



*Comune di
Gualdo Cattaneo*



*Ministero dell' Ambiente
e della Tutela del Territorio e del Mare*



*Biomonitoraggio Ambientale
con api e licheni nel
Comune di Gualdo Cattaneo
seconda indagine*

Ricerca di tredici inquinanti nell' area della Centrale Elettrica



Eco Tech s.r.l.
Engineering & Servizi Ambientali

COMUNE DI GUALDO CATTANEO

Sindaco: **Ing. Gianfranco Giancarlini**

COORDINAMENTO DEL PROGETTO

ECO TECH Engineering e Servizi Ambientali Srl

AUTORI DELLA RICERCA

Laboratorio di Ricerca Eco Tech Srl

Sessione Api: **dott. Nicola Palmieri**

Sessione Licheni: **dott.ssa Gabriella Arosio, dott.ssa Valentina Fioretto,**

dott.ssa Luisa Bozzoli, dott. Stefano Scarselli

SUPERVISIONE SCIENTIFICA

Dott. Claudio Porrini

Università di Bologna

LABORATORIO DI ANALISI

Dott. Paolo Fonti

Istituto di Ricerca: C.S.A. (Centro Studi Ambientali) di Rimini.

In copertina:

Apis mellifera su *Rubus ulmifolius* (a sinistra)

Xanthoria parietina su *Populus nigra* (a destra)

Comune di Gualdo Cattaneo (in alto)

IL Sindaco del Comune di Gualdo Cattaneo ringrazia
il Dott. Aldo Cosentino Direttore Generale del Servizio Conservazione Natura
del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

INDICE

15 - LA RICERCA	210
15.1 - <u>SESSIONE API</u>	210
16 - METODOLOGIA (API)	212
16.1 - PROCEDURE	212
16.2 - ANALISI DI LABORATORIO	214
16.3 - DIFFERENZA RELATIVA	215
16.4 - FATTORE DI ARRICCHIMENTO (E)	215
16.5 - ELABORAZIONE DATI	216
17 - RISULTATI	218
17.1 - ALLUMINIO (Al)	218
17.2 - ARSENICO (As)	218
17.4 - BENZO[a]PIRENE (BaP)	219
17.3 - BERILLIO (Be)	219
17.5 - CADMIO (Cd)	220
17.6 - CROMO (Cr)	220
17.7 - RAME (Cu)	220
17.8 - MERCURIO (Hg)	221
17.9 - NICHEL (Ni)	221
17.10 - PIOMBO (Pb)	222
17.11 - TITANIO (Ti)	222
17.12 - VANADIO (V)	222
17.13 - ZINCO (Zn)	223
17.14 - FATTORE DI ARRICCHIMENTO (E)	223
18 - CONCLUSIONI	225
FIGURE	11 - 105
TABELLE	4 - 14
<u>SESSIONE LICHENI</u> – BIOACCUMULO	231
19 - INTRODUZIONE	231
20 - RISULTATI	233
20.1 - Alluminio (Al)	233

20.2 - Berillio (Be)	.....	233
20.3 - Cadmio (Cd)	.....	234
20.4 - Cromo (Cr)	.....	234
20.5 - Mercurio (Hg)	.....	235
20.6 - Nichel (Ni)	.....	235
20.7 - Piombo (Pb)	.....	236
20.8 - Rame (Cu)	.....	236
20.9 - Titanio (Ti)	.....	237
20.10 - Vanadio (V)	.....	237
20.11 - Zinco (Zn)	.....	238
21 - DISCUSSIONE	.....	239
21.1 - Confronti 2005-2006	.....	240
22 - CONCLUSIONI	.....	242

15 - LA RICERCA

ECOTECH Engineering e Servizi Ambientali nel 2006 ha proseguito il biomonitoraggio ambientale nel territorio del Comune di Gualdo Cattaneo, iniziato nel 2005. Lo studio scientifico sperimentale, promosso dal Comune di Gualdo Cattaneo e finanziato dal Ministero delle Politiche Ambientali ha come finalità la valutazione dello stato di salute ambientale di quest'area.

La tecnica utilizzata è stata sempre quella del biomonitoraggio integrato tra api e licheni; infatti i licheni pur fornendoci numerose informazioni¹ “puntiformi” e di bioaccumulo annuale si dimostrano complementari alle api concedendoci quelle informazioni che altrimenti dalle api non avremmo potuto ottenere nell'arco dell'intera stagione.

15.1 - SESSIONE API

Le cinque stazioni utilizzate nello studio di monitoraggio con le api nel 2005, sono rimaste invariate nel 2006 (fig. 81). Quattro stazioni sono state dislocate intorno alla Centrale elettrica mentre la stazione “testimone”, ovvero quella ipotizzata “incontaminata”, è stata ubicata più lontano dal sito indagato. Le prime quattro sono state utilizzate per capire l'impatto dell'inquinamento prodotto dalla Centrale Enel (fig. 1) sul territorio immediatamente circostante; la quinta (la stazione “testimone”) è stata impiegata come valido termine di confronto tra questa stazione naturale, individuata a Piancardato, e quelle più contaminate.



Fig. 1 - Centrale elettrica Enel

¹ Per il fatto che le stazioni dei licheni sono 20 e ben 12 i contaminanti studiati

Le stazioni che danno indicazioni sulle concentrazioni degli inquinanti prodotti dalle attività della Centrale a carbone sono:

Gualdo Cattaneo, Case Bacci, Bastardo e Marcellano.

L'impianto industriale della Centrale elettrica è ubicato a circa 1,5 km a Ovest di Gualdo Cattaneo, circondato da rilievi collinari a Ovest e Sud, mentre a Nord i rilievi si fanno più marcati (fig. 81). L'impianto si trova ad una altitudine di 260m (s.l.m.) lungo la stretta Valle del Puglia, aperta diagonalmente a Nord/Ovest e a Sud/Est. La stazione più vicina all'impianto ed esposta a contaminazioni è Gualdo Cattaneo.

Per ottenere una visione globale del livello di contaminazione presente nell'area indagata e dei diversi e possibili inquinanti rilevabili a seguito della specifica attività industriale, le sostanze chimiche e i metalli ricercati sono stati gli stessi nei due anni di monitoraggio:

Alluminio (Al), Arsenico (As), Benzo[a]Pirene (BaP), Berillio (Be), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Rame (Cu), Mercurio (Hg), Nichel (Ni), Piombo (Pb), Titanio (Ti), Vanadio (V) e Zinco (Zn);

Nella relazione del 2005 sono riportate molte informazioni ottenute principalmente da una revisione dell'ANPA (Agenzia Nazionale Protezione Ambientale) relativa a molte sostanze inorganiche, alla loro diffusione in ambienti naturali e contaminati e alla loro concentrazione presente in molti esseri viventi, vegetali ed animali, compreso l'uomo. Queste informazioni sono state integrate con elementi di tossicologia derivanti da altri lavori di epidemiologia.

16 - METODOLOGIA (API)

16.1 - Procedure

La metodologia d'indagine del presente lavoro prevede, come nel 2005, l'utilizzo di cinque apiari-stazione posti in cinque siti strategici. Ognuno dei cinque apiari, formato da non meno di tre arnie, rappresenta una stazione di monitoraggio (fig. 2)



fig. 2 - Stazione di biomonitoraggio

Per il controllo ambientale della Centrale Enel, posta a 1,5 km a Ovest dal centro di Gualdo Cattaneo, sono state ubicate quattro stazioni nelle seguenti località (fig. 81): Gualdo Cattaneo (fig. 3), Case Bacci (fig. 4), Bastardo (fig. 5) e Marcellano (fig. 6).



fig. 3 - Vista dalla stazione di Gualdo C.



fig. 4 - Vista dalla stazione di Case Bacci



fig. 5 - Vista dalla stazione di Bastardo



fig. 6 - Vista dalla stazione di Marcellano

La quinta stazione, quella “testimone”, è stata posta in località Piancardato (fig. 7), con l’obiettivo di misurare la diluizione dell’inquinamento allontanandoci dalla Centrale elettrica.



fig. 7 - Vista dalla stazione Test di Piancardato

La matrice scelta per questa indagine è costituita sempre dalle api in “entrata”, ovvero bottinatrici. Questo aspetto è molto importante perché rende la matrice “api in entrata” più omogenea di un campione generico di api catturate a caso; infatti le bottinatrici diventano tali solo nella fase finale della loro vita e sono le uniche che svolgono la funzione di perlustrare il territorio e bottinare i pascoli.

Le api sono state catturate con cadenza mensile in tutte le stazioni di monitoraggio e successivamente congelate a -30° C. Ogni campione, o prelievo di api, è formato da non meno di 150 api per stazione, ovvero 50 api per alveare. Tutto il materiale raccolto è stato preparato per svolgere due tipi di analisi, una chimica e l'altra palinologica. Per le analisi chimiche sono state utilizzate 100 api per campione, mentre per le analisi palinologiche ne sono state utilizzate 25. A tutte le api impiegate per le analisi chimiche sono stati precedentemente sottratti (con la sola azione meccanica) gli "agglomerati" di polline, presenti sulle loro zampe posteriori; i campioni di polline, così prelevati, ci daranno indicazioni più sicure sulle aree di bottinamento perché riferite ai campioni destinati alle analisi chimiche.

Si sottolinea che gli alveari, posizionati nelle stazioni di monitoraggio, sono stati utilizzati solo a scopo di ricerca; ciò nonostante le concentrazioni dei metalli che si accumulano all'interno del miele rispetto a quelle che si accumulano nelle api sono nettamente inferiori e nell'ordine di alcune decine di volte (Medrzycki *et al.* 2002) (Porrini *et al.*, 2002).

Tale affermazione serve a sottolineare il fatto che il miele è tra i prodotti più sani, sicuri e naturali che giungono sulle nostre tavole (rispetto al pesce, alla carne, agli ortaggi ed alla frutta).

16.2 - ANALISI DI LABORATORIO

Le analisi chimiche sono state effettuate dall'Istituto di Ricerca Centro Studi Ambientali di Rimini, il quale ha valutato nei campioni di api le concentrazioni dei metalli pesanti e di un idrocarburo, interessati da questa indagine.

Per la determinazione dei metalli pesanti una aliquota esattamente pesata è stata mineralizzata mediante sistema a microonde (MLS 1200 Mega Milestone) con miscela di acido nitrico ed acqua ossigenata entrambi di grado suprapur. Successivamente il mineralizzato è stato ripreso con acqua demineralizzata (Sistema MilliQ) e portato a volume di 25 ml. Per la quantificazione dei metalli sono state utilizzate tecniche di spettrometria ad assorbimento ed emissione atomica. In particolare Arsenico, Berillio, Cadmio, Cromo e Piombo sono stati quantificati mediante spettrometro ad assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica e correzione del fondo mediante effetto Zeeman (SpectrAA220Z Varian); Alluminio, Rame, Nichel, Vanadio, Titanio e Zinco sono stati determinati mediante spettrometro ad emissione atomica con plasma ad accoppiamento indotto Vista-MPX Varian; il Mercurio è stato

quantificato mediante spettrometro ad assorbimento atomico con amalgama d'oro (AMA-254 Altec).

Per determinare il Benzo[a]pirene, sempre nella matrice api, circa 1g del campione (esattamente pesato in bilancia analitica) viene estratto in bagno ad ultrasuoni per 15' con diclorometano, dopo disidratazione con terre di diatomee in becker di vetro. L'estratto ottenuto viene poi portato a secco mediante evaporatore rotante e ripreso con 2ml di n-esano. L'estratto ottenuto viene analizzato mediante HPLC con rivelatore a fluorescenza. La quantificazione viene effettuata mediante tecnica dello standard esterno.

Condizioni operative HPLC

Colonna: SpeedROD RP-18, lunghezza 50mm, 4.6mm ID

Eluente: 75% Acetonitrile
25% Acqua

Flusso: 1.5ml / minuto

Rivelatore a fluorescenza: $\lambda_{EX} = 280\text{nm}$
 $\lambda_{EM} = 420\text{nm}$

16.3 - DIFFERENZA RELATIVA

Il confronto fra le stazioni dislocate intorno alla Centrale Termo Elettrica con la stazione testimone di Piancardato è stato calcolato come differenza relativa ($C_n - T/T$, dove C_n è la concentrazione della stazione n-esima e T quella del testimone) per tutti i mesi dell'indagine.

16.4 - FATTORE DI ARRICCHIMENTO (E)

Per ottenere informazioni sull'origine dei vari contaminanti rinvenuti nel corpo delle api, sono state eseguite anche le analisi del suolo. Per ogni stazione di monitoraggio sono stati prelevati 3 campioni di terreno a partire da 10 cm di profondità, facendo attenzione a non prelevare i campioni terrigeni in prossimità di scoli e fossi idrici, o vicino a campi coltivati e terra di riporto.

Con il risultato medio delle analisi del suolo di ogni stazione ed i rilievi mensili nella matrice api è stato calcolato il Fattore di arricchimento:

$$E = \frac{(x/z)_{matrice}}{(x/z)_{crosta_terrestre}}$$

dove: x = concentrazione dell'elemento considerato;
z = elemento di riferimento.

Quando il valore “E” è uguale a 1, l’origine è naturale; quando è superiore l’origine è antropica. In bibliografia alcuni autori accettano tolleranza fino a valori di E pari a 10 per indicare un’origine naturale.

In questo lavoro si è voluto intendere che nell’intervallo dei valori tra 1 a 10 ci sia una “zona cuscinetto” che evidenzia un’origine in parte antropica e in parte naturale.

16.5 - ELABORAZIONE DATI

Per ottenere una facile lettura delle diverse concentrazioni delle sostanze indagate, sono stati elaborati i risultati di tutte le analisi chimiche dei campioni prelevati nell’arco del 2006.

Per ogni contaminante sono stati elaborati i seguenti grafici:

- Concentrazioni medie, con deviazione ed errore standard, nelle cinque stazioni di monitoraggio nell’area di Gualdo Cattaneo nel 2006.
- Confronto tra gli andamenti dei valori assoluti rilevati nelle singole stazioni di monitoraggio tra maggio e agosto.
- Andamento nelle quattro stazioni di Gualdo Cattaneo, espresso come differenza relativa rispetto alla stazione “testimone” di Piancardato, tra maggio e agosto.
- Andamento dei valori medi mensili di tutte le stazioni di monitoraggio, ad esclusione della stazione “testimone” di Piancardato.
- Confronto tra le concentrazioni medie generali rilevate nel 2005 e 2006 a Gualdo Cattaneo con quelle riscontrate nel 2003 e 2004 a Spoleto e nel 2001/02/03/04 a Gubbio.
- Fattore di arricchimento calcolato in tutte le stazioni di monitoraggio.
- Calcolo dei quartili (Q_1 e Q_3) utilizzati per misurare l’intervallo dei “valori di riferimento” delle concentrazioni minime e massime dei 13 inquinanti presenti in un’area di circa 50 km² a ovest del comune di Gualdo Cattaneo (tab. 4). I livelli, o valori di riferimento, ottenuti, sono stati riportati sopra ogni grafico ed evidenziati con una linea verde (basso; Q_1) ed una rossa (alto; Q_3). Questi livelli sono stati elaborati con tutti i risultati ottenuti a Gualdo Cattaneo ed anche con i risultati di quattro anni di indagine nei diversi biomonitoraggi commissionati dalla Provincia di Perugia, a questo gruppo di ricerca.
- Rappresentazione cartografica (figg. 82-105) delle concentrazioni annuali (2005-2006), nelle 5 stazioni di biomonitoraggio, rispetto ai valori di riferimento alto (Q_3), e basso (Q_1) (tab. 4).

Dati metereologici

- temperatura e precipitazioni per decade nel 2006 a Gualdo Cattaneo (fig. 78 e 79).
- temperature medie e precipitazioni totali per decade a confronto tra Gubbio 2001-04, Spoleto 2003-04 e Gualdo Cattaneo nel 2005-06 (fig. 80).

Rappresentazione cartografica geomorfologica riepilogativa dell'area indagata (fig. 81).

17 - RISULTATI

Le figure in allegato (82 - 105), aiutano a visualizzare la qualità ambientale rispetto ad ogni singolo contaminante considerato, nel 2005 e nel 2006, in tutta l'area d'indagine. Le figure sono state realizzate attraverso il calcolo algoritmico kriging. Per l'elaborazione cromatica sono stati utilizzati quattro colori in diverse tonalità: il verde, il giallo, l'arancione ed il rosso. Le aree considerate sono state evidenziate in sfumature di verde se le concentrazioni medie annuali rilevate sono risultate basse. Le sfumature di giallo (dal giallo chiaro al giallo ocra) indicano valori intermedi. I colori arancione e rosso segnalano concentrazioni maggiori di contaminanti

Nei commenti ai risultati che seguono, si citerà il Valore di Riferimento Alto (VRA) e il Valore di Riferimento Basso (VRB) corrispondenti al calcolo statistico del Quartile alto e del Quartile basso effettuato sui dati ottenuti.

17.1 - ALLUMINIO (Al)

In tutte le stazioni di monitoraggio i livelli medi di Alluminio sono stati elevatissimi e da 2 a 3 volte superiori al VRA (fig. 11). Le stazioni più contaminate sono state Marcellano (32,3 kg/mg) e Gualdo Cattaneo (27,7 kg/mg), ma anche nella stazione testimone le concentrazioni erano molto elevate (20,9 kg/mg). La stazione che ha fatto registrare le concentrazioni "assolute" più elevate è stata Marcellano (94,2) nel mese di giugno con un valore quasi 10 volte più alto del VRA (fig. 12).

Nel mese di giugno nella postazione di Marcellano la differenza relativa rispetto alla stazione testimone è stata quasi 3 volte superiore (fig. 13).

I mesi che hanno fatto rilevare una elevata contaminazione di Alluminio (fig. 14) sono stati maggio (36,0 mg/kg) e giugno (50,7 mg/kg). Queste concentrazioni medie sono state 4/5 volte maggiori rispetto al VRA.

La concentrazione media generale di Alluminio nel 2006 è stata nettamente più elevata del VRA e superiore da 2 a 6 volte circa rispetto alle precedenti campagne di monitoraggio (fig. 15_bis).

17.2 - ARSENICO (As)

La stazione mediamente più contaminata è risultata Bastardo con 0,061 mg/kg, valore appena superiore al VRA (fig. 16).

Le stazioni che hanno mostrato le concentrazioni assolute più elevate sono state Gualdo Cattaneo, Marcellano, Case Bacci con circa 0,1 mg/kg, valore di 1,7 volte più alto rispetto al VRA (fig. 17).

Le stazioni di Gualdo Cattaneo, Marcellano e Case Bacci nel mese di luglio e Case Bacci e Bastardo nel mese di giugno, rispetto alla stazione testimone di Piancardato, hanno fatto registrare una differenza relativa da 2 a 2,5 (fig. 18).

Il mese mediamente più contaminato da questo metallo è stato luglio con 0,09 mg/kg, concentrazione 1,5 volte superiore al VRA (fig. 19).

La concentrazione media generale di Arsenico, nel 2006 (0,049 mg/kg), è stata quasi due volte più elevata rispetto al 2005 (0,026 mg/kg) (fig. 20). Il livello di Arsenico è risultato molto simile a quello rilevato nel 2003 a Spoleto; tale contaminazione è la seconda più elevata mai riscontrata, tuttavia inferiore al VRA.

17.3 - BENZO[a]PIRENE (BaP)

Il Benzo[a]Pirene è stato rilevato nei campioni di api in concentrazioni molto basse (figg. 21-24). Gli strumenti ne hanno evidenziato la presenza solo al di sotto del limite di rilevabilità strumentale; di conseguenza le concentrazioni medie generali rilevate nel Comune di Gualdo nel 2006, sono state le più basse rispetto alle precedenti campagne di monitoraggio (fig. 25_bis).

17.4 - BERILLIO (Be)

Le stazioni di Gualdo Cattaneo e Marcellano hanno evidenziato concentrazioni medie pari a 0,028 mg/kg e superiori al VRA (fig. 26).

I livelli più elevati di questo contaminante sono stati registrati nel mese di giugno nelle stazioni di Gualdo Cattaneo e Marcellano con 0,0065 mg/kg, valore più di 3 volte superiore a quello del VRA (fig. 27) ed una differenza relativa di 3 volte superiore rispetto a quella riscontrata nella stazione testimone, nel medesimo periodo (fig. 28). Giugno è stato quindi il mese mediamente più inquinato da questo contaminante con 0,004 mg/kg, concentrazione doppia rispetto al VRA (fig. 29).

Nel 2006 le concentrazioni medie generali erano superiori rispetto a quelle del precedente anno risultando al di sopra del VRA (fig. 30_bis).

17.5 - CADMIO (Cd)

Case Bacci è stata la stazione mediamente più inquinata con una concentrazione di 0,098 mg/kg (fig. 31).

Le stazioni che hanno fatto registrare le concentrazioni assolute più elevate e superiori al VRA sono state, nel mese di maggio, Case Bacci (0,18 mg/kg) e Piancardato (0,14 mg/kg) mentre nel mese di agosto Marcellano e Bastardo entrambe con un valore pari a 0,13 mg/kg (fig. 32). In queste due ultime stazioni, ad agosto, la differenza relativa è stata pari a 1 rispetto alla stazione testimone (fig. 33).

La figura 34 mostra come i mesi con i valori più elevati, siano stati maggio e agosto con 0,096 mg/kg, concentrazione appena superiore al VRA.

Nel 2006 le concentrazioni medie generali sono state pari a 0,08 mg/kg e comprese tra il VRB e il VRA subendo una flessione del 20% circa rispetto al precedente anno (fig. 35_bis).

17.6 - CROMO (Cr)

Tutte le stazioni di monitoraggio hanno mostrato concentrazioni molto elevate e superiori al VRA (fig. 36). Si sottolinea che nelle stazioni di Case Bacci e del testimone Piancardato, le concentrazioni medie sono state pari a 0,136 mg/kg e 0,141 mg/kg, rispettivamente 1,6 volte e 1,66 volte più elevate del VRA.

Nel mese di maggio a Case Bacci e nel mese di giugno a Marcellano si sono riscontrate le concentrazioni assolute più elevate del 2006 con 0,198 mg/kg e 0,208 mg/kg rispettivamente, cioè circa 2,4 volte superiori al VRA (fig. 37).

La figura 38 mostra come nel mese di giugno la differenza relativa nelle stazioni di Gualdo Cattaneo, Case Bacci e Marcellano è variata da 0,2 a 0,8 rispetto alla stazione testimone di Piancardato, nel medesimo periodo; al contrario negli altri mesi la situazione è invertita.

I mesi più critici, per la contaminazione da questo metallo, sono stati maggio e giugno evidenziando concentrazioni medie nettamente al di sopra del VRA (fig. 39).

Il valore medio generale (0,12 mg/kg) ha subito un incremento del 47% rispetto al 2005 (0,082 mg/kg) (figg. 40-40_bis). Tale concentrazione è la seconda più elevata dopo Gubbio 2003.

17.7 - RAME (Cu)

Nel 2006 la stazione in media più contaminata è stata Bastardo con 13,7 mg/kg (fig. 41). Tutte le stazioni, ad eccezione di quella testimone, hanno fatto registrare concentrazioni superiori al VRA.

I livelli in assoluto più elevati sono stati riscontrati in maggio e giugno nella stazione di Bastardo con 22,3 mg/kg e 17,6 mg/kg rispettivamente; tali valori sono stati circa 3 e 2 volte superiori rispetto al VRA (fig. 42).

Rispetto alla stazione testimone, nei mesi di maggio e giugno, in tutte le stazioni di monitoraggio la differenza relativa è variata da 1 a 2 (fig. 43).

I mesi più esposti sono stati maggio e giugno con concentrazioni medie superiori ai 14 mg/kg, evidenziando valori quasi doppi rispetto al VRA.

Nel 2006 la concentrazione media è stata di 10,3 mg/kg (30% in più rispetto al VRA), cioè la più elevata rispetto a tutte le precedenti campagne di monitoraggio con le api condotte in Umbria (fig. 45).

17.8 - MERCURIO (Hg)

Tutte le stazioni hanno mostrato concentrazioni medie più alte del VRA (fig. 46) in particolare Piancardato e Marcellano con 0,0175 mg/kg.

Il tasso assoluto più elevato è stato rilevato nel mese di giugno nelle stazioni di Piancardato (0,029 mg/kg) e Marcellano (0,028 mg/kg) (fig. 47). Tali concentrazioni sono circa 3 volte superiori al VRA.

Nei mesi di maggio e agosto, rispettivamente nelle stazioni di Bastardo e Marcellano, la differenza relativa è stata di poco inferiore ad 1 rispetto alla stazione testimone nei medesimi periodi (fig. 48).

Le medie mensili riscontrate sono state sempre più elevate del VRA ed il mese più contaminato era giugno con 0,0177 mg/kg, valore quasi doppio rispetto al VRA (fig. 49).

Nel 2006, a Gualdo Cattaneo, è stato registrato un valore di Mercurio (0,14 mg/kg) secondo solo a quello eugubino del 2003 e del 40% più elevato del VRA (fig. 50_bis).

17.9 - NICHEL (Ni)

In figura 51 si può osservare come le stazioni di Bastardo (0,267 mg/kg) e Marcellano (0,252 mg/kg) siano state mediamente le più contaminate con valori superiori al VRA.

Rispetto alla stazione testimone di Piancardato nel mese di maggio tutte le stazioni di monitoraggio fanno registrare una differenza relativa che varia da 0,2 a 0,9, mentre in giugno la stazione di Bastardo mostra la concentrazione assoluta più elevata dell'intero anno con 0,451 mg/kg, valore quasi doppio rispetto al VRA (figg. 52 e 53).

Le contaminazioni medie mensili più elevate sono state rilevate a maggio (0,293 mg/kg) e giugno (0,328 mg/kg) con concentrazioni superiori al VRA (fig. 54).

Nel 2006, la concentrazione media generale di Nichel è stata di 0,23 mg/kg, molto simile al precedente anno (fig. 55_bis).

17.10 - PIOMBO (Pb)

Gualdo Cattaneo, con la concentrazione media di 0,831 mg/kg, è stata la stazione con il valore più elevato riscontrato nel 2006 (fig. 56), anche come tasso assoluto con 1,77 mg/kg nel mese di agosto (fig. 57), che risulta quasi doppio al VRA.

Rispetto alla stazione testimone di Piancardato, la differenza relativa a Gualdo Cattaneo nel mese di agosto è stata pari a 5 (fig. 58).

Nel 2006, le concentrazioni medie mensili rilevate sono state sempre comprese tra il VRB e il VRA (fig. 59).

La concentrazione media generale è poco più elevata del 2005 e compresa tra il VRB e il VRA (fig. 60-60_bis).

17.11 - TITANIO (Ti)

Nel 2006 tutte le stazioni hanno mostrato concentrazioni molto elevate e nettamente superiori al VRA (fig. 61). I valori medi hanno oscillato tra un minimo di 0,75 mg/kg (Piancardato) ad un massimo di 0,98 mg/kg (Marcellano).

Le concentrazioni assolute più elevate del 2006 sono state registrate, nel mese di giugno, nella stazione di Marcellano con 2,47 mg/kg: valore 10 volte più alto rispetto al VRA (fig. 62); in tutti i mesi ed in tutte le stazioni le concentrazioni assolute erano superiori a tale valore.

Nel mese di giugno, nella stazione di Marcellano la differenza relativa era pari a 1,9 rispetto alla stazione testimone di Piancardato nello stesso mese (fig. 63).

Le concentrazioni medie mensili sono state sempre superiori al VRA con picchi nei mesi di maggio (1,134 mg/kg) e giugno (1,514 mg/kg) (fig. 64).

Nel Comune di Gualdo Cattaneo la concentrazione media generale è stata di 3,2 volte più elevata del VRA, pari a 0,88 mg/kg, risultando la più elevata tra tutte le precedenti campagne di monitoraggio (fig. 65).

17.12 - VANADIO (V)

Le stazioni in media più contaminate sono risultate Marcellano (0,061 mg/kg) e Gualdo Cattaneo (0,058 mg/kg) (fig. 66).

La concentrazione assoluta più elevata è stata riscontrata a Marcellano nel mese di giugno (0,149 mg/kg), valore più alto di circa 2,5 volte il VRA (fig. 67).

La figura 68 evidenzia come nel mese di giugno, nella stazione di Marcellano, la differenza relativa sia stata di 1,7 rispetto alla stazione testimone di Piancardato nello stesso periodo.

Le concentrazioni medie mensili sono state superiori al VRA sia a maggio (0,067 mg/kg) che a giugno (0,086 mg/kg) (fig. 69), mentre la concentrazione media generale è stata di 0,054 mg/kg, valore doppio rispetto al 2005 (figg. 70-70_bis).

17.13 - ZINCO (Zn)

Tutte le aree di indagine hanno mostrato concentrazioni medie più elevate del VRA ad eccezione di Case Bacci. La stazione più contaminata è stata quella testimone di Piancardato (56,3 mg/kg) (fig. 71) dove si è registrato il livello assoluto più elevato del 2006 con 78,6 mg/kg nel mese di maggio, valore quasi doppio rispetto al VRA (fig. 72).

I mesi con le concentrazioni medie superiori al VRA sono stati: maggio (46,3 mg/kg), luglio (49,2 mg/kg) e agosto (47,2 mg/kg) (fig. 74).

La media generale nel 2006 è stata la più elevata rispetto a tutti gli anni precedenti (fig. 75).

17.14 - FATTORE DI ARRICCHIMENTO (E)

Di seguito viene riportato il Fattore di arricchimento di ogni singolo elemento (tab. 4; figg. 76 e 77).

- Arsenico:

i valori più alti sono stati riscontrati nelle stazioni di Case Bacci, Bastardo e Marcellano indicando un'origine antropica di tale metallo nell'ambiente. Nelle stazioni di Piancardato e Gualdo Cattaneo, invece, il valore (E) (rispettivamente 5 e 9) suggerisce un'origine mista (sia antropica che naturale) nel primo caso mentre nel secondo quasi totalmente antropica.

- Berillio:

in tutte le stazioni i valori oscillano fra 2 e 4; cioè un'origine della contaminazione quasi completamente naturale.

- Cadmio:

nelle cinque stazioni di biomonitoraggio i valori di E variano da 330 (Gualdo C.) a 811 (Bastardo) mostrando una chiara ed esclusiva origine antropica della presenza di questo metallo nell'ambiente.

- **Cromo:**
i valori sono compresi tra 3 (Gualdo C. e Marcellano) e 5 (Bastardo) suggerendo un'origine mista della contaminazione.
- **Rame:**
l'origine della presenza di questo contaminante nell'ambiente è dovuta alle attività umane, infatti E varia da 83 (Case Bacci) a 484 (Bastardo).
- **Mercurio:**
il Fattore E in tutte le stazioni è molto simile e mostra valori compresi tra 231 (Gualdo C.) e 434 (Marcellano); ciò evidenzia un'origine del contaminante marcatamente antropica.
- **Nichel:**
nelle stazioni di Gualdo C., Case Bacci, Piancardato e Marcellano la contaminazione ha un'origine mista (Fattore E pari a 4) mentre nella stazione di Bastardo il valore 11 indica un'origine antropica.
- **Piombo:**
i valori ottenuti (compresi fra 15 e 75) imputano solo alle attività umane l'origine di questo contaminante.
- **Titanio:**
nelle stazioni di Gualdo C., Bastardo e Marcellano E varia tra 11 e 16, il che mostra un'origine antropica dell'elemento. Nelle stazioni di Case Bacci (E = 8) e Marcellano (E = 9) tale origine è da considerarsi mista.
- **Vanadio:**
in tutte le stazioni il fattore E varia tra 1 e 2 indicando un'origine naturale.
- **Zinco:**
i valori di E sono molto elevati in tutte le stazioni (tra 539 e 1116) segnalando un'origine antropica del contaminante.

18 - CONCLUSIONI

Nel 2006 si sono ampliate le conoscenze sulla qualità ambientale nel territorio del Comune di Gualdo Cattaneo proseguendo l'indagine, iniziata l'anno precedente, sull'impatto della Centrale Termoelettrica nel territorio di Gualdo Cattaneo tramite l'impiego delle api come bioindicatori.

Per gli approfondimenti sul territorio in studio, si rimanda alla precedente relazione.

L'andamento meteorologico di Gualdo Cattaneo nel 2006 è stato riportato nelle figure 78 e 79 e nella tabella 10. In figura 80 sono messe a confronto le precipitazioni e le temperature totali (da maggio a settembre) rilevate nelle diverse campagne di monitoraggio condotte in Umbria negli ultimi anni. Come già scritto nella relazione del 2005, in termini generali le precipitazioni più abbondanti dovrebbero abbassare l'inquinamento presente nell'aria mentre l'innalzamento della temperatura dovrebbe aumentare la capacità dell'aria di trattenere in sospensione maggiori quantità di pulviscolo atmosferico. Dalla figura 80 emerge come nel 2006 a Gualdo C. le precipitazioni tra maggio e settembre siano state più abbondanti del 2005 (221mm contro 140mm), mentre le temperature medie sono state di circa ½ grado più basse. Quindi dall'andamento delle condizioni meteorologiche accorse, si attendeva una flessione importate dell'inquinamento rispetto al 2005, ma ciò non è accaduto. Infatti, nel 2006 le concentrazioni medie annuali nelle api di Alluminio, Arsenico, Berillio, Cromo, Rame, Mercurio, Piombo, Titanio, Vanadio e Zinco sono state più elevate del 2005 mentre solo le concentrazioni di Cadmio, del Benzo[a]Pirene ed in misura minore del Nichel si sono abbassate. Sottolineamo però il fatto che, per quanto riguarda il contributo degli eventi meteorologici all'abbattimento dei contaminanti nell'aria, è molto importante anche la qualità della pioggia (durata, numero di giorni, intensità) e tanti altri fattori come l'umidità relativa, i venti, l'orografia, la vegetazione, l'uso del territorio, ecc. Inoltre ricordiamo che l'ape, grazie al suo comportamento, rileva gli eventuali contaminanti presenti nel territorio in esame non solo dall'aria ma anche dagli altri comparti ambientali (acqua, suolo, vegetazione).

Le tabelle 12 e 13 indicano le stazioni maggiormente contaminate, rispetto agli elementi in studio, nei due anni di indagine. Nel 2005 le stazioni di Gualdo Cattaneo e Case Bacci hanno avuto le concentrazioni medie e di picco più elevate per la maggior parte dei contaminanti indagati, risultando le più inquinate, mentre la postazione di Bastardo è risultata la meno contaminata. Nel 2006 la stazione più contaminata, sia per le concentrazioni medie che di picco, è stata Marcellano. In tutte le altre la situazione è più o meno simile.

Dalla tabella 14 si può notare come nel 2006 le concentrazioni degli inquinanti sono state quasi tutte più elevate dell'anno precedente ad eccezione del Benzo[a]Pirene, del Cadmio e del Nichel. Le contaminazioni più critiche, quelle superiori al VRA, sono state registrate in particolare per l'Alluminio, il Cromo, il Rame e il Titanio ma anche per Mercurio e Zinco. L'Alluminio, il Berillio, il Rame, il Titanio e lo Zinco hanno mostrato le concentrazioni medie più elevate rispetto alle precedenti campagne di monitoraggio con api svolte nella Provincia di Perugia.

Per avere un quadro più ampio sulla presenza e distribuzione di alcuni degli inquinanti da noi indagati nella Provincia di Perugia, utilizzeremo come confronto i dati storici ottenuti dall'equipe del dott. Claudio Porrini, del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali (DiSTA) dell'Università di Bologna, negli ultimi 10 anni in altre aree del territorio nazionale. I contaminanti disponibili per il confronto sono: Cromo, Nichel, Piombo e l'idrocarburo aromatico Benzo(a)Pirene.

La tabella 2 mostra come il VRB del Cromo rilevato nella matrice api in Umbria, sia molto simile a quello nazionale (tab. 1). I VVRRAA risultano invece più bassi, rispetto a quelli nazionali, ma più vicini rispetto al 2005. Per il Nichel i VVRRBB sono divenuti uguali, mentre i VVRRAA sono di poco inferiori a quelli nazionali.

I VVRRAA del Piombo relativi ai programmi di monitoraggio svolti nella Provincia di Perugia tramite le api, al contrario, sono poco più elevati di quelli nazionali, ma più vicini rispetto al 2005. La figura 60 mostra come le concentrazioni medie di piombo nel 2005-2006 a Gualdo C. e nel 2003 e 2004 a Spoleto siano state nettamente più basse di quelle rilevate nel 2001, nel 2002 e nel 2003 a Gubbio; la ragione di questo dato risiede probabilmente nel fatto che a Gualdo Cattaneo e a Spoleto non vengono bruciati pneumatici nei siti industriali a parziale sostituzione del carbone. I dati sul Benzo[a]Pirene si riferiscono solo al periodo 2003-06 ed hanno meno storicità rispetto agli altri elementi utilizzati nel confronto. In tabella 2 si desume come il VRA, in Umbria sia più elevato rispetto a quello nazionale (tab. 1), mentre il VRB è divenuto uguale.

tabella 1.

Valori di riferimento nazionali tra il 1996 ed il 2005, espressi in mg/kg				
Valori di riferimento:	Cromo (Cr)	Nichel (Ni)	Piombo (Pb)	Benzo[a]pirene
alto	0,12	0,30	0,70	0,00030
basso	0,04	0,10	0,30	0,00002

tabella 2.

Valori di riferimento: relativi al territorio Umbro tra il 2001 ed il 2006, espressi in mg/kg				
Valori di riferimento:	Cromo (Cr)	Nichel (Ni)	Piombo (Pb)	Benzo[a]pirene
alto	0,090	0,27	0,80	0,00050
basso	0,035	0,10	0,20	0,00002

Se si considera il vero aspetto negativo, ovvero l'azione potenzialmente pericolosa della maggior parte degli inquinanti da noi indagati ed in considerazione del confronto con i livelli nazionali poc'anzi descritto, si è indotti ad affermare che a Gualdo C. la qualità ambientale non è molto buona ed è peggiorata nel 2006. Ciò che purtroppo non può tranquillizzare è l'azione simultanea di miscele complesse. Infatti ciò che colpisce la salute umana (e impoverisce le casse della sanità) sono le esposizioni continue e simultanee a numerosi contaminanti o miscele complesse, anche a basse concentrazioni.

Le figure 8, 9 e 10 riassumono le caratteristiche ambientali e la capacità che ha il territorio di mitigare gli effetti dell'inquinamento prodotto giornalmente nelle tre distinte aree di studio. Nella relazione del 2005 sono state già riportate le spiegazioni le motivazioni per cui, secondo noi, l'ambiente di Gualdo Cattaneo ha una minore capacità di assorbire le contaminazioni antropiche di quanto non ne abbia l'ambiente eugubino, mentre tali capacità ambientali sono molto simili a quelle relative all'area del Comune di Spoleto. Le uniche differenze tra questi ultimi due ambienti sono la diversa morfologia del territorio che a Gualdo Cattaneo ha due sfoghi mentre a Spoleto lo sfogo è unico.

Questa motivazione spiega solo in parte quale siano state le ragioni delle elevate concentrazioni generali di alcuni contaminanti rilevate nei due anni d'indagine nel Comune di Gualdo Cattaneo, rispetto alle altre due aree indagate precedentemente.

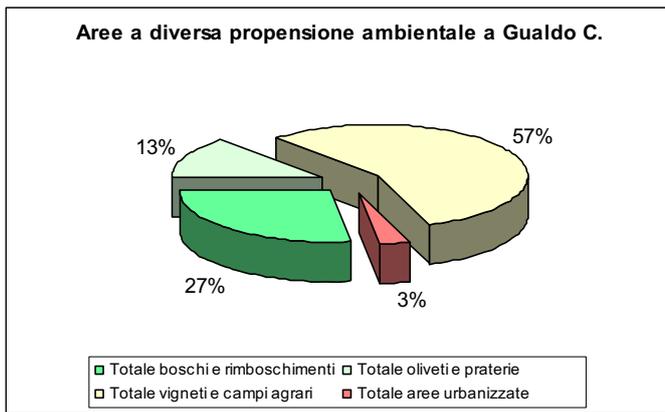


figura 8

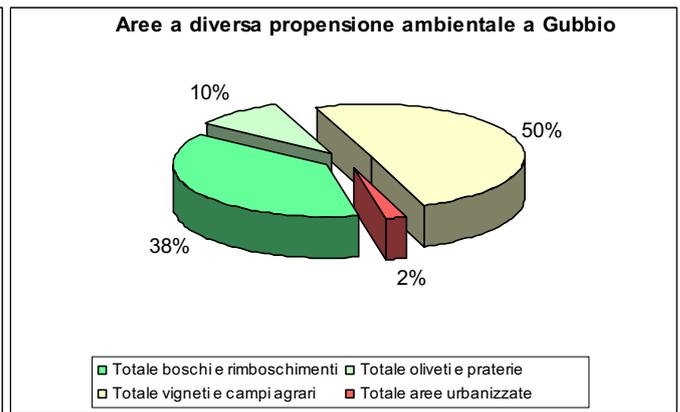


figura 9

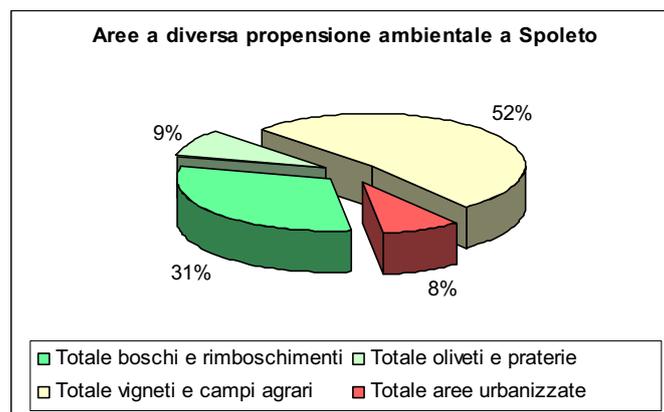


figura 10

Per le ragioni fin qui espresse, per i risultati ottenuti e per le motivazioni esposte, dobbiamo esprimere le nostre preoccupazioni su ciò che è emerso in questo biennio. Le dimensioni della centrale non giustificano in alcun modo l'andamento delle concentrazioni degli inquinanti indagati; questo potrebbe essere dovuto ad una scarsa tecnologia utilizzata sia per l'esercizio della produzione di energia elettrica tramite la combustione del carbone sia per il trattamento e l'abbattimento delle emissioni inquinanti. A tal fine, sono state utilizzate le dichiarazioni INES, fruibili da tutti grazie alla legge sulla trasparenza (Decreto Legislativo 16 marzo 2001, n. 108), nel sito dell'A.P.A.T. www.apat.gov.it. Nella tabella 3 sono stati messi a confronto i dati della Centrale Pietro Vannucci (Gualdo C.) con quelli della Centrale Federico II (Brindisi) alimentata sempre a carbone. Quest'ultima ha una potenza nominale circa 18 volte più grande della Centrale di Gualdo Cattaneo.

I numeri riportati nelle ultime due colonne di destra indicano le volte in cui le concentrazioni degli inquinanti emessi dalla Centrale di Brindisi siano state maggiori rispetto a quelle di Gualdo C. (dal 2002 al 2005).

tabella 3.

Dichiarazione INES - EPER				Centrale Termoe. Federico II	Centrale Termoe. Pietro Vannucci		
Anno	Aria/Acqua	Inquinante	U.M.	Emissioni Totali ET1	Emissioni Totali ET2	ET1/ET2	ET1/ET2
2002	Aria	Anidride carbonica (CO2)	Mg/a	15340447,0	960427,0	16,0	16
2002	Aria	Arsenico (As) e composti	kg/a	192,0	62,8	3,1	3
2002	Aria	Cloro e composti inorganici	Mg/a	121,0	112,9	1,1	1
2002	Aria	Fluoro e composti inorganici	kg/a	95115,0	11446,7	8,3	8
2002	Aria	Mercurio (Hg) e composti	kg/a	12,0	24,5	0,5	0
2002	Aria	Nichel (Ni) e composti	kg/a	1366,0	151,2	9,0	9
2002	Aria	Ossidi di azoto (NOx)	Mg/a	8163,0	3634,0	2,2	2
2002	Aria	Ossidi di zolfo (SOx)	Mg/a	13152,0	4053,0	3,2	3
2002	Aria	PM	Mg/a	842,7	151,0	5,6	6
2002	Aria	Protossido di azoto (N2O)	Mg/a	196,0	13,4	14,6	15
2002	Aria	Rame (Cu) e composti	kg/a	450,0	135,8	3,3	3
2002	Aria	Selenio (Se) e composti	kg/a	284,0	249,5	1,1	1
2003	Aria	Anidride carbonica (CO2)	Mg/a	16012127,0	958220,0	16,7	17
2003	Aria	Cloro e composti inorganici	Mg/a	15,4	70,3	0,2	0
2003	Aria	Fluoro e composti inorganici	kg/a	92753,2	11802,0	7,9	8
2003	Aria	Ossidi di azoto (NOx)	Mg/a	10471,6	1906,0	5,5	5
2003	Aria	Ossidi di zolfo (SOx)	Mg/a	14179,1	4952,0	2,9	3
2003	Aria	PM	Mg/a	637,5	110,6	5,8	6
2003	Aria	Protossido di azoto (N2O)	Mg/a	207,0	14,2	14,6	15
2003	Aria	Selenio (Se) e composti	kg/a	477,4	120,1	4,0	4
2003	Acqua	Rame (Cu) e composti	kg/a	90,1	72,4	1,2	1
2004	Aria	Anidride carbonica (CO2)	Mg/a	15777355,0	1086854,0	14,5	15
2004	Aria	Cloro e composti inorganici	Mg/a	94,9	70,7	1,3	1
2004	Aria	Fluoro e composti inorganici	kg/a	254589,4	11863,8	21,5	21
2004	Aria	Ossidi di azoto (NOx)	Mg/a	9921,2	2216,0	4,5	4
2004	Aria	Ossidi di zolfo (SOx)	Mg/a	11373,3	5457,0	2,1	2
2004	Aria	PM	Mg/a	1013,2	101,0	10,0	10
2004	Aria	Protossido di azoto (N2O)	Mg/a	225,0	16,1	14,0	14
2004	Aria	Selenio (Se) e composti	kg/a	844,5	120,7	7,0	7
2004	Acqua	Rame (Cu) e composti	kg/a	68,8	64,0	1,1	1
2005	Aria	Anidride carbonica (CO2)	Mg/a	15341551,6	922874,0	16,6	17
2005	Aria	Cloro e composti inorganici	Mg/a	101,8	47,6	2,1	2
2005	Aria	Fluoro e composti inorganici	kg/a	158206,2	14256,0	11,1	11
2005	Aria	Nichel (Ni) e composti	kg/a	398,9	72,0	5,5	6
2005	Aria	Ossidi di azoto (NOx)	Mg/a	9903,4	2074,0	4,8	5
2005	Aria	Ossidi di zolfo (SOx)	Mg/a	10599,3	4755,0	2,2	2
2005	Aria	PM	Mg/a	879,1	90,0	9,8	10
2005	Aria	Protossido di azoto (N2O)	Mg/a	225,4	14,3	15,8	16
2005	Aria	Selenio (Se) e composti	kg/a	1663,1	31,0	53,6	54
2005	Acqua	Nichel (Ni) e composti	kg/a	120,6	21,8	5,5	6
2005	Acqua	Rame (Cu) e composti	kg/a	68,9	53,6	1,3	1

I numeri inferiori a 1 indicano, al contrario, che nella Centrale di Gualdo C. sono prodotte concentrazioni (kg/anno) di inquinanti maggiori che non nella Centrale di Brindisi.

A Gualdo Cattaneo gli inquinanti prodotti in concentrazioni troppo elevate o sproporzionate rispetto alle piccole dimensioni della Centrale Pietro Vannucci sono state evidenziate in grassetto e si riferiscono (nell'aria) all'arsenico, al cloro e composti inorganici, al mercurio, agli ossidi di azoto e zolfo, al rame ed al selenio (nell'acqua) al rame e composti. Gli inquinanti che al contrario hanno rispettato le proporzioni tra Potenza della Centrale ed emissioni prodotte sono stati: l'anidride carbonica ed il protossido di azoto nel 2002-2005, ed

il fluoro e composti inorganici nel 2004; mentre nel 2005 il selenio è risultato elevatissimo a Brindisi.

Quindi sosteniamo, con buona convinzione, che date le modeste dimensioni dell'impianto, la conduzione della Centrale Elettrica Pietro Vannucci, dal deposito di carbone all'aperto alle emissioni in atmosfera, abbia notevoli margini di miglioramento vista l'attenzione nei confronti dell'ambiente sostenuta ripetutamente dalla società proprietaria del sito.

Figure

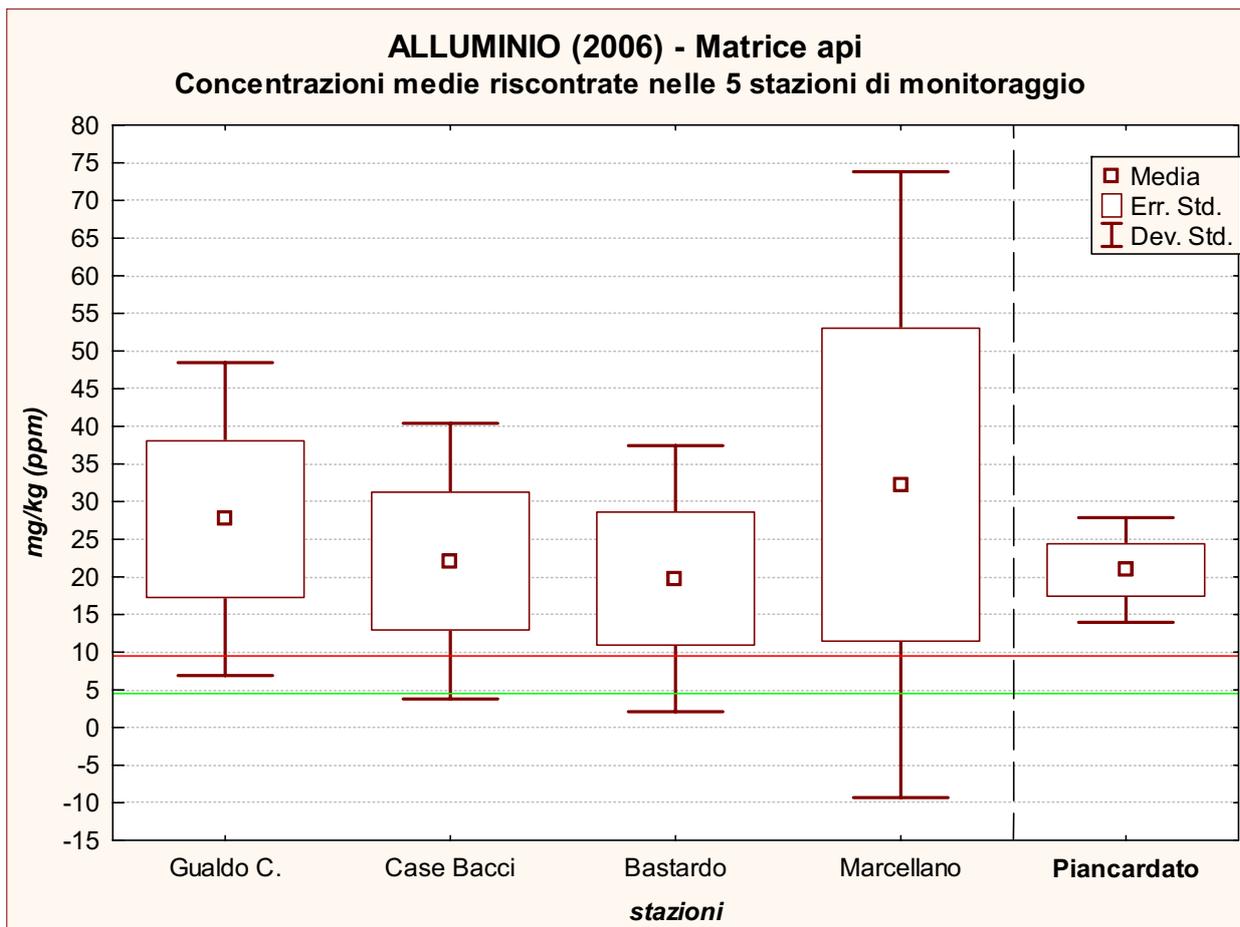


fig. 11

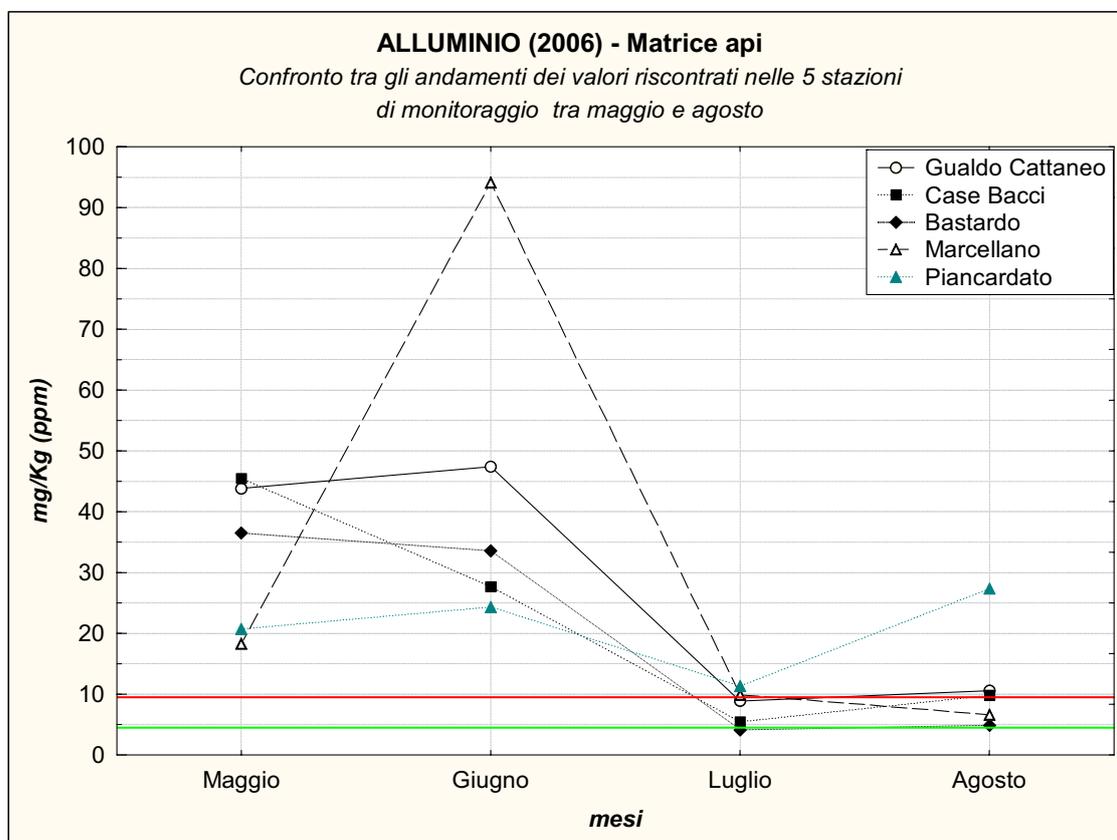


fig. 12

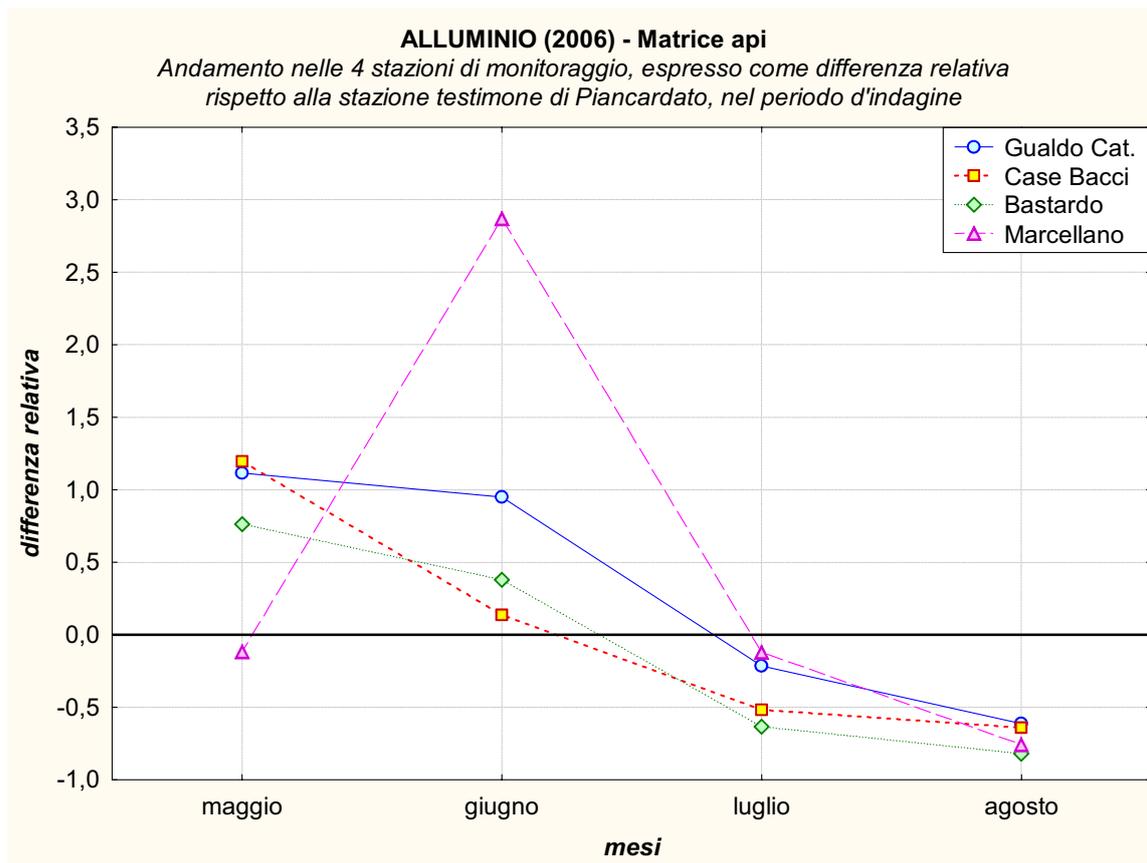


fig. 13

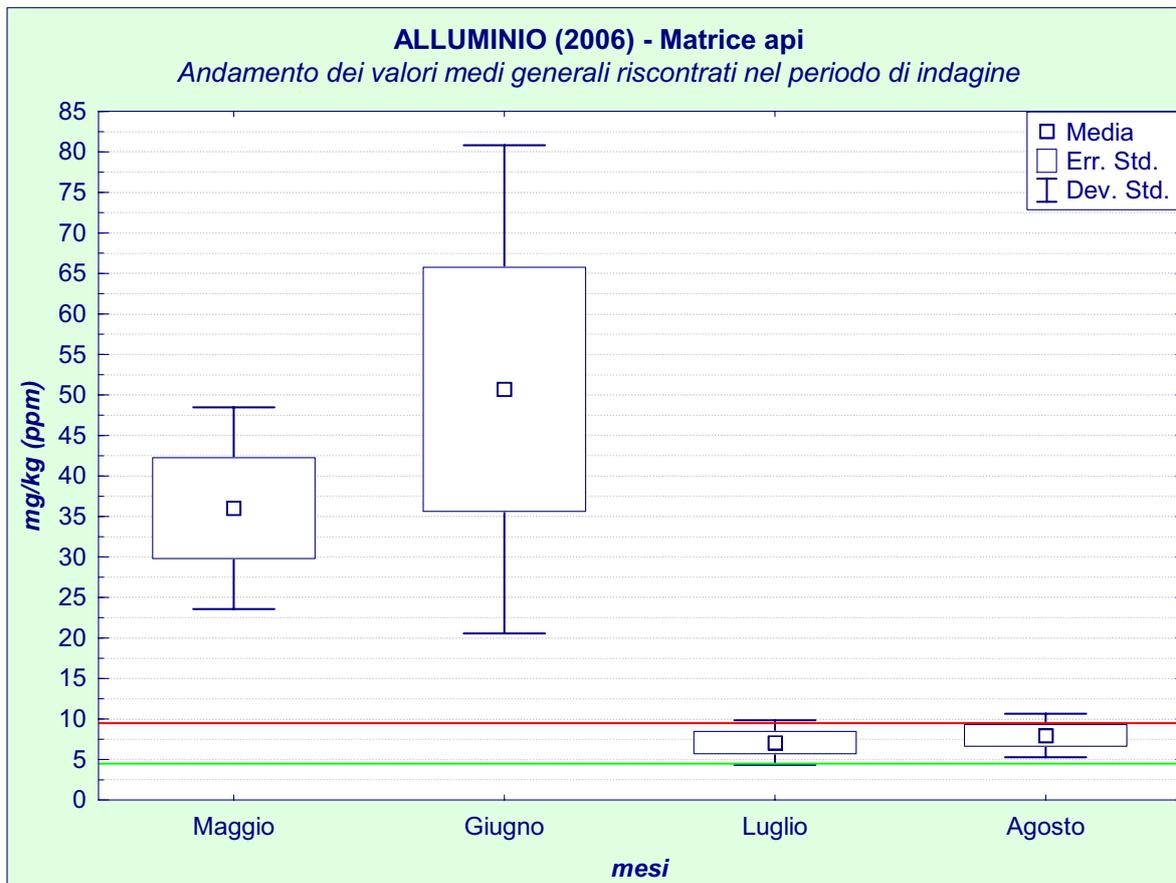


fig. 14

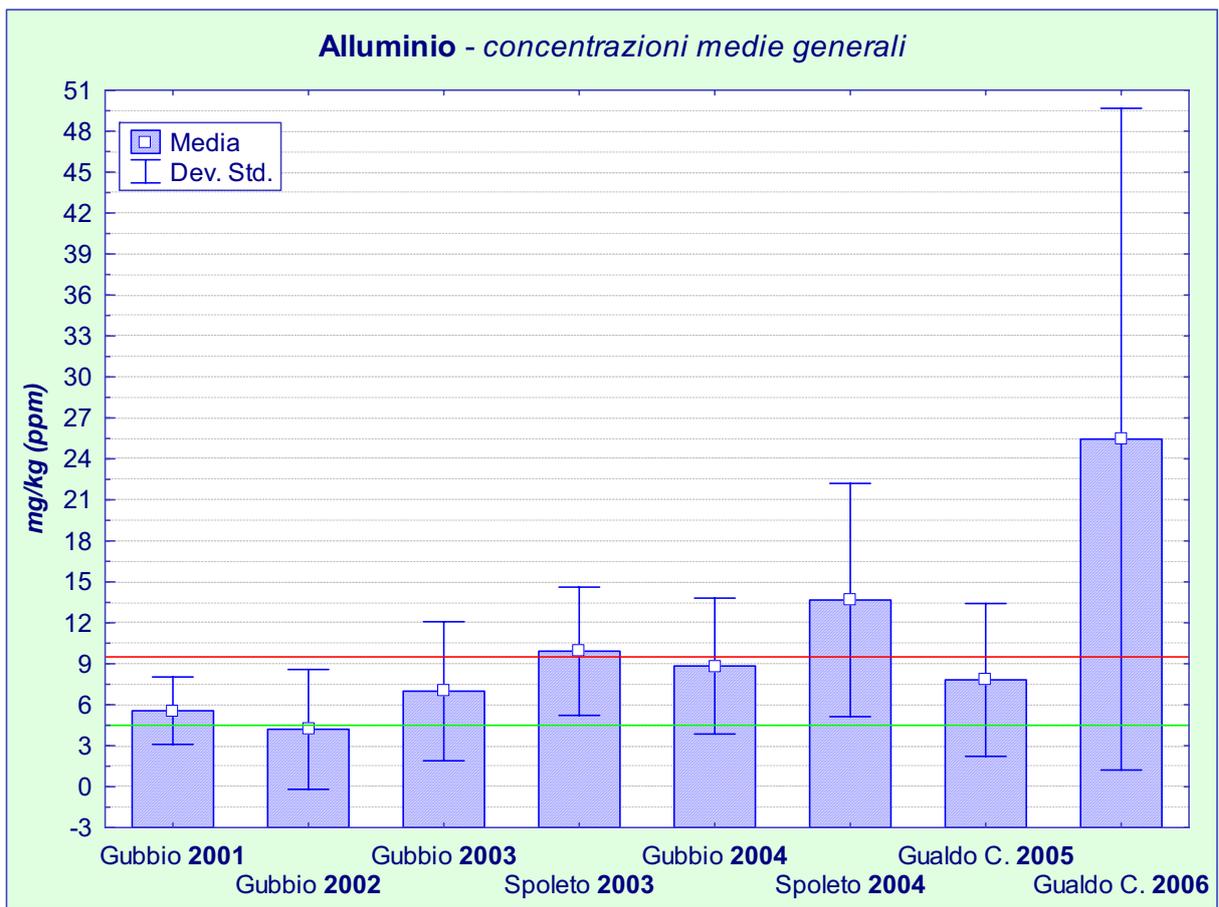


fig. 15

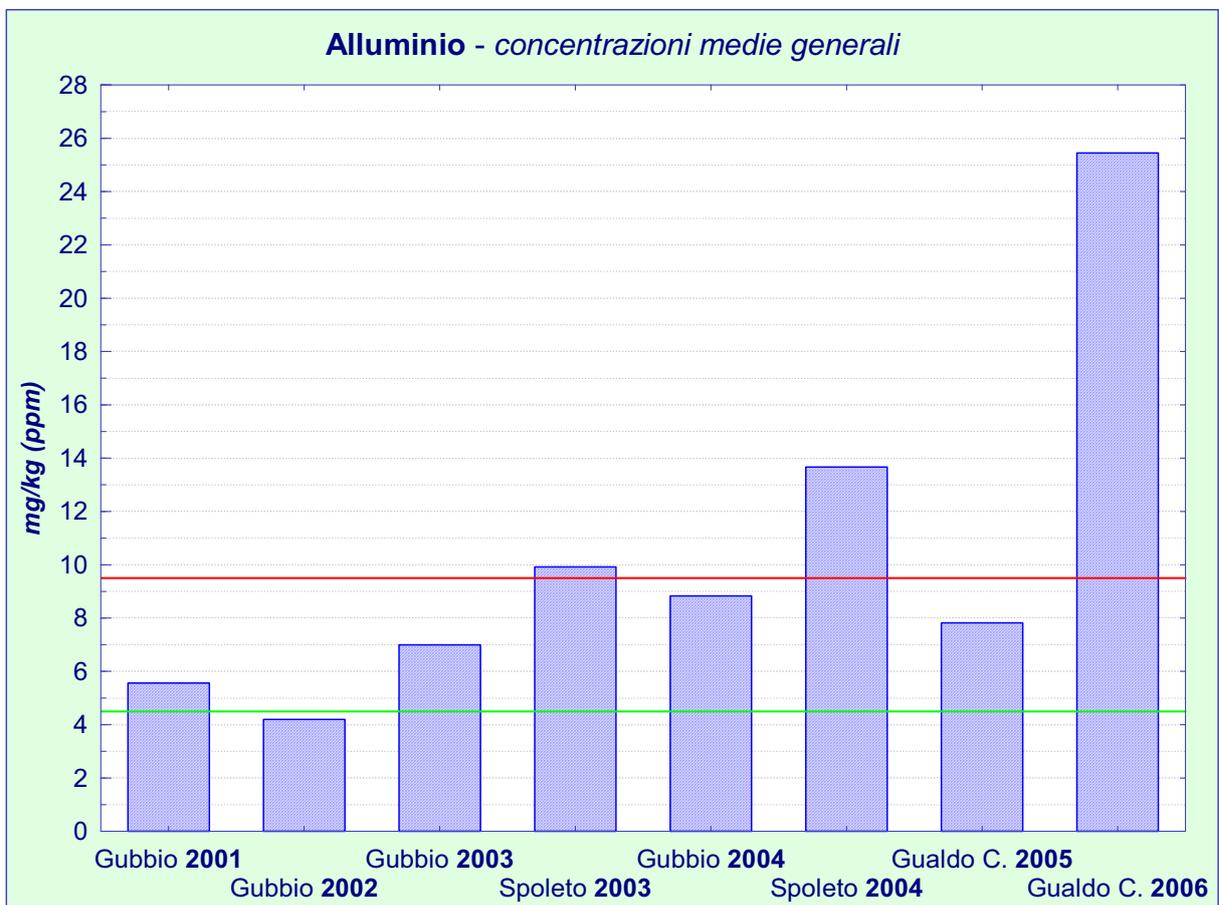


fig. 15_bis

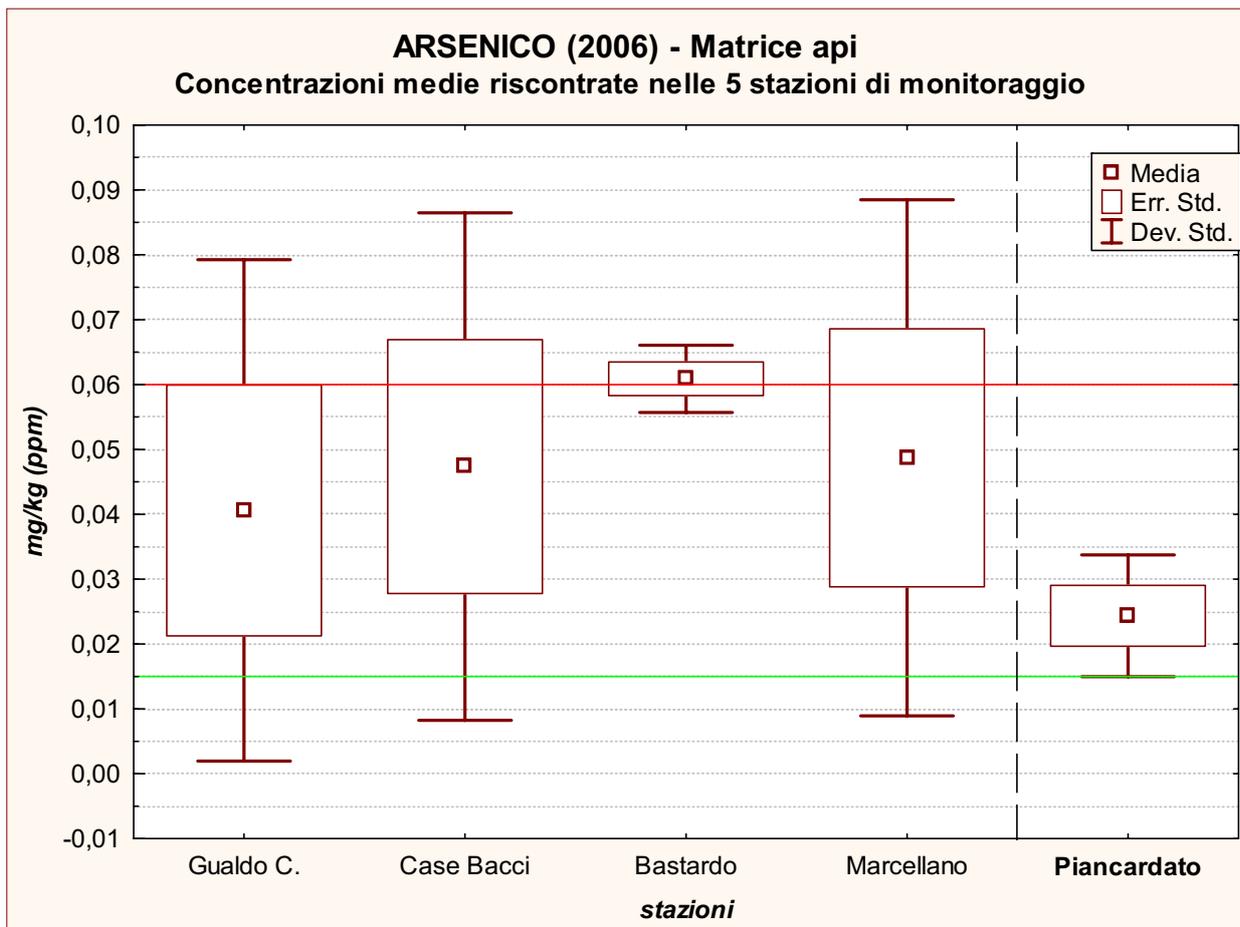


fig. 16

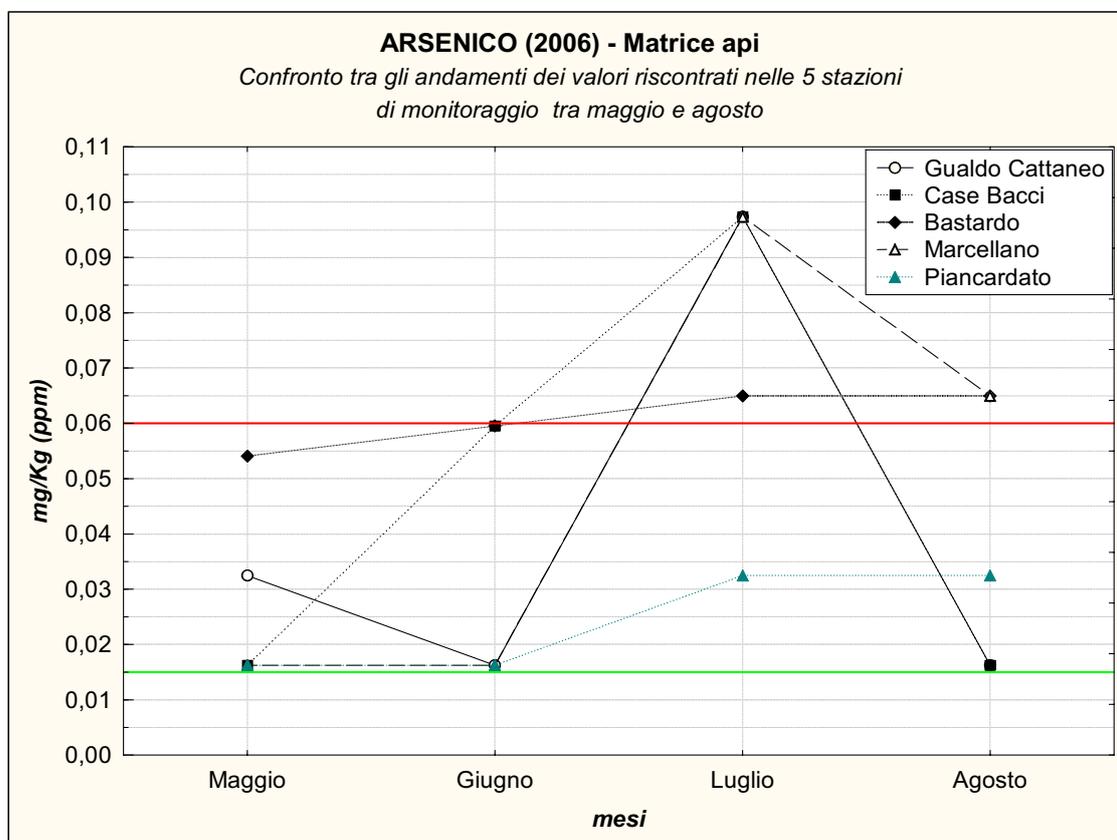


fig. 17

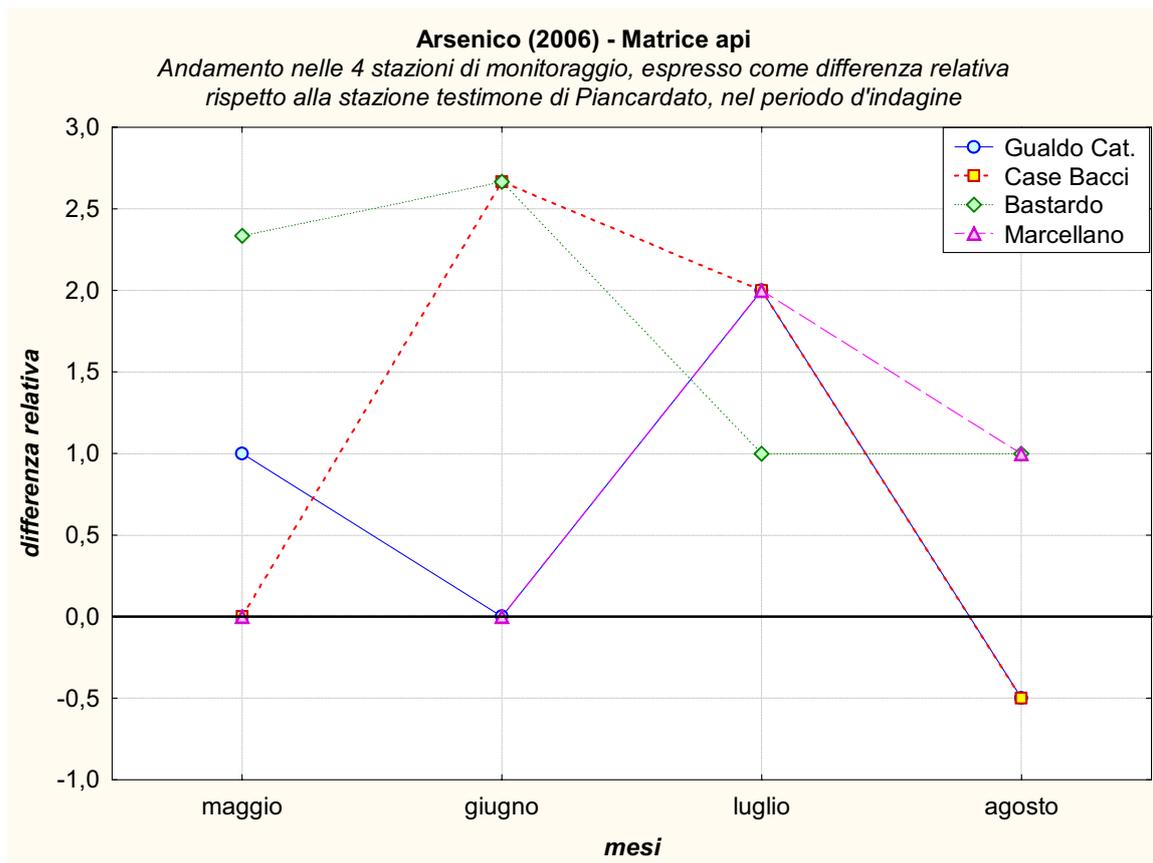


fig. 18

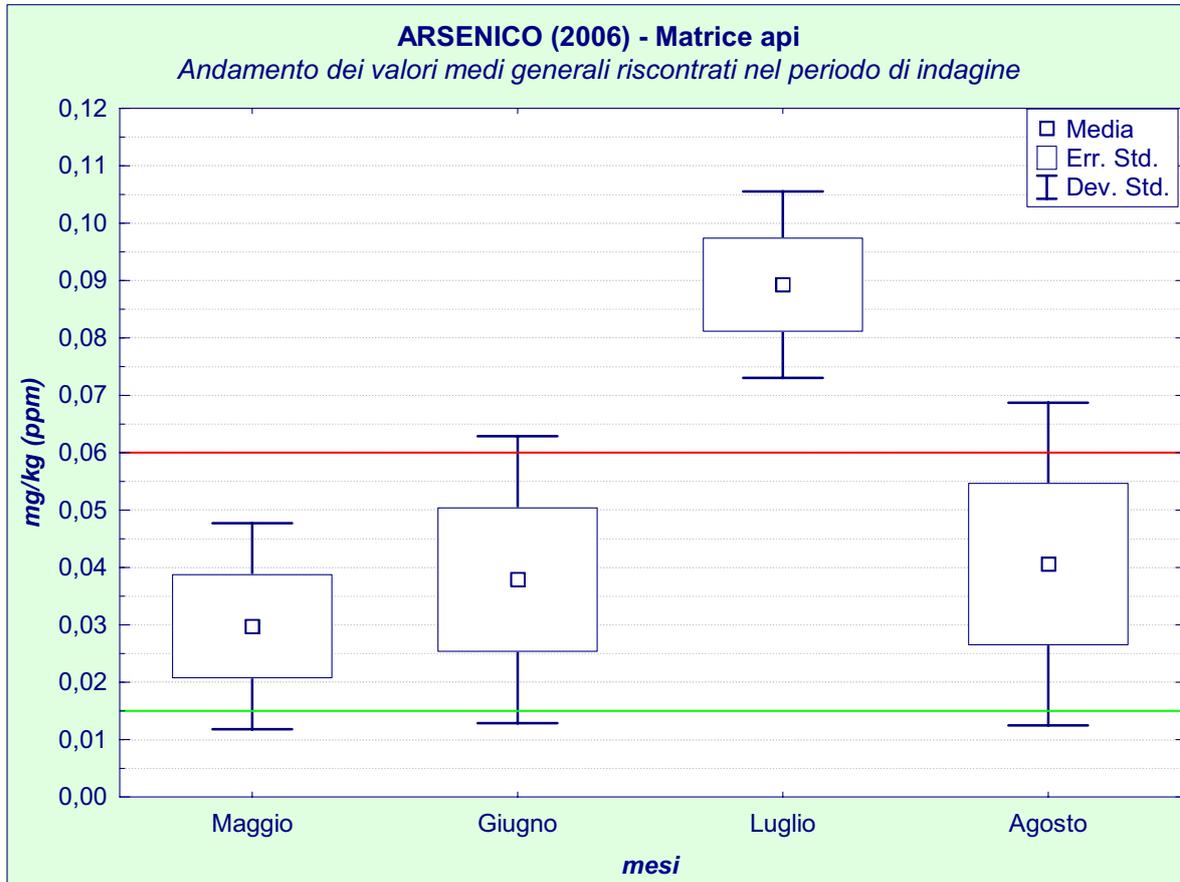


fig. 19

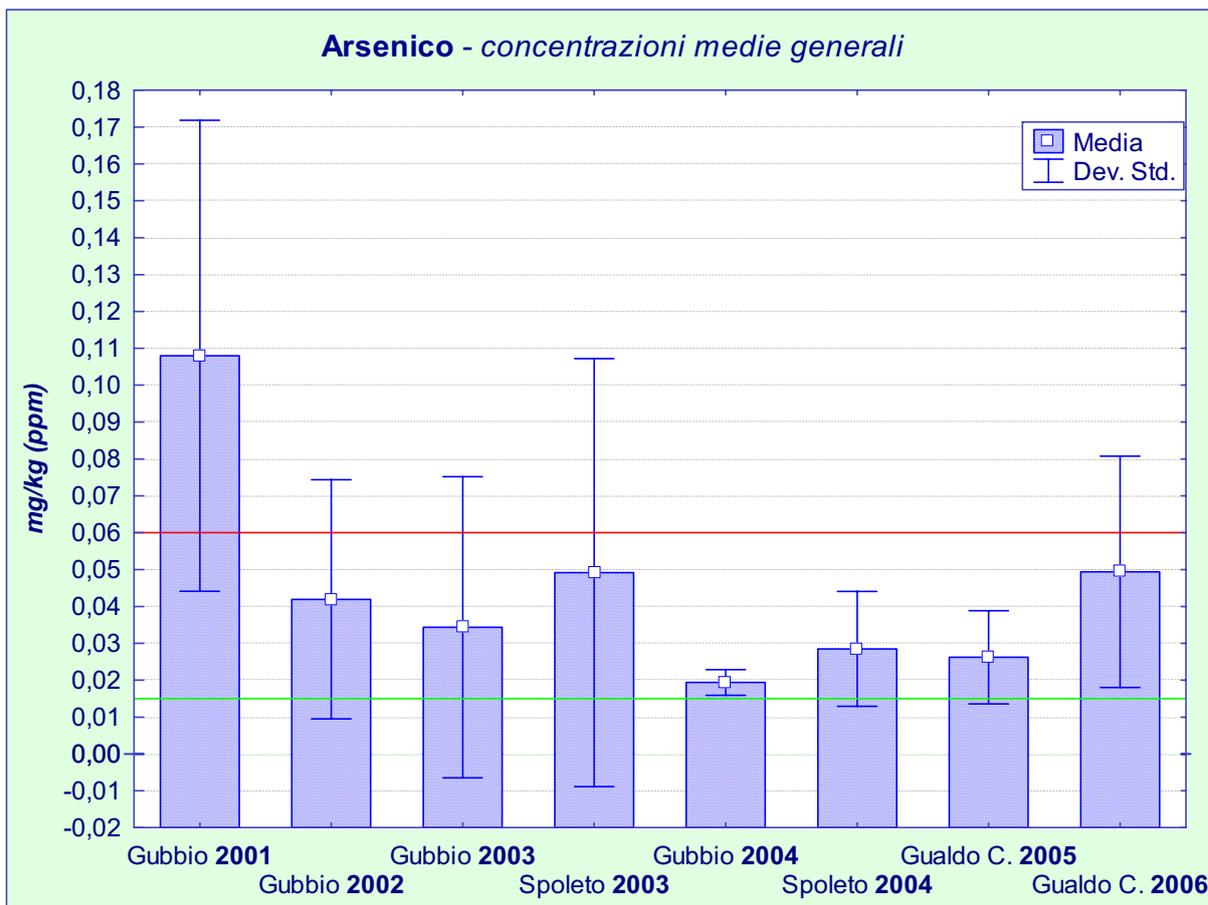


fig. 20

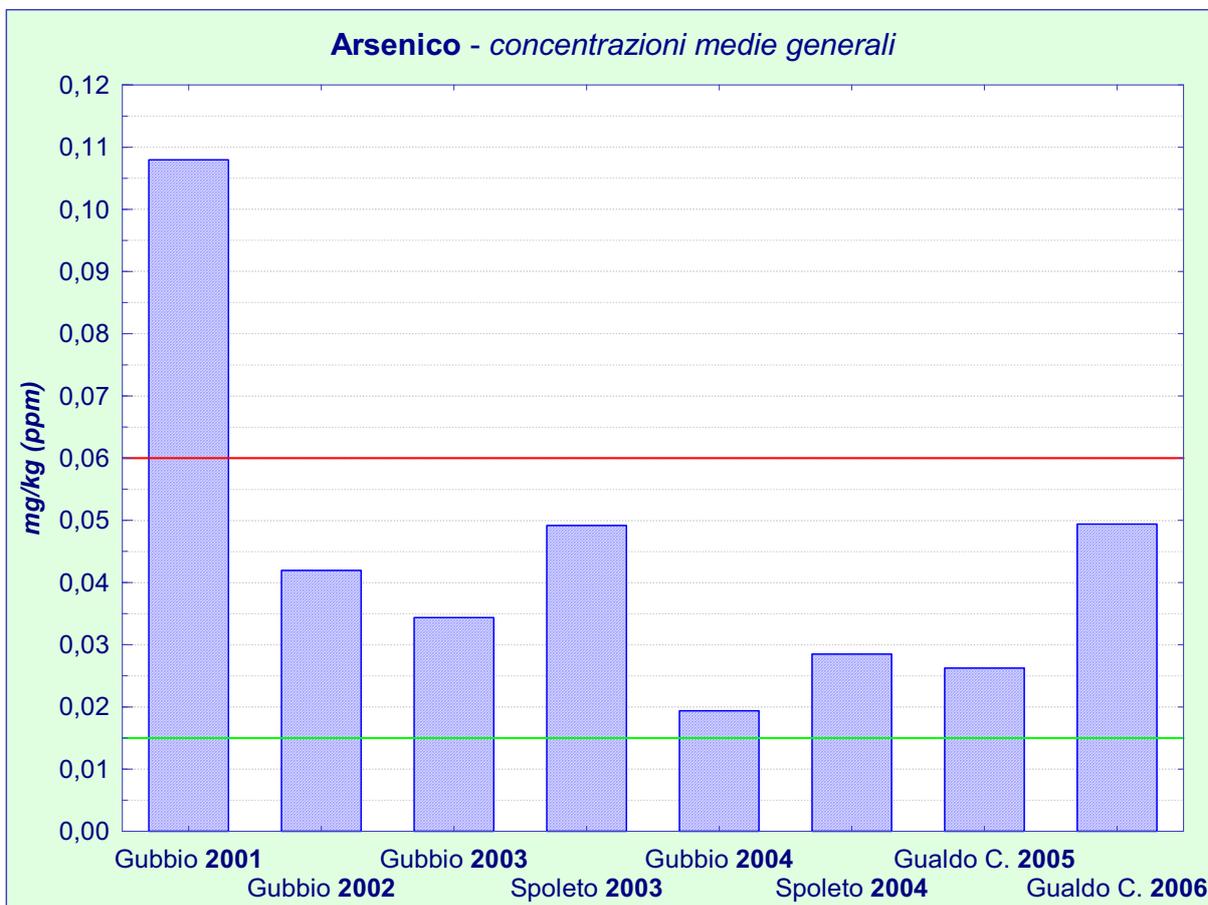


fig. 20_bis

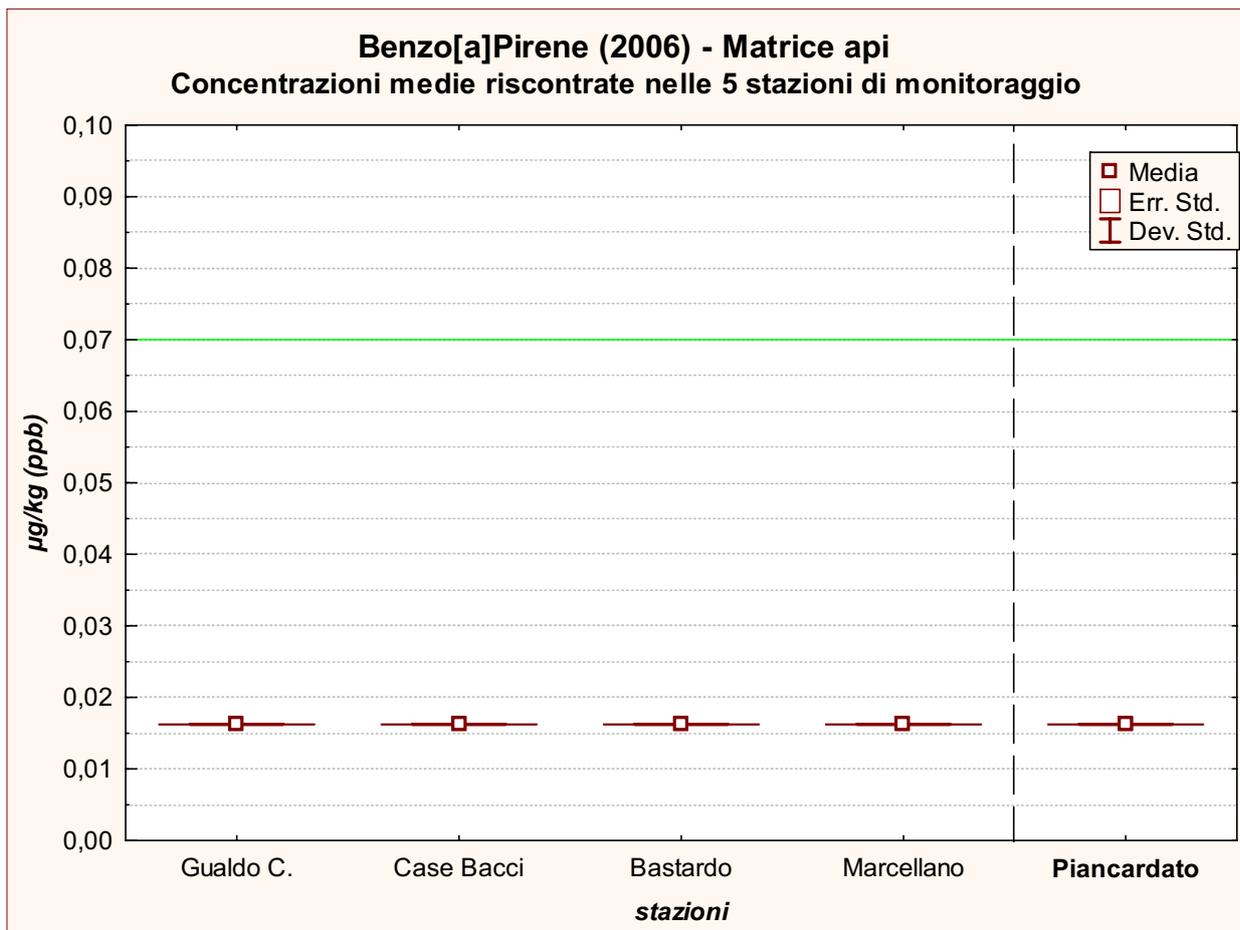


fig. 21

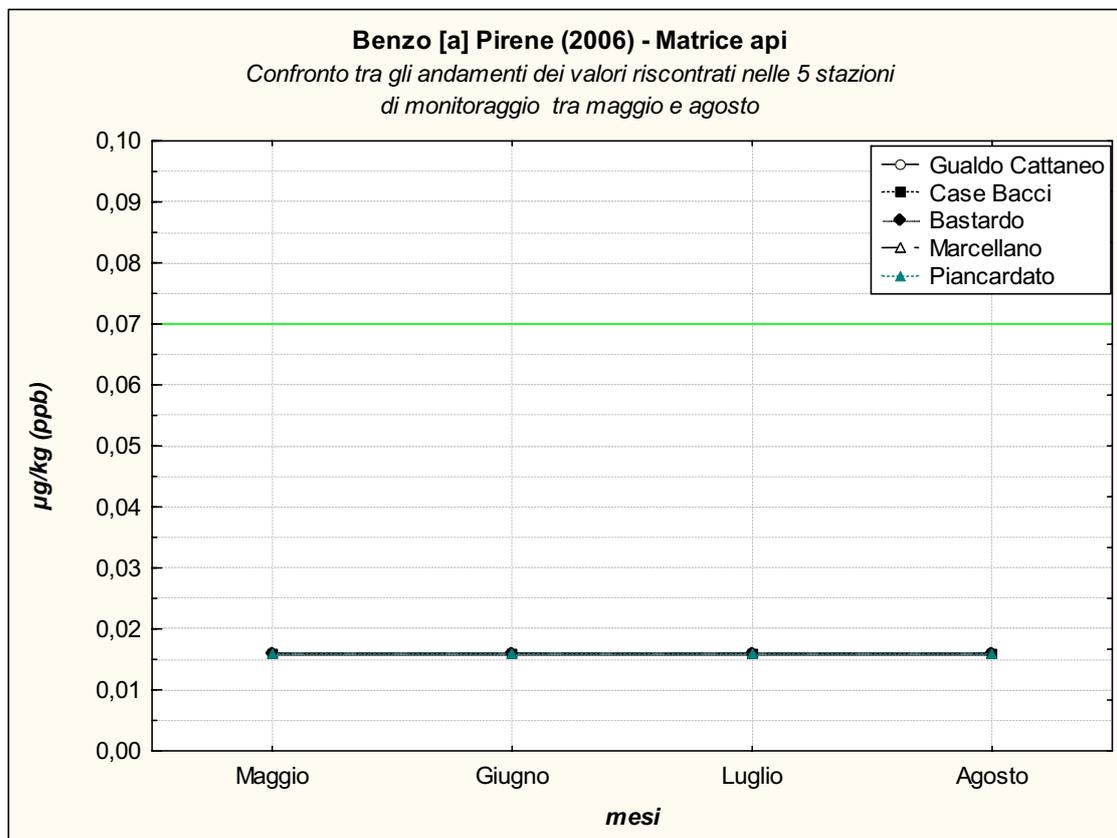


fig. 22

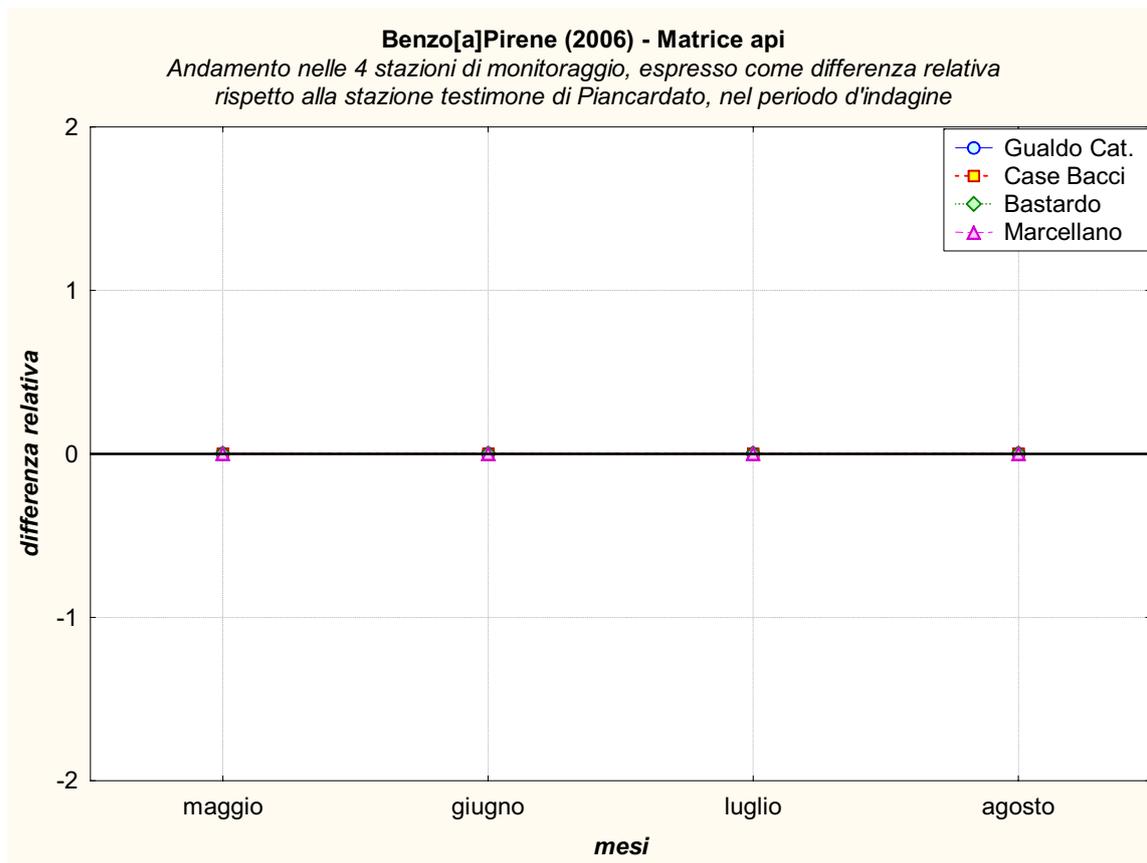


fig. 23

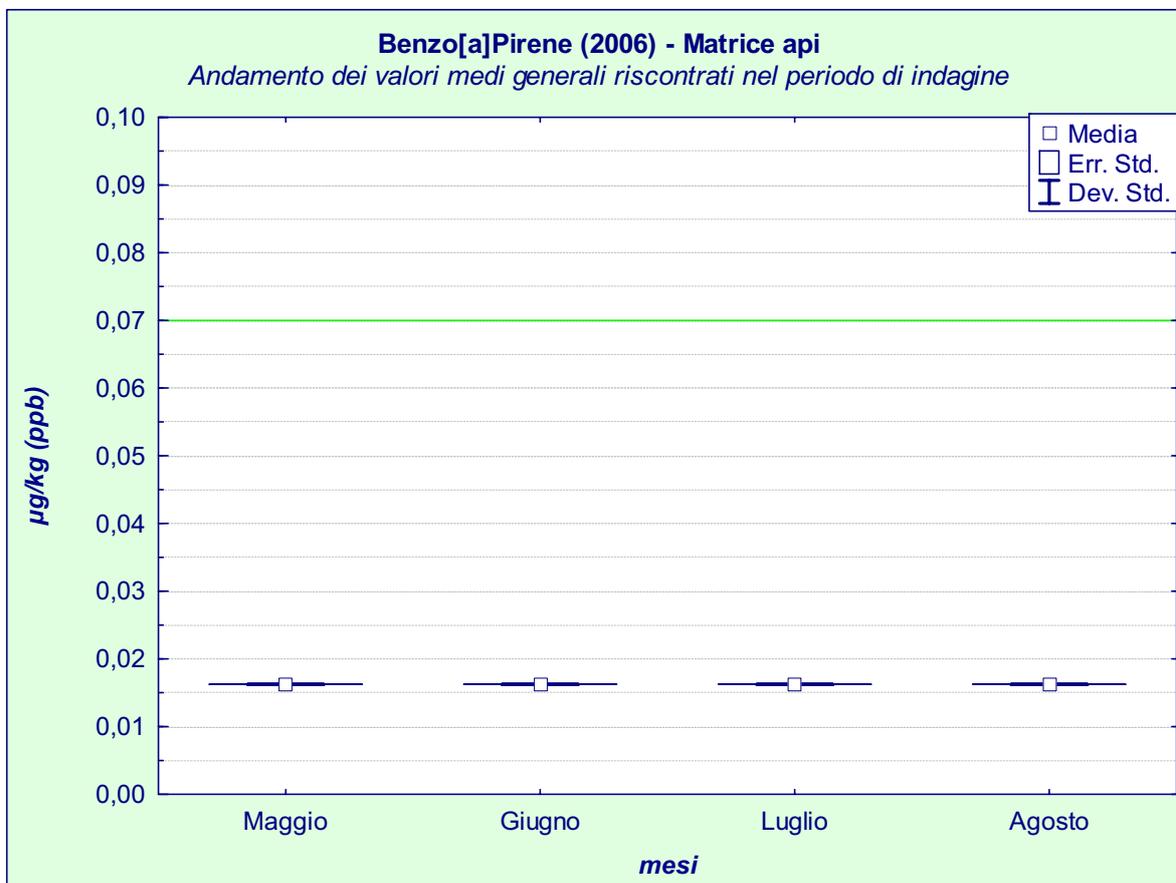


fig. 24

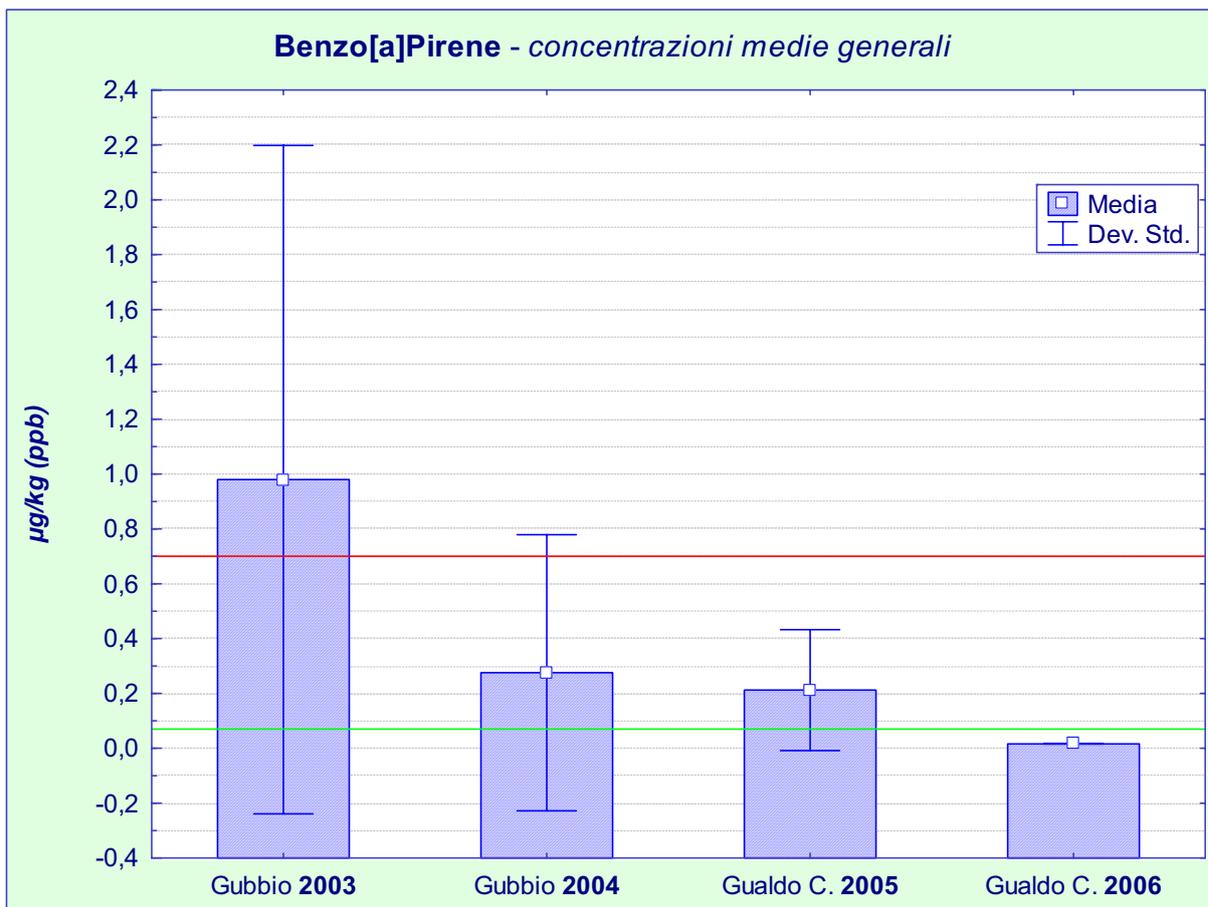


fig. 25

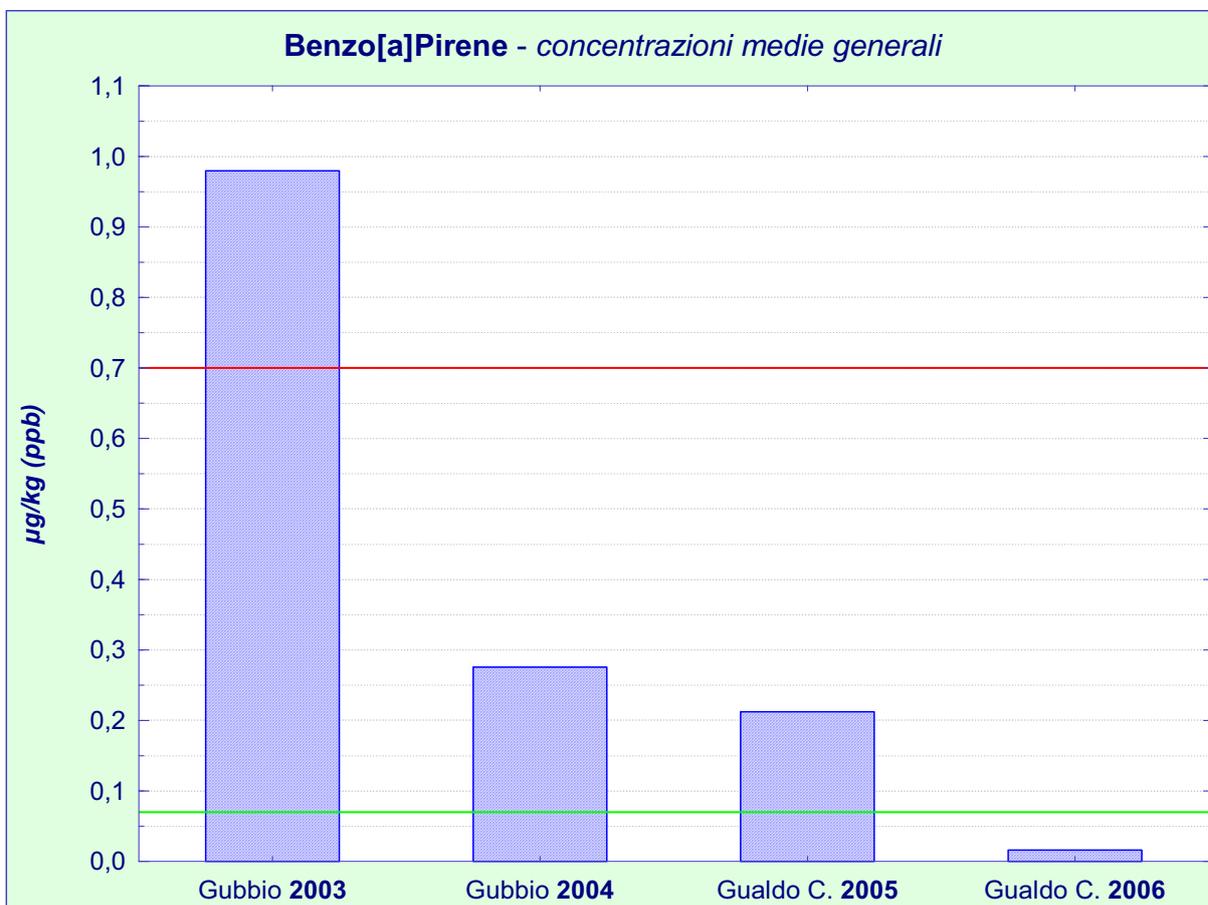


fig. 25_bis

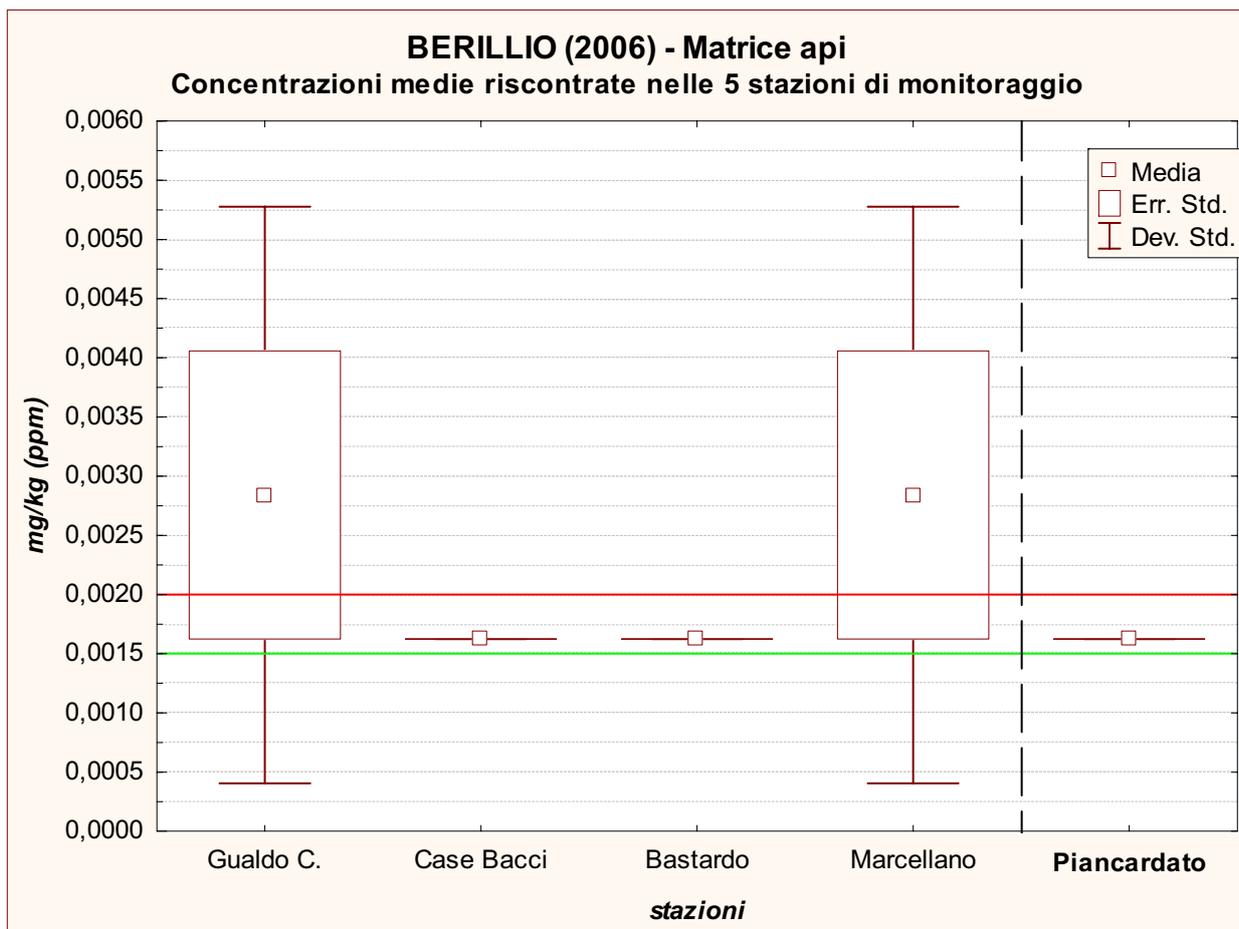


fig.26

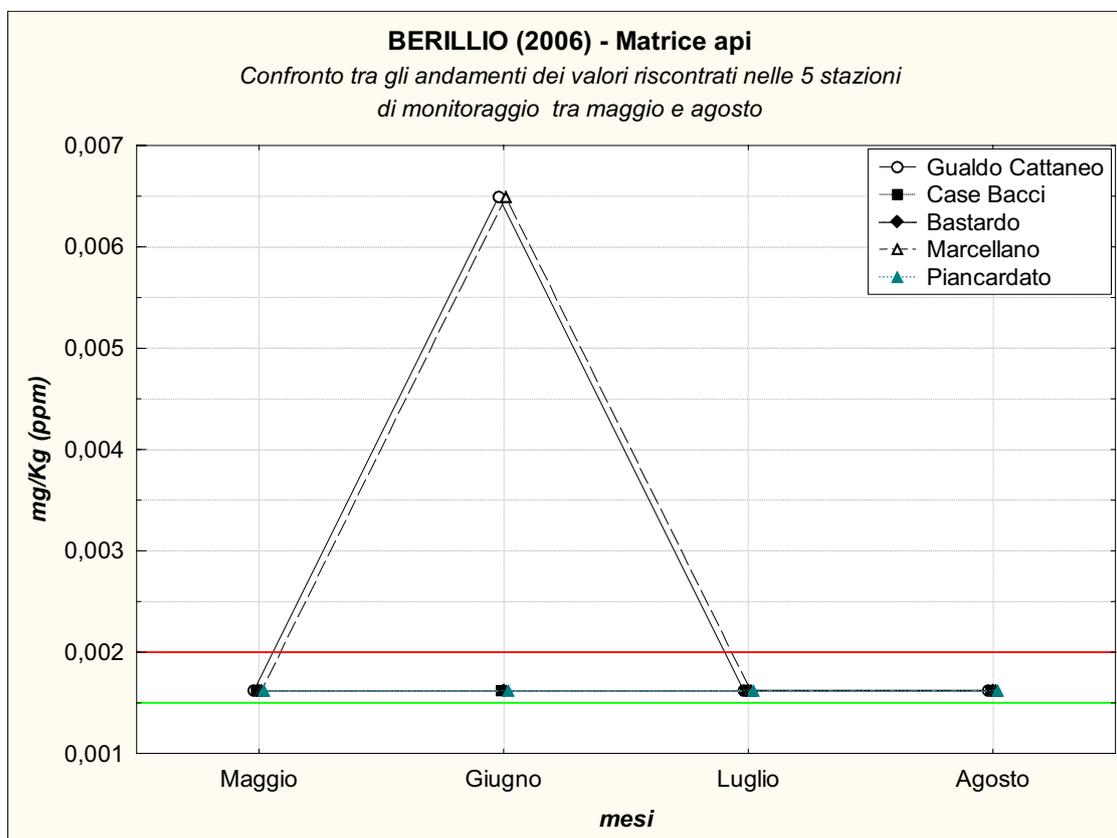


fig. 27

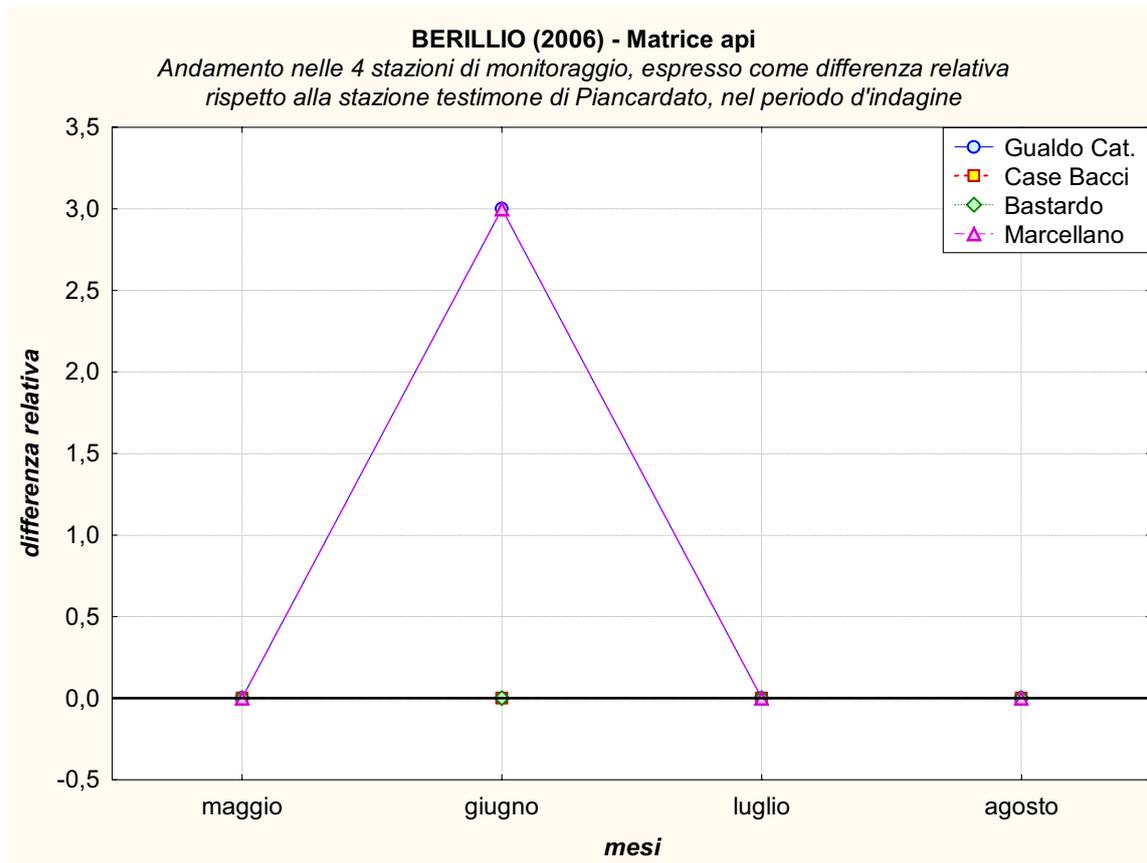


fig. 28

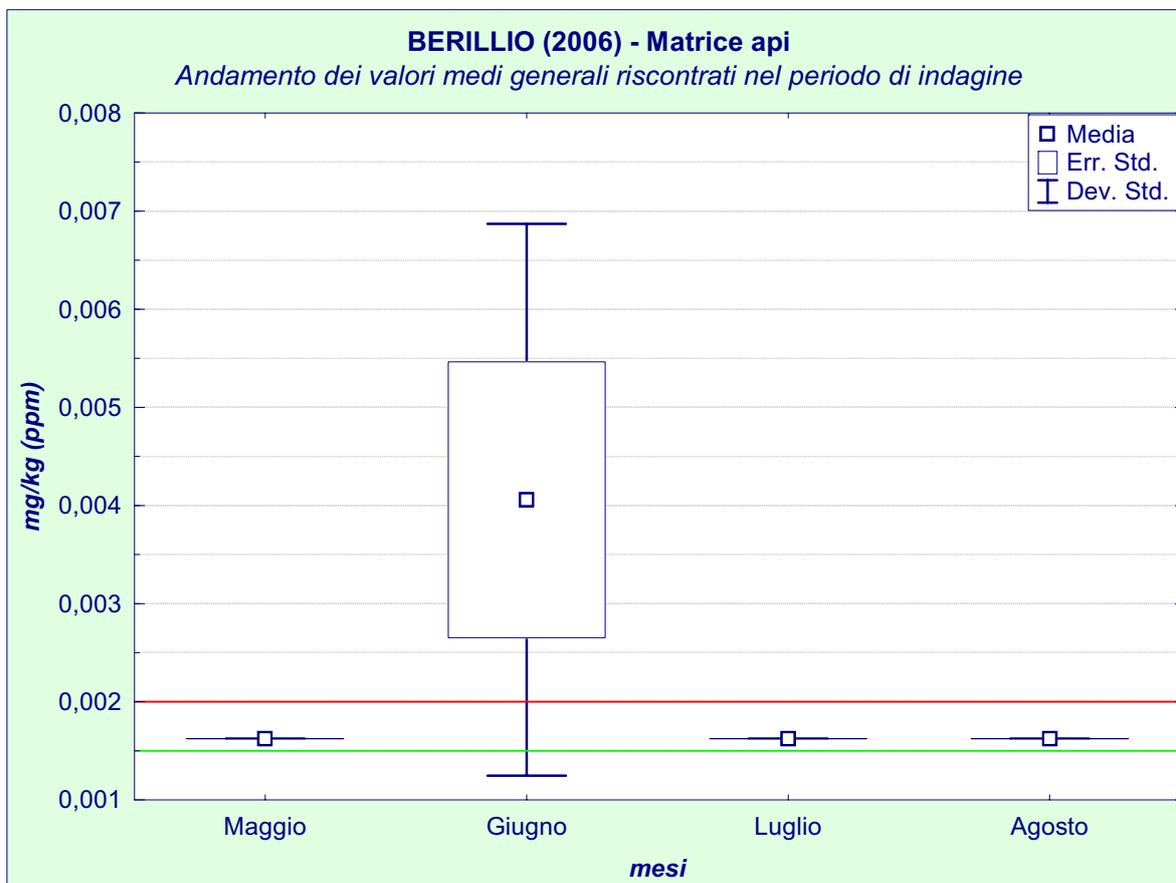


fig. 29

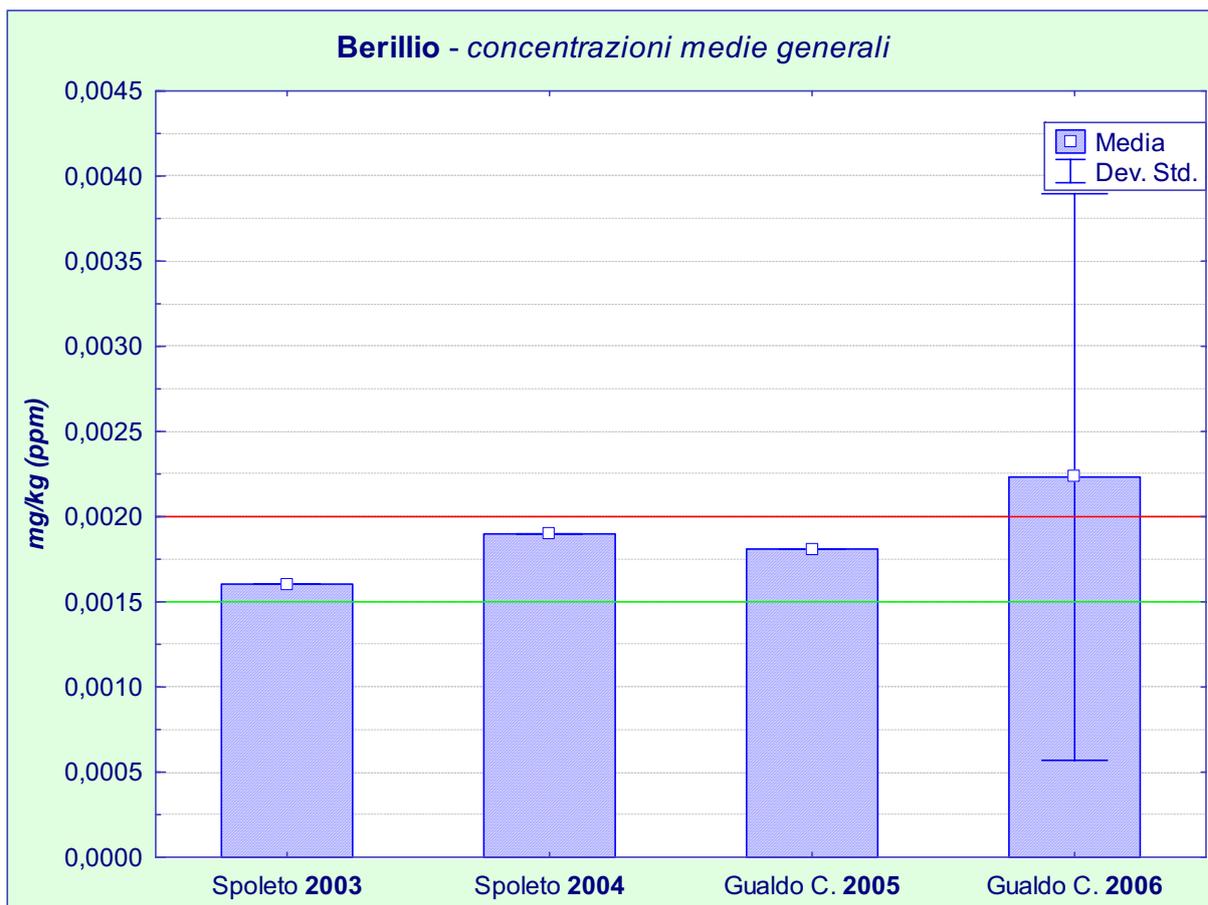


fig. 30

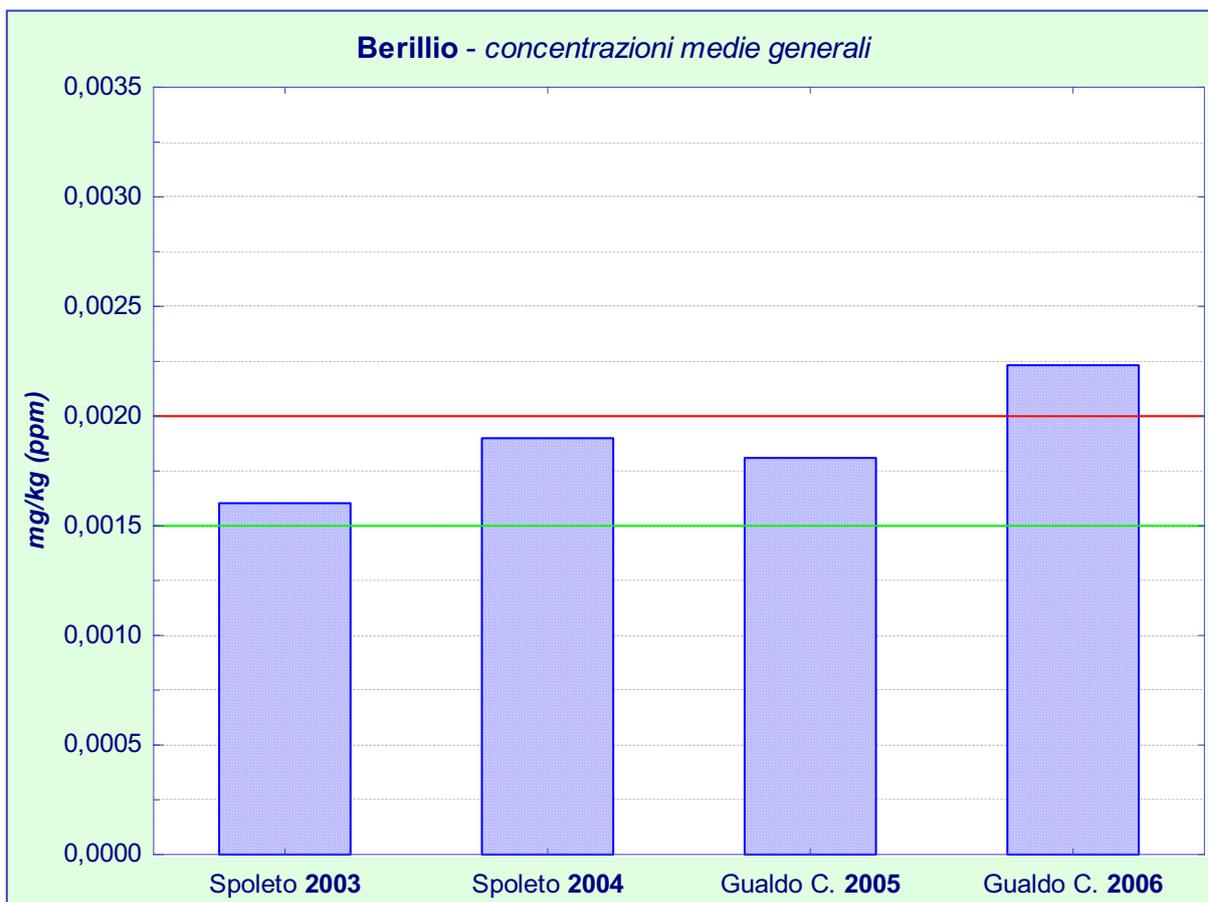


fig. 30_bis

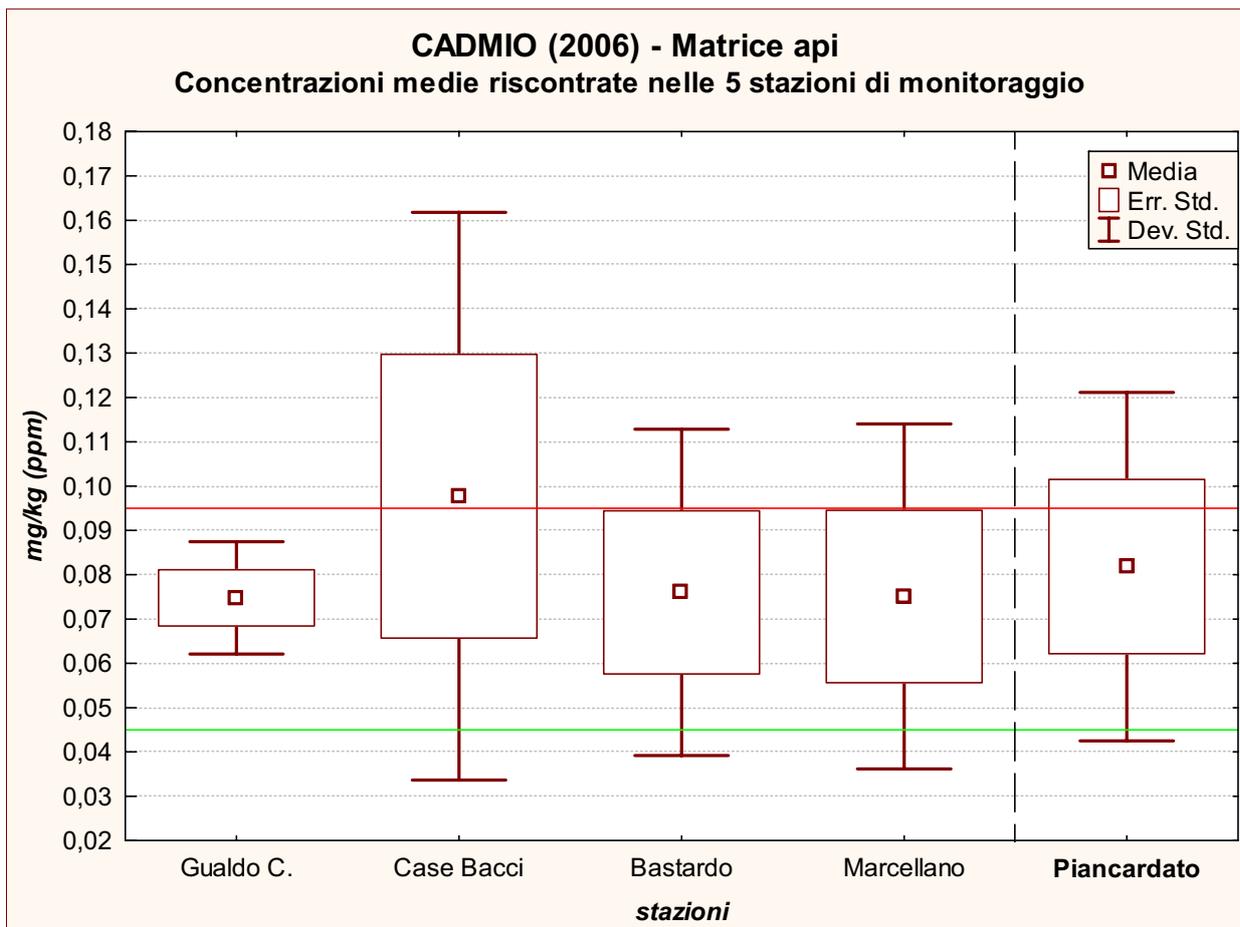


fig. 31

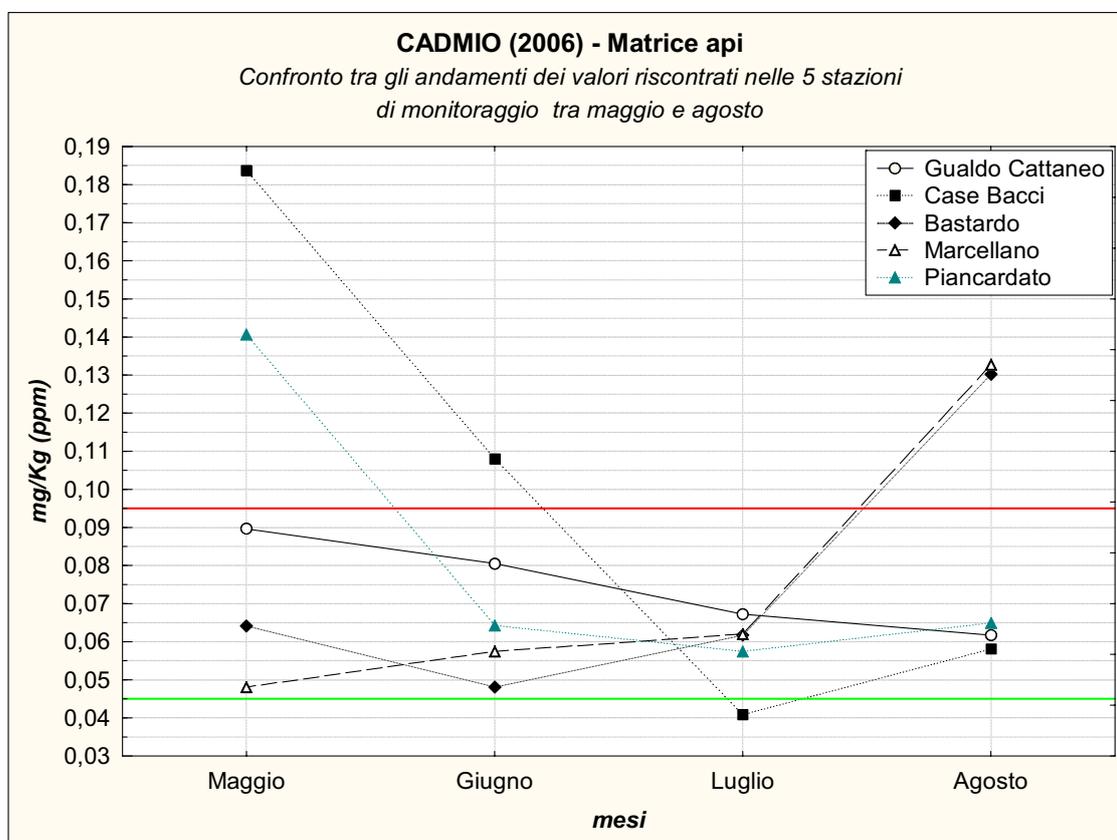


fig. 32

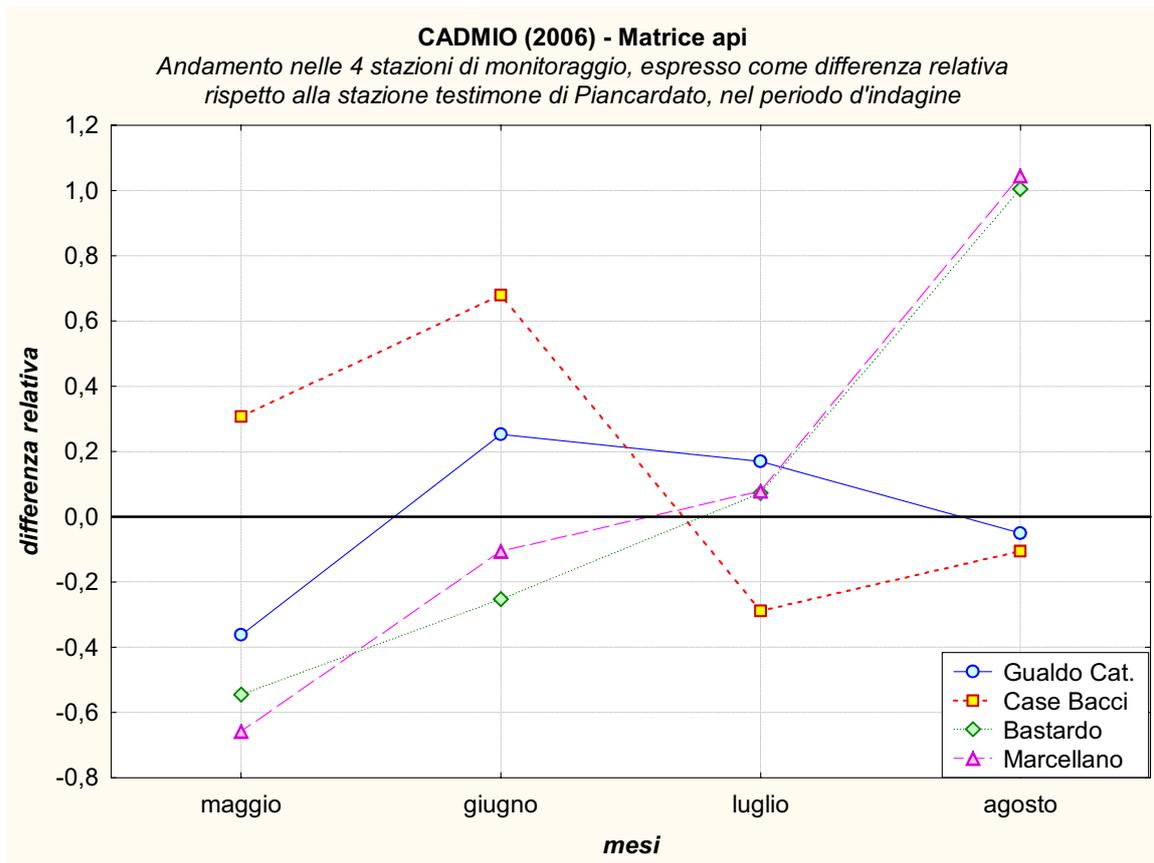


fig. 33

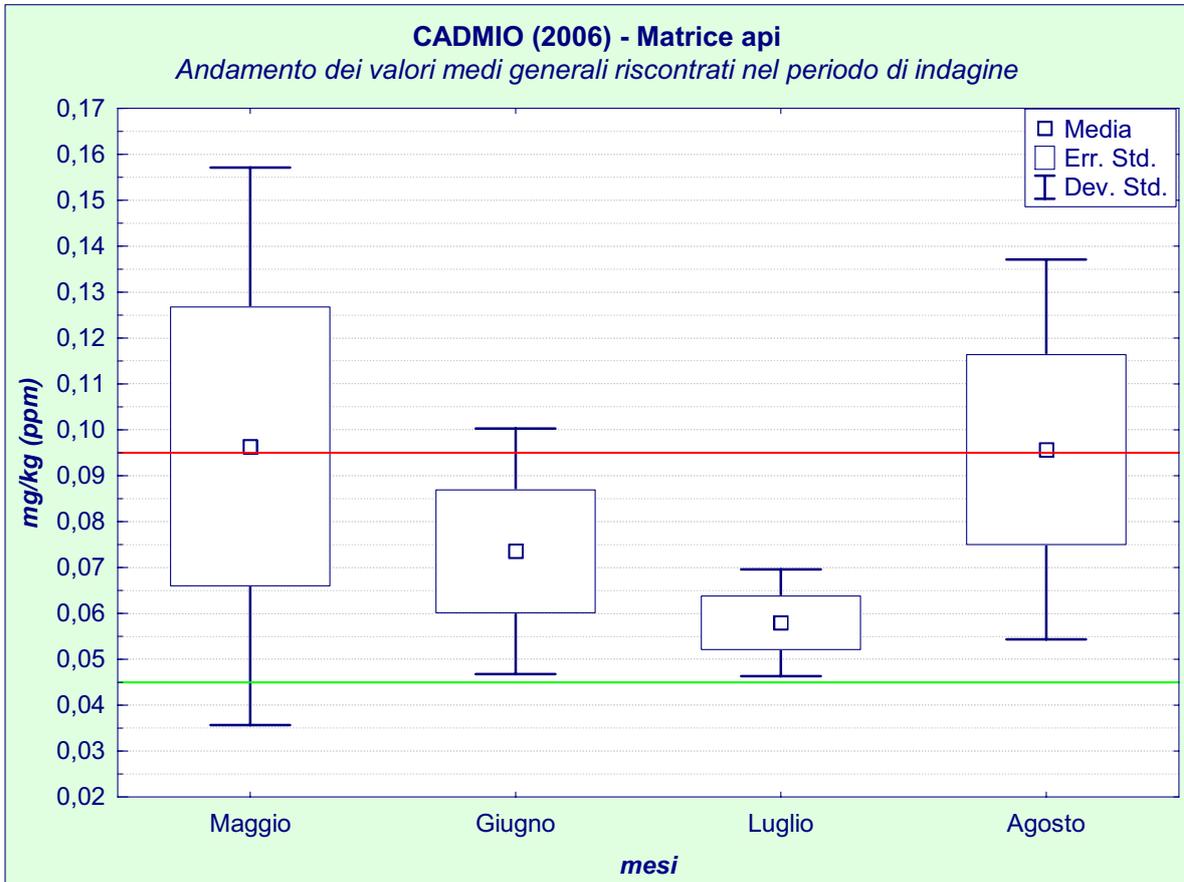


fig. 34

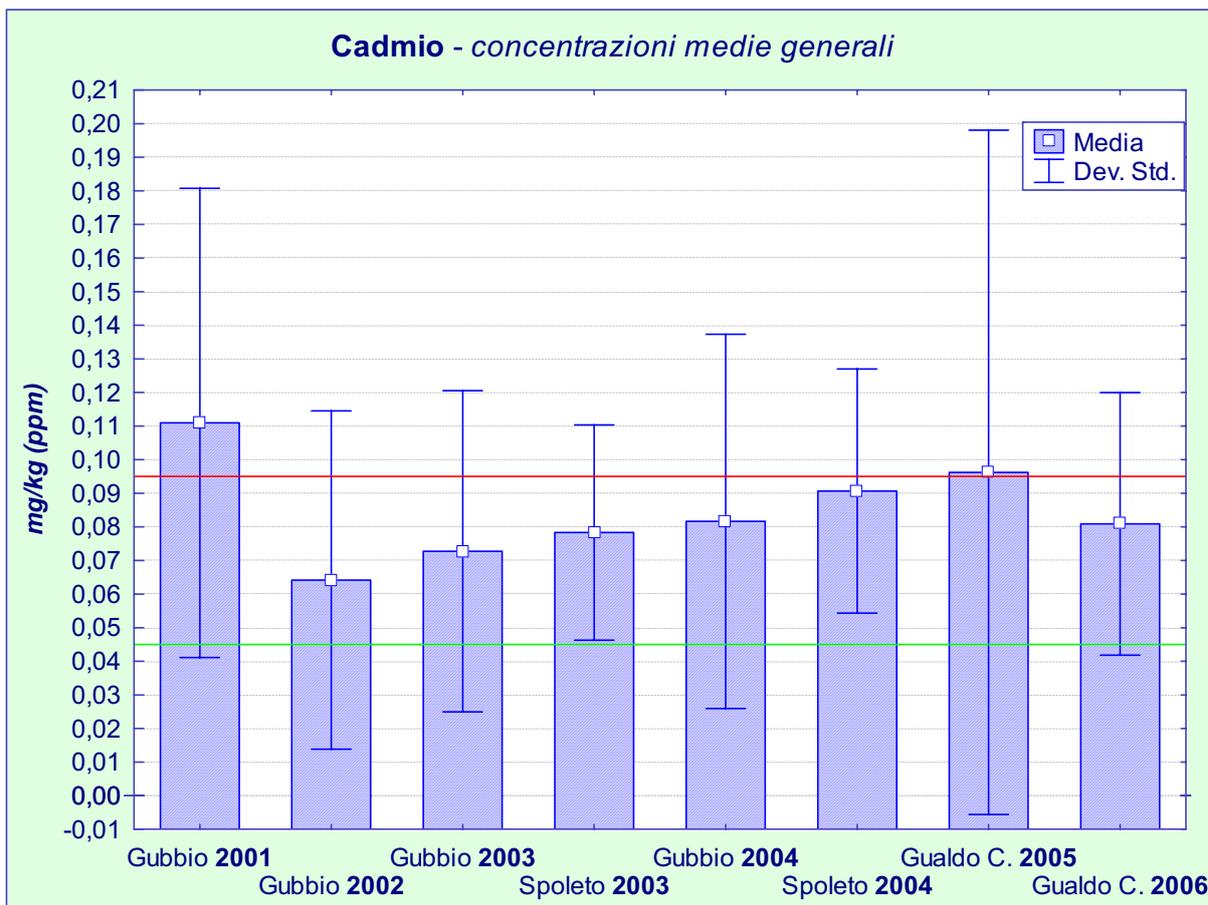


fig. 35

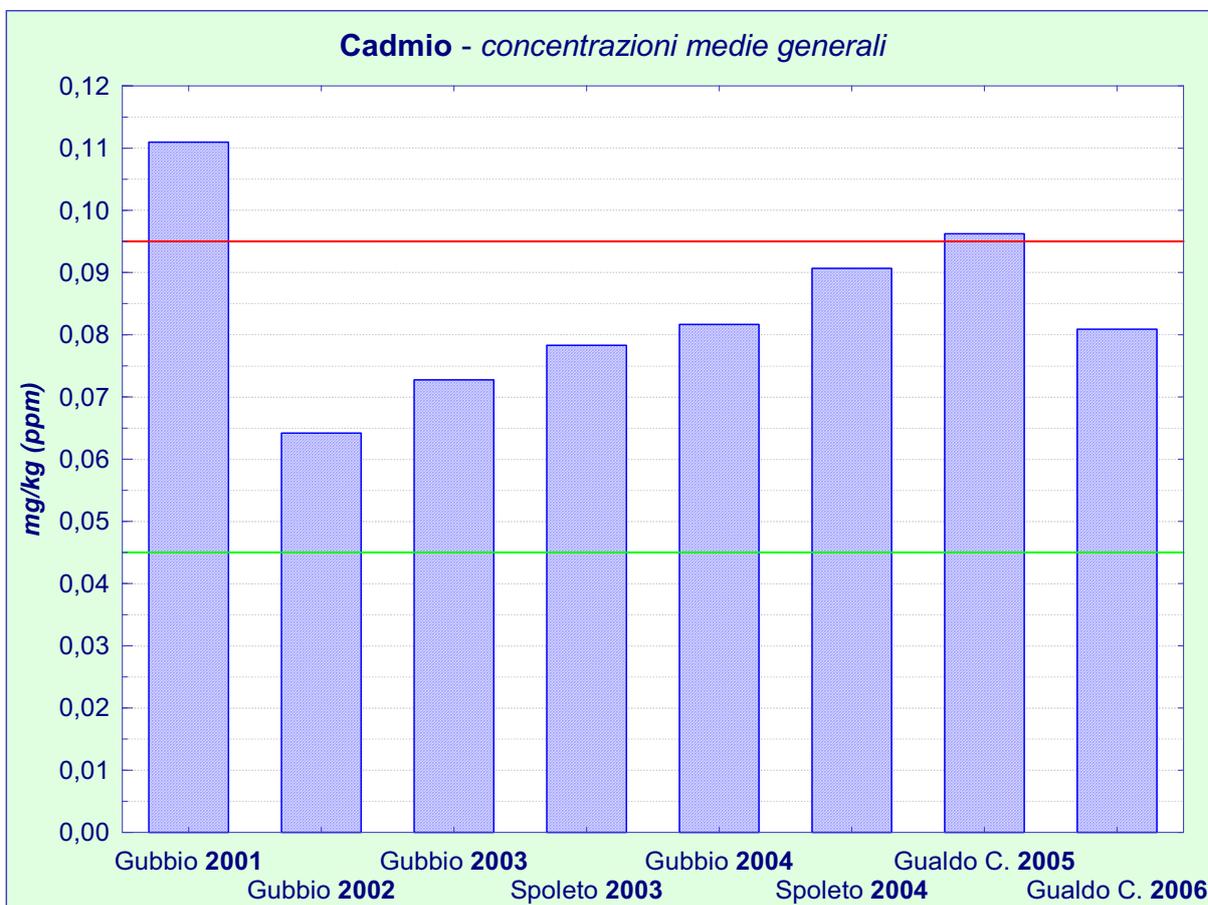


fig. 35_bis

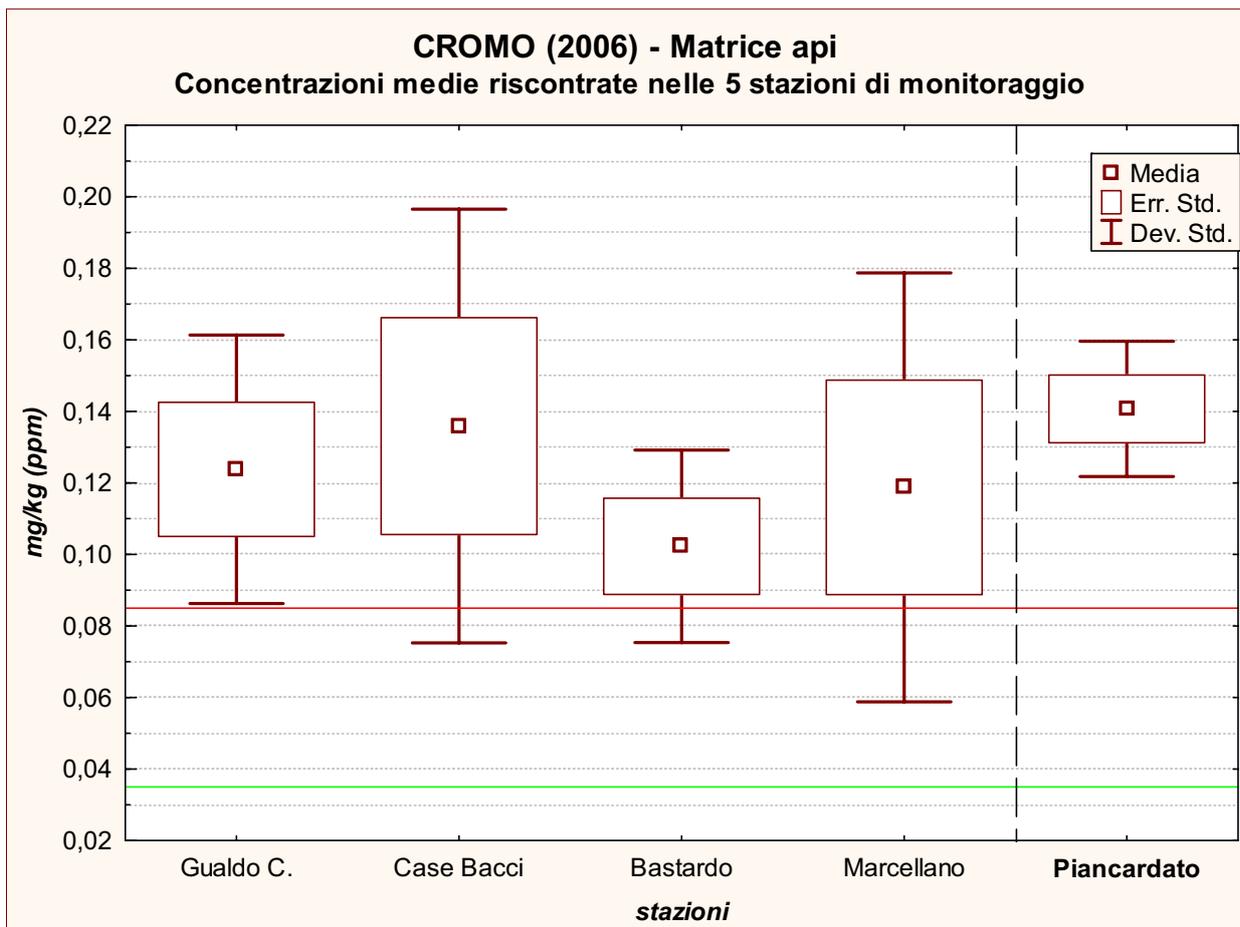


fig. 36

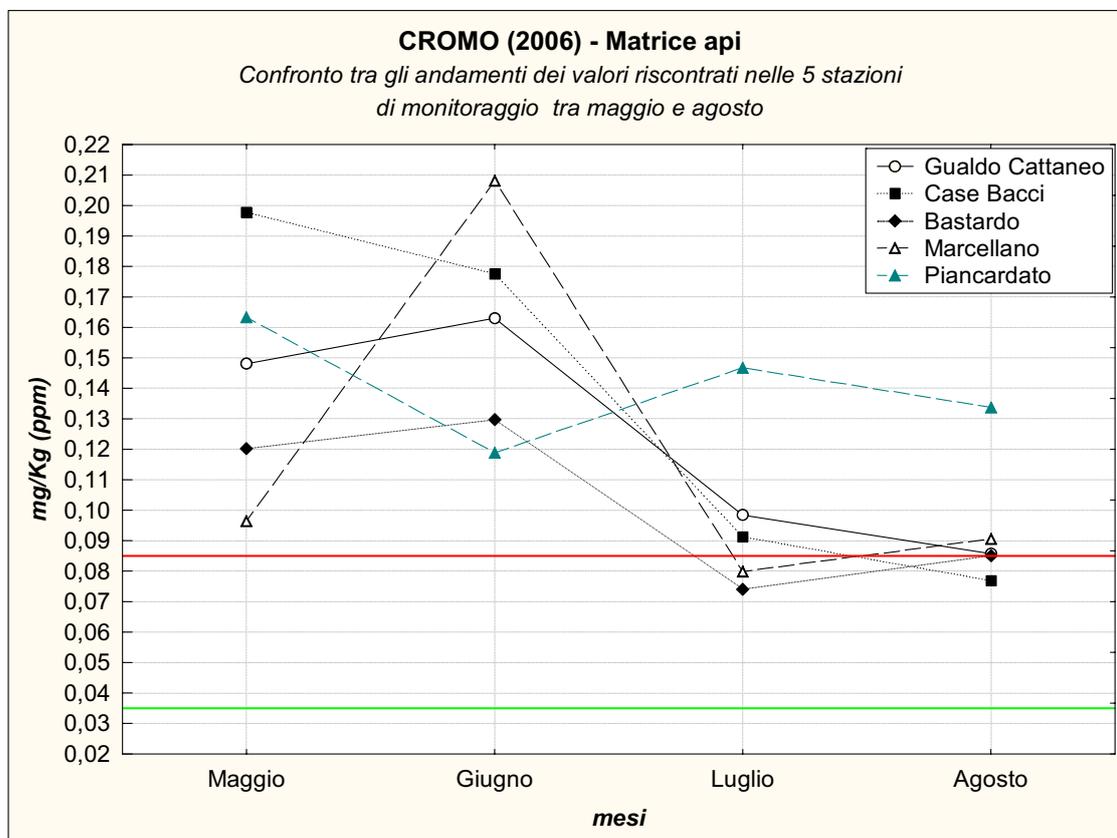


fig. 37

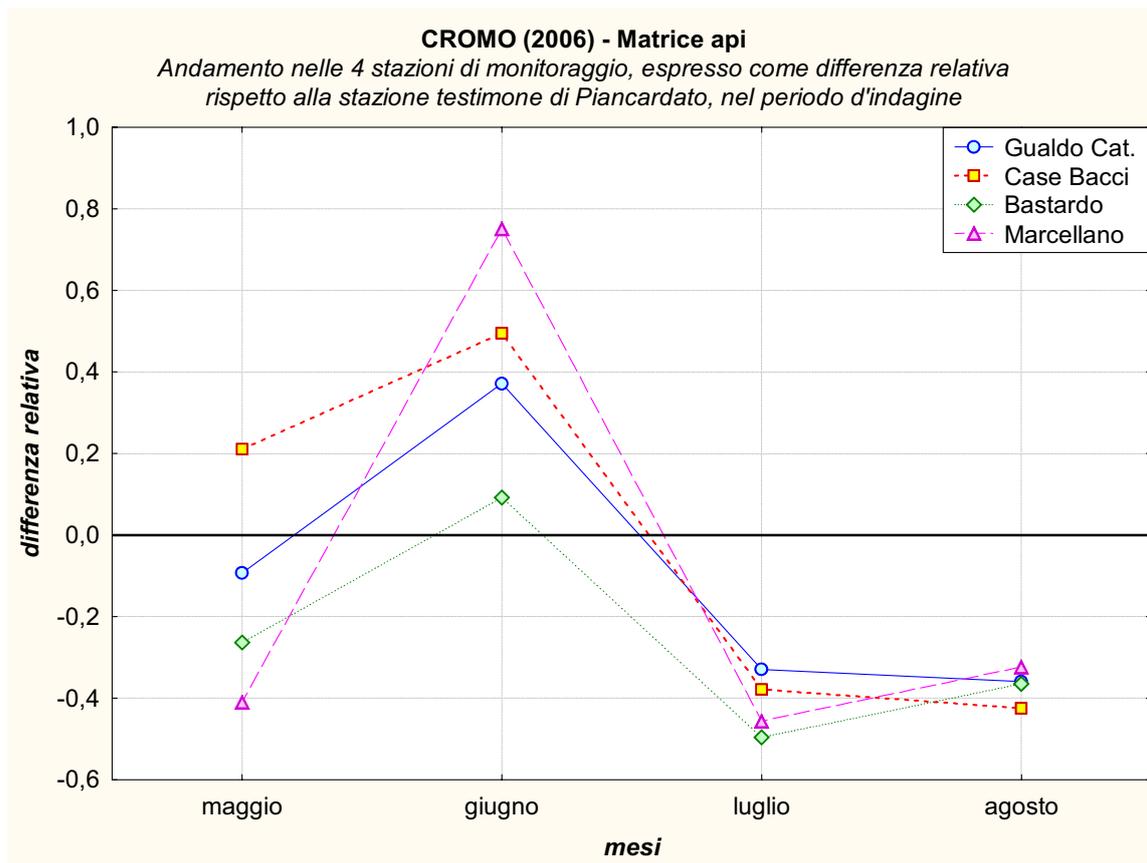


fig. 38

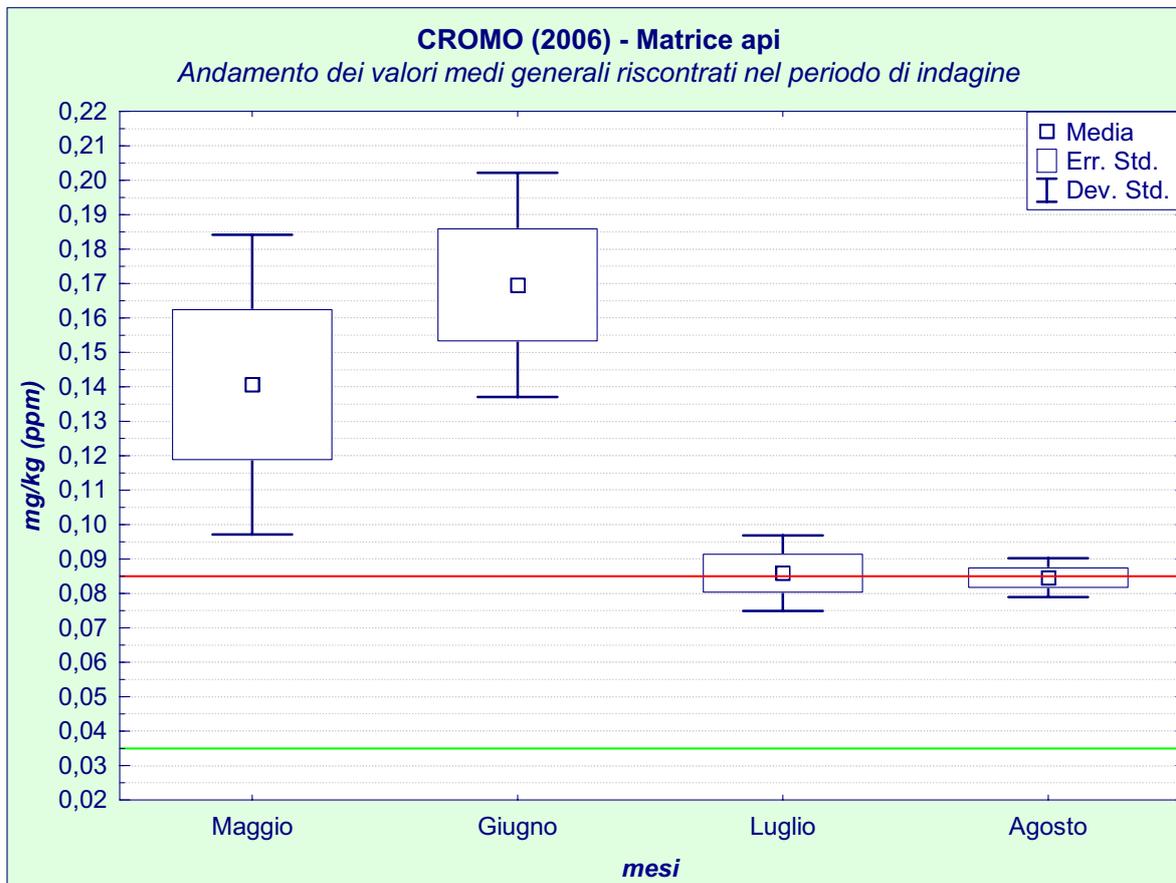


fig. 39

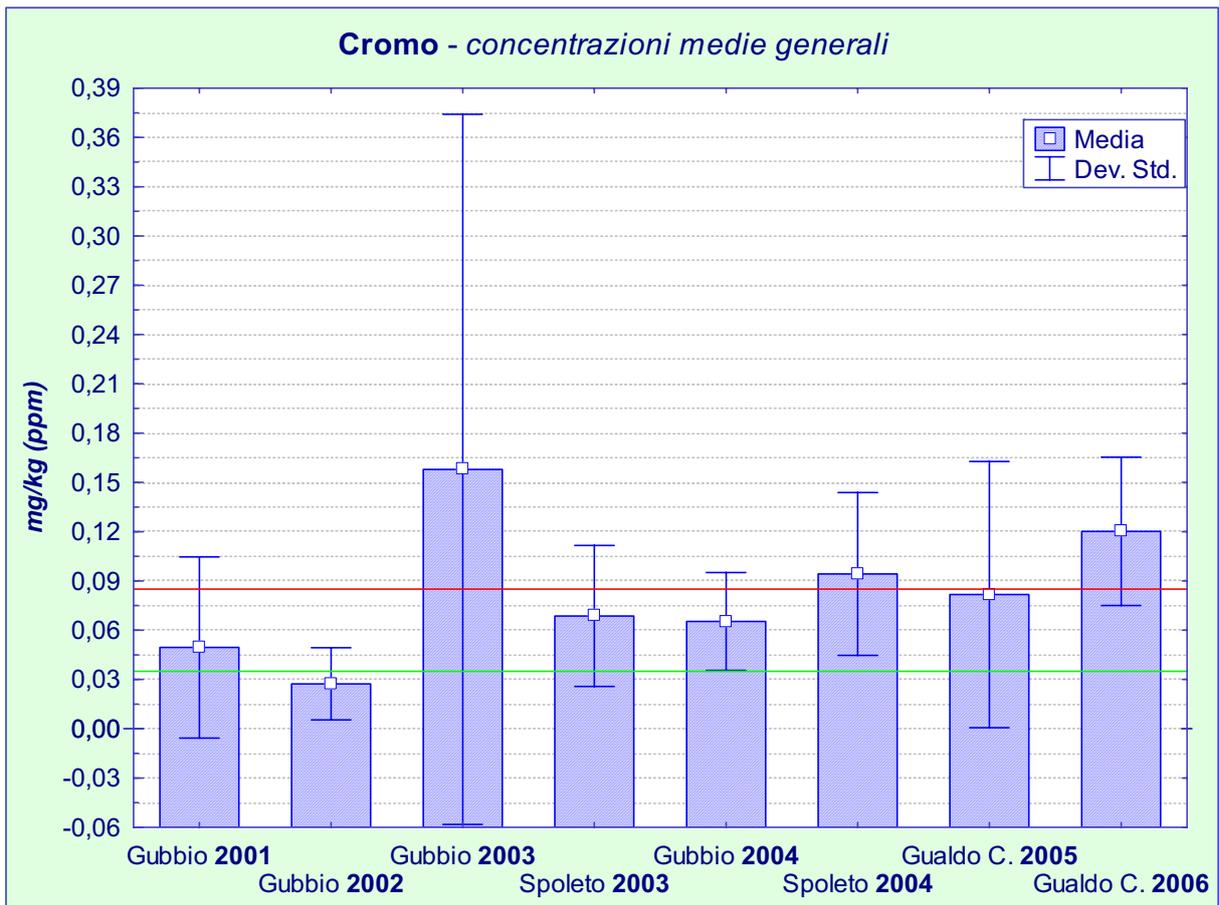


fig. 40

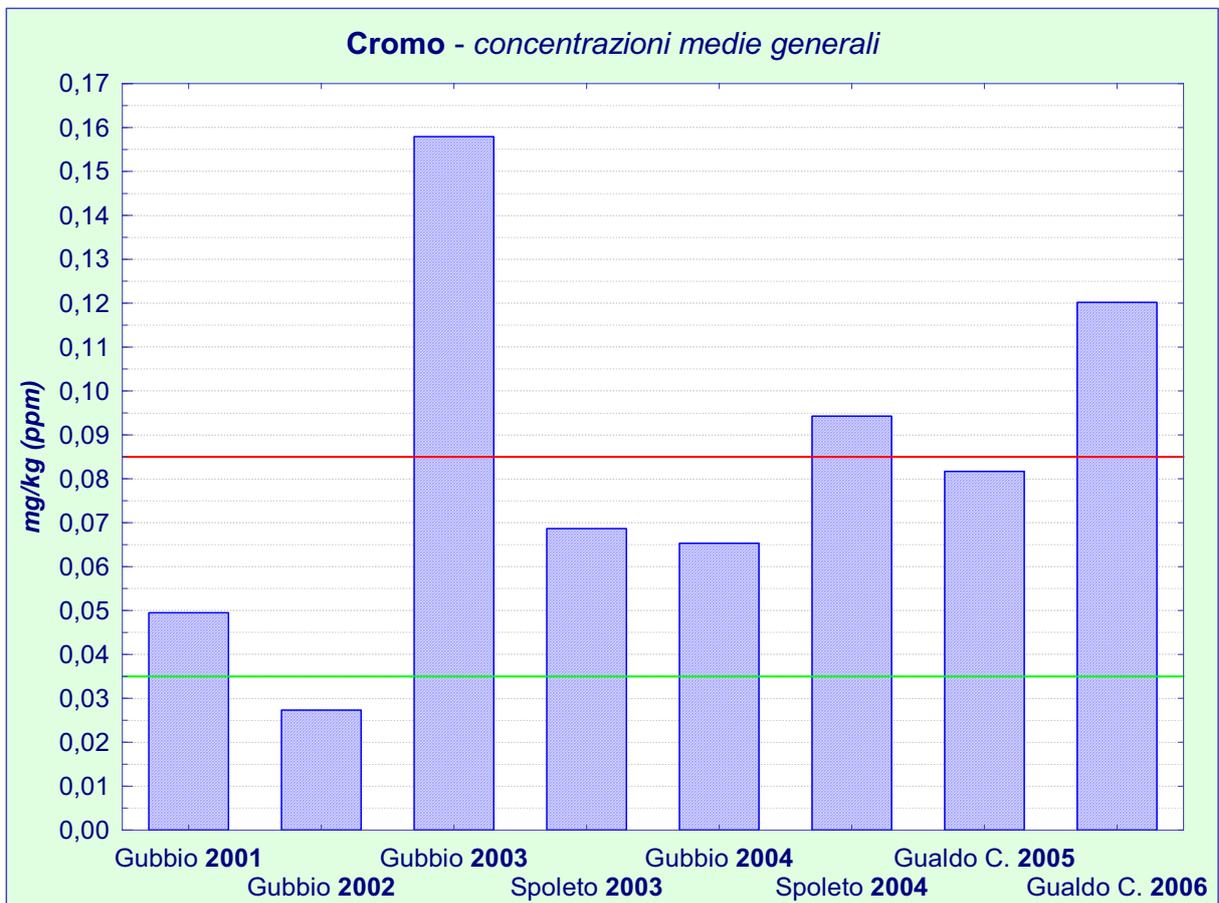


fig. 40_bis

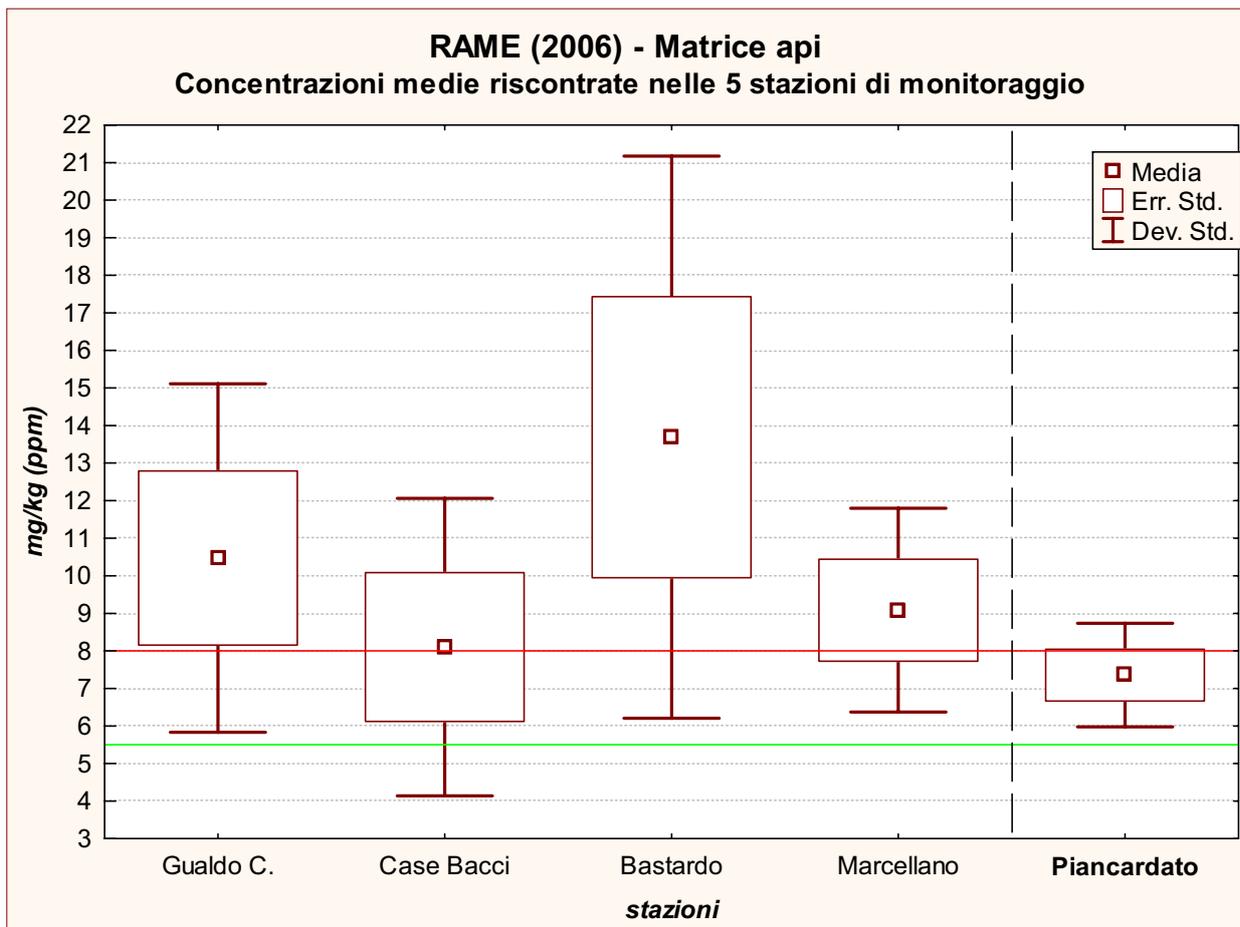


fig. 41

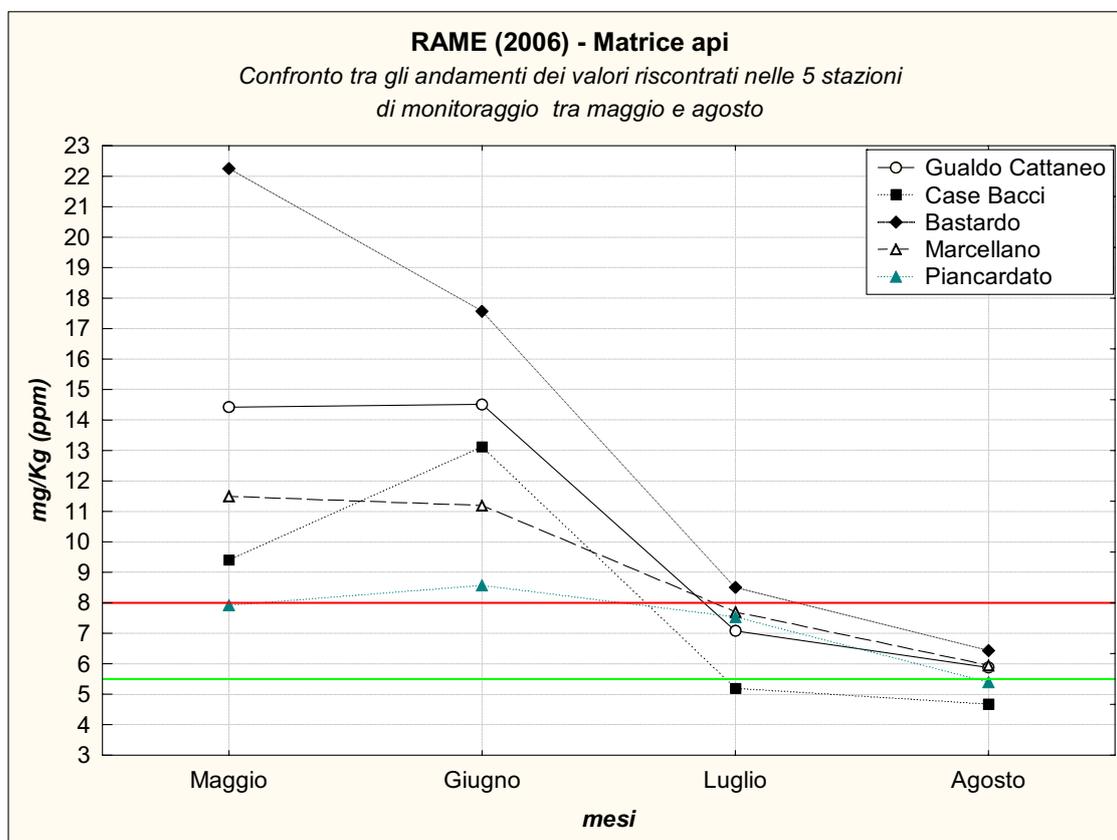


fig. 42

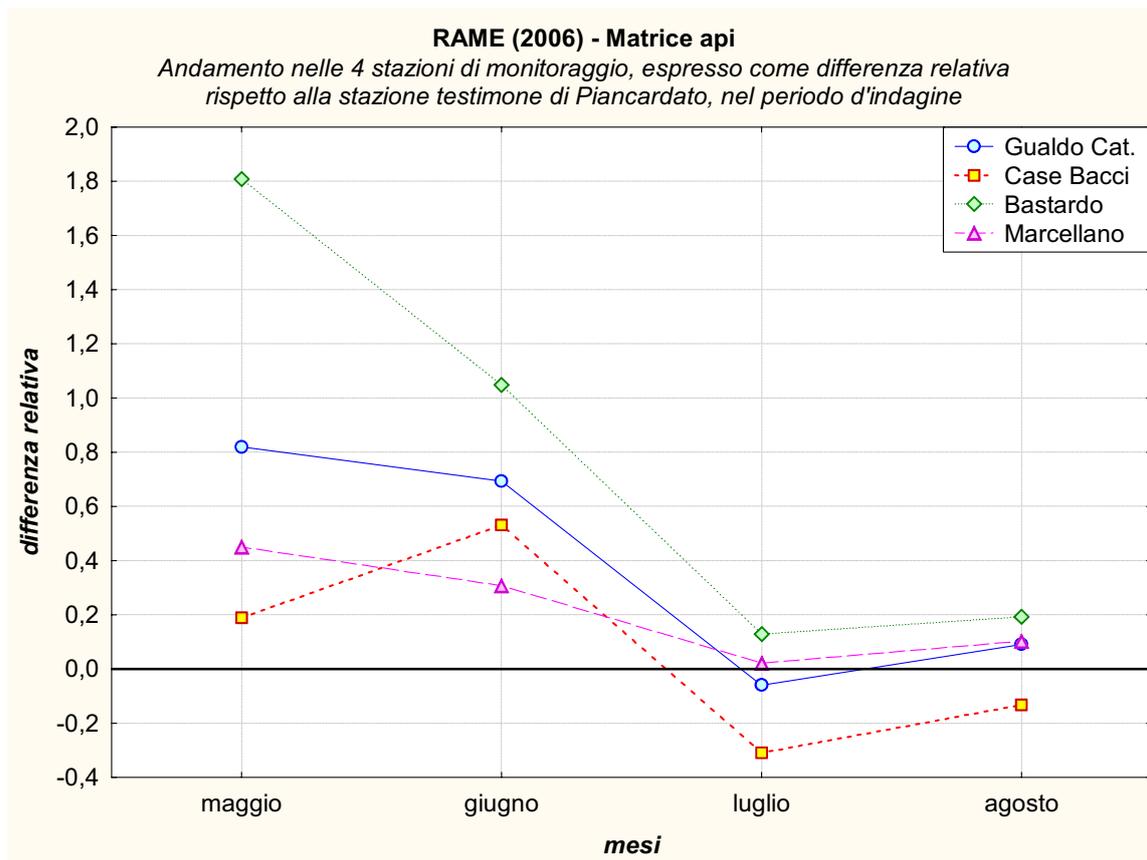


fig. 43

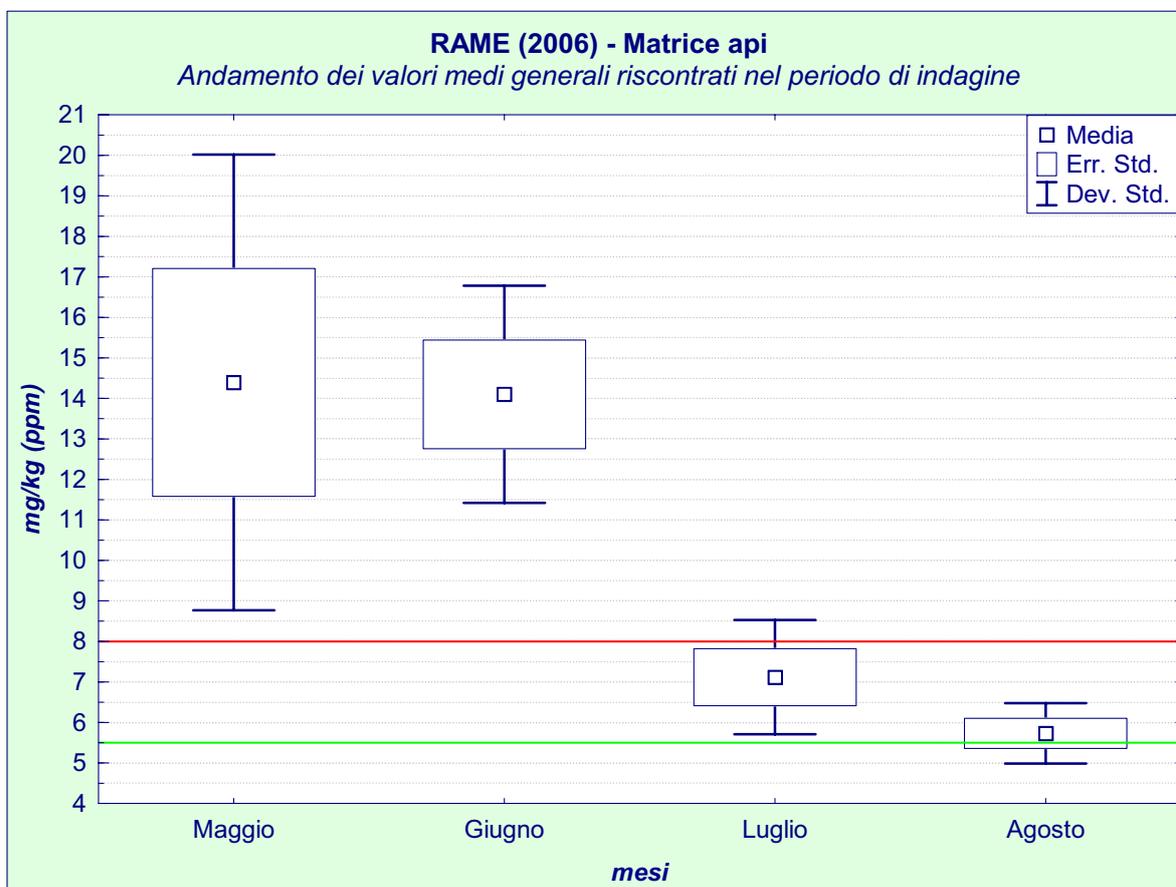


fig. 44

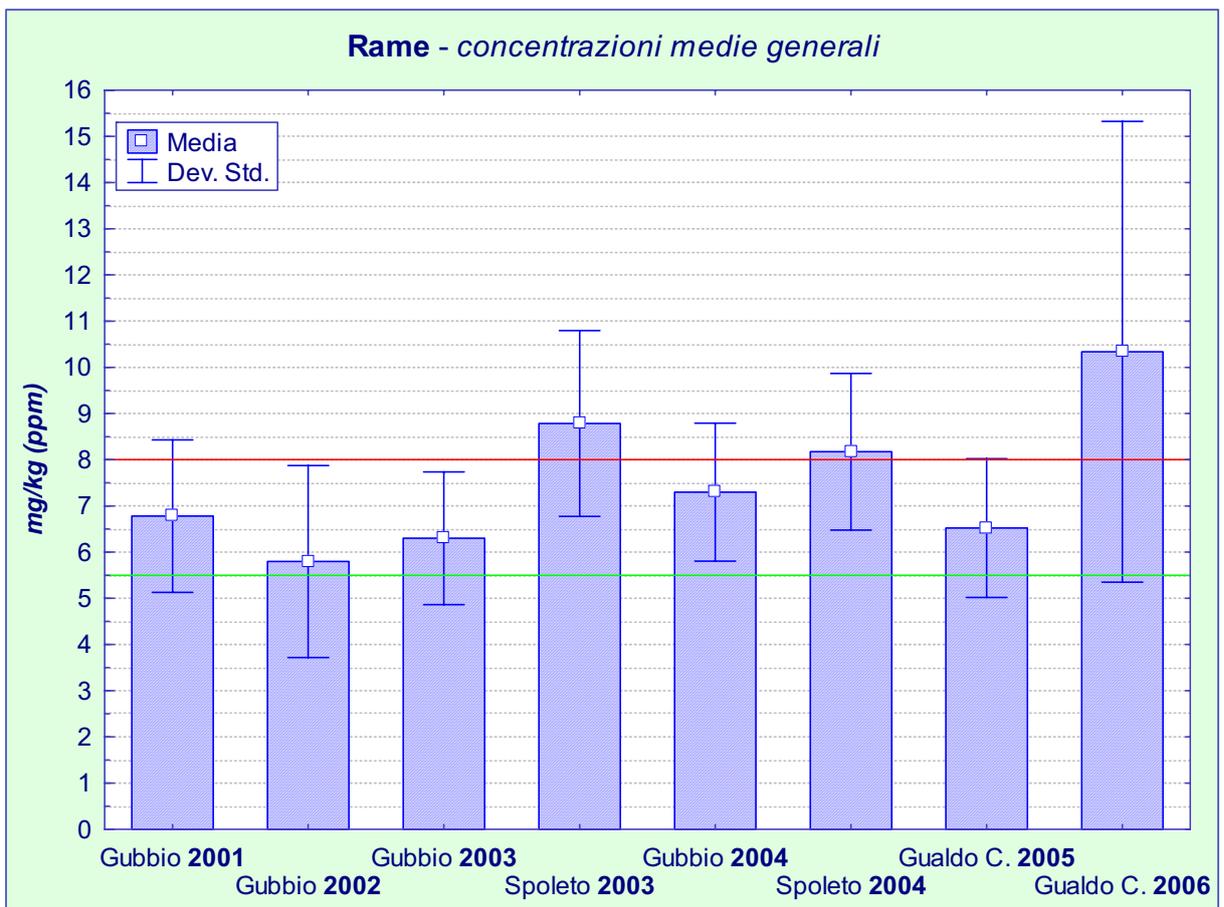


fig. 45

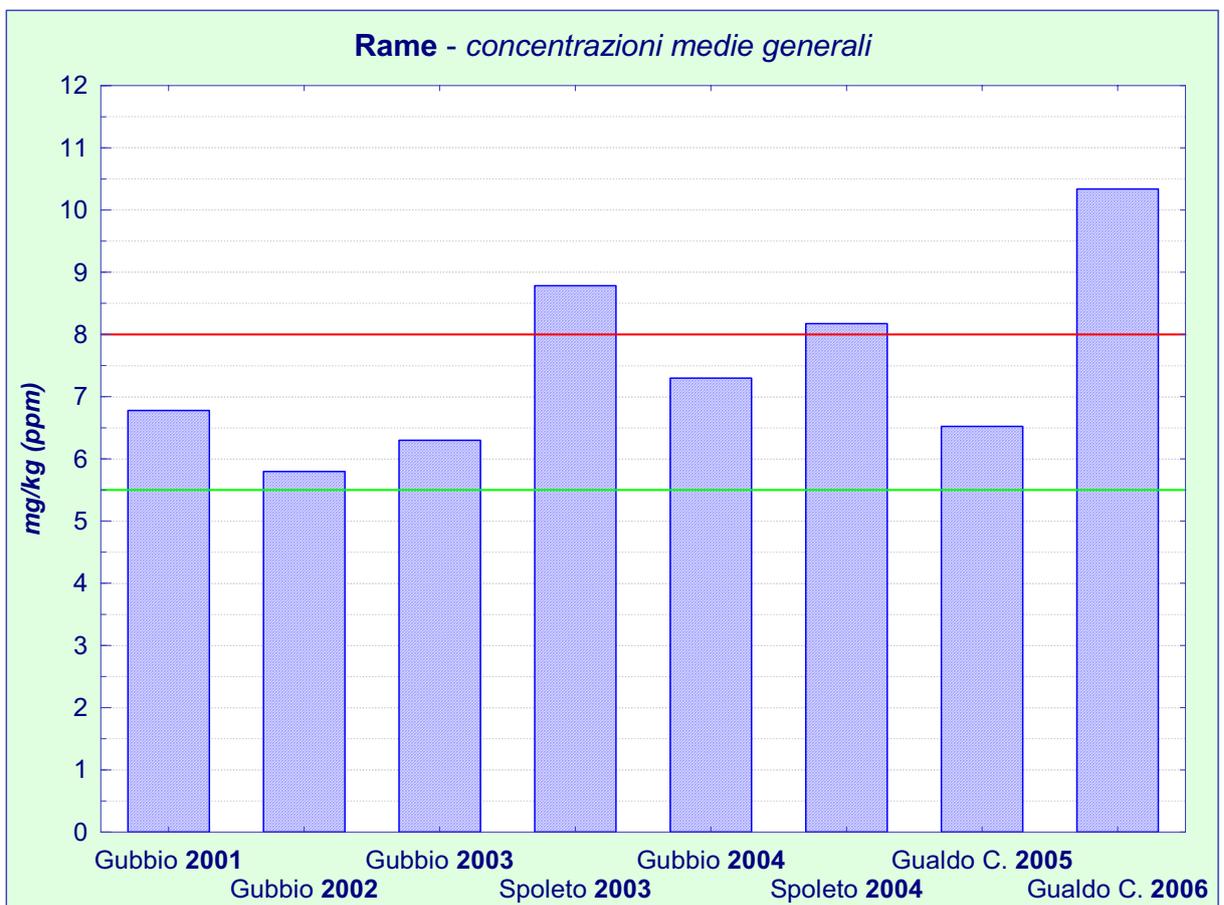


fig. 45_bis

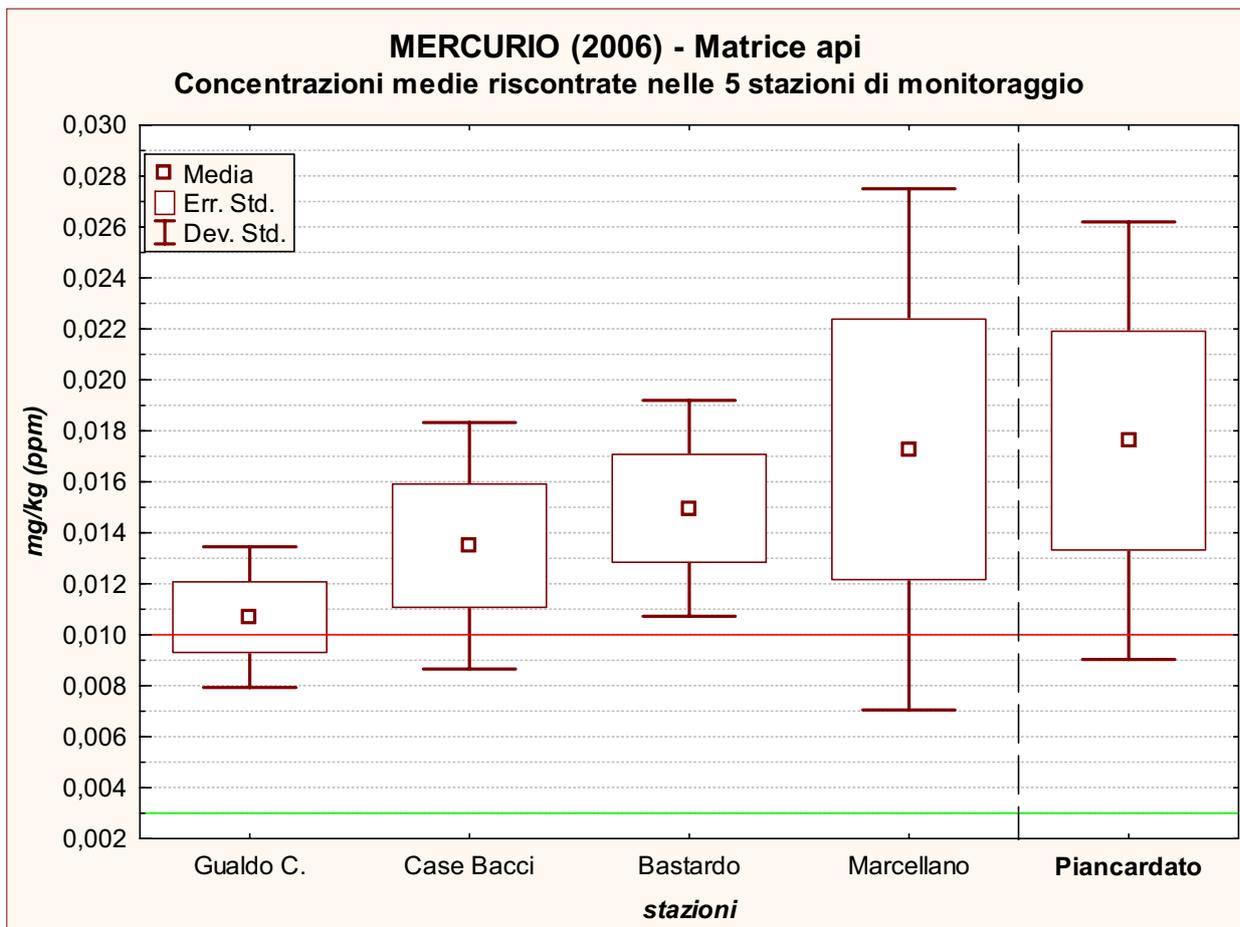


fig. 46

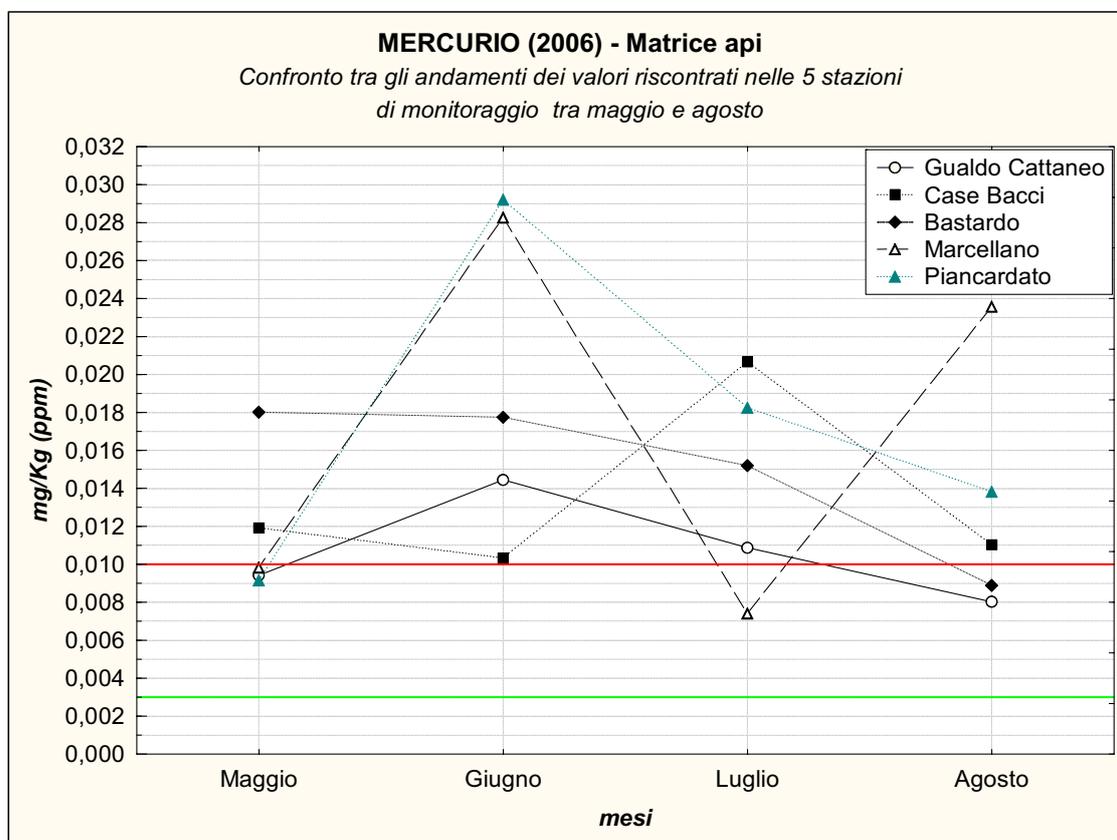


fig. 47

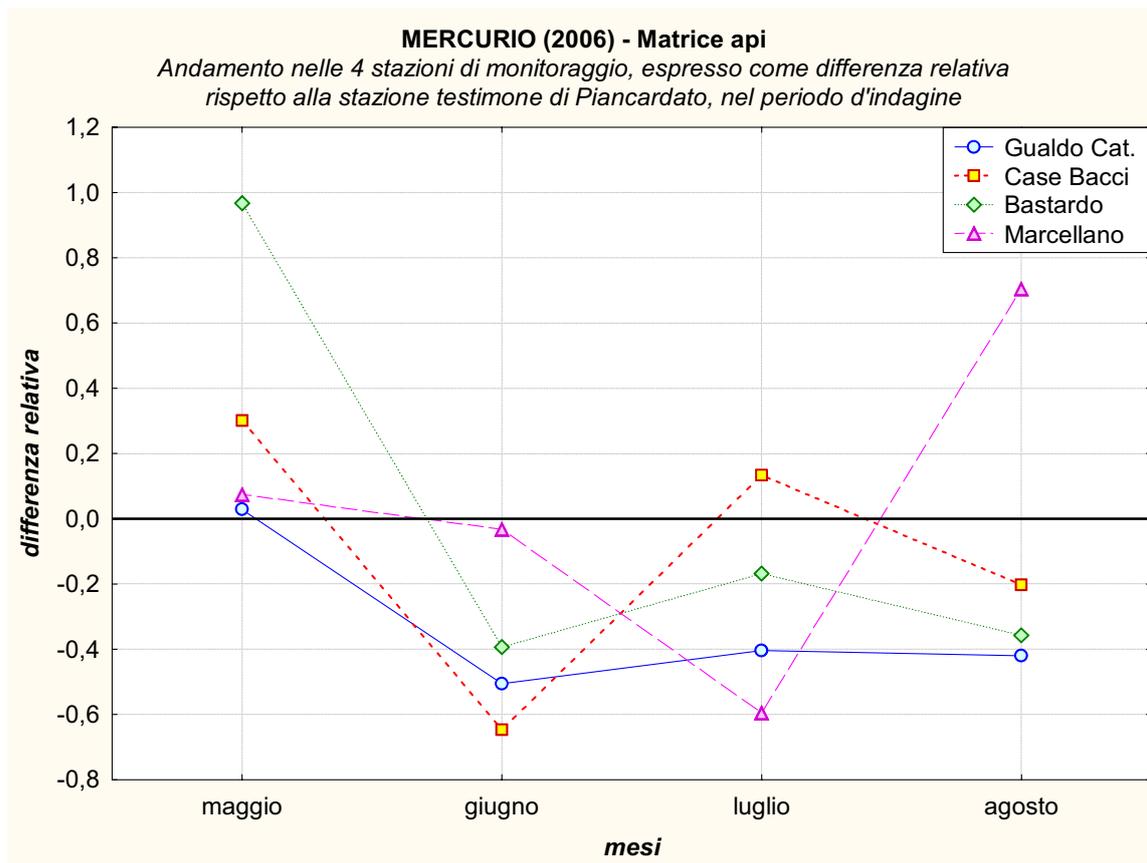


fig. 48

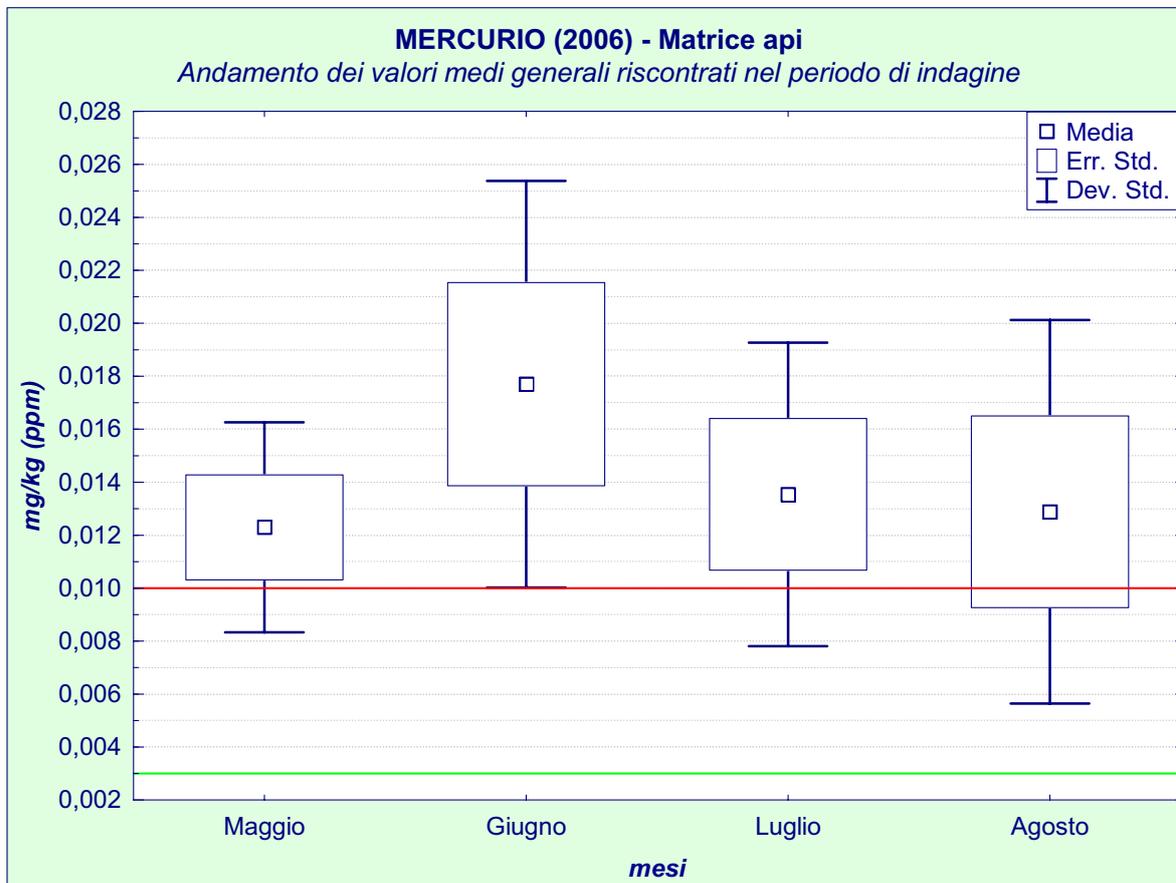


fig. 49

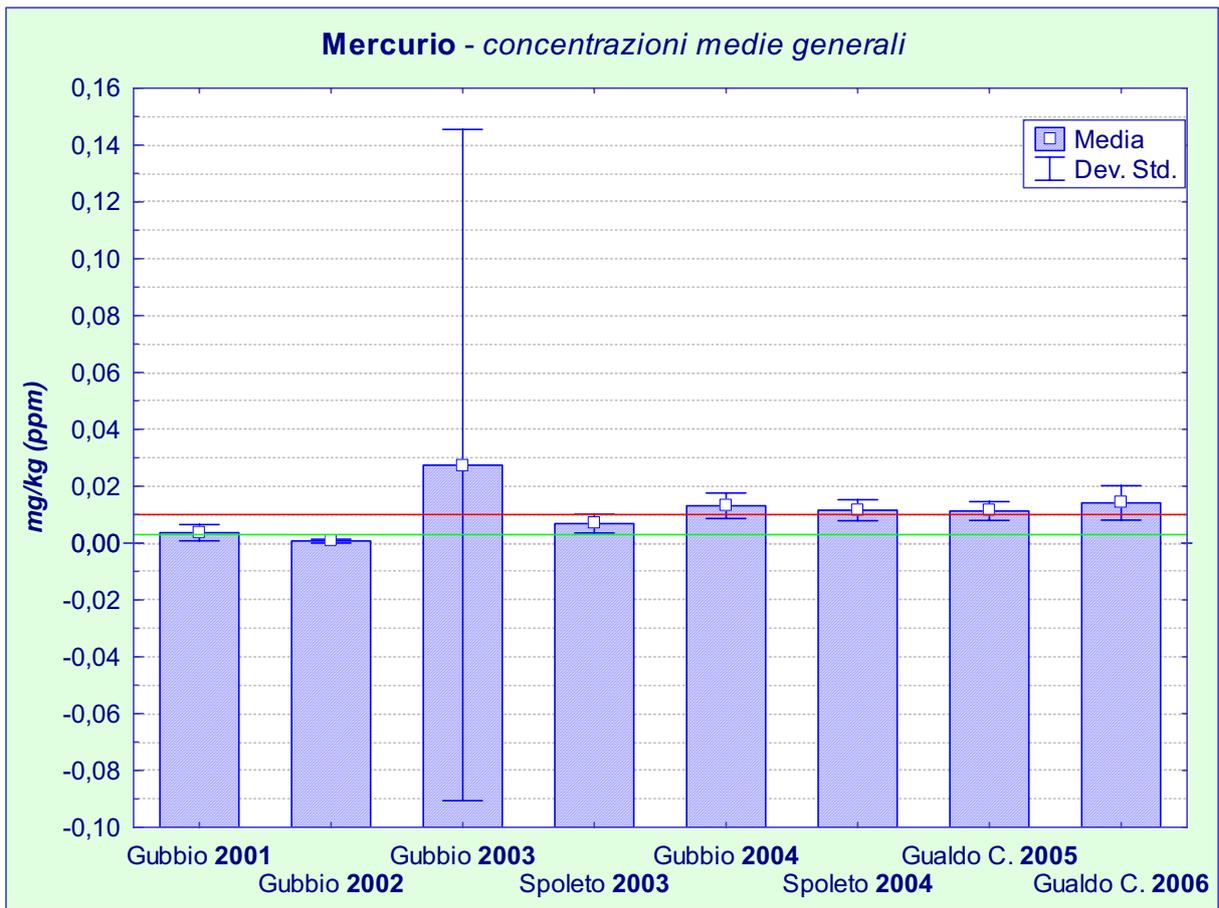


fig. 50

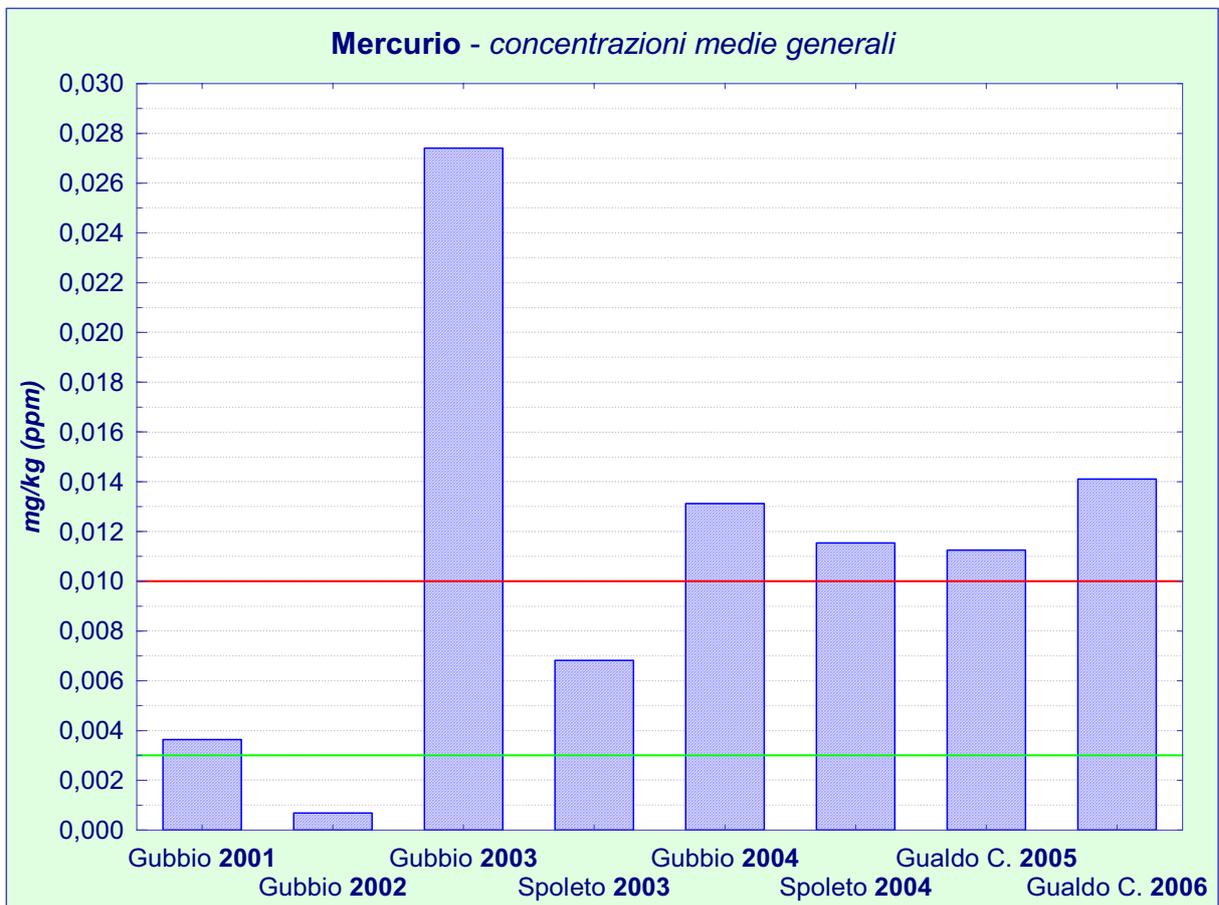


fig. 50_bis

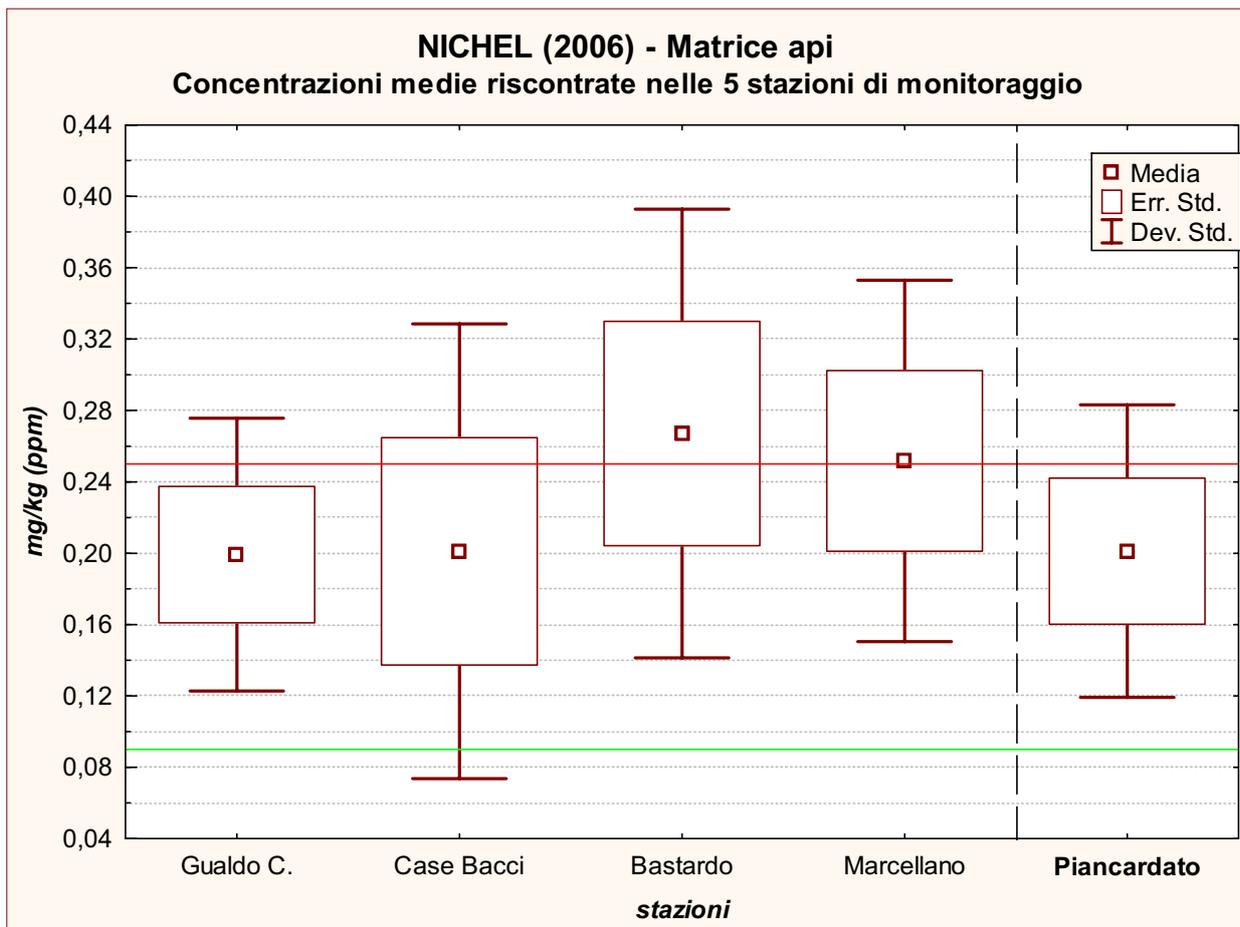


fig. 51

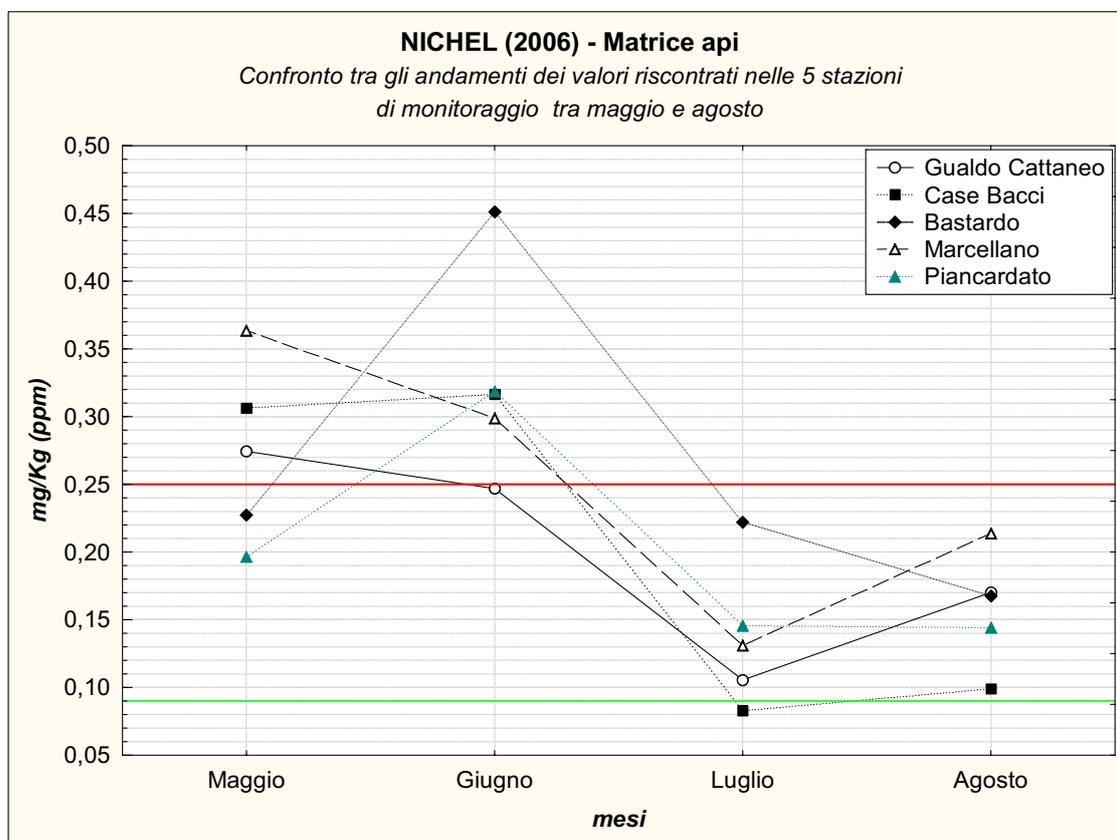


fig. 52

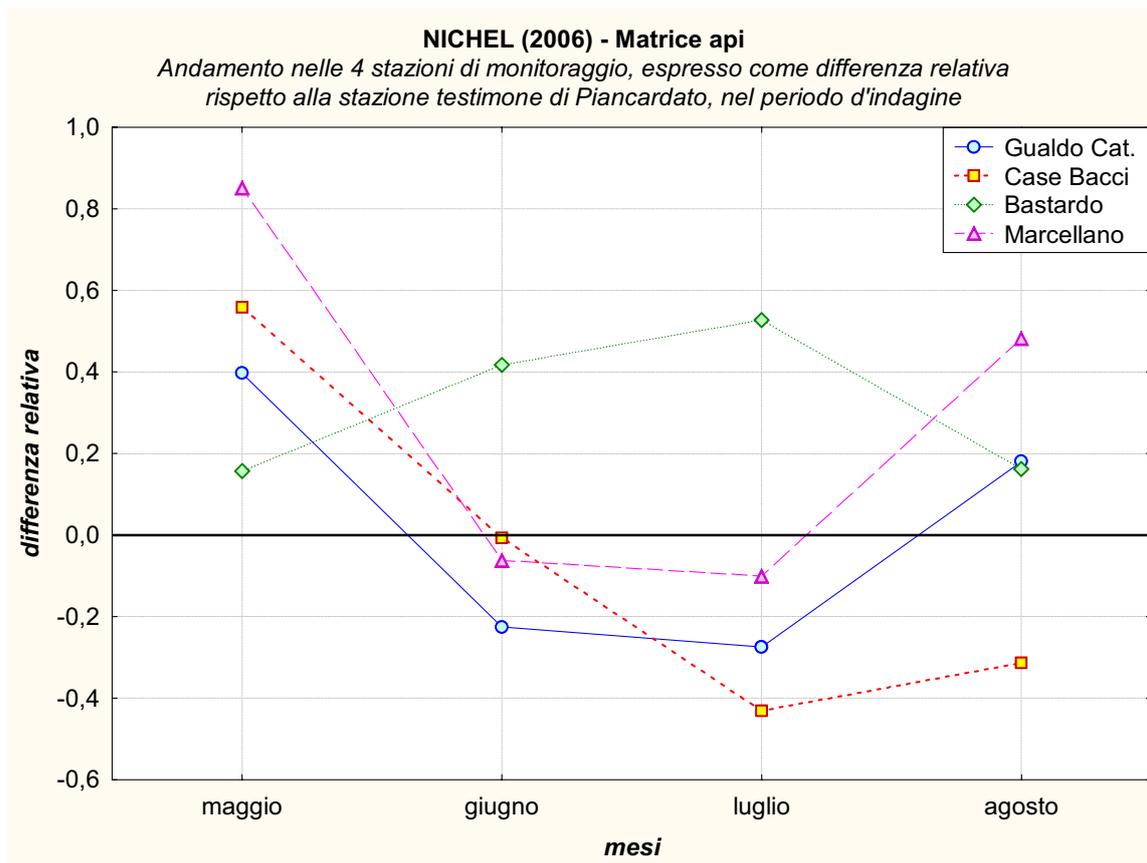


fig. 53

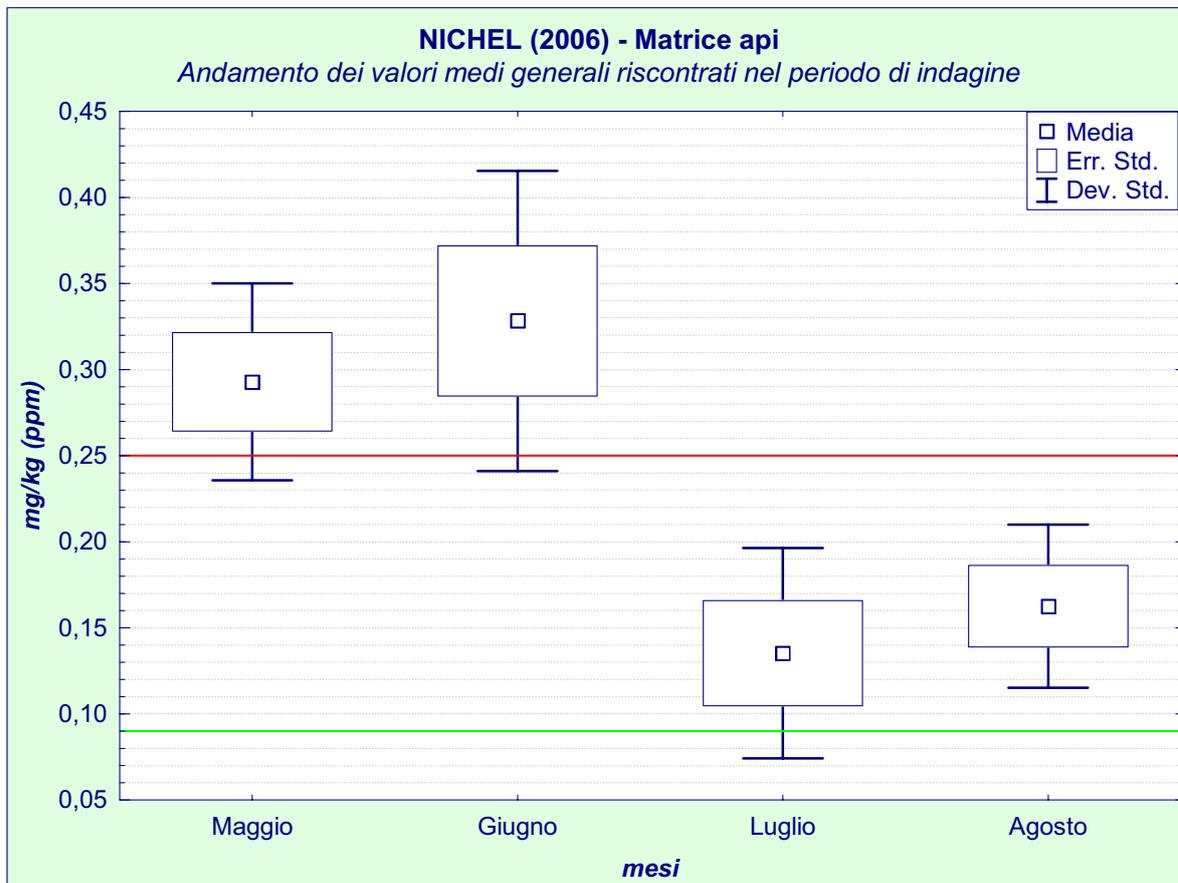


fig. 54

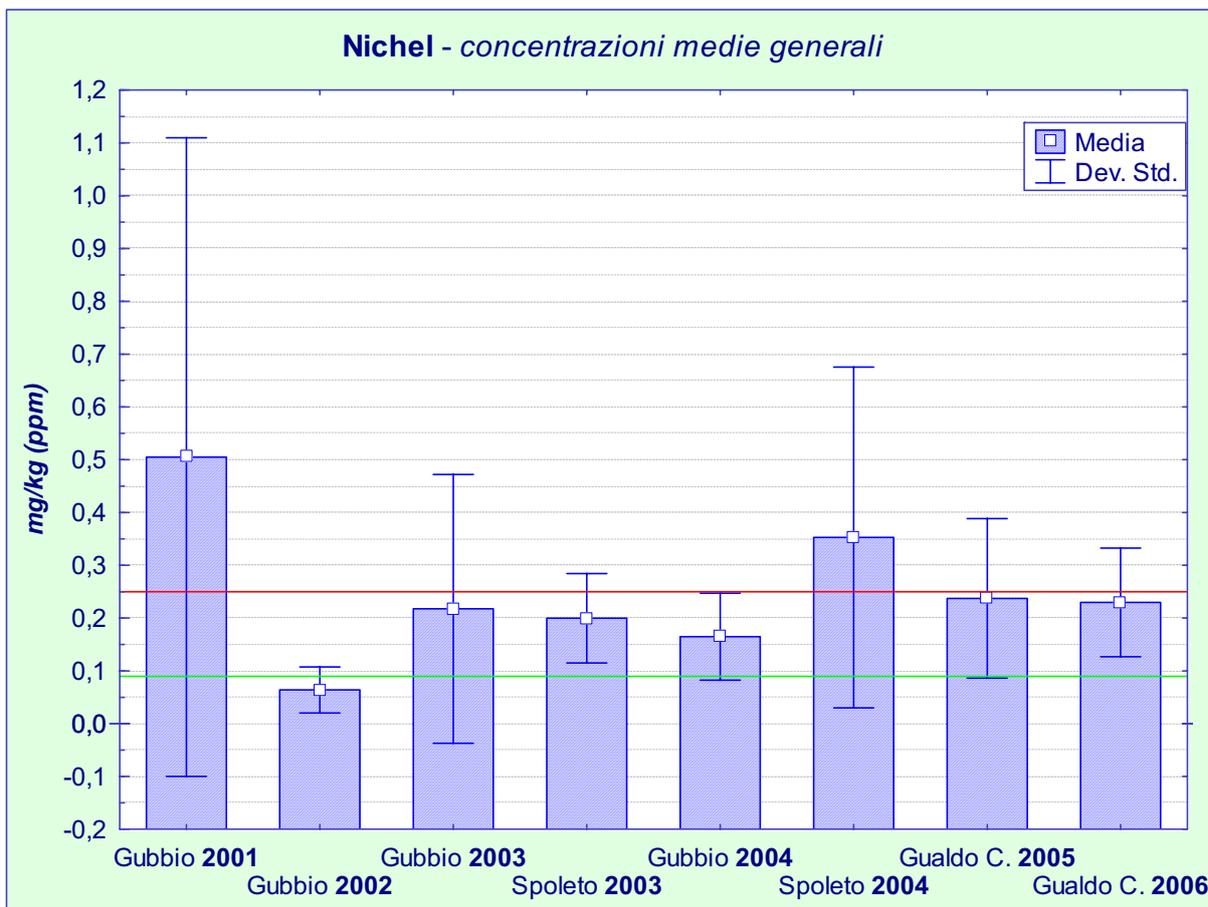


fig. 55

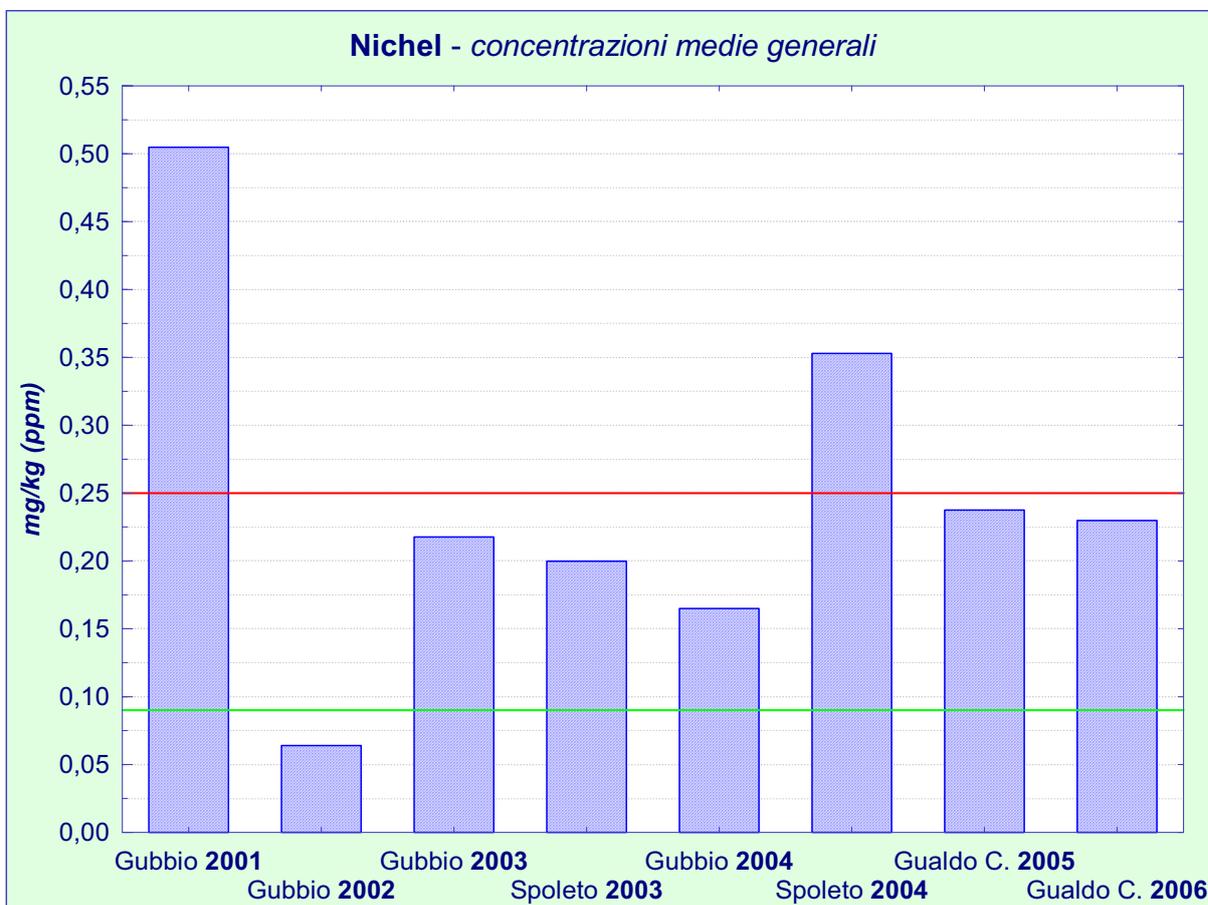


fig. 55_bis

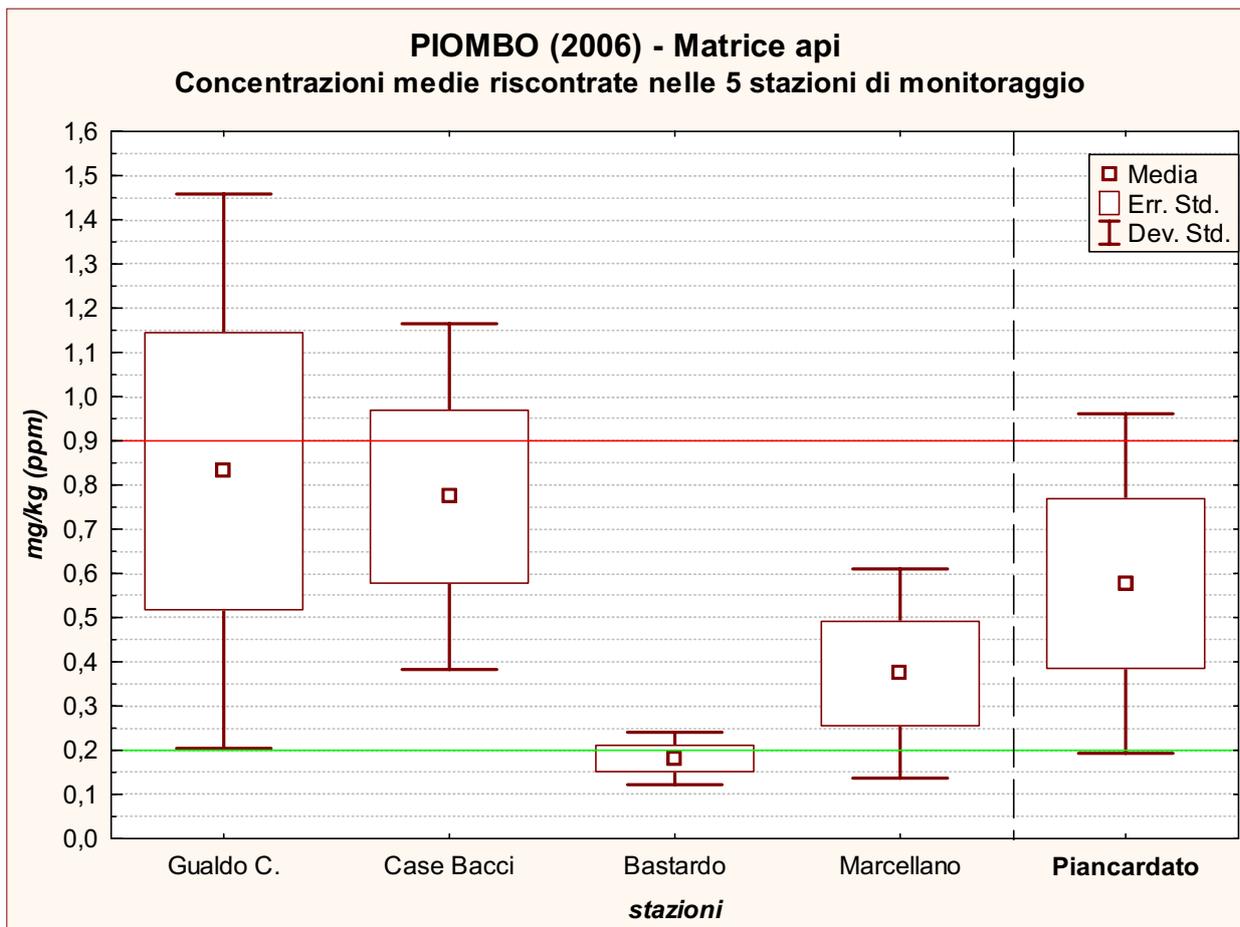


fig. 56

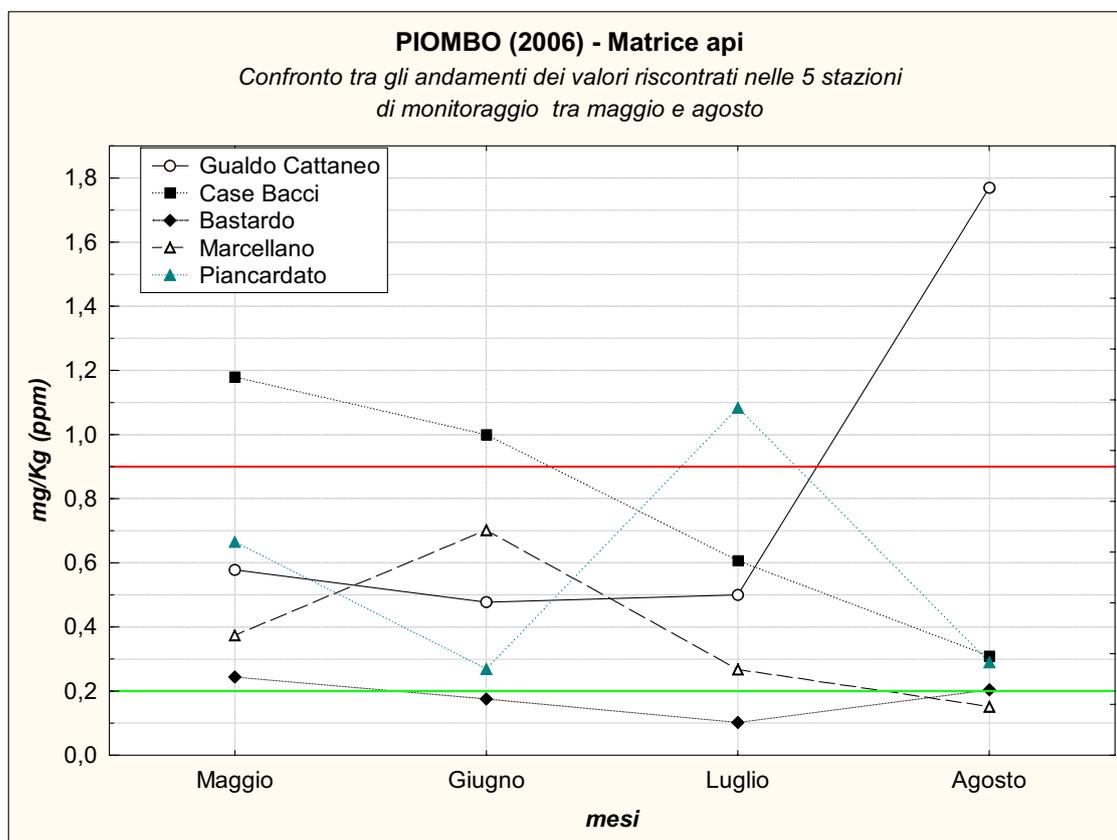


fig. 57

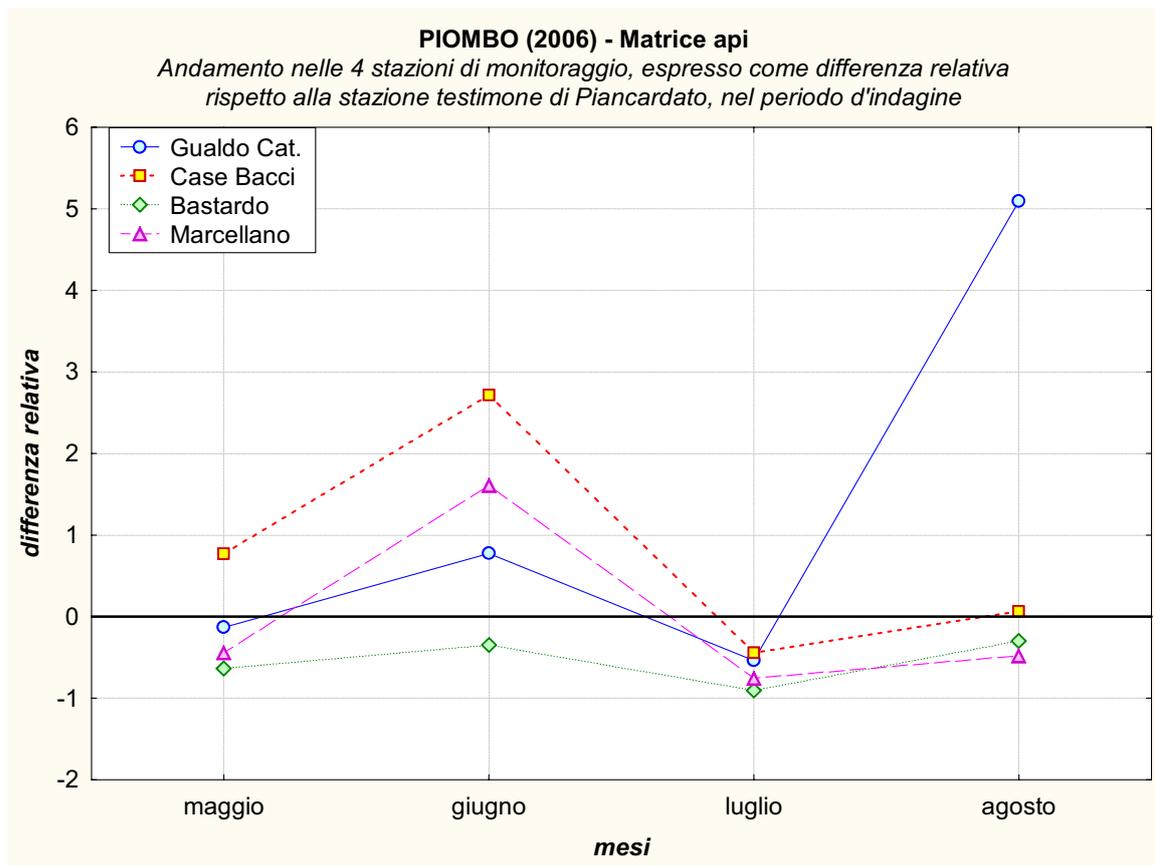


fig. 58

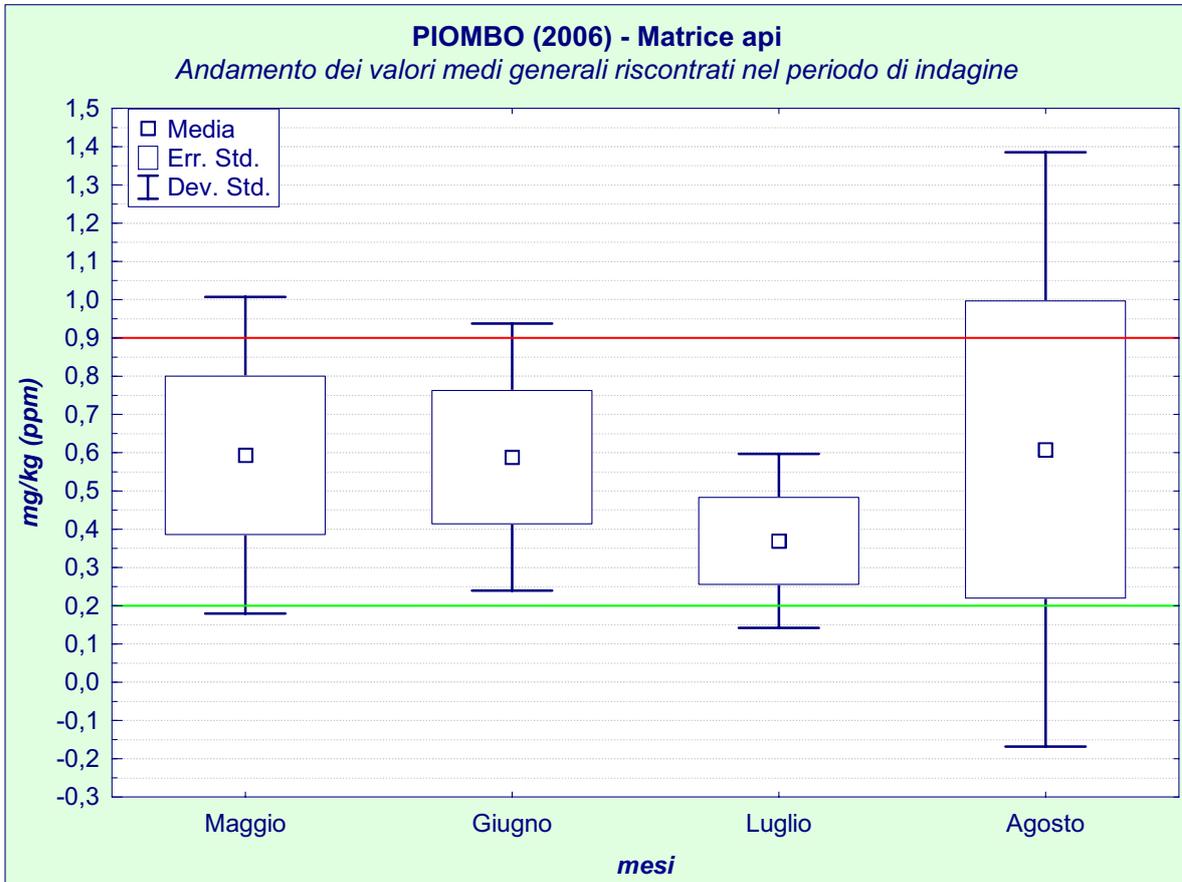


fig. 59

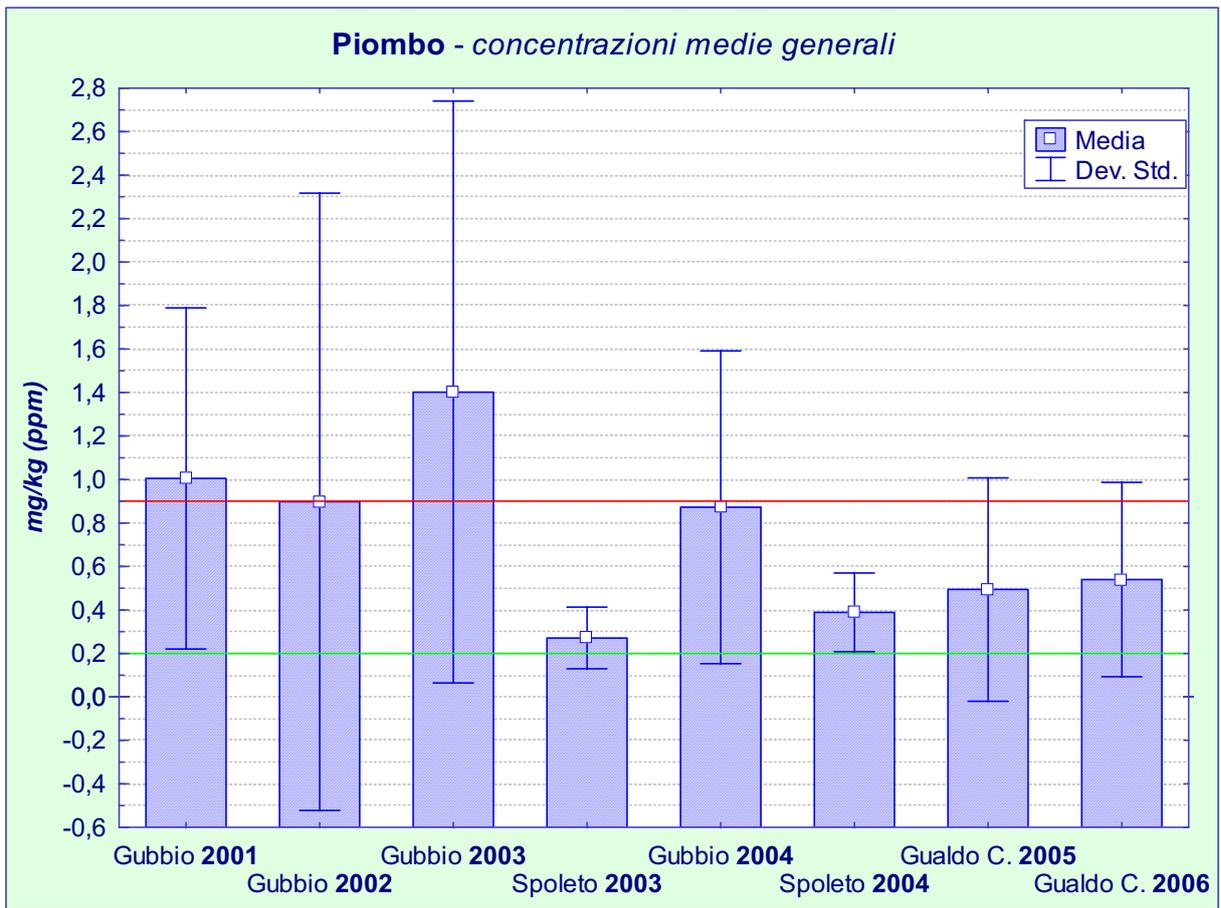


fig. 60

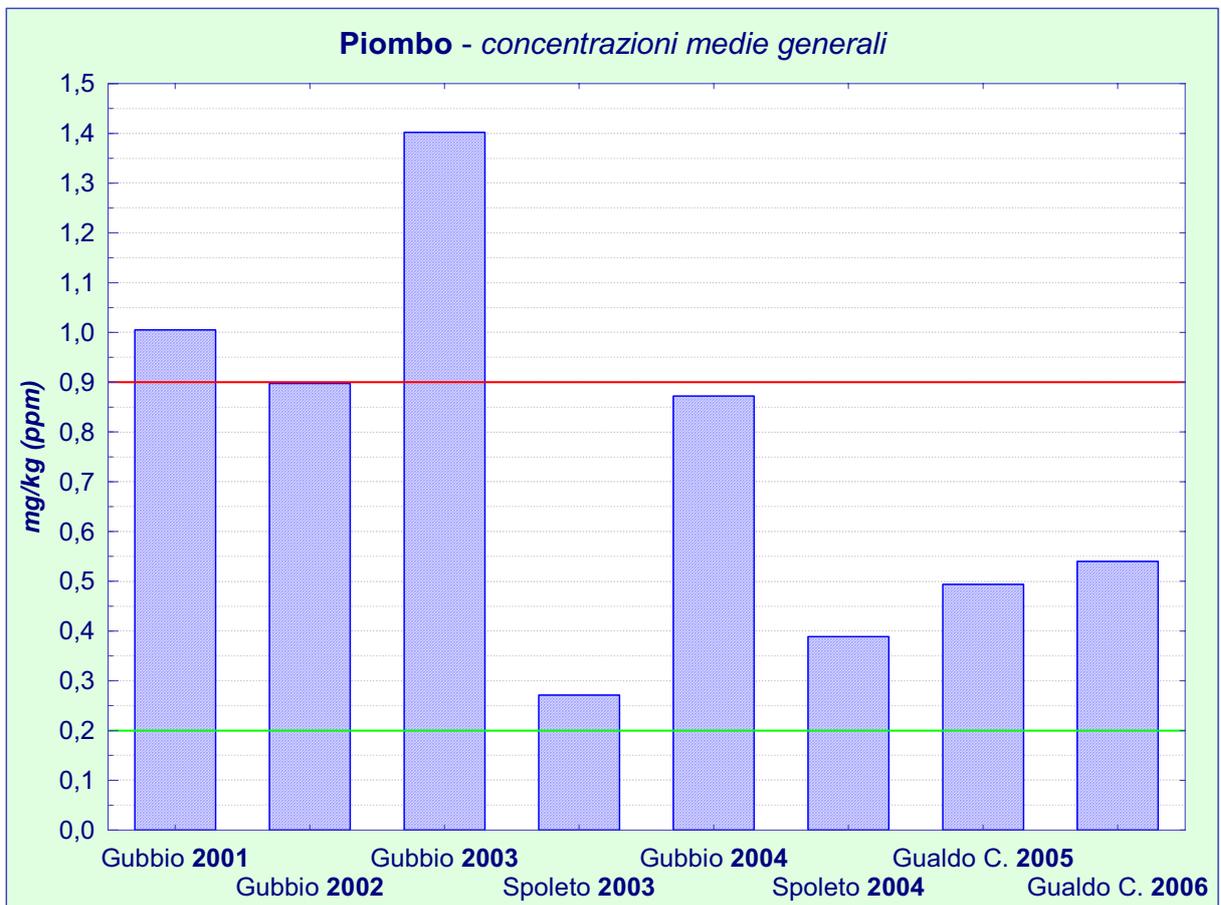


fig. 60_bis

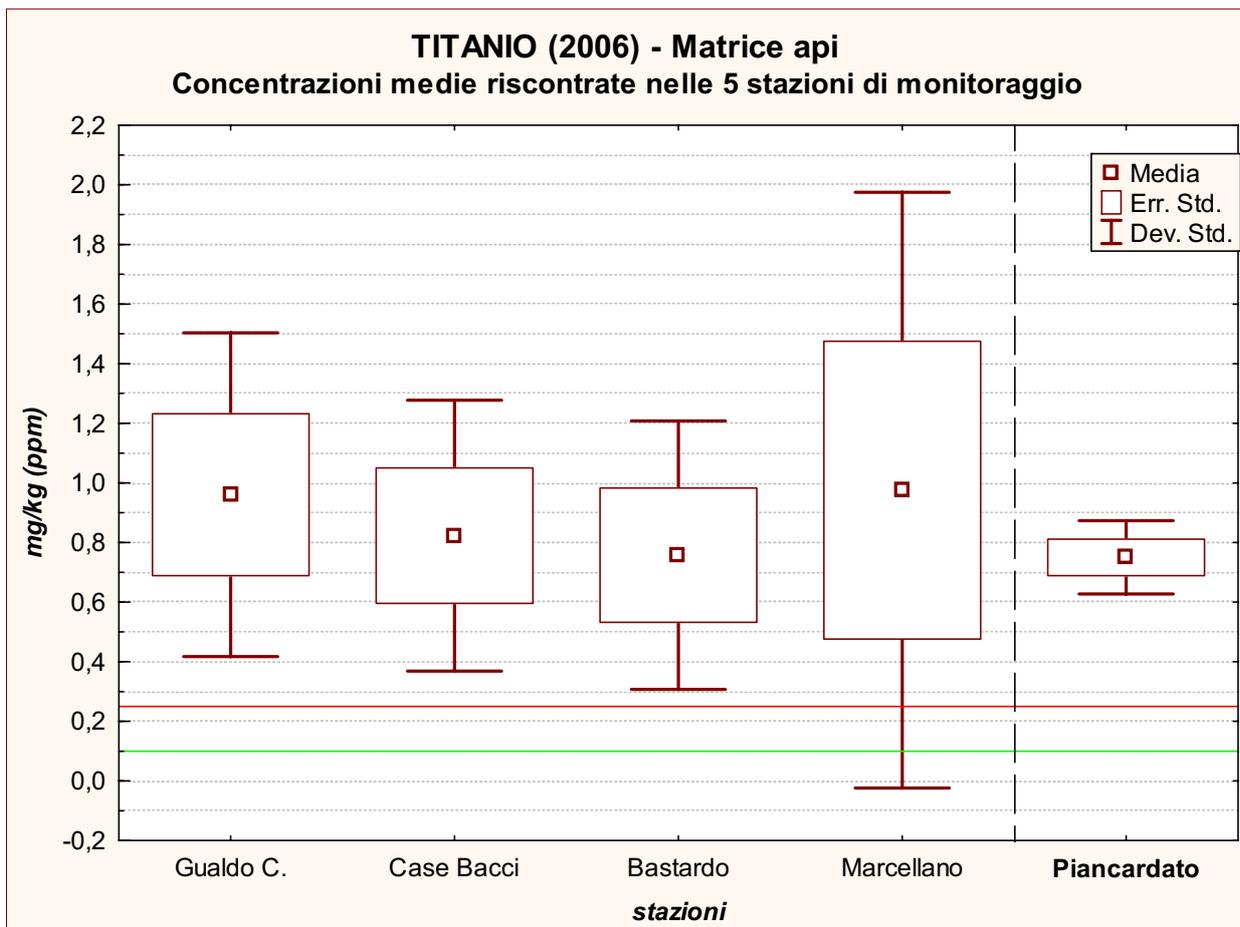


fig. 61

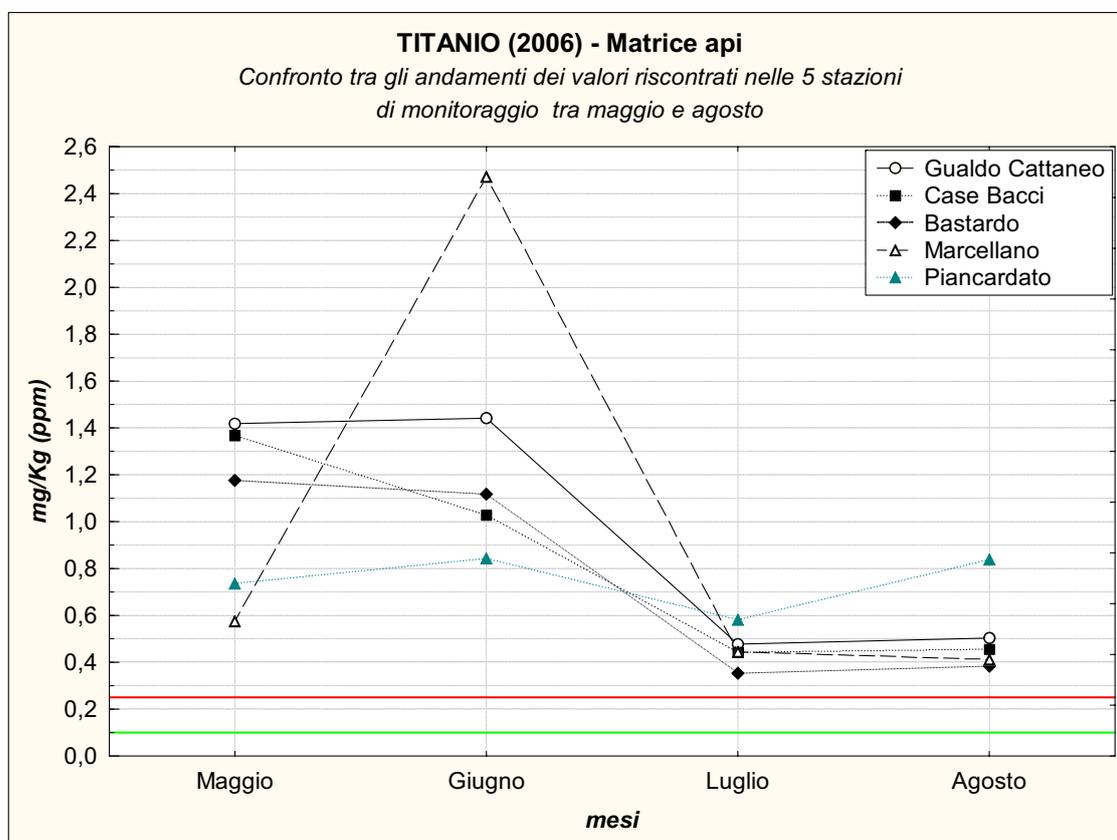


fig. 62

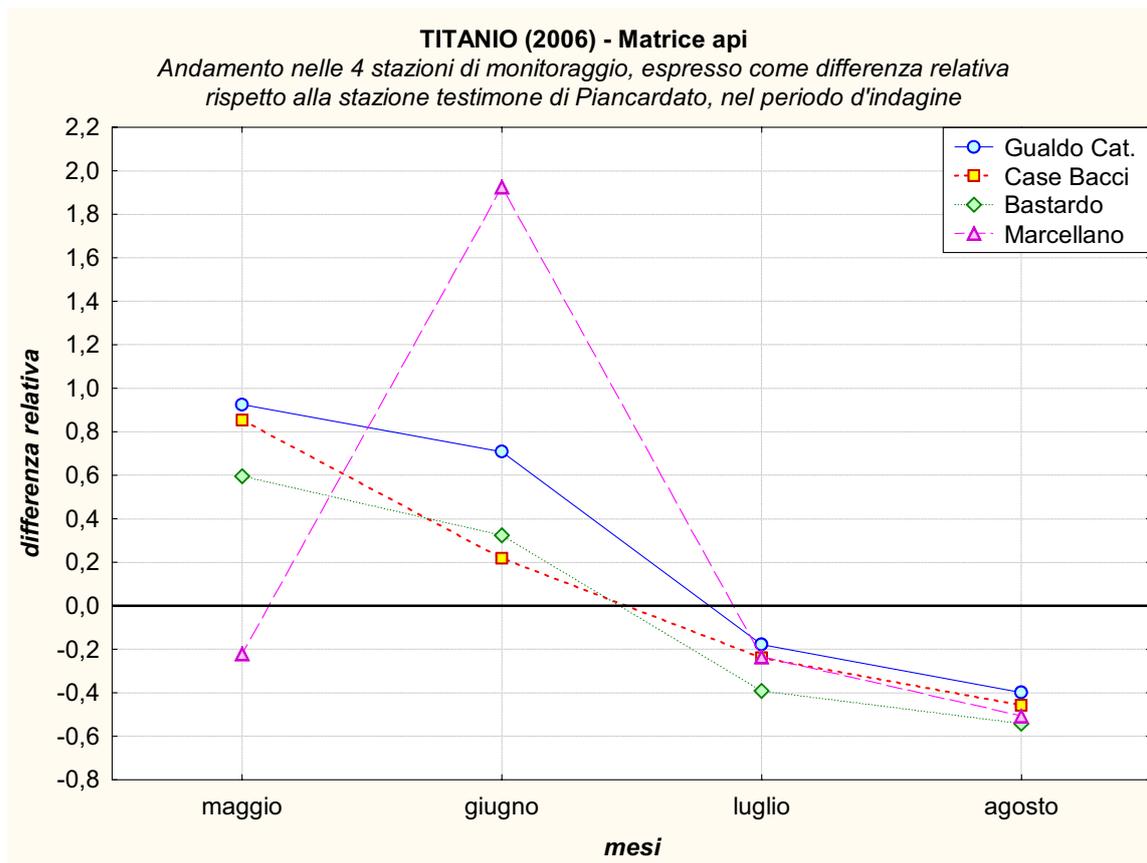


fig. 63

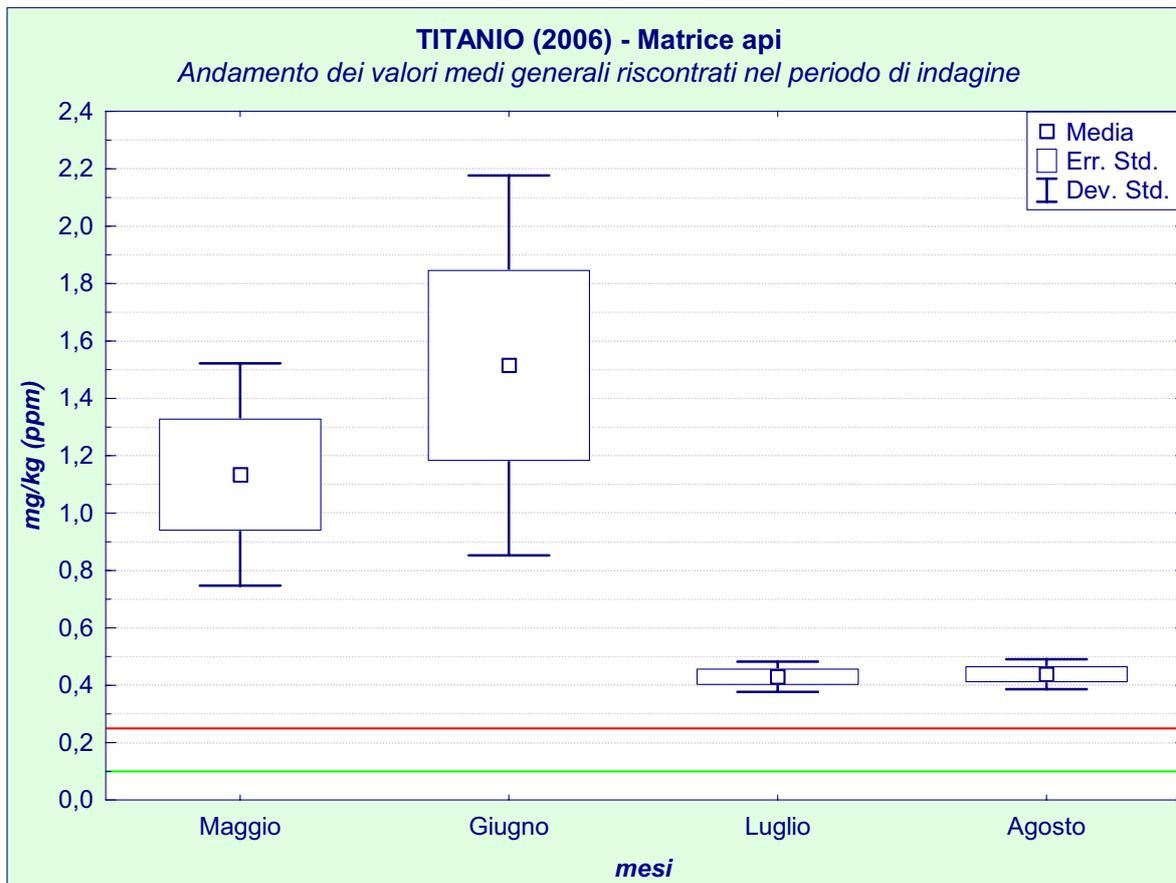


fig. 64

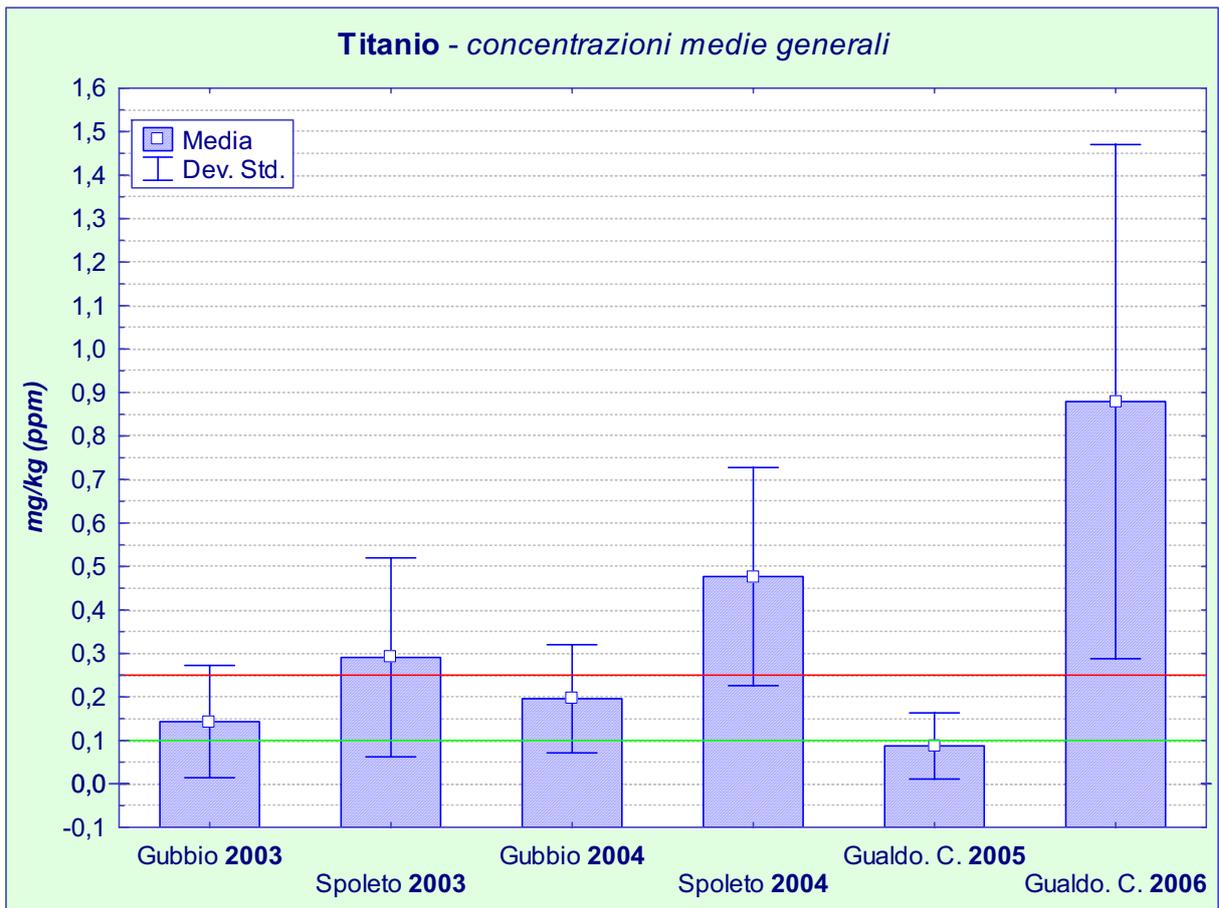


fig. 65

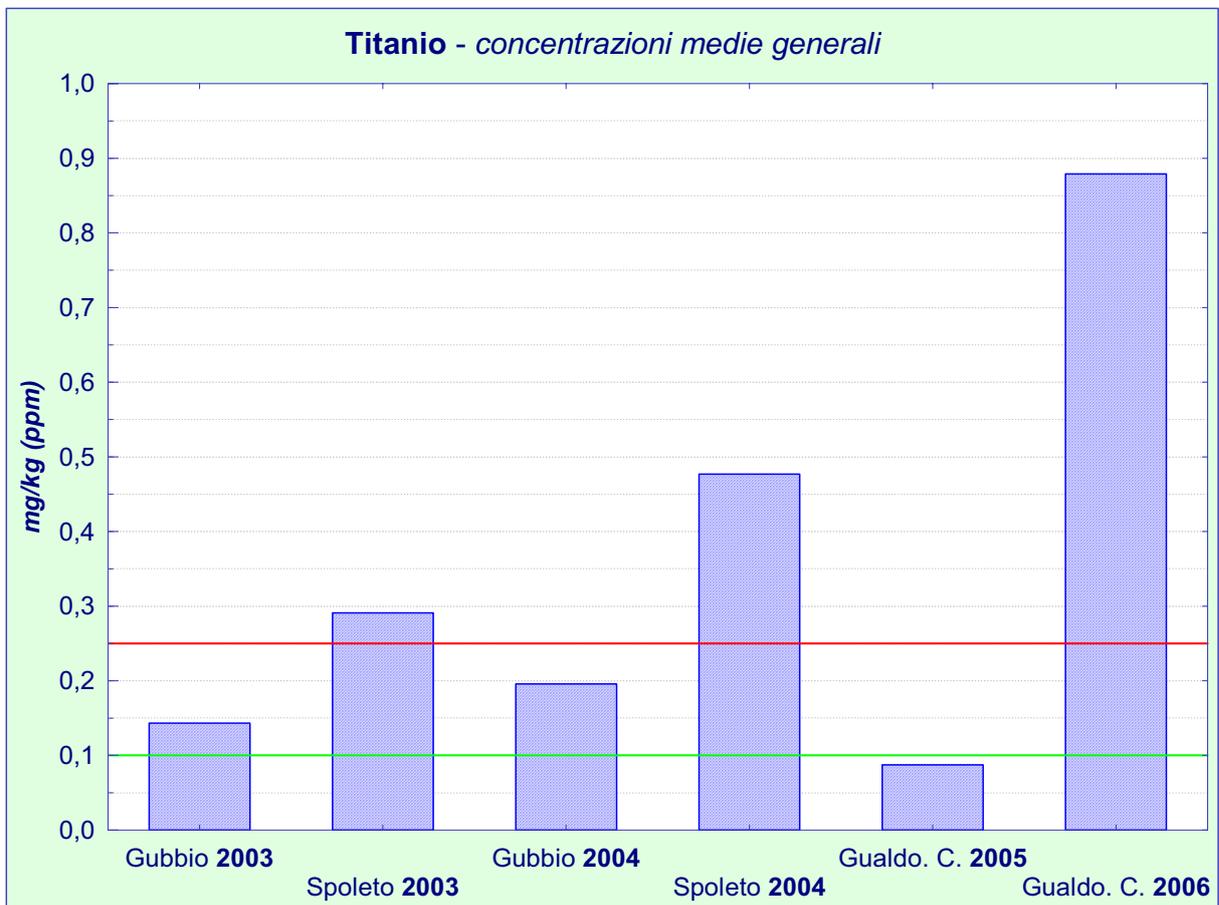


fig. 65_bis

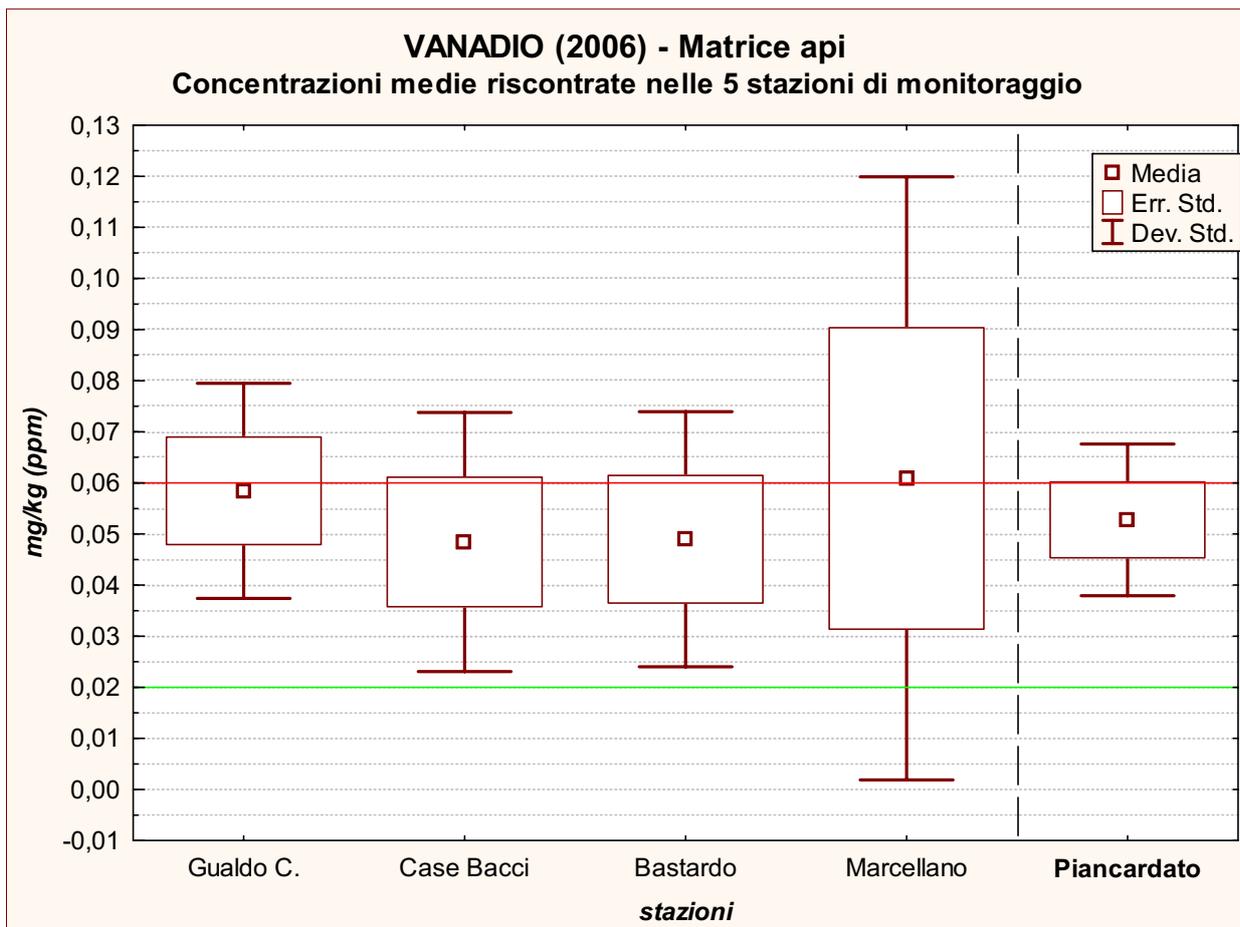


fig. 66

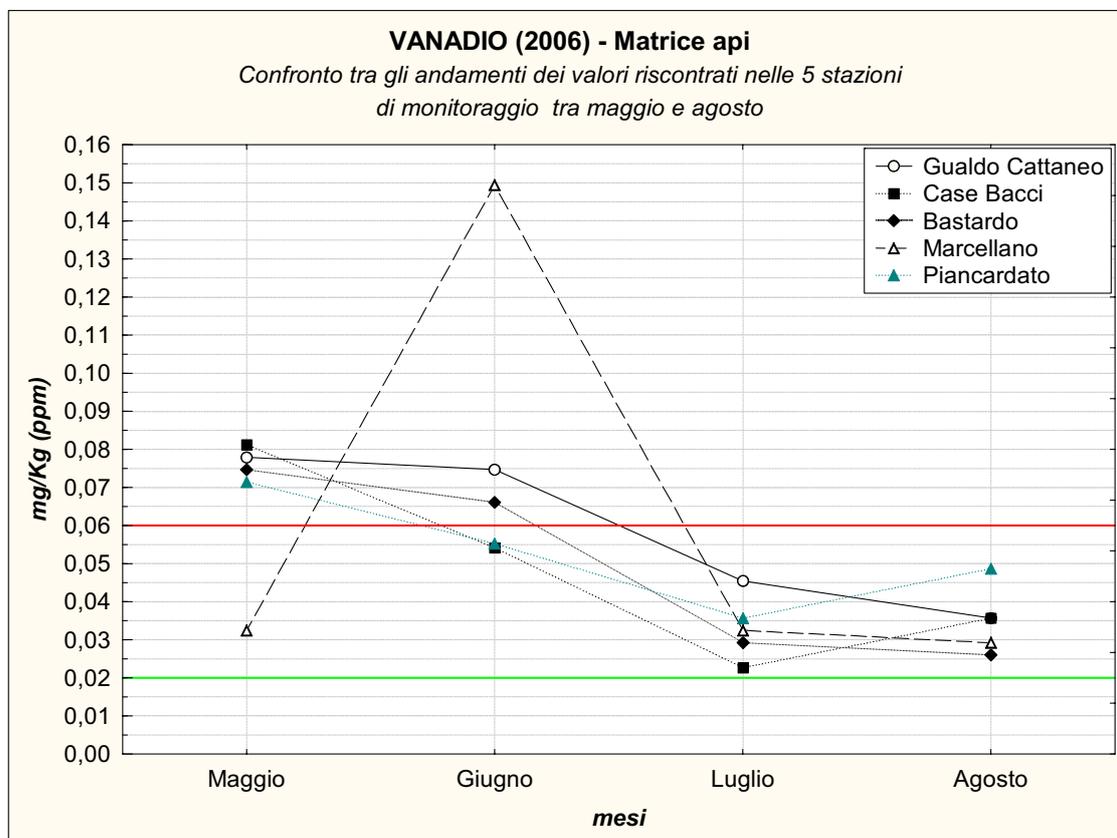


fig. 67

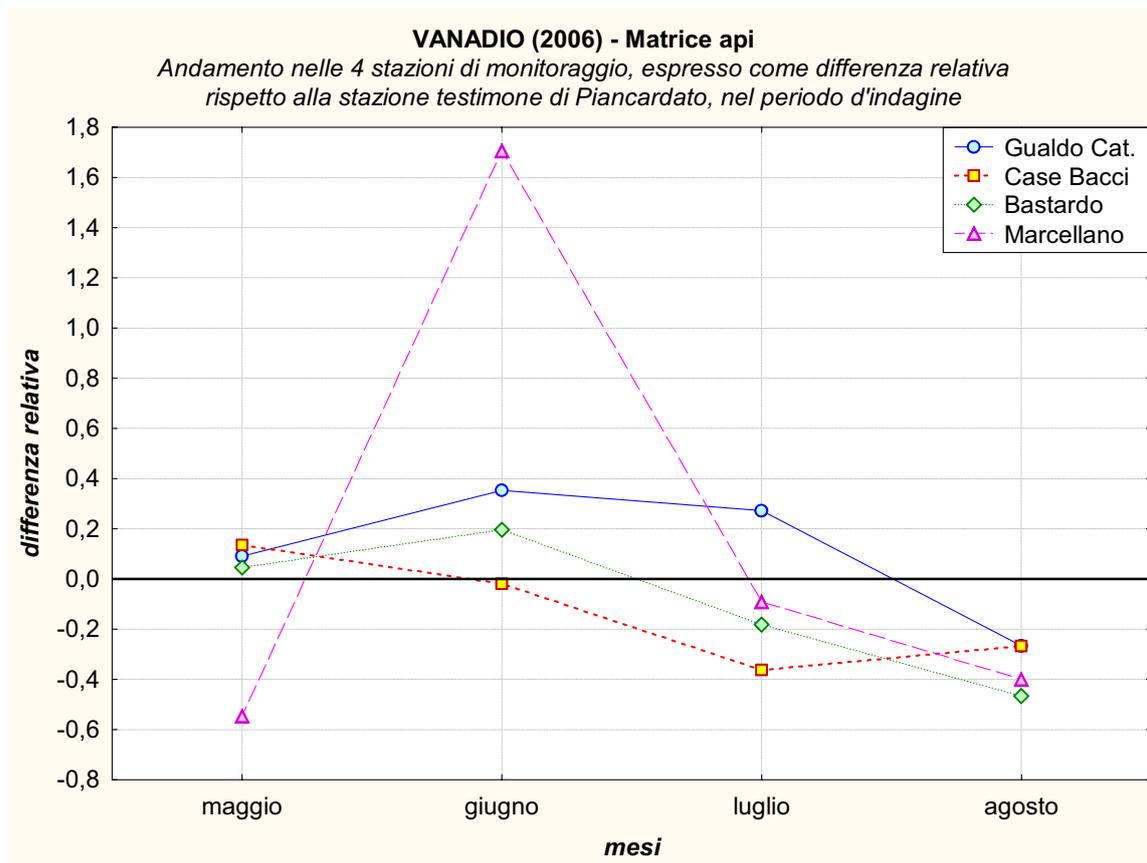


fig. 68

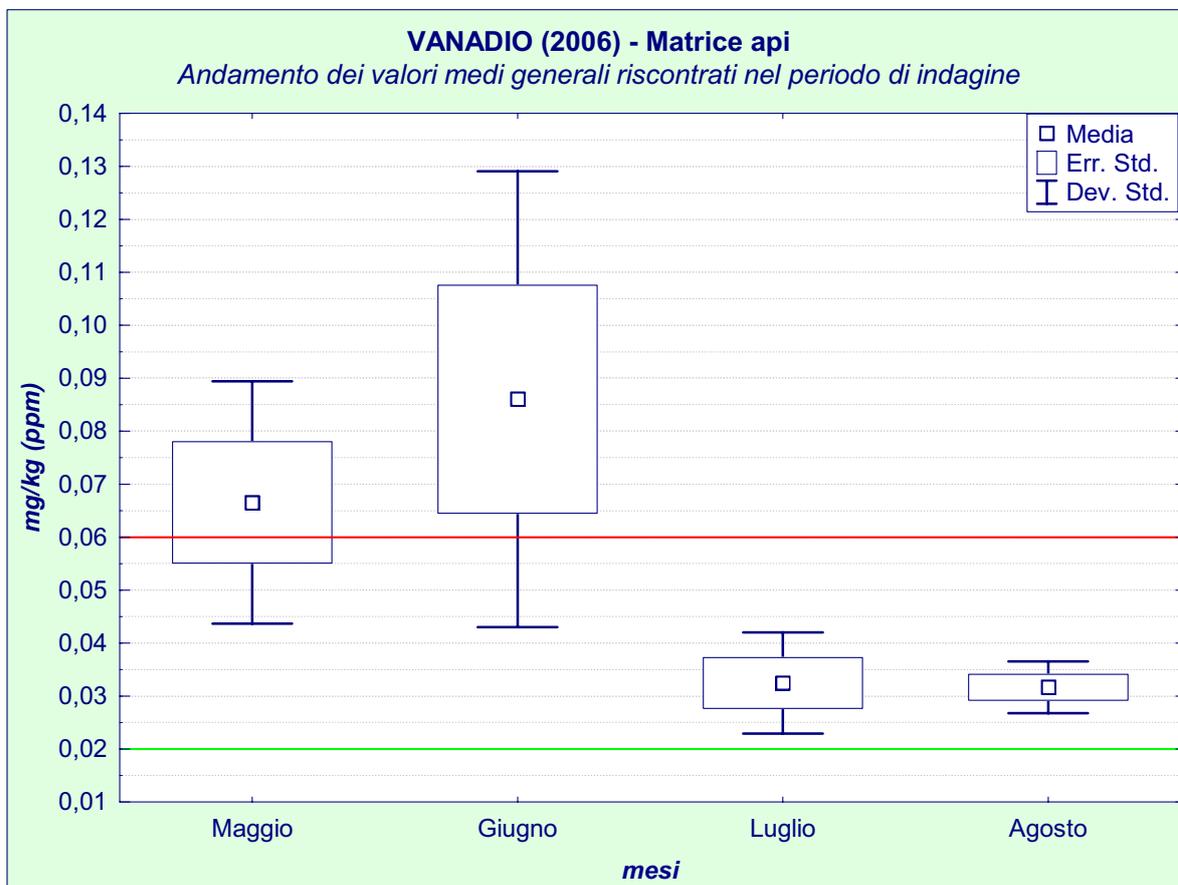


fig. 69

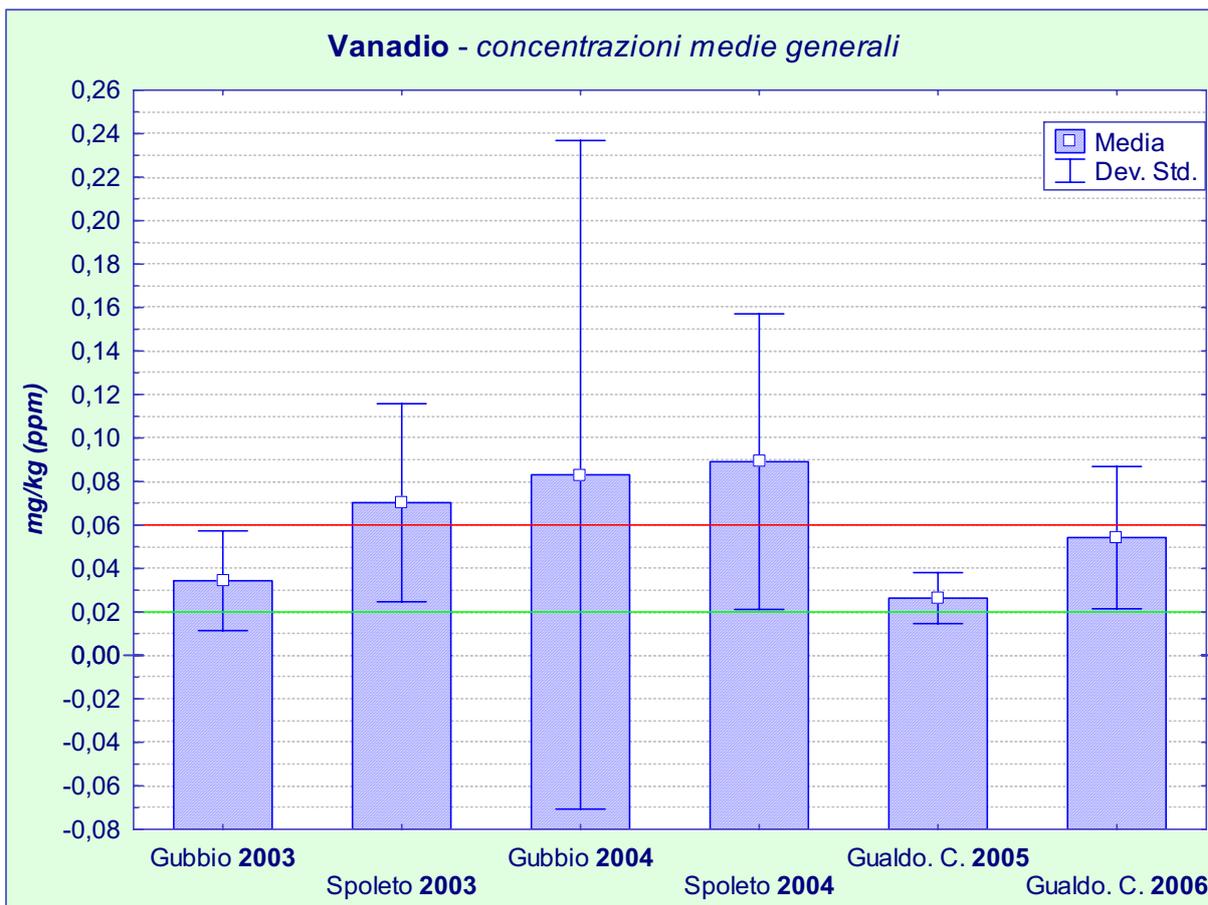


fig. 70

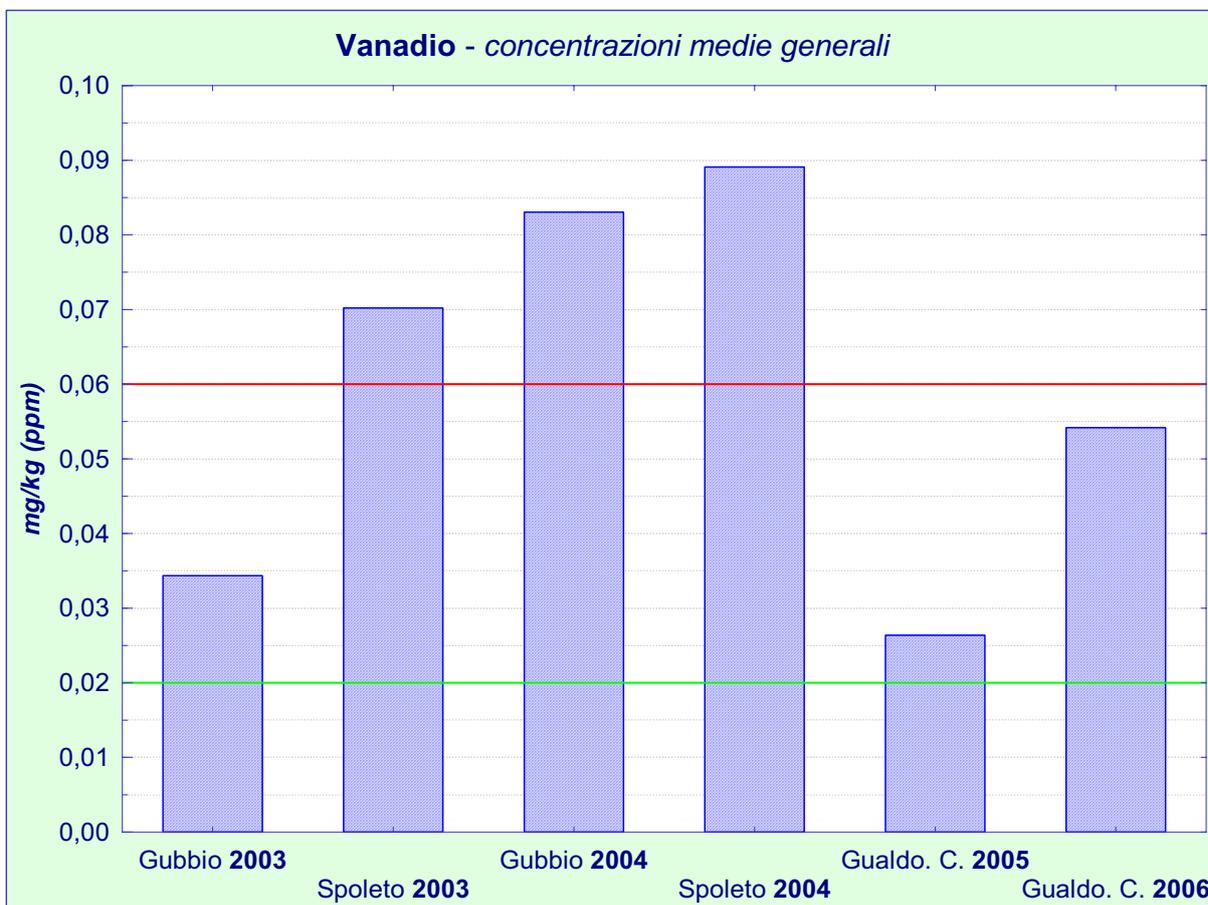


fig. 70_bis

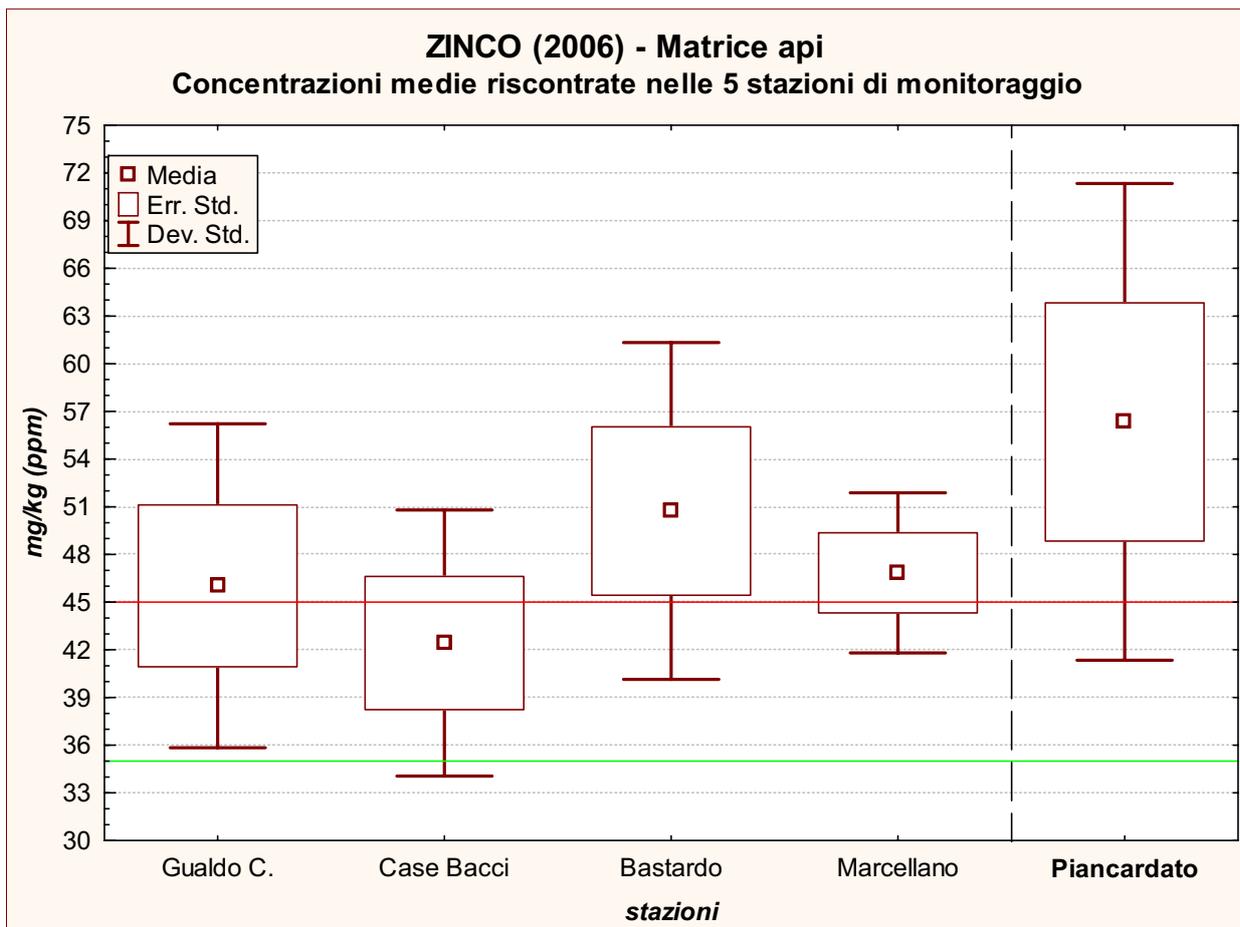


fig. 71

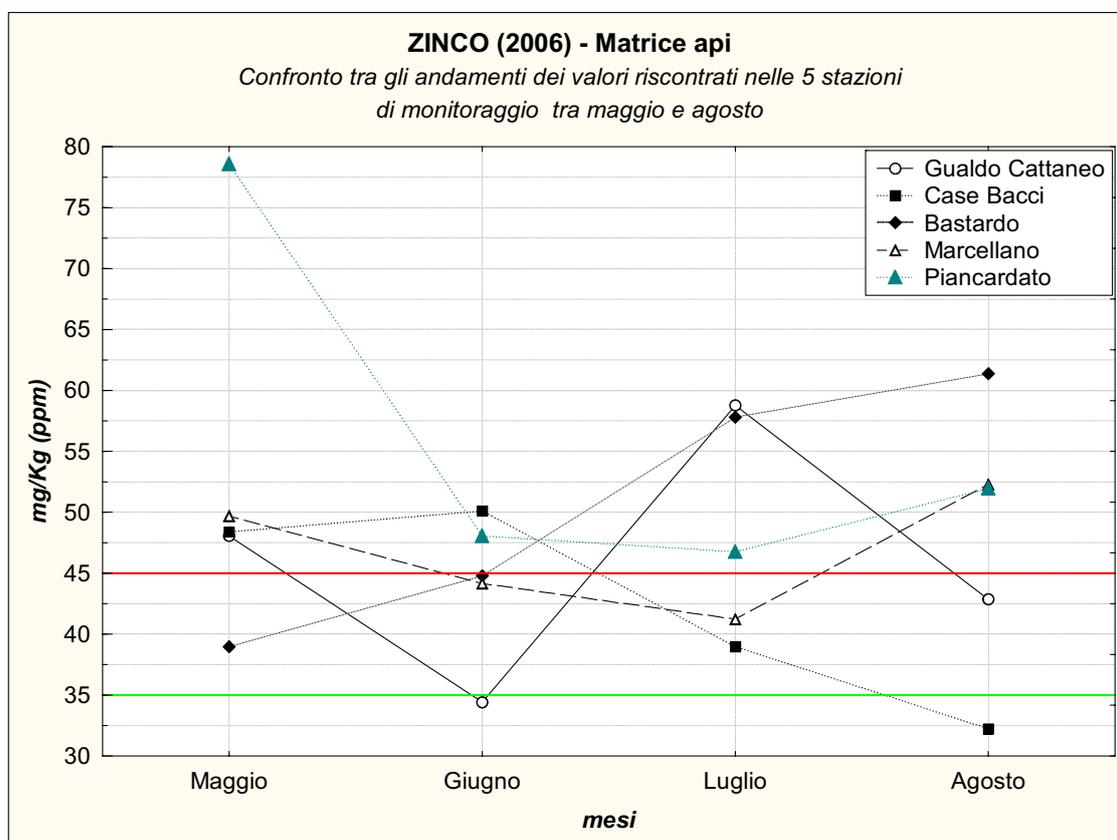


fig. 72

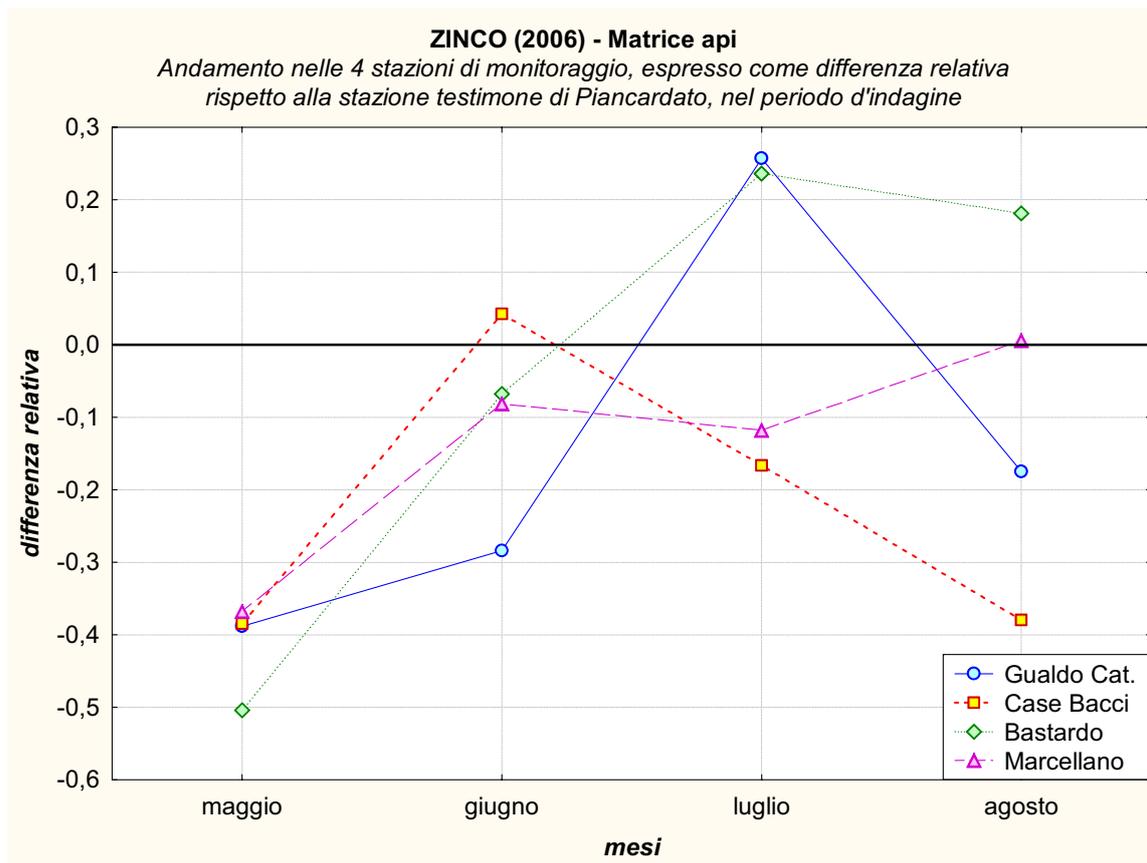


fig. 73

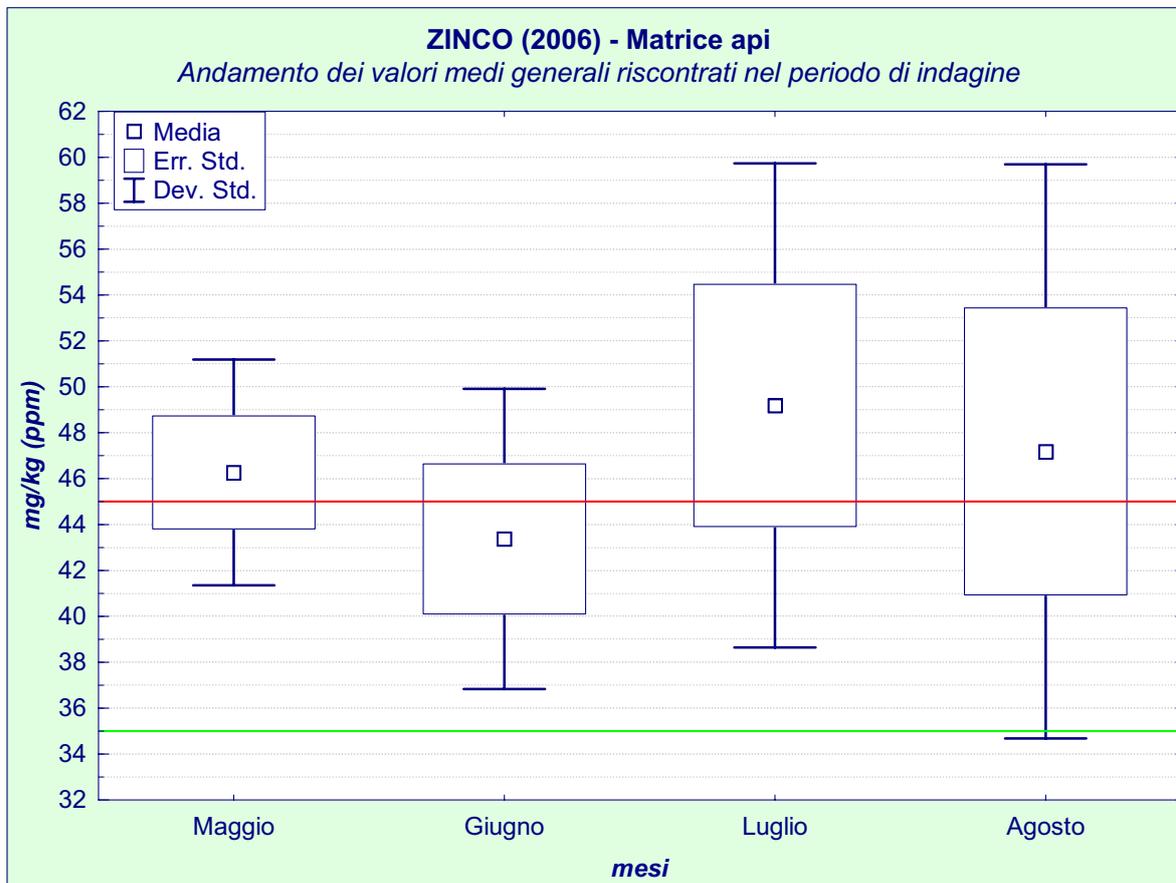


fig. 74

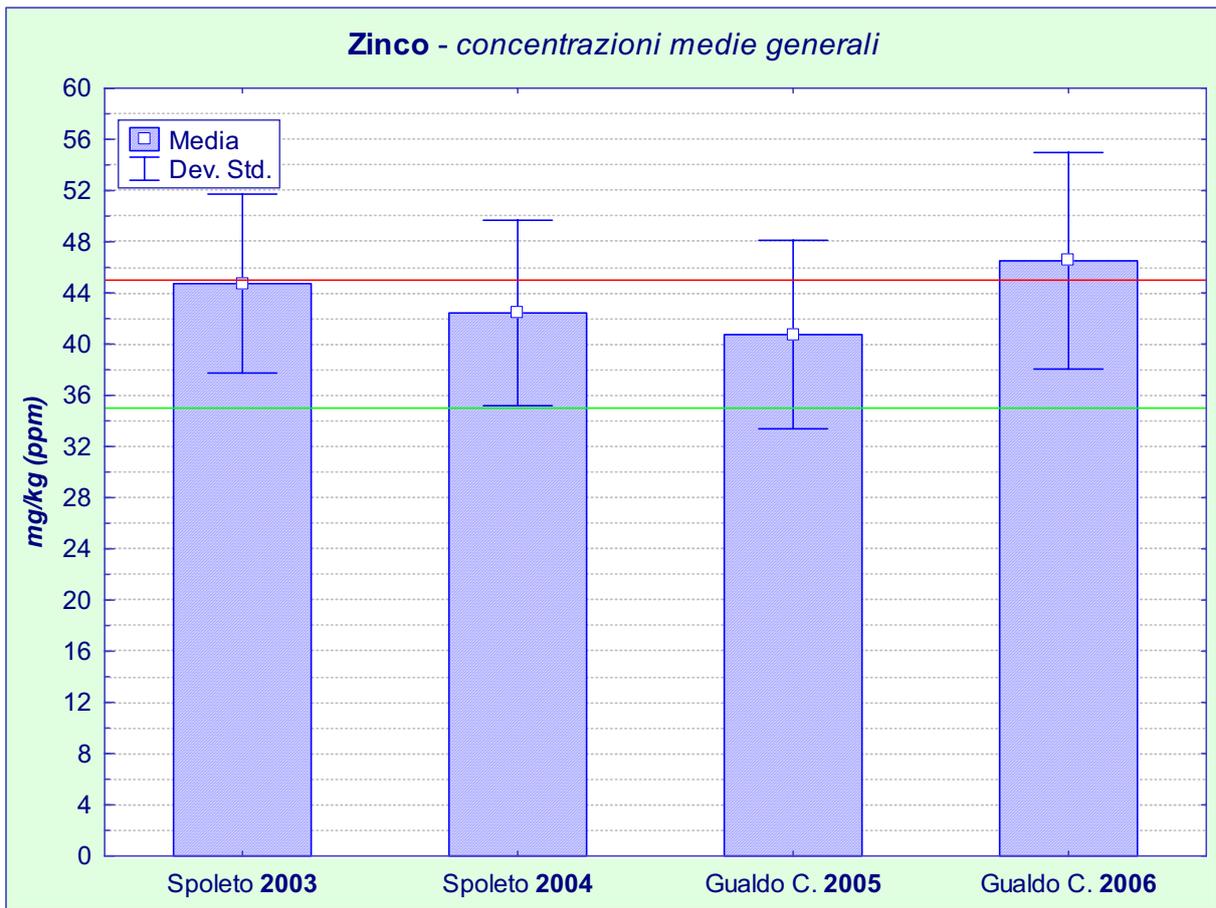


fig. 75

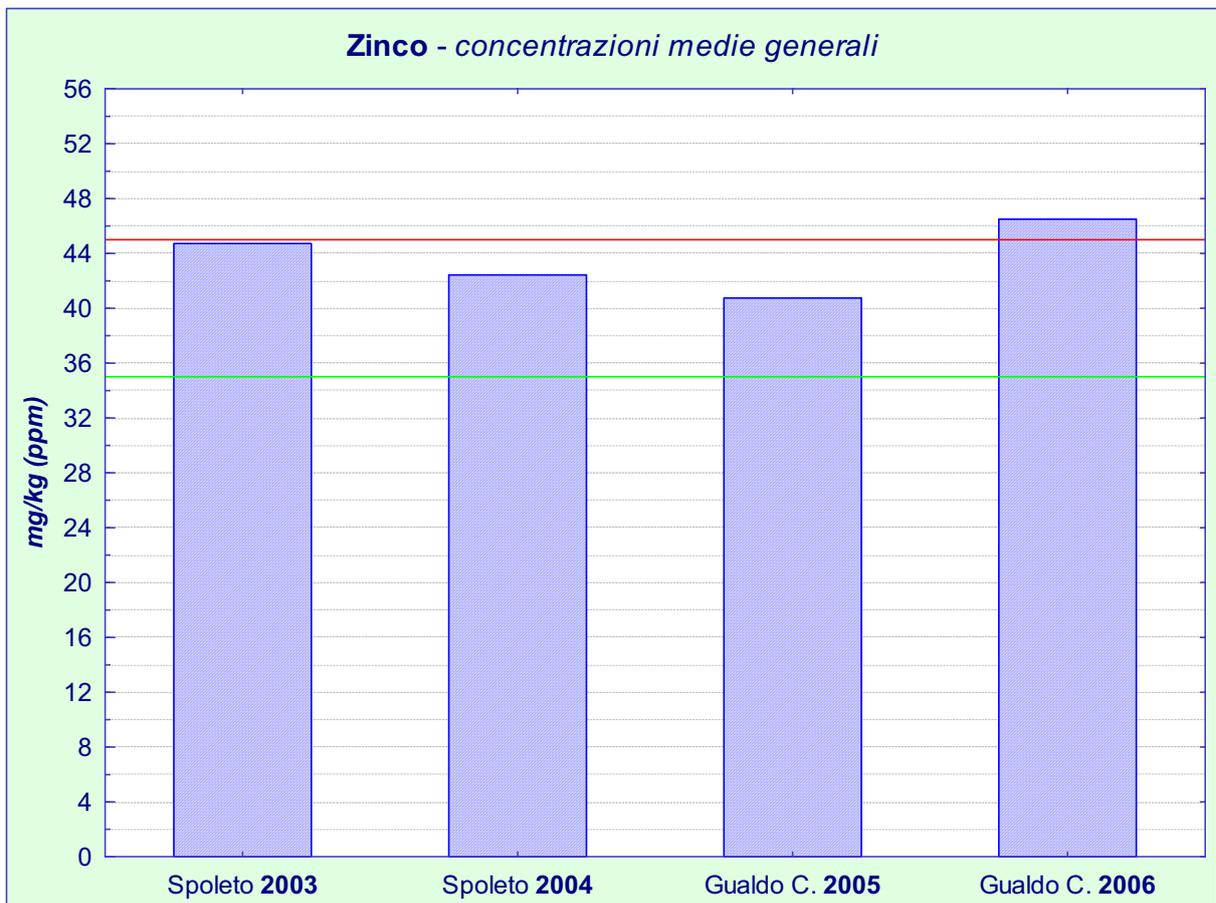


fig. 75_bis

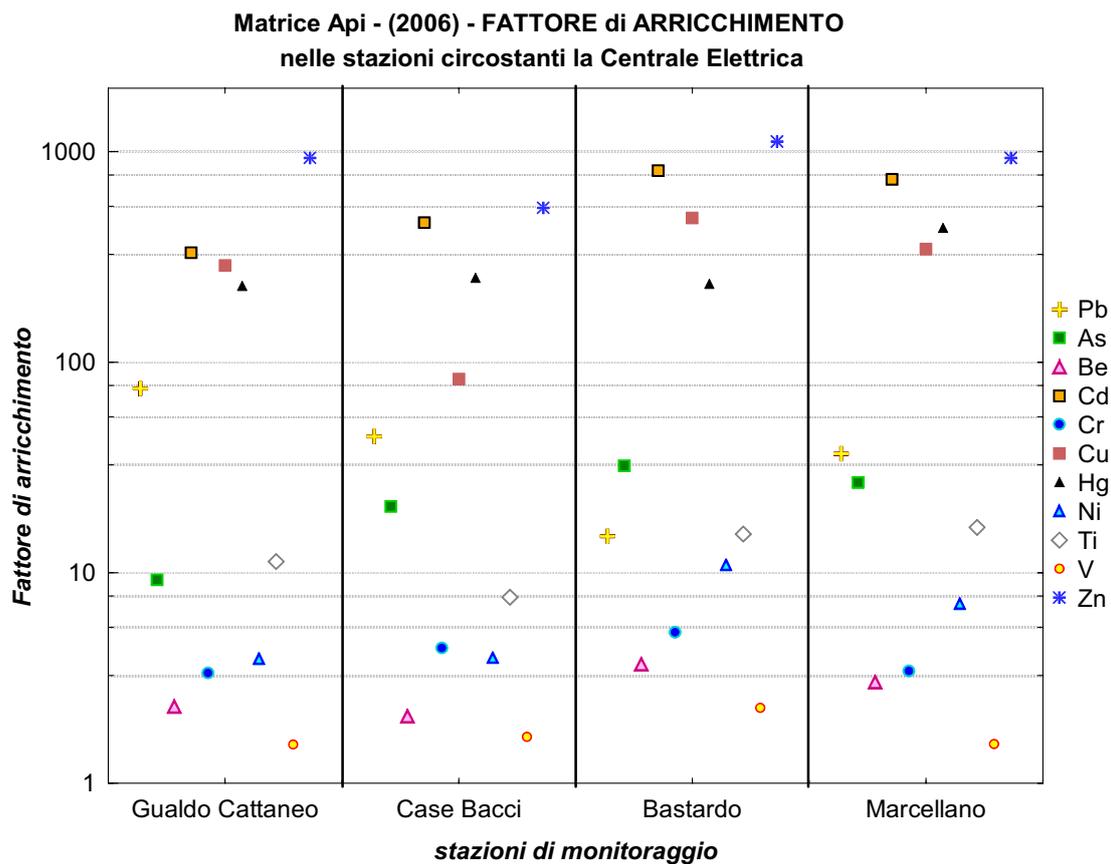


fig. 76

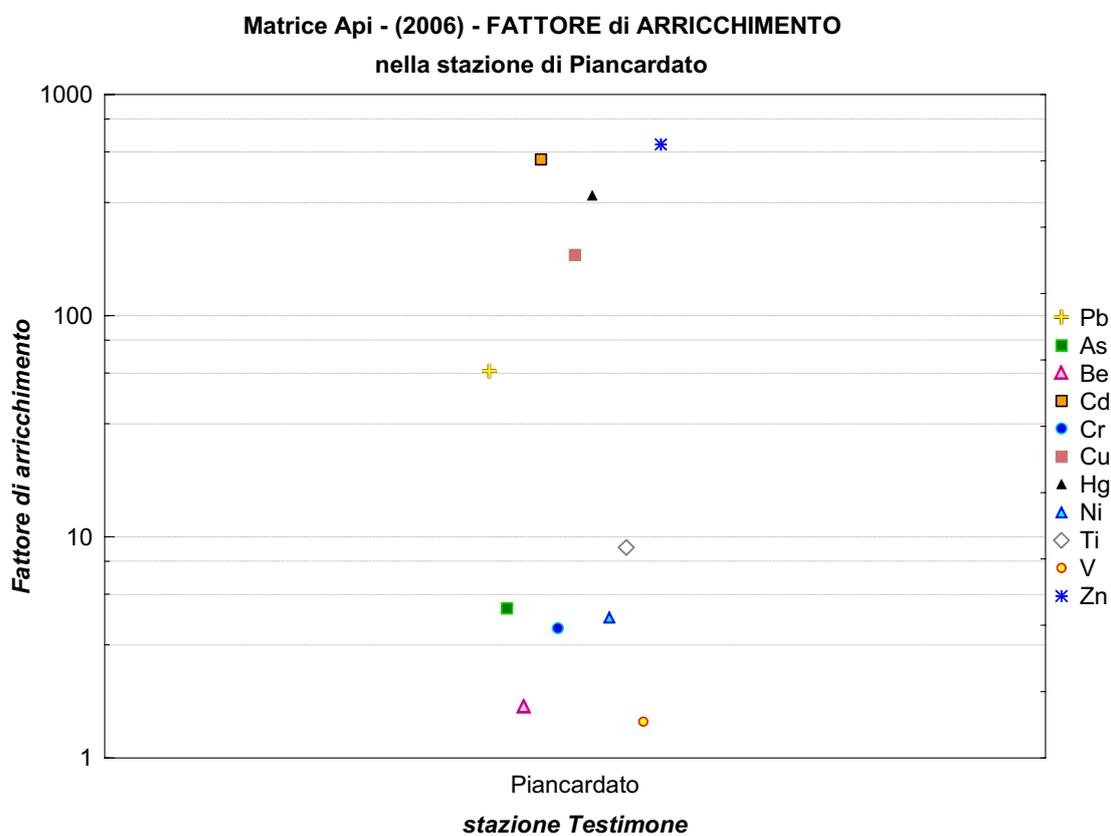


fig. 77

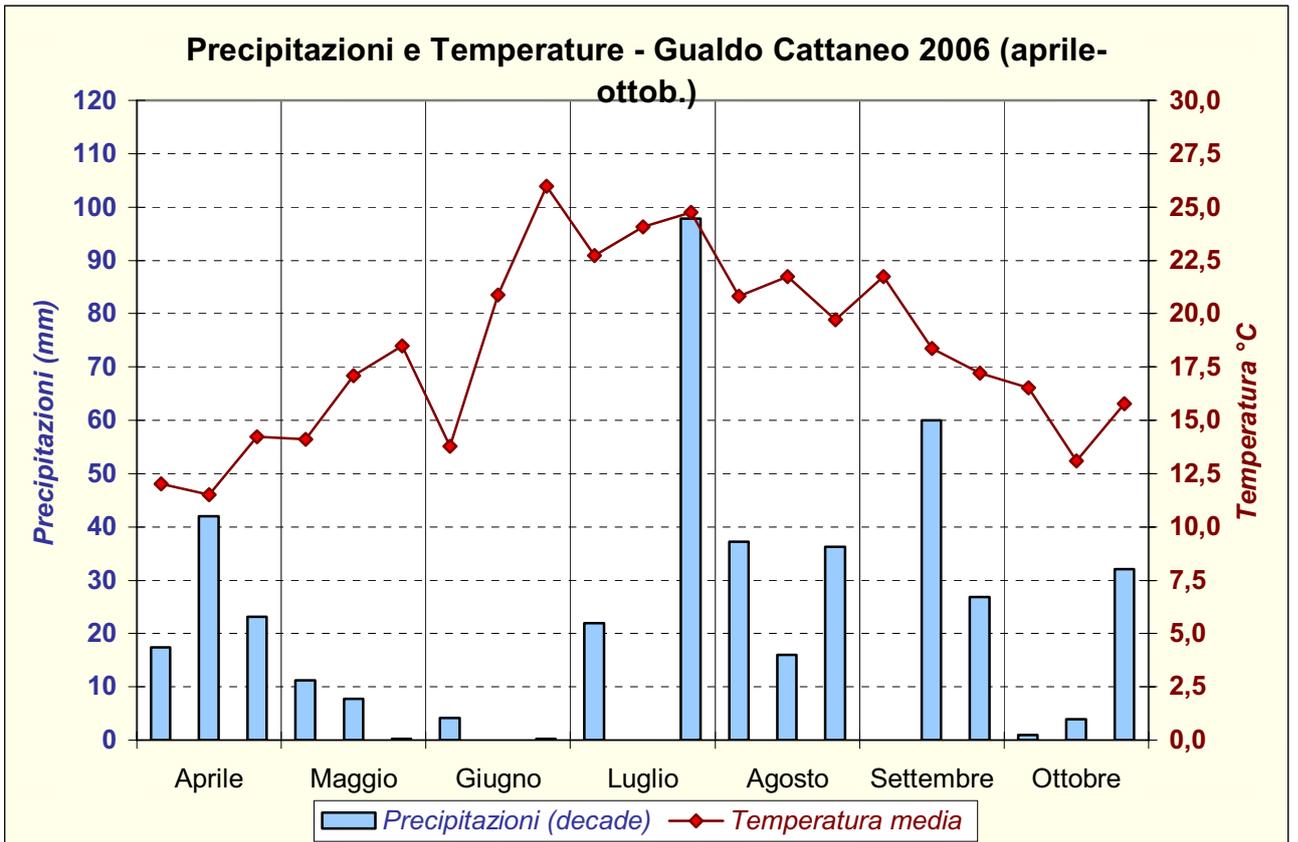


fig. 78

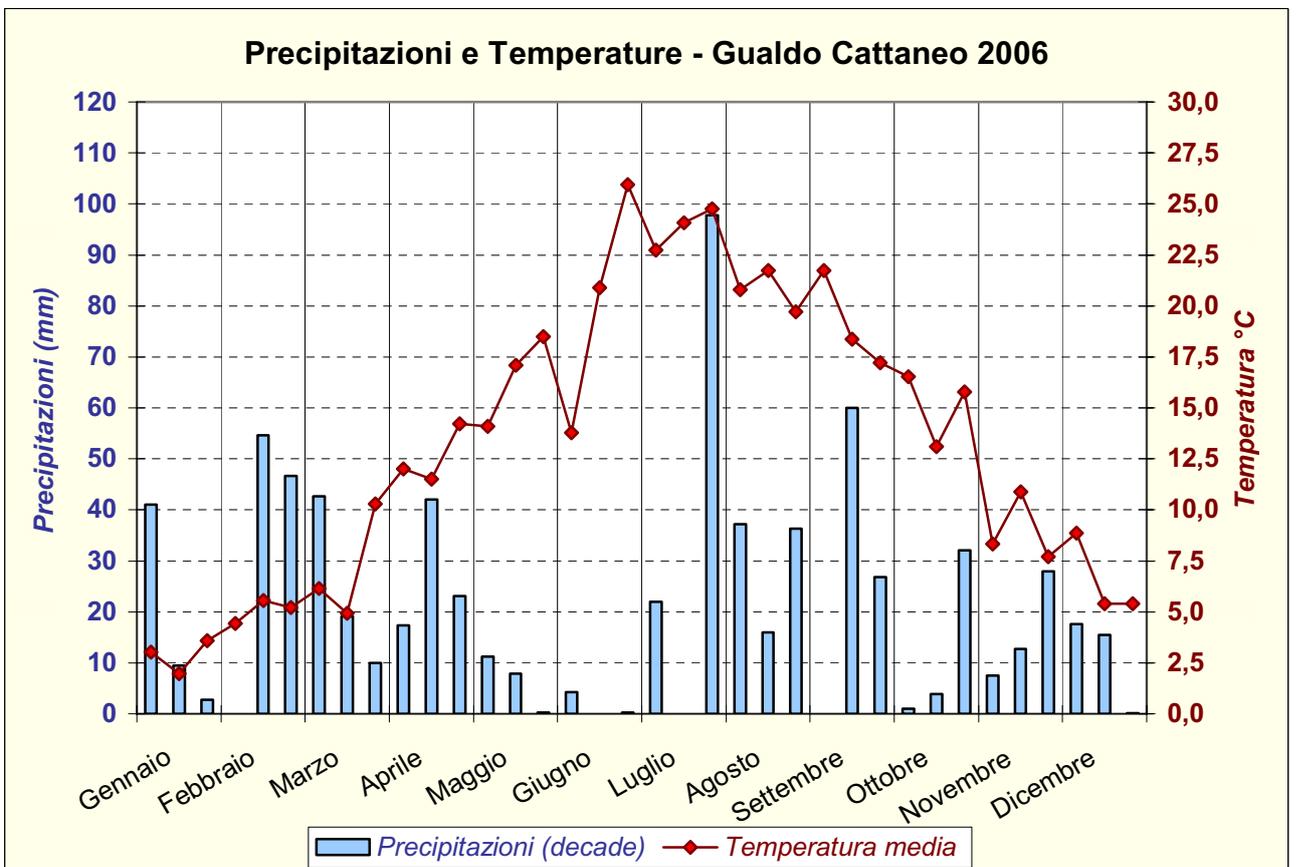


fig.79

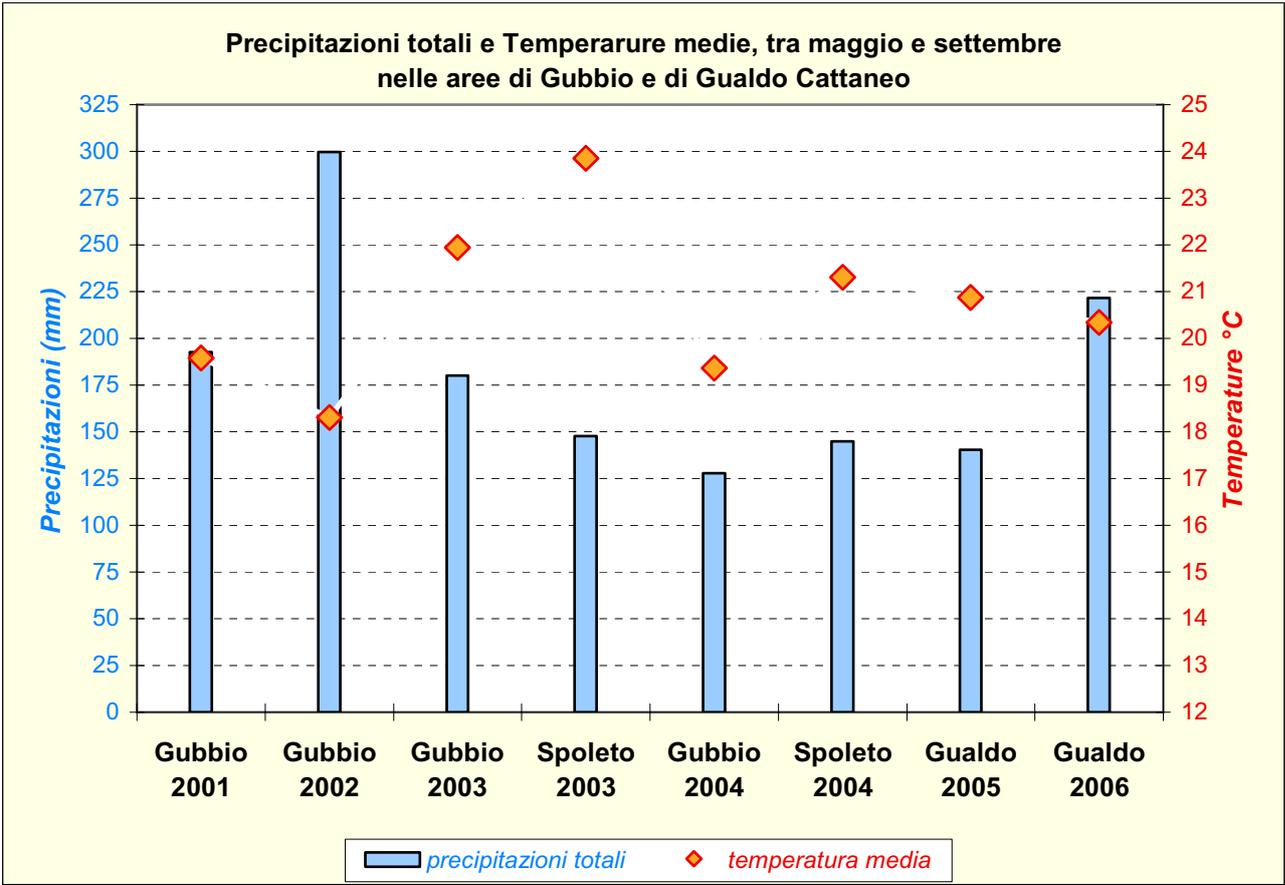


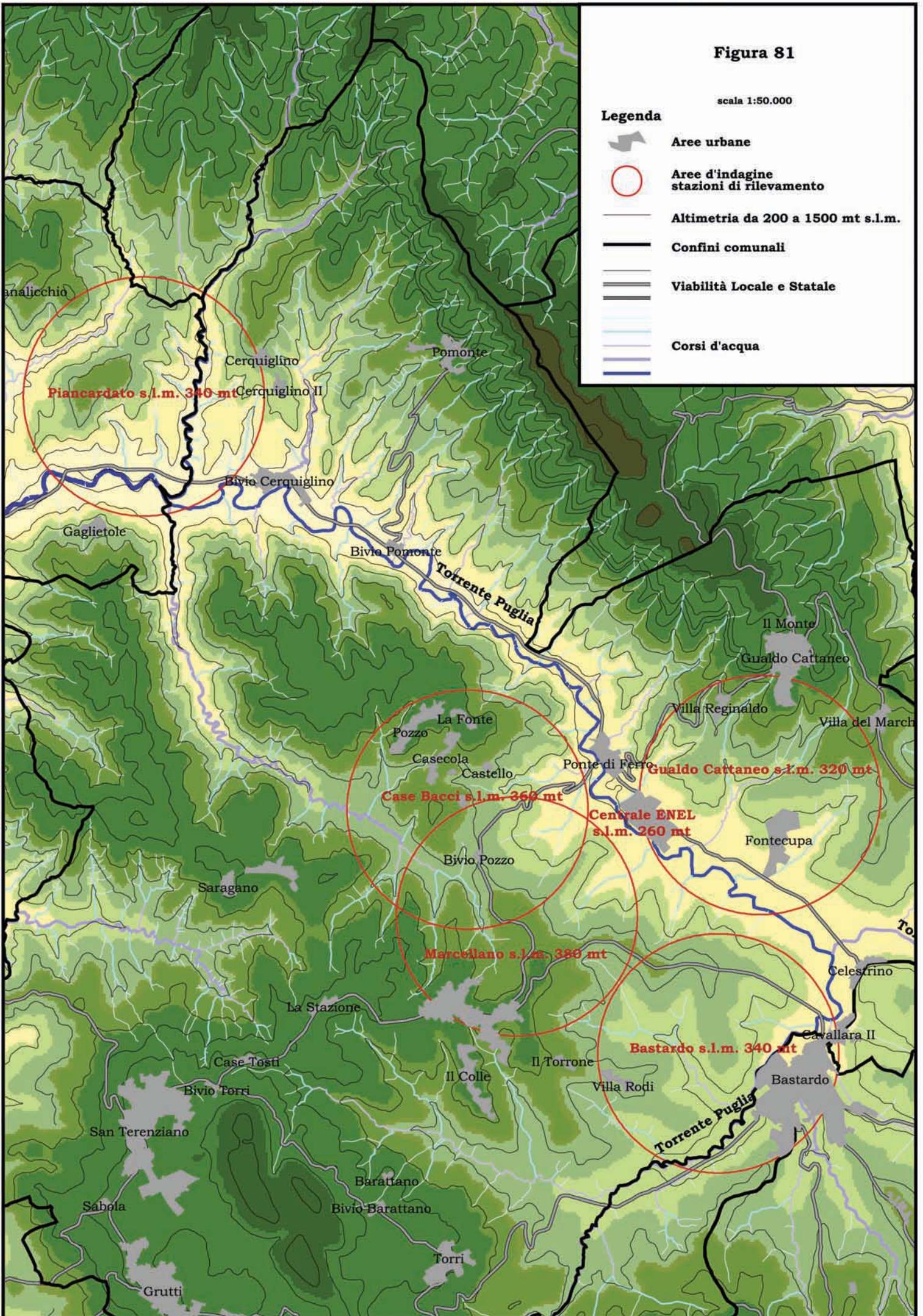
fig. 80

Figura 81

scala 1:50.000

Legenda

-  Aree urbane
-  Aree d'indagine stazioni di rilevamento
-  Altimetria da 200 a 1500 mt s.l.m.
-  Confini comunali
-  Viabilità Locale e Statale
-  Corsi d'acqua



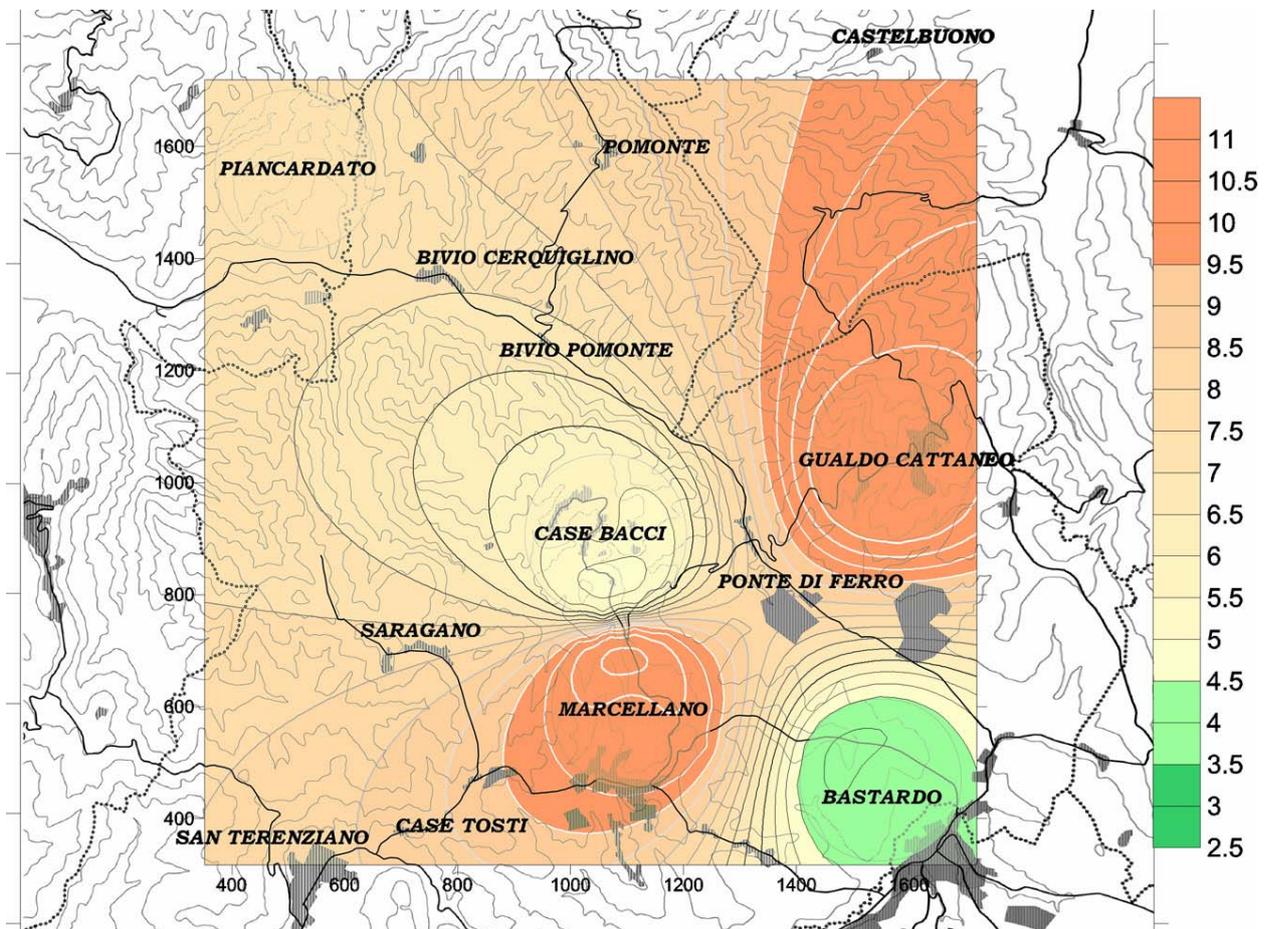


figura 82. Alluminio 2005 (mg/kg)

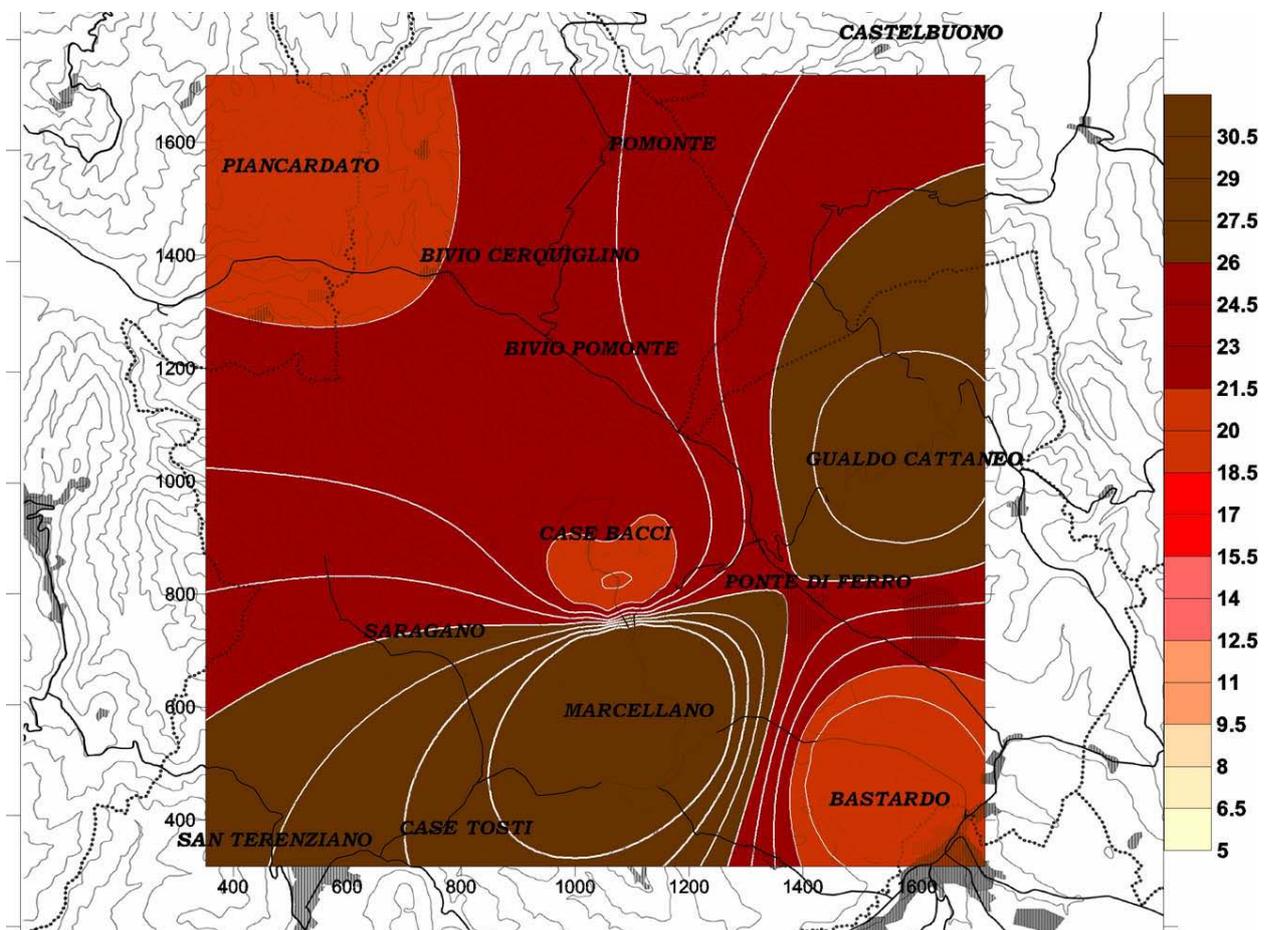


figura 83. Alluminio 2006 (mg/kg)

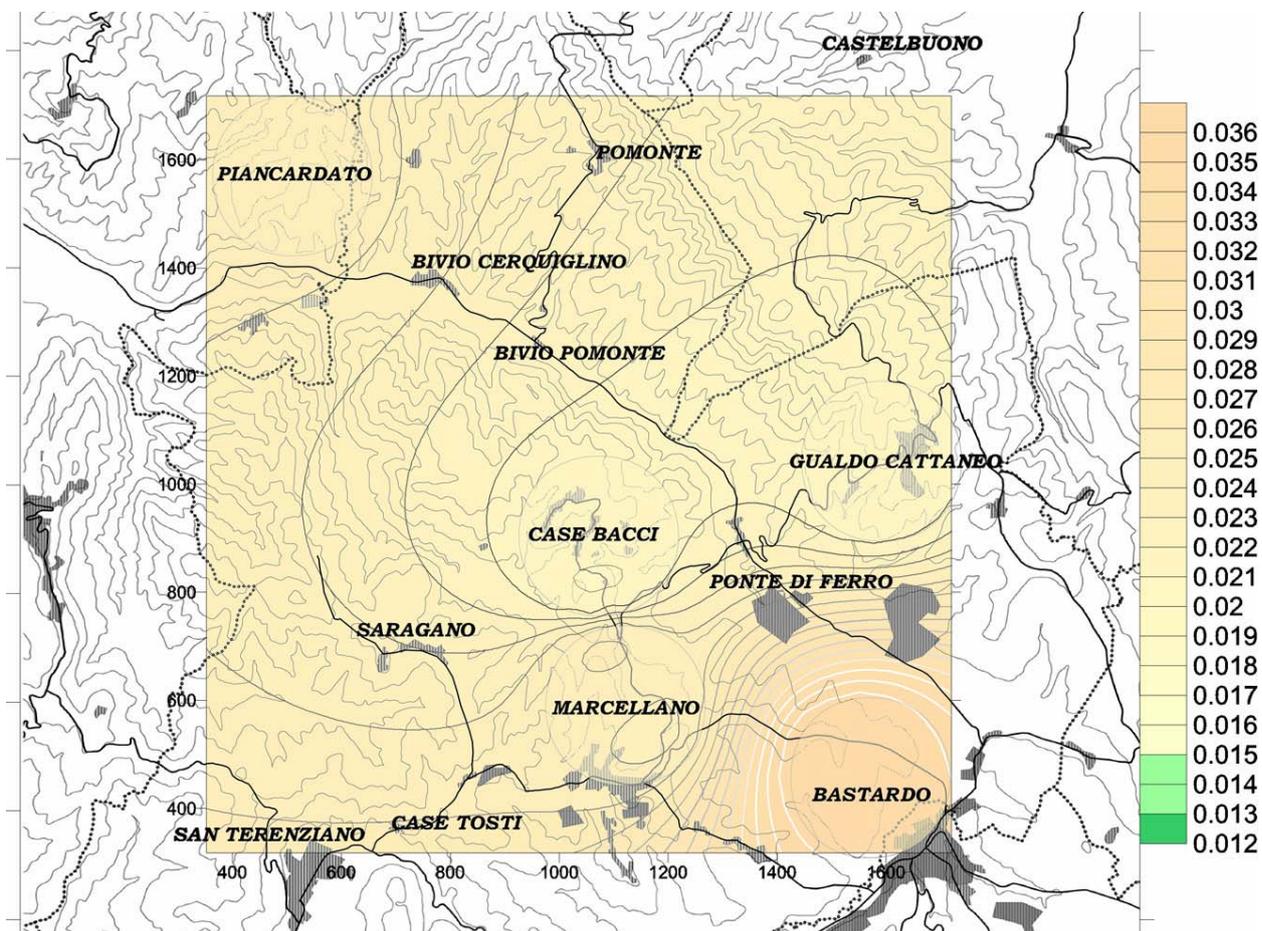


figura 84. Arsenico 2005 (mg/kg)

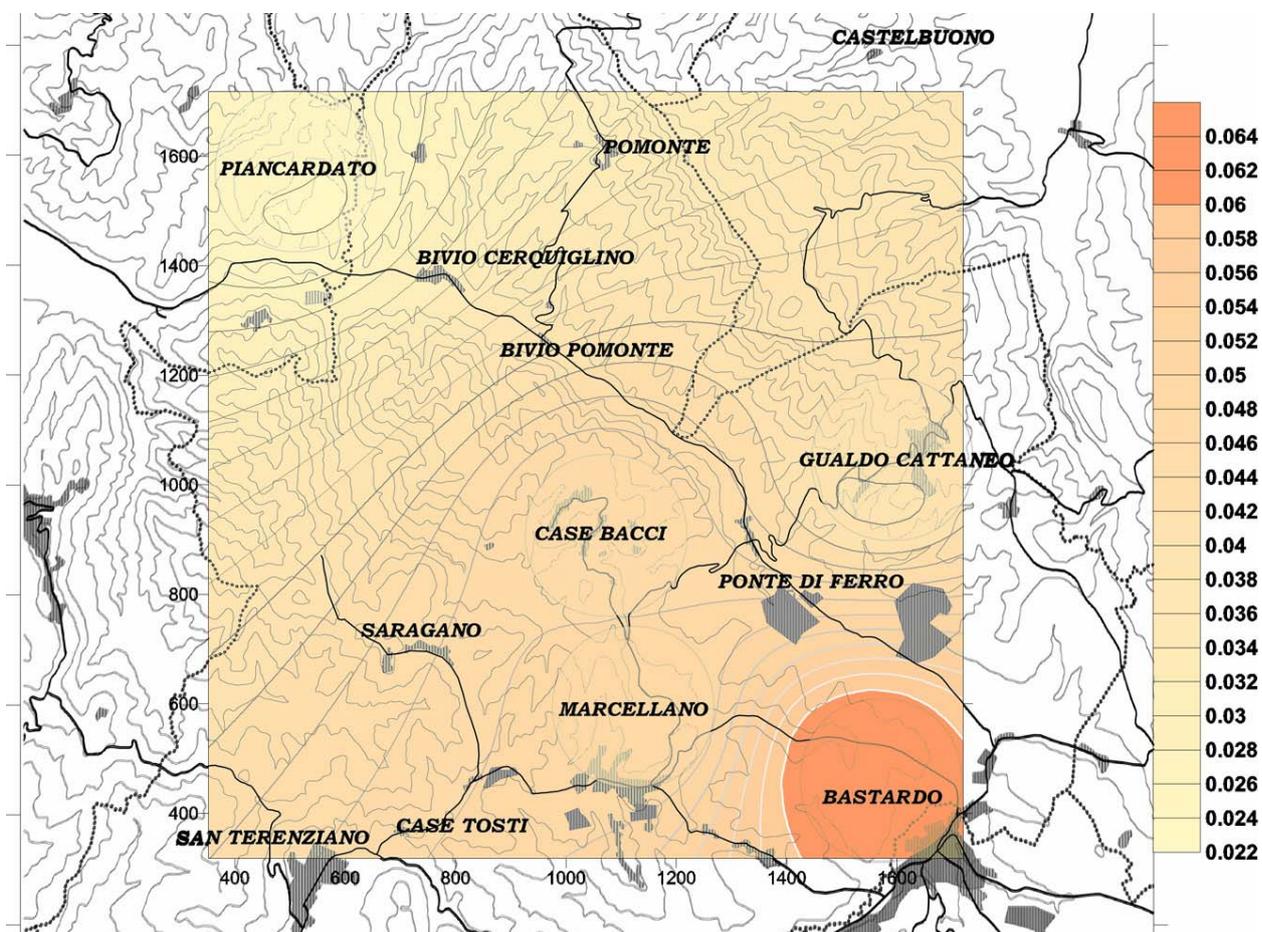


figura 85. Arsenico 2006 (mg/kg)

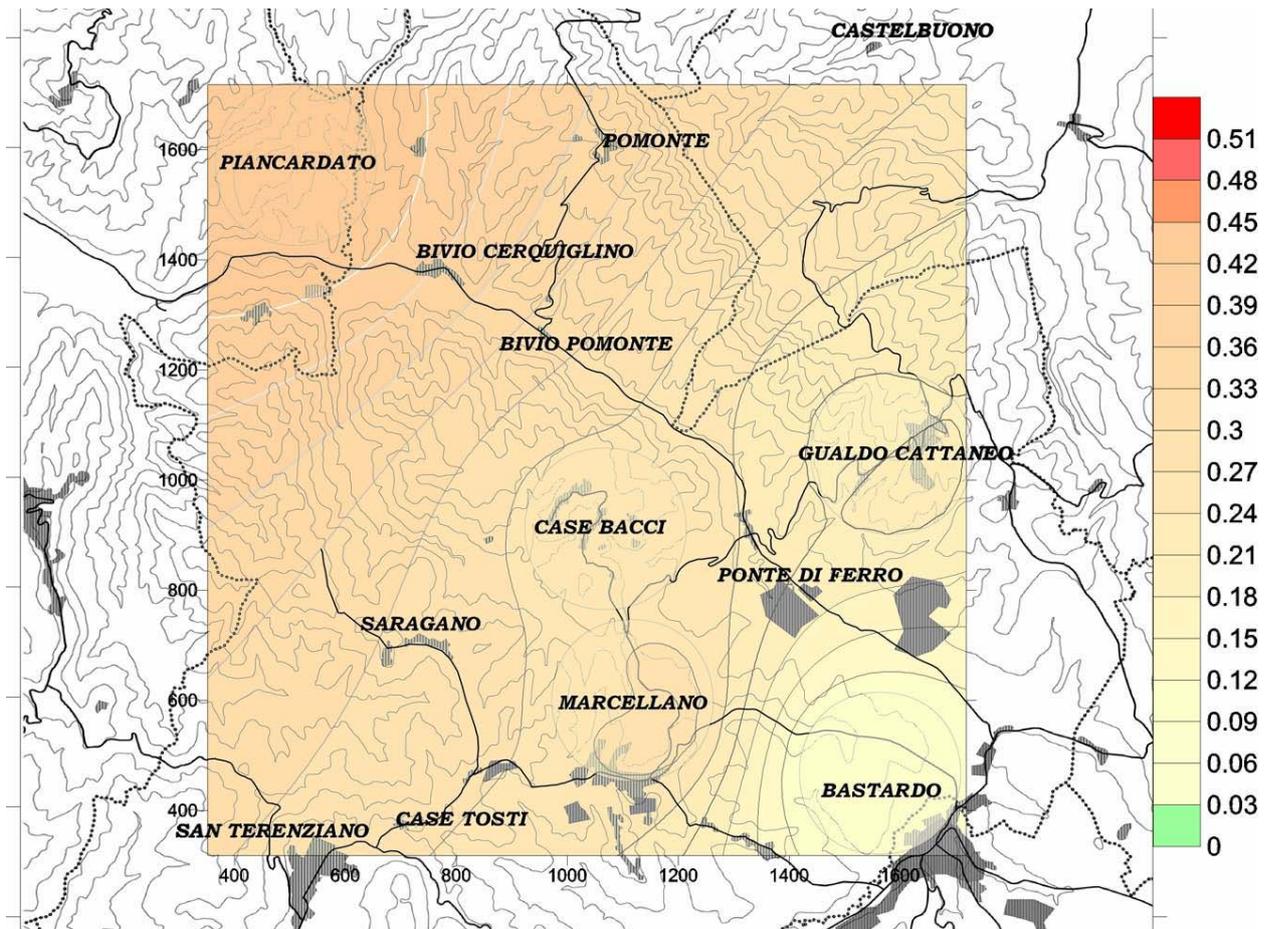


figura 86. Benzo[a]Pirene 2005 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

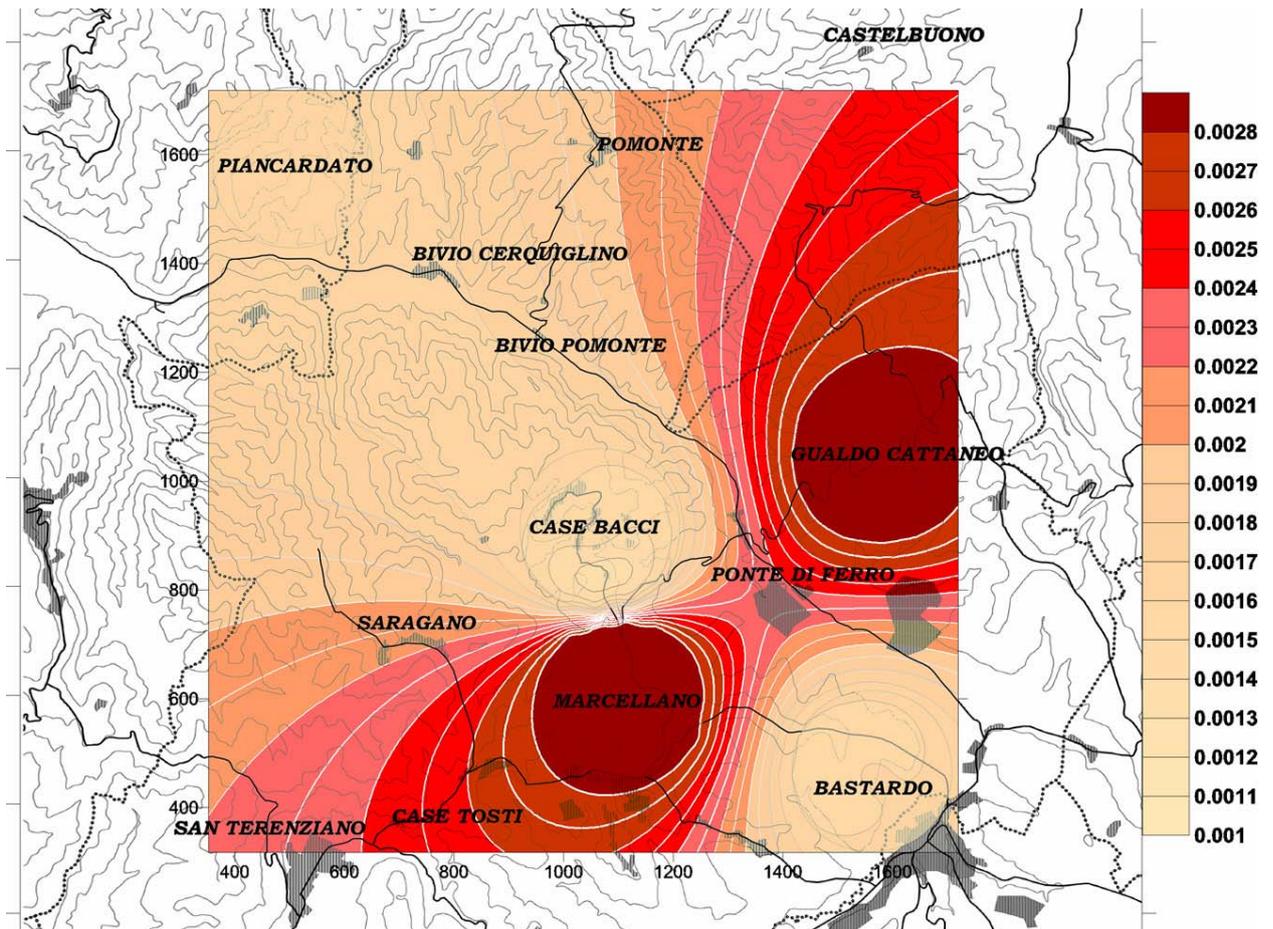


figura 87. Berillio 2006 (mg/kg)

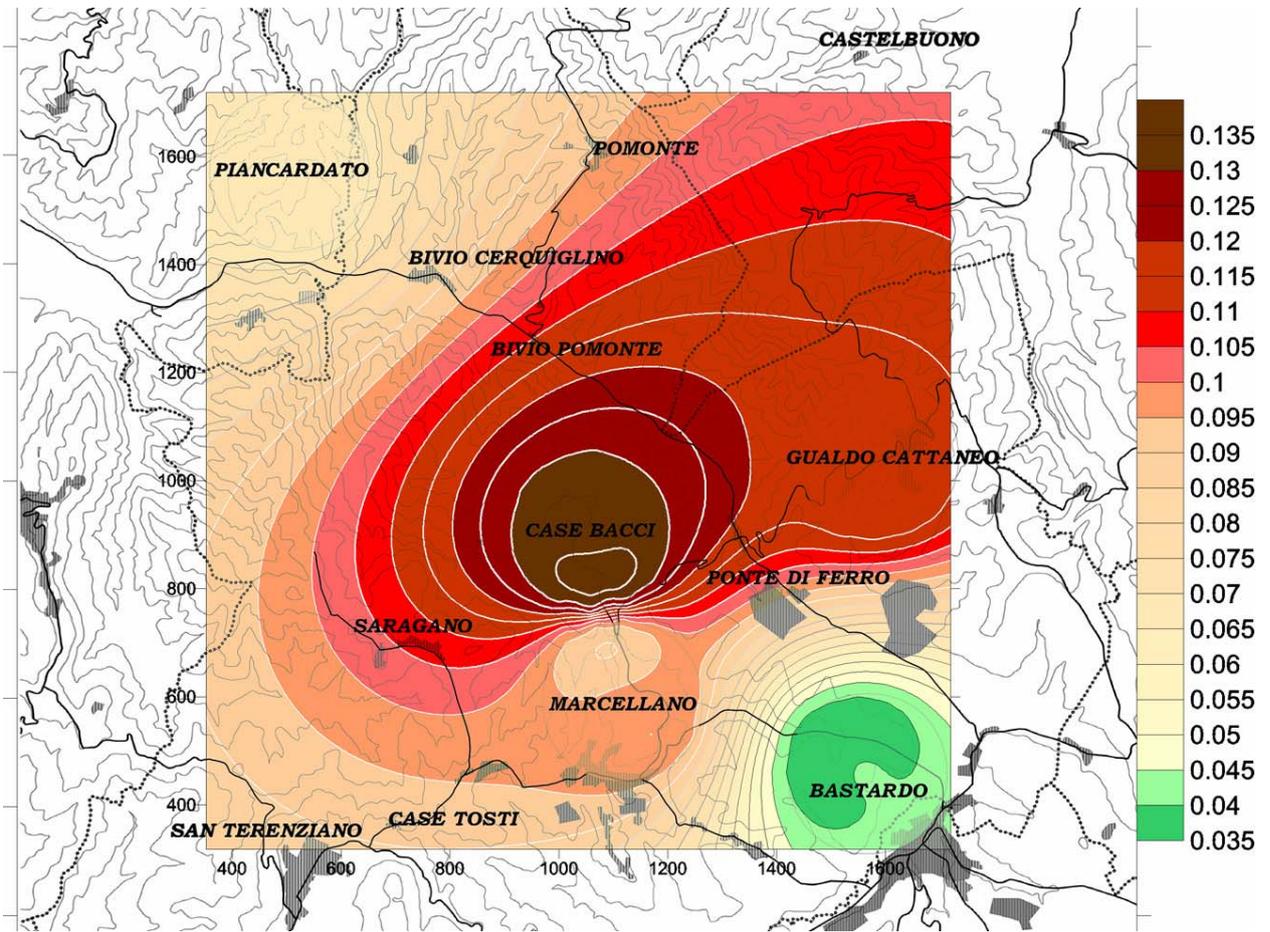


figura 88. Cadmio 2005 (mg/kg)

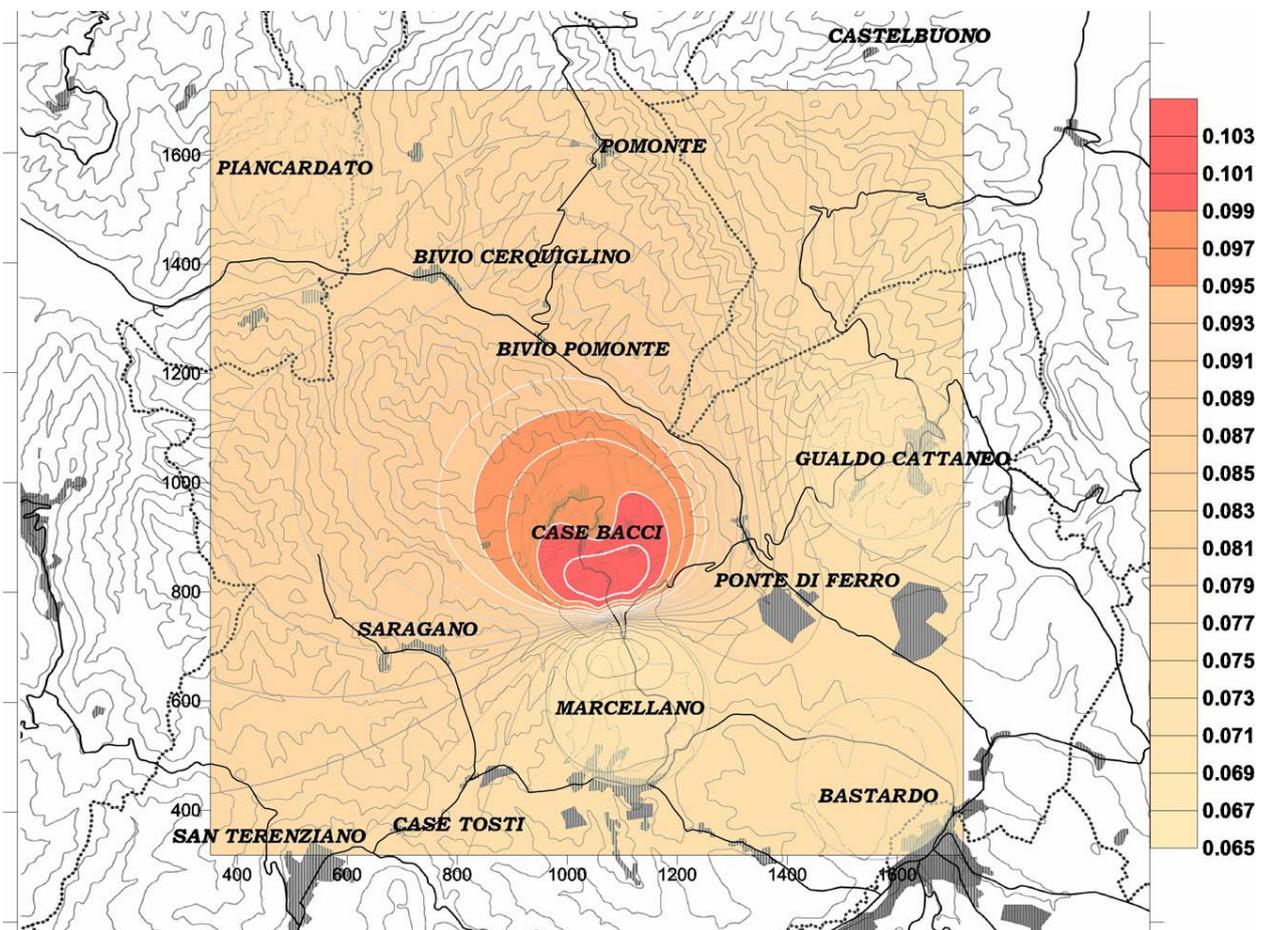


figura 89. Cadmio 2006 (mg/kg)

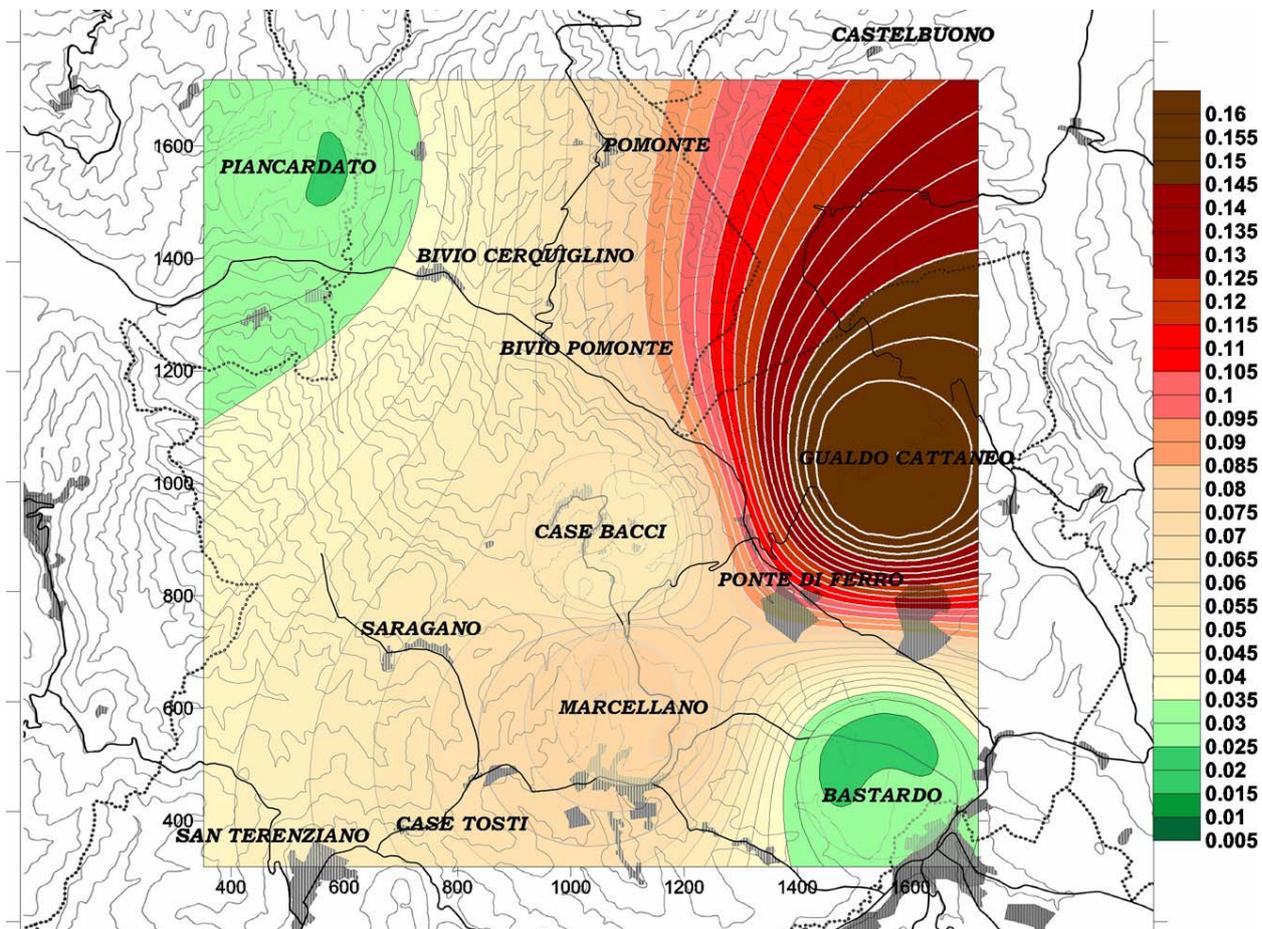


figura 90. Cromo 2005 (mg/kg)

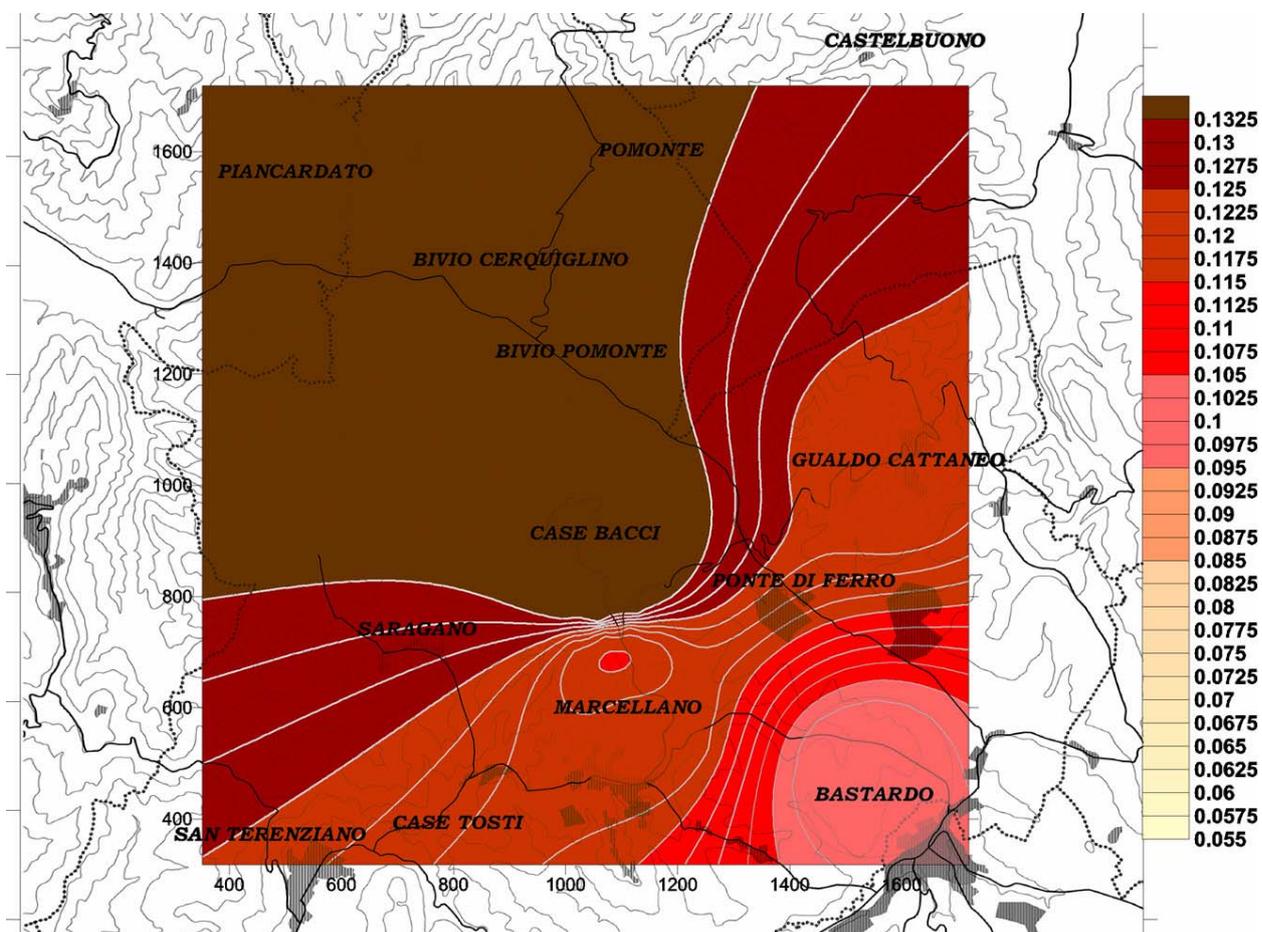


figura 91. Cromo 2006 (mg/kg)

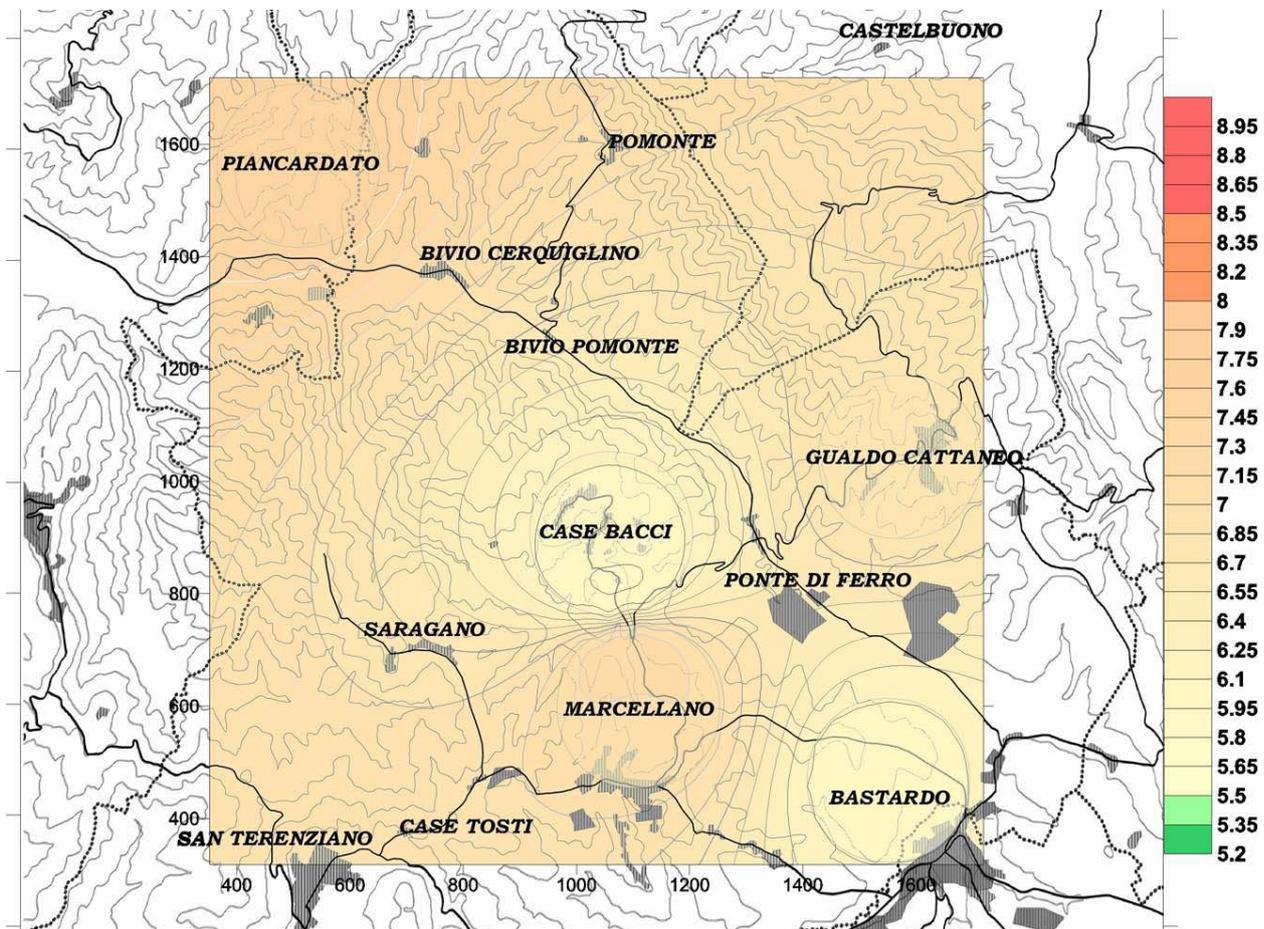


figura 92. Rame 2005 (mg/kg)

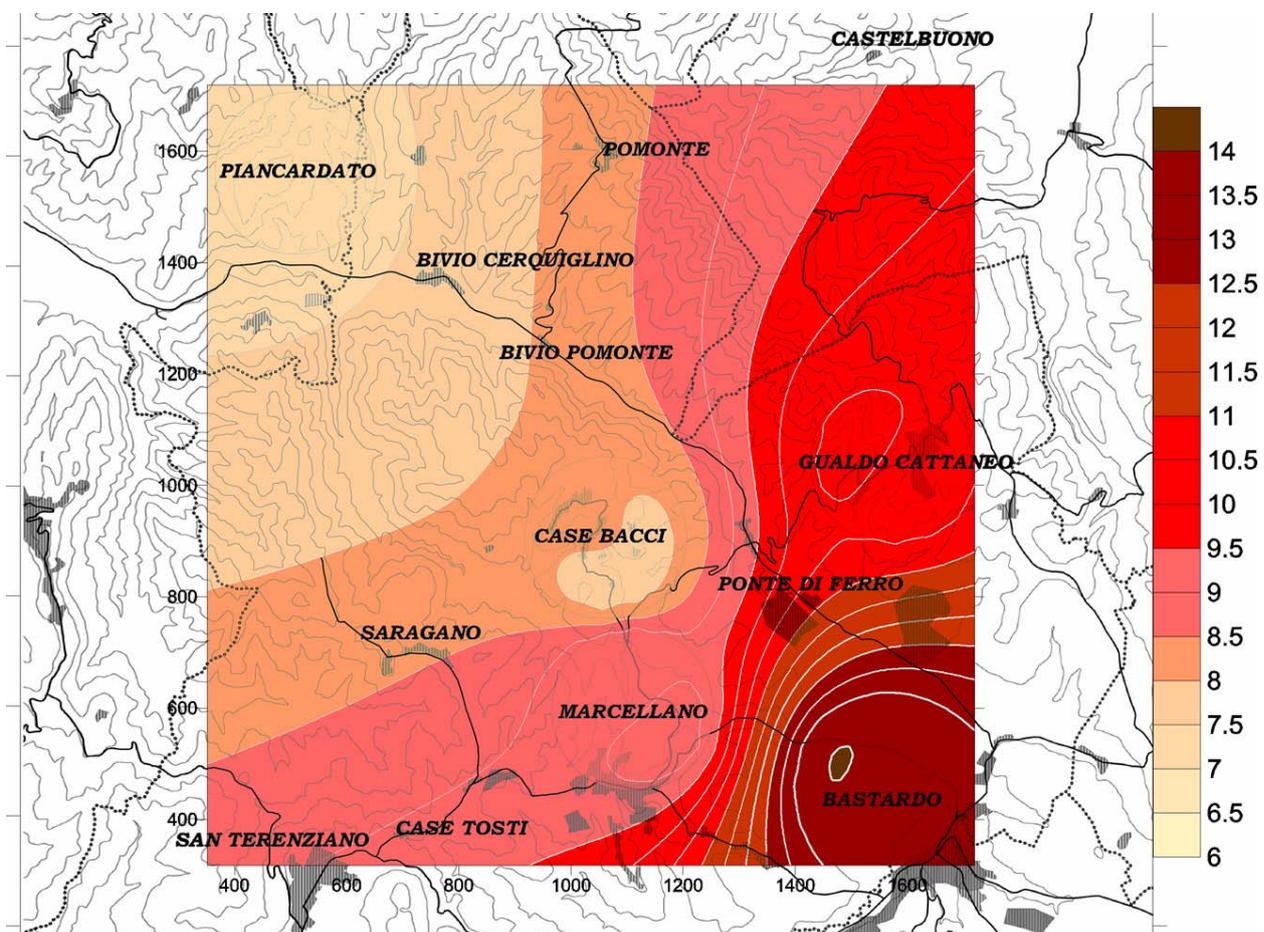


figura 93. Rame 2006 (mg/kg)

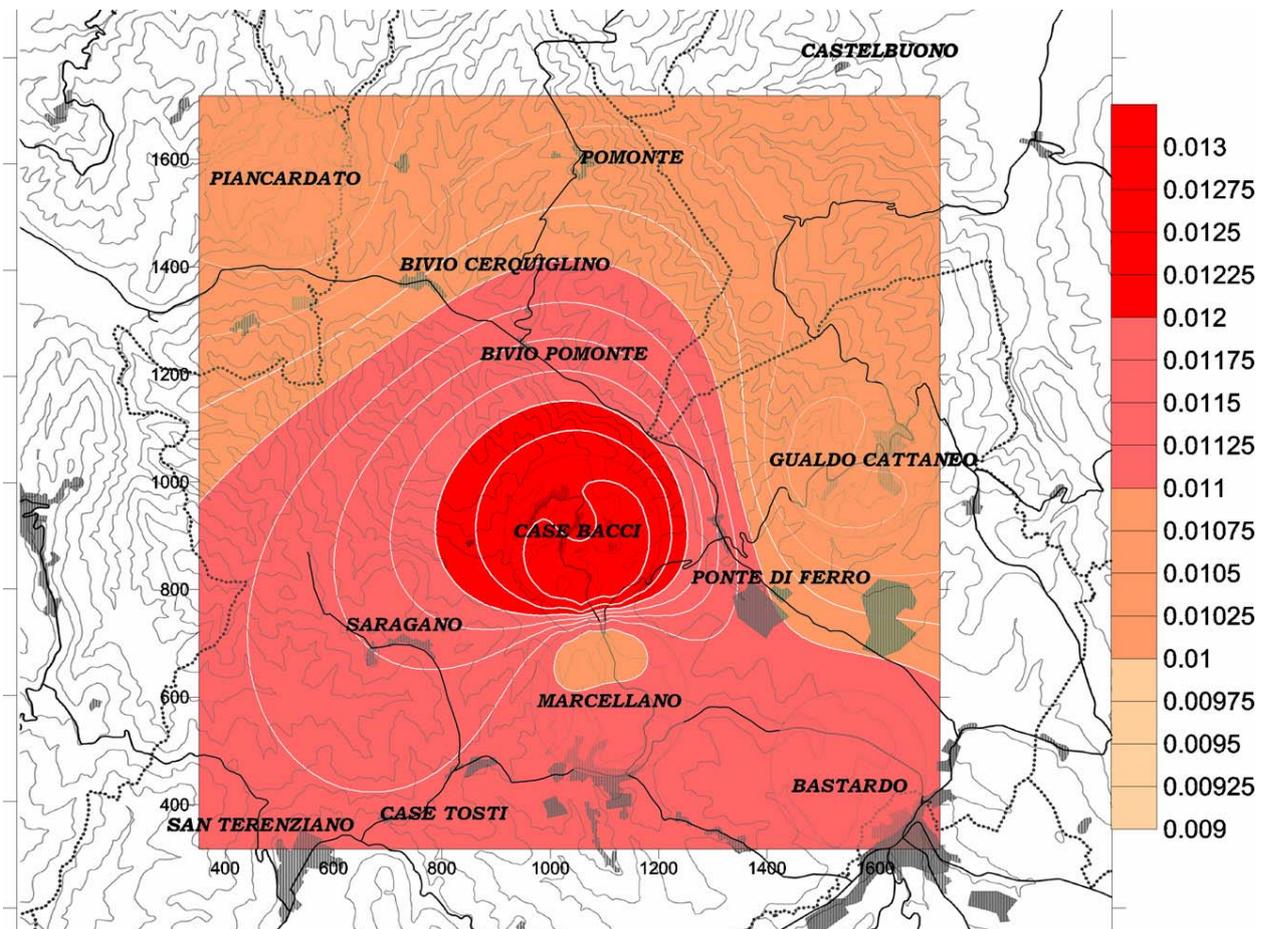


figura 94. Mercurio 2005 (mg/kg)

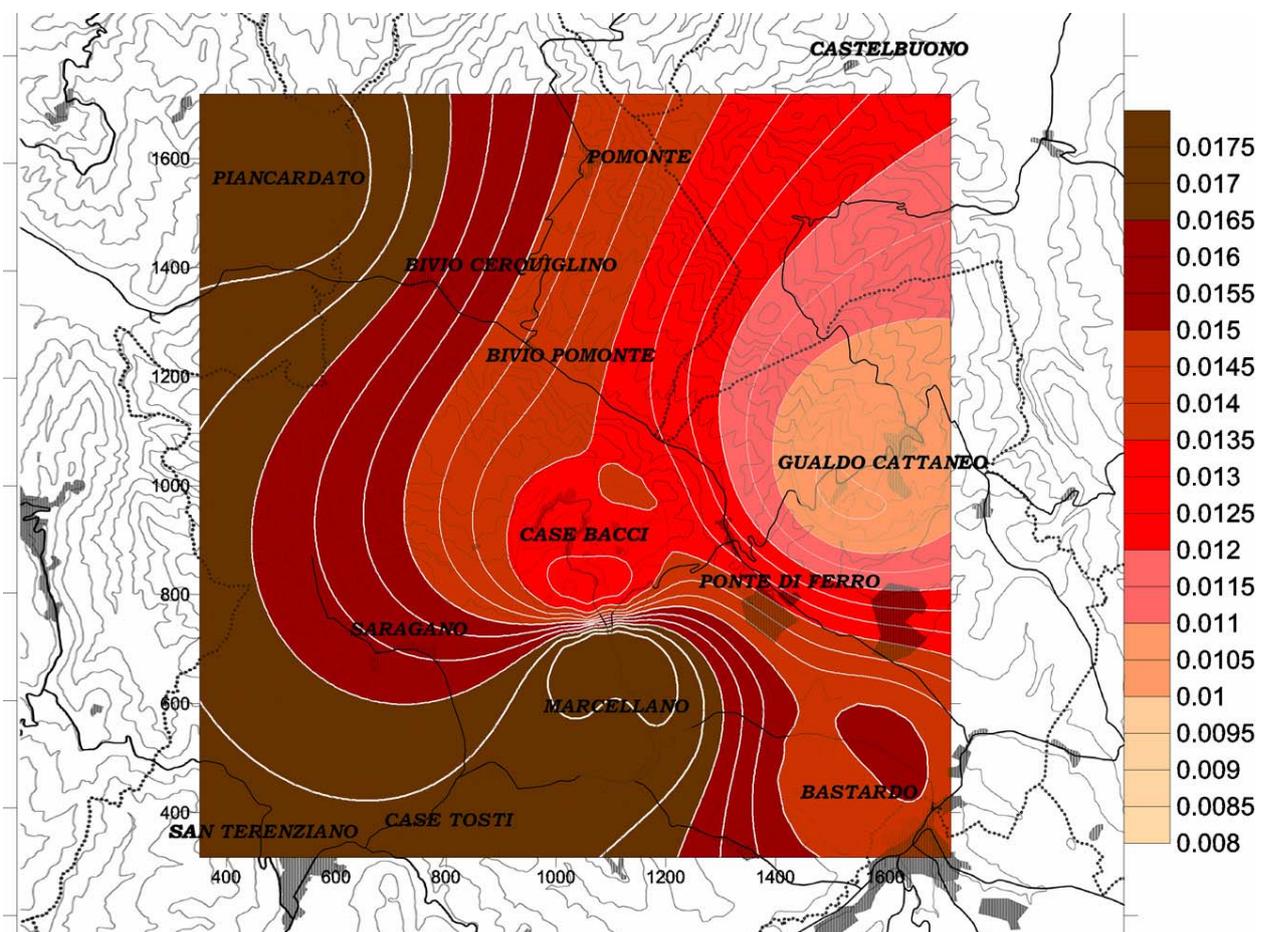


figura 95. Mercurio 2006 (mg/kg)

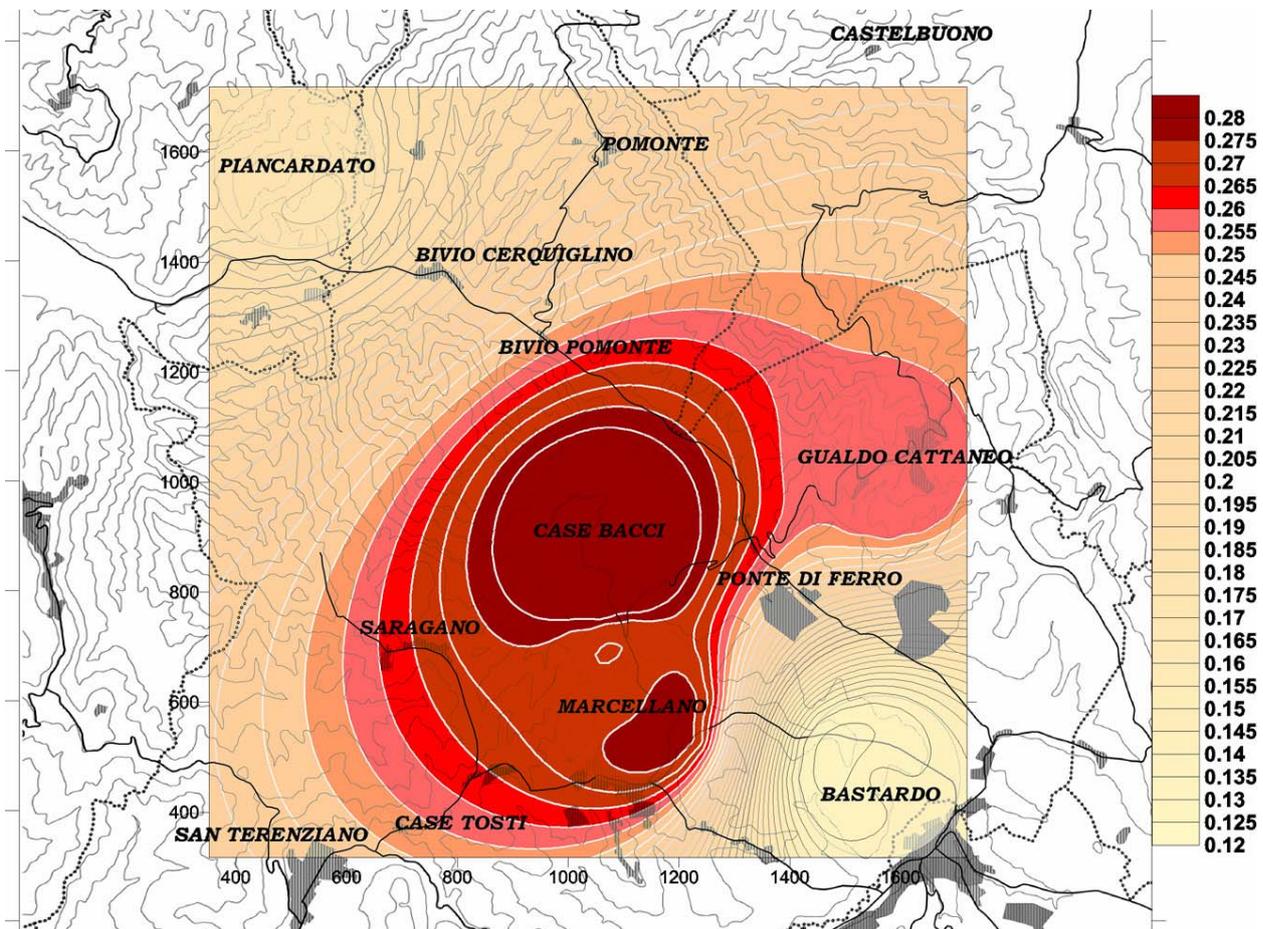


figura 96. Nichel 2005 (mg/kg)

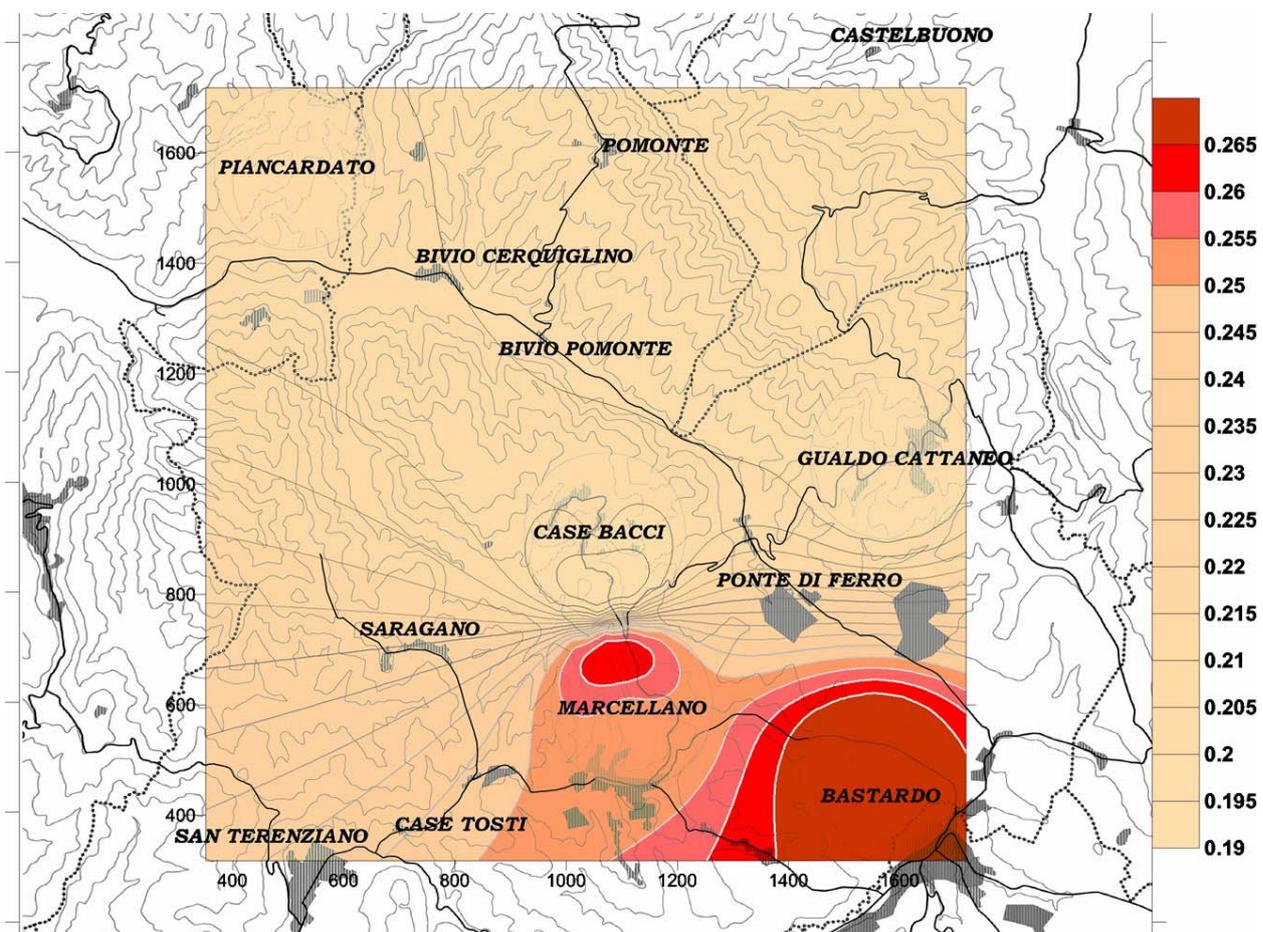


figura 97. Nichel 2006 (mg/kg)

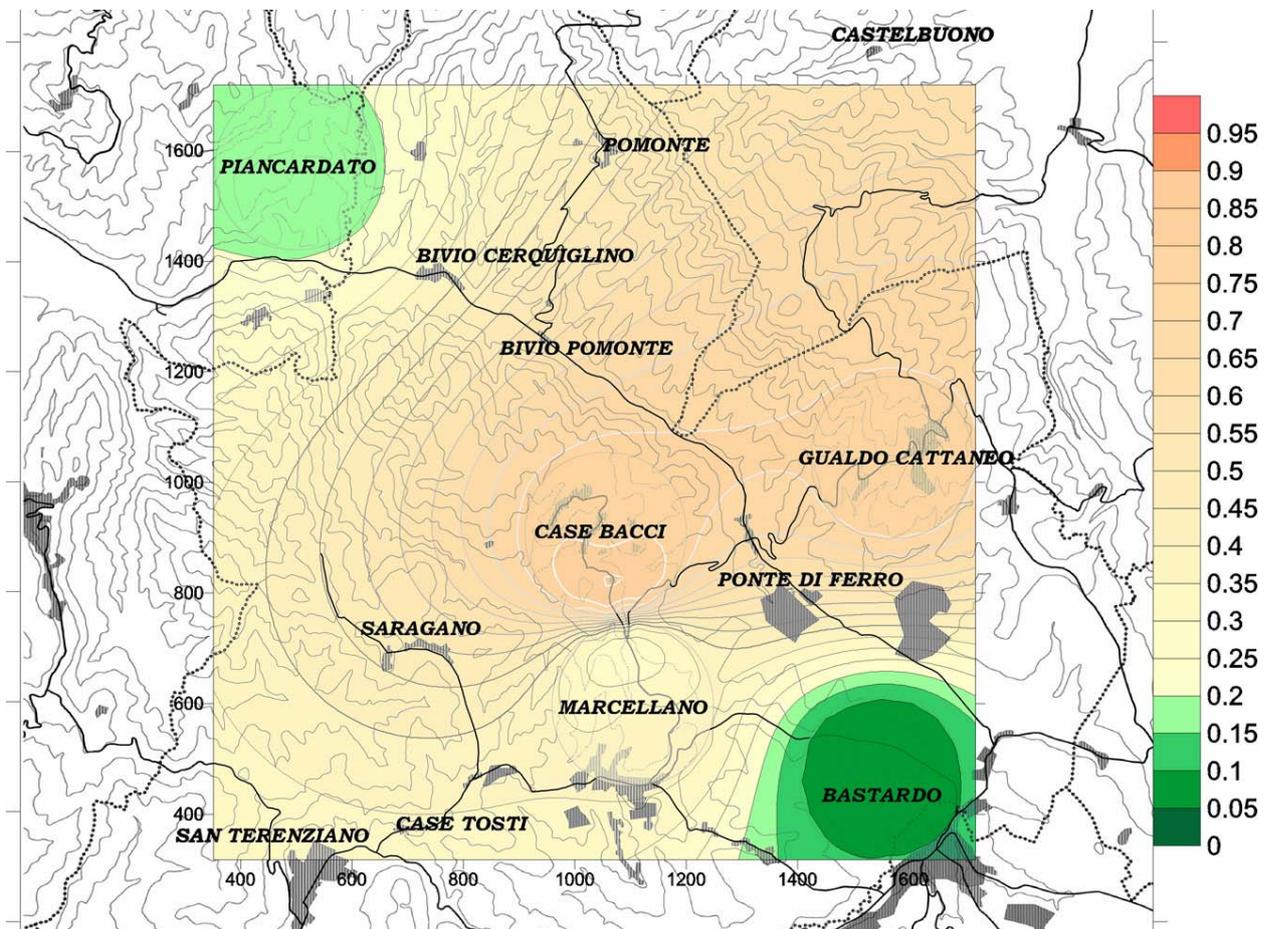


figura 98. Piombo 2005 (mg/kg)

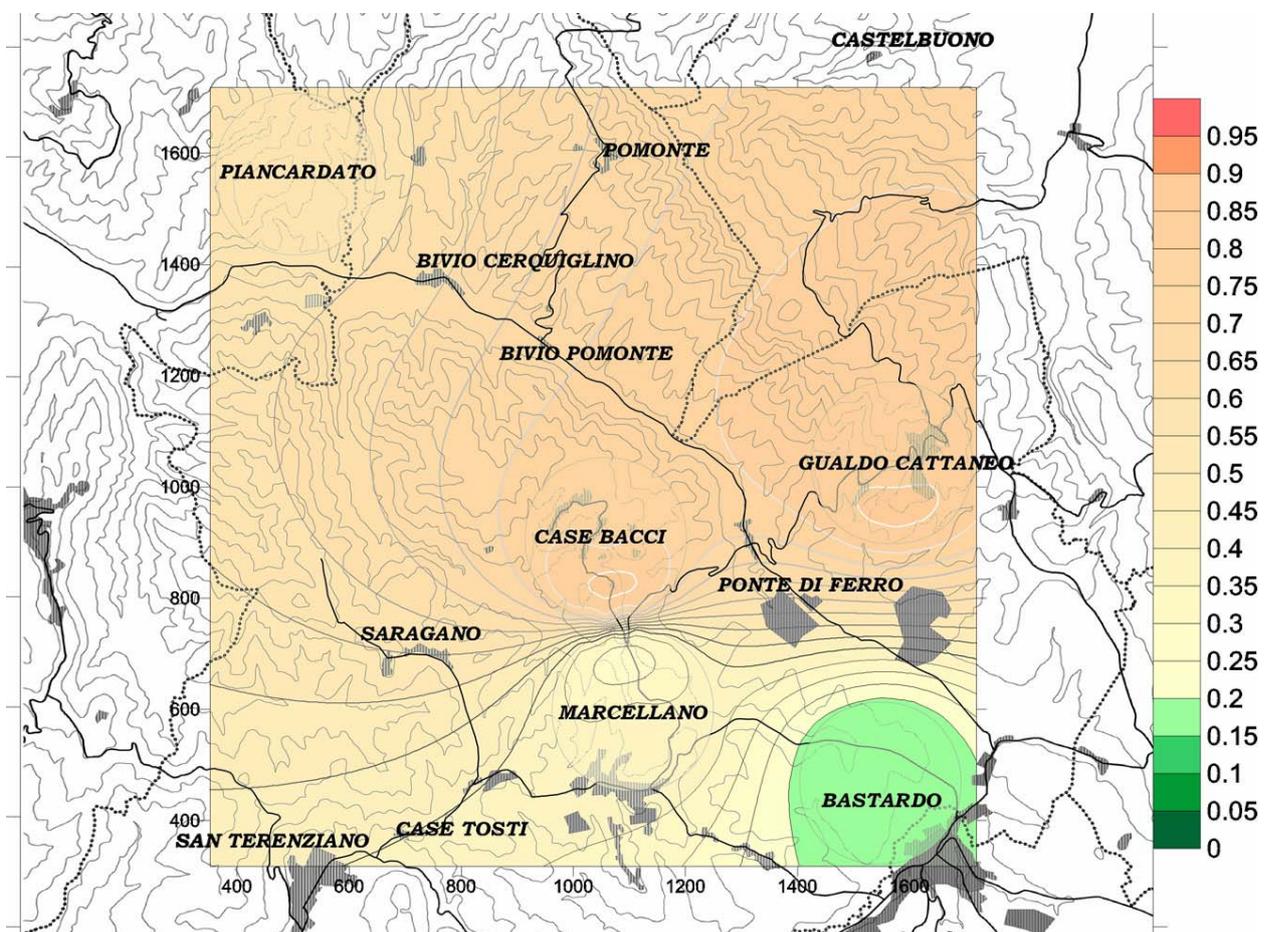


figura 99. Piombo 2006 (mg/kg)

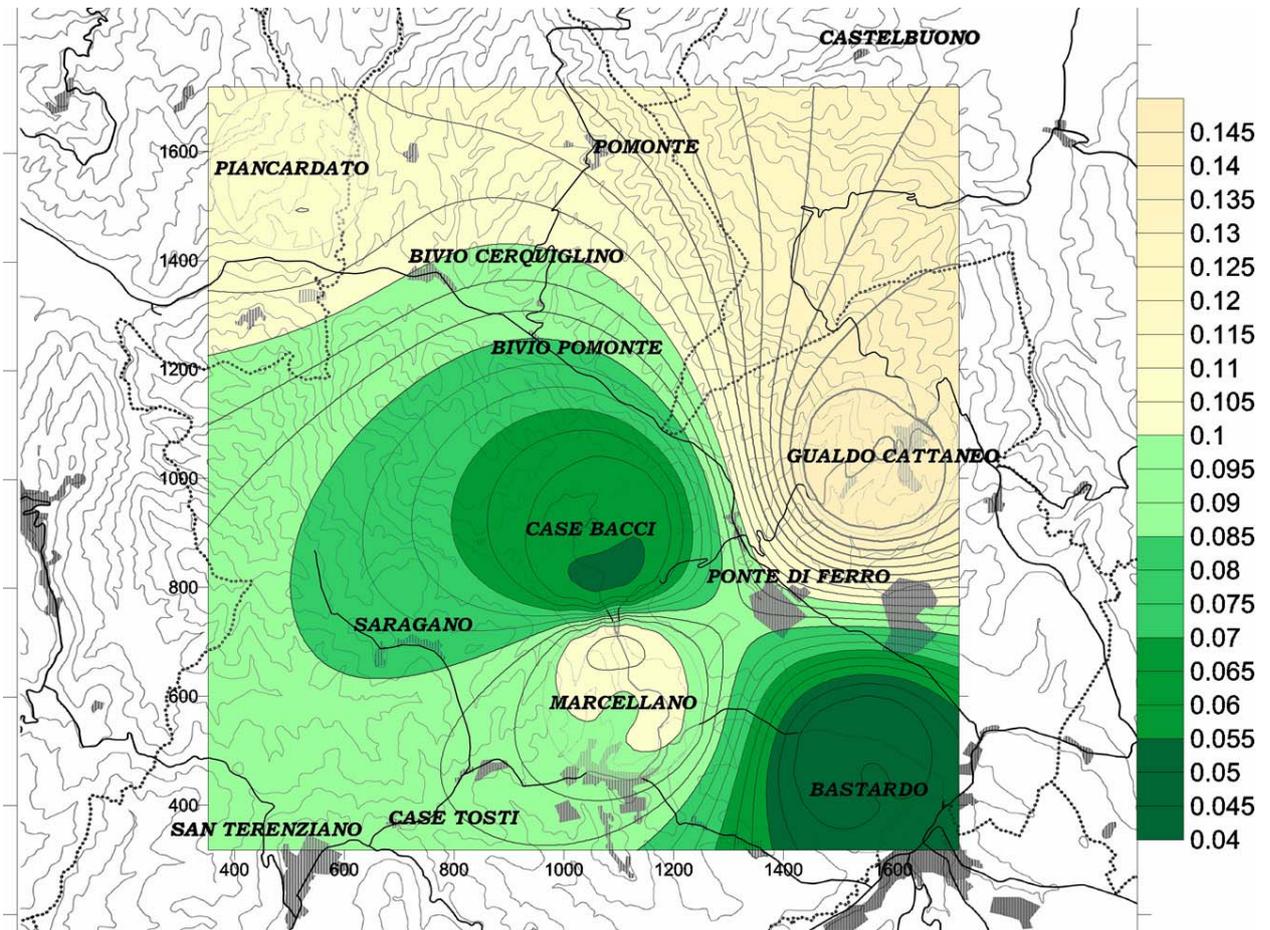


figura 100. Titanio2005 (mg/kg)

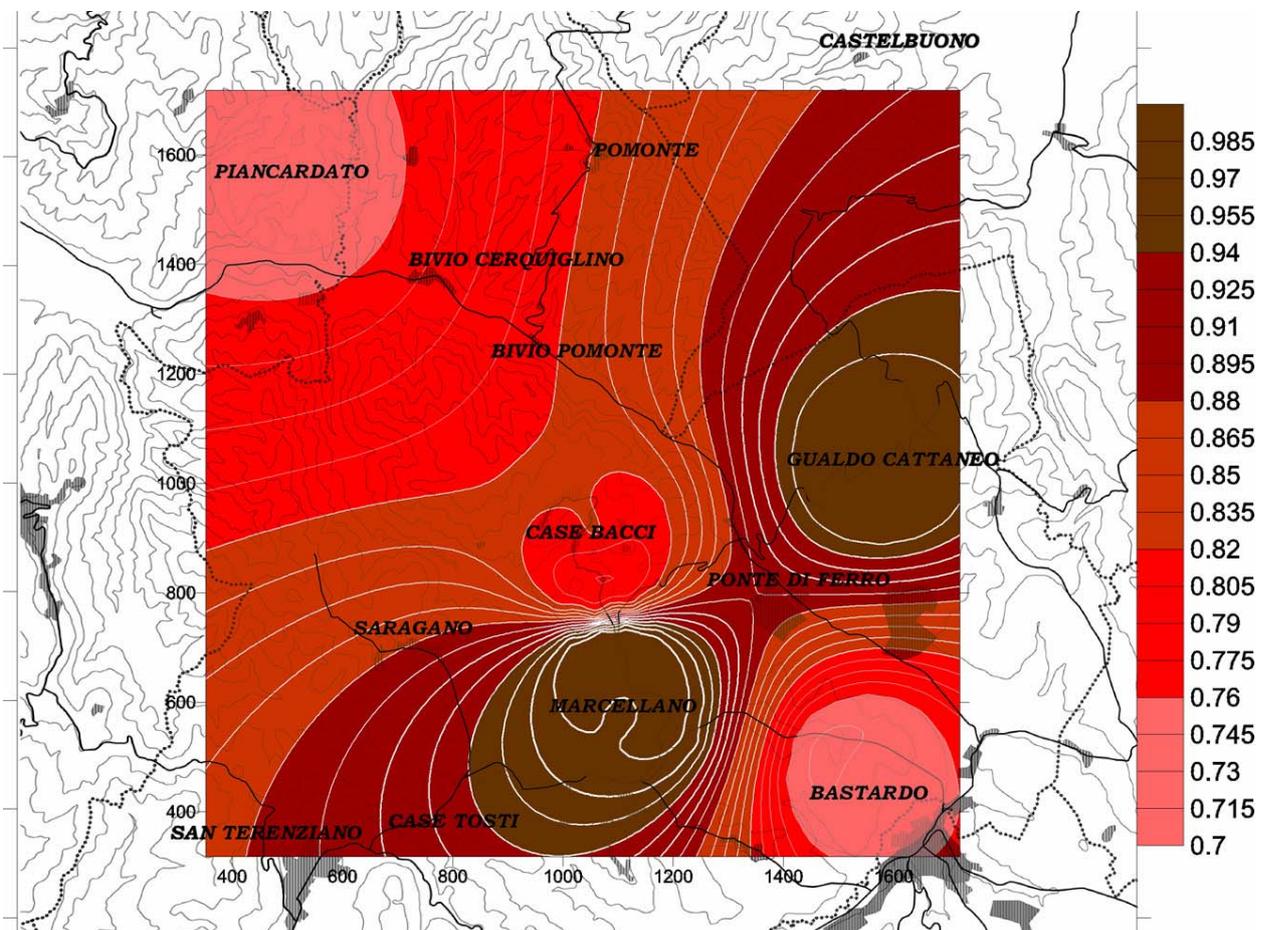


figura 101. Titanio2006 (mg/kg)

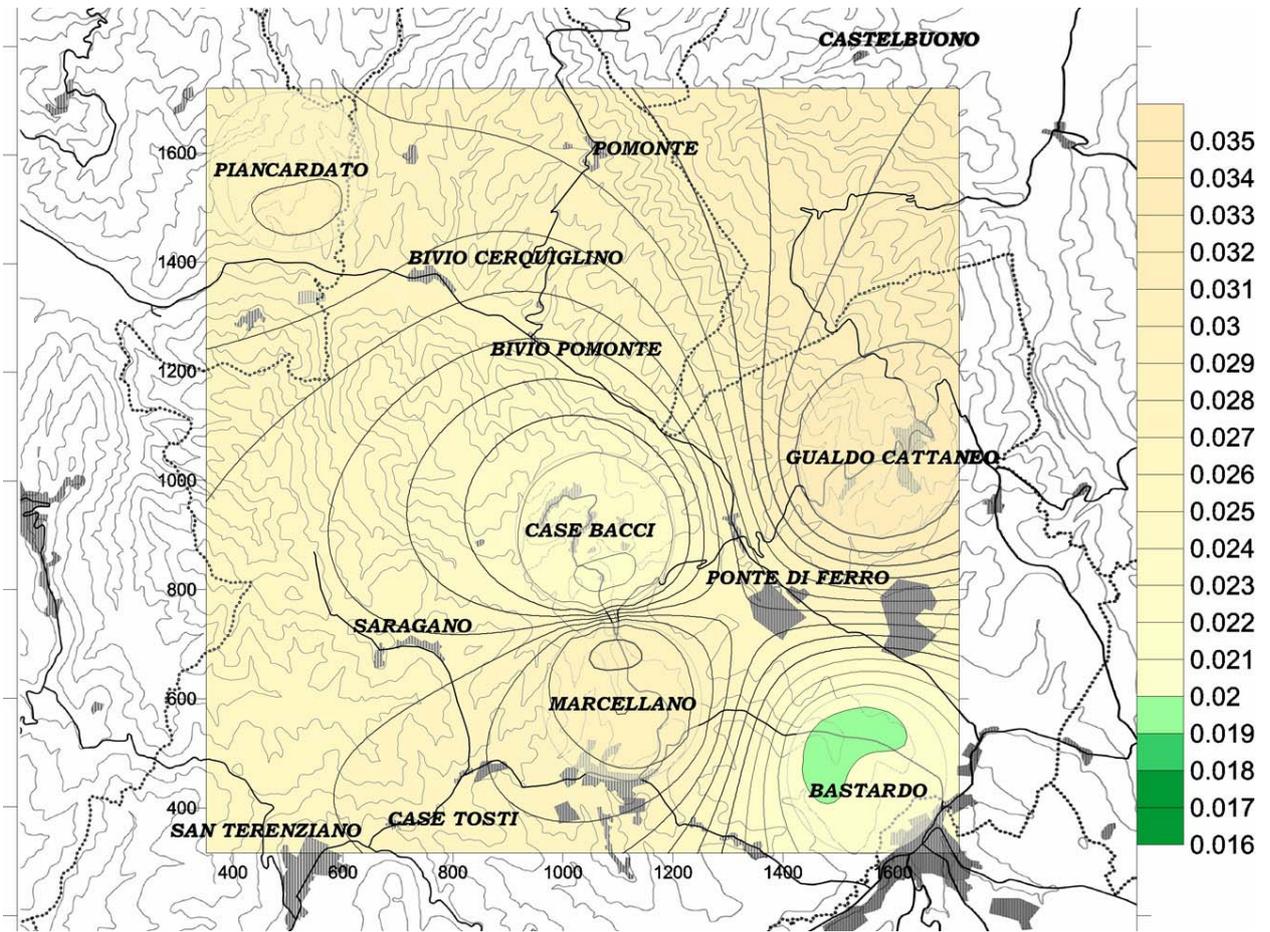


figura 102. Vanadio 2005 (mg/kg)

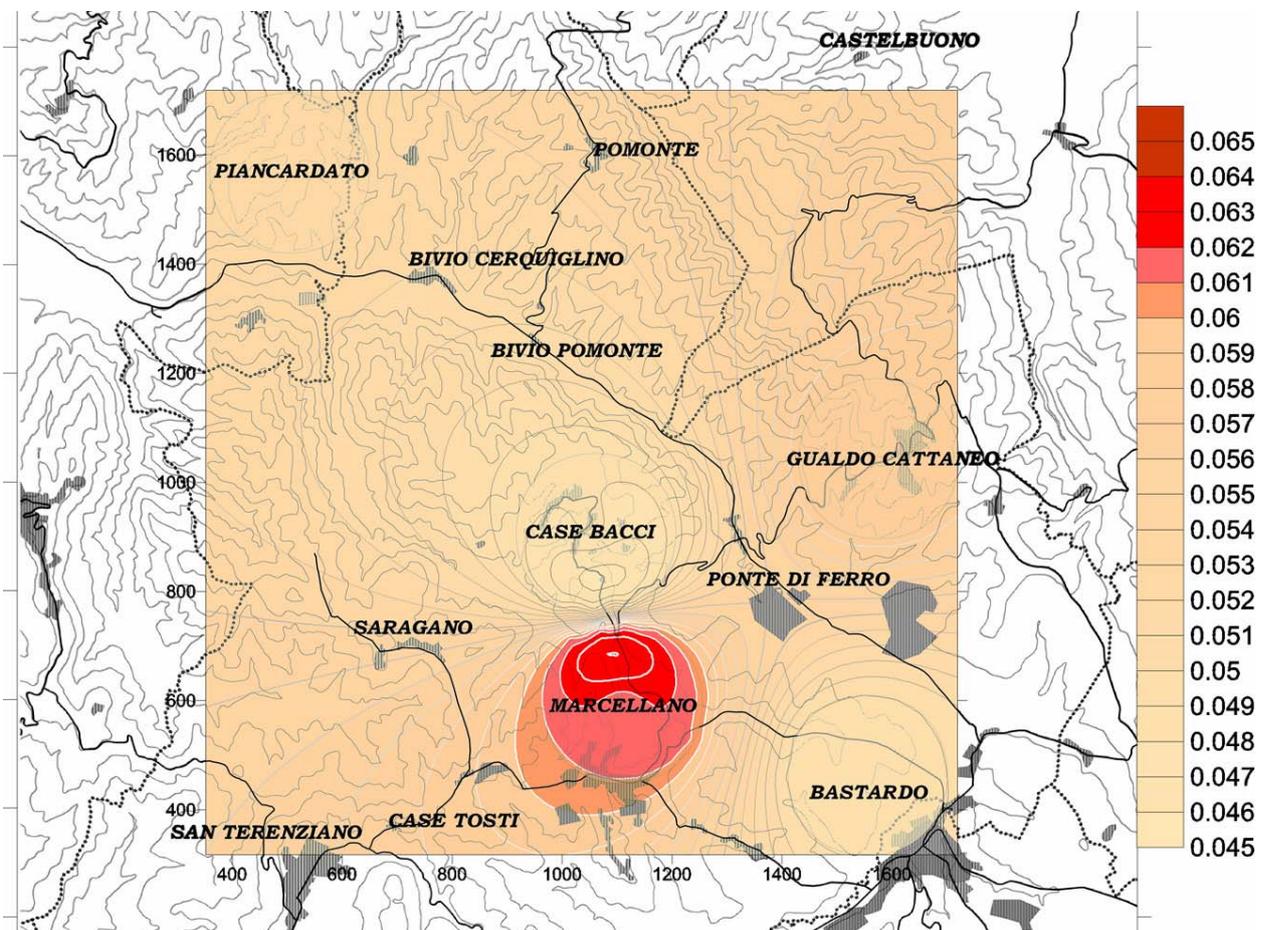


figura 103. Vanadio 2006 (mg/kg)

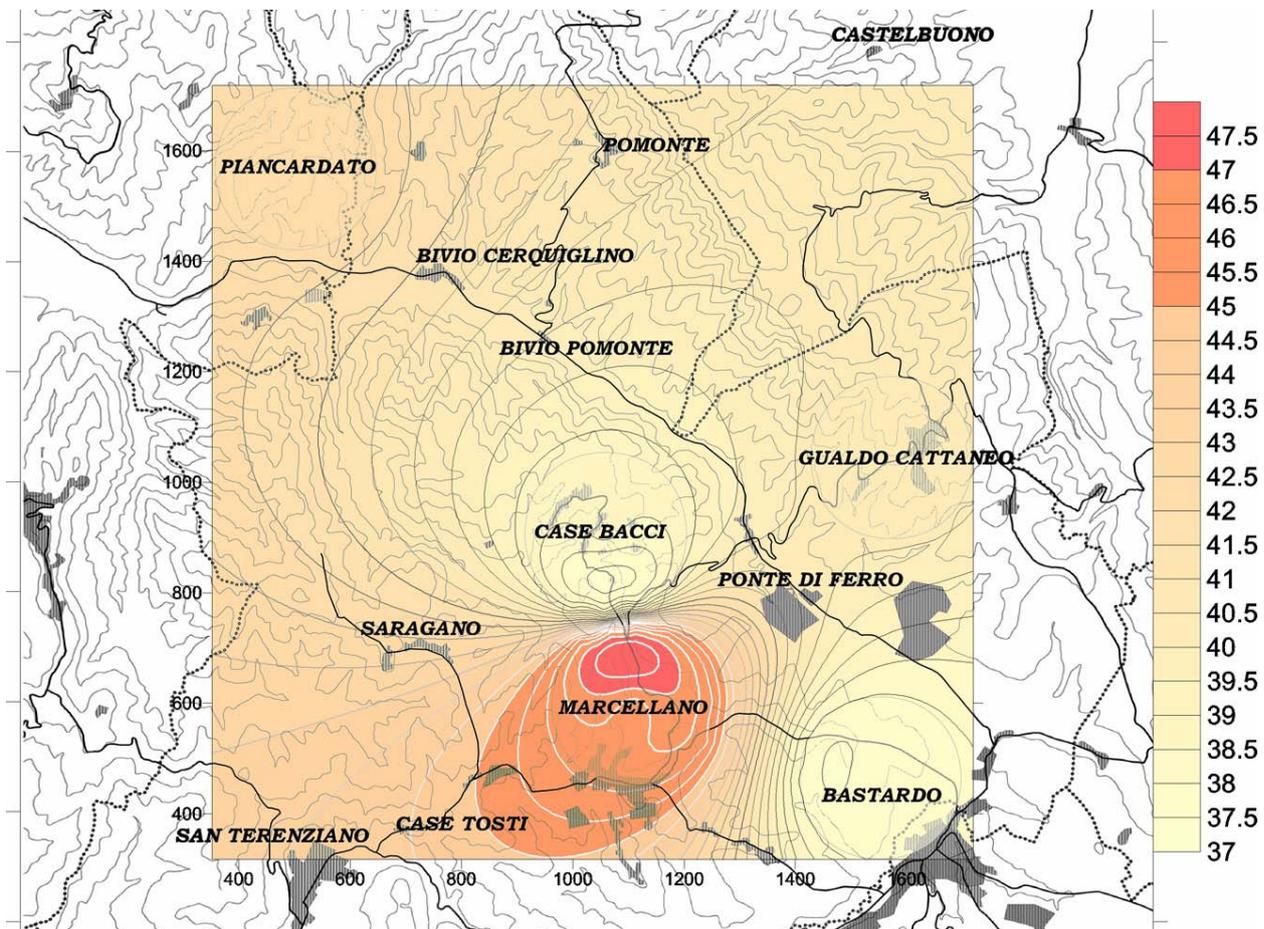


figura 104. Zinco 2005 (mg/kg)

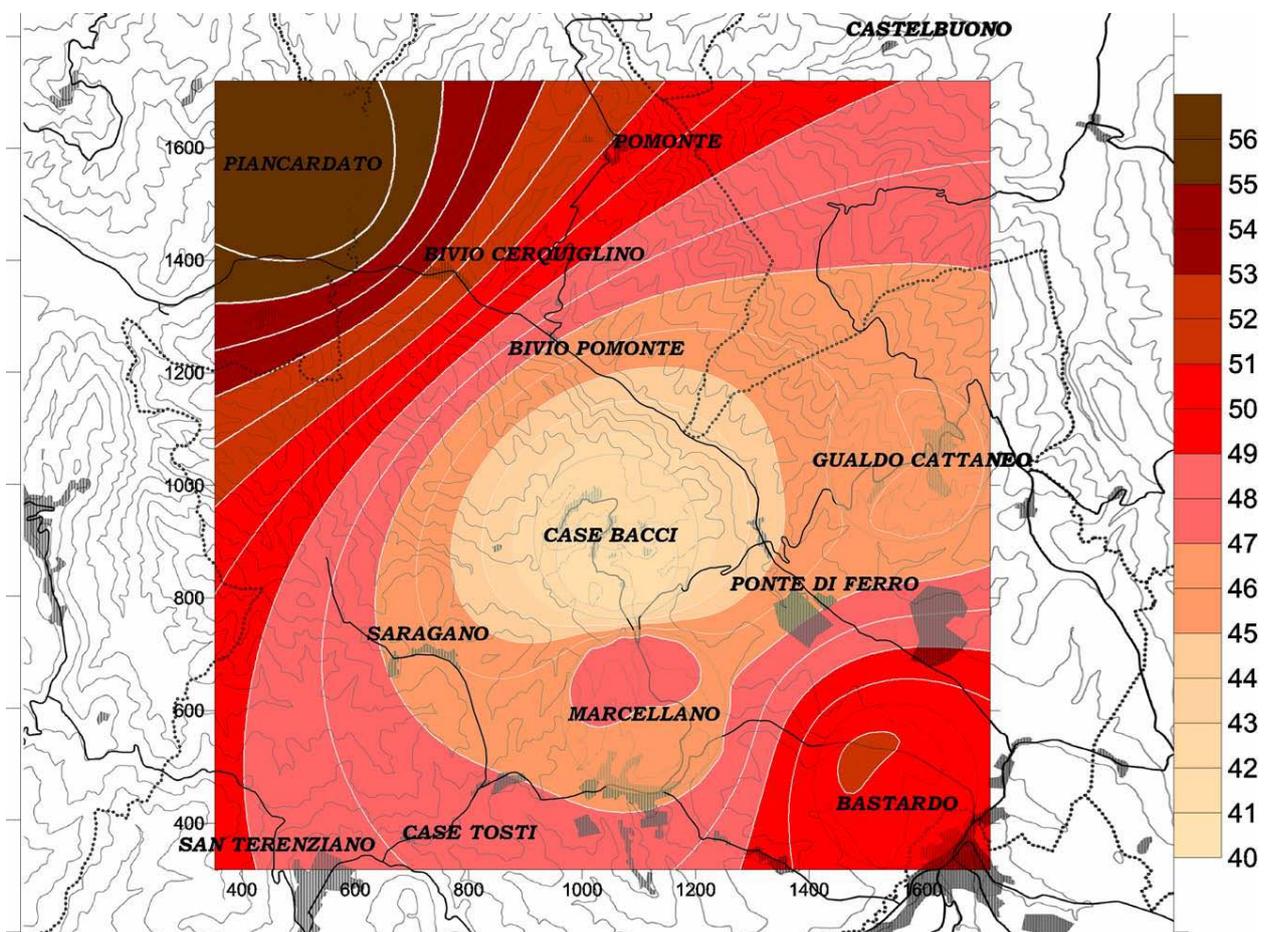


figura 105. Zinco 2006 (mg/kg)

Tabelle

tabella 4

Valori di riferimento relativi al territorio di Gubbio, di Spoleto e Gualdo Cattaneo tra il 2001 ed il 2005, espressi in mg/kg													
Valori di riferimento:	Alluminio (Al)	Arsenico (As)	Berillio (Be)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Rame (Cu)	Mercurio (Hg)	Nichel (Ni)	Piombo (Pb)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Zinco (Zn)	Benzo[a]pirene
alto	9,50	0,060	0,0020	0,095	0,085	8,00	0,010	0,250	0,90	0,250	0,060	45	0,00070
basso	4,50	0,015	0,0015	0,045	0,035	5,50	0,003	0,090	0,20	0,100	0,020	35	0,00007

tabella 5

Fattore di arricchimento calcolato in tutte le stazioni di monitoraggio - Gualdo Cattaneo 2006												
Stazioni	Piombo (Pb)	Arsenico (As)	Berillio (Be)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Rame (Cu)	Mercurio (Hg)	Nichel (Ni)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Zinco (Zn)	
<i>Gualdo Cattaneo</i>	75	9	2	330	3	288	231	4	11	2	933	
<i>Case Bacci</i>	45	21	2	460	4	83	251	4	8	2	539	
<i>Bastardo</i>	15	32	4	811	5	484	236	11	15	2	1116	
<i>Marcellano</i>	37	27	3	737	3	344	434	7	16	2	931	
<i>Piancardato</i>	56	5	2	509	4	188	350	4	9	1	594	

tabella 6

Concentrazione dei metalli (mg/kg) rilevate nel terreno, in tutte le stazioni di monitoraggio - Gualdo Cattaneo 2005												
Stazioni	Piombo (Pb)	Arsenico (As)	Berillio (Be)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Rame (Cu)	Mercurio (Hg)	Nichel (Ni)	Alluminio (Al)	Titanio (Ti)	Vanadio (V)	Zinco (Zn)
<i>Gualdo Cattaneo</i>	12,5	5,6	0,84	0,198	29,7	26,3	0,041	38,5	15250	55	29,6	51
<i>Case Bacci</i>	8,6	2,0	0,50	0,087	15,1	47,5	0,041	20,6	7486	48	13,0	46
<i>Bastardo</i>	14,2	2,7	0,60	0,149	22,0	25,1	0,075	26,7	10770	41	19,4	70
<i>Marcellano</i>	7,1	2,6	0,63	0,135	28,9	23,7	0,040	32,5	13470	34	24,2	55
<i>Piancardato</i>	8,3	3,6	0,63	0,103	24,6	26,4	0,033	29,2	12420	53	22,7	62

tabella 7

Alluminio (Al) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	43,8	47,4	8,9	10,6	27,7	20,8
Case Bacci	45,5	27,7	5,5	9,8	22,1	18,3
Bastardo	36,5	33,6	4,1	4,9	19,8	17,7
Marcellano	18,3	94,2	9,9	6,6	32,3	41,6
Piancardato	20,7	24,3	11,3	27,3	20,9	7,0
Media mese	36,03	50,70	7,09	7,97	Media G.	DS G.
DS - mese	12,45	30,13	2,75	2,69	25,45	24,22

Arsenico (As) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,0325	0,0162	0,0974	0,0162	0,0406	0,0386
Case Bacci	0,0162	0,0595	0,0974	0,0162	0,0474	0,0391
Bastardo	0,0541	0,0595	0,0649	0,0649	0,0609	0,0052
Marcellano	0,0162	0,0162	0,0974	0,0649	0,0487	0,0398
Piancardato	0,0162	0,0162	0,0325	0,0325	0,0244	0,0094
Media mese	0,0298	0,0379	0,0893	0,0406	Media G.	DS G.
DS - mese	0,0179	0,0250	0,0162	0,0281	0,0494	0,0314

Berillio (Be) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,0016	0,0065	0,0016	0,0016	0,0028	0,0024
Case Bacci	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0000
Bastardo	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0000
Marcellano	0,0016	0,0065	0,0016	0,0016	0,0028	0,0024
Piancardato	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0000
Media mese	0,0016	0,0041	0,0016	0,0016	Media G.	DS G.
DS - mese	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000	0,0022	0,0017

Cadmio (Cd) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,090	0,081	0,067	0,062	0,075	0,013
Case Bacci	0,184	0,108	0,041	0,058	0,098	0,064
Bastardo	0,064	0,048	0,062	0,130	0,076	0,037
Marcellano	0,048	0,057	0,062	0,133	0,075	0,039
Piancardato	0,141	0,064	0,057	0,065	0,082	0,039
Media mese	0,096	0,074	0,058	0,096	Media G.	DS G.
DS - mese	0,061	0,027	0,012	0,041	0,081	0,039

tabella 8

Cromo (Cr) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,148	0,163	0,098	0,086	0,124	0,038
Case Bacci	0,198	0,178	0,091	0,077	0,136	0,061
Bastardo	0,120	0,130	0,074	0,085	0,102	0,027
Marcellano	0,096	0,208	0,080	0,091	0,119	0,060
Piancardato	0,163	0,119	0,147	0,134	0,141	0,019
Media mese	0,1406	0,1696	0,0859	0,0846	Media G.	DS G.
DS - mese	0,0435	0,0326	0,0110	0,0057	0,120	0,045

Rame (Cu) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	14,4	14,5	7,1	5,9	10,5	4,6
Case Bacci	9,4	13,1	5,2	4,7	8,1	4,0
Bastardo	22,3	17,6	8,5	6,4	13,7	7,5
Marcellano	11,5	11,2	7,7	5,9	9,1	2,7
Piancardato	7,9	8,6	7,5	5,4	7,4	1,4
Media mese	14,4	14,1	7,1	5,7	Media G.	DS G.
DS - mese	5,6	2,7	1,4	0,7	10,3	5,0

Mercurio (Hg) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,0094	0,0144	0,0109	0,0080	0,0107	0,0028
Case Bacci	0,0119	0,0103	0,0207	0,0110	0,0135	0,0048
Bastardo	0,0180	0,0177	0,0152	0,0089	0,0150	0,0042
Marcellano	0,0098	0,0283	0,0074	0,0236	0,0173	0,0102
Piancardato	0,0092	0,0292	0,0182	0,0138	0,0176	0,0086
Media mese	0,0123	0,0177	0,0135	0,0129	Media G.	DS G.
DS - mese	0,0040	0,0077	0,0057	0,0072	0,0141	0,0061

Nichel (Ni) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,274	0,247	0,106	0,170	0,199	0,076
Case Bacci	0,306	0,316	0,083	0,099	0,201	0,127
Bastardo	0,227	0,451	0,222	0,168	0,267	0,126
Marcellano	0,364	0,299	0,131	0,214	0,252	0,101
Piancardato	0,196	0,319	0,145	0,144	0,201	0,082
Media mese	0,293	0,328	0,135	0,163	Media G.	DS G.
DS - mese	0,057	0,087	0,061	0,047	0,230	0,103

tabella 9

Piombo (Pb) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,578	0,477	0,500	1,770	0,831	0,627
Case Bacci	1,179	1,000	0,607	0,309	0,774	0,391
Bastardo	0,243	0,175	0,103	0,204	0,181	0,059
Marcellano	0,373	0,701	0,268	0,152	0,373	0,237
Piancardato	0,666	0,269	1,085	0,290	0,577	0,384
Media mese	0,593	0,588	0,369	0,609	Media G.	DS G.
DS - mese	0,414	0,349	0,227	0,777	0,540	0,447

Titanio (Ti) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	1,419	1,442	0,477	0,503	0,960	0,543
Case Bacci	1,367	1,028	0,442	0,455	0,823	0,454
Bastardo	1,177	1,117	0,354	0,383	0,758	0,450
Marcellano	0,575	2,471	0,445	0,412	0,976	0,999
Piancardato	0,737	0,844	0,581	0,838	0,750	0,123
Media mese	1,134	1,514	0,429	0,438	Media G.	DS G.
DS - mese	0,387	0,662	0,053	0,052	0,879	0,591

Vanadio (V) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,078	0,075	0,045	0,036	0,058	0,021
Case Bacci	0,081	0,054	0,023	0,036	0,048	0,025
Bastardo	0,075	0,066	0,029	0,026	0,049	0,025
Marcellano	0,032	0,149	0,032	0,029	0,061	0,059
Piancardato	0,071	0,055	0,036	0,049	0,053	0,015
Media mese	0,067	0,086	0,032	0,032	Media G.	DS G.
DS - mese	0,023	0,043	0,010	0,005	0,054	0,033

Zinco (Zn) in mg/kg						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	48,1	34,4	58,8	42,9	46,0	10,2
Case Bacci	48,4	50,1	39,0	32,2	42,4	8,4
Bastardo	39,0	44,8	57,8	61,4	50,7	10,6
Marcellano	49,7	44,2	41,2	52,3	46,8	5,0
Piancardato	78,6	48,1	46,8	52,0	56,3	15,0
Media mese	46,3	43,4	49,2	47,2	Media G.	DS G.
DS - mese	4,9	6,5	10,5	12,5	46,5	8,5

tabella 10

Benzo[a]Pirene in $\mu\text{g}/\text{kg}$						
Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Media Staz.	DS Staz.
Gualdo C.	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000
Case Bacci	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000
Bastardo	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000
Marcellano	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000
Piancardato	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000
Media mese	0,016	0,016	0,016	0,016	Media G.	DS G.
DS - mese	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000

tabella 11

2006 - Dati meteorologici, per decade, nell'area di Gualdo Cattaneo (Bastardo)			
<i>Mese</i>	<i>Decade</i>	<i>Precipitazioni (mm di pioggia)</i>	<i>Temperatura media (°C)</i>
Gennaio	1 ^a	41,0	3,0
	2 ^a	9,5	2,0
	3 ^a	2,8	3,6
Febbraio	1 ^a	0,0	4,4
	2 ^a	54,6	5,6
	3 ^a	46,7	5,2
Marzo	1 ^a	42,7	6,1
	2 ^a	19,1	4,9
	3 ^a	10,0	10,3
Aprile	1 ^a	17,4	12,0
	2 ^a	42,0	11,5
	3 ^a	23,1	14,2
Maggio	1 ^a	11,2	14,1
	2 ^a	7,8	17,1
	3 ^a	0,2	18,5
Giugno	1 ^a	4,2	13,8
	2 ^a	0,0	20,9
	3 ^a	0,2	26,0
Luglio	1 ^a	21,9	22,7
	2 ^a	0,0	24,1
	3 ^a	97,8	24,8
Agosto	1 ^a	37,2	20,8
	2 ^a	16,0	21,7
	3 ^a	36,3	19,7
Settembre	1 ^a	0,0	21,7
	2 ^a	60,0	18,4
	3 ^a	26,8	17,2
Ottobre	1 ^a	1,0	16,5
	2 ^a	3,9	13,1
	3 ^a	32,1	15,8
Novembre	1 ^a	7,5	8,3
	2 ^a	12,7	10,9
	3 ^a	27,9	7,7
Dicembre	1 ^a	17,6	8,9
	2 ^a	15,5	5,4
	3 ^a	0,1	5,4

tabella 12. I numeri indicano quale posizione ogni stazione occupa nella graduatoria dei valori medi (da 1 a 5) o di picco (da 1 a 6) più elevati per ogni elemento.

2005	Gualdo C.		Case Bacci		Bastardo		Marcellano		Piancardato	
Elemento	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco
Al	1°	1°e 5°	4°	6°	5°	6°	2°	2°e 4°	3°	2°
As	4°	3°	4°	3°	1°	1°, 2°e 3°	2°	3°	2°	3°
BaP	4°	4°	2°	5°	5°	6°	2°	1°	1°	2°e 3°
Be										
Cd	2°	2°	1°	1°e 5°	5°	6°	3°	3°	4°	4°
Cr	1°	1°e 2°	3°	6°	4°	6°	2°	3°, 4°e 5°	5°	6°
Cu	3°	2°e 4°	4°	6°	4°	3°	2°	5°	1°	1°
Hg	4°	2°	1°	1°e 4°	2°	3°e 5°	2°	5°	4°	6°
Ni	3°	3°e 5°	1°	1°e 4°	5°	6°	2°	2°	4°	5°
Pb	2°	2°, 4°e 5°	1°	1°e 3°	5°	6°	3°	6°	4°	6°
Ti	1°	2°e 3°	4°	6°	5°	6°	3°	4°e 5°	2°	1°
V	1°	1°, 3°e 5°	4°	5°	5°	6°	2°	3°e 5°	2°	2°
Zn	3°	5°	4°	6°	5°	6°	1°	1°e 4°	2°	2°e 3°
n. di volte 1°	4	3	4	4	1	1	1	2	2	2
n. di volte 2°	2	6	1	0	1	1	8	2	4	4
n. di volte 3°	3	4	1	2	0	3	3	4	1	3
n. di volte 4°	3	3	6	2	2	0	0	4	4	1
n. di volte 5°	0	5	0	3	8	1	0	5	1	1
n. di volte 6°	0	0	0	5	0	9	0	1	0	3

tabella 13. I numeri indicano quale posizione ogni stazione occupa nella graduatoria dei valori medi (da 1 a 5) o di picco (da 1 a 6) più elevati per ogni elemento.

2006 Elemento	Gualdo C.		Case Bacci		Bastardo		Marcellano		Piancardato	
	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco	Medie	Picco
Al	2°	2°e 4°	3°	3°	5°	5°	1°	1°	4°	6°
As	4°	1°	3°	1°	1°	4°	2°	1°e 4°	5°	6°
BaP										
Be	1°	1°e 3°	3°	3°	3°	3°	1°	1°e 3°	3°	3°
Cd	3°	6°	1°	1°e 5°	3°	4°	3°	3°	2°	2°
Cr	3°	4°	2°	2°e 3°	5°	6°	4°	1°	1°	4°
Cu	2°	3°e 3°	4°	5°	1°e 2°	1°e 2°	3°	6°	5°	6°
Hg	5°	6°	4°	4°	3°	5°	2°	2°e 3°	1°	1°
Ni	3°	6°	3°	3°e 5°	1°	1°	2°	2°	3°	3°
Pb	1°	1°	2°	2°e 4°	5°	6°	4°	5°	3°	3°
Ti	2°	2°e 3°	3°	4°	4°	5°	1°	1°	5°	6°
V	2°	3°e 4°	4°	2°	4°	4°	1°	1°	3°	6°
Zn	4°	3°	5°	6°	2°	2°e 4°	3°	5°	1°	1°
n. di volte 1°	2	3	1	2	3	1	4	6	3	2
n. di volte 2°	4	2	2	3	2	2	3	2	1	1
n. di volte 3°	3	6	5	4	3	1	3	2	4	3
n. di volte 4°	2	3	3	3	2	4	2	1	1	1
n. di volte 5°	1	0	1	2	3	3	0	2	3	0
n. di volte 6°	0	3	0	1	0	2	0	1	0	5

tabella 14. Gualdo Cattaneo (matrice Api): confronto fra i dati ottenuti (media e deviazione standard) nei due anni di indagine.

Anno	Al	As	Be	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Ti	V	Zn	BaP
2005	7,82 (5,6)	0,026 (0,012)	0,0018 (0)	0,096 (0,102)	0,082 (0,081)	6,5 (1,5)	0,0113 (0,003)	0,238 (0,151)	0,494 (0,514)	0,087 (0,076)	0,026 (0,012)	40,7 (7,4)	0,212 (0,221)
2006	25,4 (24,2)	0,049 (0,031)	0,0022 (0,0017)	0,081 (0,039)	0,12 (0,045)	10,3 (5)	0,014 (0,0061)	0,23 (0,103)	0,54 (0,447)	0,879 (0,591)	0,054 (0,033)	46,5 (8,5)	0,016 (0)

SESSIONE LICHENI - BIOACCUMULO

19 - INTRODUZIONE

Scopo del presente lavoro era quello di ripetere le misure di bioaccumulo lichenico effettuate nel 2005 nell'area circostante la CTE di Gualdo Cattaneo, al fine di esaminare l'evoluzione qualitativa e spazio-temporale della contaminazione da metalli potenzialmente nocivi e/o riconducibili alle emissioni in atmosfera dell'impianto termoelettrico.

Si è pertanto proceduto come l'anno precedente, e cioè applicando la medesima metodica di biomonitoraggio e utilizzando quale bioaccumulatore la stessa specie lichenica (*Xanthoria parietina*). Per i dettagli sugli aspetti metodologici si rimanda al rapporto del 2005. Sono stati esaminati i seguenti elementi: Al, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Ti, Zn.

I campionamenti sono stati effettuati in 16 punti-stazione, 4 in meno rispetto all'anno precedente. Le stazioni non ri-campionate sono: S5, S9, S12 mentre le stazioni S1 e S2 sono state accorpate in una sola (S1_2) sita in posizione intermedia. Inoltre, in due casi si è dovuto ricorrere ad uno spostamento della stazione a causa della carenza di materiale lichenico idoneo al campionamento. L'elenco dei siti di monitoraggio è riportato nella sottostante tabella 1

Tabella 1. Elenco località delle stazioni

Stazioni	Località
S1_2	C.le Fontivecchie
S3	Collesecco
S4	Marcellano
S6	Le Corone
S7	Centrale elettrica
S8	C.se Nuove
S10	Gualdo Cattaneo
S11	Colletino
S13	Villa Reginaldo
S14	C. Polacco
S15	Cantinone
S16	Villa dell' Oro
S17	S. Andrea
S18	Costarelle
S19	Pian dei Bacci
S20	Mad.na della Puglia

Una variante metodologica rispetto al 2005 riguarda le “scale di alterazione” utilizzate come riferimento per l'interpretazione dei risultati in termini di magnitudo della contaminazione e nella

elaborazione delle carte di deposizione dei singoli elementi esaminati. Tali scale sono basate sull'analisi di centinaia di misure svolte in Italia, in aree con diverse situazioni geomorfologiche e con diversi tassi di inquinamento, seguendo procedure analoghe a quelle utilizzate nel presente lavoro. Le scale dei diversi metalli, divise in sette intervalli stabiliti sulla base di diversi percentili, esprimono la deviazione dei valori di concentrazione da condizioni "naturali".

Nello studio del 2005 erano state utilizzate le Scale di Alterazione/Naturalità proposte da Nimis & Bargagli (1999) in sede ANPA. Tuttavia, le scale di Nimis e Bargagli, peraltro presentate come prima approssimazione dagli stessi Autori, sono state recentemente messe in discussione in quanto basate su indagini in cui non era stata impiegata sempre la stessa specie di lichene, mentre non è reperibile in letteratura alcuno studio che dimostri che i risultati ottenuti utilizzando specie licheniche diverse tra loro siano effettivamente confrontabili. Superando tale limite, Tretiach & Baruffo (2001) hanno formulato una scala analoga basata però solo su misure effettuate nel lichene *Xanthoria parietina*, lo stesso utilizzato in questa sede. Più recentemente, in sede SLI (Società Lichenologica Italiana), sono state proposte anche nuove definizioni per le diverse classi di qualità: non si parla più infatti di "Alterazione/naturalità" ma, più correttamente, solo di "Alterazione". Per l'interpretazione dei risultati si è dunque optato per queste nuove scale di alterazione (tab.2), integrandole con quei metalli che non vi erano contemplati e per i quali è stato possibile reperire in letteratura un congruo numero di misure effettuate in talli di *Xanthoria parietina*. Tali elementi sono Pb e V. Per quanto riguarda Be e Ti invece, data la carenza di misure disponibili, si è preferito utilizzare ancora la scala Nimis-Bargagli. Pertanto, le elaborazioni cartografiche e le interpretazioni riferite a titanio e berillio hanno un significato meramente indicativo.

20 - RISULTATI

Commento ai singoli metalli

20.1 - ALLUMINIO

Il valore di background stimato in Italia nei talli lichenici è intorno a 350 ppm, simile a quello relativo a *Xanthoria parietina*. Nell'area di studio il valore di background è pari a 429 ppm e la concentrazione media è di 1111 ppm.

Gli arricchimenti di questo metallo variano da un massimo di 2043 ppm a un minimo di 429 ppm. Il valore massimo è stato rilevato nelle stazioni n° 4 e 14, site rispettivamente in località Marcellano (2938 m dalla Centrale Enel) e località C.Polacco (2123 m dalla CTE); a seguire, si segnalano la n° 13 (1514 ppm), la n° 15 (1375 ppm), la n° 11 (1350 ppm) e la n° 1_2 (1167 ppm) situate rispettivamente in località Villa Reginaldo a 652 m dalla CTE, in loc. Cantinone a 3837 m, in loc. Colletino a 1564 m e in loc. C.le Fontivecchie a 1806 m dalla Centrale. Le stazioni più contaminate ricadono nella fascia corrispondente ad una alterazione alta.

Il valore minimo è stato rilevato in località Pian dei Bacci (stazione n° 19) a 2160 m dalla CTE.

Dal punto di vista spaziale, l'alluminio presenta un pattern in cui i maggiori livelli di alterazione interessano il settore meridionale mentre le migliori condizioni riguardano le estreme porzioni NE e NO dell'area indagata.

La contaminazione media non si discosta da quella misurata nel 2005 così come il rapporto max/min.

20.2 - BERILLIO

Il valore di background nell'area di studio è pari a 0.02 ppm, in linea con quello tipico dei licheni sul territorio nazionale. La concentrazione media corrisponde a 0.10 ppm e ricade quindi nella fascia di alterazione bassa. La massima concentrazione di questo elemento è pari a 0.25 ppm ed è stata riscontrata nella stazione n° 4 situata a 2938 m dalla CTE in loc. Marcellano che presenta anche i massimi di concentrazione per cromo e titanio e alte concentrazioni di vanadio, nichel e alluminio. Il valore minimo è di 0.02 ppm ed è stato rilevato nella stazione n° 19, in località Pian dei Bacci, questa stazione dista 2160 m dalla CTE in direzione N-NO in cui si riscontrano anche i valori minimi per la maggior parte dei metalli (nichel, vanadio, alluminio, cromo, rame, titanio e berillo).

Rispetto al 2005, il berillio mostra il maggior incremento sia come media (+ 60%) ma soprattutto come valore massimo, che cresce di ben 3 volte. Inoltre, ben 9 stazioni su 16 presentano concentrazioni maggiori rispetto al massimo registrato nel 2005.

Il pattern distributivo del berillio corrisponde abbastanza bene con quello di alluminio, vanadio, titanio e cromo, esibendo massimi di contaminazione nelle aree a sud della CTE e minimi nei quadranti settentrionali.

20.3 - CADMIO

Il valore di background del cadmio riscontrato in Italia nei talli lichenici è intorno a 0.2 ppm mentre quello in *Xanthoria parietina* corrisponde a 0.17 ppm. Nell'area di studio il background è molto più basso, pari a 0.05 ppm; la concentrazione media è di 0.16 ppm, un po' maggiore rispetto al 2005 (0,11 ppm). Il valore di massima concentrazione è di 0.38 ppm, quasi doppio rispetto al 2005, ed è stato riscontrato nella stazione n° 13 situata in loc. Villa Reginaldo (stazione che fa rilevare anche il massimo per l'alluminio). Un'altra stazione con arricchimenti abbastanza elevati è la n° 14, ubicata in località C.Polacco. Il minimo, di 0.05 ppm, è stato rilevato nella stazione n° 10, sita nei pressi del centro cittadino di Gualdo Cattaneo; questa stazione dista 1594 m dalla CTE in direzione N. Per il cadmio la quasi totalità dei valori ricade nelle fasce di alterazione assente e bassa, ad eccezione delle due stazioni più contaminate, che ricadono nella fascia di alterazione medio bassa. Il comportamento del cadmio non si discosta in modo significativo da quanto registrato nel 2006.

20.4 - CROMO

Il valore di background nei talli lichenici in Italia è intorno a 1.2 ppm, mentre Il fondo naturale misurato in *Xanthoria parietina* equivale a 1.5 ppm. Nell'area di studio è stato misurato un background pari 0.8 ppm. Il valore medio è di 1.8 ppm, leggermente superiore al valore di background in Italia; il massimo è di 3.8 ppm e il minimo di 0.8 ppm. Il campione che presenta la massima contaminazione da cromo è situato nella stazione n° 4, in località Marcellano che ricade nella fascia di alterazione media; in questa stazione è stata anche riscontrata la massima concentrazione di alluminio, e valori superiori alla media di vanadio, rame e piombo. Oltre alla n° 4, le altre stazioni più contaminate, che rientrano nella fascia di alterazione medio-bassa, sono: la n° 14 (3.2 ppm) situata in loc. C.Polacco, e la n° 1_2 (2.8 ppm) a C.le Fontivecchie, distanti rispettivamente 2123 m e 1806 m dalla CTE. Le concentrazioni più basse sono state rilevate nelle stazioni n° 19 e n° 7, situate rispettivamente a Pian dei Bacci e a ridosso della Centrale Elettrica.

Come per altri elementi, anche il cromo presenta massimi di contaminazione nei quadranti meridionali mentre i settori privi di alterazione sono quelli Nord-orientale e Nord-occidentale.

La contaminazione media è in linea con quella riscontrata nel 2005, anche se i patterns distributivi dei due anni di monitoraggio presentano difformità.

20.5 - MERCURIO

Nell'area di studio è stato riscontrato un valore di background pari a 0.07 ppm, identico a quello rilevato nei talli lichenici in Italia. La concentrazione media del mercurio nella zona in esame è di 0.10 ppm, analoga a quella rilevata nel 2005, con un massimo di 0.13 ppm nelle stazioni n°3 e n° 14 distanti dalla CTE rispettivamente 2292 m (loc. Collesecco) e 2123 m (loc. C.Polacco) e un minimo di 0.07 ppm rilevato nelle stazioni n° 16 e n° 19 che si trovano rispettivamente in località Villa dell'Oro e Pian dei Bacci a 1230 m e 2160 m dalla CTE. Quasi tutte le stazioni ricadono nella fascia di alterazione medio-bassa, escluse la 6, 8, 10, 11 e 13 che appartengono alla classe di alterazione bassa. La mappa di contaminazione evidenzia patterns geografici con massimi di contaminazione nella porzione meridionale e occidentale. La contaminazione del 2006 ricalca quella del 2005; inoltre le tre stazioni più alterate del 2006 figuravano tra le più inquinate anche l'anno precedente.

20.6 - NICHEL

Il valore di background per questo metallo nell'area di studio è di 0.8 ppm, inferiore a quello riscontrato nei talli lichenici in Italia, che coincide con quello di *Xanthoria parietina* (1 ppm). La concentrazione media è pari a 1.7 ppm e ricade quindi nella fascia di alterazione bassa. La massima concentrazione rilevata è di 3 ppm, pari a 3 volte il valore di background in Italia, e corrisponde alla stazione n° 6, situata in loc. Le Corone ad una distanza di 1040 m dalla CTE in direzione S che ricade nella fascia di alterazione media. La seconda stazione come concentrazione di questo elemento (2.8 ppm) è la n° 18, sita in località Costarelle a 1263 m dalla Centrale. Il terzo valore di concentrazione più elevato (2.7 ppm) è stato riscontrato nella stazione n° 1_2 situata in loc. C.le Fontivecchie; tale stazione dista 1806 m dalla CTE in direzione SO e fa registrare anche il più alto valore di vanadio. Il valore minimo è di 0.8 ppm ed è stato rilevato nelle stazioni n° 16 (in loc. Villa dell'Oro) e 19 (in loc. Pian dei Bacci) situate rispettivamente a 1230 m e 2160 m dalla CTE e sono tra le stazioni dell'area di studio che rientrano nelle fasce di più bassa alterazione. La contaminazione esibita nel 2006 dal nichel è simile a quella del 2005 sia nel valore medio che nel

massimo e minimo. Differenze riguardano invece i patterns spaziali, anche se il settore meridionale si conferma come quello maggiormente impattato.

20.7 - PIOMBO

Il valore di background stimato in Italia nei talli lichenici è di 4 ppm, a fronte di un valore di 2.8 ppm riferito a *Xanthoria parietina*. Nell'area di studio il background è di 1.2 ppm e la concentrazione media di 2.8 ppm, quasi coincidente con quella del 2005. Il valore massimo corrisponde a 5 ppm ed è stato riscontrato nella stazione n° 14, sita in località C.Polacco ad una distanza di 2123 m dalla CTE in direzione SE, che fa rilevare anche la seconda concentrazione più alta di vanadio. Anche le stazioni n° 4, 10, 1_2 e 11 fanno rilevare arricchimenti superiori alla media, rispettivamente di 4.5 ppm, 4.3 ppm, 3.8 ppm e 3.7 ppm. Tali stazioni sono rispettivamente ubicate in loc. Marcellano, a Gualdo Cattaneo, in loc. C.le Fontivecchie ed in loc. Colletino e distanti dalla CTE rispettivamente: 2938 m, 1594 m, 1806 m e 1564 m. Le cinque stazioni più contaminate rientrano tutte nella fascia di alterazione bassa. Il valore minimo di concentrazione è pari a 1.2 ppm ed è stato rilevato nella stazione n° 6, situata in loc. Le Corone ad una distanza di 1040 m dalla CTE in direzione S. Non si riscontrano sostanziali differenze rispetto al 2005.

20.8 - RAME

Il valore di background del rame riscontrato in Italia nei talli lichenici è di 7 ppm, di poco superiore a quello riferito a *Xanthoria parietina*, mentre nell'area di studio è di 3.5 ppm; la concentrazione media è di 9 ppm. Il valore massimo, pari a 28.1 ppm, è stato rilevato nella stazione n° 11, sita in loc. Colletino a 1564 m dalla CTE. La concentrazione più bassa (3.5 ppm) è stata riscontrata nella stazione n° 19, situata a Pian dei Bacci a 2160 m dalla Centrale Enel. Le due stazioni che presentano le concentrazioni più elevate (n° 11 e n° 15) ricadono nella fascia di alterazione molto alta.

Il rame rispetto al 2005 è l'unico metallo che cresce sia nei valori medi, del 50% circa, che in quelli assoluti registrati nelle due stazioni più contaminate (+ 100%), rispetto al valore massimo registrato nel 2005.

Significativo è il fatto che per il secondo anno consecutivo la stazione n° 11, sita in loc. Colletino a 1564 m dalla CTE, si confermi come la più colpita da questo inquinante, segnalando così un probabile focolaio di contaminazione da ricercare nelle sue vicinanze.

20.9 - TITANIO

Il valore di background stimato in Italia nei talli lichenici è di 13 ppm. Nell'area di studio il background è di 26 ppm e la concentrazione media di 56 ppm. Il valore massimo corrisponde a 100 ppm ed è stato riscontrato nella stazione n° 4, sita in loc. Marcellano ad una distanza di 2938 m dalla CTE in direzione S, che fa rilevare anche le concentrazioni più alte di cromo e berillio, e valori relativamente elevati di rame, nichel e vanadio. Anche le stazioni n° 14, 1_2 e 10 fanno rilevare arricchimenti superiori alla media, rispettivamente di 81 ppm, 78 ppm e 76 ppm. La stazione più contaminata rientra nella fascia di alterazione media. Il valore minimo di concentrazione è pari a 26 ppm ed è stato rilevato nella stazione n° 19, in località Pian dei Bacci ad una distanza di 2160 m dalla CTE in direzione N-NO.

Rispetto al 2005, insieme al berillio, il titanio è il metallo che esibisce il più alto incremento sia come media (+ 55%) sia come massimo (+ 160 %). Altro dato di interesse è che tutte le stazioni hanno subito aumenti più o meno marcati.

20.10 - VANADIO

Il valore di background per questo metallo nell'area di studio è di 0.7 ppm, leggermente superiore sia a quello riscontrato nei talli lichenici in Italia (0.63 ppm), che a quello di *Xanthoria parietina* (0.4 ppm). La concentrazione media è di 1.8 ppm, mentre il valore massimo è di 3.4 ppm ed è stato rilevato nella stazione n° 1_2, situata in loc. C.le Fontivecchie a 1806 m dalla CTE e ricade nella fascia di alterazione alta. La seconda stazione più contaminata (3.2 ppm) è il sito n° 14, localizzato a C.Polacco, seguito dalla stazione n° 4 (3.1 ppm) in loc. Marcellano; quest'ultima presenta anche il massimo di concentrazione per il titanio e il cromo ed elevati contenuti di nichel, piombo e rame. Queste due stazioni, insieme alla n° 17 (2.7 ppm) ricadono nella fascia di alterazione media. Il valore minimo, pari a 0.7 ppm, è stato rilevato nella stazione n° 19, in località Pian dei Bacci ad una distanza di 2160 m dalla CTE in direzione N-NO.

Dal punto di vista spaziale, come per altri elementi quali berillio, alluminio, titanio e cromo, anche le alterazioni da vanadio interessano principalmente le aree a sud della CTE.

La contaminazione media, così come la minima, è in linea con quella del 2005, mentre scende di circa il 20% la contaminazione massima. Inoltre, la stazione con il massimo valore di vanadio nel 2006 era la seconda più contaminata nel 2005.

20.11 - ZINCO

Il valore di background nell'area di studio corrisponde a 16 ppm, inferiore sia a quello riscontrato nei talli lichenici in Italia, che è di 30 ppm, sia a quello riferito a *Xanthoria parietina* (25 ppm). La concentrazione media è pari a 25 ppm e ricade quindi nella fascia di alterazione assente. La massima concentrazione di questo elemento è pari a 37 ppm ed è stata riscontrata nella stazione n° 17 situata in loc. S. Andrea a 1405 m dalla CTE. Il valore minimo è di 16 ppm ed è stato rilevato nella stazione n° 19, in località Pian dei Bacci; questa stazione dista 2160 m dalla CTE in direzione N-NO e fa rilevare anche il minimo per la maggior parte dei metalli (nichel, vanadio, alluminio, cromo, rame, titanio e berillio). Non si registrano sostanziali variazioni rispetto al 2005.

21 - DISCUSSIONE

In base ai risultati conseguiti i diversi metalli analizzati possono essere suddivisi in due gruppi principali:

- 1) **Cadmio, piombo e zinco**: si tratta di metalli che non fanno registrare anomalie deposizionali, e che presentano valori di bioconcentrazione lichenica sempre entro o prossimi al background naturale in tutta l'area di studio. Inoltre, più di metà delle stazioni indagate non esibiscono alcuna alterazione per questi metalli.
- 2) **Alluminio, vanadio, berillio, nichel, titanio e mercurio**. Questi elementi mostrano livelli di alterazione più o meno marcati e diffusi in tutto il territorio indagato, mentre nessuna stazione ricade nella migliore classe di qualità, ovvero quella che esprime l'assenza di alterazione ambientale. I metalli in oggetto sono così ordinati in relazione ai livelli di contaminazione: Al>V>Be>Ti=Ni>Hg.

C'è poi un ultimo metallo, il **rame** che, entro un contesto territoriale connotato da buona naturalità (13 stazioni su 16 presentano infatti alterazione bassa o assente) fa registrare apprezzabili tassi di bioaccumulo in tre stazioni distanti tra loro e site ai margini del territorio indagato. Si tratta di fenomeni di contaminazione con significato strettamente locale e che meriterebbero di essere ulteriormente investigati, giacché i dati in nostro possesso non consentono, allo stato attuale, di formulare concrete ipotesi interpretative al riguardo. In ogni caso, è di particolare rilievo la conferma degli elevati tassi di contaminazione della stazione n°11 (loc. Colletino) che già nel 2005 era risultata la più "impattata" da questo metallo. Conferme di picchi relativi di contaminazione riguardano anche le stazioni n°4 ed n°14.

Concentrando l'attenzione sui metalli del secondo gruppo, si può dire che, con l'eccezione del mercurio, gli altri elementi sono comunemente considerati in letteratura di prevalente derivazione terrigena in quanto legati ai minerali argillosi presenti in diversi tipi di suolo; in particolare, nelle ricerche di monitoraggio atmosferico l'alluminio è quasi sempre considerato quale tracciante di contaminazione da suolo e, generalmente, correlazioni positive degli altri elementi con l'alluminio (come nel nostro caso) suggeriscono anche per questi una significativa componente terrigena di inquinamento. A tale proposito sono talvolta applicati indici (detti Fattori di Arricchimento: FA) basati su Al o Ti per tentare una quantificazione di questo tipo di apporto "naturale". Pur tralasciando il fatto che i FA sono oggetto di giudizi e interpretazioni controversi, se l'assunto può essere considerato accettabile - almeno in prima approssimazione -

per diversi contesti ambientali, non è considerabile altrettanto valido in aree in cui la principale fonte di inquinamento antropico è costituita da impianti termoelettrici alimentati con carbone e derivati del petrolio. In effetti, tra i metalli presenti in questi combustibili fossili l'alluminio è il più abbondante, superando di almeno un ordine di grandezza tutti i metalli pesanti, ed è sempre presente quale metallo dominante anche nei fumi emessi a seguito della combustione.

Come l'alluminio, anche nichel, titanio, berillio, mercurio e vanadio si trovano comunemente nei fumi prodotti dalla combustione di carbone, e la loro presenza in atmosfera (così come le conseguenti deposizioni al suolo) in aree dove siano attive centrali termoelettriche di tipo "tradizionale" è sempre più o meno marcatamente influenzata da tali sorgenti.

21.1 - Confronti 2005-2006

Confrontando i risultati conseguiti nelle due campagne di monitoraggio annuali (2005 e 2006), nella maggior parte dei casi non si rilevano significative sovrapposizioni dei patterns spaziali dei diversi metalli. Sebbene, dato il modesto numero di stazioni monitorate, i risultati delle analisi statistiche abbiano un significato meramente indicativo, le difformità diacroniche nella distribuzione spaziale di ciascun metallo, già evidenti ad un primo confronto visivo tra le mappe di contaminazione, è suffragata anche dai valori degli indici di correlazione dei diversi metalli calcolati per i dati del 2005/2006. Tali indici non evidenziano infatti alcuna correlazione significativa tra i dati delle due annualità.

Queste constatazioni non devono però sorprendere: in effetti, anche tralasciando la naturale variabilità insita nel dato biologico, e che potrebbe spiegare di per se parte delle differenze riscontrate, si deve considerare che l'inquinamento atmosferico, a differenza di quanto accade per acque e suolo, è un fenomeno variabile nel tempo e nello spazio in quanto influenzato da numerosi fattori. Tra questi, i parametri meteorologici giocano un ruolo fondamentale. In particolare, è noto che il regime pluviometrico e anemologico è ampiamente variabile in una determinata regione, non solo stagionalmente ma anche da un anno all'altro. Così, variazioni temporali anche relativamente modeste, ad esempio nel regime dei venti, specie in zone laddove insiste una sorgente puntiforme prevalente di emissione, possono comportare modificazioni assai marcate dei patterns spaziali degli inquinanti. Inoltre, non va dimenticato che i diversi metalli esaminati presentano tra loro differenze di comportamento per ciò che riguarda i meccanismi di rimozione dall'atmosfera. Alcuni, come ad esempio Al, Ti, V, Ni, Cr, raggiungono il suolo prevalentemente con le ricadute secche di aerosol, altri, invece, come ad esempio Cd, Zn e Pb sono prevalentemente legati alle precipitazioni piovose. Proprio per questo, anche a parità di immissioni di metalli pesanti, variazioni nel tempo del rapporto ricadute secche/ricadute umide possono comportare differenze deposizionali (e quindi di

bioconcentrazione) apprezzabili da un anno all'altro. Purtroppo la mancanza di dati meteorologici con particolare riferimento ai venti, sulla natura dei carboni impiegati e sullo stato di esercizio della CTE non consentono allo stato attuale di valutare l'incidenza effettiva di tali fattori.

Nonostante questo, l'analisi comparata dei dati del 2005 e del 2006 permette anche di evidenziare alcune costanti di una certa rilevanza e che meritano di essere rimarcate.

a) Una prima conferma riguarda la contaminazione media dei singoli metalli. Con poche eccezioni peraltro non così marcate, i tassi di bioaccumulo medi, ovvero i livelli medi di contaminazione dell'area di studio sono rimasti pressochè costanti per tutti i metalli. Le eccezioni più rimarchevoli interessano berillio e titanio, che nel 2006 fanno registrare concentrazioni sensibilmente maggiori rispetto all'anno precedente pressochè in tutte le stazioni campionate.

b) Un'altra significativa conferma rispetto ai dati del 2005 è riferita alla gerarchia in cui i metalli si ordinano in relazione al grado di contaminazione, che, se si esclude il solo berillio, in entrambi gli anni è stata la seguente: $Al > V > Ti = Ni > Hg > Cr$.

Inoltre, considerando i rimanenti metalli, se si escludono i picchi abnormi del rame in due stazioni, si può osservare come, in entrambe le campagne di biomonitoraggio questi abbiano presentato concentrazioni mediamente entro o prossime al background naturale e tipiche di ambienti sostanzialmente indisturbati.

c) Un ulteriore dato interessante è che tra i metalli meno bioconcentrati compaiono quelli considerati multifonte; elementi, tra l'altro, la cui presenza in atmosfera è scarsamente influenzata dai processi di combustione del carbonfossile. Inoltre, come nel caso di Pb, Zn e Cd si tratta anche di elementi che presentano più di altri le caratteristiche per un trasporto a lunga distanza e che, a differenza dei metalli citati in precedenza, tendono a ricadere al suolo prevalentemente con le precipitazioni piovose.

22 - CONCLUSIONI

In definitiva i risultati conseguiti nei due monitoraggi annuali sin qui compiuti, sebbene nei limiti della ricerca condotta e più volte richiamati, hanno permesso di inquadrare e confermare fenomeni di alterazione diffusi per alcuni elementi comunemente presenti, oltre che nelle polveri di natura terrigena, anche nei fumi emessi dalle centrali termoelettriche alimentate con carbon fossile. Per tutti questi elementi la produzione di energia elettrica mediante la combustione di carbone e di derivati del petrolio è considerata tra le maggiori sorgenti di contaminazione antropica. Malgrado le anomalie deposizionali misurate non appaiano tali da destare seria preoccupazione per quanto attiene gli effetti sull'ambiente e sulla salute, almeno sotto il profilo della magnitudo media annuale, i risultati conseguiti non permettono di escludere episodici picchi di contaminazione, anche severa, in aree circoscritte, ad esempio in presenza di condizioni meteorologiche sfavorevoli e/o a causa di anomalie nel normale stato di esercizio della CTE.

Il quadro complessivo non autorizza, dunque, ad ignorare o sottovalutare le situazioni di possibile criticità emerse specie a carico di vanadio, mercurio, berillio e titanio, anche e soprattutto in relazione al potenziale tossico-nocivo dei tali elementi. Si suggerisce pertanto di considerare la possibilità di una programmazione di ulteriori misure biologiche sul campo, al fine di meglio investigare e verificare quanto riscontrato. In quest'ottica, sarebbe auspicabile prevedere l'utilizzo congiunto di diversi biomonitori e/o tecniche di biorilevamento, così da ottenere dati il più possibile integrati nel tempo e nello spazio e minimizzare nel contempo i rischi di distorsioni nei risultati e nella relativa interpretazione.

Va aggiunto, da ultimo, che **la diversa natura dei metodi biologici e chimico-fisici i quali, ricordiamo, offrono dati tra loro complementari e non alternativi, generalmente non consente di operare un confronto diretto tra i risultati ottenuti con i due diversi approcci metodologici.** In effetti, sarebbe scorretto considerare i bioaccumulatori come una sorta di centraline di rilevamento "tout-court": ciò che si misura per mezzo di un bioaccumulatore non è la deposizione o la concentrazione totale di un contaminante in una matrice ambientale (acqua, aria, suolo), quanto piuttosto l'aliquota di inquinante che effettivamente, in forma diversa, viene intercettata dall'organismo insediandosi e bioconcentrandosi stabilmente al suo interno. Per ciò che attiene all'inquinamento atmosferico, per un determinato contaminante tale aliquota può variare sensibilmente in relazione, oltre che, ovviamente, al tipo di organismo utilizzato, alle forme in cui il contaminante si presenta nell'ambiente, (particellare, in soluzione, gassosa), alla presenza di altre sostanze che possono favorirne l'ingresso e la bioconcentrazione nell'individuo, alle condizioni microclimatiche. Tali fattori, com'è noto non sono costanti ma mutano nel tempo e nello spazio.

Anche per questo, nell'ottica di operare un monitoraggio effettivamente integrato e predittivo, sarebbe di capitale importanza poter affiancare, nell'area in esame, ai diversi biomonitori anche tecniche di tipo strumentale volte ad esempio allo studio e alla caratterizzazione morfologica e chimica dell'aerosol, ed in particolare delle frazioni fine ed ultrafine. Non a caso proprio su queste componenti dell'inquinamento atmosferico si va concentrando l'attenzione della ricerca scientifica nel campo del monitoraggio ambientale, anche per ciò che riguarda la valutazione dell'impatto di sorgenti come inceneritori e centrali termoelettriche. Le frazioni più fini dell'aerosol, infatti, oltre ad essere più chiaramente riconducibili a processi di combustione ad alta temperatura rispetto alle componenti $>2.5 \mu\text{m}$, rappresentano il veicolo di ingresso principale nelle matrici biologiche di molti elementi in tracce e di diversi idrocarburi tossico-nocivi.

Tabelle

Tabella 2. Scala di alterazione basata sul lichene *Xantoria parietina*. (*) Metalli per i quali si è fatto riferimento alla scala di naturalità/alterazione Nimis & Bargagli 1999. Le concentrazioni sono espresse in ppm

Nr. Misure.	510	333	223	510	510	510	485	510	510	400	138	638	510
Perc. Alterazione	Al	As	Be*	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Ti*	V	Zn
20° Alterazione assente	<312	<0,13	<0,04	<0,17	<1,5	<5,7	<288	<0,06	<0,99	<2,8	<13	<0,6	<25
50° Alterazione bassa	541	0,32	0,08	0,29	2,5	7,9	448	0,1	1,86	6,2	27	1,1	31,5
75° Alterazione medio-bassa	920	0,75	0,12	0,43	3,6	11	668	0,15	2,93	10,5	70	2	39
90° Alterazione media	1475	1,36	0,6	0,74	5,6	15,9	1032	0,2	4,22	19,7	97	3,2	47
95° Alterazione alta	2068	1,72	0,7	0,98	7,2	20,8	1362	0,23	5,21	27,8	113	4	54
98° Alterazione molto alta	3089	2,86	1,15	1,4	9,6	35,3	1669	0,28	7,1	36,2	150	6,3	83
Alterazione eccezionale	>3089	>2,86	>1,15	>1,4	>9,6	>35,3	>1669	>0,28	>7,10	>36,2	>150	>6,3	>83
Max Italia	8390	3,73	1,62	2,55	60,5	148	4276	1,04	34,4	95	290	36,7	164

Tabella 3. Concentrazioni (ppm) dei metalli nei campioni lichenici analizzati nel 2005 e principali statistiche descrittive. I colori sono riferiti alla scala di alterazione riportata in tabella 2

Stazioni	Al	As	Be	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Ti	V	Zn
S1	918	0,05	0,01	0,33	1,1	3,6	0,098	4,90	3,5	17	1,7	43,5
S2	1248	0,05	0,05	0,14	1,5	6,5	0,098	2,90	2,5	24	2,0	34,7
S3	1478	0,05	0,04	0,10	1,0	5,1	0,117	2,80	3,3	21	2,4	35,6
S4	905	0,05	0,04	0,07	1,0	7,0	0,126	2,20	2,2	16	1,6	24,8
S5	974	0,05	0,04	0,14	1,3	6,8	0,119	2,10	2,1	19	1,9	25,4
S6	1184	0,90	0,03	0,11	1,5	5,3	0,144	2,40	3,9	16	1,9	32,5
S7	1058	0,05	0,03	0,13	1,2	4,9	0,117	2,20	3,1	22	2,5	22,6
S8	765	0,05	0,03	0,11	0,7	6,7	0,109	1,50	1,8	18	1,3	19,9
S9	1569	0,05	0,06	0,12	1,7	7,0	0,129	2,30	2,9	28	2,9	27,1
S10	1709	0,30	0,08	0,09	2,6	6,5	0,111	2,90	5,6	33	4,1	24,0
S11	1664	0,05	0,06	0,04	1,7	12,2	0,117	1,60	2,1	34	1,7	28,8
S12	1259	0,40	0,04	0,12	1,6	4,5	0,080	1,80	1,3	23	1,5	32,4
S13	1707	0,05	0,07	0,15	1,8	5,0	0,109	2,40	4,4	36	2,1	28,3
S14	1473	0,05	0,05	0,13	2,0	7,7	0,120	2,70	2,4	24	3,1	33,9
S15	968	0,05	0,03	0,17	1,2	4,2	0,084	1,50	1,6	15	1,2	32,3
S16	637	0,05	0,03	0,07	0,8	5,1	0,104	1,10	1,2	11	1,1	21,5
S17	1001	0,05	0,03	0,05	1,0	4,3	0,076	1,20	0,1	23	1,2	17,2
S18	1215	0,05	0,05	0,06	1,8	5,1	0,091	2,00	1,4	25	1,6	22,2
S19	1111	0,05	0,03	0,23	1,0	3,5	0,088	1,60	1,0	24	1,2	29,8
S20	1352	0,60	0,05	0,21	2,2	5,9	0,099	2,40	1,8	36	1,9	32,7
Val. medio	1210	0,15	0,04	0,13	1,4	5,8	0,107	2,23	2,4	23	1,9	28,5
Val. min	637	0,05	0,01	0,04	0,7	3,5	0,076	1,10	0,1	11	1,1	17,2
Val. max	1709	0,90	0,08	0,33	2,6	12,2	0,144	4,90	5,6	36	4,1	43,5
Dev. St.	316	0,23	0,02	0,07	0,5	1,9	0,018	0,83	1,3	7	0,8	6,4

Tabella 4. Concentrazioni (ppm) dei metalli nei campioni lichenici analizzati nel 2006 e principali statistiche descrittive. I colori sono riferiti alla scala di alterazione riportata in tabella 2

Stazioni	Al	Be	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Ti	V	Zn
SG1_2	1167	0,12	0,15	2,8	7,0	0,124	2,70	3,8	78	3,4	28,7
SG3	889	0,11	0,10	1,5	6,6	0,130	1,90	2,3	40	1,6	25,5
SG4	2043	0,25	0,10	3,8	16,7	0,122	2,50	4,5	100	3,1	25,2
SG6	539	0,04	0,09	0,9	6,0	0,087	3,00	1,2	48	0,9	22,2
SG7	616	0,07	0,14	0,8	5,4	0,115	1,10	2,8	34	1,3	22,9
SG8	735	0,05	0,06	1,2	6,6	0,085	0,90	2,0	62	1,1	24,1
SG10	1099	0,07	0,05	1,3	5,7	0,097	1,50	4,3	76	1,6	22,0
SG11	1350	0,11	0,16	2,3	28,1	0,101	1,40	3,7	67	1,7	21,5
SG13	1514	0,11	0,38	1,9	6,3	0,086	1,40	1,8	69	1,8	31,7
SG14	2043	0,15	0,31	3,2	7,9	0,131	1,80	5,0	81	3,2	30,2
SG15	1375	0,16	0,19	2,1	21,8	0,079	1,30	2,3	53	1,7	22,5
SG16	1081	0,09	0,21	0,9	5,2	0,071	0,80	2,6	35	0,9	27,4
SG17	1134	0,09	0,21	1,1	5,7	0,097	1,90	2,4	43	2,7	37,0
SG18	772	0,04	0,15	2,5	4,8	0,089	2,80	2,1	36	1,0	20,7
SG19	429	0,02	0,21	0,8	3,5	0,067	0,80	1,6	26	0,7	16,4
SG20	987	0,09	0,12	2,0	6,2	0,084	1,40	2,3	54	1,5	18,5
Val. medio	1111	0,10	0,16	1,8	9,0	0,098	1,70	2,8	56	1,8	24,8
Val. min	429	0,02	0,05	0,8	3,5	0,067	0,80	1,2	26	0,7	16,4
Val. max	2043	0,25	0,38	3,8	28,1	0,131	3,00	5,0	100	3,4	37,0
Dev. St.	475	0,06	0,09	0,9	7,0	0,021	0,72	1,1	21	0,9	5,2

Figure

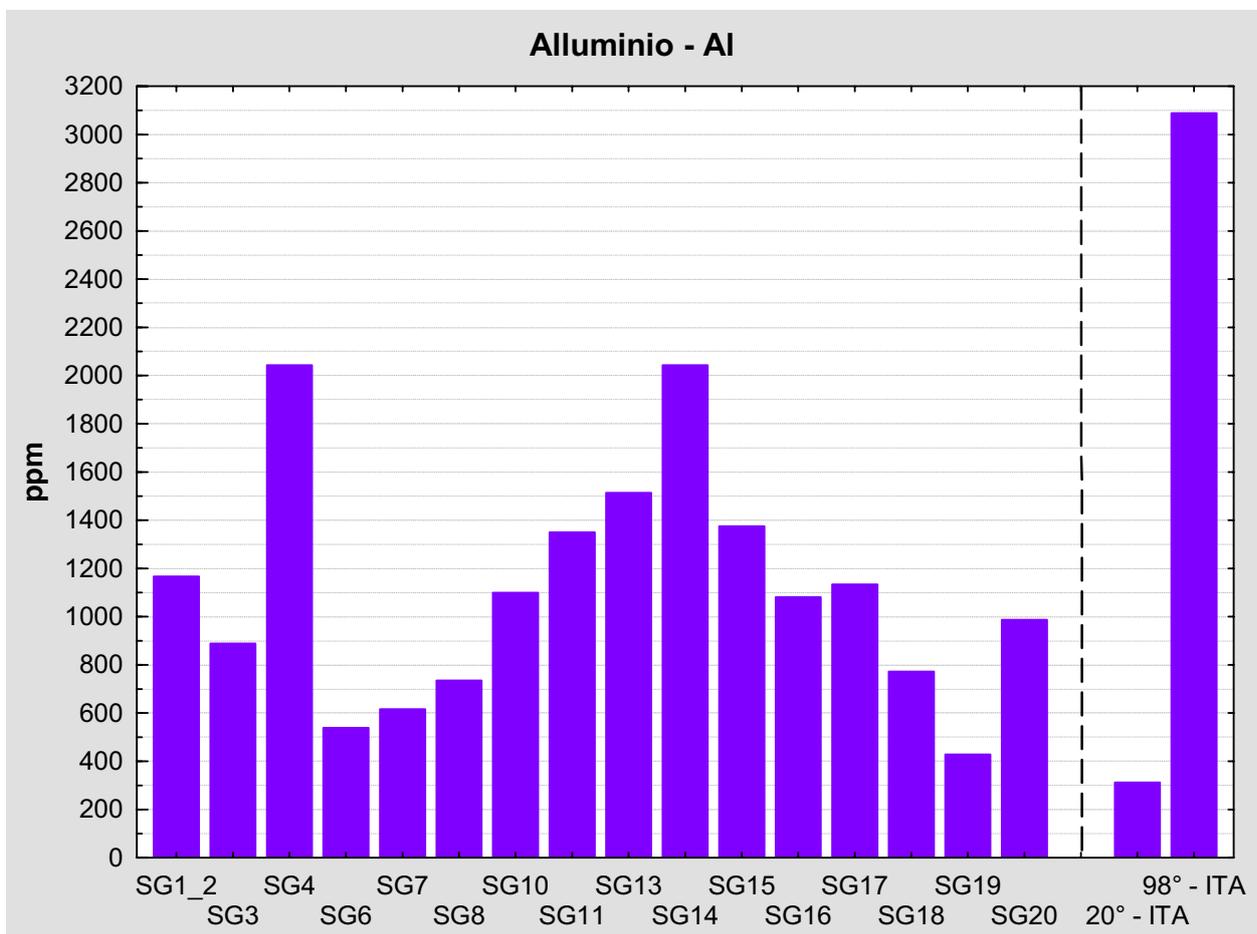


Figura 1. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

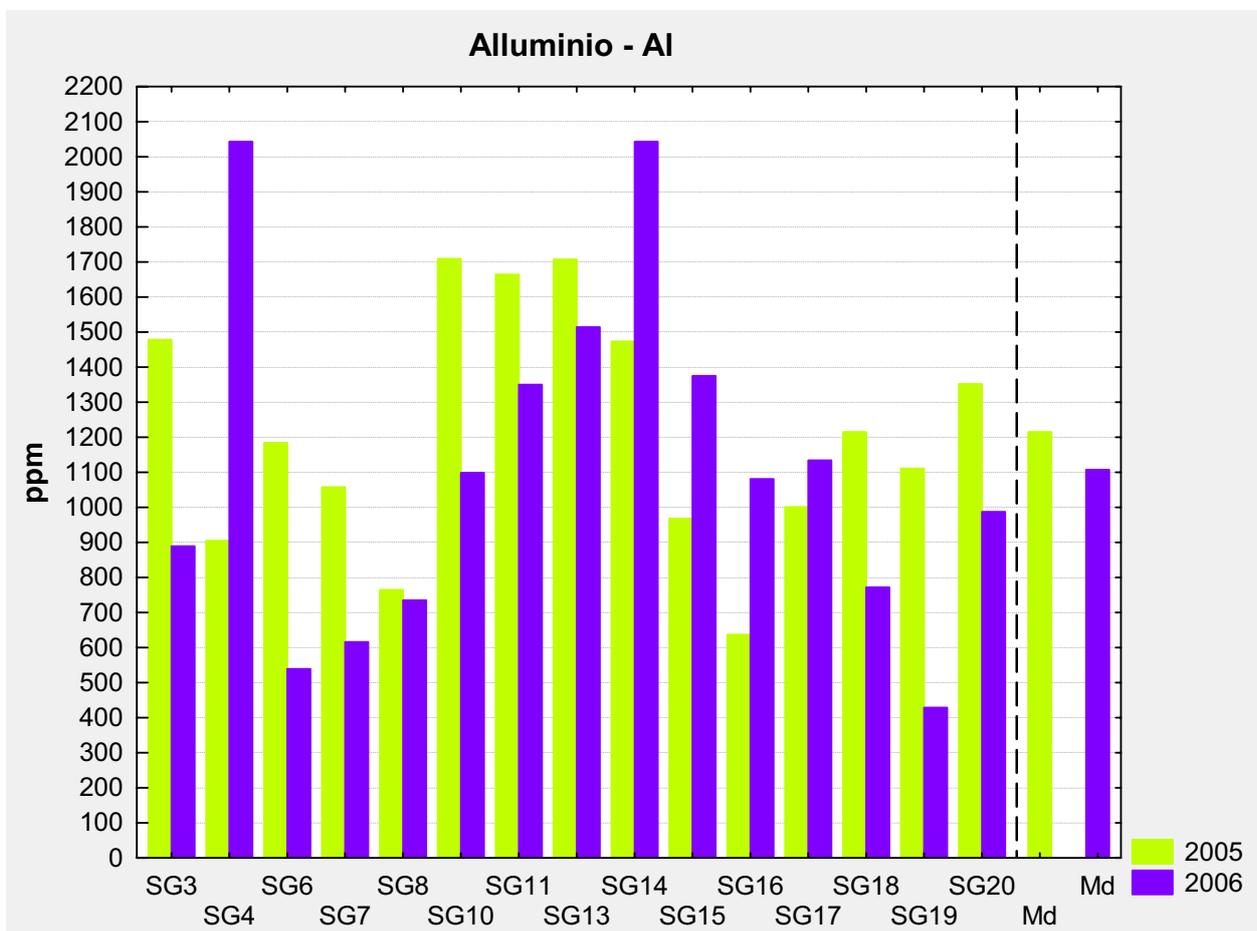


Figura 2. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

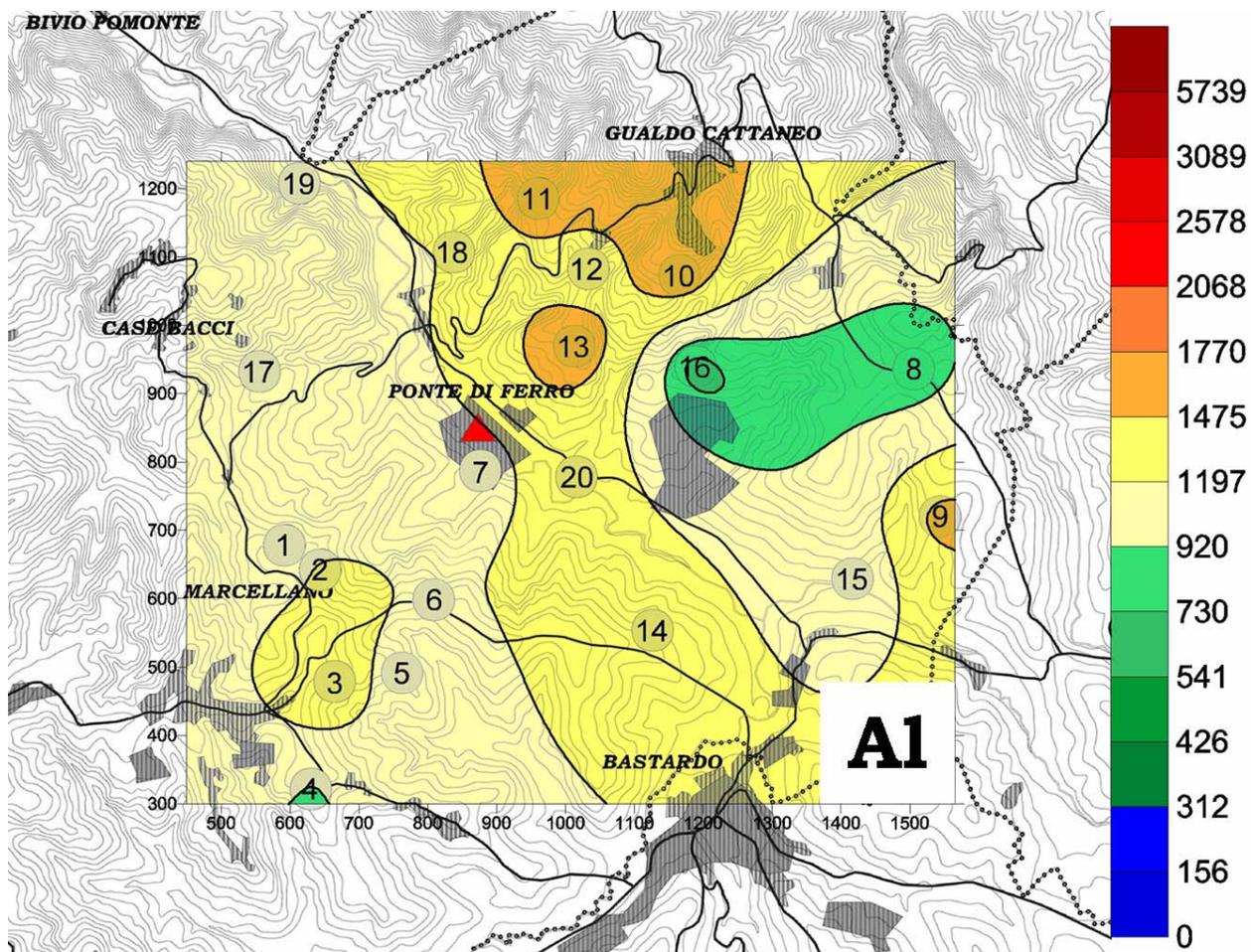


Figura 3. Mappa delle concentrazioni di alluminio bioaccumulate nel 2005

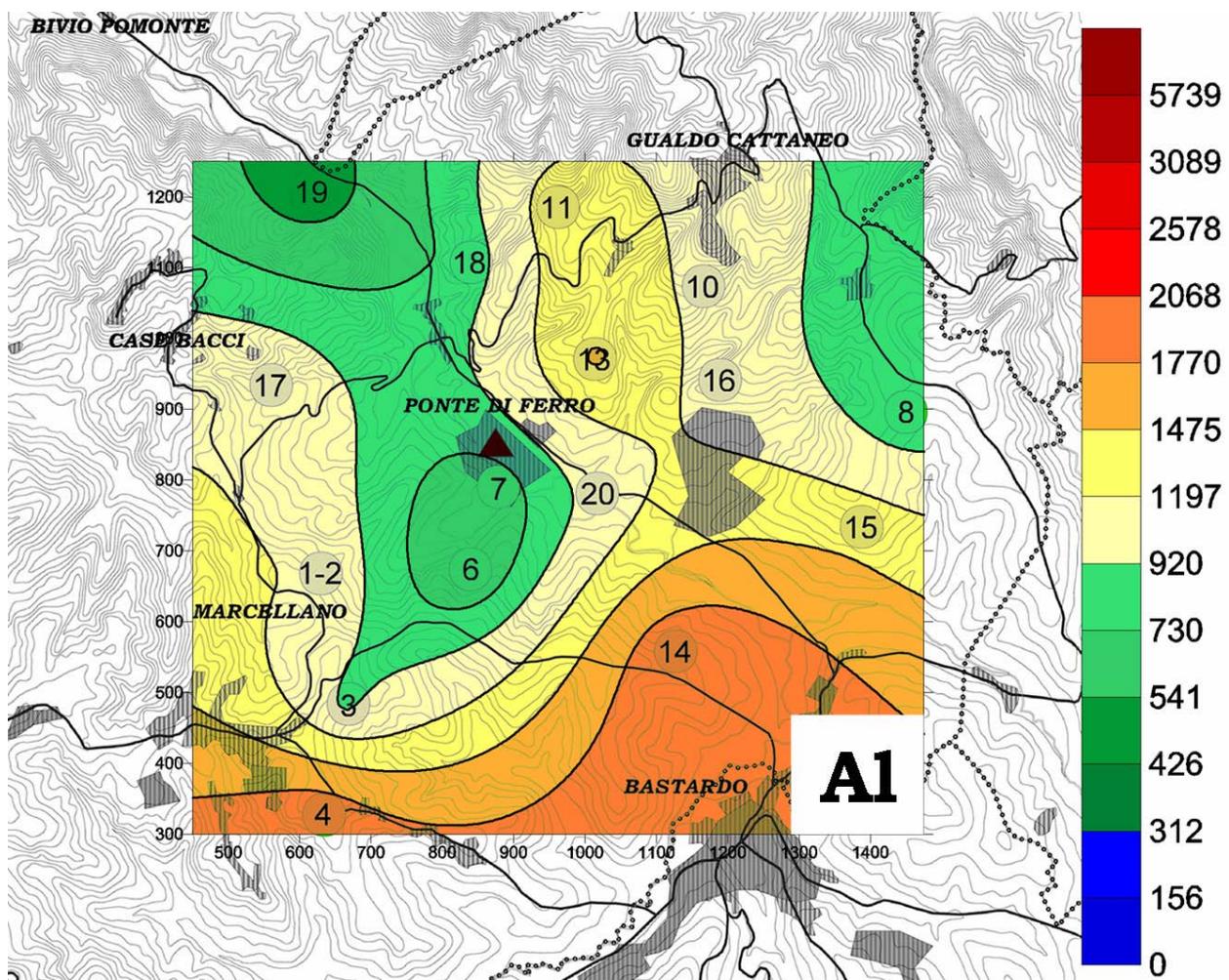


Figura 4. Mappa delle concentrazioni di alluminio bioaccumulate nel 2006

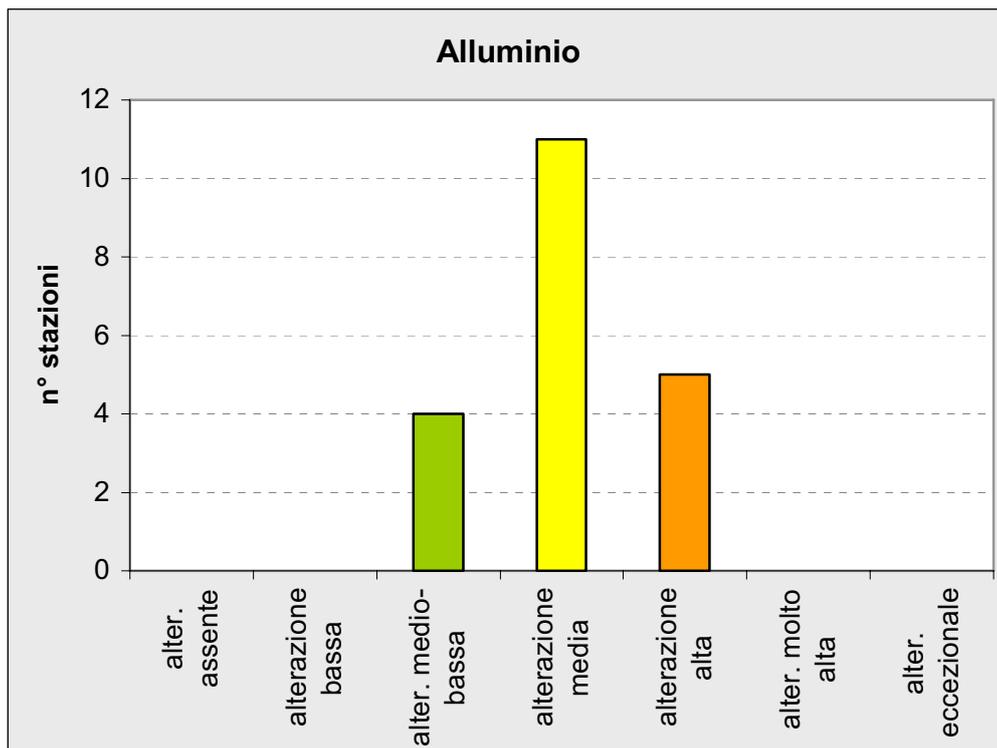


Figura 5. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

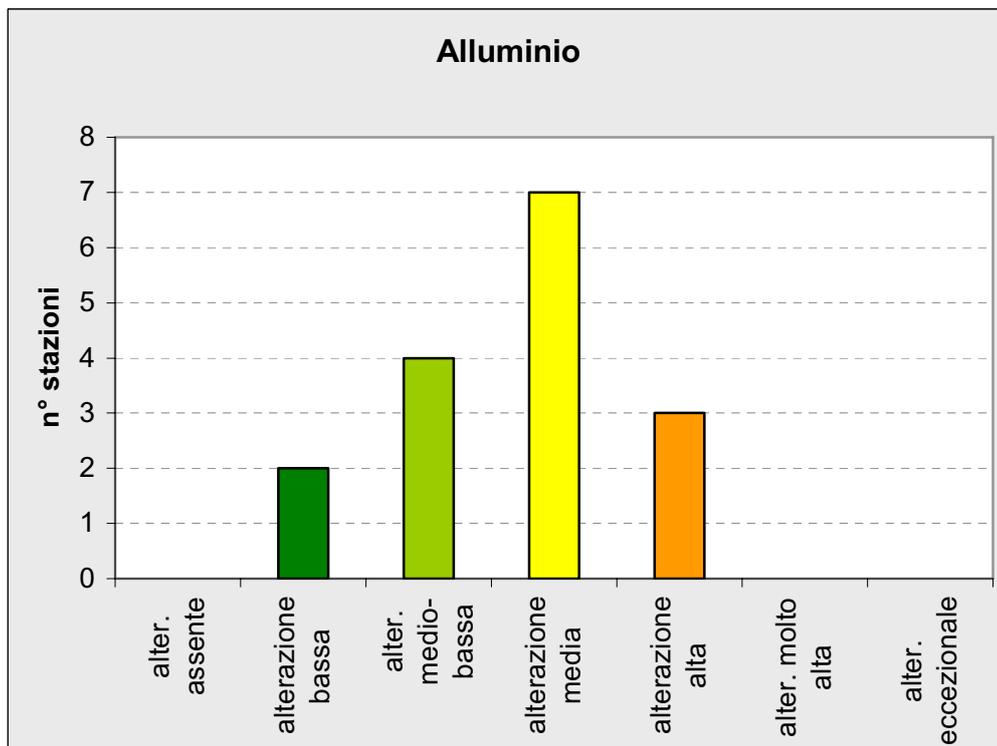


Figura 6. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

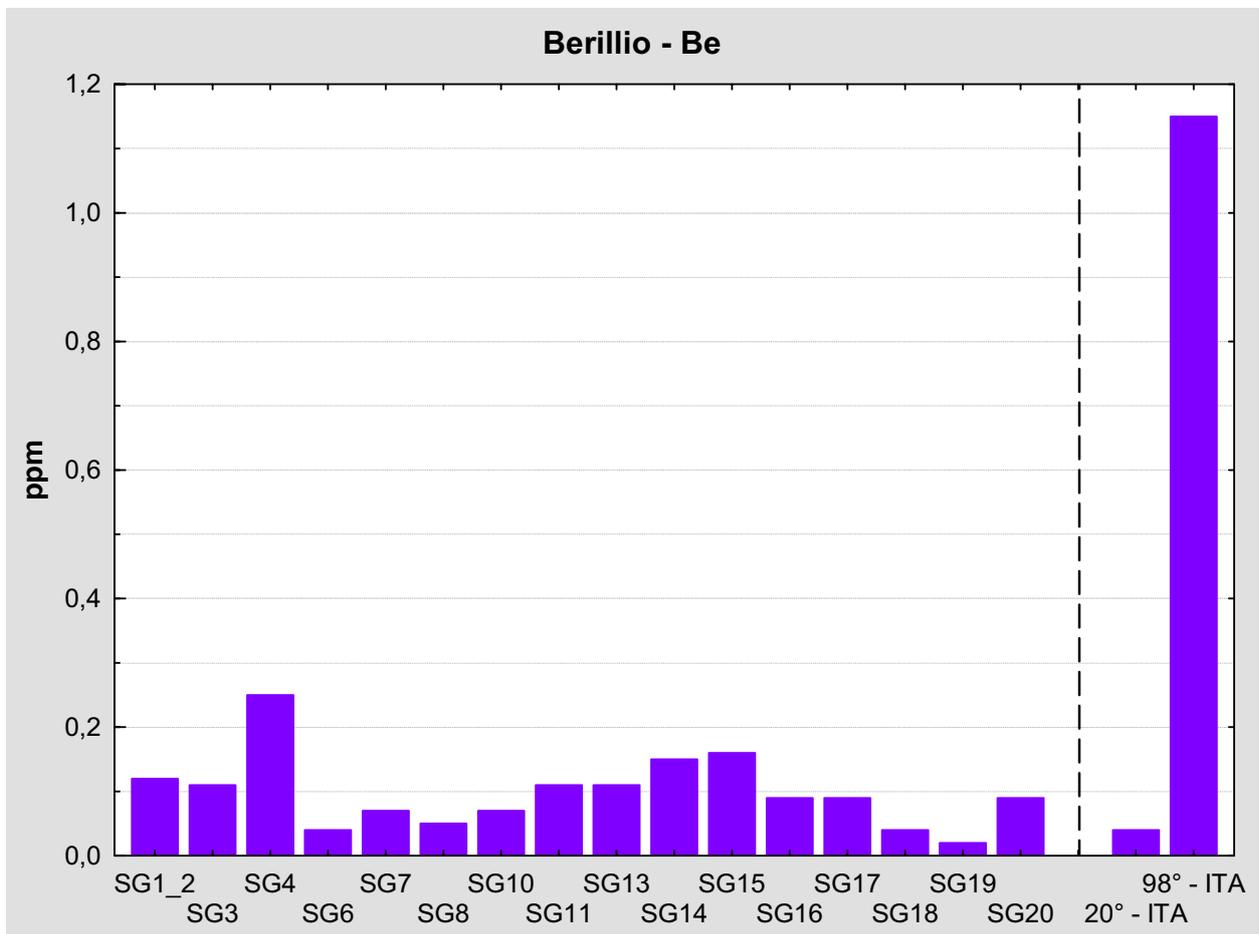


Figura 7. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

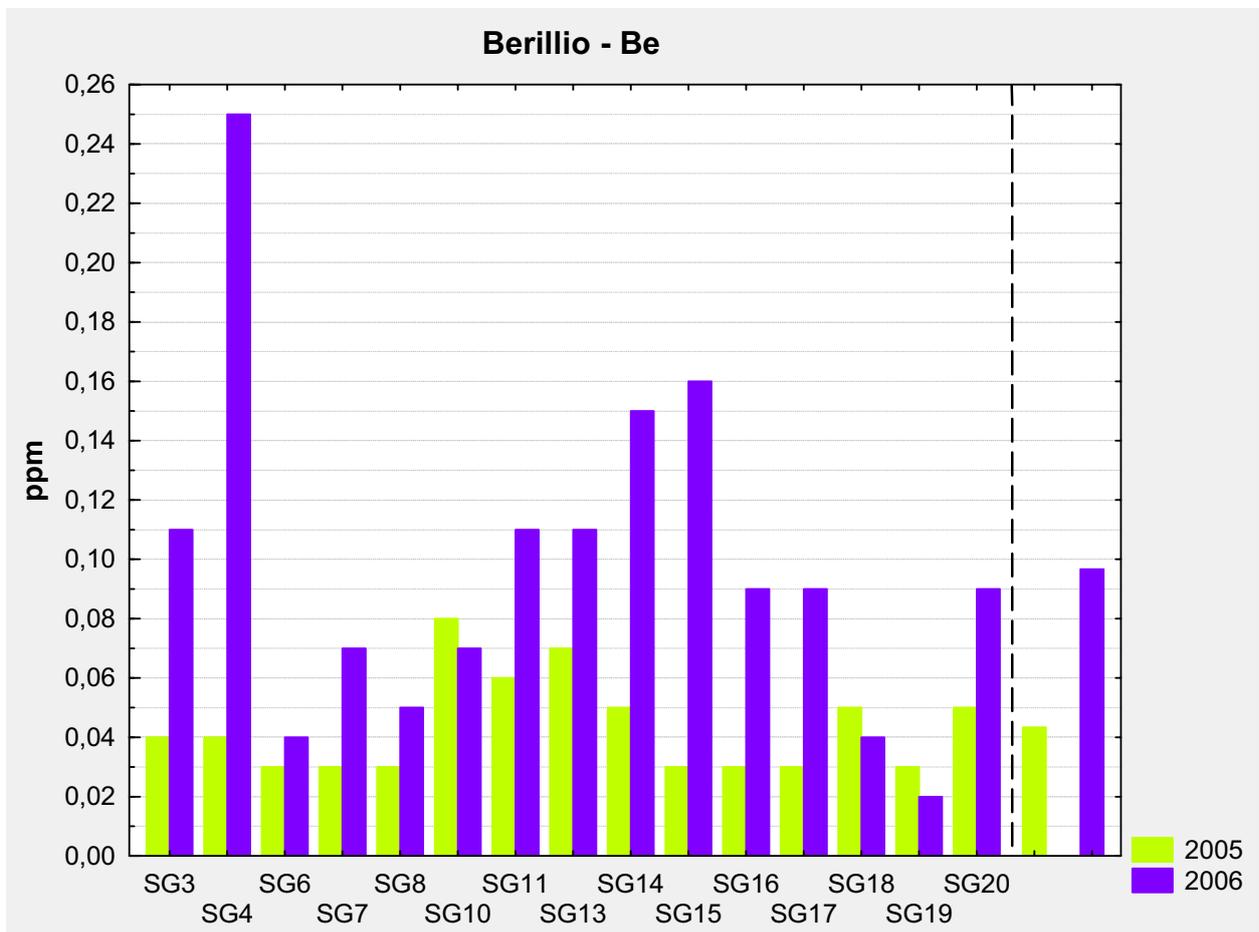


Figura 8. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

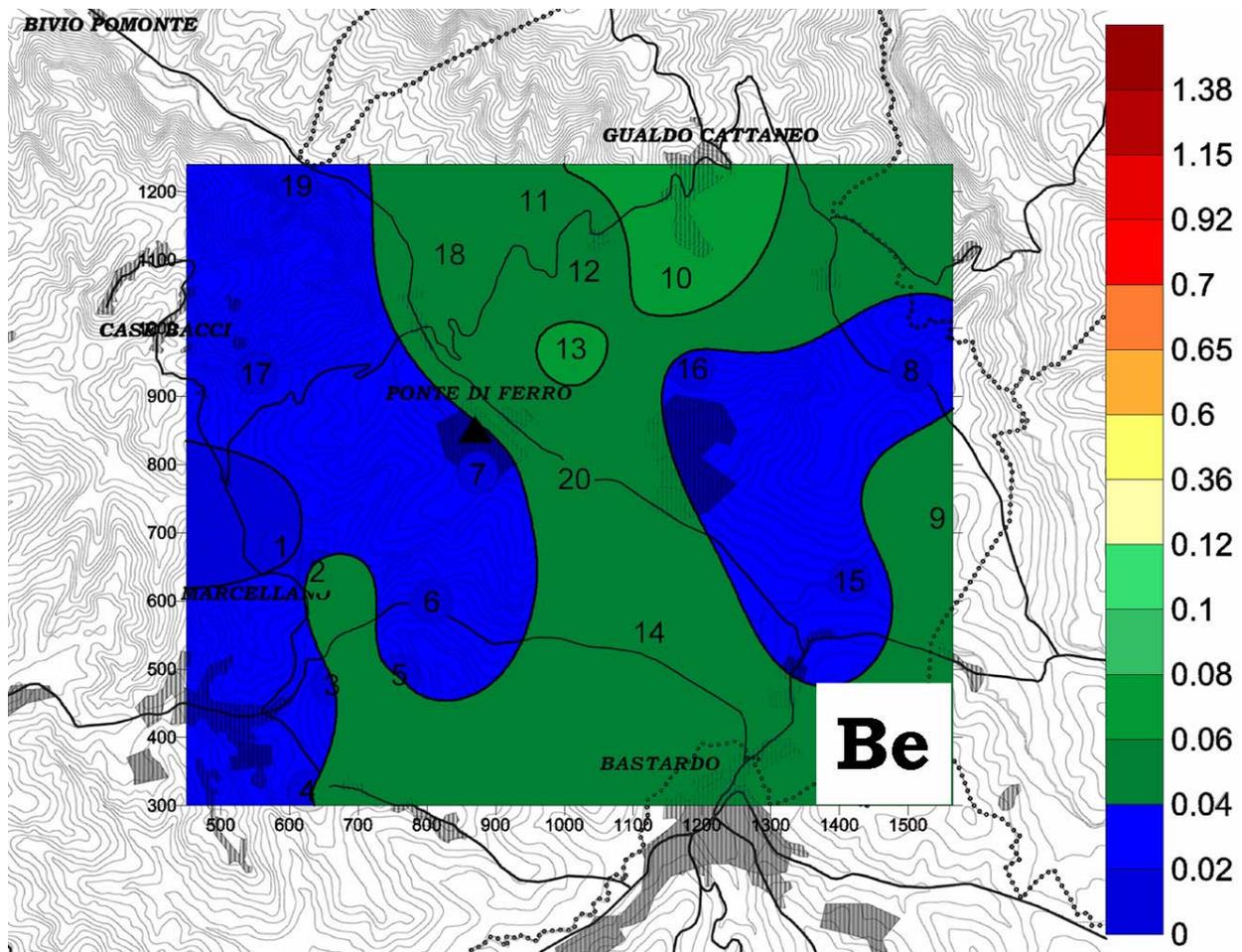


Figura 9. Mappa delle concentrazioni di berillio bioaccumulate nel 2005

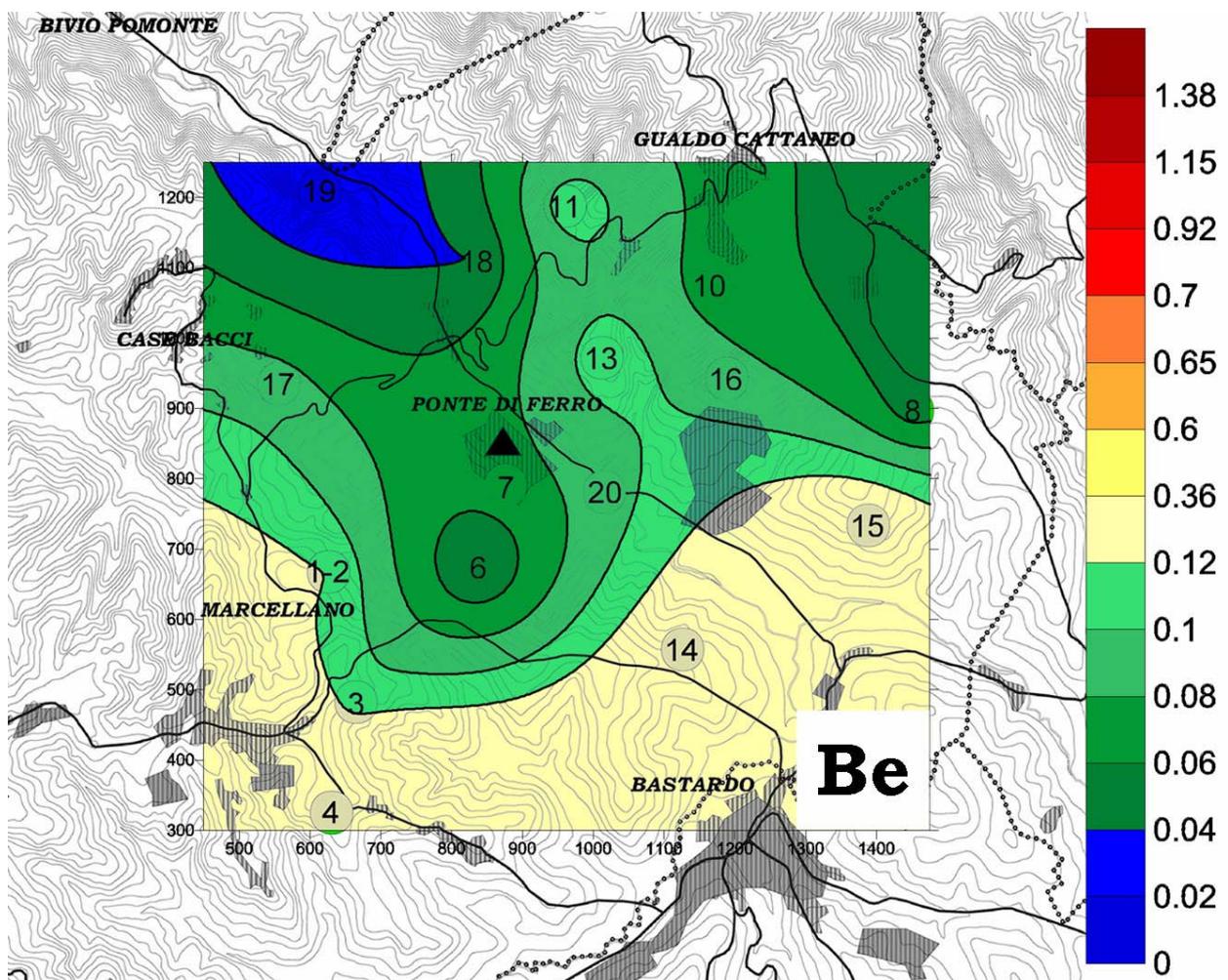


Figura 10. Mappa delle concentrazioni di berillio bioaccumulate nel 2006

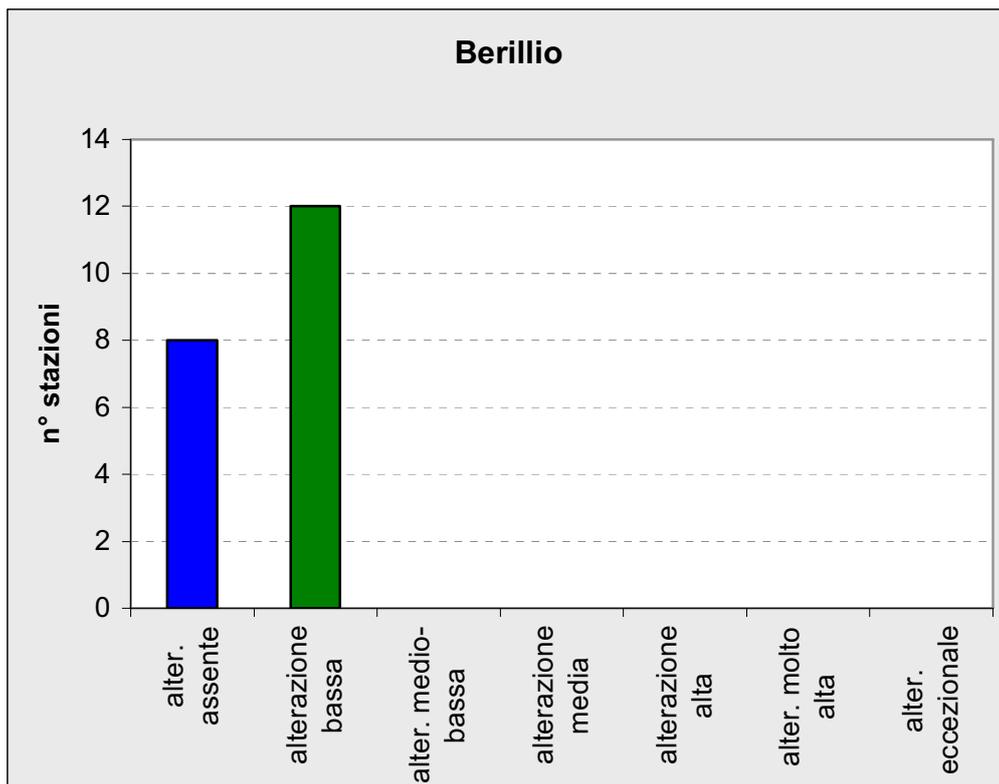


Figura 11. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

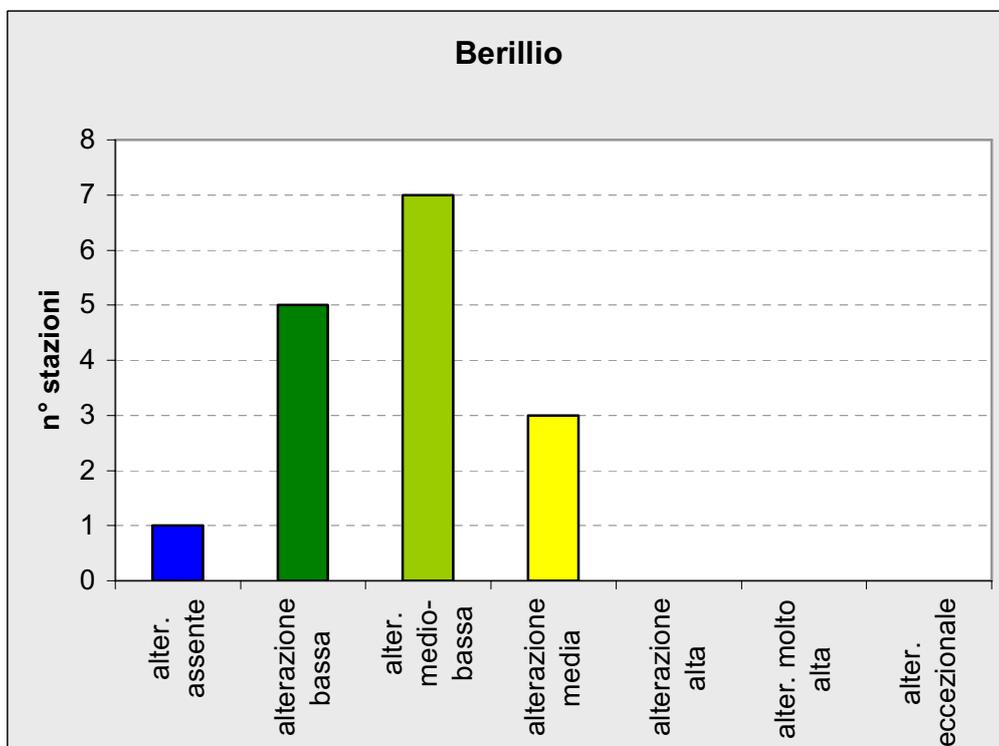


Figura 12. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

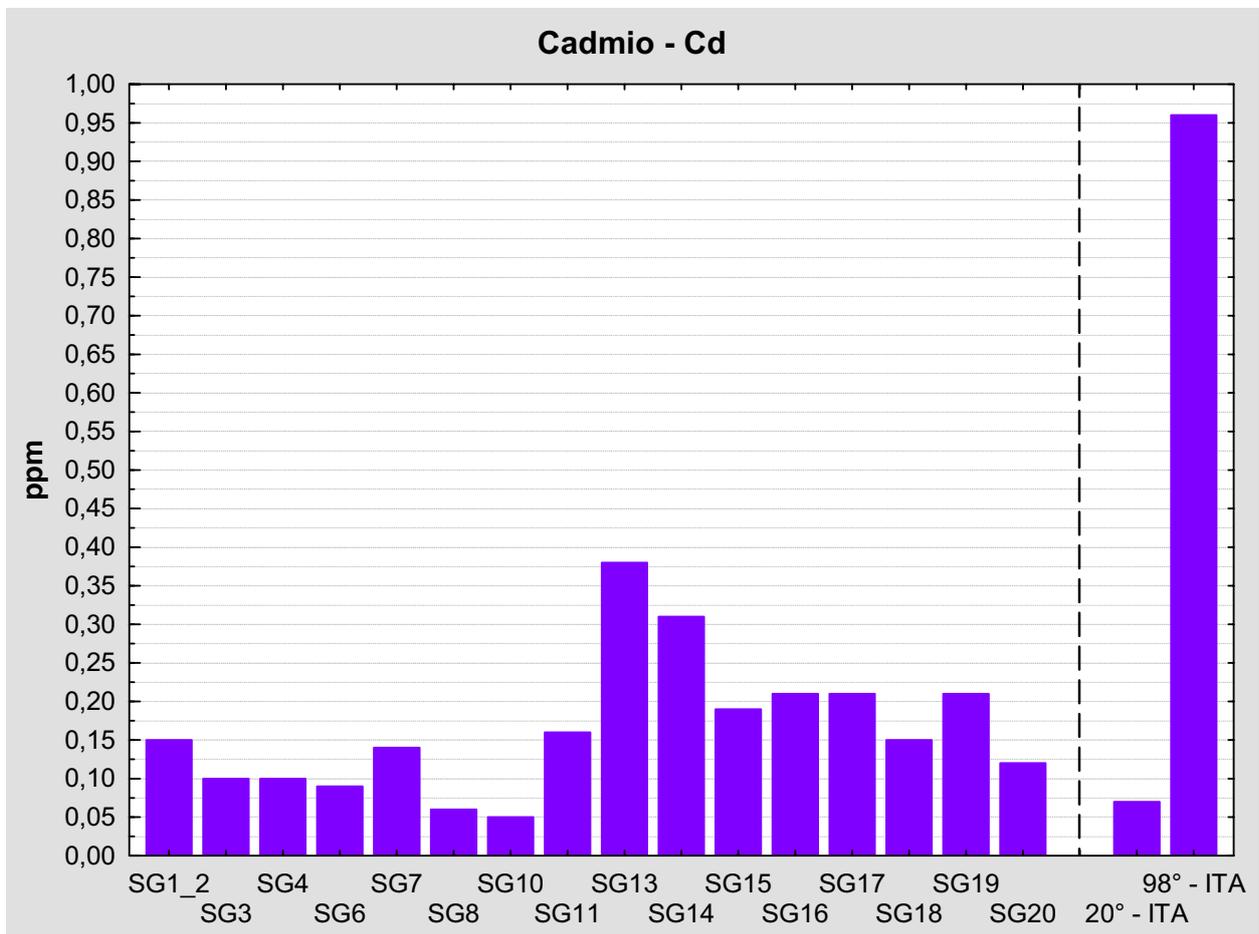


Figura 13. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

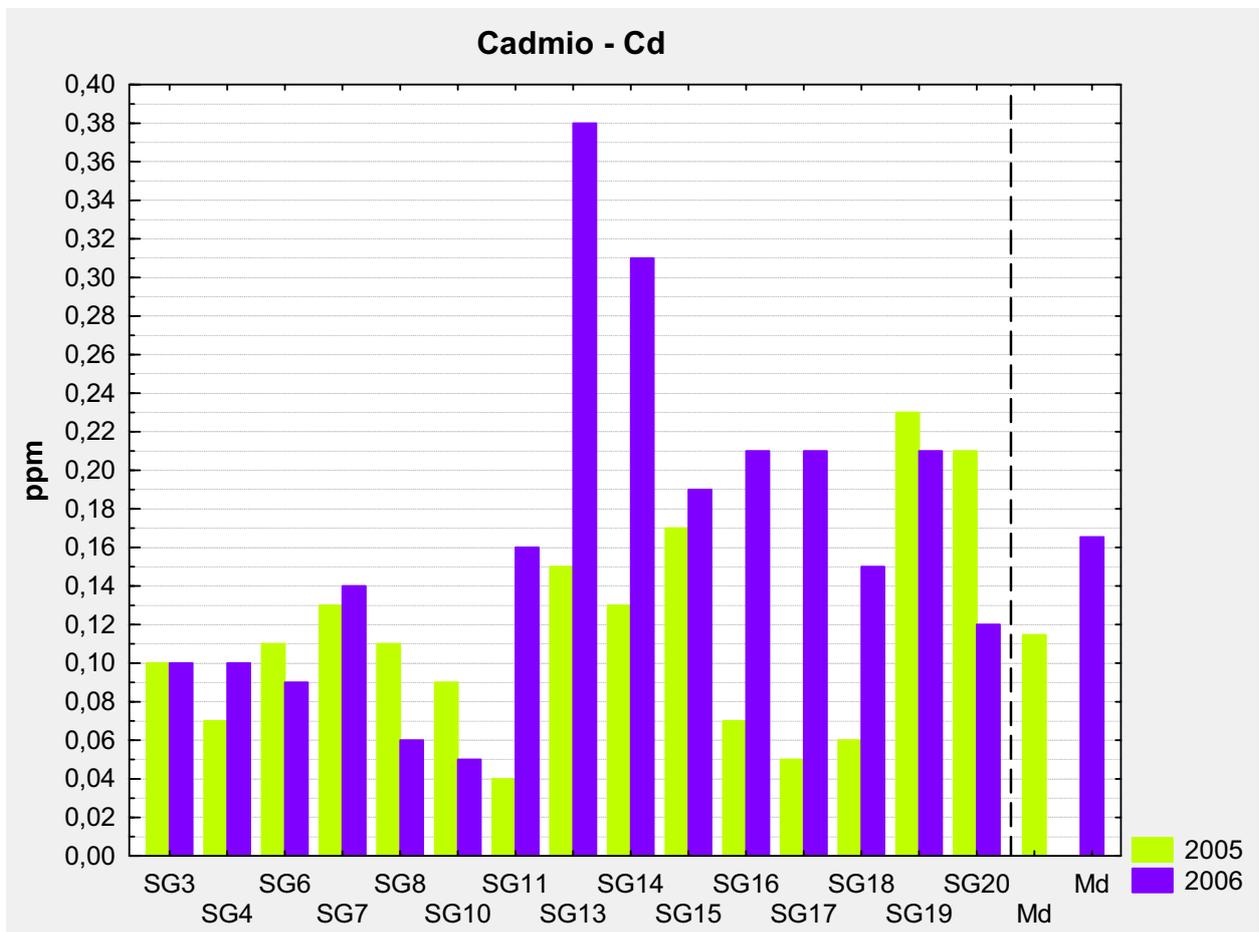


Figura 14. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

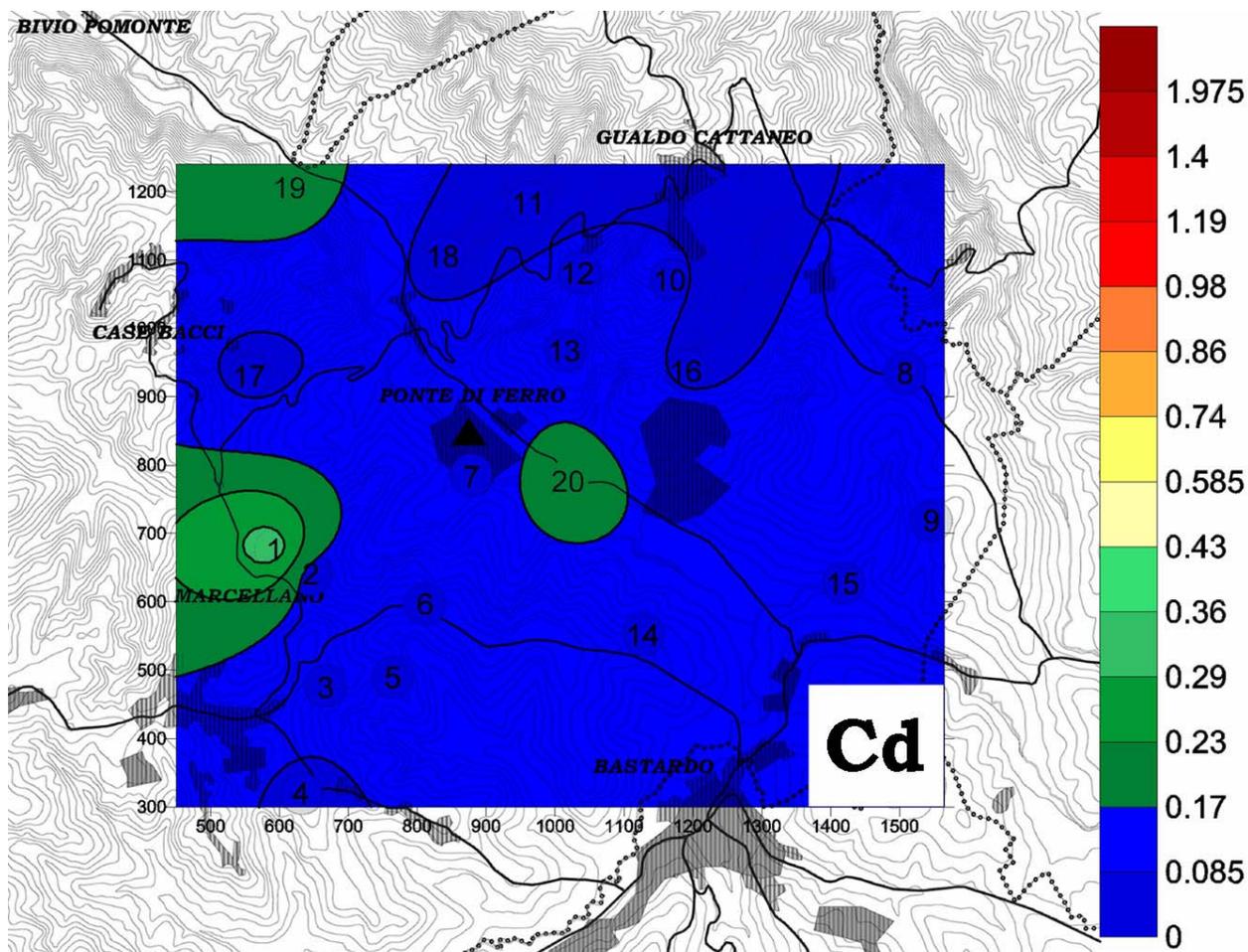


Figura 15. Mappa delle concentrazioni di cadmio bioaccumulate nel 2005

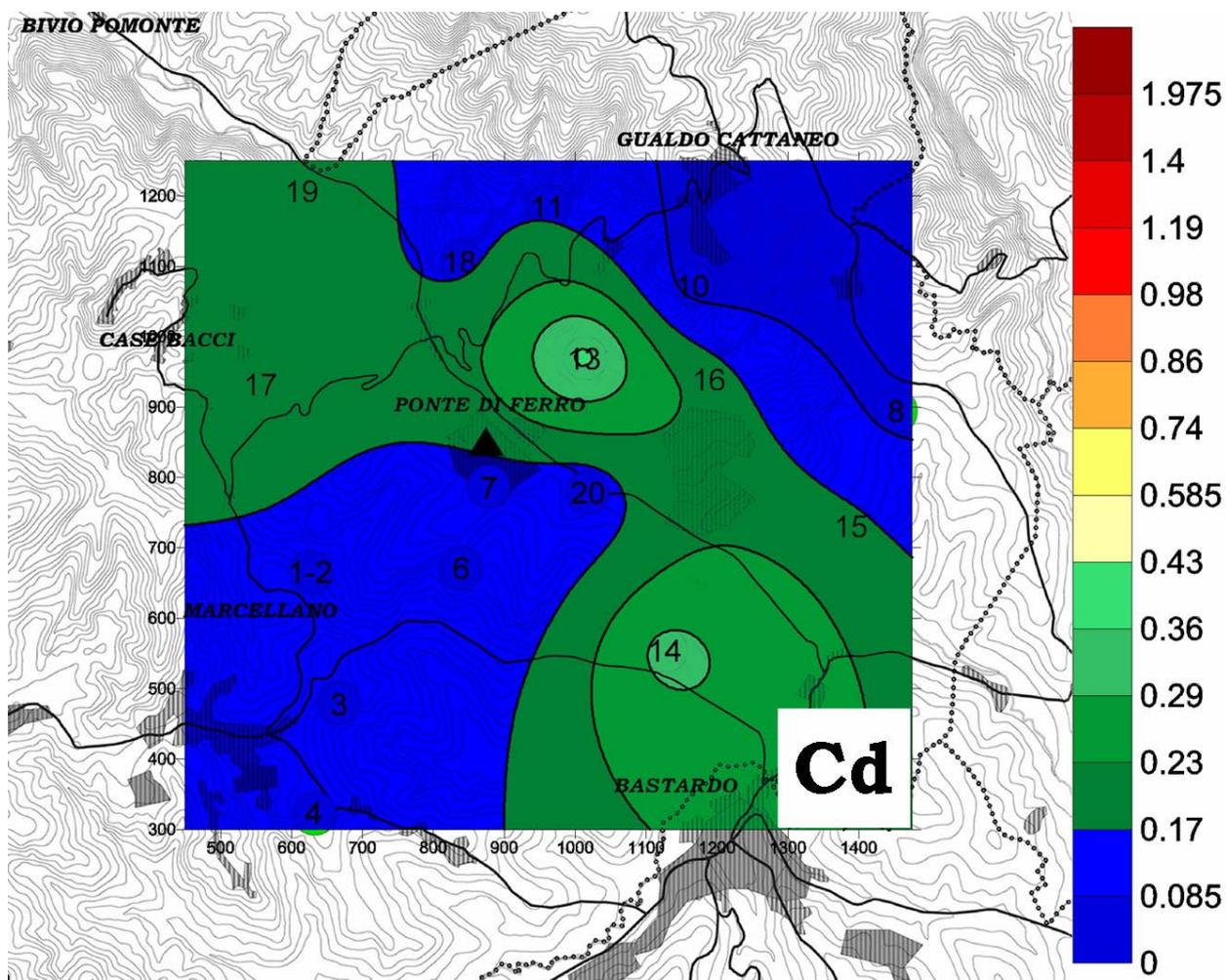


Figura 16. Mappa delle concentrazioni di cadmio bioaccumulate nel 2006

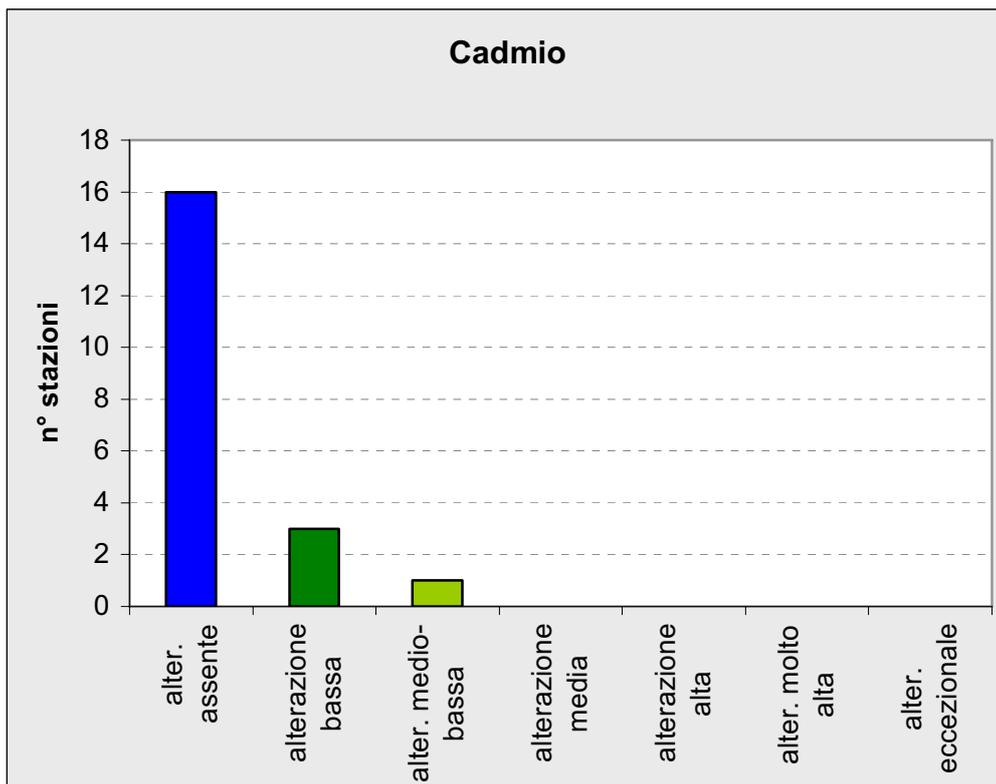


Figura 17. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

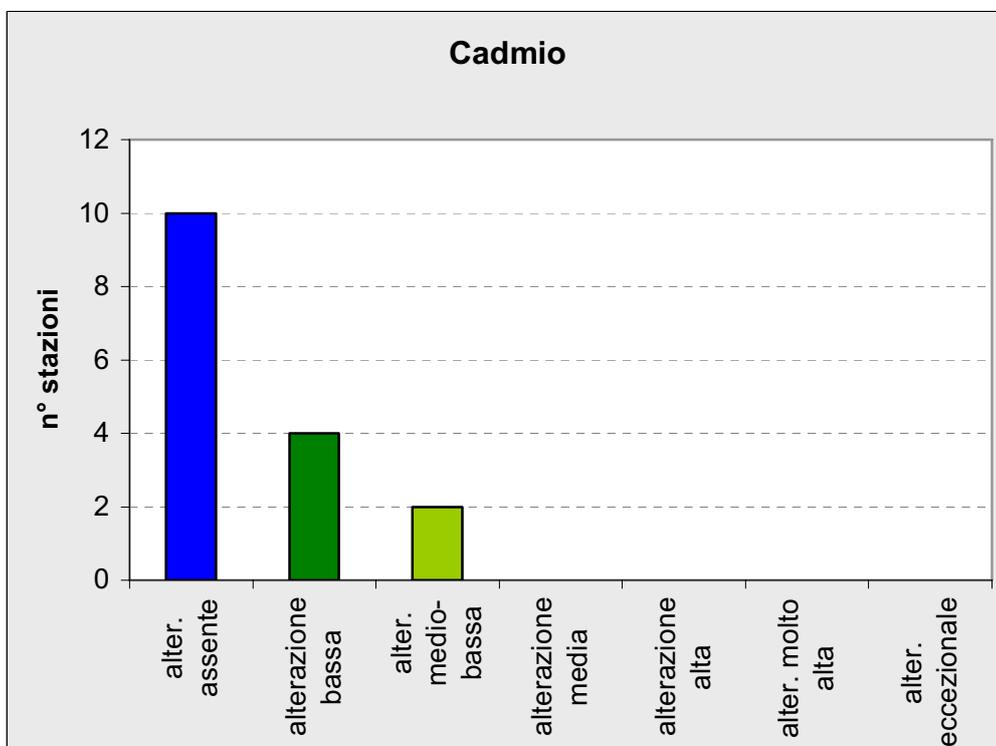


Figura 18. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

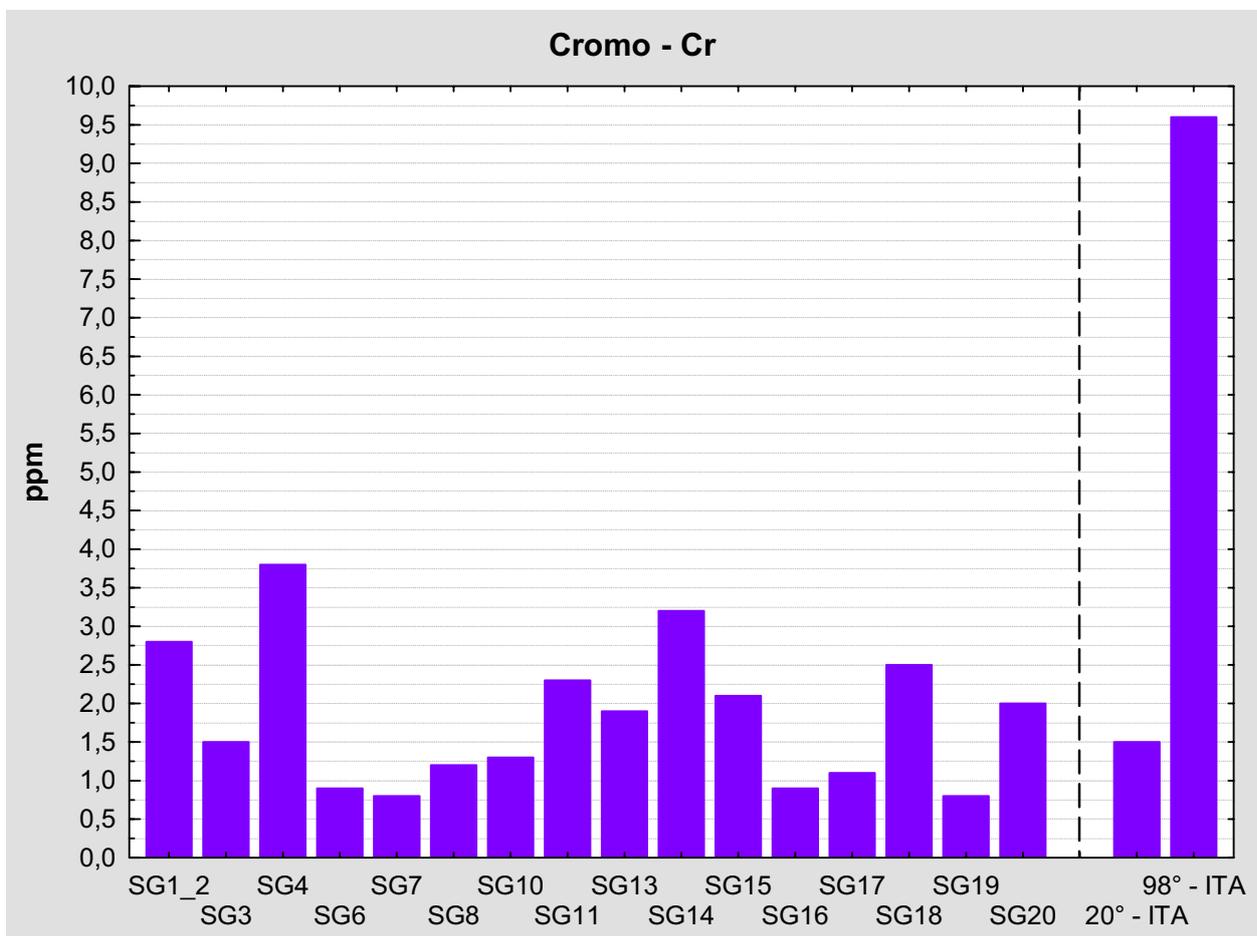


Figura 19. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

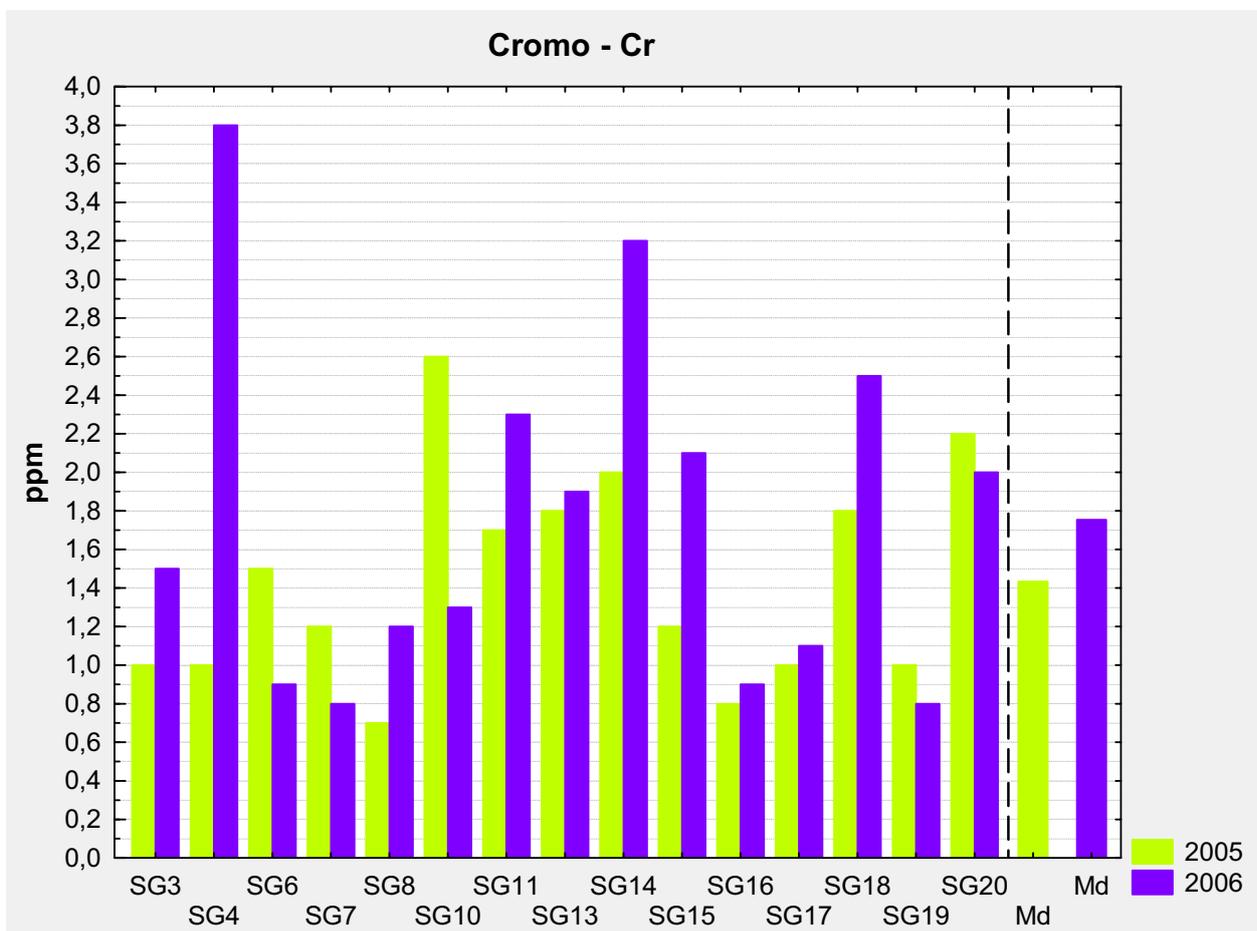


Figura 20. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

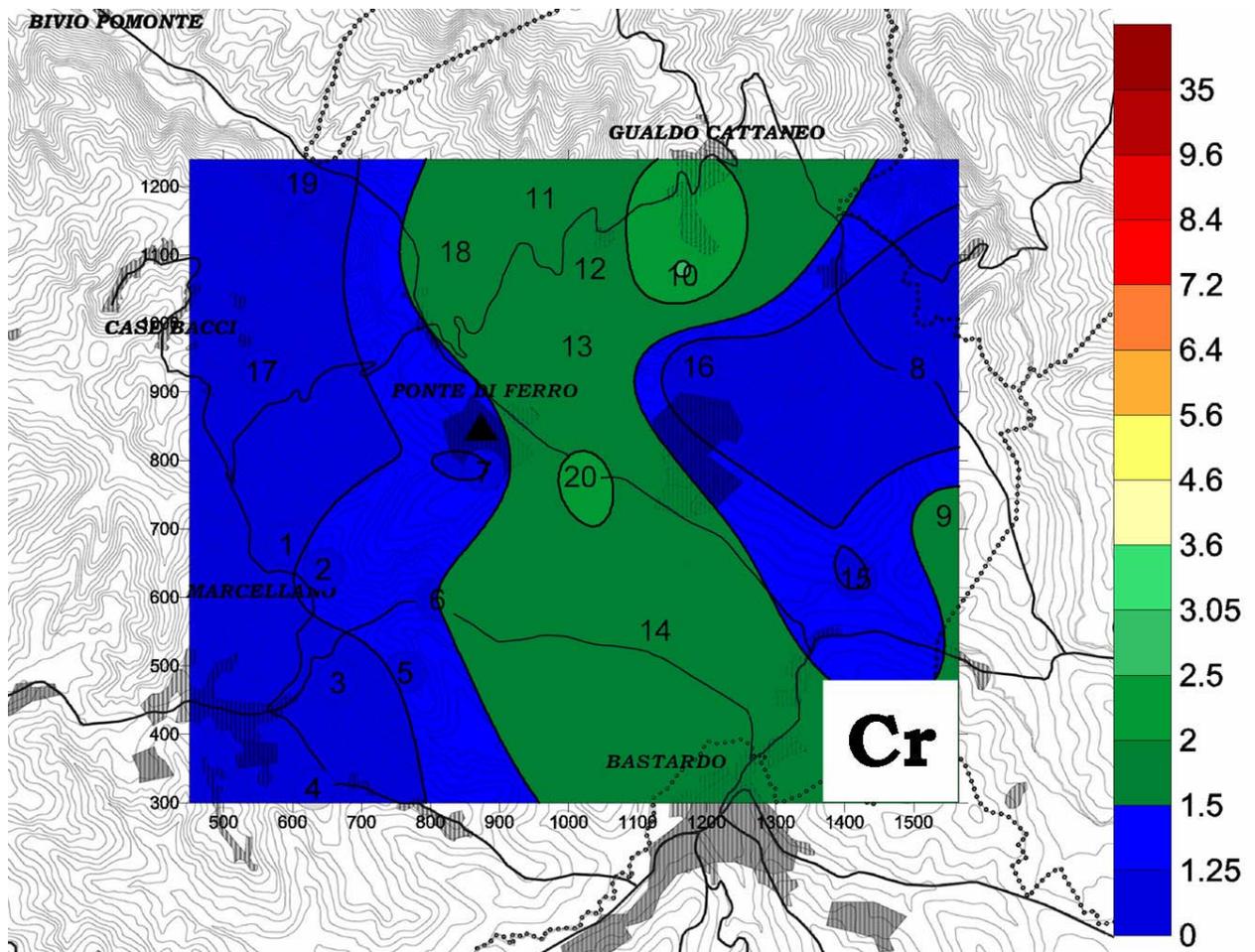


Figura 21. Mappa delle concentrazioni di cromo bioaccumulate nel 2005

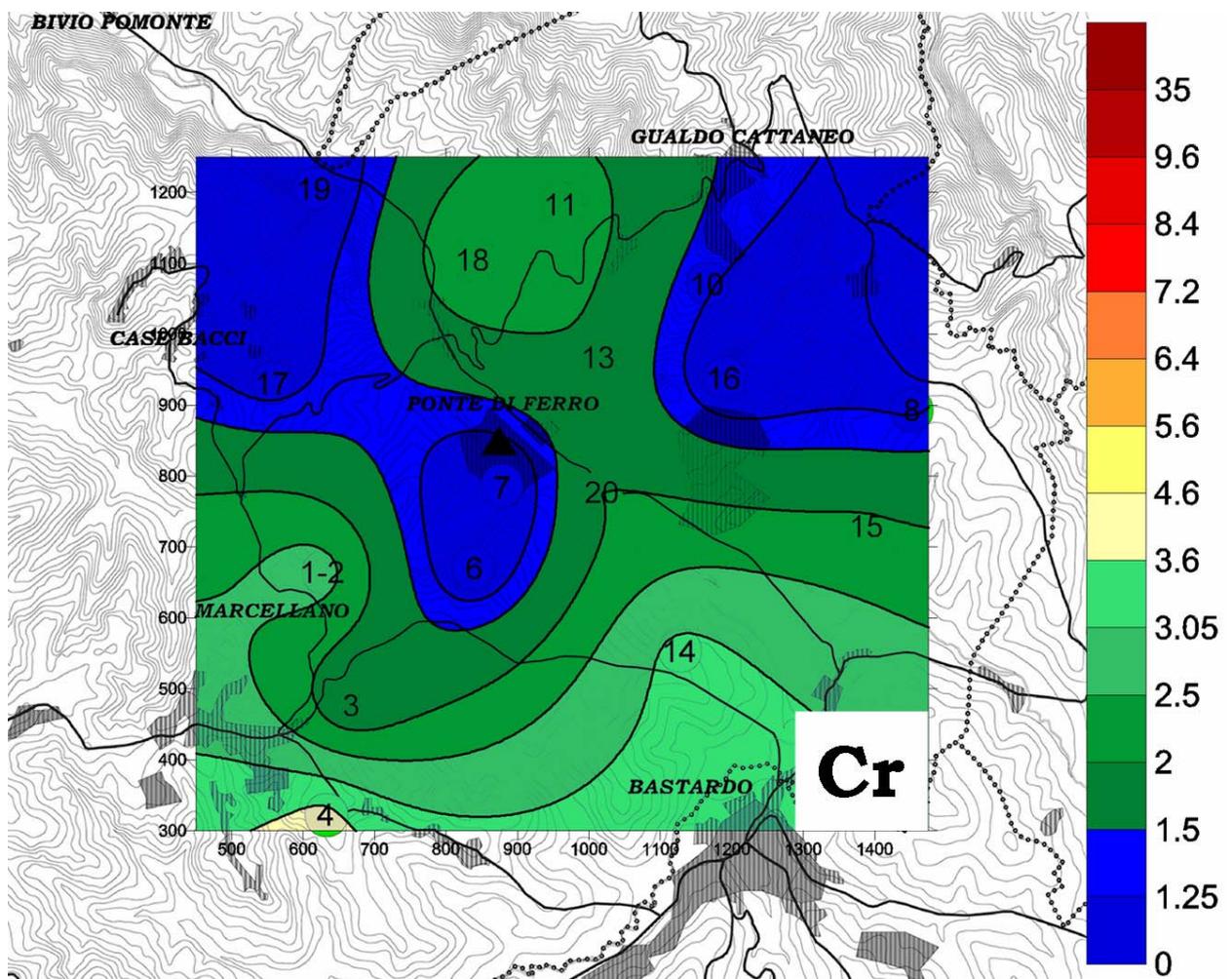


Figura 22. Mappa delle concentrazioni di cromo bioaccumulate nel 2006

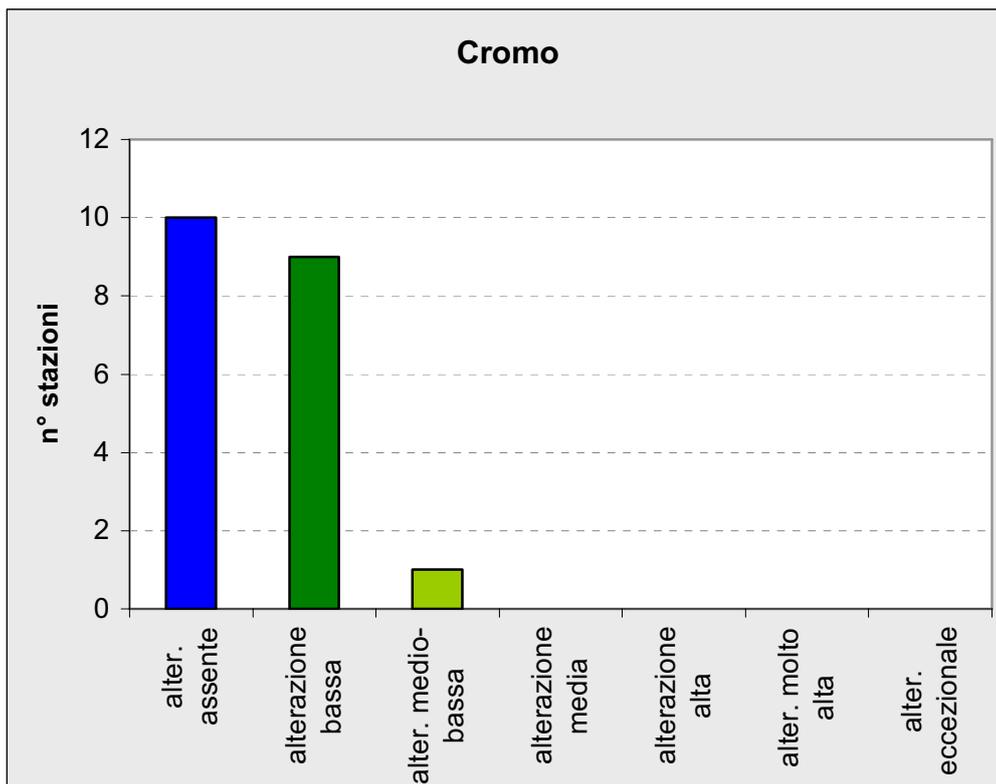


Figura 23. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

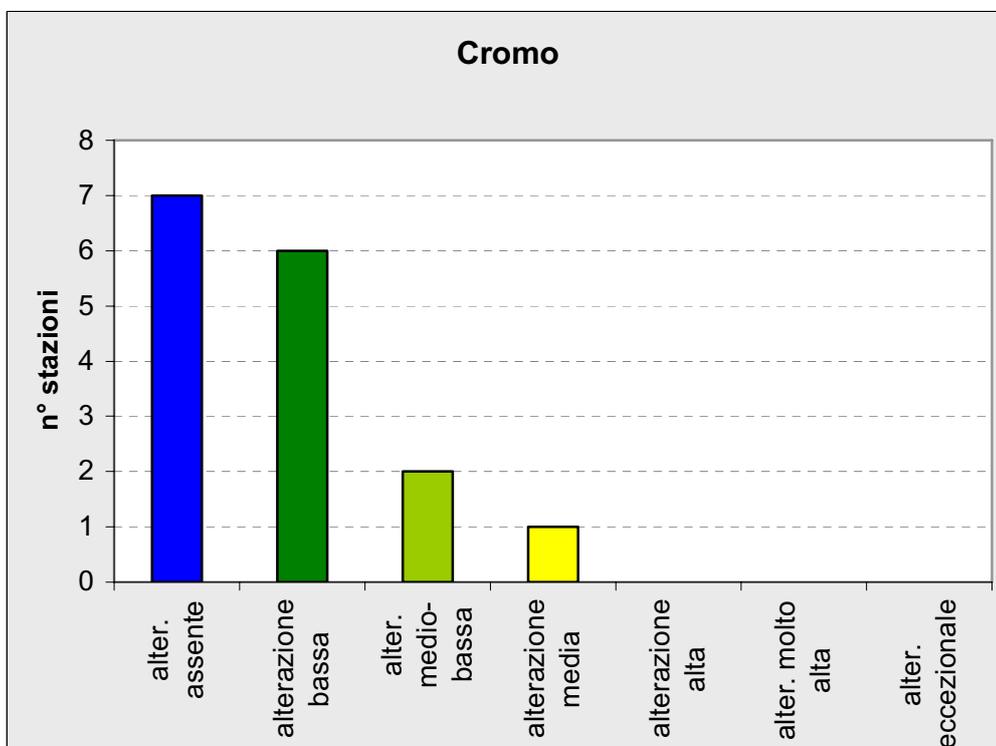


Figura 24. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

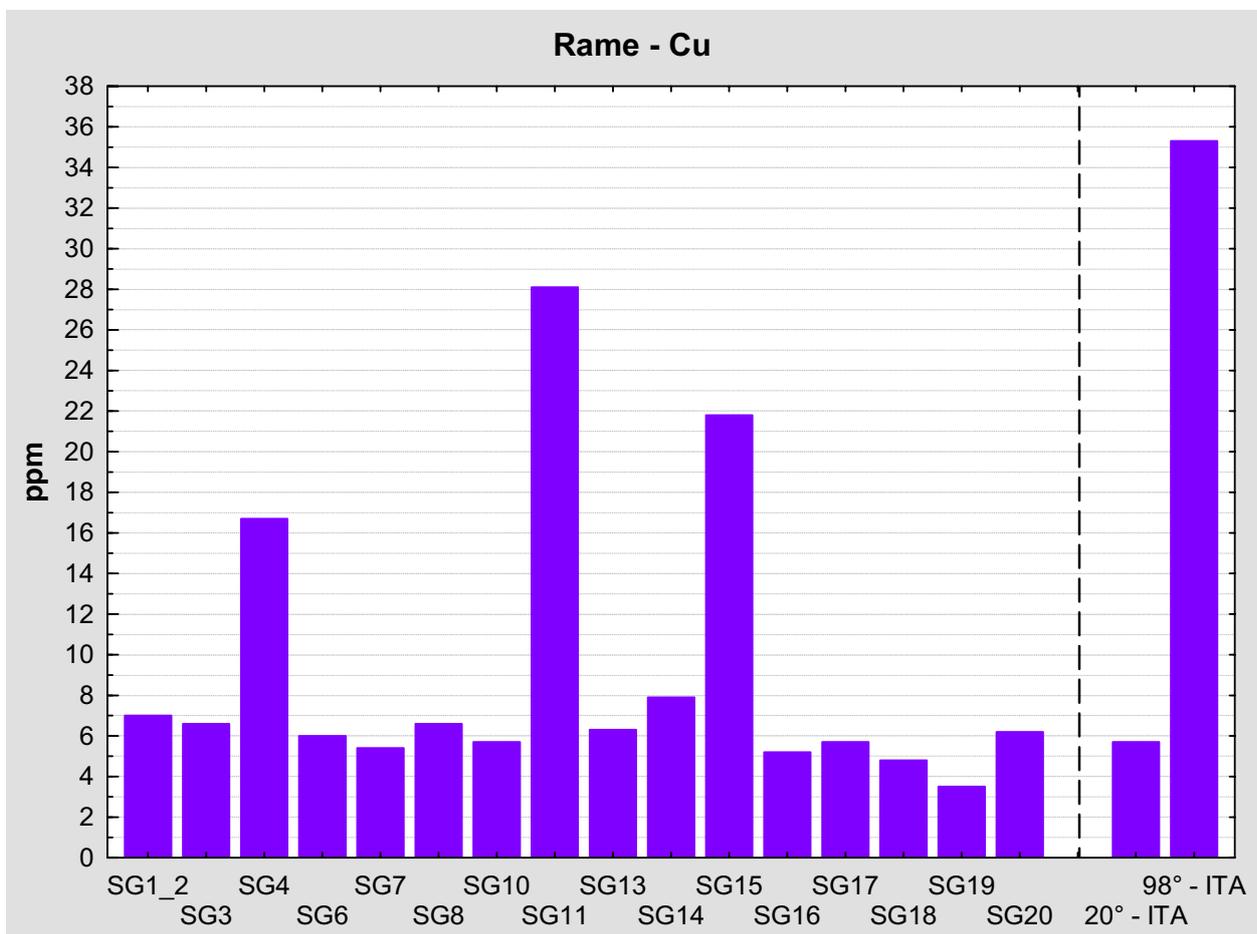


Figura 25. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

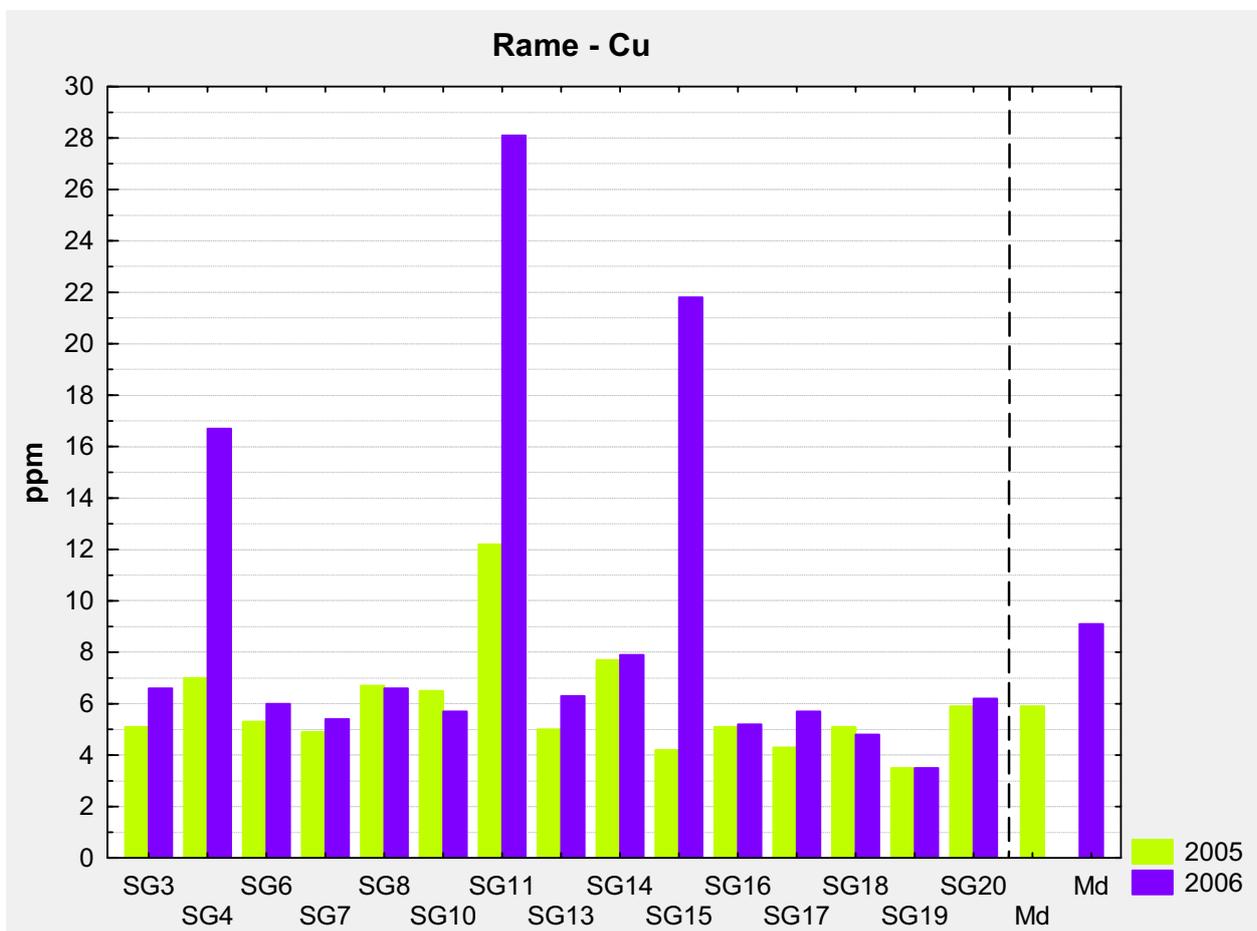


Figura 26. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

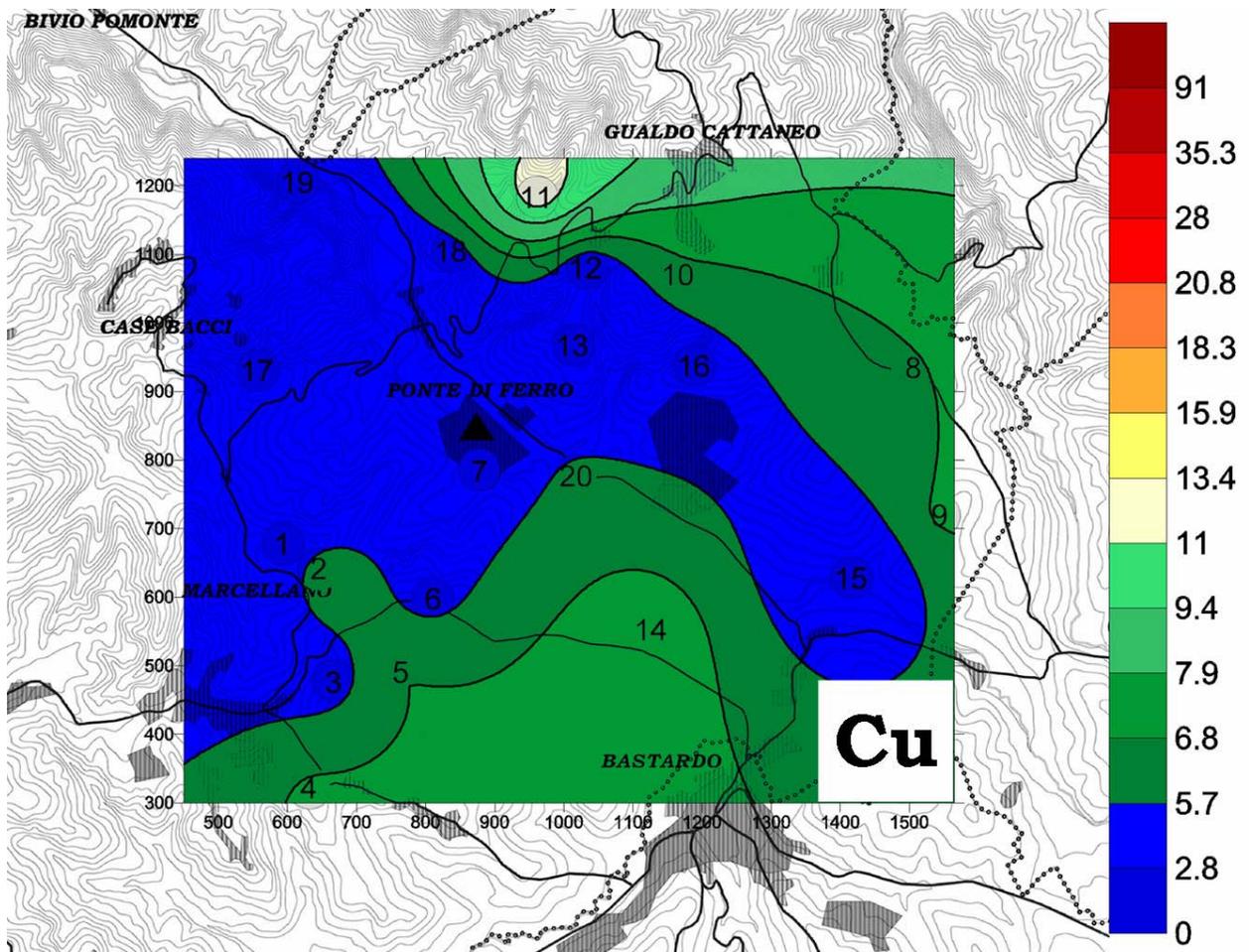


Figura 27. Mappa delle concentrazioni di rame bioaccumulate nel 2005

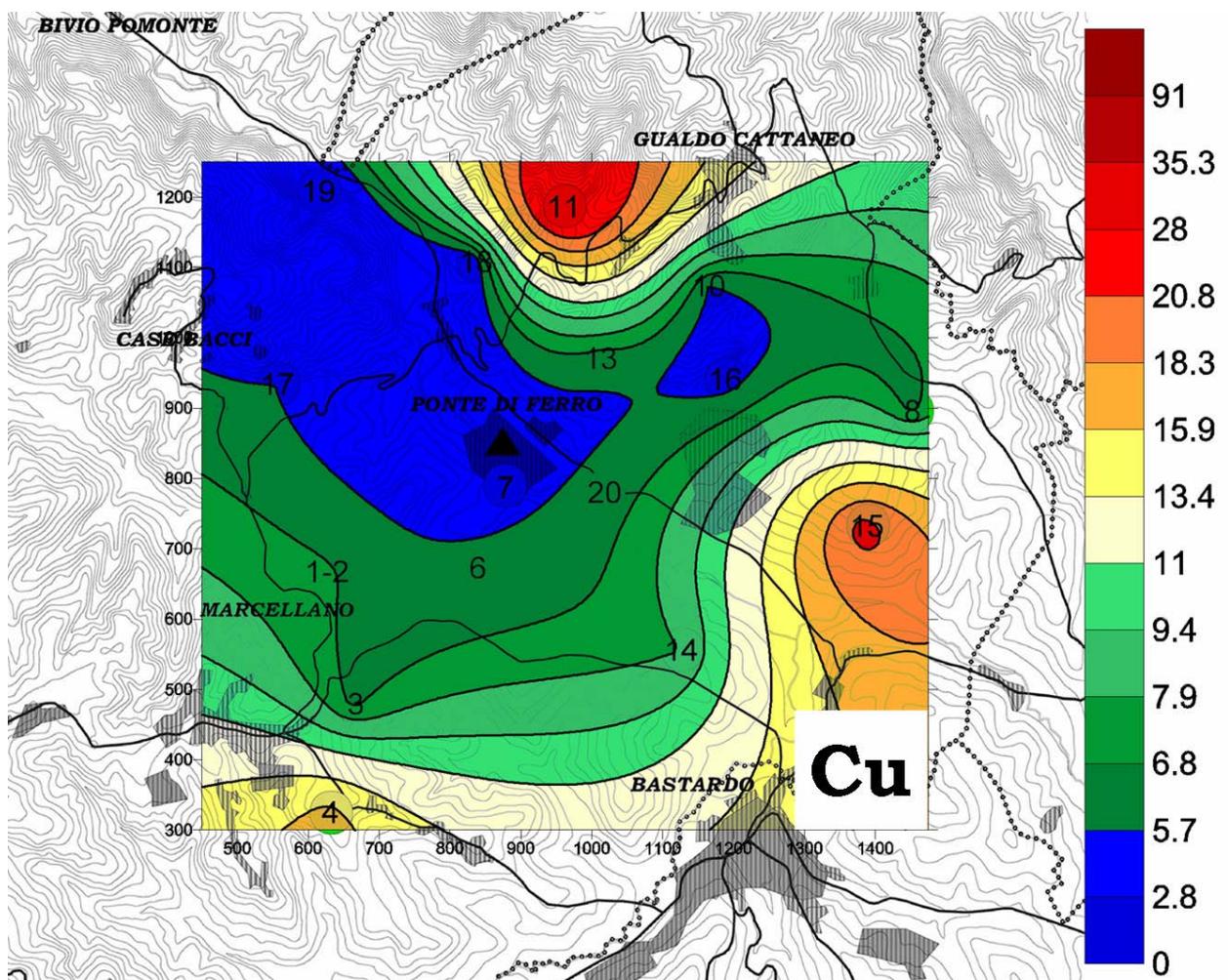


Figura 28. Mappa delle concentrazioni di rame bioaccumulate nel 2006

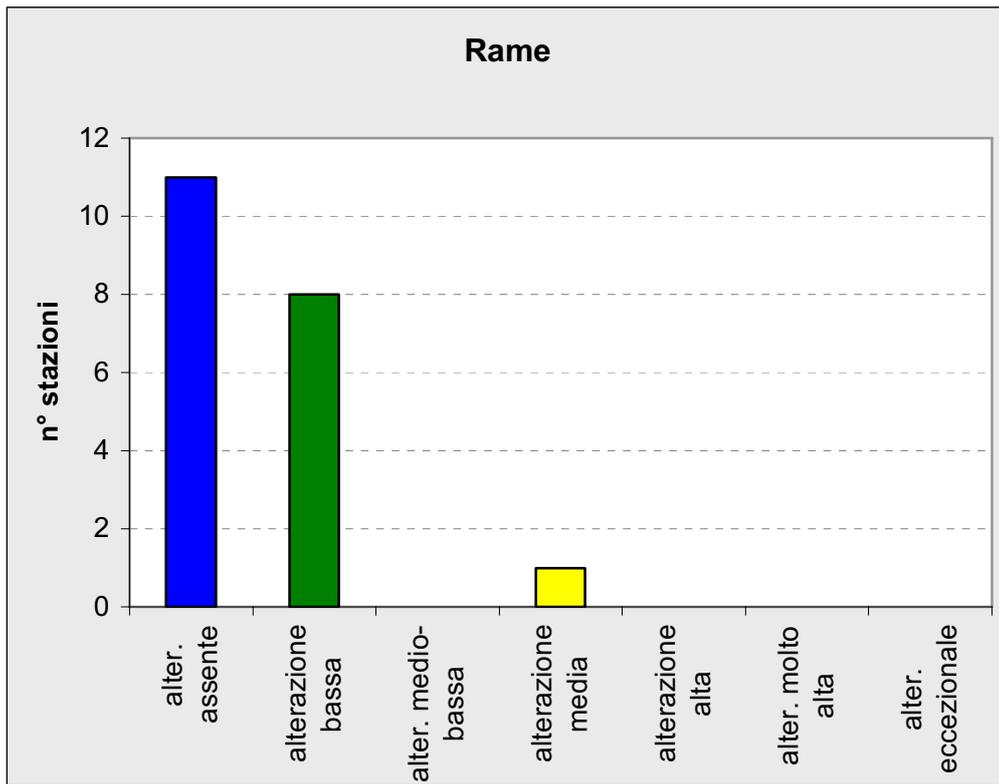


Figura 29. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

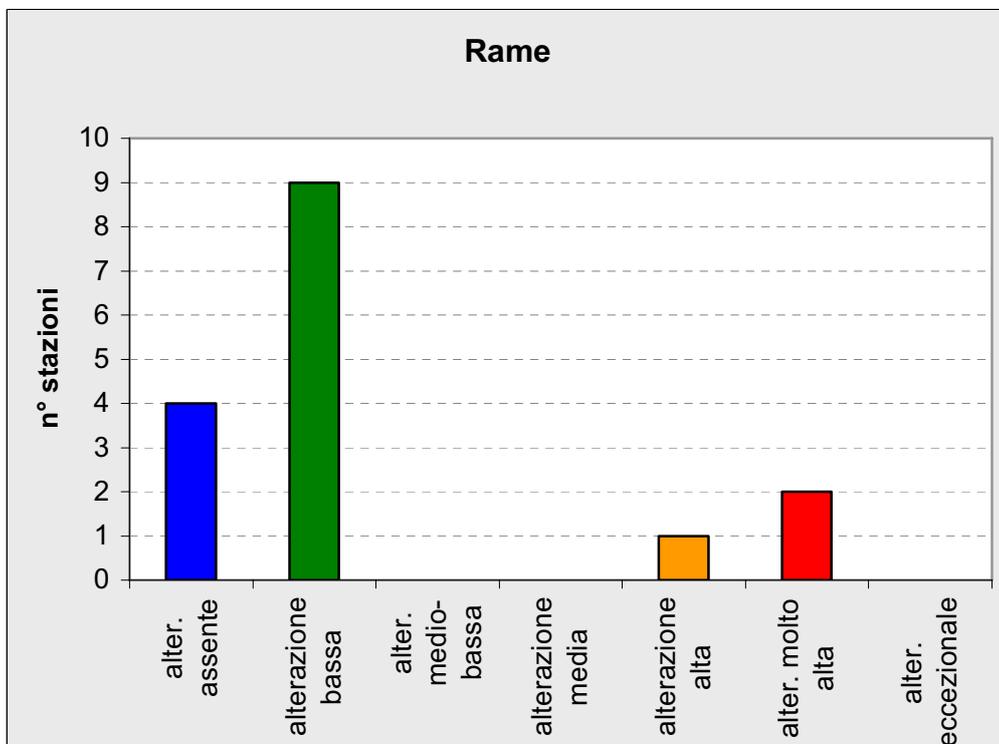


Figura 30. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

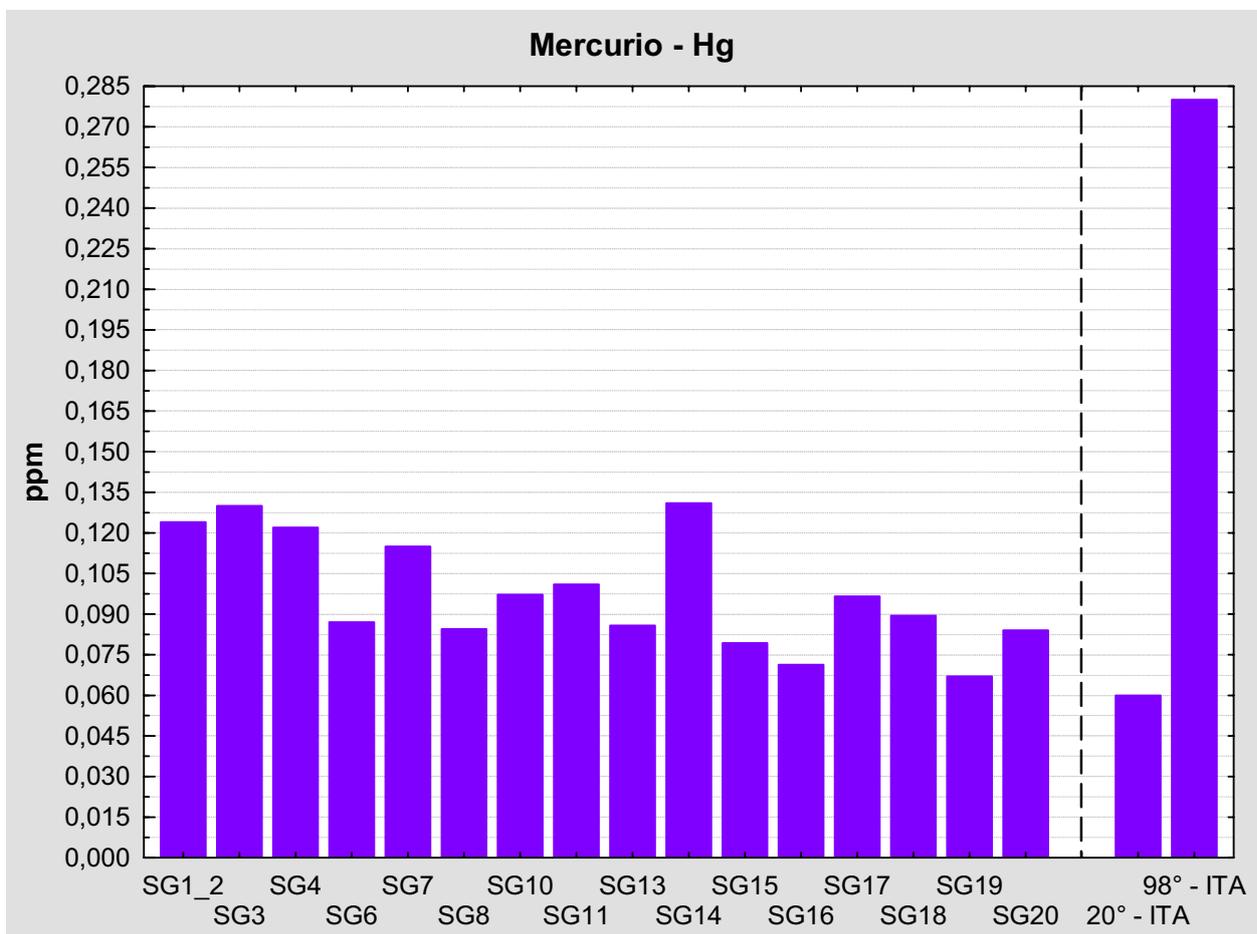


Figura 31. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

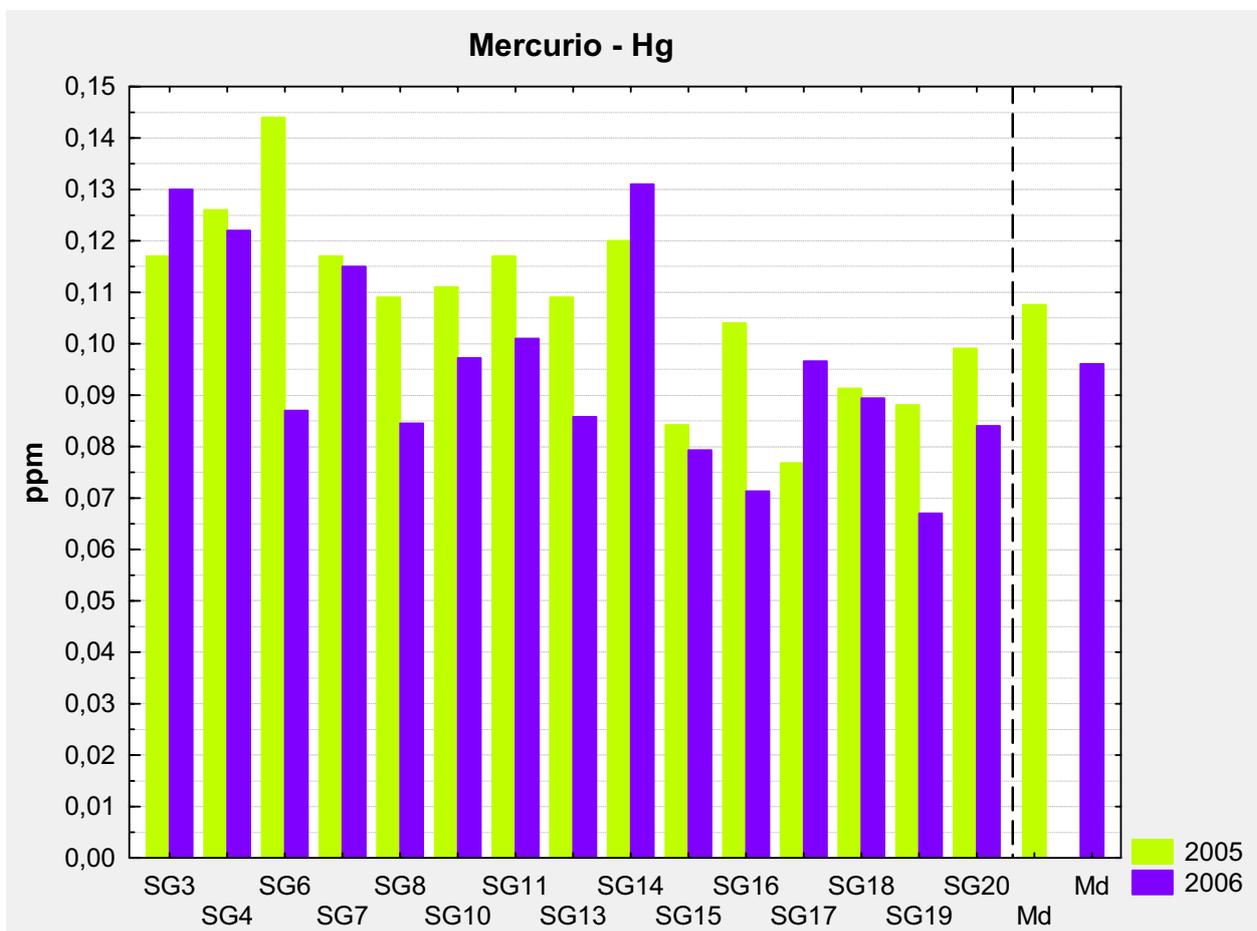


Figura 32. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

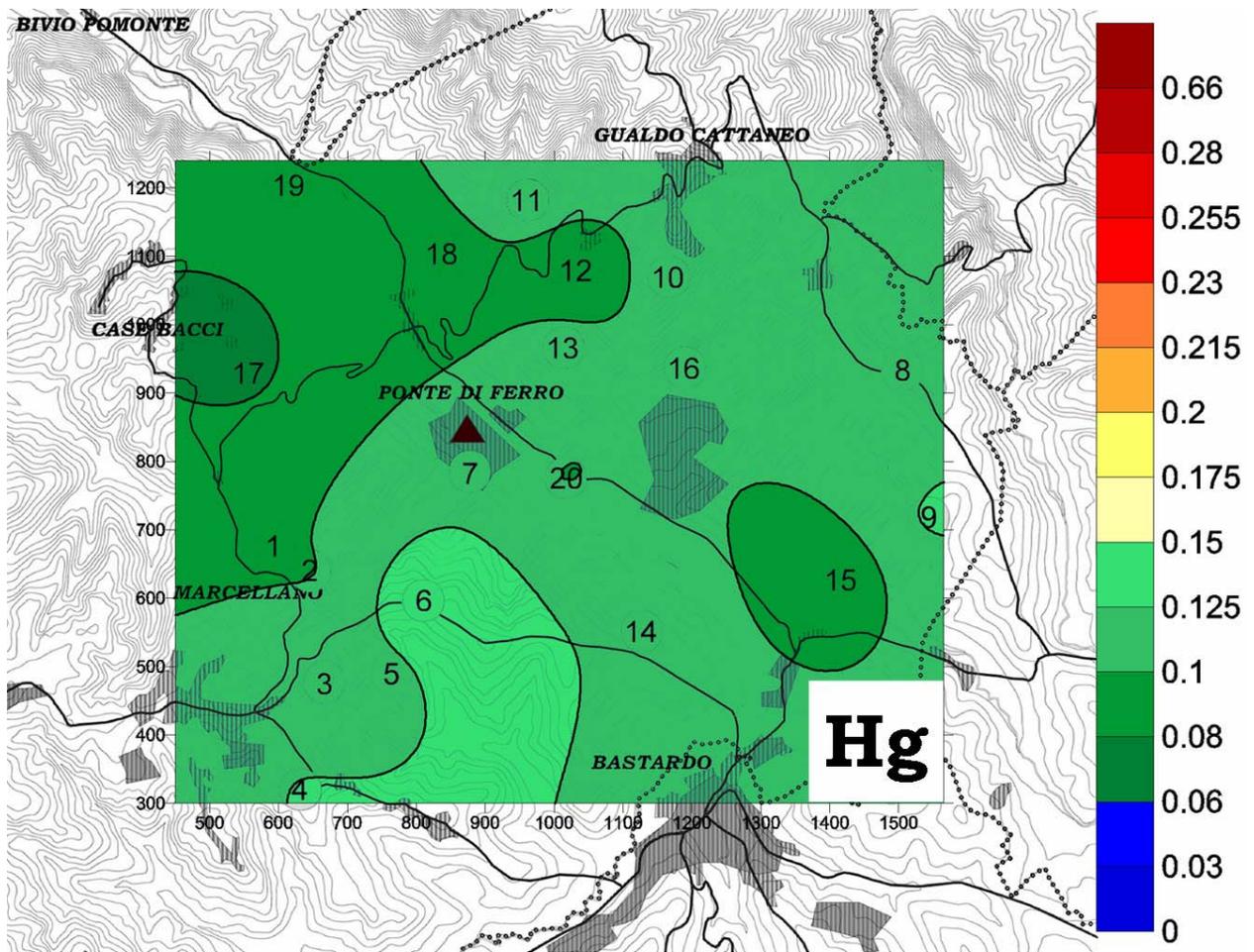


Figura 33. Mappa delle concentrazioni di mercurio bioaccumulate nel 2005

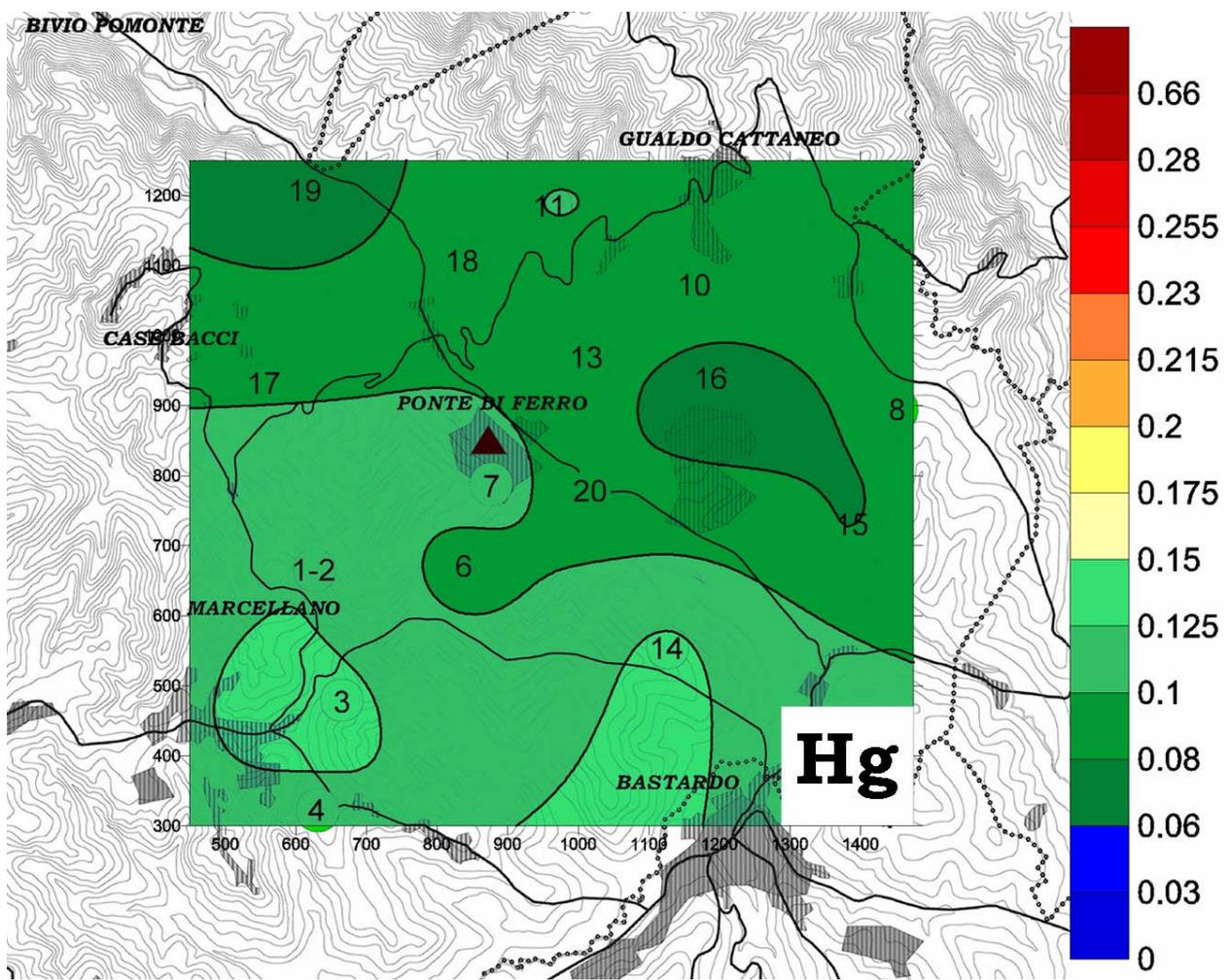


Figura 34. Mappa delle concentrazioni di mercurio bioaccumulate nel 2006

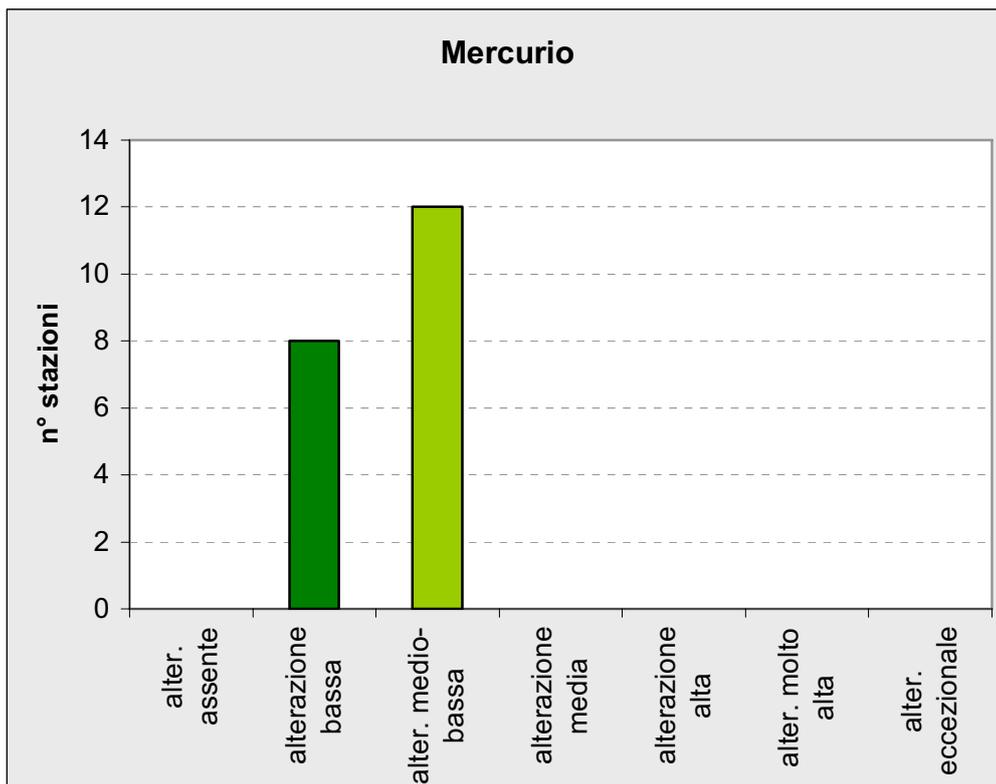


Figura 35. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

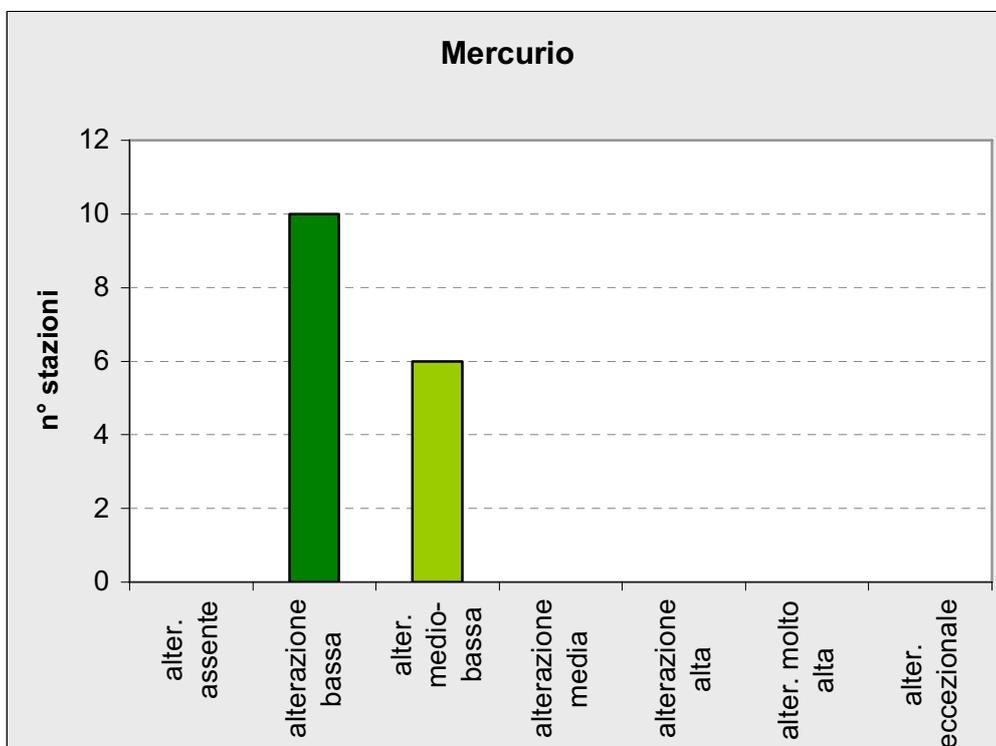


Figura 36. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

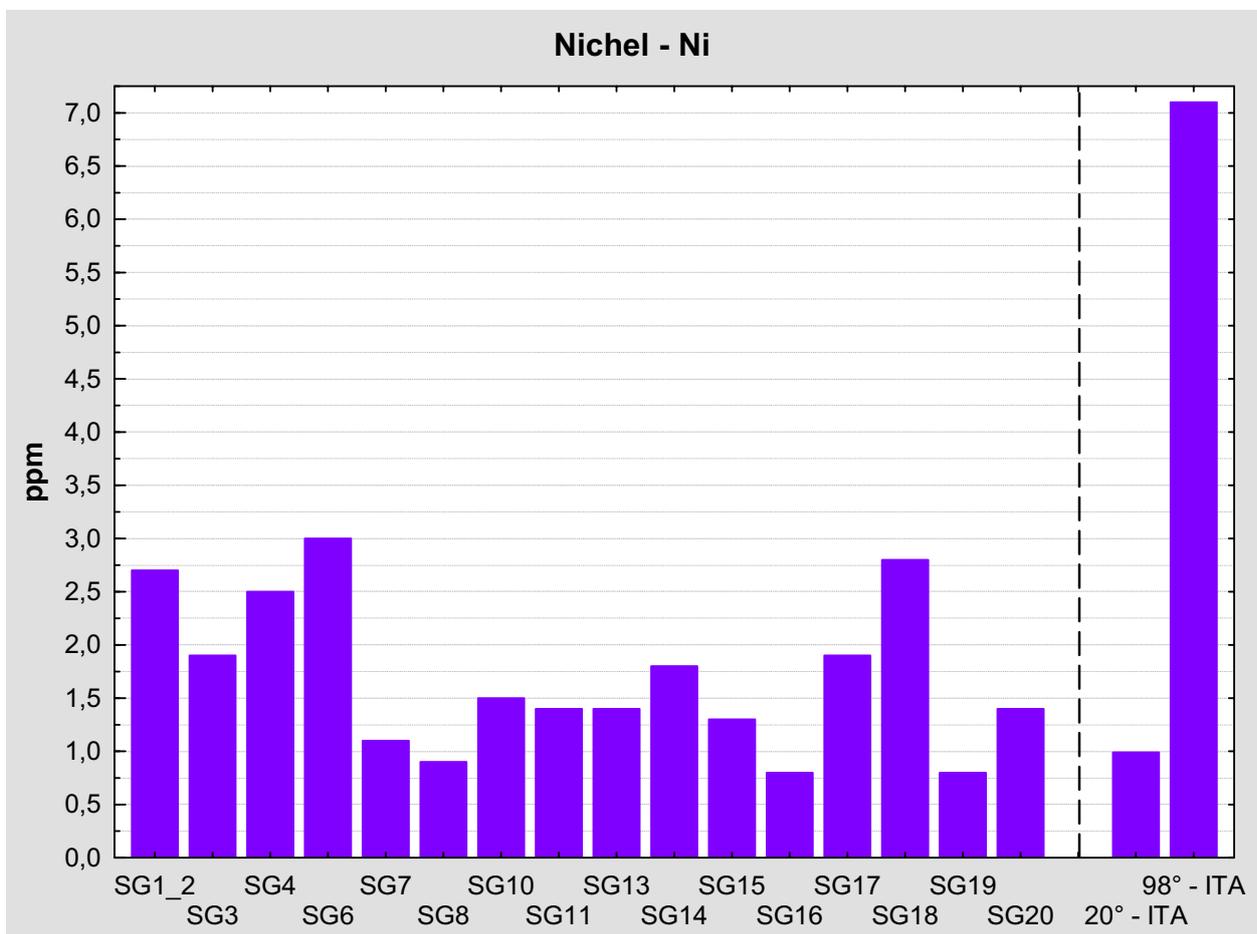


Figura 37. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

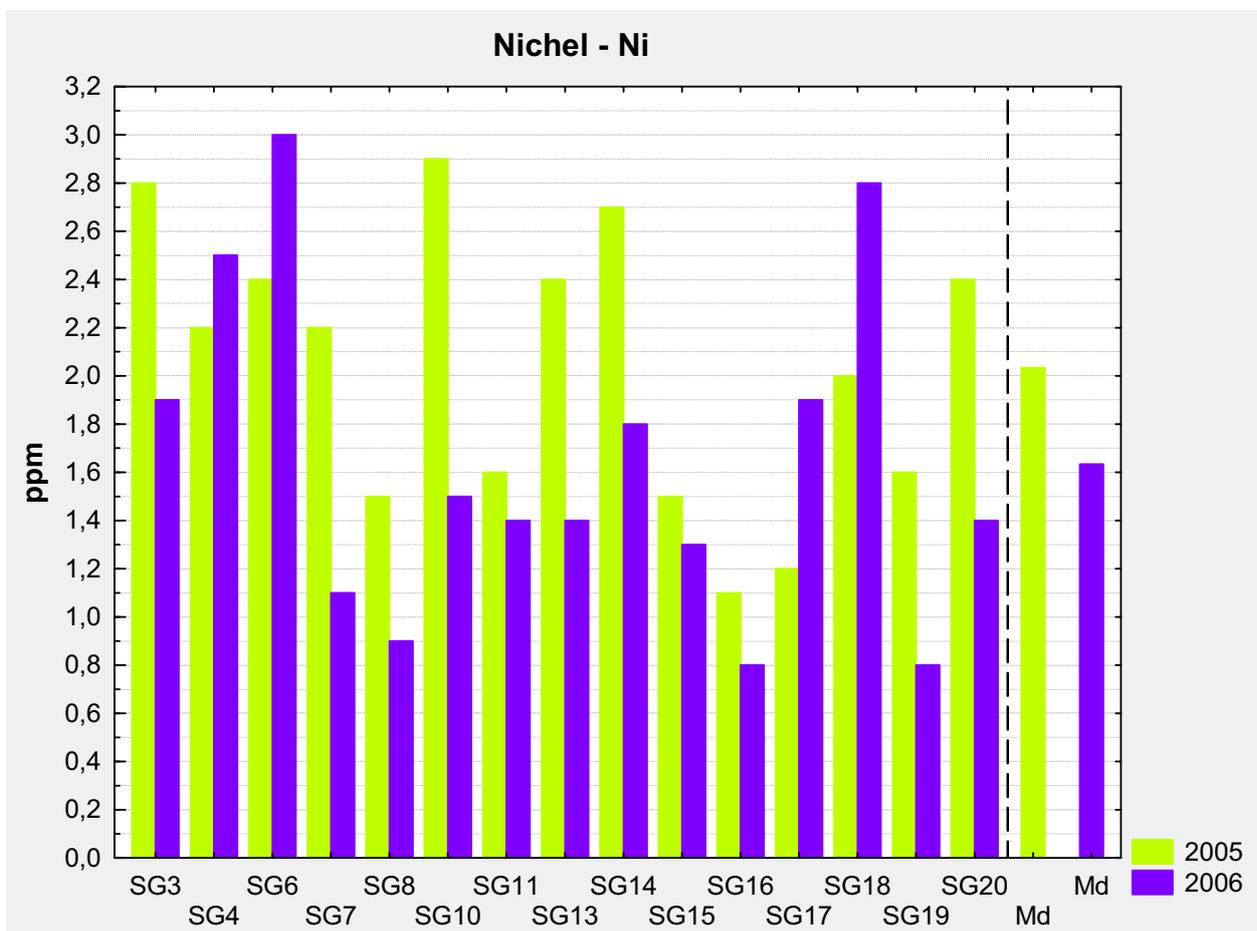


Figura 38. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

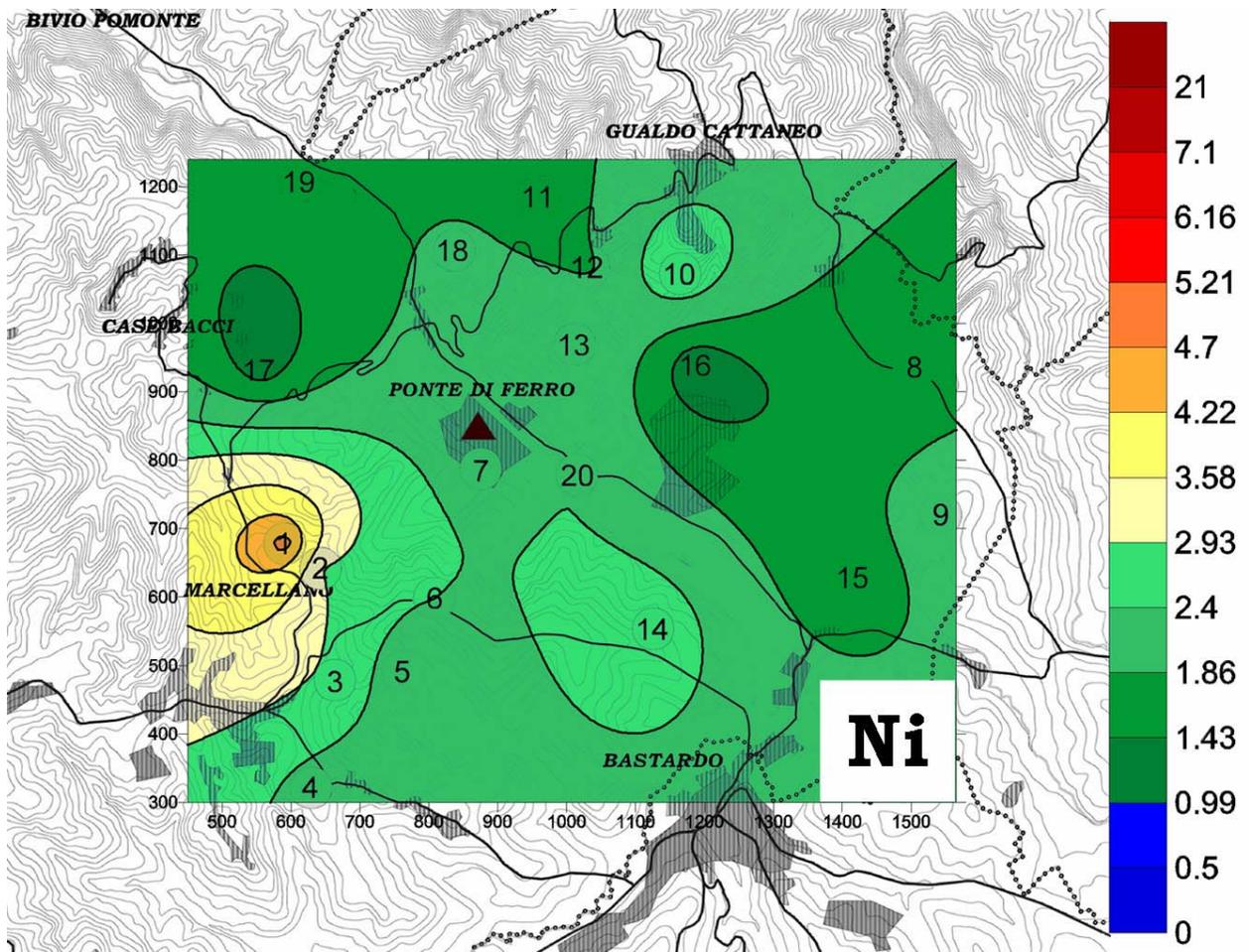


Figura 39. Mappa delle concentrazioni di nichel bioaccumulate nel 2005

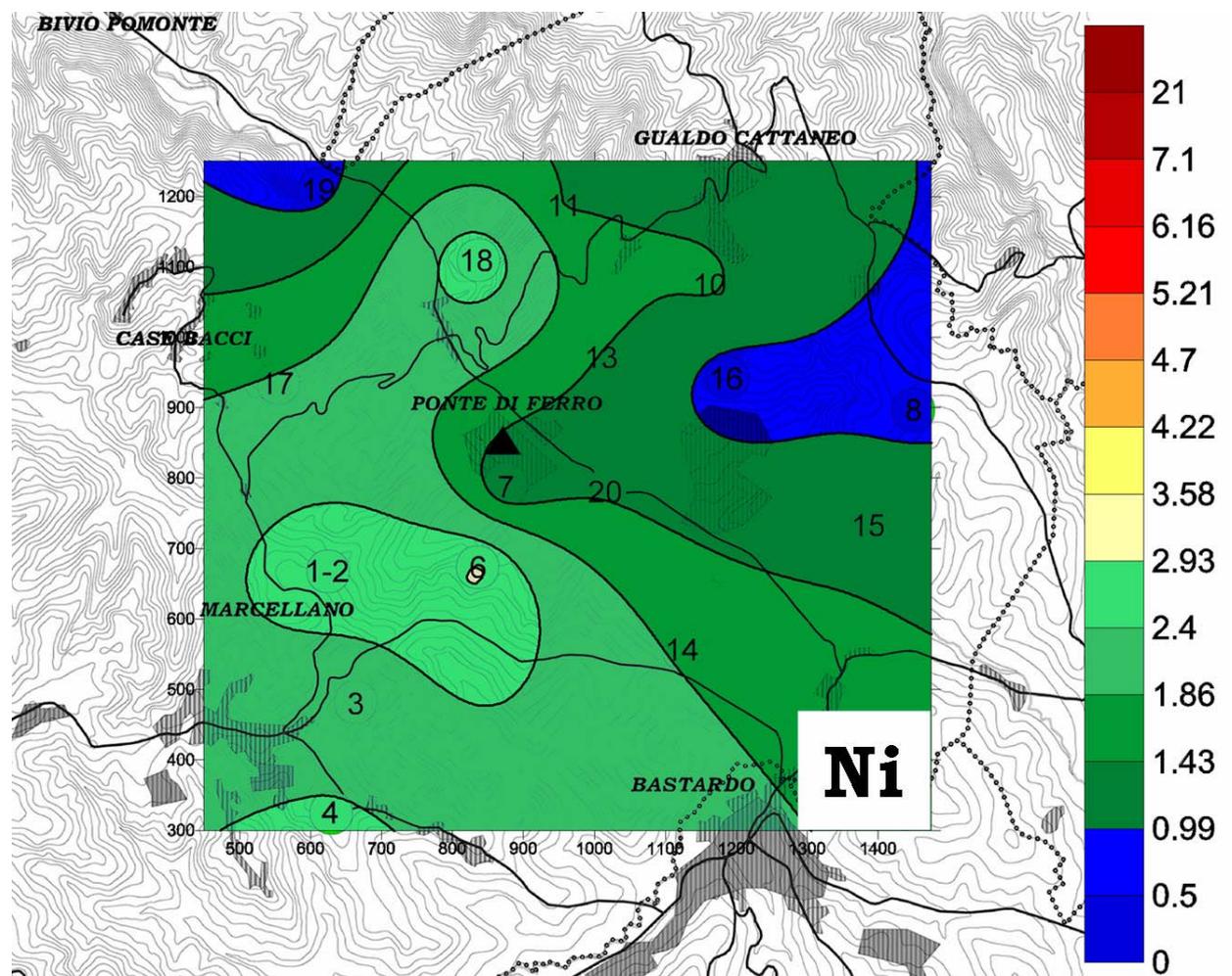


Figura 40. Mappa delle concentrazioni di nichel bioaccumulate nel 2006

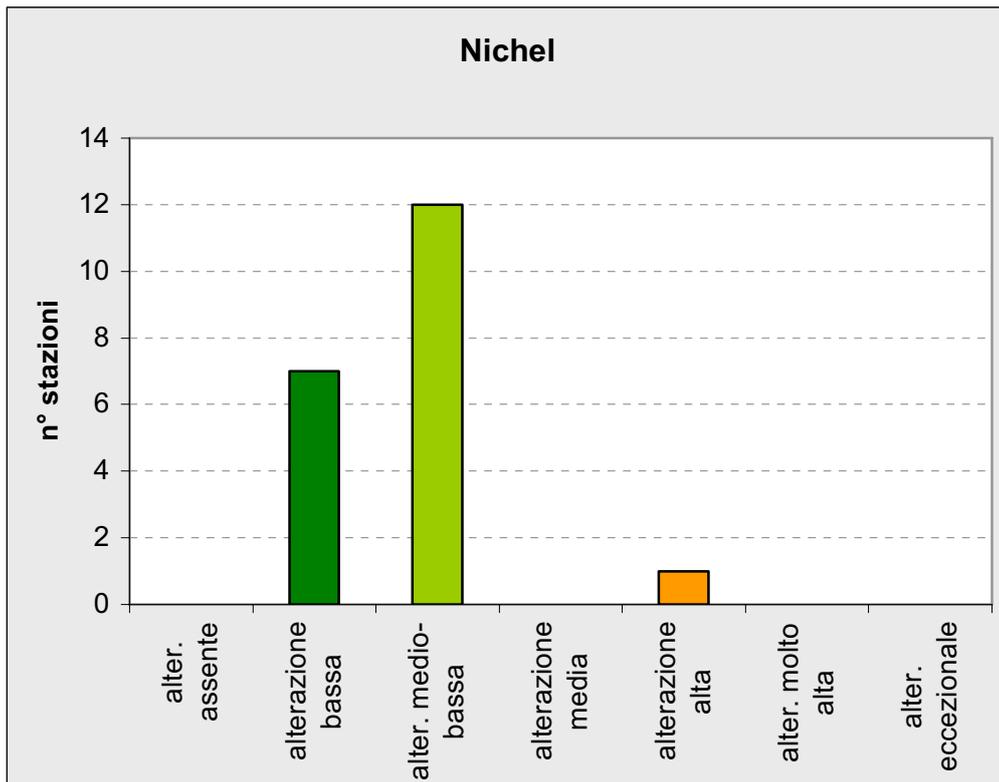


Figura 41. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

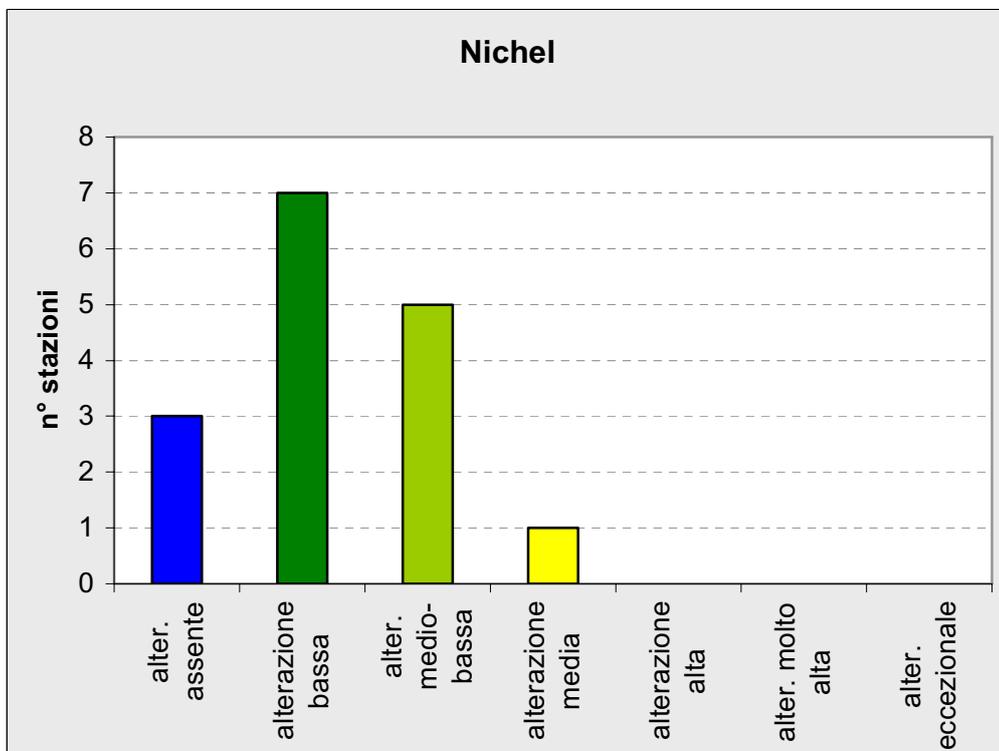


Figura 42. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

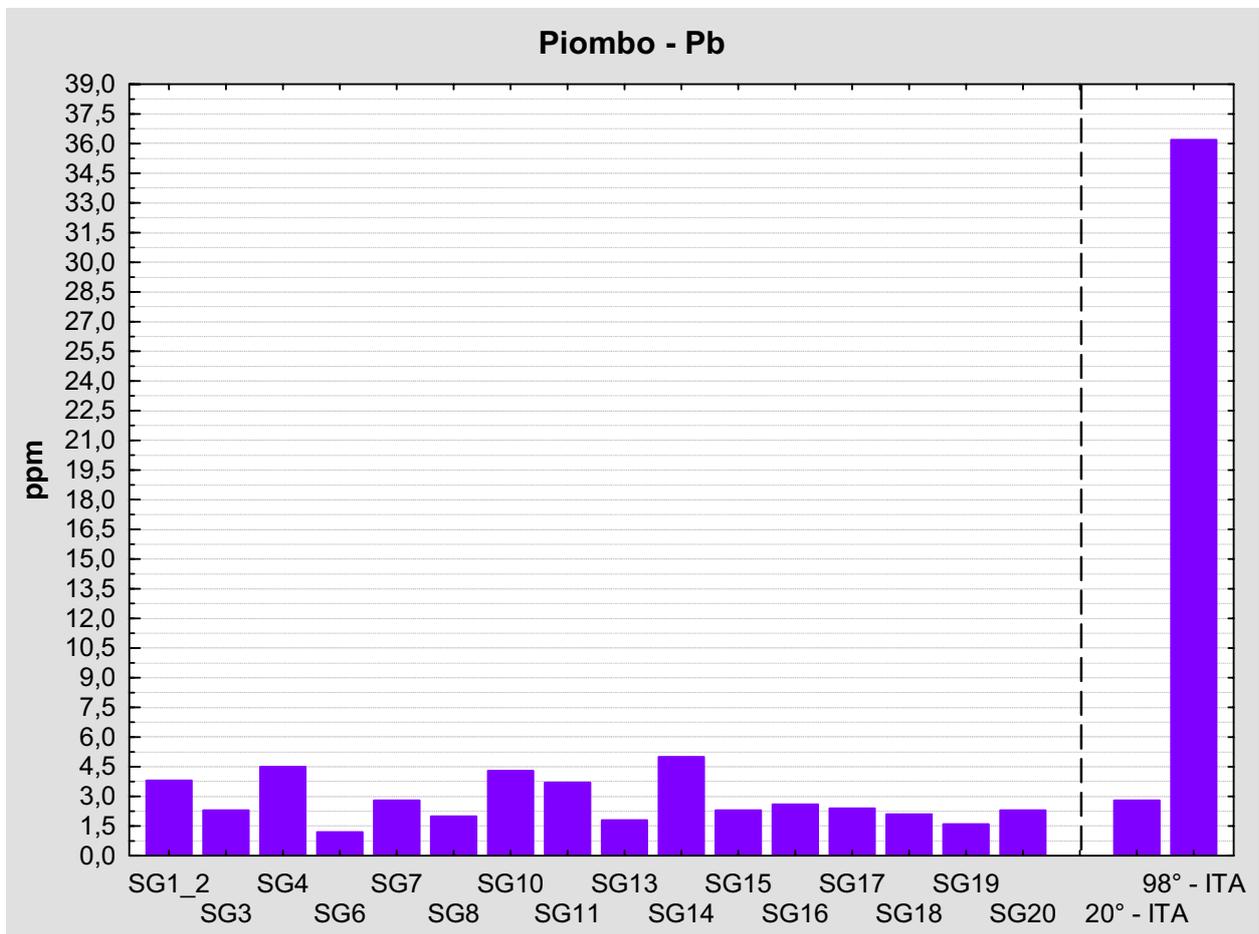


Figura 43. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

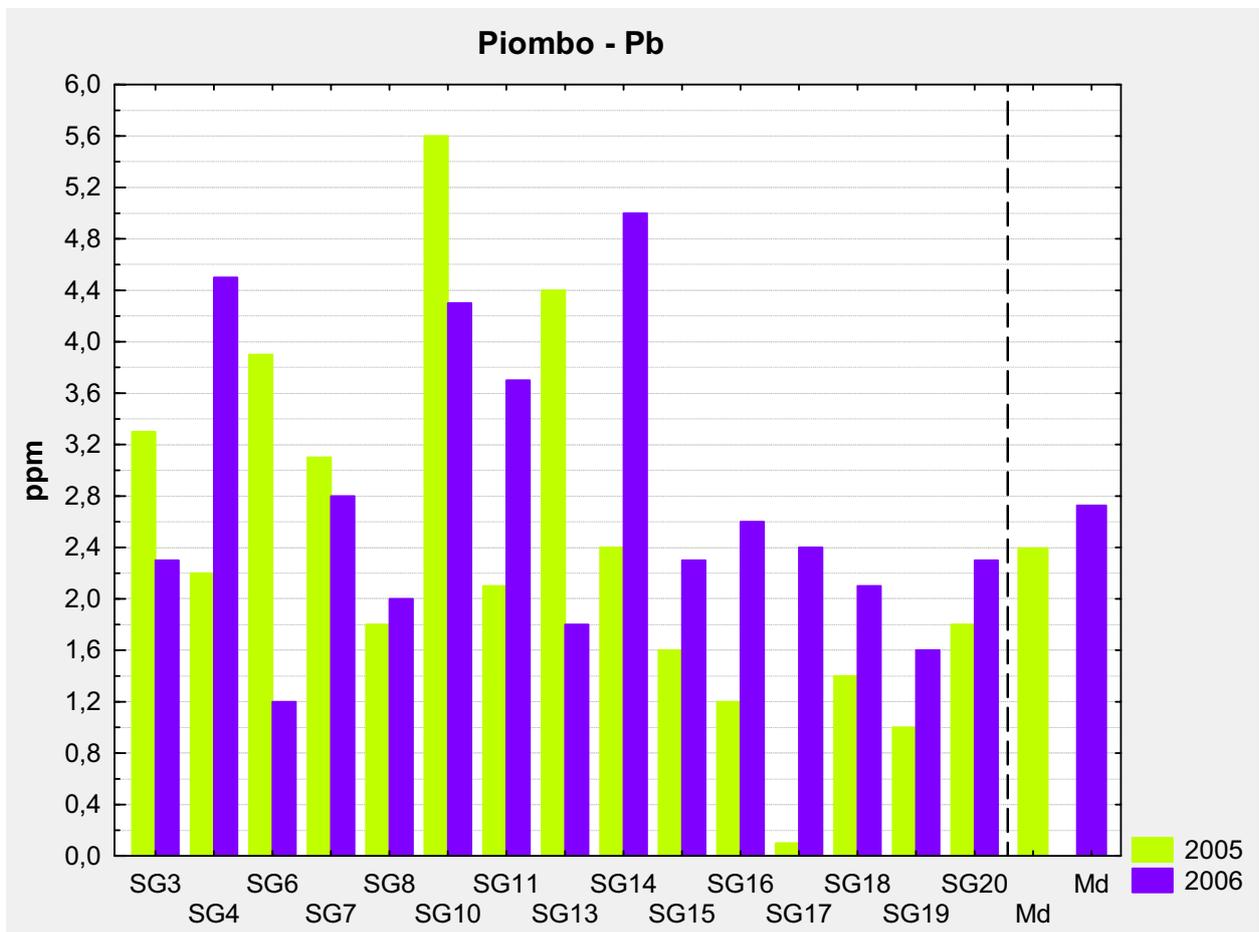


Figura 44. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

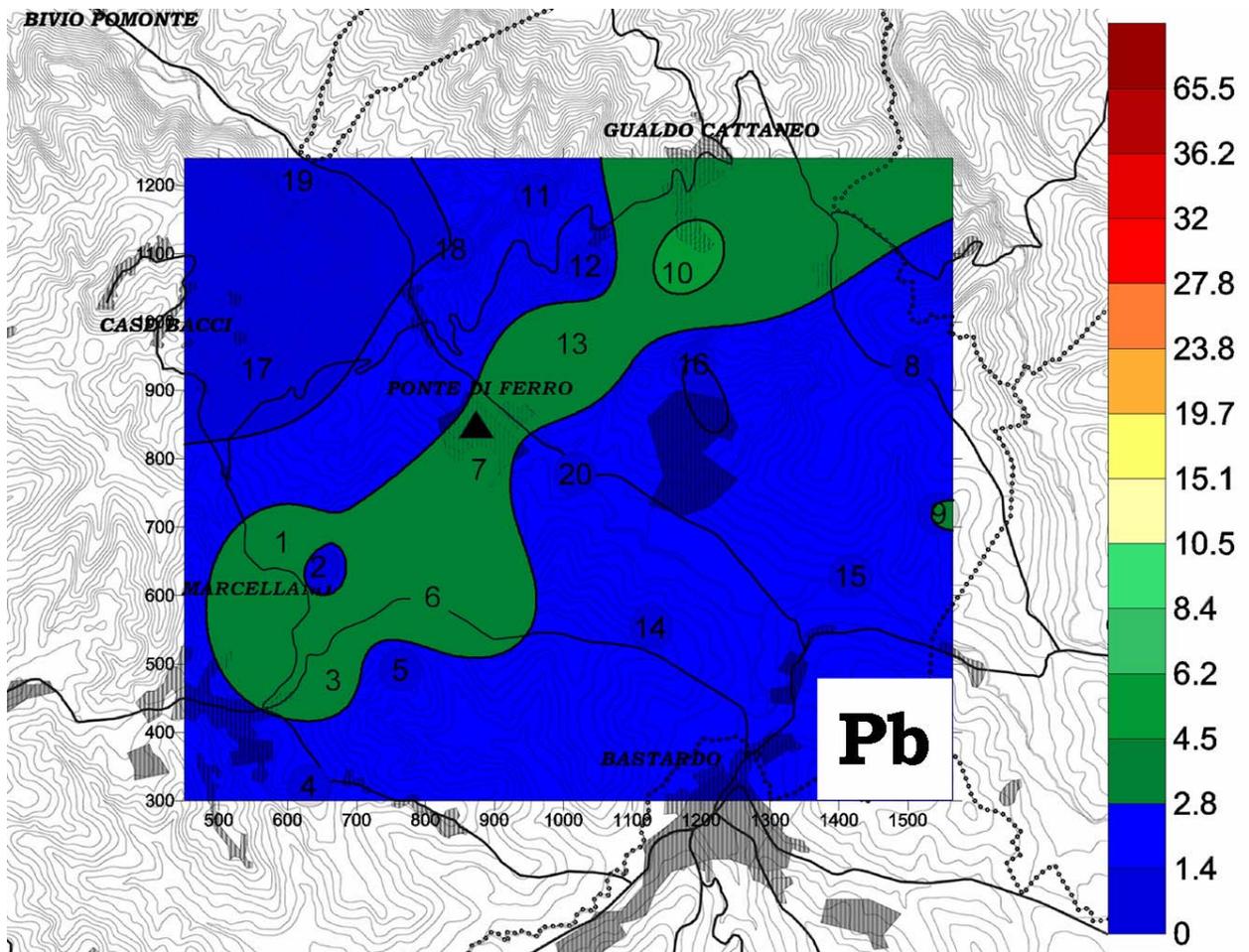


Figura 45. Mappa delle concentrazioni di piombo bioaccumulate nel 2005

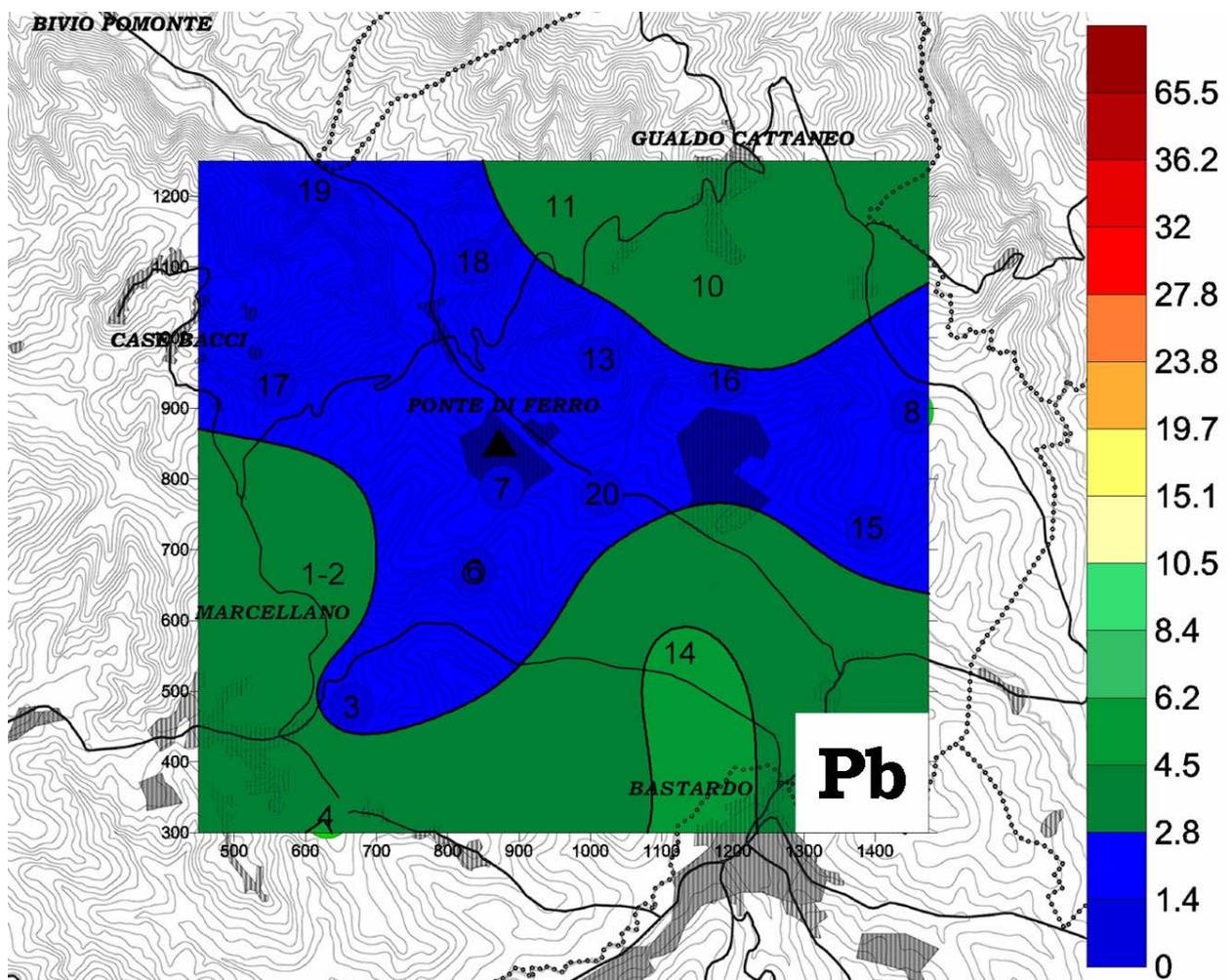


Figura 46. Mappa delle concentrazioni di piombo bioaccumulate nel 2006

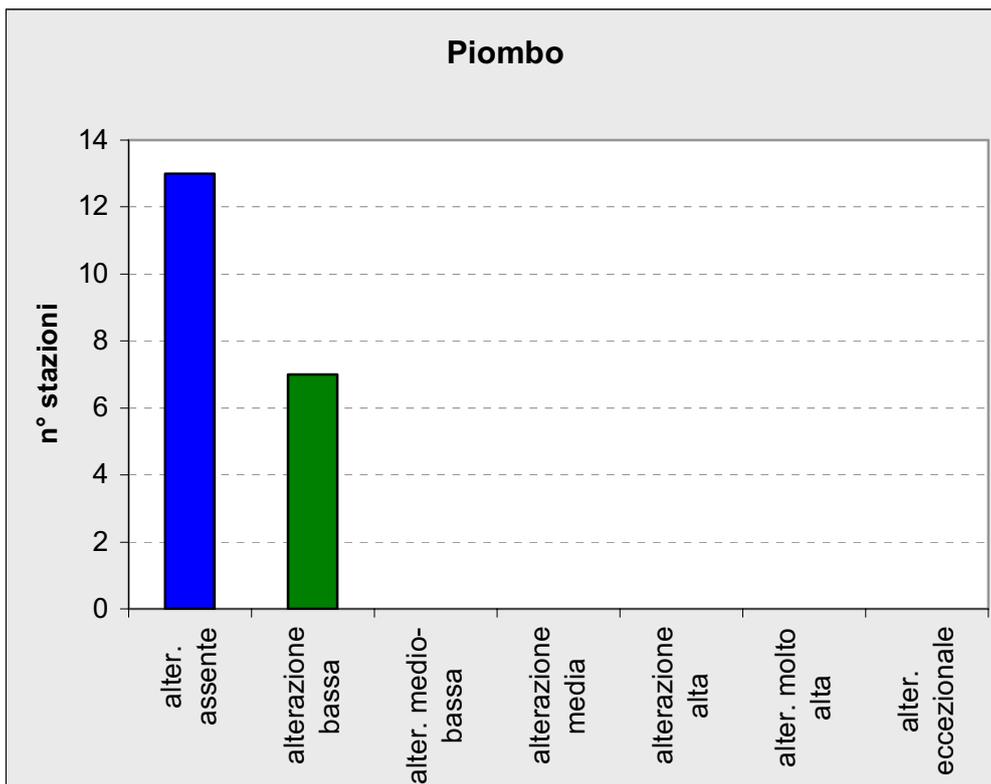


Figura 47. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

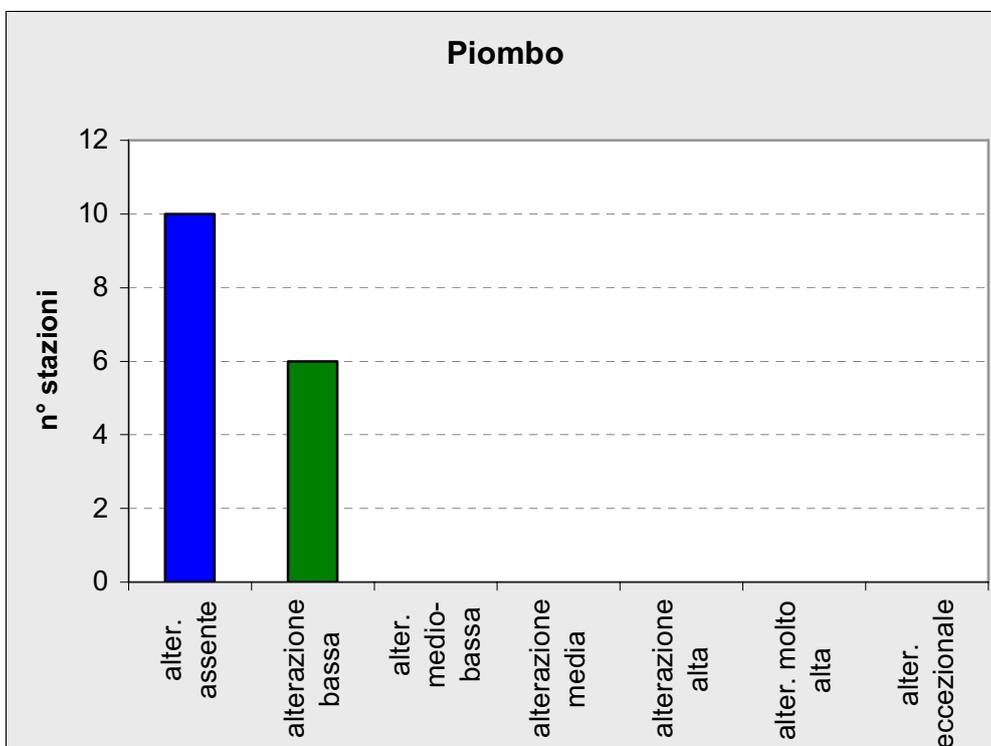


Figura 48. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

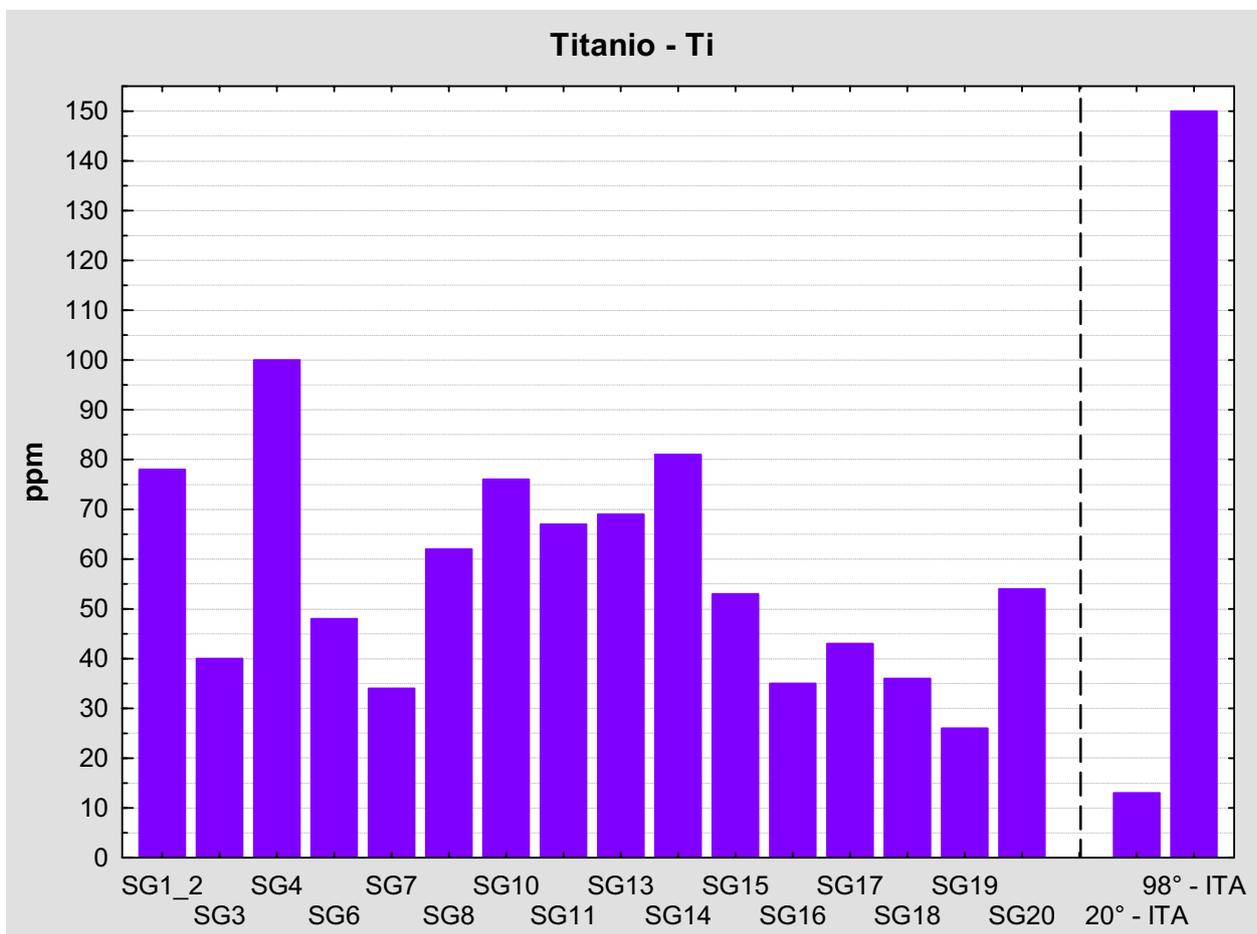


Figura 49. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

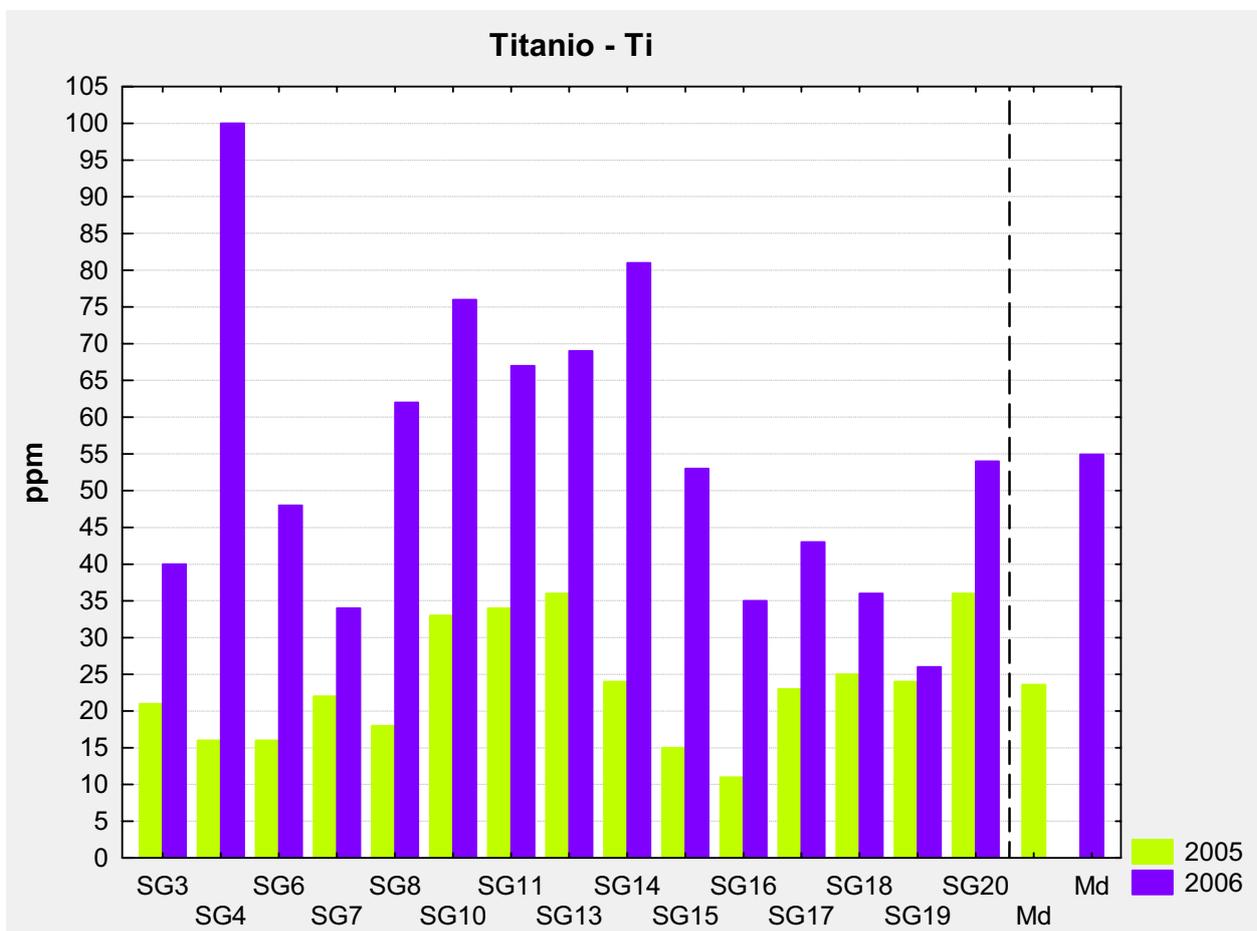


Figura 50. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

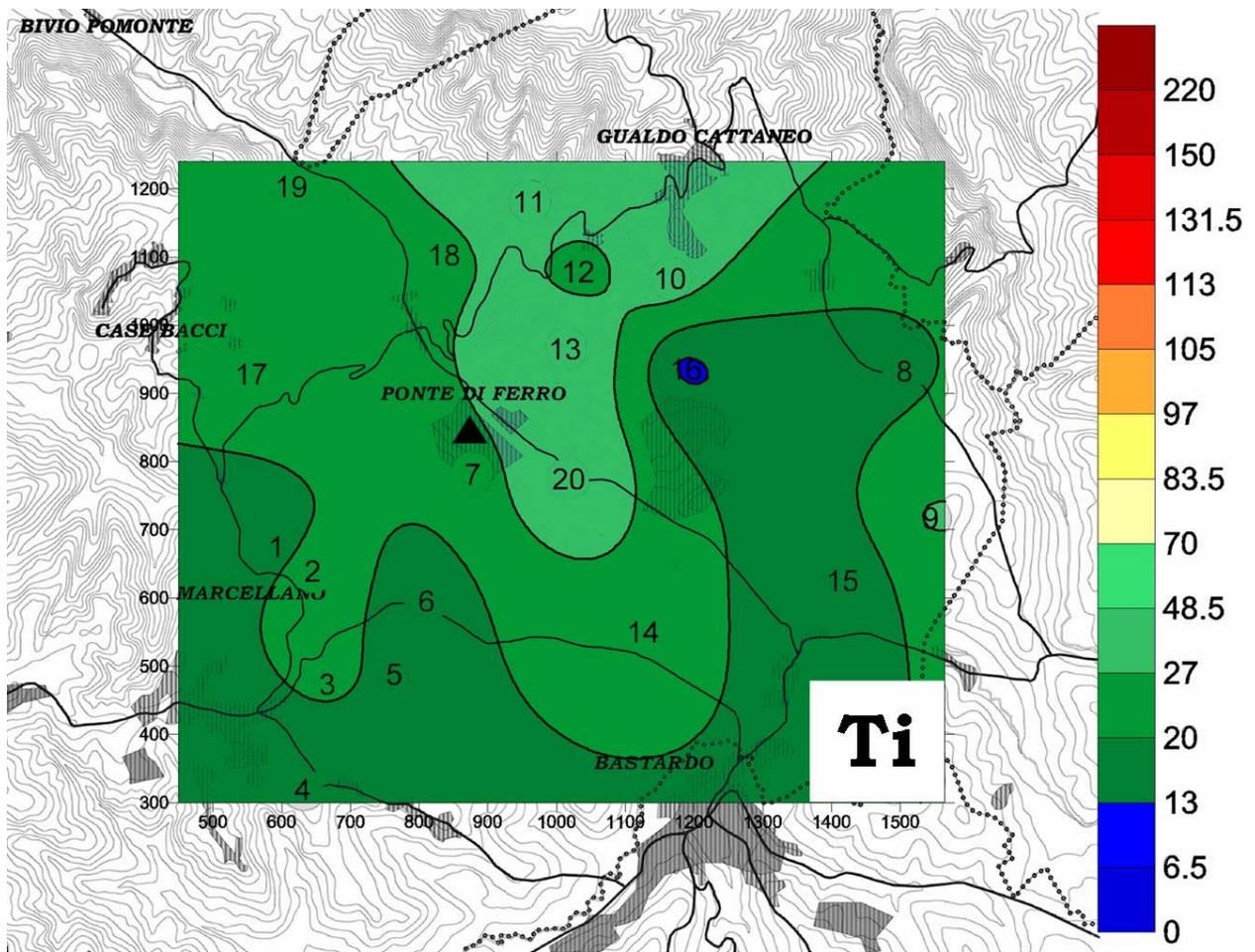


Figura 51. Mappa delle concentrazioni di titanio bioaccumulate nel 2005

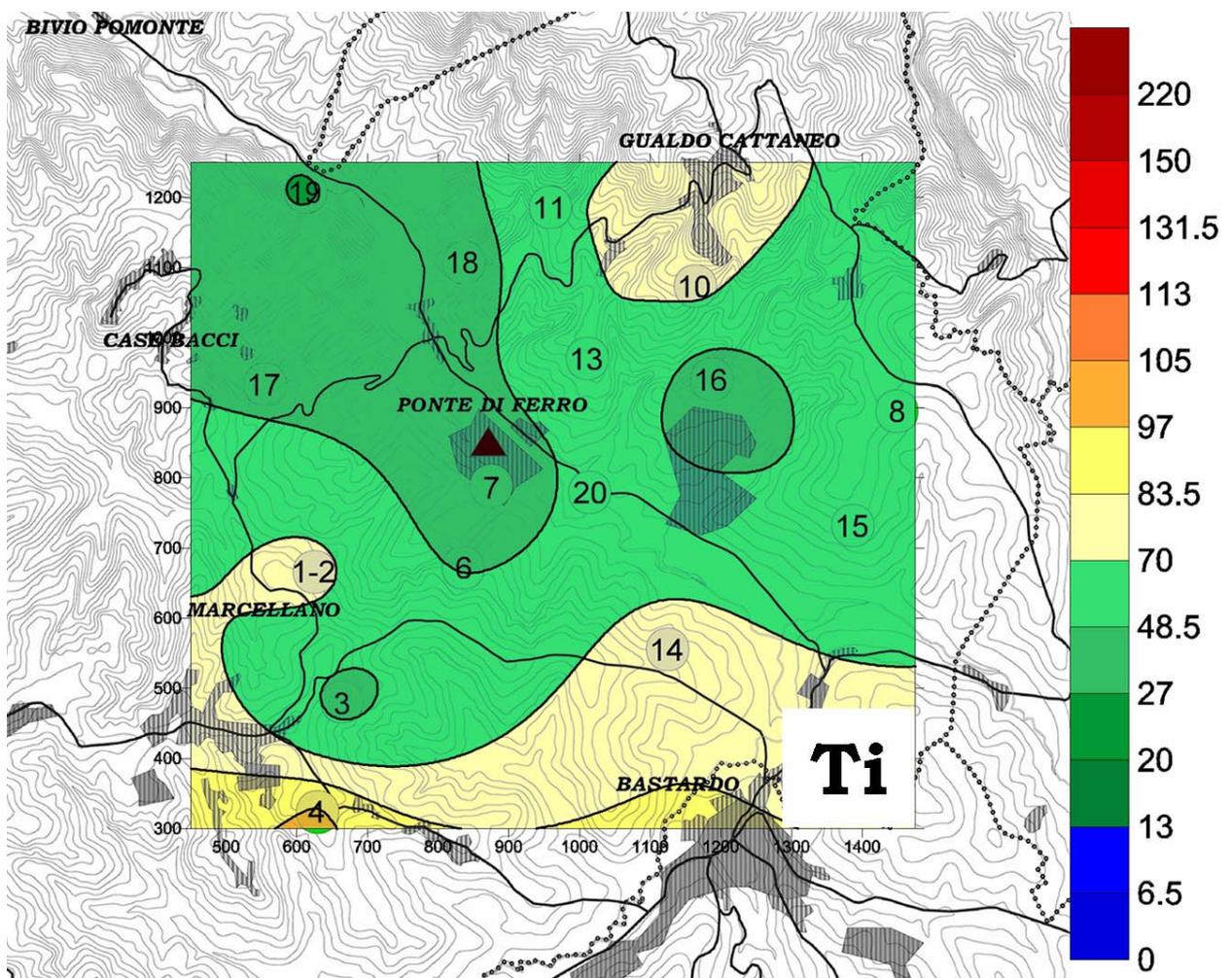


Figura 52. Mappa delle concentrazioni di titanio bioaccumulate nel 2006

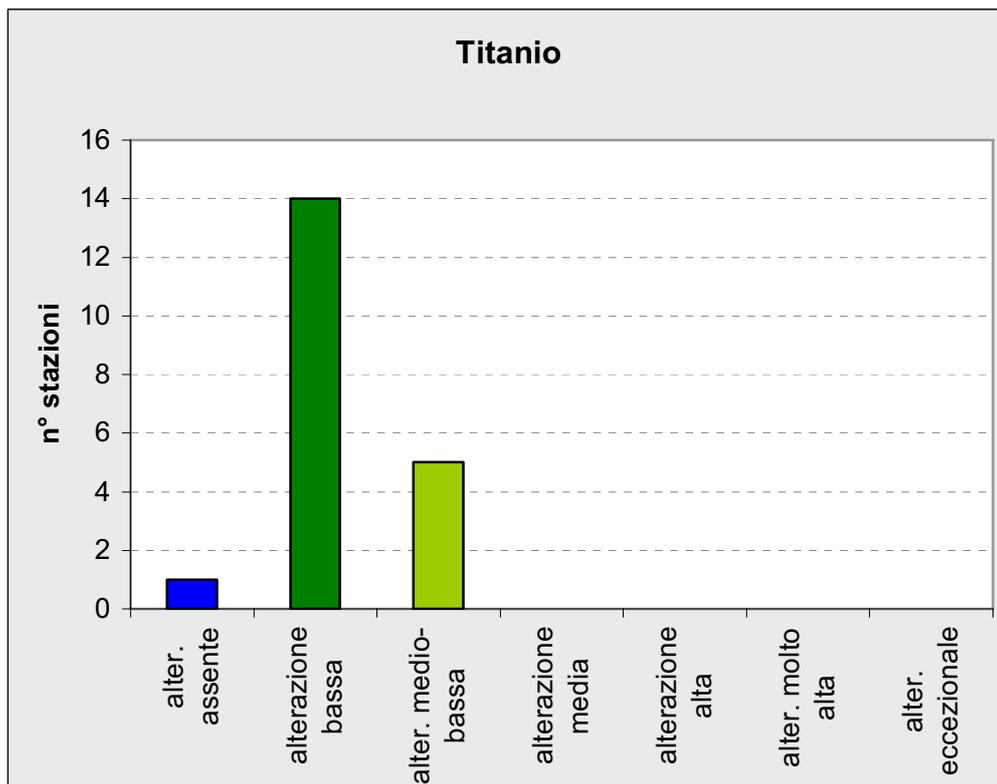


Figura 53. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

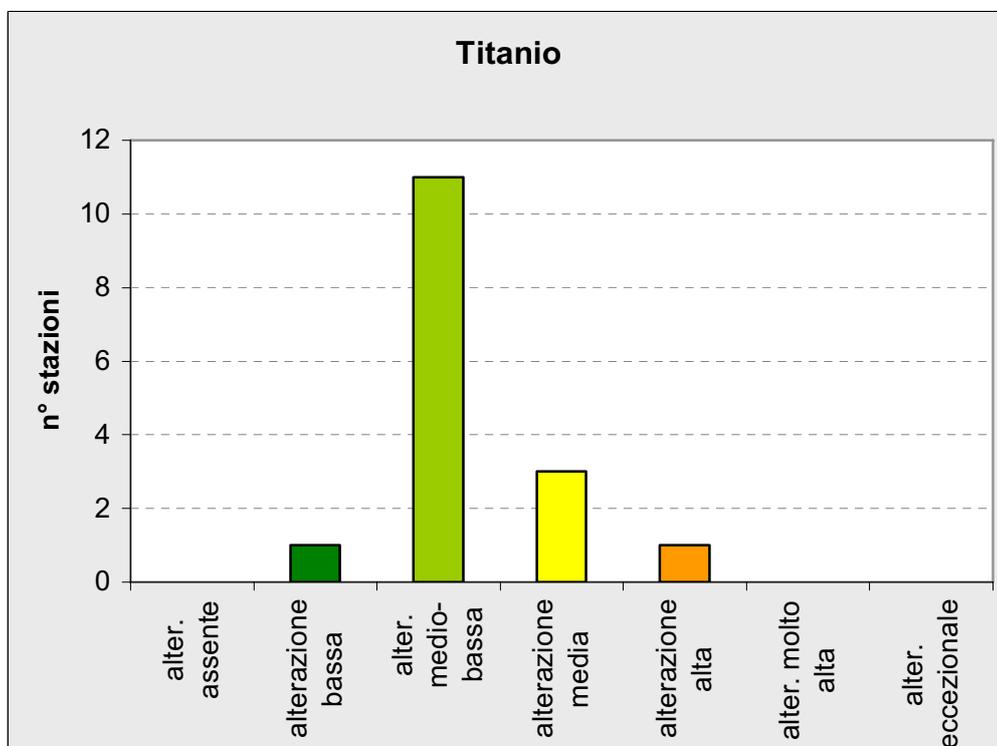


Figura 54. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

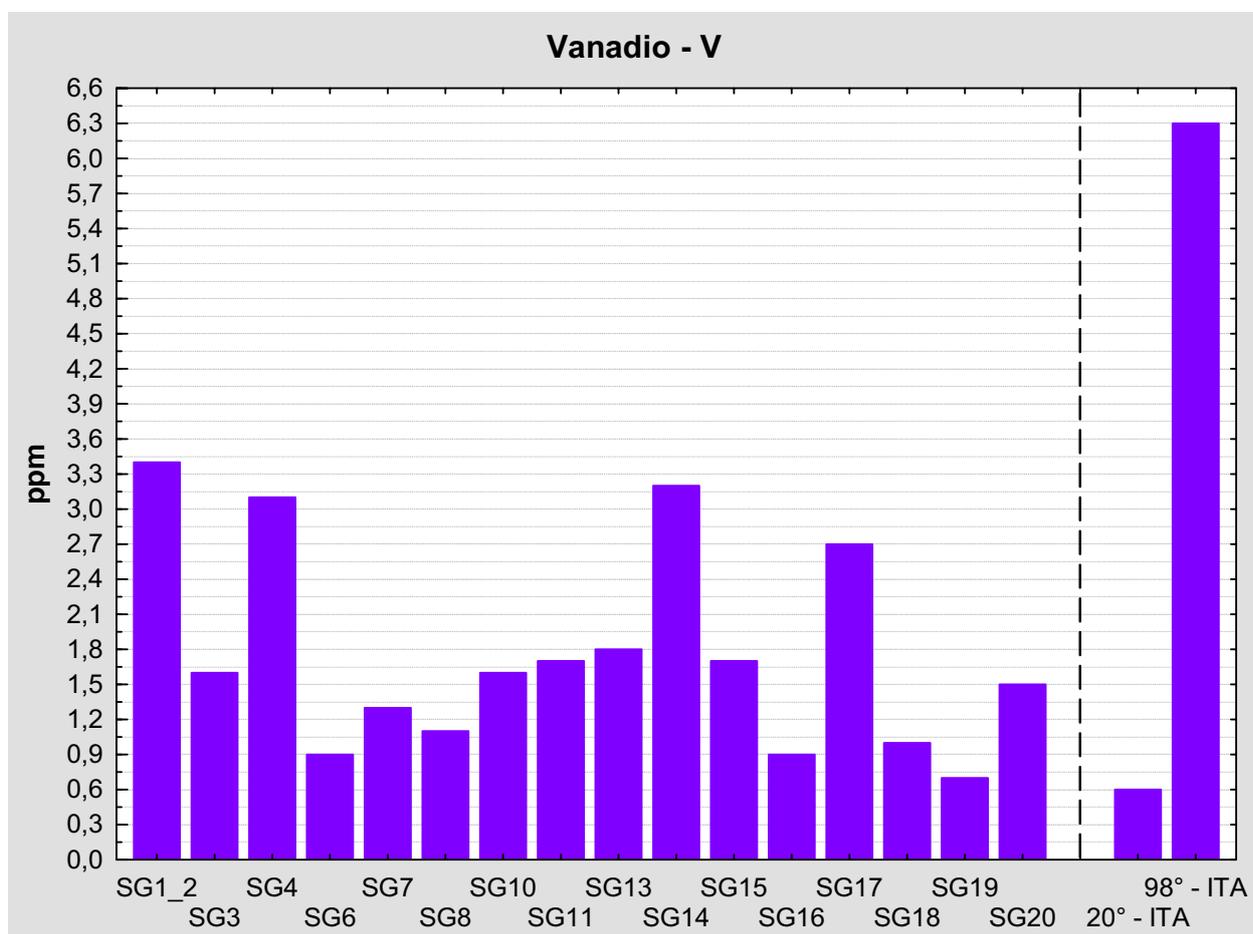


Figura 55. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

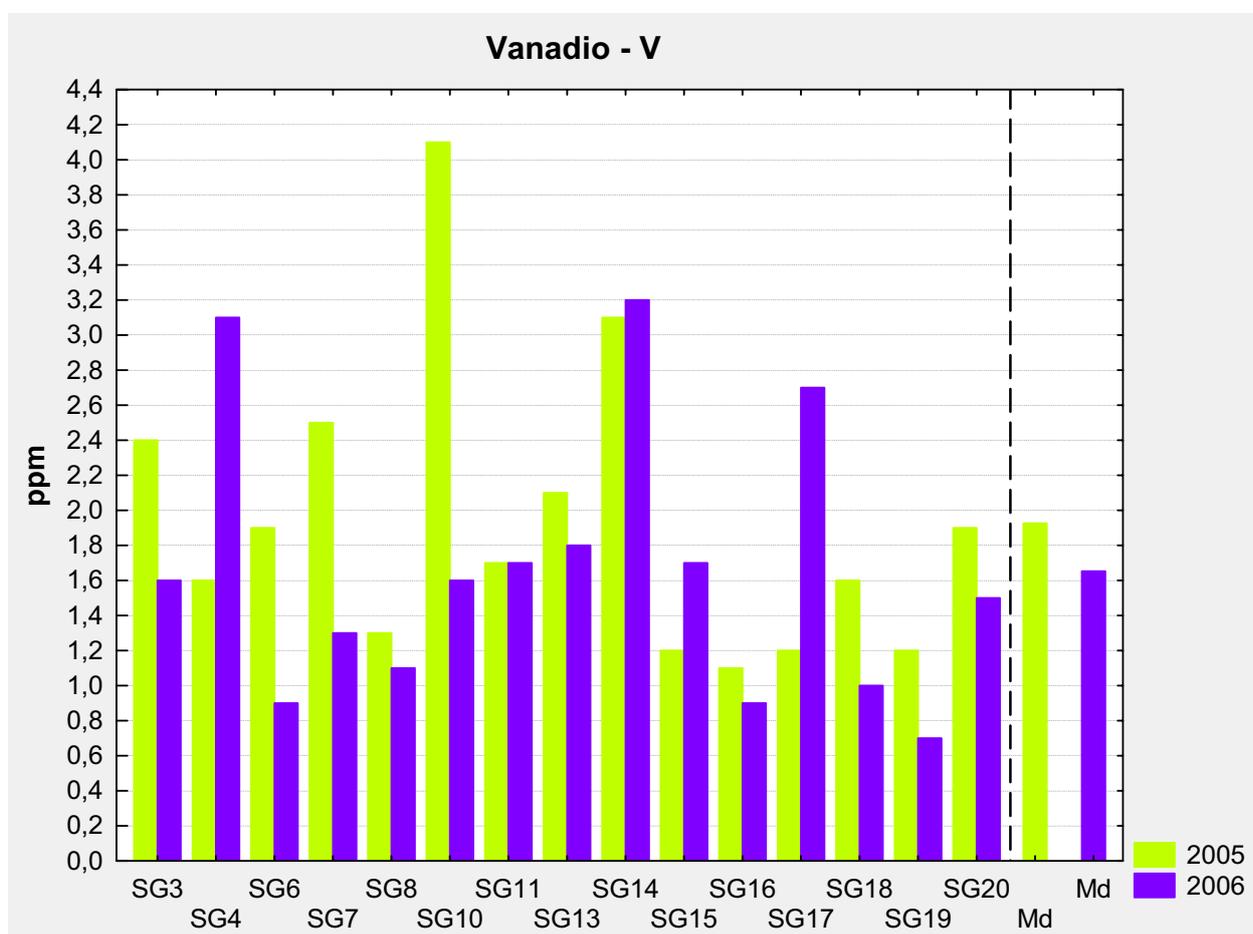


Figura 56. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

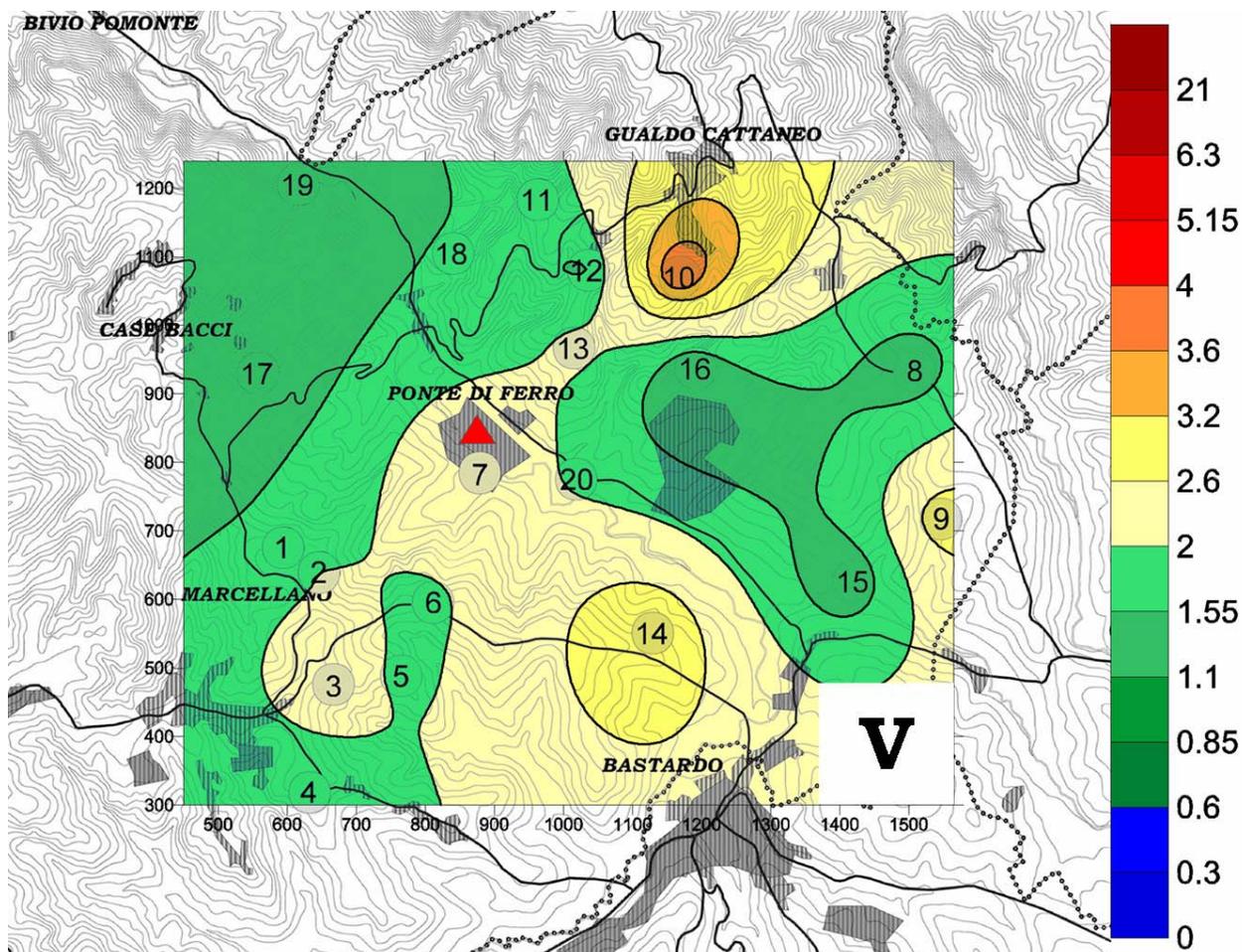


Figura 57. Mappa delle concentrazioni di vanadio bioaccumulate nel 2005

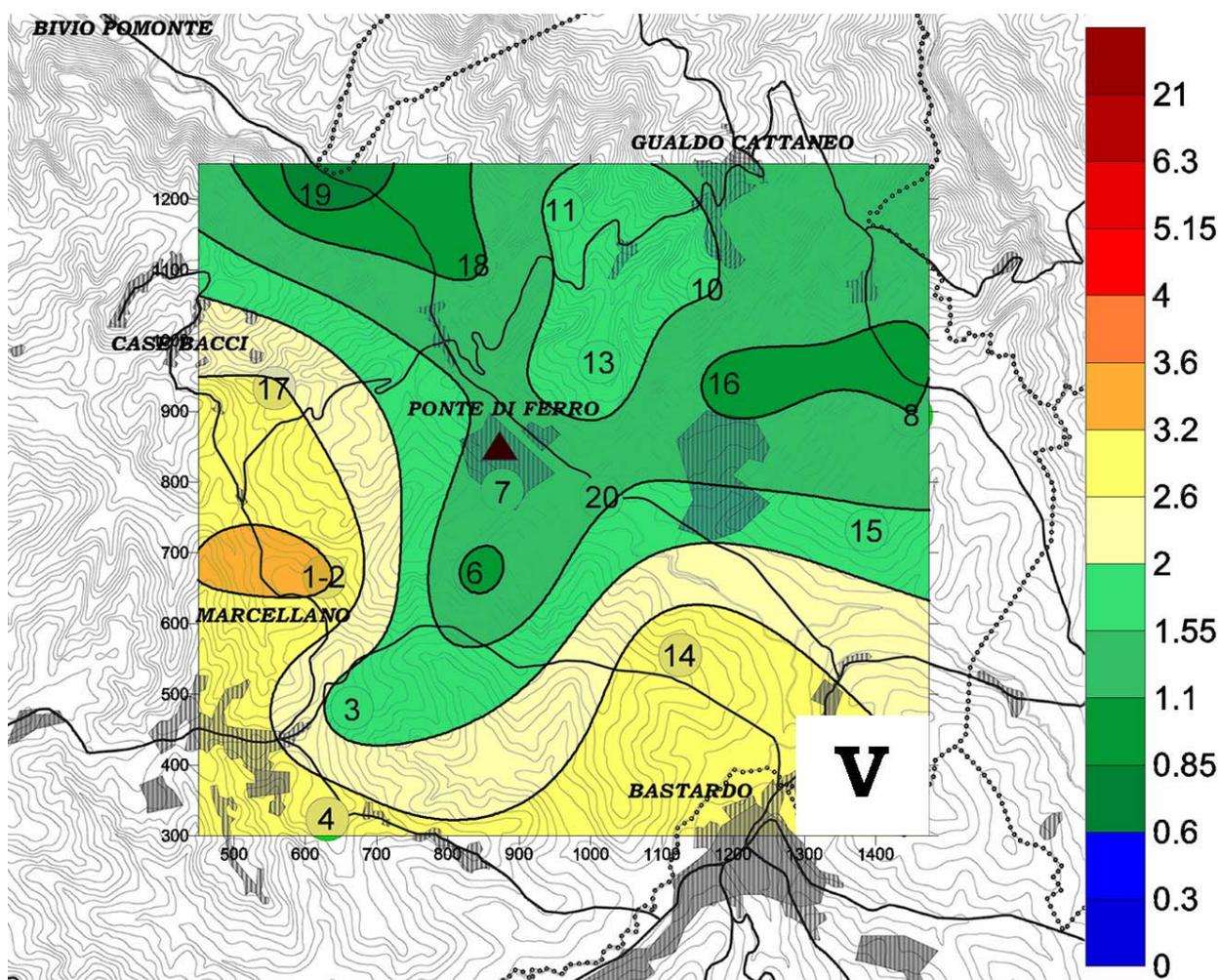


Figura 58. Mappa delle concentrazioni di vanadio bioaccumulate nel 2006

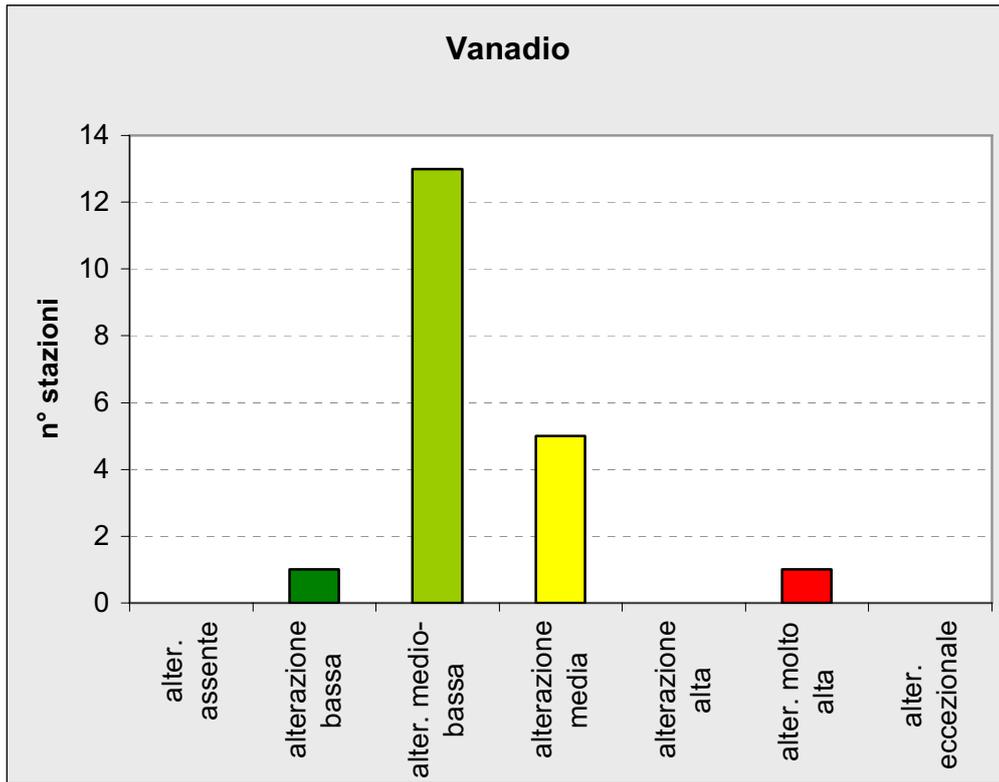


Figura 59. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

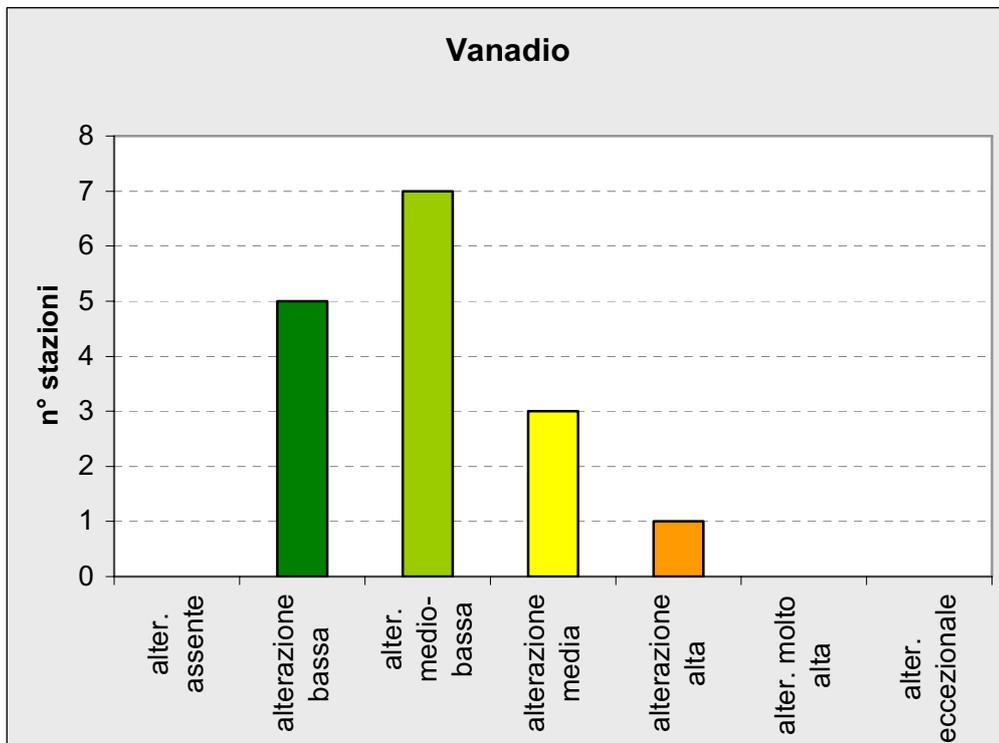


Figura 60. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

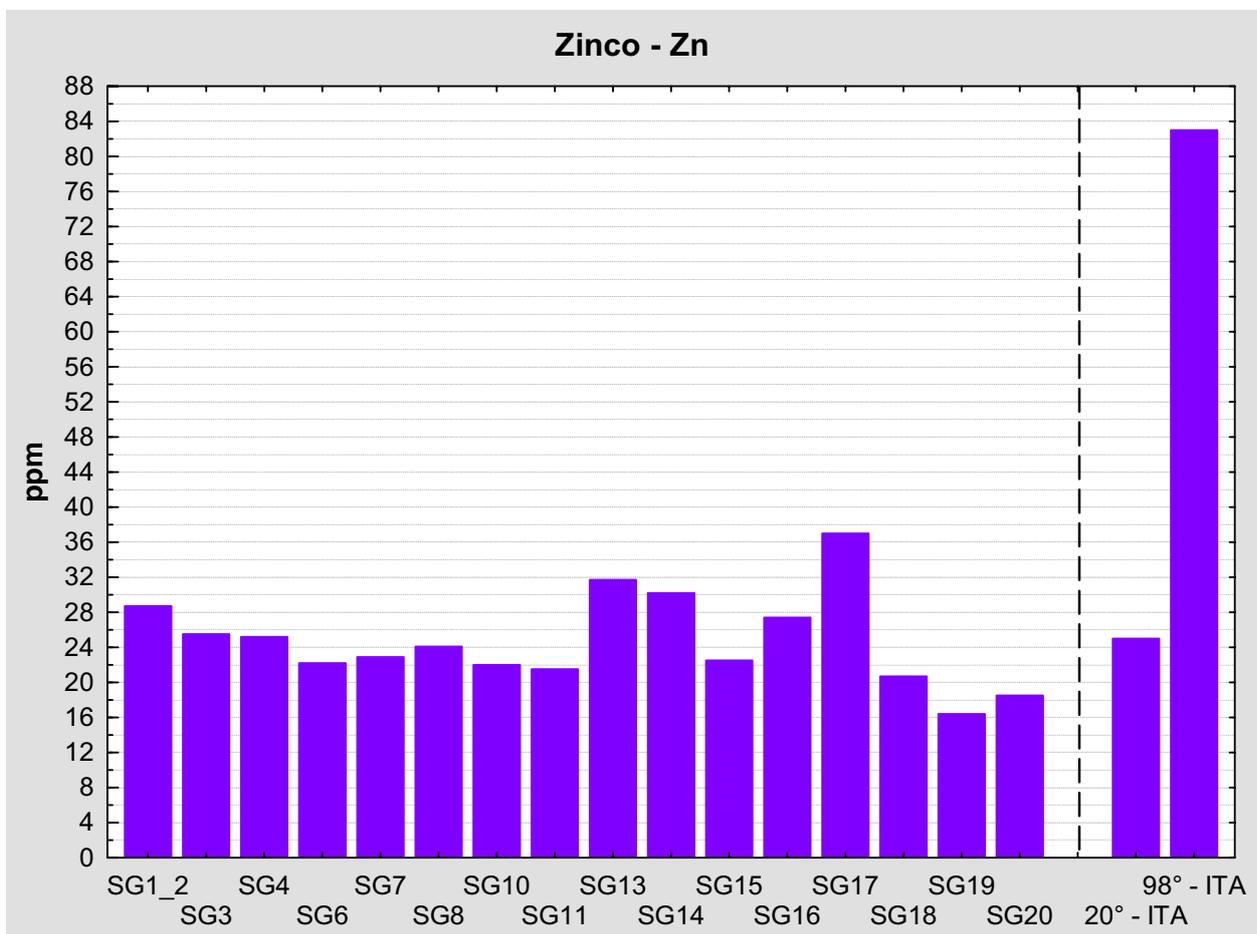


Figura 61. Confronto fra le concentrazioni assolute riscontrate in ogni singola stazione di bioaccumulo ed i valori riferiti al 20° e 98° percentile della scala di alterazione (tab.2)

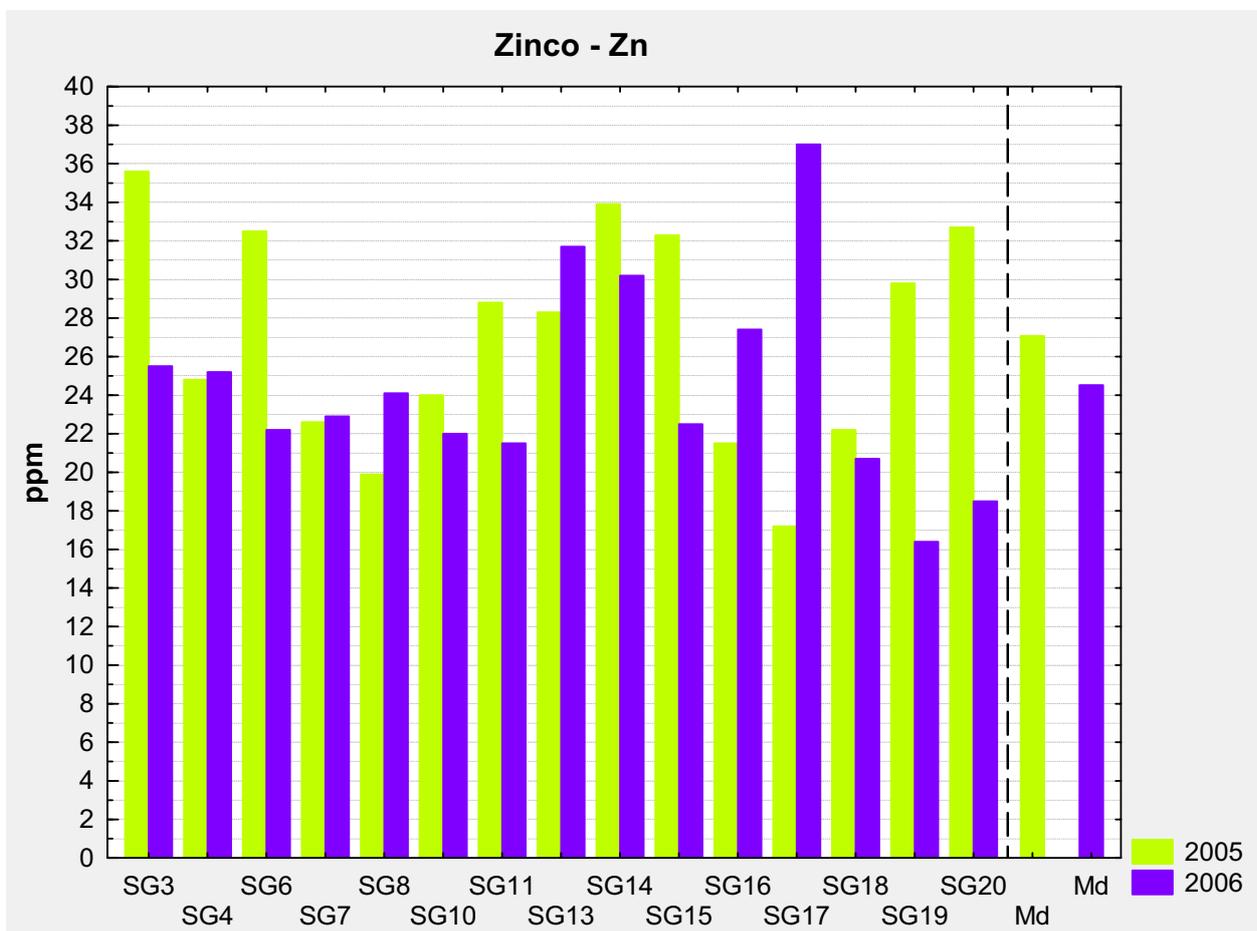


Figura 62. Confronto nei due anni d'indagine tra le concentrazioni assolute e i valori medi

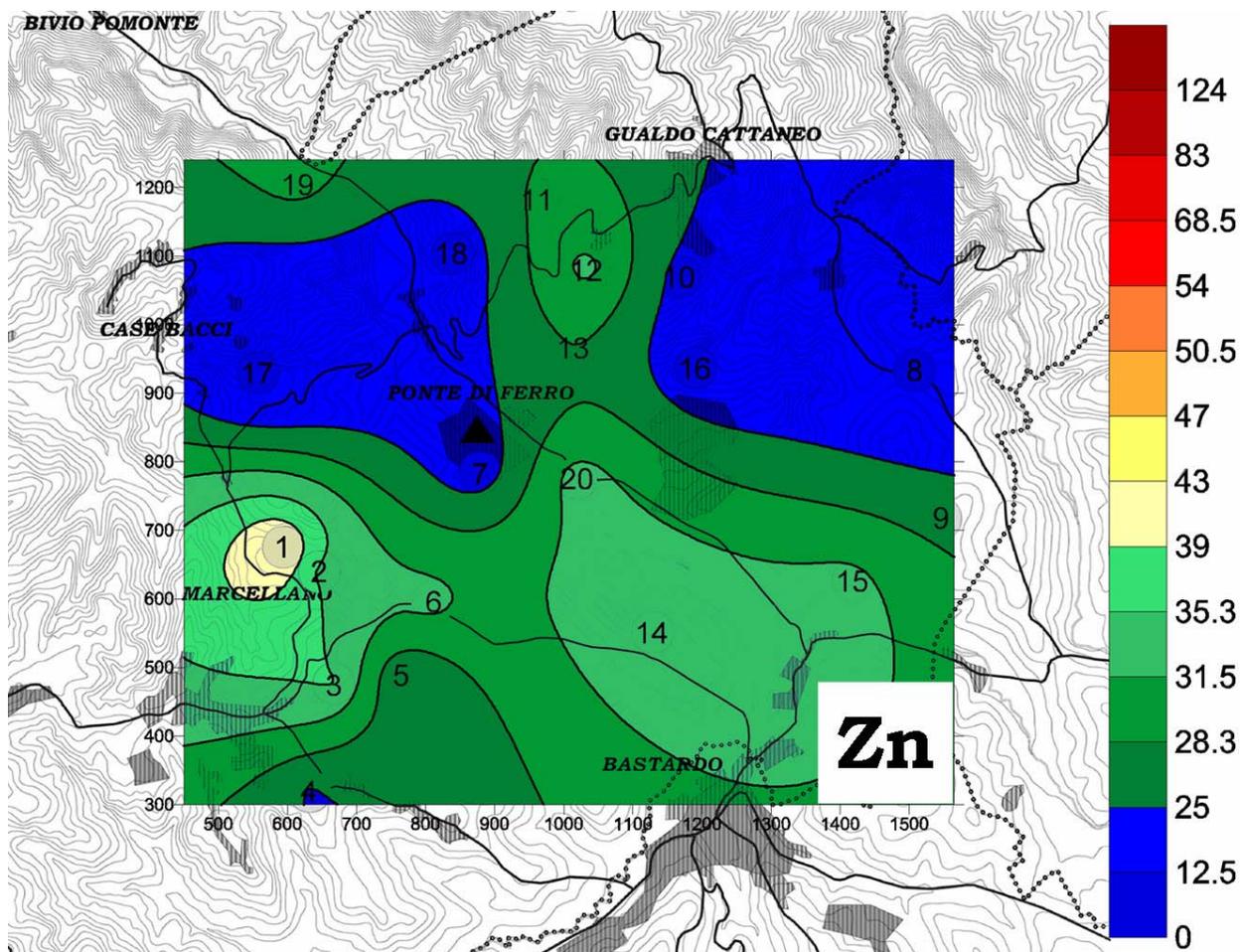


Figura 63. Mappa delle concentrazioni di zinco bioaccumulate nel 2005

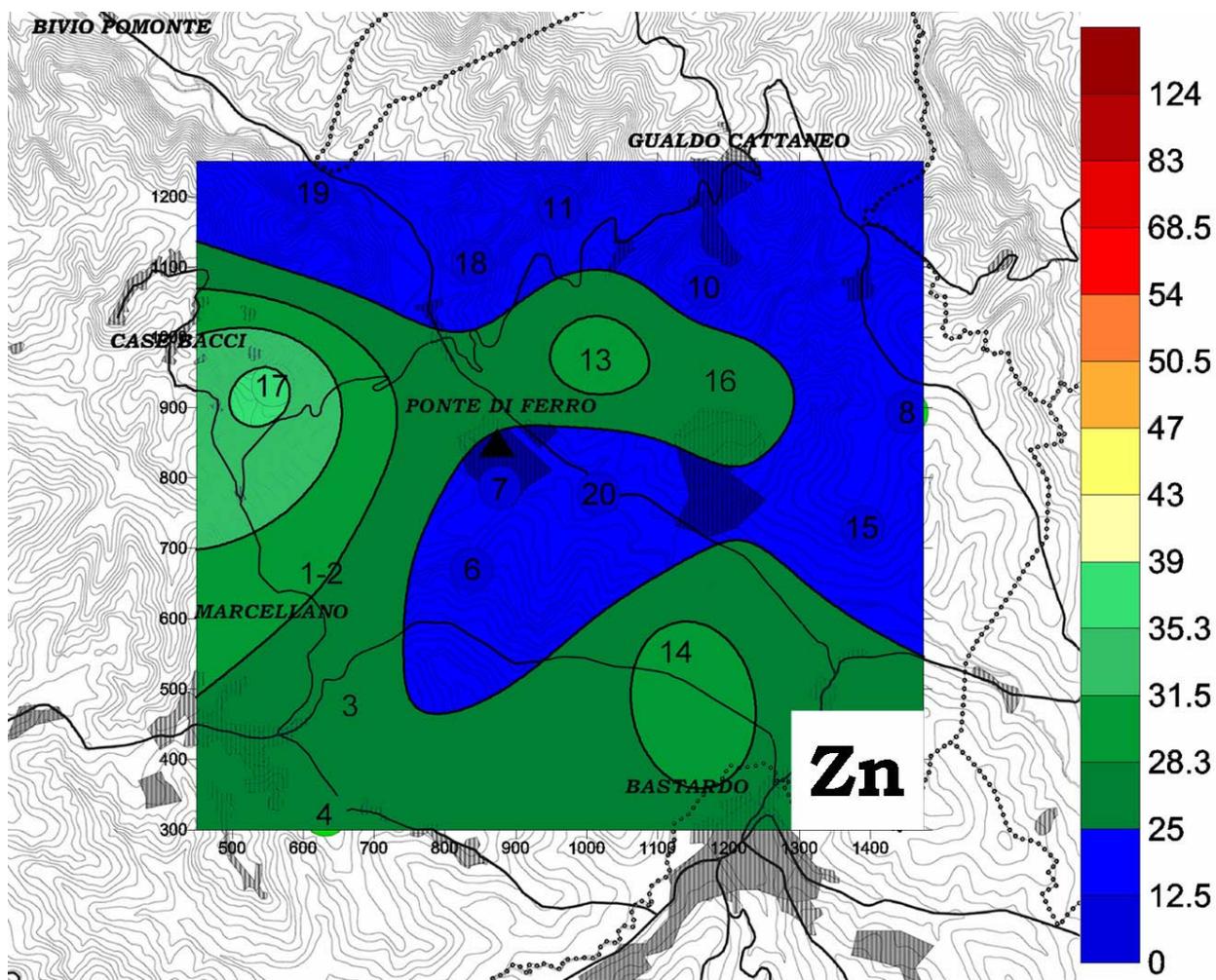


Figura 64. Mappa delle concentrazioni di zinco bioaccumulate nel 2006

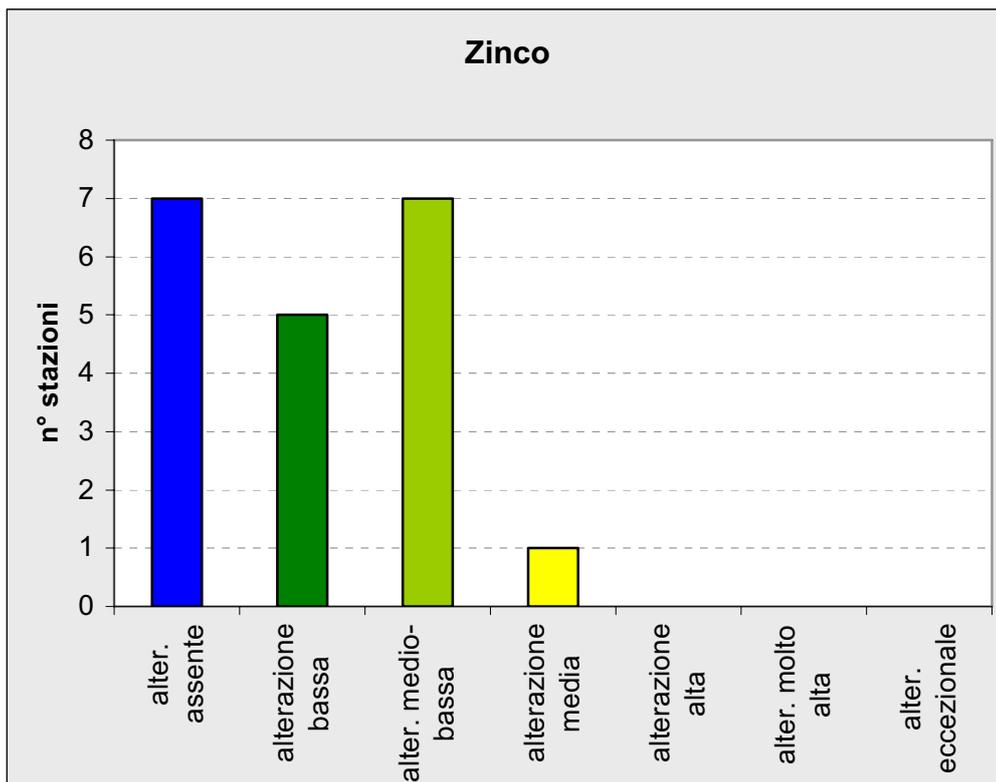


Figura 65. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2005

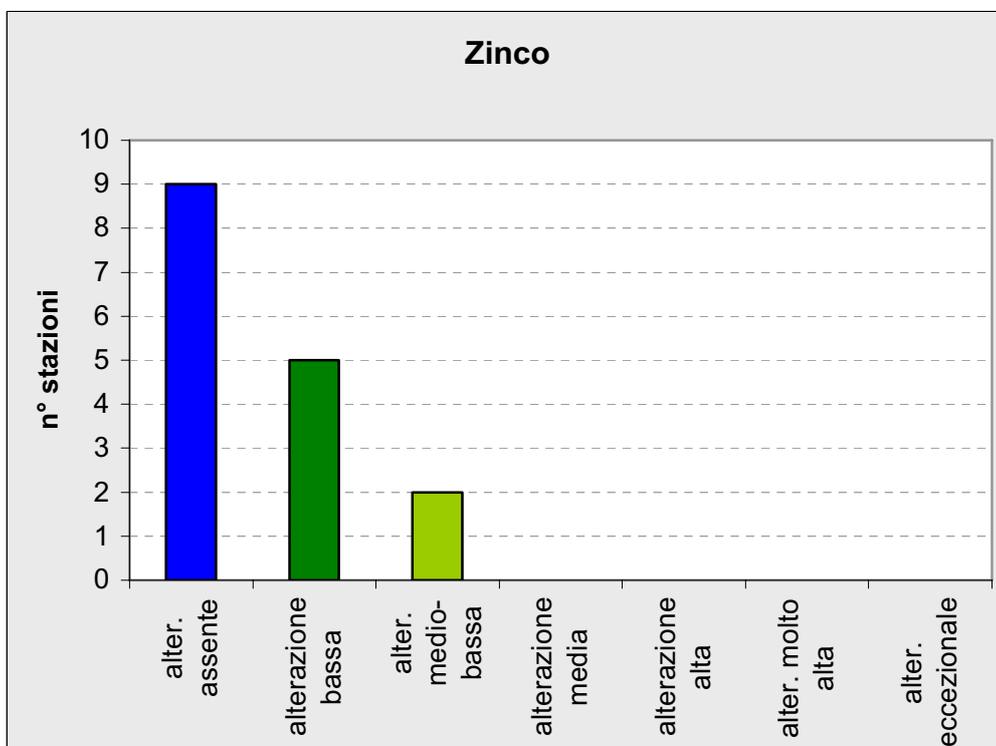


Figura 66. Frequenza delle stazioni nelle classi della scala di alterazione (tab.2) nel 2006

Tabella 5. Correlazioni tra coppie di metalli nel 2005. In rosso sono evidenziati i valori significativi

Gualdo C. 2005	Alluminio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cromo	Rame	Mercurio	Nichel	Piombo	Titanio	Vanadio	Zinco
Alluminio	1,00	0,14	0,84	0,05	0,78	0,39	0,22	0,68	0,63	0,82	0,68	0,47
Arsenico		1,00	0,03	0,21	0,39	-0,05	0,43	0,35	0,34	0,10	0,17	0,34
Berillio			1,00	-0,12	0,83	0,43	0,14	0,56	0,63	0,80	0,67	0,12
Cadmio				1,00	0,10	-0,44	-0,20	0,16	0,01	0,18	-0,03	0,51
Cromo					1,00	0,30	0,13	0,64	0,55	0,75	0,71	0,29
Rame						1,00	0,42	0,09	0,13	0,34	0,21	0,09
Mercurio							1,00	0,55	0,62	-0,09	0,41	0,32
Nichel								1,00	0,78	0,40	0,83	0,53
Piombo									1,00	0,35	0,79	0,28
Titanio										1,00	0,44	0,16
Vanadio											1,00	0,23
Zinco												1,00

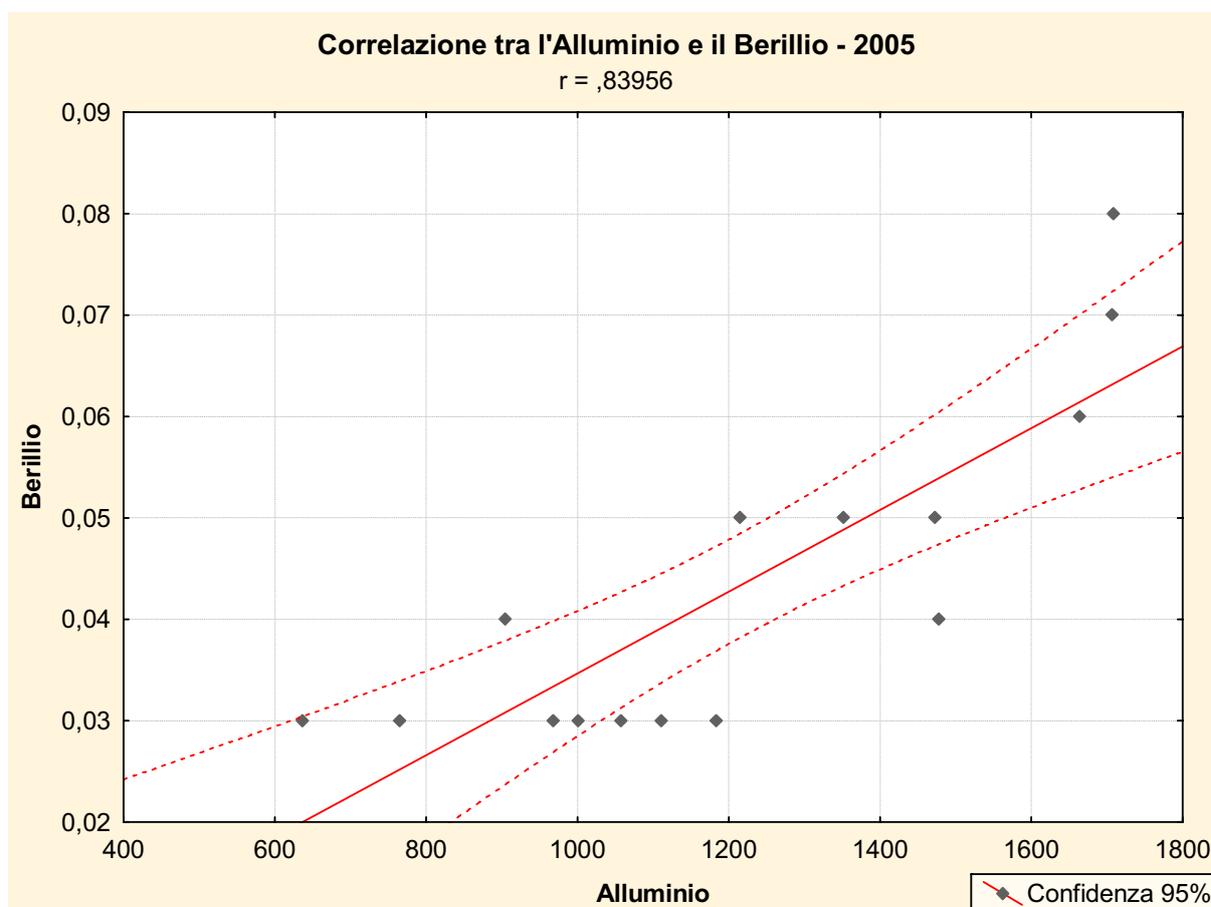


Figura 67. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

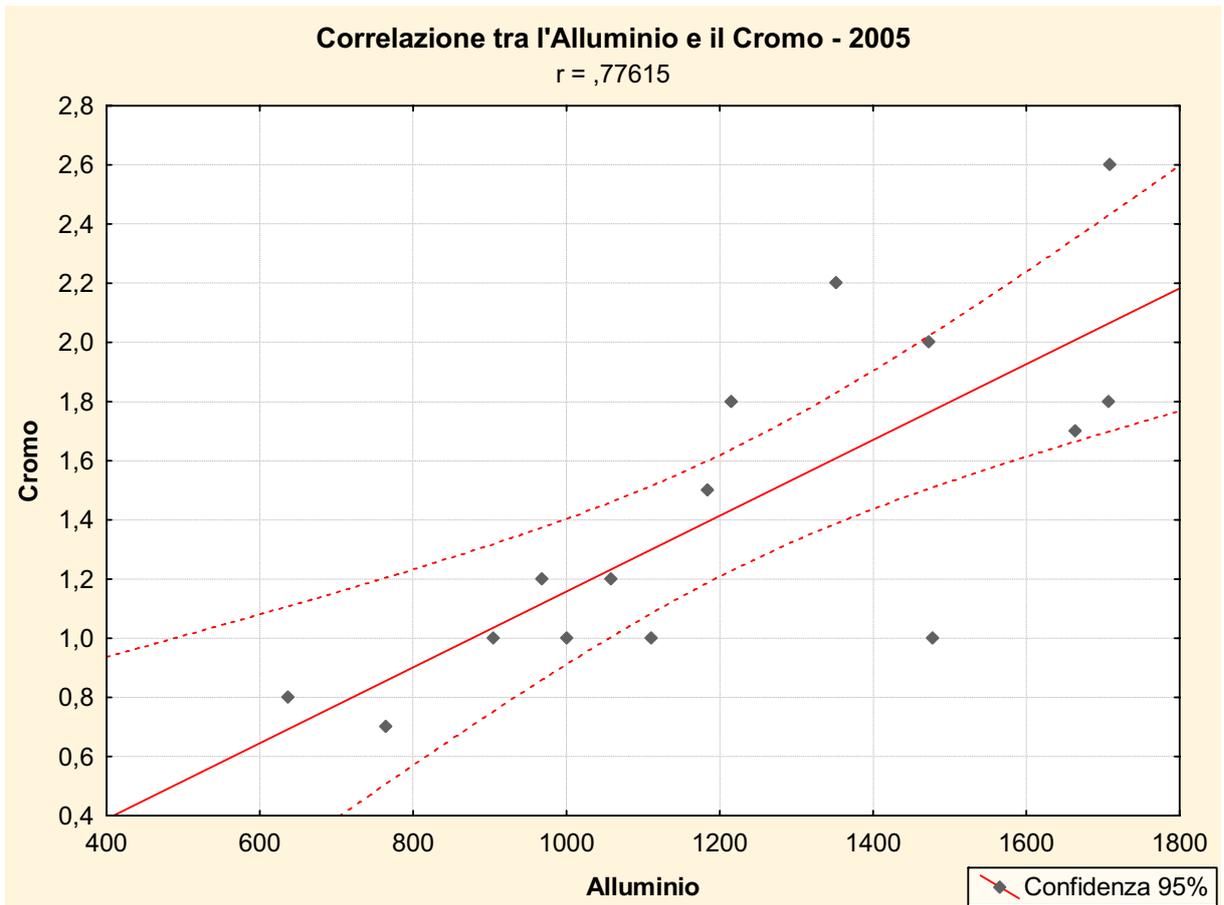


Figura 68. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

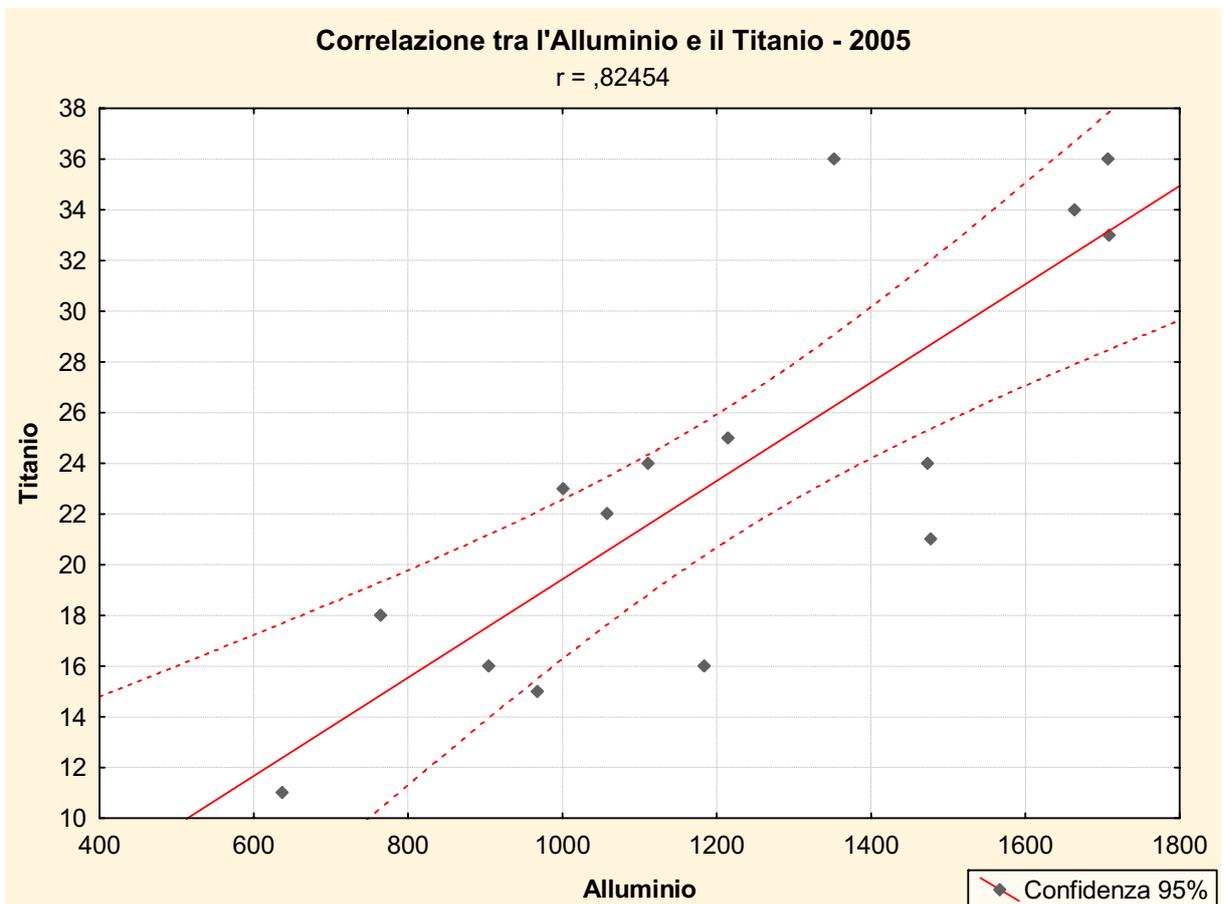


Figura 69. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

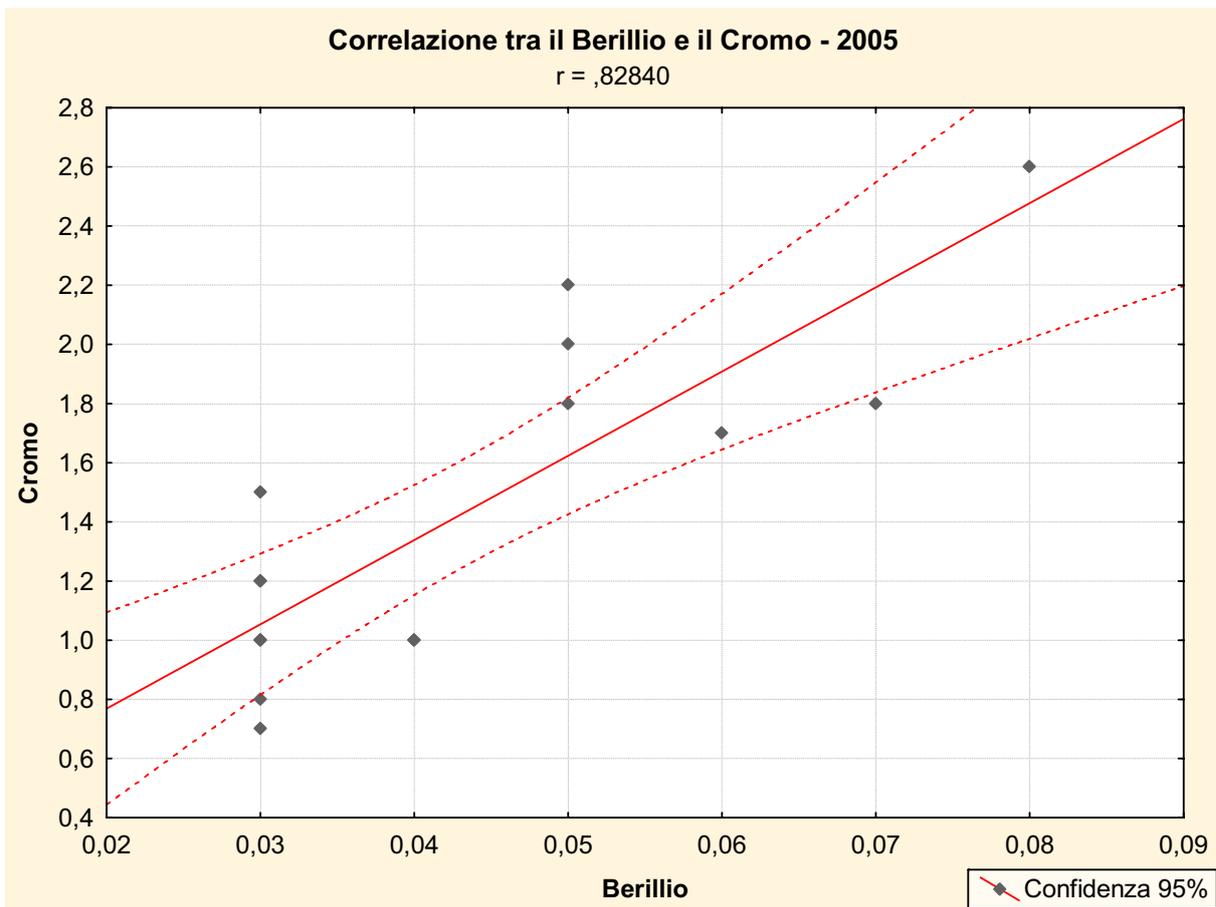


Figura 70. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

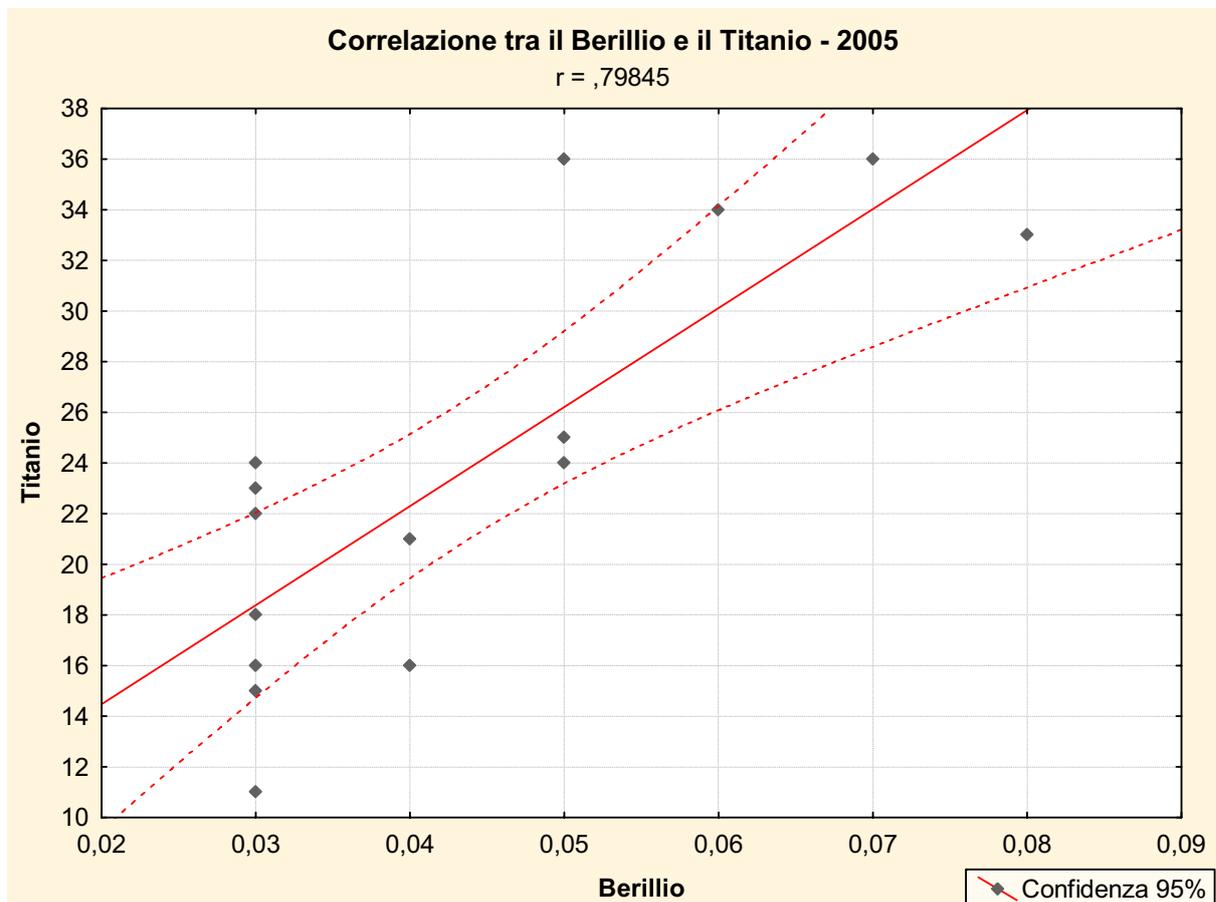


Figura 71. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

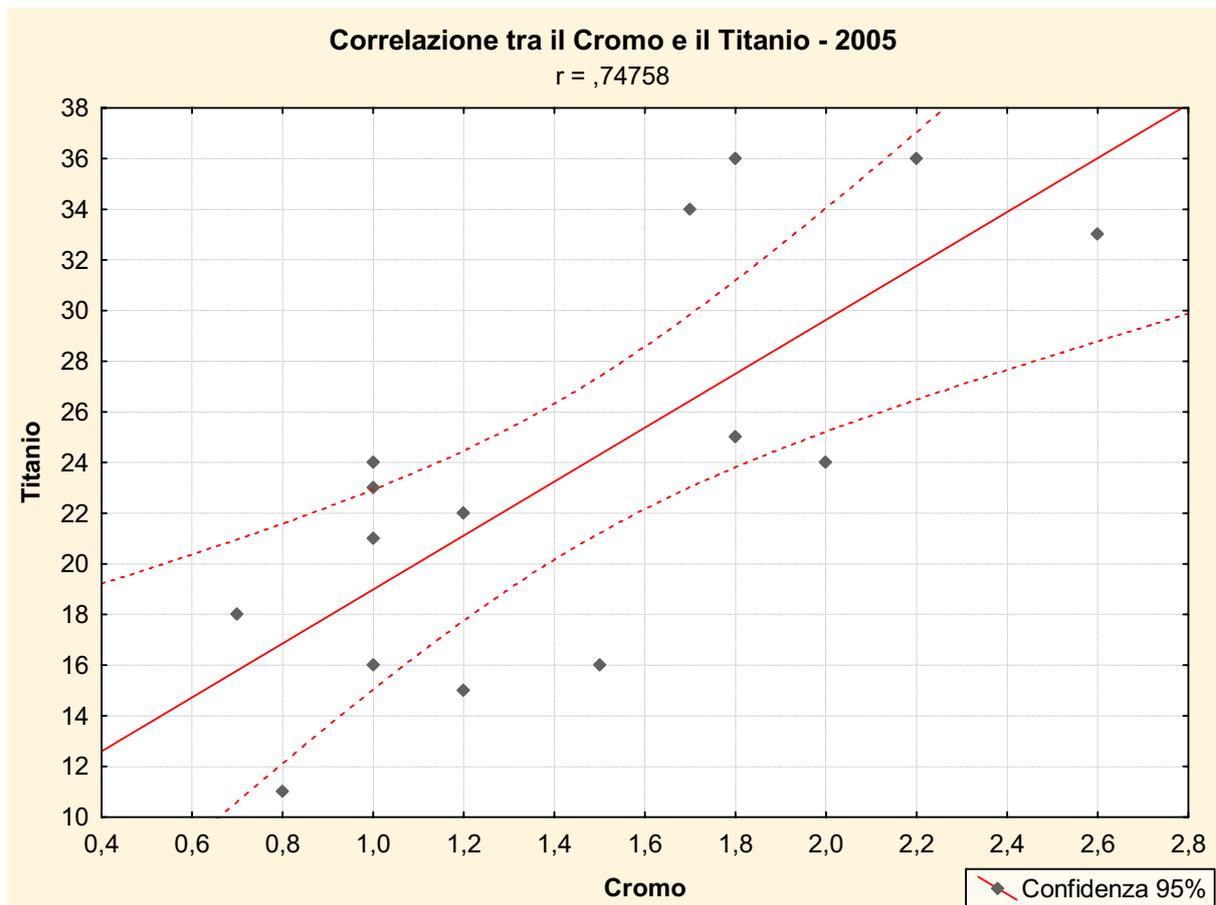


Figura 72. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

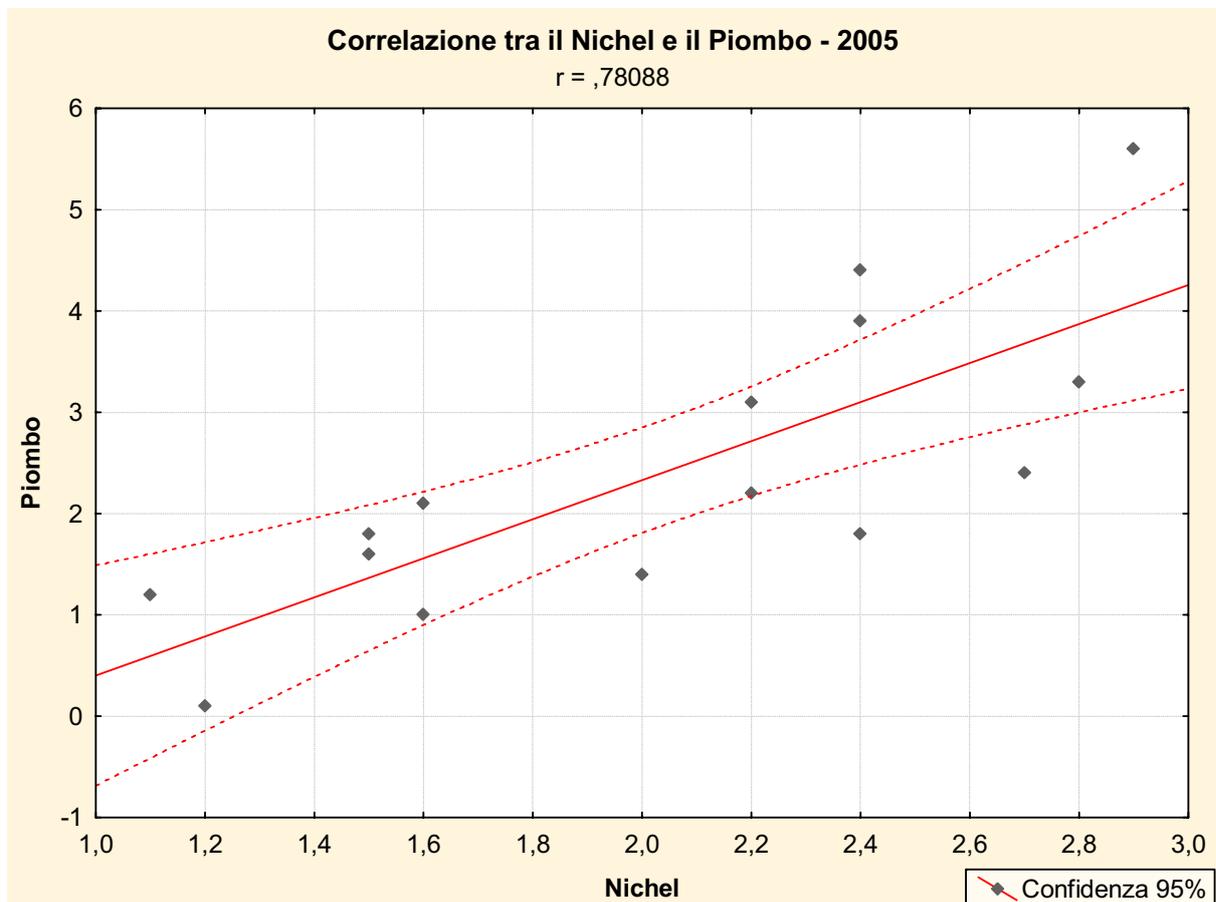


Figura 73. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati

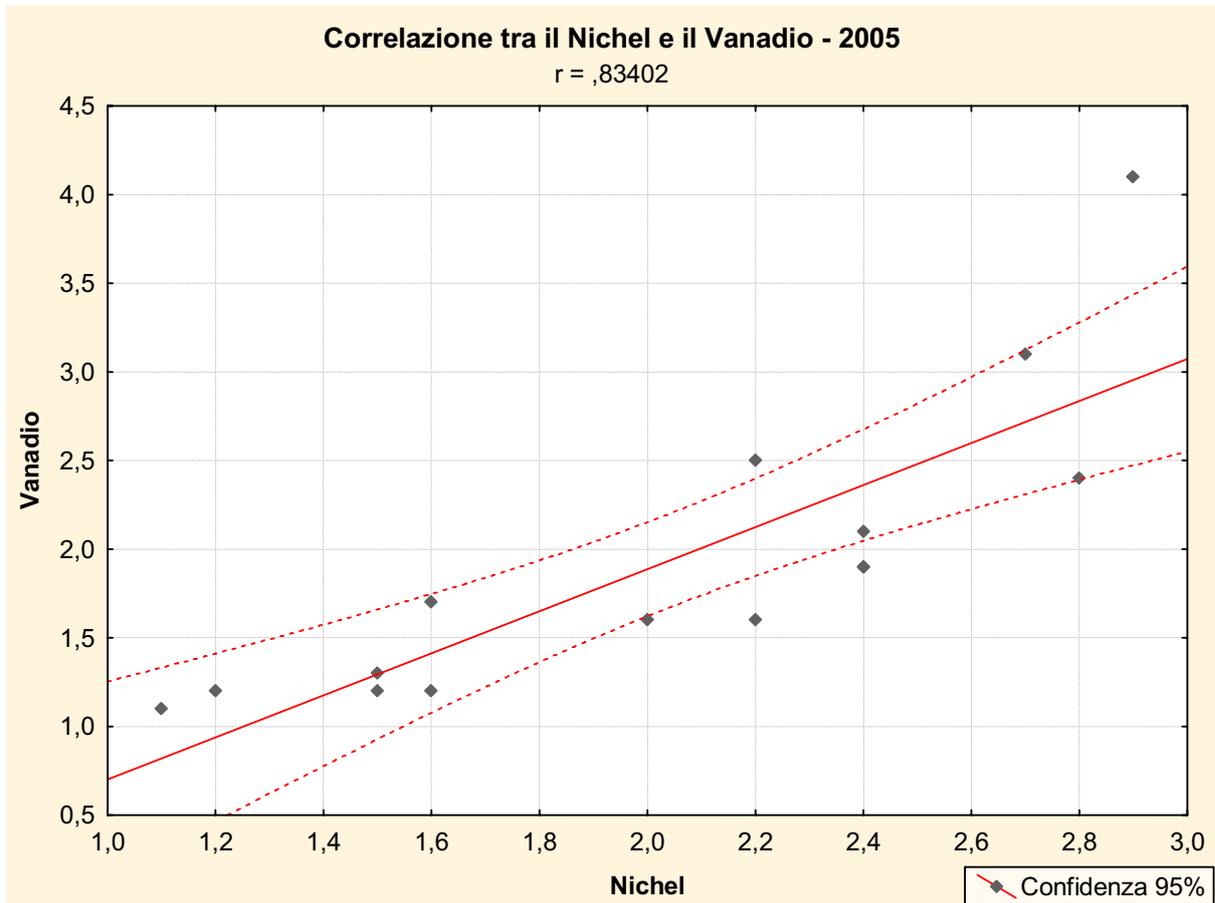


Figura 74. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

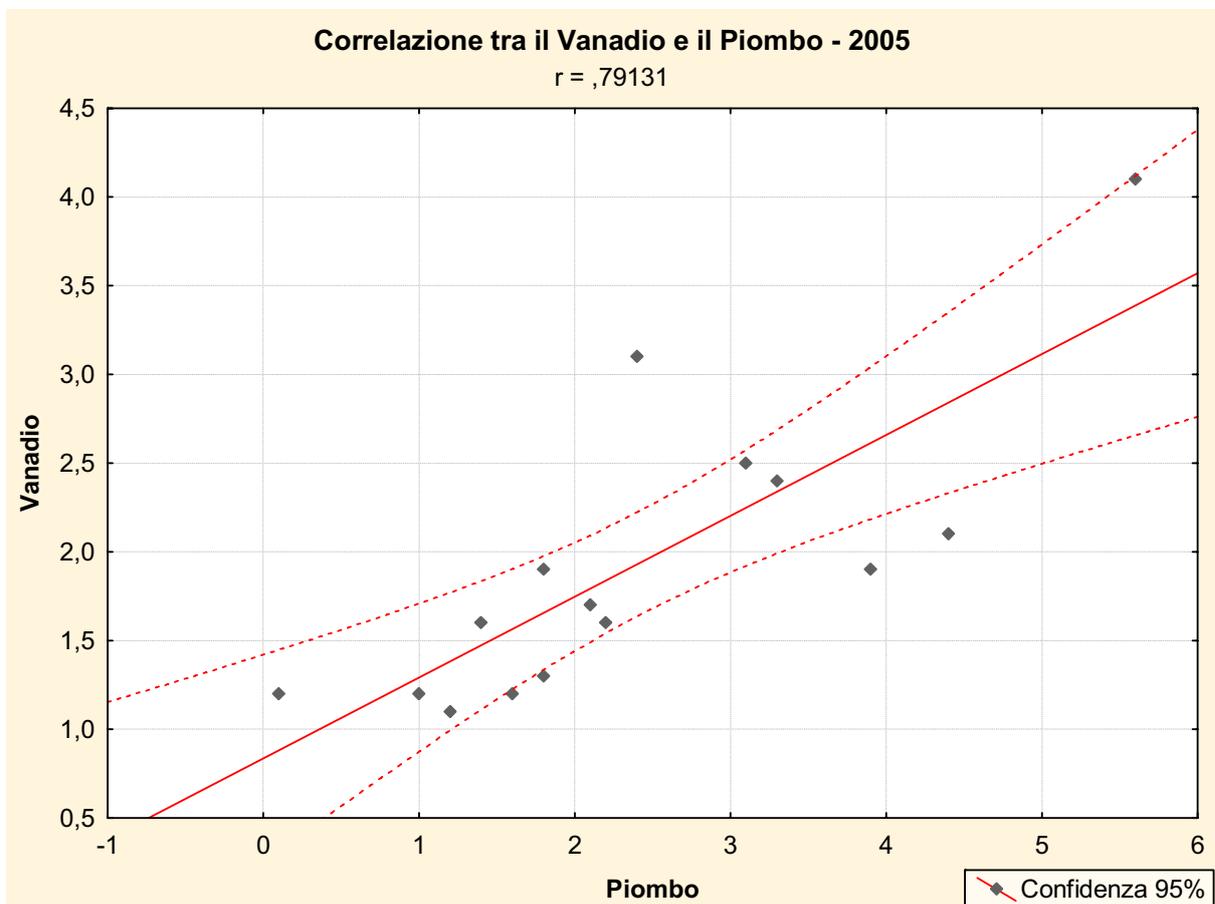


Figura 75. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

Tabella 6. Correlazioni tra coppie di metalli nel 2006. In rosso sono evidenziati i valori significativi

Gualdo C. 2006	Alluminio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cromo	Rame	Mercurio	Nichel	Piombo	Titanio	Vanadio	Zinco
Alluminio	1,00	0,00	0,88	0,41	0,82	0,48	0,48	0,14	0,74	0,81	0,86	0,48
Arsenico		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Berillio			1,00	0,15	0,77	0,57	0,52	0,17	0,62	0,71	0,79	0,32
Cadmio				1,00	0,17	-0,03	-0,08	-0,20	0,00	0,01	0,29	0,51
Cromo					1,00	0,49	0,49	0,41	0,63	0,73	0,70	0,09
Rame						1,00	0,14	0,01	0,36	0,43	0,30	-0,11
Mercurio							1,00	0,36	0,64	0,44	0,67	0,31
Nichel								1,00	0,04	0,22	0,26	0,09
Piombo									1,00	0,71	0,71	0,17
Titanio										1,00	0,70	0,22
Vanadio											1,00	0,61
Zinco												1,00

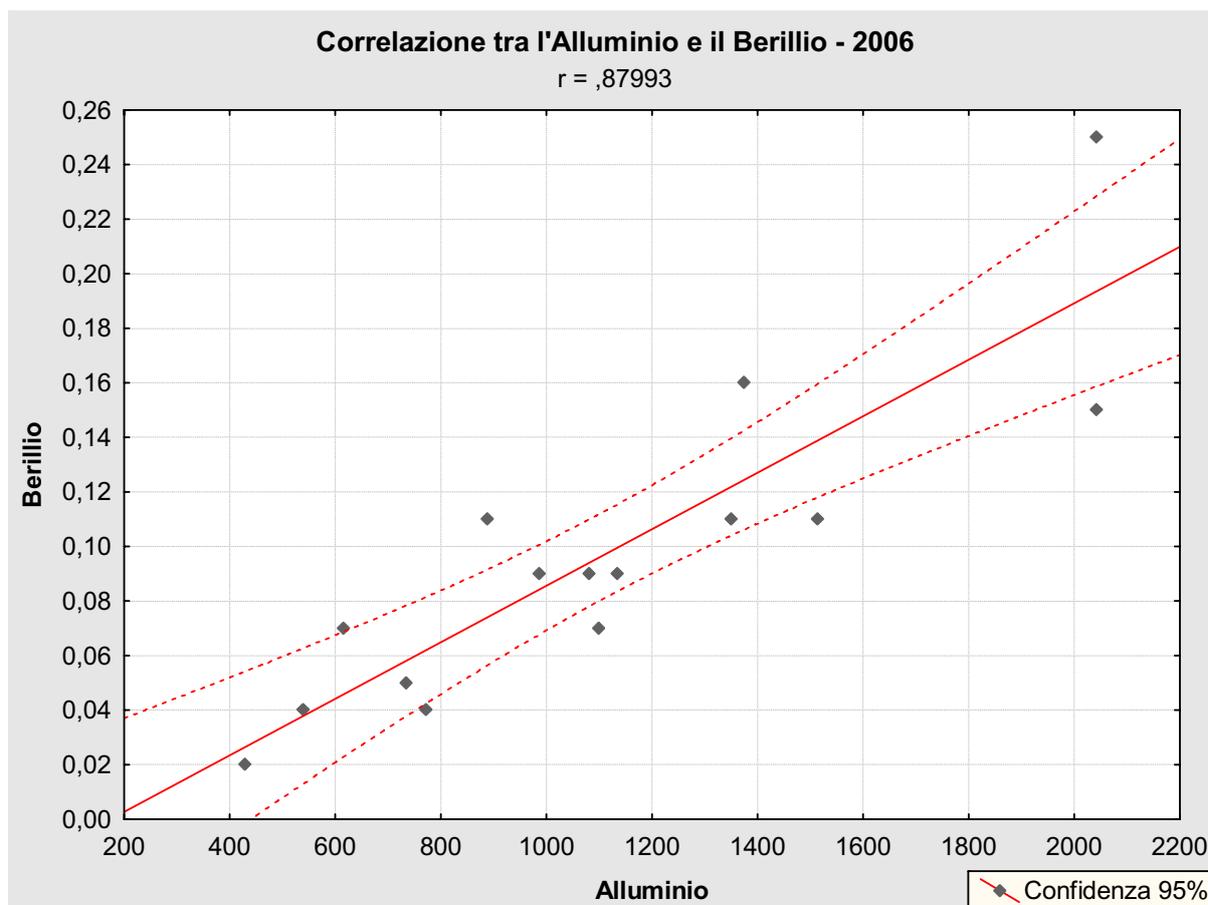


Figura 76. Regressioni lineari tra coppie di metalli significativamente correlati



Figura 77. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

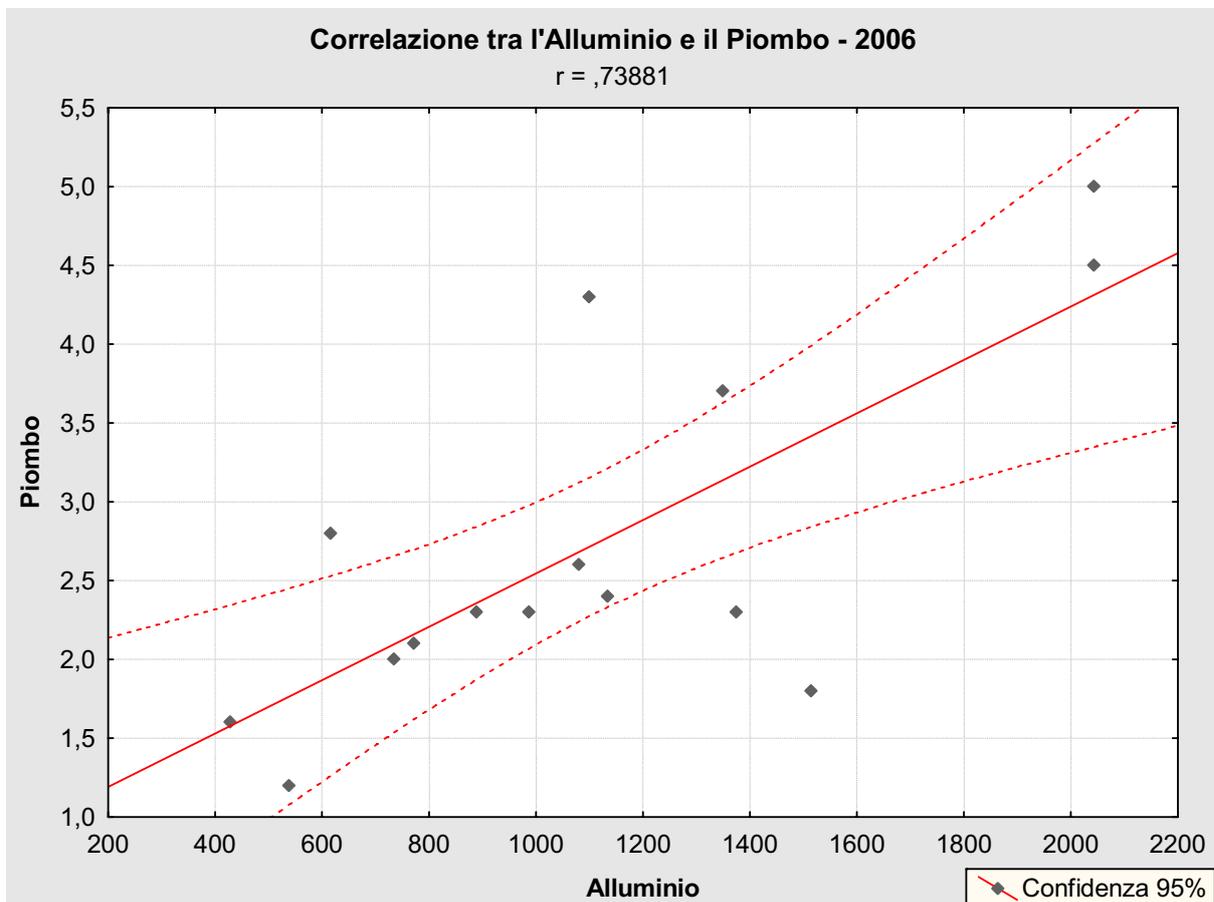


Figura 78. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

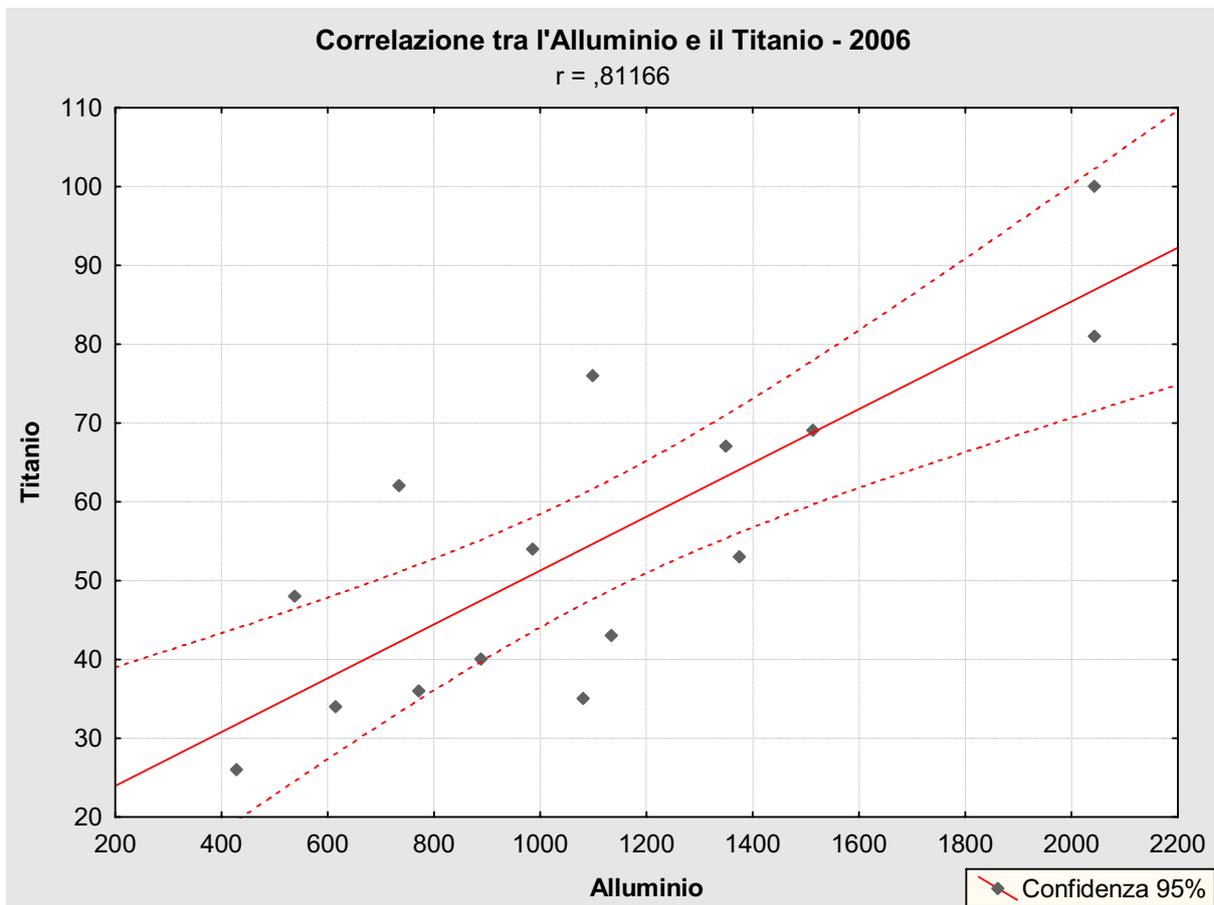


Figura 79. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

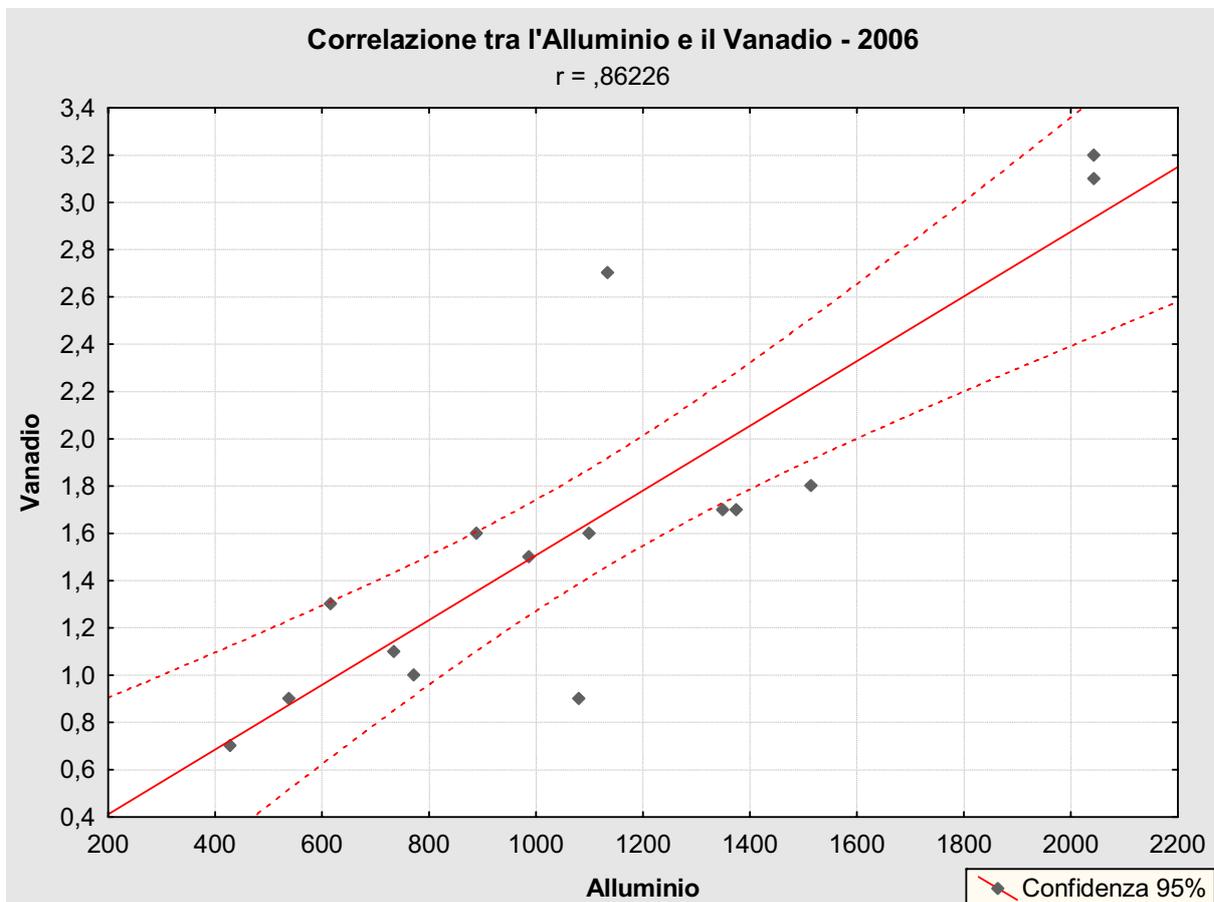


Figura 80. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

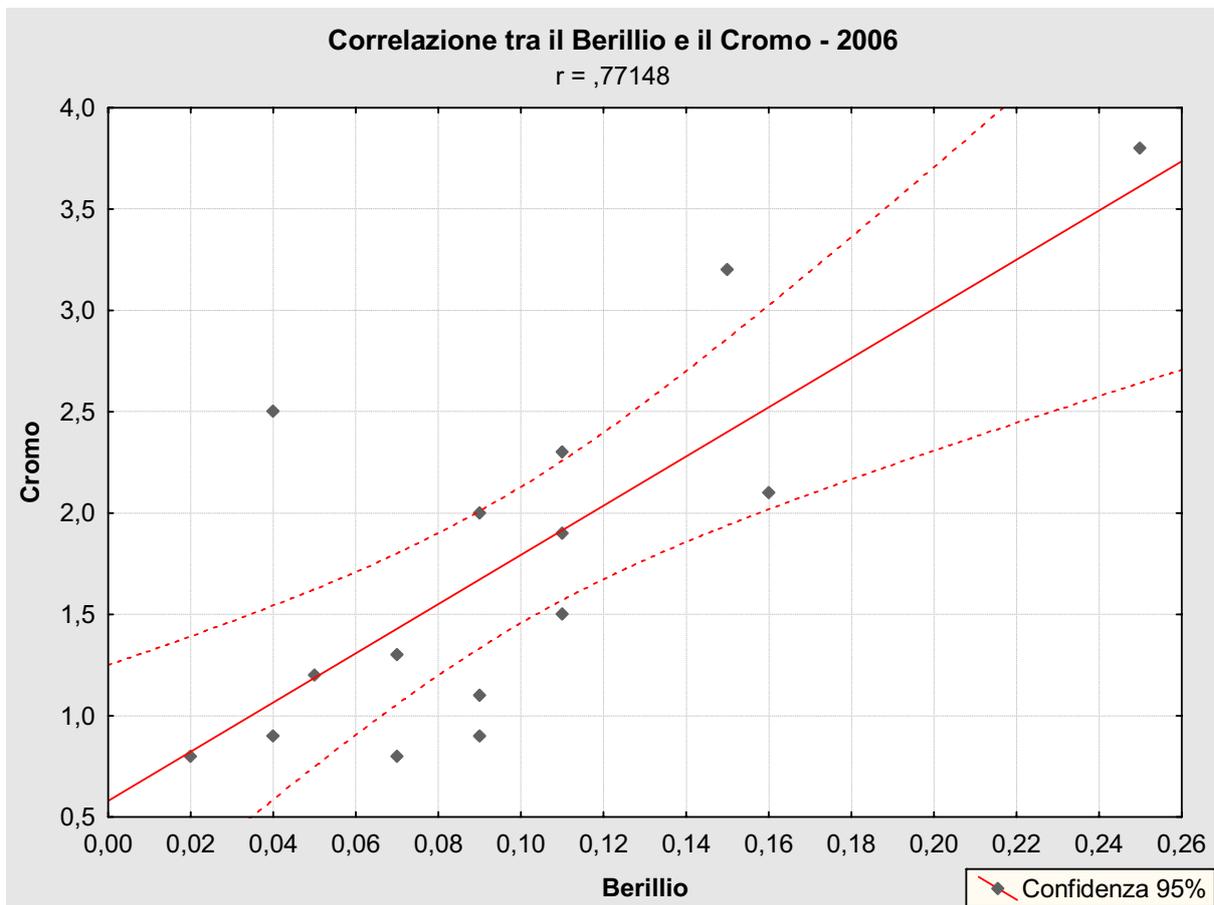


Figura 81. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

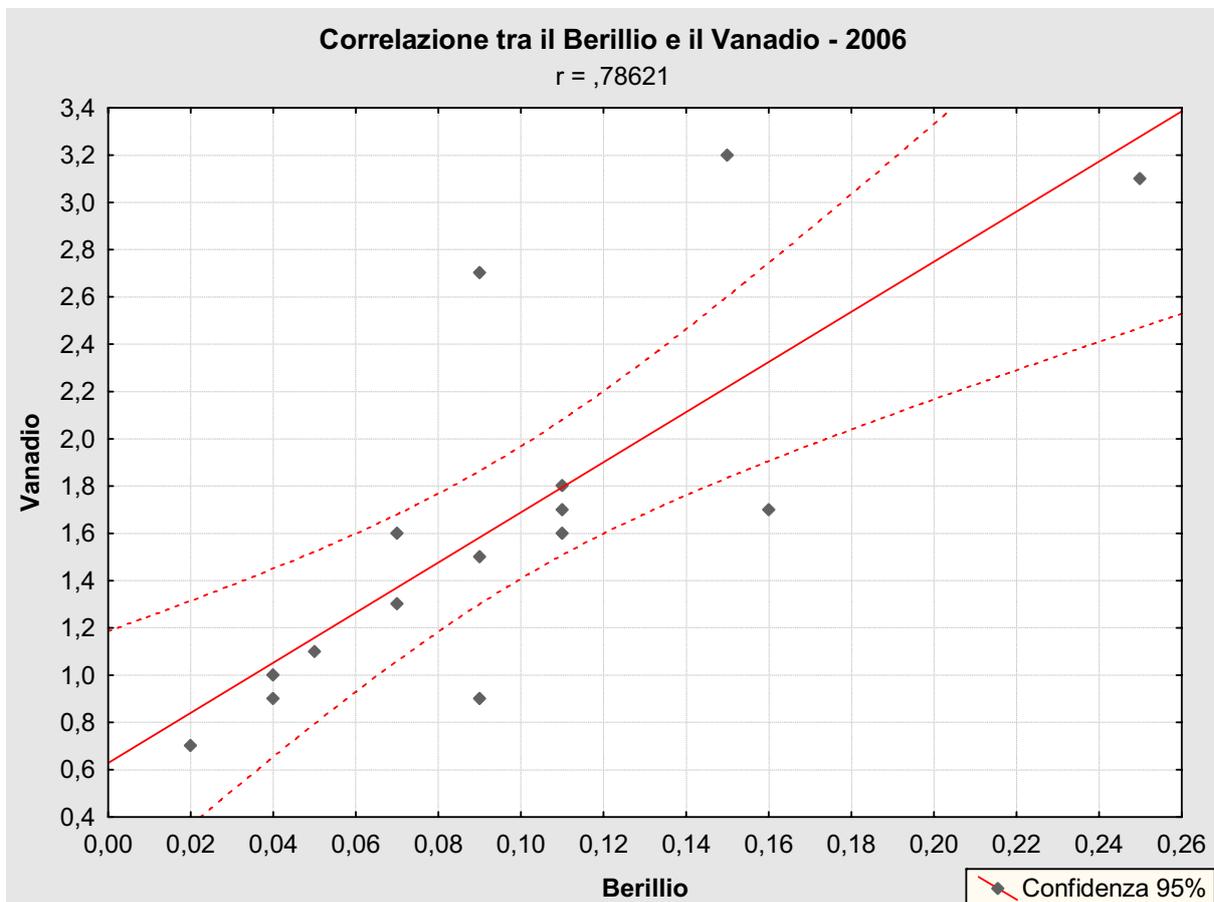


Figura 82. Regressioni lineari tra coppie di metalli significatamente correlati

