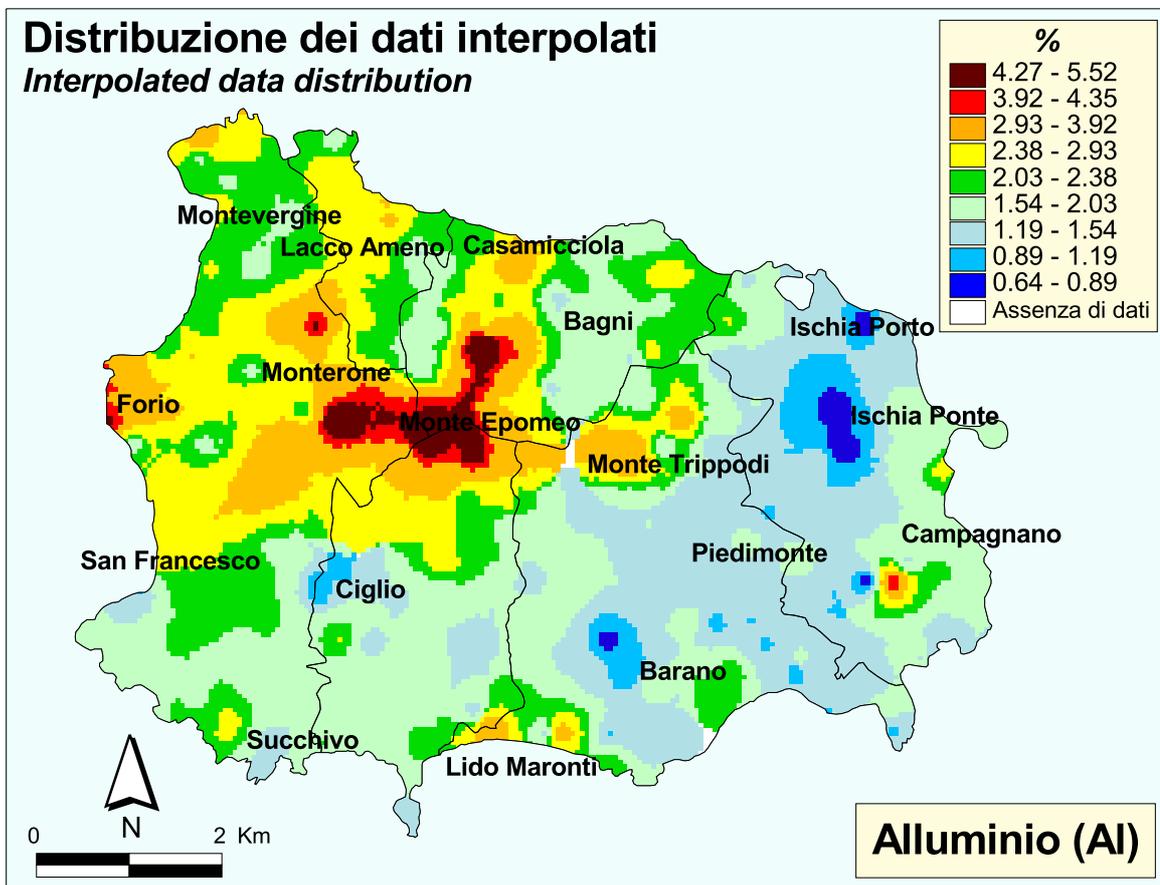


TAVOLA 10B

Distribuzione dei valori baseline
Baseline values distribution

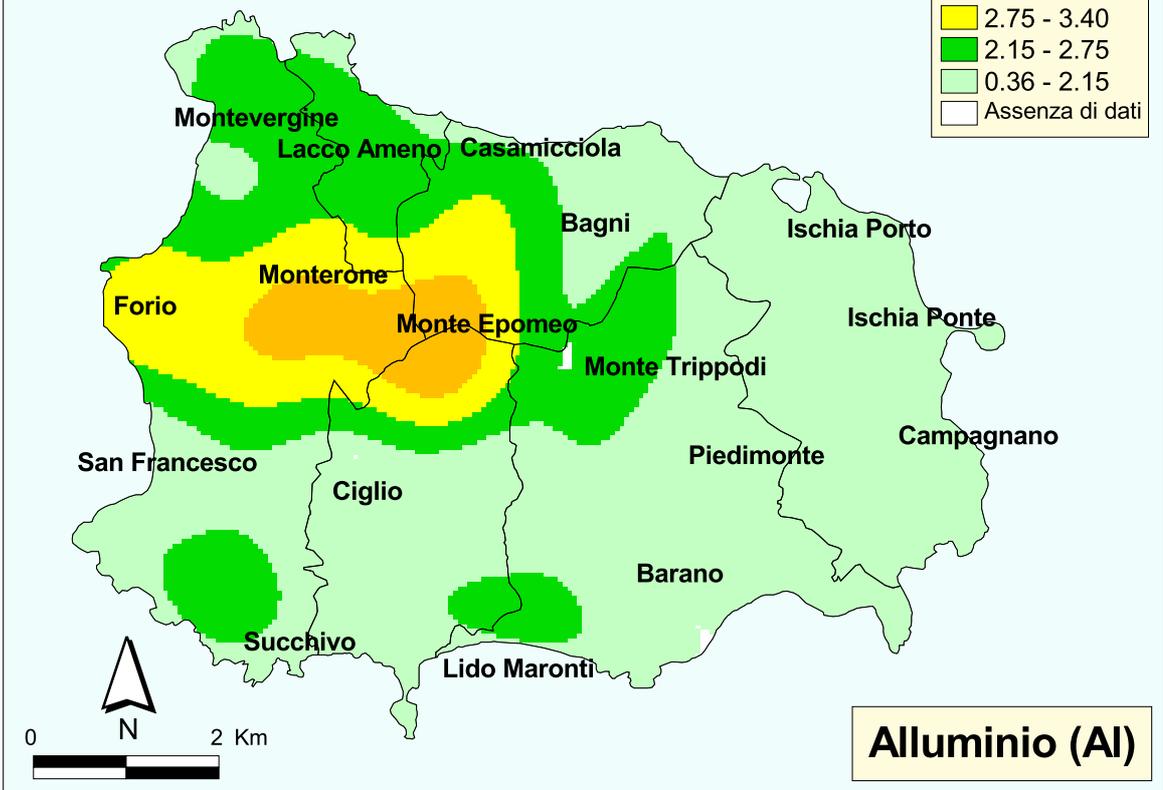


TAVOLA 10C

Distribuzione delle anomalie
Anomaly values distribution

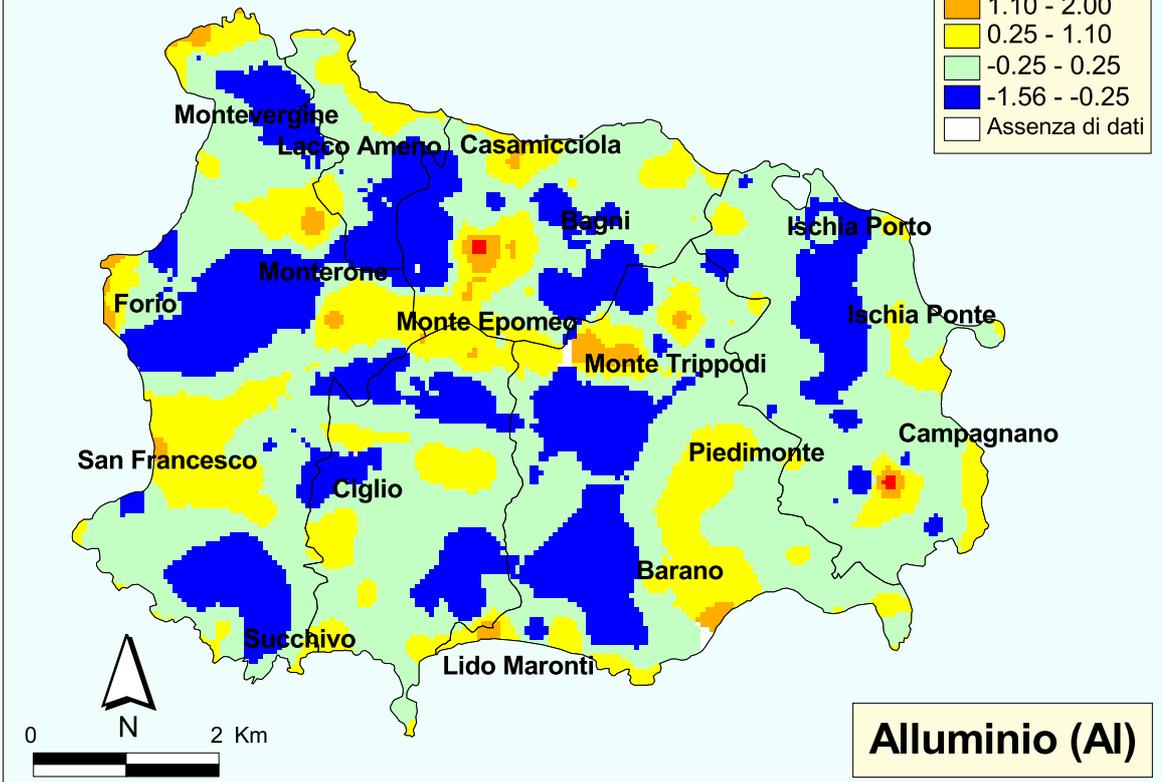


TAVOLA 10D

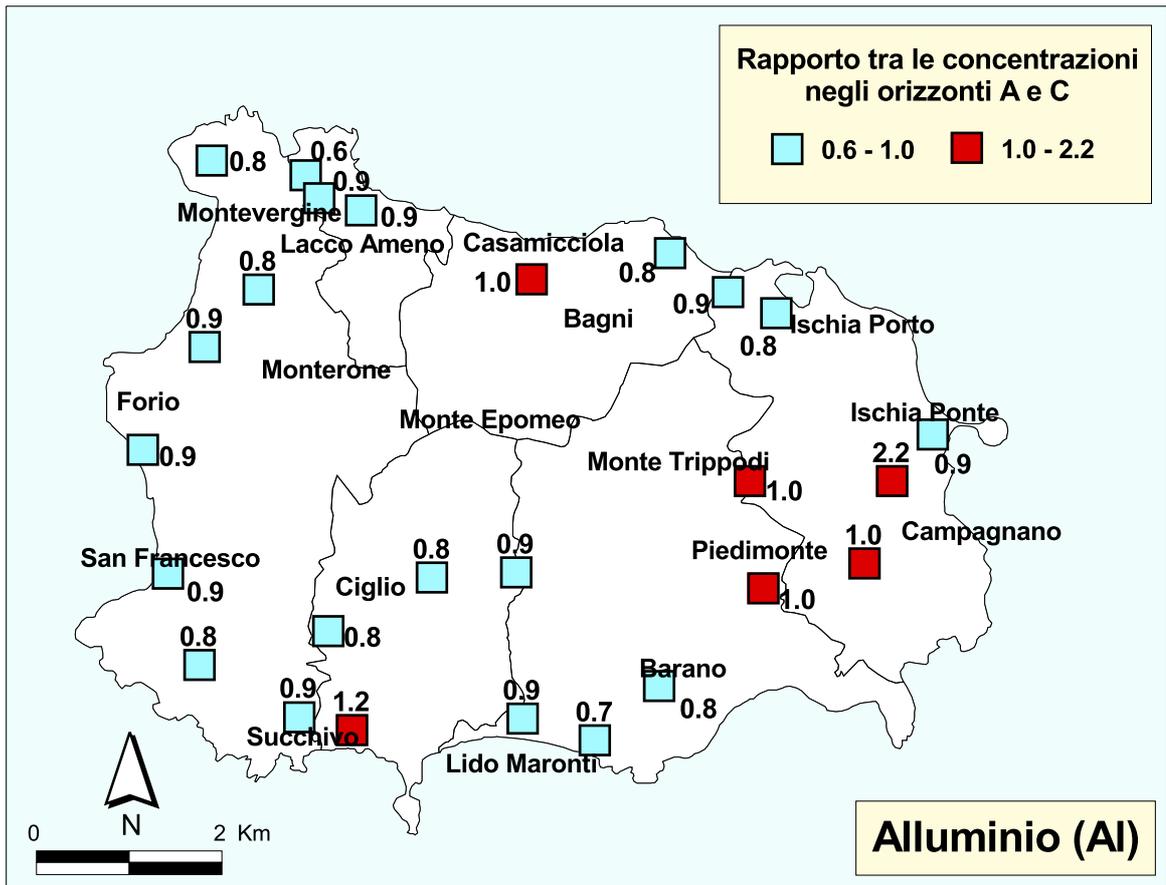


TAVOLA 10E

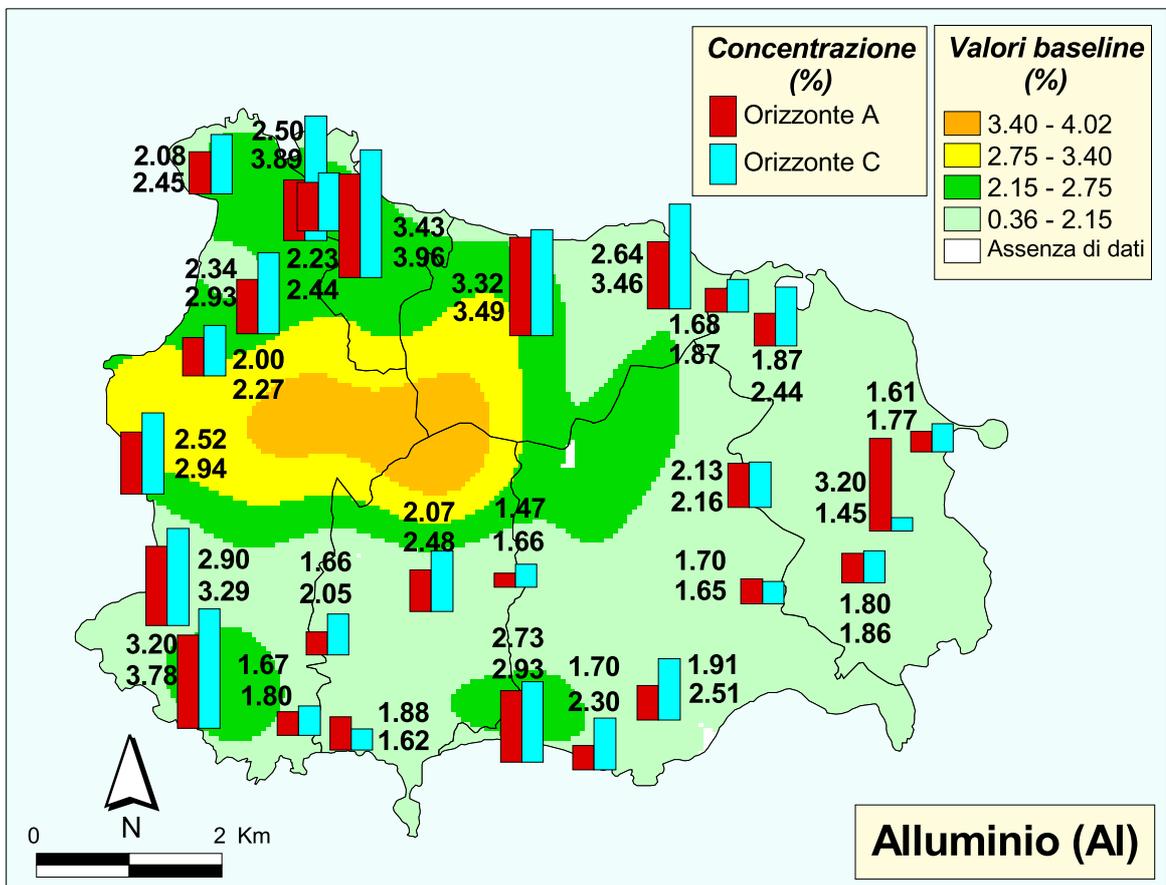


TAVOLA 10F

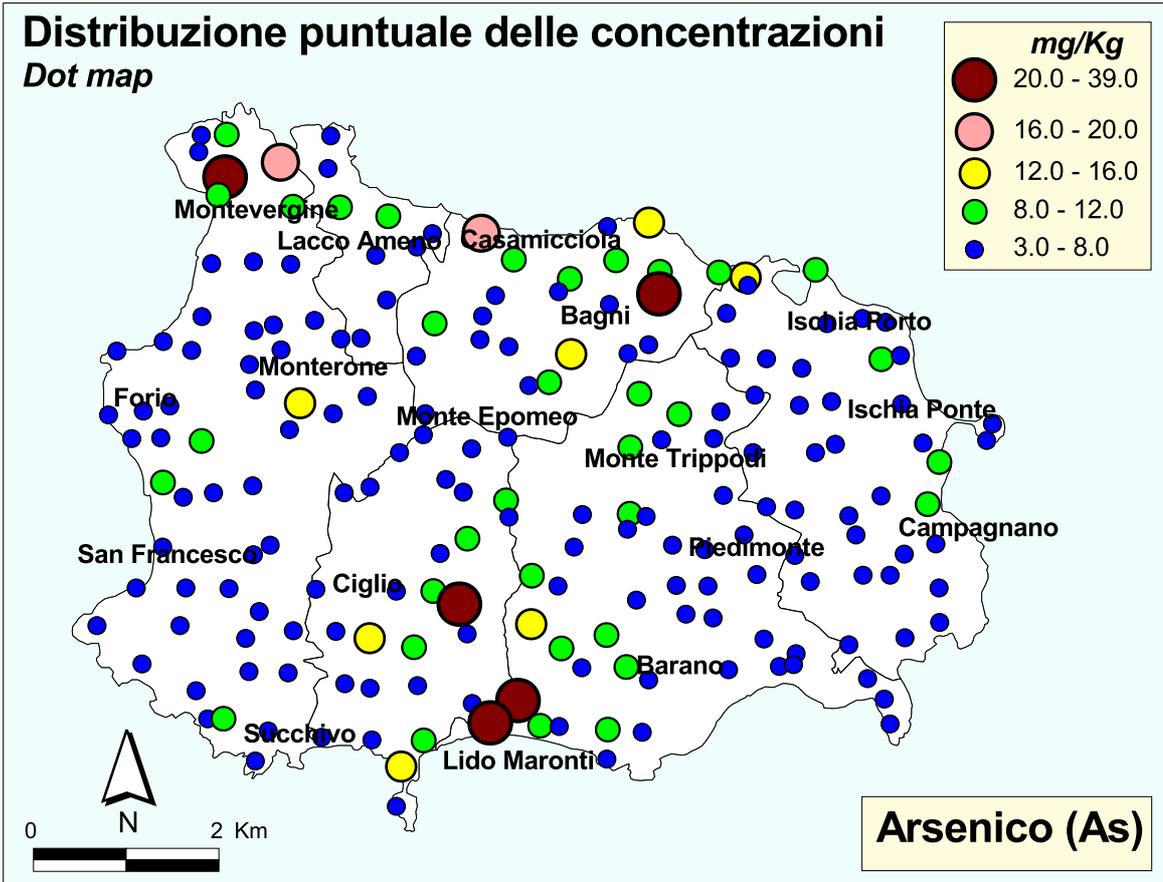


TAVOLA 11A

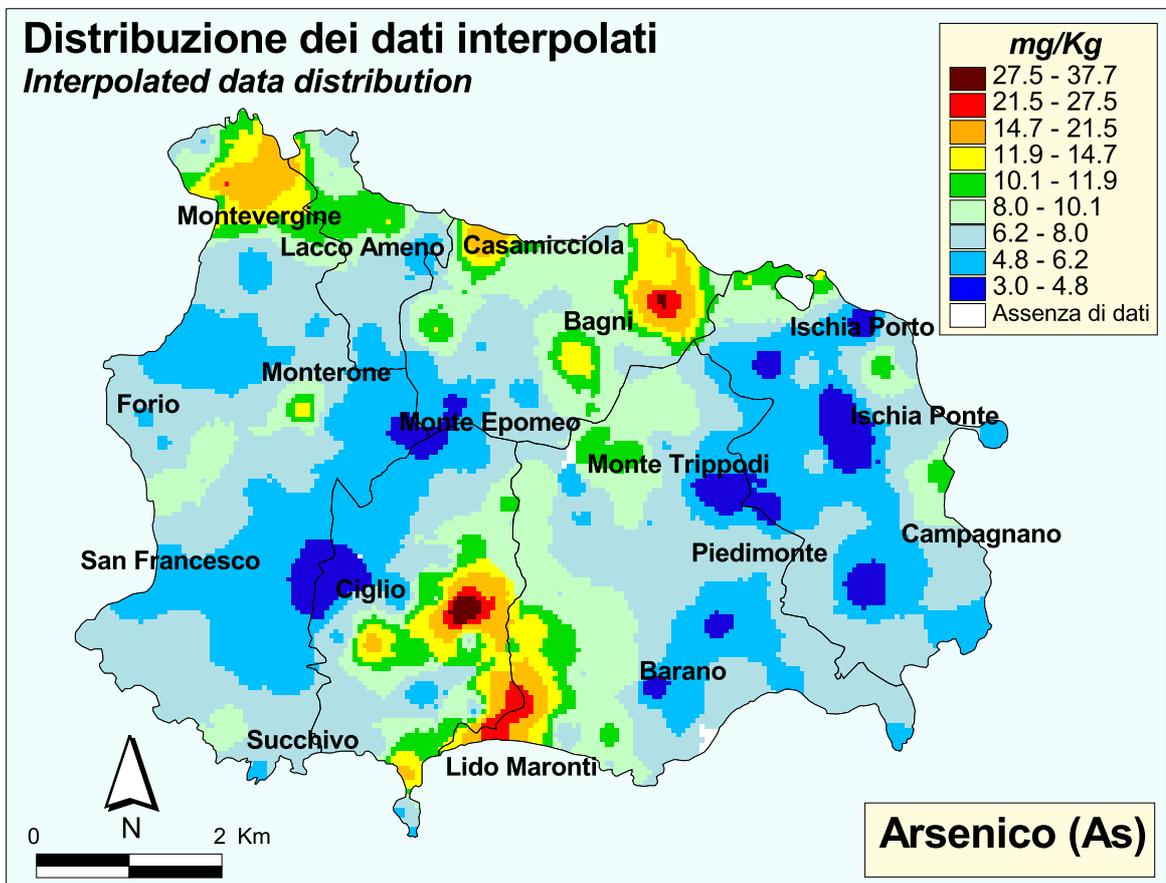


TAVOLA 11B

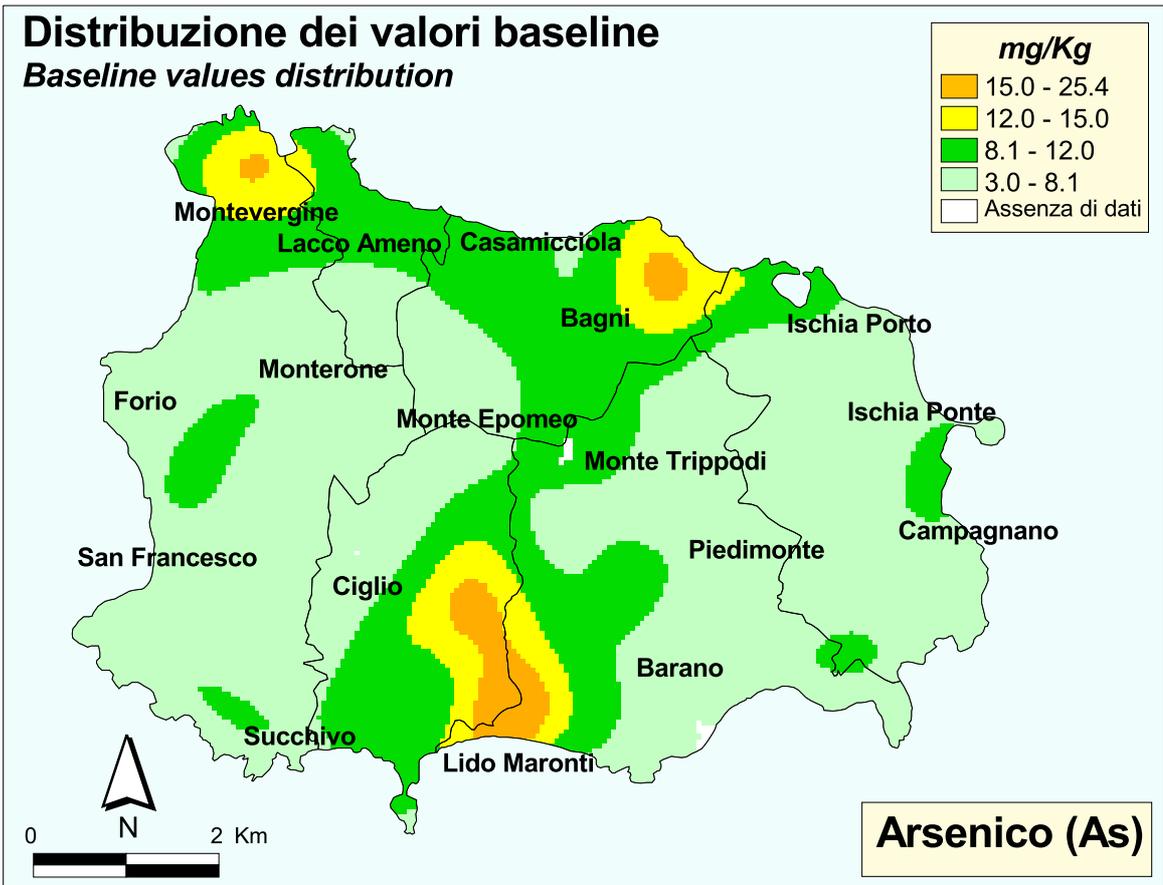


TAVOLA 11C

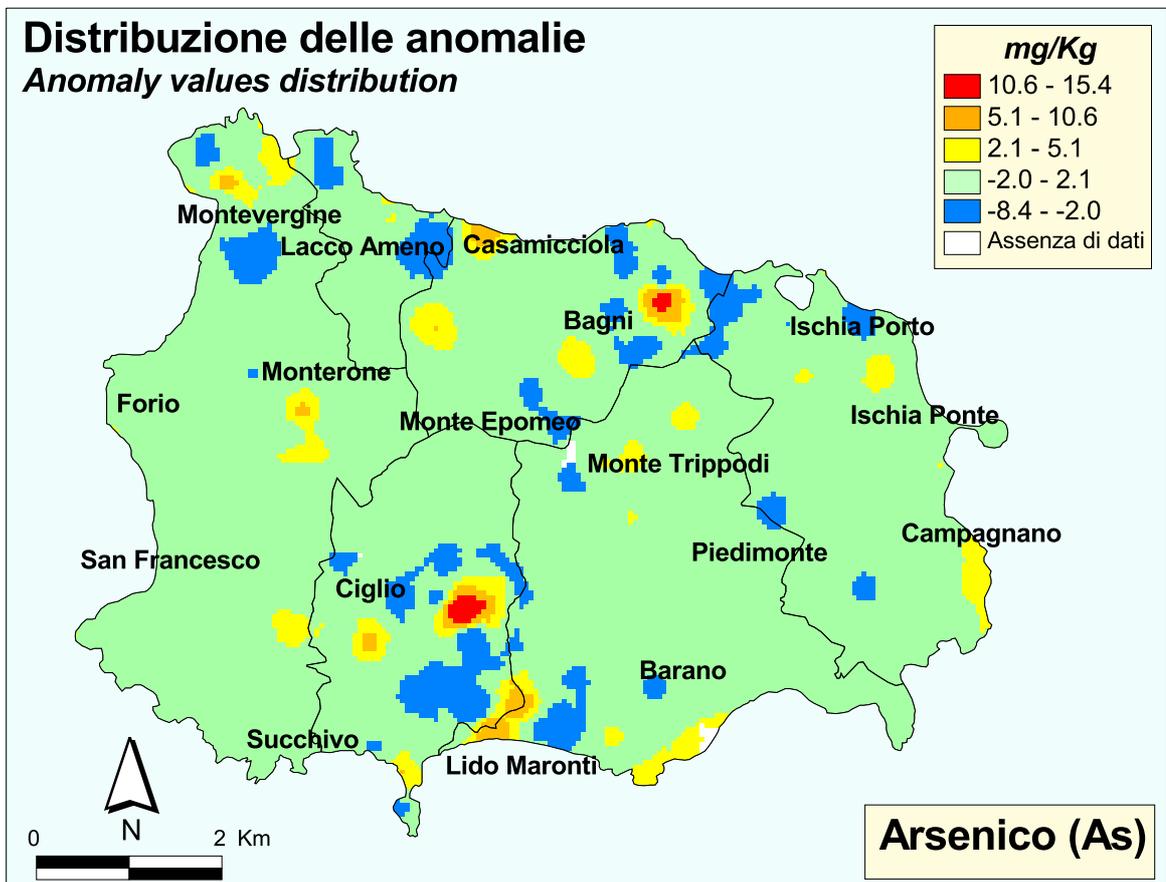


TAVOLA 11D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

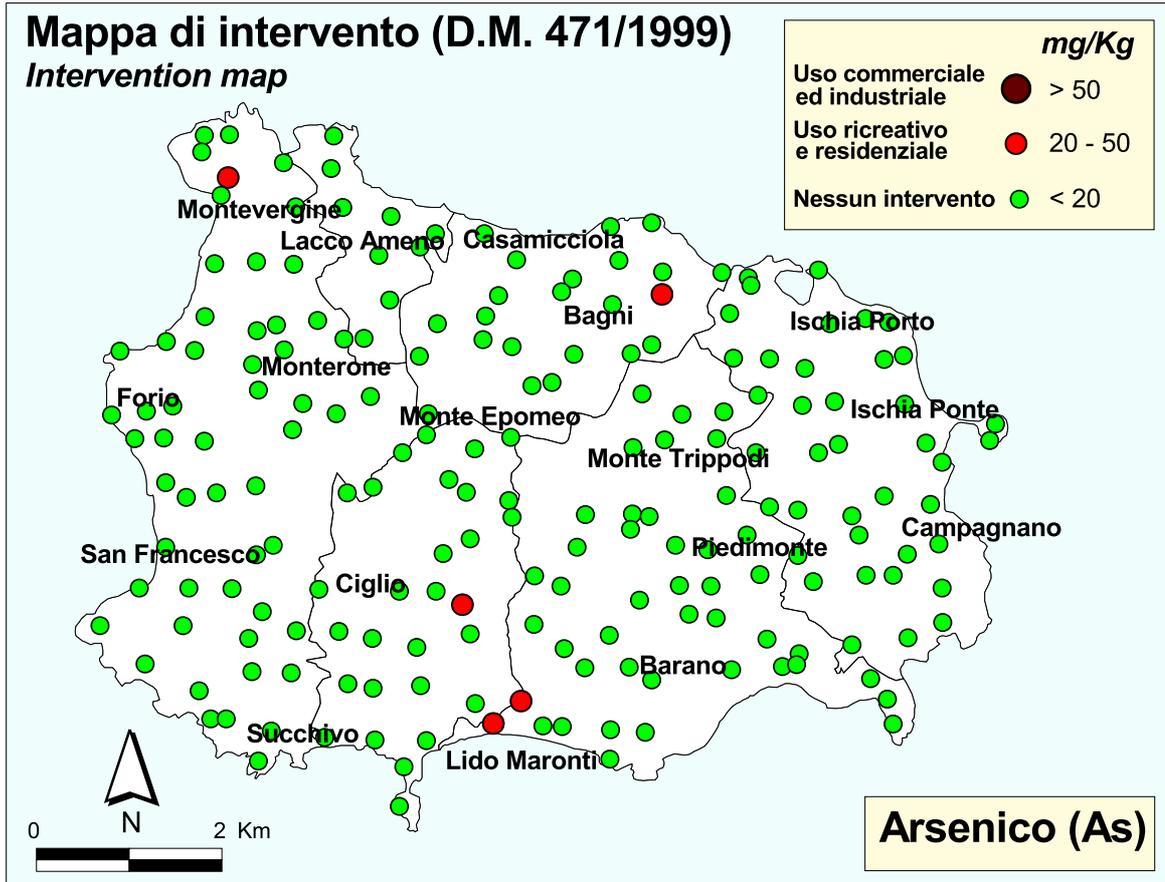


TAVOLA 11E

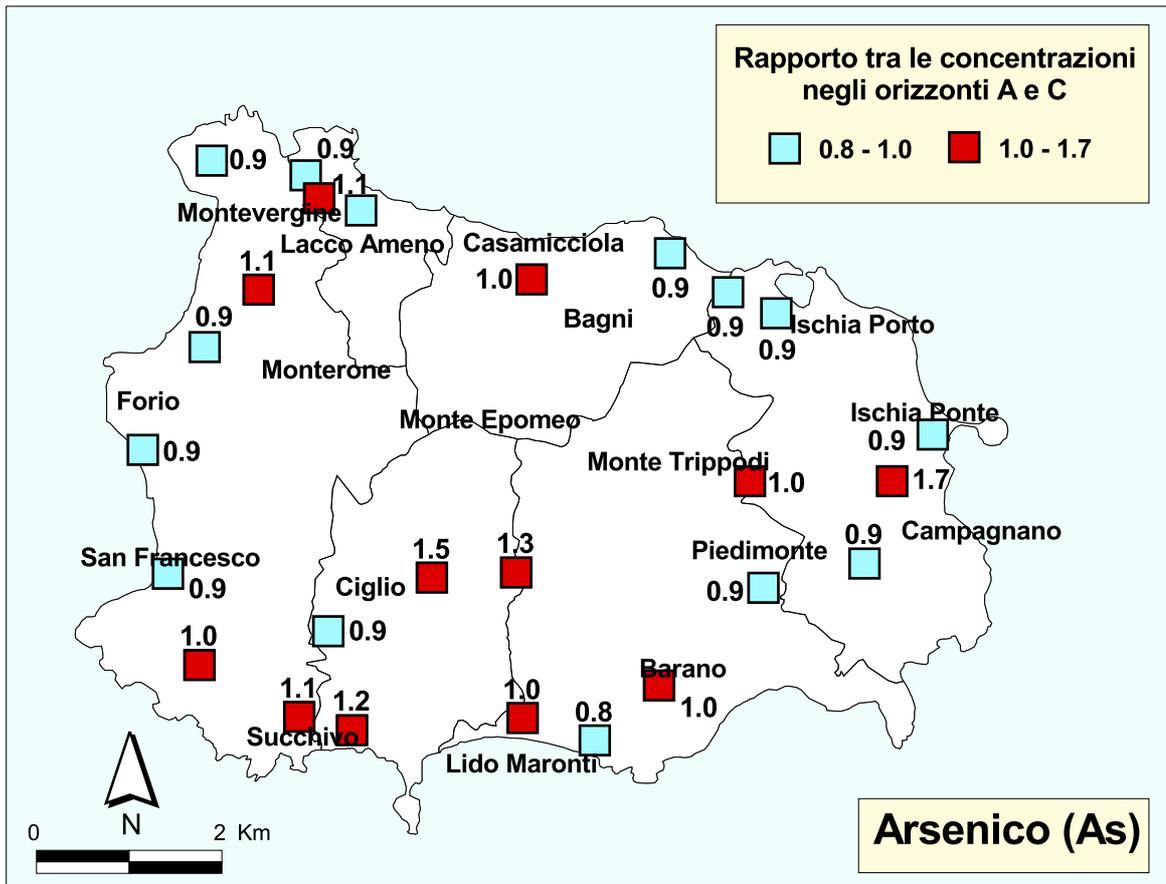


TAVOLA 11F

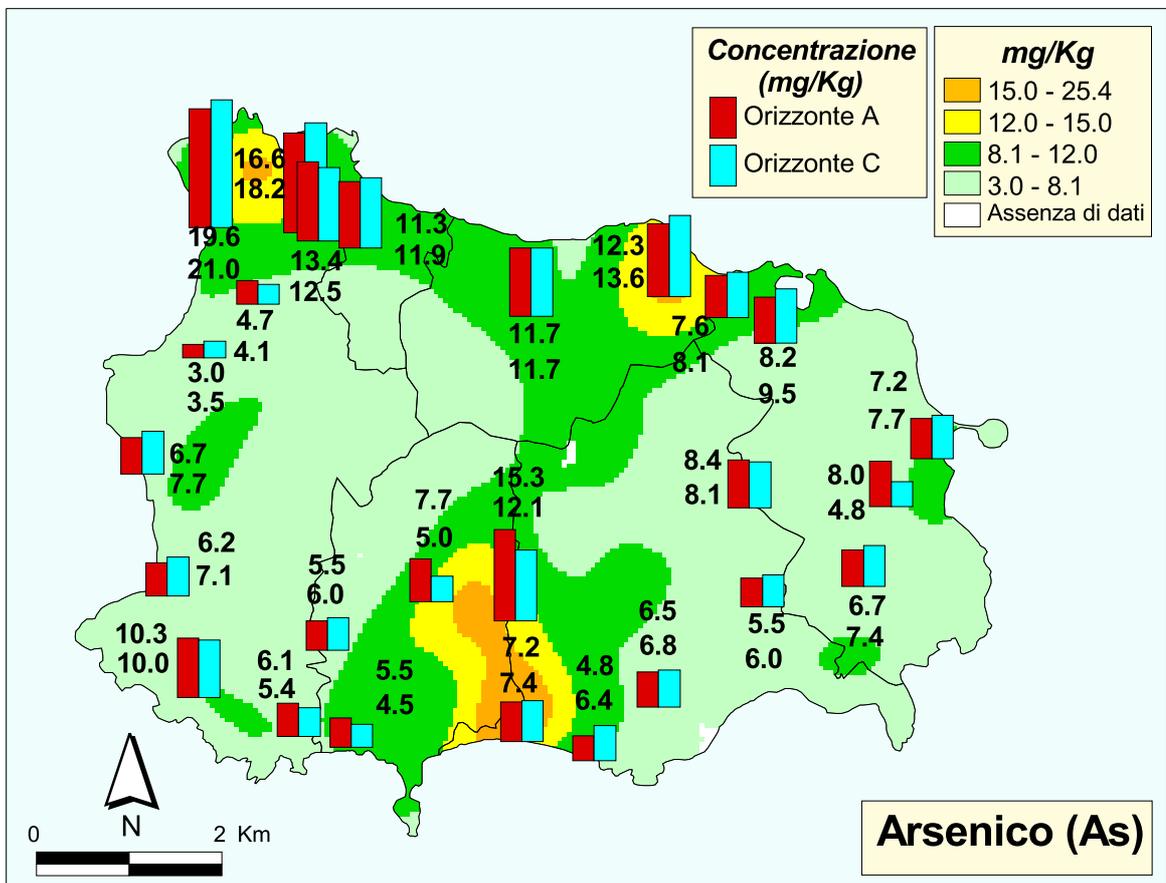


TAVOLA 11G

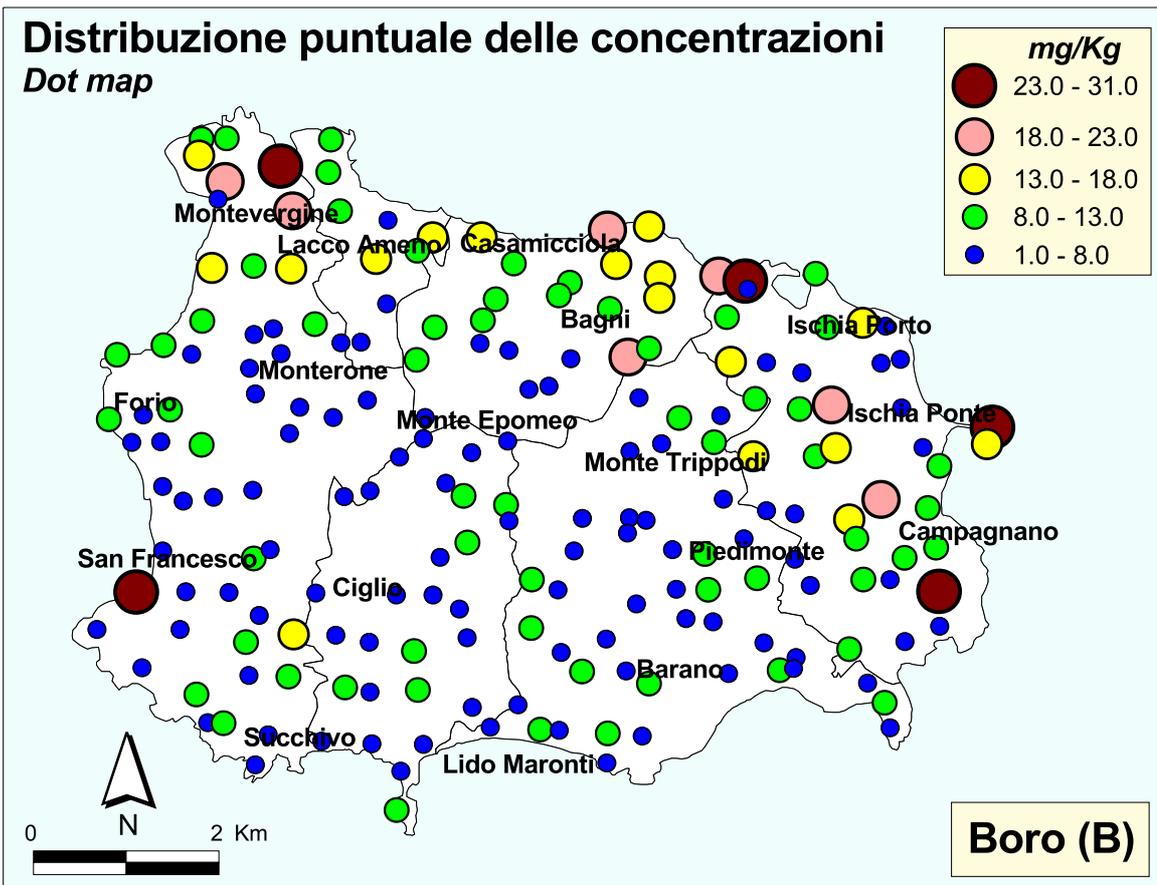


TAVOLA 12A

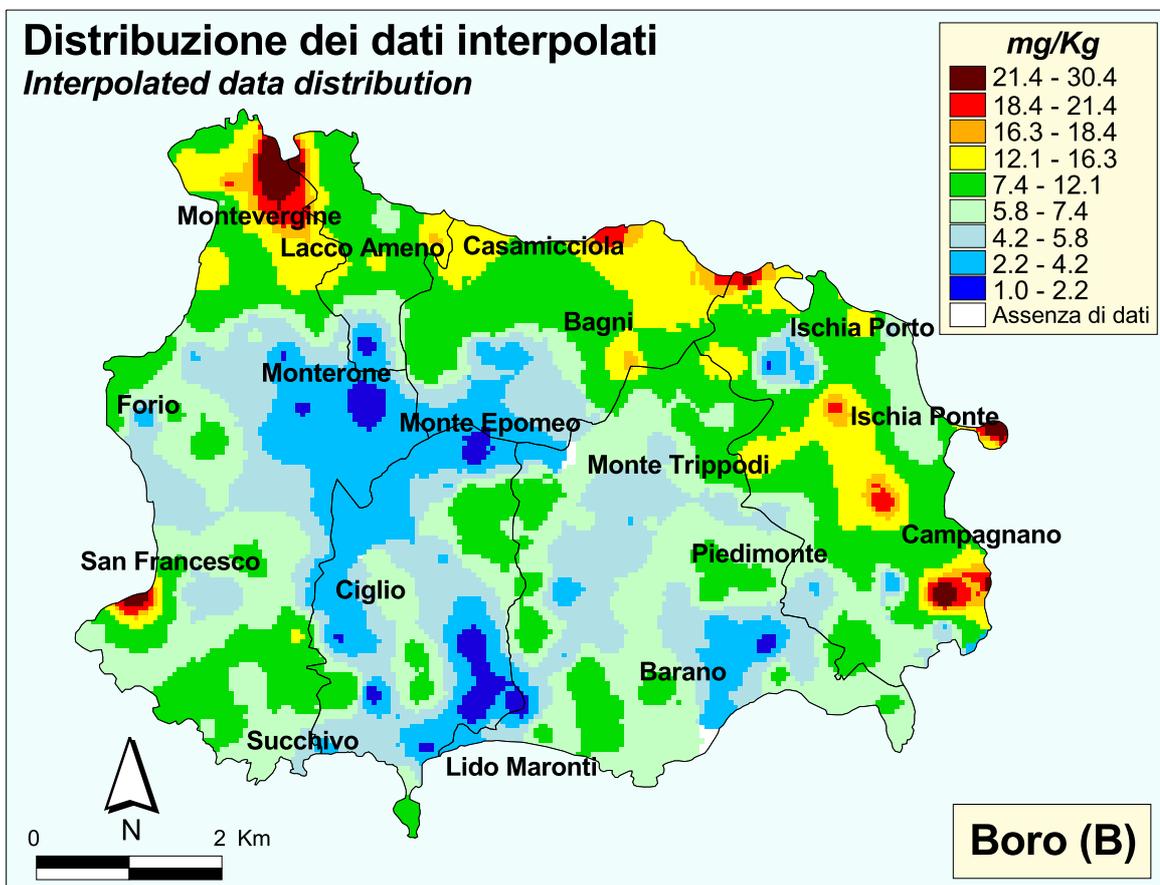


TAVOLA 12B

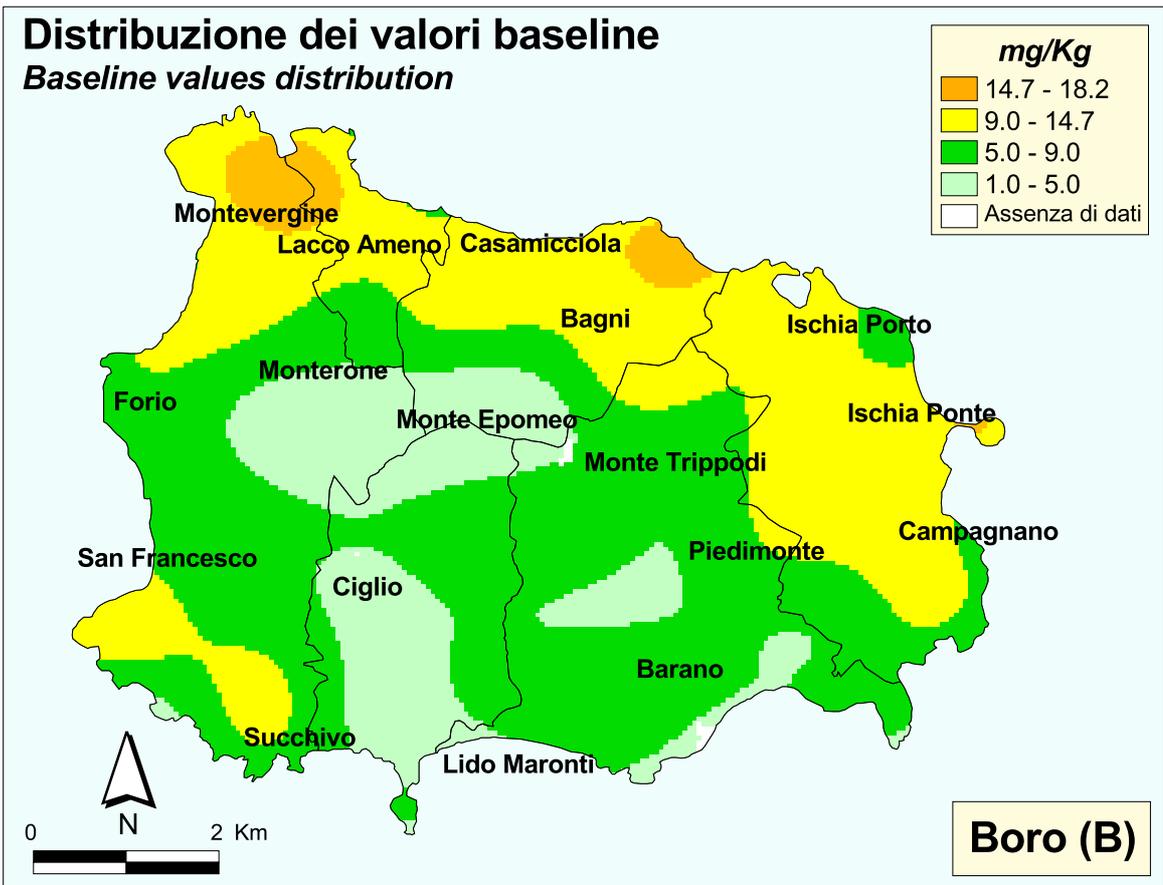


TAVOLA 12C

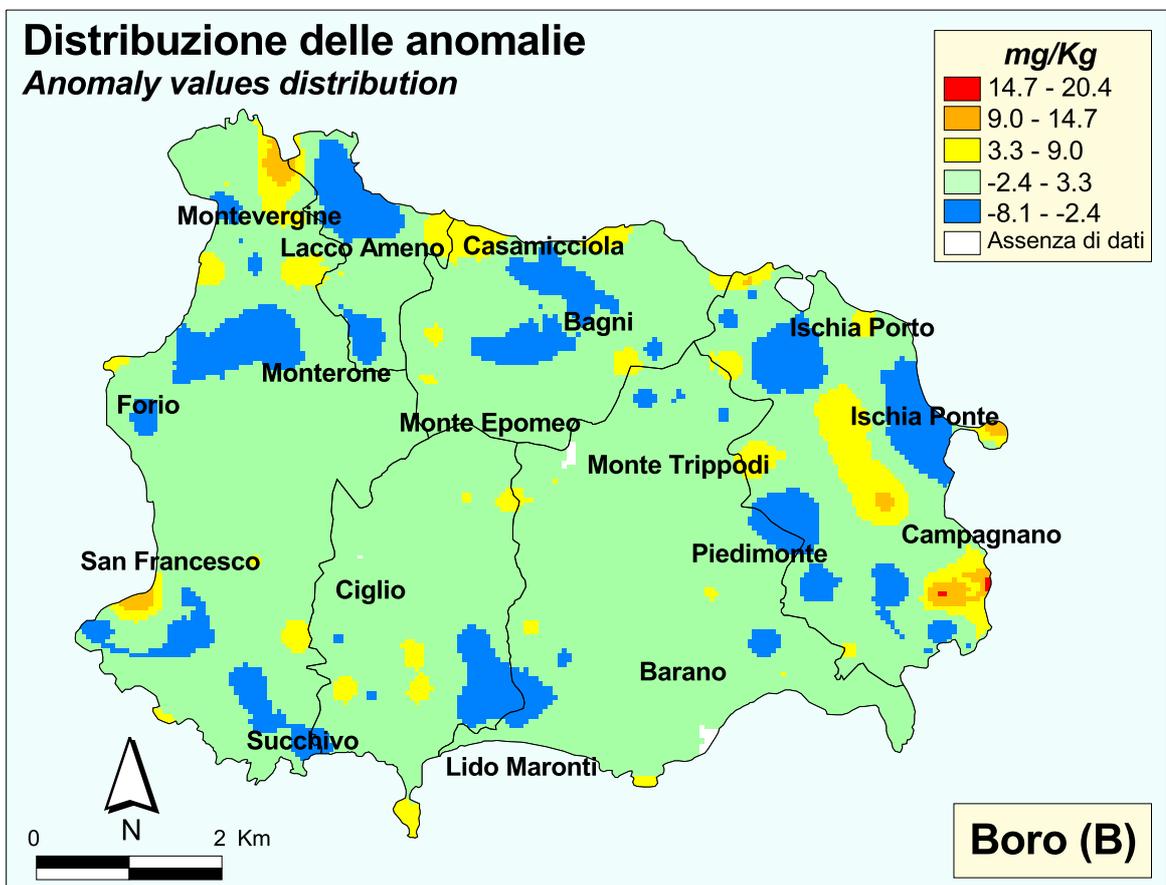


TAVOLA 12D

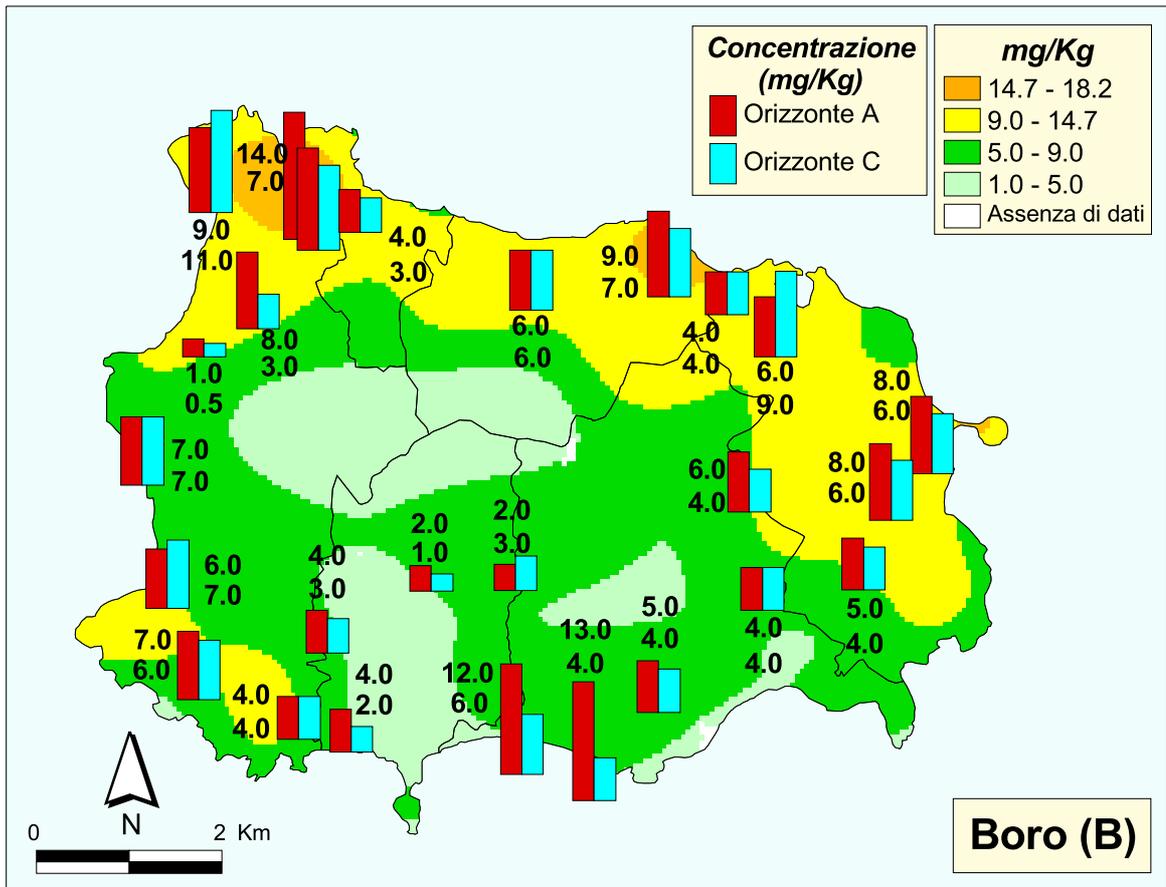


TAVOLA 12E

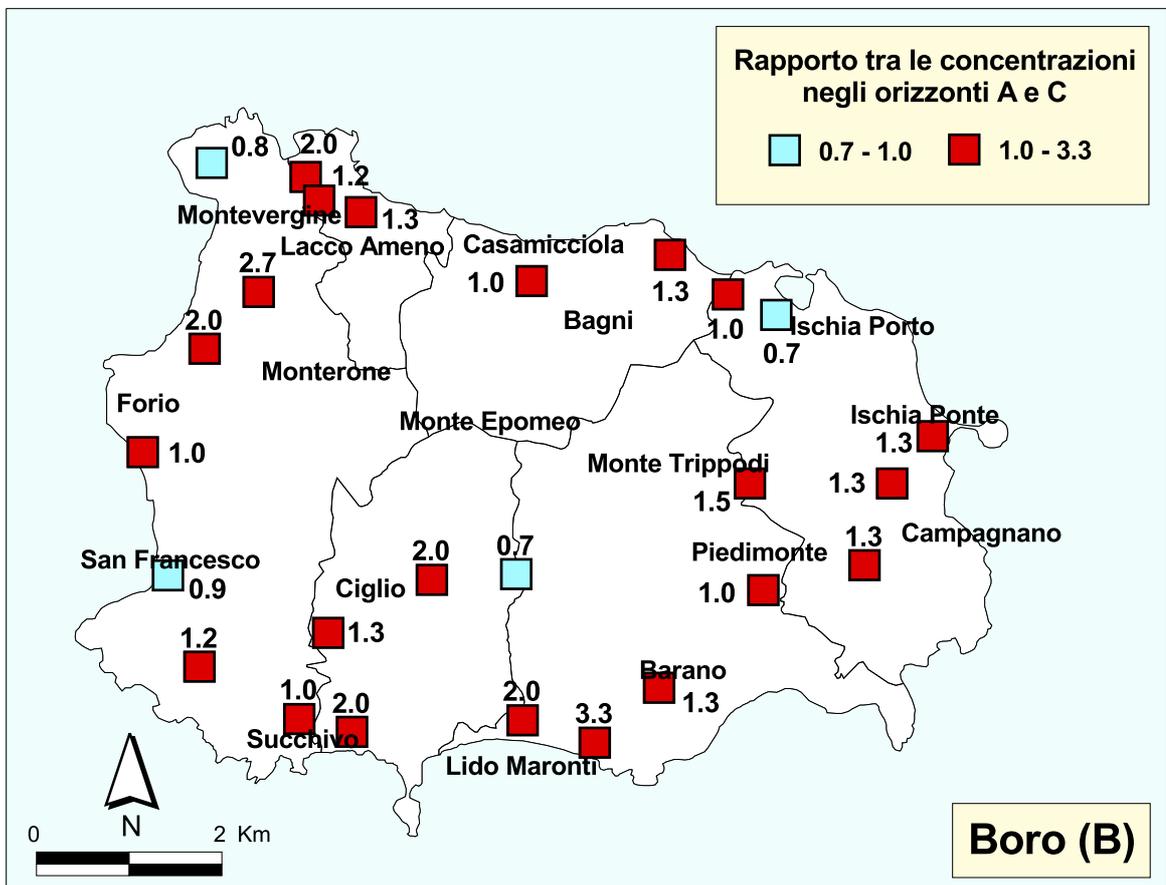


TAVOLA 12F

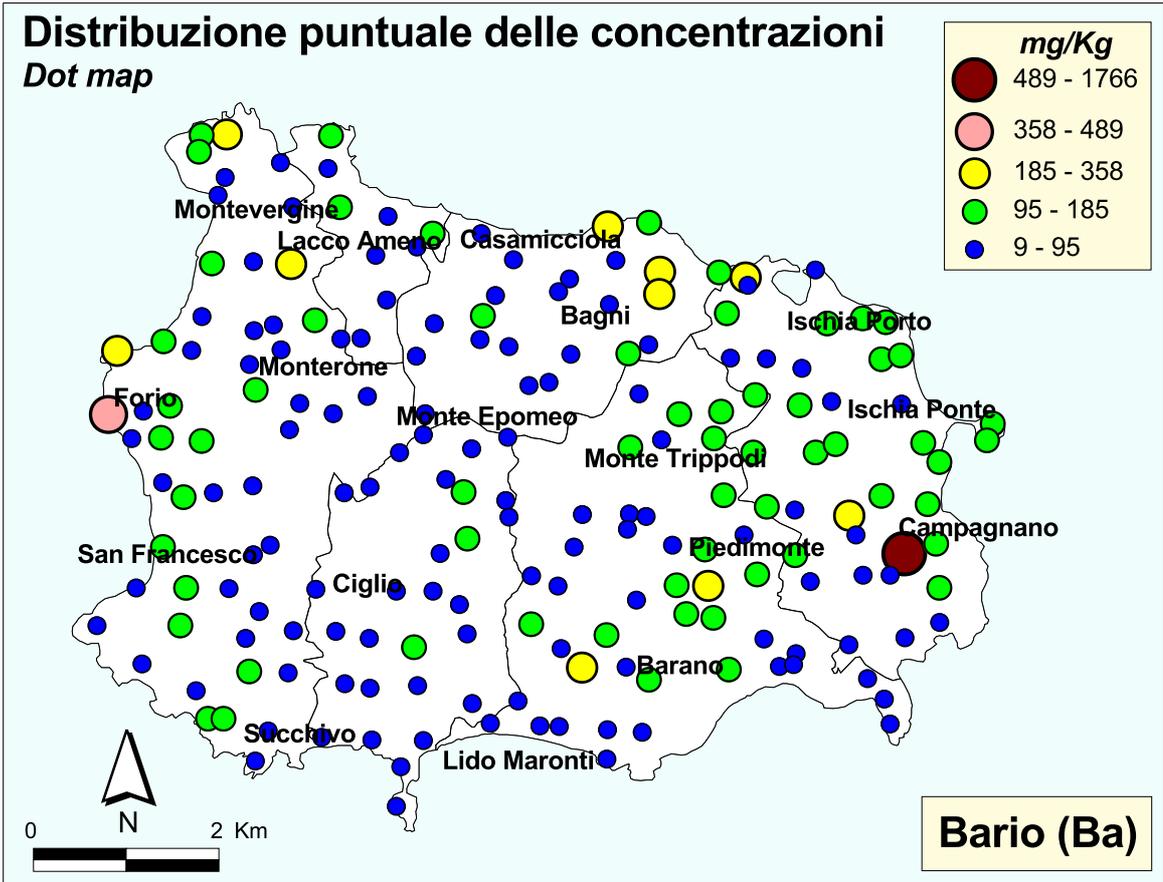


TAVOLA 13A

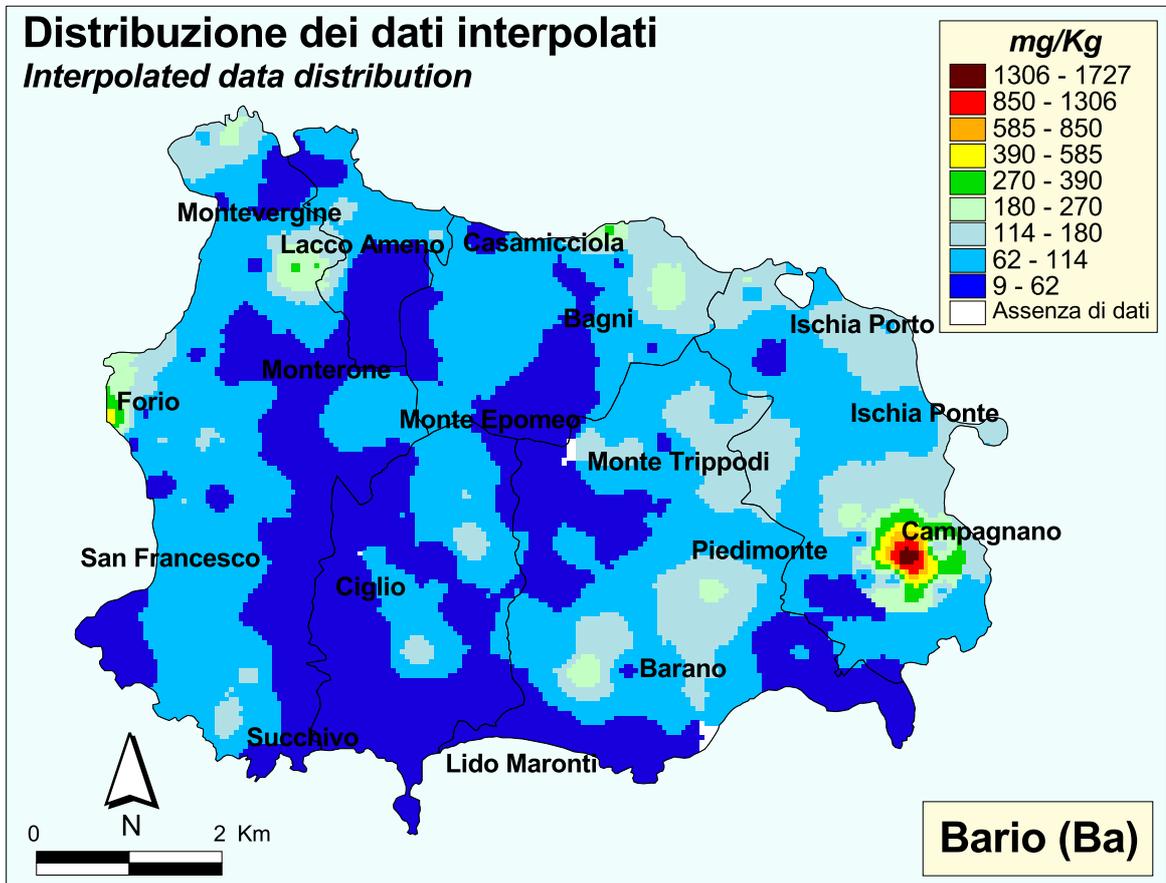


TAVOLA 13B

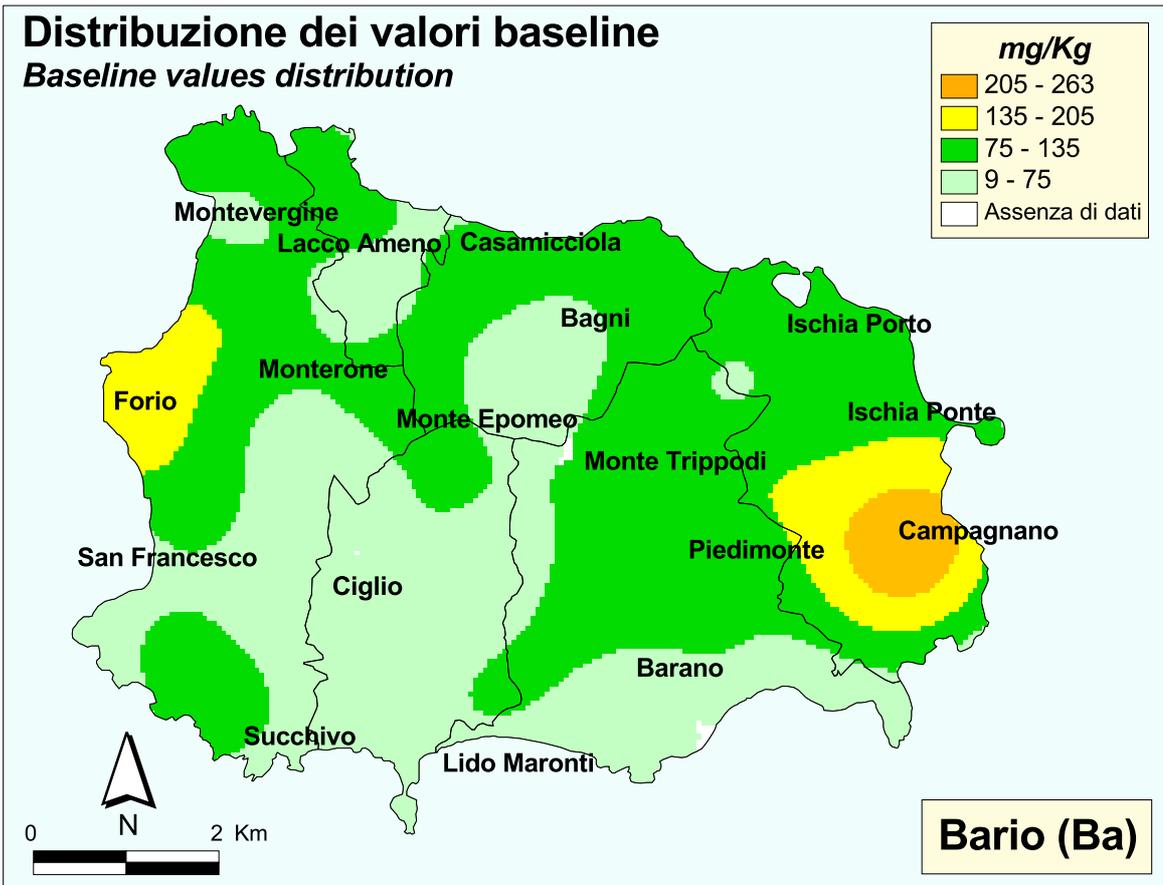


TAVOLA 13C

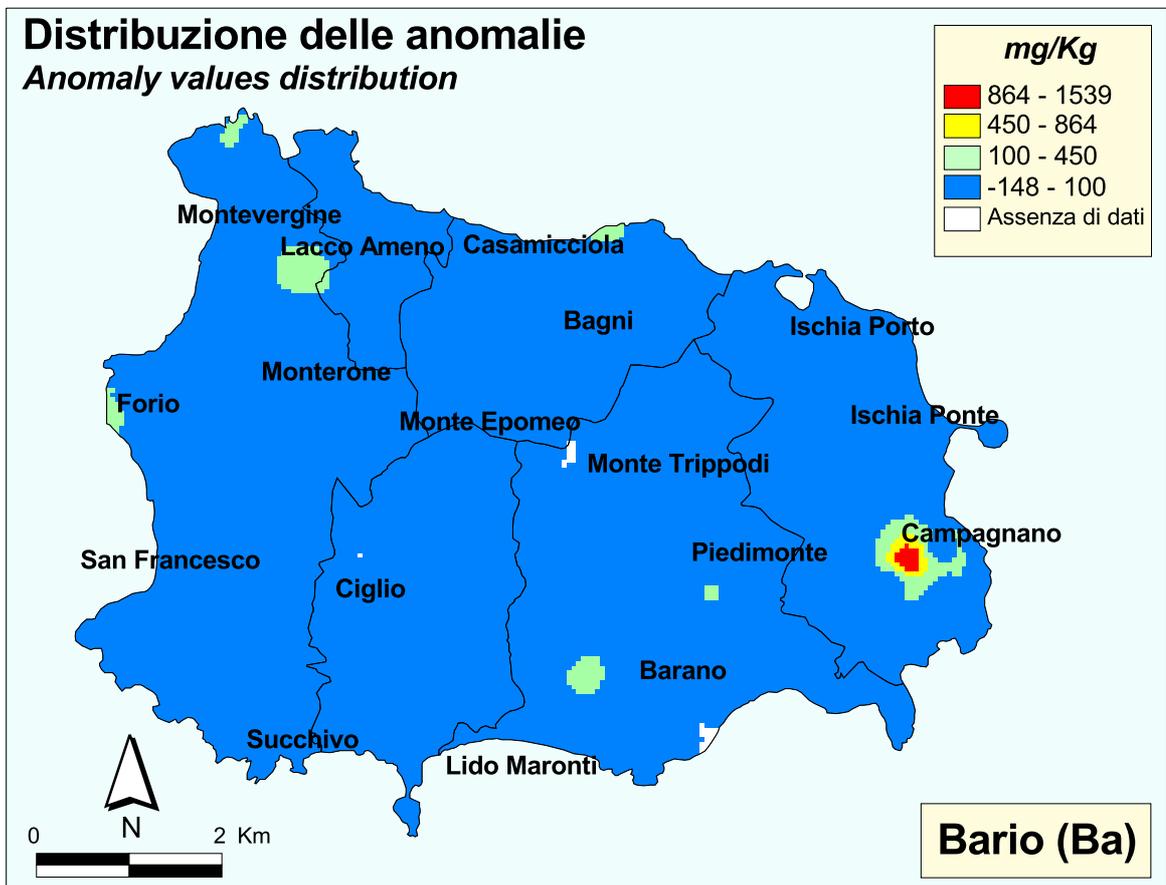


TAVOLA 13D

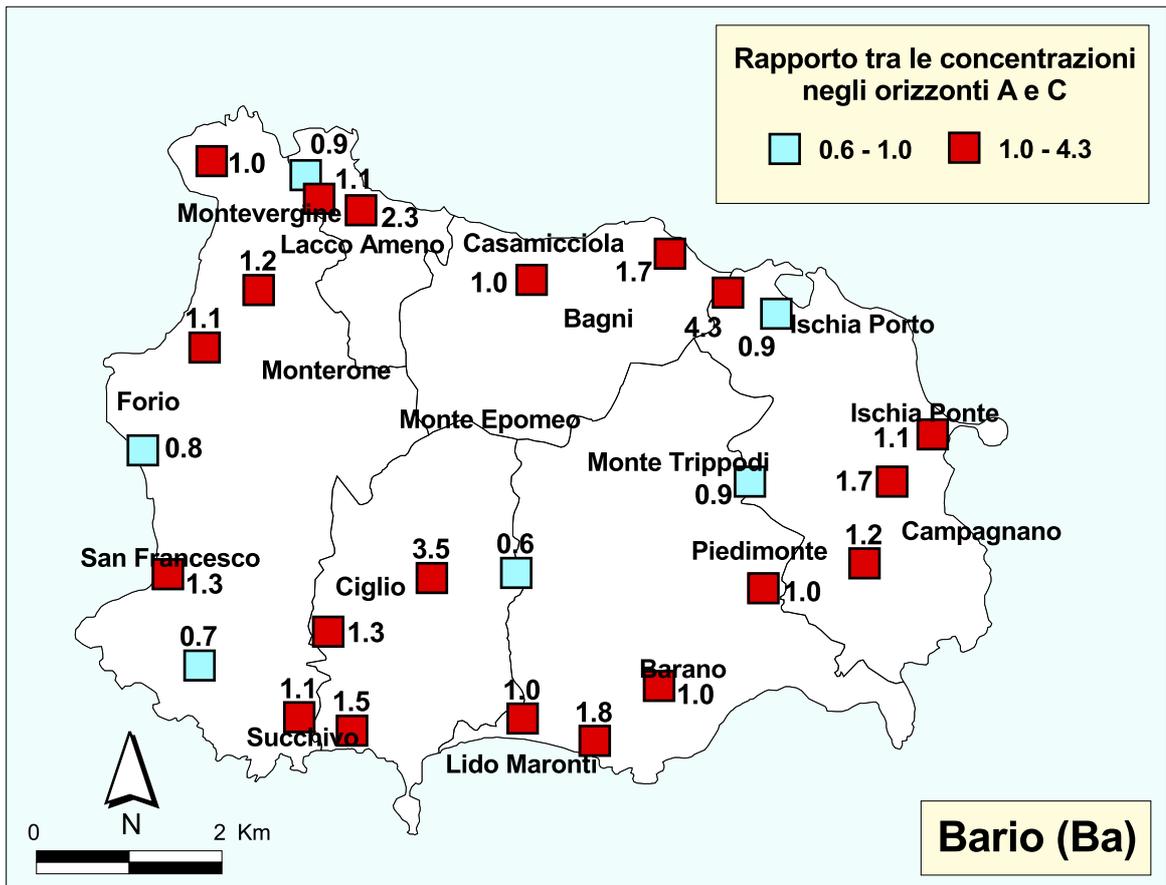


TAVOLA 13E

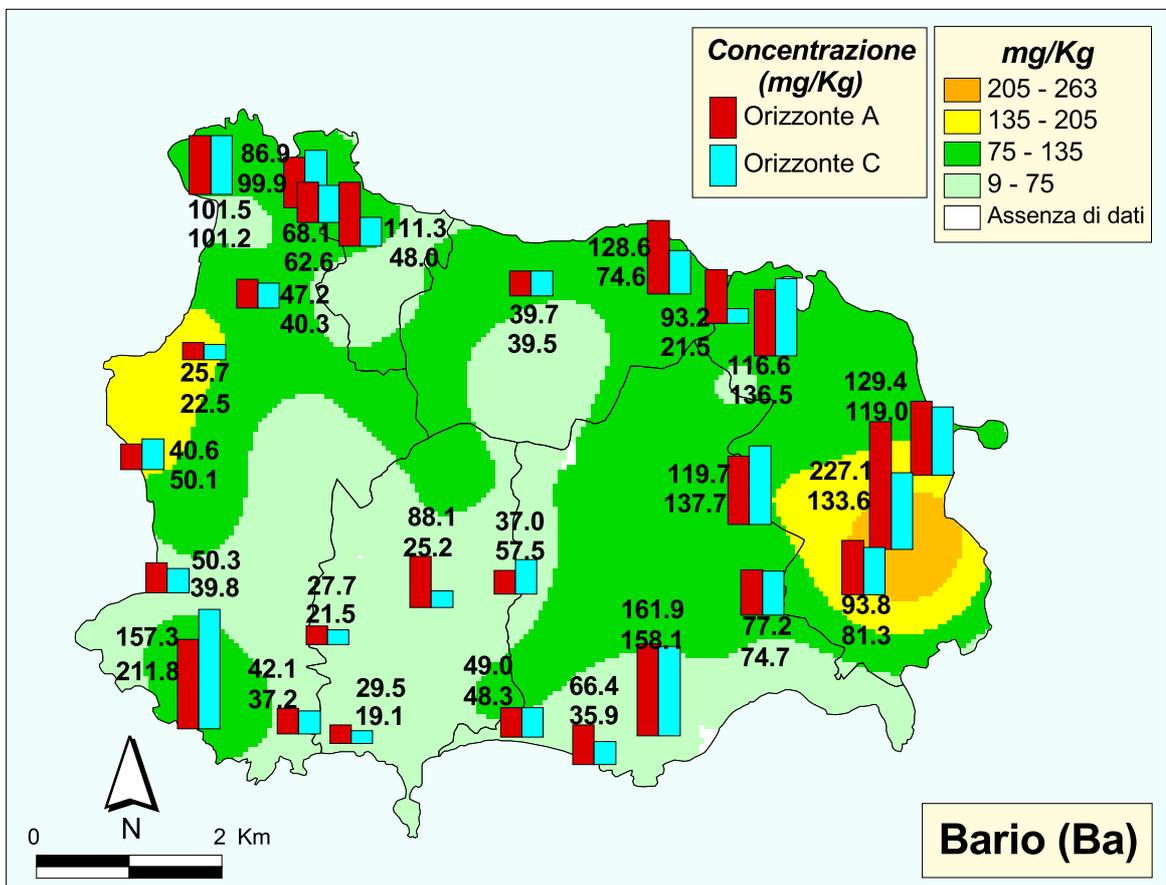


TAVOLA 13F

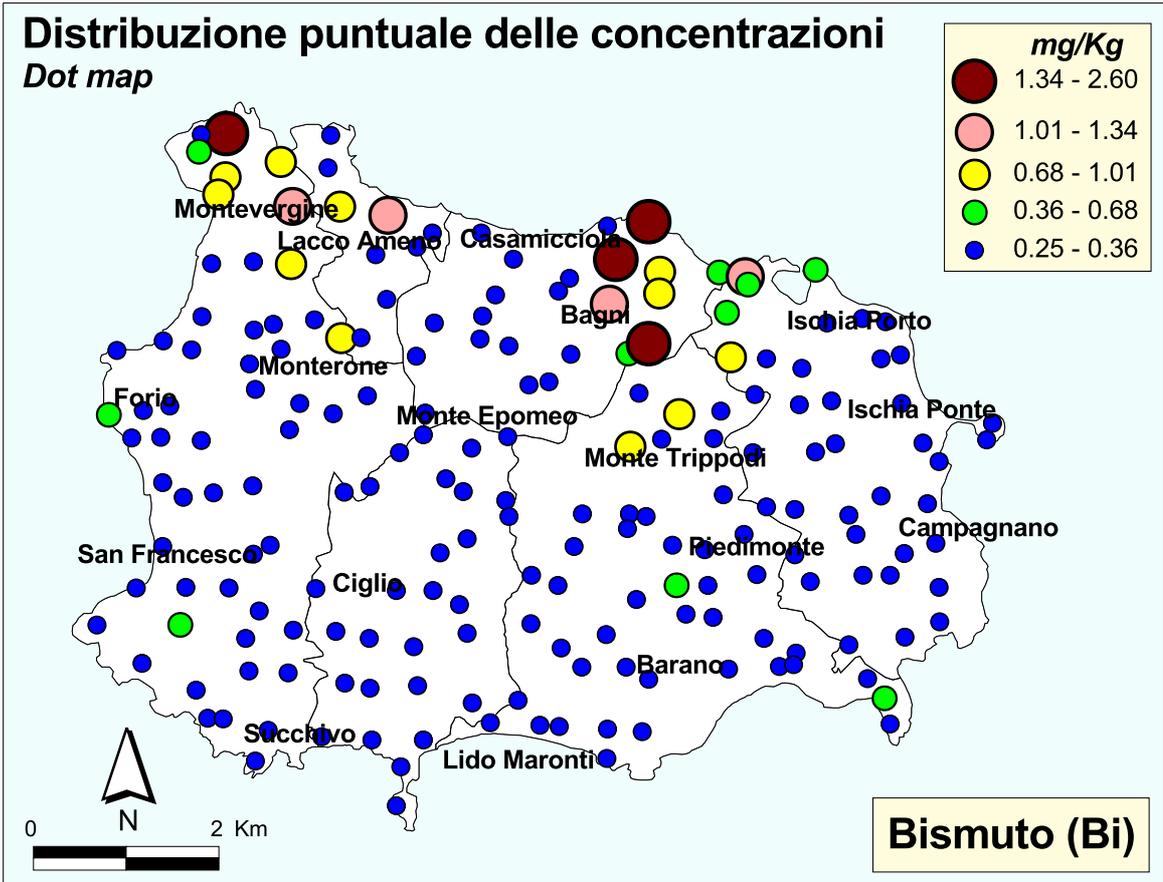


TAVOLA 14A

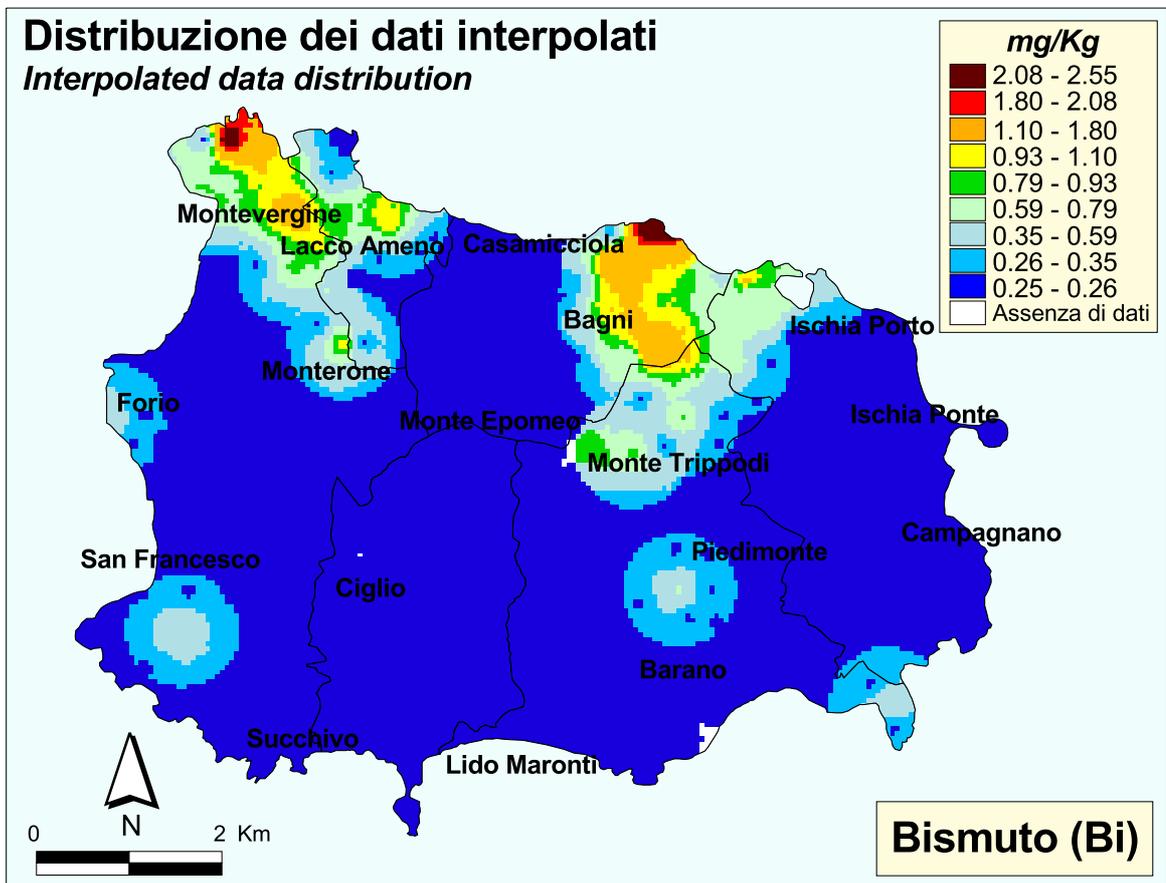


TAVOLA 14B

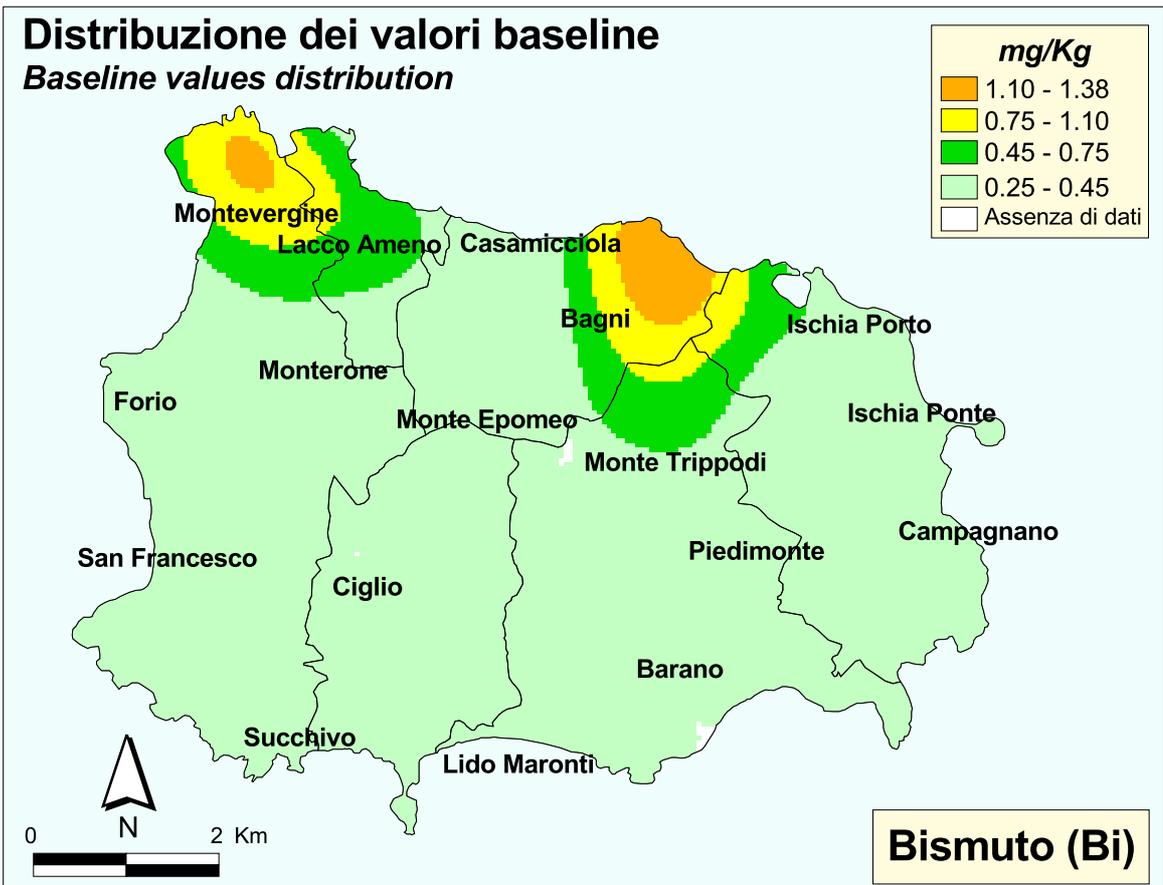


TAVOLA 14C

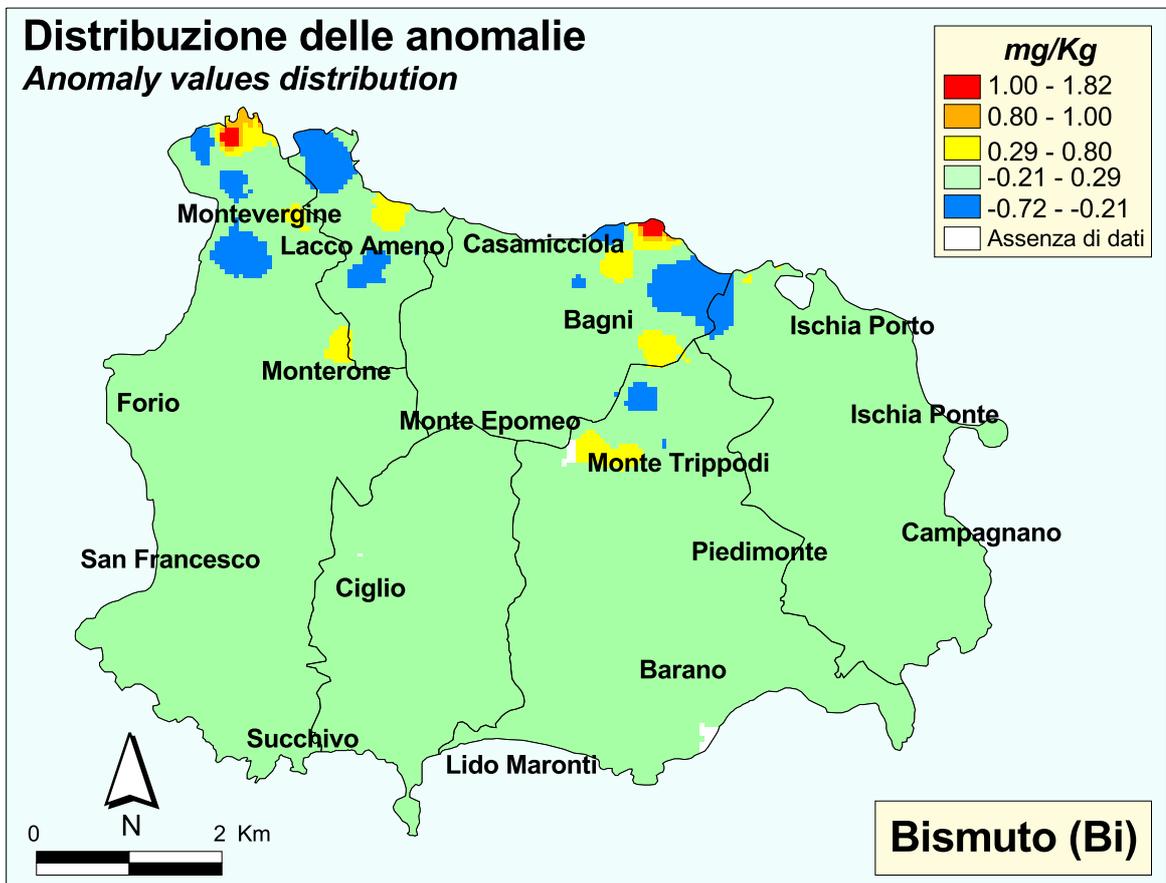


TAVOLA 14D

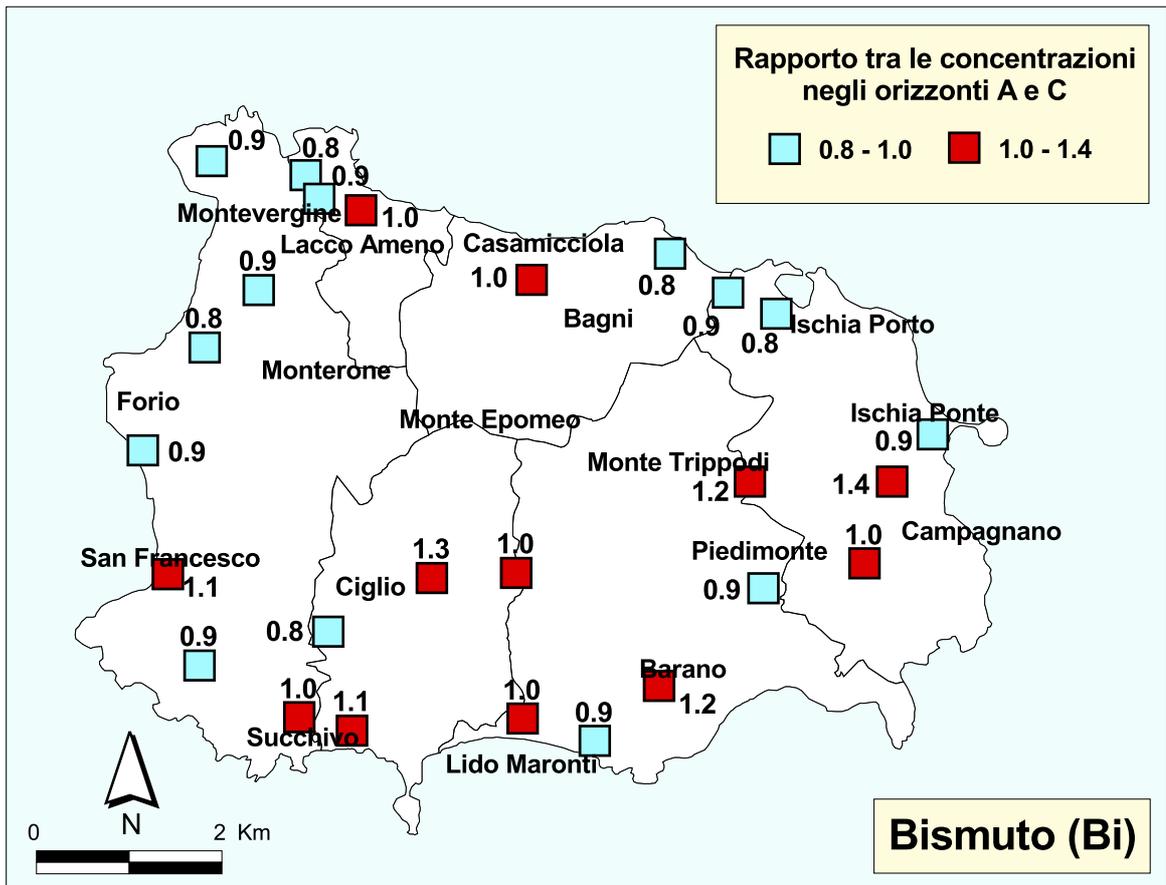


TAVOLA 14E

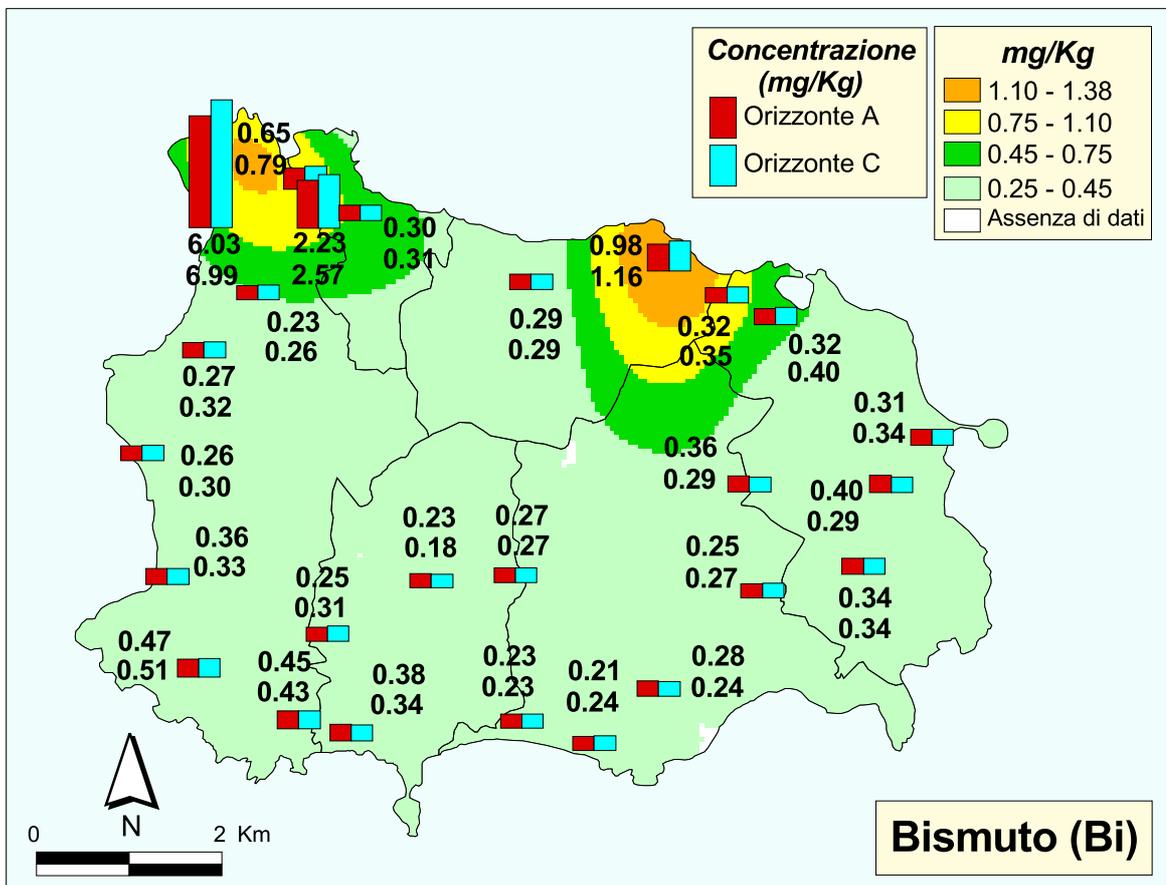


TAVOLA 14F

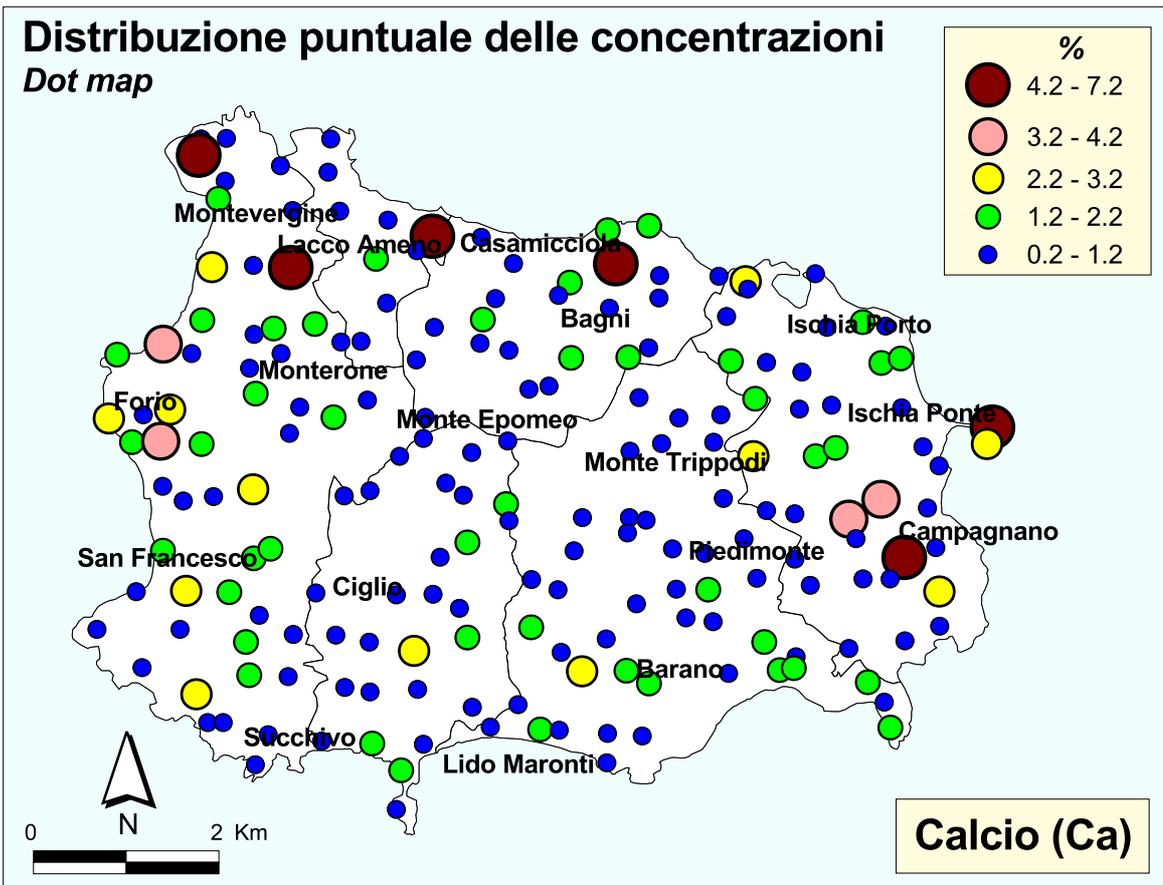


TAVOLA 15A

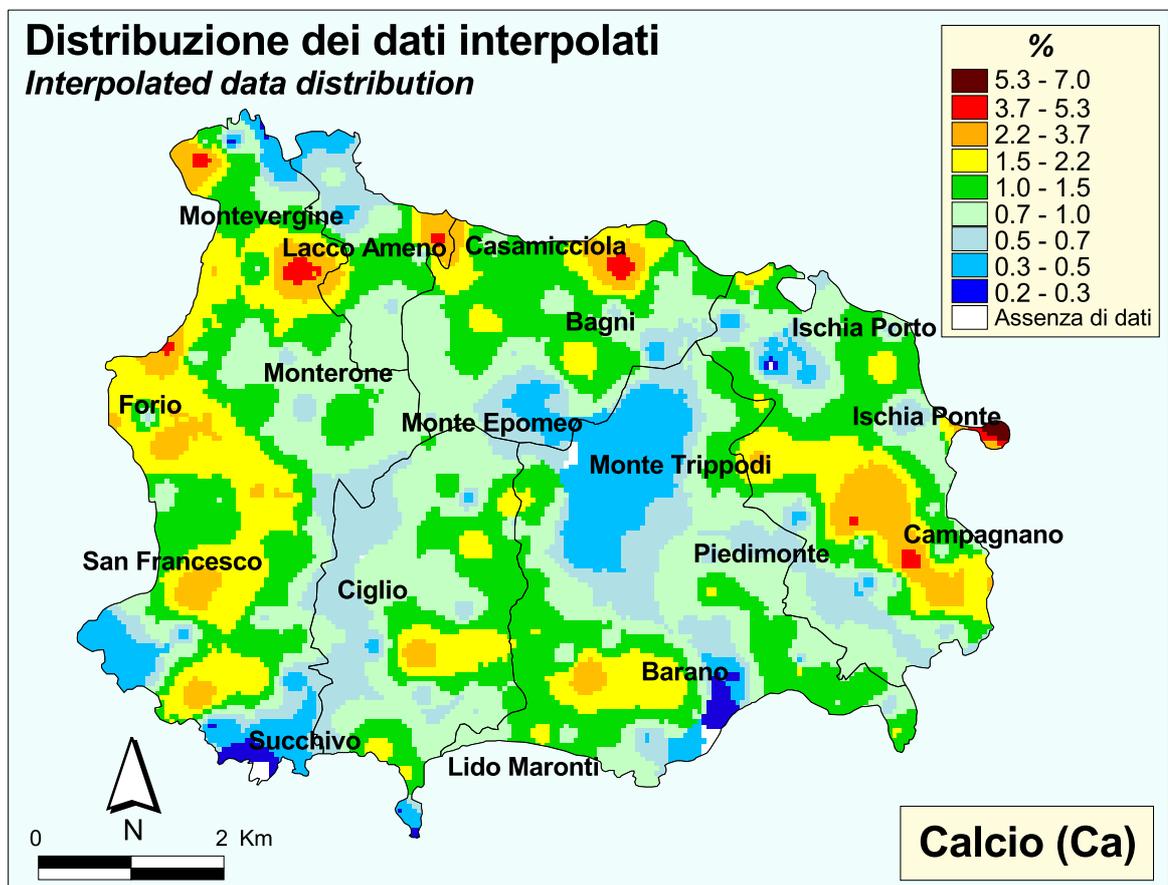


TAVOLA 15B

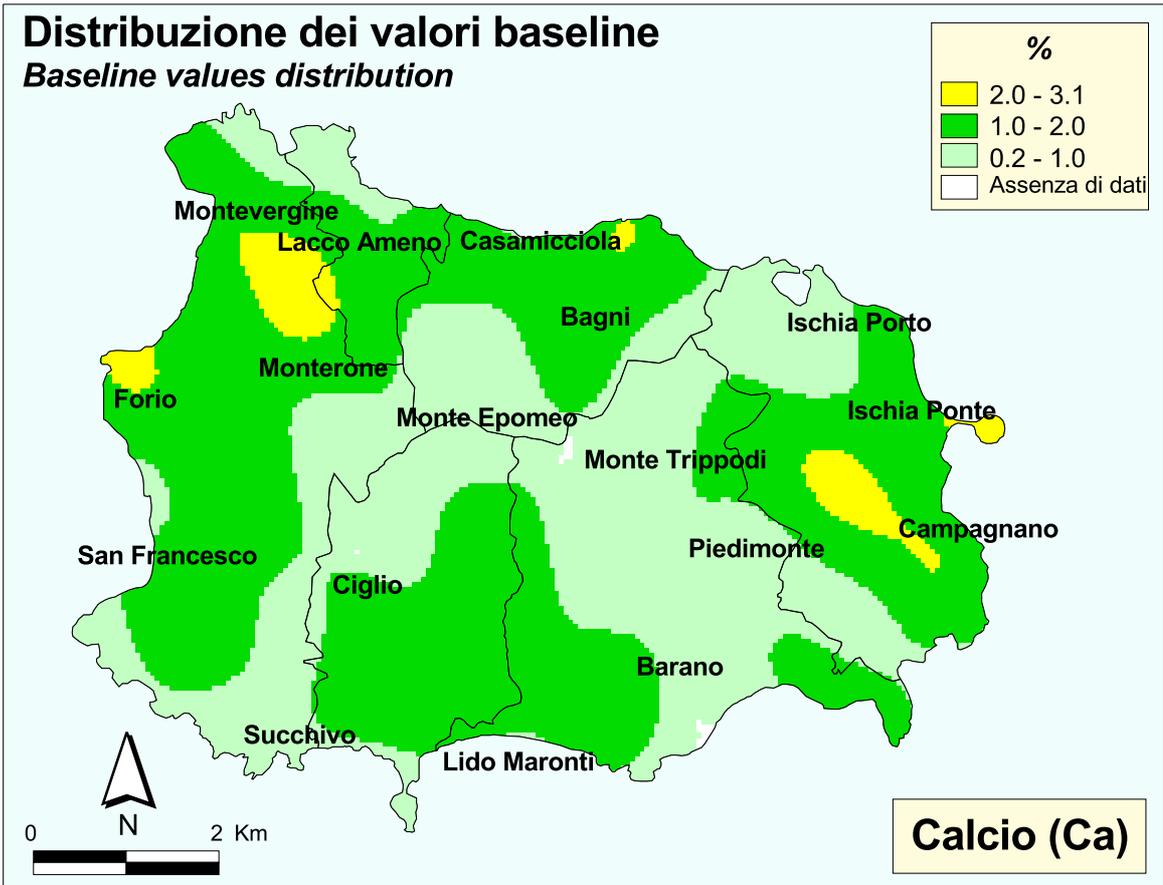


TAVOLA 15C

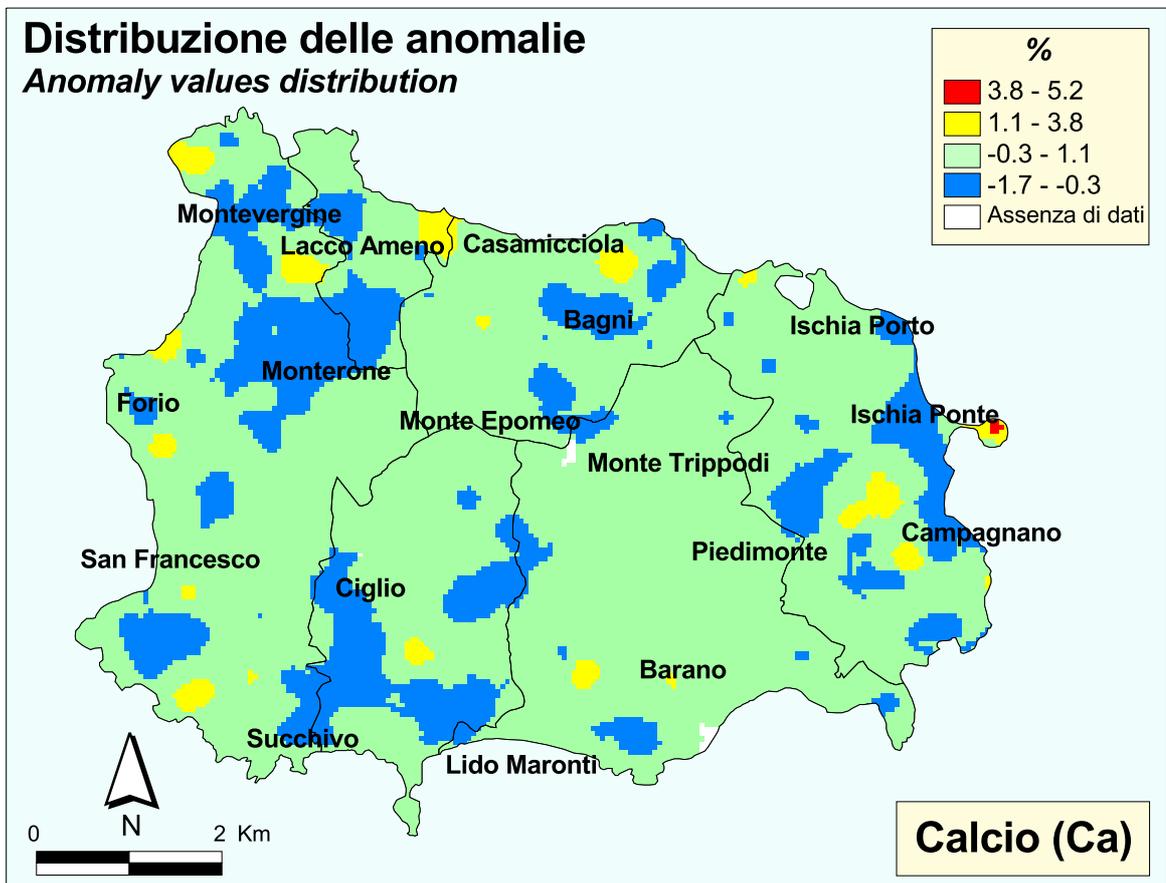


TAVOLA 15D

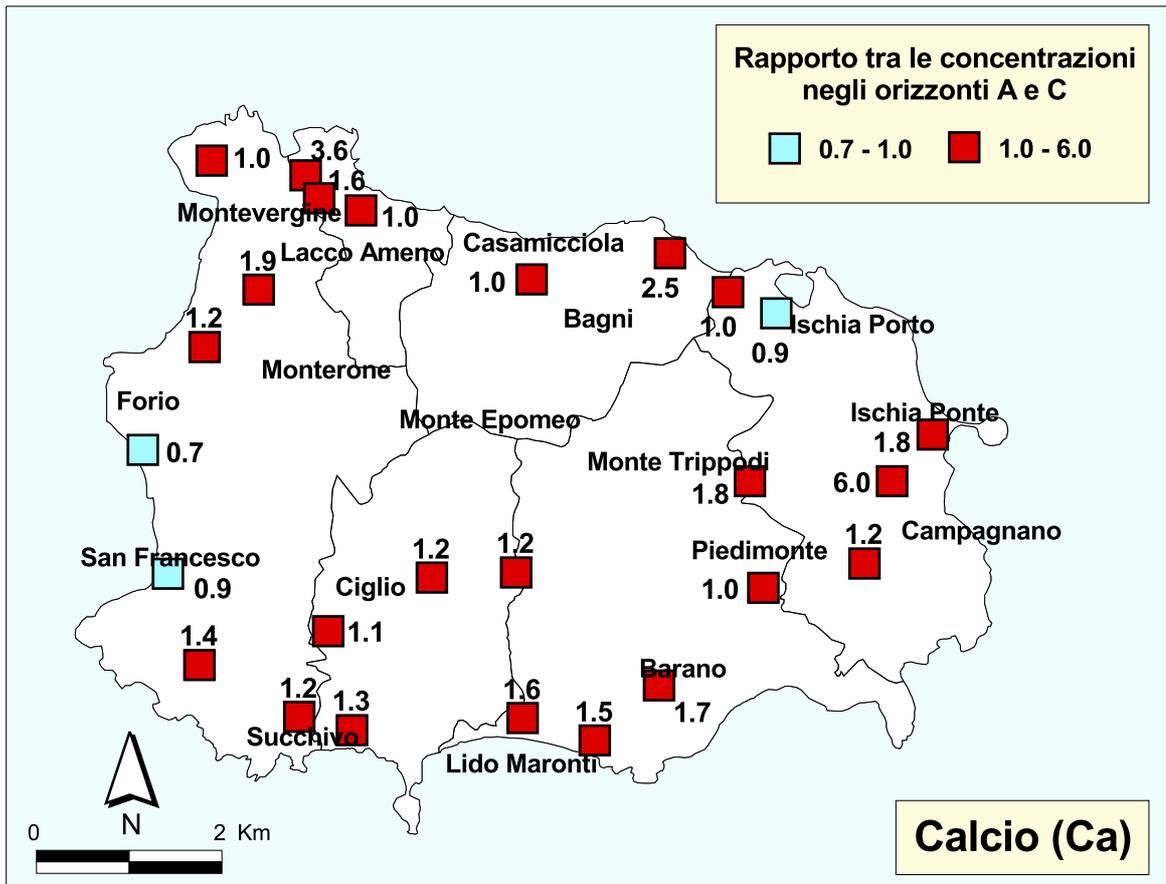


TAVOLA 15E

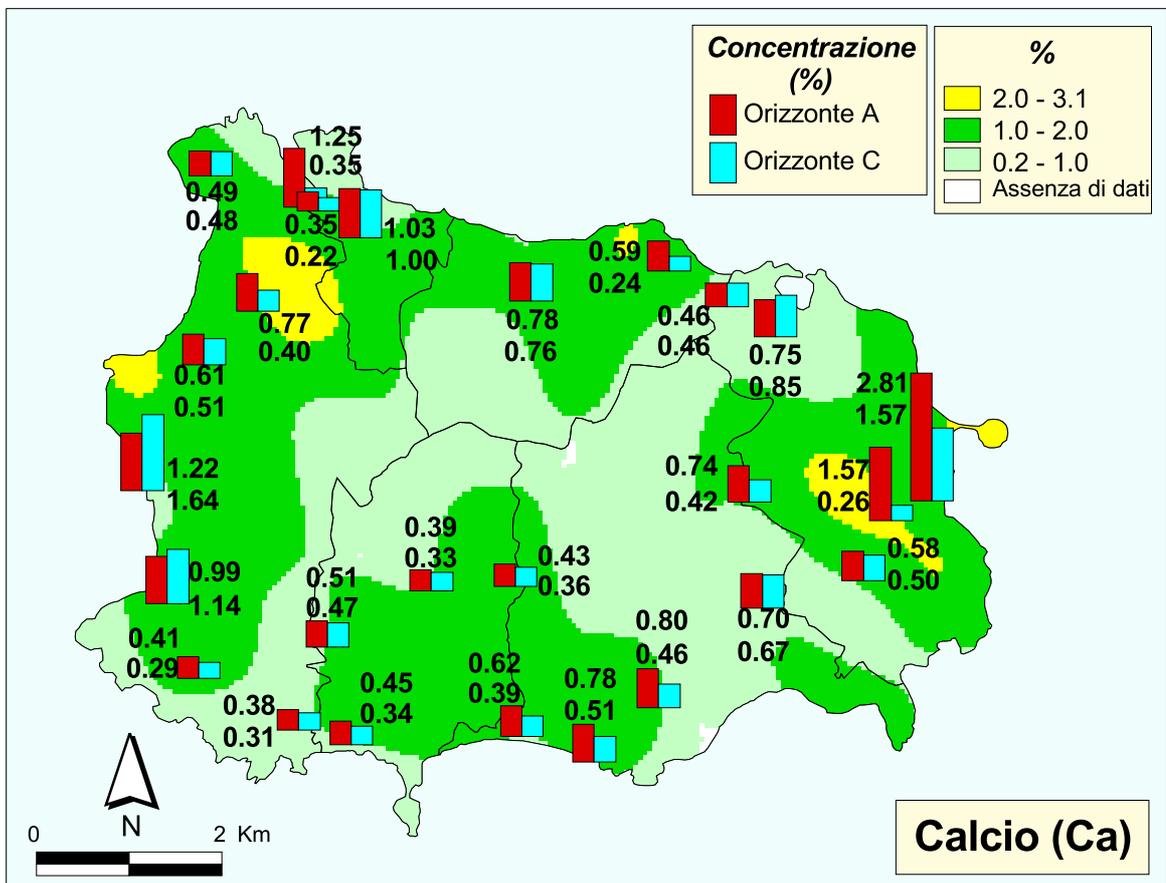


TAVOLA 15F

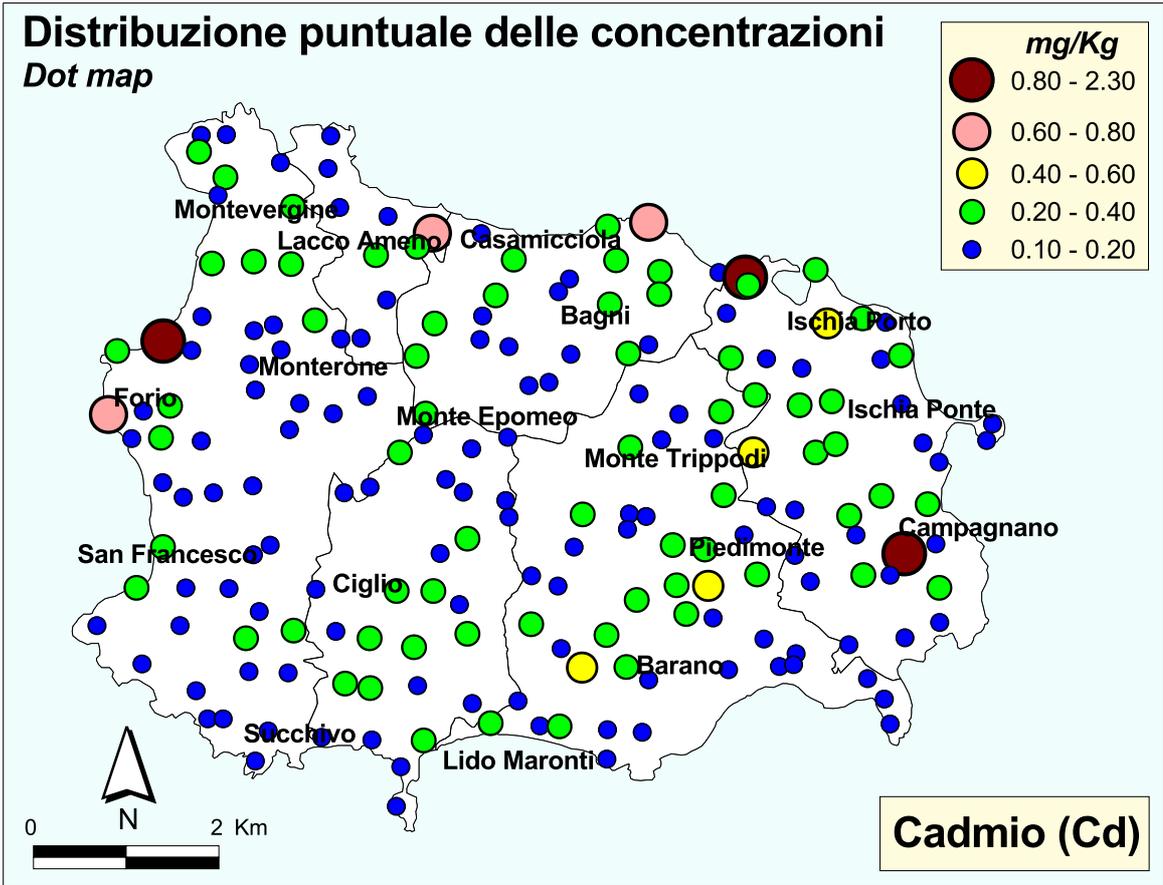


TAVOLA 16A

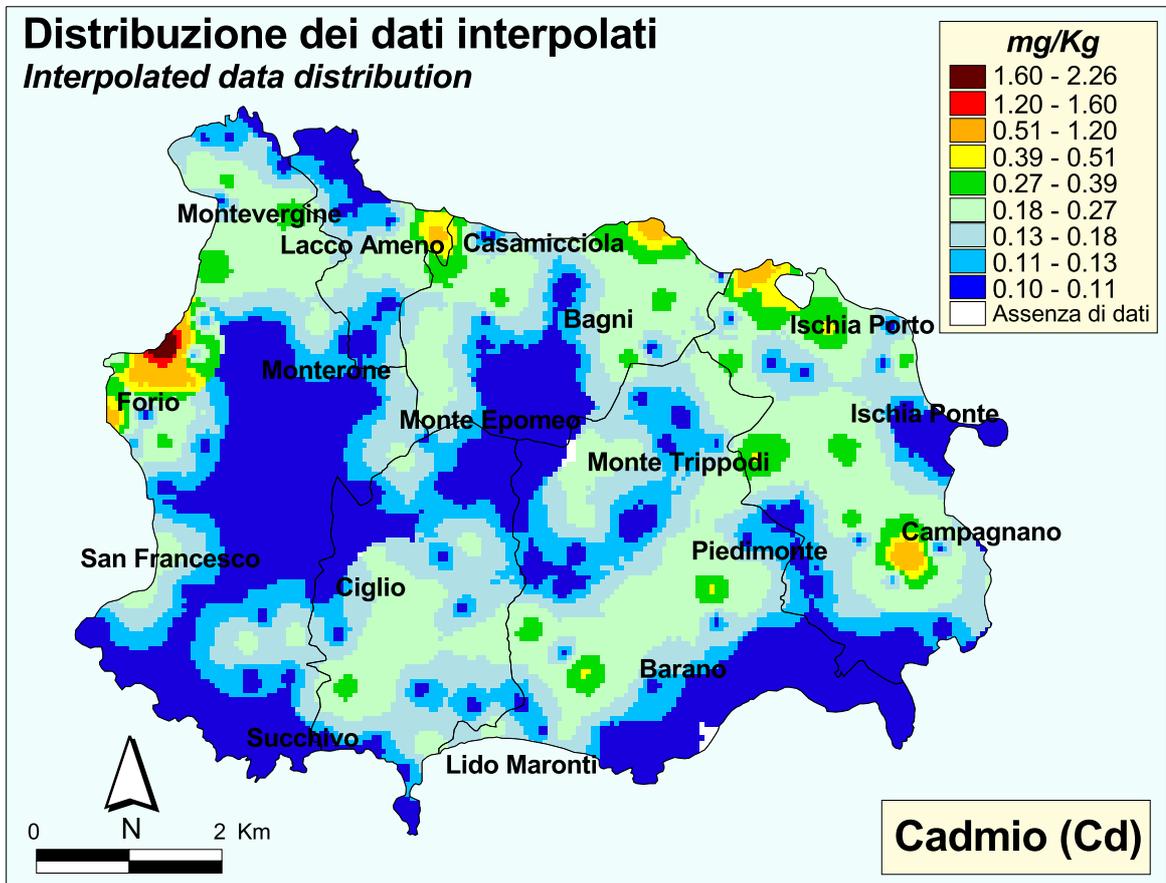


TAVOLA 16B

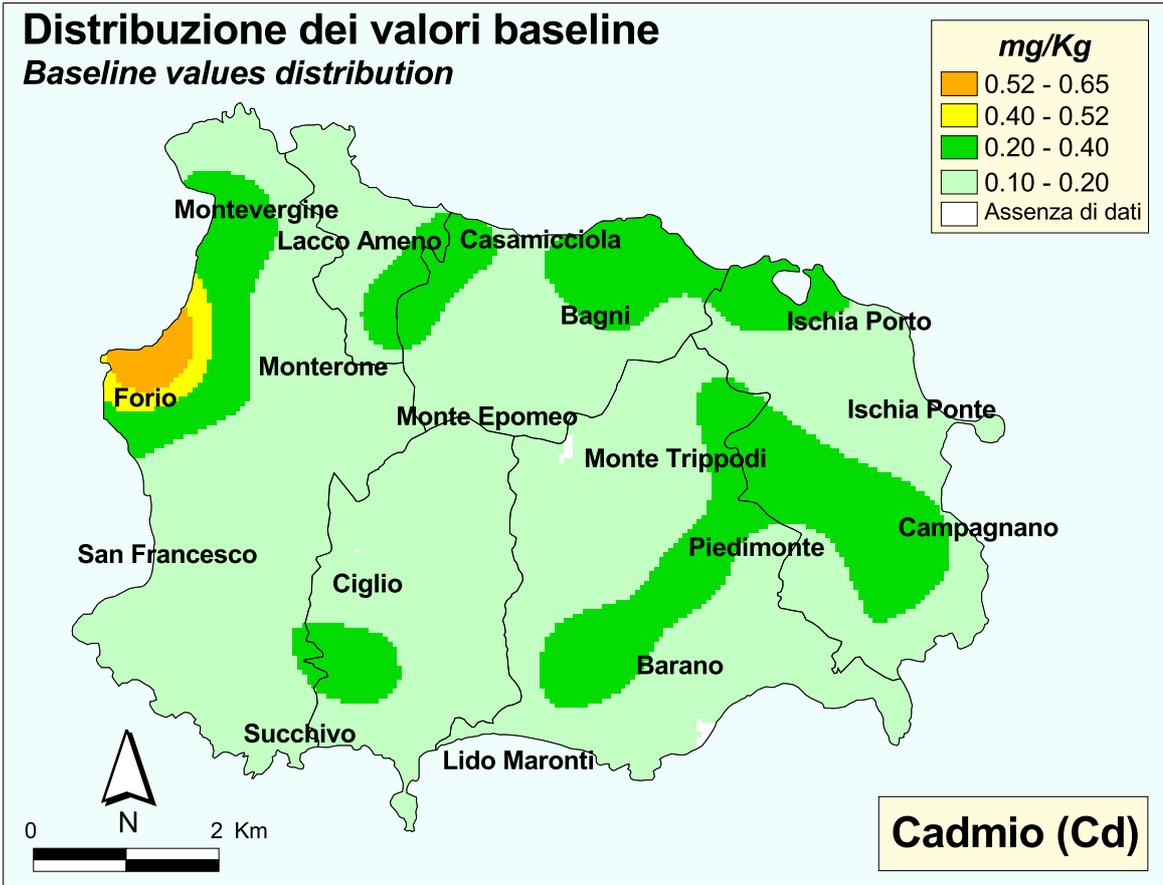


TAVOLA 16C

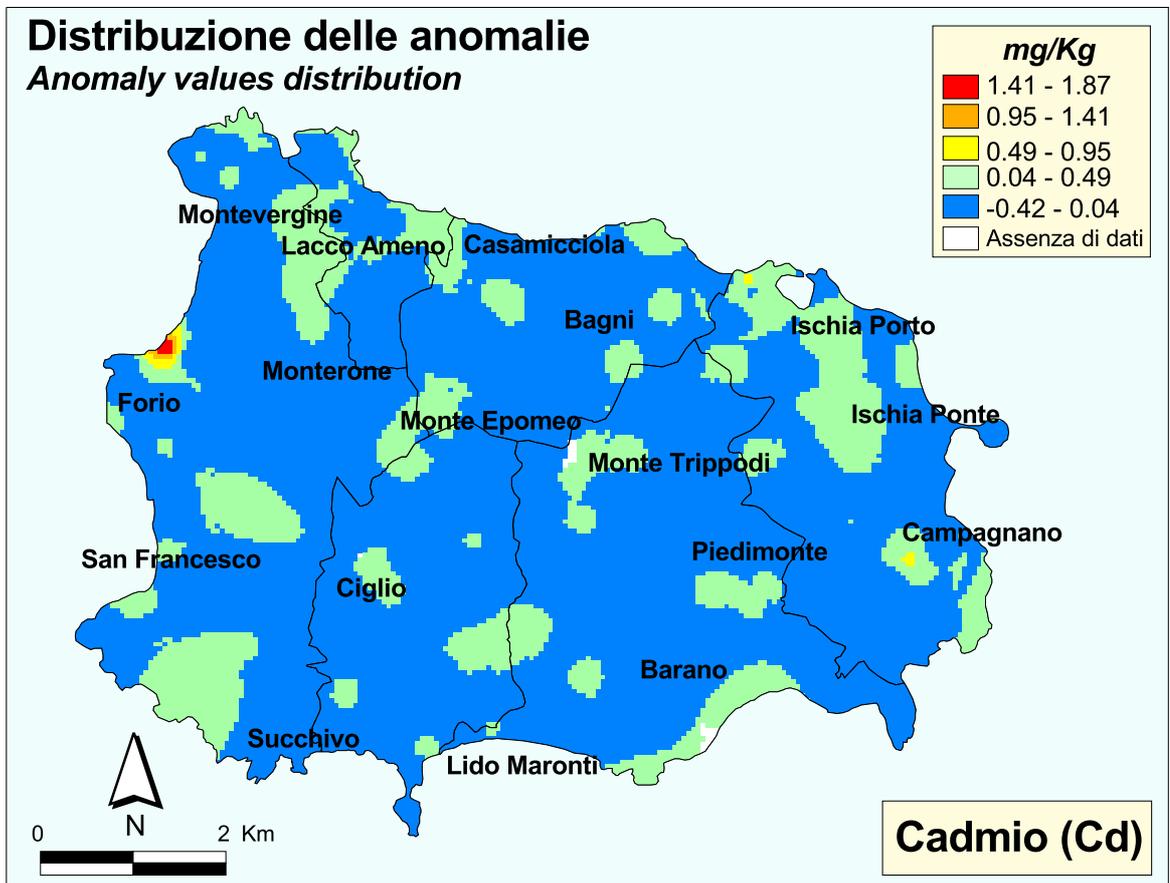


TAVOLA 16D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

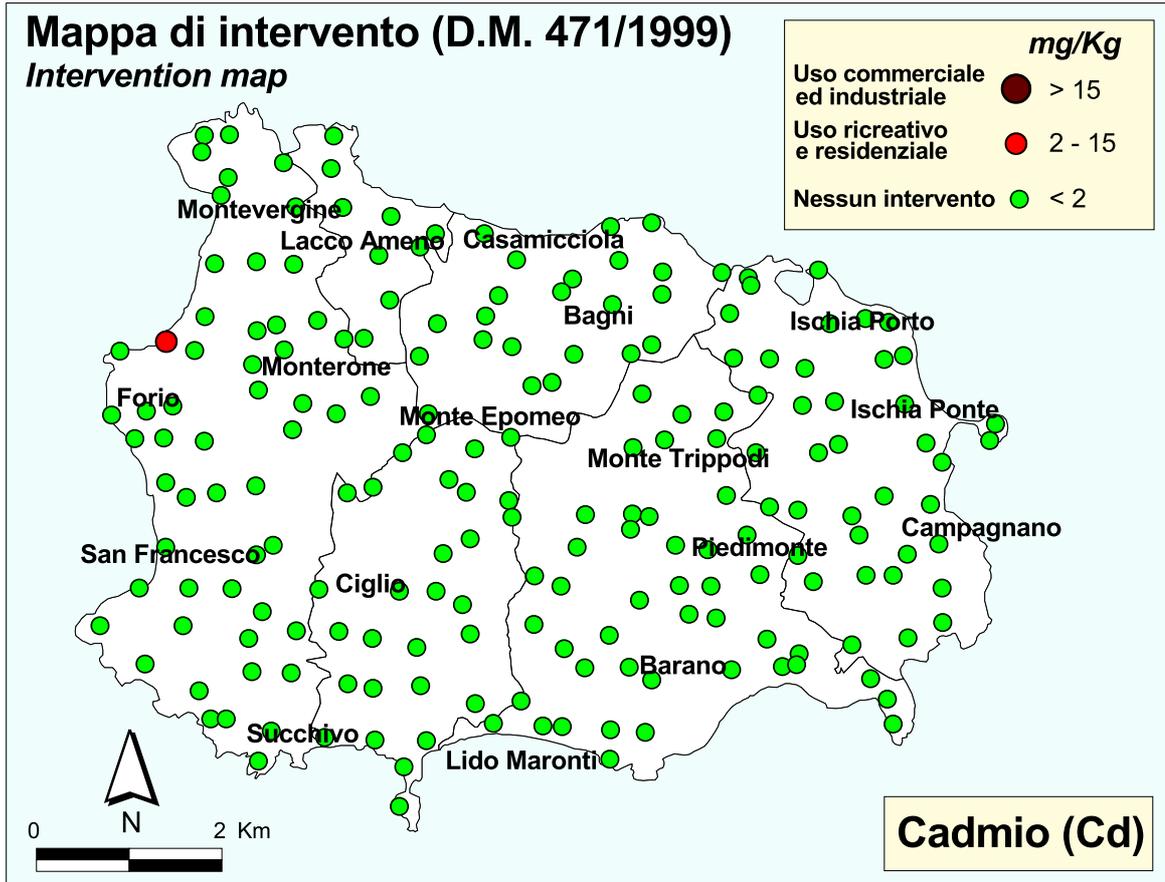


TAVOLA 16E

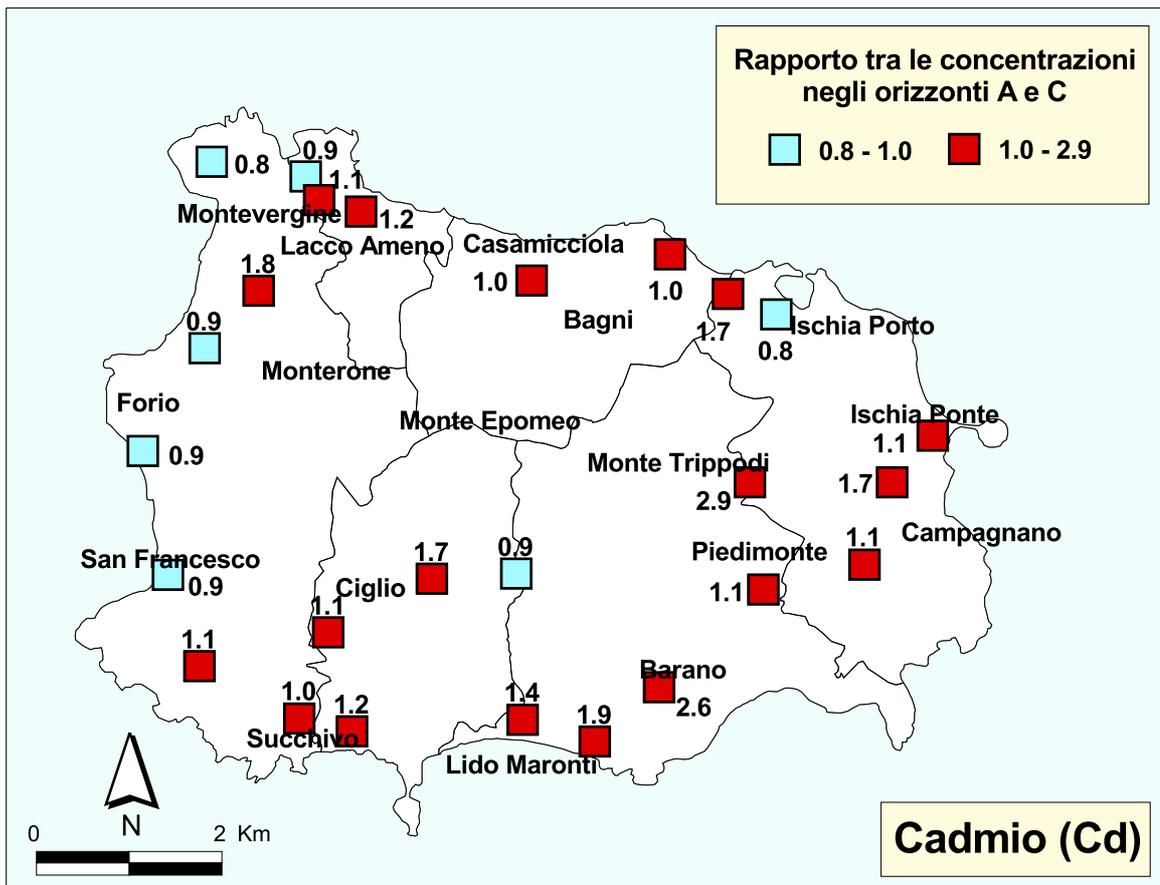


TAVOLA 16F

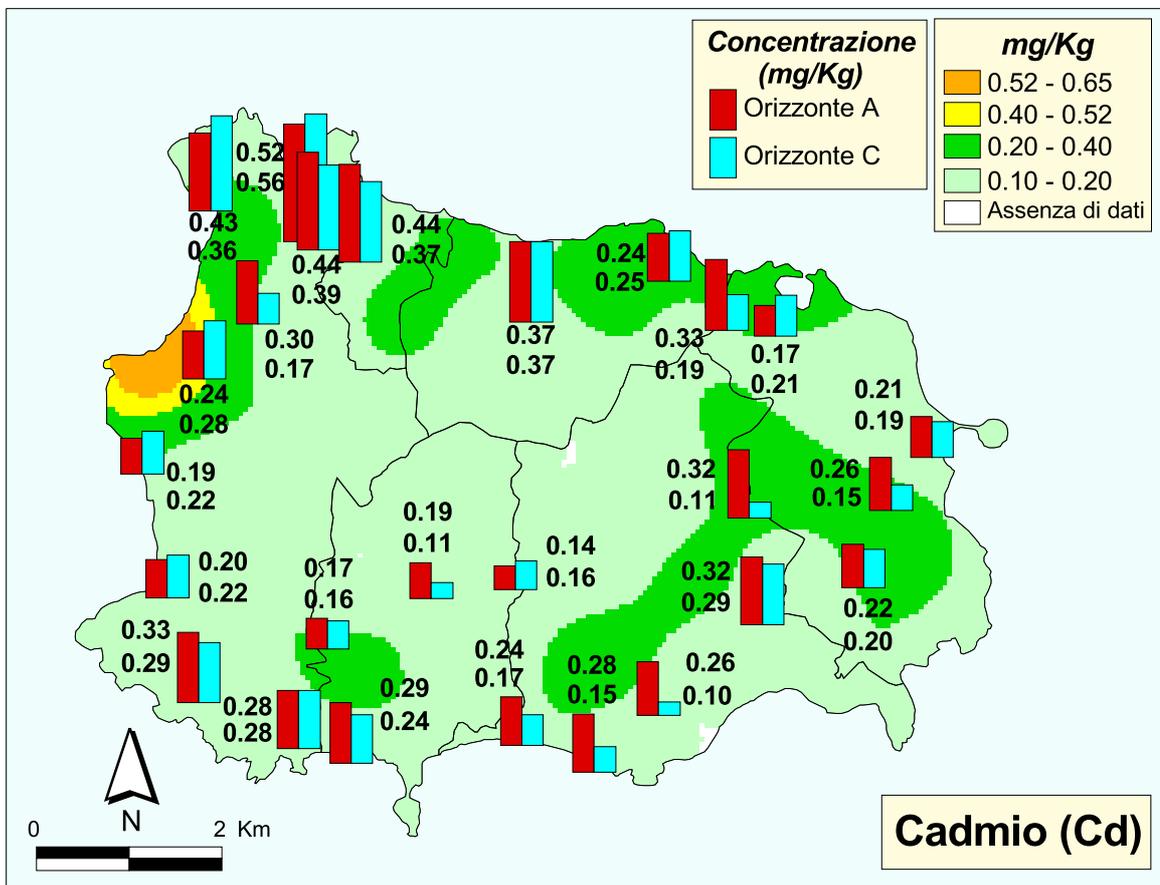


TAVOLA 16G

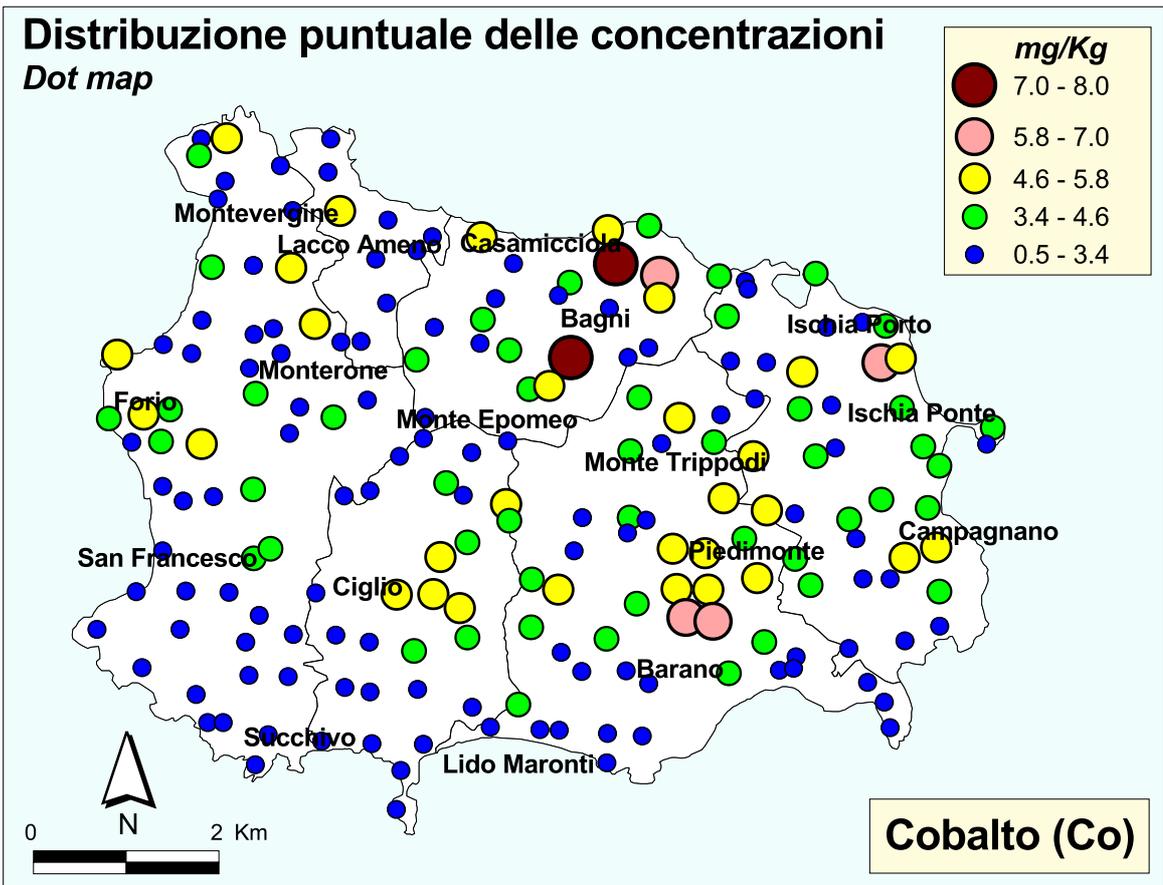


TAVOLA 17A

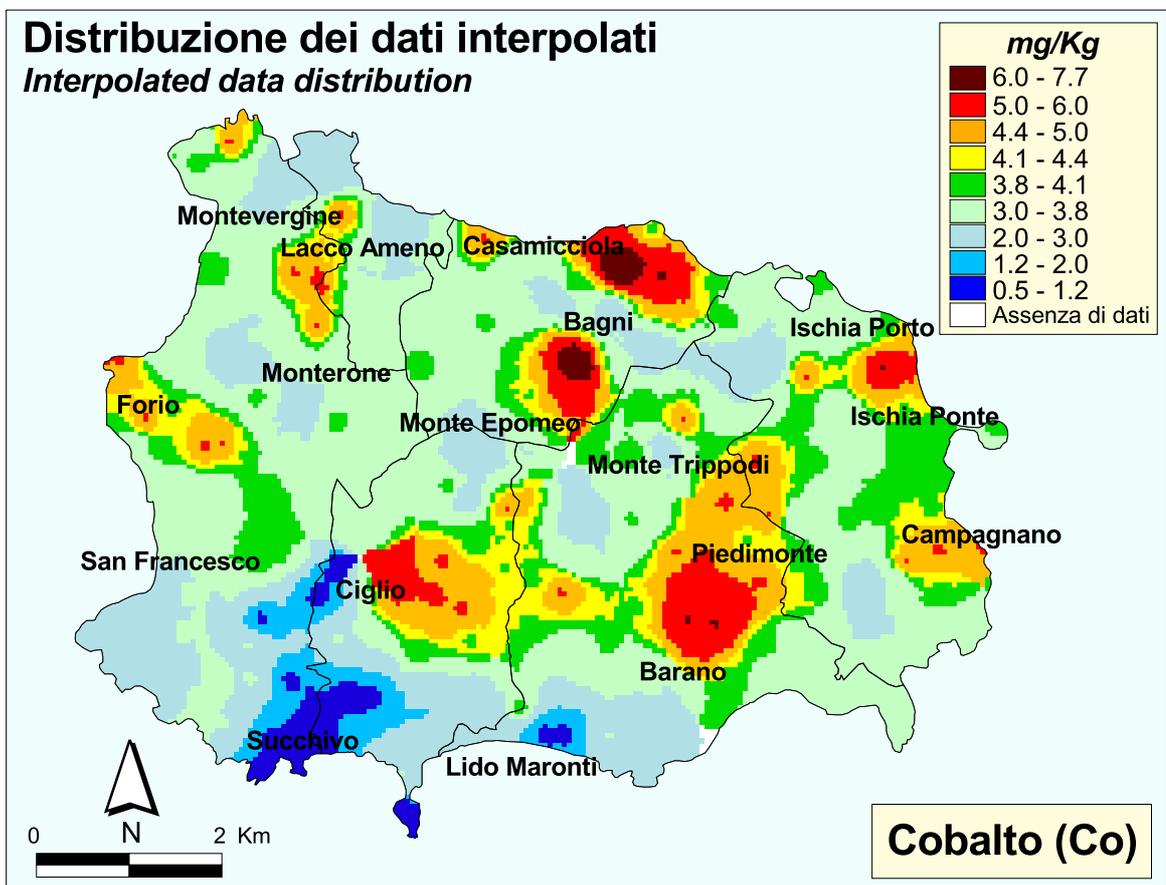


TAVOLA 17B

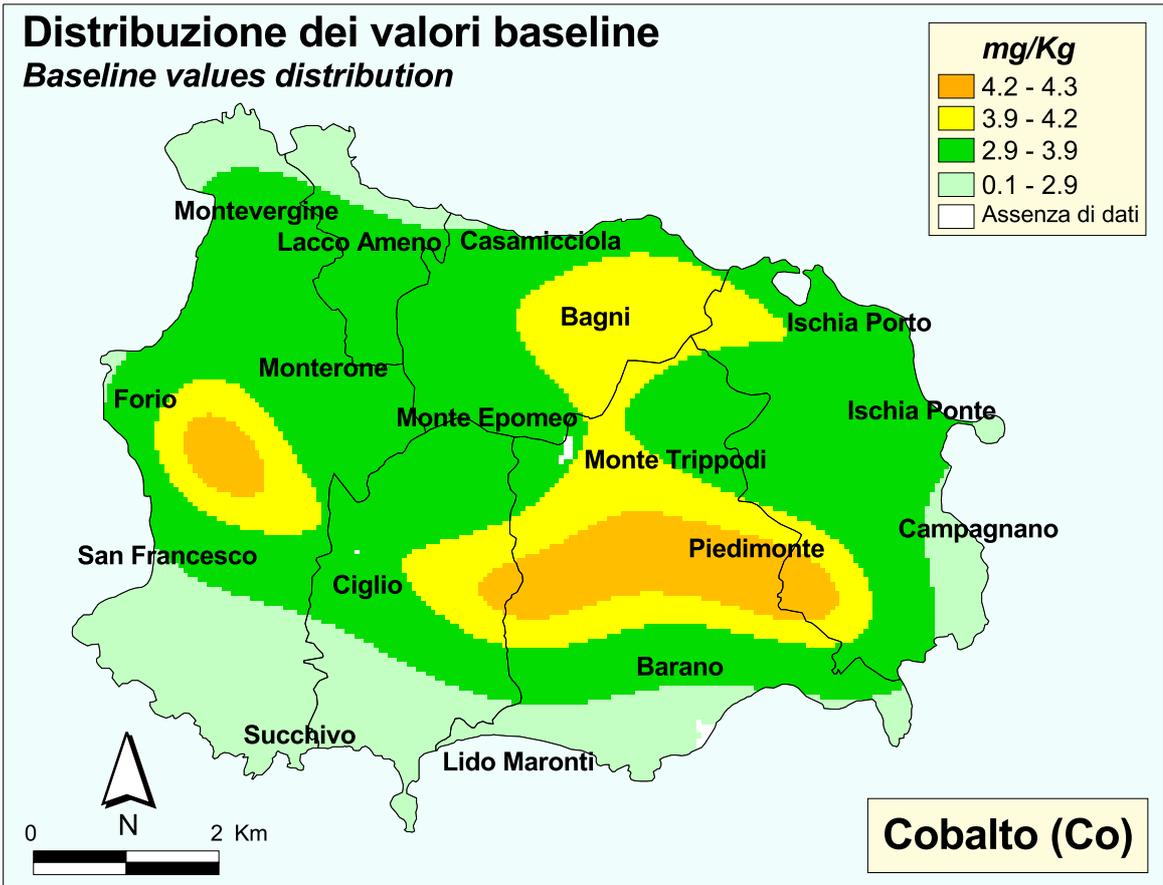


TAVOLA 17C

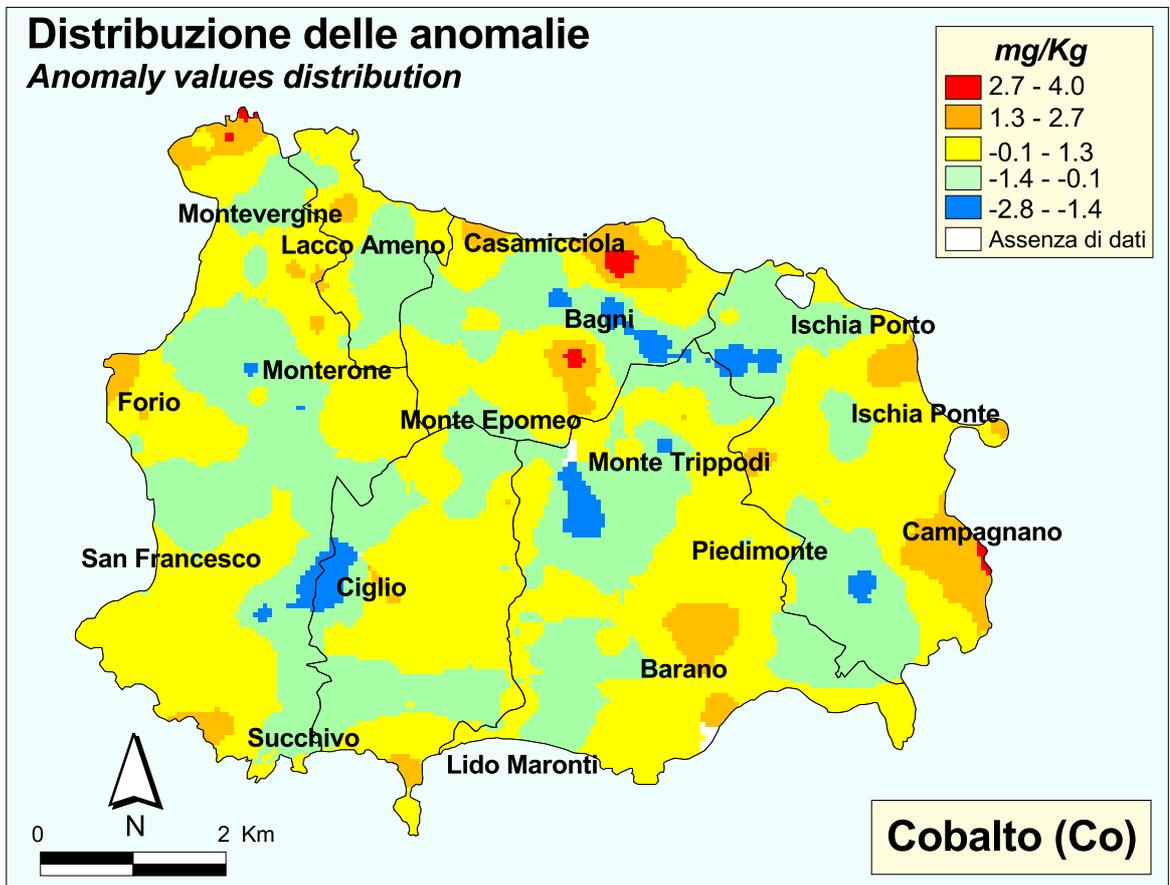


TAVOLA 17D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

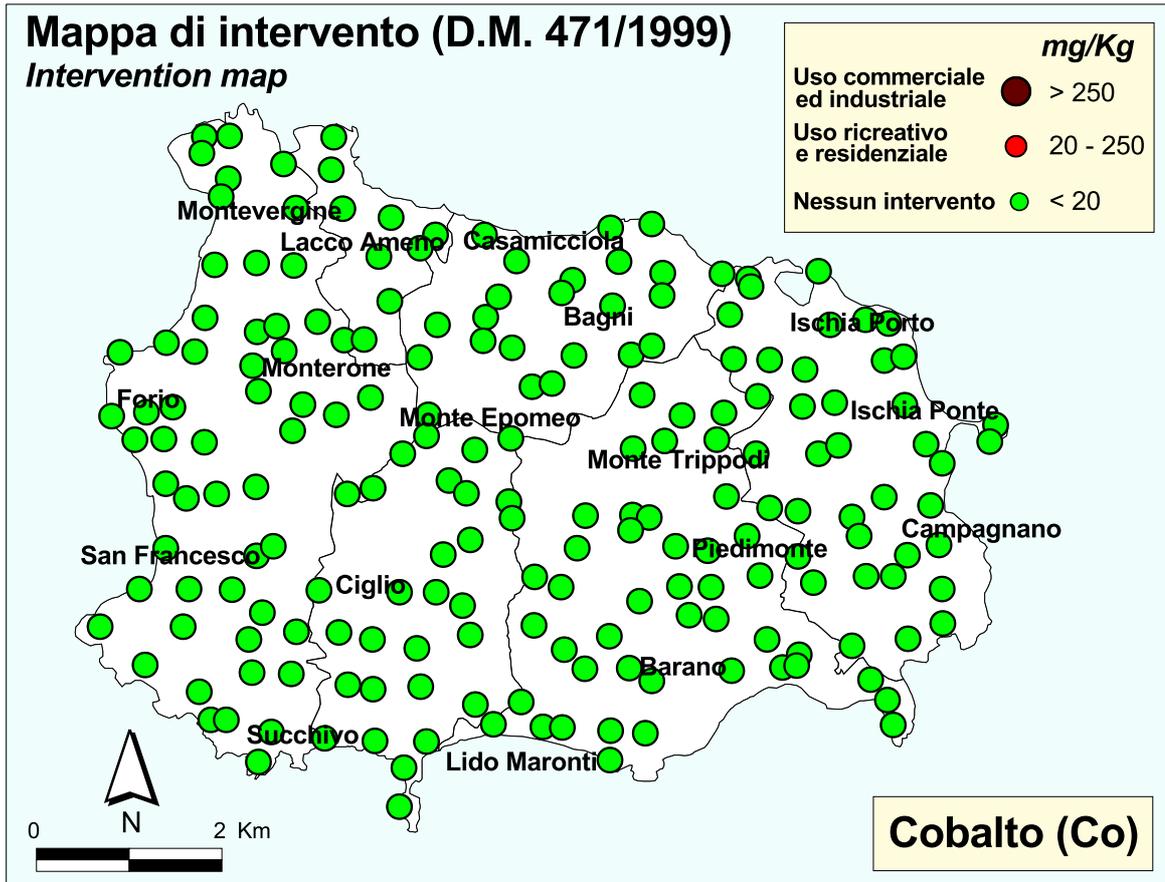


TAVOLA 17E

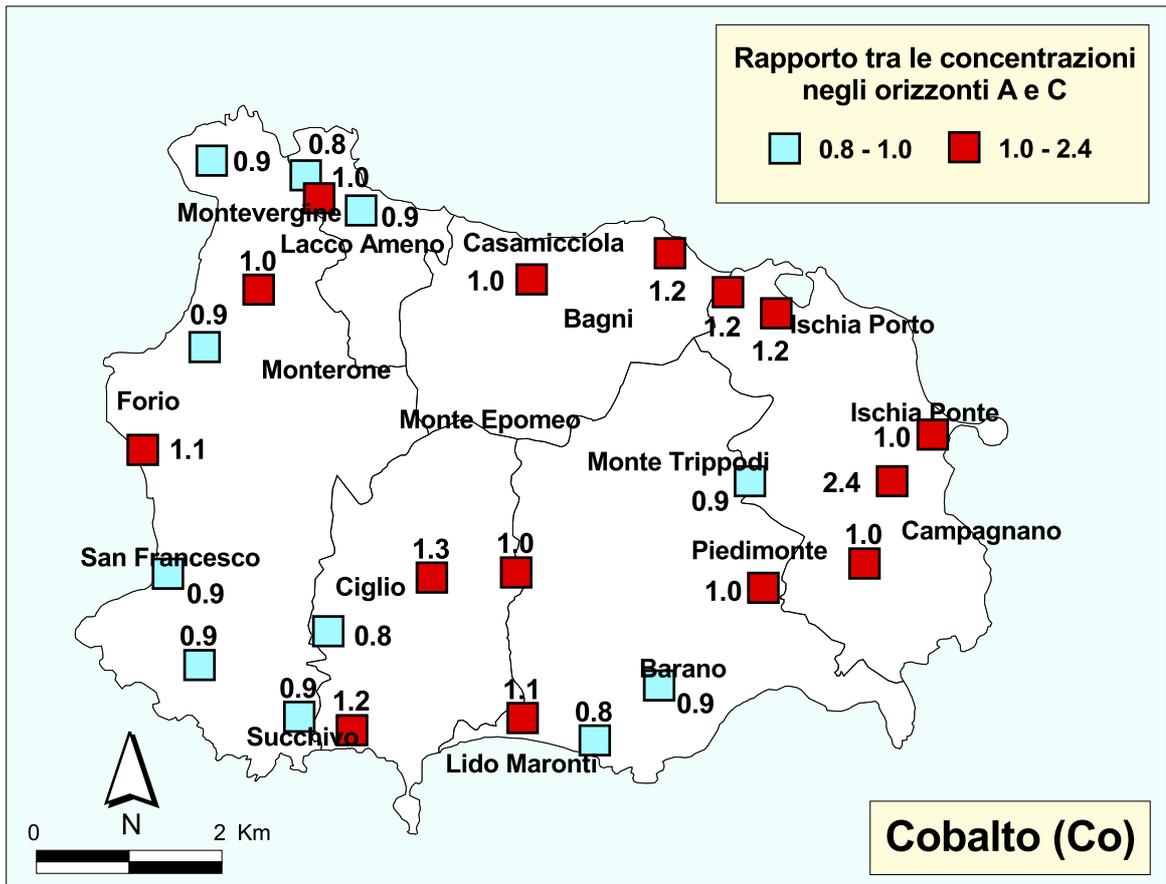


TAVOLA 17F

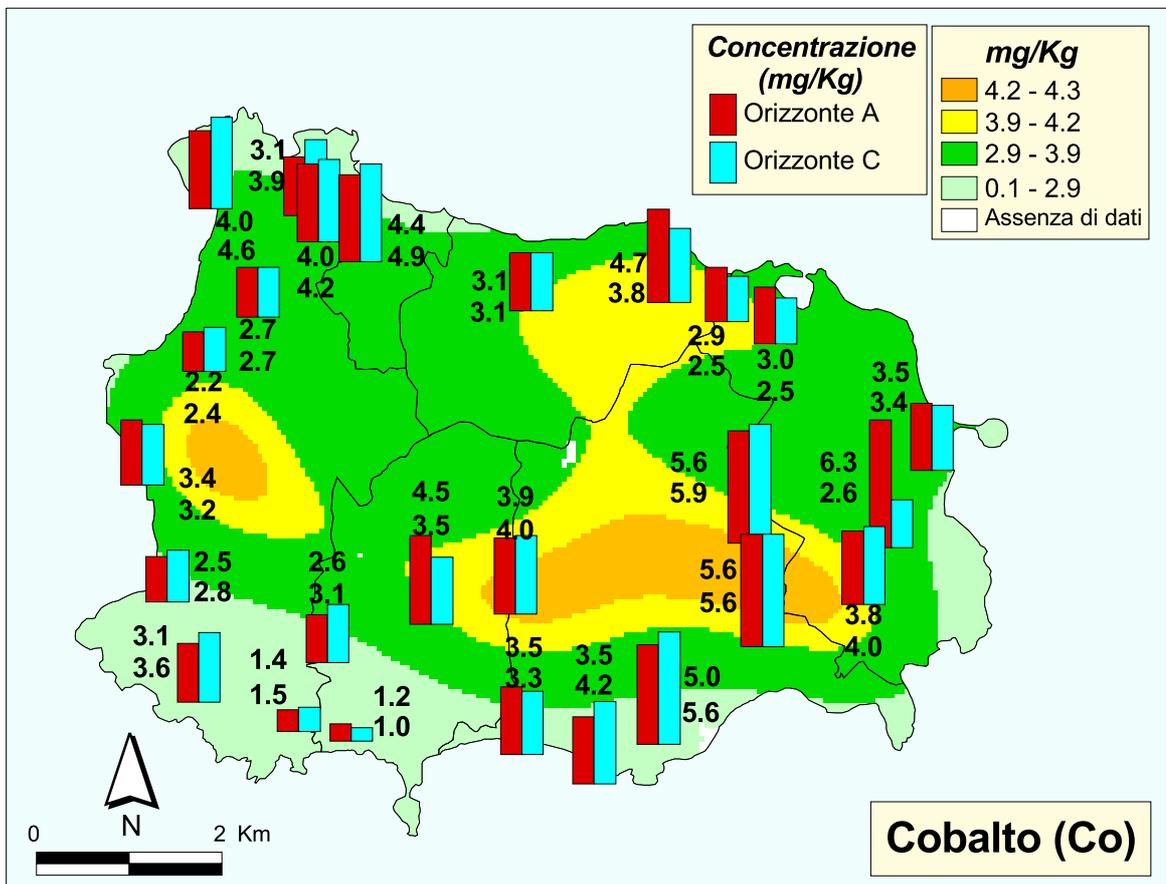


TAVOLA 17G

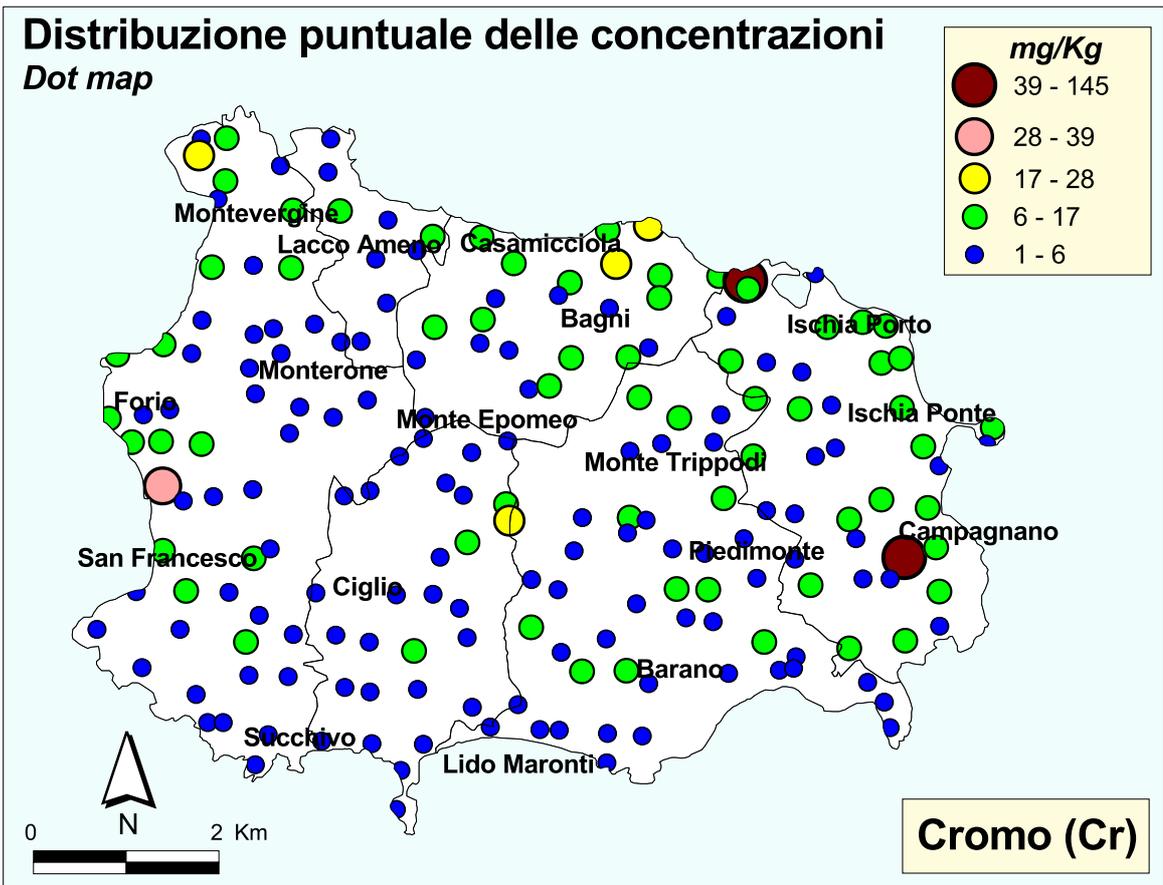


TAVOLA 18A

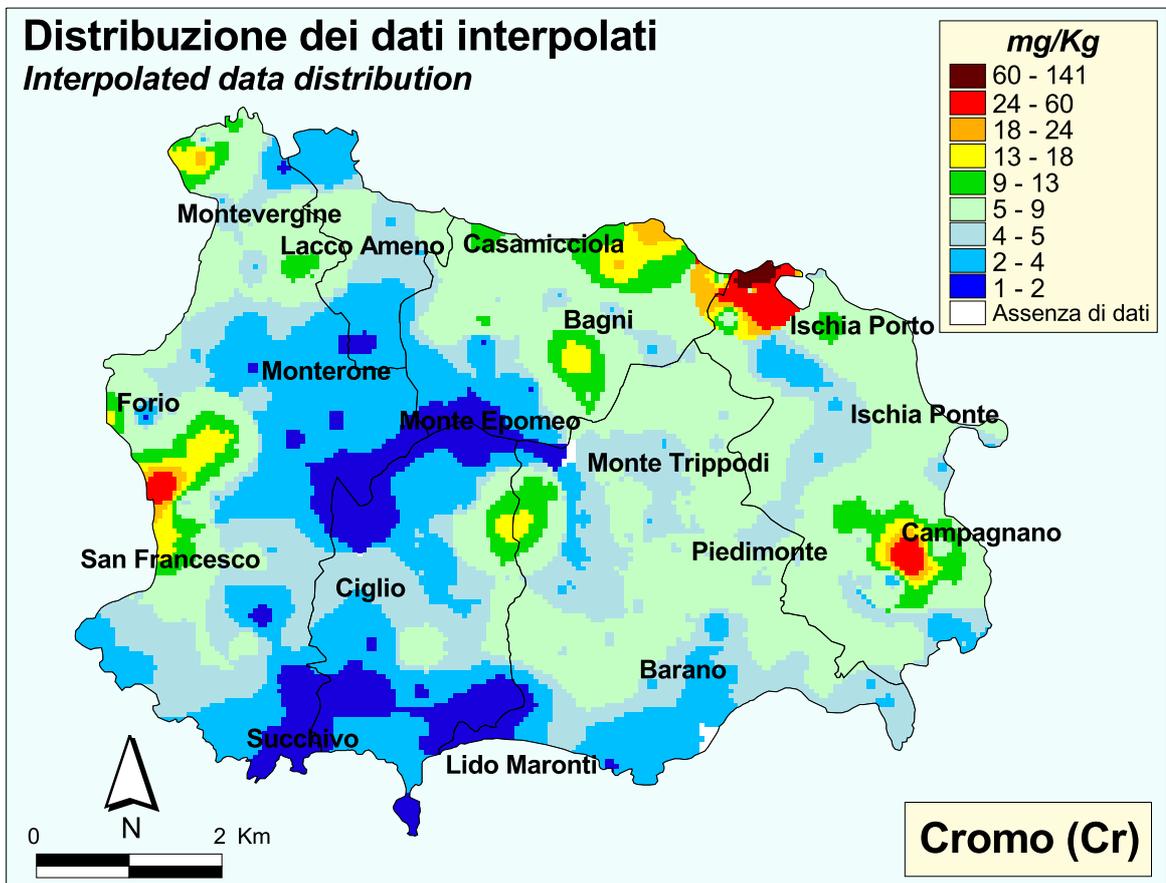


TAVOLA 18B

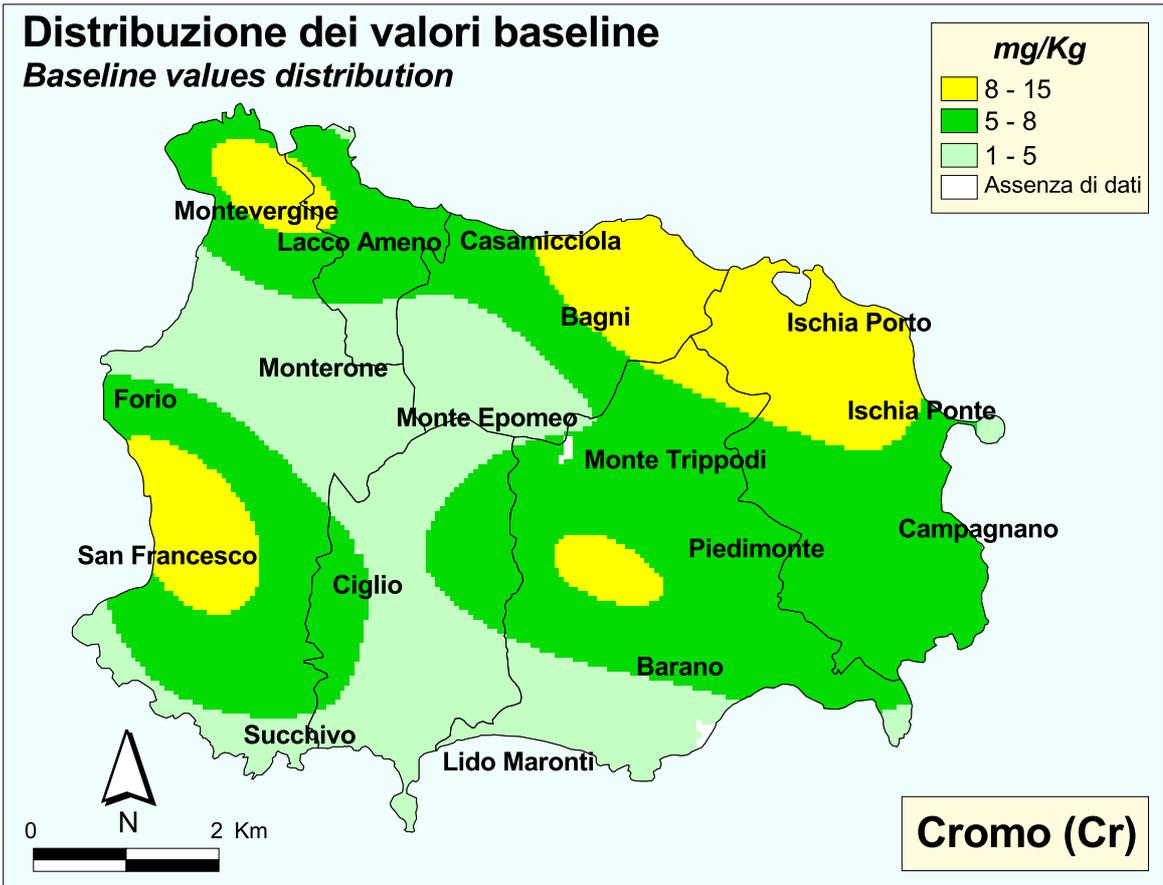


TAVOLA 18C

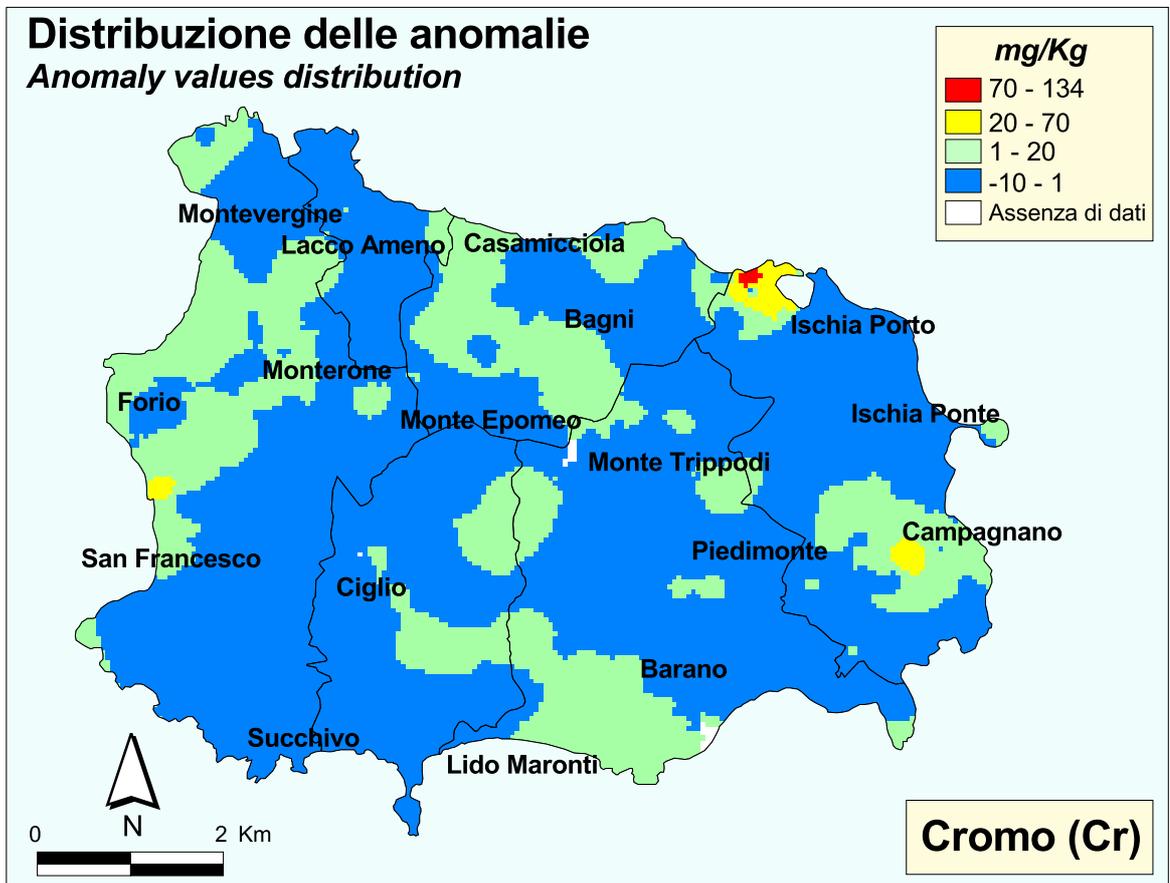


TAVOLA 18D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

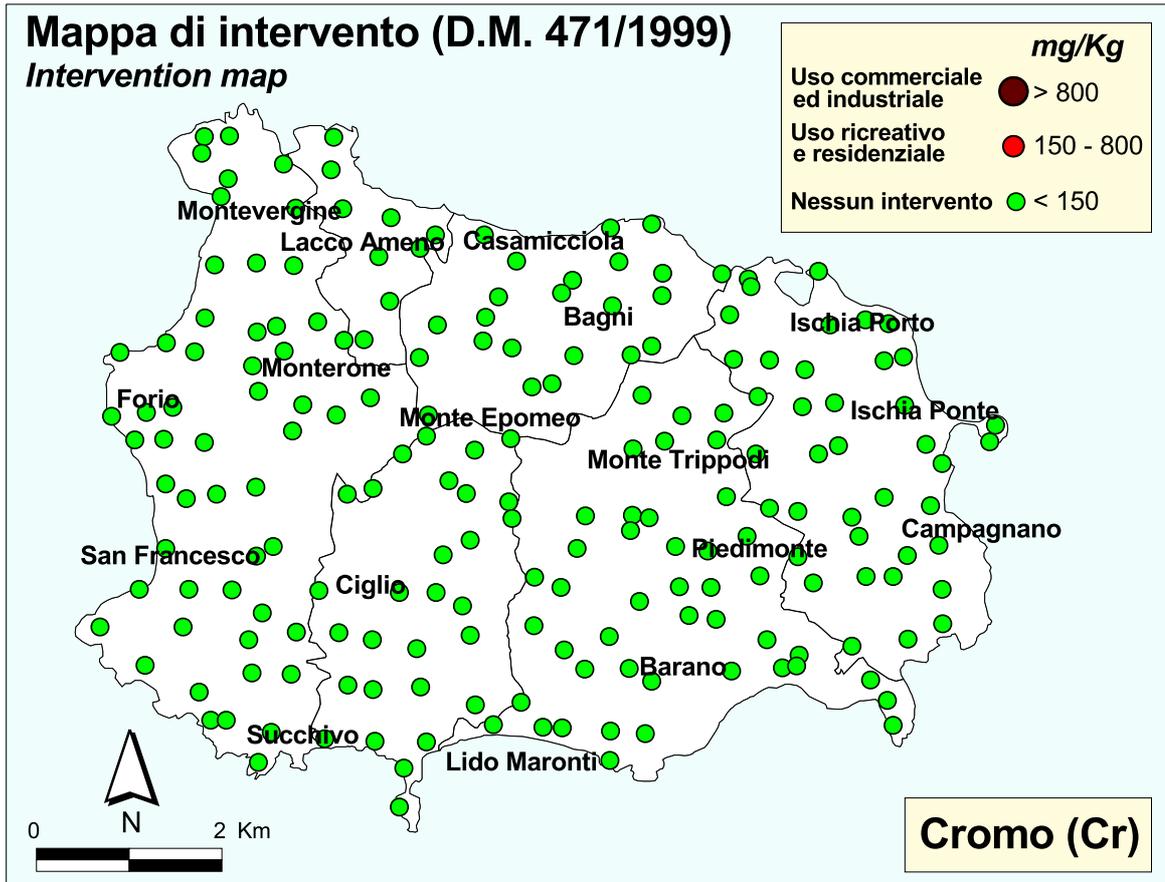


TAVOLA 18E

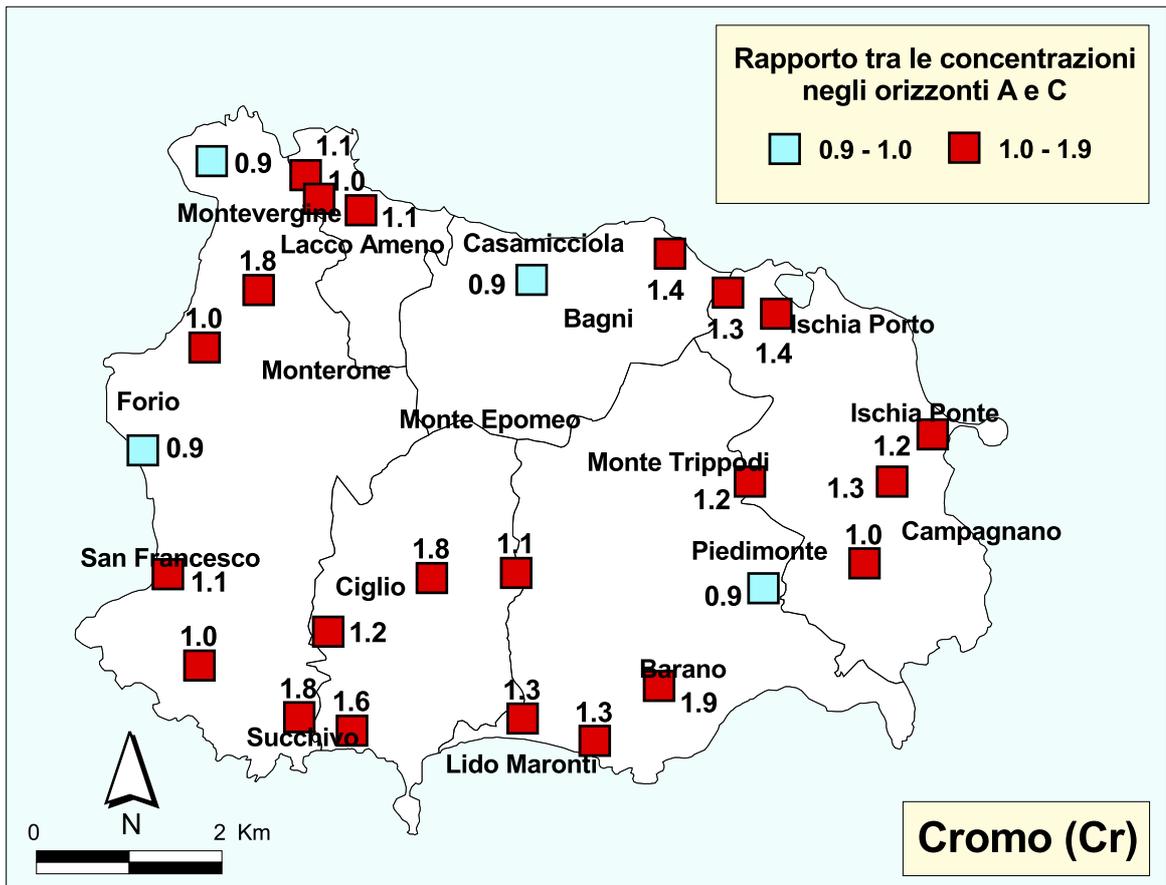


TAVOLA 18F

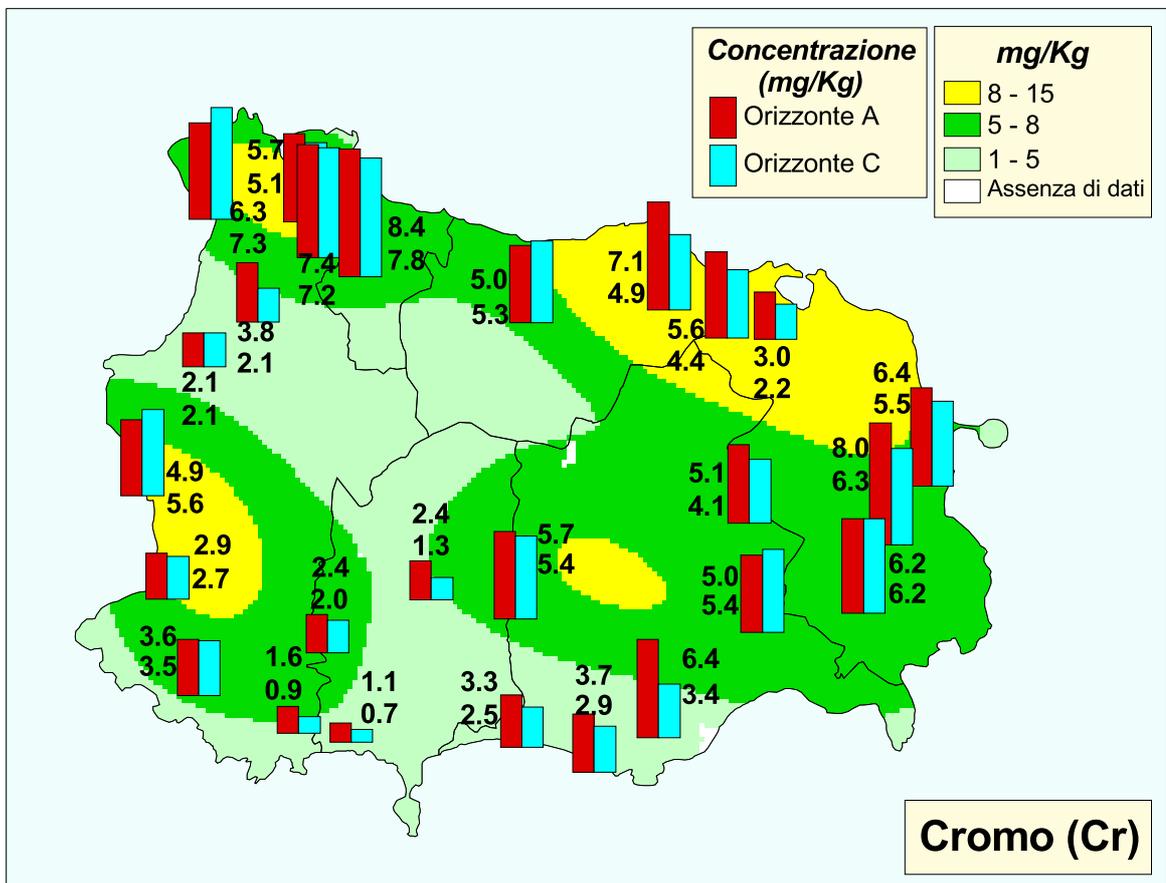


TAVOLA 18G

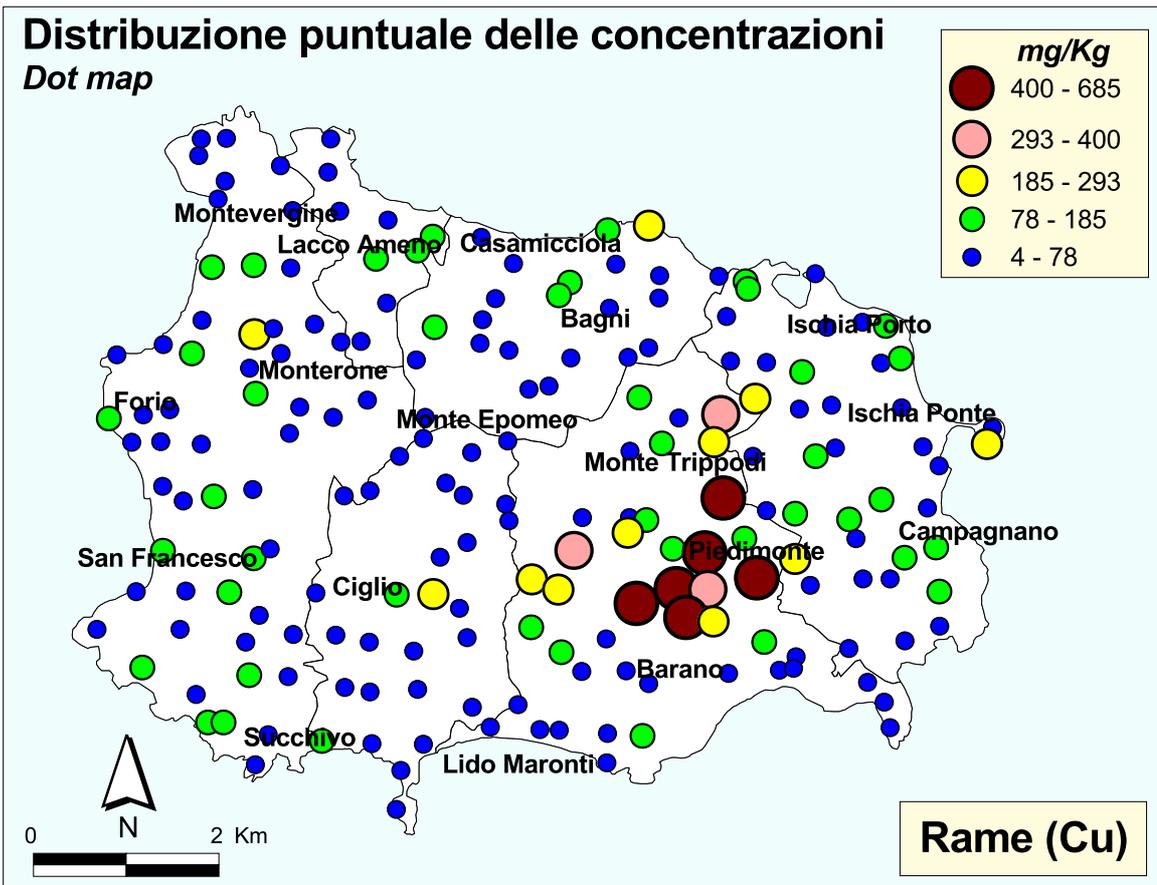


TAVOLA 19A

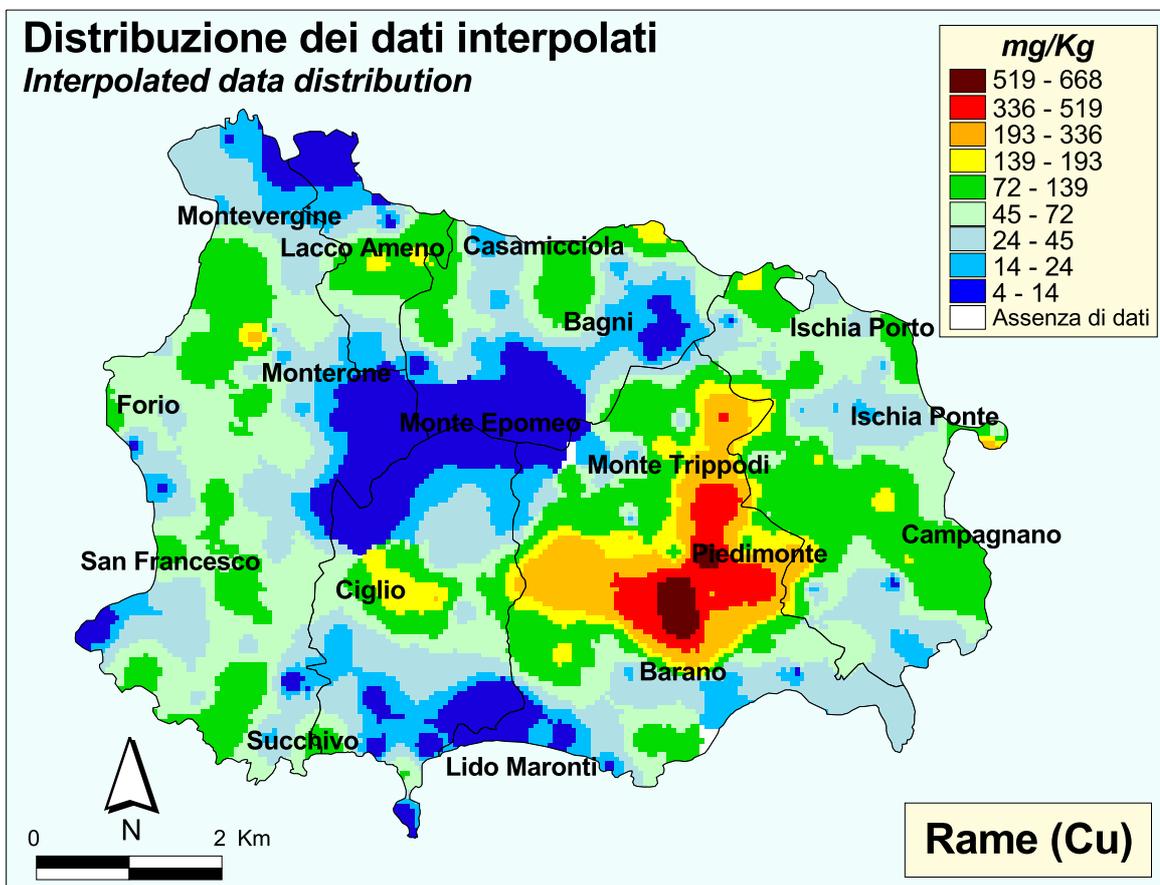


TAVOLA 19B

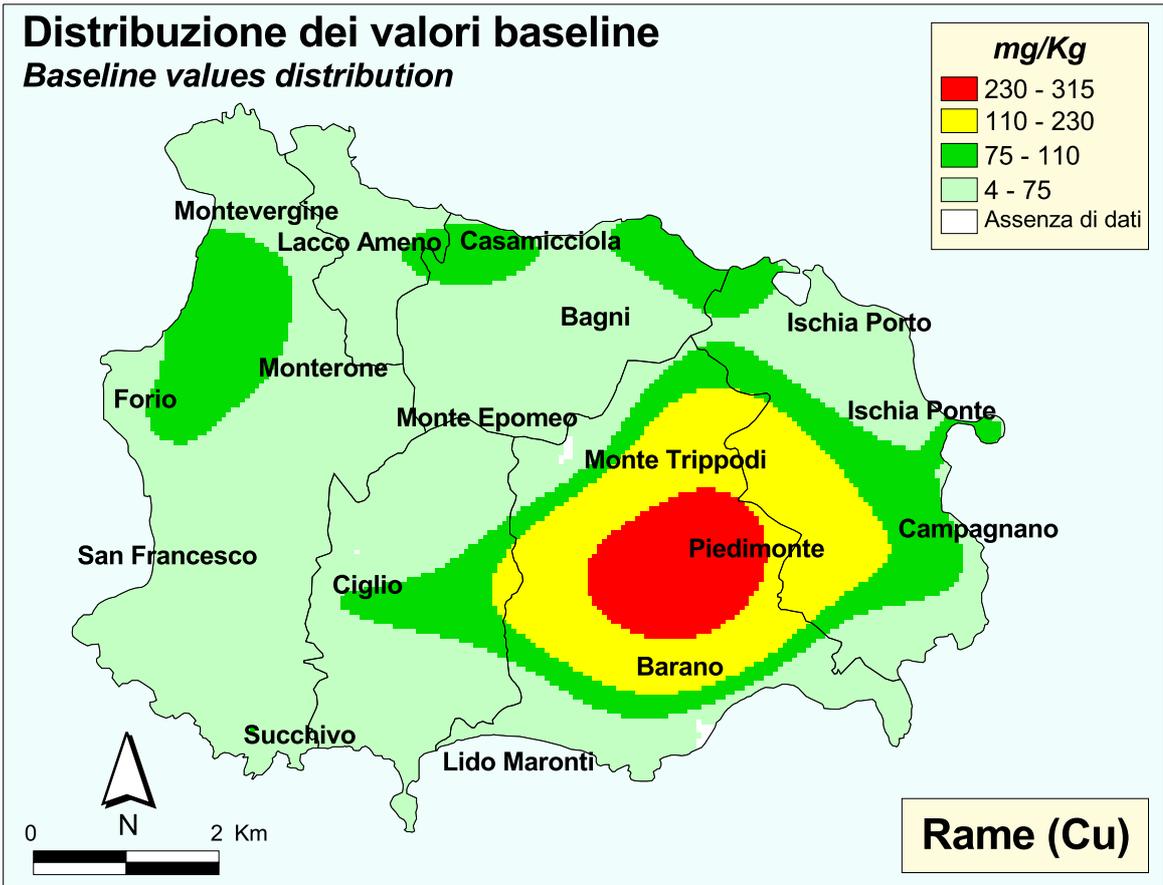


TAVOLA 19C

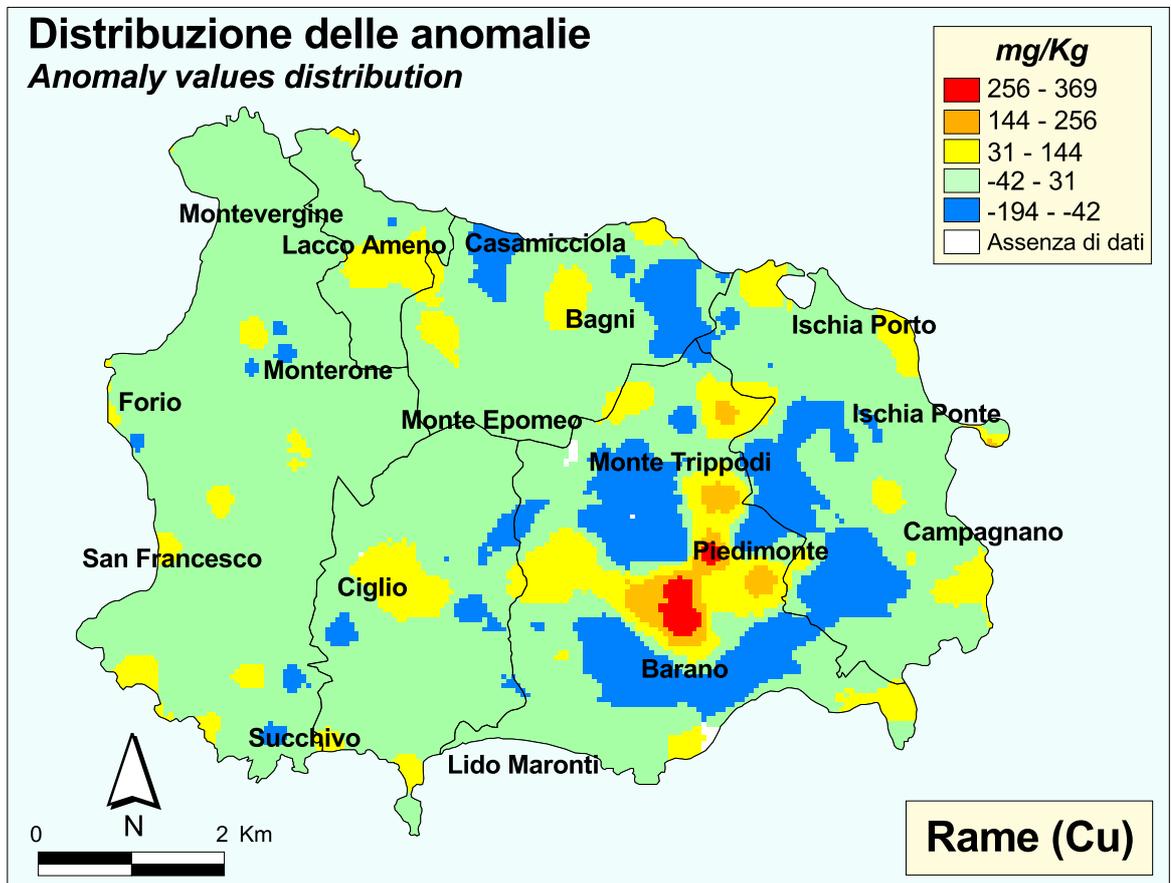


TAVOLA 19D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

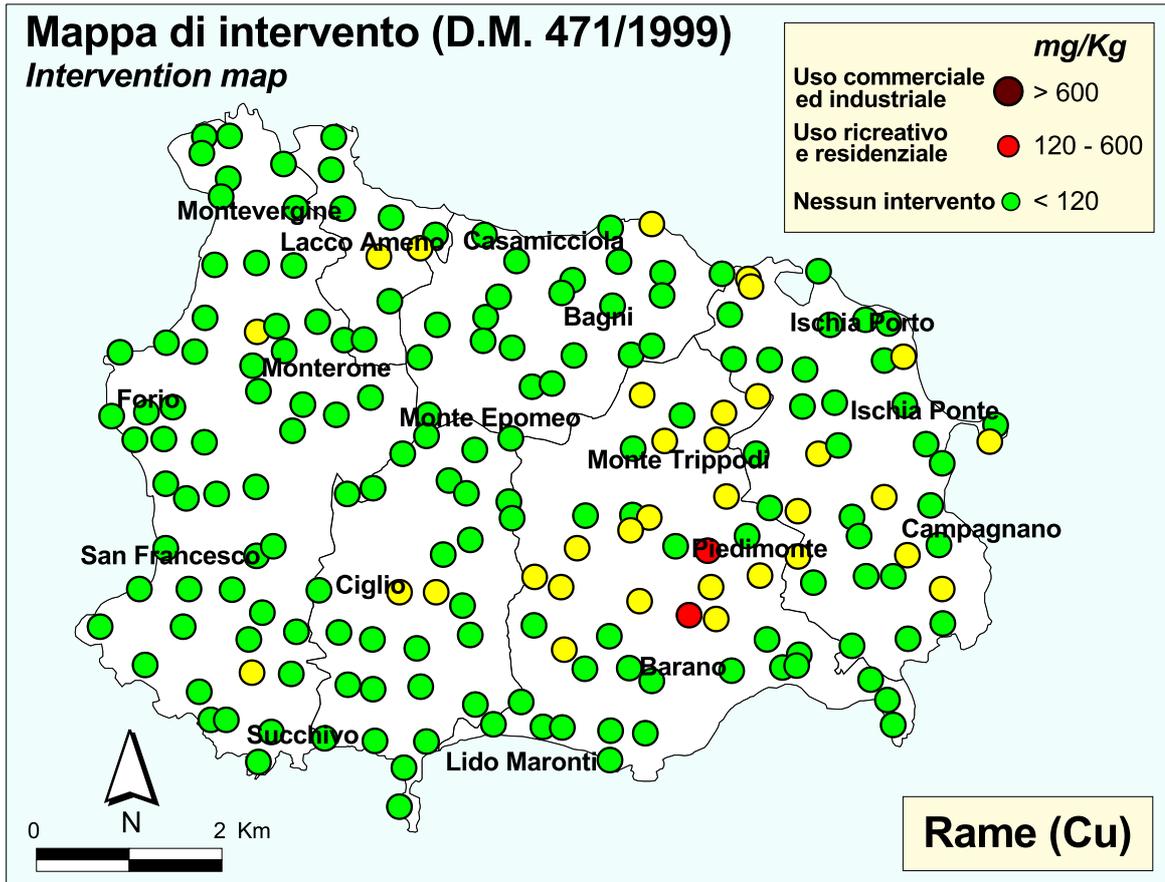


TAVOLA 19E

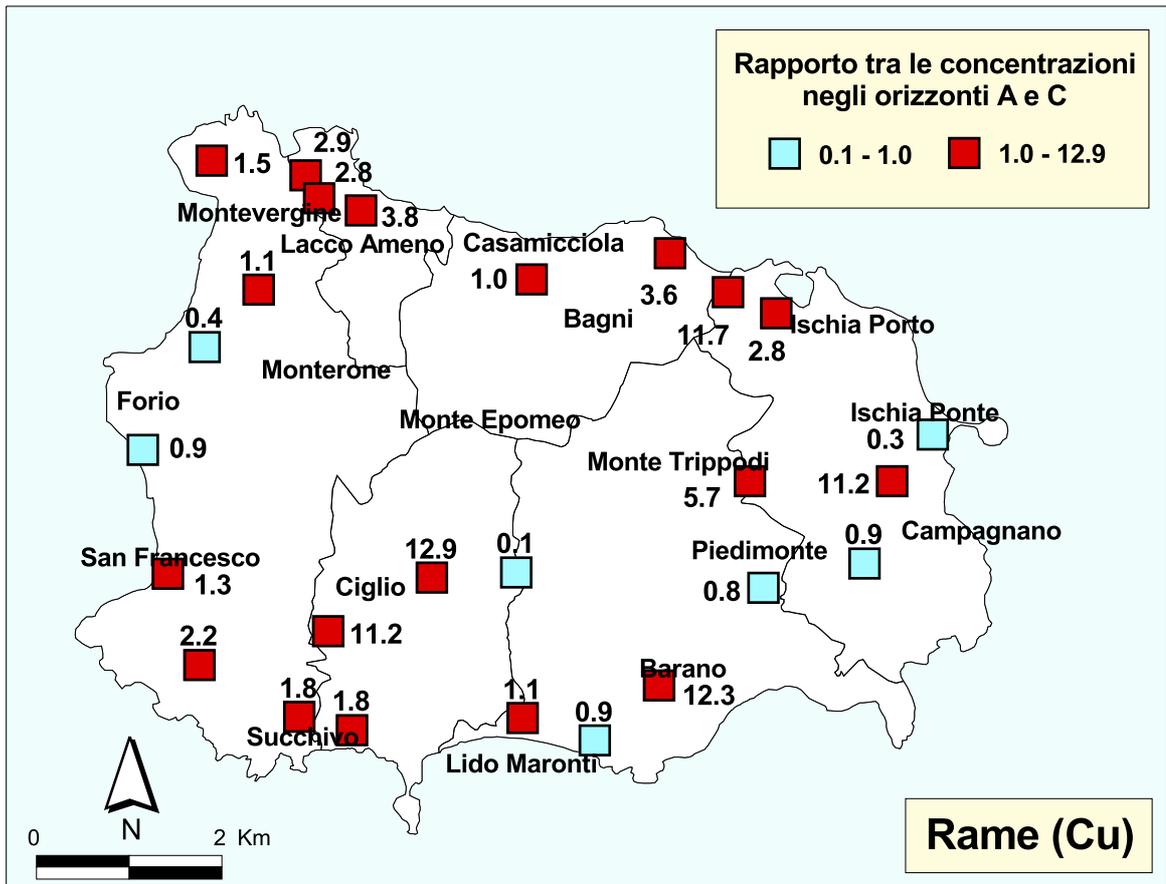


TAVOLA 19F

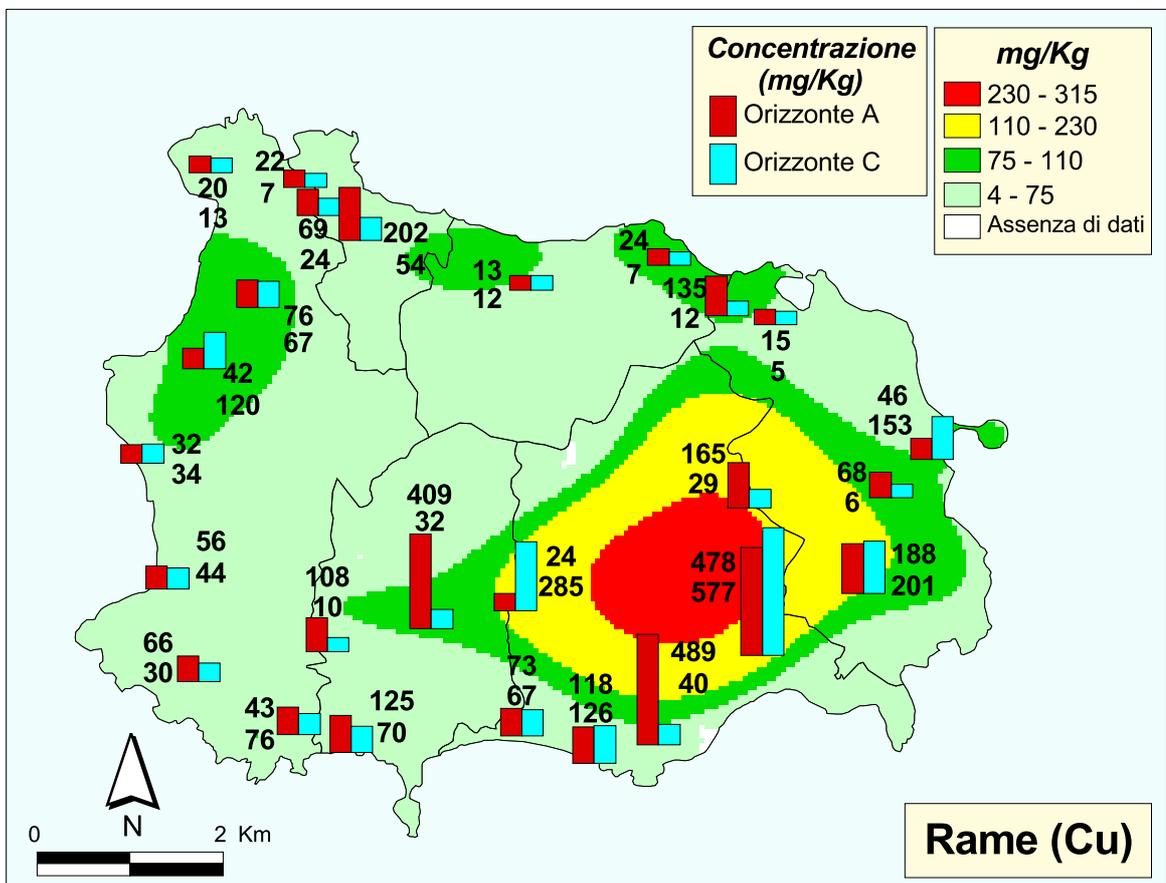


TAVOLA 19G

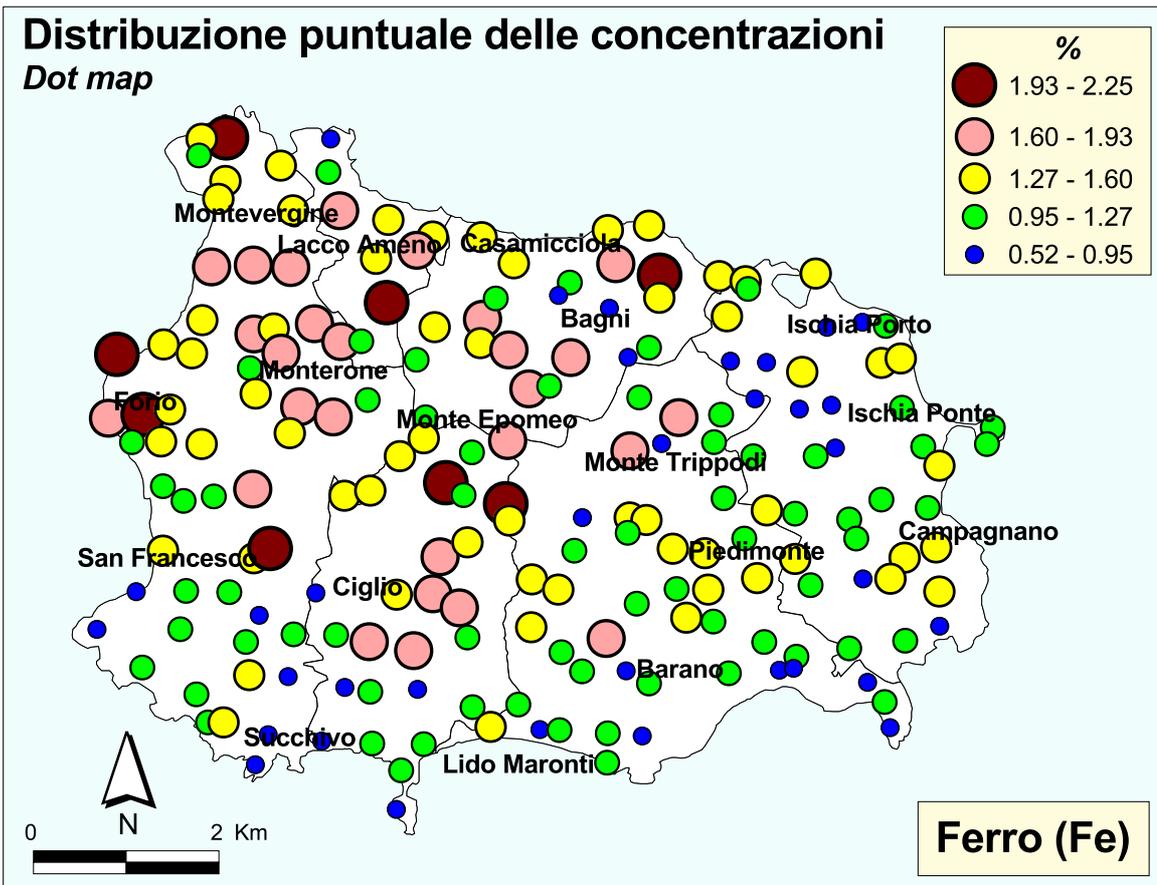


TAVOLA 20A

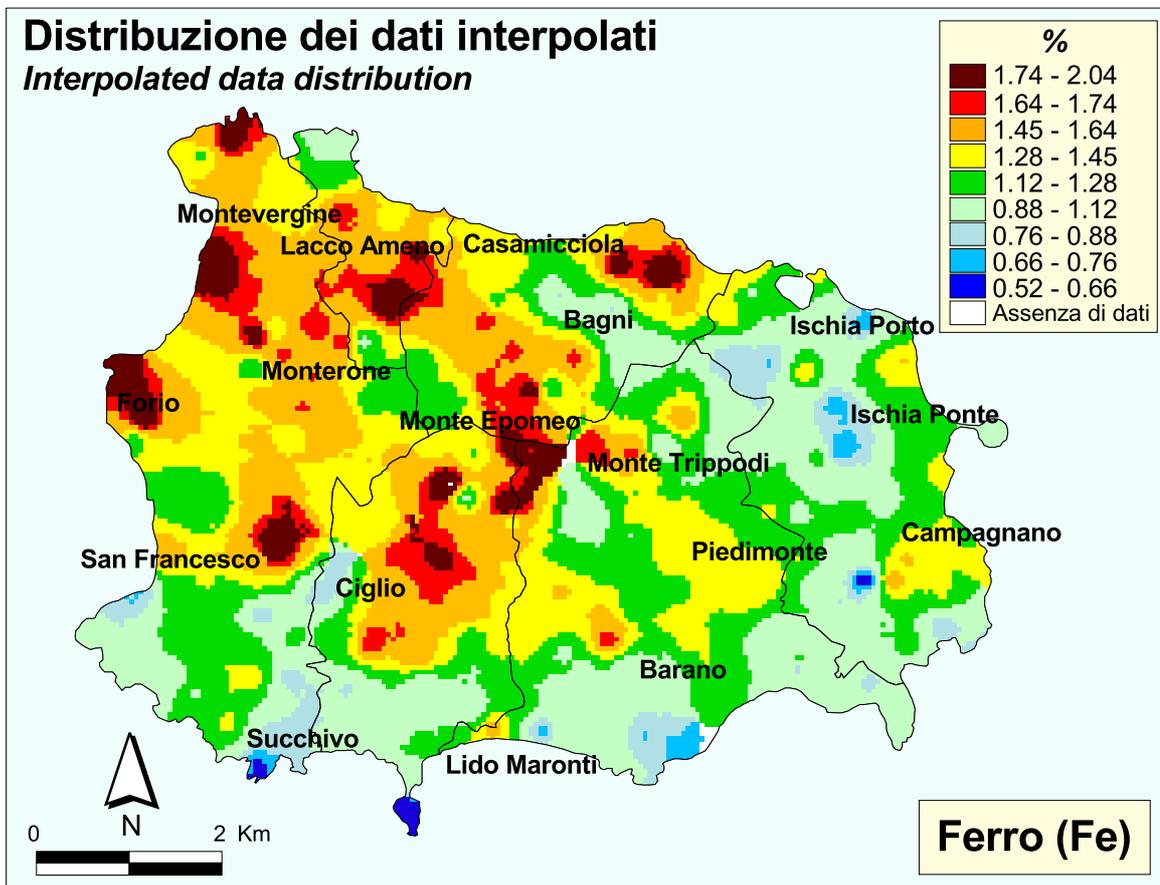


TAVOLA 20B

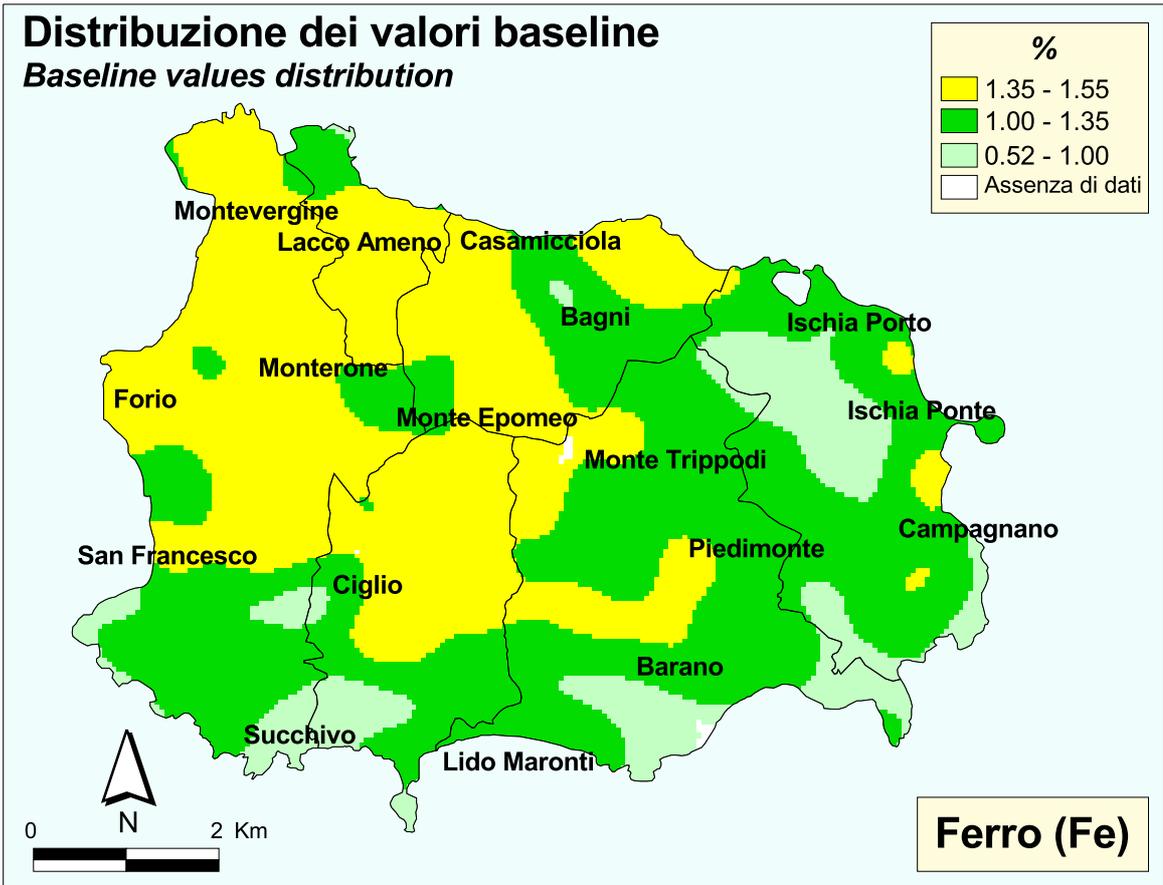


TAVOLA 20C

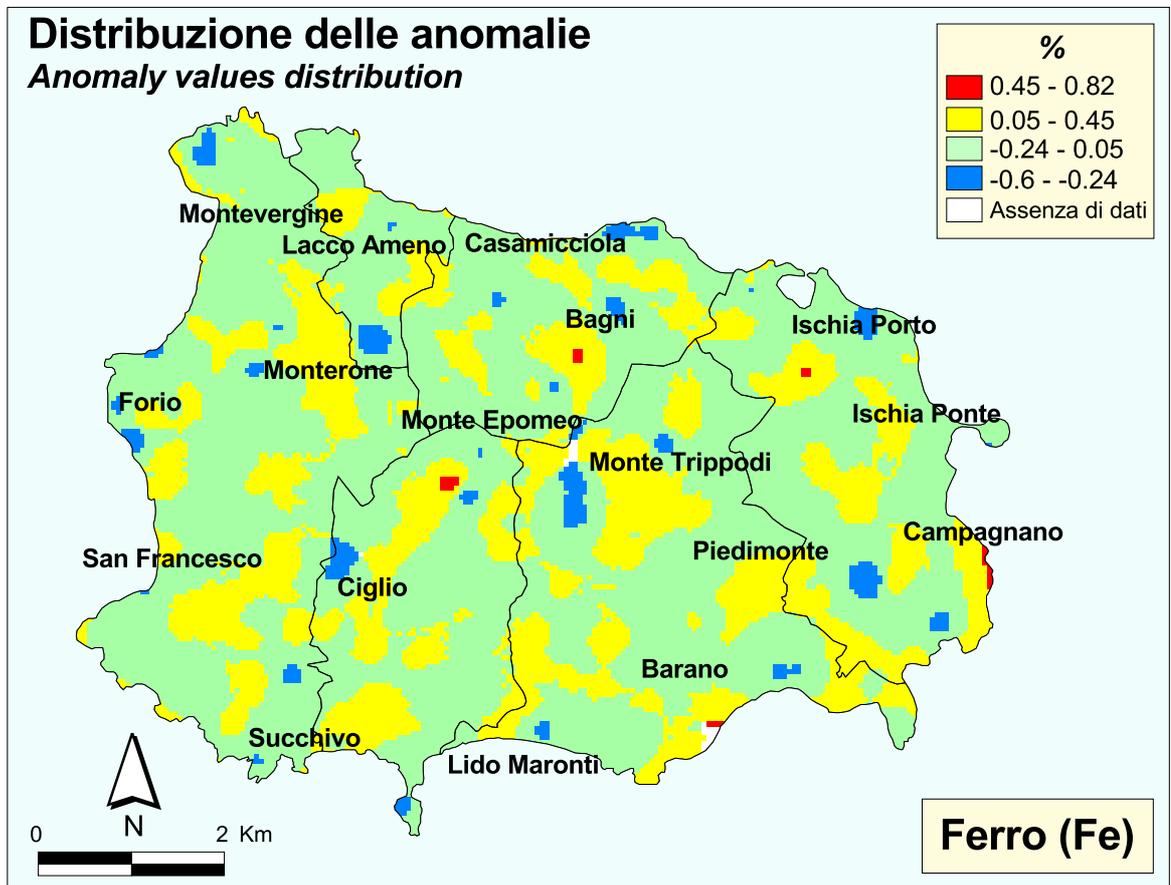


TAVOLA 20D

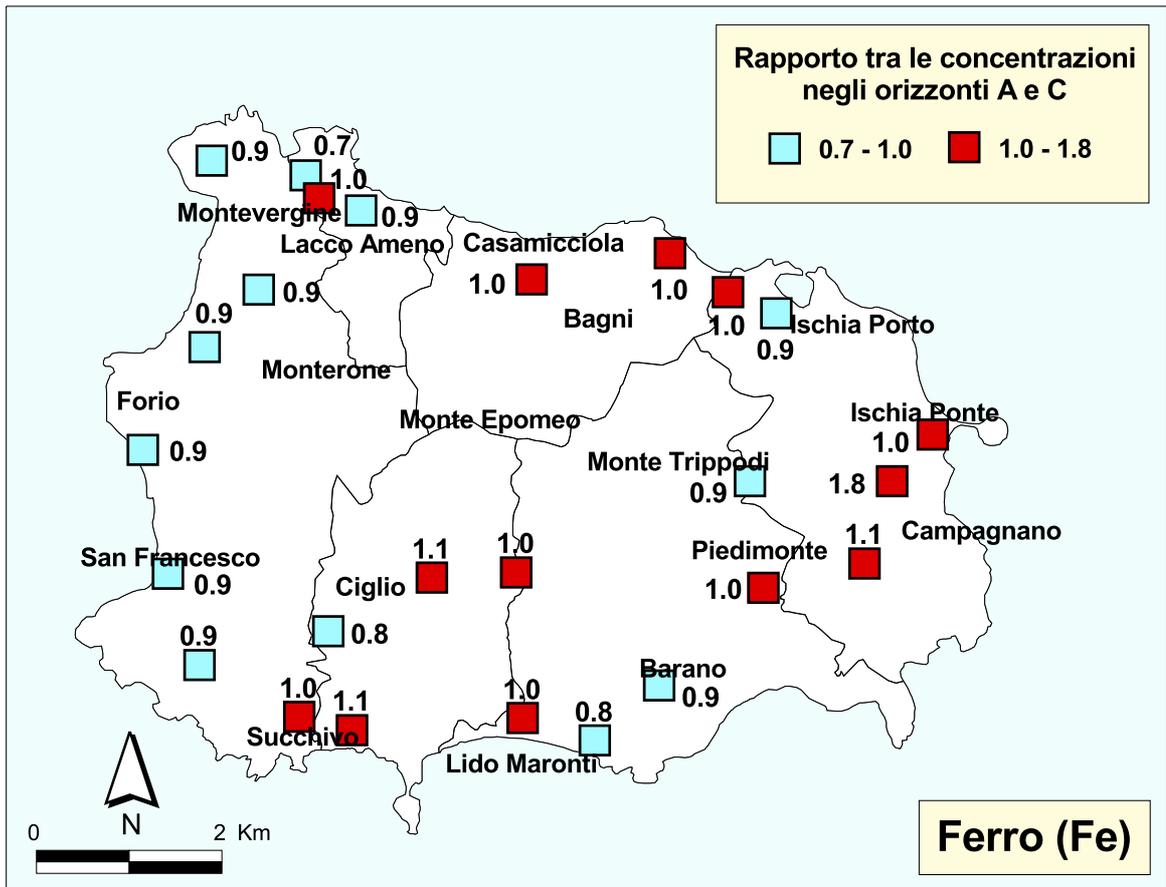


TAVOLA 20E

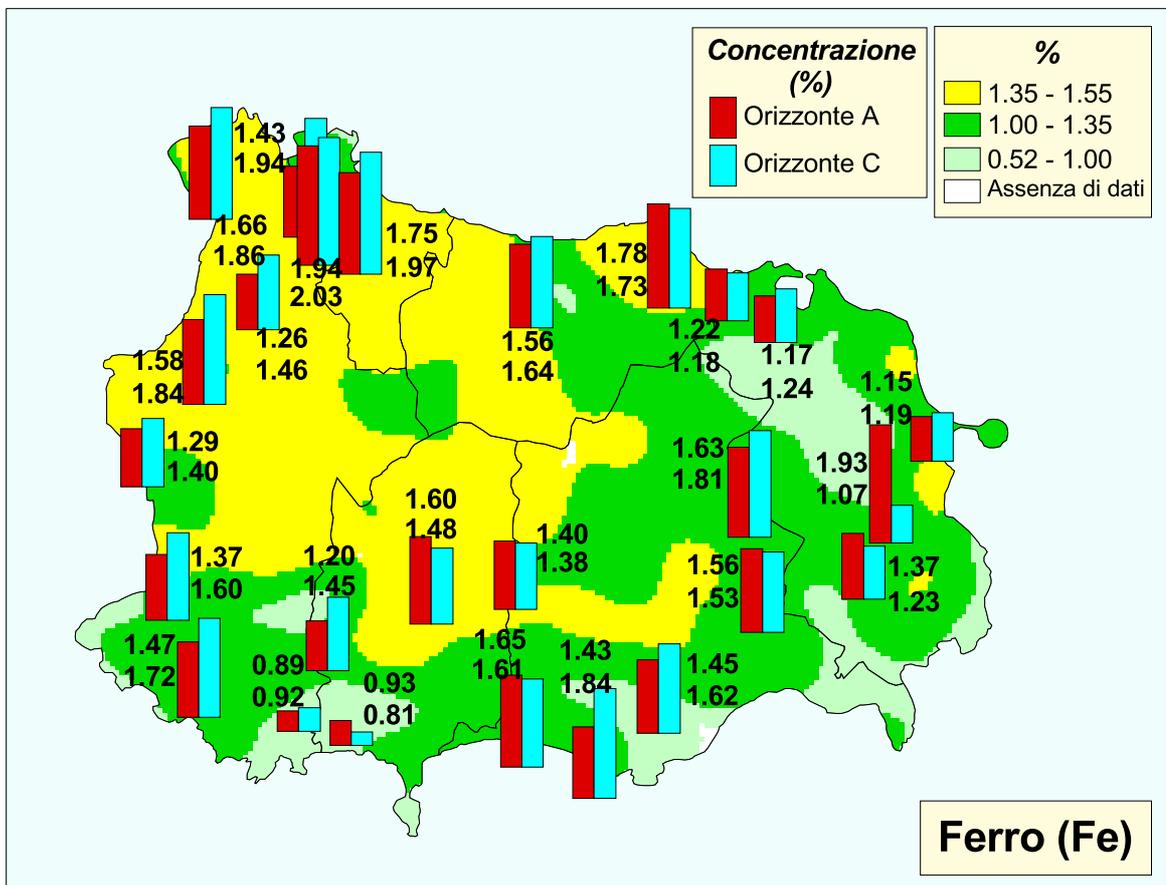


TAVOLA 20F

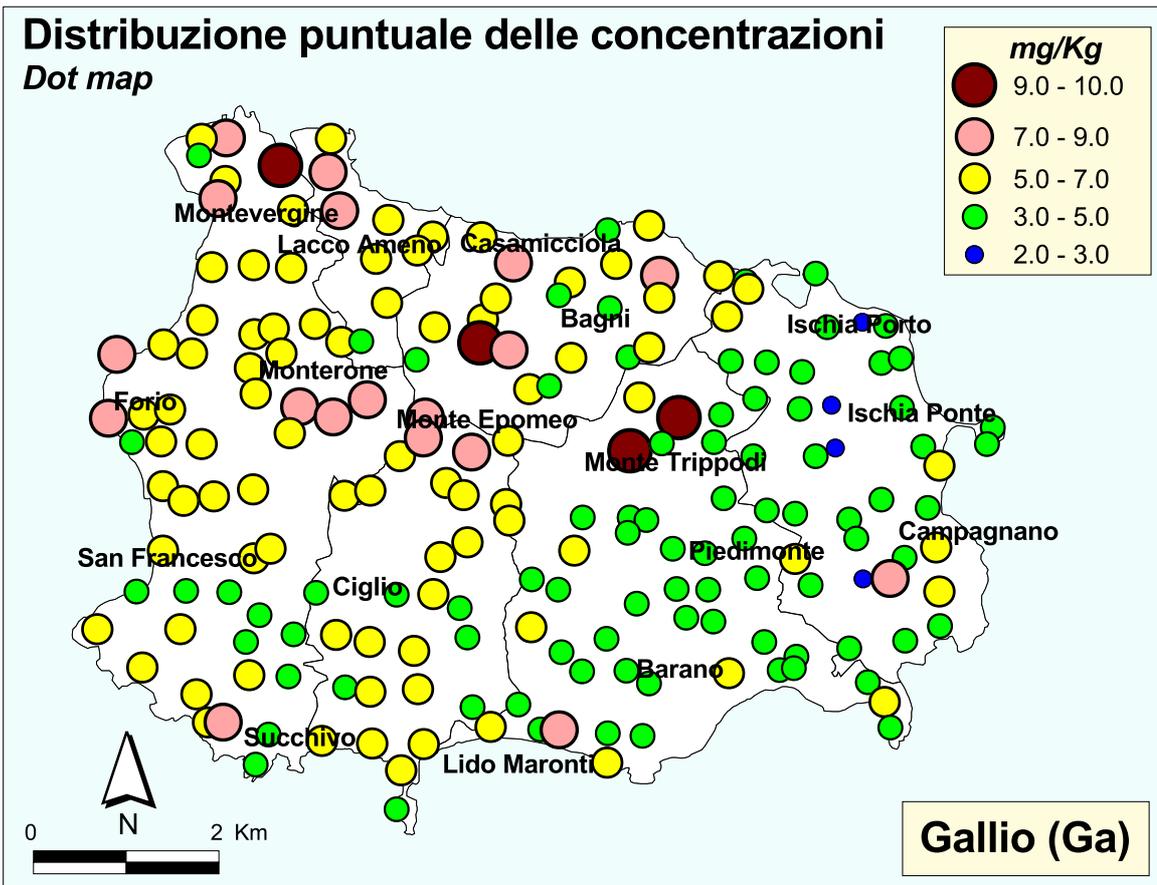


TAVOLA 21A

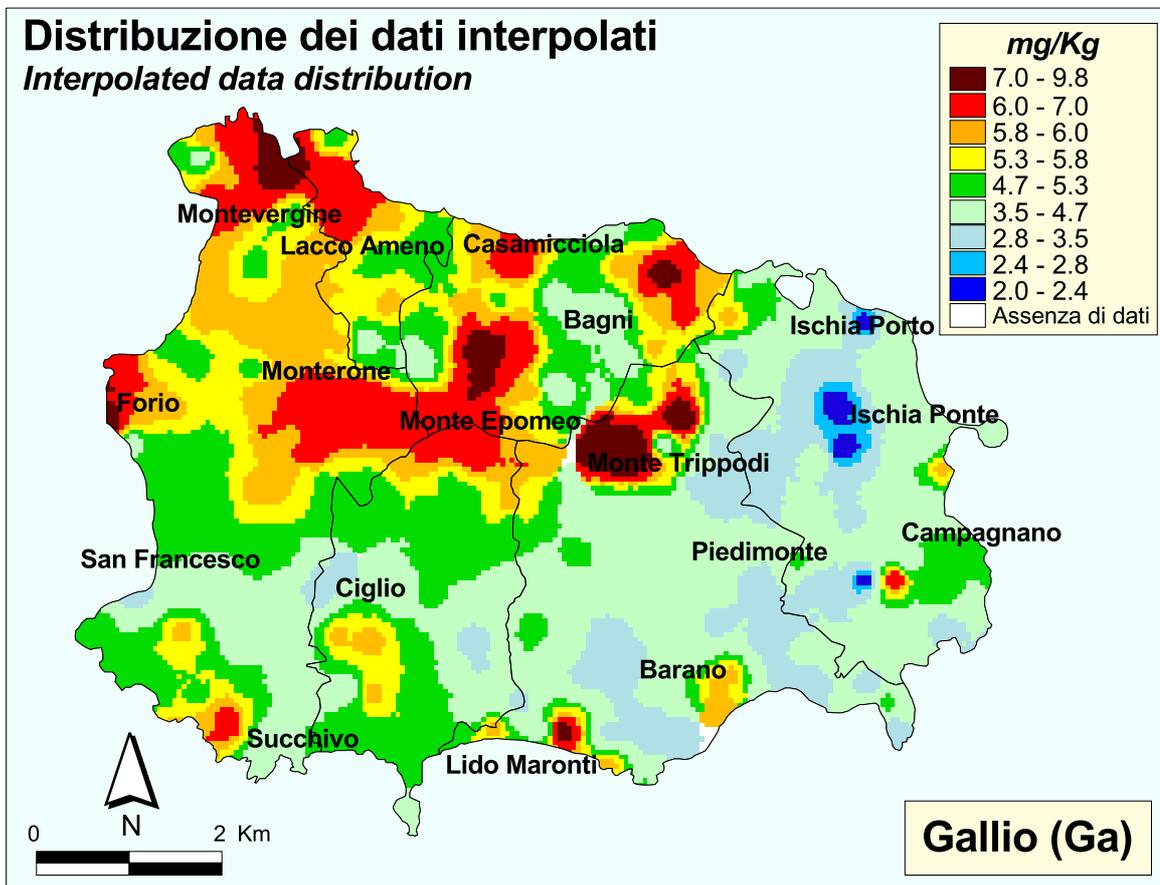


TAVOLA 21B

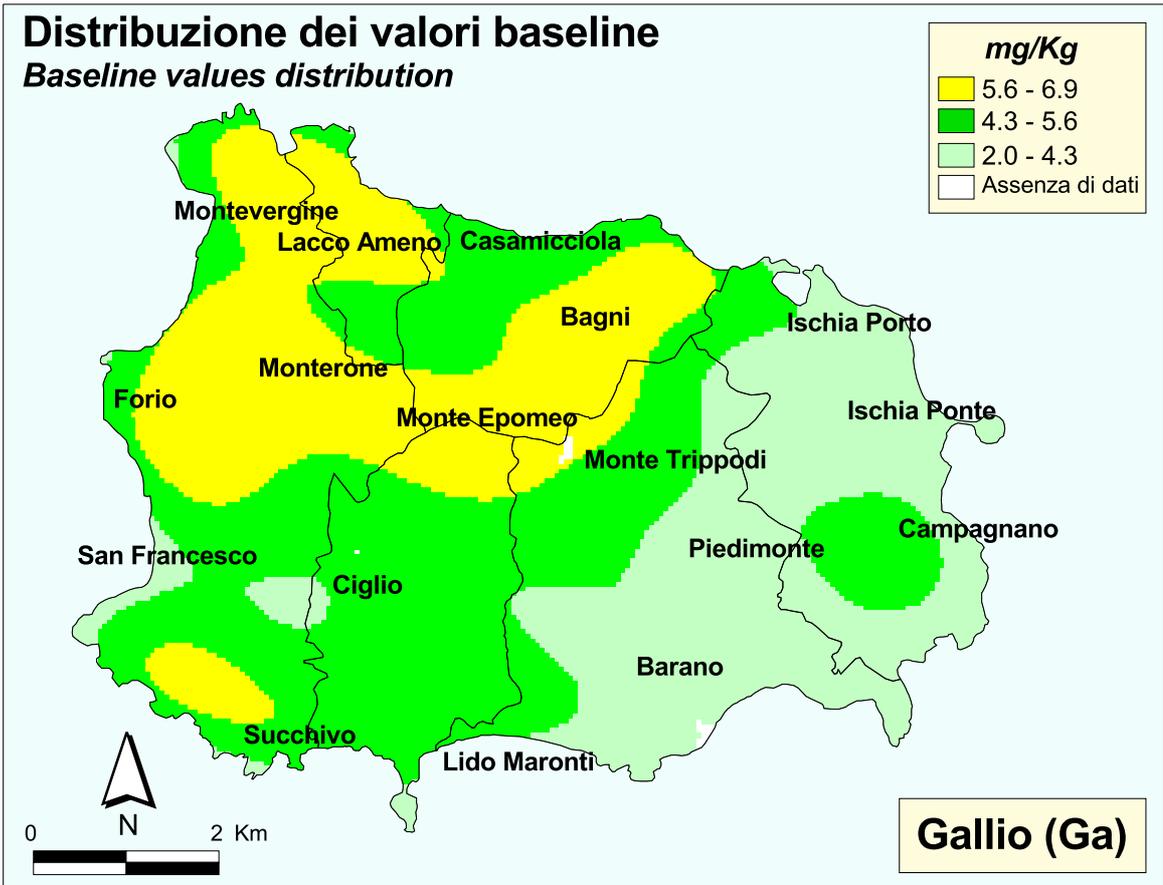


TAVOLA 21C

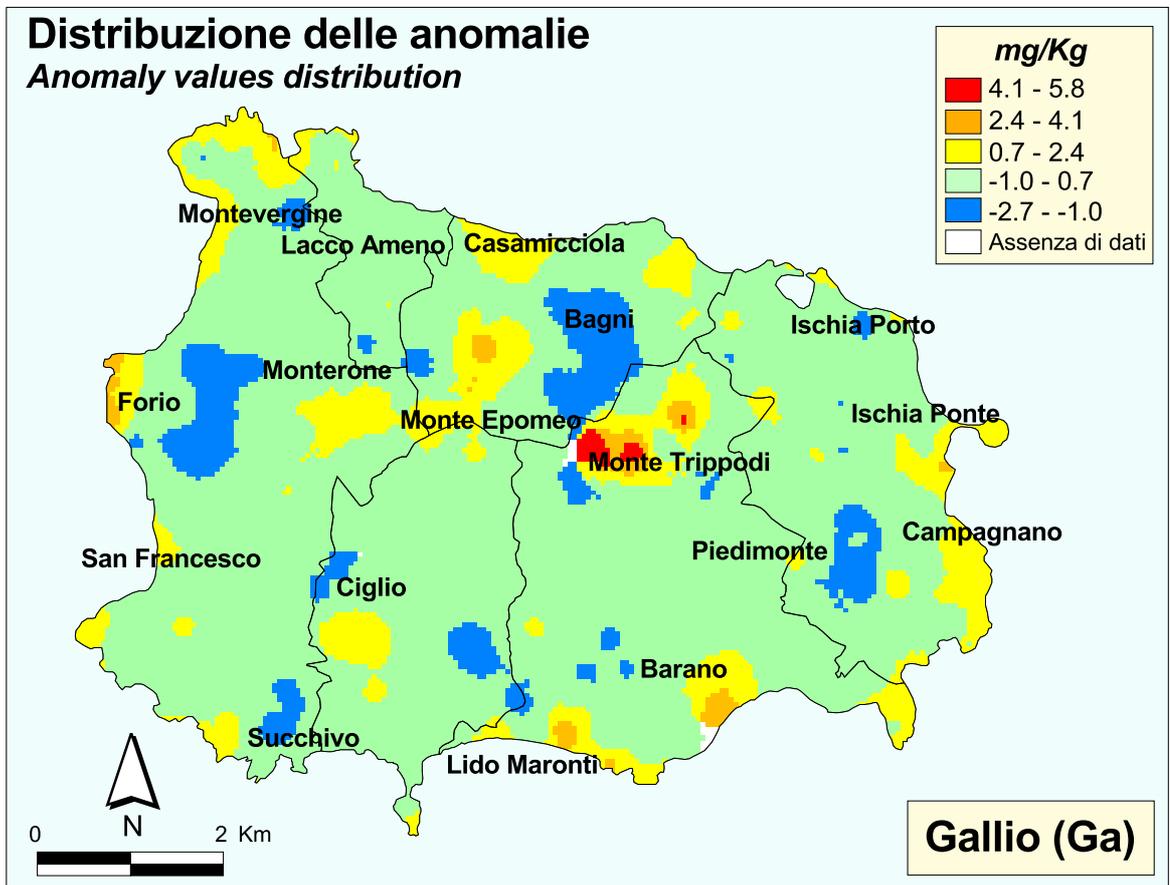


TAVOLA 21D

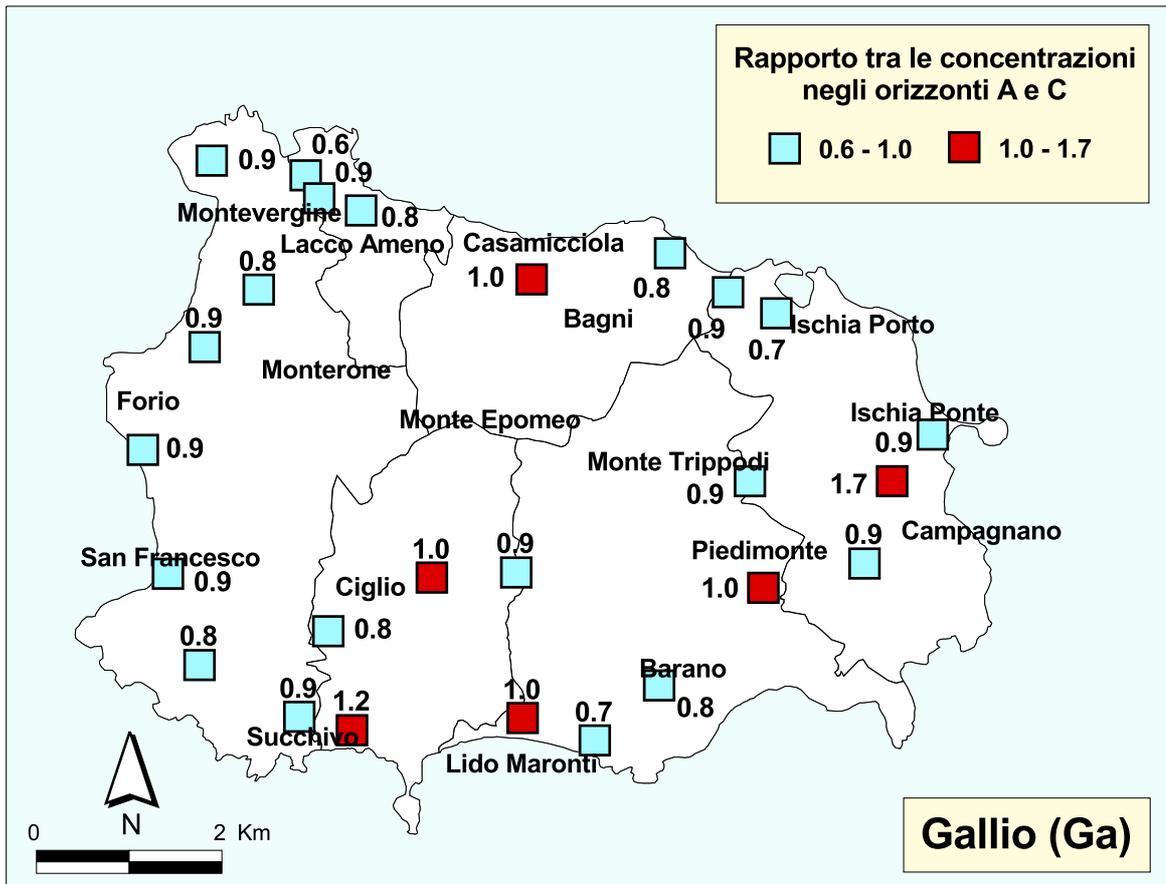


TAVOLA 21E

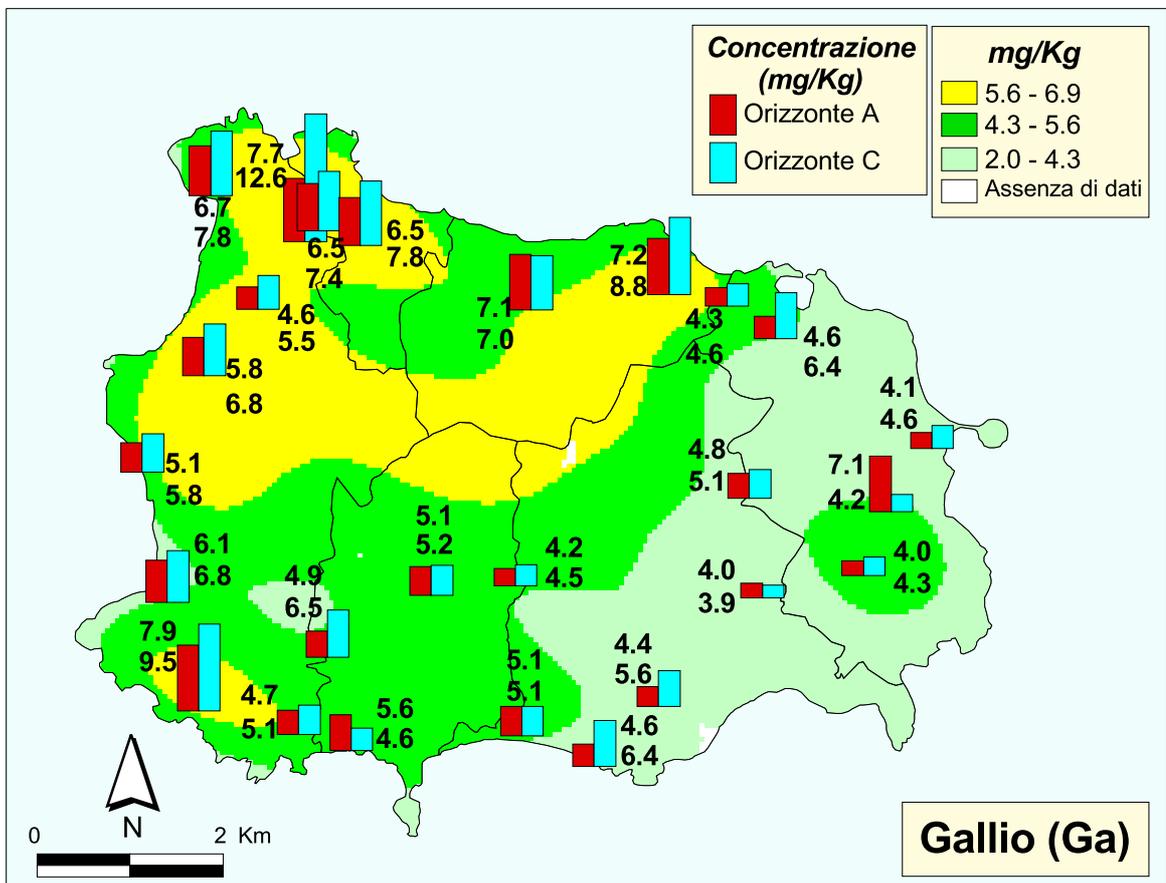


TAVOLA 21F

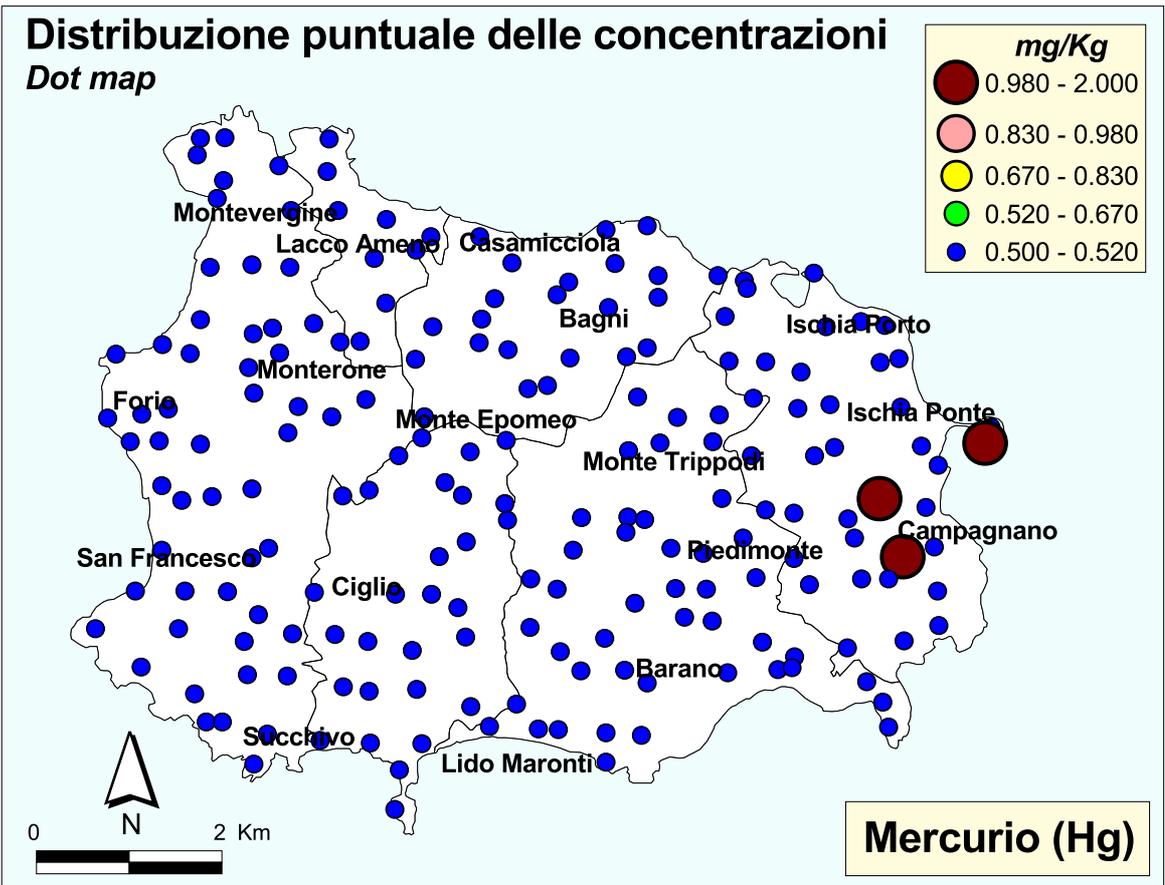


TAVOLA 22A

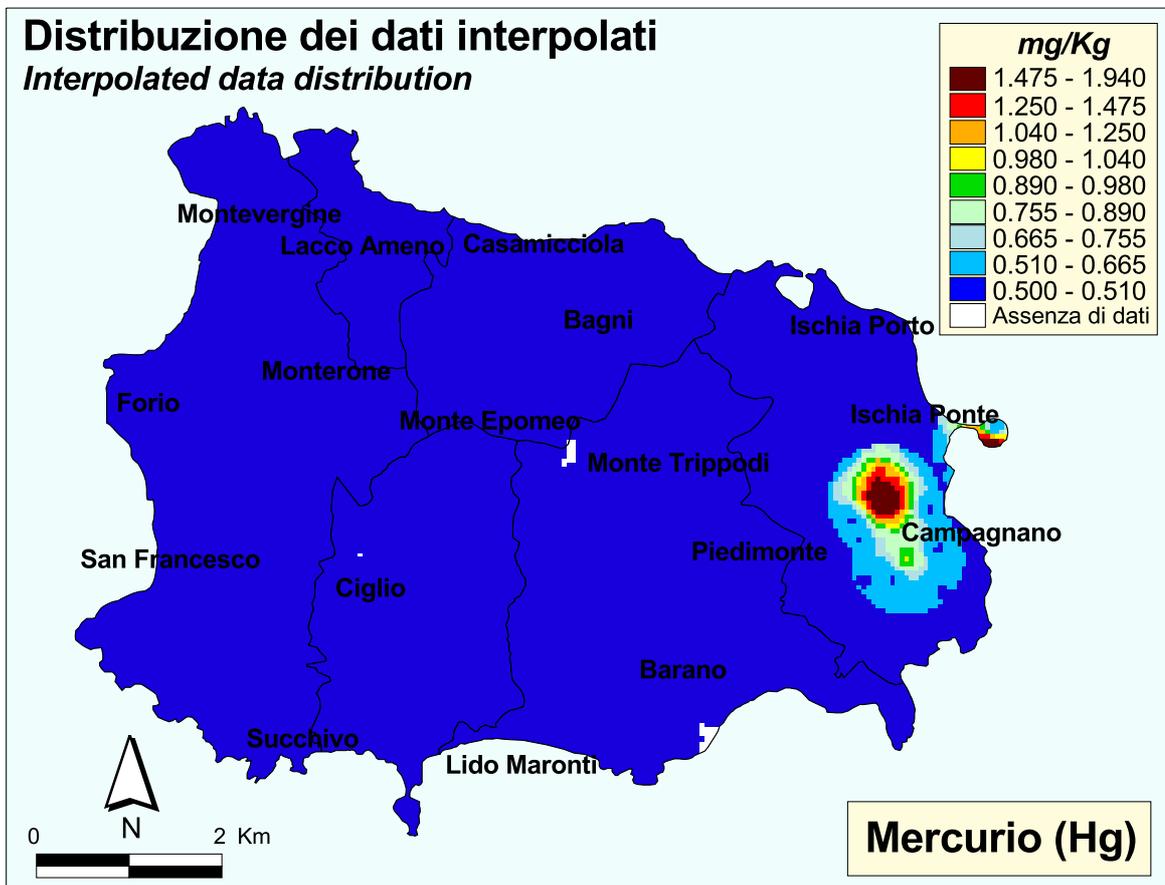


TAVOLA 22B

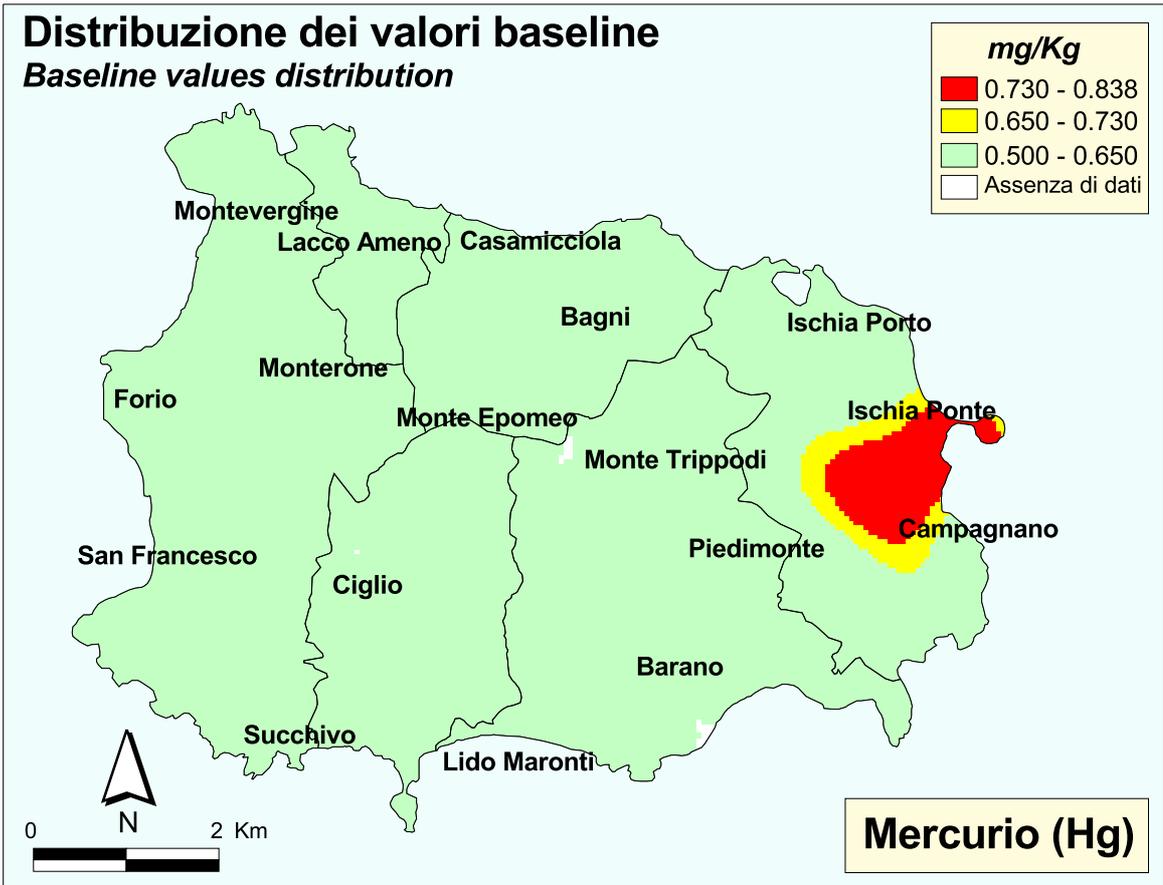


TAVOLA 22C

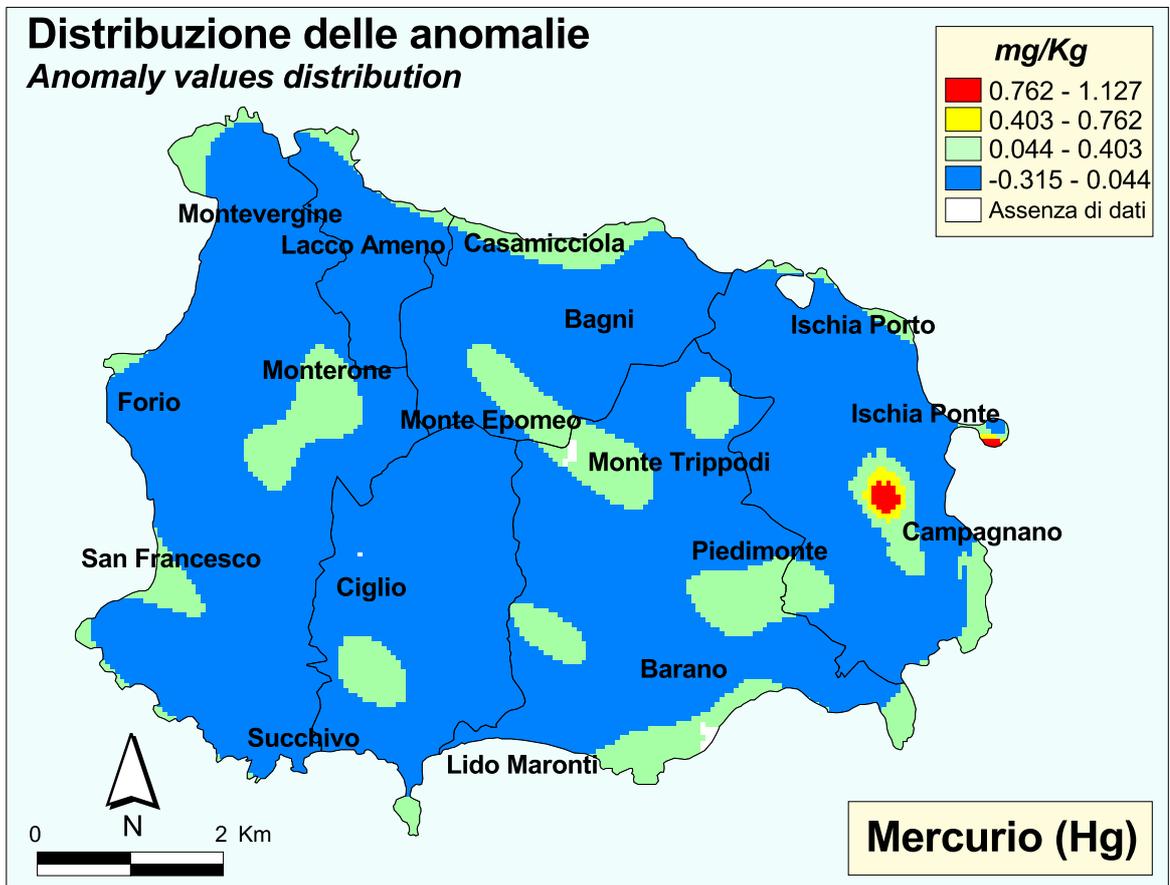


TAVOLA 22D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

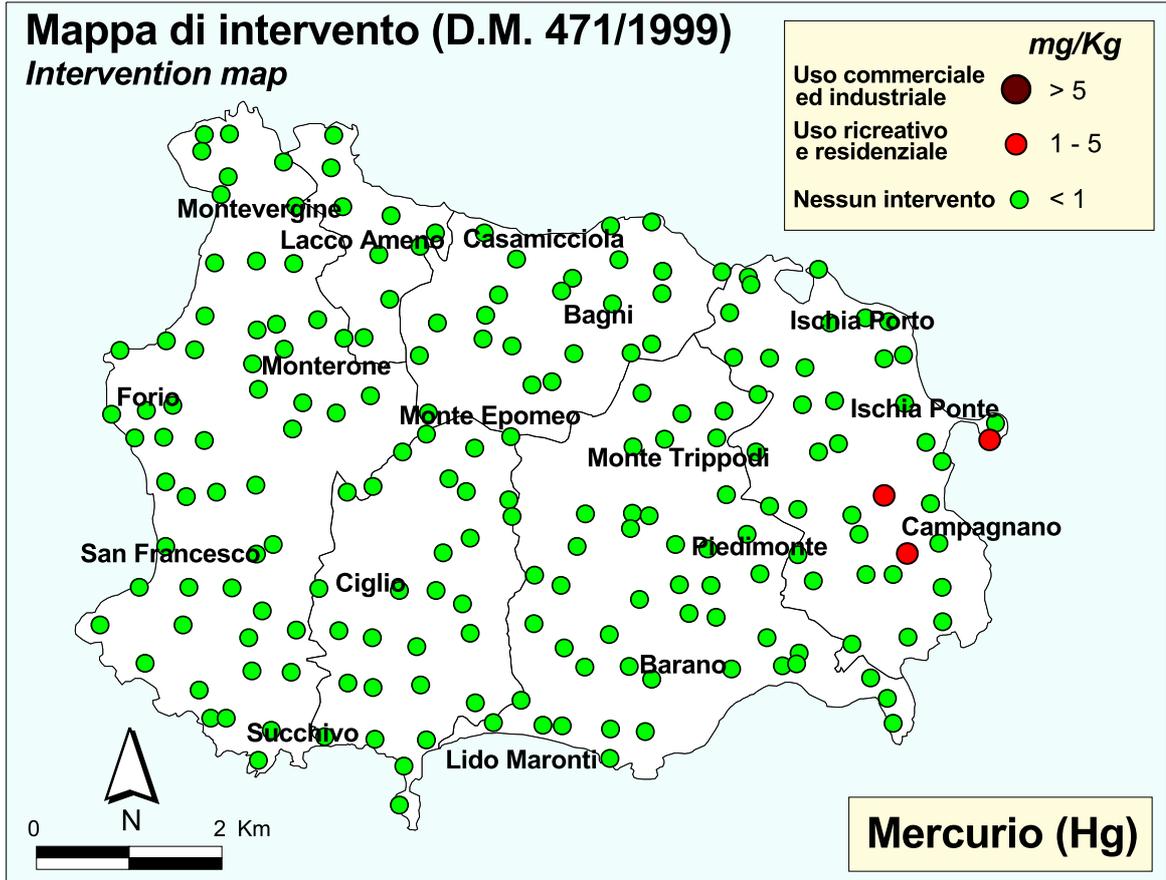


TAVOLA 22E

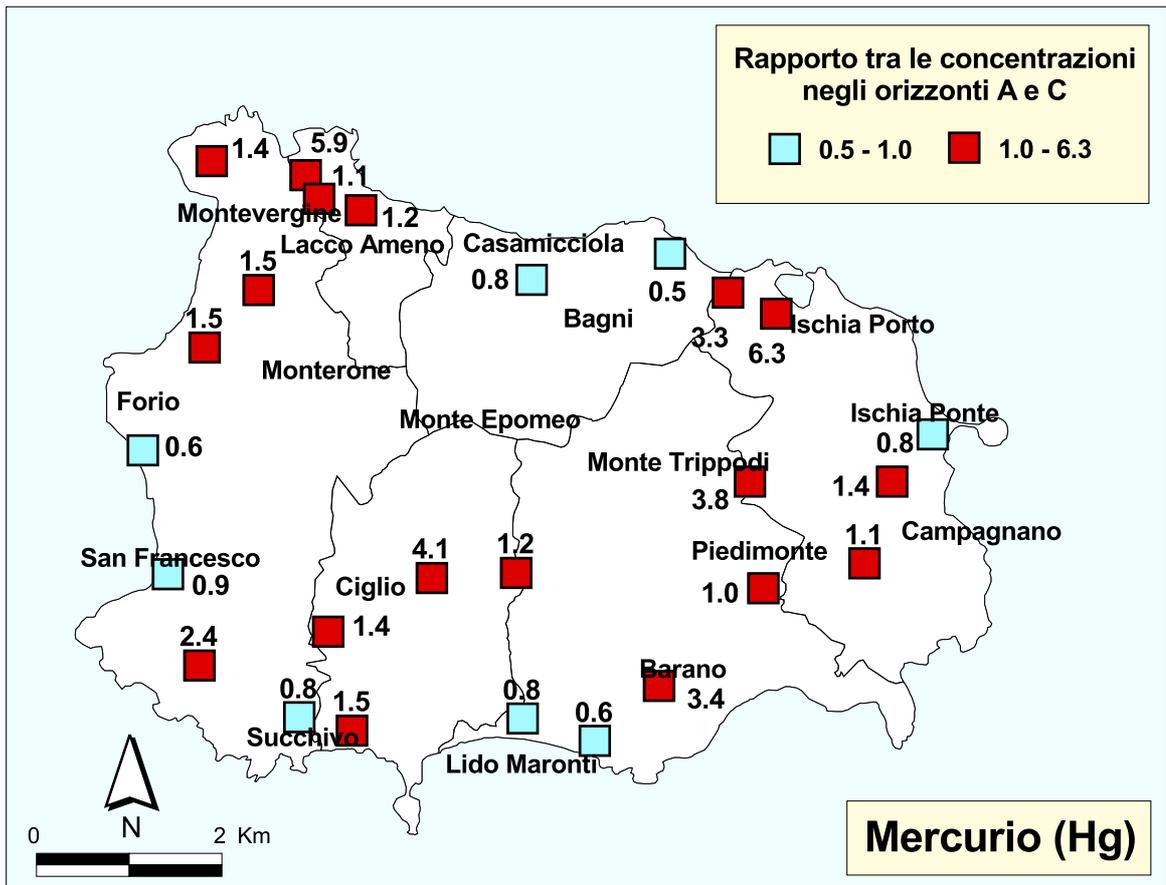


TAVOLA 22F

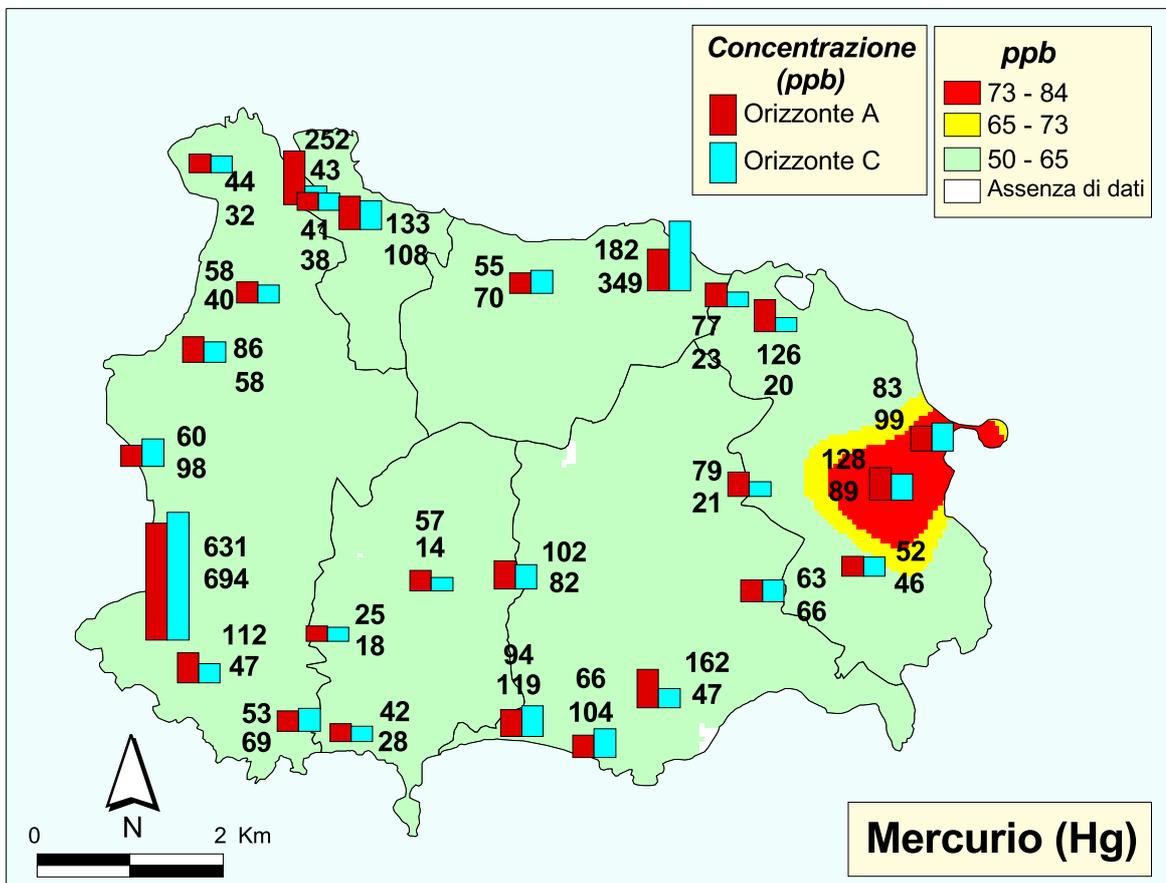


TAVOLA 22G

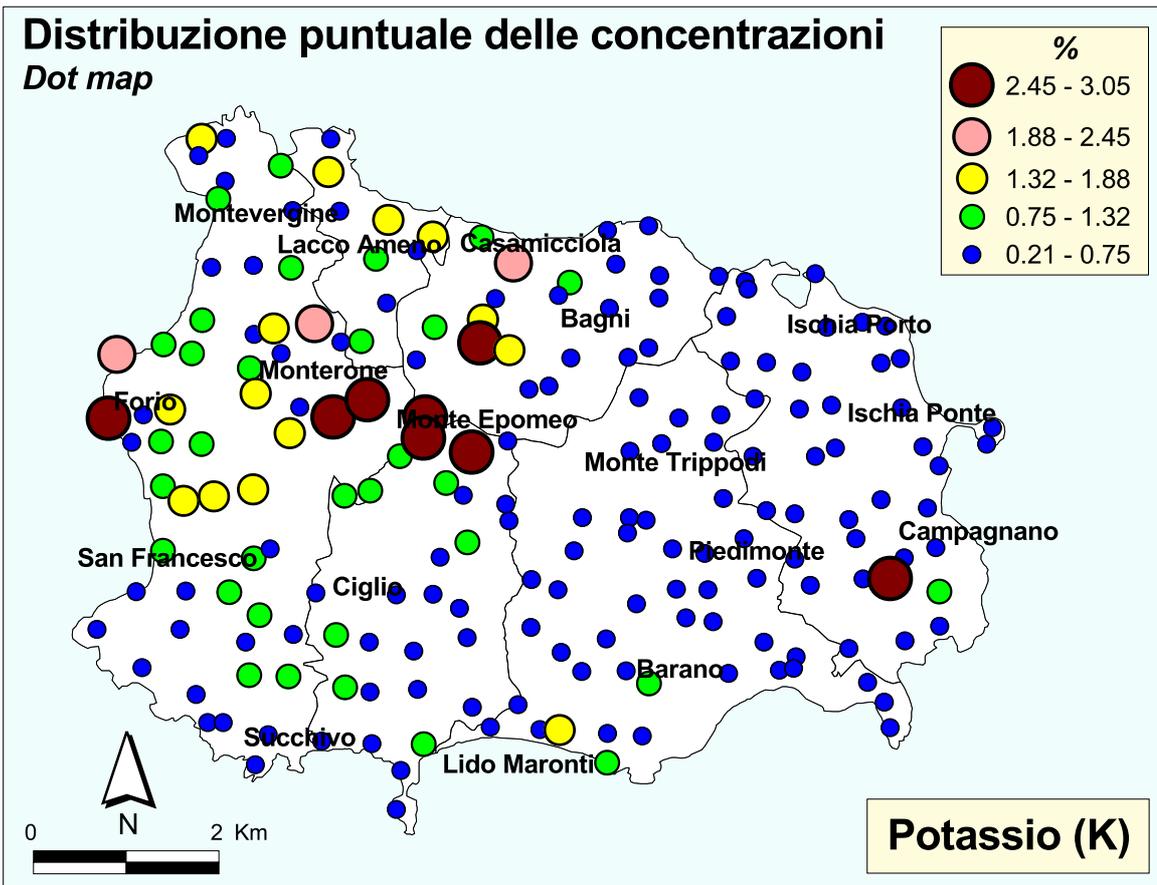


TAVOLA 23A

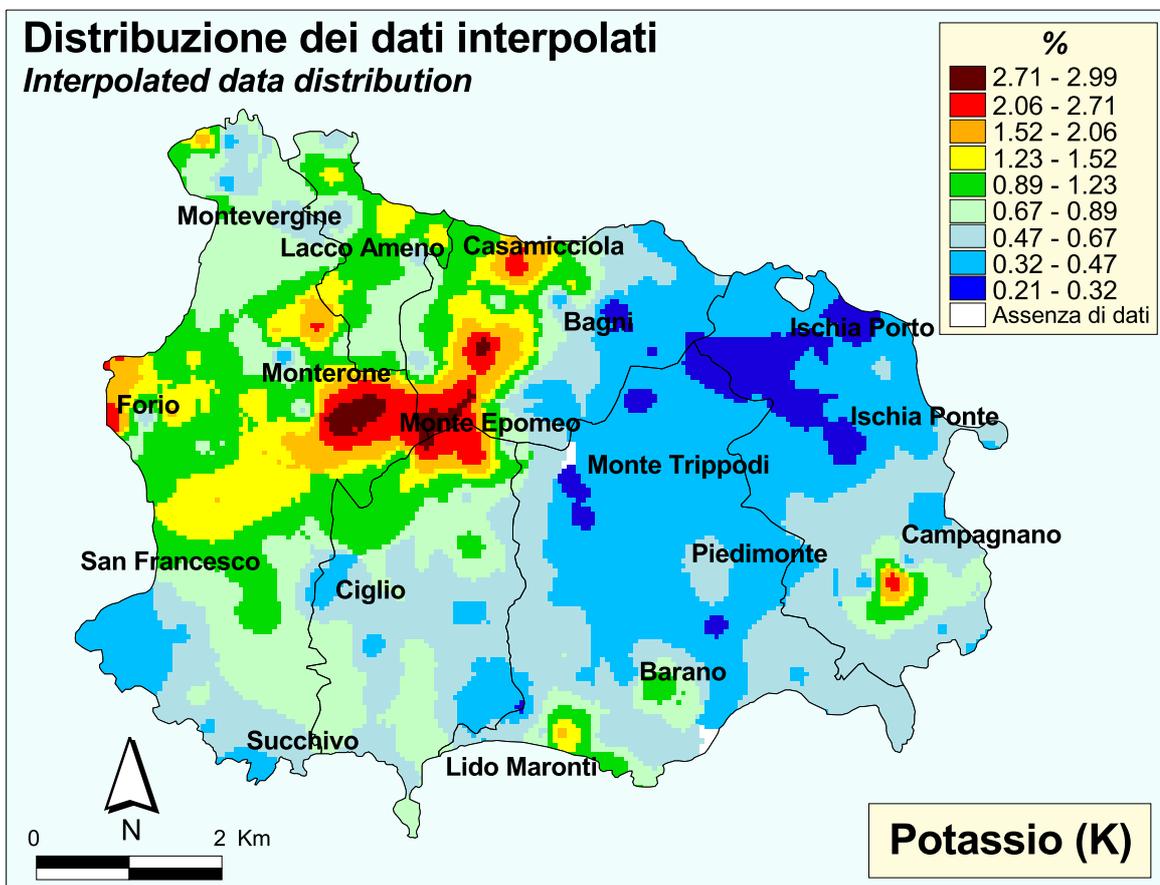


TAVOLA 23B

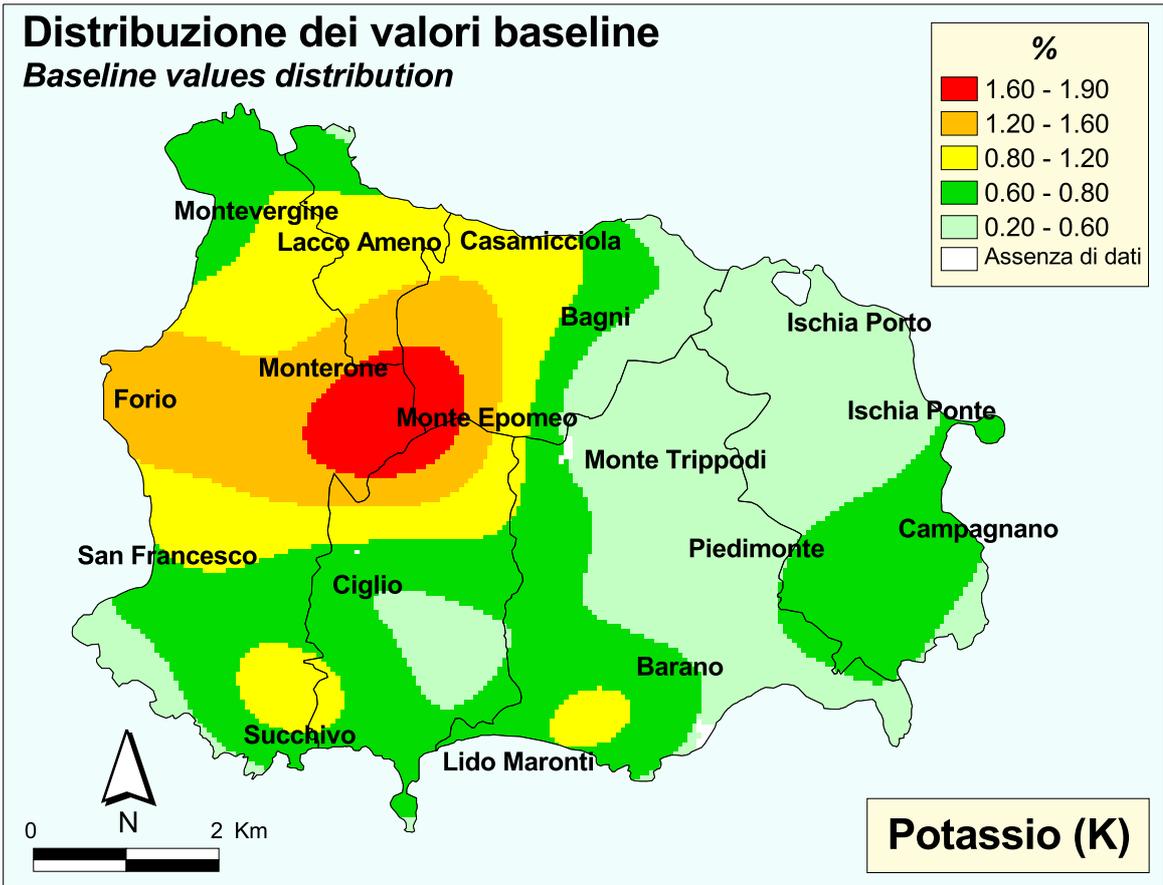


TAVOLA 23C

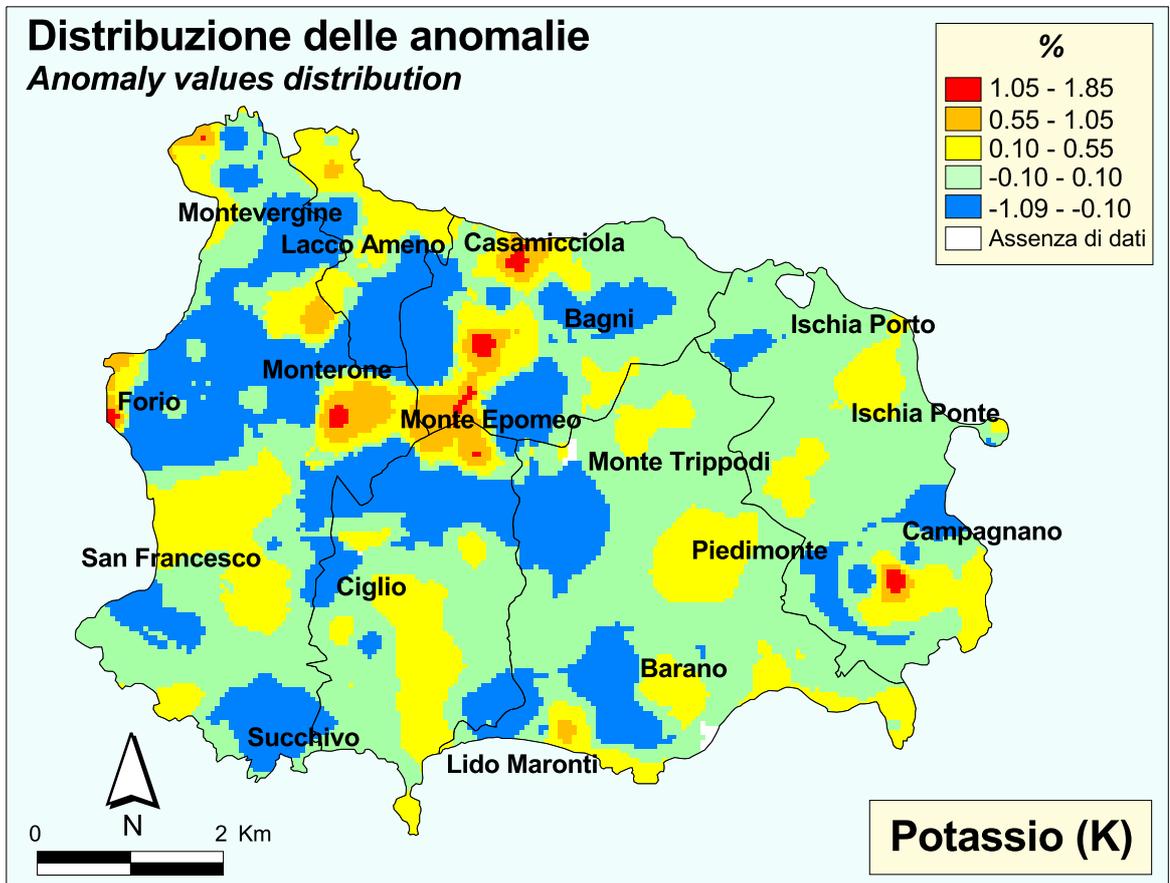


TAVOLA 23D

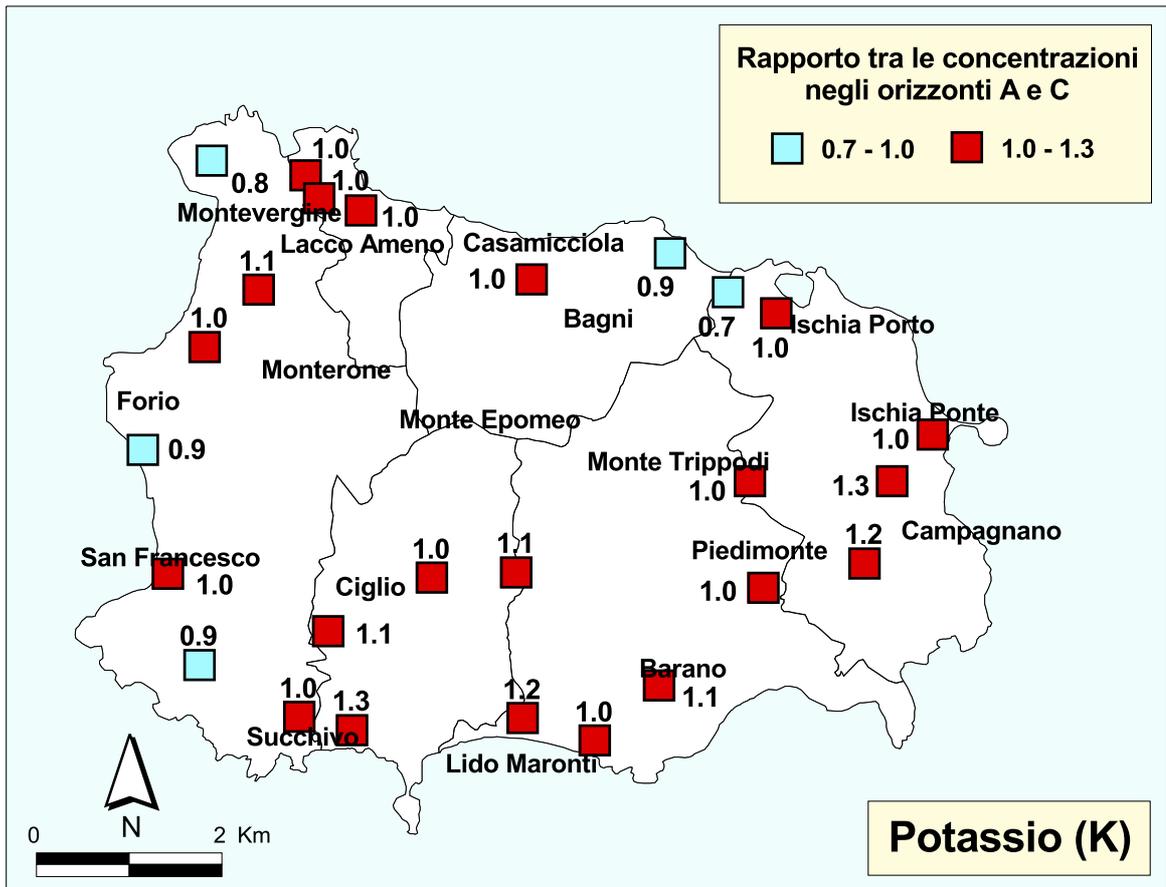


TAVOLA 23E

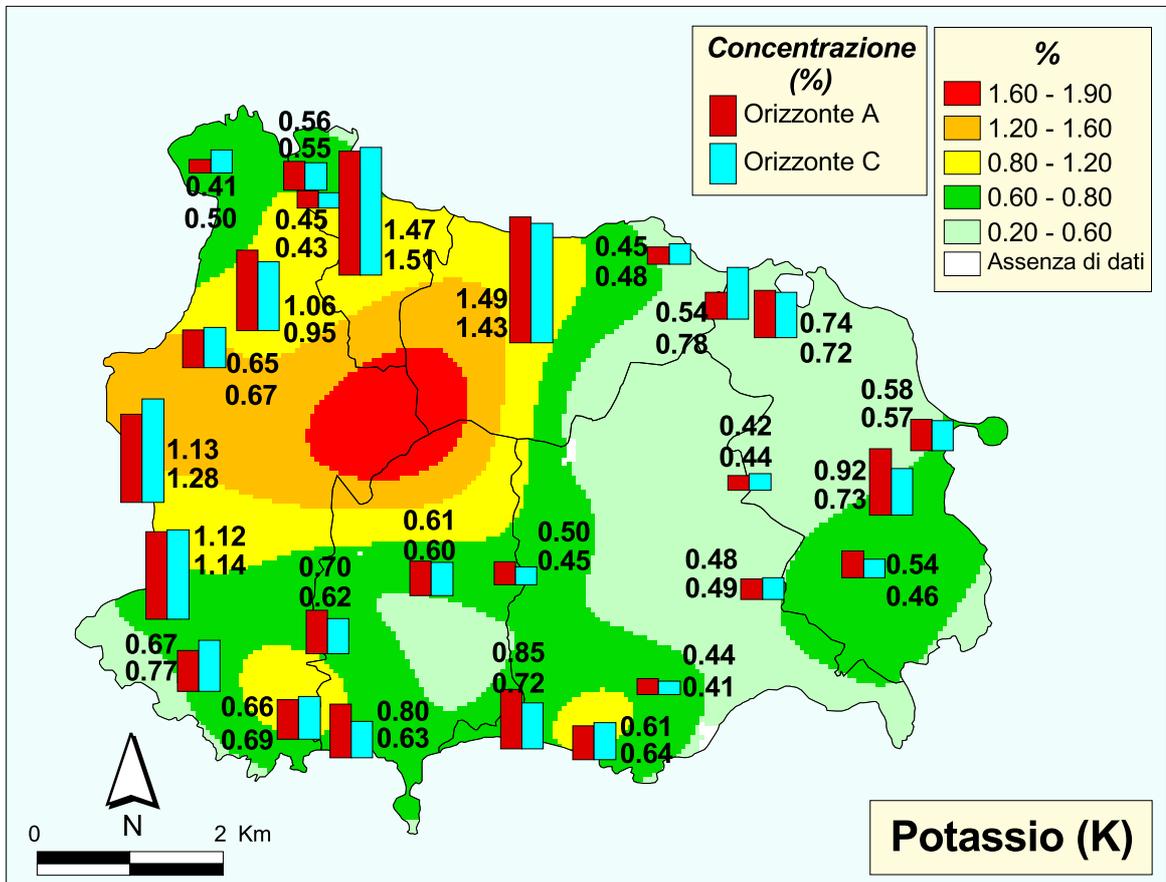


TAVOLA 23F

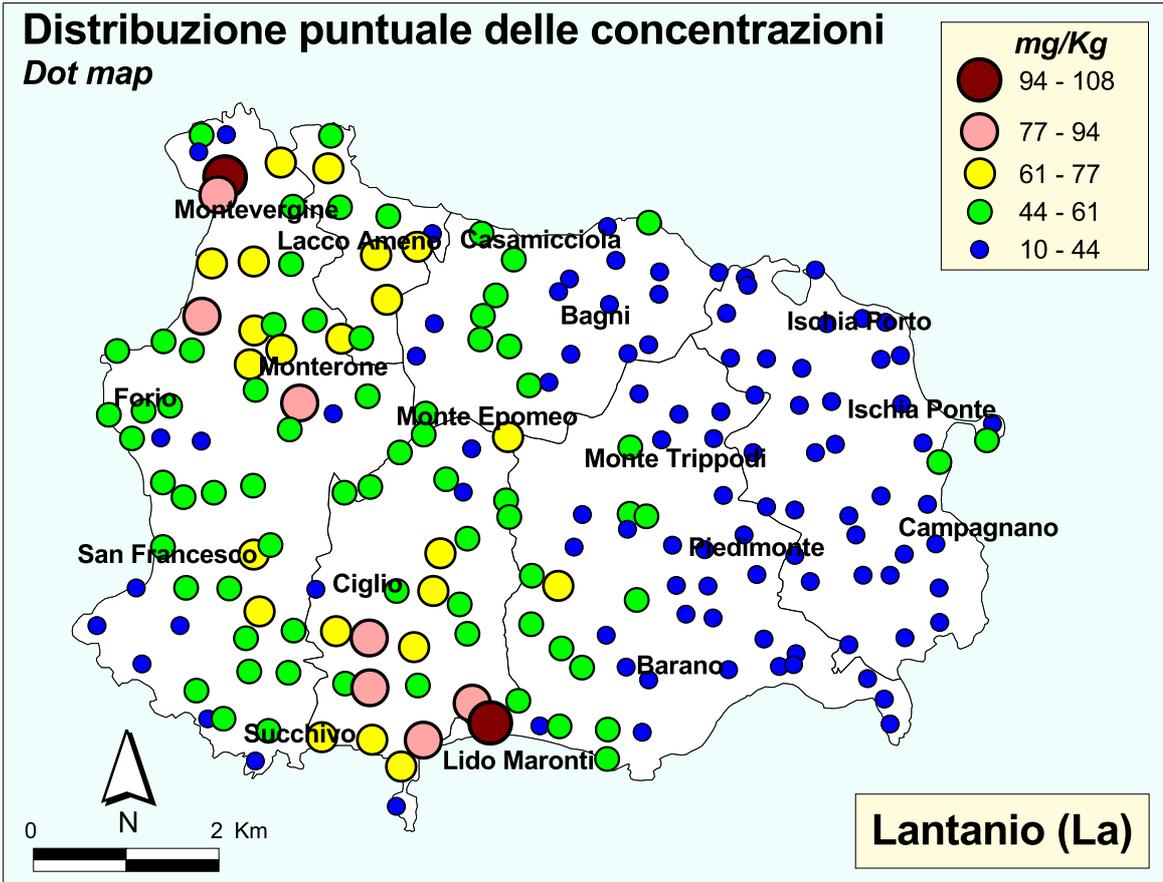


TAVOLA 24A

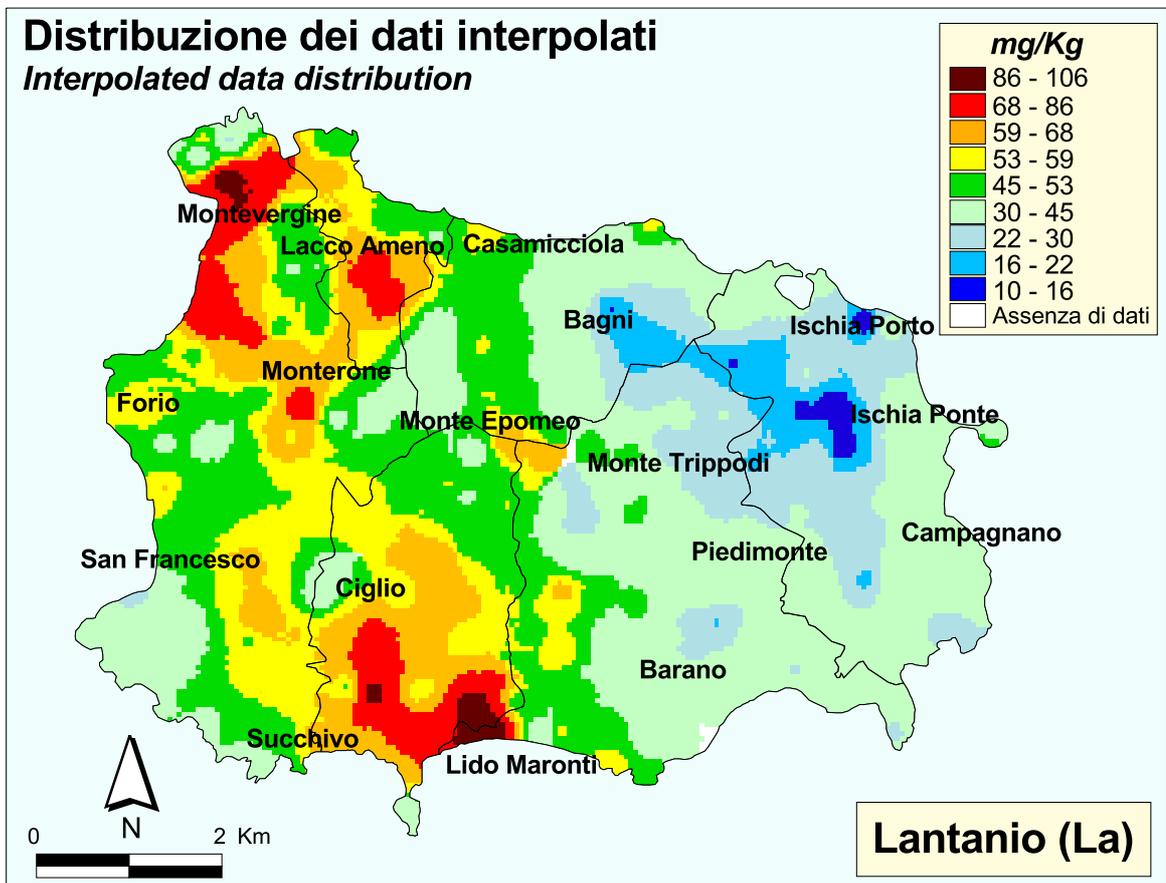


TAVOLA 24B

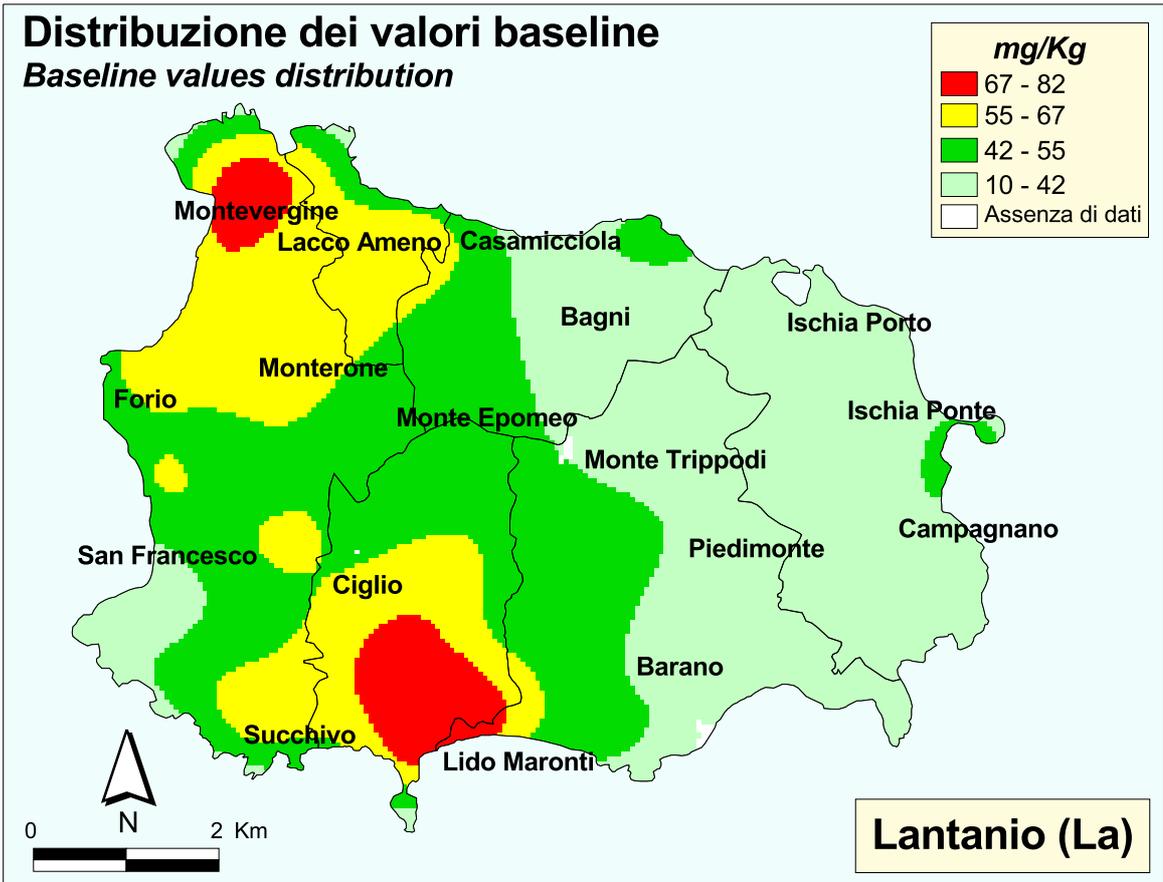


TAVOLA 24C

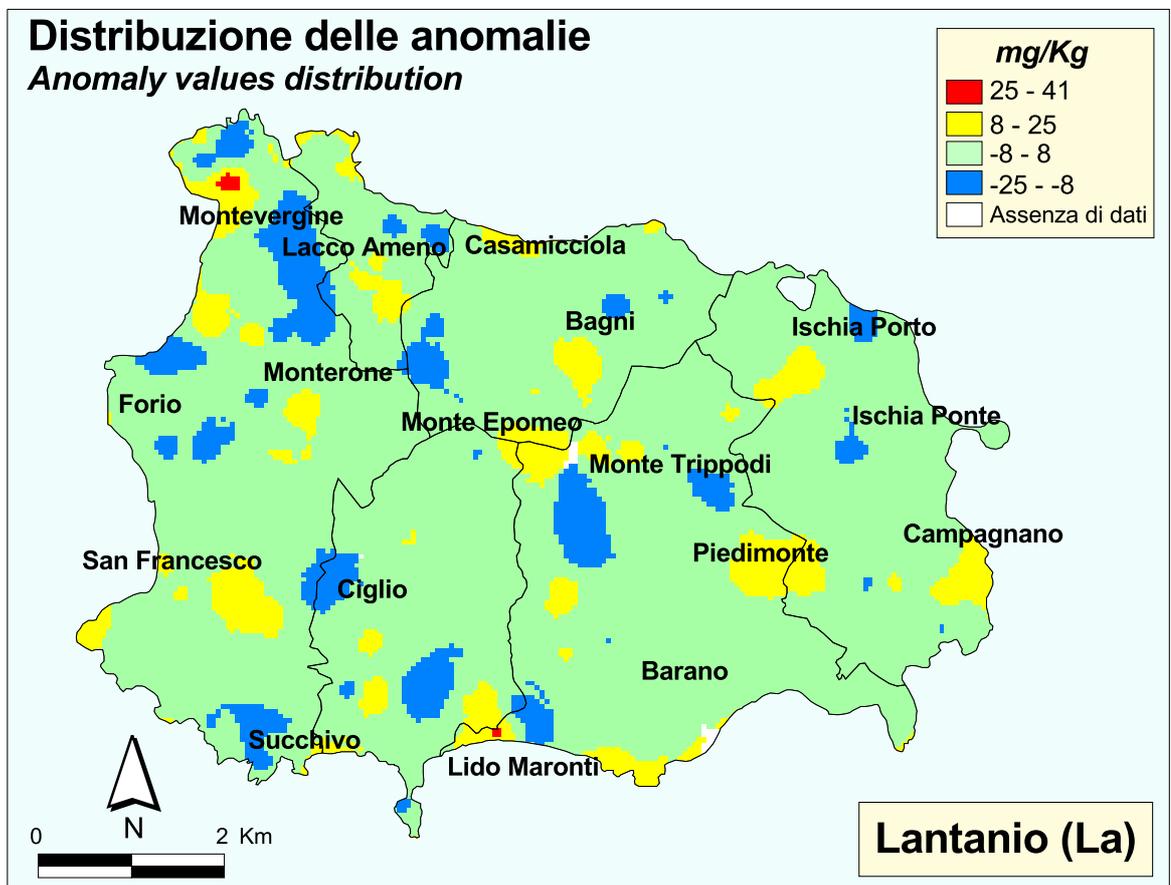


TAVOLA 24D

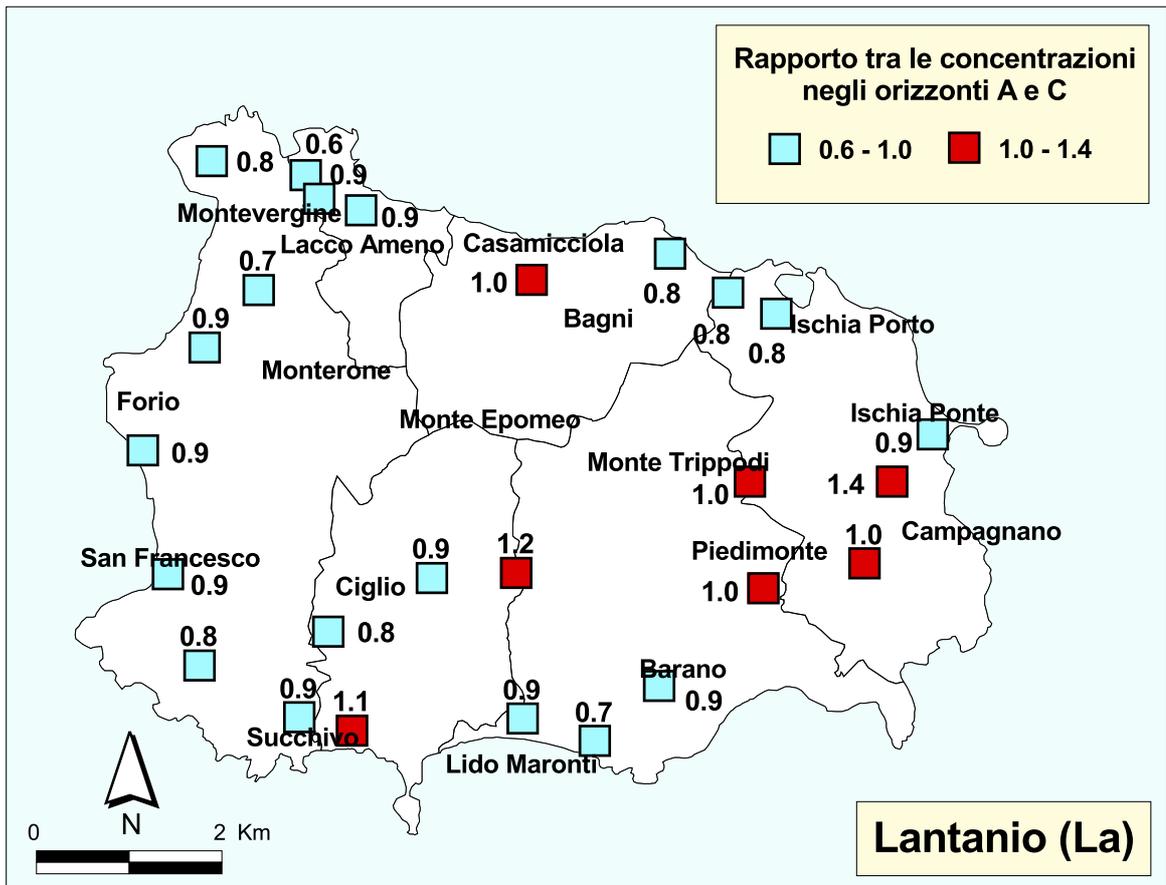


TAVOLA 24E

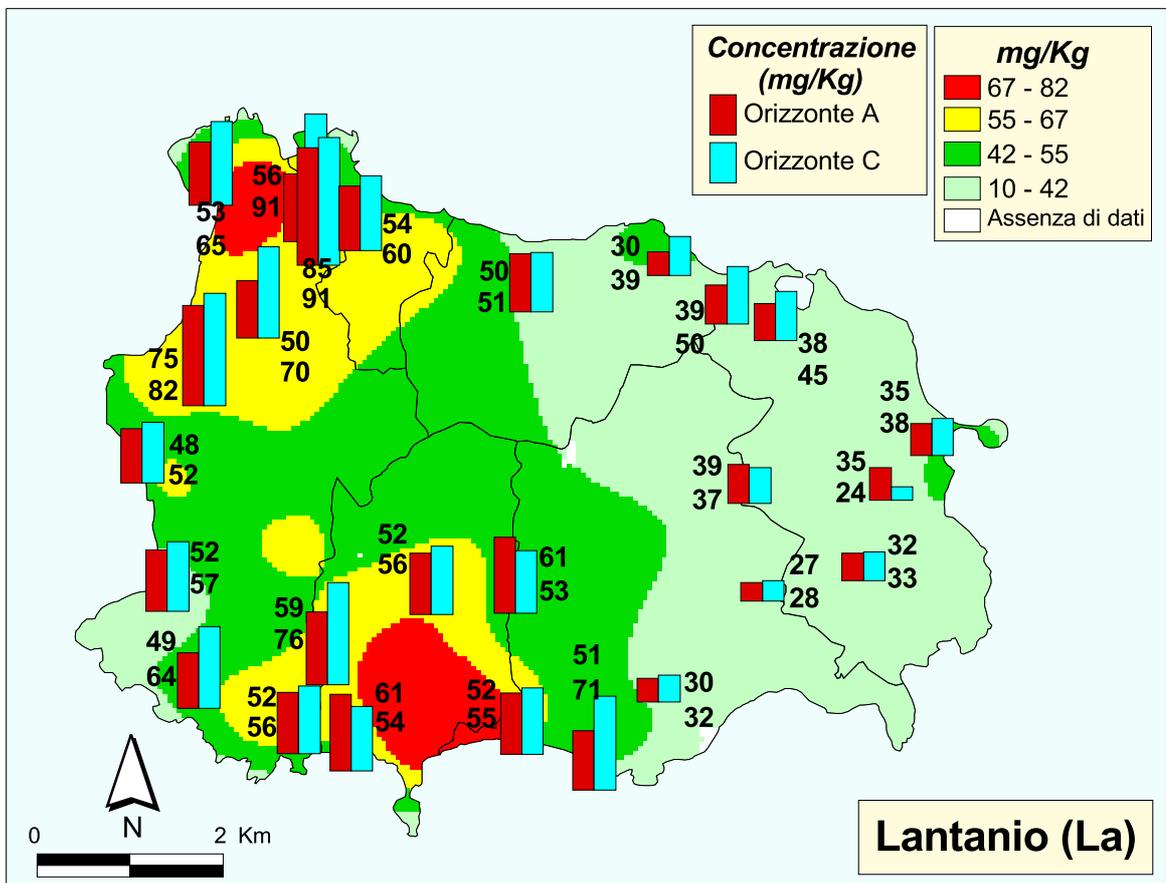


TAVOLA 24F

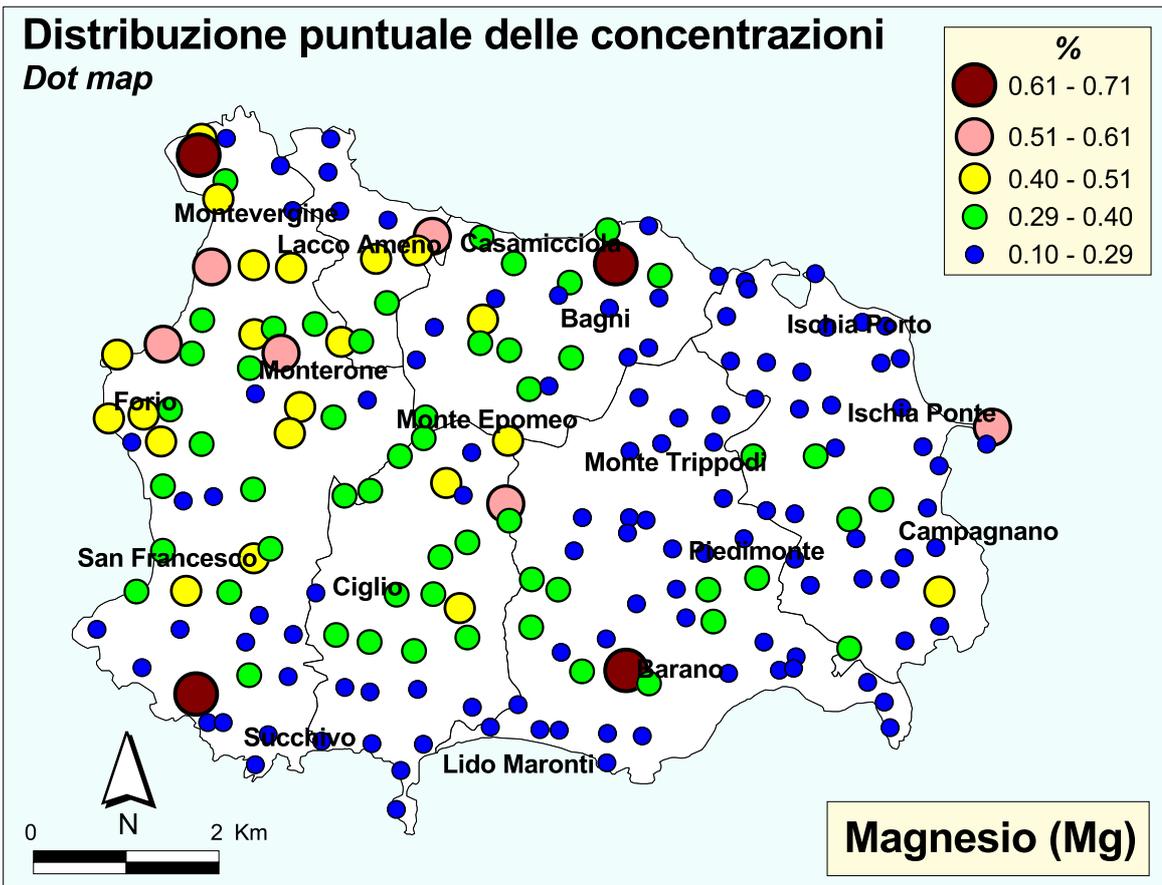


TAVOLA 25A

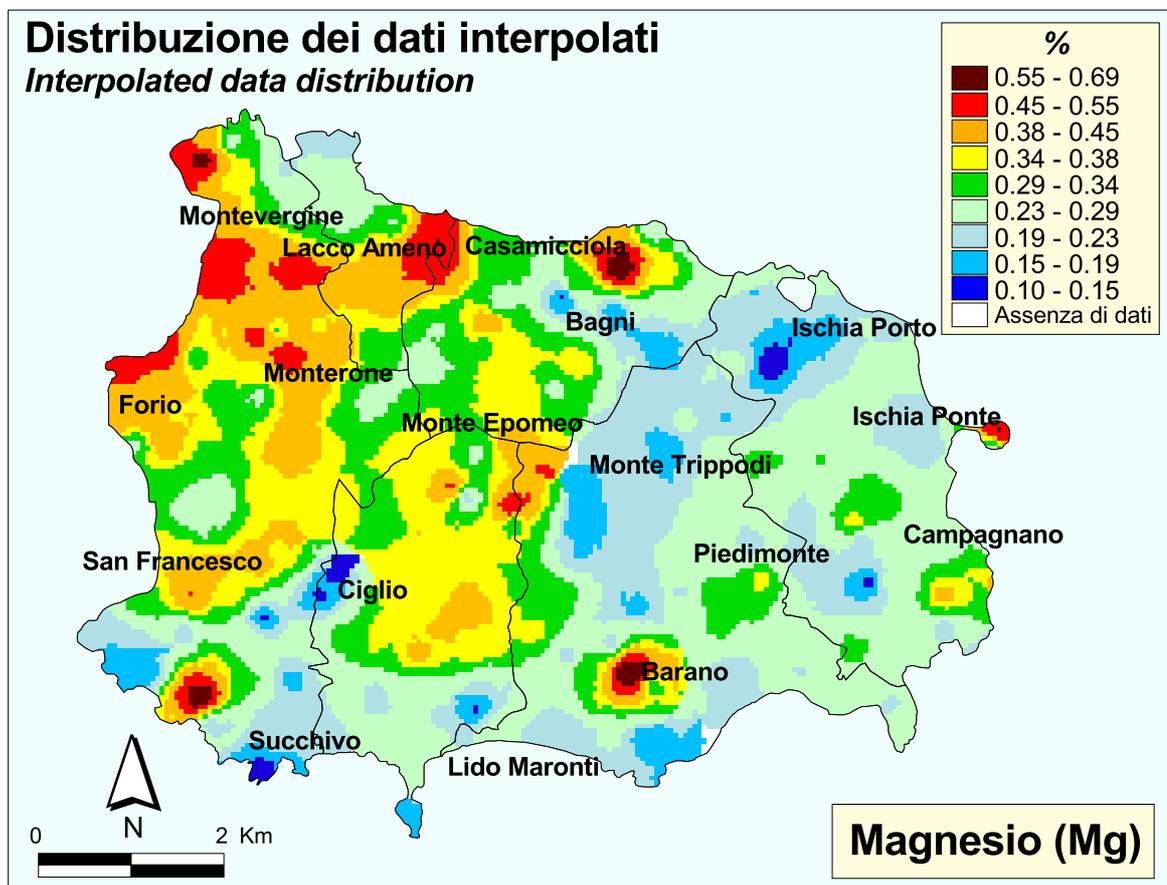


TAVOLA 25B

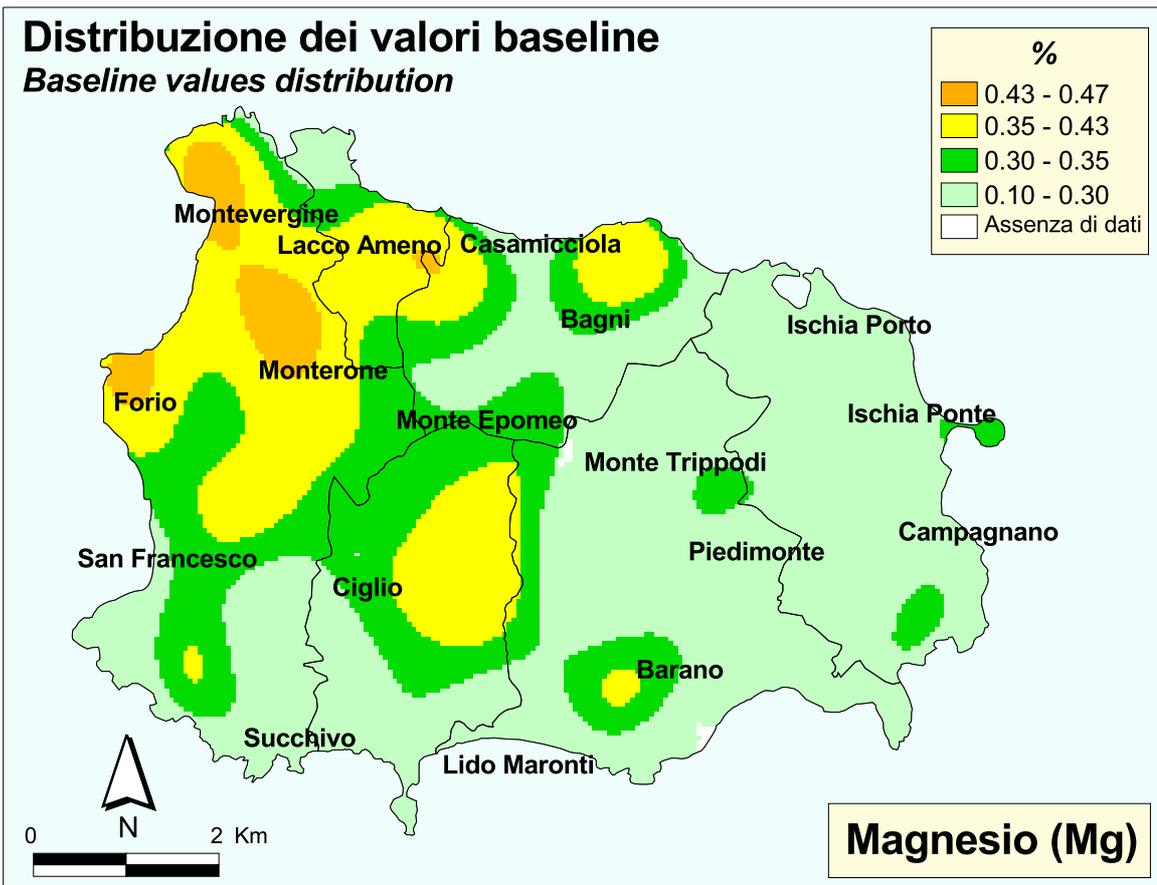


TAVOLA 25C

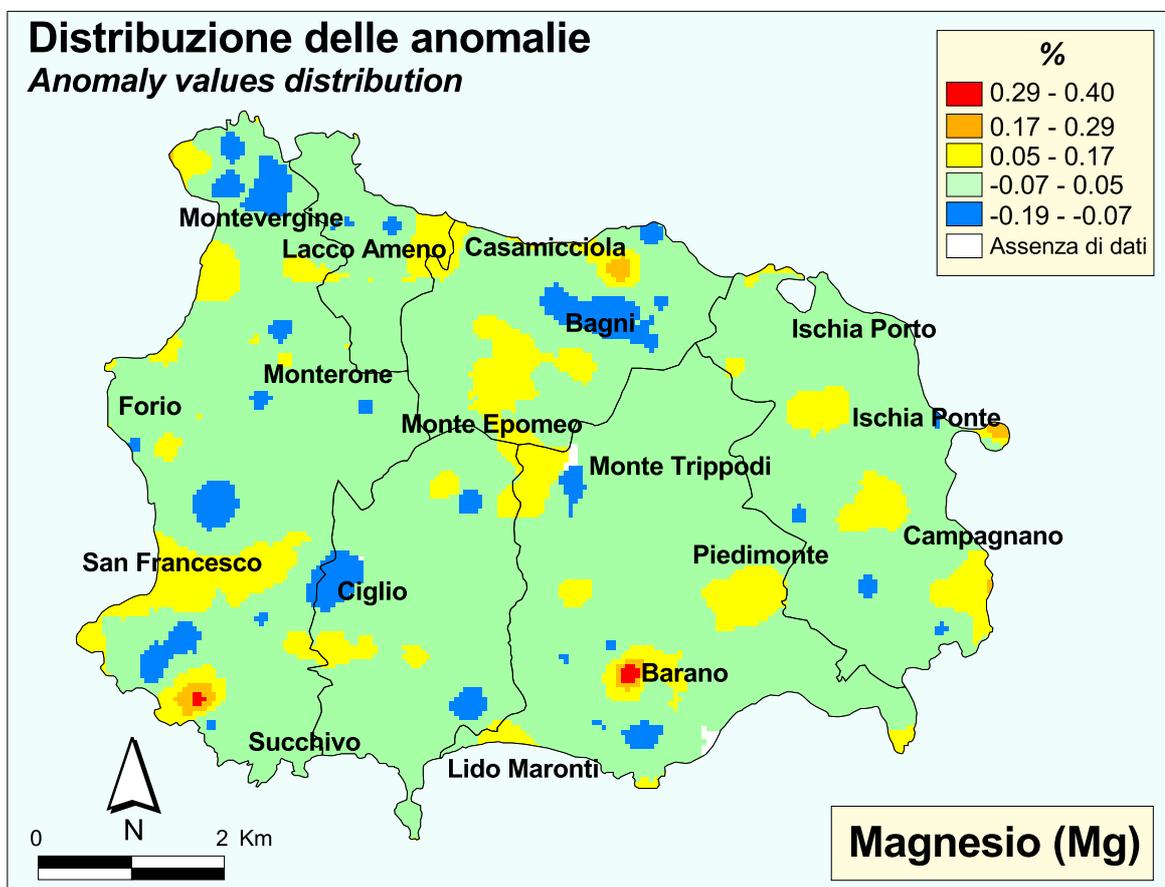


TAVOLA 25D

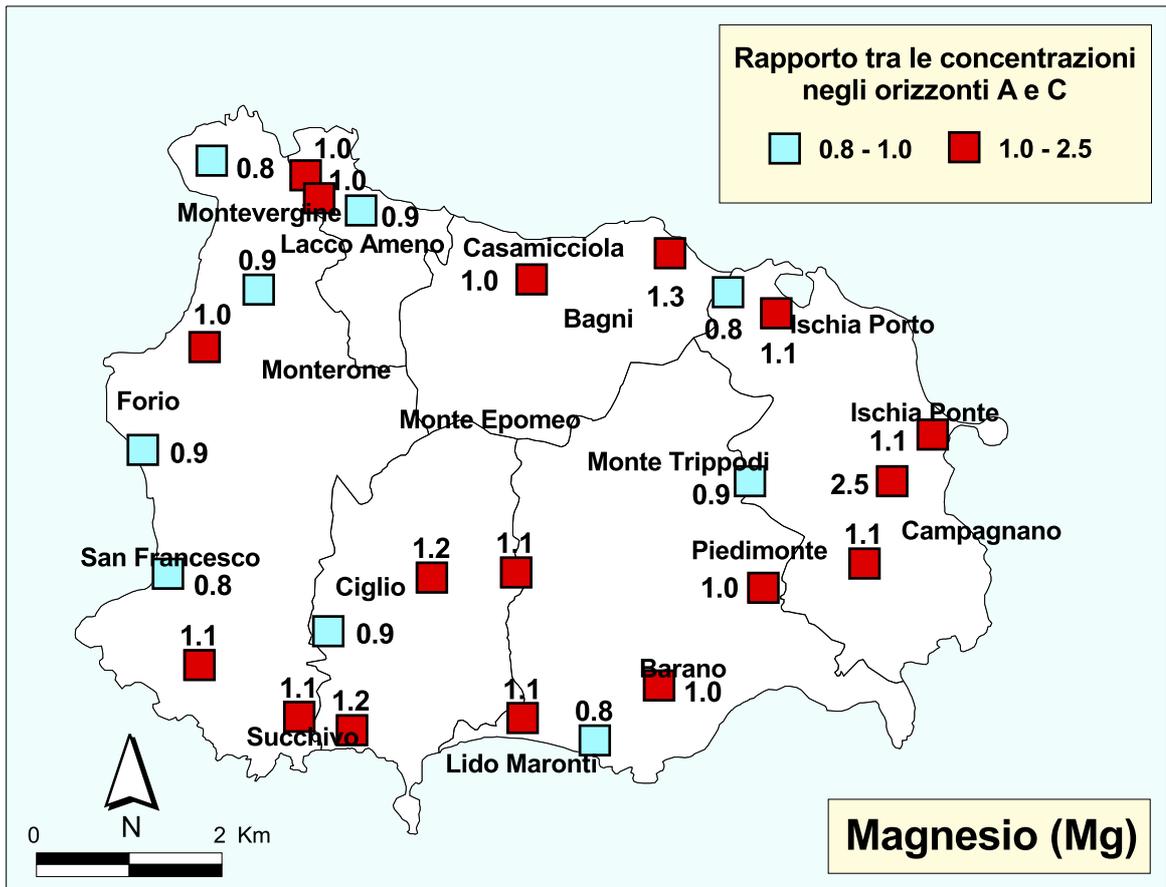


TAVOLA 25E

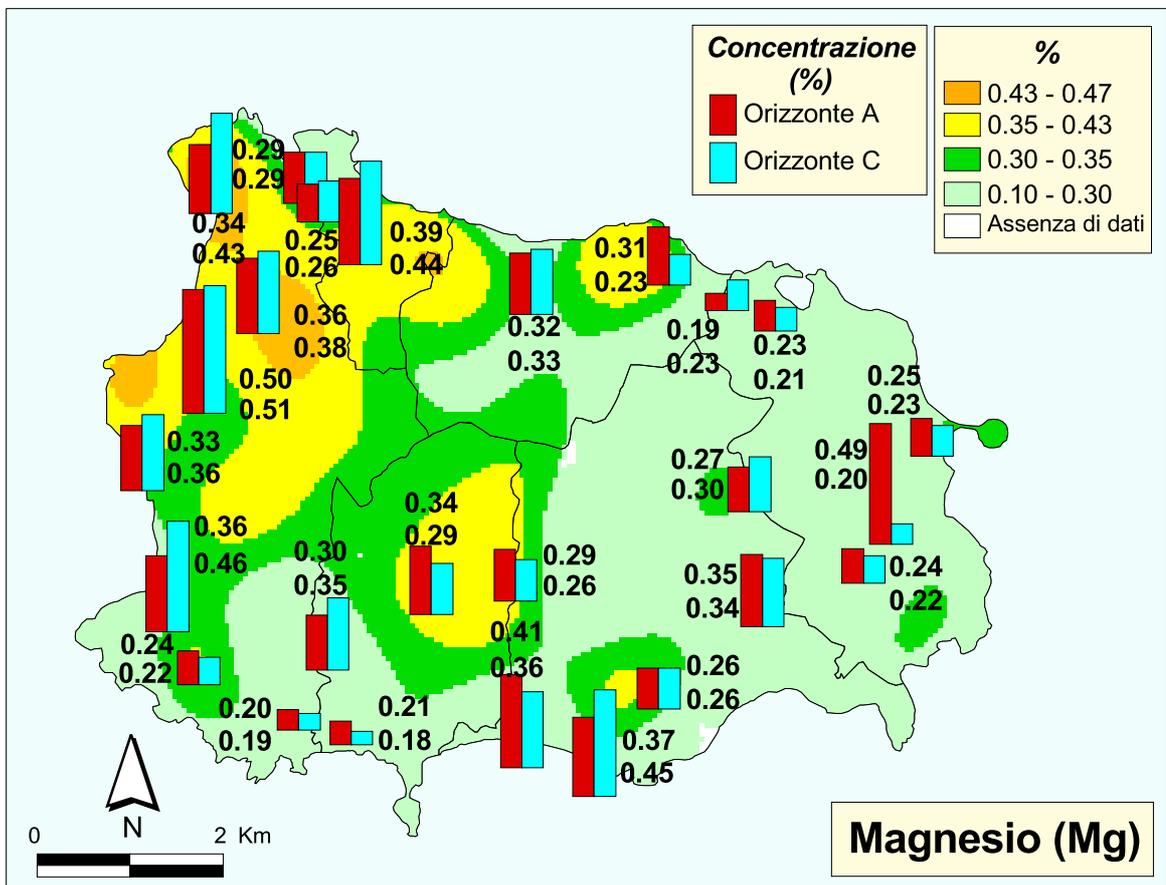


TAVOLA 25F

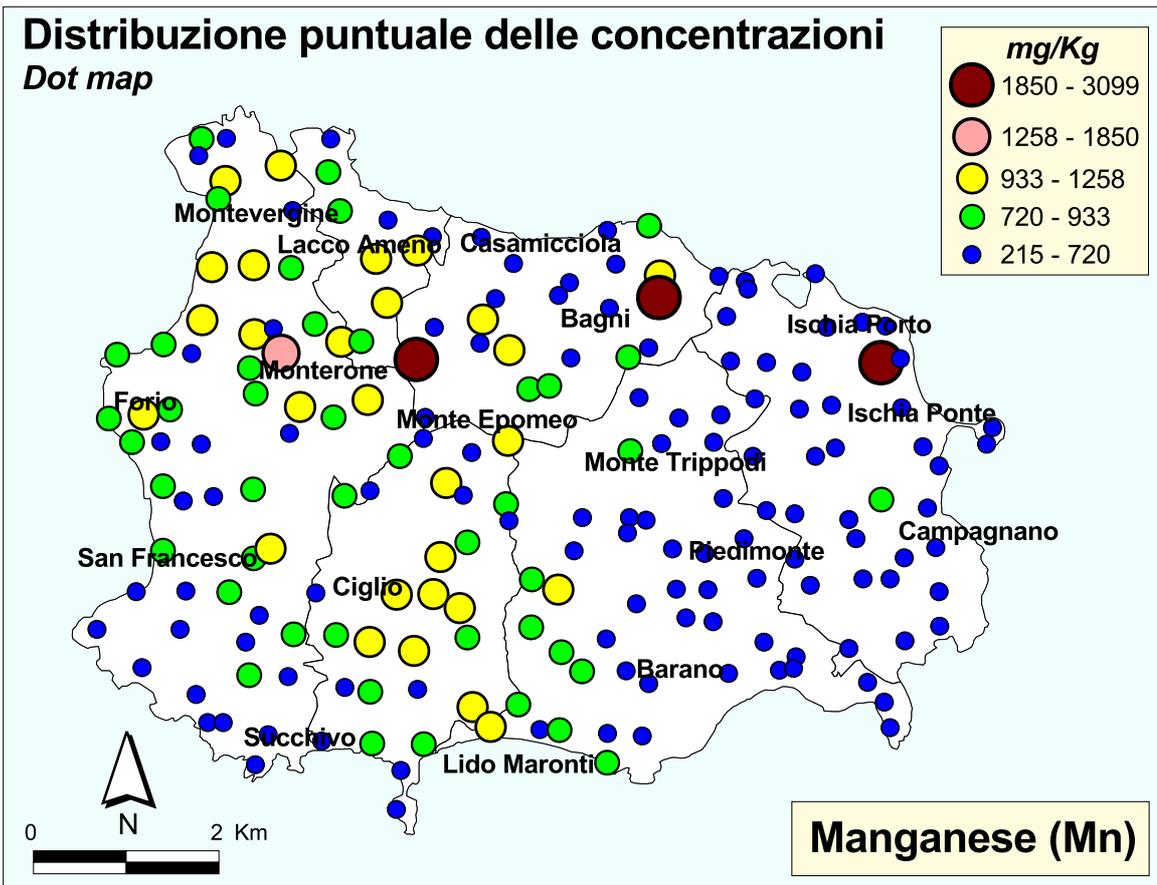


TAVOLA 26A

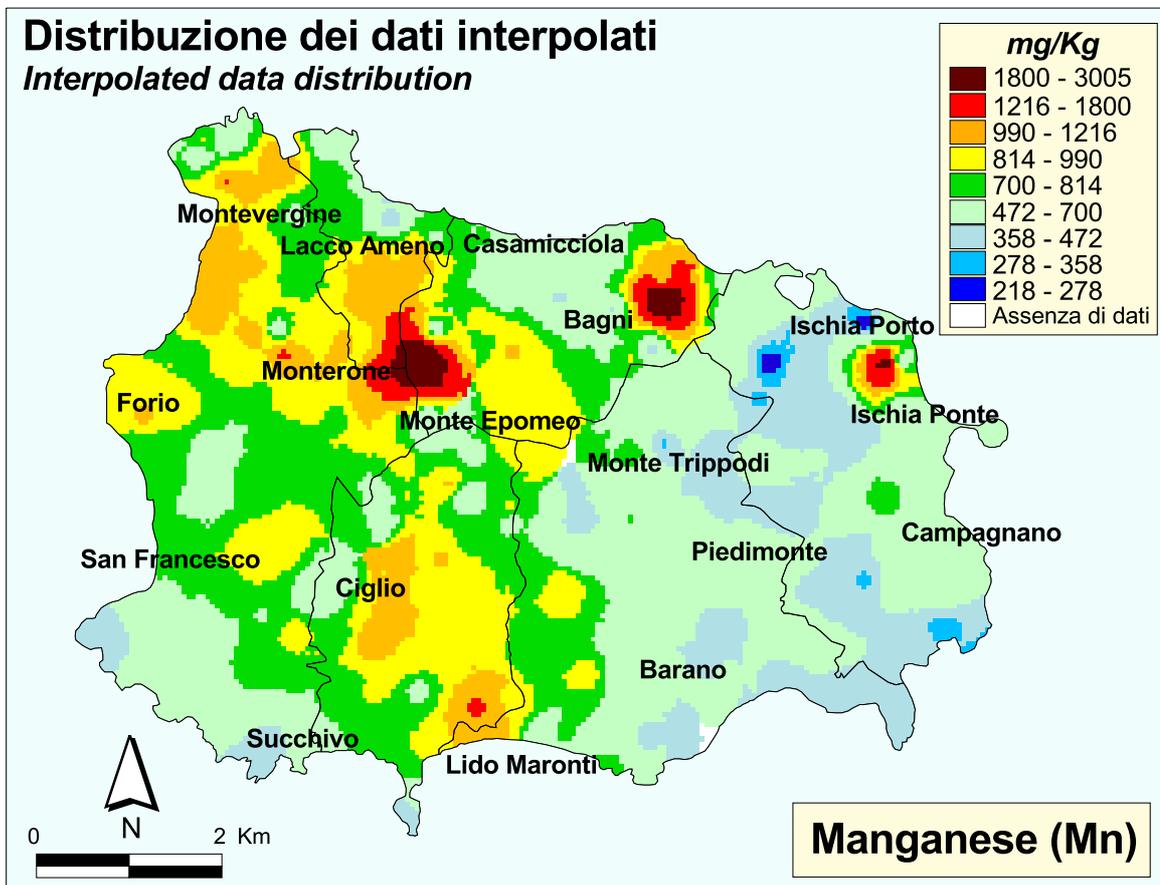


TAVOLA 26B

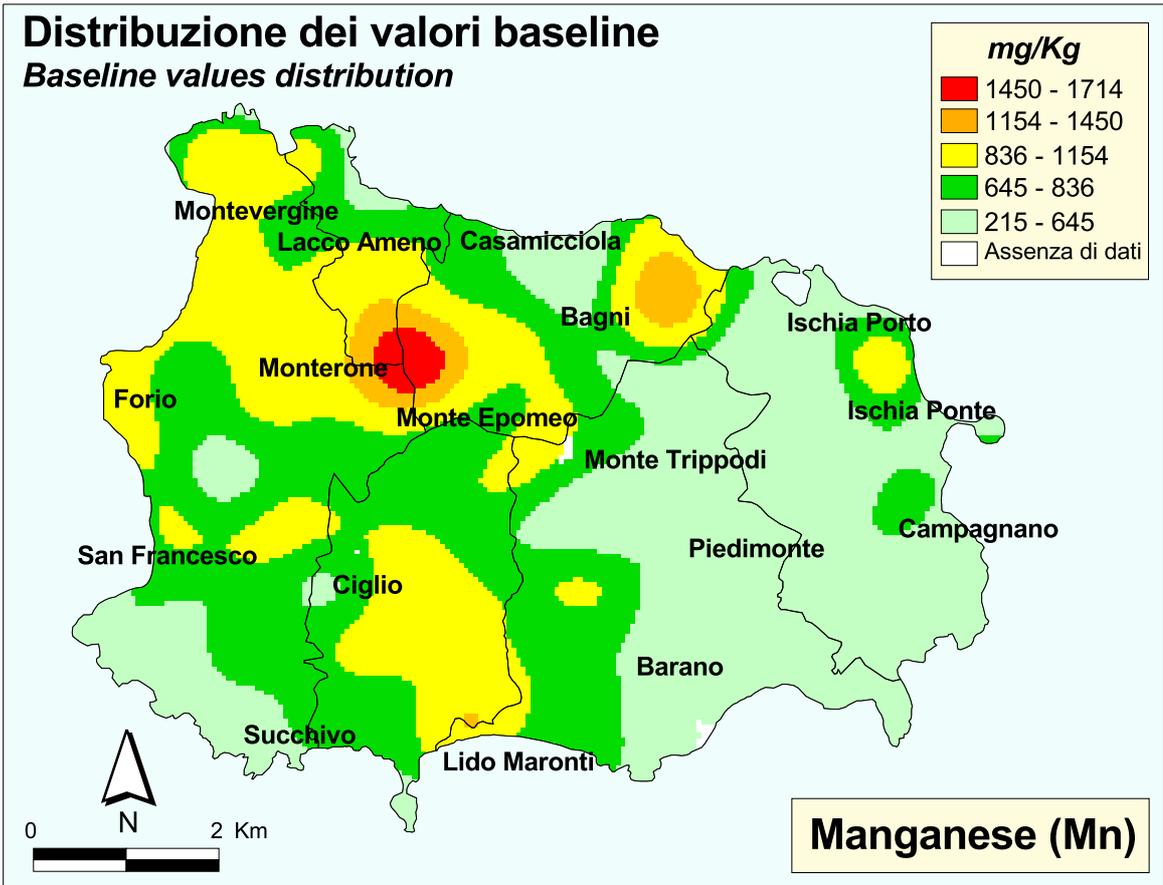


TAVOLA 26C

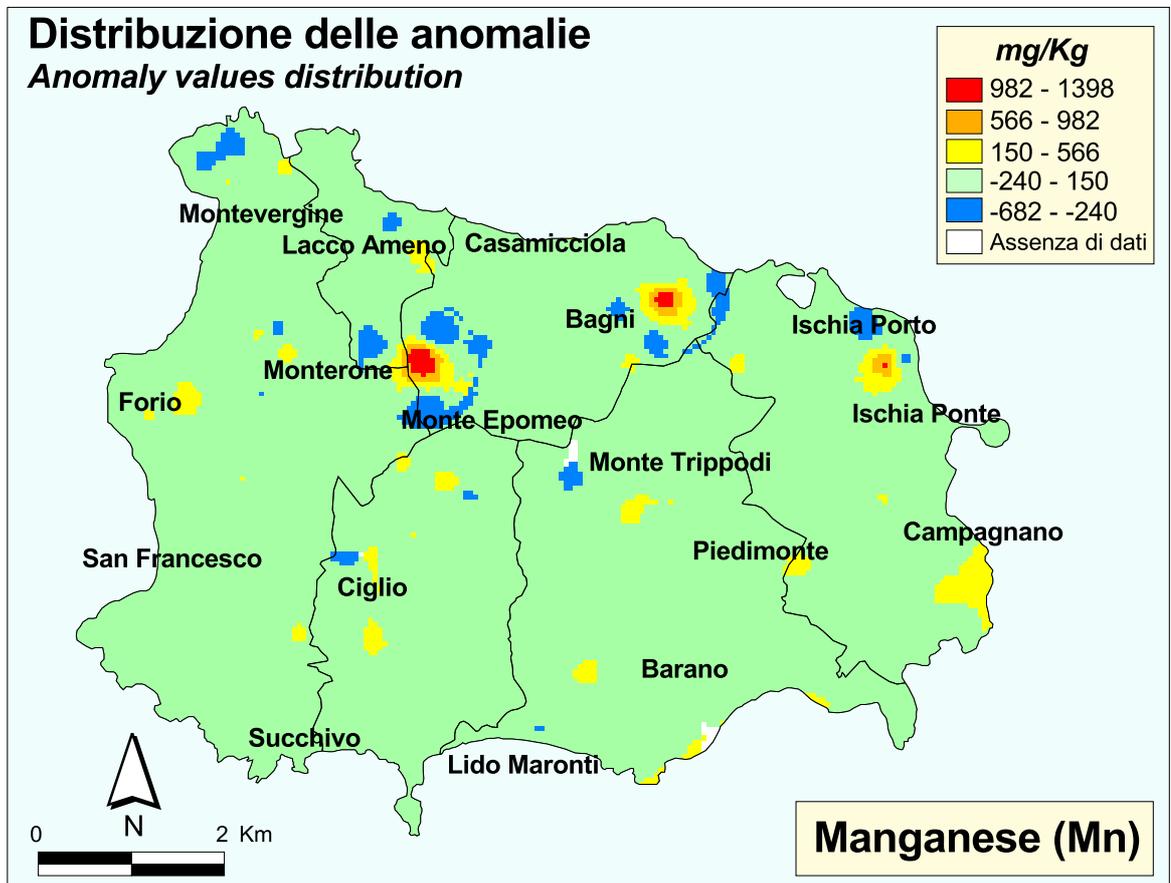


TAVOLA 26D

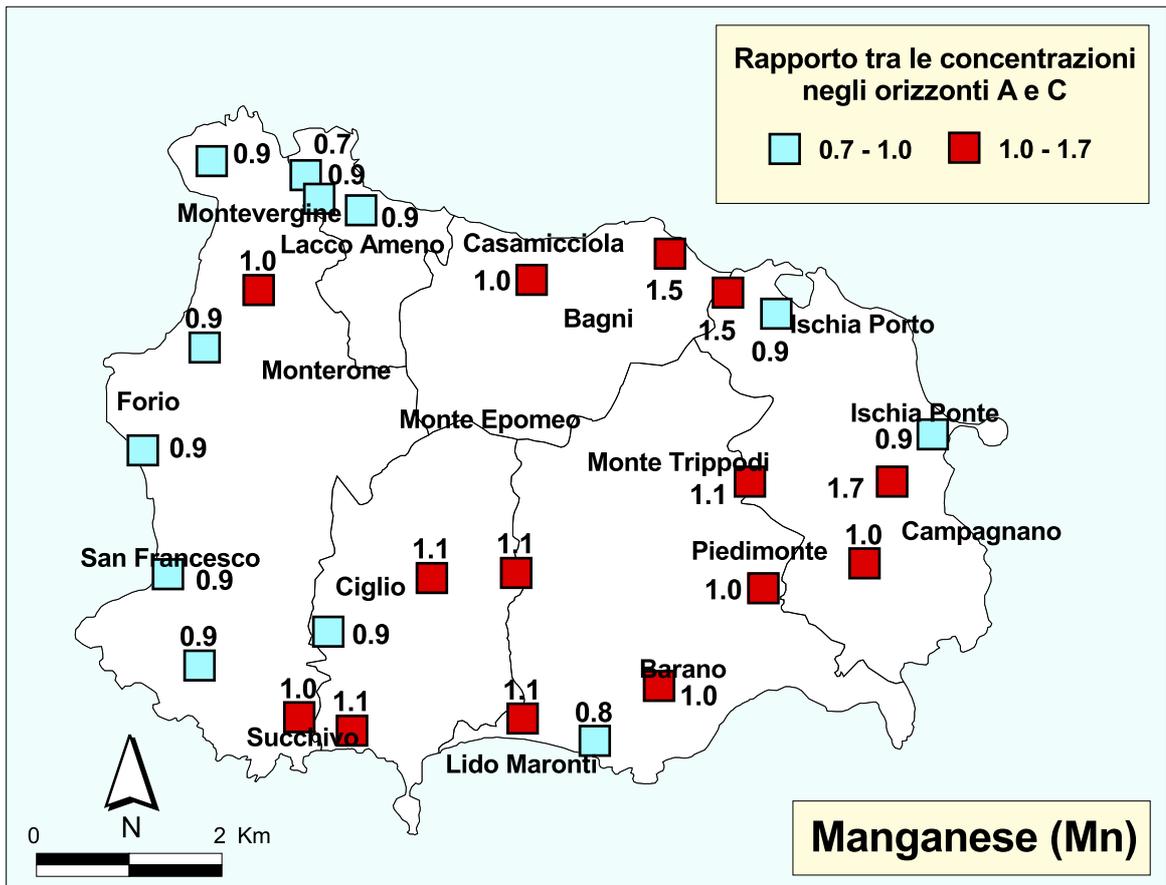


TAVOLA 26E

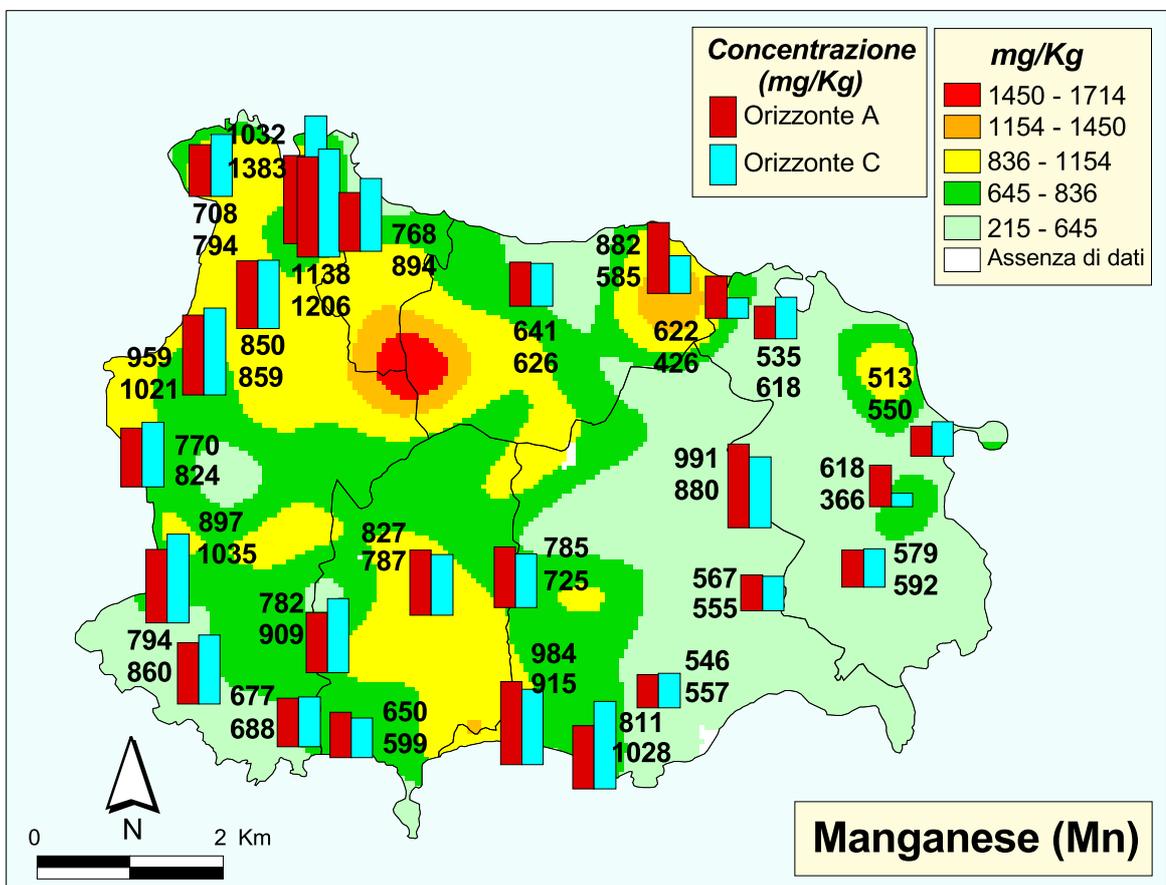


TAVOLA 26F

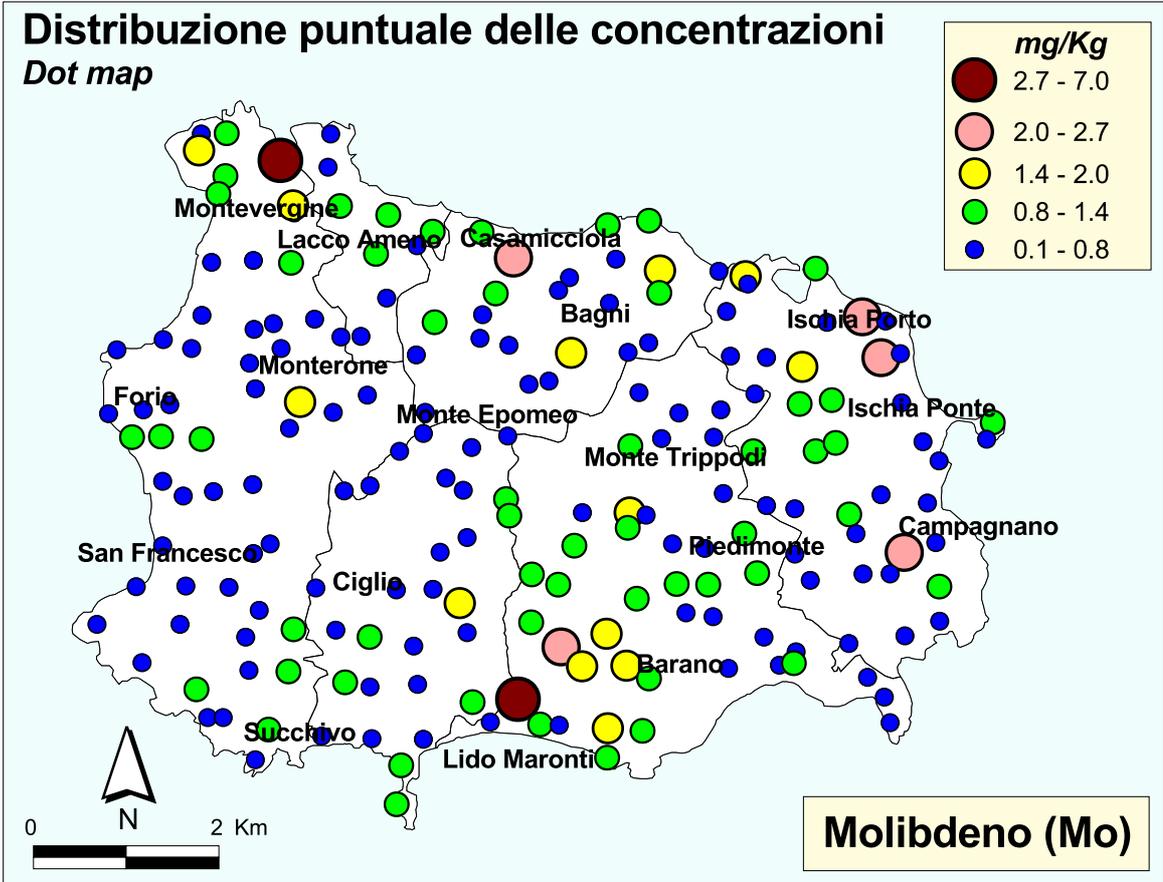


TAVOLA 27A

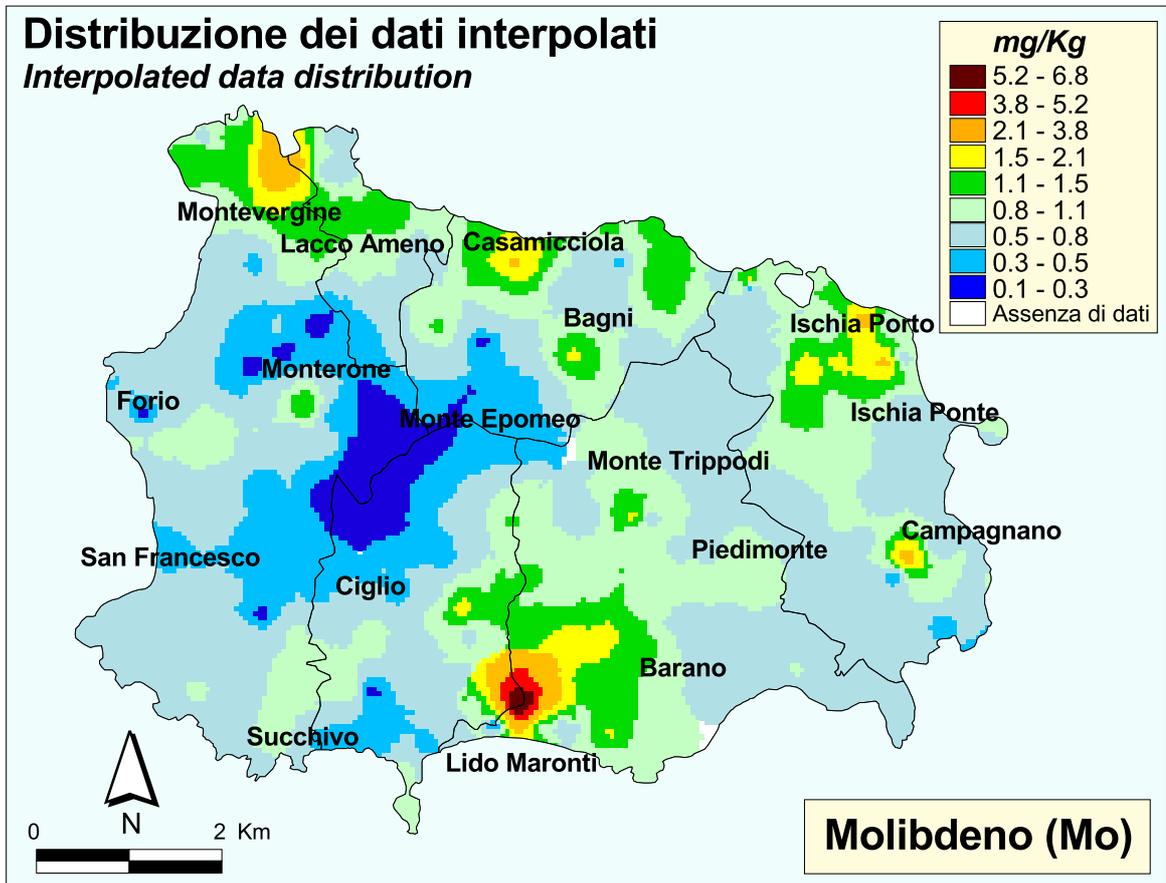


TAVOLA 27B

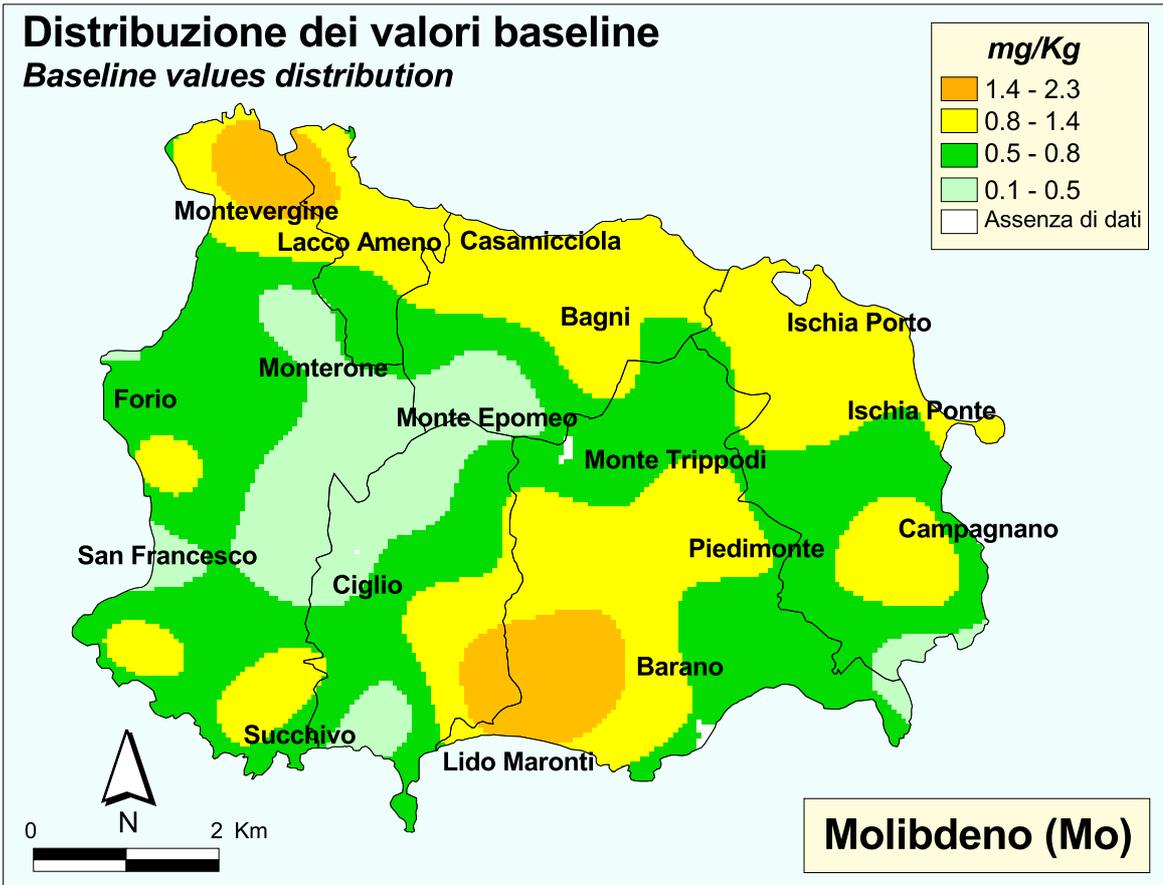


TAVOLA 27C

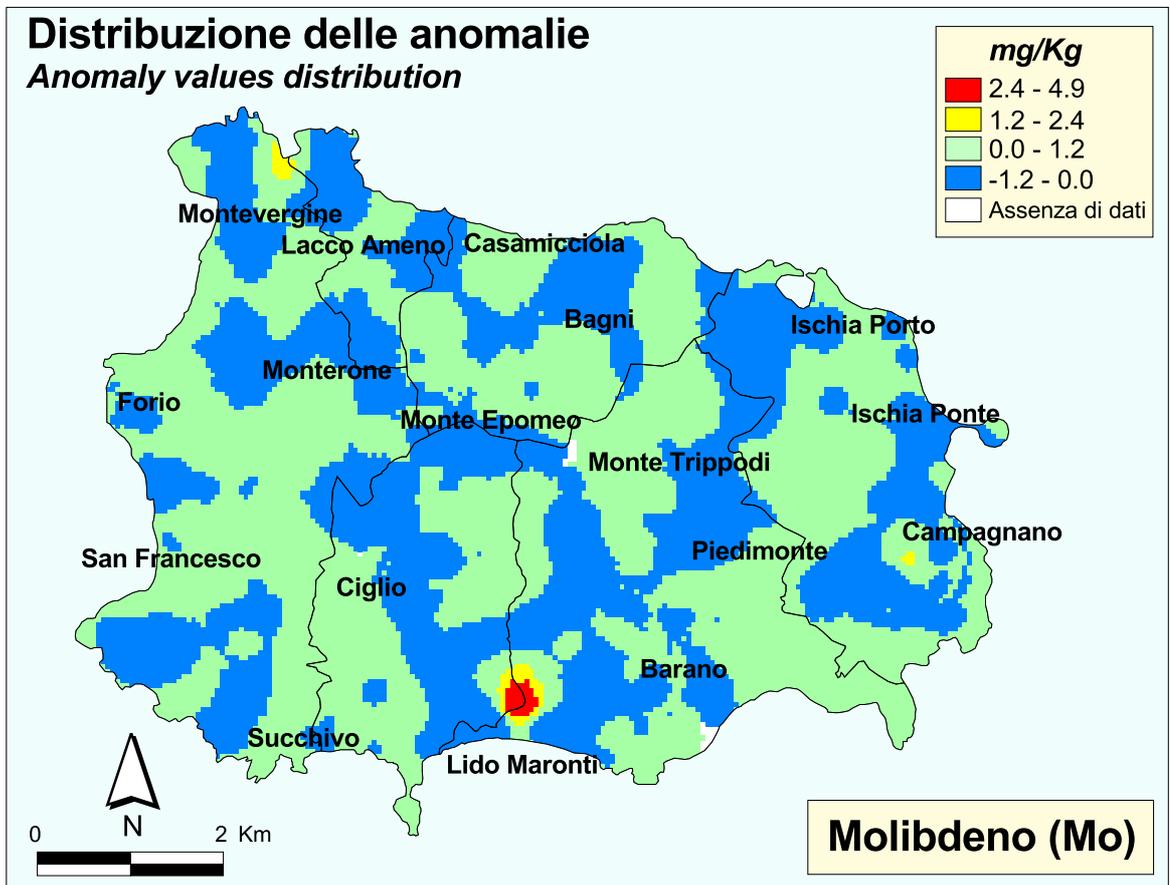


TAVOLA 27D

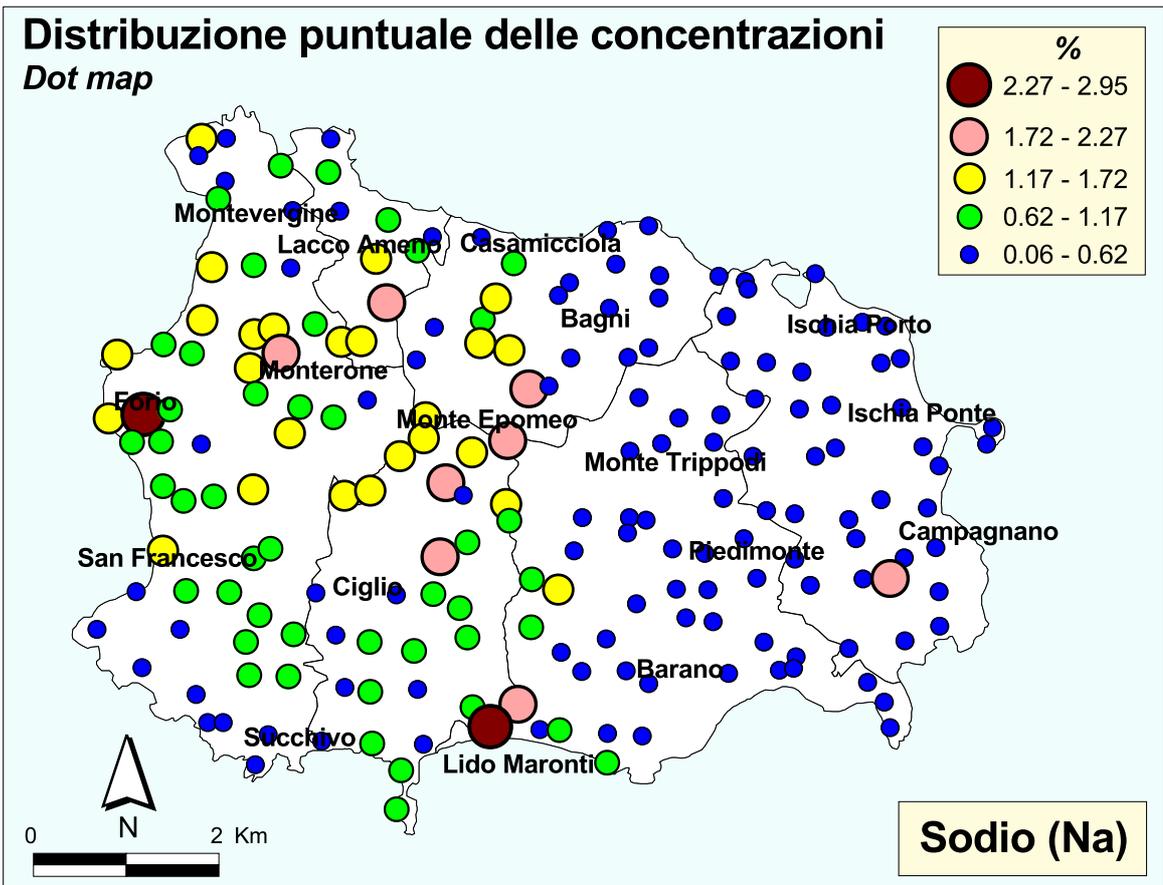


TAVOLA 28A

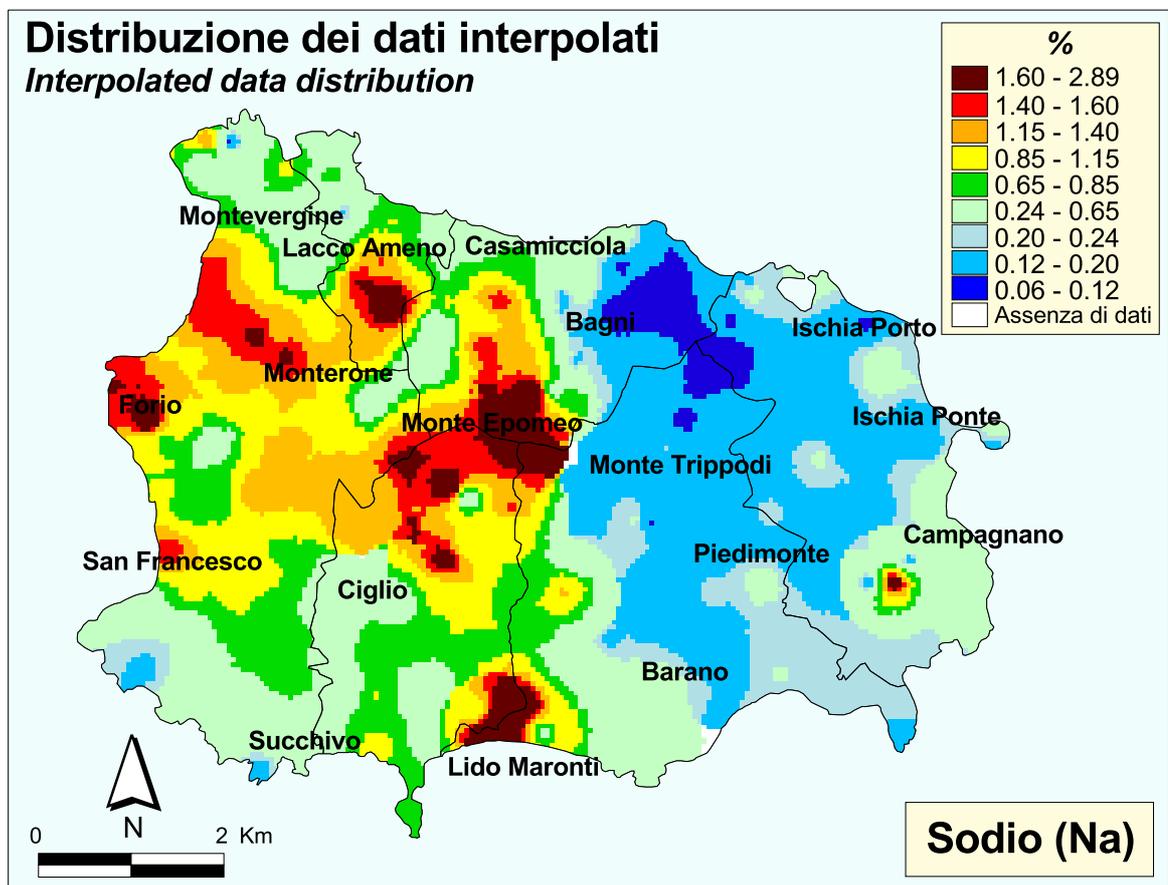


TAVOLA 28B

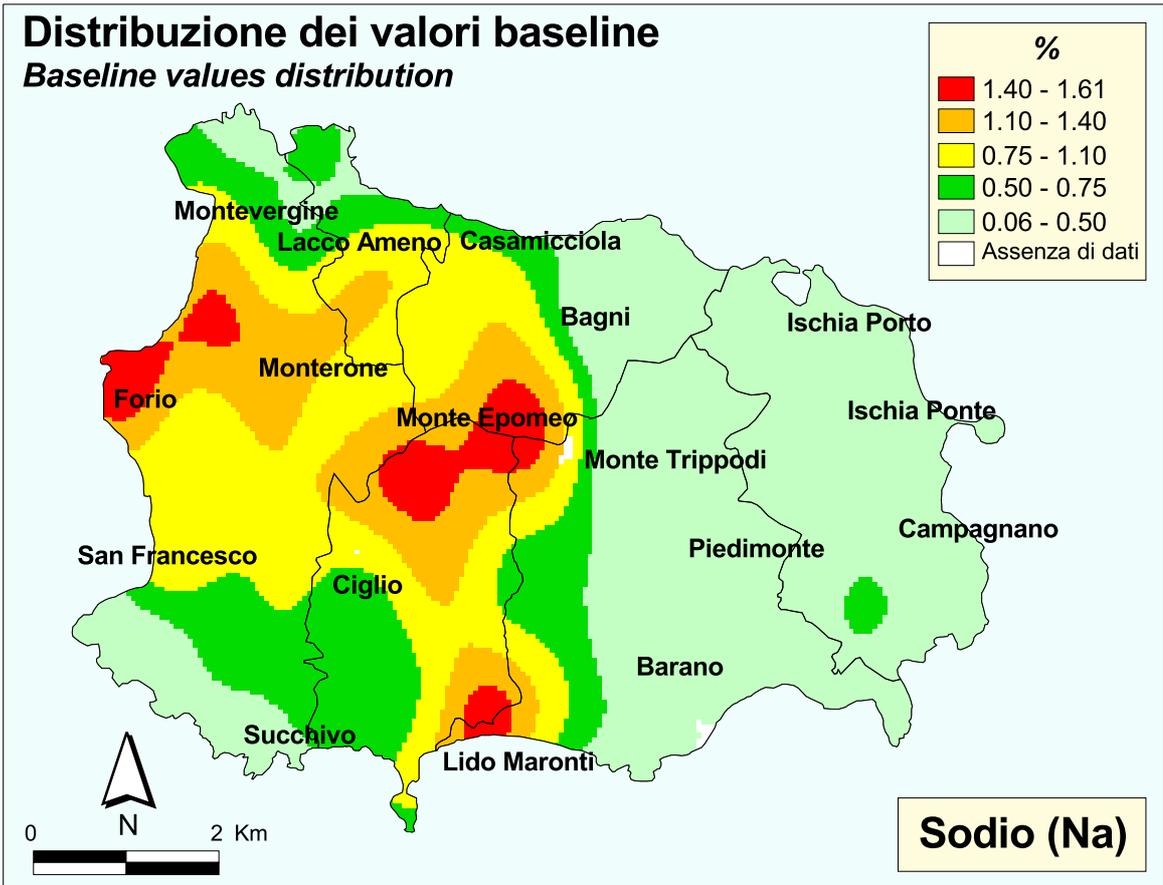


TAVOLA 28C

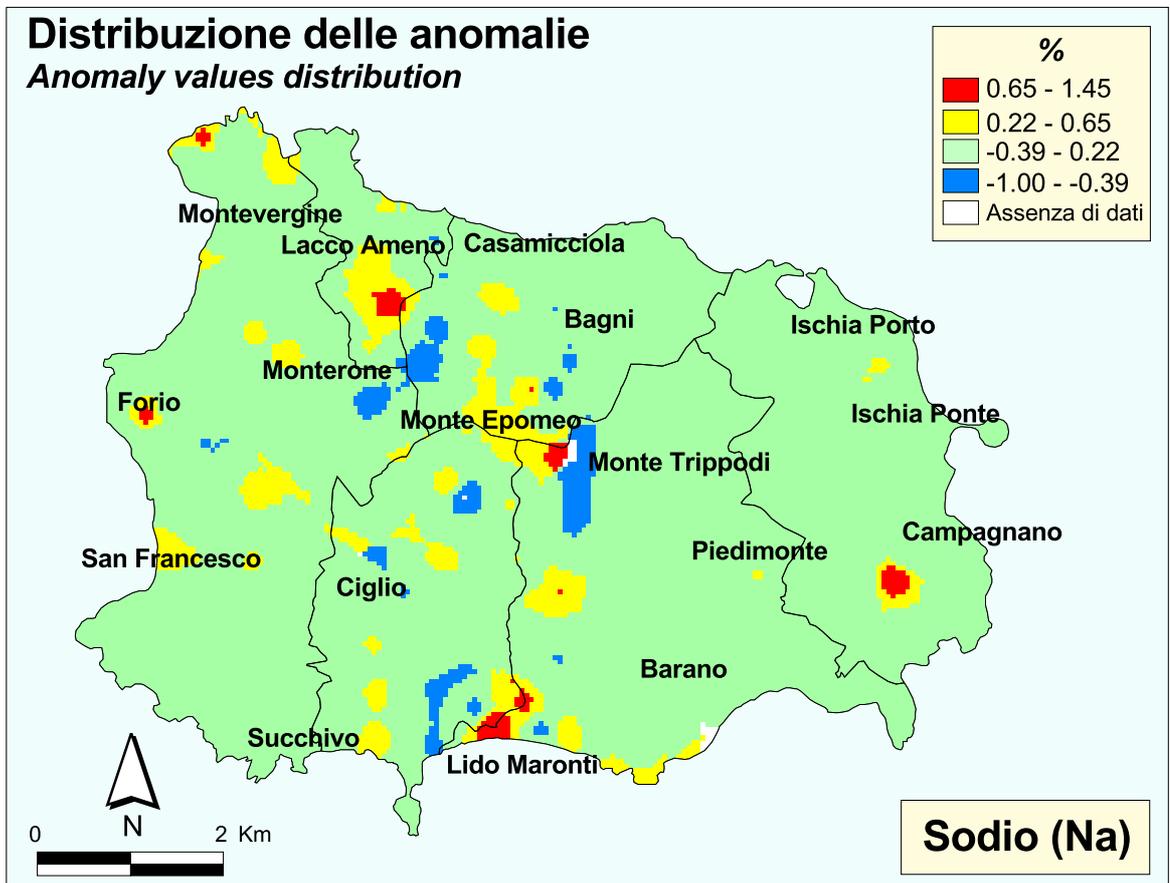


TAVOLA 28D

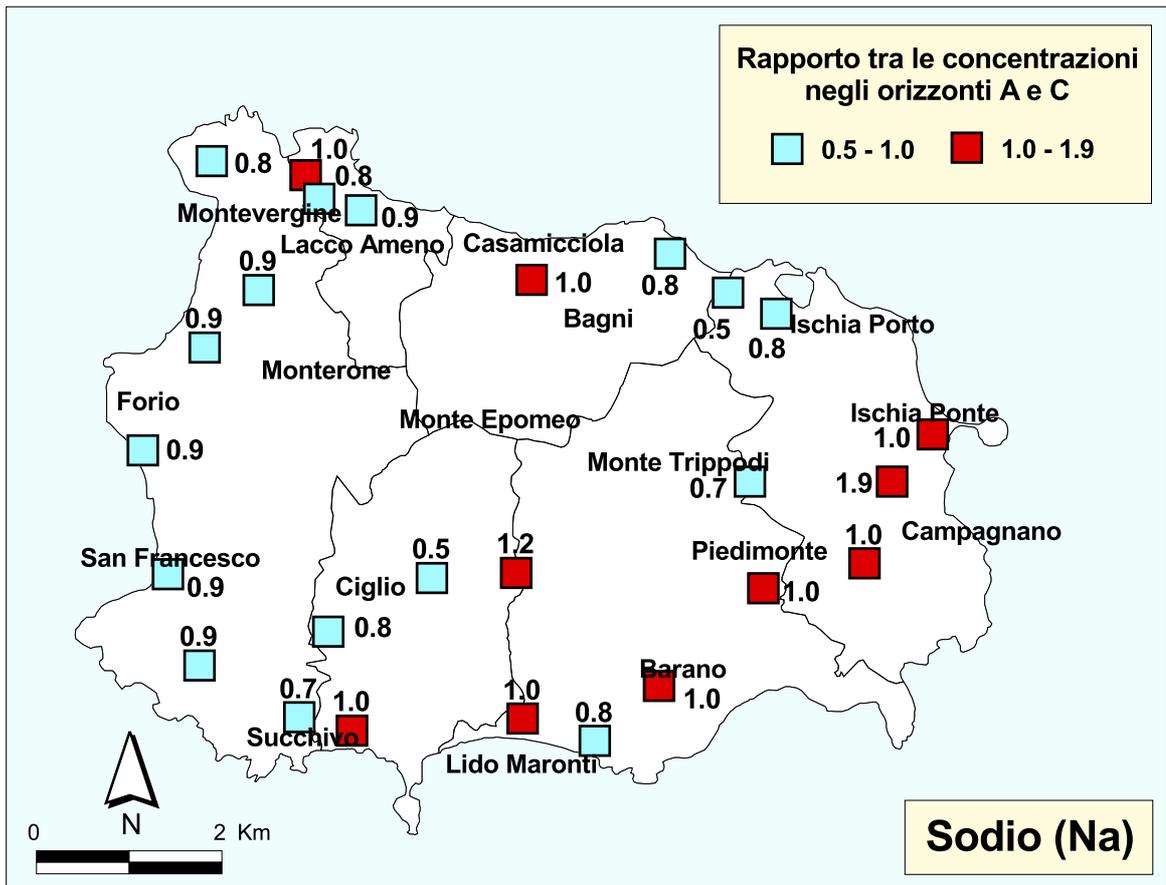


TAVOLA 28E

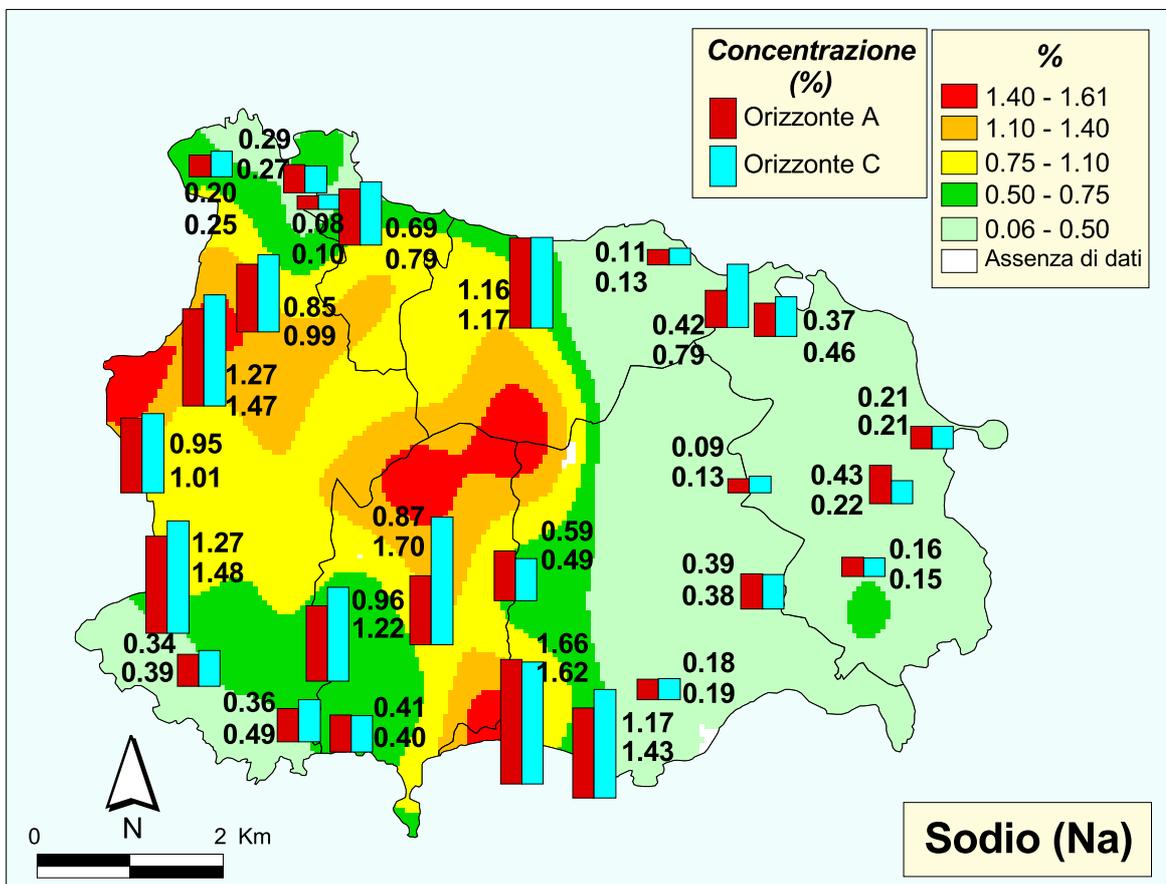


TAVOLA 28F

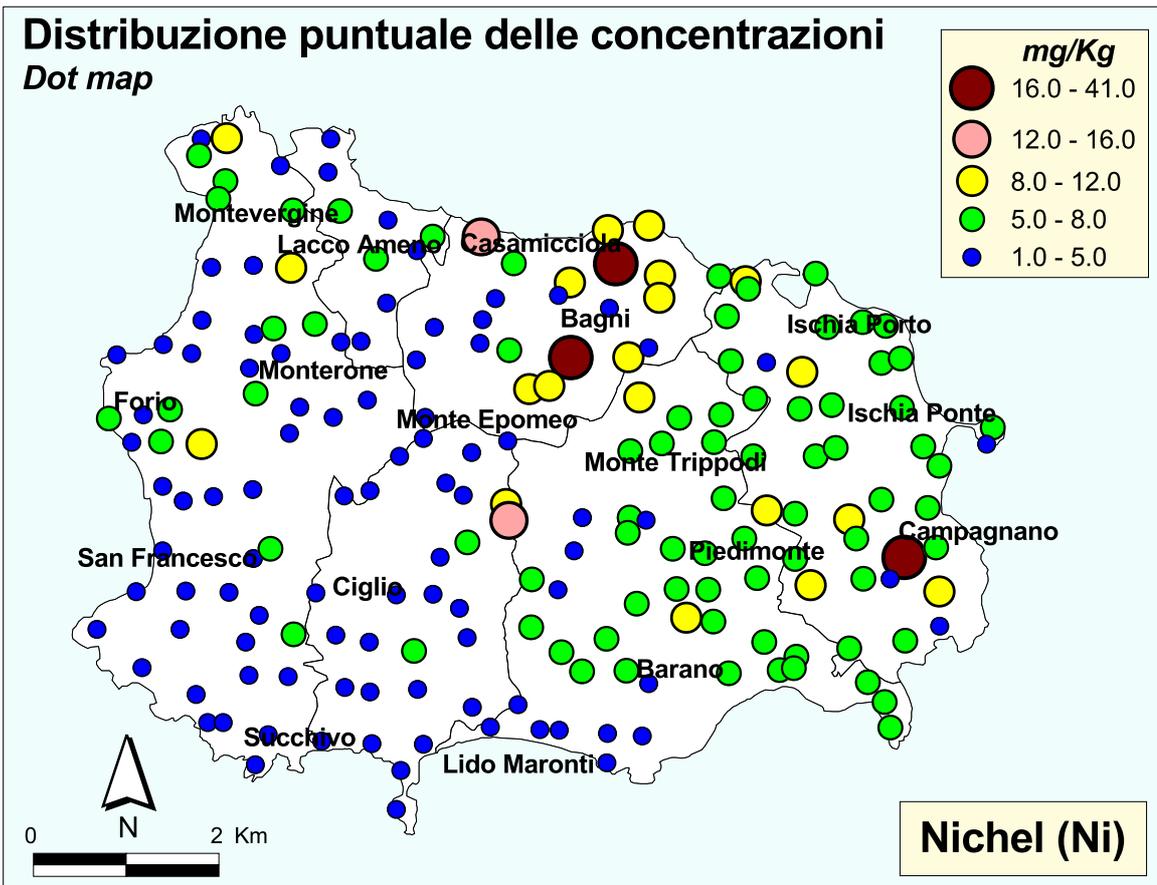


TAVOLA 29A

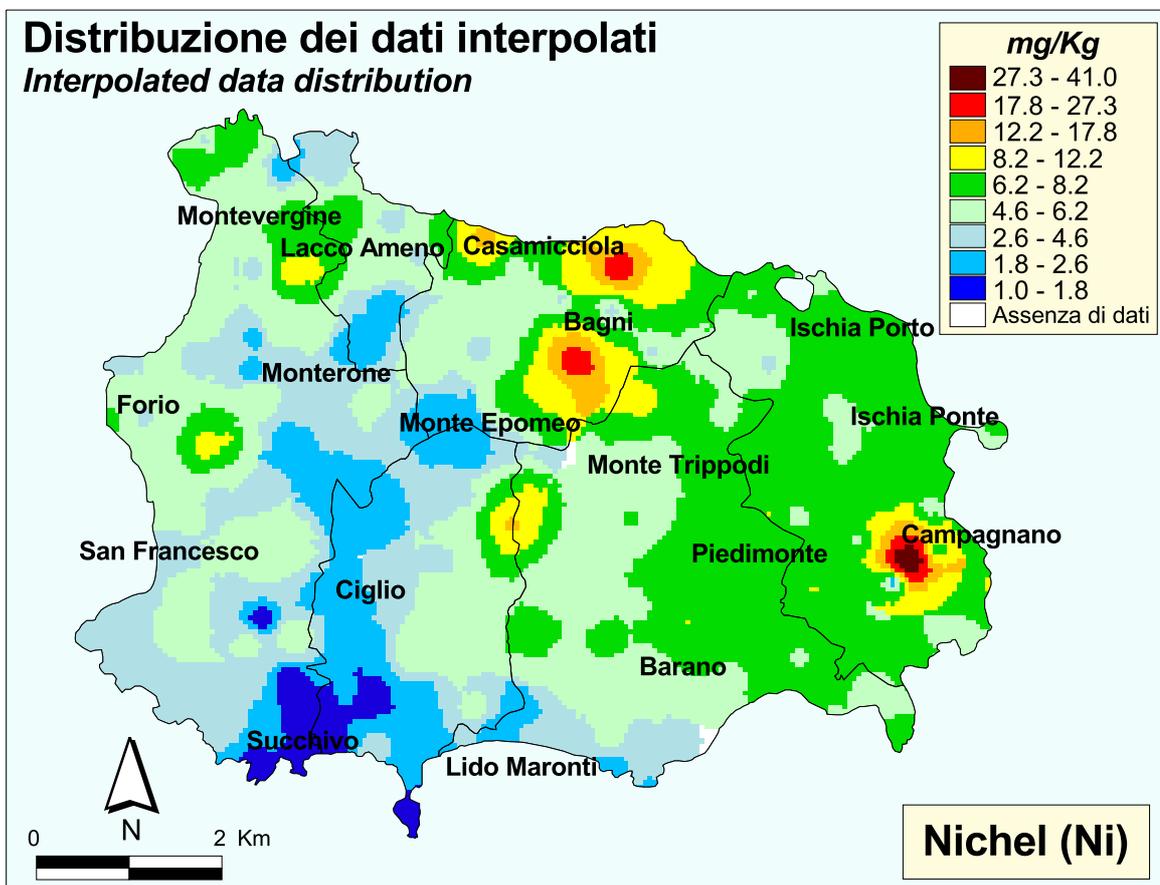


TAVOLA 29B

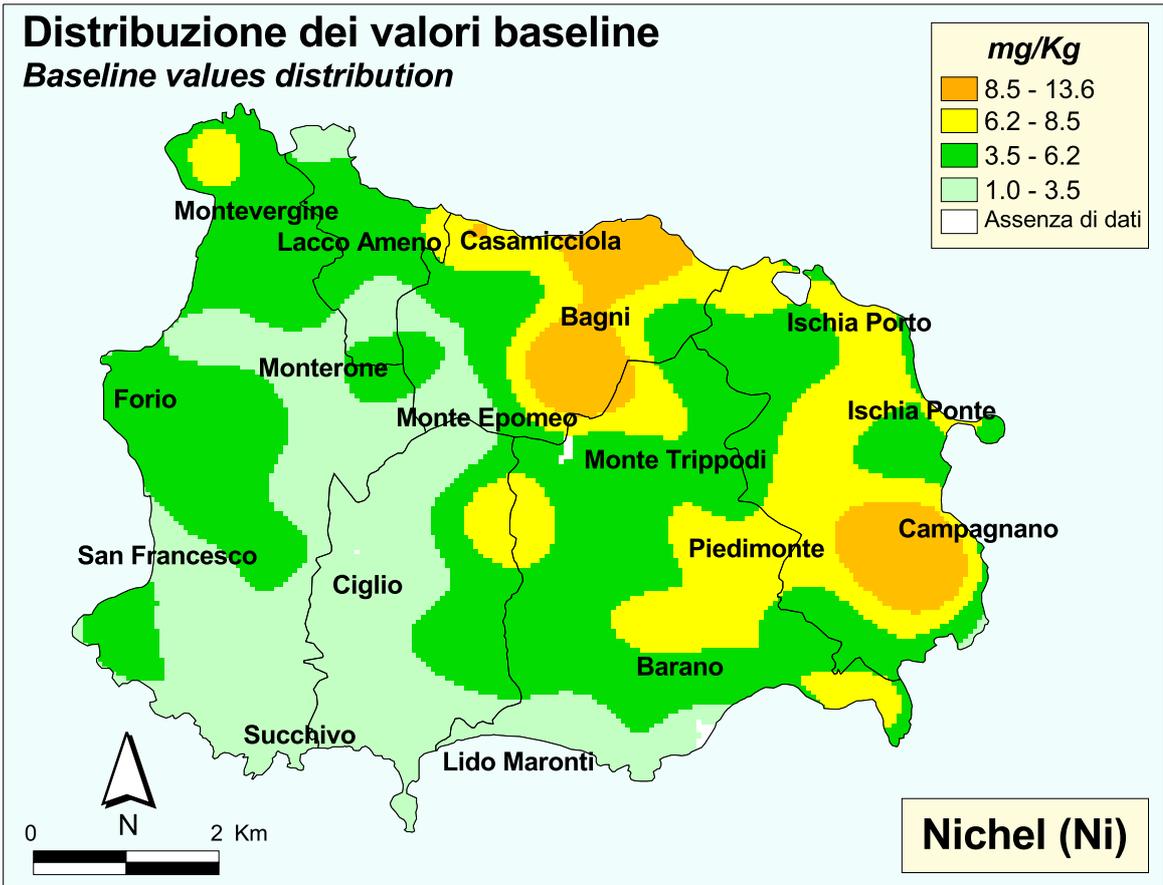


TAVOLA 29C

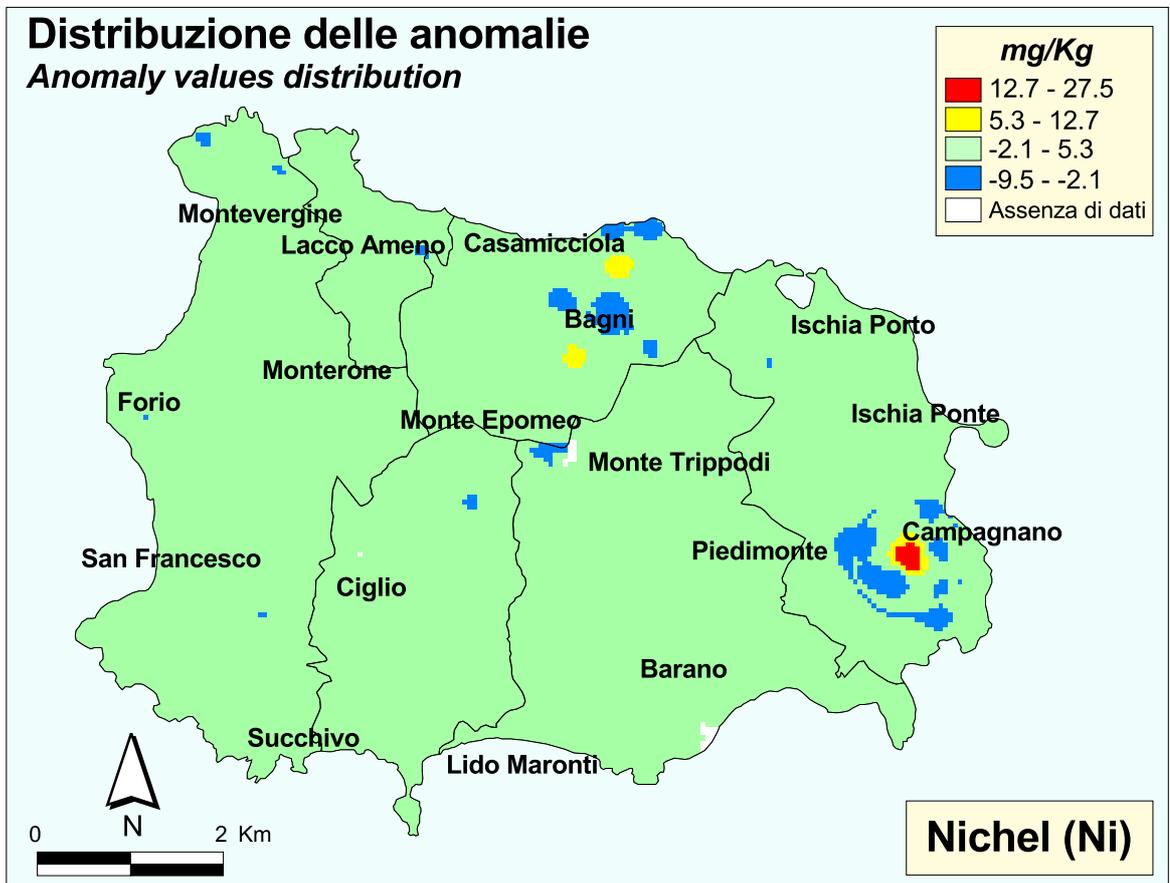


TAVOLA 29D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

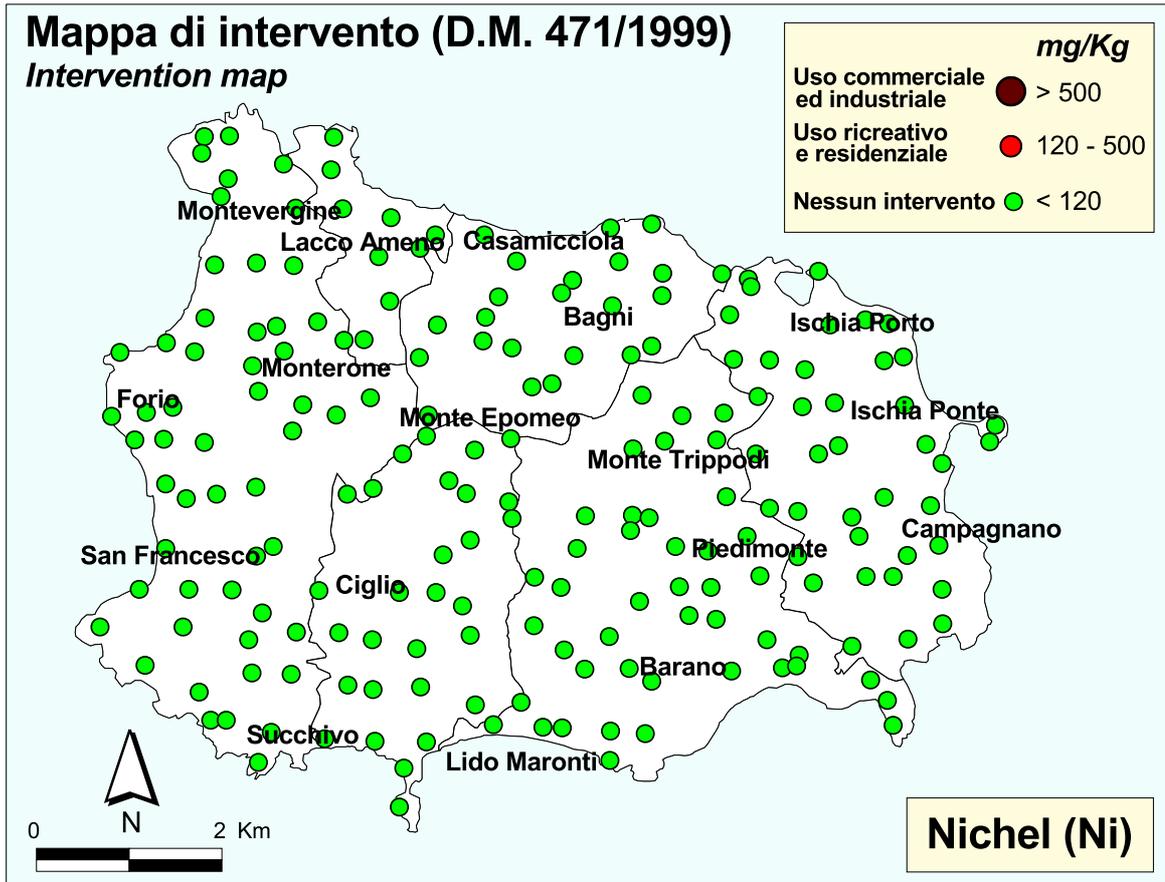


TAVOLA 29E

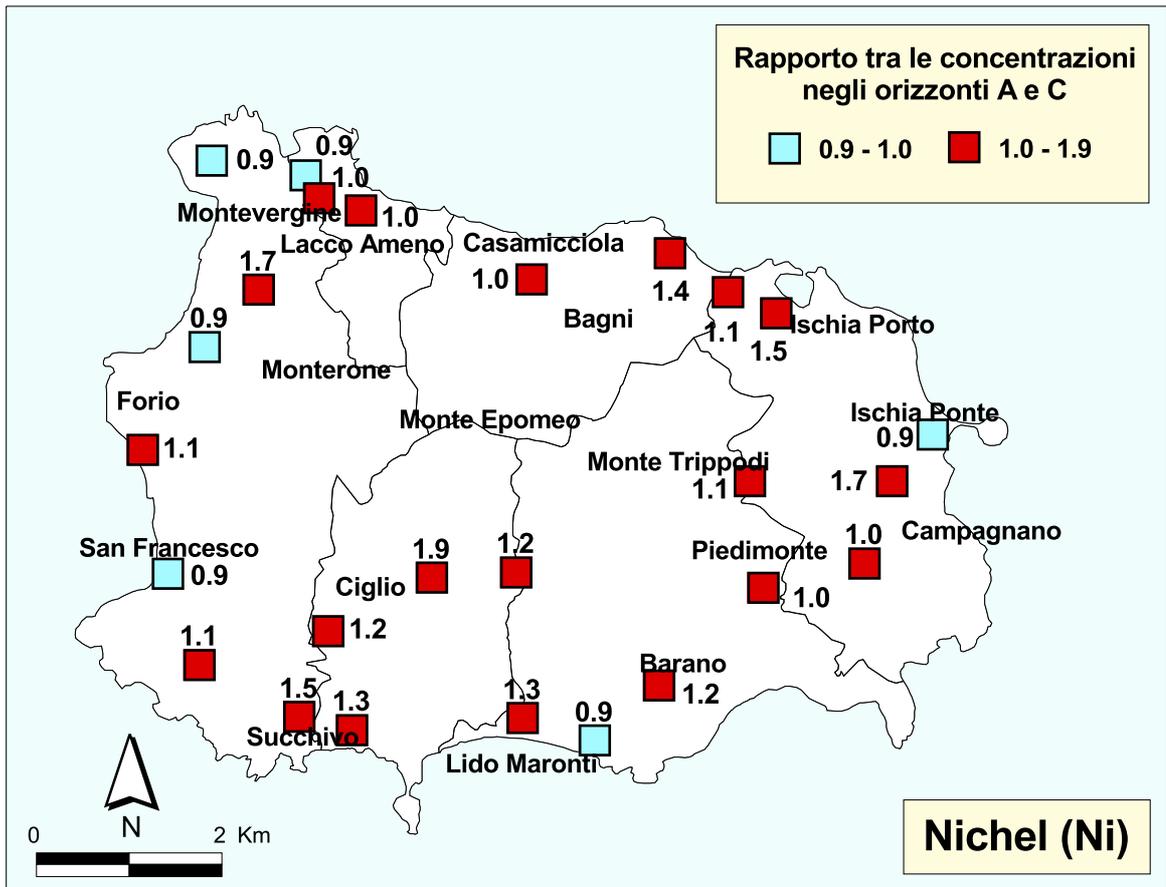


TAVOLA 29F

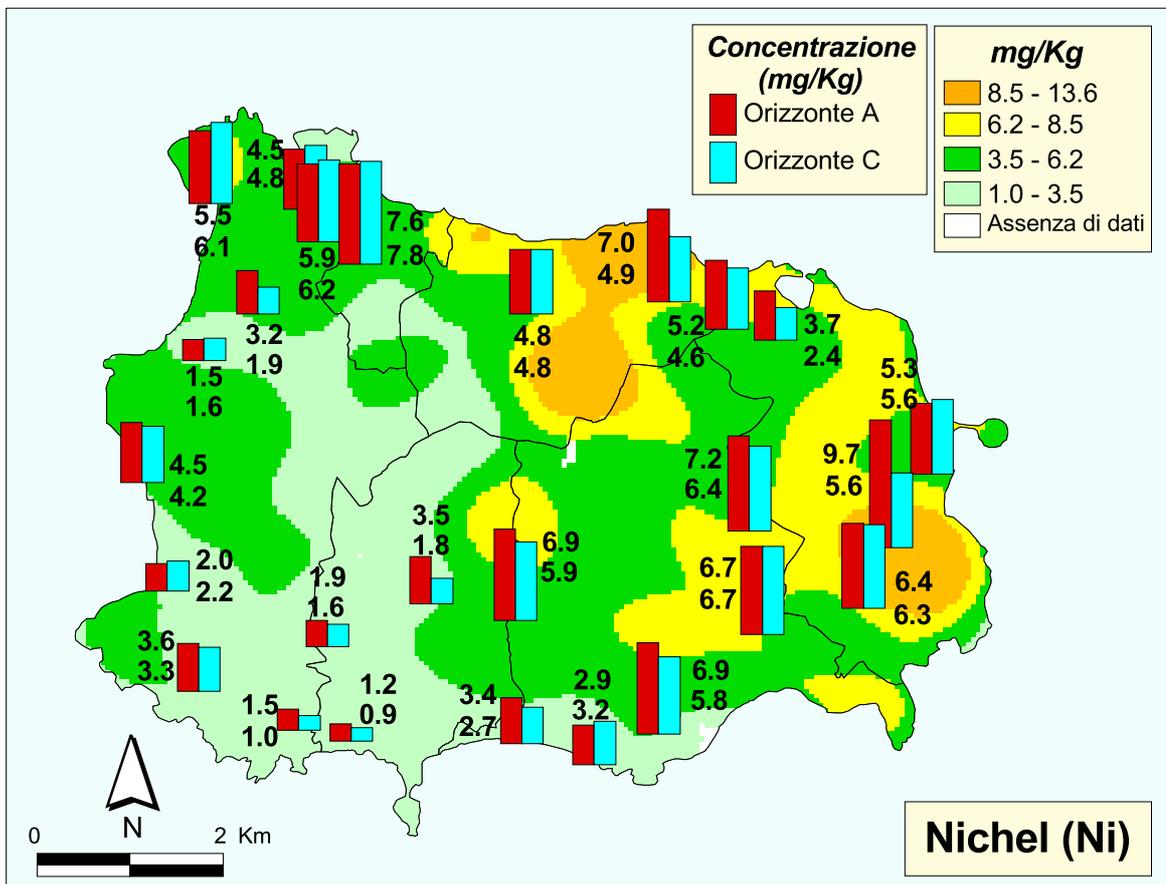


TAVOLA 29G

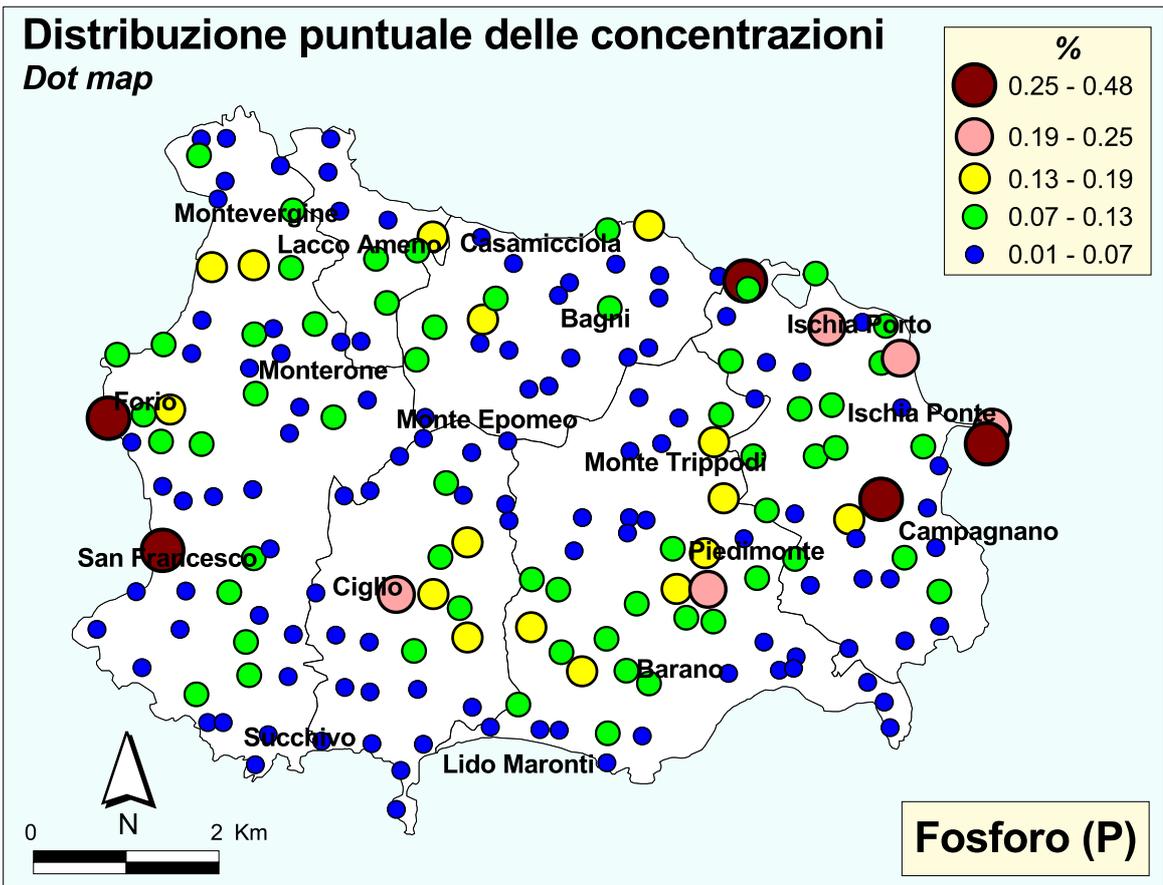


TAVOLA 30A

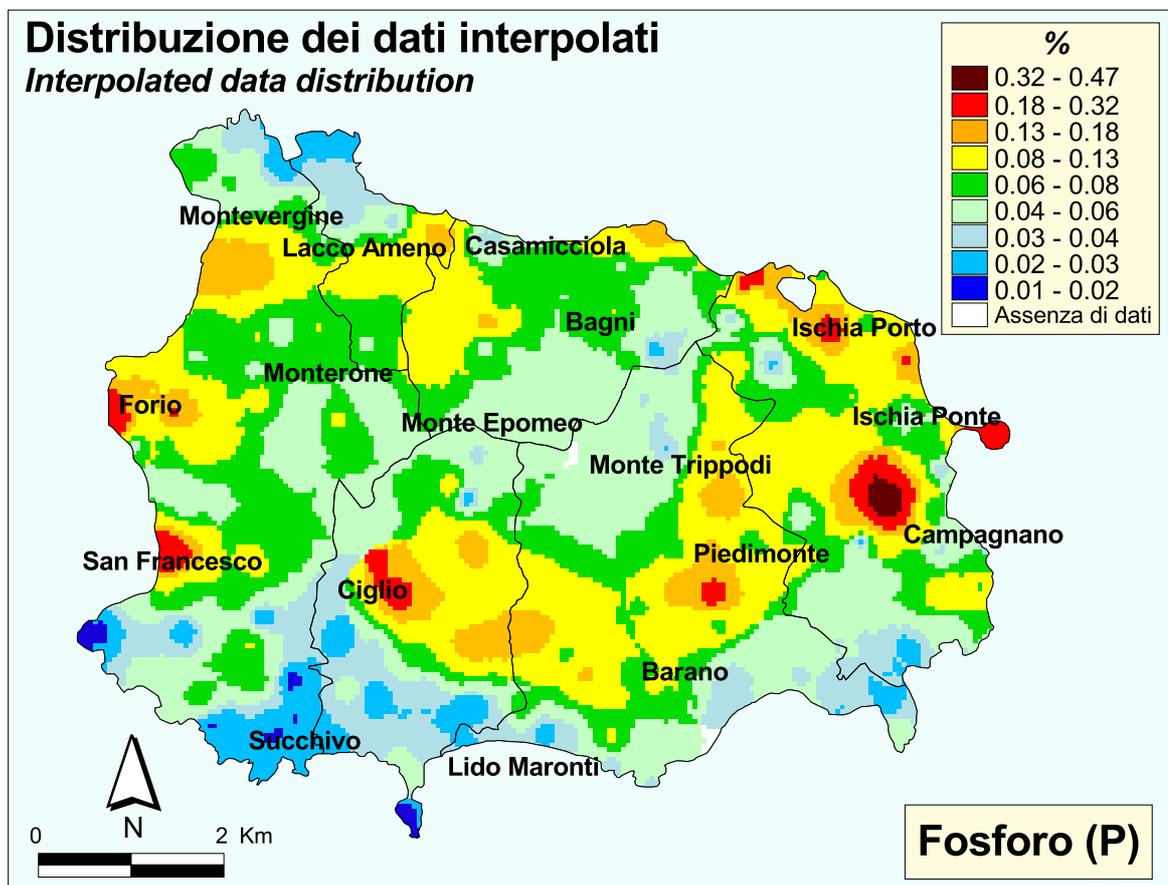


TAVOLA 30B

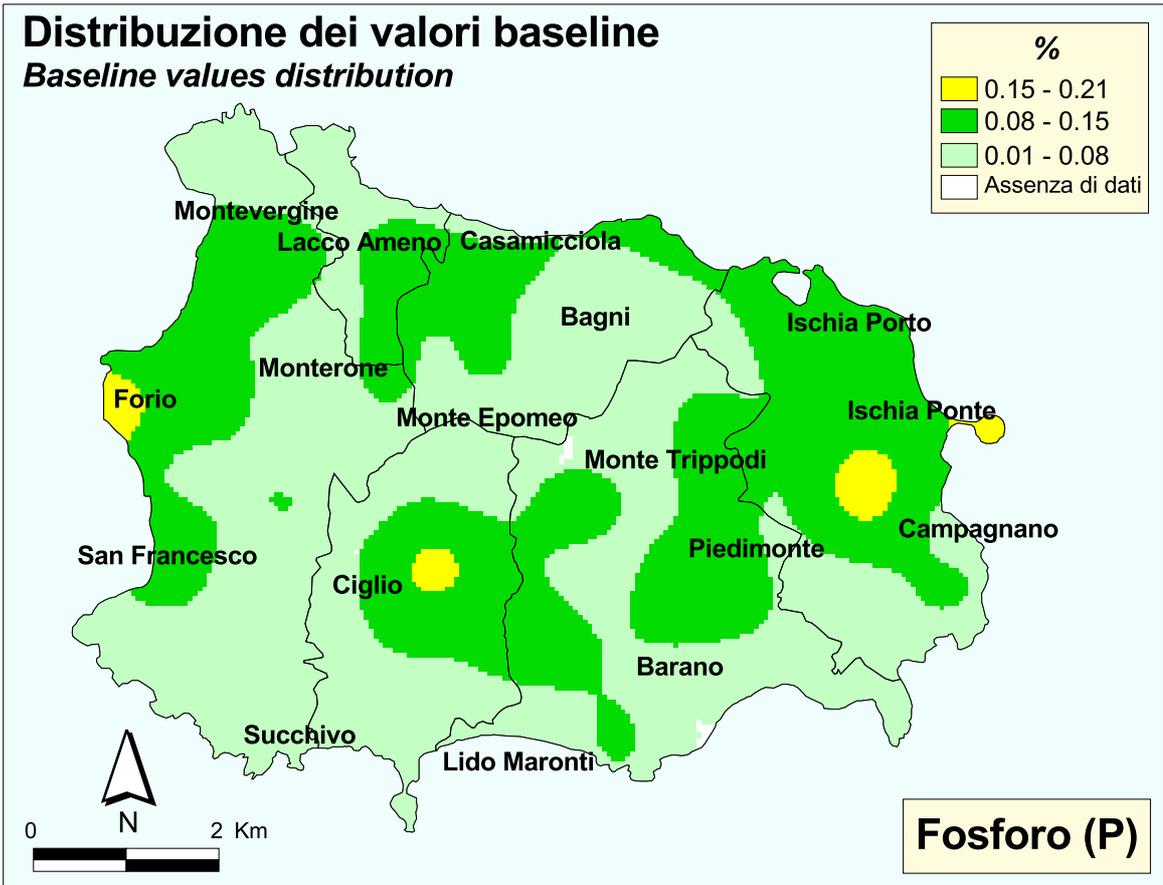


TAVOLA 30C

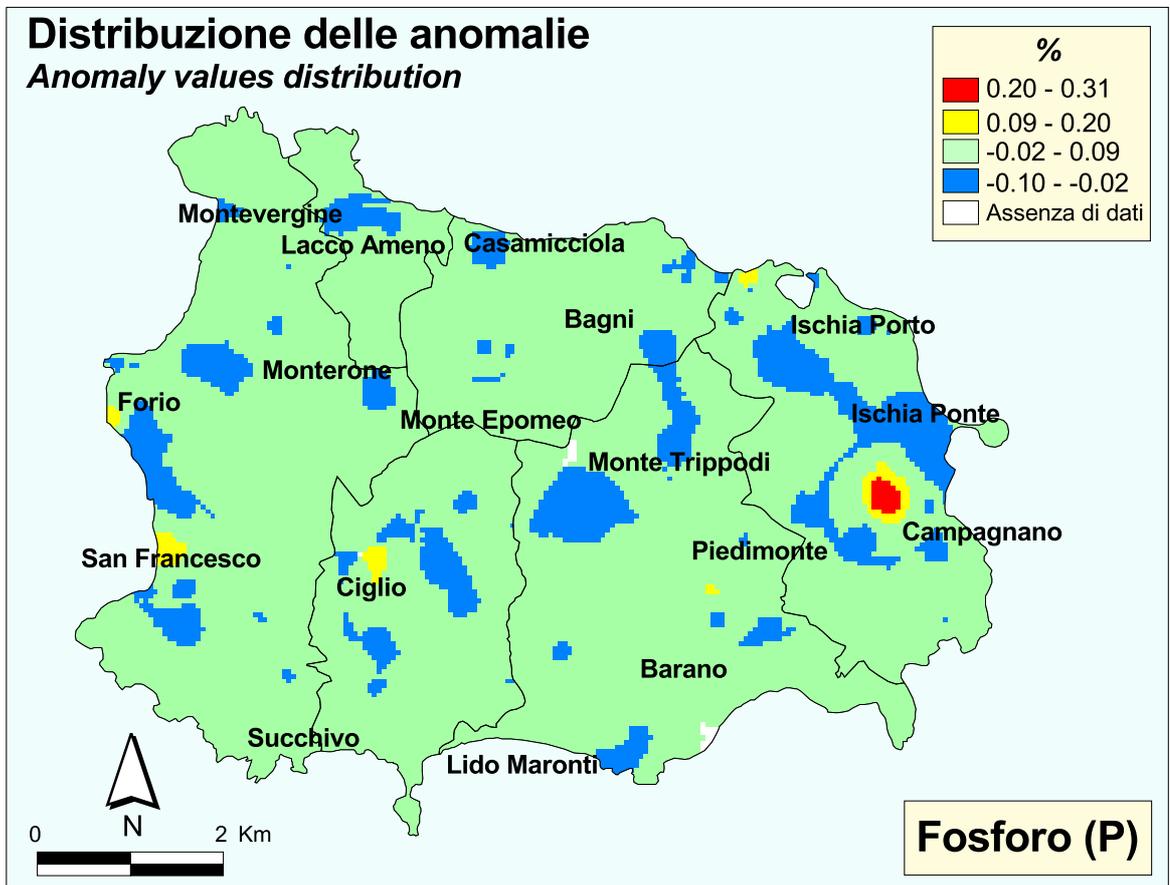


TAVOLA 30D

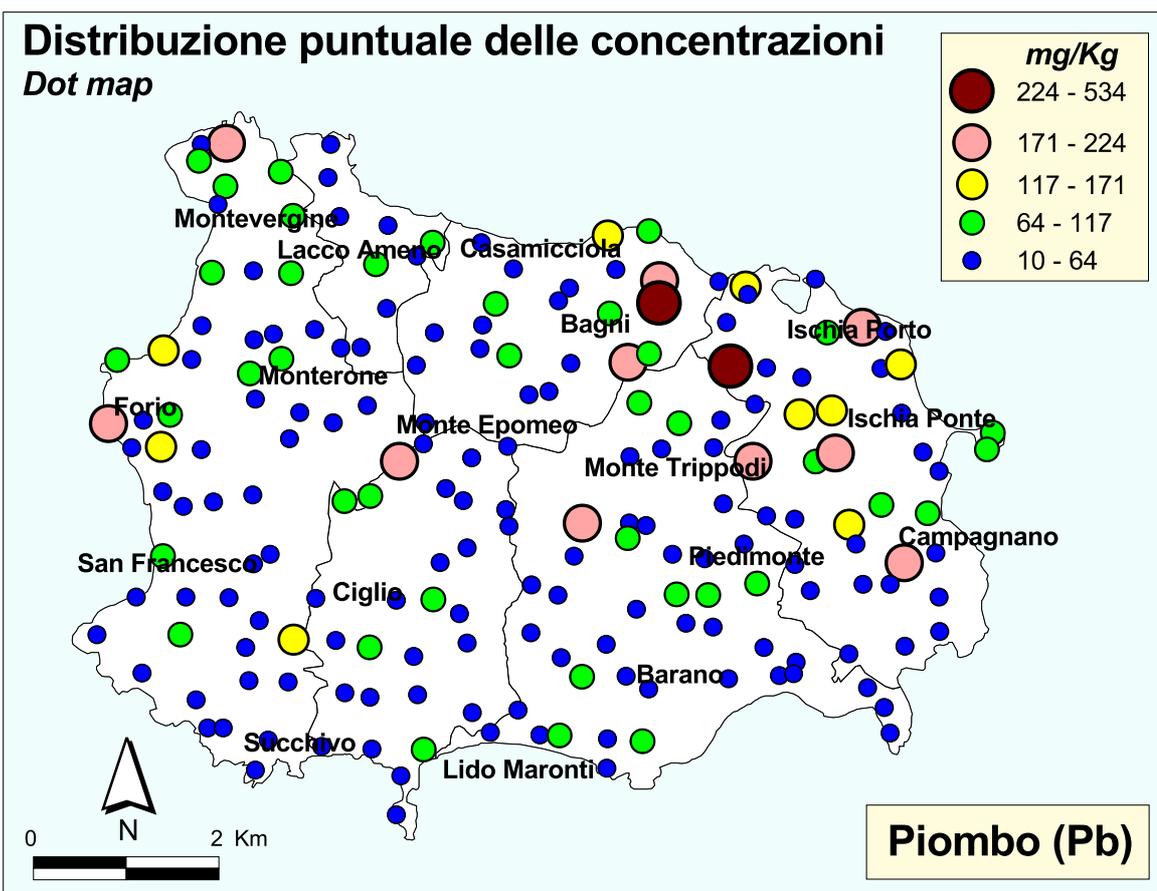


TAVOLA 31A

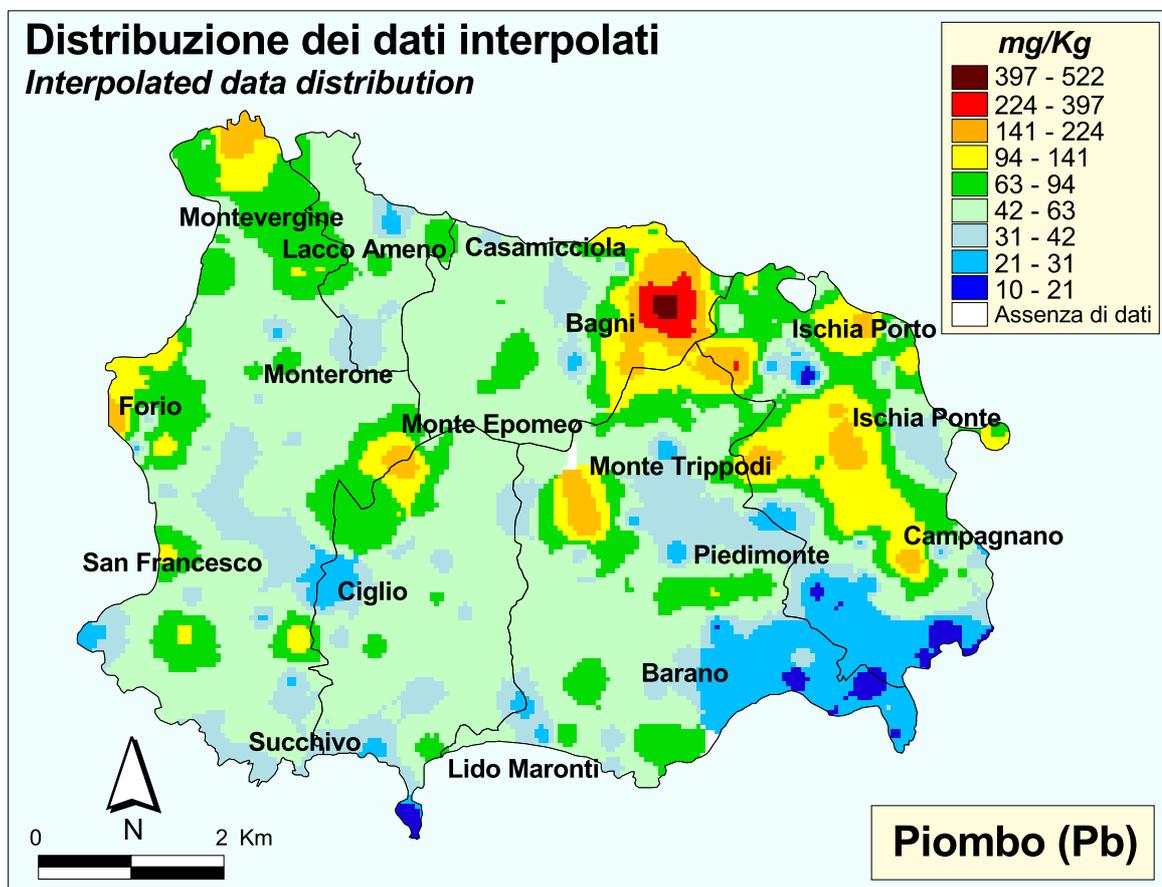


TAVOLA 31B

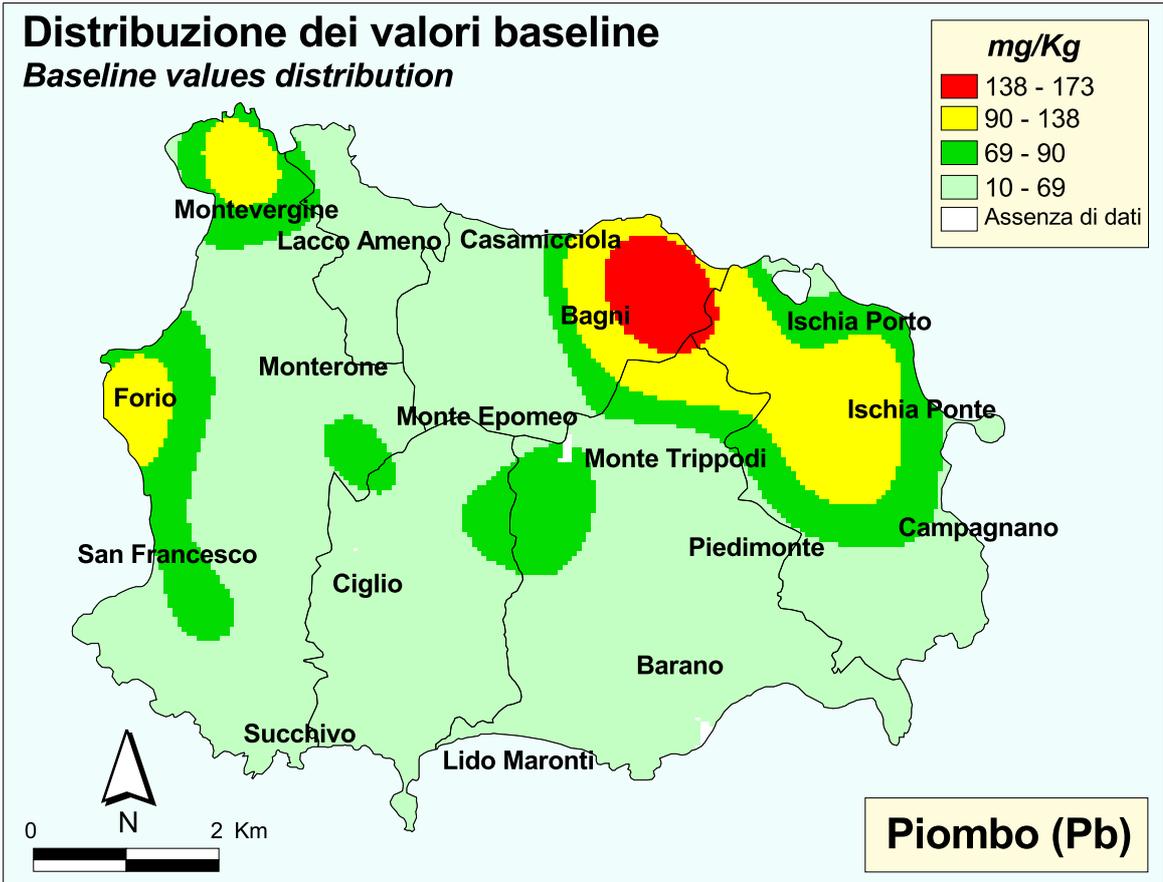


TAVOLA 31C

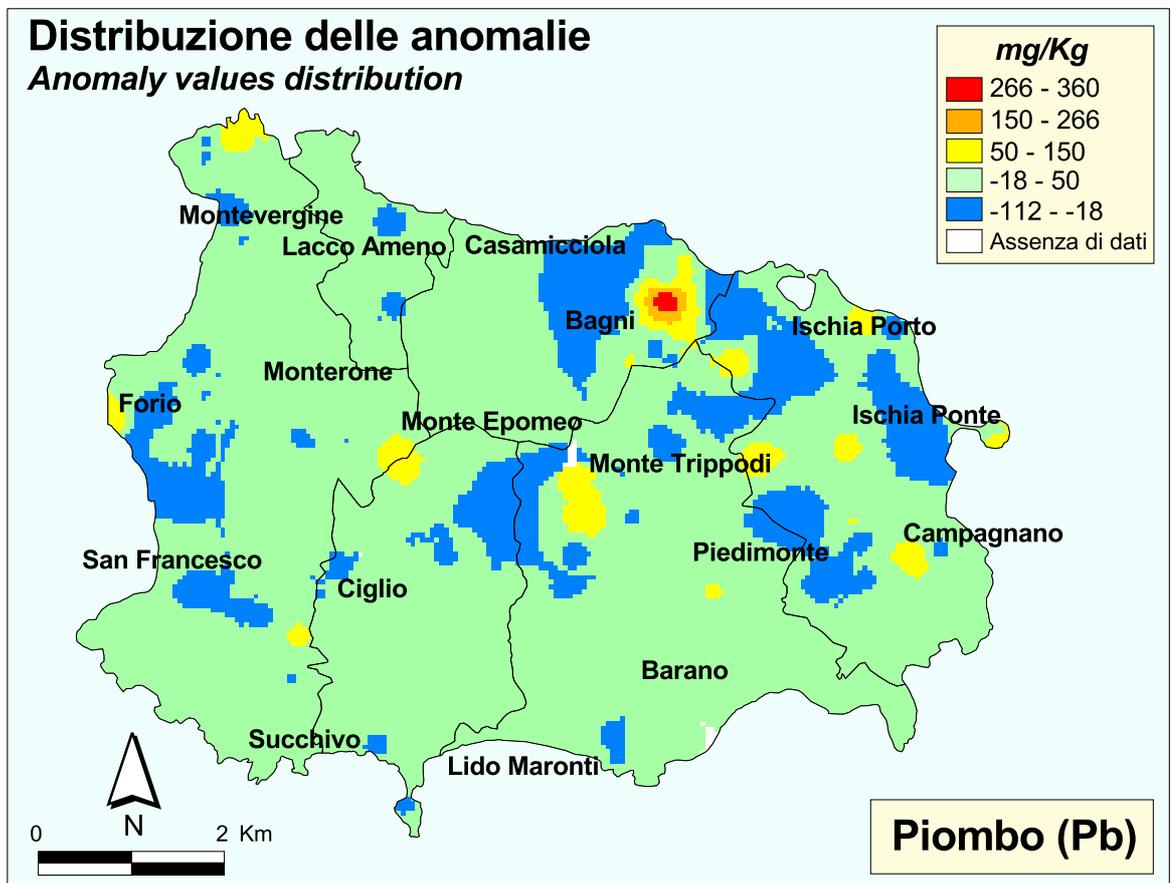


TAVOLA 31D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

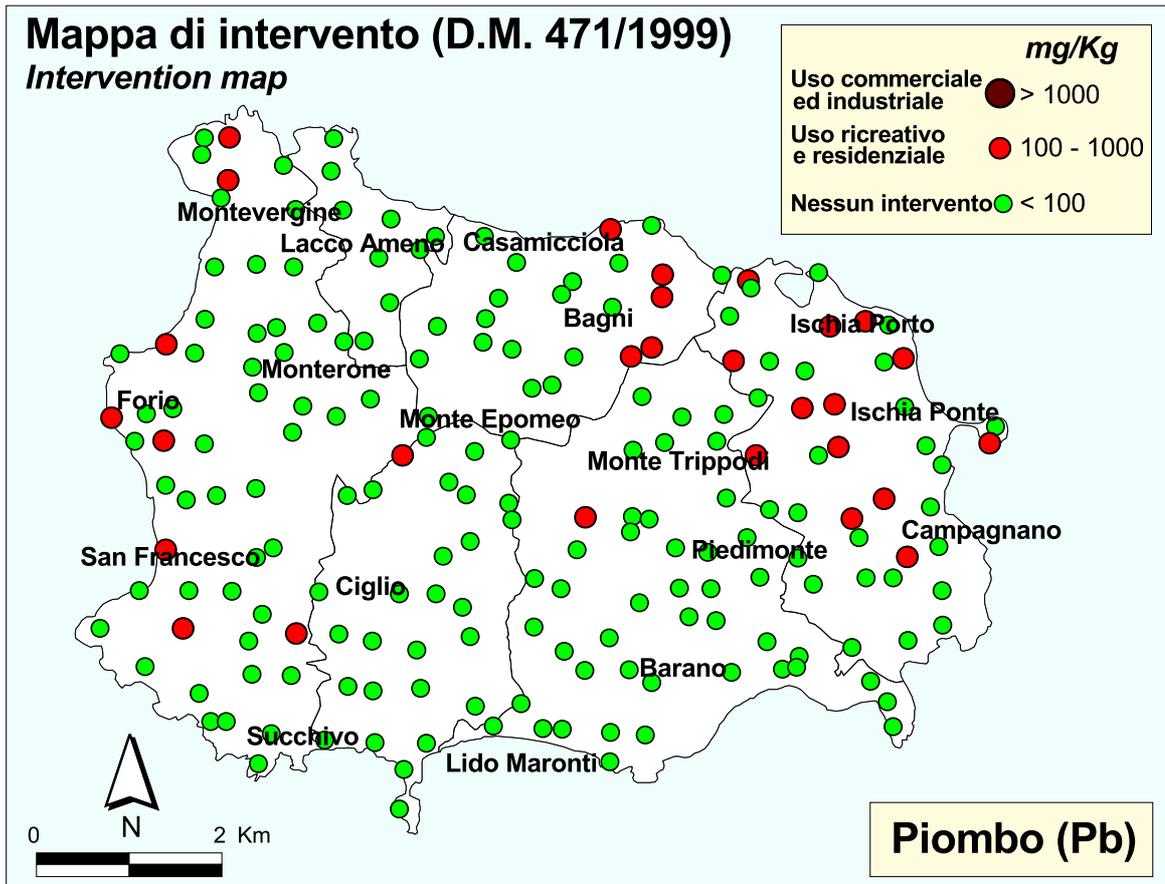


TAVOLA 31E

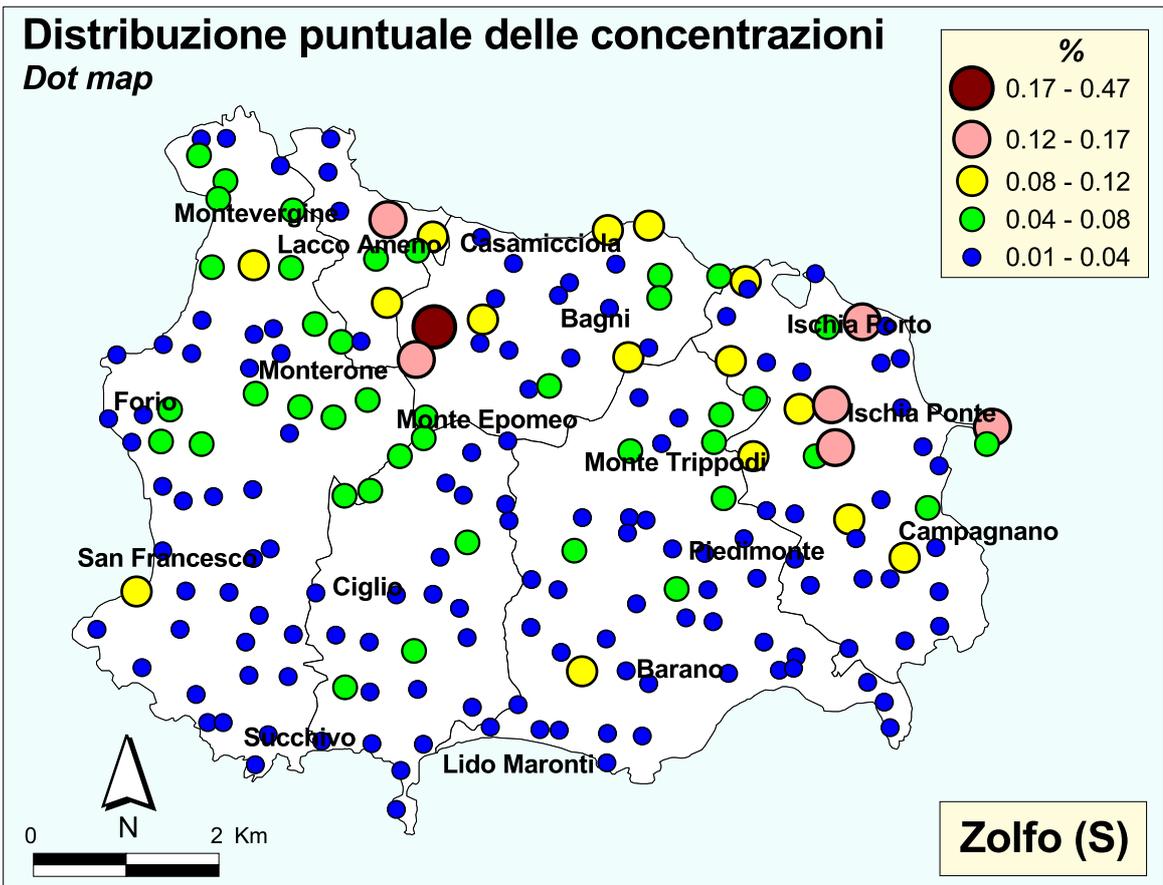


TAVOLA 32A

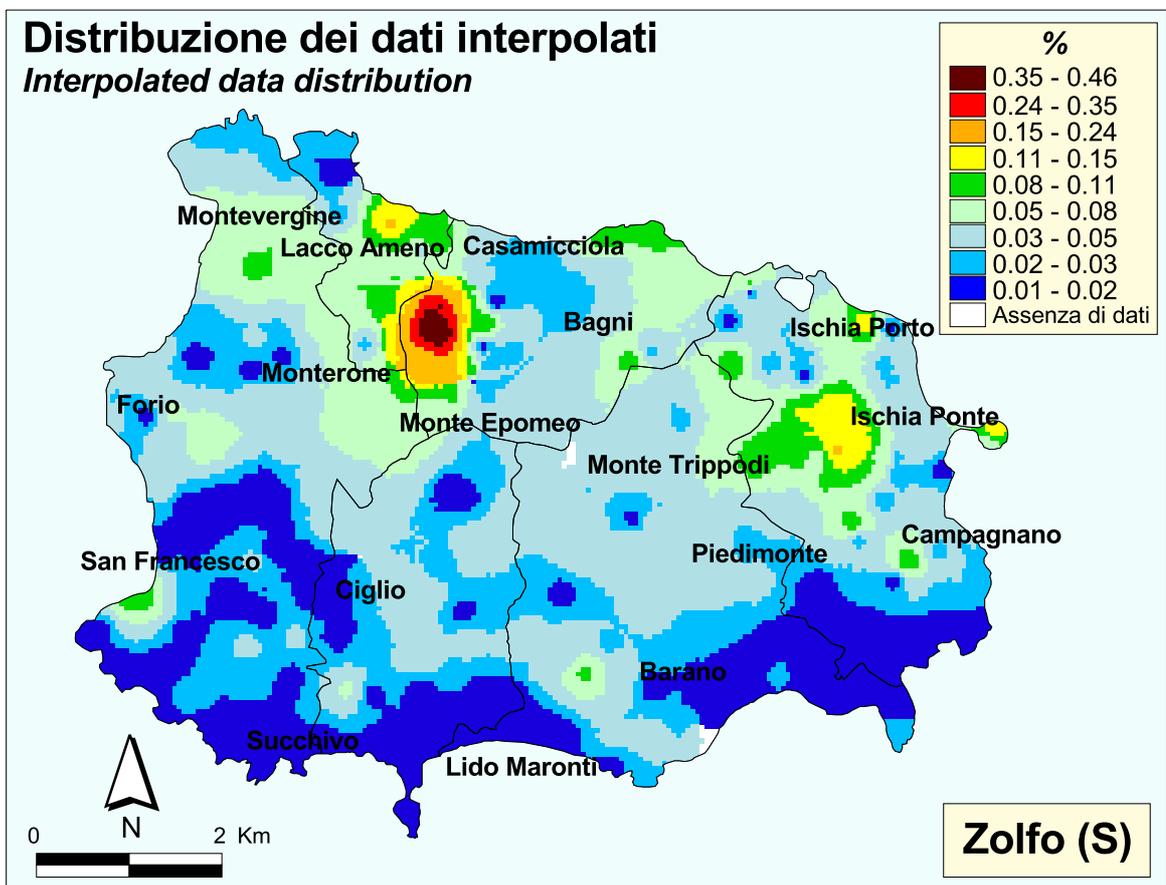


TAVOLA 32B

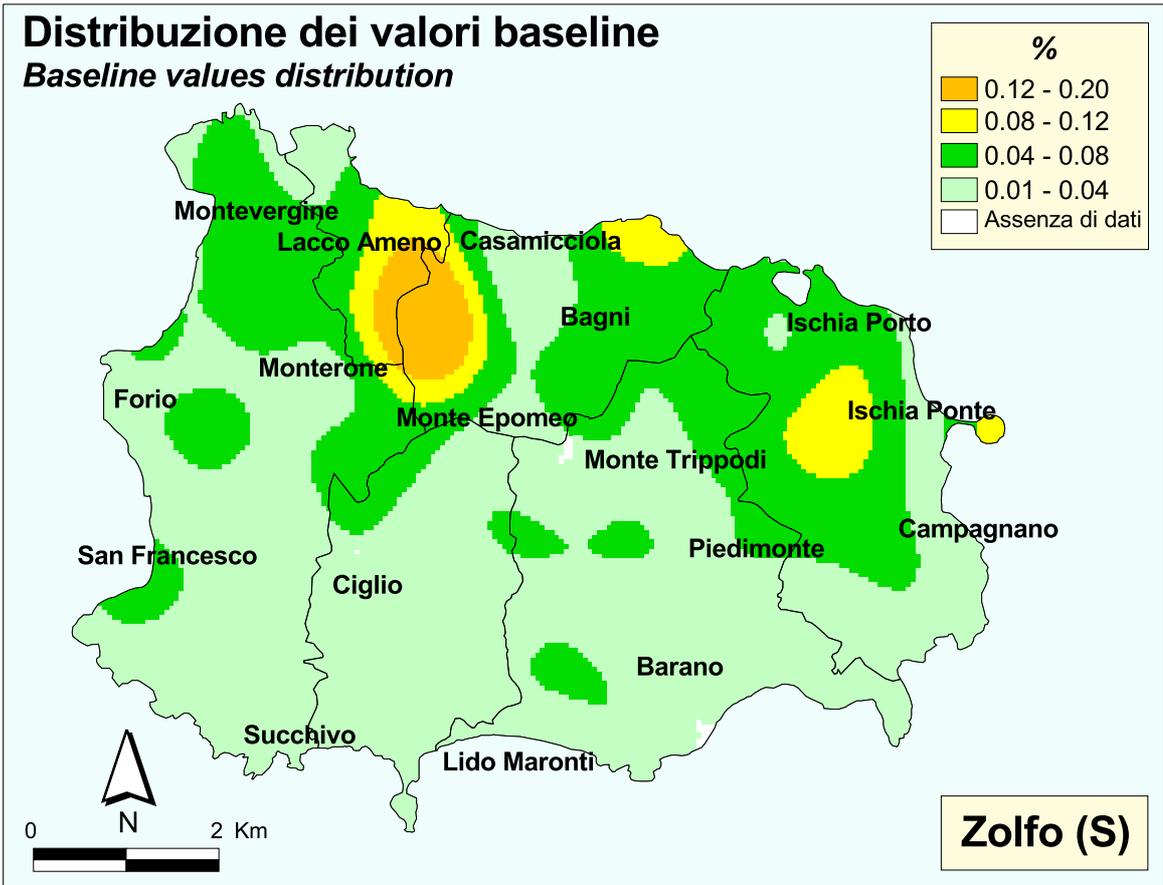


TAVOLA 32C

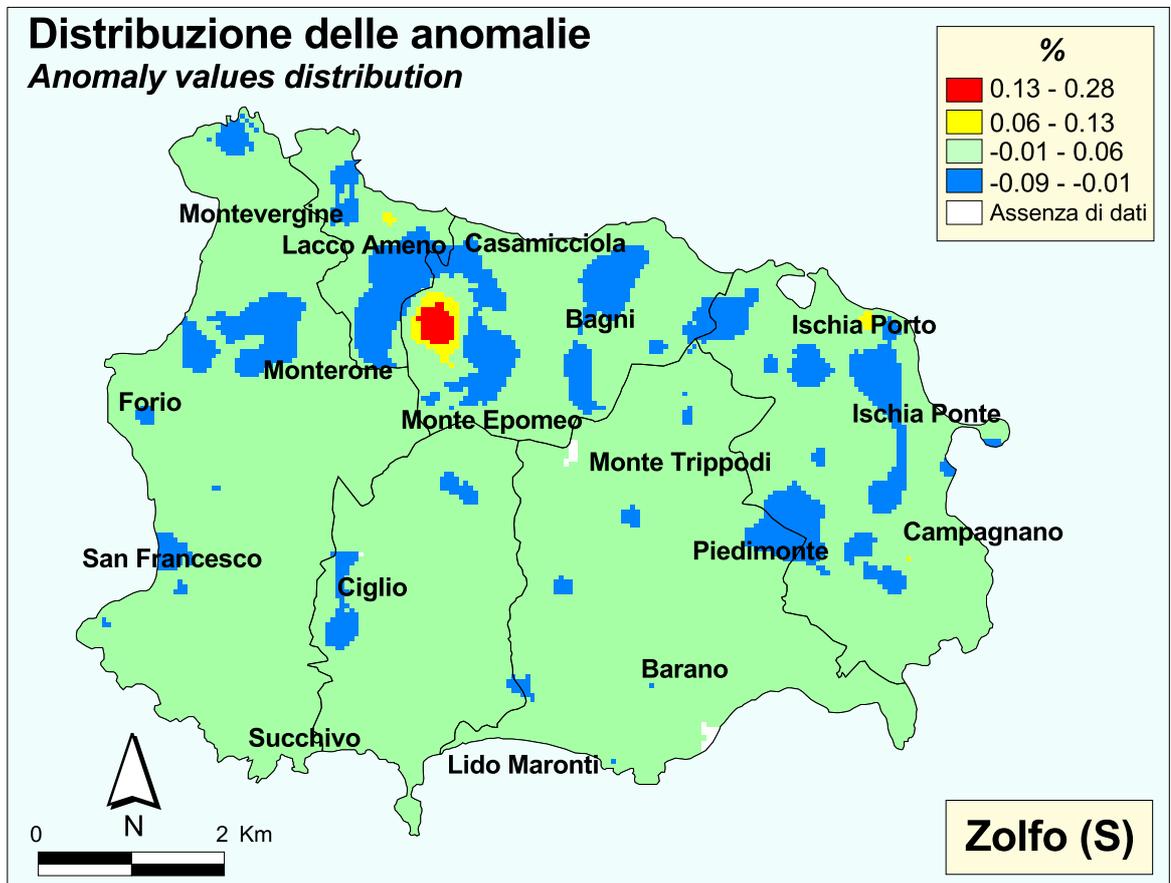


TAVOLA 32D

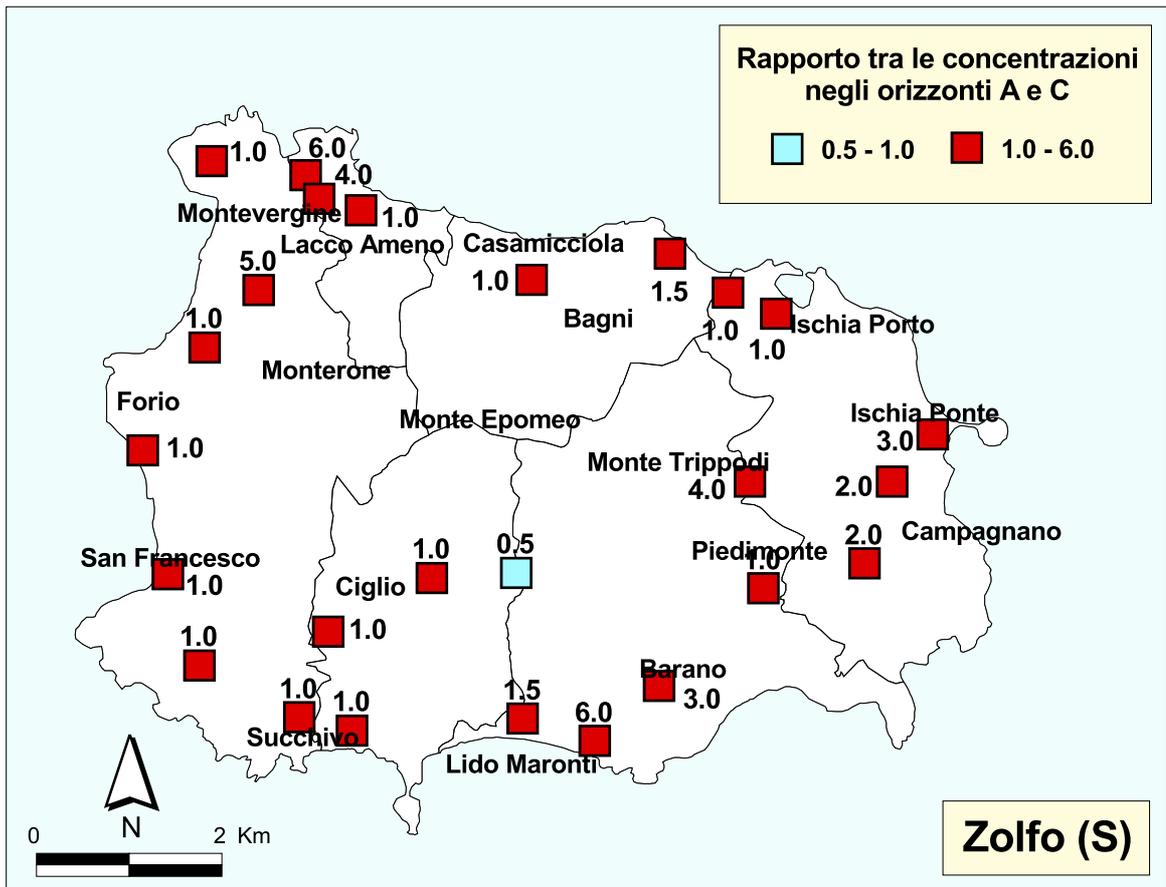


TAVOLA 32E

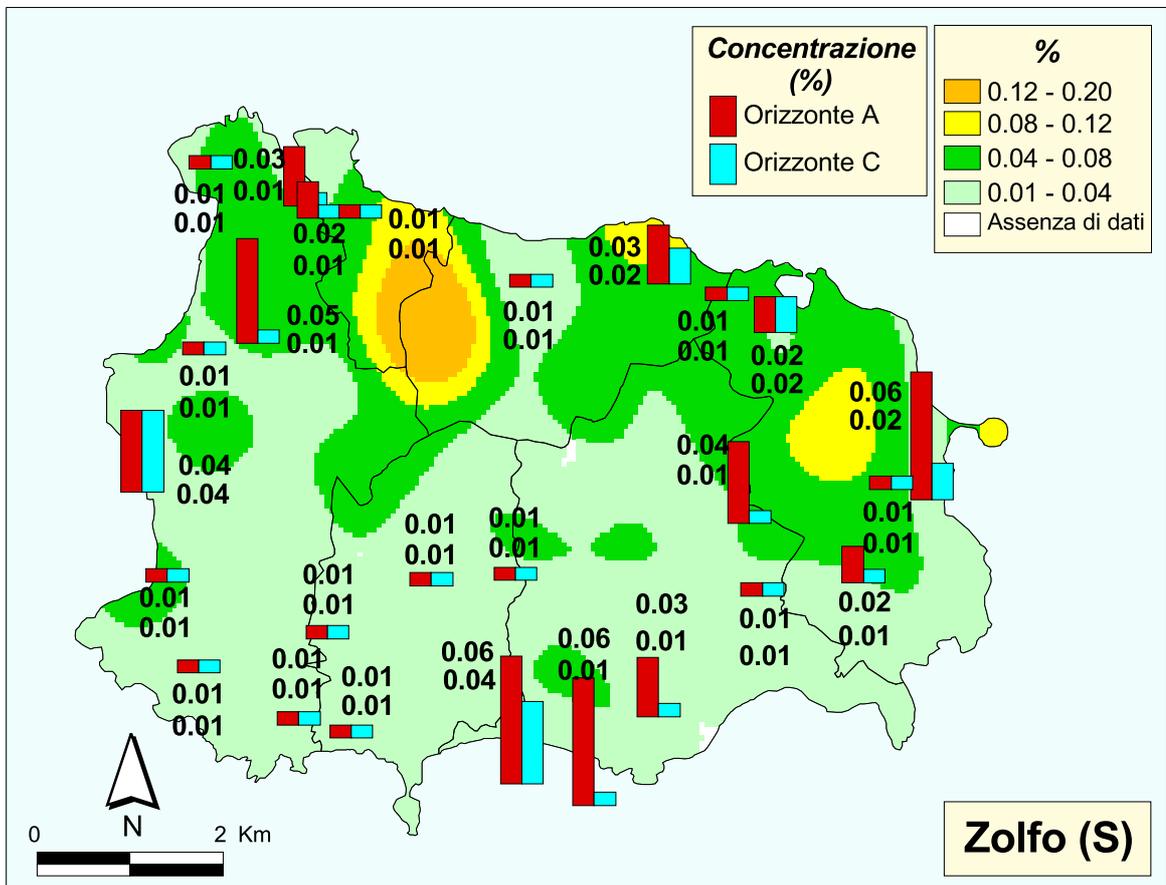


TAVOLA 32F

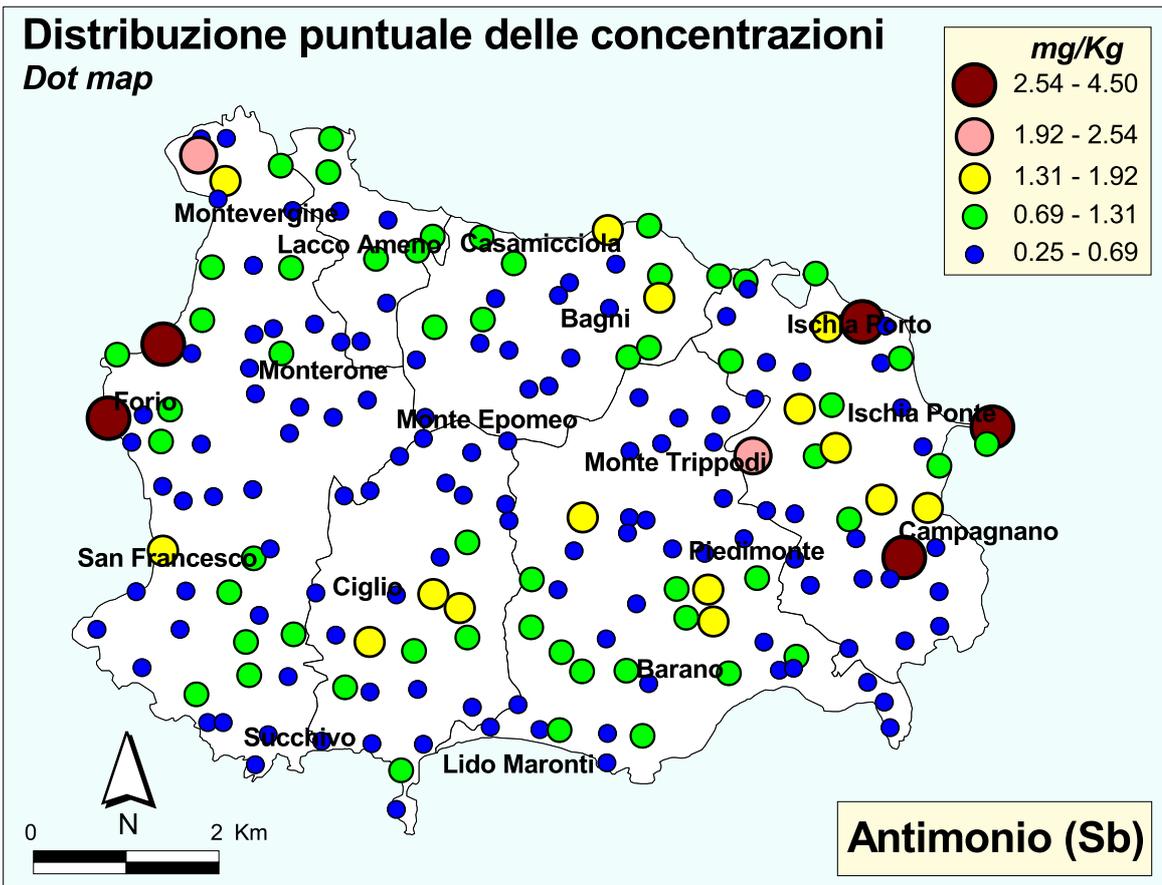


TAVOLA 33A

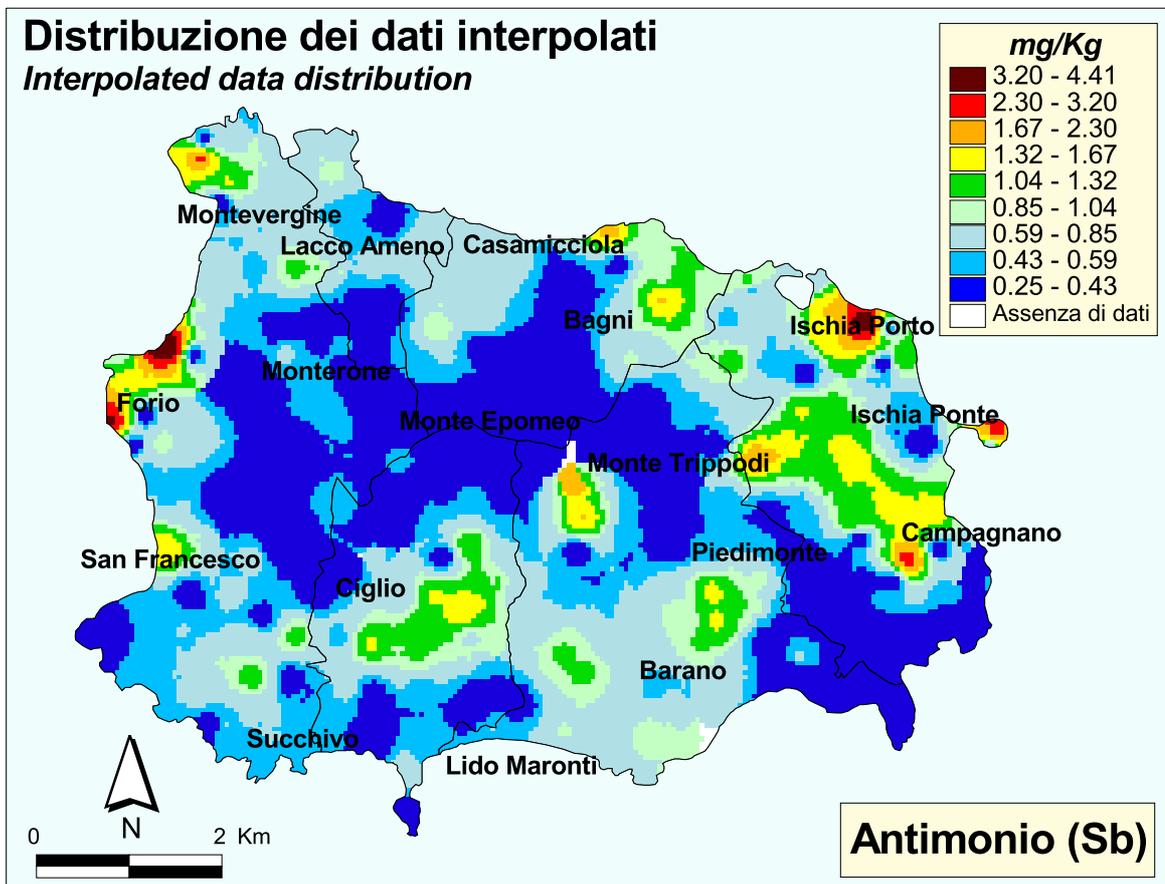


TAVOLA 33B

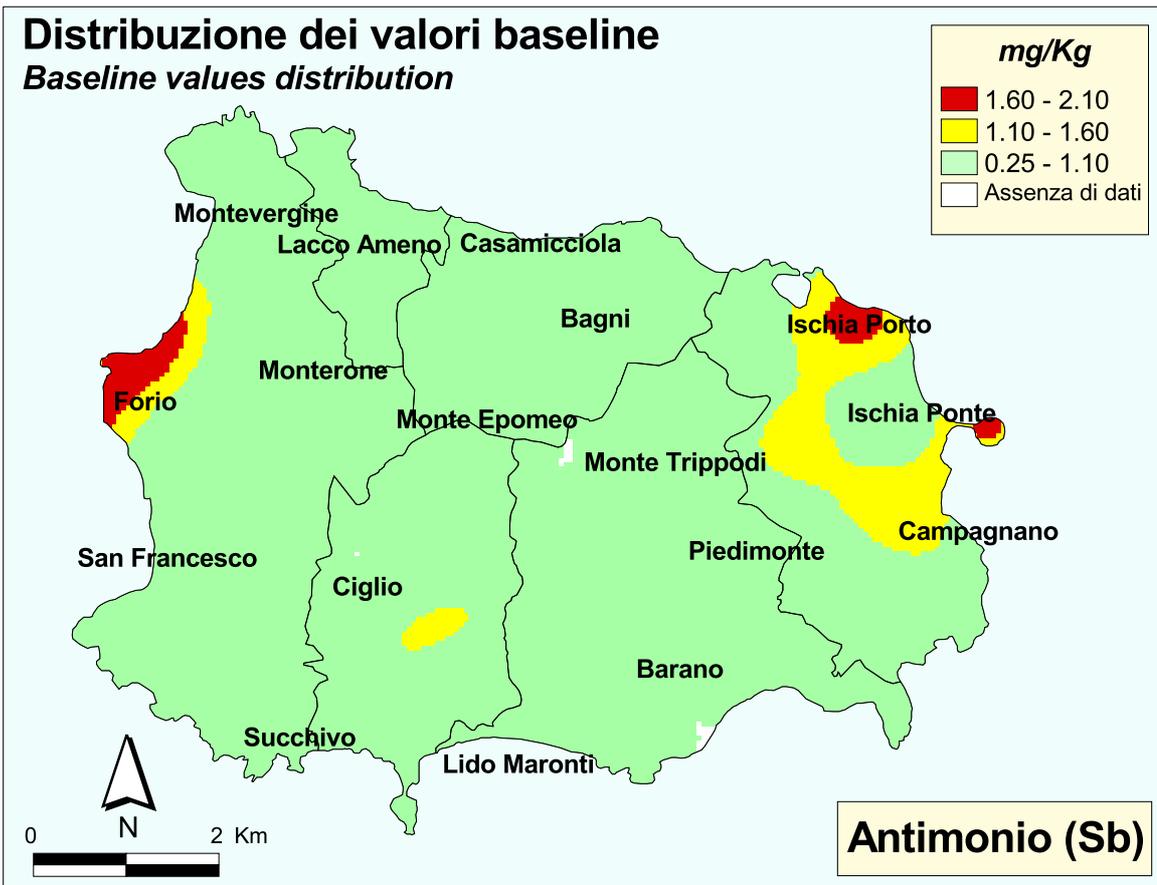


TAVOLA 33C

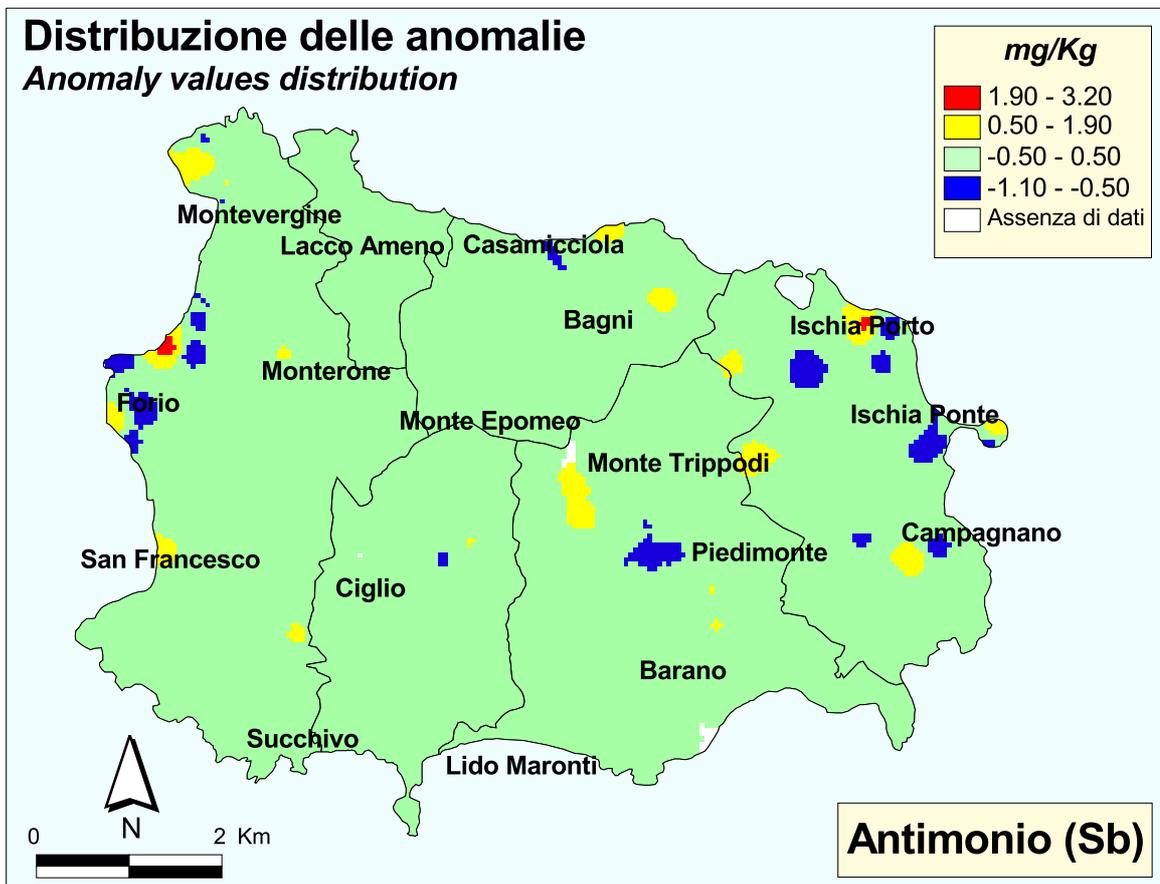


TAVOLA 33D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

	<i>mg/Kg</i>
Usò commerciale ed industriale	● > 30
Usò ricreativo e residenziale	● 10 - 30
Nessun intervento	● < 10

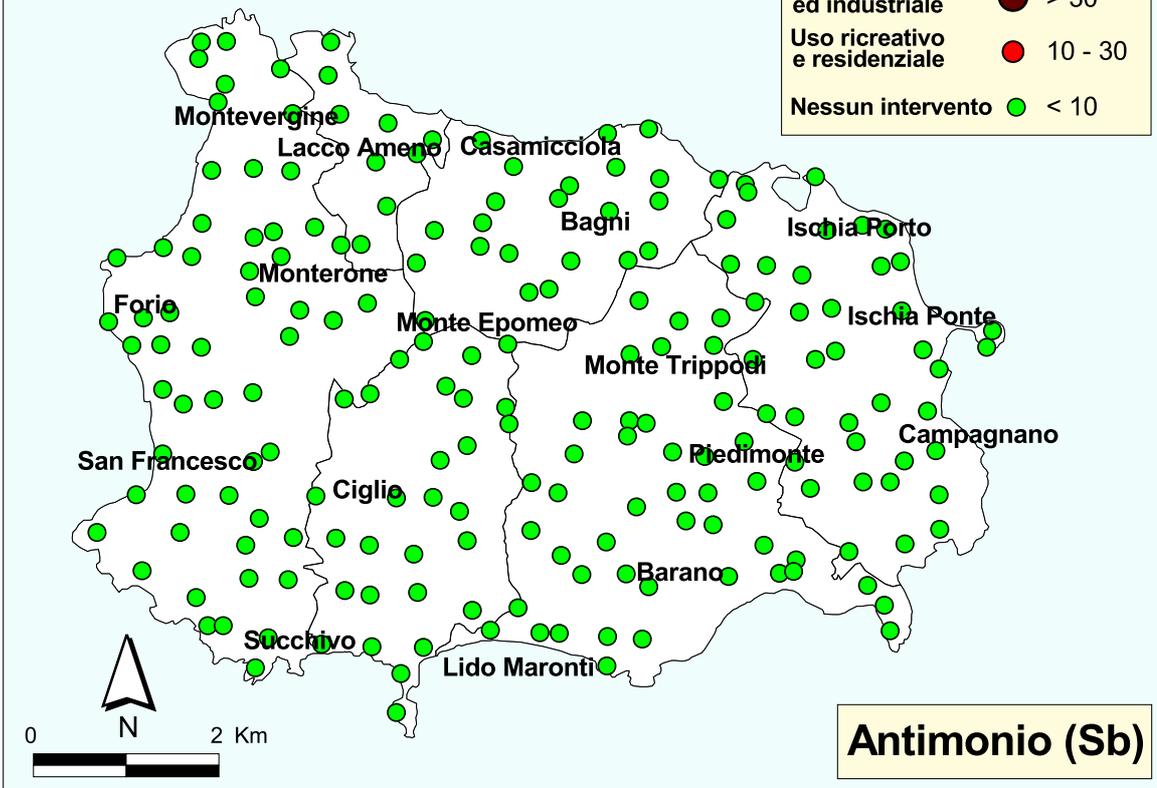


TAVOLA 33E

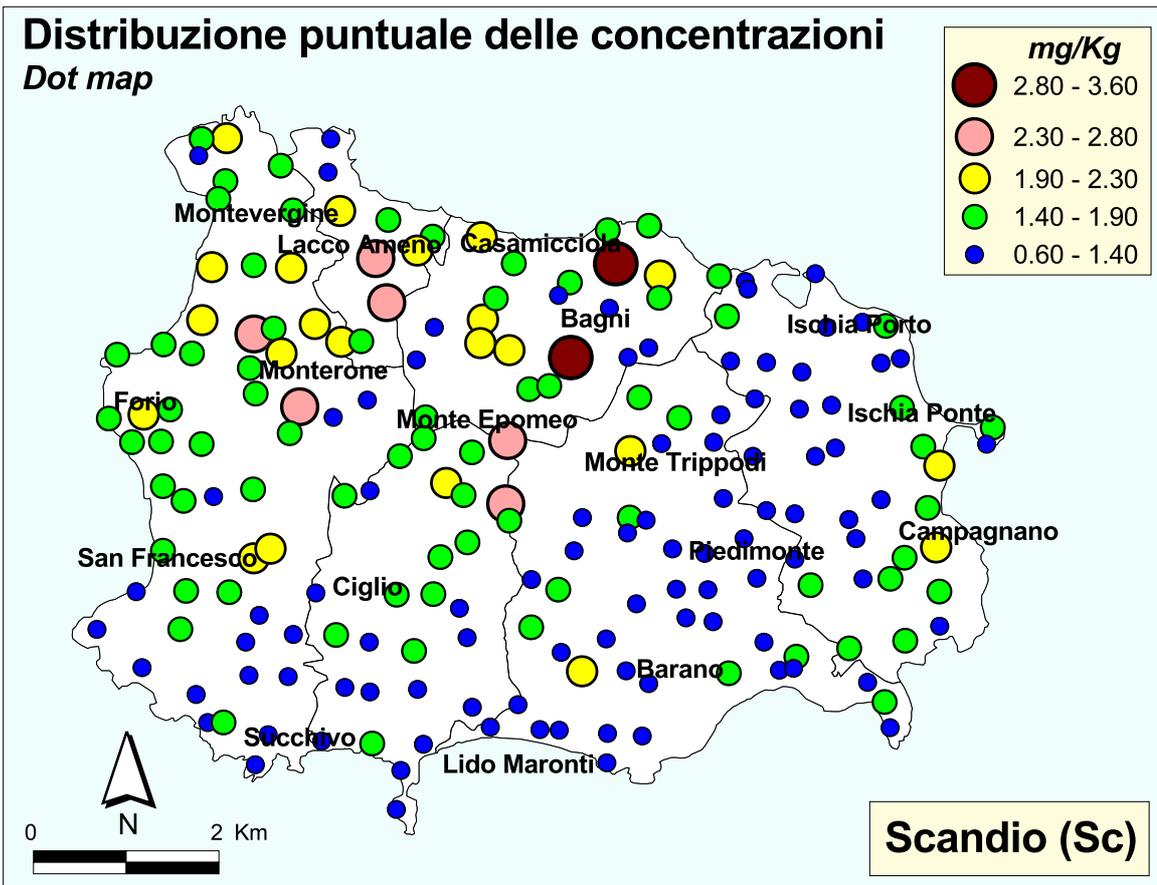


TAVOLA 34A

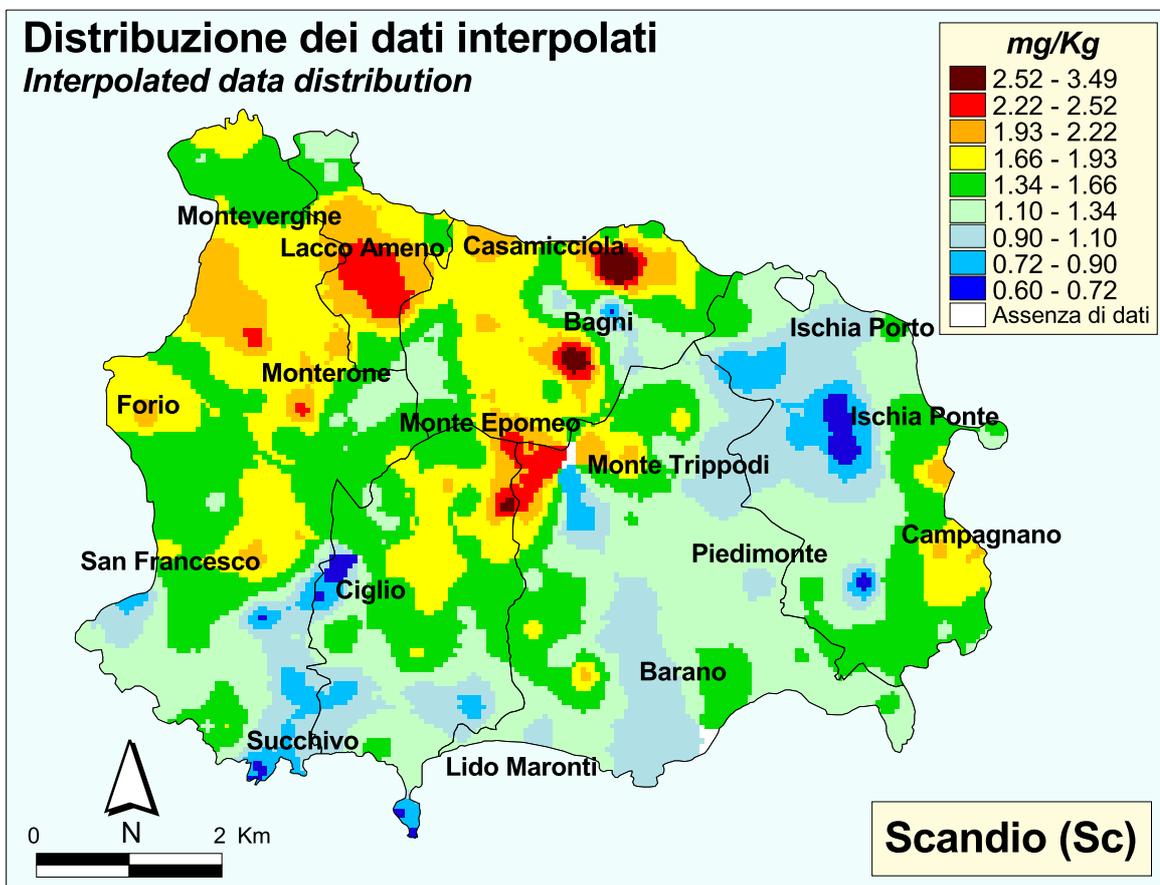


TAVOLA 34B

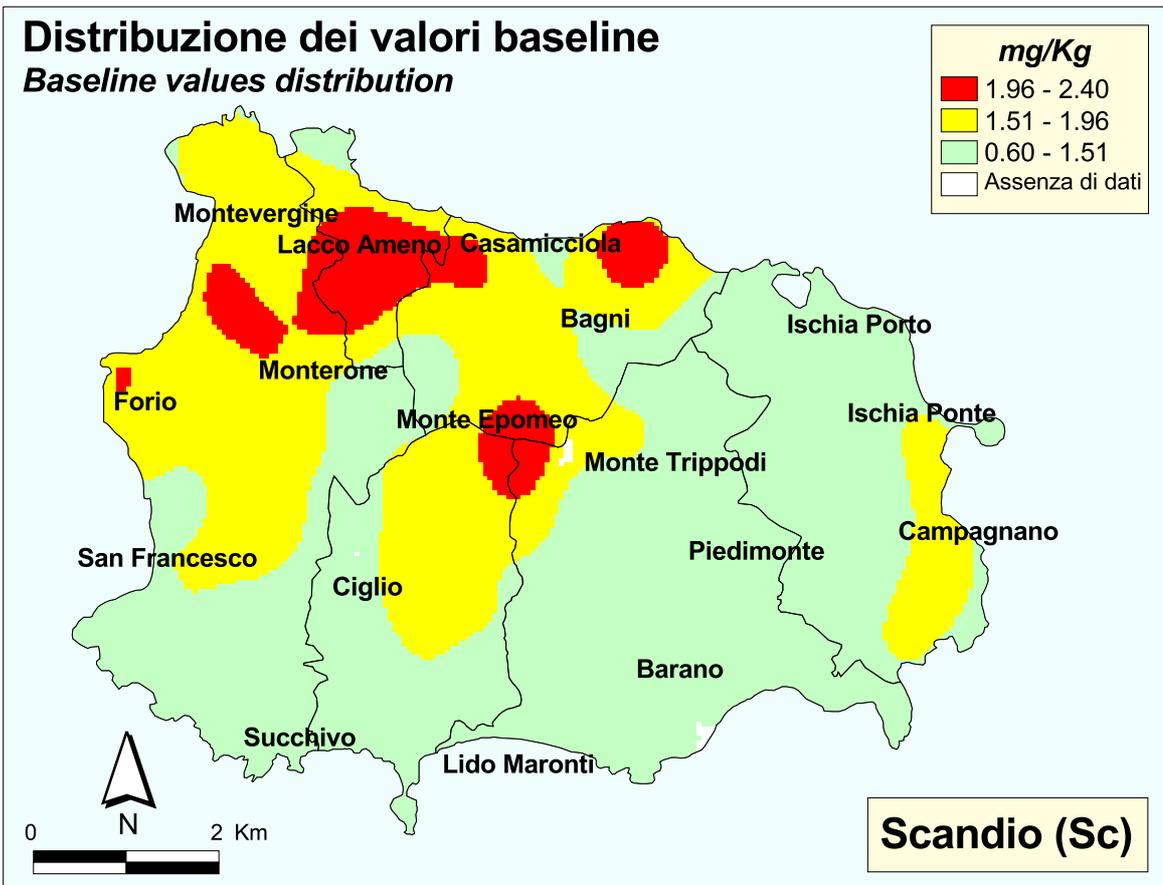


TAVOLA 34C

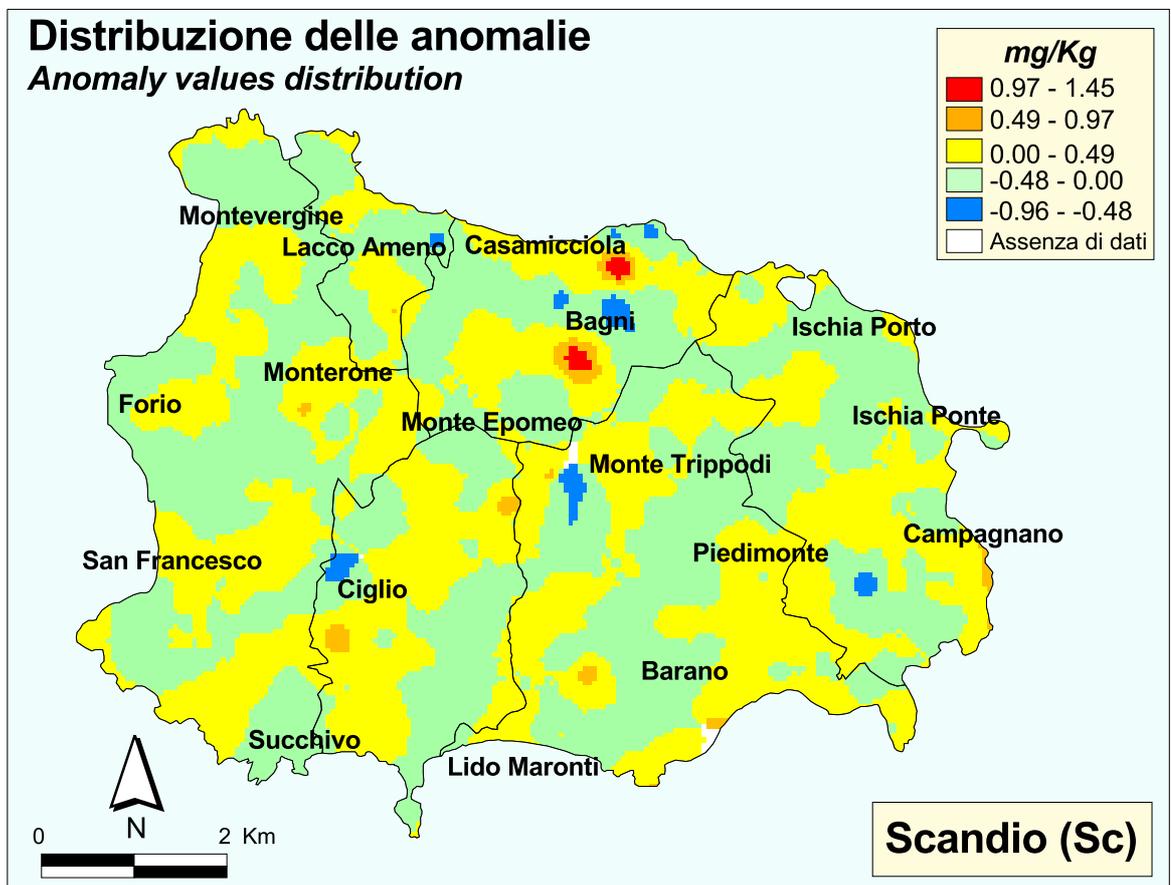


TAVOLA 34D

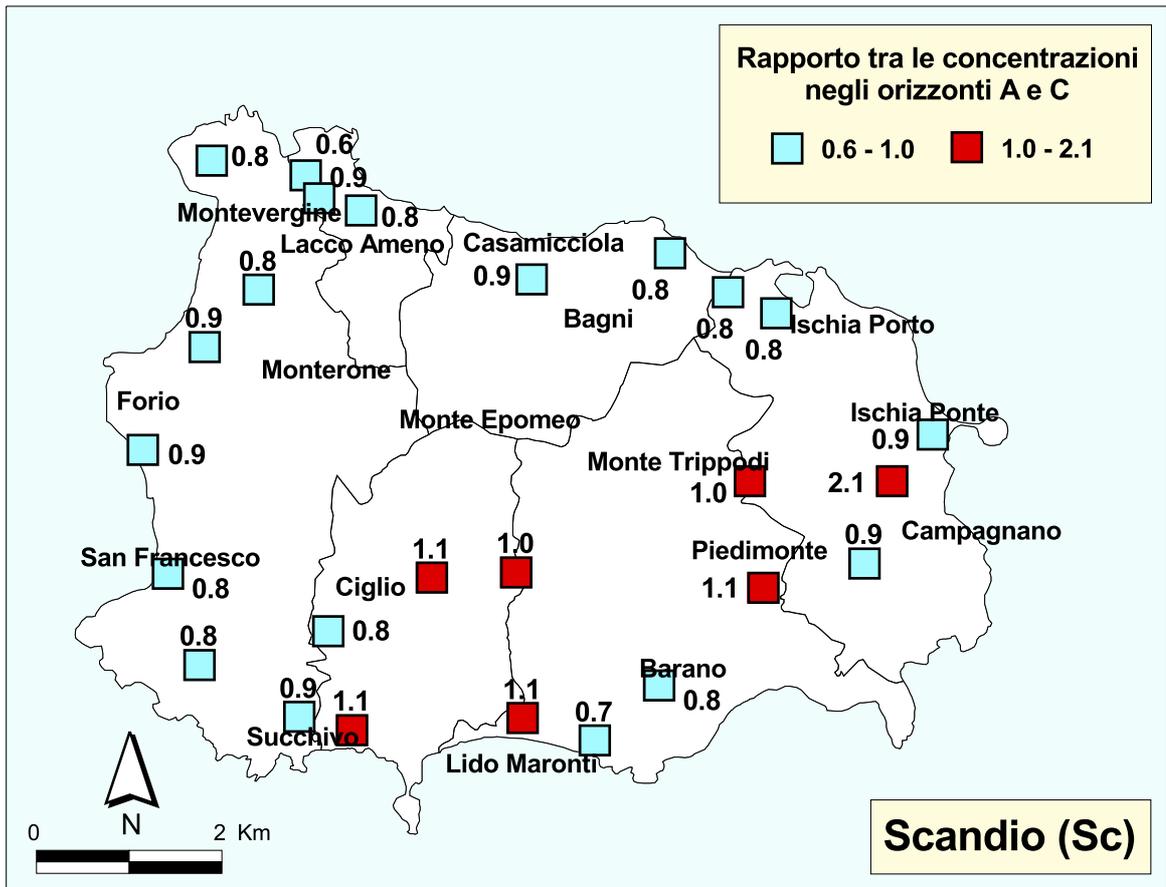


TAVOLA 34E

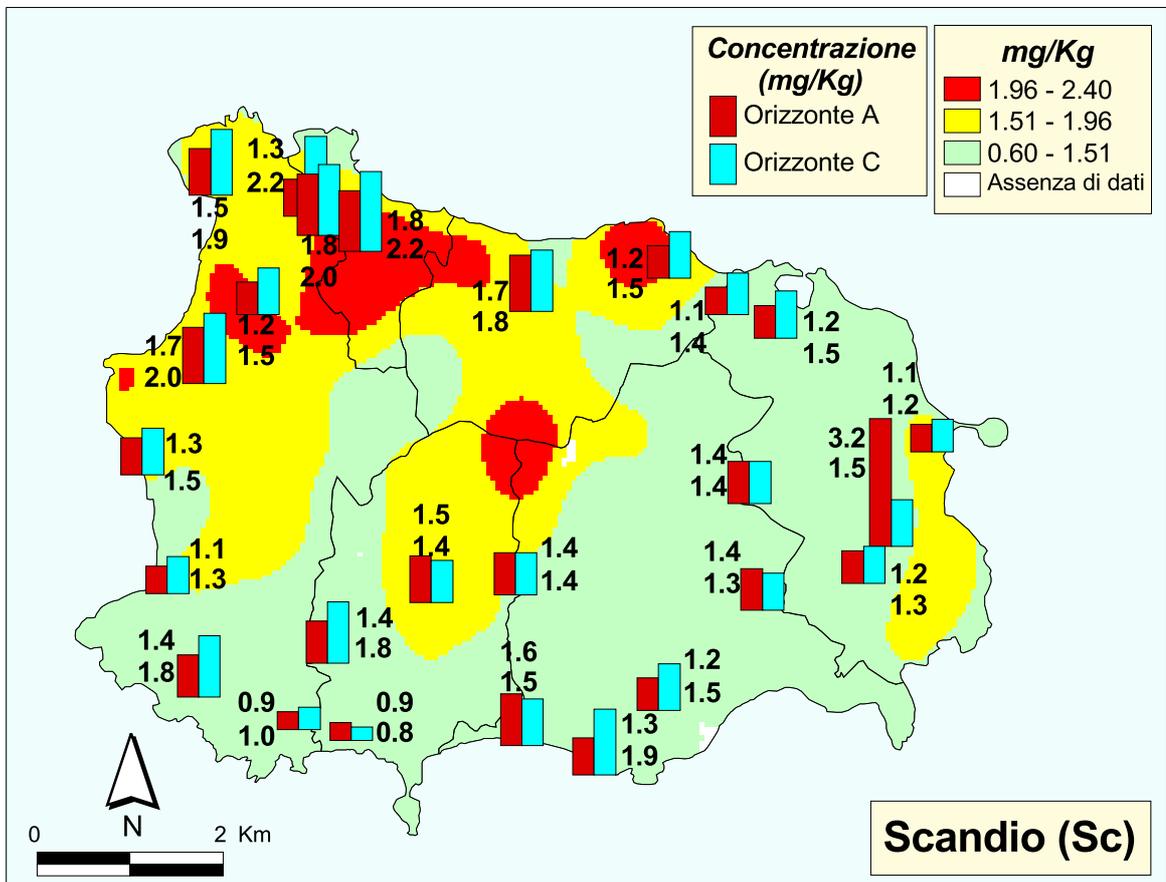


TAVOLA 34F

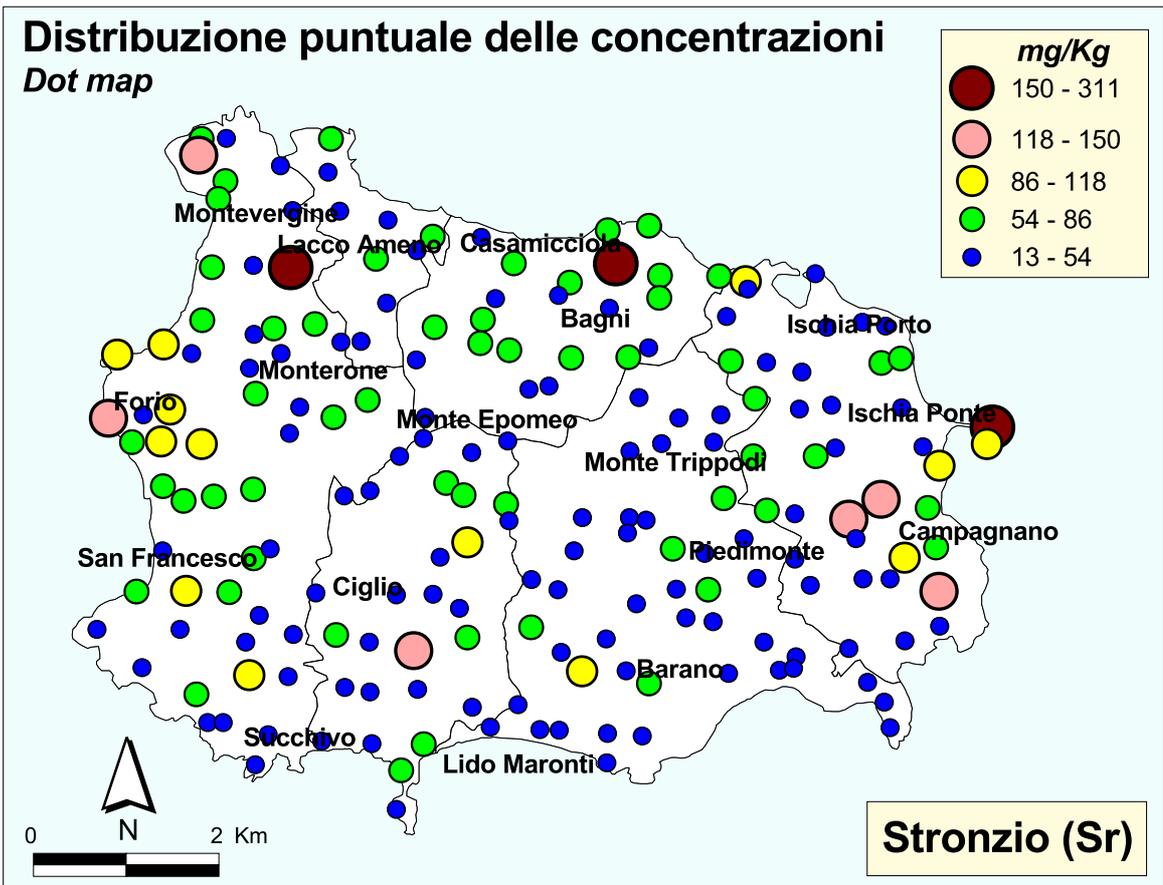


TAVOLA 35A

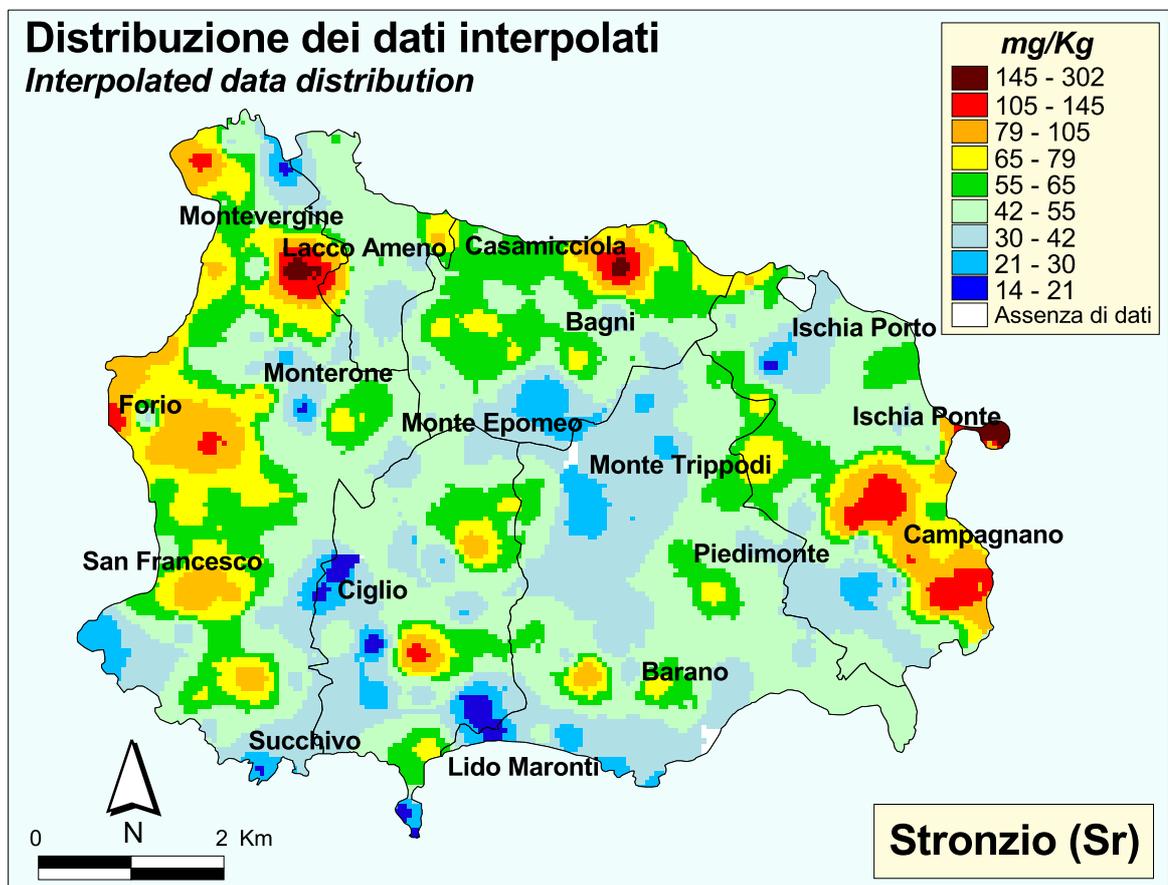


TAVOLA 35B

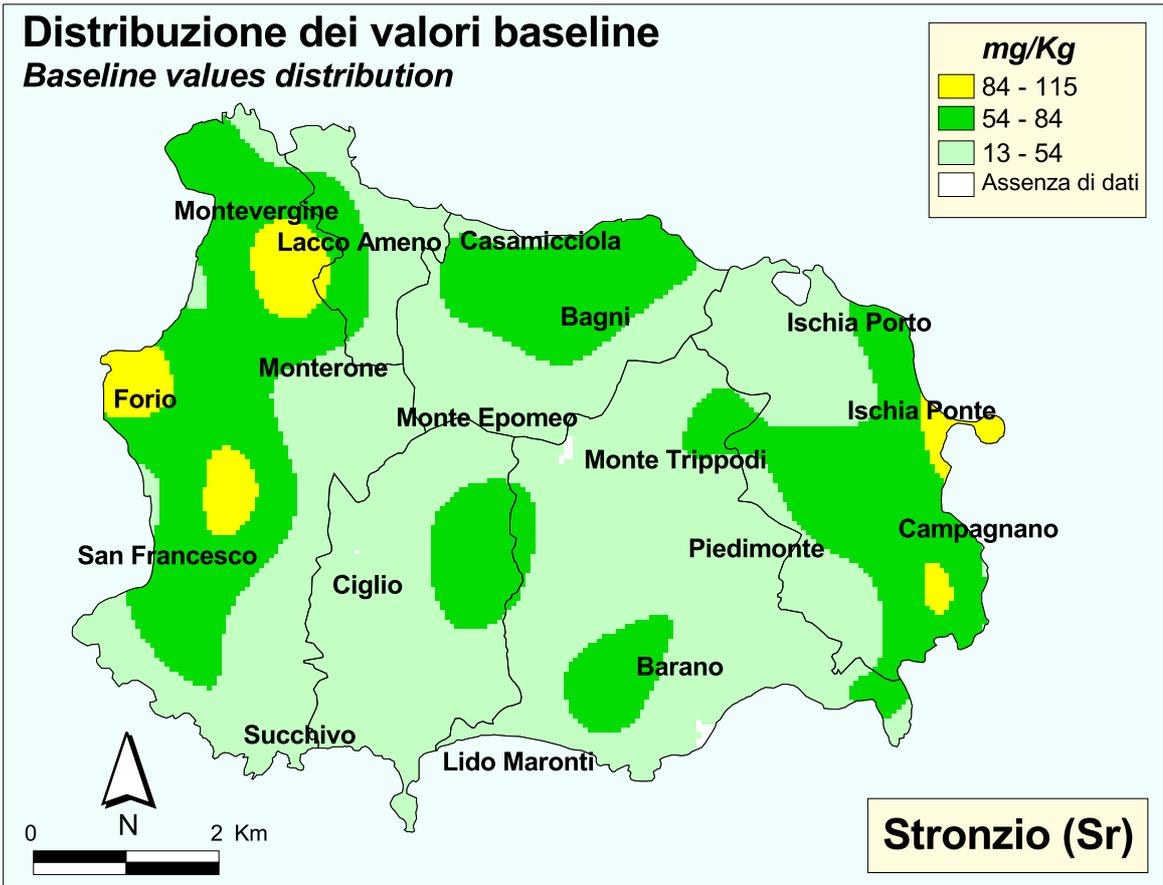


TAVOLA 35C

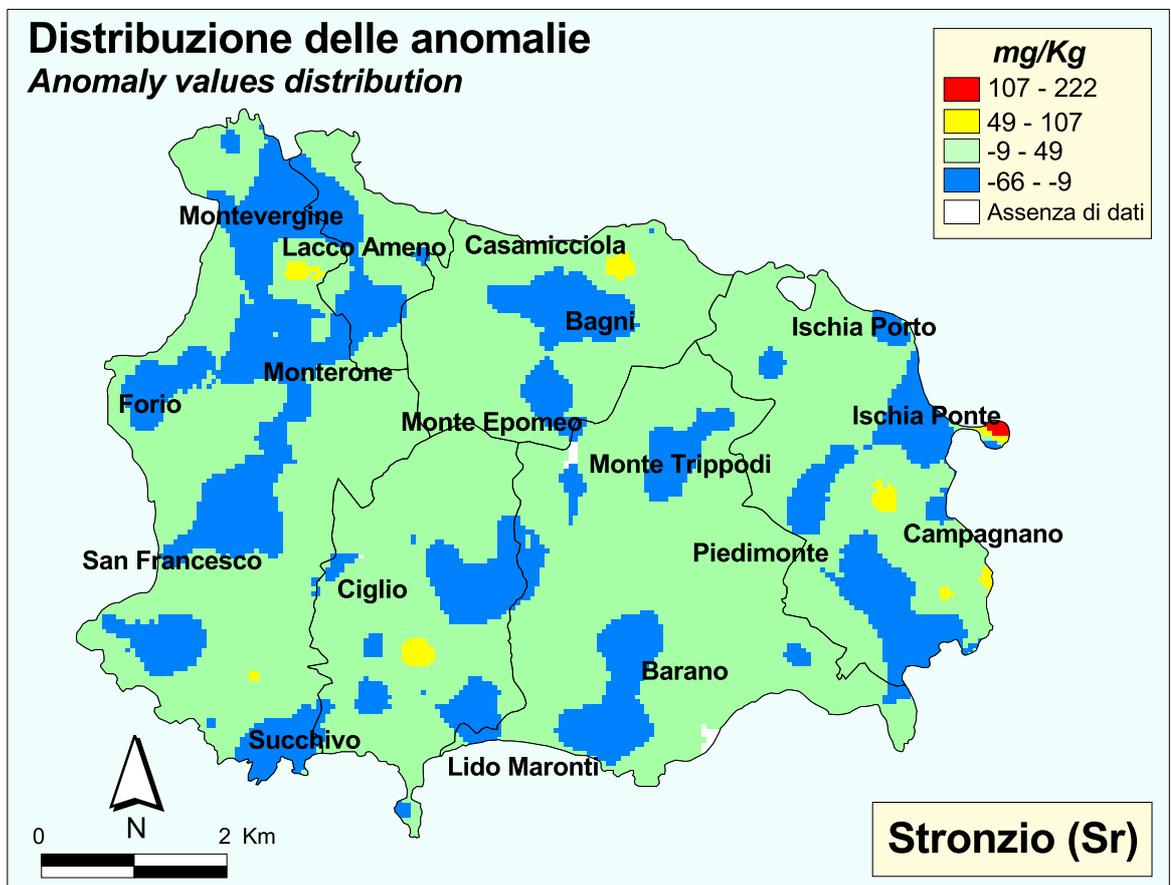


TAVOLA 35D

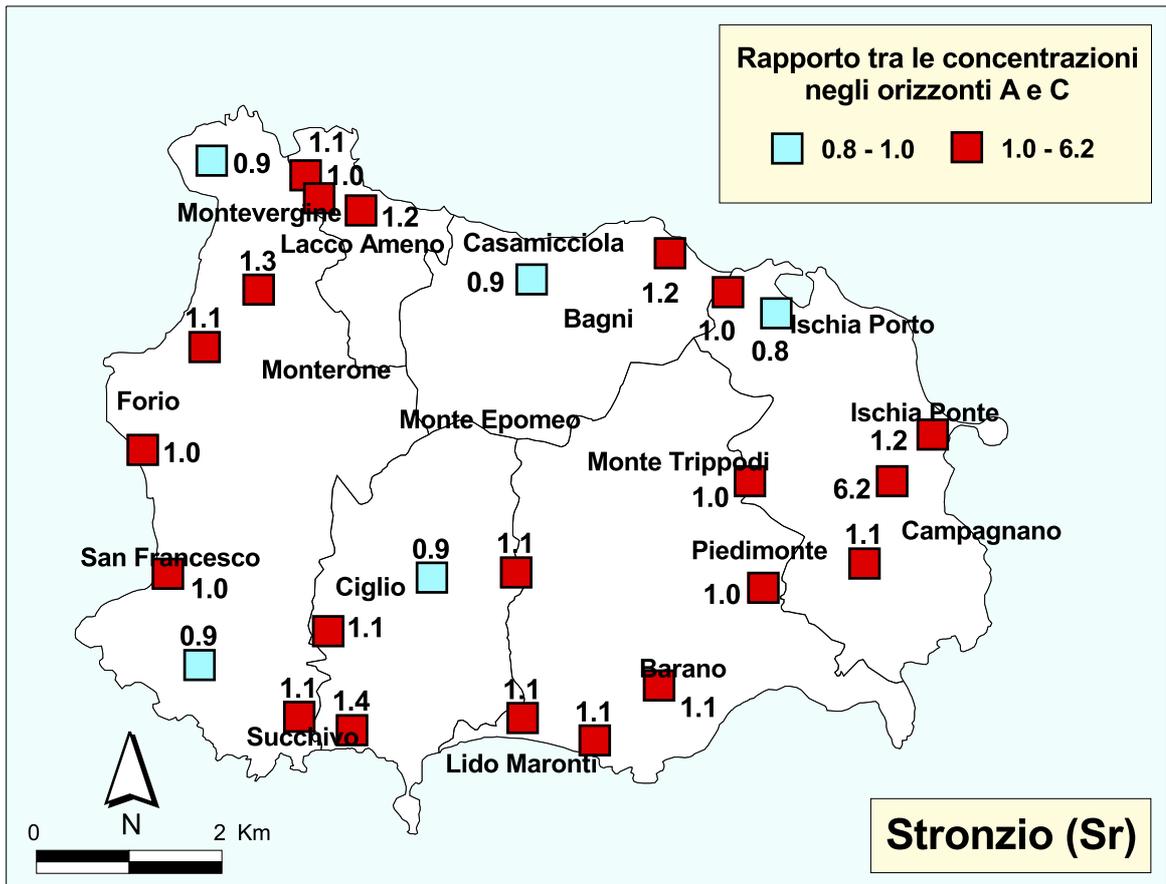


TAVOLA 35E

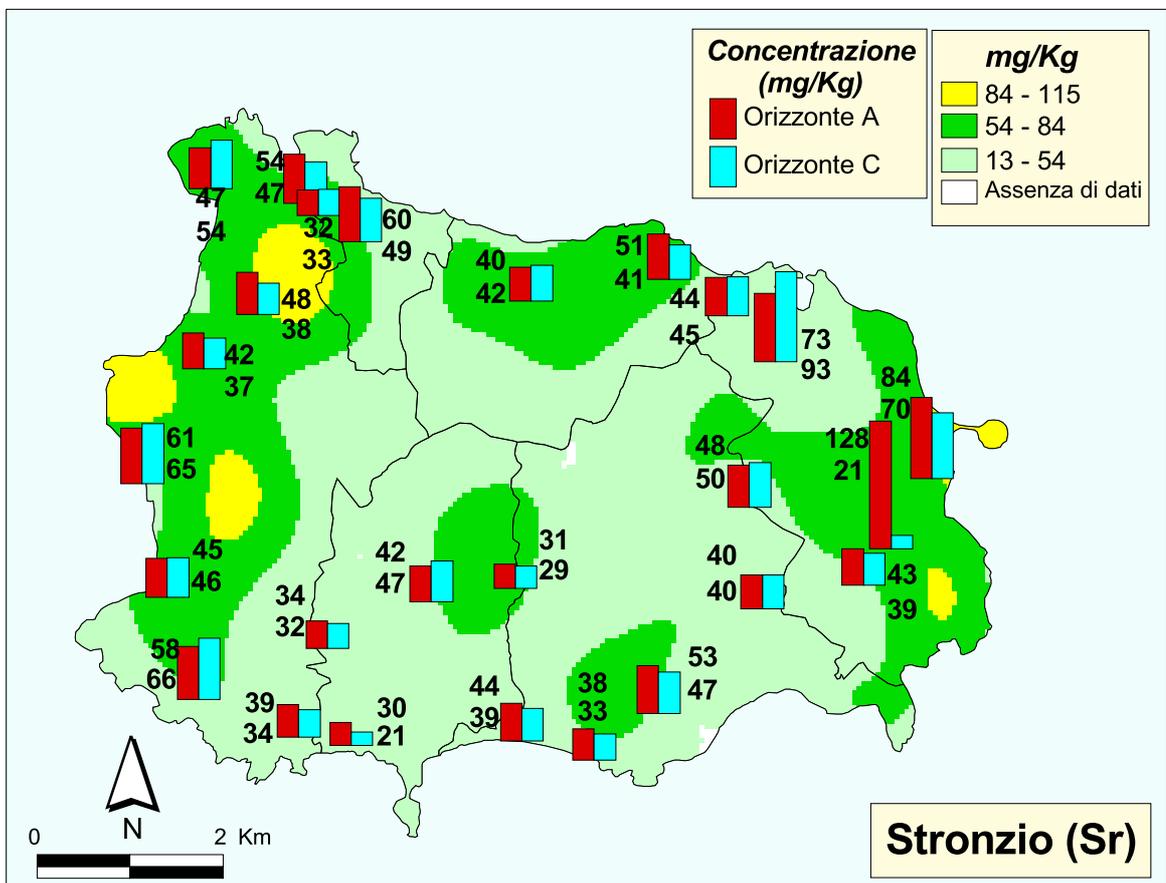


TAVOLA 35F

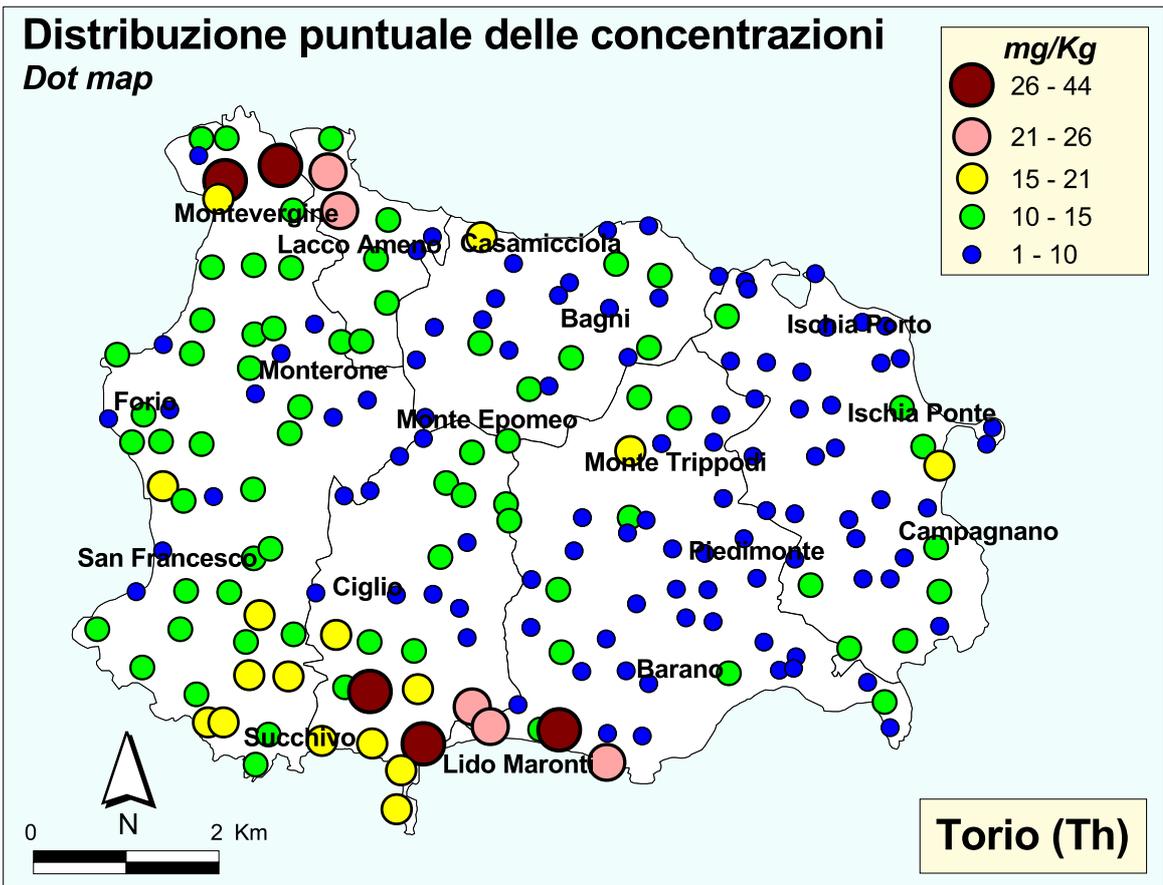


TAVOLA 36A

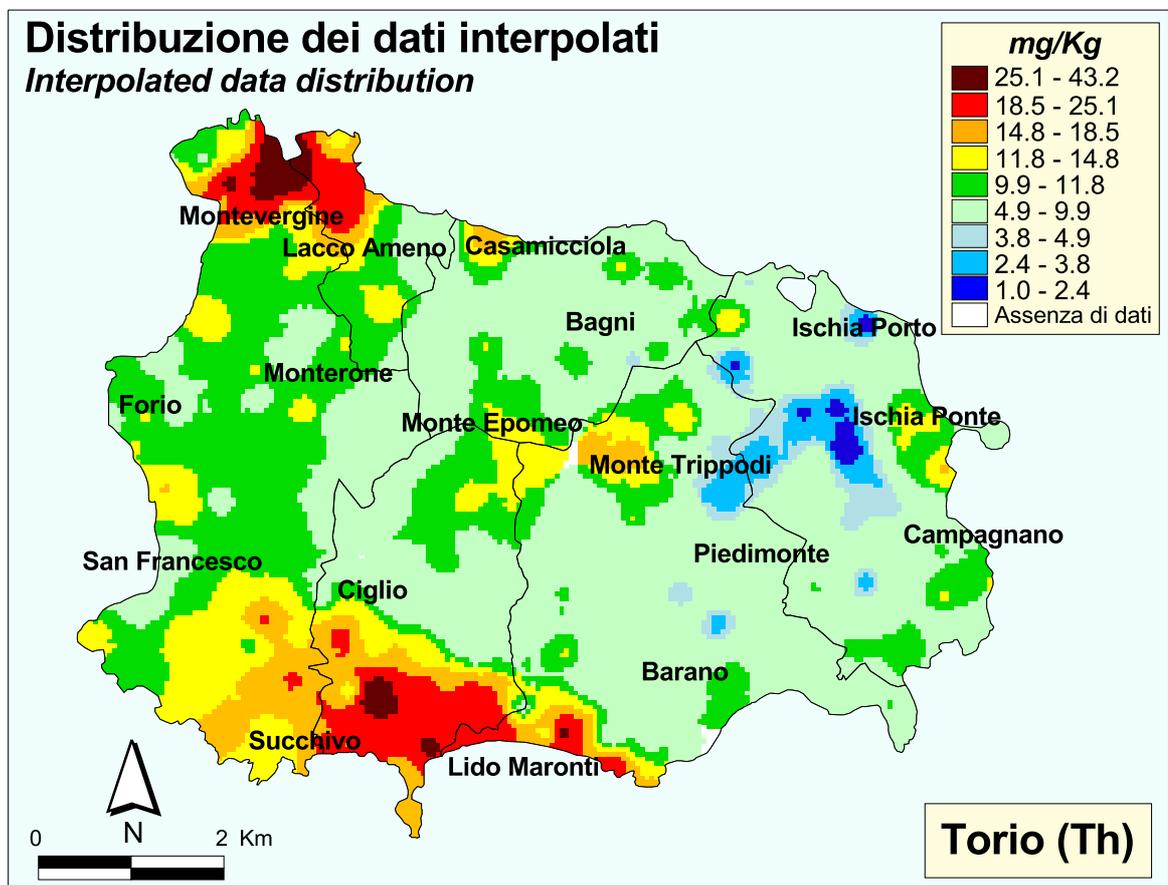


TAVOLA 36B

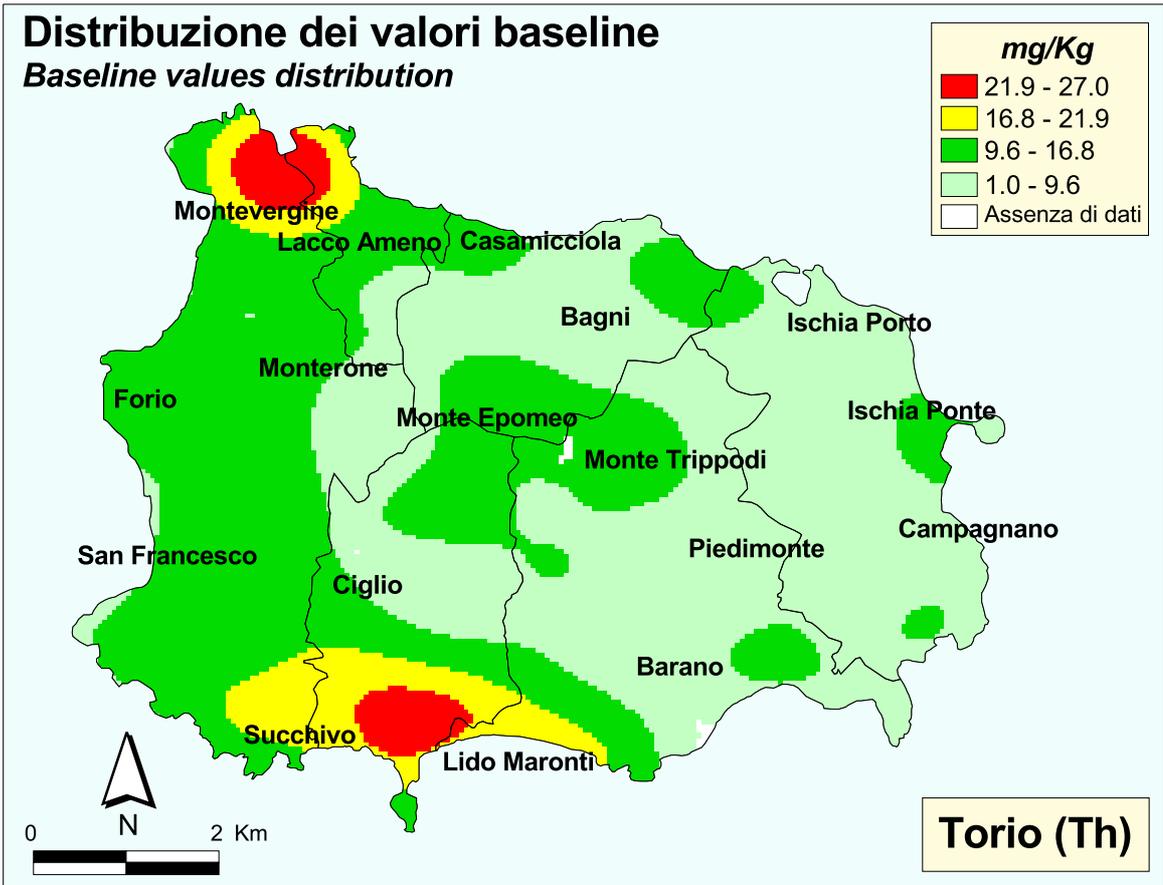


TAVOLA 36C

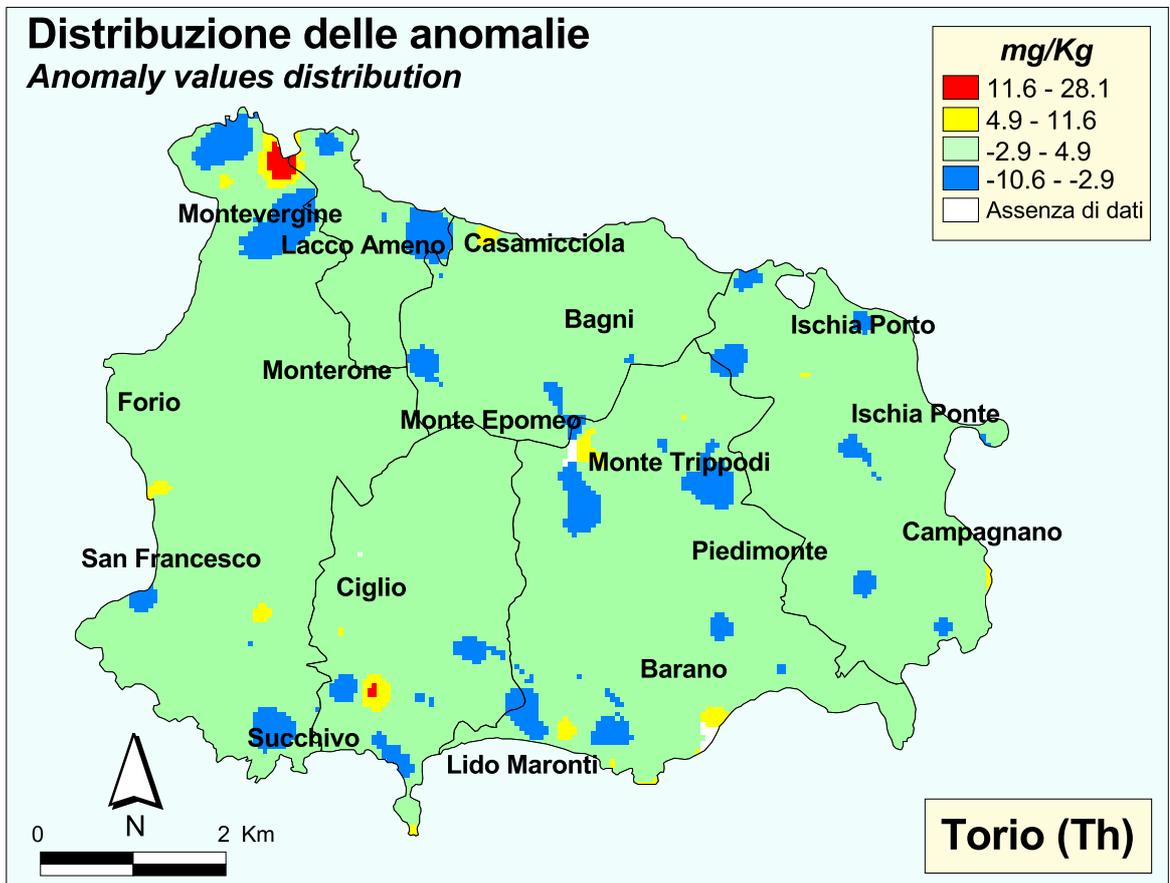


TAVOLA 36D

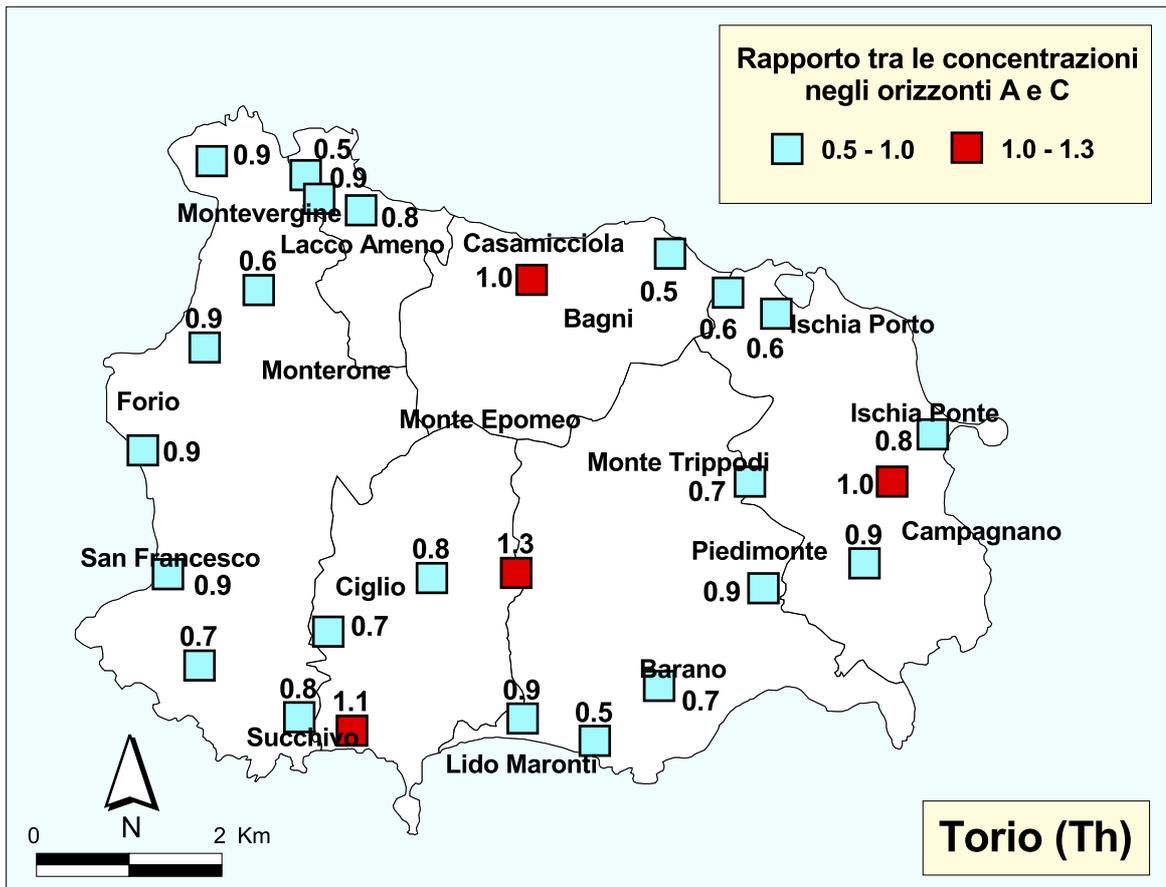


TAVOLA 36E

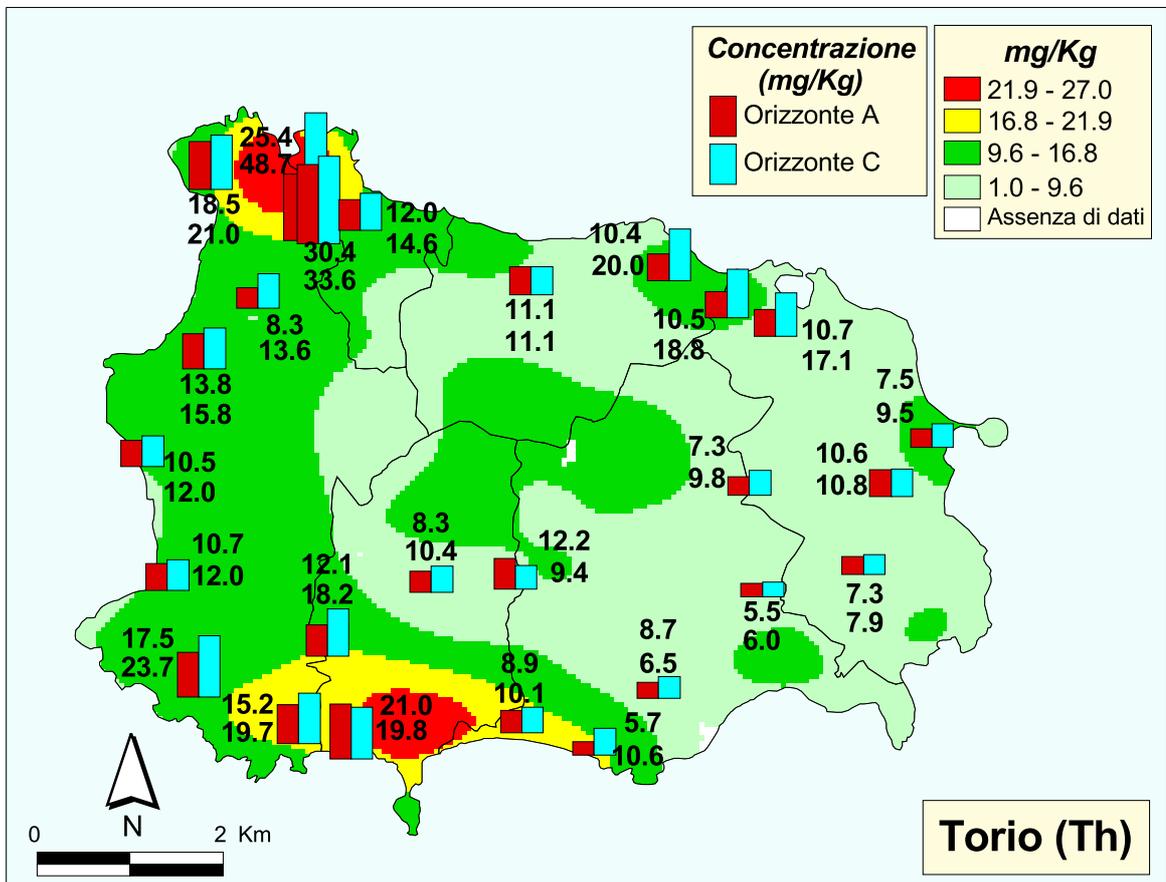


TAVOLA 36F

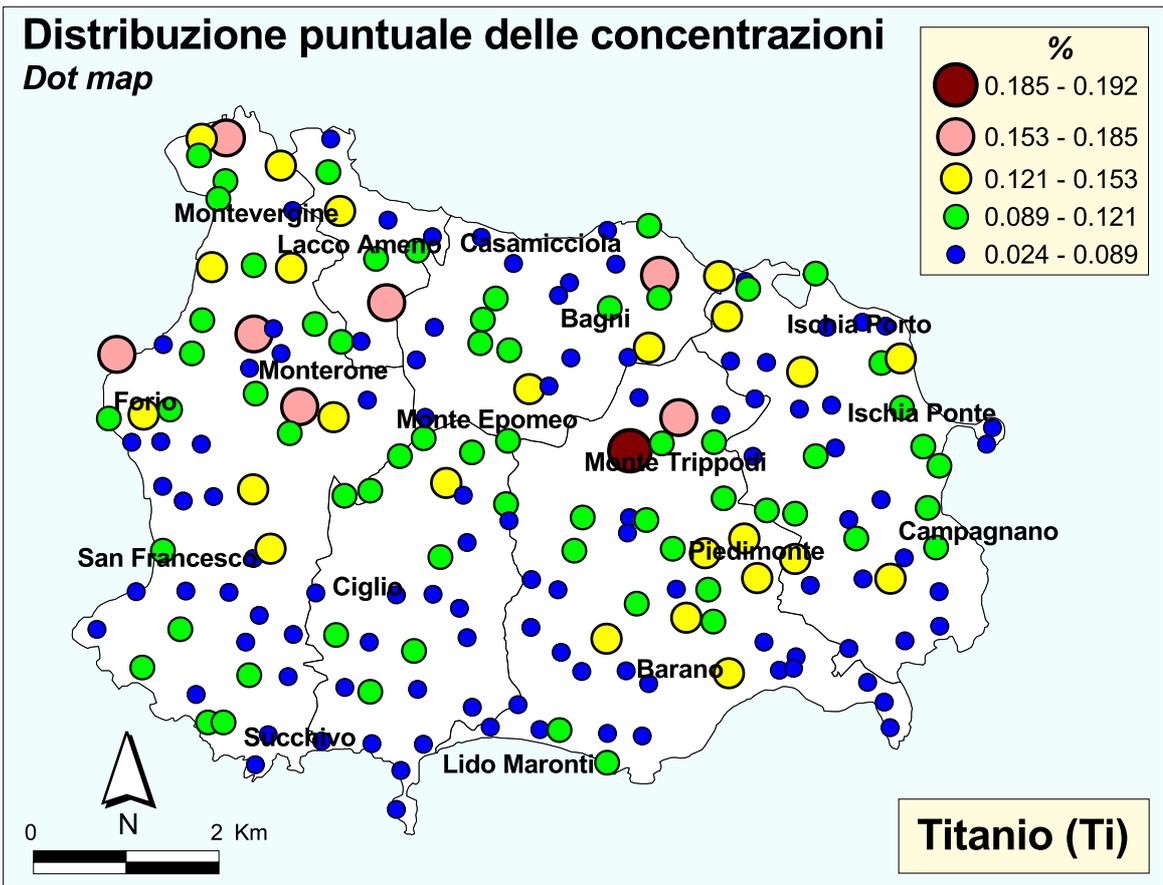


TAVOLA 37A

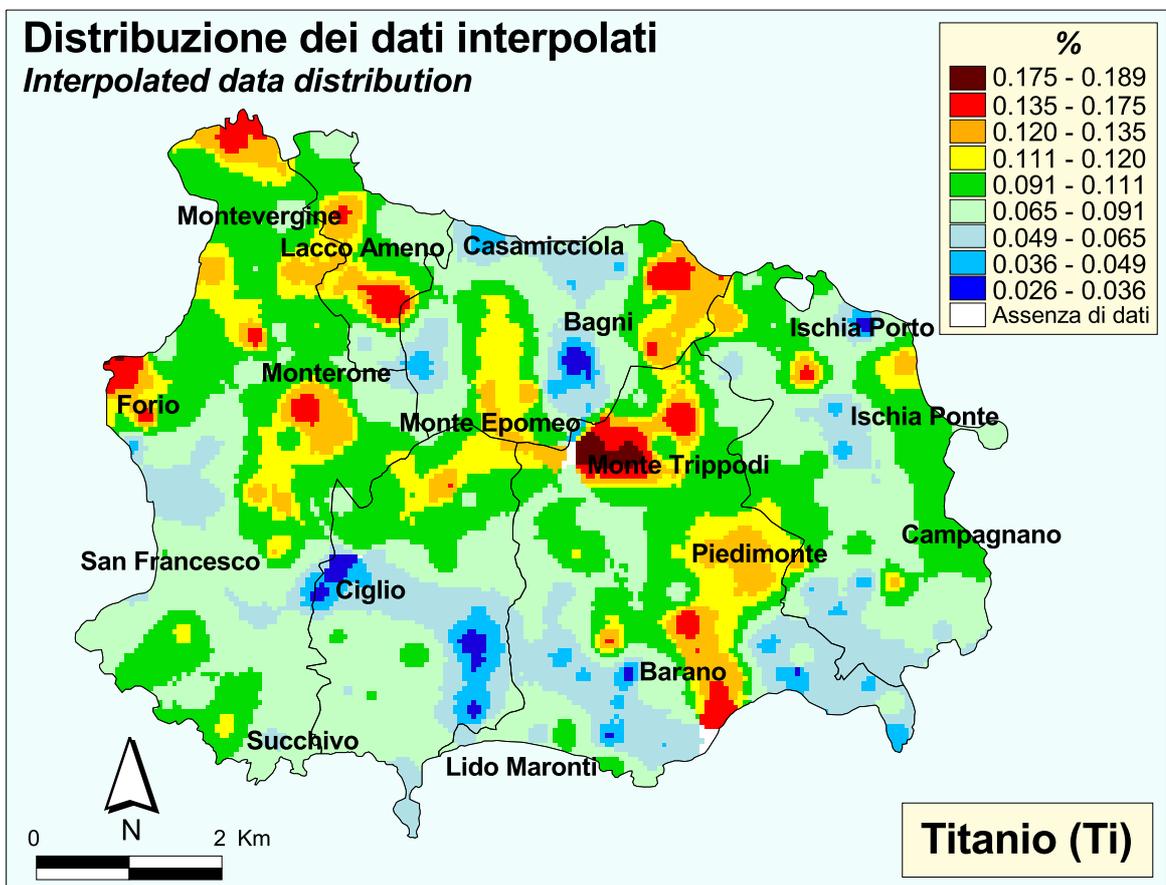


TAVOLA 37B

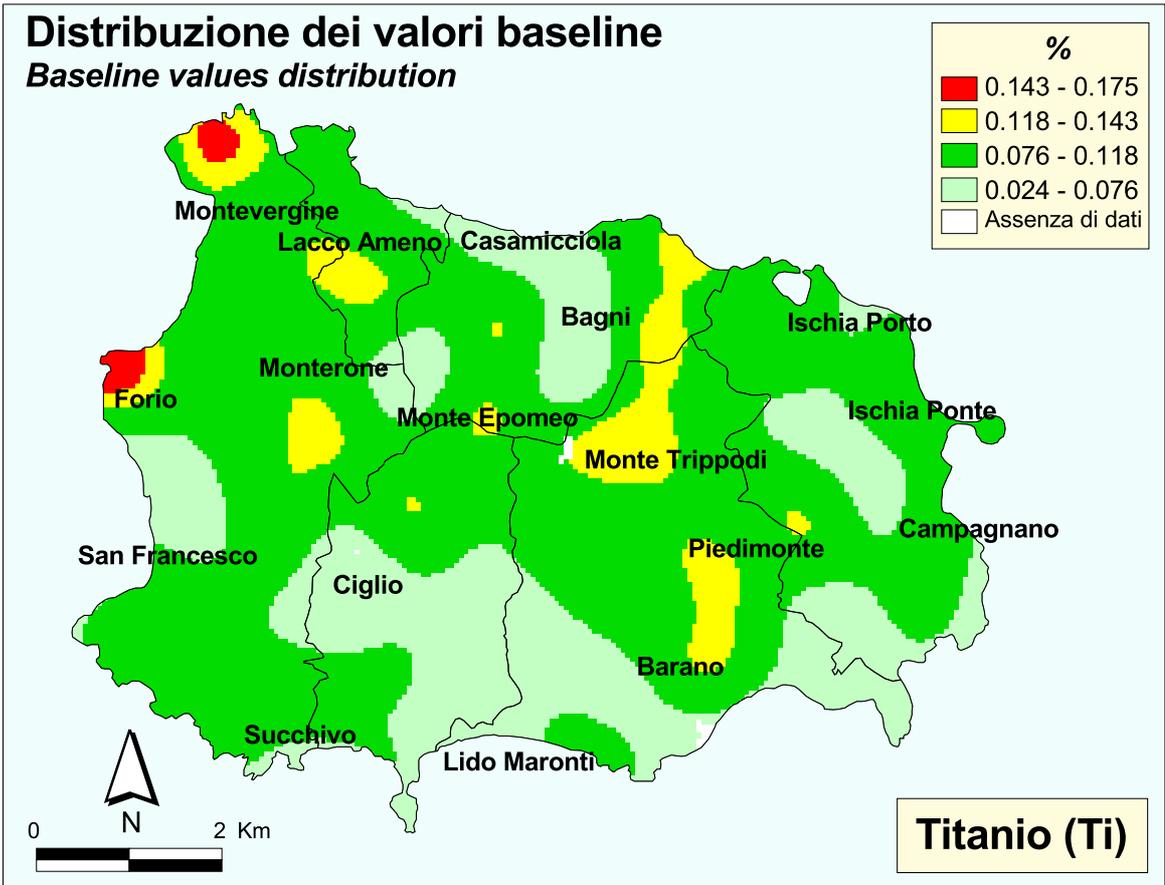


TAVOLA 37C

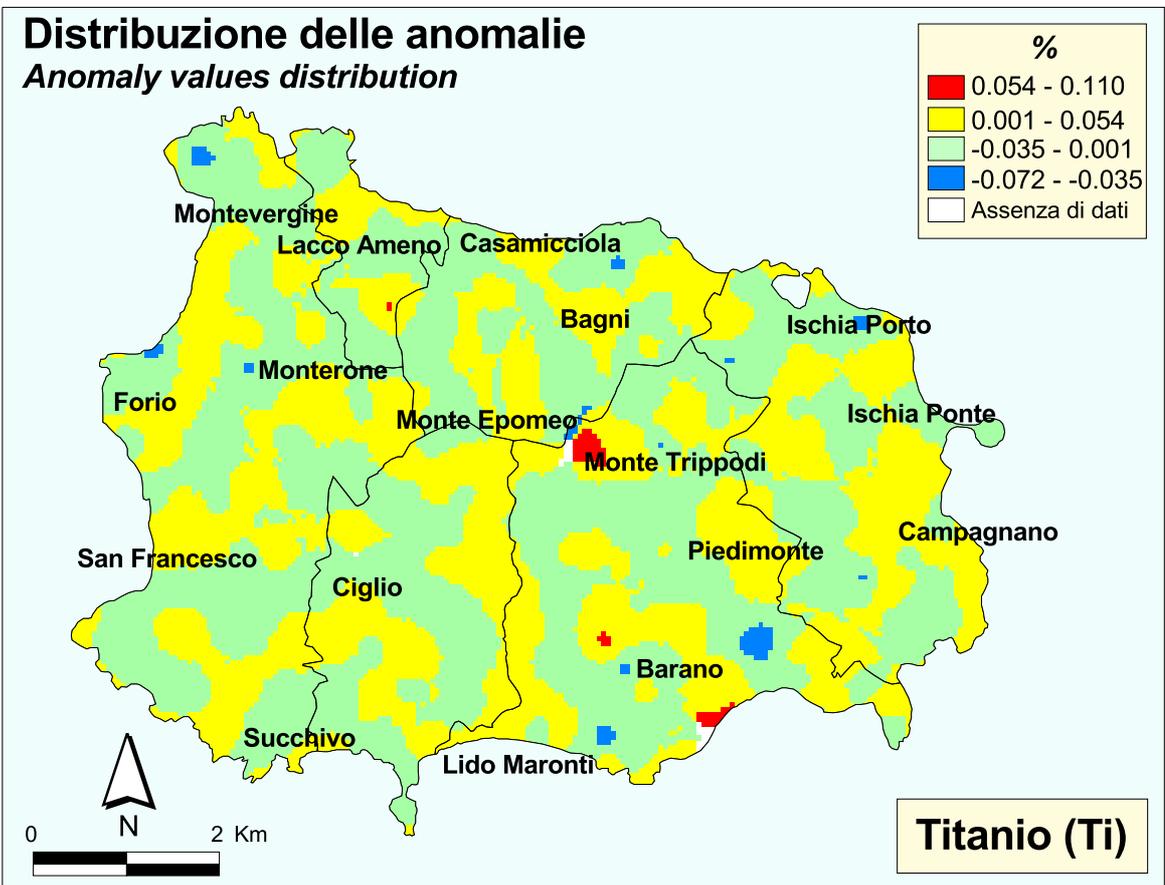


TAVOLA 37D

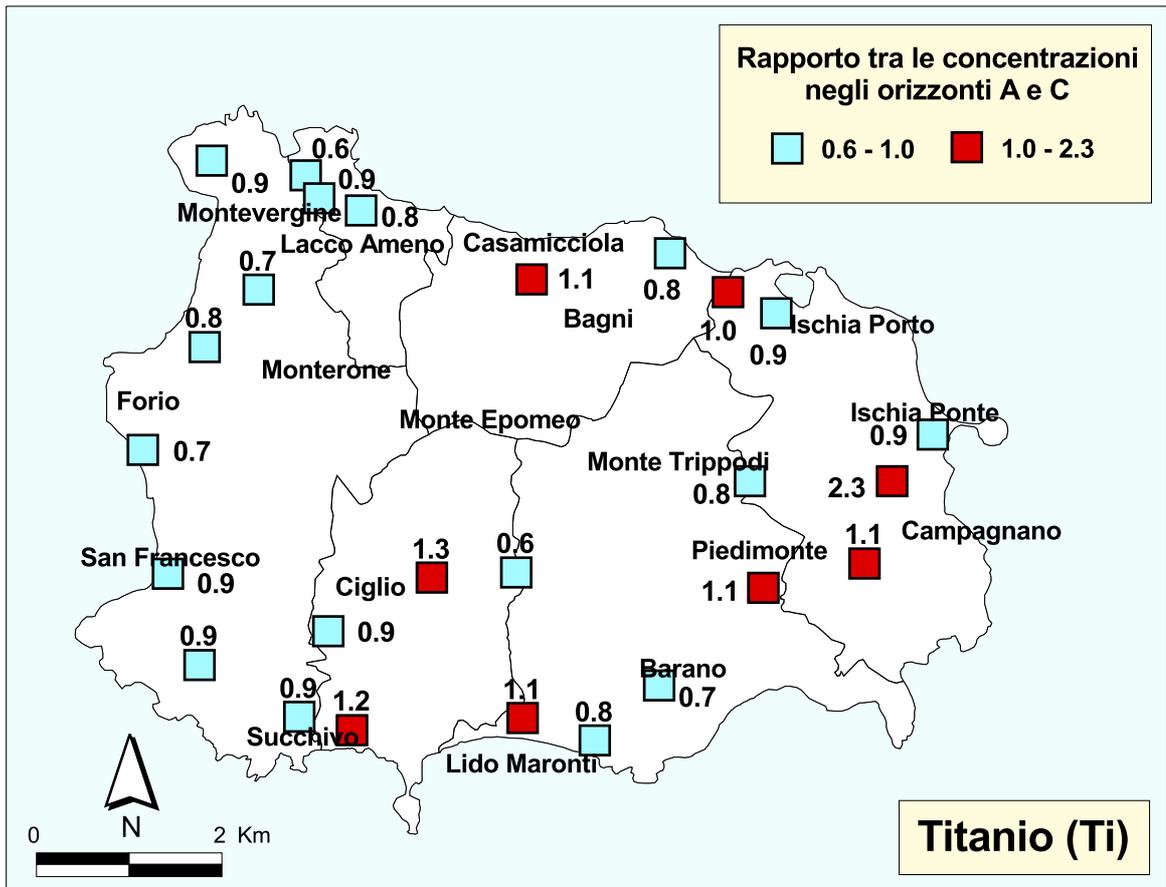


TAVOLA 37E

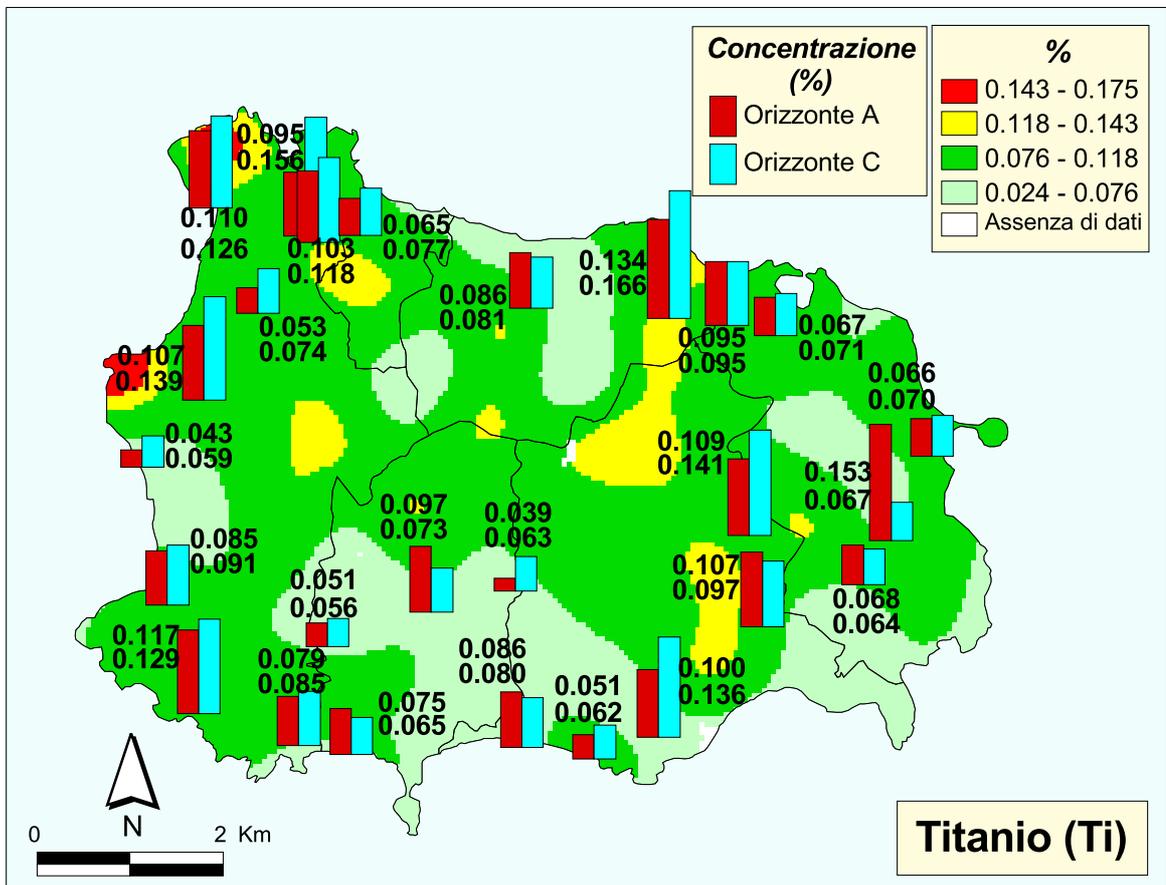


TAVOLA 37F

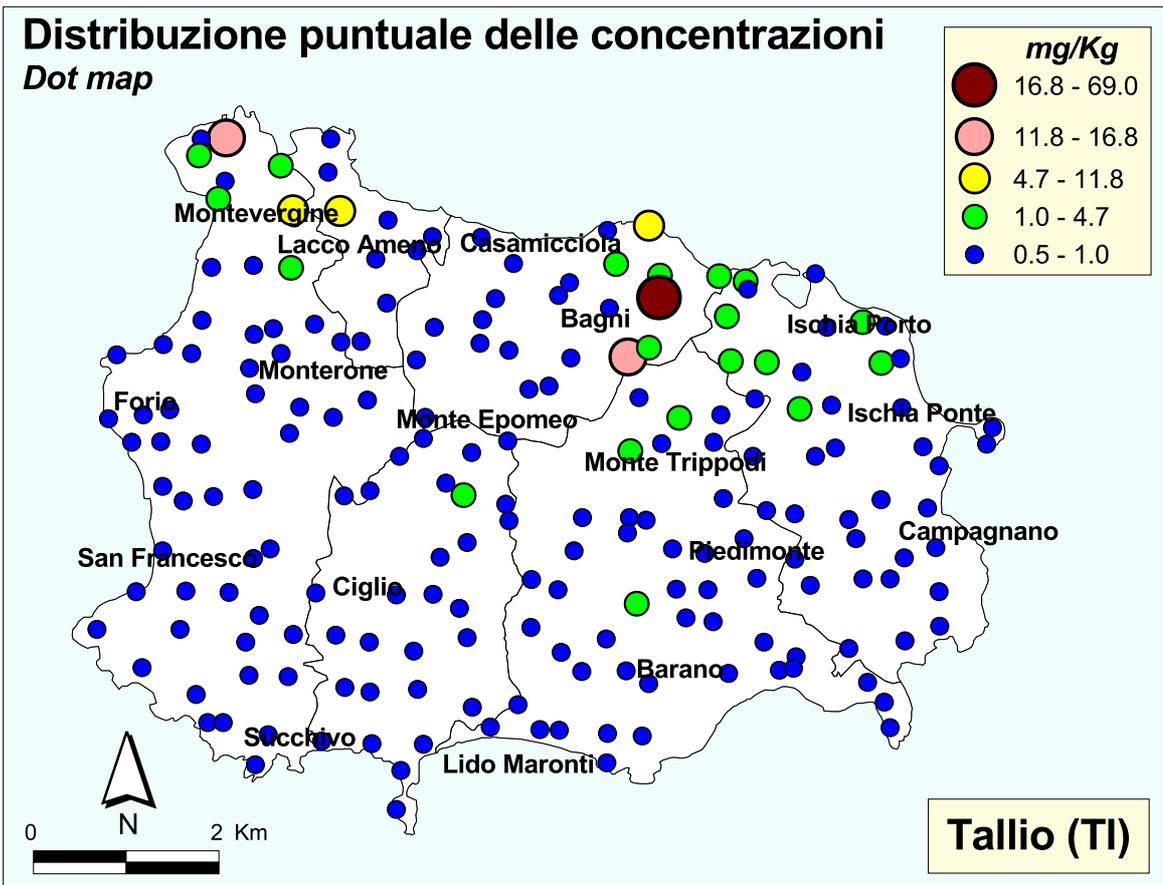


TAVOLA 38A

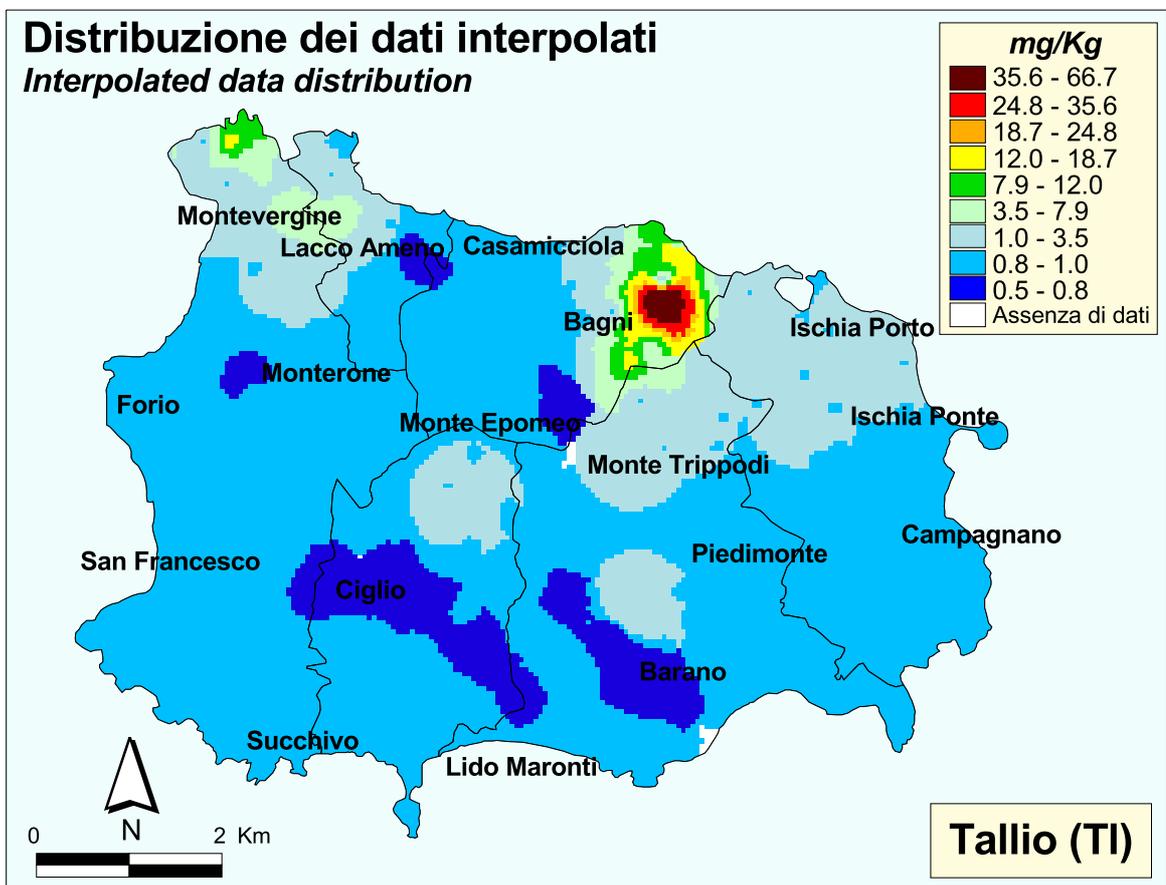


TAVOLA 38B

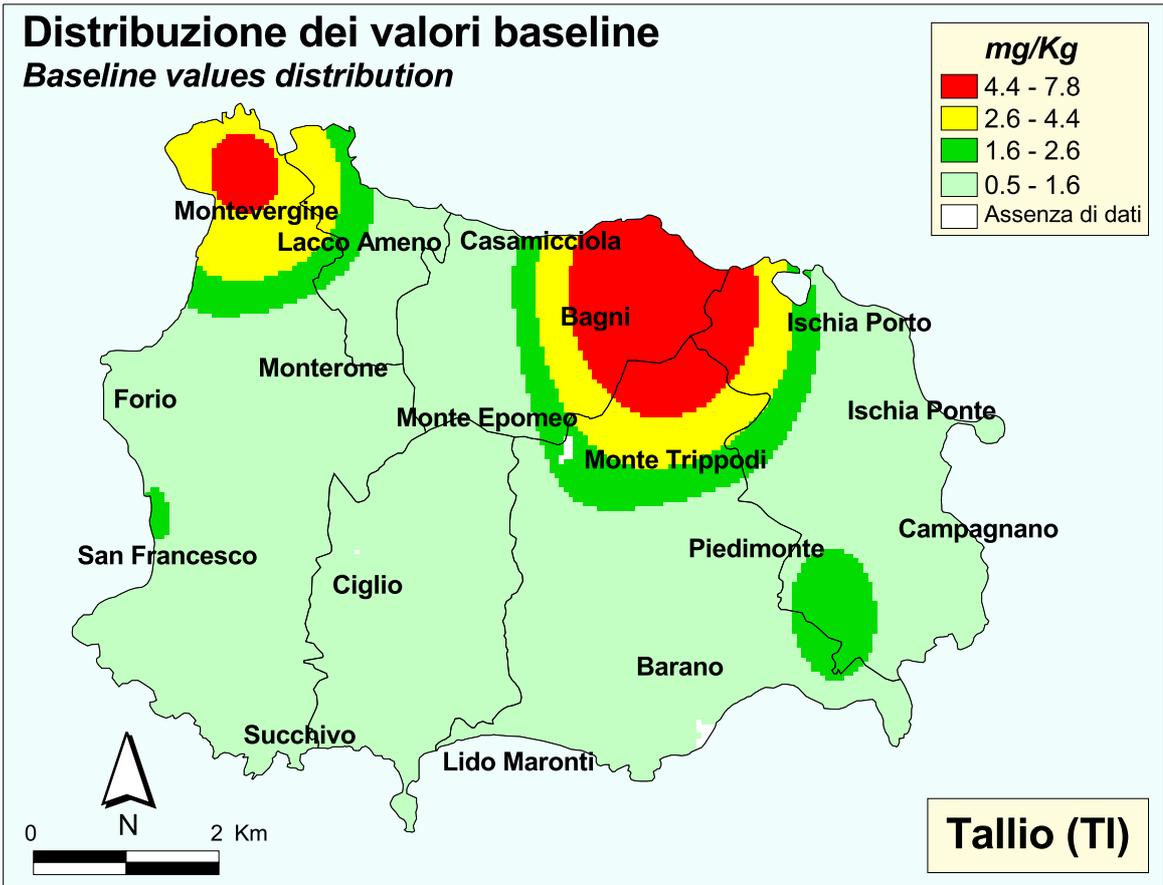


TAVOLA 38C

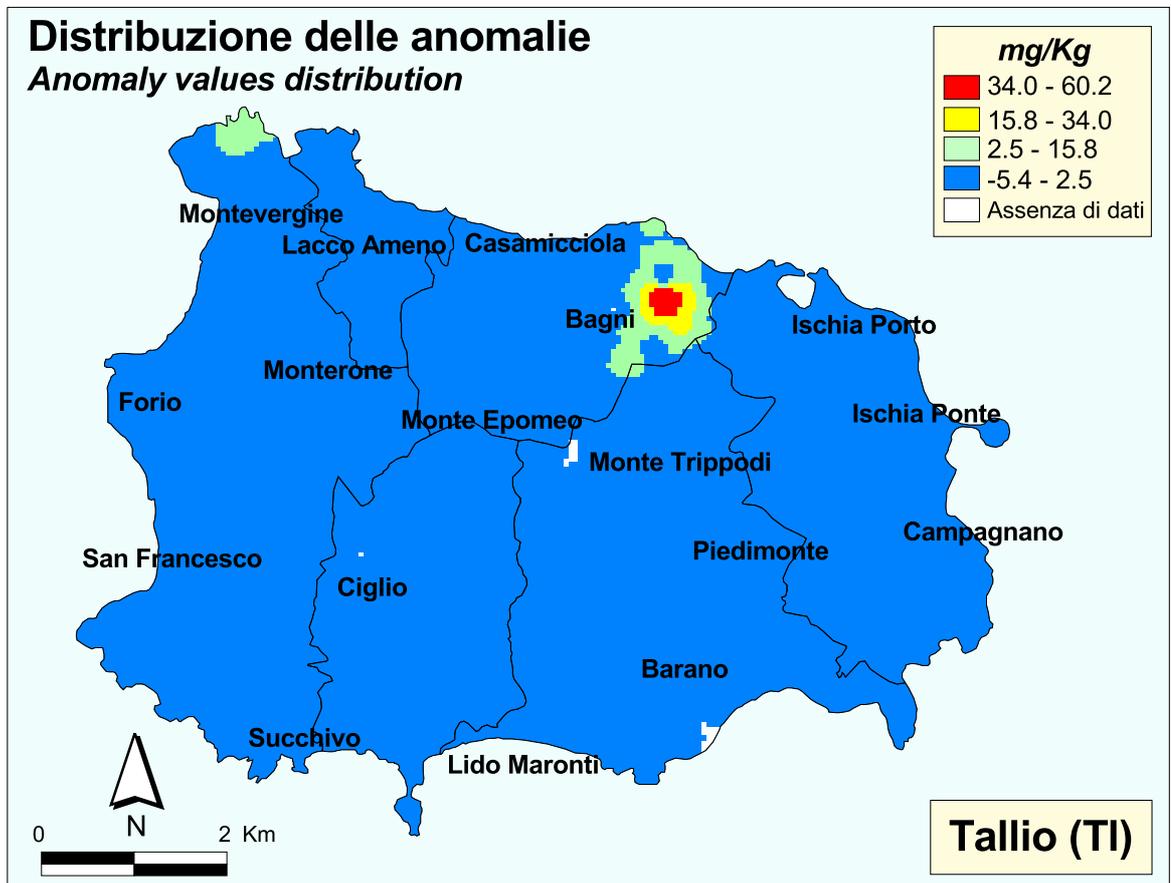


TAVOLA 38D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

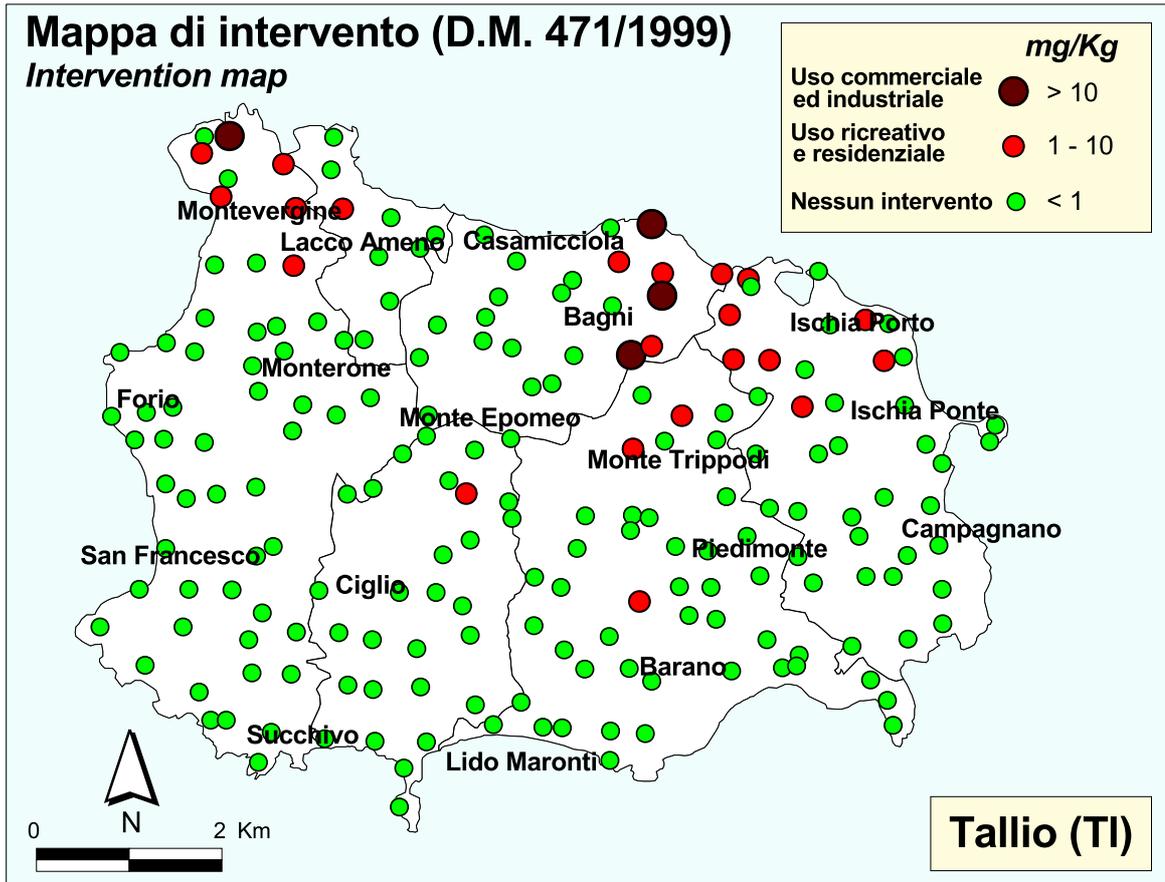


TAVOLA 38E

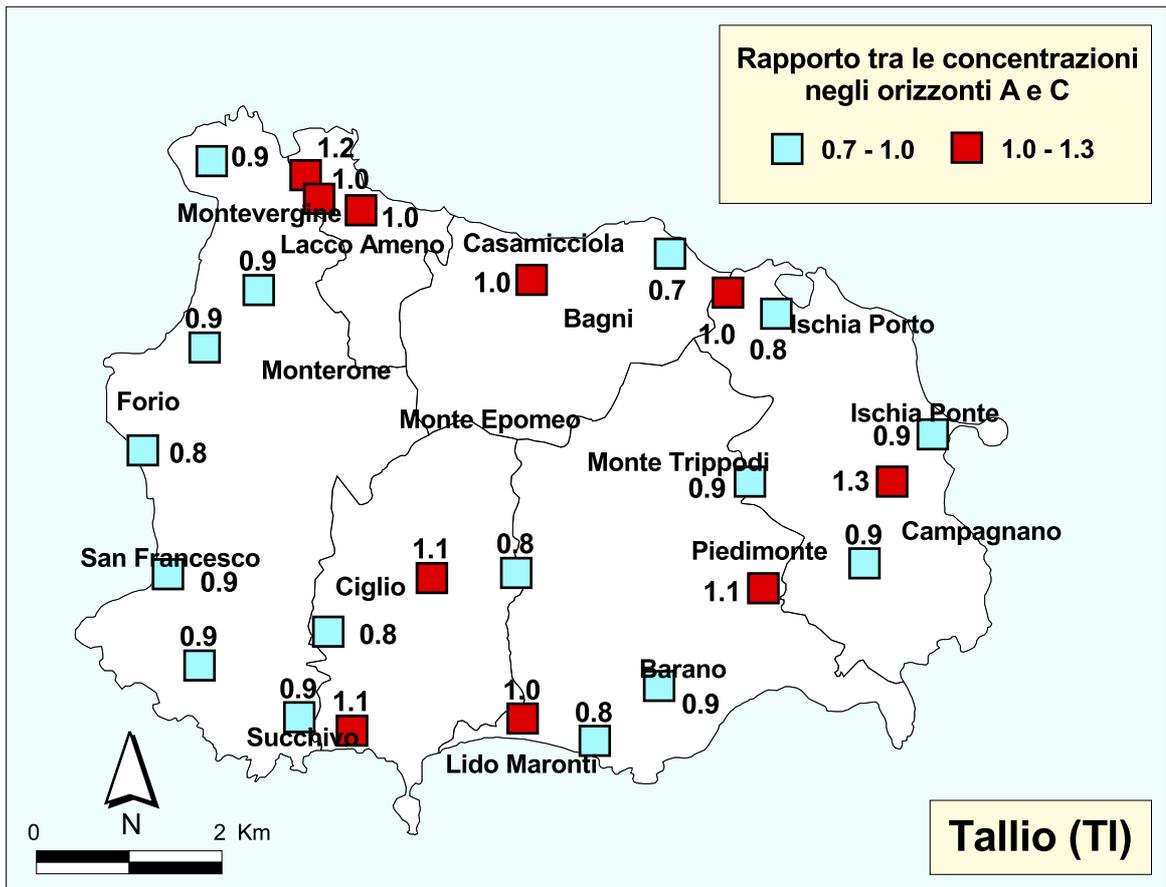


TAVOLA 38F

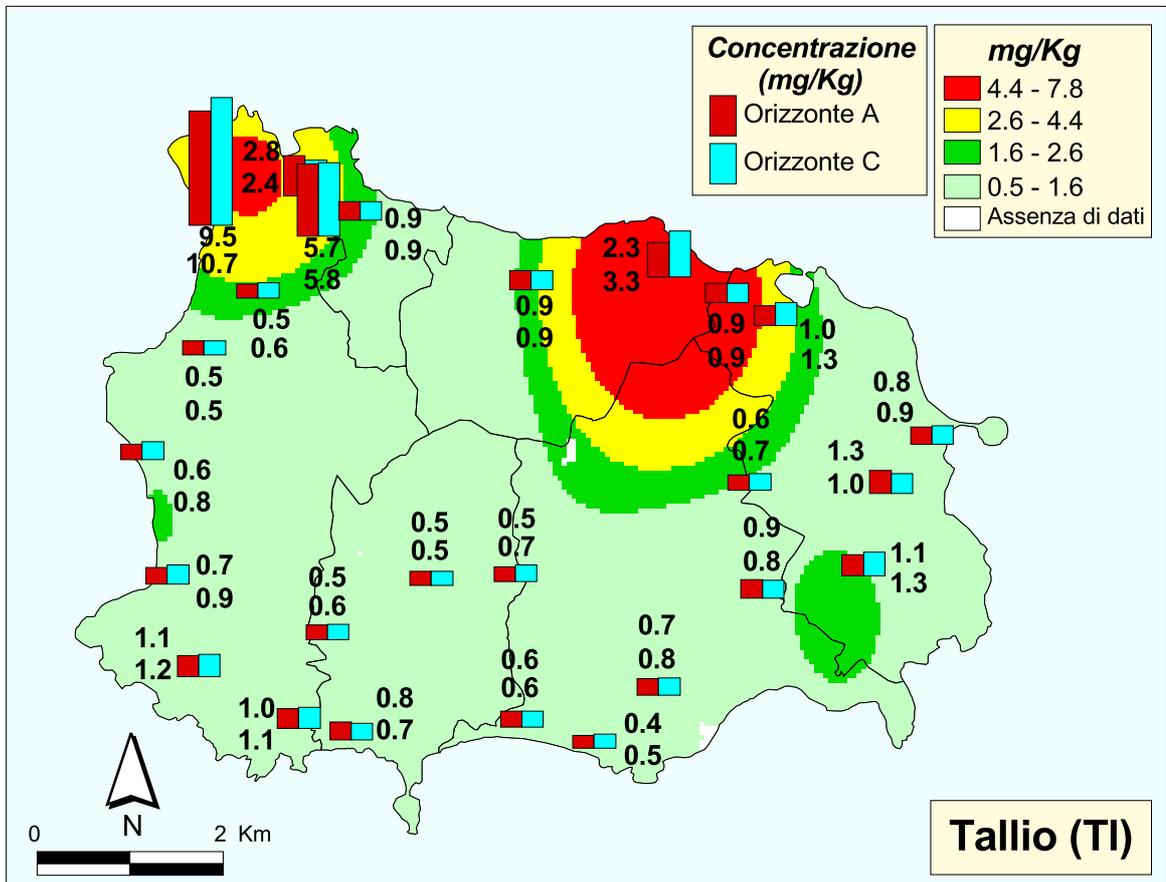


TAVOLA 38G

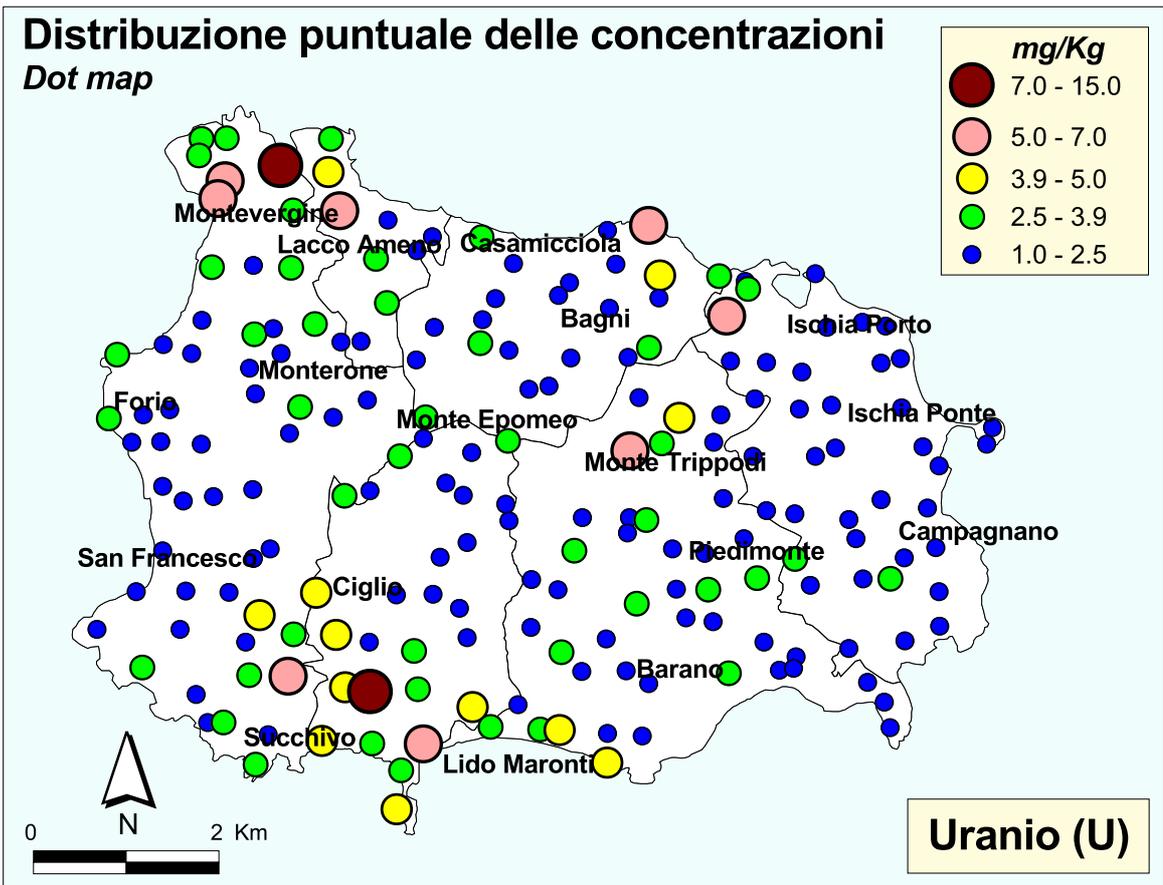


TAVOLA 39A

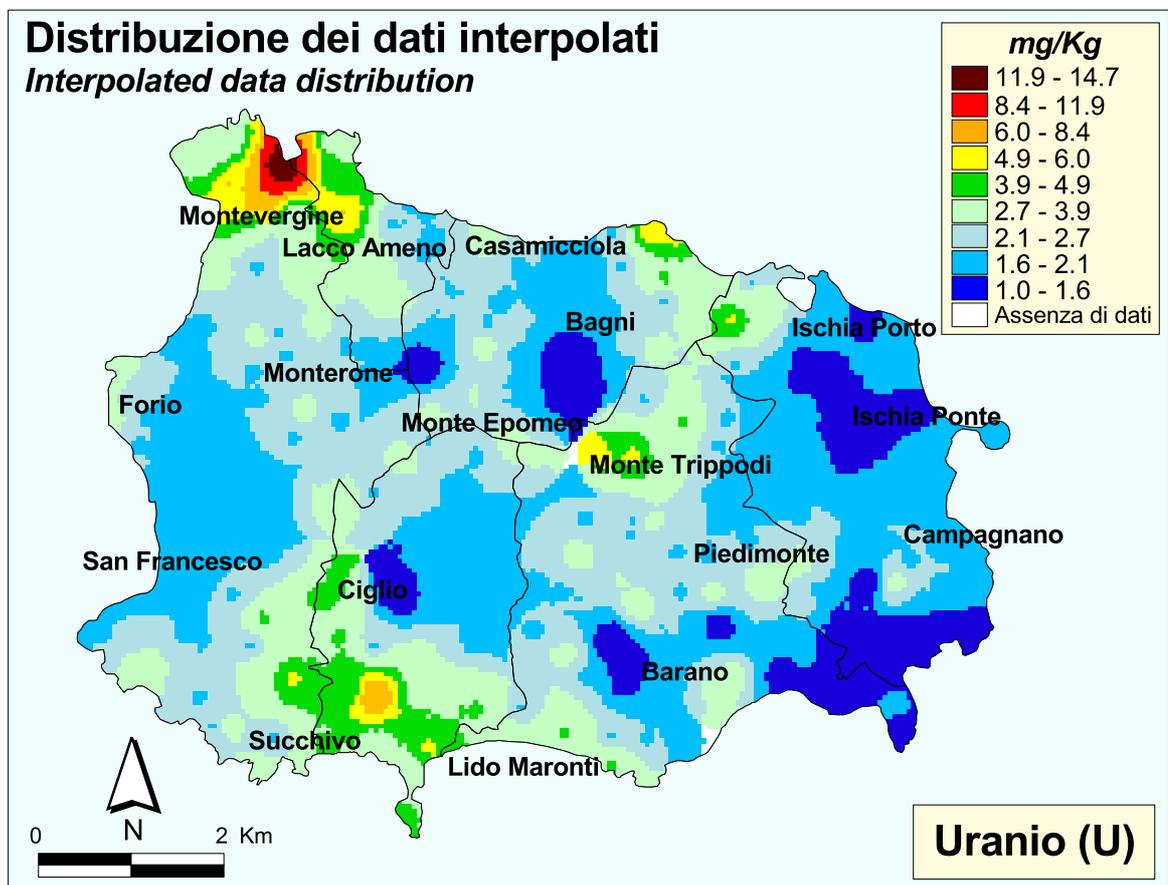


TAVOLA 39B

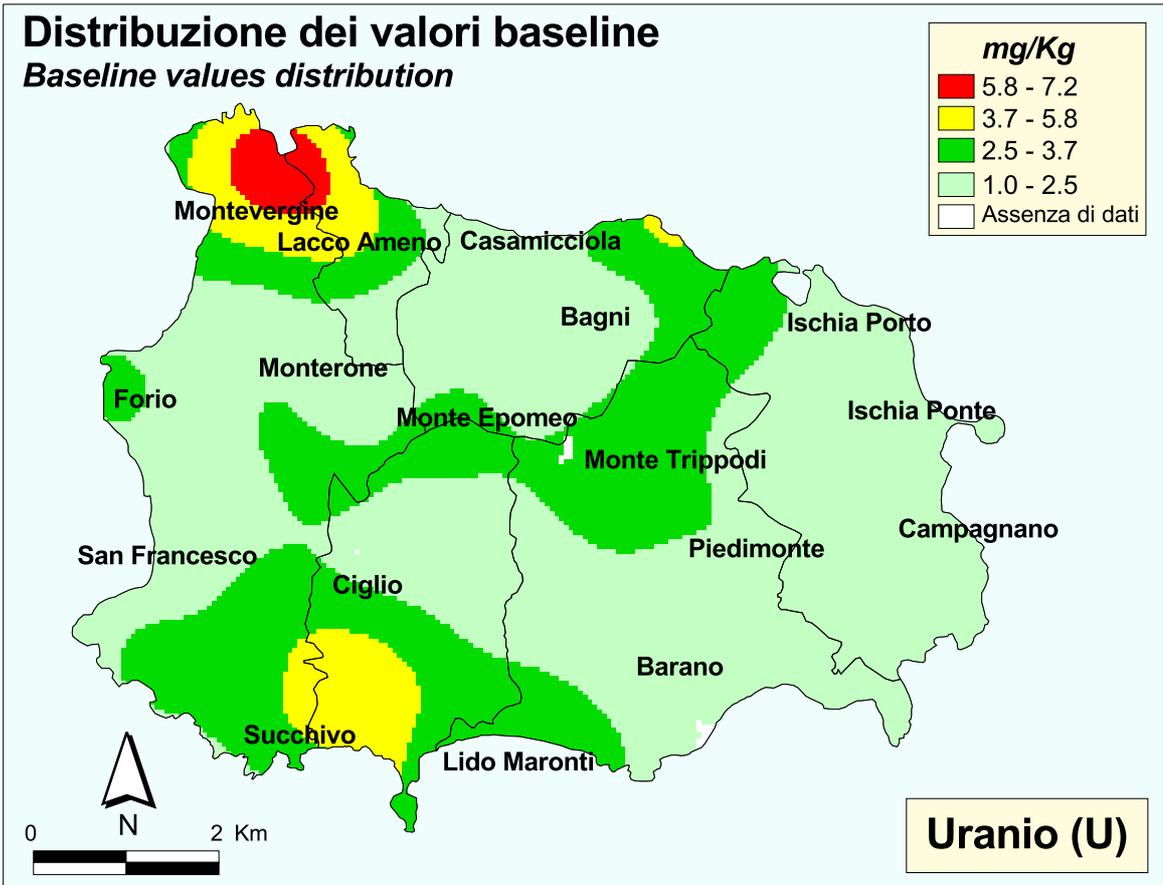


TAVOLA 39C

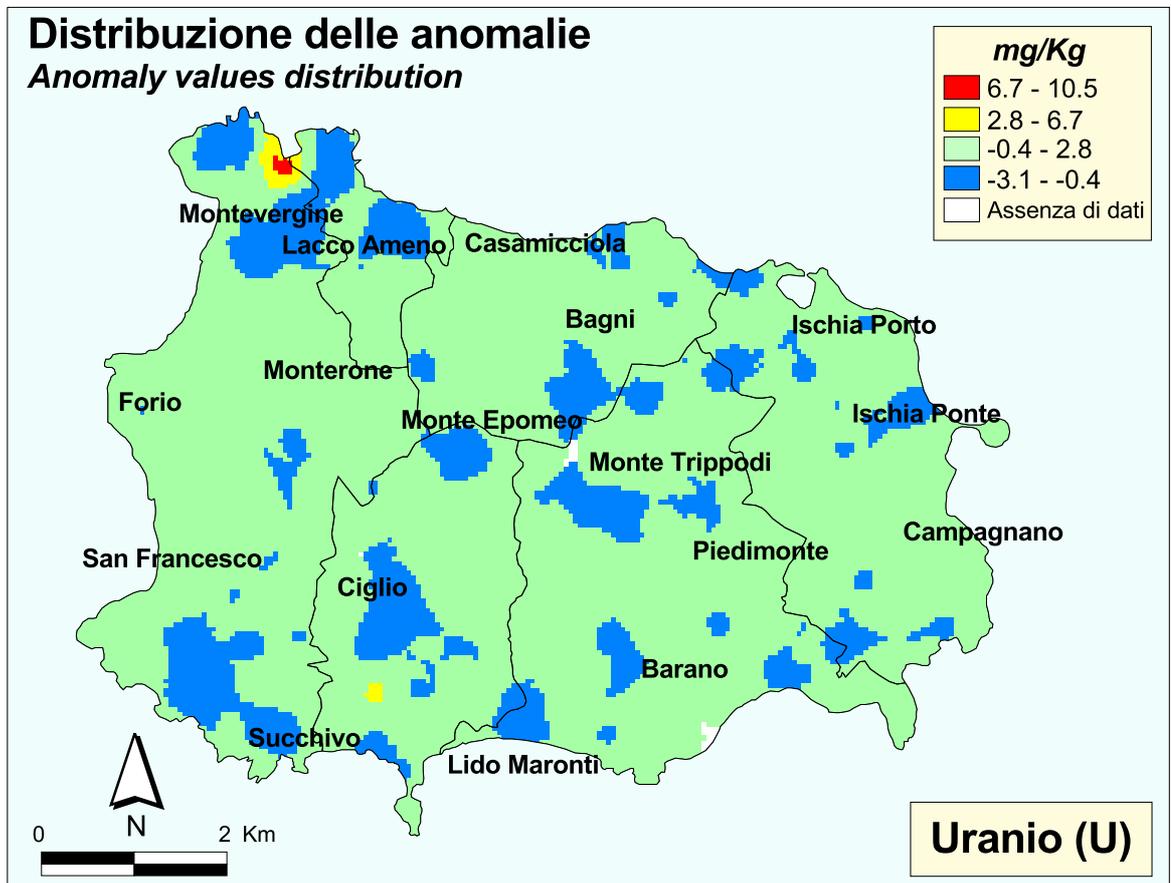


TAVOLA 39D

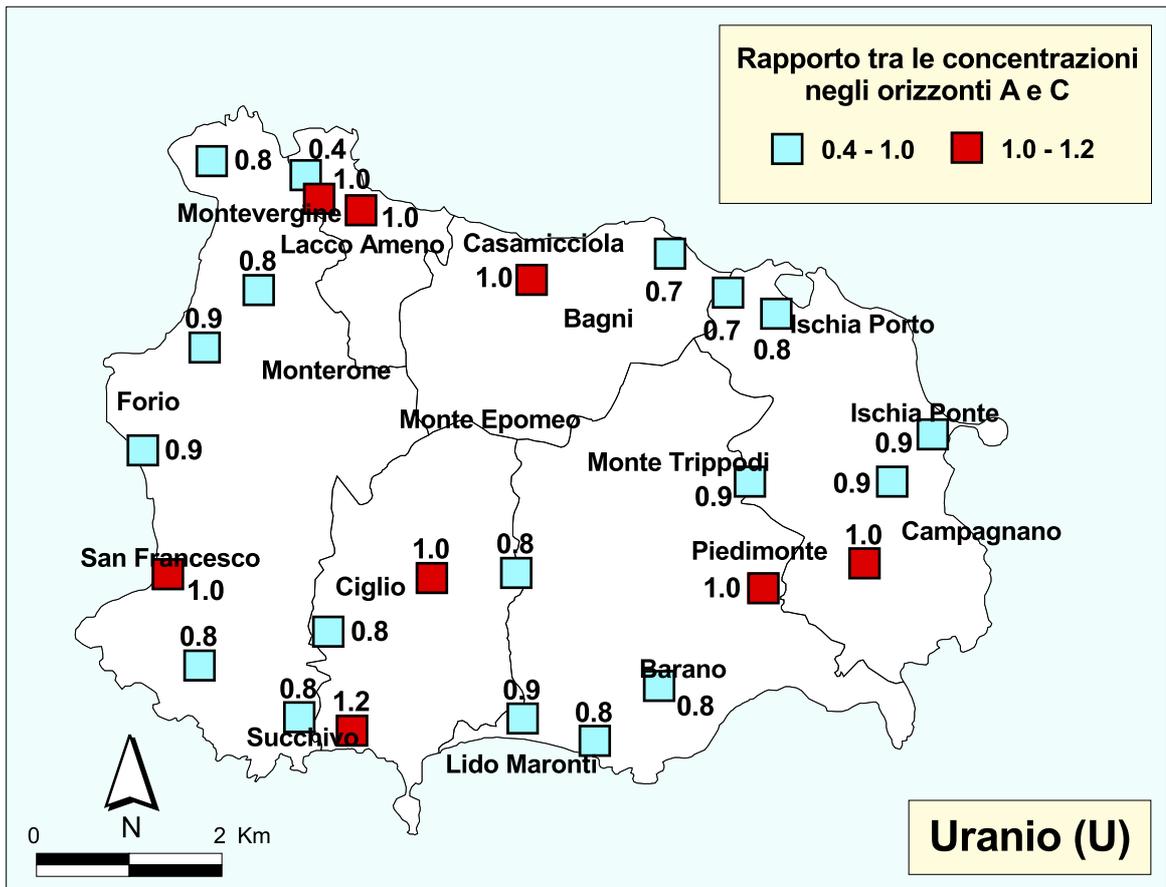


TAVOLA 39E

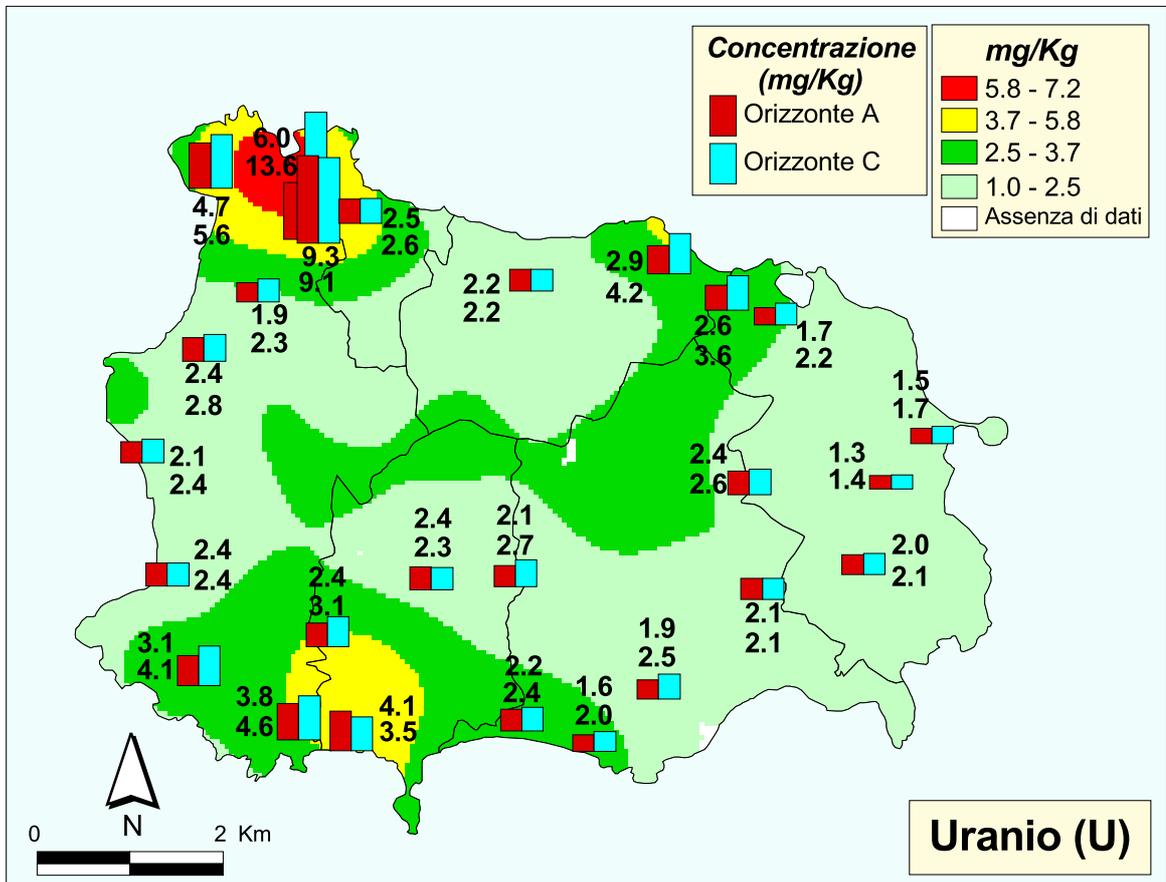


TAVOLA 39F

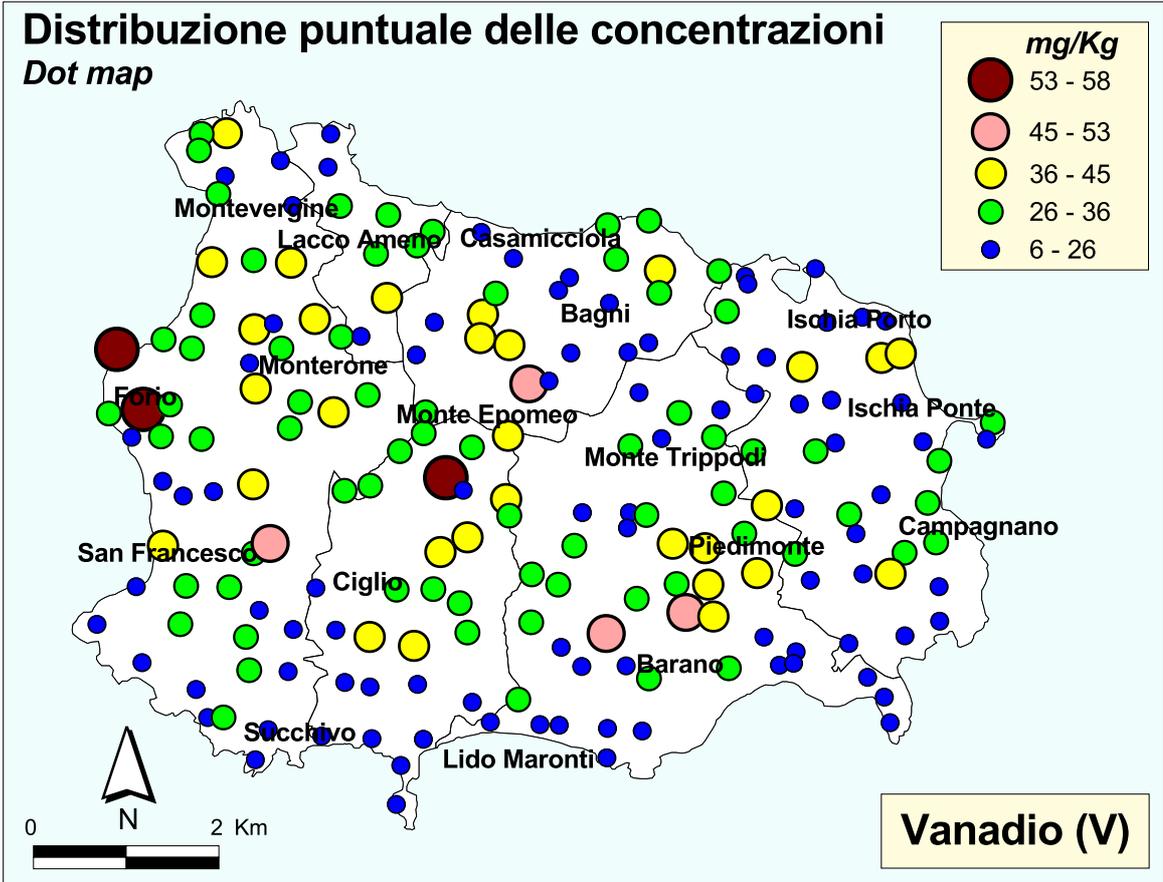


TAVOLA 40A

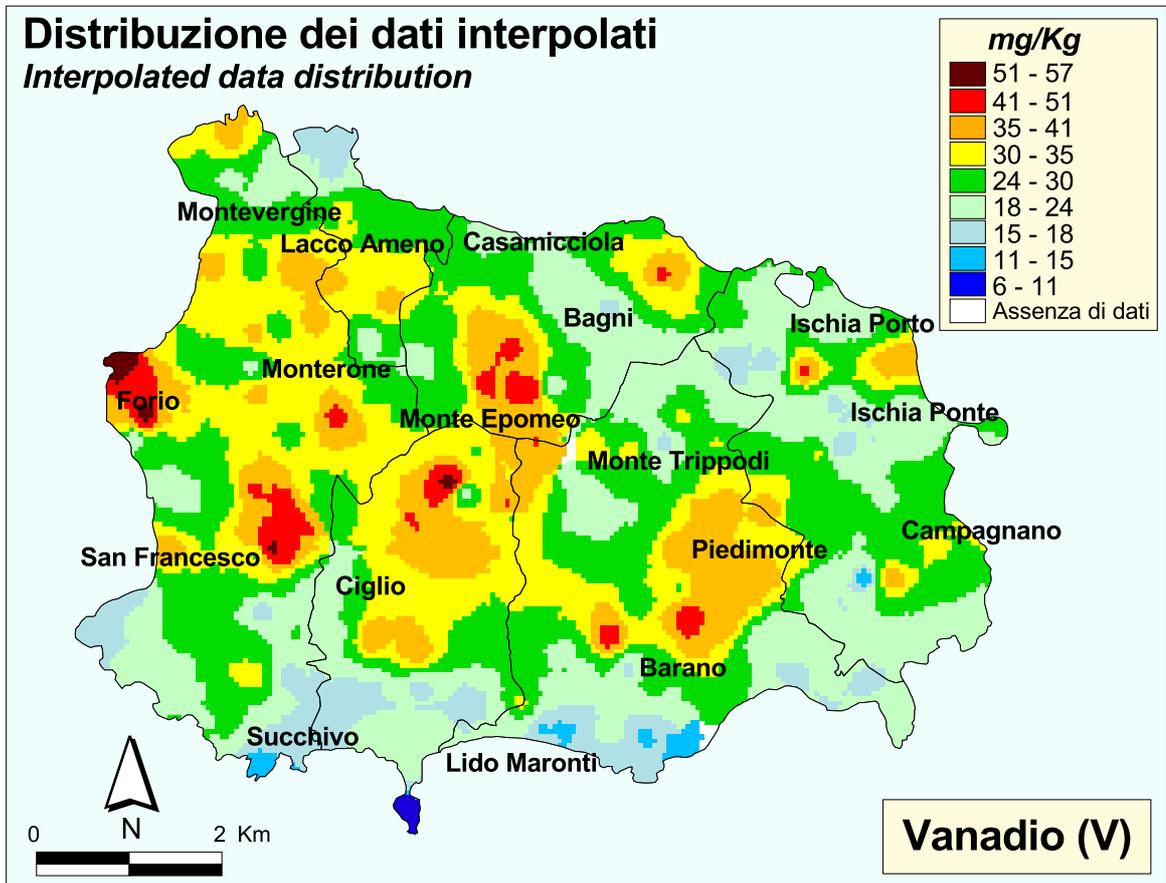


TAVOLA 40B

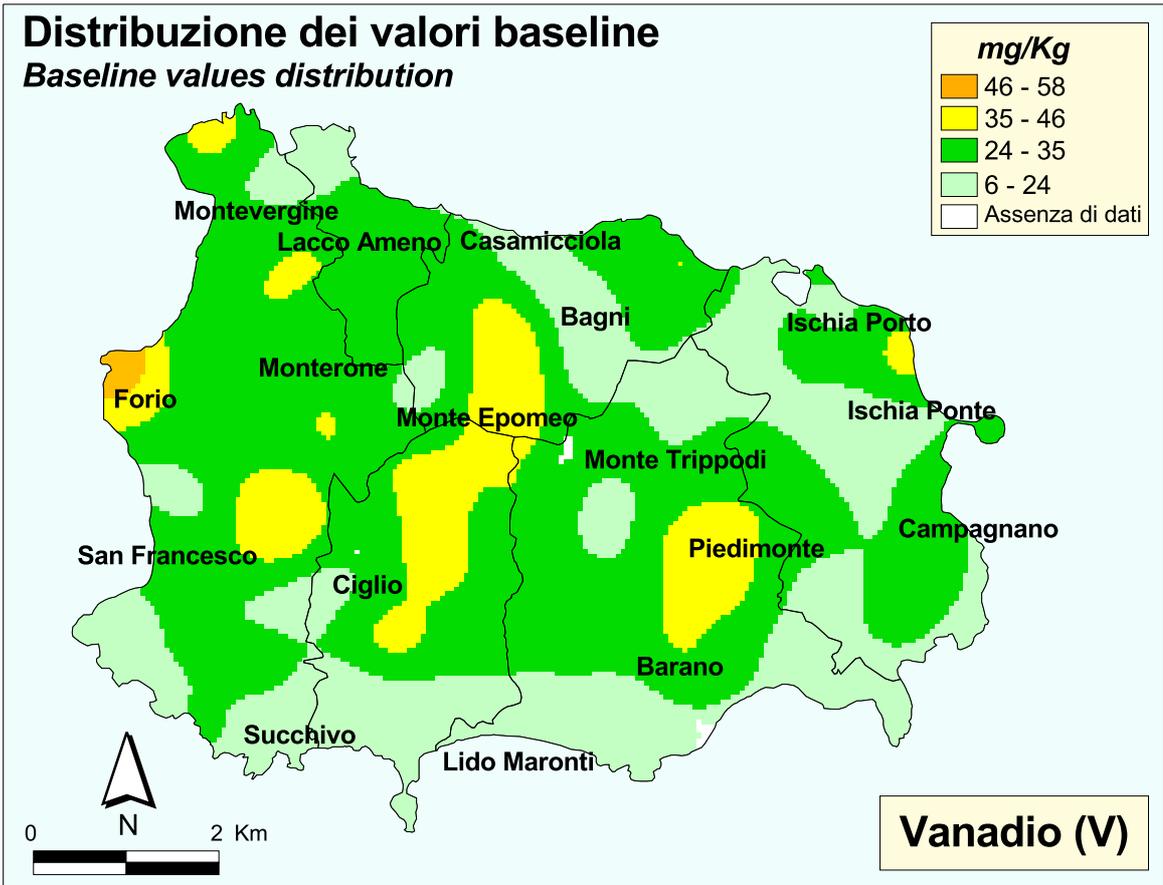


TAVOLA 40C

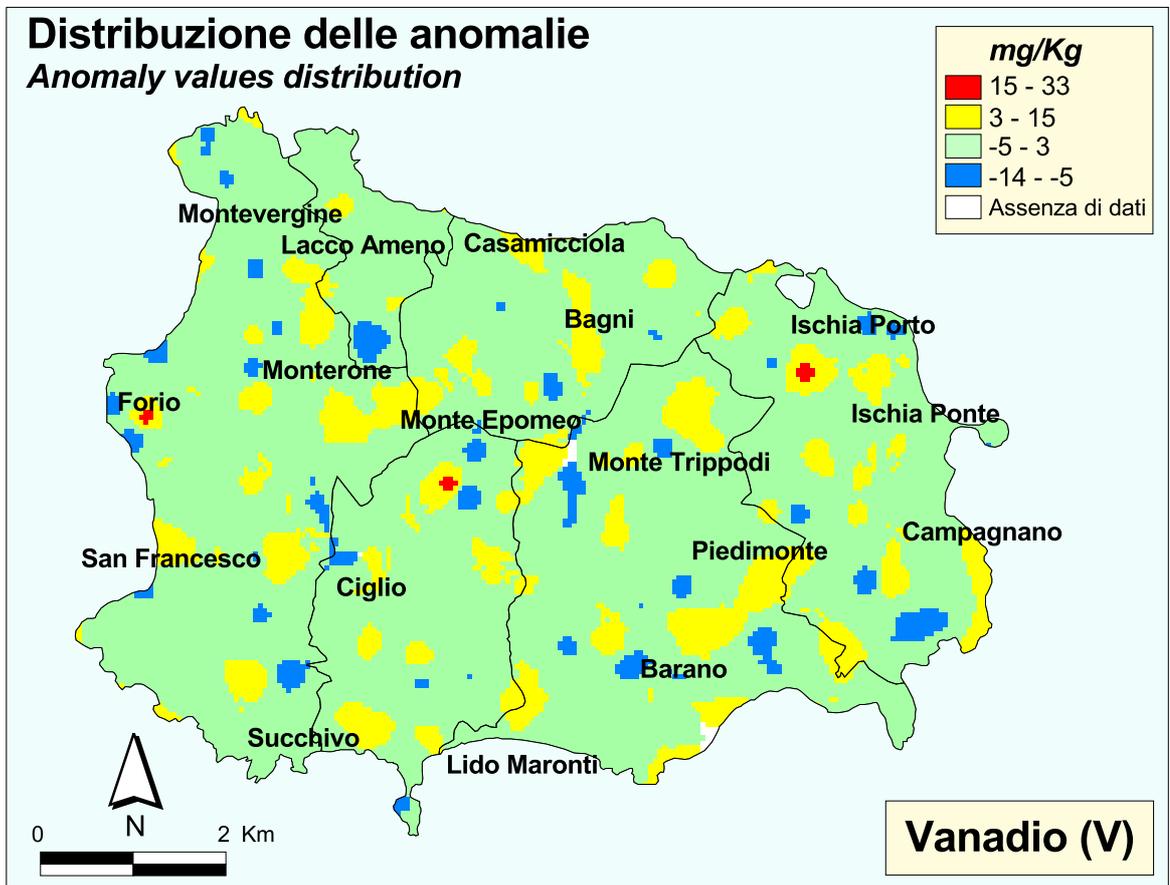


TAVOLA 40D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

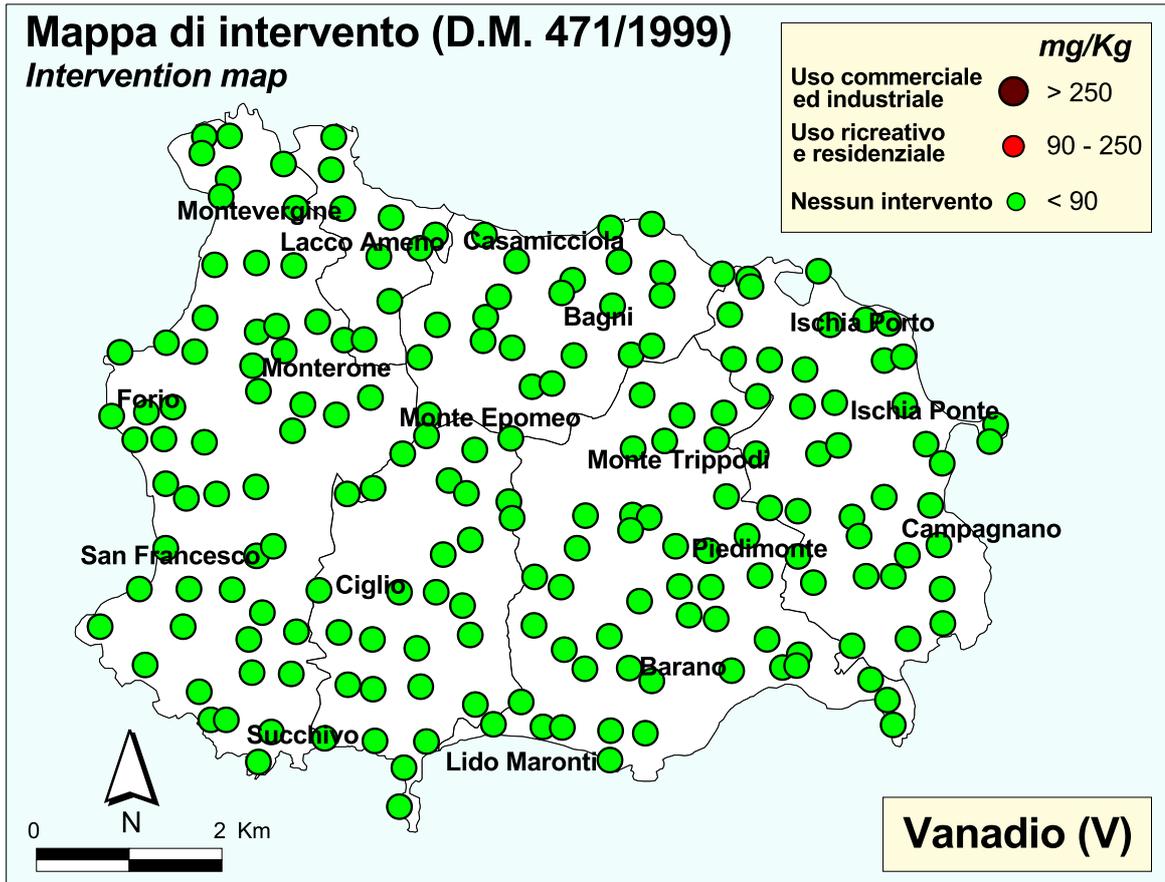


TAVOLA 40E

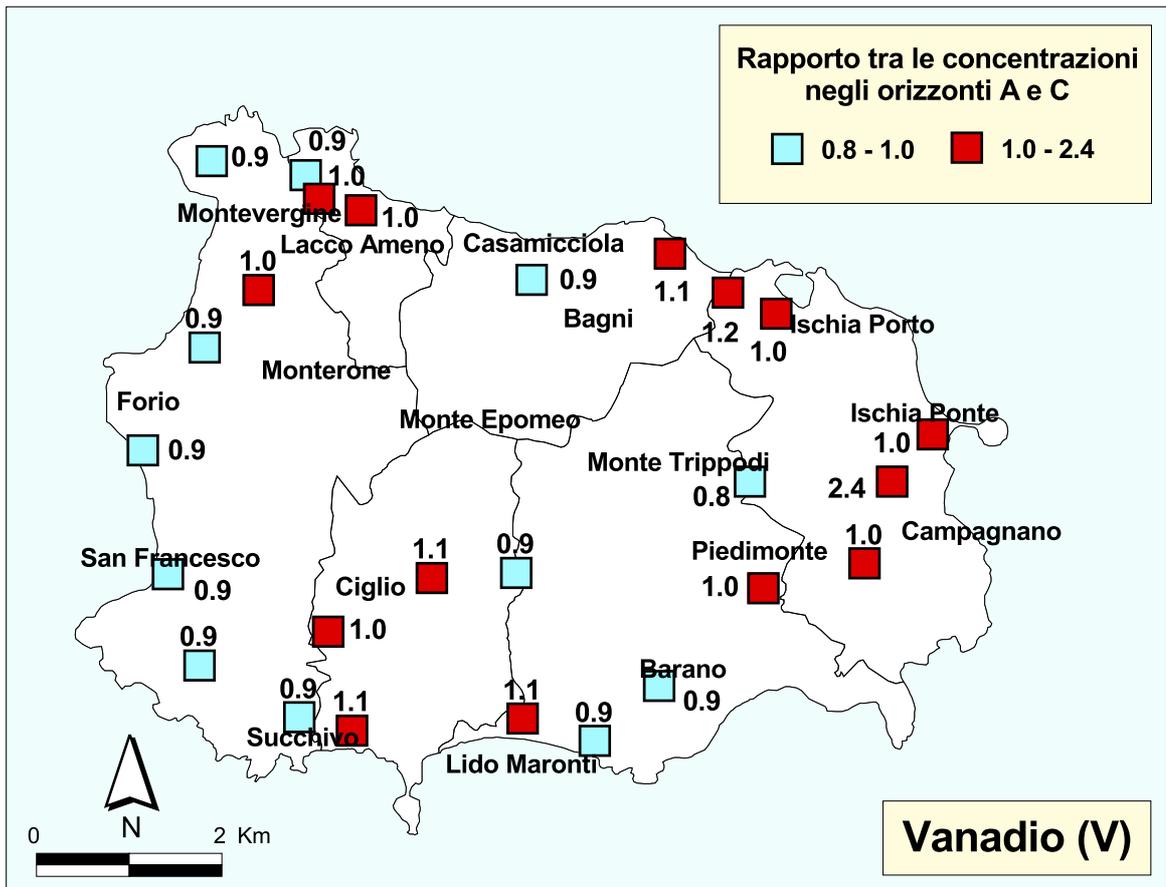


TAVOLA 40F

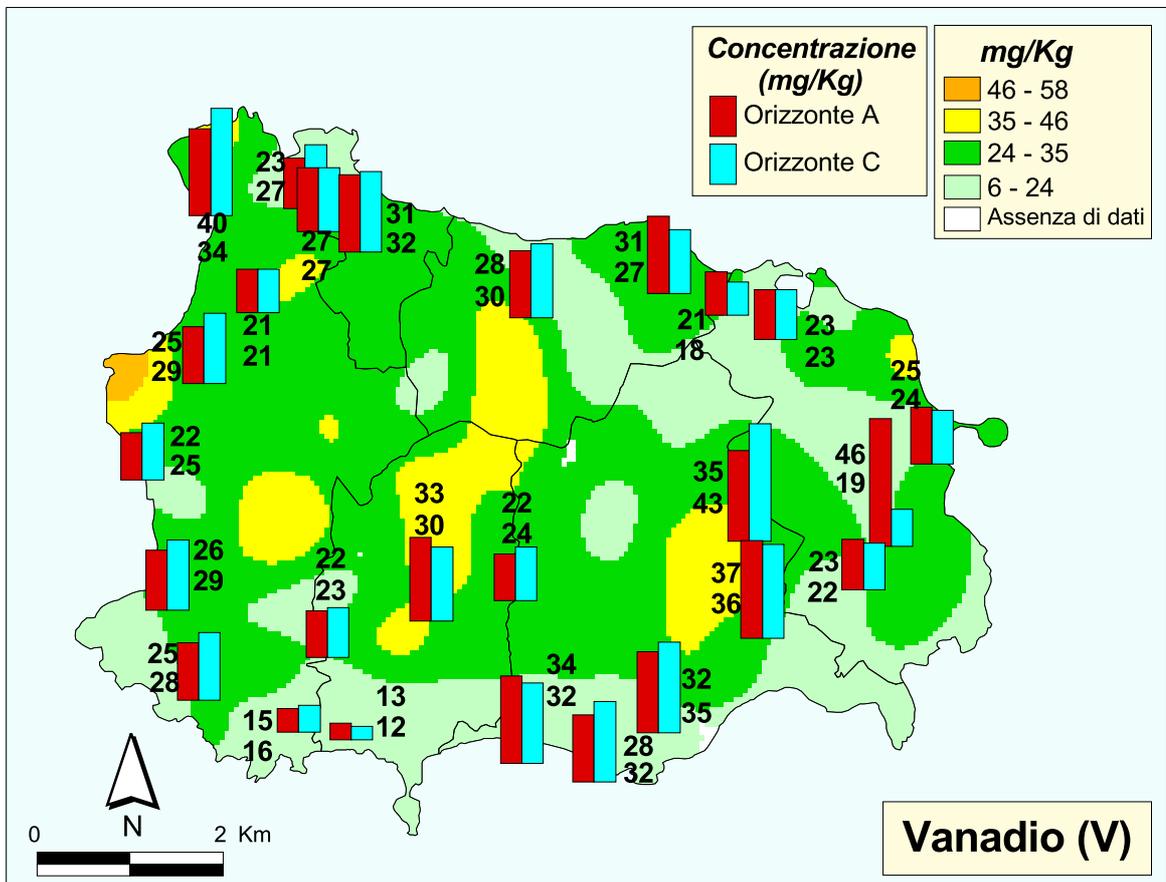


TAVOLA 40G

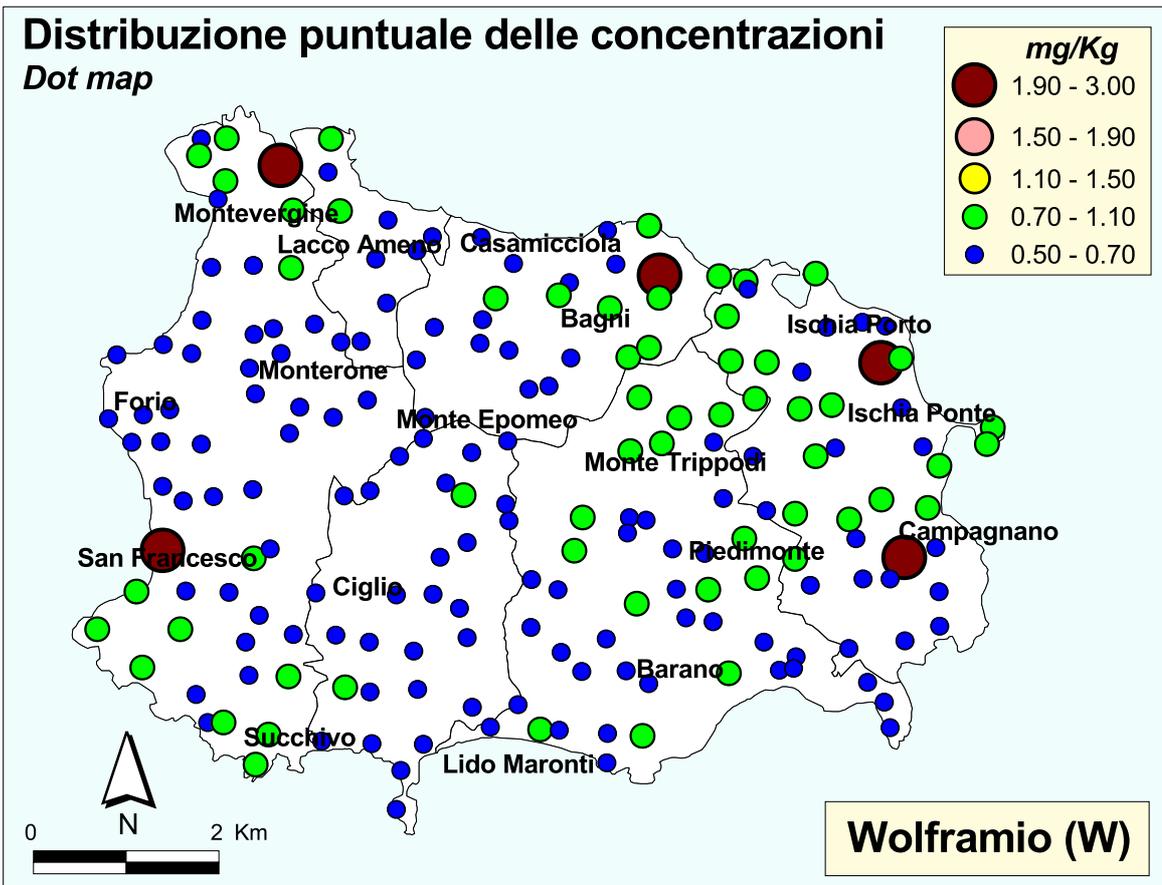


TAVOLA 41A

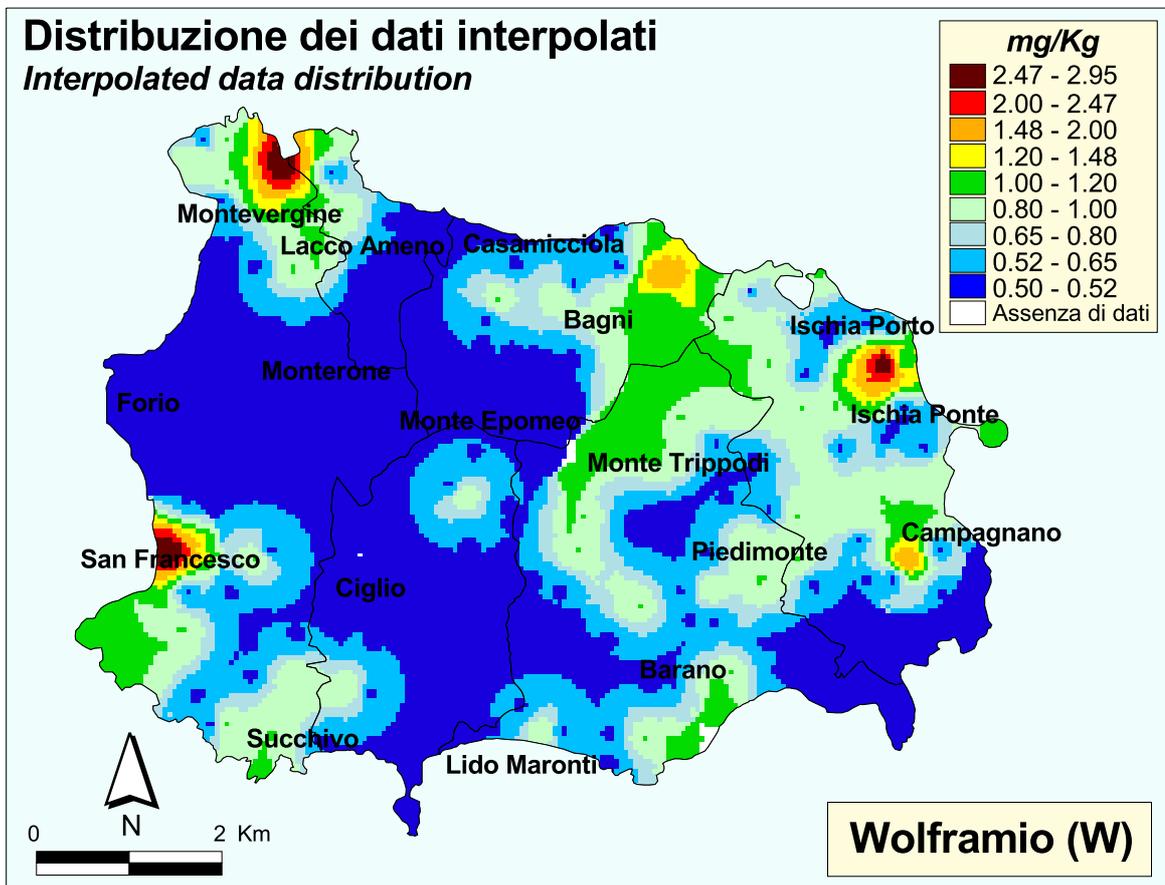


TAVOLA 41B

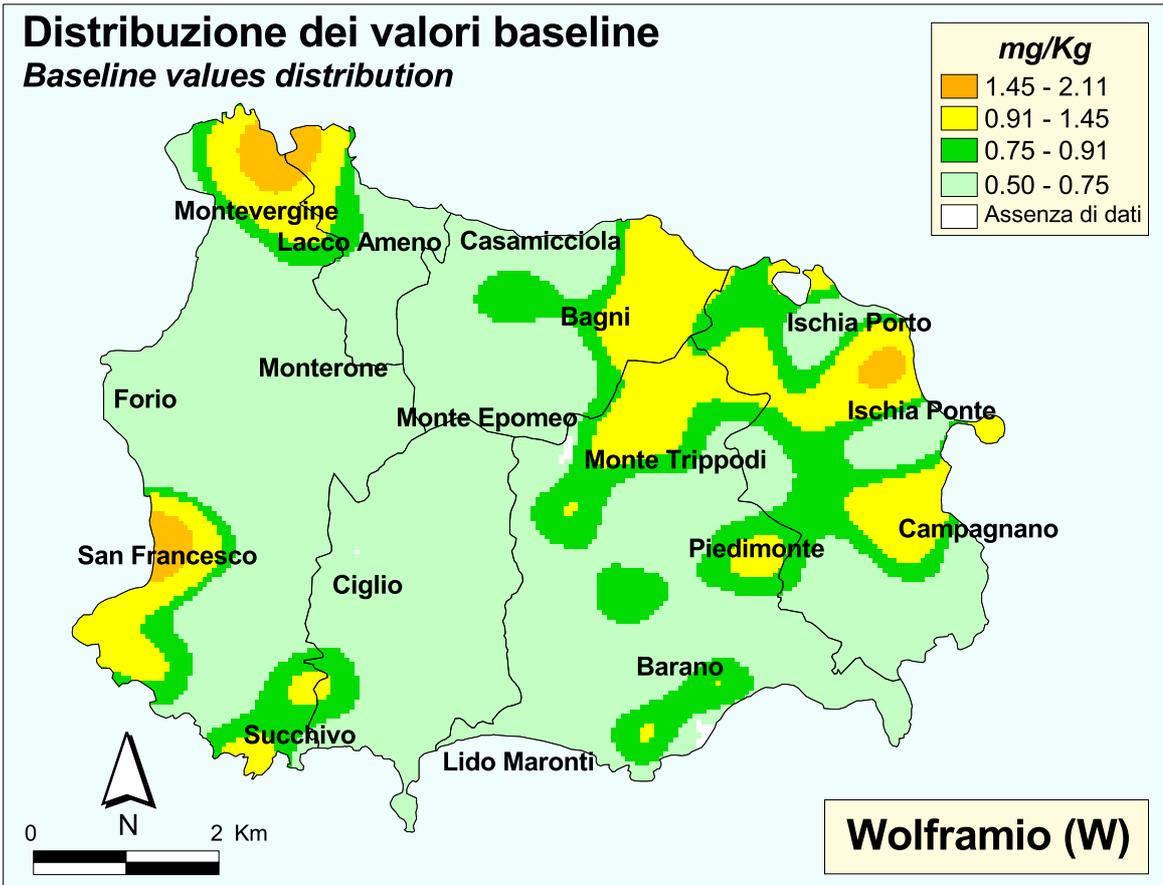


TAVOLA 41C

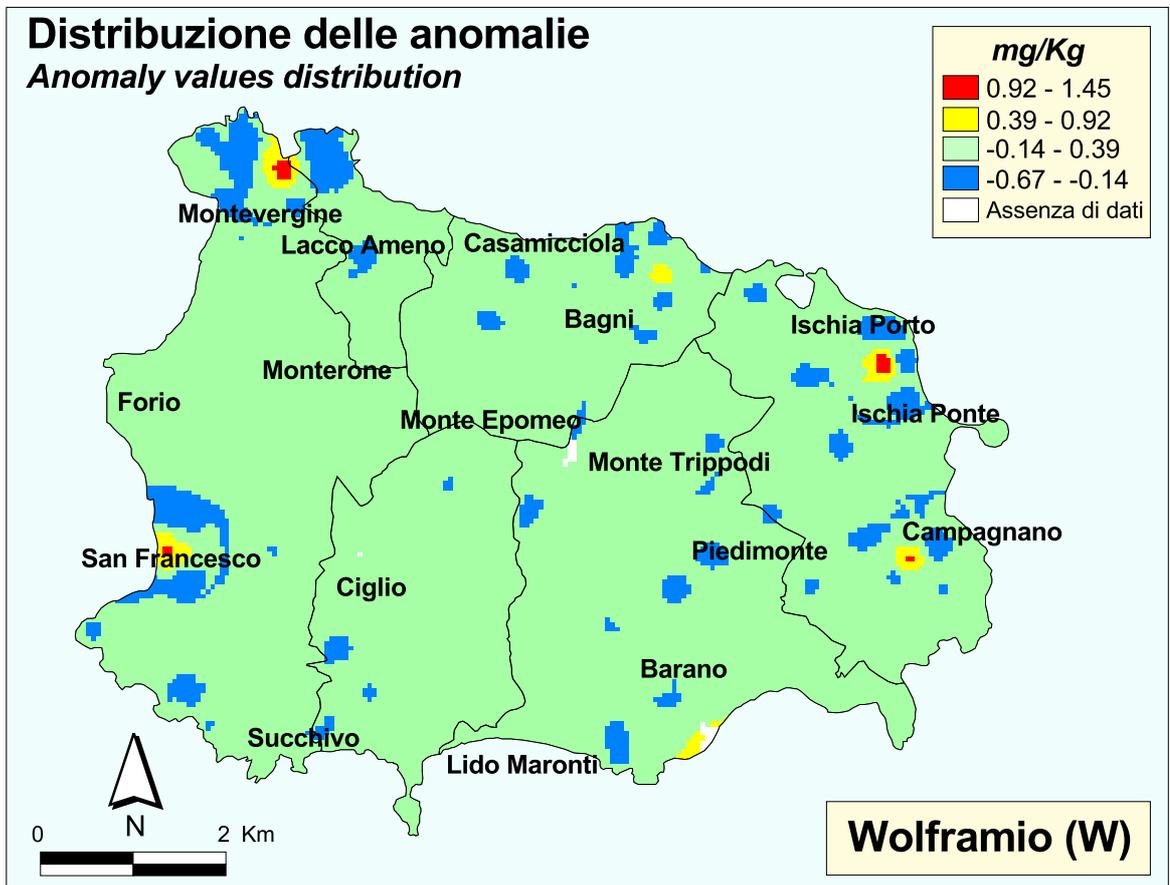


TAVOLA 41D

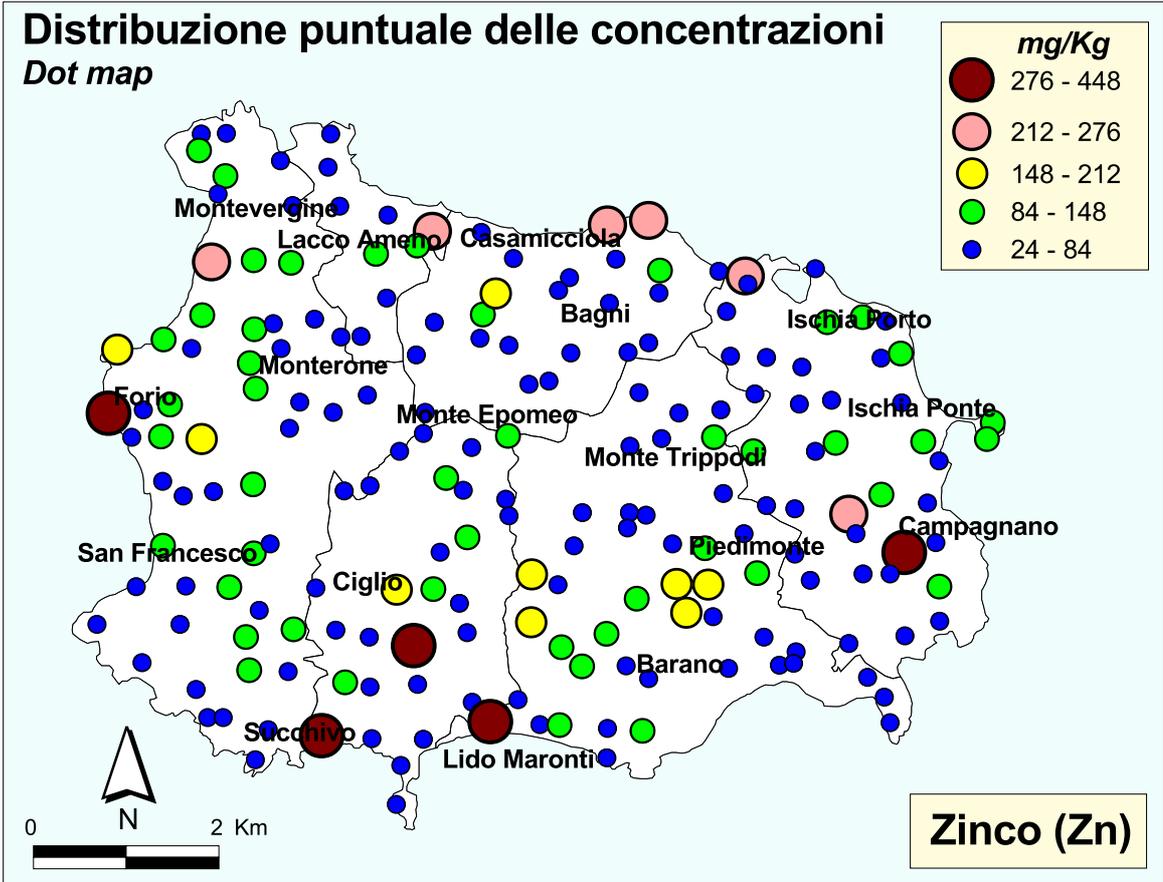


TAVOLA 42A

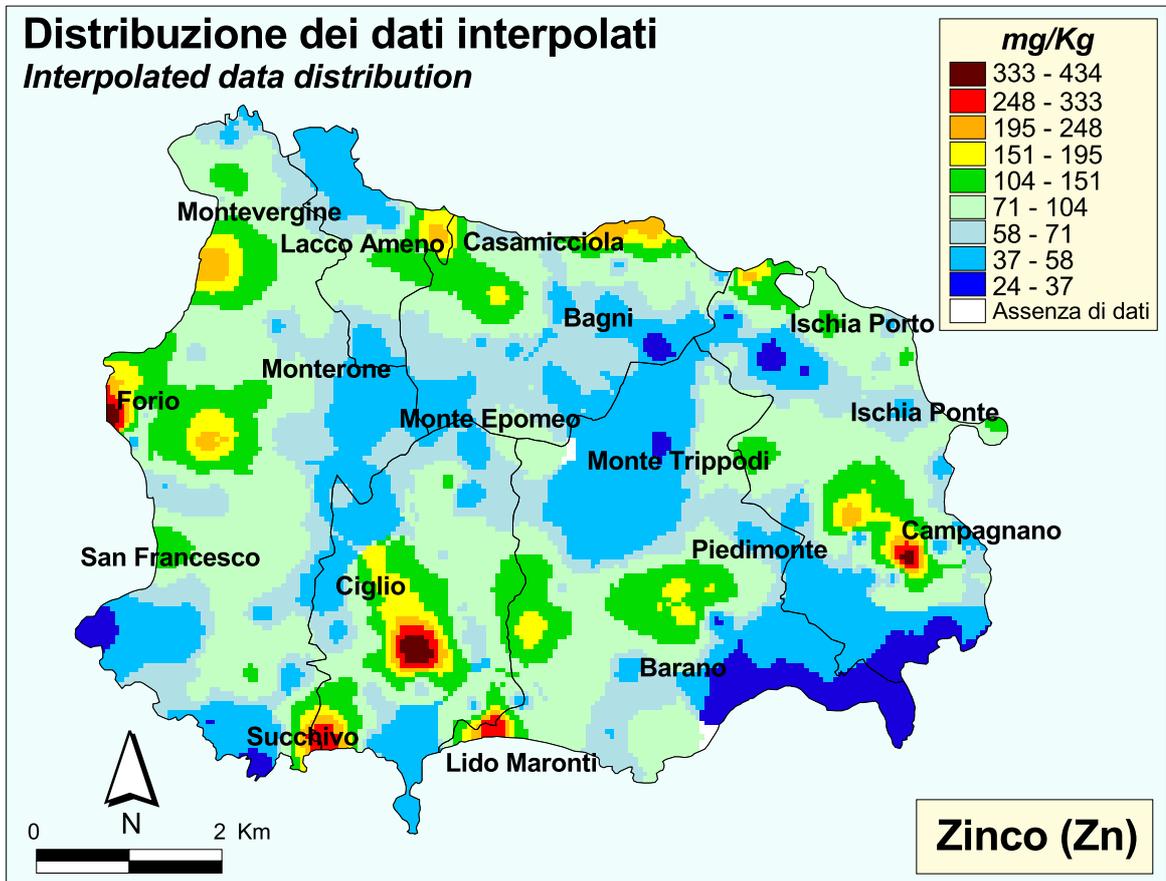


TAVOLA 42B

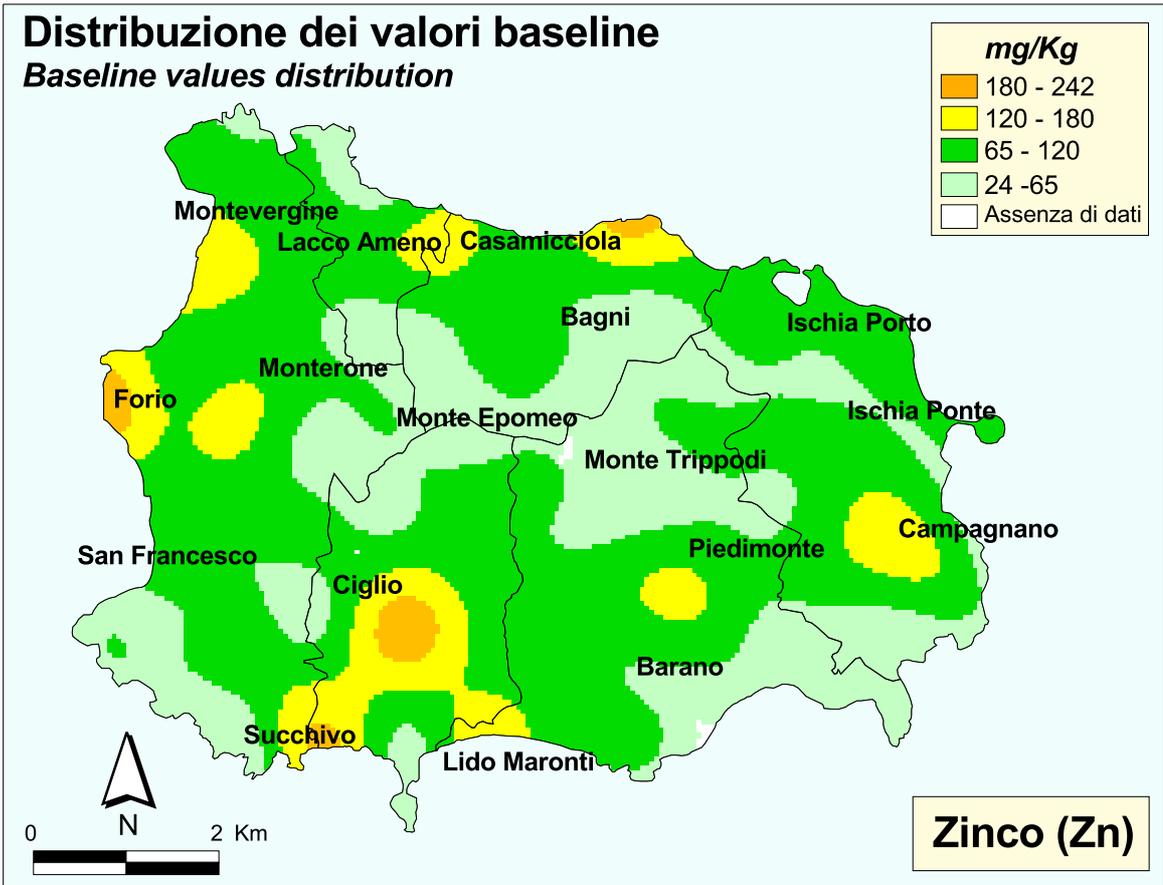


TAVOLA 42C

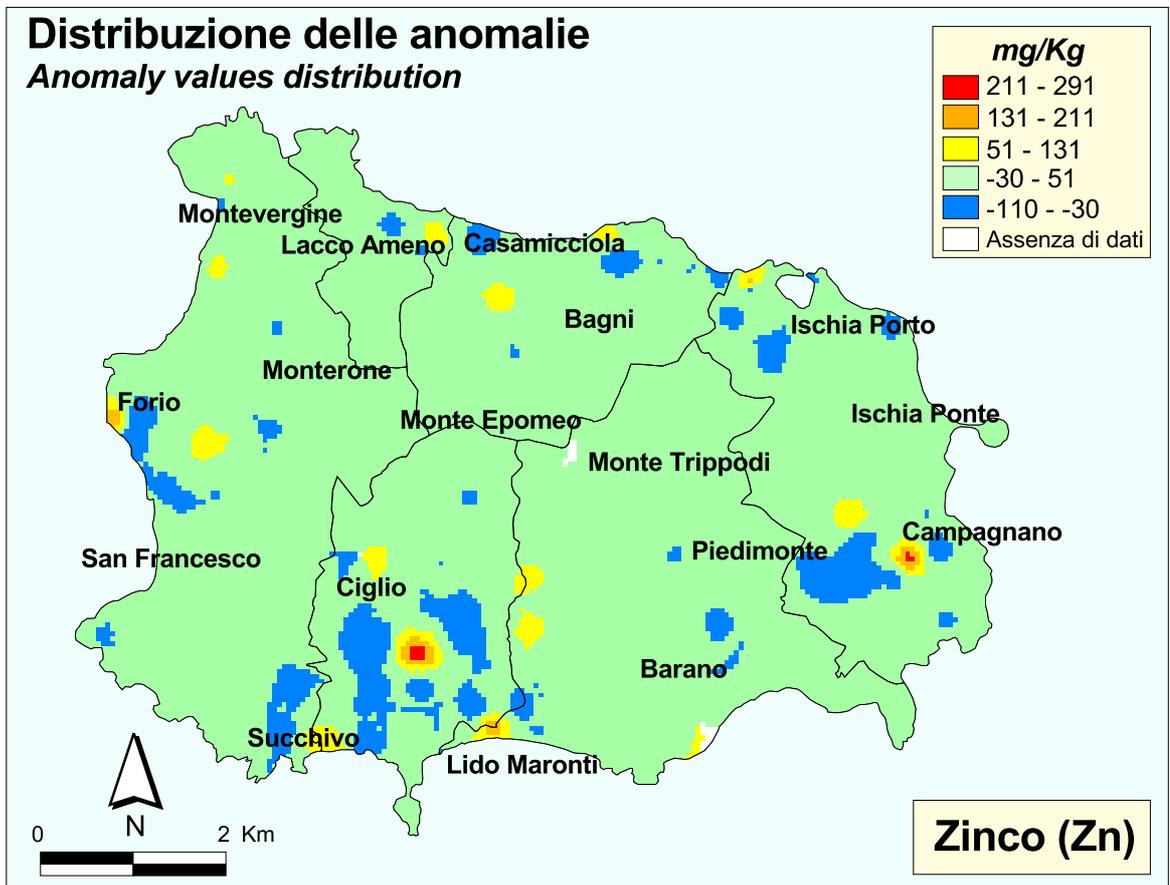


TAVOLA 42D

Mappa di intervento (D.M. 471/1999)

Intervention map

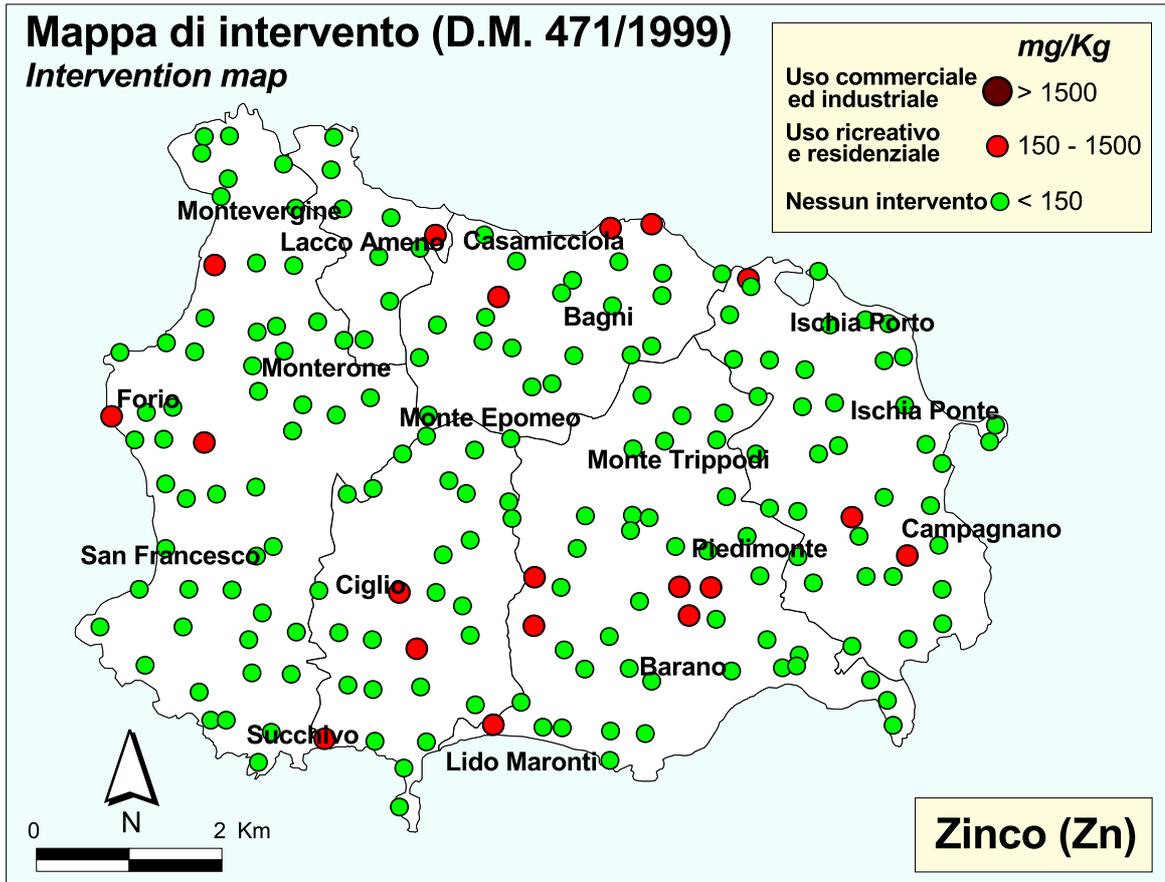


TAVOLA 42E

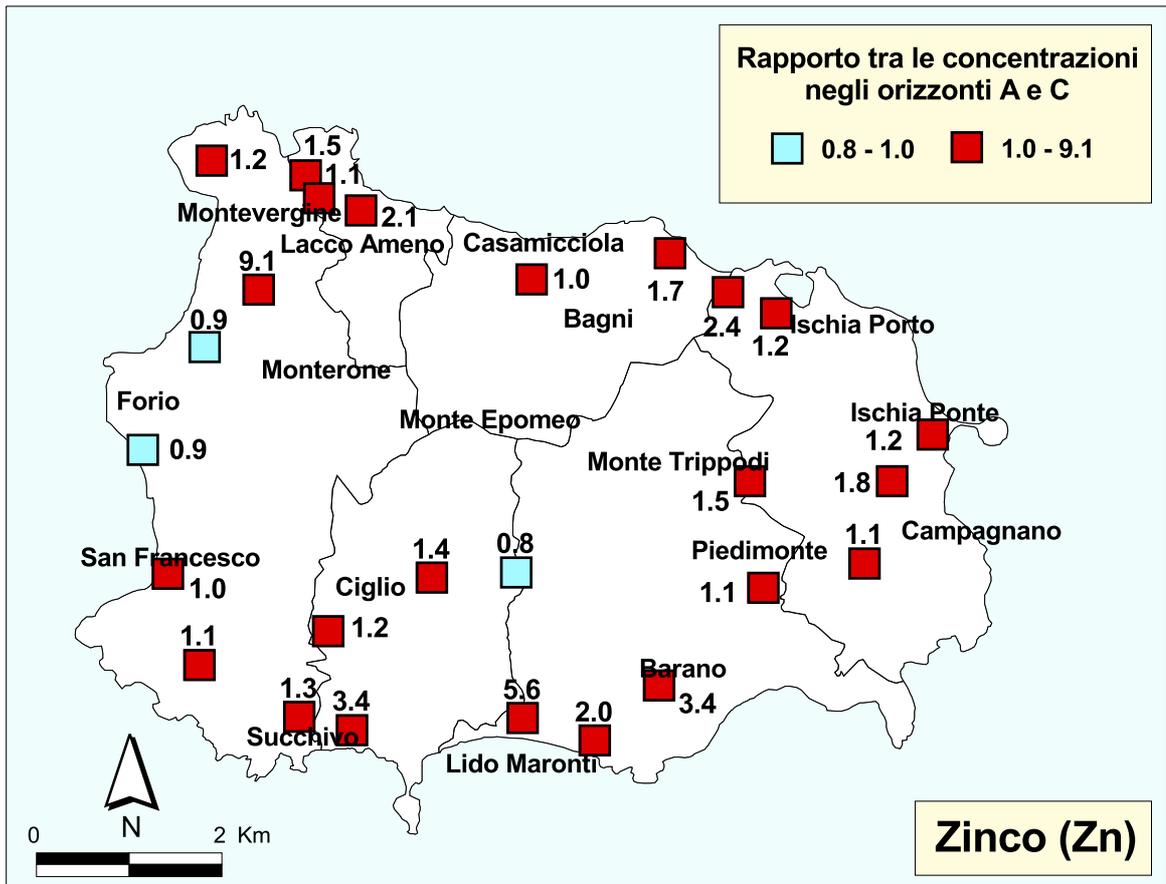


TAVOLA 42F

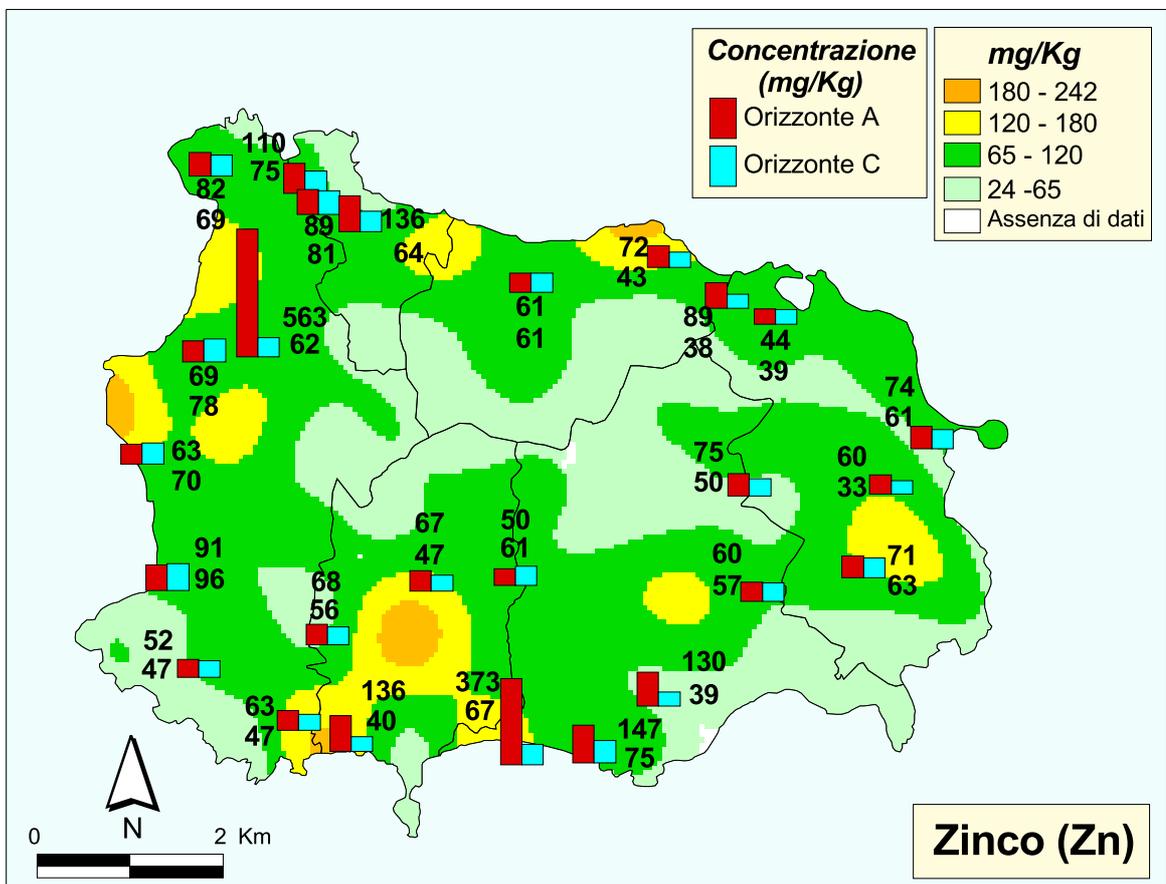


TAVOLA 42G

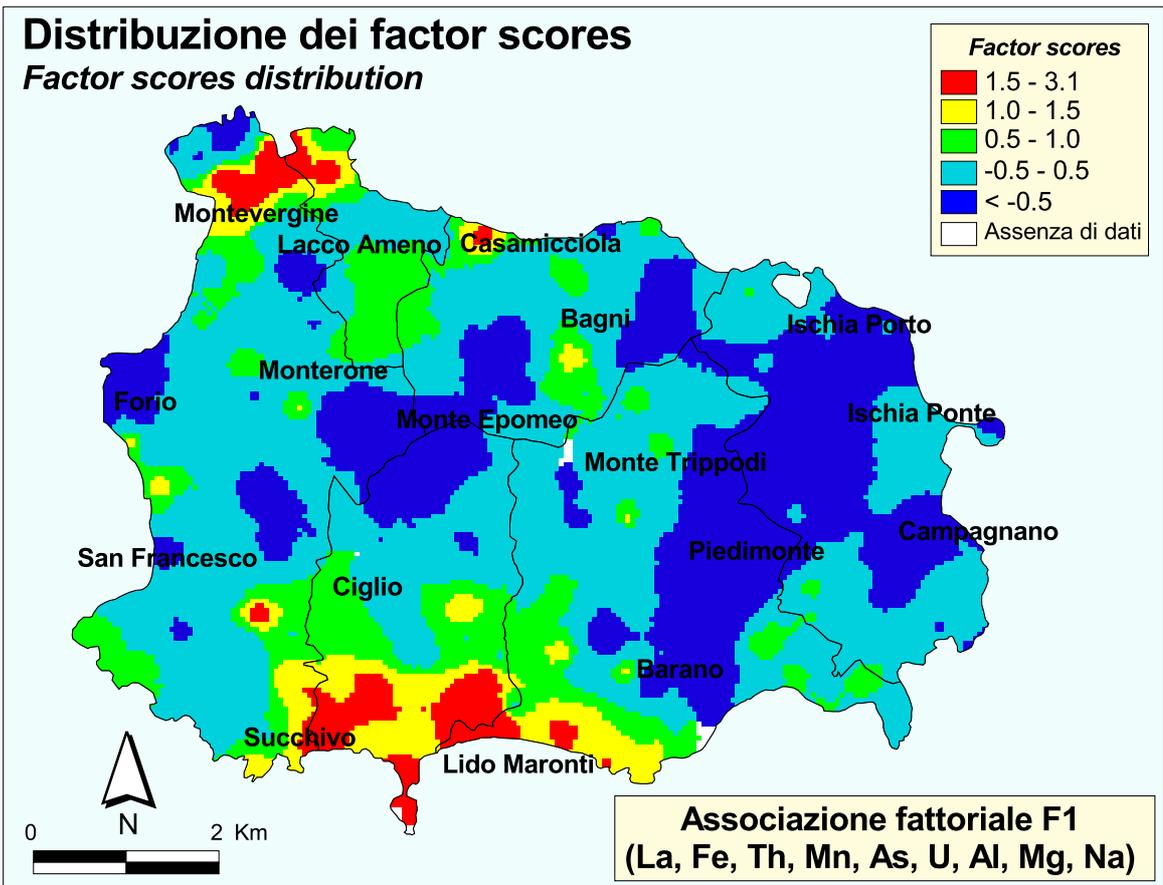


TAVOLA 43A

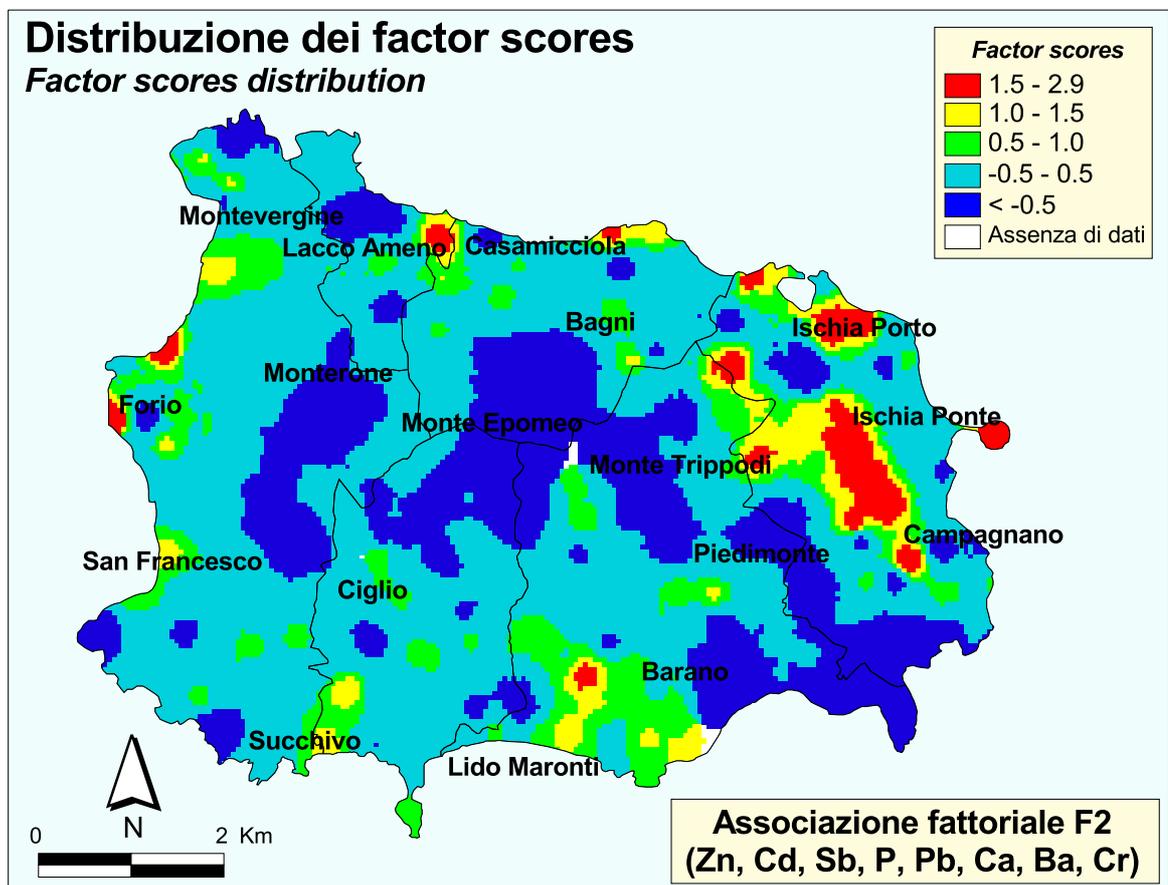


TAVOLA 43B

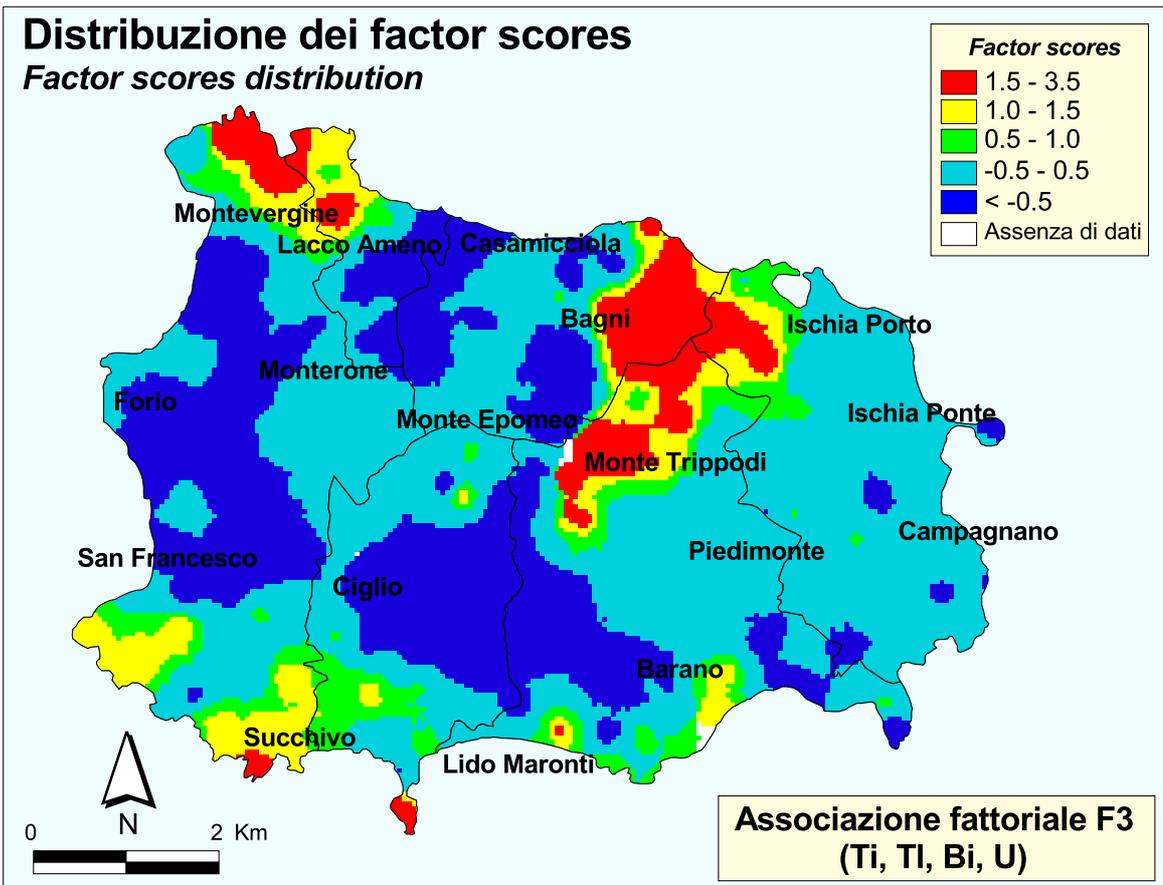


TAVOLA 43C

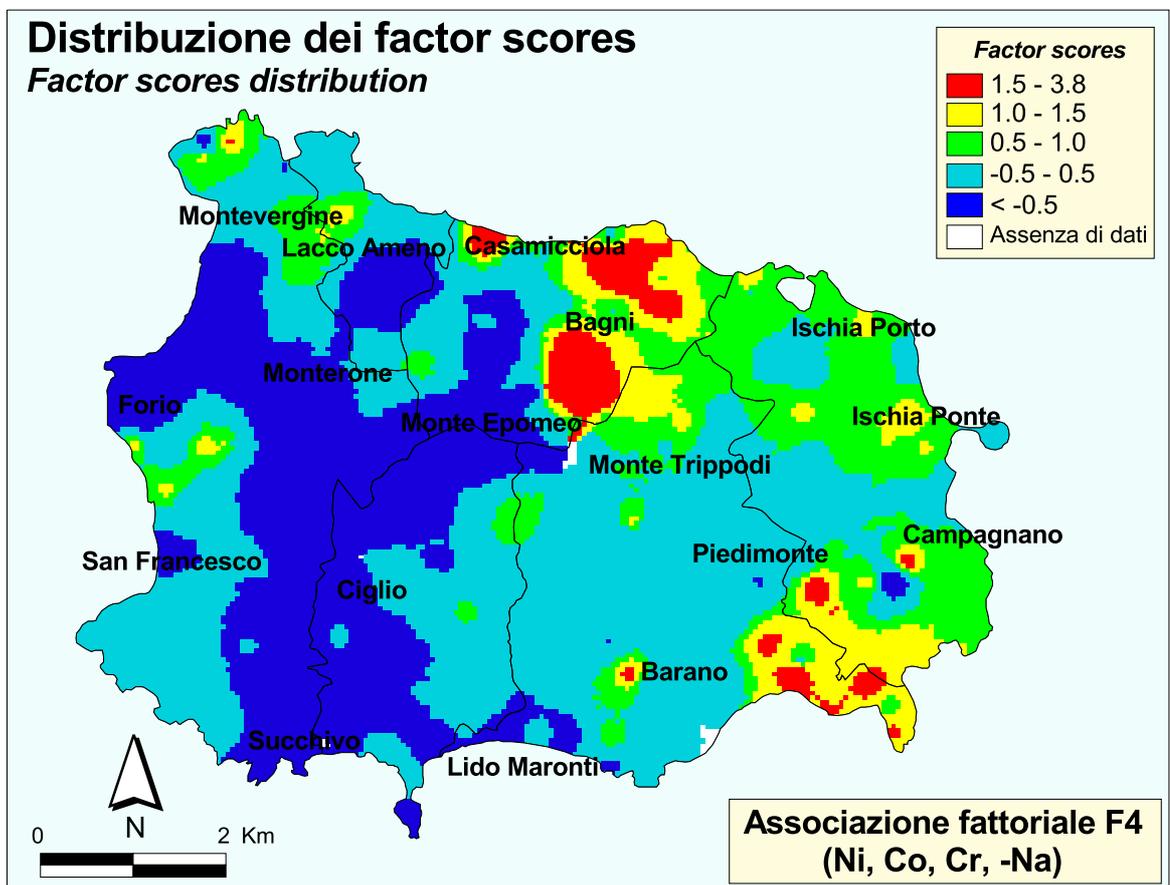


TAVOLA 43D

Distribuzione dei factor scores

Factor scores distribution

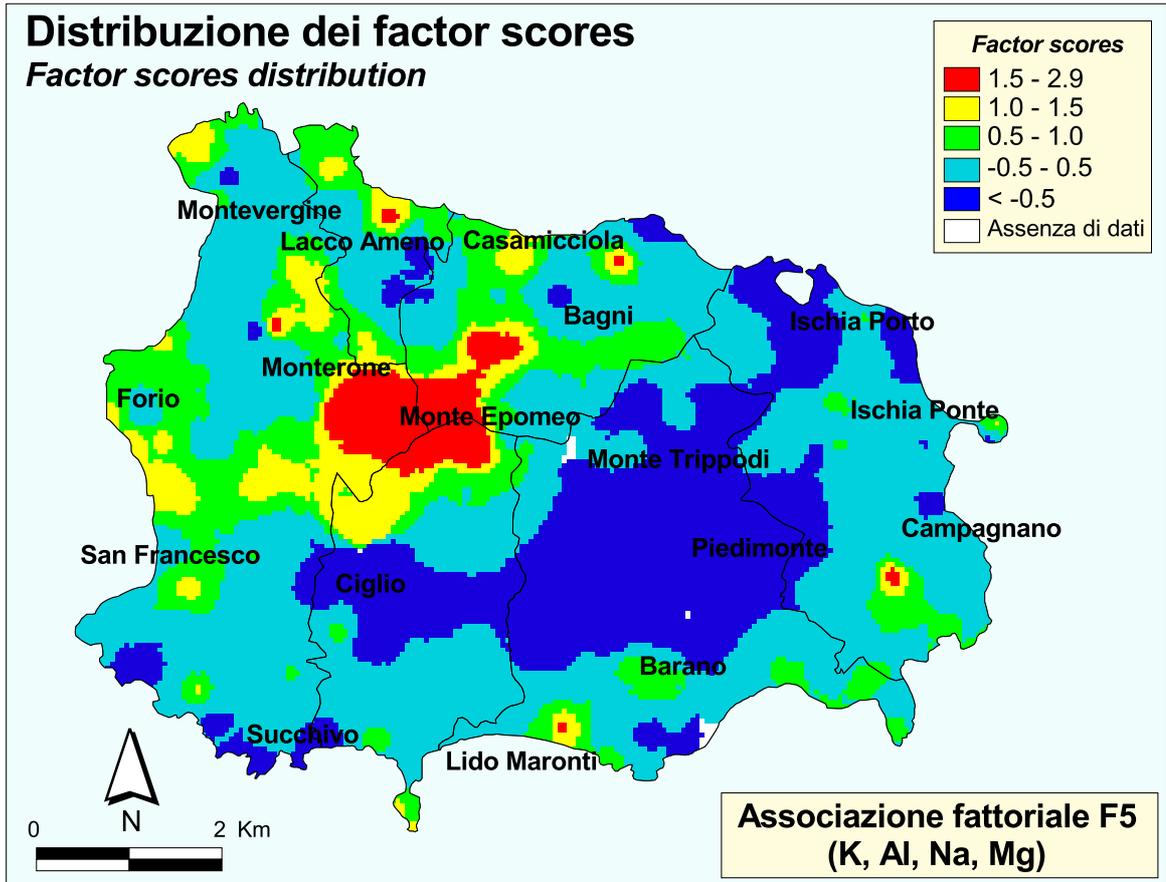


TAVOLA 43E

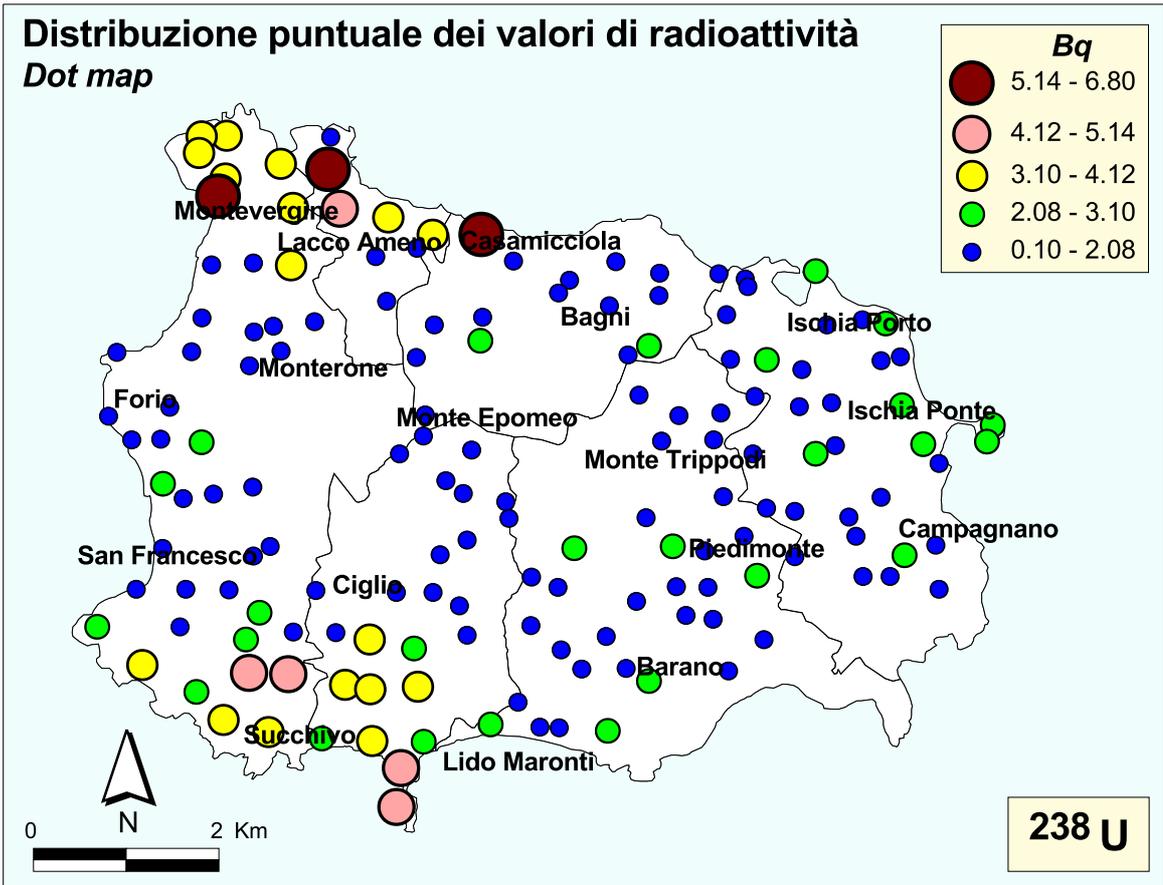


TAVOLA 44A

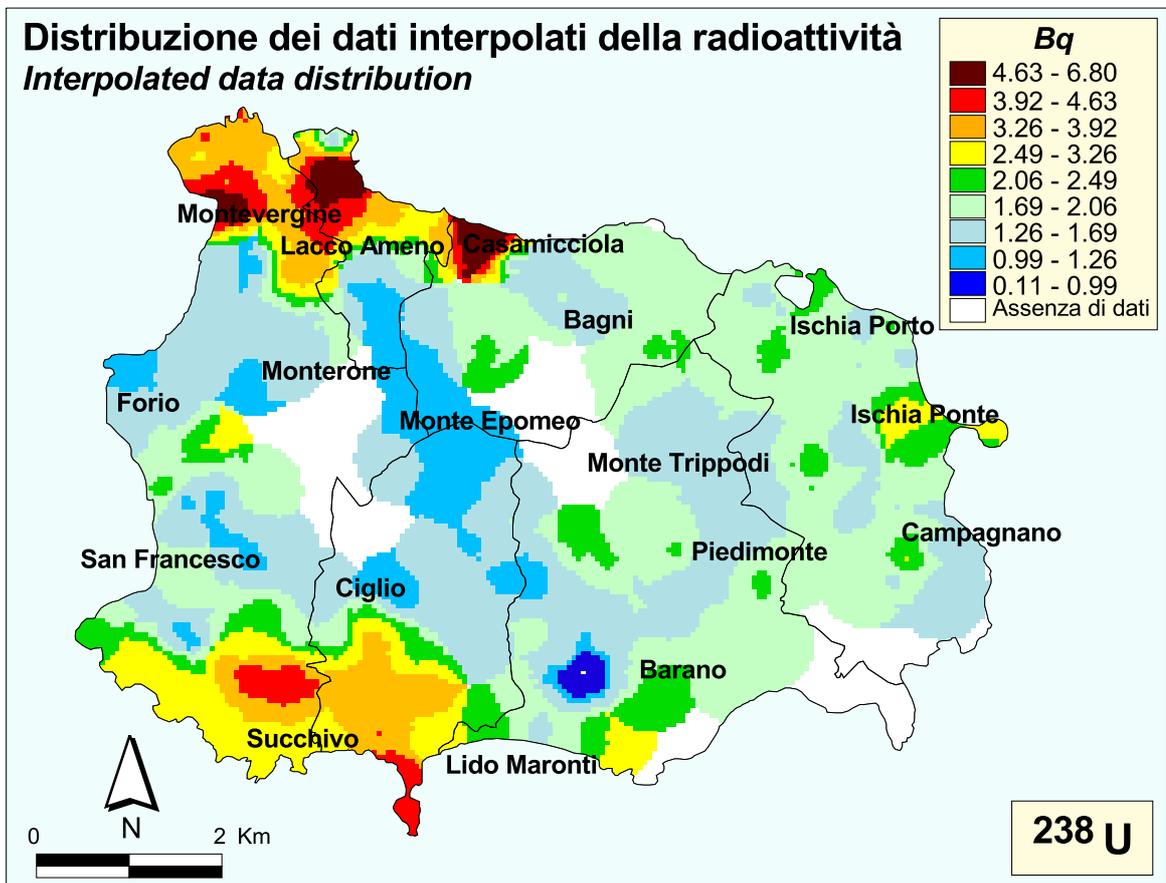


TAVOLA 44B

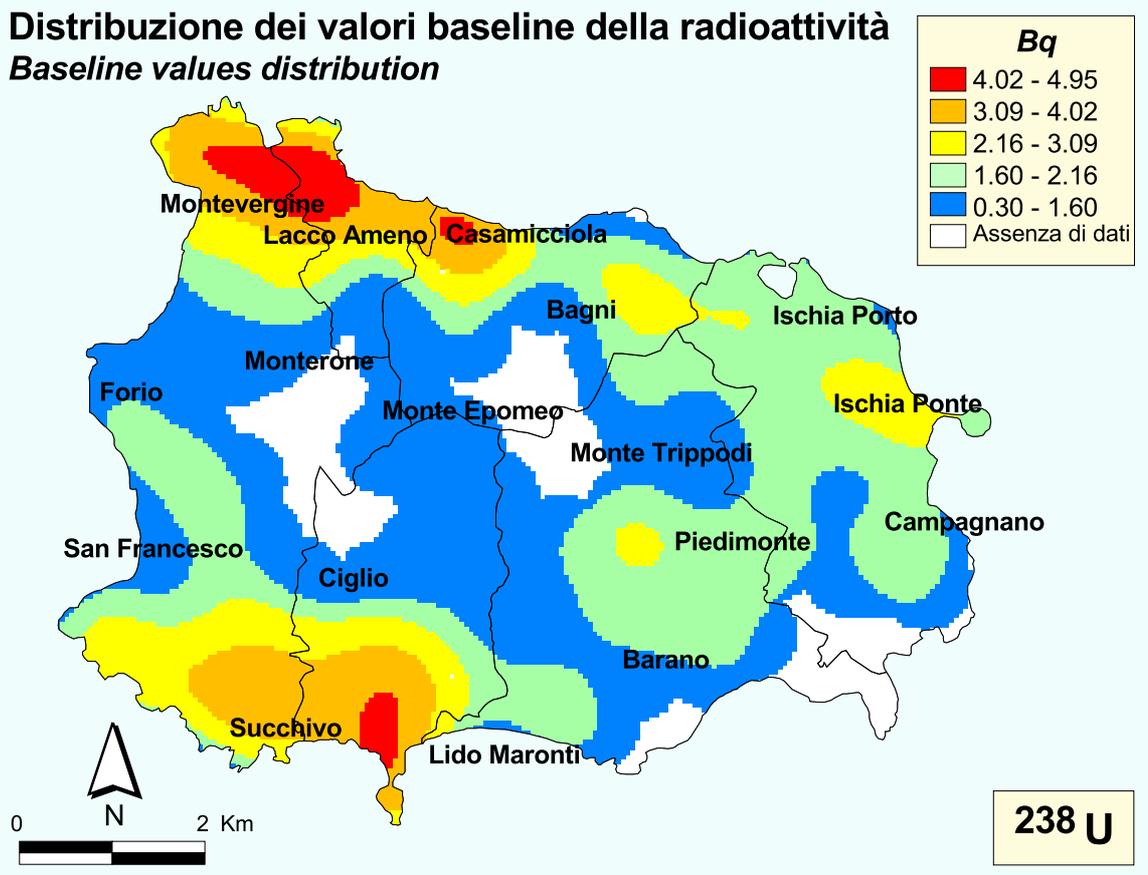


TAVOLA 44C

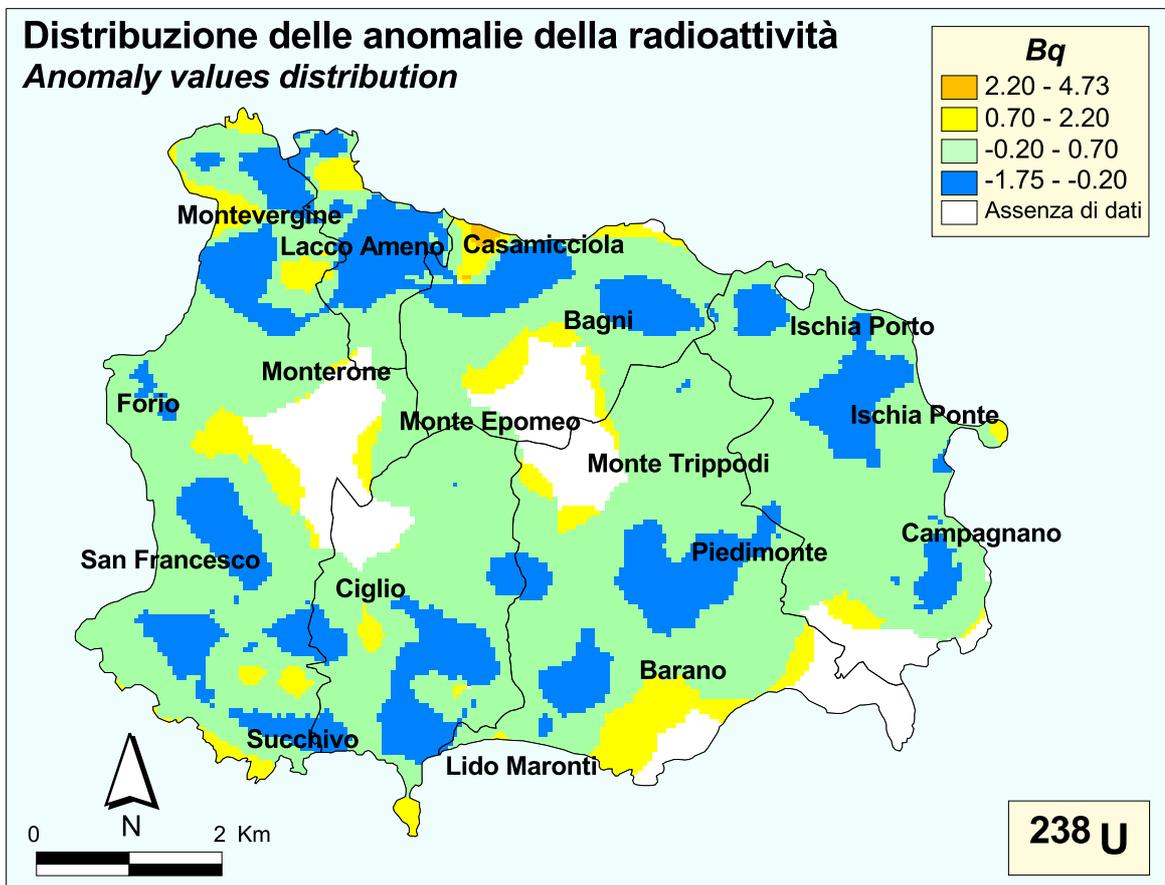


TAVOLA 44D

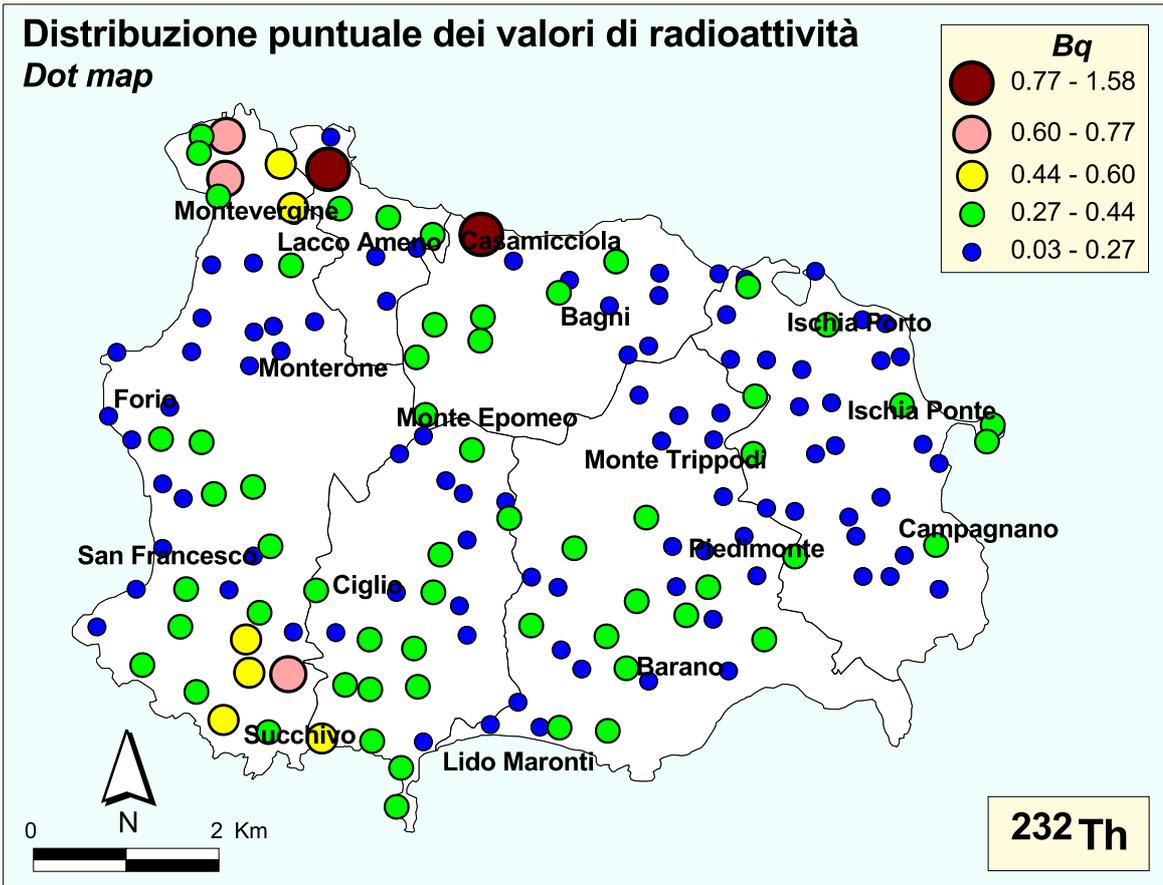


TAVOLA 45A

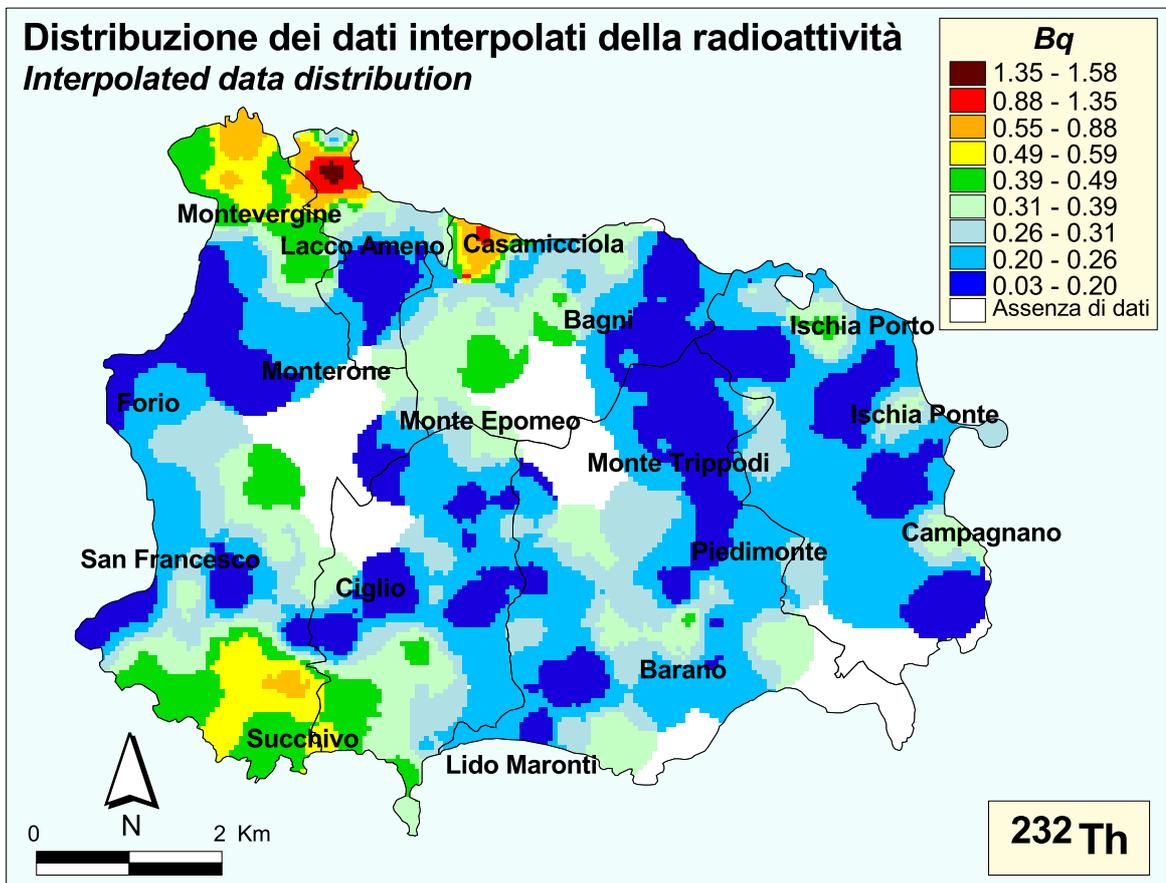


TAVOLA 45B

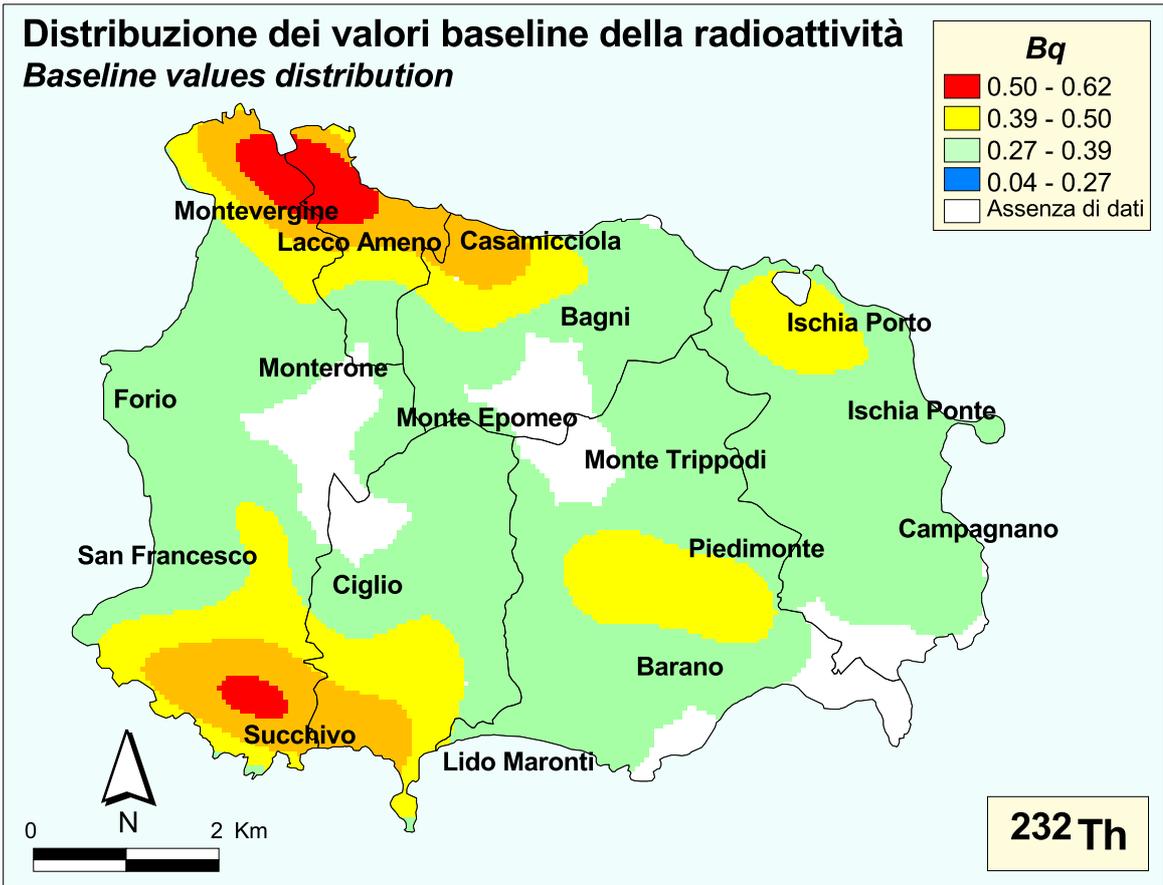


TAVOLA 45C

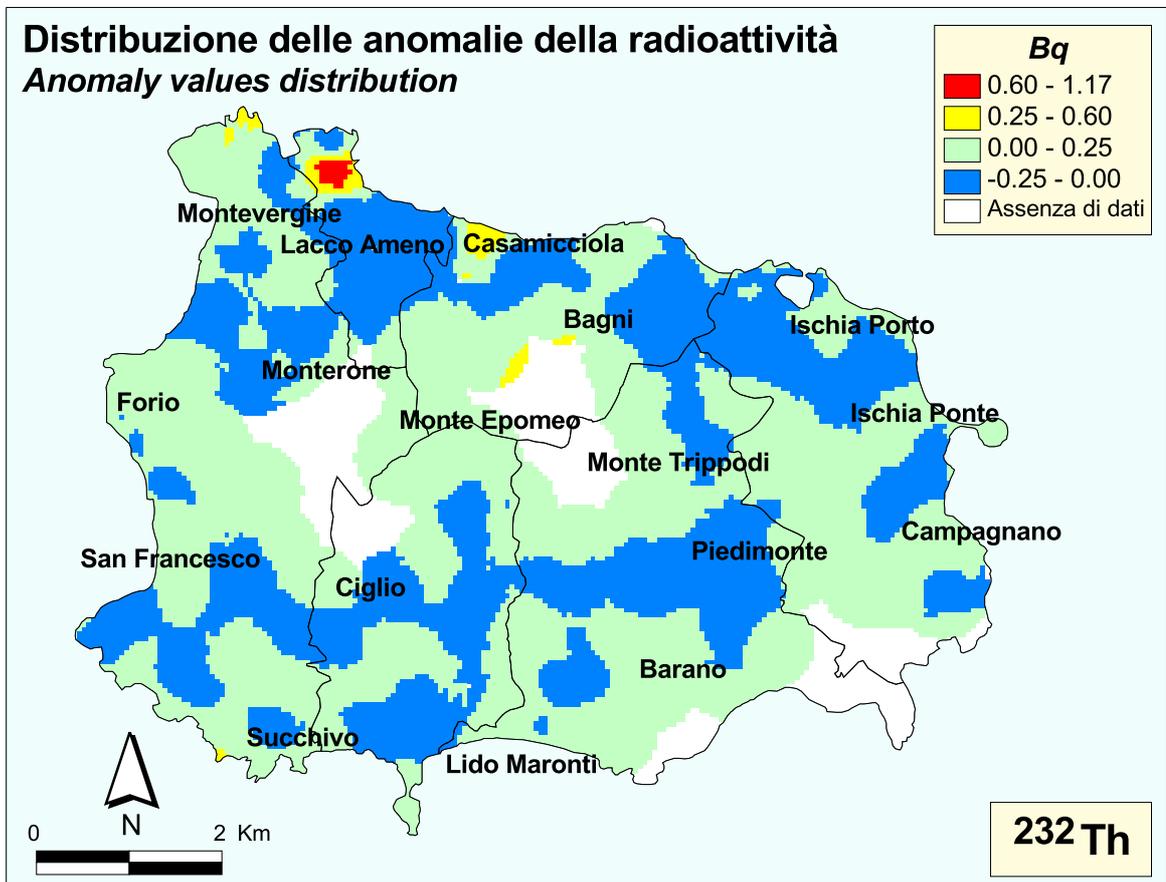


TAVOLA 45D

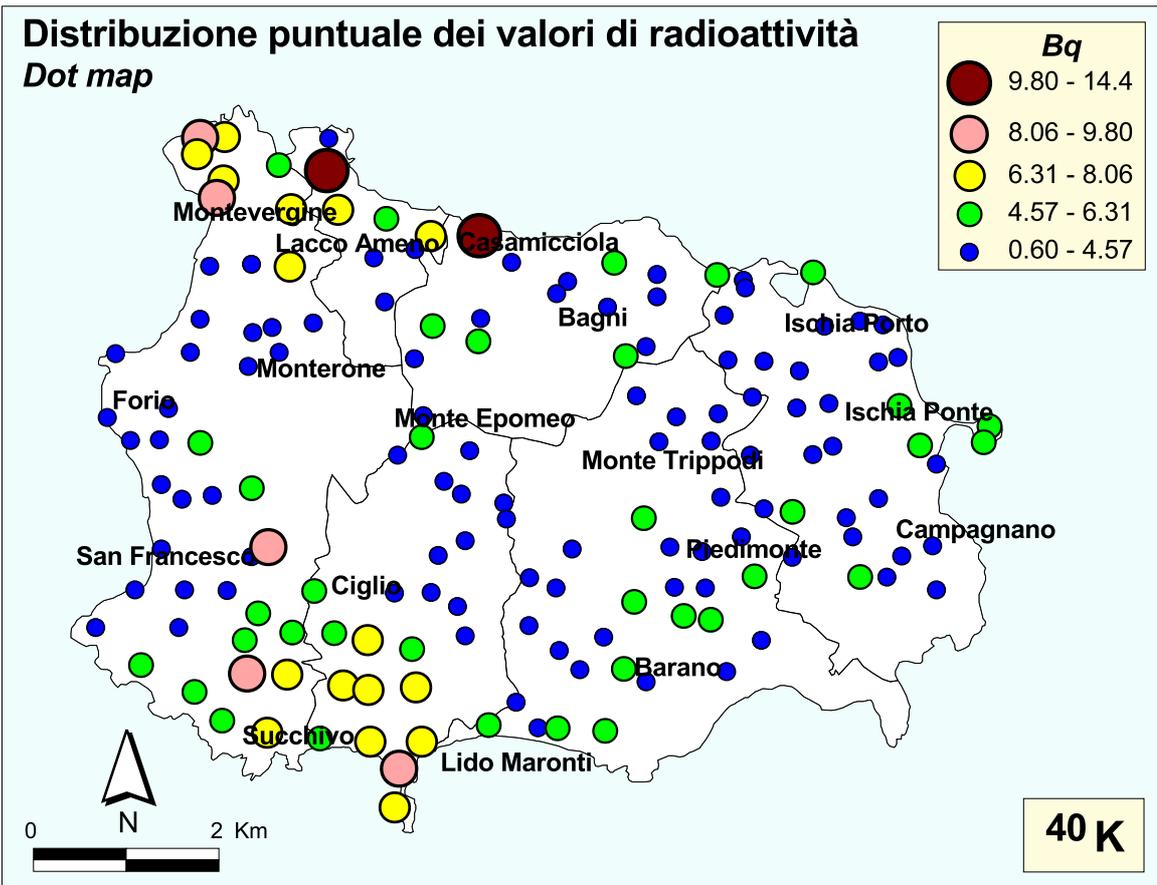


TAVOLA 46A

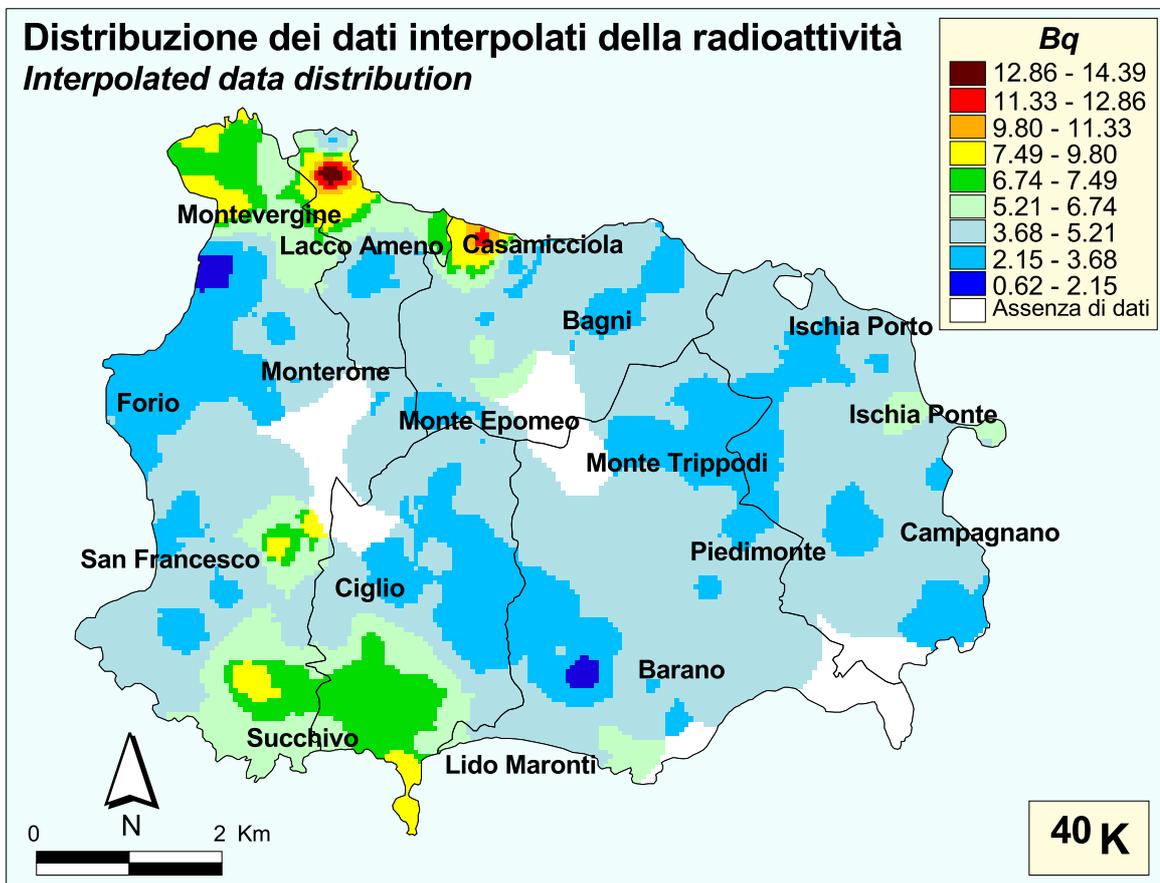


TAVOLA 46B

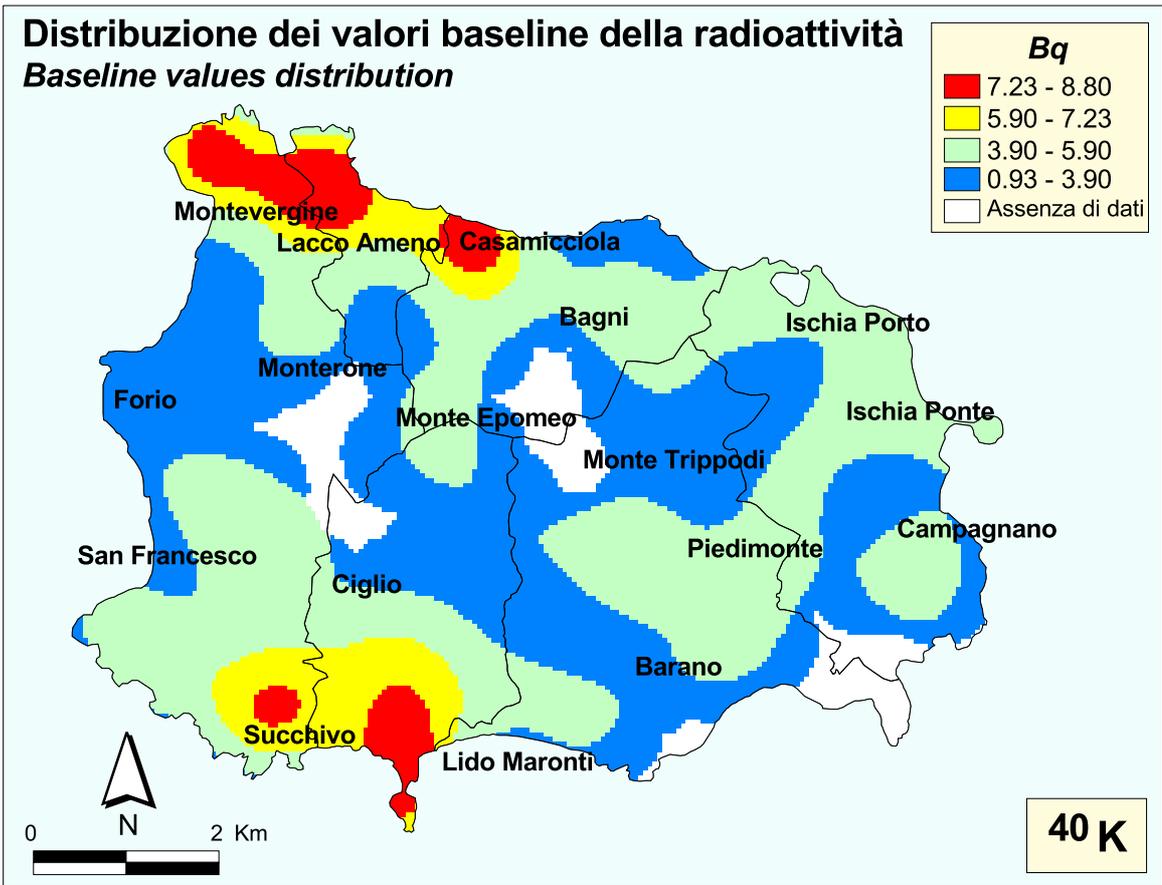


TAVOLA 46C

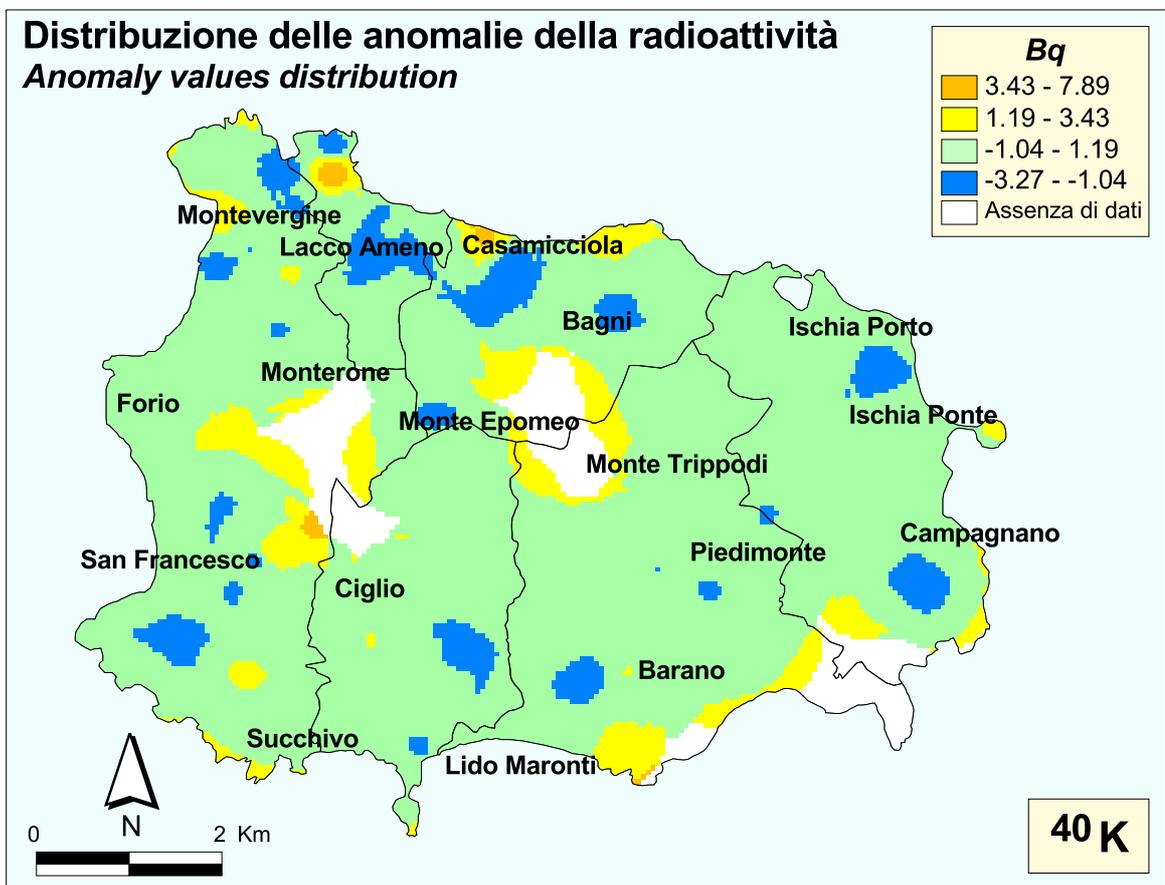


TAVOLA 46D

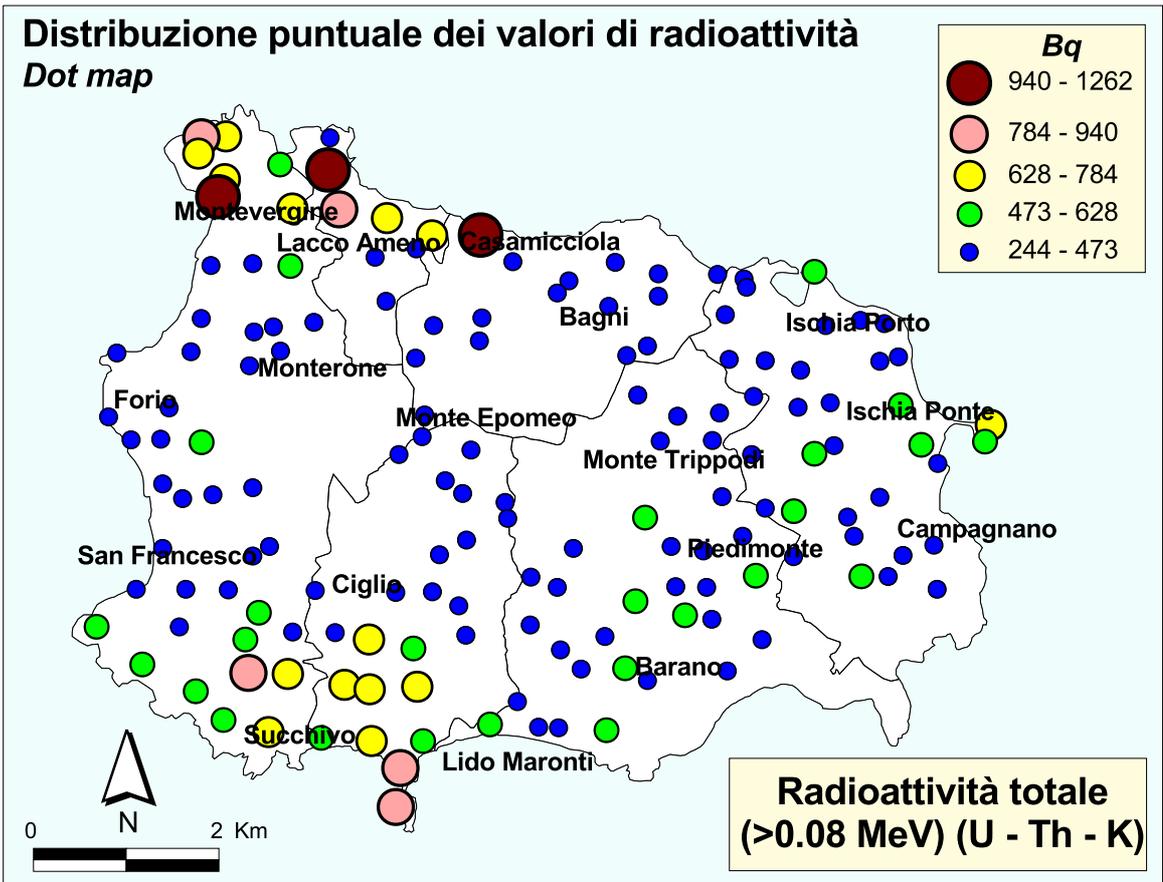


TAVOLA 47A

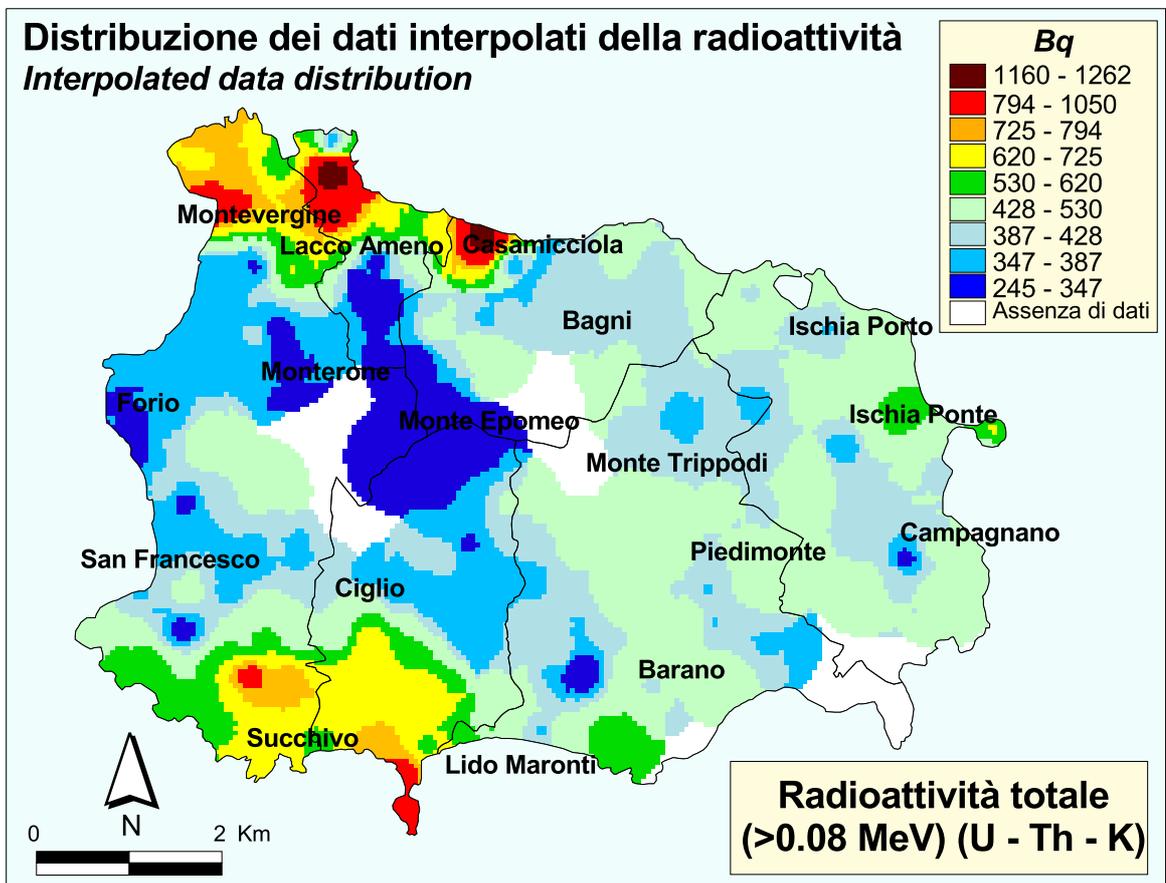


TAVOLA 47B

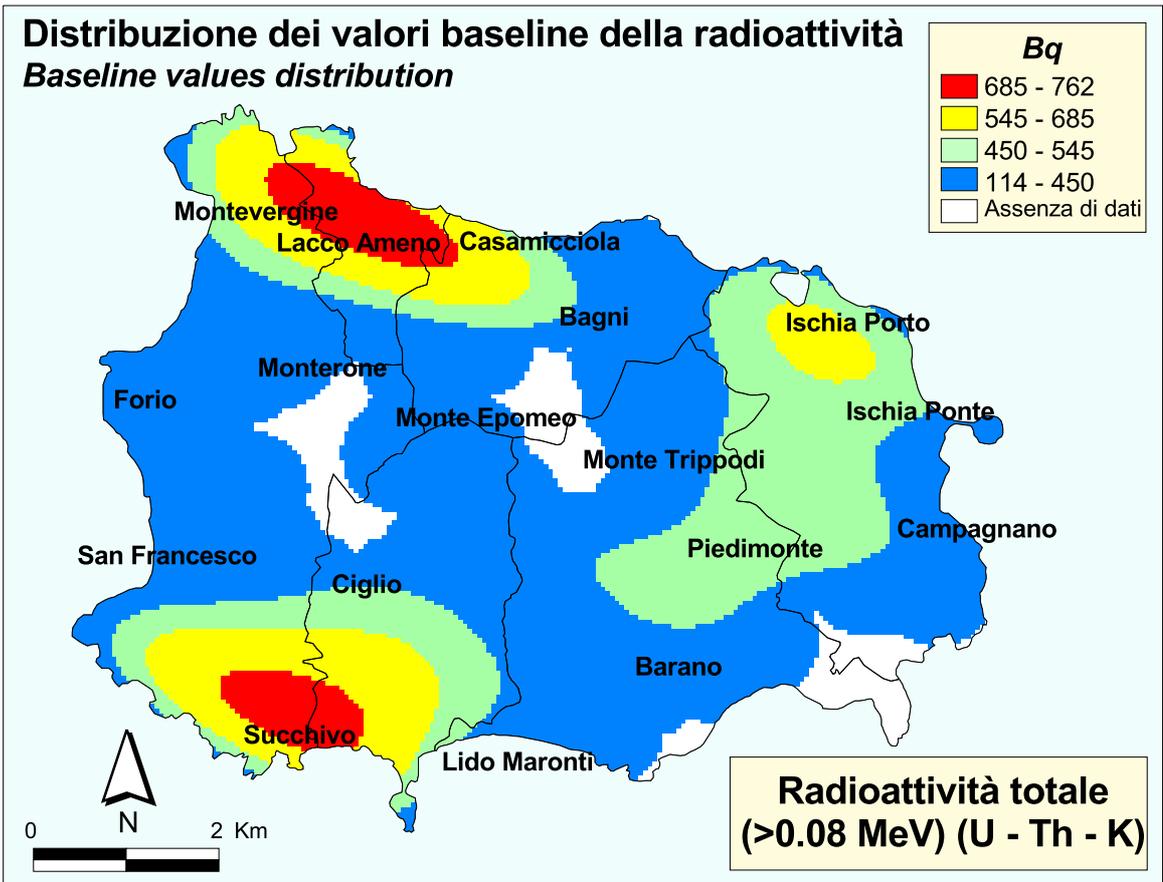


TAVOLA 47C

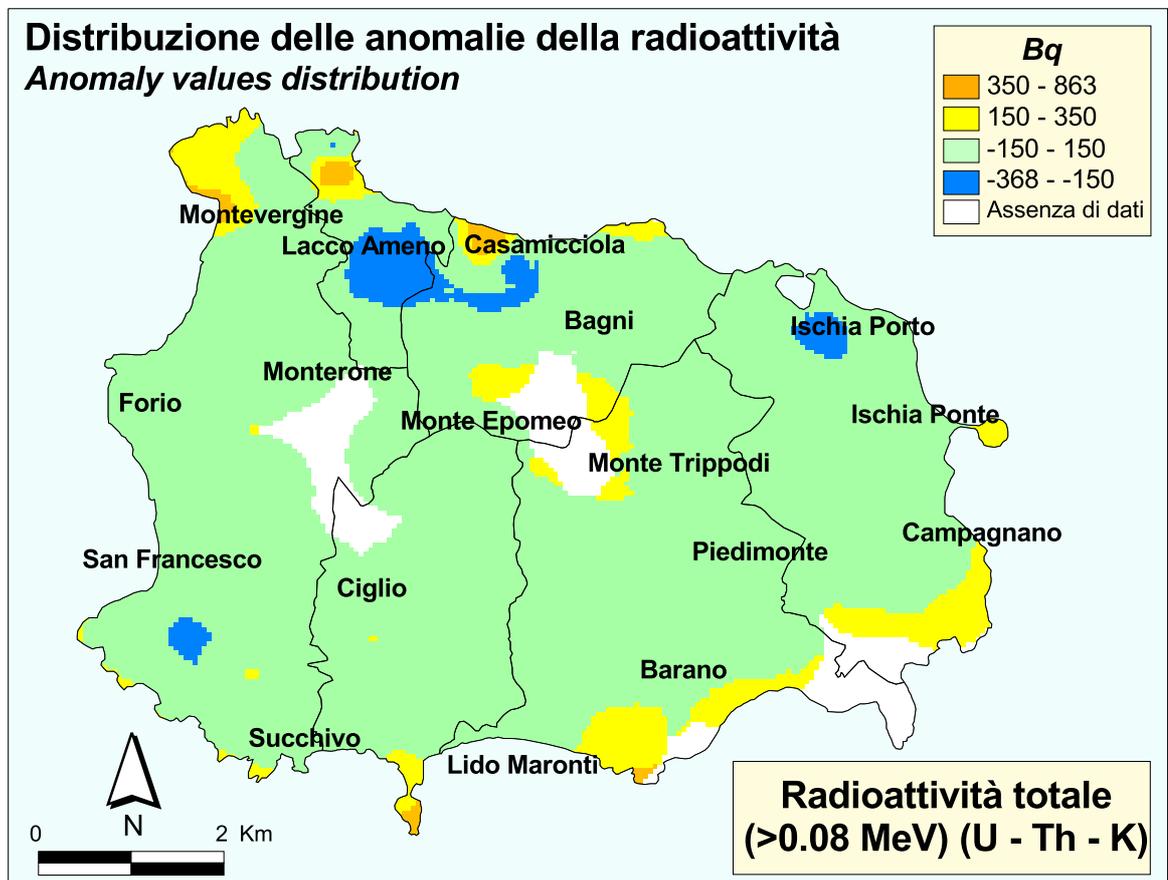


TAVOLA 47D

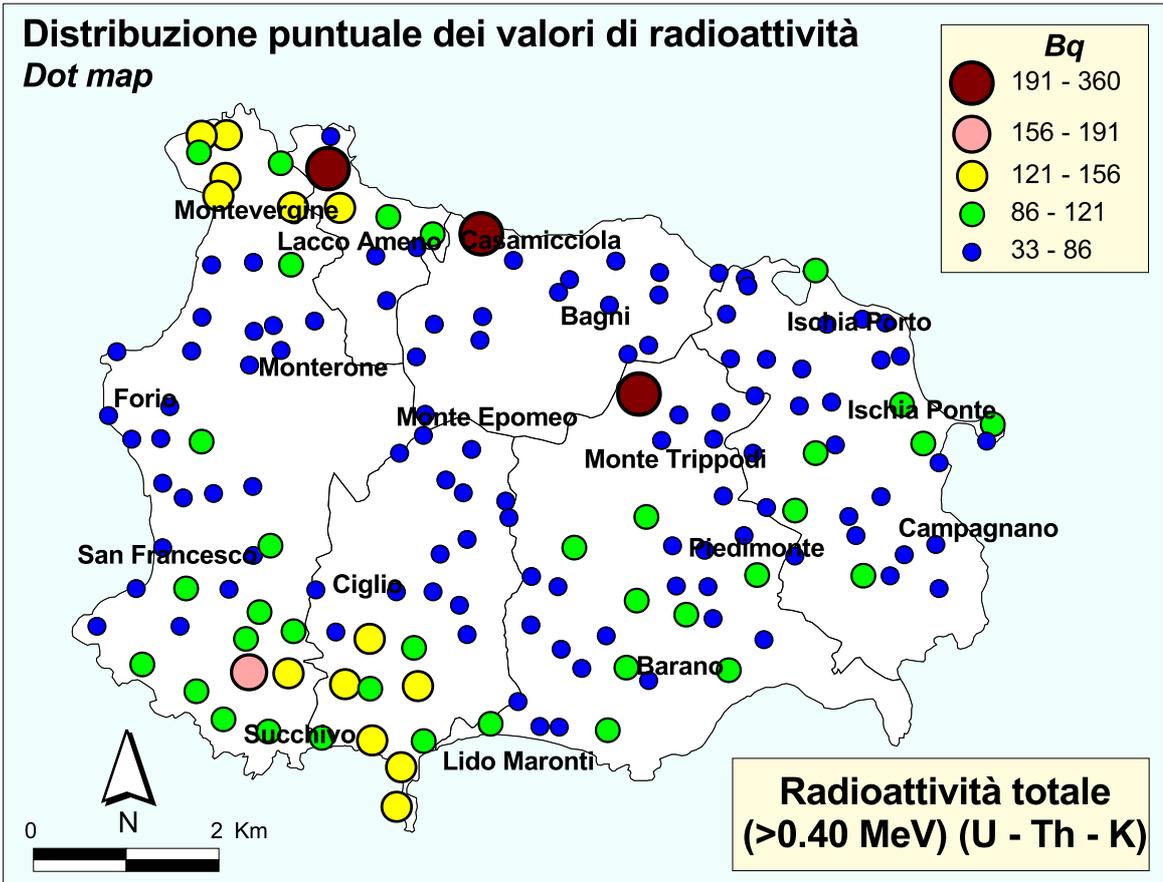


TAVOLA 48A

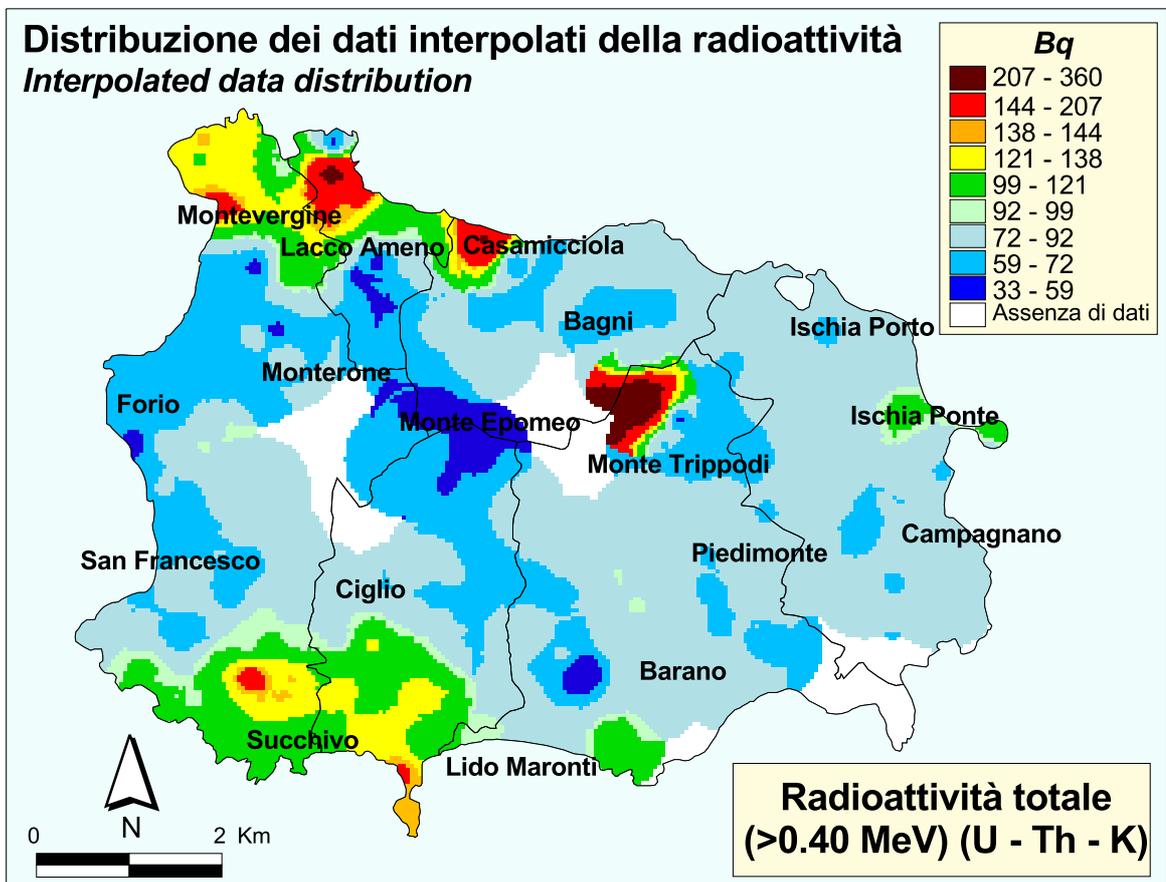


TAVOLA 48B

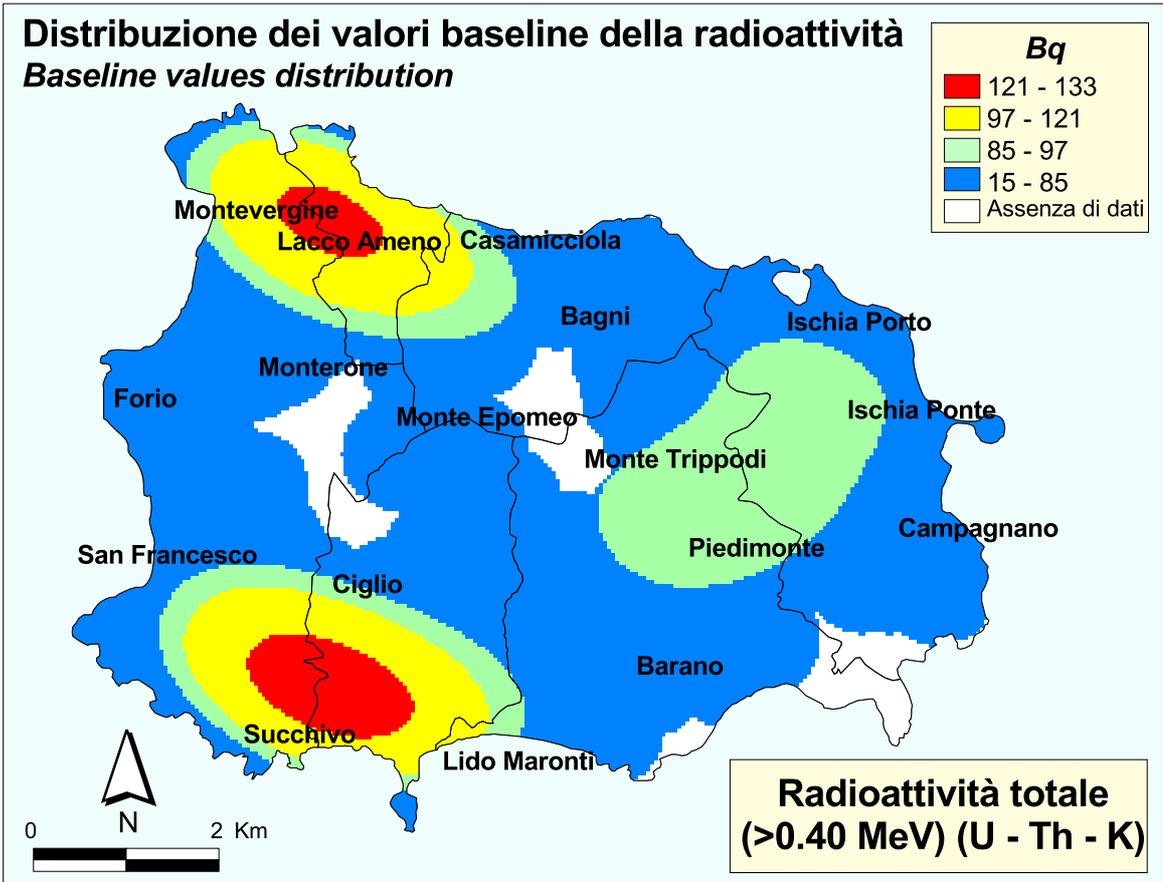


TAVOLA 48C

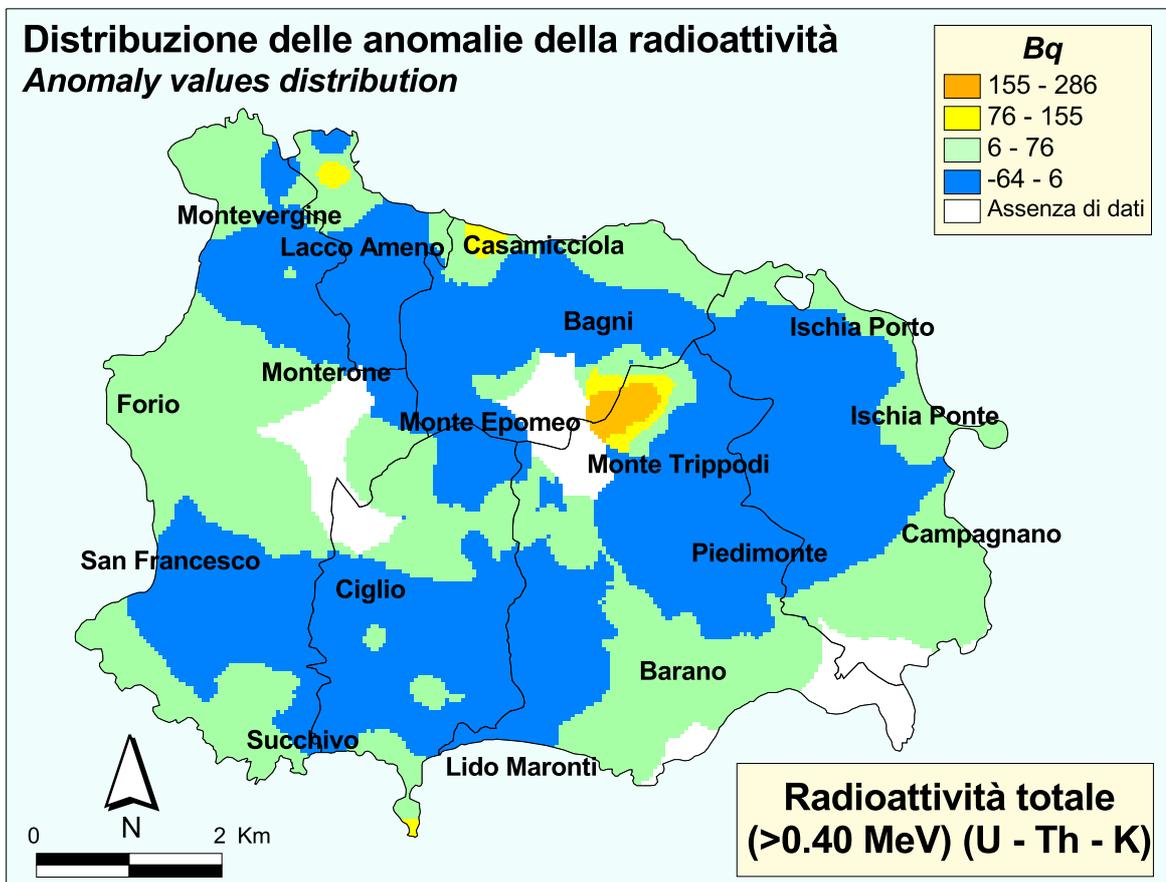


TAVOLA 48D