



CENTRALE TERMoeLETTRICA DI TERMINI IMERESE

PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E GESTIONE DI UNA RETE DI STAZIONI PER IL MONITORAGGIO BIOLOGICO INTEGRATO PER IL CONTROLLO DELLO STATO DEL TERRITORIO CIRCOSTANTE LA CENTRALE

TERZA FASE: GESTIONE II° ANNO



Strategie Ambientali S.r.l.

INDICE

1 - INTRODUZIONE	Pag.	4
2 - TABELLA SINOTTICA DEI PERIODI DI CAMPIONAMENTO	Pag.	6
3 - CAMPIONAMENTO – CONSERVAZIONE – PREPARAZIONE DEL MATERIALE	Pag.	7
3.1 - Campionamento dei biosensori passivi erbacei ed arborei	Pag.	7
3.2 - Campionamento dei biosensore lichenici passivi.	Pag.	7
3.3 – Studio del biosensore erbaceo attivo <i>Lolium italicum</i>	Pag	8
3.4 – Studio del biosensore erbaceo attivo <i>Ipomea rubro-cerulea</i>	Pag	8
3.5 - Valutazione del danno e della biomassa fogliare	Pag	8
3.6 - Campionamento del sensore strumentale (Radiello)	Pag	9
3.7 – Siti d'indagine per il campionamento attivo	Pag.	9
3.8 - Metodologia utilizzata per la conservazione e la preparazione dei campioni	Pag.	11
3.9 - Sintesi delle metodologie utilizzate	Pag.	11
3.9.1 - <i>Aghifoglie</i>	Pag.	11
3.9.2 – <i>Latifoglie</i>	<u>Pag.</u>	11
3.9.3 - <i>Specie erbacee</i>	Pag.	11
3.9.4 – <i>Specie licheniche</i>	Pag.	12
3.10 - Metodologie utilizzate per le analisi di elementi in traccia	Pag.	12
3.11 - Tecniche analitiche	Pag.	13
3.11.1 - <i>Azoto (N) e Zolfo (S) totale, organico e inorganico</i>	Pag.	13
3.11.2 - <i>Ozono troposferico (radiello)</i>	Pag.	14
4 - RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE	Pag.	15
4.1 - Risultati delle analisi chimiche dei biosensori vegetali	Pag.	15
4.2 - Risultati delle analisi chimiche del terreno	Pag.	20
5 - ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONI DEI RISULTATI	Pag.	21
5.1 - Procedura seguita	Pag.	22

6 – BIOSENSORE ERBACEO ATTIVO <i>LOLIUM ITALICUM</i>	Pag. 24
6.1 - Introduzione al tipo di statistica impiegata	Pag. 24
6.2 - Interpretazione dei dati	Pag. 24
7 - BIOSENSORE ERBACEO ATTIVO <i>IPOMEA RUBRO-CERULEA</i>	Pag. 37
7.1 – Fasi metodologiche	Pag. 38
7.2 – Interpretazione dei dati	Pag. 38
7.3 – Indagine sulla biomassa epigea	Pag. 56
7.4 – Sintesi evolutiva Ozono troposferico (O ₃)	Pag. 61
8 - BIOSENSORI PASSIVI	Pag. 62
8.1 - Introduzione al tipo di statistica impiegata	Pag. 63
8.2 - Analisi delle distribuzioni semplici – interpretazione dei dati	Pag. 64
8.3 - Analisi statistica ANOVA matrici di correlazione	Pag. 70
8.4 – Cluster analysis	Pag. 74
9 – TERRENO	Pag. 77
10 – INDAGINE EVOLUTIVA	Pag. 78
11 – CONCLUSIONI	Pag. 85

Bibliografia

ALLEGATI

- Allegato 1: Sistema di Qualità;
- Allegato 2: Rapporto sul Controllo di Qualità della gestione della Rete;
- Allegato 3: Inquadramento geografico delle stazioni di bianco;
- Allegato 4: Tavola delle stazioni di campionamento passive e attive;
- Allegato 5: Mappe di isoconcentrazione biosensori passivi;
- Allegato 6: Mappe di isoconcentrazione biosensori attivi;
- Allegato 7: Mappe di variazione dell'indice di alterazione fogliare (ozono);
- Allegato 8: Mappa della sintesi evolutiva dell'alterazione ambientale
- Allegato 9: Immagini biosensori;
- Allegato 10: Analisi chimiche dei biosensori;
- Allegato 11: Scheda tecnica e modalità di utilizzo del "Radiello"
- Allegato 12: Quadro triennale riassuntivo dei cicli di campionamento

1 - INTRODUZIONE

Vengono proposti i risultati delle attività relative al secondo anno di gestione (anno 2005) della Rete di Biomonitoraggio, realizzata nell'anno 2003 e attivata lo stesso anno, nel territorio circostante la Centrale Termoelettrica E.N.E.L. di Termini Imerese. La Gestione relativa a questo secondo anno di esercizio della Rete, è stata effettuata sulla base delle indicazioni fornite dall'apposita Specifica Tecnica (Documento N° 000356) e dal Contratto di Servizio N. 6000006402 del 23 settembre 2003 (Prot. 000406).

Come previsto dalla Specifica Tecnica, le metodiche impiegate e i biosensori utilizzati nel secondo anno di Gestione della Rete, sono stati:

- ? **Bioaccumulo:** biosensore arboreo passivo utilizzato *Pinus* spp. (22 + 3 stazioni), due cicli di campionamento in due periodi dell'anno differenti (giugno e settembre 2004);
- ? **Bioaccumulo:** biosensore erbaceo passivo utilizzato *Dittrichia viscosa* (25 + 3 stazioni)
- ? **Bioaccumulo:** biosensore lichenico passivo utilizzato *Xanthoria s.l.* (25 + 3 stazioni)
- ? **Bioaccumulo:** biosensore erbaceo attivo utilizzato *Lolium italicum* (6 stazioni);
- ? **Bioindicazione:** biosensore erbaceo attivo utilizzato *Ipomea rubro-cerulea*¹ (6 stazioni).

Alla luce dei risultati ottenuti nella fase di preregimentazione e nel primo anno di gestione, sotto richiesta della committenza (prot. 5792 del 29 ottobre 2004) le stazioni per il monitoraggio attivo sono state ampliate di una unità, passando da un numero di 5 a un numero di 6. La nuova stazione è stata posta nel centro abitato di Termini Imerese con l'obiettivo di ampliare la rete e di conoscere l'eventuale influenza della centrale Termoelettrica su questo centro abitato di grande interesse.

Con lo scopo di raccogliere una maggior quantità di dati, sempre più approfonditi e dettagliati, a partire da questo anno di gestione si è inoltre voluto di integrare la rete con una sottorete strumentale. La rete strumentale si compone di 6 stazioni, le stesse utilizzate per il monitoraggio attivo e restituisce informazioni sia qualitative che quantitative sulla presenza di ozono troposferico in atmosfera (Cfr § 3.6 e allegati 4-11)

¹ In via sperimentale è stato utilizzato anche il tabacco *Nicotiana tabacum* ma per le particolari condizioni ambientali, alte temperature e basse precipitazioni, il biosensore non ha resistito all'esposizione in ambiente esterno.

Come per la fase di preregimentazione (anno 2003) e per il primo anno di gestione (anno 2004) sono stati individuati tre aree di bianco dove sono stati prelevati i campioni per il confronto dei risultati delle analisi chimiche.

Anche per il secondo anno di gestione come per le indagini precedenti, la verifica della presenza di un'eventuale influenza della Centrale Termoelettrica sul territorio è stata effettuata attraverso l'esame (*cross-examination*) delle informazioni ottenute dai singoli biosensori impiegati.

In questo secondo anno di gestione è stata mantenuta e integrata la metodica di biomointoraggio (già introdotta nel primo anno) per il controllo dell'ozono troposferico O₃, composto che, durante la stagione calda, rappresenta l'agente gassoso più significativo tra gli ossidanti fotochimici presenti nella troposfera.

Il mantenimento e l'integrazione con il monitoraggio strumentale di una rete adatta anche al controllo dell'ozono (O₃) ha permesso di verificare, in maniera puntuale, le particolari condizioni meteorologiche presenti nell'area durante questa stagione. La raccolta dei dati nelle due campagne ha inoltre permesso di ottenere uno storico evolutivo della presenza di questo composto nel territorio in esame.

L'ozono nella troposfera è prodotto da complesse reazioni che coinvolgono la luce solare, le emissioni di idrocarburi e di ossidi di azoto, specialmente da parte degli autoveicoli e di altre fonti di combustione ad alta temperatura (Colbeck et Mackenzie, 1994).

Un importante aspetto per la valutazione delle problematiche connesse all'ozono troposferico è l'influenza dei composti organici volatili biogenici (BVOCs) che vengono emessi da alcune specie vegetali (Owen et al., 1997). I BVOCs reagiscono in breve tempo con le sostanze presenti nell'atmosfera determinando la formazione di nuovi composti, in particolare, essi rappresentano una potenziale concausa nei processi di formazione dell'ozono troposferico (Allegrini, 1991).

2 - TABELLA SINOTTICA DEI PERIODI DI CAMPIONAMENTO

I campionamenti effettuati per il secondo anno di gestione sono stati eseguiti in diversi "step", in relazione al tipo di biosensore campionato e di strumentazione utilizzata (tab.1).

In particolare sono stati combinati un biosensore passivo arboreo, un biosensore passivo erbaceo, un biosensore passivo lichenico, due biosensori erbacei attivi e un sensore strumentale (*Radiello* brevetto della FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI centro di ricerche ambientali Padova, azienda certificata ISO 9001:2000).

La scelta di un sensore strumentale da usare per la gestione della rete con biosensori di tipo attivo e passivo, è stata accettata allo scopo di condurre uno studio integrato sulle condizioni in cui versa il territorio in esame.

TIPOLOGIA	BIOSENSORE	N° STAZIONI	PERIODO
Arboreo passivo (due cicli)	<i>Pinus spp.</i>	22+3	Dal 06/06/05 Al 10/06/05 Dal 27/09/05 Al 30/09/05
Arboreo passivo	<i>Olea europea</i>	22+3	Dal 27/09/05 Al 30/09/05
Erbaceo passivo	<i>Ditthrichia viscosa</i>	25+3	Dal 27/09/05 Al 30/09/05
Lichenico passivo	<i>Xanthoria spp.</i>	25+3	Dal 27/09/05 Al 30/09/05
Erbaceo attivo (5 cicli)	<i>Lolium italicum</i>	5 stazioni	30-31/05/05 22-23/06/05 20-21/07/05 23-24/08/05 27-28/09/05
Erbaceo attivo (5 cicli)	<i>Ipomea rubro- cerulea</i>	5 stazioni	30-31/05/05 22-23/06/05 20-21/07/05 23-24/08/05 27-28/09/05
Strumentale attivo (5 cicli)	<i>Radiello</i>	5 stazioni	30-31/05/05 22-23/06/05 20-21/07/05 23-24/08/05 27-28/09/05

Tabella 1 Quadro sinottico dei periodi di campionamento (anno 2005) relativi ai singoli biosensori attivi e passivi, impiegati nella rete di biomonitoraggio

3 – CAMPIONAMENTO, CONSERVAZIONE E PREPARAZIONE DEL MATERIALE

Per il campionamento, la conservazione e la preparazione del materiale sono state seguite metodiche standard di intervento.

Si riportano di seguito le metodologie seguite per il prelievo dei campioni vegetali e di terreno, per la loro conservazione nonché la relativa preparazione per le analisi chimiche.

Per lo svolgimento di tutte le attività previste è stato selezionato è stato impiegato uno staff di tecnici esperti per ogni settore di interesse del progetto.

3.1 - Campionamento dei biosensori passivi erbacei ed arborei

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 5: le specie decidue sono state campionate poco prima del cambiamento di colore delle foglie. Il materiale presentava la medesima età. I rami da cui sono state raccolte le foglie si trovano ad un'altezza uniforme dal suolo. Le foglie raccolte erano manifestamente le più vecchie.

Le conifere sono state campionate due volte (nel periodo compreso tra il 14 e il 20 giugno 2004 e nel periodo compreso tra il 20 e il 24 settembre 2004). I rami da cui sono stati raccolti gli aghi erano situati ad un'altezza uniforme dal suolo (i campioni sono raccolti tra il VI ed il VIII verticillo fogliare del ramo, a partire dalla sommità).

3.2 Campionamento dei biosensori lichenici passivi

È stata utilizzata la metodologia prevista da (Bargagli/Nimis): il periodo di campionamento è stato il più breve possibile onde evitare il dilavamento del tallo da parte di piogge occasionali che possono falsare i risultati. I campioni sono stati presi su forofiti che non presentavano evidenti segni di disturbo (abrasioni, segni di vernice, tagli, trattamenti ecc.). I talli sono stati asportati nella parte marginale con l'ausilio di un coltello in acciaio inox, dopo averli inumiditi con acqua deionizzata.

Il campione asportato è stato ripulito con l'ausilio di uno stereoscopio da tutte le impurità e dalle particelle di substrato rimaste attaccate alla parte inferiore del tallo.

Dopo la mineralizzazione il campione è stato sottoposto ad analisi mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico. I campioni sono stati prelevati nel periodo compreso tra il 20 e il 22 di ottobre

3.3 - Campionamento del biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum*

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1: le colture a *Lolium italicum* sono state esposte all'aria per 14 giorni, ad un'altezza di 1,5 m dal terreno, in ambienti scoperti da ogni lato. La massa fogliare prodotta durante il periodo di esposizione è stata utilizzata come campione. Trascorso il periodo di esposizione è stata analizzata la parte esterna della pianta (individuando le caratteristiche delle foglie emesse, gli indebolimenti visibili macroscopicamente, gli eventuali danni di natura biotica e abiotica). Ad ogni campionamento il materiale raccolto è stato mescolato interamente così da ottenere un campione unico.

Le piantine sono state tagliate a 4 ÷ 5 cm dal substrato (le parti della pianta che superavano i 14 giorni di crescita). Il taglio è stato effettuato, manualmente, con forbici inox, per un totale di 10 grammi di sostanza secca analizzabile.

3.4 – Studio del biosensore erbaceo attivo *Ipomea rubro-cerulea*

Sono stati opportunamente coltivati individui di *Ipomea rubro-cerulea*. I biosensori sono stati piantati in vasi da 1 litro contenenti torba e posti in camere di crescita climatizzate. 15 giorni dopo le plantule sono state fertilizzate con una soluzione di N-P-K (14:14:14). A circa 4 settimane dall'inizio dell'allevamento 20 plantule sono state trapiantate in vasi da 15 litri contenenti una miscela di terra, sabbia e torba nel rapporto 1:1:1 con 60g di fertilizzante (N-P-K). Successivamente le plantule sono state trapiantate in speciali supporti di *oasis*, collocati all'esterno nell'area Palermitana (orto botanico) in vasi a riserva d'acqua per un periodo di circa tre mesi. Solo in seguito, due colonie per stazione sono state trasportate e integrate nella rete di biomonitoraggio di Termini Imerese per monitorare la risposta all'ozono nel periodo Giugno-Settembre 2005.

3.5 - Valutazione del danno e della biomassa fogliare

Nel periodo sperimentale Giugno-Ottobre, ad intervalli di circa 28-30 giorni, sono stati effettuati i sopralluoghi per la stima del danno fogliare e della biomassa epigea prodotta dalle piante *Ipomea rubro-cerulea*.

Le foglie, i fiori e gli stoloni, tagliati a 7 cm dal livello del terreno, sono stati poi posti in una stufa ed essiccati a 70°C fino al raggiungimento di un peso costante.

3.6 – Campionamento del sensore strumentale (Radiello)

Per il campionamento e l'utilizzo del campionatore diffusivo Radiello (vedi allegato 11) è stata seguita la metodica indicata dalla casa produttrice e adatta alla rete di monitoraggio presente. Gli involucri contenenti le cartucce assorbenti sono stati tenuti costantemente al buio poiché l'illuminazione diretta dai raggi del sole può alterarne la composizione chimica, una volta sul posto la cartuccia assorbente è stata estratta dalla sua provetta e inserita nel corpo diffusivo, questo è stato a sua volta avvitato sullo specifico supporto e esposto perpendicolarmente all'asse verticale della stazione. A distanza di 15 giorni dall'esposizione la cartuccia assorbente è stata prelevata, riparata dalla luce solare, conservata alla temperatura di 4°C e trasportata in laboratorio. Sulle apposite etichette sono state riportate tutte le informazioni relative al periodo di campionamento. Al fine di non falsare i dati, ad ogni ciclo di campionamento sono state sostituite sia le cartucce assorbenti che i corpi diffusivi.



Figura 1 Elementi costituenti il campionatore diffusivo *Radiello*: a sinistra cartuccia assorbente, a destra corpo assorbente



Figura2 Supporto triangolare con filettatura per l'alloggiamento del corpo diffusivo.



Figura 3 Montaggio completo ed esposizione del campionatore diffusivo *Radiello*

3.7 - Siti d'indagine per il campionamento attivo

I siti dove sono stati posizionati i campionatori diffusivi (stazioni attive) sono gli stesi di quelli già utilizzati il primo anno di gestione per i biosensori erbacei *Lolium italicum*, e *Ipomea rubro-cerulea* e vengono riportati in tabella 2. Nel secondo anno di gestione, per le motivazioni già riportate, la rete di stazioni per il monitoraggio attivo ha subito l'integrazione di una stazione posta nel centro urbano di Termini Imerese (vedi allegato 4). Per ogni stazione è stato indicato il numero del vaso corredato della sigla per il riconoscimento dell'organismo vegetale campionato. In ogni fase di campionamento è stata compilata una scheda identificativa e descrittiva della stazione in esame, riportando:

data e ora del prelievo, coordinate reali, località, altitudine, esposizione, descrizione e distanza delle principali sorgenti inquinanti vicine, caratteristiche del traffico veicolare, ed in fine un'ampia documentazione fotografica.







Identificativo con codice a barre	Stazione	Nord	Est	Nome
	1	4200964	387838	Monte S. Calogero
	2	4199227	396397	La Signora/Aranceto
	3	4196715	389371	Il Santo
	4	4185349	392700	Sciara / Stazione
	5	4190487	385375	Fiumara / Montemaggiore B.
	6	4205480	385935	Villa comunale

Tabella 2 Tabella riassuntiva con identificazione e posizione geografica assoluta (Coordinate UTM Datum ED 50).

3.8 - Metodologia utilizzata per la conservazione e la preparazione dei campioni

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 5: i campioni freschi delle specie arboree ed erbacee e del terreno sono stati trasportati in laboratorio in contenitori di polietilene e preparati nello stesso giorno. Ad ogni passaggio dalla fase di raccolta alla fase di analisi è stata evitata ogni tipo di contaminazione. Le analisi sono state effettuate su campioni tal quale.

3.9 - Sintesi delle metodologie utilizzate

3.9.1 - Aghifoglie:

- a) Prelevamento effettuato al 6°- 8° verticillo dall'apice, con forbice, asportando gli aghi manualmente, per un totale di 10 gr di s.s. analizzabile.
- b) Conservazione in sacchetti di polietilene, tenuti a 4 °C o a -15 °C.
- c) Essiccamento a 50 °C.
- d) Macinazione e conservazione in contenitori di polietilene.

3.9.2 - Latifoglie:

- a) Rami prelevati alla stessa altezza dal suolo, campionamento delle foglie più vecchie, per un totale di 10 g di s.s. analizzabile.
- b) Conservazione in sacchetti di polietilene, tenuti a 4 °C o a -15 °C.
- c) Essiccamento a 50 °C.
- d) Macinazione e conservazione in contenitori di polietilene.

3.9.3 - Specie erbacee:

- a) Prelevamento effettuato manualmente con forbici inox, per un totale di 10 gr di s.s. analizzata.
- b) Conservazione in sacchetti di polietilene, tenuti a 4 °C o a -15 °C.
- c) Essiccamento a 50 °C.
- d) Macinazione e conservazione in contenitori di polietilene.

3.9.4 – Specie licheniche:

Specie con accrescimento folioso:

- a) i talli lichenici vengono prelevati su forofiti della stessa specie (ove possibile);
- b) vengono prelevati tre talli lichenici e se ne scelgono tre di riserva;
- c) viene presa la parte marginale del tallo, dopo averla inumidita con acqua deionizzata;
- d) i talli vengono prelevati su forofiti che non risultano alterati o in cattiva salute, che non hanno una inclinazione superiore a 10°, che abbiano una circonferenza maggiore di 60 cm, in assenza di fenomeni evidenti di disturbo;
- e) per l'asportazione si utilizzano strumenti in legno o in acciaio inossidabile;
- f) i campioni vengono essiccati in contenitori di TEFLON e poi conservati in provette sterili ad una temperatura di 2-4 °C;
- g) i campioni vengono ripuliti allo stereoscopio, dalle particelle di substrato che rimangono attaccate dopo l'asportazione.

3.10 - Metodologie utilizzate per le analisi di elementi in traccia

Per quanto riguarda la preparazione dei campioni utilizzati per le analisi degli elementi in traccia, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- a) pesatura di 0,5 g di campione, accuratamente macinato, direttamente negli appositi contenitori per mineralizzatori a microonde;
- b) aggiunta di 6 ml di HNO₃ concentrato, 1 ml di H₂O₂ 30 % e 0,2 ml di HF 40 %;
- c) chiusura dei contenitori ed inserimento nel mineralizzatore a microonde per il programma di trattamento;
- d) raffreddamento al termine della mineralizzazione;
- e) apertura dei contenitori di mineralizzazione e aggiunta di 1 ml di soluzione satura di acido borico H₃BO₃;
- f) diluizione della soluzione al volume di 50 ml in matraccio tarato, con acqua demineralizzata (Sistema Milli-Q). Al fine di ottenere una prova "in bianco", 10 ml di acqua demineralizzata (Sistema Milli-Q) hanno subito lo stesso trattamento del campione.

Le fasi del programma di mineralizzazione sono state le seguenti:

Fase	Tempo (minuti)	Potenza (watt)
1	2	250
2	2	0
3	6	250
4	5	400
5	5	600

Si sottolinea che la mineralizzazione, con l'aggiunta di HF, comporta una maggiore efficienza di solubilizzazione delle forme minerali dei metalli analizzati (tipiche dei suoli e del particolato terrigeno aerotrasportato). Tale fattore è stato comunque considerato nell'interpretazione dei risultati.

3.11 - Tecniche analitiche

I campioni così preparati sono stati analizzati secondo le seguenti tecniche analitiche:

Elemento	Tecnica analitica
Al	ICP – AES
As	AA-GTA
Cd	AA-GTA
Pb	AA-GTA
Ni	AA-GTA/ICP-AES
V	ICP-AES

Legenda:

AA = Assorbimento Atomico;

ICP - AES = Spettrometria di emissione atomica con eccitazione a plasma ad induzione;

GTA = Atomizzazione in tubo di grafite;

3.11.1 - Azoto (N) e Zolfo (S) totale, organico e inorganico

I campioni macinati sono stati analizzati con un analizzatore elementare.

La determinazione dello zolfo totale è stata effettuata sul campione tal quale, mentre per la distinzione fra zolfo organico e zolfo inorganico, si è proceduto secondo la metodica proposta dal Prof. A. Jäger.

Tale metodologia prevede:

- un primo trattamento del campione in muffola per allontanare lo zolfo organico come SO₂;

- la successiva determinazione dello zolfo rimasto (frazione inorganica) in analizzatore elementare;
- la quantificazione dello zolfo organico per differenza tra il totale e l'inorganico.

3.11.2 – Ozono troposferico (Radiello)

Per l'ottenimento dei valori di ozono sono stati sciolti 20 µl di *4_Piridilaldeide* in 200 ml di H₂O. La concentrazione di *4-piridilaldeide* che si ottiene equivale a quella che si ottiene sciogliendo 10µl di *4_Piridilaldeide* in 100 ml di H₂O.

Della soluzione ottenuta vengono prelevati 0,5 ml e portati al volume di 5ml aggiungendo 4,5 ml di soluzione di MBTH (*3-metil-2-benzotiazolinone idrazine cloruro*) che si ottiene sciogliendo 5g di MBTH in 1 litro di acqua con 5 ml di acido solforico concentrato.

Tenendo conto che 100µl di *4-Piridilaldeide* corrispondono a 112,2 mg della stessa a 20°C, corrispondenti a 11,22 mg di *4-pidilaldeide*.

In 0,5 ml saranno presenti 0,0561 mg di *4-pidilaldeide* ($11,22:100=X:0,5$), che corrispondono a 56,1µg.

Quindi nei 5 ml di soluzione standard saranno presenti 56,1µg di *4-pidilaldeide*.

Lo stesso procedimento viene ripetuto partendo da soluzioni che contengono una concentrazione di *4-piridilaldeide* pari alla metà di quella precedente (quindi 56,1/2 µg; 56,1/4 µg; 56,1/8 µg; 56,1/16 µg).

Tenendo conto che 1 µg di *4-Piridilaldeide* = 0,224 µg di ozono, allora 56,1 µg di *4-piridilaldeide* corrispondono a $56,1 \cdot 0,224 = 12,57$ µg di ozono.

Viene a questo punto misurata l'assorbanza di tutte le soluzioni standard ottenute e dai valori misurati si ricaverà la retta di assorbanza che presenterà un andamento lineare corrispondente ad una retta del tipo $y = ax$.

Il valore del coefficiente angolare "a" ottenuto dalla retta di calibrazione verrà moltiplicato per il valore di assorbanza misurato per ogni singolo campione.

Il risultato ottenuto rappresenta la massa di ozono contenuta in ogni singolo campione.

4 - RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE

4.1 - Risultati delle analisi chimiche dei biosensori vegetali

Si riportano, di seguito, i risultati delle analisi chimiche distinte per singolo biosensore e le tabelle dei risultati delle analisi chimiche dei campioni analizzati. Si precisa che le tabelle sono state indicate con una lettera (che richiama l'iniziale del genere del biosensore) seguita da un numero (mese di campionamento). Pertanto la lettera **P** per *Pinus ssp.*, **O** per *Olea europea*, **D** per *Dittrichia viscosa*, **X** per *Xanthoria s.l.* **L** per *Lolium italicum* e **T** per terreno.

STAZIONE	Al	V	Ni	As	Cd	Pb	S_T	S_i	S_o	N
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%	%
2	171.667	0.620	1.017	0.213	0.023	0.100	0.040	0.015	0.025	4.803
4	314.817	1.185	1.777	0.238	0.039	0.747	0.023	0.006	0.017	3.200
6	293.150	1.597	3.987	0.217	0.258	1.027	0.144	0.008	0.136	1.100
8	292.500	1.062	2.405	0.152	0.011	1.087	0.055	0.005	0.050	3.000
9	314.167	0.975	1.972	0.130	0.039	1.134	0.015	0.004	0.011	2.400
10	227.500	1.127	1.300	0.260	0.026	0.527	0.037	0.007	0.031	1.250
11	275.167	0.969	2.253	0.010	0.011	0.490	0.013	0.010	0.003	4.506
12	726.483	1.857	3.553	0.282	0.024	0.747	0.001	0.001	0.001	1.600
13	551.312	1.462	2.030	0.151	0.022	0.837	0.050	0.011	0.039	4.800
16	186.333	0.542	1.755	0.022	0.024	0.383	0.001	0.002	0.001	1.500
17	615.449	1.900	3.693	0.216	0.039	0.991	0.297	0.010	0.287	1.300
18	336.483	1.532	1.712	0.412	0.033	0.747	0.016	0.008	0.009	1.800
19	314.817	0.904	3.120	0.130	0.015	0.747	0.074	0.010	0.065	2.400
20	248.162	0.854	2.884	0.194	0.009	0.464	0.129	0.016	0.113	1.700
22	704.167	1.907	2.405	0.238	0.015	0.854	0.068	0.009	0.059	2.200
24	195.000	0.455	1.755	0.022	0.078	0.345	0.069	0.022	0.047	1.900
25	507.475	1.576	1.749	0.151	0.028	0.712	0.116	0.007	0.110	3.200
26	356.960	0.922	1.749	0.130	0.019	0.558	0.001	0.001	0.001	2.000
27	271.667	0.753	1.350	0.127	0.012	0.100	0.240	0.025	0.215	1.000
28	203.642	0.699	1.672	0.328	0.028	0.480	0.168	0.007	0.162	2.368
30	205.116	0.768	3.315	0.258	0.028	0.417	0.074	0.010	0.064	2.200
32	400.150	1.268	2.462	0.194	0.082	0.791	0.069	0.018	0.052	2.000
34	193.483	0.449	2.037	0.043	0.022	0.653	0.063	0.007	0.056	1.300
36	205.000	0.837	1.017	0.547	0.060	0.900	0.085	0.004	0.081	2.927
Bianco 1 ²	233.333	0.037	0.333	0.012	0.000	0.050	0.004	0.001	0.004	1.308
Bianco 2	143.000	0.046	0.433	0.014	0.000	0.030	0.005	0.001	0.004	1.766
Bianco 3	177.000	0.080	0.547	0.025	0.000	0.020	0.008	0.001	0.005	2.289

Tabella P 1 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore arboreo passivo *Pinus spp* per il periodo di campionamento 06/06/05-10/06/05.

² Per conoscere la distribuzione delle stazioni di bianco all'interno del contesto ambientale in cui sono inserite, relative a tutti i biosensori utilizzati vedi allegato 3

BIOMONITORAGGIO DELL'AREA CIRCOSTANTE LA CENTRALE TERMOELETTRICA DI TERMINI IMERESE
Gestione II° anno

stazione	Al	V	N	Ni	pb	As	Cd	S_t	S_O	S_i
	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
2	35.83	0.31	2.98	0.08	0.00	1.38	0.07	0.10	0.03	0.07
4	106.70	0.36	3.07	0.21	0.00	1.16	0.05	0.04	0.01	0.02
6	672.50	2.48	2.56	1.49	1.26	5.80	0.10	0.10	0.04	0.06
8	95.78	0.34	3.01	0.24	0.00	0.74	0.06	0.01	0.00	0.00
9	578.39	1.57	3.19	0.69	1.02	5.43	0.15	0.27	0.12	0.15
10	92.99	0.33	2.89	0.19	0.00	4.47	0.04	0.13	0.05	0.07
11	177.78	0.41	2.48	0.23	0.00	4.96	0.06	0.21	0.09	0.12
12	96.23	0.08	3.17	0.00	0.00	2.34	0.00	0.14	0.05	0.09
13	159.58	0.48	2.28	0.04	0.00	0.84	0.05	0.05	0.02	0.03
16	37.83	0.34	1.06	0.23	0.00	0.96	0.03	0.00	0.00	0.00
17	369.04	0.88	1.01	0.45	0.00	2.06	0.03	0.00	0.00	0.00
18	274.10	1.17	2.37	0.34	0.00	1.42	0.04	0.02	0.01	0.01
19	80.34	0.04	3.11	0.00	0.00	0.51	0.00	0.35	0.13	0.22
20	45.06	0.15	2.73	0.09	0.00	1.87	0.05	0.06	0.03	0.03
22	293.80	0.58	2.62	0.39	1.06	3.35	0.14	0.06	0.03	0.03
24	19.34	0.19	2.82	0.54	0.00	0.90	0.05	0.05	0.02	0.03
25	128.62	0.27	2.87	0.24	0.00	3.84	0.04	0.16	0.07	0.10
26	137.16	0.21	2.38	0.00	0.00	2.86	0.00	0.01	0.01	0.01
27	406.50	0.86	2.39	0.59	0.69	4.80	0.07	0.10	0.04	0.06
28	205.12	0.77	2.20	0.31	0.42	0.26	0.03	0.07	0.06	0.01
30	167.91	0.34	3.09	0.11	0.00	3.91	0.03	0.27	0.10	0.17
32	190.46	0.43	2.16	0.32	0.00	1.16	0.10	0.06	0.02	0.04
34	339.66	0.71	2.81	0.39	0.69	3.93	0.11	0.10	0.04	0.05
36	106.18	0.40	1.03	0.07	0.00	1.28	0.01	0.00	0.00	0.00
Bianco 1	233.333	0.037	0.333	0.012	0.000	0.050	0.004	0.001	0.004	1.308
Bianco 2	143.000	0.046	0.433	0.014	0.000	0.030	0.005	0.001	0.004	1.766
Bianco 3	177.000	0.080	0.547	0.025	0.000	0.020	0.008	0.001	0.005	2.289

Tabella P 2 Analisi chimiche del biosensore arboreo *Pinus spp* per il periodo di campionamento settembre.

stazione	As	Cd	Pb	Al	V	Ni	S T	S I	S O	N
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%	%
2	1.78	0.48	0.82	219.83	0.60	1.29	0.11	0.08	0.04	2.34
4	3.01	0.08	1.80	747.79	1.60	2.21	0.00	0.00	0.00	2.09
6	2.62	0.18	1.31	567.02	1.74	2.56	0.08	0.05	0.03	2.25
8	4.01	0.10	1.46	804.21	1.86	1.22	0.02	0.01	0.01	3.04
9	1.97	0.49	0.13	505.85	1.30	0.92	0.03	0.02	0.01	2.31
10	0.11	0.06	0.00	188.13	0.85	0.85	0.13	0.06	0.06	2.82
11	2.38	0.62	0.90	429.88	1.06	1.35	0.19	0.12	0.08	3.32
12	2.52	0.04	0.68	530.09	1.21	1.68	0.14	0.09	0.06	3.06
13	1.35	0.18	1.02	241.73	0.47	2.40	0.13	0.08	0.06	3.16
16	1.93	0.15	0.77	204.79	0.55	0.80	0.13	0.08	0.04	2.57
17	4.21	0.07	0.75	1082.59	3.28	1.77	0.11	0.06	0.05	2.99
18	1.79	0.02	0.25	468.55	1.45	1.61	0.08	0.05	0.03	2.70

BIOMONITORAGGIO DELL'AREA CIRCOSTANTE LA CENTRALE TERMOELETTRICA DI TERMINI IMERESE
Gestione II° anno

19	3.22	0.02	0.70	806.32	1.76	1.53	0.09	0.05	0.04	2.47
20	1.11	0.04	0.69	175.71	0.51	0.79	0.11	0.06	0.05	2.91
22	2.38	0.54	0.55	665.99	1.82	2.31	0.10	0.07	0.03	2.58
23	3.53	0.04	0.00	976.61	2.20	1.12	0.03	0.02	0.01	2.79
24	1.84	0.18	1.14	286.68	0.55	1.27	0.10	0.07	0.03	2.37
25	3.32	0.42	0.94	758.94	1.89	1.93	0.13	0.08	0.05	2.30
26	1.86	0.17	0.04	237.03	0.71	0.56	0.13	0.07	0.06	2.61
27	2.96	0.21	1.64	755.40	1.60	1.31	0.07	0.04	0.04	2.87
30	1.00	0.07	0.68	254.95	0.44	1.11	0.19	0.12	0.08	2.76
32	2.62	0.87	1.24	724.00	1.46	5.32	0.00	0.00	0.00	2.04
34	16.70	0.76	3.66	4714.44	10.79	4.38	0.14	0.09	0.05	2.72
Bianco 1	0.14	0.02	0.13	240.72	0.57	0.74	0.05	0.01	0.04	2.59
Bianco 2	0.13	0.03	0.70	207.33	0.63	0.84	0.02	0.00	0.02	2.29
Bianco 3	0.15	0.03	0.68	235.44	0.54	0.75	0.09	0.05	0.04	2.25

Tabella D 1 Risultati delle analisi chimiche in biosensore erbaceo *Dittrichia viscosa*

STAZIONE	Al	As	Cd	Ni	Pb	V	%Stot	Sin	Sorg	N tot %
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%	%
4	783.44	0.00	0.00	0.51	0.00	2.17	0.00	0.00	0.00	2.38
6	1428.54	3.07	0.10	2.66	2.52	2.42	0.10	0.05	0.04	2.43
8	4006.66	17.51	0.00	2.86	7.87	10.62	0.00	0.00	0.00	1.43
9	3422.39	14.03	0.14	4.74	6.71	9.58	0.05	0.03	0.03	2.63
11	1275.43	5.38	0.50	4.50	7.88	4.82	0.03	0.02	0.01	3.01
12	2177.27	14.37	0.79	3.35	10.76	5.36	0.02	0.01	0.01	2.12
13	4197.13	18.95	1.03	6.98	16.82	12.99	0.00	0.00	0.00	1.84
16	2827.59	11.05	0.09	3.09	3.76	6.49	0.07	0.04	0.03	2.40
17	2114.55	6.41	0.05	2.47	5.80	5.77	0.02	0.01	0.01	3.02
18	2756.74	7.74	0.20	4.63	3.84	9.32	0.02	0.01	0.01	2.20
19	1311.18	5.41	0.44	2.48	6.32	3.50	0.06	0.03	0.03	2.38
20	1778.50	4.59	0.21	2.70	2.46	3.99	0.04	0.02	0.01	3.01
22	1794.52	6.93	0.60	3.02	6.39	4.94	0.00	0.00	0.00	2.44
25	4866.24	19.20	0.17	4.78	8.41	12.60	0.03	0.02	0.01	3.03
26	5963.50	10.04	0.00	3.15	4.14	11.74	0.01	0.00	0.00	2.47
27	797.42	9.33	0.33	0.50	3.32	1.56	0.03	0.02	0.01	2.92
30	1604.62	11.44	0.56	2.56	6.38	4.22	0.00	0.00	0.00	2.46
32	1165.28	7.63	0.02	0.84	1.19	3.44	0.00	0.00	0.00	2.04
34	1513.63	6.39	0.16	1.77	1.25	3.56	0.02	0.01	0.01	2.31
Bianco 1	803.24	1.89	0.06	1.52	1.86	3.13	0.01	0.01	0.00	0.82
Bianco 2	482.15	2.39	0.07	1.54	1.42	1.26	0.01	0.01	0.00	1.18
Bianco 3	786.98	3.17	0.07	0.76	1.12	1.56	0.00	0.00	0.00	0.46

Tabella D 2 Risultati delle analisi chimiche in biosensore lichenico *Xanthoria s.l.*

Stazioni	Al	V	Ni	As	N	Cd	Pb	S_tot	S_in	S_or
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
1	32.50	0.36	1.24	0.07	0.44	0.02	0.32	0.061	0.015	0.046
2	28.17	0.32	1.37	0.00	0.14	0.02	0.29	0.019	0.003	0.016
3	28.17	0.28	1.34	0.00	0.38	0.01	0.25	0.611	0.004	0.607
4	71.50	0.58	0.98	0.04	0.48	0.02	0.53	0.027	0.011	0.017
5	26.00	0.32	1.32	0.00	0.79	0.02	0.14	0.103	0.014	0.089
6	53.99	0.47	1.19	0.00	0.49	0.01	0.60	0.008	0.003	0.005

Tabella L 1 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum* (maggio 2005)

Stazioni	Al	V	Ni	As	N	Cd	Pb	S_tot	S_in	S_or
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
1	305.00	0.45	1.85	0.30	0.41	0.03	0.00	0.12	0.013	0.103
2	83.33	0.42	1.35	0.21	1.36	0.02	0.00	0.05	0.010	0.035
3	86.67	0.45	2.18	0.25	0.90	0.02	0.00	0.06	0.005	0.058
4	96.35	0.57	1.35	0.28	0.46	0.02	0.00	0.03	0.011	0.016
5	138.33	0.95	2.02	0.36	0.65	0.03	0.00	0.08	0.011	0.068
6	78.33	0.54	1.52	0.28	0.47	0.02	0.00	0.06	0.008	0.058

Tabella L 2 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum* (giugno 2005)

Stazioni	Al	V	Ni	As	N	Cd	Pb	S_tot	S_in	S_or
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
1	94.00	0.57	1.48	0.19	1.48	0.02	0.60	0.04	0.011	0.027
2	97.33	0.52	1.15	0.16	1.38	0.02	0.83	0.12	0.003	0.121
3	105.67	0.55	1.65	0.17	0.90	0.02	0.25	0.08	0.050	0.033
4	82.33	0.60	1.48	0.22	1.14	0.02	0.65	0.08	0.010	0.074
5	102.33	0.53	1.65	0.47	0.54	0.03	0.33	0.07	0.009	0.059
6 ³	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.

Tabella L 3 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum* (luglio 2005)

Stazioni	Al	V	Ni	As	N	Cd	Pb	S_tot	S_in	S_or
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
1	16.74	0.00	1.00	4.00	2.71	0.17	0.83	0.03	0.02	0.02
2	18.30	0.67	0.83	0.00	2.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
3	23.79	0.50	1.33	0.00	2.38	0.00	0.67	0.27	0.16	0.10
4	25.38	0.00	0.83	3.33	1.78	0.33	0.00	0.08	0.05	0.03
5	26.53	0.50	1.17	0.00	0.05	0.17	2.67	0.24	0.14	0.10
6	15.97	0.00	0.67	0.00	2.87	0.17	0.50	0.39	0.23	0.16

Tabella L 4 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum* (agosto 2005)

³ I valori relativi alla stazione N°6 "Villa comunale" non sono riportati per il 3° ciclo di campionamento (luglio) a causa della non rilevabilità dei campioni, dovuta ai danni da atti vandalici subiti dalla stazione di campionamento in questione.

Stazioni	Al	V	Ni	As	N	Cd	Pb	S_tot	S_in	S_or
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%
1	19.95	1.00	1.50	0.17	1.84	0.33	3.33	0.158	0.084	0.074
2	9.84	0.33	1.67	0.00	2.38	0.17	0.00	0.048	0.013	0.045
3	13.97	0.00	5.67	0.00	2.45	0.17	0.00	0.242	0.065	0.177
4	10.86	0.50	1.50	0.50	2.21	0.00	0.83	0.070	0.033	0.037
5	12.57	0.33	2.50	0.00	1.87	0.17	0.00	0.121	0.051	0.070
6	21.68	0.50	2.00	0.00	2.25	0.17	4.50	0.161	0.086	0.075

Tabella L 5 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum* (settembre 2004)

Stazione	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$]
1	20.7265	98.5603	104.0623	69.0497	71.5230
2	14.5462	87.1514	81.1797	64.1531	73.6155
3	17.1491	83.8307	87.4441	62.6729	70.7033
4	17.8458	64.9613	90.3387	64.8212	78.9840
5	12.5050	65.6583	69.0354	52.1169	63.6958
6	16.6390	81.2256	88.9027	68.5836	76.7087

Tabella I 1 Risultati delle analisi chimiche relative al biosensore erbaceo attivo *Ipomea rubro-cerulea* (maggio-settembre 2005)

4.2 - Risultati delle analisi chimiche del terreno

Nella Tab. T1 si riportano i risultati delle analisi chimiche dei campioni di terreno.

stazione	Al	V	Ni	N	Cd	Pb	S_tot
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%
2	10618.20	26.89	16.65	0.33	0.09	3.87	79.01
4	3464.01	12.55	4.56	0.29	0.29	7.52	73.75
6	10525.20	52.66	25.29	0.16	0.00	4.65	83.06
8	10132.65	30.39	18.04	0.28	0.37	5.84	74.25
10	8014.12	38.38	18.21	0.12	0.28	9.21	63.76
11	7282.56	38.74	40.21	0.29	0.39	13.04	65.86
13	8924.00	36.32	24.02	0.16	0.20	3.54	65.48
14	8832.00	27.64	24.68	0.21	0.17	7.37	58.88
16	7790.61	29.03	33.79	0.15	0.00	5.23	70.40
19	9152.00	44.21	18.99	0.21	0.22	6.55	65.42
20	9140.16	23.65	30.98	0.19	0.04	11.26	60.86
22	11047.75	24.42	35.22	0.27	0.11	12.36	73.62
23	4619.08	16.84	11.46	0.32	0.21	4.34	66.68
24	7905.40	32.53	14.28	0.20	0.27	5.65	61.10
25	7540.92	18.68	16.55	0.14	0.23	5.72	70.85
26	9766.96	31.33	17.72	0.27	0.24	7.81	75.33
27	10462.20	39.36	24.60	0.16	0.32	8.30	68.67
28	8885.10	41.86	28.41	0.38	0.52	9.46	82.22
30	9215.41	49.98	18.42	0.22	0.16	5.16	80.65
32	9583.60	43.36	16.66	0.19	0.47	9.08	73.32
B1	3677.26	12.64	4.85	0.13	0.00	3.61	60.82
B2	3579.59	13.41	4.82	0.13	0.00	3.61	60.74
B3	3779.75	12.61	4.83	0.13	0.00	3.88	59.76

Tabella T 1 Risultati delle analisi chimiche dei campioni di terreno (anno 2004)

5 - ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi chimiche, è stata effettuata un'elaborazione statistica dei dati raccolti, relativi alla misurazione dei livelli di concentrazione degli elementi chimici indicati nella specifica tecnica: Alluminio (Al), Arsenico (As), Cadmio (Cd), Azoto totale (N t), Nichel (Ni), Piombo (Pb), Zolfo inorganico (S_i), Zolfo organico (S_o), Zolfo totale (S_t) e Vanadio (V).

Il secondo anno di gestione della Rete di Biomonitoraggio è caratterizzato da un arricchimento delle metodiche di biomonitoraggio. Si fa riferimento alla riconferma del *Lolium italicum* e dell'*Ipomea rubro-cerulea* utilizzati come biosensori attivi rispettivamente per lo studio degli elementi in traccia e dell'ozono troposferico, e, all'introduzione di un monitoraggio strumentale (*Radiello*) a supporto dei bioindicatori per il controllo dell'ozono troposferico. Non è stata utilizzata la *Nicotiana tabacum* come biosensore erbaceo attivo (anche se la metodologia è stata sperimentata), per le particolari condizioni climatiche, eccessivamente aride, secche e troppo ventilate per la crescita e la sopravvivenza di questo organismo vegetale.

Al fine di ottimizzare il lavoro, si è scelto di utilizzare, per ogni tipologia di biosensore, lo strumento statistico più appropriato. E' stato introdotto l'impiego delle tecniche GIS per l'analisi e lo studio dell'area oggetto d'indagine. Tali tecniche permettono l'analisi del territorio a più livelli su un'unica base cartografica, fornendo una visione d'insieme più completa delle caratteristiche dell'area in esame rispetto ai metodi tradizionali.

Il Sistema Informativo Territoriale (GIS) è il miglior strumento in grado di collegare tra loro le informazioni provenienti da diverse fonti, quali: la cartografia, la geologia, la geomorfologia, dal clima e le sorgenti di inquinamento. Le tecniche GIS consentono, inoltre, di integrare il quadro generale con la valutazione dei parametri che contribuiscono alla dispersione degli inquinanti nel territorio.

Il GIS permette di riferire ad un'unica Base Dati i diversi parametri fisici, antropici, economici, ambientali, climatici, chimici, ecc. riguardanti una determinata zona, consentendo di ricondurre ad un unico processo di interrelazione tutte le procedure per lo studio, la modellizzazione e la rappresentazione della dispersione degli inquinanti in un'area.

Tutti i parametri vengono rappresentati su una comune base cartografica e permettono di individuare univocamente il dato, in posizione assoluta, sul territorio.

5.1 - Procedura seguita

- a) Progettazione della Banca dati e individuazione delle caratteristiche di riferimento (scale delle mappe, tipologie, dimensione delle stampe).
- b) Fase operativa di informatizzazione della cartografia e dei dati rilevati dal campionamento.
- c) Immissione dei dati ottenuti e archiviazione degli stessi;
- d) Sviluppo delle procedure GIS previste per l'analisi geostatistica e tematica del territorio;

Di seguito vengono elencati, in successione, le principali attività svolte:

1. Trattamento dei dati vettoriali e scansione, digitalizzazione, vettorializzazione, informatizzazione, validazione topologica (*raster*);
2. Georeferenziazione della cartografia di riferimento a diverse scale cartografiche;
3. Inserimento delle coordinate assolute nel sistema (UTM Datum WGS 84), georeferenziazione e individuazione delle stazioni, con l'attribuzione delle concentrazioni degli elementi monitorati;
4. Interpolazione dei dati per la creazione delle mappe di dispersione degli inquinanti, attraverso l'uso di un Interpolatore Esatto (l'interpolatore IDW - *Inverse Distance Weighting*);
5. Analisi ed elaborazione statistica e geomatematica dei dati, con acquisizione delle informazioni derivate;
6. Modellizzazione tridimensionale del territorio in esame con sovrapposizione di foto aeree;
7. Produzione della cartografia di base, tematica e interpretazioni dei dati;
8. Produzione cartografica di base e tematica, a diverse scale.

Per l'interpretazione dei risultati come valori di riferimento sono stati considerati i dati riportati da Lindt T.J. e Riss A. per piante alimentari e da foraggio, relativi all'Europa del Nord e centrale, i dati riportati da Market B per una "pianta ideale di riferimento" e, i valori di background provenienti da altri studi condotti sul territorio nazionale.

Al fine di rendere confrontabili i risultati è stato calcolato il valore di background locale (in *Xanthoria* s.l.), pari al valore medio delle tre concentrazioni più basse registrate per singolo elemento (Nimis et al. 1999). Questo autore suggerisce che non esistendo valori di riferimento locali, negli studi di biomonitoraggio mediate l'uso licheni, è possibile considerare come "valore indicativo di riferimento" il valore restituito dalla media aritmetica calcolata sui tre valori più bassi registrati nell'area di studio.

Di seguito viene fornita l'elaborazione statistica e la relativa interpretazione dei dati ottenuti dal monitoraggio attivo e dal monitoraggio passivo.

- Biosensore passivo arboreo (*Pinus* spp.);
- Biosensore attivo erbaceo (*Lolium italicum*)
- Biosensore attivo erbaceo (*Ipomea rubro-cerulea*)
- Campioni di terreno

6 - BIOSENSORE ERBACEO ATTIVO *LOLIUM ITALICUM*

6.1 - Introduzione al tipo di statistica impiegata

L'elaborazione statistica è l'interpretazione dei dati riguarda le concentrazioni degli elementi nel biosensore erbaceo *Lolium italicum* campionato in diversi mesi dell'anno 2005. L'obbiettivo di questo tipo di analisi statistica è quello di mettere in evidenza le variazioni di concentrazione degli elementi chimici e l'individuazione ove esiste, dei *trend* che questi hanno assunto nel corso di questo lasso di tempo.

Si riporta, di seguito, l'andamento nel tempo mostrato dal biosensore erbaceo attivo. In particolare, sono state considerate per ogni elemento le concentrazioni medie mensili delle sei diverse stazioni (N°1 *Monte S. Calogero*, N°2 *La Signora*, N°3 *Il Santo*, N°4 *Sciara scalo*, N°5 *Fiumara*, N°6 *Villa comunale*), e la concentrazione media di ogni singolo elemento per ciascuna stazione di campionamento.

L'analisi geostatistica e spaziale è riportata nelle tavole dell'allegato 6, e mette in evidenza l'andamento spaziale del singolo elemento nei distinti cicli del periodo d'indagine.

6.2 – Interpretazione dei dati

ALLUMINIO

L'alluminio è un metallo prevalentemente di origine terrigena; le concentrazioni medie hanno fatto registrare i massimi valori nel periodo di giugno-luglio con una successiva tendenza alla diminuzione, non lascia ipotizzare lo studio di trend modellabile matematicamente.

La diversa concentrazione dell'elemento nei mesi deve essere ricercata in fattori esterni, come le condizioni climatiche, anemometrie e la natura del suolo.

La stazione che presenta il massimo di concentrazione è la stazione 1 "Monte San Calogero".

Dall'analisi spaziale e geostatistica (allegato 6 - tavola 1) non è identificabile un trend spaziale definito, non si notano inoltre, ripetizioni nelle concentrazioni massime dell'elemento.

Rispetto all'anno di gestione precedente si nota una replica delle stazioni con maggiore concentrazione, ma questa risulta essere per l'anno in corso, pari a circa un terzo rispetto alla concentrazione di alluminio registrata nell'anno 2004.

ARSENICO

La concentrazione di questo elemento rimane sempre al disotto dei valori di naturalità/rilevabilità, si registra un andamento medio costante in quasi tutti i cicli di campionamento con valori intorno agli 0.2 PPM. Il mese di agosto fa rilevare però, un valore di concentrazione superiore (1.2 PPM) rispetto all'andamento generale costante, sempre comunque al disotto dei limiti naturali.

Le concentrazioni maggiori si rinvencono nelle stazioni 1 "Monte San Calogero" e 4 "Il Santo".

Dall'analisi geostatistica e spaziale (allegato 6 - tavola 2), si nota la presenza dell'elemento nella parte occidentale e più interna della rete di campionamento, con un andamento quasi omogeneo nei mesi di giugno e luglio.

Confrontando i dati del 2005 con quelli dell'anno di gestione precedente si hanno delle riconferme per ciò che riguarda i mesi di maggio, giugno e agosto, registrando però per l'anno in corso una diminuzione delle concentrazioni nel mese di settembre.

Viene inoltre riconfermata la stazione 4 "Il Santo" come sito con maggiore concentrazione di arsenico.

AZOTO

L'azoto mostra un leggero trend in aumento nei primi tre mesi di campionamento, seguito da un incremento di concentrazione nel mese di agosto, per poi fare intuire un nuovo trend in diminuzione nel successivo periodo.

Le concentrazioni anche se si avvicinano ai limiti considerati di naturalità, non superano mai questi ultimi.

Le stazioni che hanno fatto registrare le concentrazioni maggiori sono la stazione 2 "La Signora" e la stazione 3 "Il Santo", anche se nelle diverse stazioni non si registrano forti variazioni.

Confrontando i risultati dell'anno in corso con quelli relativo all'anno 2004, si denota una certa costanza e continuità nei trend evolutivi di questo elemento e nelle concentrazioni medie registrate.

Dall'analisi geostatistica e spaziale emerge che nei mesi di giugno, luglio e agosto si registra una persistenza di azoto nella parte orientale della rete, mentre nei restanti mesi non si denota nessuna particolare distribuzione.

CADMIO

Nel corso dei cinque mesi di monitoraggio attivo, questo elemento chimico è stato caratterizzato da un andamento costante nei primi tre mesi (maggio-giugno-luglio) con concentrazioni pari a circa un decimo dei limiti considerati naturali (0.3 PPM). Nei mesi di agosto e settembre si registrano aumenti generali nelle concentrazioni medie che non superano mai, però, i limiti di naturalità. Le stazioni hanno fatto registrare valori medi di concentrazione quasi identici in tutti i mesi di indagine.

Dall'analisi spaziale e geostatistica (allegato 6 - tavola 4) non è identificabile un trend spaziale definito, ma si evidenzia una persistenza costante dell'elemento nei primi tre mesi di campionamento nella porzione più interna della rete.

Rispetto all'anno di gestione 2004 non si registrano particolari differenze di concentrazione, inoltre, l'andamento medio mensile pare confermarsi.

NICHEL

L'andamento delle concentrazioni medie mensili non suggeriscono un andamento lineare, si registra infatti un'altalenanza nelle concentrazioni mensili. Ad un incremento da maggio a giugno segue un trend in diminuzione da giugno fino ad agosto dove si registra il minimo (1.23 PPM) seguito da un massimo (2.34 PPM) nel mese di settembre che raggiunge quasi i limiti di naturalità (2.5 PPM).

Tutte le stazioni hanno restituito valori di concentrazione media al disotto dei limiti da naturalità, solo la stazione 3 "Sciara" ha fatto rilevare concentrazioni più alte, vicine a questi limiti ma non al di sopra.

L'analisi geostatistica (allegato 6 - tavola 5) ha restituito un leggero trend di concentrazione lungo l'asse Nord-Est/Sud-Ovest, suggerendo che la porzione orientale della rete non risulta interessata da questo elemento chimico, se non nel solo mese di maggio.

Confrontando i risultati con quelli relativi all'anno di gestione 2004, il comportamento generale è ampiamente confermato sia per la variazione di concentrazione media che per le stazioni che fanno registrare le maggiori concentrazioni.

PIOMBO

La concentrazione media del piombo mostra un trend in leggerissima crescita dal primo all'ultimo mese di campionamento; questo fenomeno pare però di lieve entità se si confrontano le concentrazioni medie con i limiti di naturalità da considerarsi circa 5 volte superiori al valore massimo registrato nel mese di settembre.

Il fenomeno è da tenere sotto controllo, al fine di capire se la concentrazione tende a tornare ai bassi valori iniziali o rimanere costante.

I massimi di concentrazione per il piombo si riscontrano nella stazione 1 "Monte San Calogero" e nella nuova stazione integrata per l'anno 2005 "Villa comunale".

L'analisi geostatistica condotta per il piombo (allegato 6 - tavola 6), ha messo in evidenza una forte variabilità spaziale, non lasciando identificare un netto trend spaziale.

I risultati ottenuti in questo anno di gestione confortano quanto già detto nell'anno di gestione 2004 mostrando una stretta analogia.

VANADIO

Per il vanadio si può affermare che ha un andamento costante nel tempo con valori 20 volte inferiori ai limiti di naturalità pari a 10 PPM.

Anche per quanto riguarda le concentrazioni media per singola stazione, non si registra nessuna concentrazione elevata.

L'analisi geostatistica condotta per il vanadio (allegato 6 - tavola 7), non ha restituito alcuna correlazione spaziale, non si riesce a identificare nessun trend di distribuzione suggerendo una distribuzione naturale dell'elemento sul territorio.

Come per all'anno di gestione 2004 si può confermare che non esistono valori in aumento o in diminuzione.

ZOLFO ORGANICO, INORGANICO E TOTALE.

Le concentrazioni delle diverse tipologie di zolfo non superano mai le concentrazioni di naturalità. Lo zolfo totale è fortemente influenzato dallo zolfo organico, indicando una componente naturale nell'area di studio molto forte. Si denota nel corso dei diversi cicli di campionamento un andamento altalenante delle concentrazioni, con un massimo nel mese di agosto.

Prendendo in considerazione unicamente la concentrazione totale di zolfo, la stazione che ha restituito i maggiori valori di zolfo è la stazione n°3 "Il Santo", mentre le stazioni meno coinvolte sono le stazioni 2 "La Signora" e 4 "Sciara". Entrambi i grafici mostrano un forte componente organica nella concentrazione totale degli elementi.

Dall'analisi spaziale e geostatistica non si riesce ad identificare alcun trend spaziale, suggerendo una distribuzione stocastica dell'elemento.

Dal confronto dei dati ottenuti con quelli relativi alla gestione precedente si registra una diminuzione generale della concentrazione di zolfo, infatti, non viene mai superato per l'anno di gestione in corso il limite di naturalità, cosa che accadeva per quasi tutti i cicli di campionamento nell'anno di gestione 2004.

Viene confermato come per l'anno di gestione precedente una forte componente dello zolfo organico nella concentrazione e distribuzione totale dello zolfo.

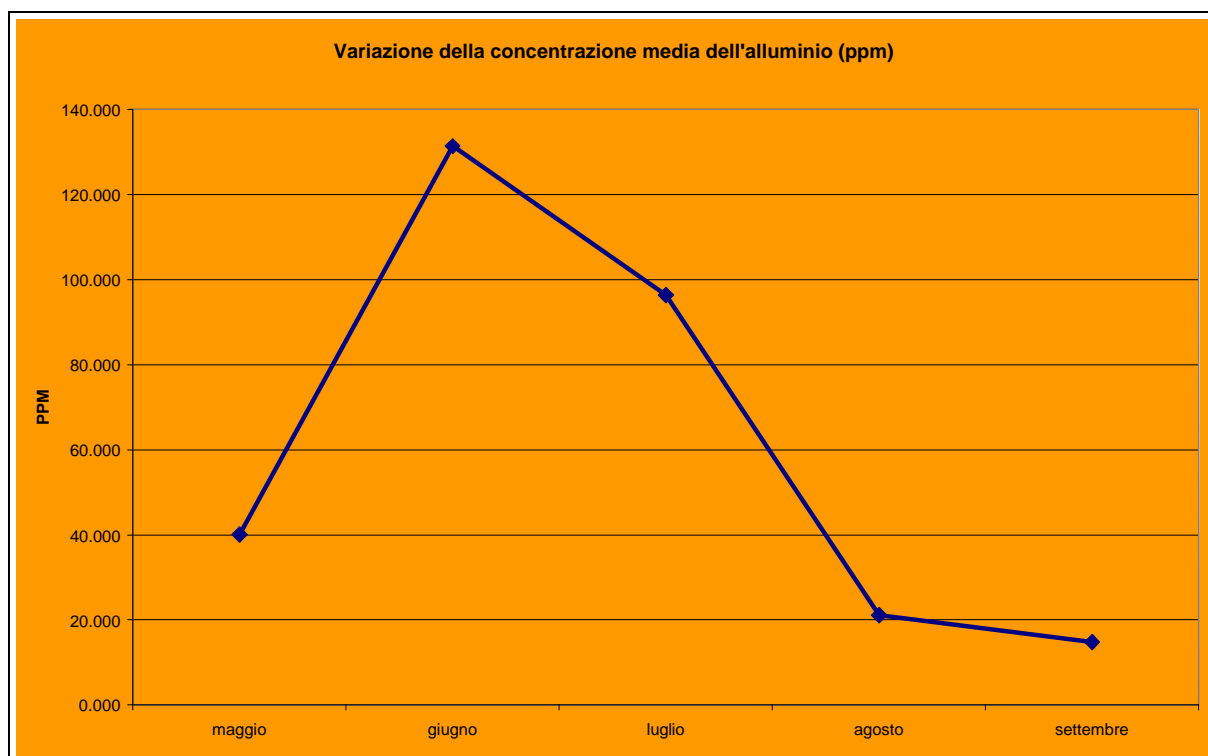


Grafico 1 Variazione della concentrazione media dell'alluminio nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

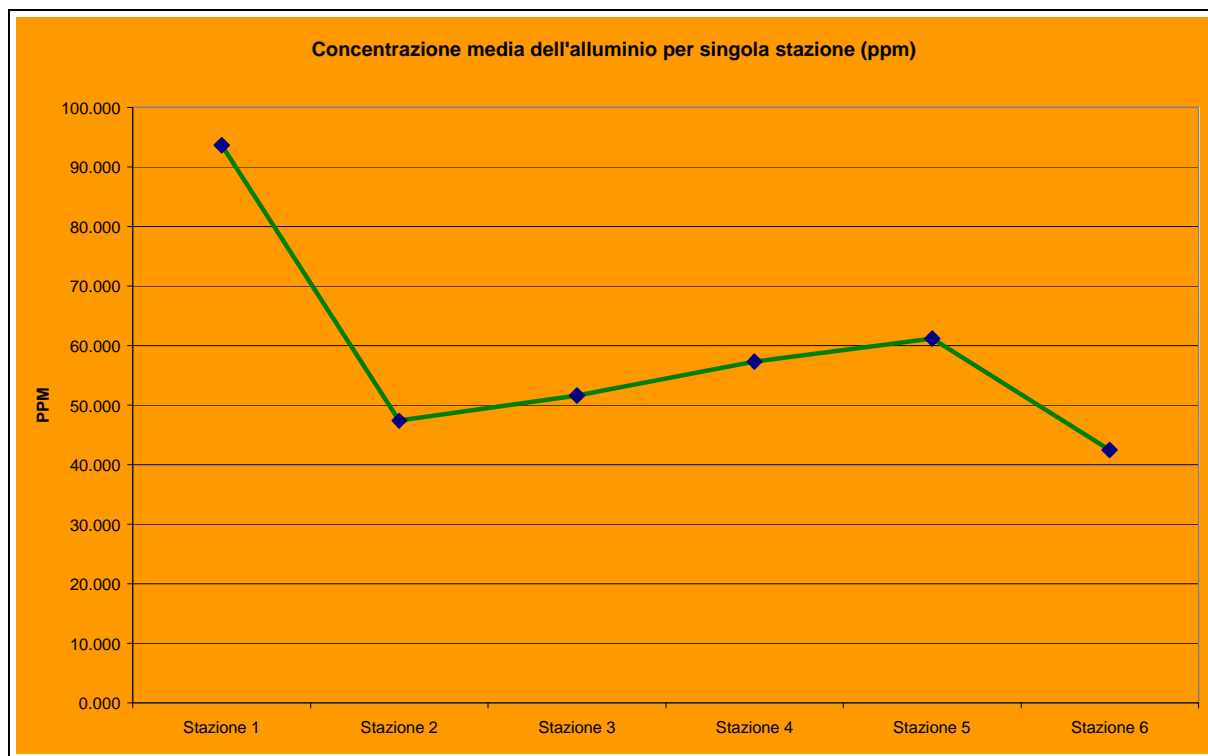


Grafico 2 Variazione della concentrazione media dell'alluminio per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

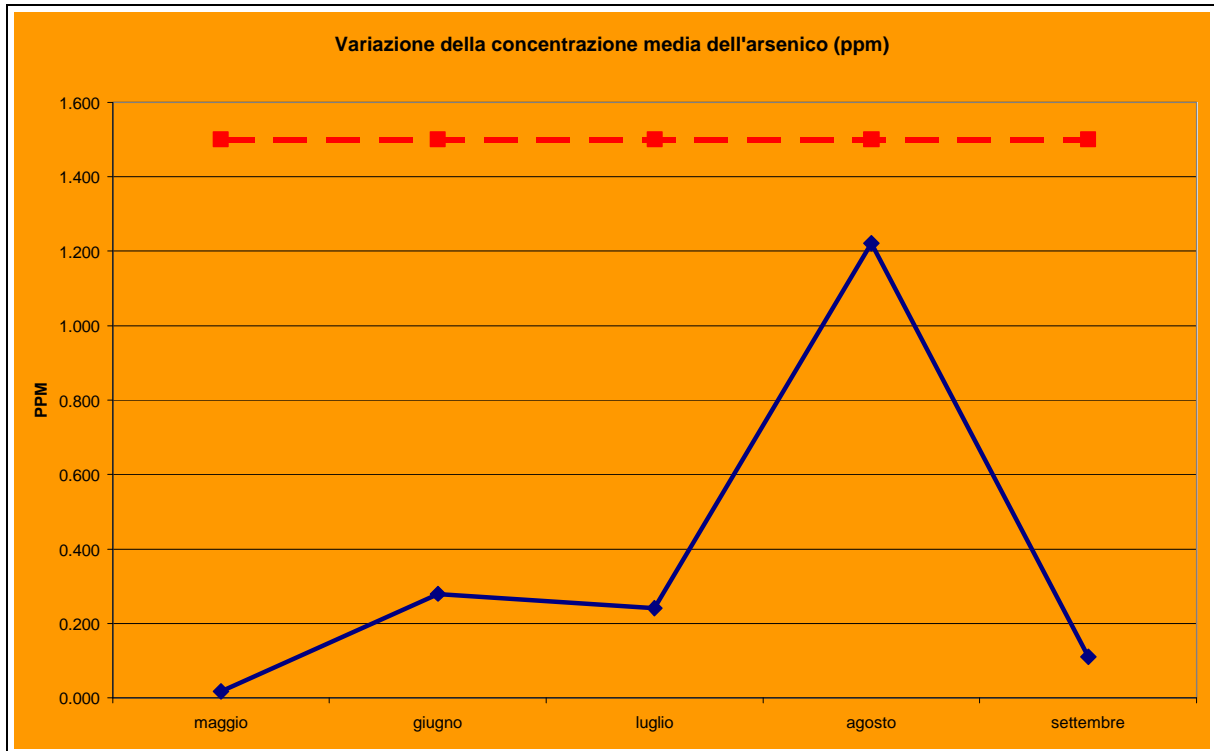


Grafico 3 Variazione della concentrazione media dell'azoto nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

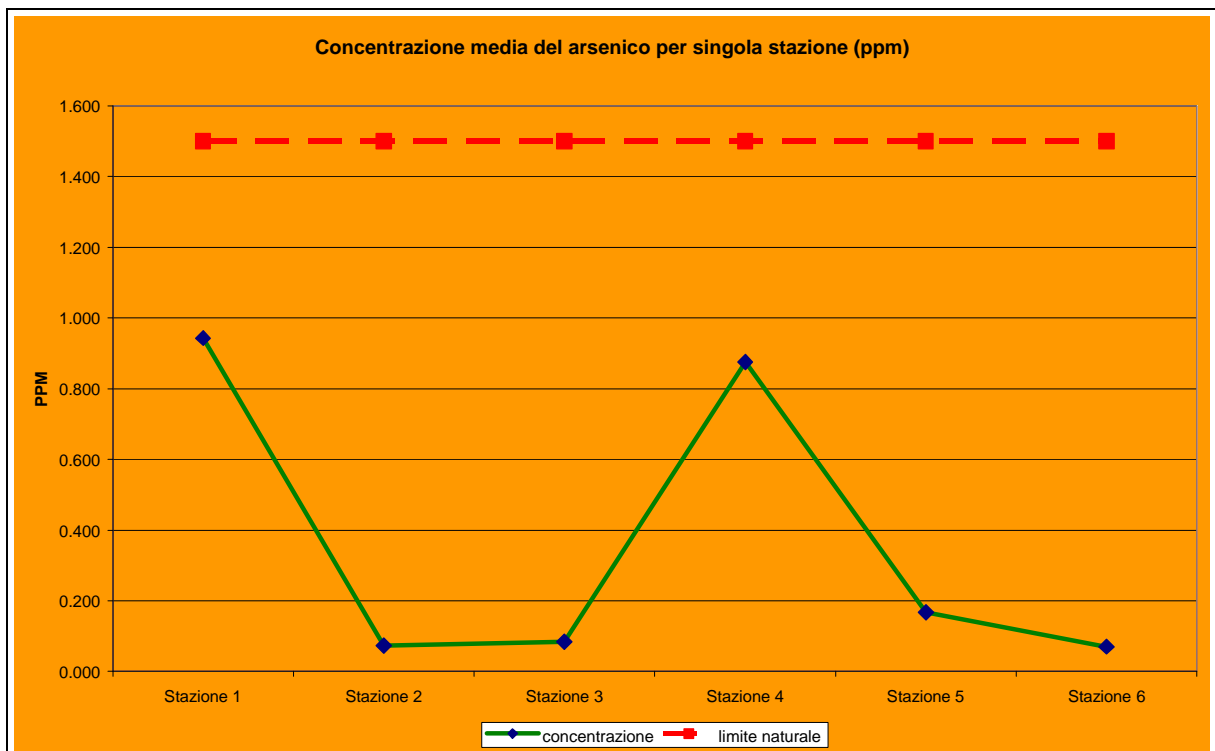


Grafico 4 Variazione della concentrazione media dell'arsenico per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

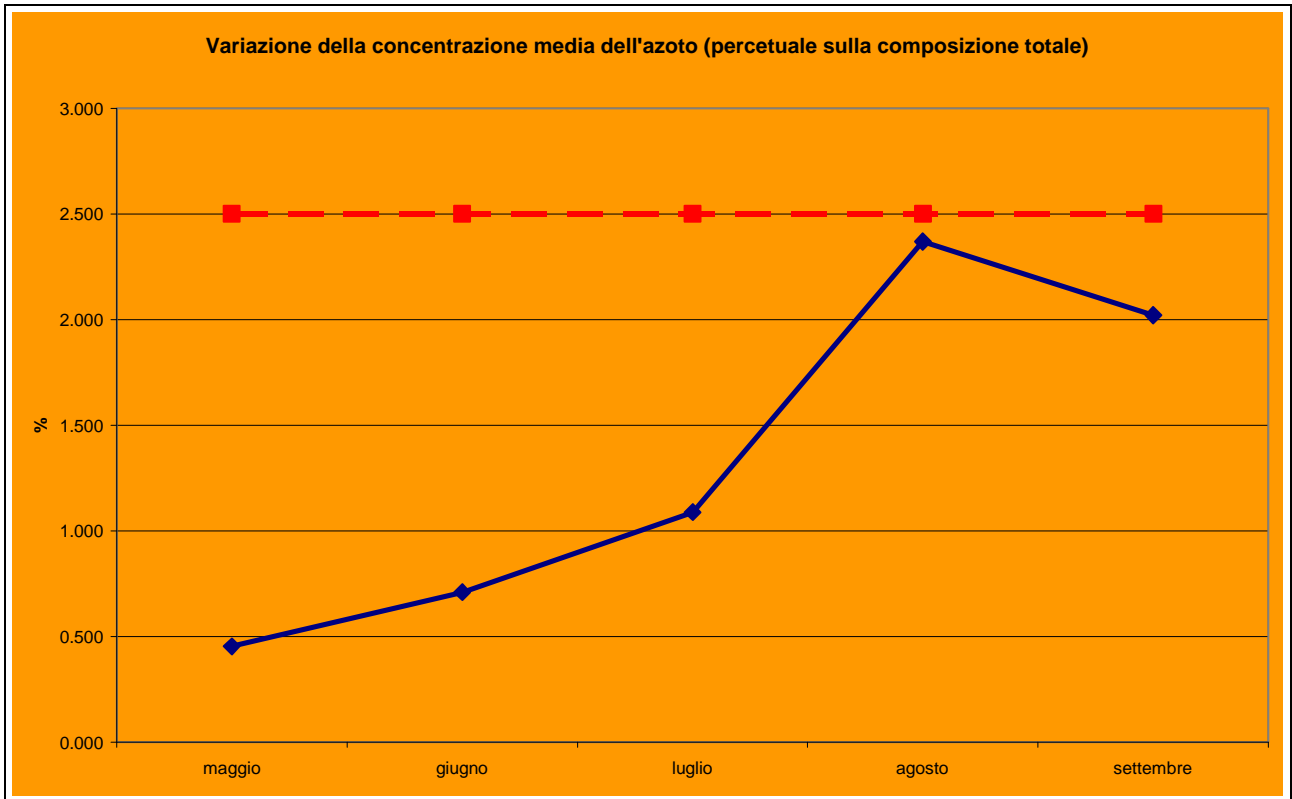


Grafico 5 Variazione della concentrazione media dell'azoto nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

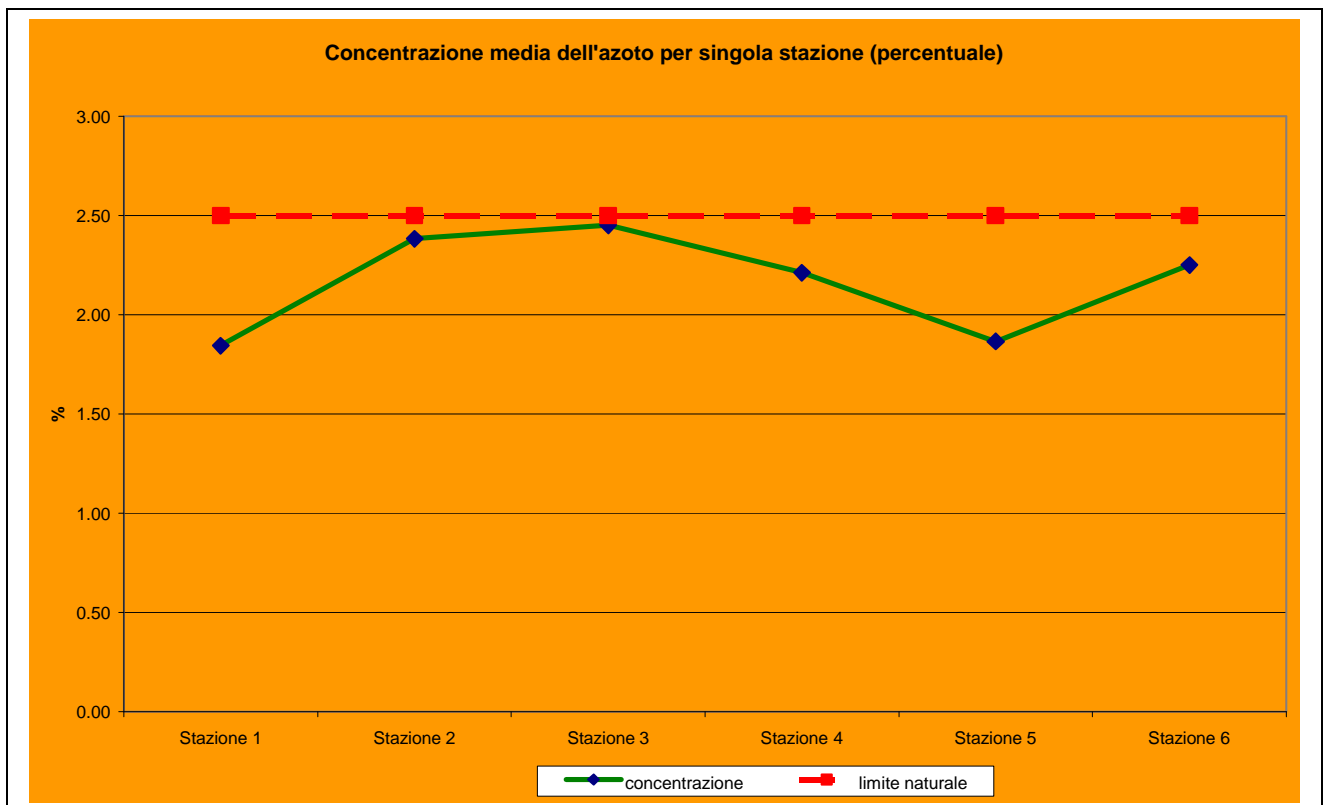


Grafico 6 Variazione della concentrazione media dell'azoto per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

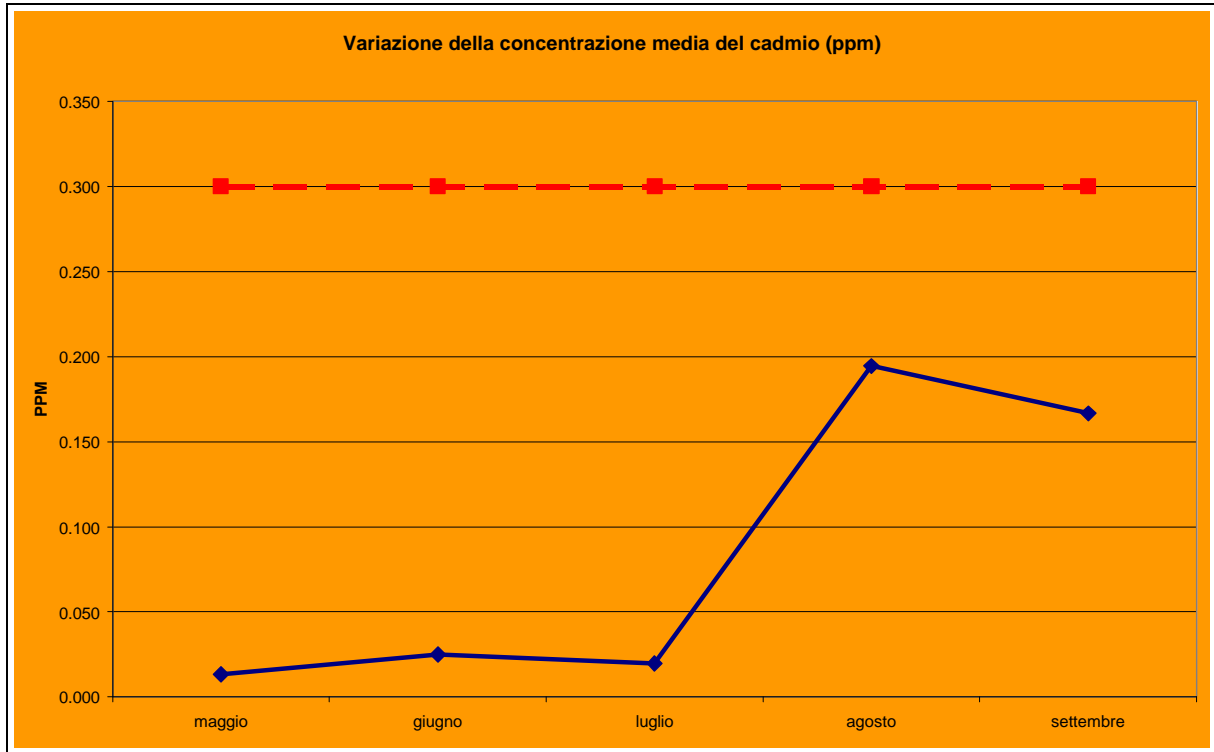


Grafico 7 Variazione della concentrazione media del cadmio nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

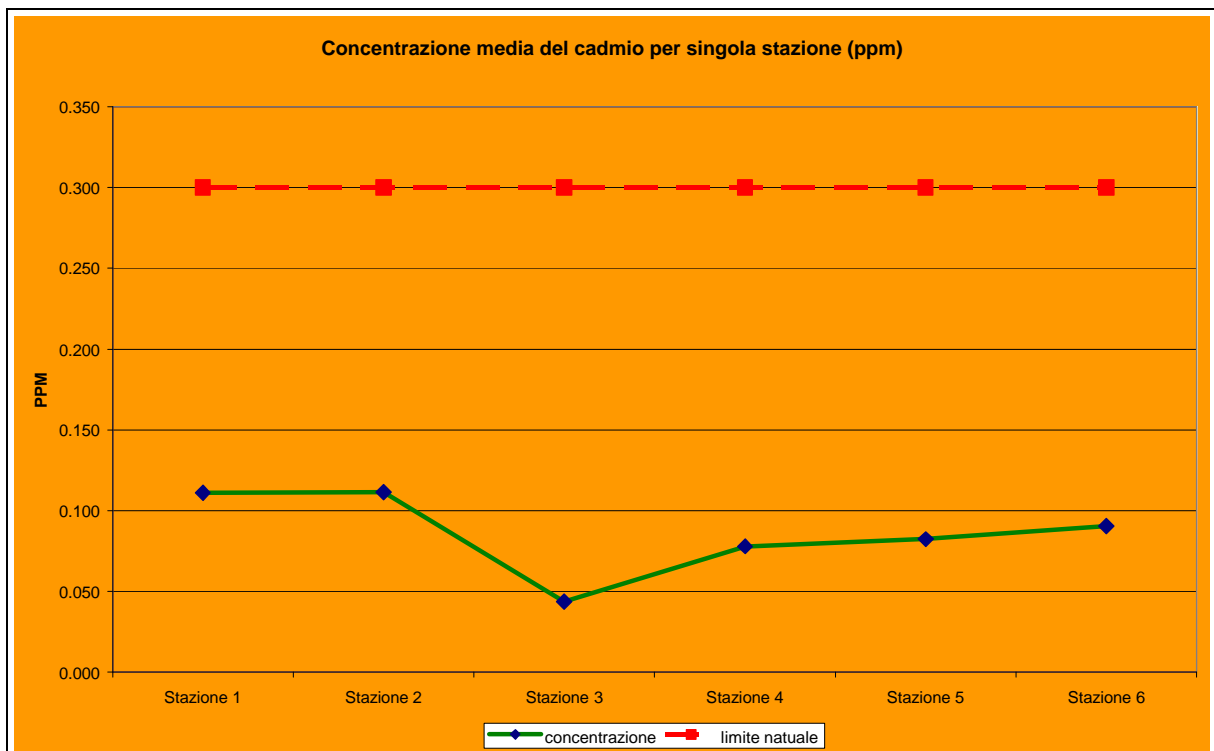


Grafico 8 Variazione della concentrazione media del cadmio per singola stazione nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

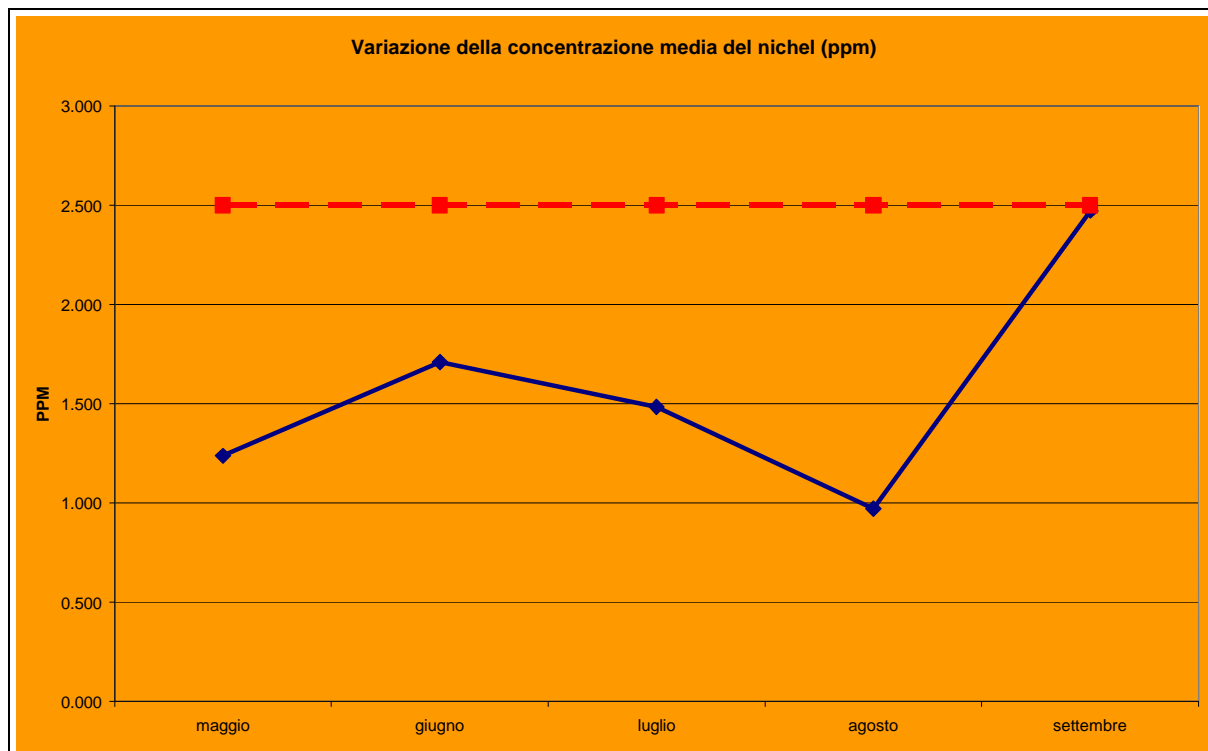


Grafico 9 Variazione della concentrazione media del nichel nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore: *Lolium italicum*

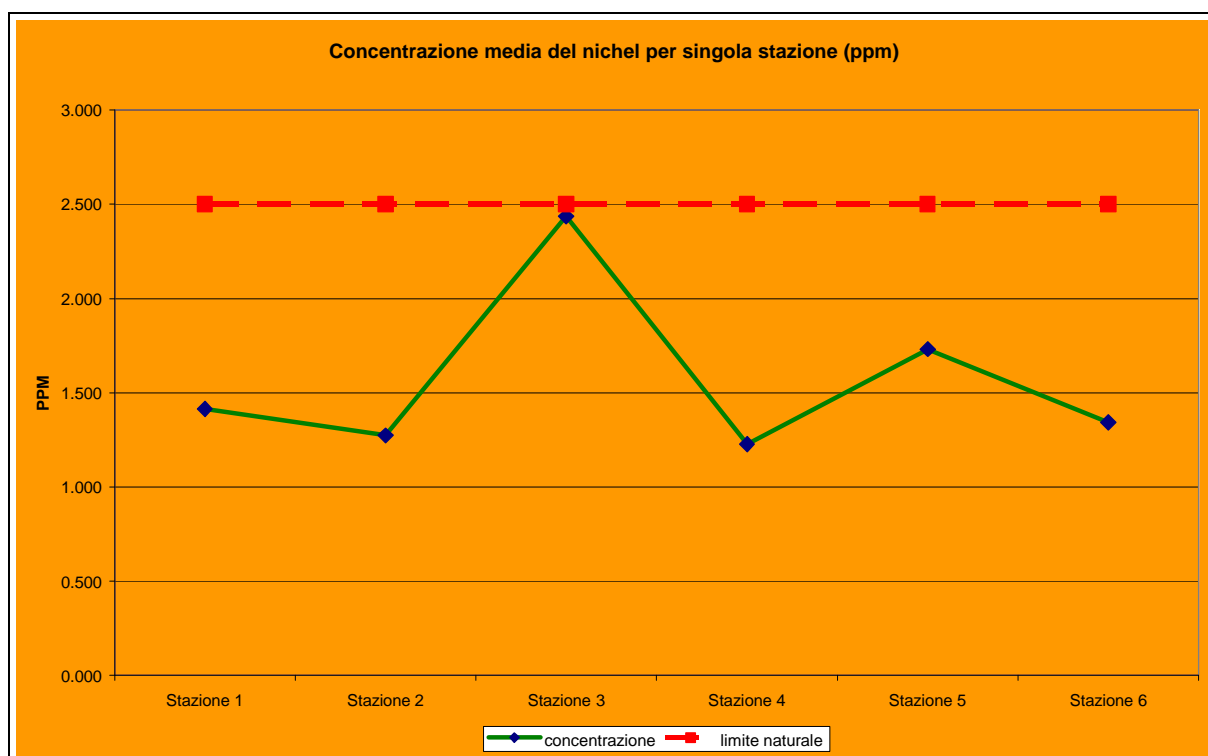


Grafico 10 Variazione della concentrazione media del nichel per singola stazione nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

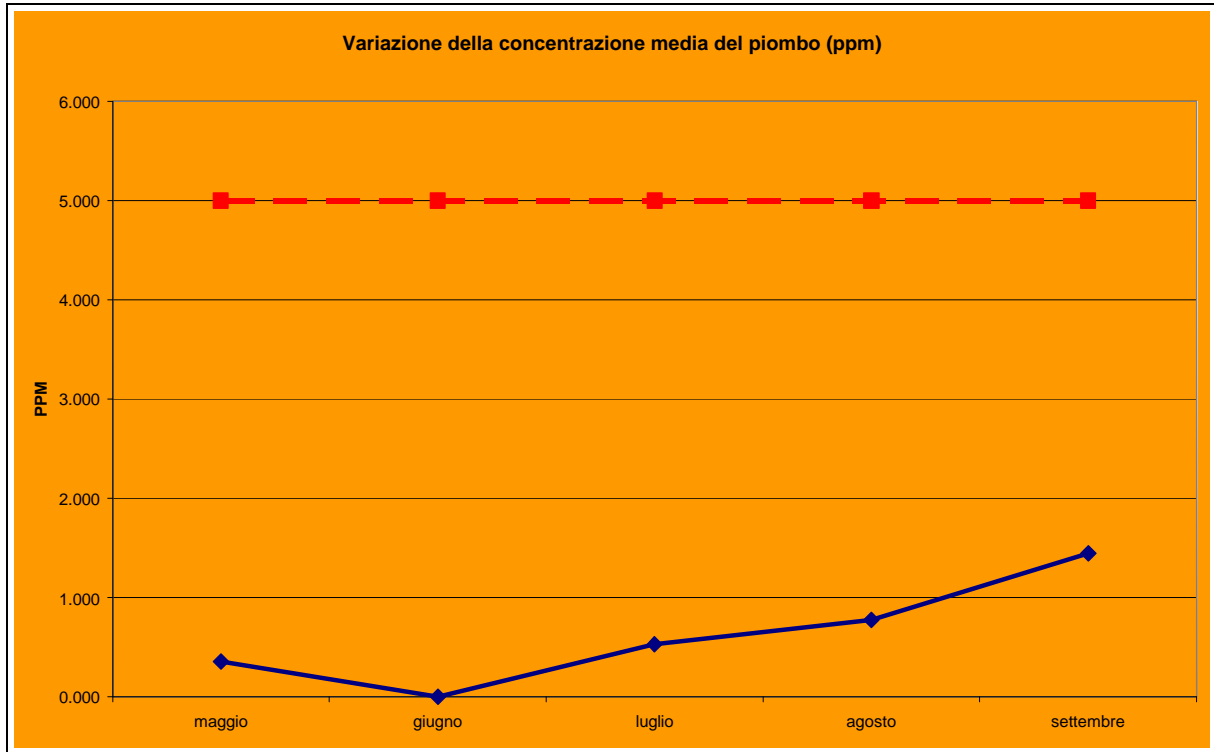


Grafico 11 Variazione della concentrazione media del piombo nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

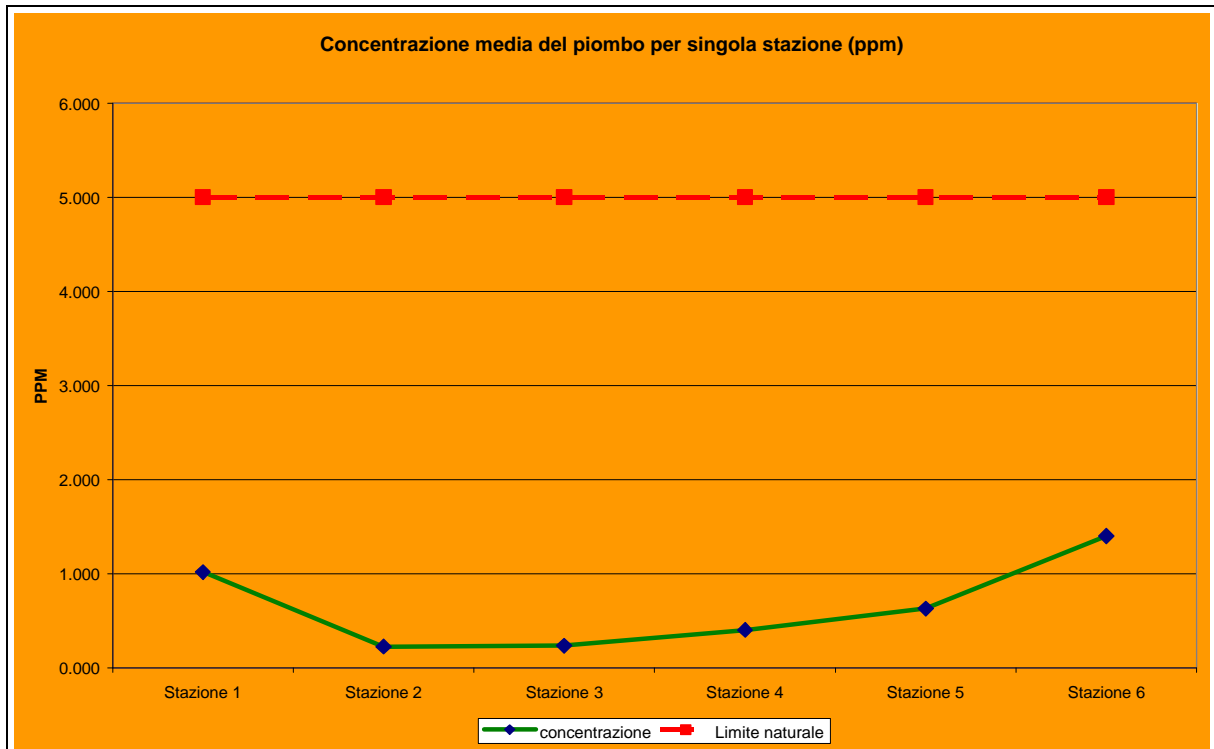


Grafico 12 Variazione della concentrazione media del piombo per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

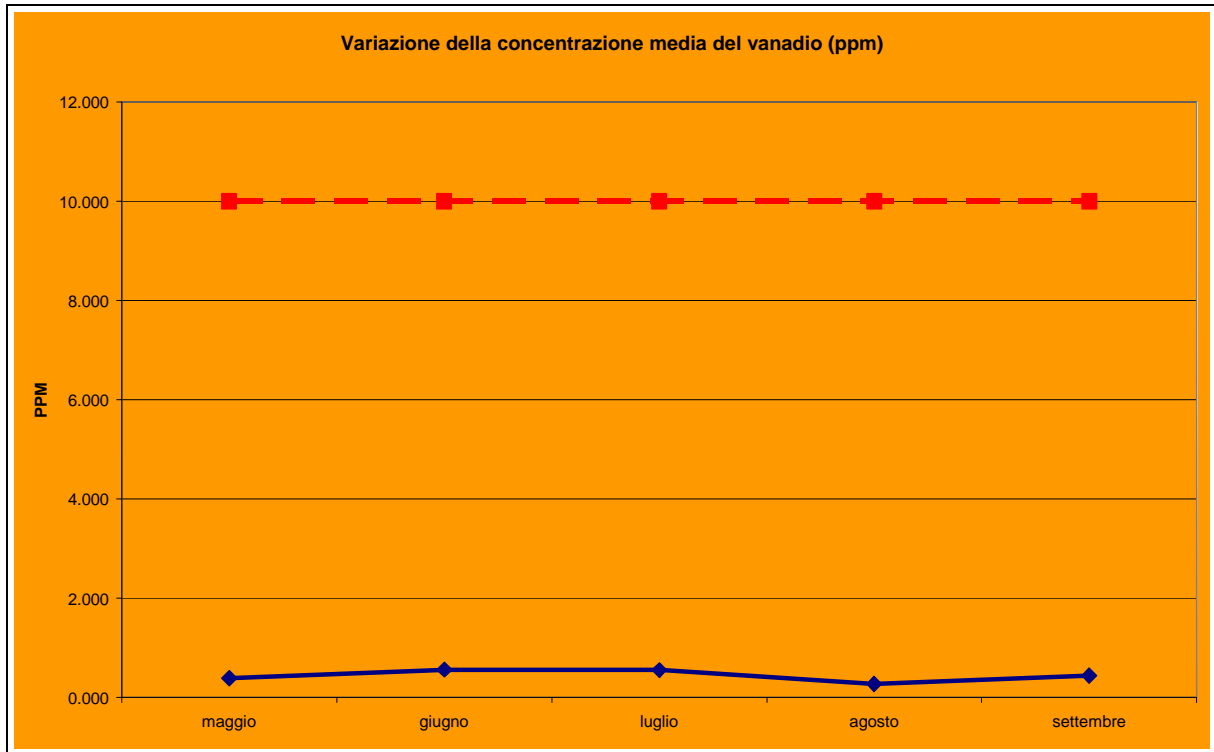


Grafico 13 Variazione della concentrazione media del vanadio nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

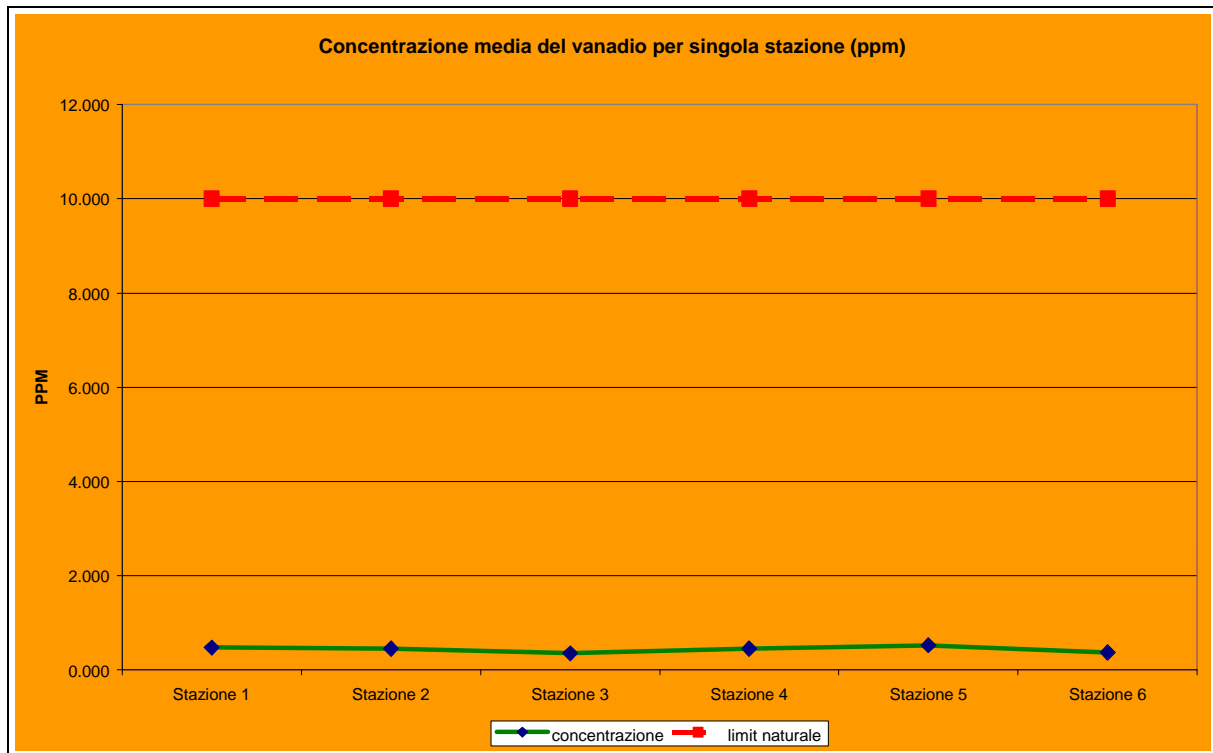


Grafico 14 Variazione della concentrazione media del vanadio per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

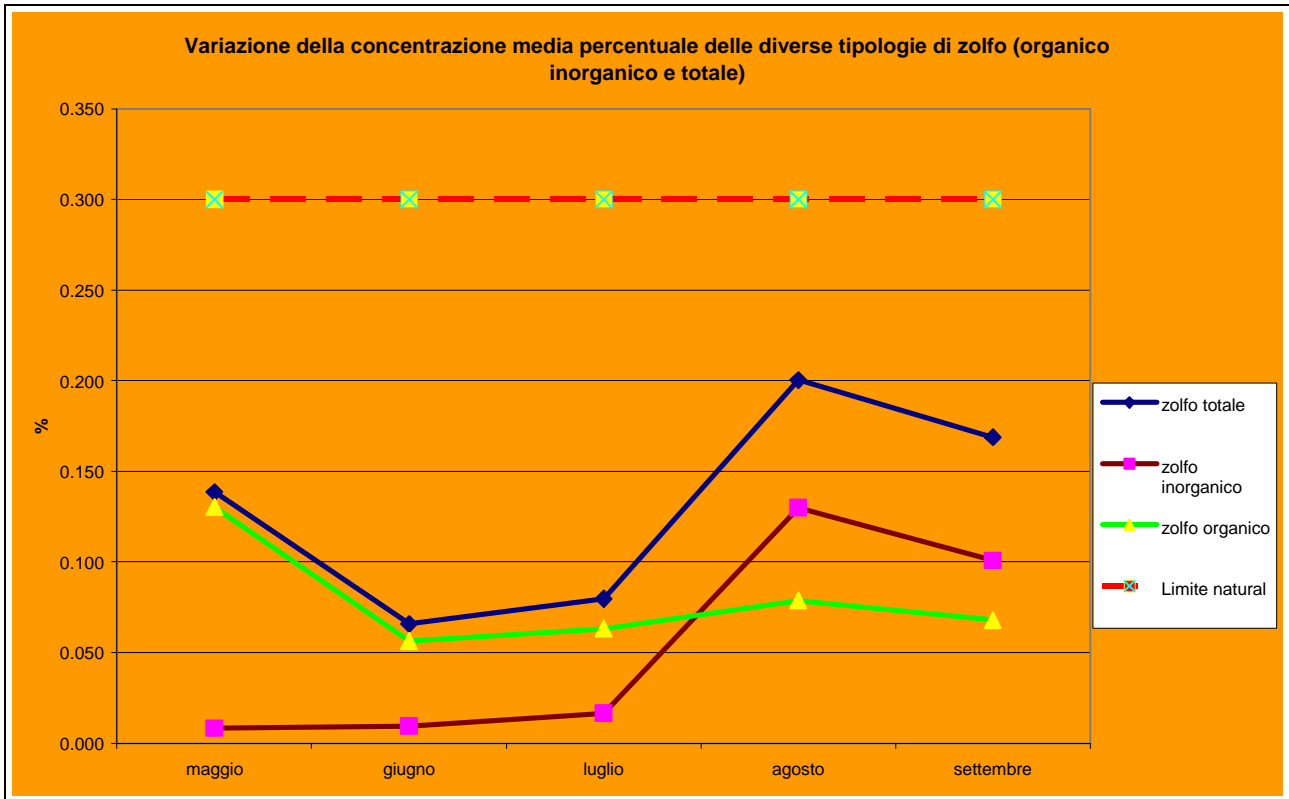


Grafico 15 Variazione della concentrazione media delle diverse tipologie di zolfo nell'area totale di studio nei 5 mesi di campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lolium italicum*

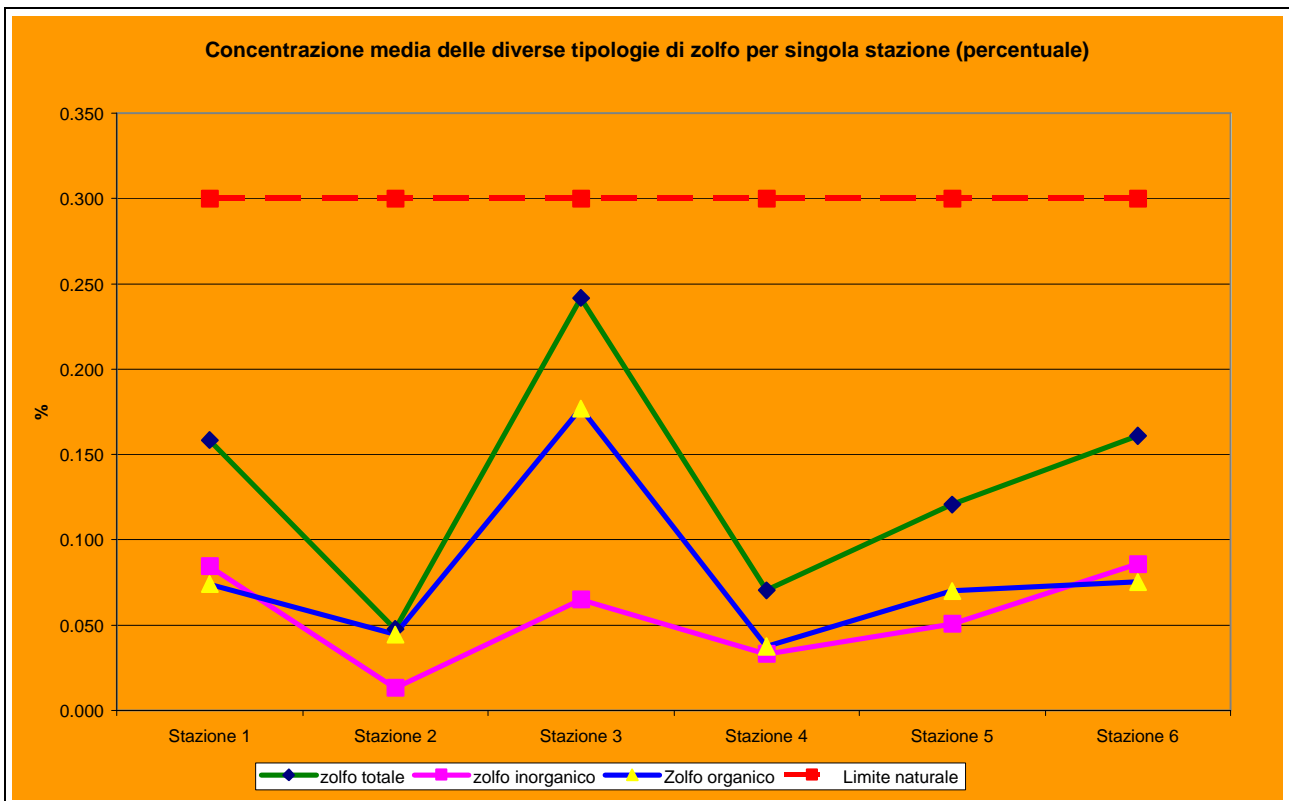


Grafico 16 Variazione della concentrazione media delle diverse tipologie di zolfo per singola stazione nei 5 mesi campionamento (Maggio-Settembre 2005). Biosensore attivo: *Lulium italicum*

7 - BIOSENSORE ERBACEO ATTIVO *IPOMEA RUBRO-CERULEA*

L'ozono è una molecola triatomica che nell'alta atmosfera consente di proteggere gli organismi viventi filtrando le radiazioni ultraviolette < 400 nanometri; nella bassa atmosfera, però, questa molecola si comporta da pericoloso inquinante con effetti nocivi sulla salute umana e sulla vegetazione. Danneggia le piante limitandone la capacità di produrre e accumulare le proprie riserve, rendendole più sensibili a malattie, attacchi di insetti e altri inquinanti. Gli effetti dell'ozono sugli organismi vegetali possono essere di tipo:

- ? visibile (clorosi, necrosi fogliare),
- ? invisibile (riduzione dell'attività fotosintetica, alterazioni enzimatiche).

Gli effetti visibili sono quelli che vengono presi in considerazione per il monitoraggio biologico dell'ozono troposferico.

Diverse piante evidenziano, in seguito ad esposizione prolungata ad ozono, danni fogliari più o meno rilevanti e possono perciò essere impiegate come utili indicatori biologici nel monitoraggio dei livelli di ozono troposferico.

Infatti, il monitoraggio biologico dell'ozono consiste nel rilevamento del danno subito dalle foglie delle piante in seguito ad esposizione ad ozono.

L'ozono viene generato da una serie di reazioni fotochimiche degli ossidi di azoto e degli idrocarburi reattivi (Allegrini, 1995). Poiché i precursori vengono emessi essenzialmente dal traffico automobilistico e la catena di reazioni chimiche viene favorita dalla presenza di radiazioni solari, il problema dell'ozono è uno dei tipici aspetti dell'inquinamento atmosferico delle aree metropolitane del Mediterraneo nel periodo estivo (Allegrini et al., 1994). Numerose ricerche, infatti, hanno mostrato, nell'Area Mediterranea, la presenza di eventi stagionali di smog fotochimico con elevate concentrazioni di ozono troposferico.

7.1 – Fasi metodologiche

Prima di ogni raccolta sono state effettuate stime del danno fogliare; è stata rilevata la percentuale delle foglie danneggiate per pianta ed è stata effettuata una suddivisione in classi di danno (Tab. 3) (UN/ECE ICP-Vegetation, 2003). In allegato 11 vengono riportati alcuni esempi di danno fogliare.

CLASSE DI DANNO	PERCENTUALE DI DANNO
1	Danno lieve; 1-5% di foglie danneggiate
2	Danno moderato; 5-25% di foglie danneggiate
3	Danno intenso; 25-50% di foglie danneggiate
4	Danno molto intenso; 50-90% di foglie danneggiate
5	Danno totale; 90-100% di foglie danneggiate

Tabella 3 Classificazione delle classi di danno foliare per il biosensore attivo *Ipomea rubro-cerulea*

7.2 – Interpretazione dei dati

Si riporta, di seguito, l'interpretazione dei dati forniti dal biosensore erbaceo attivo *Ipomea rubro-cerulea*

Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori delle classi di danno stimate per ogni sito sulle piante di *Ipomea rubro-cerulea* sensibili. Ogni periodo di raccolta durato circa 30 giorni a partire dal mese di maggio 2005.

L'indice di alterazione fogliare è stimata statisticamente, in funzione della classe di danno riscontrata, l' "indice di alterazione" è calcolato come funzione di frequenza cumulata della classe di danno, ovvero:

1. per ogni classe di alterazione, viene calcolata la distribuzione di frequenza delle foglie danneggiate che va successivamente moltiplicata per il valore corrispondente di alterazione;
2. per ogni stazione vengono sommate tutte le distribuzioni di frequenza;
3. viene suddivisa la somma delle frequenze relative per il totale delle foglie danneggiate.

Nelle tabelle e nei grafici di seguito riportati viene espresso il danno fogliare (espresso seguendo le classi sopra specificate), stimato nei 5 periodi di raccolta nei diversi siti di campionamento.

Stazione 1 (Monte San Calogero)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
9	Monte San Calogero	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	82	88
N° Foglie	40	48
N° Foglie danneggiate	12	11
N° Steli	10	11
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	5	4
2	4	5
3	2	1
4	1	1
5	0	0
	12	11
Valore di alterazione fogliare		1.91

Tabella 4 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 1 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
9	Monte San Calogero	giugno
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	99	85
N° Foglie	37	46
N° Foglie danneggiate	22	26
N° Steli	8	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	3	4
2	1	2
3	5	5
4	7	8
5	6	7
	22	26
Valore di alterazione fogliare		3.5

Tabella 5 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 1 per il mese di giugno

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
9	Monte San Calogero	luglio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	44	54
N° Foglie	40	38
N° Foglie danneggiate	14	15
N° Steli	9	12
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	0	2
2	2	0
3	2	2
4	5	4
5	5	7
	14	15
Valore di alterazione fogliare		3.93

Tabella 6 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 1 per il mese di luglio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
9	Monte San Calogero	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	88	111
N° Foglie	43	39
N° Foglie danneggiate	13	20
N° Steli	10	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	5	5
2	5	6
3	1	1
4	0	5
5	2	3
	13	20
Valore di alterazione fogliare		2.52

Tabella 7 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 1 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
9	Monte San Calogero	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	112	91
N° Foglie	41	35
N° Foglie danneggiate	20	18
N° Steli	9	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	5	9
2	6	1
3	3	4
4	4	1
5	2	3
	20	18
Valore di alterazione fogliare		2.47

Tabella 8 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 1 per il mese di settembre

Stazione 2 (La Signora)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
12	La signora	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	78	72
N° Foglie	41	28
N° Foglie danneggiate	9	9
N° Steli	6	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	5	5
2	4	2
3	0	2
4	0	0
5	0	0
	9	9
Valore di alterazione fogliare		1.56

Tabella 9 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 2 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
12	La signora	giugno
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	100	94
N° Foglie	50	43
N° Foglie danneggiate	21	20
N° Steli	8	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	5	1
2	7	7
3	2	2
4	4	3
5	3	7
	21	20
Valore di alterazione fogliare		3.02

Tabella 10 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 2 per il mese di giugno

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
12	La signora	luglio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	65	54
N° Foglie	35	48
N° Foglie danneggiate	19	20
N° Steli	8	10
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	6	5
2	2	2
3	2	2
4	4	6
5	5	5
	19	20
Valore di alterazione fogliare		3.10

Tabella 11 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 2 per il mese di luglio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
12	La signora	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	80	111
N° Foglie	40	41
N° Foglie danneggiate	17	25
N° Steli	7	11
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	2	8
2	4	6
3	5	5
4	5	1
5	1	5
	17	25
Valore di alterazione fogliare		2.71

Tabella 12 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 2 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
12	La signora	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	65	78
N° Foglie	23	42
N° Foglie danneggiate	13	20
N° Steli	5	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	8	9
2	2	2
3	0	2
4	2	3
5	1	4
	13	20
Valore di alterazione fogliare		2.30

Tabella 13 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 2 per il mese di settembre

Stazione 3 (Il Santo)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
17	Il Santo	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	71	60
N° Foglie	32	28
N° Foglie danneggiate	10	11
N° Steli	6	5
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	4	6
2	4	4
3	2	0
4	0	1
5	0	0
	10	11
Valore di alterazione fogliare		1.71

Tabella 14 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 3 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
17	Il Santo	giugno
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	91	94
N° Foglie	37	36
N° Foglie danneggiate	17	19
N° Steli	10	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	3	2
2	4	10
3	2	0
4	5	4
5	3	3
	17	19
Valore di alterazione fogliare		2.92

Tabella 15 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 3 per il mese di giugno

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
17	Il Santo	luglio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	85	60
N° Foglie	54	29
N° Foglie danneggiate	13	18
N° Steli	14	5
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	2	2
2	3	4
3	2	2
4	2	5
5	4	5
	17	19
Valore di alterazione fogliare		3.32

Tabella 16 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 3 per il mese di luglio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
17	Il Santo	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	68	93
N° Foglie	32	45
N° Foglie danneggiate	14	18
N° Steli	5	10
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	1	10
2	1	4
3	4	1
4	2	1
5	6	2
	14	18
Valore di alterazione fogliare		2.75

Tabella 17 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 3 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
17	Il Santo	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	68	88
N° Foglie	24	32
N° Foglie danneggiate	21	15
N° Steli	5	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	8	6
2	5	5
3	2	2
4	5	1
5	1	1
	21	15
Valore di alterazione fogliare		2.22

Tabella 18 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 3 per il mese di settembre

Stazione 4 (Stazione FS Sciara)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
18	Stazione/Sciara	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	68	88
N° Foglie	24	32
N° Foglie danneggiate	21	15
N° Steli	5	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	8	6
2	5	5
3	2	2
4	5	1
5	1	1
	21	15
Valore di alterazione fogliare		2.22

Tabella 19 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 4 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
18	Stazione/Sciara	giugno
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	82	106
N° Foglie	46	63
N° Foglie danneggiate	10	10
N° Steli	7	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	6	5
2	2	4
3	2	0
4	0	1
5	0	0
	10	10
Valore di alterazione fogliare		1.65

Tabella 20 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 4 per il mese di giugno

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
18	Stazione/Sciara	luglio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	69	53
N° Foglie	45	43
N° Foglie danneggiate	20	25
N° Steli	9	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	2	7
2	2	2
3	2	2
4	7	6
5	7	8
	20	25
Valore di alterazione fogliare		3.47

Tabella 21 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 4 per il mese di luglio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
18	Stazione/Sciara	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	72	90
N° Foglie	44	39
N° Foglie danneggiate	19	20
N° Steli	9	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	2	8
2	2	2
3	5	3
4	4	2
5	6	5
	19	20
Valore di alterazione fogliare		3.10

Tabella 22 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 4 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
18	Stazione/Sciara	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	108	92
N° Foglie	66	40
N° Foglie danneggiate	23	19
N° Steli	10	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	11	9
2	3	0
3	4	1
4	5	6
5	2	3
	25	19
Valore di alterazione fogliare		2.5

Tabella 23 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 4 per il mese di settembre

Stazione 5 (Fiumara - Montemaggiore B.)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
32	Fiumara	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	96	94
N° Foglie	58	40
N° Foglie danneggiate	9	8
N° Steli	11	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	4	5
2	5	2
3	0	1
4	0	0
5	0	0
	9	8
Valore di alterazione fogliare		1.53

Tabella 24 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 5 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
32	Fiumara	giugno
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	77	77
N° Foglie	36	40
N° Foglie danneggiate	19	21
N° Steli	9	9
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	6	4
2	4	3
3	2	7
4	7	6
5	0	1
	19	21
Valore di alterazione fogliare		2.7

Tabella 25 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 5 per il mese di giugno

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
32	Fiumara	luglio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	57	56
N° Foglie	28	41
N° Foglie danneggiate	17	22
N° Steli	5	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	4	6
2	4	7
3	1	4
4	5	1
5	3	4
	17	22
Valore di alterazione fogliare		2.72

Tabella 26 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 5 per il mese di luglio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
32	Fiumara	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	111	110
N° Foglie	53	67
N° Foglie danneggiate	24	25
N° Steli	11	12
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	13	7
2	5	10
3	2	5
4	4	2
5		1
	24	25
Valore di alterazione fogliare		2.04

Tabella 27 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 5 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
32	Fiumara	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	98	65
N° Foglie	38	33
N° Foglie danneggiate	24	26
N° Steli	11	7
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	10	13
2	4	2
3	1	7
4	5	2
5	2	2
	22	26
Valore di alterazione fogliare		2.23

Tabella 28 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 5 per il mese di settembre

Stazione 6 (Villa comunale)

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
36	Villa comunale	maggio
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	83	86
N° Foglie	52	55
N° Foglie danneggiate	10	10
N° Steli	11	11
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	4	5
2	4	4
3	1	0
4	1	1
5	0	0
	10	10
Valore di alterazione fogliare		1.8

Tabella 29 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 6 per il mese di maggio

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
36	Villa comunale	agosto
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	86	98
N° Foglie	49	39
N° Foglie danneggiate	16	17
N° Steli	7	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	4	6
2	2	2
3	5	1
4	1	4
5	4	4
	16	17
Valore di alterazione fogliare		2.91

Tabella 32 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 6 per il mese di agosto

NUMERO STAZIONE PASSIVA CORRISPONDENTE	NOME STAZIONE	Periodo
36	Villa comunale	settembre
PIANTA IPOMEA	vaso1	vaso2
gr.	101	89
N° Foglie	66	47
N° Foglie danneggiate	29	23
N° Steli	10	8
Grado di danneggiamento	N°Foglie danneggiate	N°Foglie danneggiate
1	12	8
2	6	5
3	5	2
4	2	6
5	4	2
	29	23
Valore di alterazione fogliare		2.40

Tabella 33 Rilevamento del danno fogliare nella stazione 6 per il mese di settembre

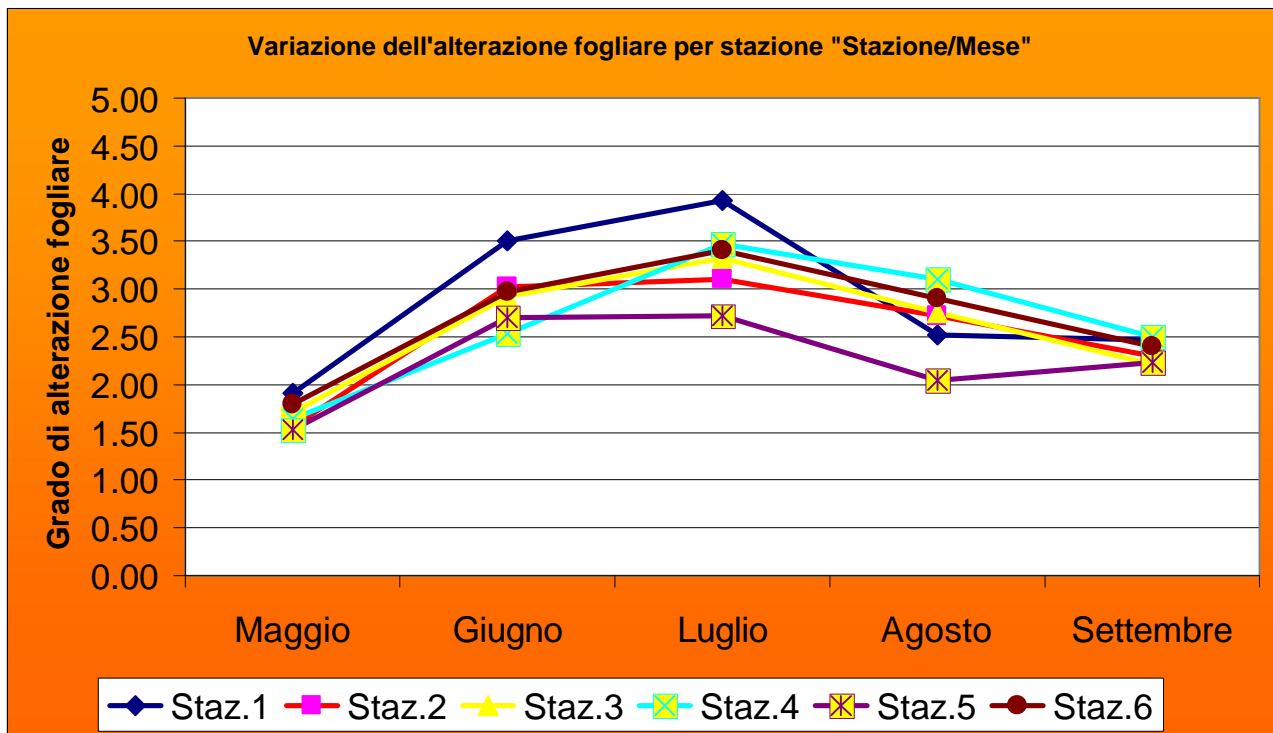


Grafico 17 Variazione dell'indice di alterazione fogliare riscontrato nel biosensore erbaceo attivo, *Ipomea rubrocerulea*, nelle diverse stazioni di campionamento.

Il grafico 17 è organizzato in modo da avere in ordinata i valori di danno/alterazione fogliare stimato e in ascissa i periodi di campionamento; il comportamento di ogni singola stazione è invece descritto dalle spezzate distinte per diverso colore. Il grafico così organizzato mette in evidenza che nei mesi di giugno e luglio si registrano le maggiori alterazioni fogliari in tutte le stazioni. Il contrario succede invece negli altri mesi, dove globalmente si registrano valori di alterazione fogliare minore in tutte le stazioni. Questo tipo di comportamento è tipico dell'andamento mensile dell'ozono troposferico, infatti, come è noto, la concentrazione dell'ozono troposferico è direttamente collegato alla radiazione solare diretta incidente sulla superficie terrestre. Essendo luglio il mese in cui si registra la maggiore radiazione solare risulta facilmente spiegabile la massima concentrazione di ozono rilevata in questo periodo.

Anche il comportamento *gaussiano* fatto registrare in tutte le stazioni di campionamento è a conferma della stretta relazione ozono/radiazione solare, infatti, appare evidente in tutte le stazioni un trend di concentrazione in crescita nei primi tre cicli di indagine (maggio-luglio), seguita da un trend in diminuzione nei due successivi cicli di indagine (agosto-settembre).

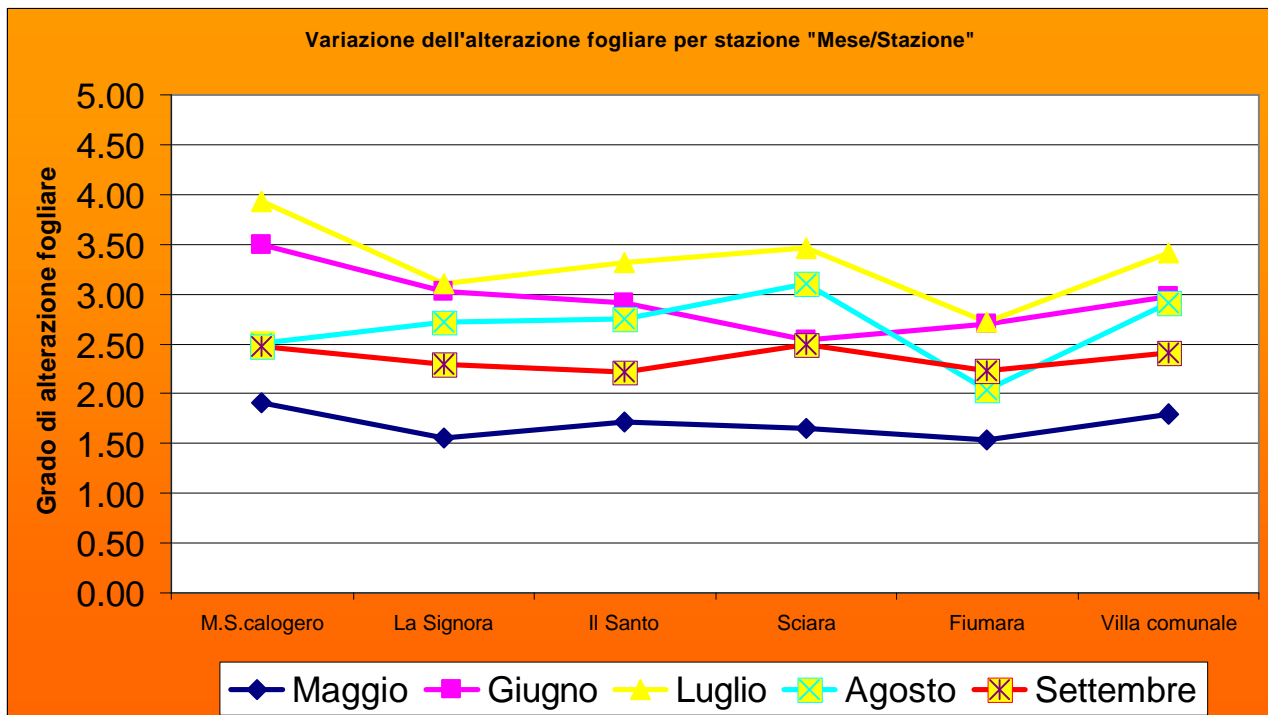


Grafico 18 Variazione dell'indice di alterazione fogliare riscontrato nel biosensore erbaceo attivo, *Ipomea rubrocerulea*, nei diversi periodi di campionamento.

Il grafico 18 è un'altra rappresentazione dei dati registrati nei diversi cicli di campionamento, è organizzato per mettere in evidenza il comportamento di ogni singola stazione nei cinque periodi di esposizione.

Dalla lettura del grafico si evince che la stazione 1 "Monte San Calogero" è quella che ha fatto registrare le maggiori concentrazioni di ozono nei primi tre periodi di campionamento (maggio-giugno-luglio), mentre nei due successivi periodi (agosto-settembre) è la stazione 3 "Sciara" a far registrare le maggiori concentrazioni.

Questo comportamento può essere imputabile alla peculiare posizione della stazione 1 "Monte San Calogero" e alle particolari condizioni climatiche verificatesi questo anno nell'area di studio.

A parità di radiazione solare la stazione di "Monte San Calogero" trovandosi sulla vetta di un rilievo montuoso (966 m.s.l.m.) è quella più esposta e che maggiormente risente della luce diretta del sole, allo stesso modo quando le condizioni meteorologiche peggiorano, col formarsi delle prime condense e nuvole basse, questa stazione è la prima a rimanere più ombreggiata e fresca. Le stazioni in questione non hanno comunque mai fatto registrare concentrazioni medie mensili di ozono troposferico allarmanti.

7.3 Indagine sulla biomassa epigea

Vengono di seguito riportati i risultati relativi allo studio della biomassa epigea prodotta nei singoli mesi di studio in ciascuna stazione di campionamento. I grafici a torta (19-23) sono espressi in grammi e rappresentano la somma totale della biomassa epigea registrata nei due vasi esposti per singola stazione.

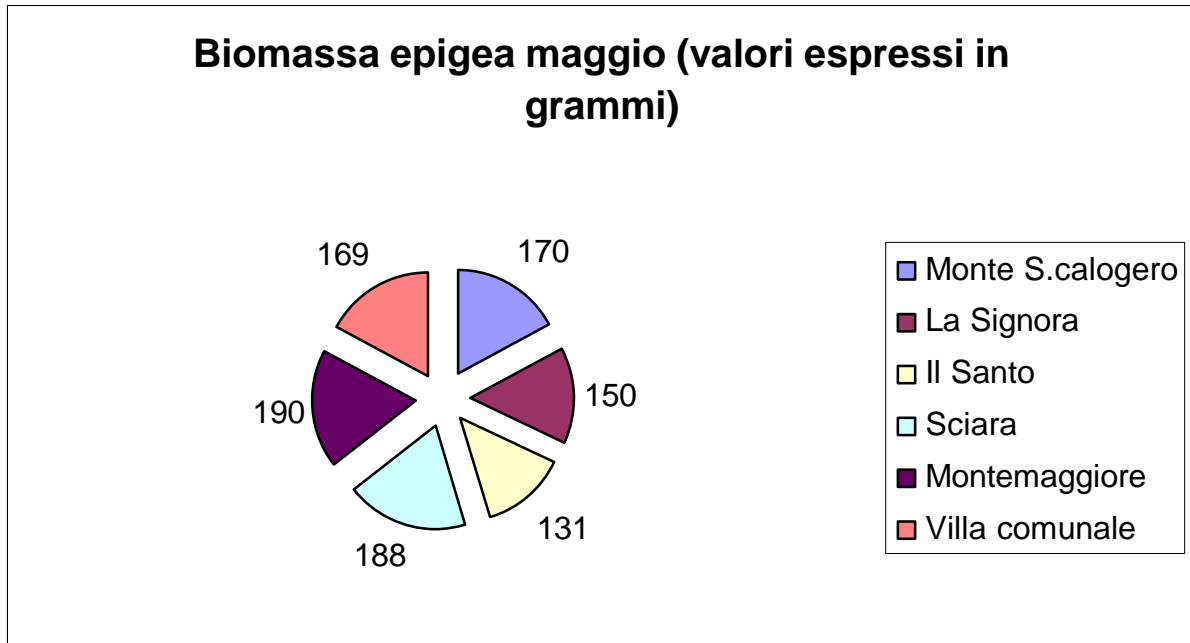


Grafico 19 Biomassa epigea registrata nel mese di maggio nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

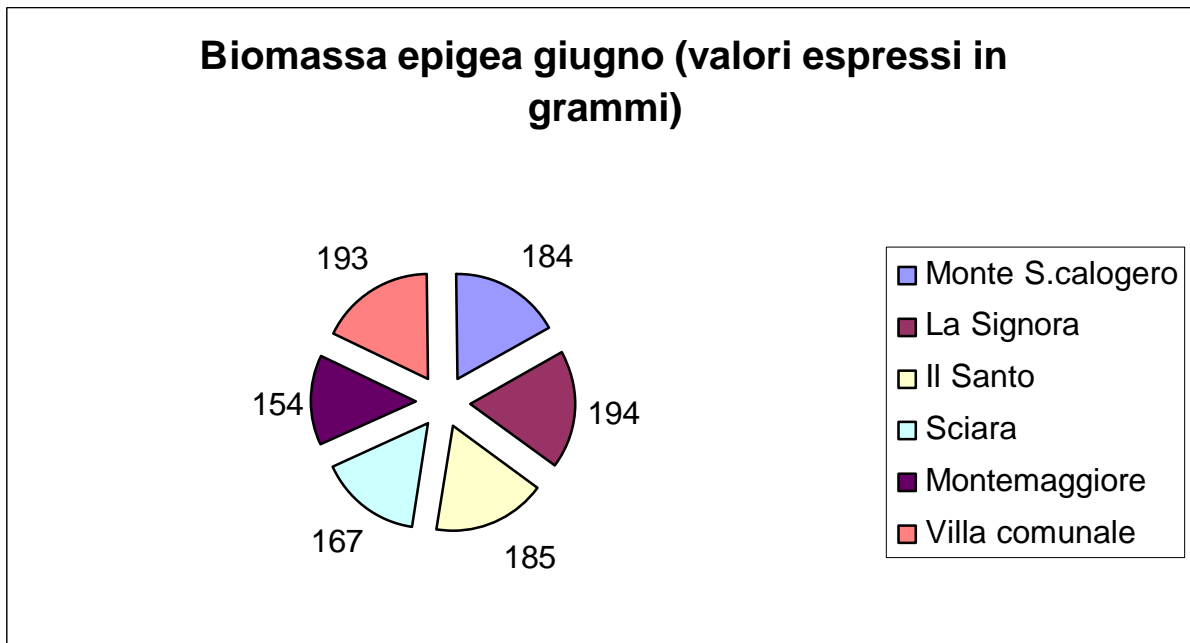


Grafico 20 Biomassa epigea registrata nel mese di giugno nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

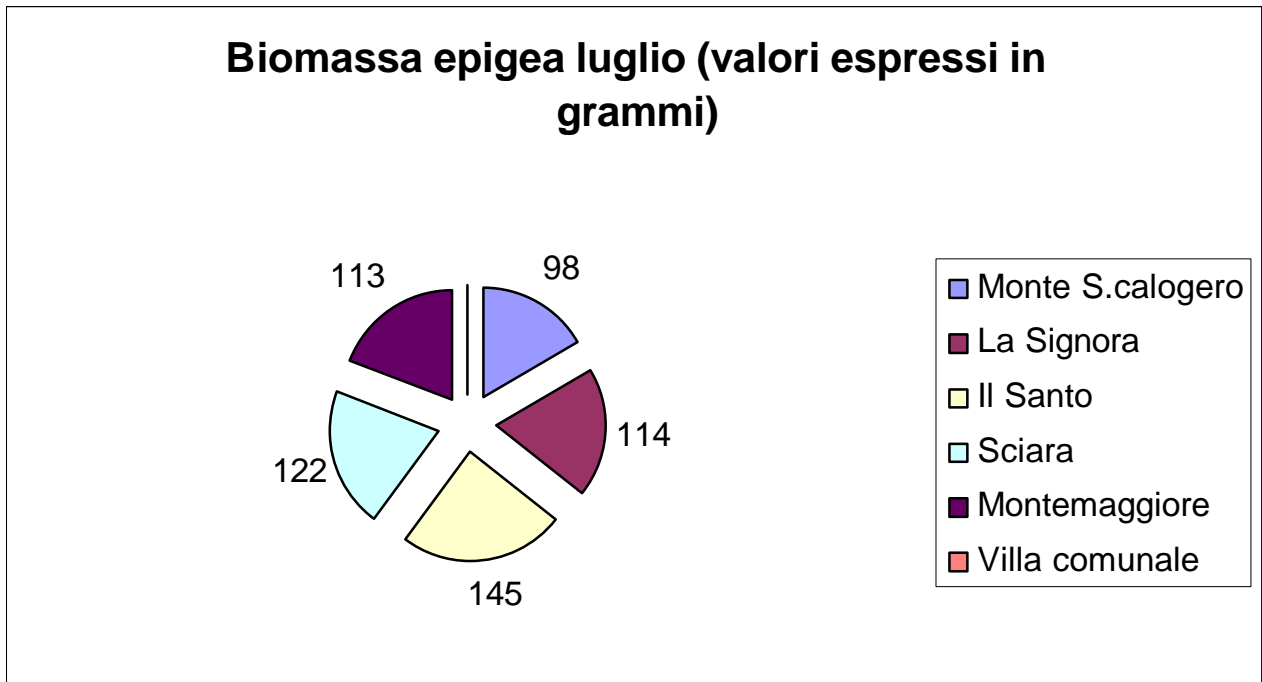


Grafico 21 Biomassa epigea registrata nel mese di luglio nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

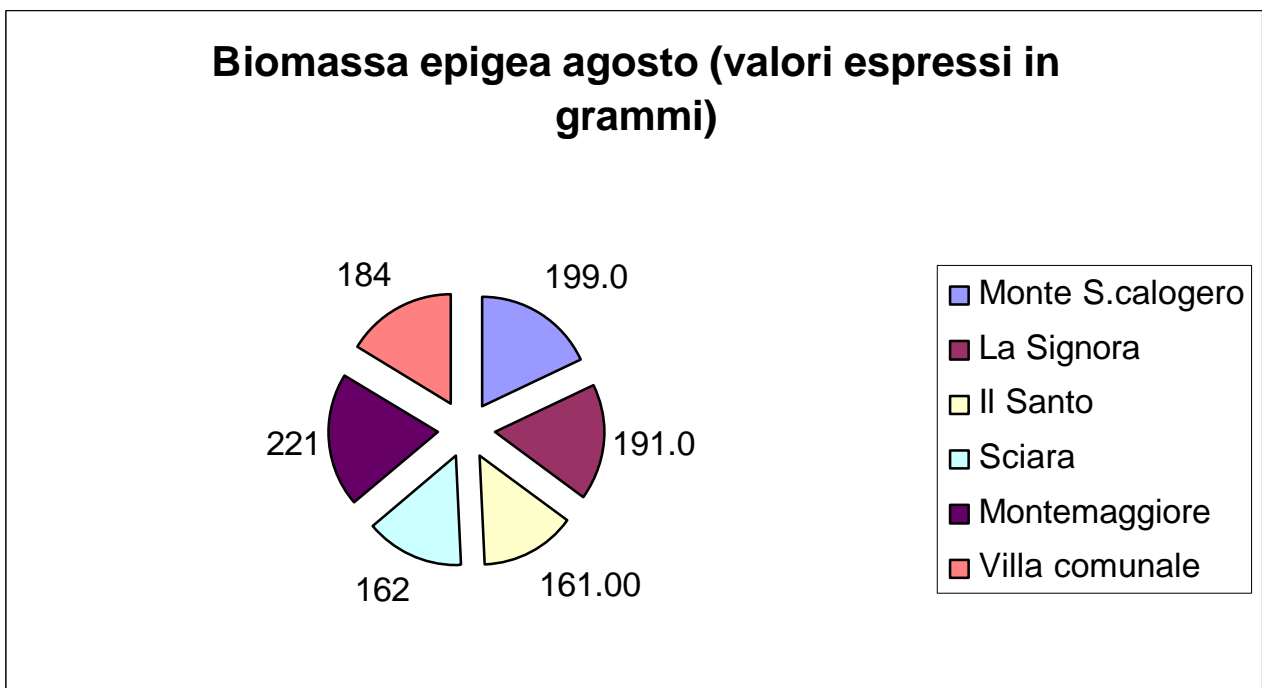


Grafico 22 Biomassa epigea registrata nel mese di agosto nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

Biomassa epigea settembre (valori espressi in grammi)

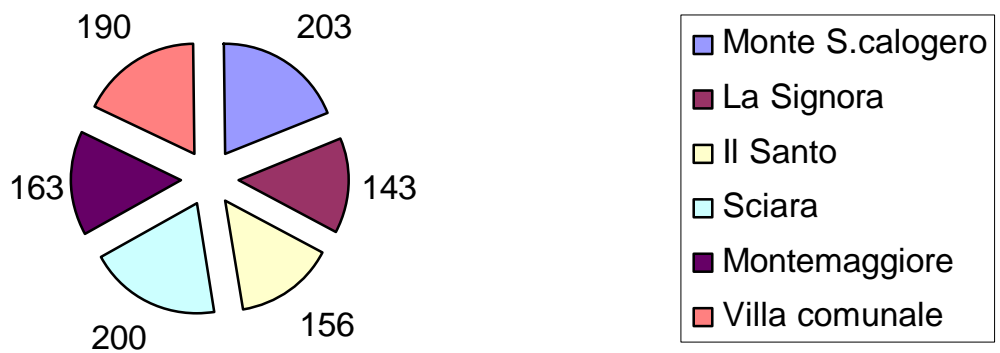


Grafico 23 Biomassa epigea registrata nel mese di settembre nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

Biomassa epigea media mensile

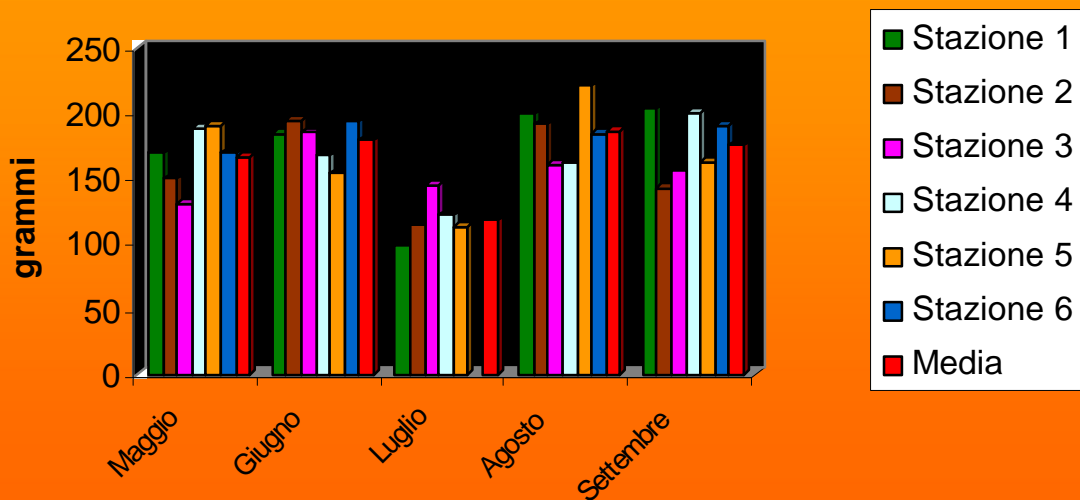


Grafico 24 Valore di biomassa epigea registrata per singola stazione, nei 5 mesi di campionamento, nel biosensore *Ipomea rubro-cerulea*

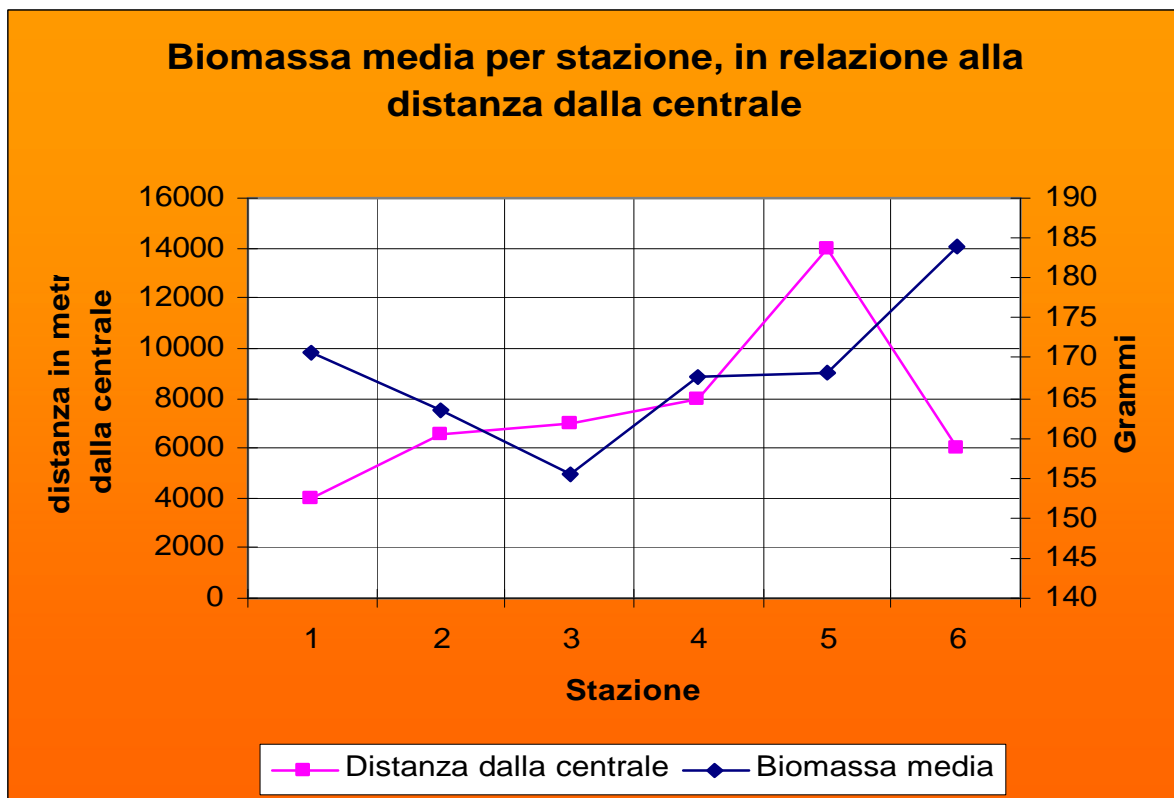


Grafico 25 Relazione esistente tra la biomassa epigea registrata nei 5 mesi di campionamento e la distanza lineare di ogni singola stazione dal comparto termoelettrico

Dalle rappresentazioni grafiche fin qui riportate (grafici 19-24), emerge una differente produttività di biomassa epigea nelle diverse stazioni e nei diversi periodi di raccolta, il grafico 24 sintetizza queste informazioni per ogni singola stazione per ciascun periodo di campionamento.

I mesi in cui si è registrato la maggiore produttività sono stati giugno e agosto, di contro il periodo che ha fatto registrare i minimi di produttività di biomassa epigea è stato luglio (vedi biomassa media grafico 24).

La stazione che ha fatto registrare il massimo di produttività è stata stazione 5 "Montemaggiore" nel periodo di agosto. I minimi si sono invece registrati nel periodo di luglio e la stazione con minore produttività è stata la stazione 1 "Monte San Calogero".

In generale, la produttività media è rimasta comunque costante in tutto il periodo di studio: il minimo si registra nel mese di luglio con una diminuzione molto drastica, mentre si assiste nei mesi di agosto e settembre a un nuovo aumento della produttività. Rimane giugno il mese in cui si sono registrate le maggiori produzioni di biomassa epigea.

Se si confrontano i risultati relativi alla produttività di biomassa fogliare con quelli relativi all'indice di alterazione fogliare, si nota subito come esiste una stretta corrispondenza nel mese di luglio, dove si sono registrati i valori massimi di danno fogliare e i valori minimi di

biomassa epigea. Il grafico 25 è una rappresentazione particolare della biomassa media prodotta nelle diverse stazioni: è indipendente dal tempo e ha lo scopo di mettere in relazione la produttività media di ogni stazione per tutto il periodo di campionamento con la distanza in (linea d'aria) della stazione stessa dalla Centrale Termoelettrica.

Il grafico in questione è organizzato con una doppia scala di valori sulle ordinate, distanza lineare in metri sull'asse di sinistra e biomassa epigea sull'asse di destra, mentre in ascissa viene riportato l'identificativo delle stazioni. Il grafico descritto è in grado di evidenziare se esiste una relazione o una dipendenza tra la biomassa epigea prodotta (linea blu con scala di riferimento a destra) e la distanza lineare dalla Centrale Termoelettrica (linea rosa con scala di riferimento a sinistra).

Dall'osservazione del grafico 25 si vede che non esiste alcuna correlazione tra la concentrazione di ozono e la distanza dalla centrale termoelettrica; il comportamento è inoltre confermato dal grafico 26, che è l'elaborazione statistica della correlazione lineare tra le due informazioni: distanza e biomassa, che restituisce un valore di "r di Pearson" pari 0.096, ben lontano da un valore 1 indice di una stretta correlazione (cfr. § 8.3).

Questo peculiare comportamento lascia intendere che la presenza di ozono nell'area di studio non è direttamente legata alla presenza del comparto termoelettrico insistente sul territorio.

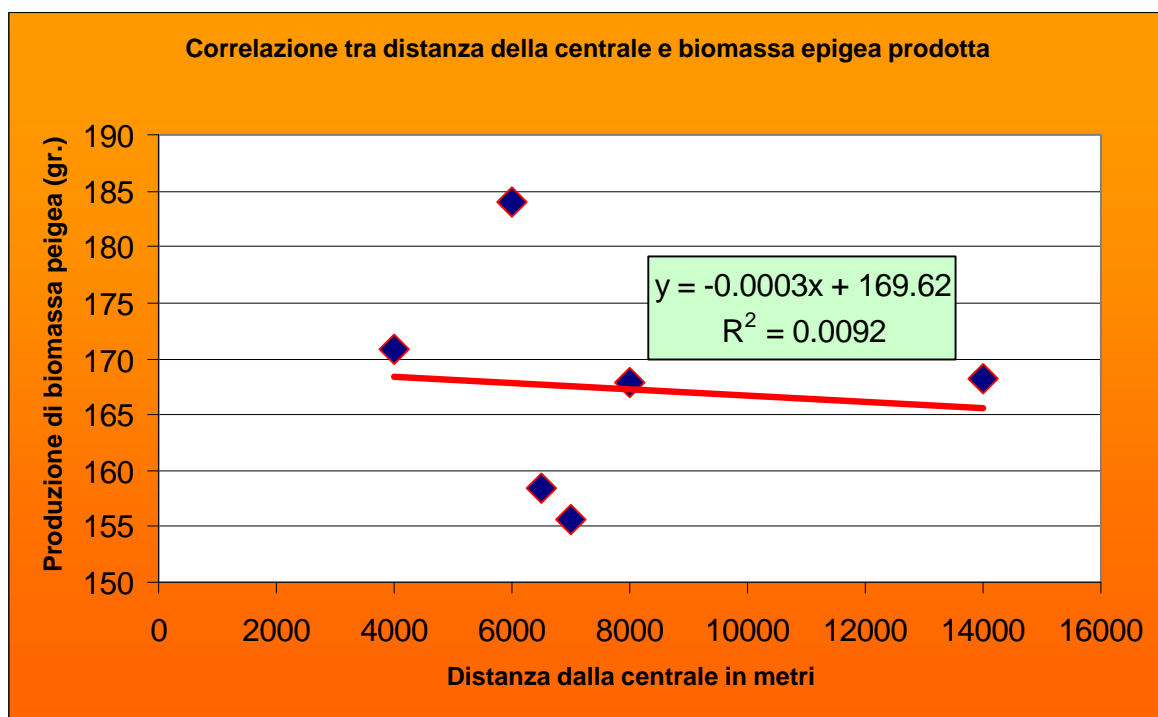


Grafico 26 Correlazione lineare tra produzione di biomassa media per stazione e distanza delle stazioni dalla centrale

7.4 – Sintesi evolutiva Ozono troposferico (O₃)

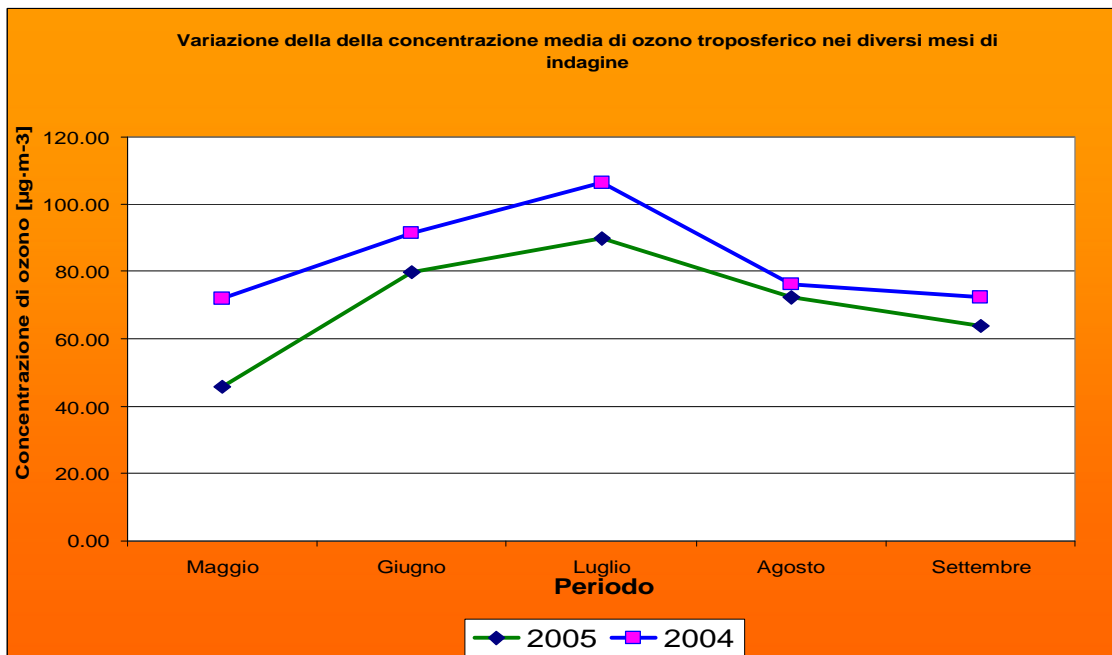


Grafico 27 Confronto dei dati ottenuti nelle due campagne di campionamento

L'indagine sull'ozono troposferico è stata portata avanti per due anni di gestione della rete di biomonitoraggio (anno 2004 e anno 2005), il grafico 27 è stato redatto con lo scopo di mostrare confronto delle informazioni ottenute nei due anni di indagine.

Appare subito evidente come esiste un comportamento "gaussiano" simile per i due anni, con un trend di concentrazione ozono in aumento nei primi mesi, un massimo fatto registrare nel mese di luglio e un trend in diminuzione negli ultimi mesi di studio.

A conferma di quanto detto è importante sottolineare, che anche se per il 2005 la rete è stata oggetto di un ampliamento delle stazioni di campionamento, l'andamento generale non risulta variare rispetto all'anno precedente.

Il grafico 27 mostra inoltre, che esiste una differenza di concentrazione della molecola di ozono tra i due anni di indagine, infatti, il 2005 (linea verde) anche se segue lo stesso andamento del 2004 (linea blu) risulta sempre al disotto delle concentrazioni registrate nell'anno precedente. Tale comportamento potrebbe trovare spiegazione nelle differenti condizioni climatiche registrate nei due anni di gestione: un 2004 molto più caldo e meno piovoso del 2005. Se si confronta l'analisi spaziale (allegato 7) emerge inoltre un comportamento simile delle stazioni nei differenti cicli di campionamento, con massimi registrati nelle stesse stazioni di campionamento.

8 - BIOSENSORI PASSIVI

8.1 - Introduzione al tipo di statistica impiegata

Le elaborazioni sono state effettuate con il package SAS. In particolare sono state utilizzate la procedura UNIVARIATE, per le statistiche descrittive, e la procedura ANOVA, per l'analisi della varianza.

L'analisi è stata sviluppata effettuando, dapprima, una serie di controlli per verificare l'attendibilità dei dati a disposizione; successivamente è stata calcolata una serie di parametri propri della statistica descrittiva (Media, Mediana, Deviazione Standard, Coefficiente di Variazione, primo Quartile, terzo Quartile, Massimo, Minimo ed Indice di Asimmetria).

Sono stati determinati tali parametri in quanto permettono di individuare la forma distributiva dei valori di concentrazione degli elementi chimici analizzati rispetto ai biosensori vegetali nelle diverse Stazioni di rilevamento. Per confrontare fra di loro valori misurati con scale diverse sono state standardizzate le variabili oggetto. La standardizzazione dei dati viene effettuata tramite l'applicazione della formula $V_{is} = (V_i - \text{Media}) / \text{STD}$, con V_{is} il valore *i*-esimo standard, V_i il valore *i*-esimo, M la media, STD la Deviazione Standard. Il metodo, portando a zero la media di ogni distribuzione ed ad un valore uguale ad uno per la Deviazione Standard, permette, infatti, di confrontare i valori presi in esame annullando gli effetti delle varie scale di misura. Questo metodo è stato usato per confrontare i valori nei grafici. Anche nel caso del coefficiente di variazione, dividere la Deviazione Standard per la media annulla gli effetti della scala di misura e permette di confrontare i diversi valori di Deviazione Standard⁴.

⁴ **Mediana:** È quel valore per cui metà dei dati è superiore ad esso e metà è inferiore. Dà un'indicazione di quale siano i valori al "centro dei dati"

Quartile: è una misura di posizione. In una distribuzione che deve essere ordinata in modo crescente o decrescente, ci sono tre quartili che la dividono in quattro parti uguali. Il primo quartile ha sotto di sé il 25% dei casi; il secondo coincide con la mediana e ha sotto di sé la metà dei casi e il terzo il 75% dei casi. Vengono spesso utilizzati nelle indagini di mercato e nei dati statistici per suddividere le popolazioni in gruppi, nel biomonitoraggio vengono utilizzati per suddividere le concentrazioni delle diverse stazioni in popolazioni.

Deviazione standard: è una misura che indica quanto i valori si discostino dal valore medio (la media). Dà sostanzialmente una misura del raggio dell'intervallo intorno alla media in cui cade la maggior parte dei valori.

Correlazione: Per sapere se esiste un legame tra due caratteri quantitativi (nel biomonitoraggio la concentrazione degli elementi), e cioè se uno di essi esercita influenza sull'altro, ad esempio il peso delle persone e la loro altezza, si utilizzano gli indici di correlazione. Questi riescono a dare anche una misura del legame tra le due variabili considerate. Quando la dipendenza tra due variabili è lineare si parla di correlazione lineare.

Per $r = 1$ si ha il massimo di correlazione diretta, per $r = -1$ si ha il massimo di correlazione inversa, per $r = 0$ non si ha correlazione.

Una correlazione positiva ossia tendente ad 1, significa che più il valore di una variabile aumenta, più il valore dell'altra variabile tenderà ad aumentare a sua volta. Se invece la correlazione è negativa ossia tendente a -1, significa che con l'aumento del valore della variabile A, il valore della variabile B tenderà a diminuire.

Asimmetria: Una distribuzione con asimmetria positiva presenta la "coda" destra della distribuzione stessa più allungata rispetto alla "coda" sinistra. Viceversa possiamo definire una curva con asimmetria negativa. Nel caso specifico, l'indice utilizzato è positivo in presenza di asimmetria positiva e negativo nel caso opposto. L'indice è pari a zero in assenza di asimmetria. L'indice qui proposto è pari al rapporto tra il triplo della differenza tra media e mediana e lo scarto quadratico medio.

Al fine di rendere confrontabili i risultati è stato inoltre calcolato il grado di alterazione ambientale del territorio, come rapporto tra le concentrazioni degli elementi e i background locali. Questi ultimi sono stati ottenuti dalla medie delle tre concentrazioni più basse rilevate nell'area di studio (Nimis *et al.* 199).

L'utilizzo dell'Analisi della Varianza (ANOVA) consente di determinare se la differenza tra la concentrazione media di un dato elemento (ad esempio l'Alluminio) all'interno delle Stazioni di monitoraggio è significativamente diversa dalla concentrazione media generale. Se tale differenza è statisticamente significativa si può dedurre che esiste un "comportamento" complessivo disomogeneo rispetto alle Stazioni considerate. In altri termini, esiste una diversa distribuzione del fenomeno "concentrazione di un dato elemento" nelle Stazioni di monitoraggio (Cfr. bibliografia).

8.2 - Analisi delle distribuzioni semplici – interpretazione dei dati

Nel paragrafo sono riportate le distribuzioni semplici (indagini di statistica descrittiva) della concentrazione degli elementi presenti nei biosensori analizzati nelle diverse Stazioni di monitoraggio. I risultati sono suddivisi per elemento monitorato e per biosensore utilizzato, con lo scopo di studiare come ha risposto ogni biosensore agli elementi monitorati, dando anche la possibilità di parametrare reciprocamente i biosensori (*cross-examination*)

L'andamento spaziale delle concentrazioni di tutti gli elementi, determinate analiticamente per tutti i biosensori analizzati e che in fase di preregimazione si è deciso di tenere per i successivi anni di gestione, è riportato in allegato 5.

Queste mappe di dispersione o isoconcentrazione degli elementi hanno la funzione di mostrare come un elemento è distribuito sul territorio in esame.

Le mappe di dispersione sono state ottenute dai risultati delle analisi chimiche e dalle successive interpolazioni⁵ (algoritmo IDW⁶) a cui questi sono stati sottoposti.

Tali mappe permettono di osservare l'andamento complessivo di tutti gli elementi, in riferimento alle Stazioni di campionamento ed al tipo di biosensore analizzato.

I biosensori scelti in fase di preregimazione e riconfermati in questo anno di gestione, per l'elaborazione delle mappe di isoconcentrazione, sono stati *Pinus spp.*, *Olea europea*,

⁵ **Interpolazione:** è una procedura di analisi spaziale in grado di distribuire su tutto il territorio l'informazione conosciuta proveniente da (punti strumentali georeferenziati nello spazio), in pratica ripartisce l'informazione conosciuta su tutto il territorio di studio.

⁶ **IDW (Inverse Distance Weighting):** è l'algoritmo di interpolazione più utilizzato a partire da dati di tipo puntuale. Utilizza la legge di Tobler stimando i valori incogniti come media pesata di un certo numero di misure in punti vicini a quello con valore incognito e assegnando pesi maggiori a punti più vicini.

Dittrichia viscosa, *Xanthoria s.l.* e, *Lolium italicum* e *Ipomea rubro-cerulea* quali biosensori attivi.

Le mappe di isoconcentrazione relative alla mineralizzazione totale degli elementi (indice di alterazione ambientale), rappresentano la sintesi del "disturbo" globale registrato.

Il valore dell'indice di mineralizzazione totale per ogni stazione si ottiene normalizzando i valori registrati in tutte le stazioni per ciascun elemento monitorato al valore massimo registrato per l'elemento stesso, calcolando successivamente la media di tutti gli elementi per ogni stazione.

$$IAA = \frac{\frac{x_1}{x_{1max}} + \frac{x_2}{x_{2max}} + \frac{x_3}{x_{3max}} + \dots + \frac{x_n}{x_{nmax}}}{n}$$

IAA = Indice di Alterazione Ambientale

x_1 = concentrazione dell'elemento 1

x_{1max} = concentrazione massima dell'elemento 1

n = numero degli elementi standardizzati

Il valore così ottenuto per ogni stazione è un numero compreso tra 0 e 1 e indica il grado di alterazione globale di ogni singola stazione di campionamento.

Il risultato di questa operazione rappresenta il valore di alterazione di ogni singola stazione. (Cfr. Cap. 10)

Alluminio

Alluminio	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	337.94	164.21	48.59	171.67	205.09	292.83	367.76	726.48	1.29
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	200.71	169.21	84.31	19.34	95.09	148.37	279.03	672.50	1.47
<i>Dittrichia viscosa</i>	710.72	914.17	128.63	175.71	248.34	530.09	757.17	4714.44	4.12
<i>Xanthoria s.l.</i>	2409.72	1459.60	60.57	783.44	1369.86	1794.52	3124.99	5963.50	1.09

È il terzo elemento per abbondanza nella crosta terrestre e, data la sua bassa tossicità, è stato incluso allo scopo di valutare la contaminazione terrigena dei campioni. Viene impiegato per la produzione di leghe leggere nella costruzione di veicoli, aerei, navi ecc., per la produzione di vernici per pellicole di alluminio, come mordente nella colorazione di fibre tessili, e come impermeabilizzante.

Vanadio

Vanadio	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	1.09	0.45	41.37	0.45	0.76	0.97	1.48	1.91	0.47
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.57	0.54	94.66	0.04	0.30	0.38	0.73	2.48	2.31
<i>Ditthrichia viscosa</i>	1.73	2.09	121.34	0.44	0.65	1.45	1.79	10.79	3.99
<i>Xanthoria s.l.</i>	6.27	3.69	58.92	1.56	3.53	4.94	9.45	12.99	0.67

Questo elemento è presente nella crosta terrestre in concentrazioni medie di 150 ppm (Adriano 1986), viene utilizzato nella produzione di ferro-vanadio, nella sintesi di leghe con titanio o come catalizzatore in varie reazioni chimiche industriali. In mineralogia si trova associato con l'arsenico a formare rocce arsenitiche, o in ERUZIONI SIENITICHE. Il pentossido di vanadio è utilizzato nella produzione di ceramica e di vari prodotti chimici. Il vanadio è inoltre presente nei prodotti di combustione e di altri carburanti di origine fossile (NIMIS P.L., SKERT N. CASTELLO M. 1999). Viene facilmente assorbito dalle radici (assorbimento passivo) in funzione del pH e della sua concentrazione nel terreno. Dalla statistica descrittiva appare evidente che le concentrazioni medie di vanadio determinate nei biosensori arborei, sia a giugno che settembre, sono 10 volte inferiori al valore naturale (corrispondente a 10 mg/Kg, per Lindt T.J.**). Il biosensore lichenico e quello erbaceo hanno invece restituito valori leggermente più alti, ma comunque inferiori rispetto ai massimi riscontrati nell'anno precedente, si registrano valori di deviazione standard e di coefficiente di variazione sintomatici di un'alta variabilità spaziale dell'elemento.

Arsenico

Arsenico	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.19	0.12	63.43	0.01	0.13	0.19	0.24	0.55	0.92
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	2.51	1.74	69.16	0.26	1.11	1.96	3.92	5.80	0.51
<i>Ditthrichia viscosa</i>	2.97	3.15	106.22	0.11	1.81	2.38	3.12	16.70	4.05
<i>Xanthoria s.l.</i>	9.44	5.37	56.91	0.00	5.90	7.74	12.73	19.20	0.44

Questo elemento, presente nella crosta terrestre in misura di 1,2-2 ppm, si trova comunemente in forma ossidata nell'atmosfera come triossido di arsenico. Viene utilizzato per la produzione di insetticidi, erbicidi, fungicidi, algicidi, defolianti, conservanti del legno, ceramiche e vetri. Si tratta di un elemento fisiologicamente non essenziale; il suo assorbimento pare di natura passiva e può essere distribuito in diverse parti degli organismi vegetali.

Le concentrazioni medie di arsenico determinate nei campioni arborei risultano quasi sempre inferiori alla soglia di rilevabilità e quindi al di sotto del valore naturale (corrispondente a 1,5 mg/Kg, secondo Lindt T.J.**).

Solo per alcune stazioni si sono ottenuti valori di concentrazioni di arsenico superiori al valore di naturalità, alcune concentrazioni risultano superiori rispetto all'anno precedente principalmente nel campionamento del biosensore arboreo (*Pinus spp.*) condotto nel mese di settembre.

Azoto

Azoto	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	2.35	1.11	47.05	1.00	1.58	2.10	2.95	4.80	1.09
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	2.51	0.65	25.98	1.01	2.35	2.68	2.99	3.19	-1.41
<i>Ditthrichia viscosa</i>	2.66	0.35	13.02	2.04	2.35	2.70	2.89	3.32	-0.01
<i>Xanthoria s.l.</i>	2.45	0.43	17.57	1.43	2.26	2.43	2.77	3.03	-0.43

Elemento gassoso incolore. E' presente nell'aria (della quale costituisce circa il 78% in volume) ed è un costituente essenziale delle proteine e degli acidi nucleici degli organismi viventi. Viene ampiamente utilizzato in agricoltura e provoca non solo l'inquinamento dell'ambiente per l'accumulo di sostanze chimiche, ma anche una certa tossicità alle piante, una loro maggiore sensibilità agli attacchi parassitari, alle escursione termiche e il ritardo nella maturazione. Tra i composti dell'azoto, il biossido d'azoto è quello di maggiore disturbo, deriva soprattutto dai gas di scarico dei veicoli a motore (56%) e dagli impianti industriali (6%). E' un tossico "acuto" per le mucose e per gli occhi; può provocare anche danni polmonari e, in concentrazione elevata, essere anche letale. Ossidi di zolfo e di azoto sono i maggiori responsabili del fenomeno delle "piogge acide". Sono considerati valori di naturalità quelli inferiori al 2.5 ppm.

Dall'analisi statistica condotta sull'azoto risulta che le concentrazioni medie dello stesso, determinate nei biosensore *Pinus spp.*, risultano di pochissimo superiori ai limiti considerati naturali nel campionamento di settembre. Rispetto all'anno precedente si ha un'inversione di tendenza, in quanto, le concentrazioni maggiori si registravano nel mese di giugno.

Cadmio

Cadmio	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.04	0.05	128.14	0.01	0.02	0.02	0.04	0.26	3.87
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.05	0.04	75.99	0.00	0.03	0.05	0.07	0.15	0.83
<i>Ditthrichia viscosa</i>	0.25	0.25	101.00	0.02	0.06	0.17	0.45	0.87	1.17
<i>Xanthoria s.l.</i>	0.28	0.29	103.87	0.00	0.07	0.17	0.47	1.03	1.20

È un elemento relativamente raro nella crosta terrestre (0,1-0,2 ppm); il maggiore apporto di origine naturale in atmosfera è dovuto a fenomeni vulcanici. Questo minerale viene generalmente estratto come sottoprodotto dello zinco, grazie alla sua alta resistenza alla corrosione, viene utilizzato nell'industria automobilistica e in quella galvanoplastica. Viene inoltre utilizzato per la produzione di pigmenti e per leghe di piombo (TRETACH & BARUFFO 2001).

Dall'analisi statistica condotta sul cadmio risulta che le concentrazioni medie dello stesso, determinate nei campioni dei biosensori vegetali passivi, risultano abbondantemente al di sotto del valore naturale (corrispondente a 1,5 mg/Kg secondo Lindt T.J.**). Tutti i biosensori hanno risposto alla stessa maniera, non superando nemmeno come valore massimo i limiti naturali. Anche la *Ditthrichia viscosa*, che nel periodo di gestione 2003 ha restituito valori maggiori, in questo ultimo anno di rilevamenti ha fatto registrare valori nella norma.

Non è presente, quindi, nel territorio, un inquinamento da cadmio nell'aria.

Nichel

Nichel	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	2.21	0.83	37.68	1.02	1.74	2.00	2.57	3.99	0.69
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.30	0.32	104.94	0.00	0.09	0.24	0.39	1.49	2.43
<i>Ditthrichia viscosa</i>	1.75	1.13	64.38	0.56	1.12	1.35	2.07	5.32	2.04
<i>Xanthoria s.l.</i>	3.03	1.61	53.08	0.50	2.48	2.86	3.93	6.98	0.50

È un elemento poco abbondante in natura, che si presenta combinato principalmente con lo zolfo, l'arsenico e l'antimonio.

La maggior parte del nichel prodotto viene utilizzato dalle fonderie e nelle acciaierie per la fabbricazione di leghe, fra le quali l'acciaio inossidabile. Le principali fonti secondarie di immissione nell'ambiente sono gli inceneritori e l'uso di combustibili di origine fossile (Floccia *et al.* 1985). Non è generalmente tossico per le piante, che possono accumularne quantità elevate, ed è dubbia la sua tossicità per gli animali.

Nei biosensori considerati i valori medi, si confermano fortemente inferiori rispetto al valore (di 2,5 mg/kg) considerato "normale nei territori non inquinati", secondo Lindt T.J.**.

Solo in due stazioni, nel ciclo di campionamento primaverile, il valore supera leggermente i valori di naturalità, nelle stazioni n°17 e n° 6. I valori, comunque, si riducono notevolmente nel ciclo di campionamento autunnale. Dal confronto dei risultati con l'anno di gestione 2004 si vede che questo comportamento è una riconferma di quanto ottenuto nell'anno precedente.

Piombo

Piombo	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.66	0.28	42.60	0.10	0.48	0.73	0.84	1.13	-0.29
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.21	0.41	189.40	0.00	0.00	0.00	0.10	1.26	1.65
<i>Ditthrichia viscosa</i>	0.92	0.78	84.64	0.00	0.61	0.77	1.19	3.66	1.97
<i>Xanthoria s.l.</i>	5.57	3.92	70.35	0.00	2.92	5.80	7.29	16.82	1.23

Questo elemento è presente nella crosta terrestre in misura ridotta 20 ppm, (CAGLIOTI 1979). La fonte principale di immissione in atmosfera è la combustione di additivi antidetonanti della benzina (oggi bandita dal mercato), ma notevole è anche l'apporto dato dalle fonderie e dalla combustione del carbone.

È presente nelle piante con un ruolo importante per il loro metabolismo; viene traslocato dalle radici alle parti superiori, in una porzione pari al 3% del totale contenuto nei sostanze nutritive. L'assorbimento varia, comunque, in funzione del contenuto di piombo nel suolo e della forma presente.

L'analisi statistica ha restituito valori di concentrazione medie per il piombo di molto inferiori alle concentrazioni naturali riportati da Riss A.****, che indica 5 mg/Kg il limite massimo naturale. Tutti i biosensori hanno risposto allo stesso modo, non restituendo, nemmeno come valore massimo, valori superiori al limite naturale.

Non è presente, quindi, nel territorio, un inquinamento da piombo nell'aria, i risultati ottenuti riconfermano quanto detto per questo elemento nell'anno di gestione 2004.

Zolfo

Le Tabelle S.o., S.i. e S.tot mostrano i parametri relativi al carico di zolfo, rispettivamente, organico, inorganico e totale.

La presenza media calcolata rispetto ai biosensori mostra differenze non apprezzabili tra le tipologie di zolfo, eccetto per il biosensore lichenico che non si presta in modo ottimale al monitoraggio di questo elemento. Anche gli altri parametri non mostrano differenze apprezzabili.

Zolfo totale	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.08	0.07	97.08	0.00	0.02	0.07	0.09	0.30	1.57
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.10	0.09	96.72	0.00	0.03	0.07	0.13	0.35	1.28
<i>Ditthrichia viscosa</i>	0.10	0.05	53.76	0.00	0.07	0.11	0.13	0.19	-0.27
<i>Xanthoria s.l.</i>	0.03	0.03	103.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.10	1.18

Zolfo organico	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.07	0.07	105.99	0.00	0.02	0.05	0.09	0.29	1.66
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.04	0.04	92.82	0.00	0.01	0.03	0.05	0.13	1.09
<i>Ditthrichia viscosa</i>	0.04	0.02	55.53	0.00	0.03	0.04	0.05	0.08	-0.22
<i>Xanthoria s.l.</i>	0.01	0.01	110.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	1.46

Zolfo inorganico	Media	STD	CVx100	Minimo	1°quartile	Mediana	3°quartile	max	Asimme.
<i>Pinus spp. (giugno)</i>	0.01	0.01	69.24	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	1.04
<i>Pinus spp. (settembre)</i>	0.06	0.06	102.06	0.00	0.01	0.03	0.08	0.22	1.37
<i>Ditthrichia viscosa</i>	0.06	0.03	54.07	0.00	0.04	0.06	0.08	0.12	-0.21
<i>Xanthoria s.l.</i>	0.02	0.02	96.71	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	1.00

Insieme al rame, è il secondo dei principali elementi utilizzati nei composti per l'agricoltura; anche se consentiti nell'agricoltura biologica, vengono spesso utilizzati insieme al selenio, considerato molto tossico. Viene monitorato separatamente nella componente organica e in quella inorganica, per conoscere quale è la tipologia che più influenza la concentrazione totale di questo elemento chimico. Essendo lo zolfo organico di natura vegetale o animale, spesso una maggiore componente organica sulla percentuale dello zolfo totale suggerisce una provenienza naturale dello zolfo, a differenza di quella inorganica di origine antropica. Tra i composti di questo elemento il biossido e triossido di zolfo sono quelli derivanti dalla combustione del petrolio.

Le concentrazioni medie di zolfo determinate nei campioni risultano al di sotto del valore naturale (corrispondente rispettivamente a 0,3 mg/Kg per Lindt T.Jed a 0,3 mg/Kg per Markert B.).

Tutti i biosensori hanno risposto allo stesso modo, non restituendo, nemmeno come valore massimo valori superiori al limite naturale. Indagando però a fondo sulla distribuzione delle diverse tipologie di zolfo, si afferma quanto già detto per il monitoraggio attivo, la componente organica dello zolfo è quella che influenza maggiormente la concentrazione dello zolfo totale nell'area di studio.

8.3 - Analisi statistica ANOVA matrici di correlazione

Il livello dell'**Associazione lineare** fra due variabili quantitative (es. Al, Pb) è studiato con il **Coefficiente di Correlazione** lineare di Pearson (r). Il valore di r può variare fra -1 e +1 (associazione assoluta), lo 0 rappresenta l'assoluta mancanza di associazione.

Questo tipo di analisi può essere descritta o in forma matriciale (vedi figura 4) riportando la retta di correlazione, che può variare la sua posizione da +45° ($r = +1$) a -45° ($r = -1$), o in forma matriciale riportando i valori numerici della r di *person* (vedi figura 4).

1. Con $r = +1$ la correlazione tra due variabili è massima, significa che al variare di una, varia con la stessa intensità anche l'altra. es. se l'alluminio aumenta, anche il piombo aumenta con la stessa intensità.
2. Con $r = -1$ la correlazione tra due variabili è massima ma inversa, esprime che al variare di una variabile l'altra varia con la stessa intensità ma in modo opposto. Es. all'aumentare dell'alluminio il piombo varia con la stessa intensità ma in segno opposto cioè diminuisce.
3. Con $r = 0$ le variabili sono totalmente non correlate tra loro, ovvero al variare di una l'altra si comporta in modo indipendente e non prevedibile.

Per ragioni di completezza viene riportata la formula per la costruzione della matrice di correlazione:

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Dove x e y sono le concentrazioni degli elementi di riferimento.

Le tabelle di seguito riportate rappresentano, in sintesi, le relazioni tra gli elementi ed evidenziano, la correlazione delle concentrazioni di due singoli elementi lungo i 2 assi cartesiani. Vengono letti sull'incrocio della verticale di un elemento e l'orizzontale dell'altro (vedi figura 4), il valore indicato all'interno della cella è il valore calcolato delle r di *person*.

La matrice di correlazione è sempre simmetrica e sulla diagonale principale riporta valori sempre unitari.

AL	V	NI	AS	CD	PB	S_T	S_I	S_O	N
V	1								
NI		1							
AS			1						
CD				1					
PB					1				
S_T						1			
S_I							0.45		
S_O								1	
N									1

Figura 4 Esempio di lettura delle matrici di correlazione in forma tabellare

	AL	V	NI	AS	CD	PB	S_T	S_I	S_O	N
AL	1									
V	0.88	1								
NI	0.43	0.48	1							
AS	0.1	0.32	-0.08	1						
CD	-0.09	0.2	0.37	0.11	1					
PB	0.46	0.59	0.42	0.24	0.31	1				
S_T	0.1	0.15	0.26	0.1	0.18	-0.02	1			
S_I	-0.19	-0.24	-0.09	-0.23	0.06	-0.49	0.45	1		
S_O	0.12	0.18	0.28	0.13	0.18	0.02	1	0.38	1	
N	0	-0.05	-0.32	-0.04	-0.26	-0.04	-0.34	-0.01	-0.35	1

Correlazione lineare
 Correlazione inversa

Figura 5 Matrice di correlazione relativa al biosensore arboreo passivo *Pinus spp.* (campionamento di giugno)

	AL	V	NI	AS	CD	PB	S_T	S_I	S_O	N
AL	1.00									
V	0.92	1.00								
NI	0.82	0.89	1.00							
AS	0.65	0.51	0.52	1.00						
CD	0.63	0.54	0.59	0.48	1.00					
PB	0.84	0.76	0.76	0.60	0.75	1.00				
S_T	0.14	0.00	-0.03	0.40	0.08	0.14	1.00			
S_I	0.09	-0.05	-0.06	0.38	0.04	0.08	0.99	1.00		
S_O	0.21	0.07	0.03	0.42	0.14	0.22	0.97	0.93	1.00	
N	-0.02	-0.08	-0.02	0.26	0.23	0.14	0.57	0.57	0.52	1.00

Correlazione lineare
 Correlazione inversa

Figura 6 Matrice di correlazione relativa al biosensore arboreo passivo *Pinus spp.* (campionamento di settembre)

Dall'analisi delle matrici di correlazione, si nota che la risposta del *Pinus spp.* non cambia nei due periodi di campionamento, se non per qualche correlazione inversa. In questo biosensore gli elementi che hanno mostrato una stretta correlazione sono stati:

- ? Alluminio - vanadio,
- ? Alluminio - piombo
- ? Alluminio- nichel
- ? Vanadio - -nichel
- ? Piombo - vanadio
- ? Piombo - nichel

Per tutta questa associazione di elementi chimici la *r* di *Pearson* ha sempre assunto un valore positivo prossimo al +1.

Per le diverse tipologie di zolfo si è mostrata una stretta correlazione nel campionamento primaverile, tra lo zolfo inorganico e lo zolfo totale, mentre nel campionamento autunnale si è registrata una stretta correlazione tra zolfo totale, zolfo organico e zolfo inorganico.

L'esistenza di una forte correlazione tra l'alluminio e gli altri elementi lascia pensare ad una forte influenza della componente terrigena sulla contaminazione del campione (NIMIS P.L., SKERT N. CASTELLO M.), essendo tale elemento un metallo di origine terrigena.

Da questa analisi si è evinto che la metodologia ha risposto coerentemente alla dispersione degli elementi sul territorio.

8.4 – Cluster analysis

La *cluster analysis* o analisi per cluster, partendo da un collettivo multidimensionale mira ad assegnare dei gruppi (unità) a categorie di dati non definiti a priori, formando così dei gruppi di osservazioni omogenei al loro interno ed eterogenei tra loro.

Basandosi su concetti di similarità distanza, (minore distanza maggiore similarità) la *cluster analysis*, fornisce un'altra sintesi preliminare dei risultati, che si concretizza con la realizzazione di un dendrogramma, ovvero con l'interpretazione grafica dei gruppi creati dall'analisi.

Nel presente lavoro, la suddetta procedura ha lo scopo di evidenziare globalmente come gli elementi monitorati e/o le stazioni si aggregano in funzione di tutti i valori di concentrazione restituiti; i risultati ottenuti hanno prodotto il dendrogramma riportato in figura 7.

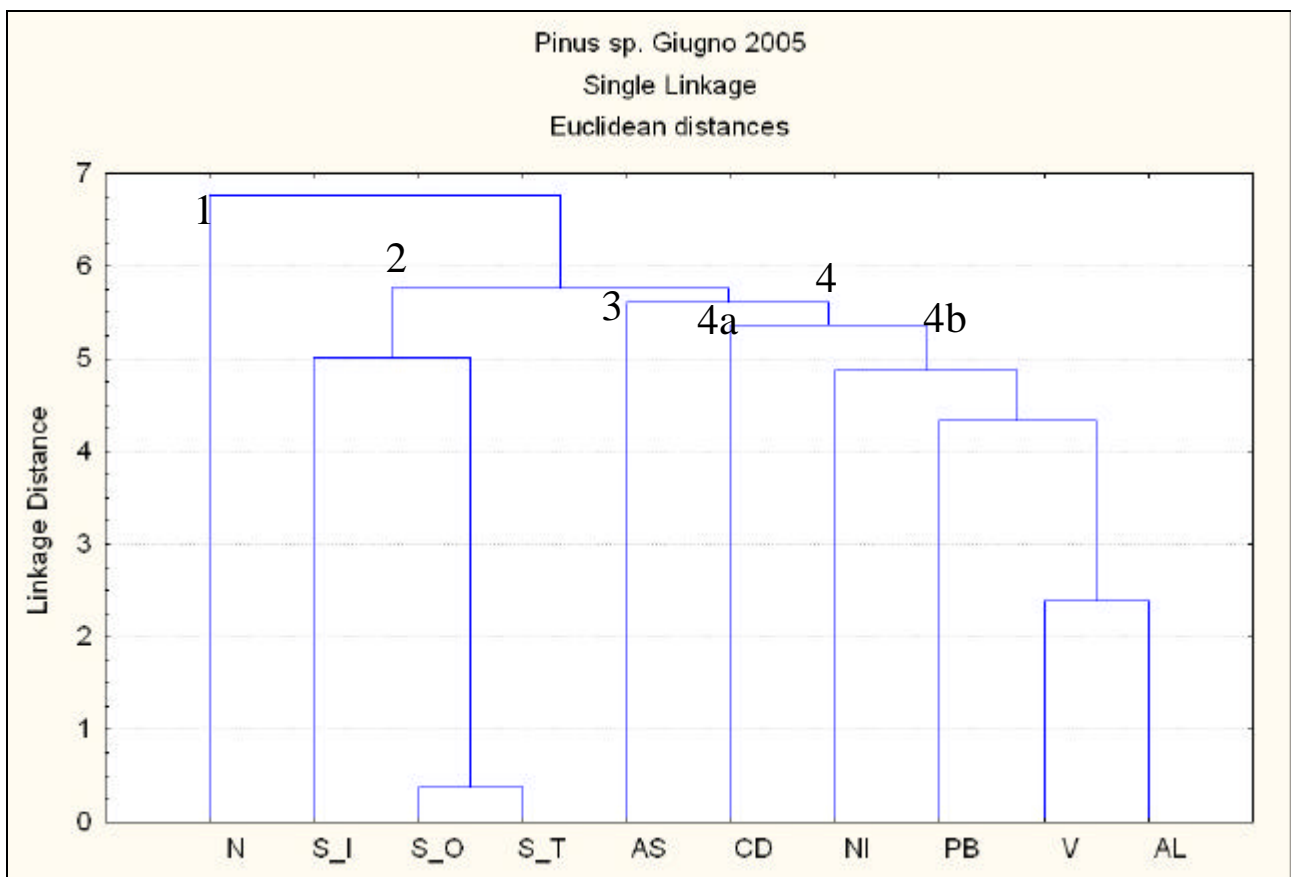


Figura 7 Dendrogramma (o diagramma ad albero) degli elementi relativi al biosensore Pinus ssp. per campionamento di giugno 2005

La cluster analysis ha restituito per il primo campionamento del *Pinus* condotto nel periodo di giugno 2005 (figura 7) un dendrogramma in cui sono presenti quattro cluster principali, indicati in figura 7 con i numeri 1, 2, 3 e 4, e due cluster secondari (4a e 4b).

- i. Cluster 1 - Azoto: Assume un comportamento esclusivo non comparabile con gli altri cluster, né a livello spaziale né geostatistica;
- ii. Cluster 2 - Zolfo organico, Zolfo inorganico e Zolfo totale: si distribuiscono nella parte sinistra del dendrogramma, vicini all'azoto. Hanno patterns spaziali molto simili anche se con *range* concentrazioni disuguali;
- iii. Cluster 3 - Arsenico: assume un comportamento esclusivo non comparabile con gli altri cluster, la distribuzione spaziale molto omogenea sul territorio è probabilmente il motivo di questo comportamento
- iv. Sotto Cluster 4 - Cadmio: assume un comportamento esclusivo non comparabile con gli altri cluster, la distribuzione spaziale molto omogenea sul territorio è probabilmente il motivo di questo comportamento. La vicinanza con l'arsenico è probabilmente dovuta alla differenza nei valori di concentrazione.
- v. Sotto Cluster 4b - Nichel, Piombo, Vanadio, Alluminio: questi elementi si distribuiscono nella porzione a destra del dendrogramma, sono associati da uguali patterns spaziali e varianze similari.

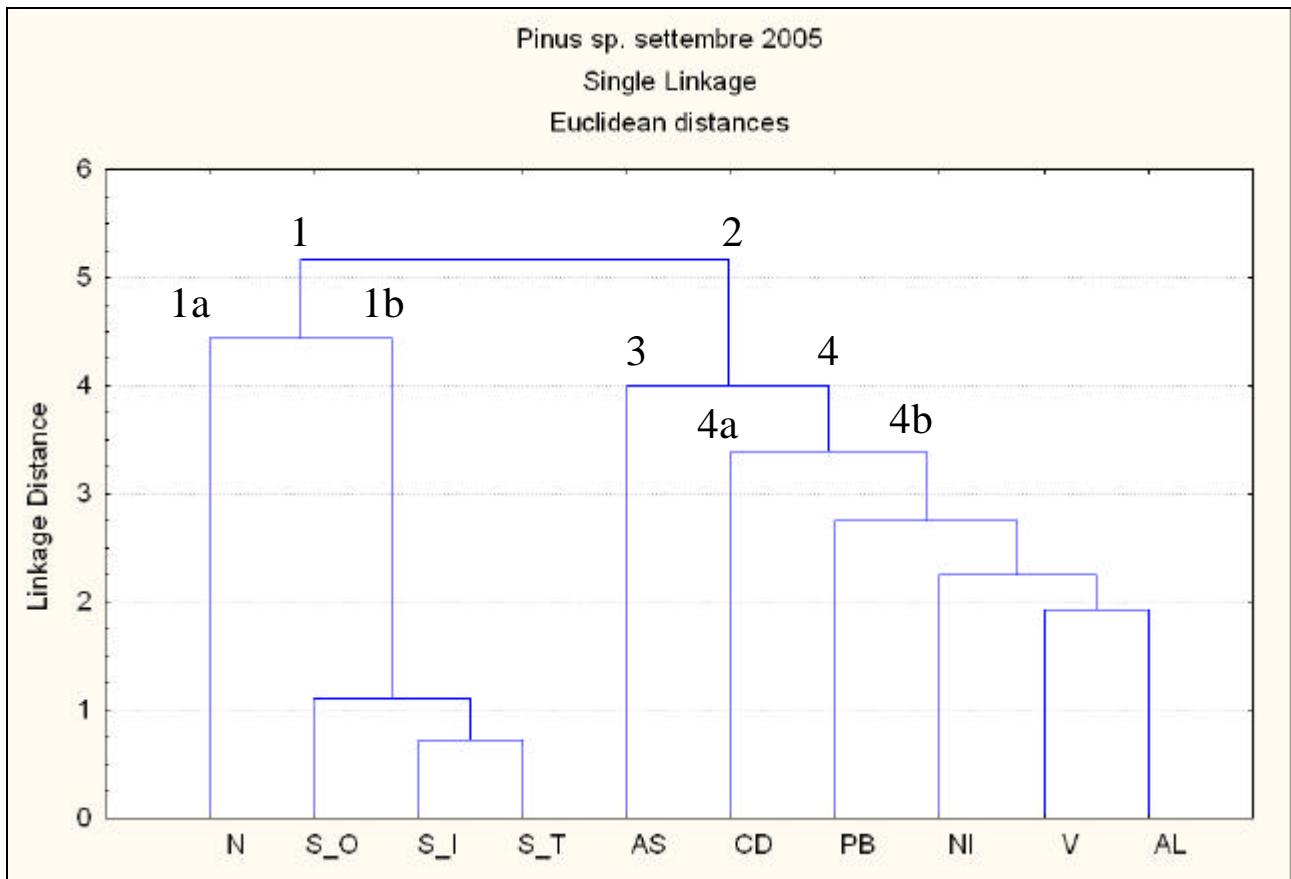


Figura 8 Dendrogramma (o diagramma ad albero) degli elementi relativi al biosensore *Pinus ssp.* per campionamento di settembre 2005

La cluster analysis ha restituito per il secondo campionamento del *Pinus* (settembre 2005) un dendrogramma molto simile al quello di giugno; gli elementi come zolfo e azoto si dispongono alla sinistra del dendrogramma confermando il comportamento già assunto nel ciclo di campionamento di giugno. Piombo nichel vanadio e alluminio si distribuiscono nella parte destra del dendrogramma, mentre arsenico e cadmio si trovano ancora nella parte centrale del diagramma.

Il dendrogramma elaborato per il campionamento di settembre mette in evidenza una buona associazione tra le diverse tipologie di zolfo e l'azoto, evento non verificatosi nel primo ciclo di campionamento.

9 – TERRENO

Si ricorda che, nella fase di realizzazione della Rete (preregimentazione), sono state effettuate delle analisi chimiche preliminari su terreno. In particolare, il terreno è stato prelevato in 35 Stazioni + 3 stazioni di confronto. Le 3 stazioni di confronto (36, 37, 38) sono state scelte fuori dall' area di monitoraggio. L'obiettivo del confronto è quello di conoscere la composizione del terreno su tutta l'area in esame, sia in prossimità della Centrale Termoelettrica che nelle zone marginali della rete.

Per ottenere una parametrizzazione dei risultati, le analisi fatte nella prima fase di gestione, sono state ripetute su un numero inferiore di stazioni.

Le analisi chimico, fisico-meccaniche sono state effettuate allo scopo di creare una Banca dati per avere delle informazioni da poter utilizzare in caso di valori di allarme o anomali (ad esempio correlazioni statistiche tra i dati ottenuti dalle foglie e quelli forniti dal terreno che permettono di determinare l'influenza dovuta all'assorbimento radicale, nella concentrazione di un certo elemento rilevata a livello fogliare).

10 - INDAGINE EVOLUTIVA

L'indagine evolutiva è stata condotta sui risultati ottenuti nei cinque cicli di campionamento passivo condotti sul territorio circostante la Centrale Termoelettrica di Termini Imerese: Settembre 2003, Giugno 2004, Settembre 2004, giugno 2005 e Settembre 2005. L'obbiettivo di questo studio è quello di capire quale è stato il trend evolutivo delle concentrazioni dei diversi elementi; Per ottenere informazioni sullo stato di salute dell'ambiente e le variazioni che questo ha subito in questo ciclo di indagine, è stato elaborato l'**indice di alterazione ambientale** relativo ad ogni anno di gestione della rete di monitoraggio (Cfr. § 8.2 e allegato 8).

L'indice di alterazione ambientale è un valore compreso tra 0 e +1, esprime lo stato di salute dell'ambiente relazionando e ponendo in evidenza i siti con maggiore grado di mineralizzazione, ovvero, il maggiore "disturbo" relativo a tutto il ventaglio di elementi ricercati. È calcolato standardizzando il valore *i-esimo* di ogni elemento registrato in ciascuna stazione, al valore massimo registrato per l'elemento in questione in tutta l'area di studio; questa operazione viene ripetuta per tutti gli elementi e per tutte le stazioni di campionamento. La media aritmetica calcolata sui valori ottenuti per ogni singola stazione rappresenta il grado di alterazione ambientale:

$$IAA = \frac{x_1}{x_{1max}} + \frac{x_2}{x_{2max}} + \frac{x_3}{x_{3max}} + \frac{x_n}{x_{nmax}}$$

IAA = Indice di Alterazione Ambientale
x₁ = concentrazione dell'elemento 1
x_{1max} = concentrazione massima dell'elemento 1
n = numero degli elementi standardizzati

I valori di alterazione ambientale così calcolati sono poi sottoposti ad analisi statistica, geostatistica e spaziale.

Per conoscere la variazione di concentrazione degli elementi per ogni ciclo di campionamento sono stati redatti una serie di grafici che riportano il valore medio registrato per ogni singolo elemento chimico ricercato.

I grafici riportano in ordinata la concentrazione media dell'elemento in questione e in ascissa il periodo di campionamento di riferimento, anche per questi grafici, come già fatto per il monitoraggio attivo, è stato riportato il valore considerato di naturalità.

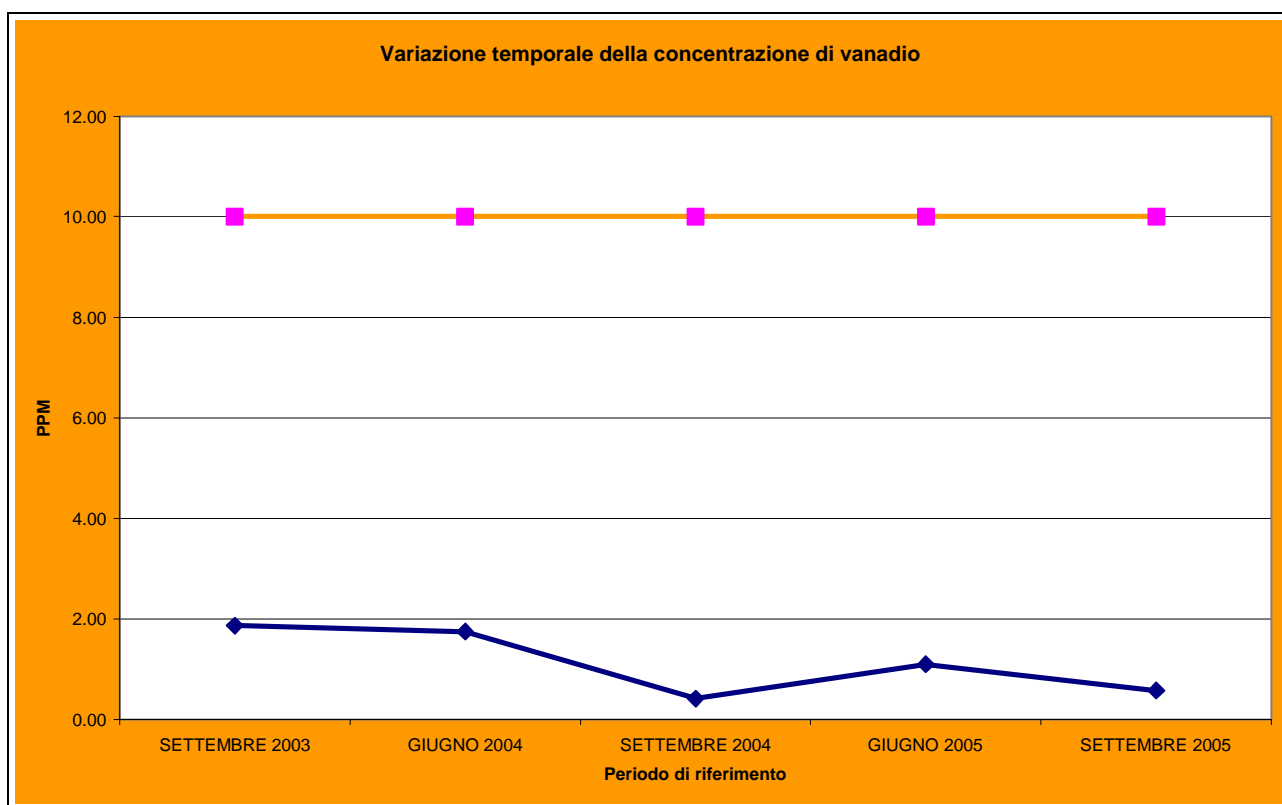


Figura 9 Variazione della concentrazione media del vanadio nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

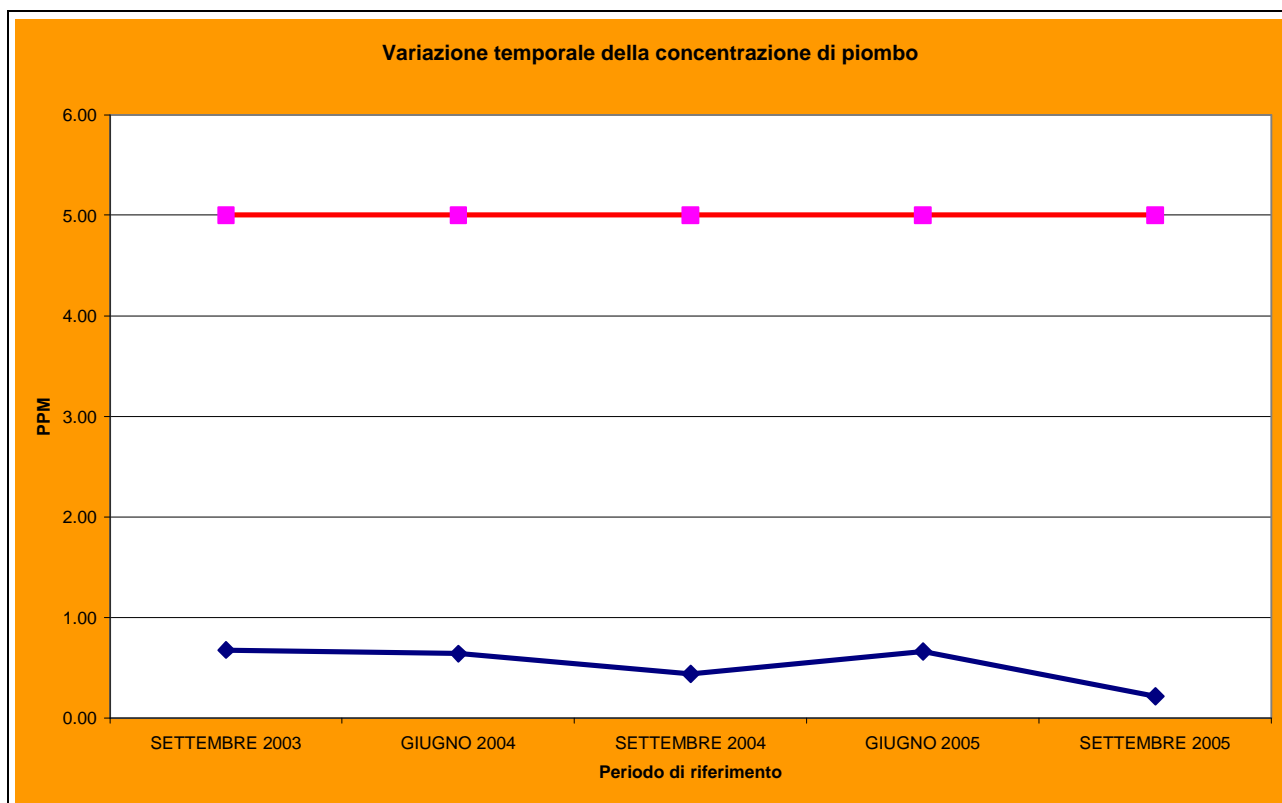


Figura 10 Variazione della concentrazione media del piombo nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

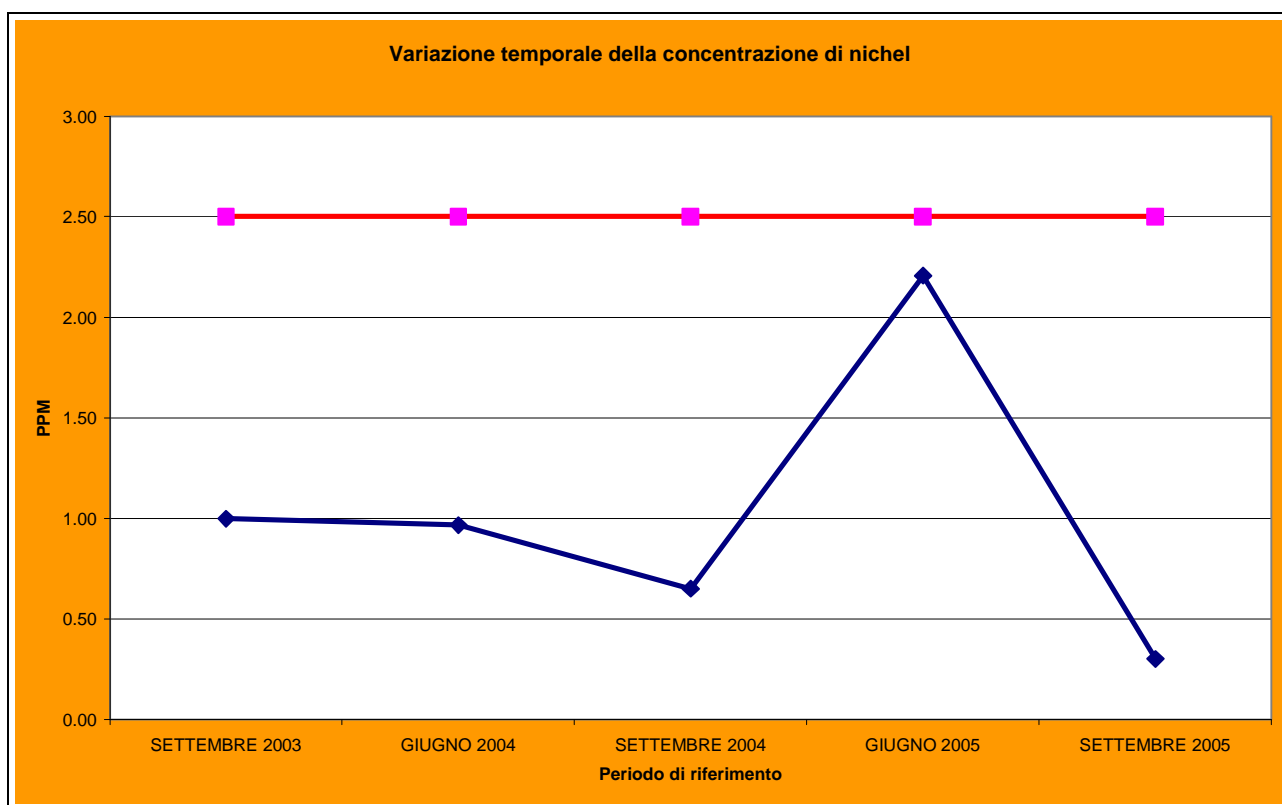


Figura 11 Variazione della concentrazione media del nichel nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

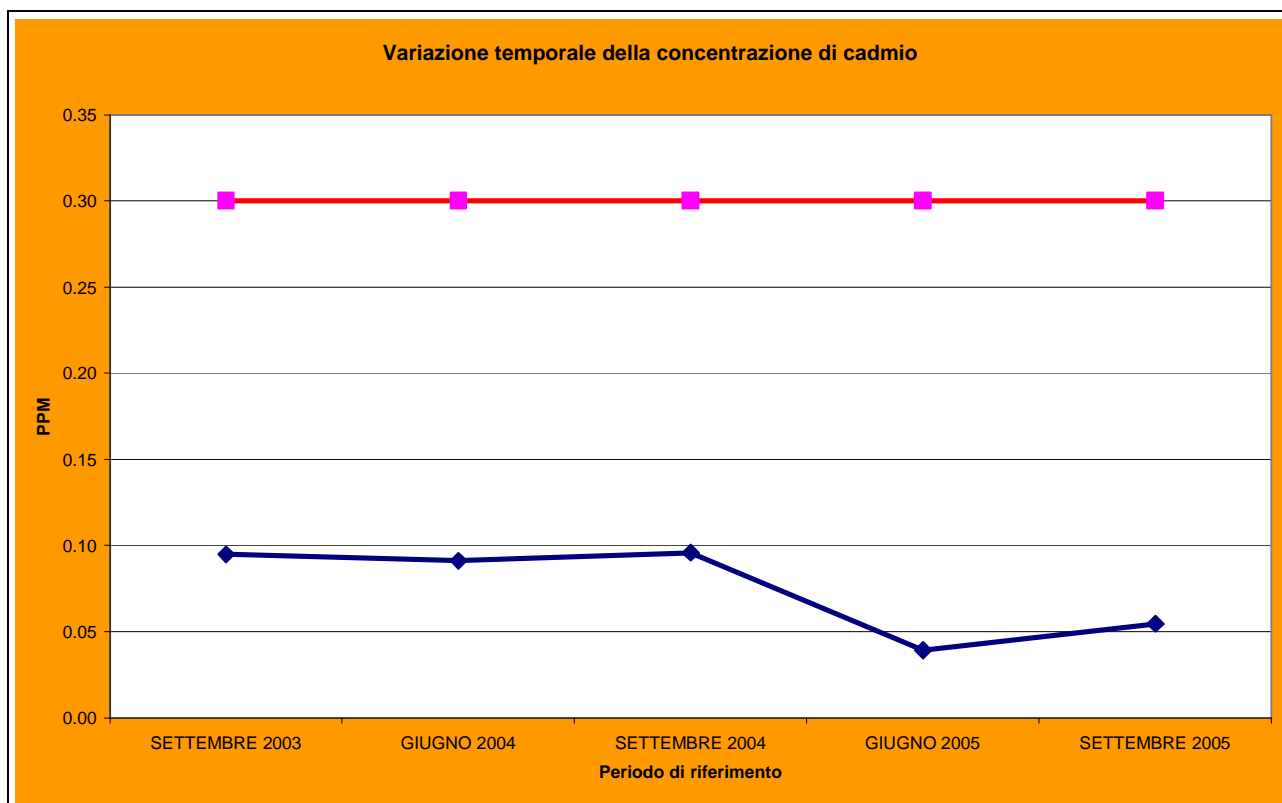


Figura 12 Variazione della concentrazione media del cadmio nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

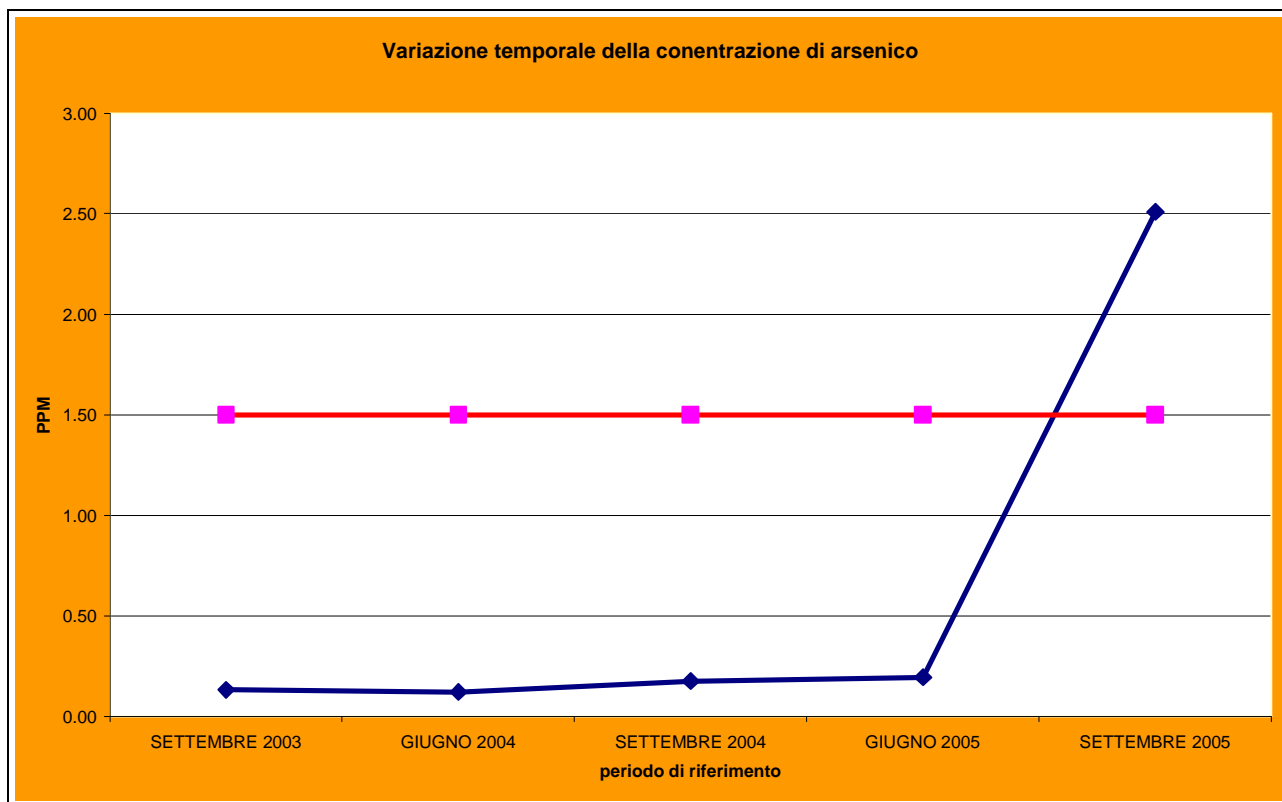


Figura 13 Variazione della concentrazione media dell'arsenico nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

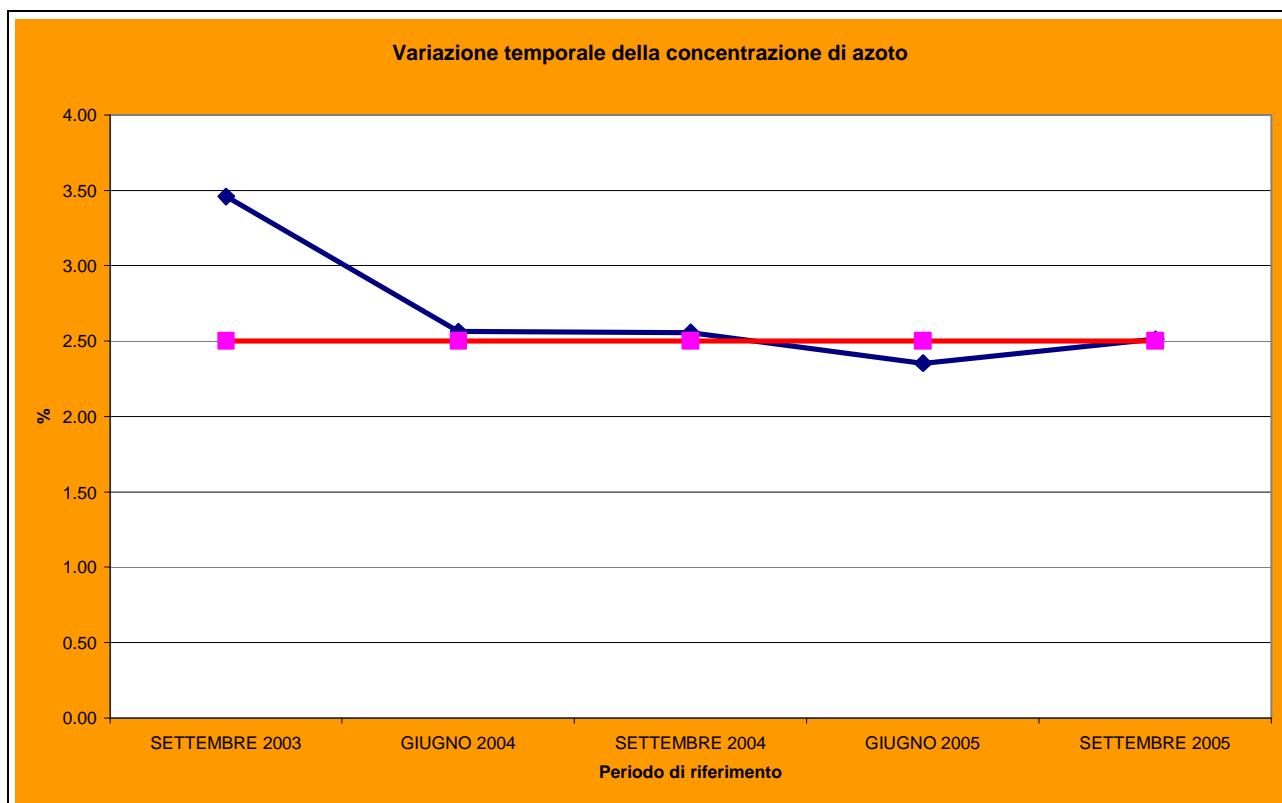


Figura 14 Variazione della concentrazione media dell'azoto nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

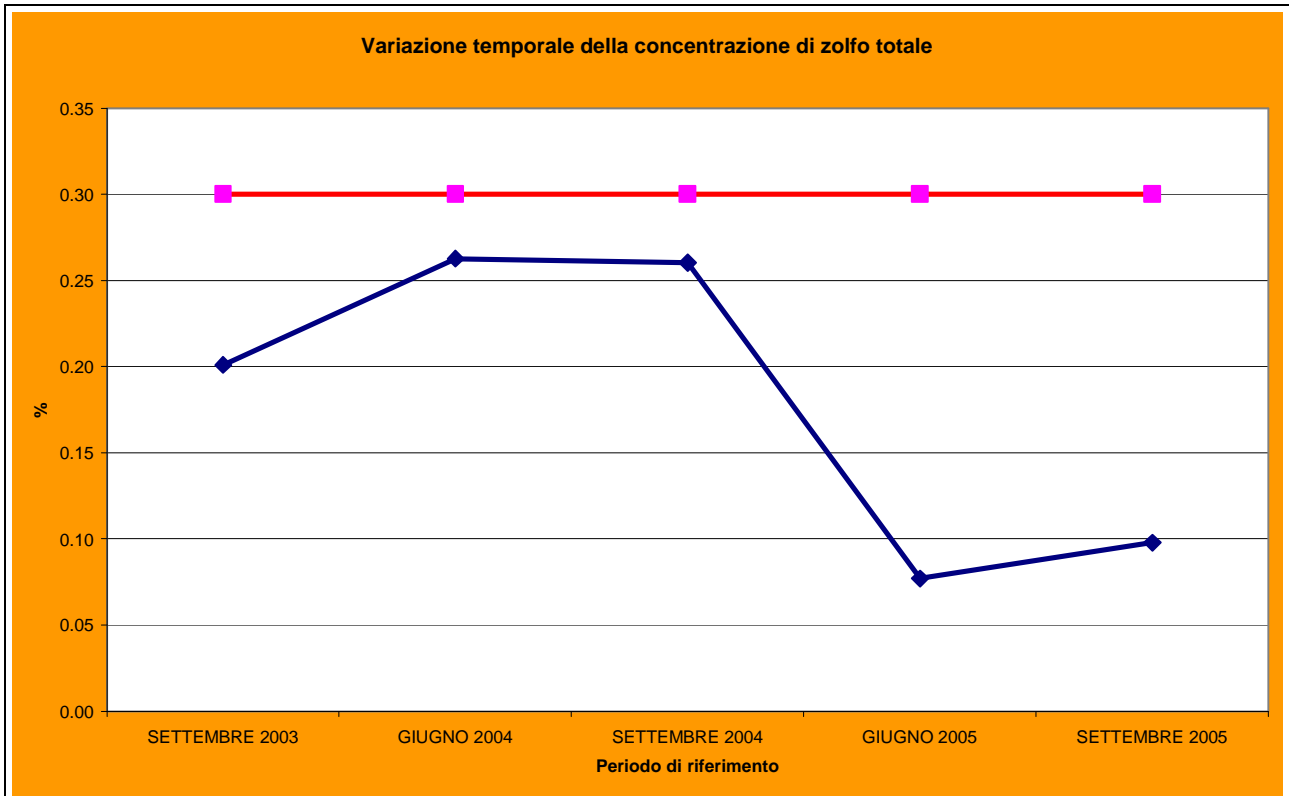


Figura 15 Variazione della concentrazione media di zolfo totale nei cinque cicli di campionamento nel territorio in esame

Vanadio

In tutto il periodo di campionamento ha assunto un comportamento costante, si registra una concentrazione media iniziale di circa 2 PPM, che alla fine dello studio si è più che dimezzata. Non si è mai registrato un comportamento anomalo o valori che hanno superato i limiti di naturalità.

Non esiste un inquinamento da vanadio nell'area di studio.

Piombo

Come per il vanadio questo elemento ha assunto un andamento costante con valori sempre al disotto dei valori di naturalità, con concentrazioni pari a un quinto di questi limiti. Non si registrano concentrazioni anomale o altalenanti e quindi si può affermare che non esiste un inquinamento da piombo nell'area di studio.

Nichel

Le concentrazioni di nichel non hanno assunto un trend ben definibile, a un andamento costante nei primi due cicli di campionamento, segue una diminuzione nel terzo ciclo (settembre 2004) e un incremento nel quinto ciclo (giugno 2005); Le concentrazioni diminuiscono infine repentinamente nell'ultimo ciclo di campionamento (settembre 2005). Le concentrazioni anche se hanno fatto registrare un andamento altalenante non superano mai i valori di naturalità.

Cadmio

L'andamento delle concentrazioni di cadmio nell'area di studio ha assunto un andamento omogeneo nei primi tre cicli di campionamento, assumendo successivamente un trend in diminuzione negli ultimi due cicli di campionamento. Le concentrazioni medie si attestano sempre su valori fortemente inferiori ai limiti di naturalità.

Arsenico

L'andamento fatto registrare nei cinque cicli di campionamento assume valori costanti in tutta la fase iniziale di studio, solo nell'ultimo ciclo di campionamento si sono registrati valori al di sopra delle medie registrate nei cicli precedenti. Gli alti valori di varianza registrati nell'ultimo ciclo di campionamento rispetto ai precedenti cicli, indica una situazione diversa rispetto agli anni precedenti, con una distribuzione non omogenea sul territorio.

Azoto

L'andamento dell'azoto nell'area di studio ha mostrato un sviluppo particolare, facendo registrare un generale trend in diminuzione, anche se oscillante sempre attorno ai limiti considerati di naturalità. Si assiste a una importante diminuzione di concentrazione tra il primo e il secondo campionamento, rientrando nei limiti di naturalità e attestandosi poi su questi valori. Si registra nel ciclo di giugno 2005 il valore minimo generale.

Zolfo

Lo zolfo totale ha fatto registrare sempre valori al di sotto dei limiti di naturalità, anche se nei primi cicli di campionamento i valori sono generalmente più alti rispetto al resto del periodo di indagine. I valori massimi si sono registrati nel secondo e terzo ciclo, mentre i minimi nel quarto e nel quinto ciclo.

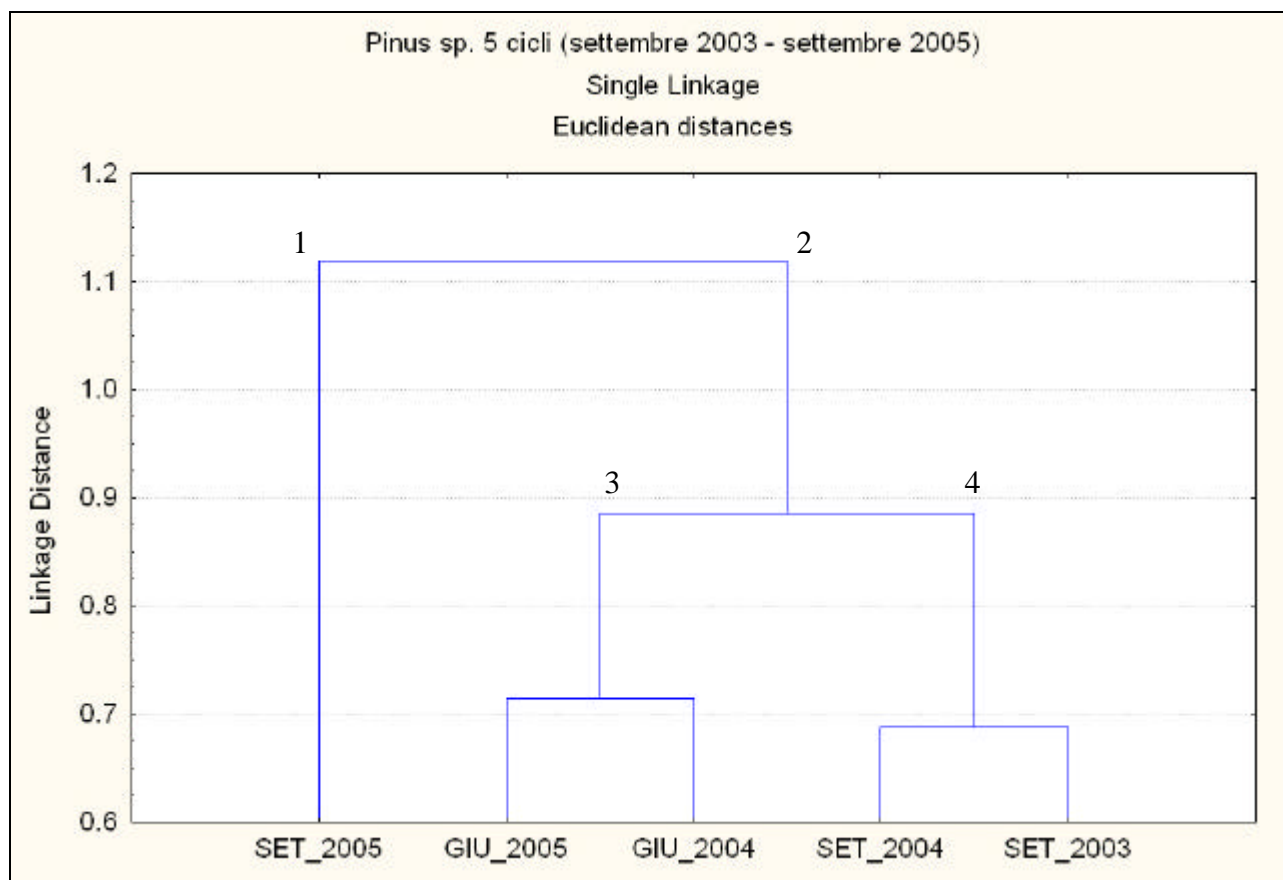


Figura 16 Dendrogramma per la cluster analisi dei cinque cicli di campionamento

Il dendrogramma riportato in figura 16 rappresenta la sintesi delle attinenze esistenti tra i diversi cicli di campionamento, ha lo scopo di evidenziare le relazioni reciproche che sono state registrate nei cinque cicli di campionamento e se esistono delle ripetizioni significative nei risultati.

Nel dendrogramma si evidenziano due cluster principali (1 e 2) e due sottocluster del cluster 2 (3 e 4); è particolarmente significativa l'associazione tra i campionamenti di settembre 2004 e settembre 2003 e, tra giugno 2005 e giugno 2004.

Questo tipo di associazione suggerisce che l'andamento delle concentrazioni degli elementi nelle stazioni di campionamento assume un comportamento ciclico legato alla stagione di studio. La separazione registrata per il periodo di settembre 2005 può essere dovuta al generale miglioramento registrato per questo ultimo ciclo.

11 - CONCLUSIONI

L'anno di gestione 2005 della Rete di Monitoraggio Biologico Integrato nel territorio circostante la Centrale termoelettrica ENEL di Termini Imerese, conclude un ciclo di studi iniziato nel settembre 2003 e che ha visto sviluppare cinque campagne di campionamento: settembre 2003, giugno 2004, settembre 2004, giugno 2005 e settembre 2005.

In funzione delle informazioni ottenute in questo ultimo anno di gestione (anno 2005) si può riconfermare quanto detto nelle precedenti campagne, ovvero, che l'andamento della qualità dell'aria non mostra particolari condizioni di alterazione o disturbo.

Infatti, rispetto al periodo di preregimentazione (durata sei mesi ottobre 2003 - marzo 2004) e al primo anno di gestione (anno 2004), non si sono registrati differenze particolari che possano indurre a pensare che lo stato di salute dell'ambiente sia nel complesso peggiorata.

In questo secondo anno di gestione, come già fatto per il precedente periodo, la rete di monitoraggio è stata adattata con biosensori erbacei attivi per il controllo di metalli pesanti in tracce (*Lolium italicum*) e per l'individuazione delle concentrazioni di ozono troposferico (*Ipomea rubro-cerulea*). Con lo scopo di raccogliere una maggior quantità di dati, più approfonditi e dettagliati, a partire da questo anno di gestione si è voluto integrare la rete con una sottorete strumentale composta da 6 stazioni di campionamento, le stesse utilizzate per il monitoraggio attivo. Grazie all'utilizzo del "Radiello" si sono potute ottenere informazioni sia qualitative che quantitative sulla presenza di ozono troposferico in atmosfera (Cfr § 3.6 e allegati 4-11).

Per questo anno di gestione conclusivo si conferma una tendenza generale alla diminuzione delle concentrazioni degli elementi e, solo in alcune tipologie di biosensori i valori registrati superano i valori di background⁷ conosciuti per l'Italia. È da sottolineare comunque che le concentrazioni medie dei diversi elementi rimangono sempre al di sotto dei valori naturali; solo in alcune stazioni di campionamento il valore massimo supera le concentrazioni naturali.

Tra gli elementi che hanno fatto registrare valori di concentrazione massimi al di sopra del limite di naturalità, si annoverano, l'arsenico nella campagna di campionamento di settembre, il nichel nel ciclo di campionamento di giugno e l'azoto in ambedue le

⁷ I valori di background, sono valori conosciuti per l'Italia, derivanti da centinaia di prelievi e di studi fatti sul territorio nazionale. Non devono essere intesi come valori soglia o limiti di naturalità, vengono utilizzati quando non sono conosciuti i limiti di naturalità per una determinata tipologia di biosensore.

campagna (giugno e settembre); per quest'ultimo si sono inoltre registrati valori medi pari al limite considerato naturale.

Per il *Pinus spp.*, unicamente nel campionamento eseguito nel mese di settembre, l'arsenico ha fatto registrare valori massimi al di sopra dei limiti naturali nelle stazioni n°6, n°9, n°10, n°11, n°12, n°17, n°20, n°22, n°25, n°26, n°27, n°30, n°34; nel primo campionamento (mese di giugno) i valori si sono tenuti nella norma in accordo il comportamento assunto da questo elemento in tutti gli altri cicli di indagine.

Il nichel ha fatto registrare i più alti "valori massimi" nel periodo di campionamento di giugno e nelle stazioni n°6, n°12, n°17, n°19 e n°30. Nel ciclo di campionamento eseguito a settembre i valori rientrano nella norma in tutte le stazioni di campionamento, l'andamento temporale assunto dal nichel nel 2005 risulta essere in linea con il comportamento assunto nell'anno di gestione precedente.

La concentrazione di azoto sul territorio oggetto di studio mostra, per alcune stazioni e per tutti e due i cicli di campionamento, solo alcuni valori massimi che superano i valori di naturalità.

Nella fattispecie, le stazioni interessate sono state le seguenti:

- campionamento condotto nel mese di giugno, n°2, n° 4, n° 8, n° 9, n° 12, n° 19, n° 30,
- campionamento condotto nel mese di settembre, n°2, n° 4, n° 8, n° 11, n° 13, n° 25.

Dal confronto con i risultati dell'anno precedente è interessante notare che le stazioni interessate diminuiscono come numero, è inoltre importante sottolineare che le concentrazioni medie per stazione rimangono sempre al di sotto dei limiti naturali e inferiori rispetto a quelle dell'anno precedente.

Probabilmente per la presenza sul territorio di colture agricole intensive (agrumeti, oliveti, mandorleti, carciofeti ecc.) si determinano condizioni di emissione di composti azotati dovuti alle concimazioni e, conseguentemente, alle azioni fotochimiche assai elevate nell'area di studio (cfr. paragrafo 5.1 dell' Analisi del territorio).

Se si analizzano singolarmente il resto degli elementi monitorati, si vede che nessuno di essi supera né in media né come concentrazione massima i valori considerati naturali e confrontando i due cicli di campionamento del pino, si denota una tendenza volta alla diminuzione di concentrazione.

Esaminando le mappe di dispersione, le matrici di correlazione, la *cluster analysis* e l'analisi spaziale, si può descrivere meglio e in più approfonditamente il comportamento assunto dai diversi elementi monitorati.

L'alluminio e lo zolfo in entrambi i periodi di campionamento (giugno e settembre 2005) hanno assunto una distribuzione spaziale pressoché costante nell'area di studio interessando porzioni di territorio simili.

I restanti elementi arsenico, cadmio, nichel, azoto, piombo e vanadio, invece si sono distribuiti sul territorio in modo disomogeneo nei due periodi di studio.

Il comportamento reciproco degli elementi per ogni ciclo di campionamento descritto nel paragrafo 8.4, denota una forte associazione tra nichel, piombo, vanadio e alluminio suggerendo patterns spaziali simili con un trend di distribuzione dalla zona nord-ovest della rete a quella sud-ovest.

Anche per le tre diverse tipologie di zolfo si denota una forte associazione e anche per questo elemento si evince un andamento spaziale simile con una distribuzione nella porzione più interna della rete. I restanti elementi come azoto e cadmio assumono comportamenti singolari non correlabili tra loro.

In accordo con quanto scritto da (NIMIS P.L., SKERT N. CASTELLO M.), l'esistenza di una certa correlazione tra l'alluminio e gli altri elementi lascia pensare ad una forte influenza della componente terrigena sulla contaminazione del campione, essendo tale elemento un metallo di origine terrigena.

I risultati ottenuti con l'impiego dei biosensori attivi hanno supportato e confermato i risultati conseguiti mediante l'utilizzo dei biosensori passivi, restituendo però informazioni più dettagliate sulla variazione mensile della concentrazione e della dispersione degli elementi sul territorio.

Dal monitoraggio attivo è emerso che la stazione che la stazione n°3 (Il Santo) è quella che ha mostrato una maggiore situazione di disturbo, dove si sono riscontrate le maggiori concentrazioni di azoto, nichel e zolfo. Concentrazioni che comunque rimangono sempre al disotto dei limiti naturali (Cfr. § 6.2).

La stazione n° 1 (Monte San Calogero) è quella in cui si sono registrate le maggiori concentrazioni di alluminio e piombo, in accordo con quanto emerso nella campagna di studio 2004; l'associazione di questi due elementi, confermata anche dalla cluster

analysis, può indicare una provenienza simile degli elementi, legata altresì alla composizione chimica del terreno.

Le maggiori concentrazioni di arsenico si sono verificate nella stazione n° 4 "Sciara" e nella stazione n° 1 (Monte San Calogero), raggiungendo gli stessi valori di concentrazione ottenuti nel 2004. Dal confronto dei due anni di gestione si manifesta un'ipotetica ciclicità nella variazione della concentrazione di arsenico nei diversi mesi, infatti, in entrambi gli studi il mese in cui si registrano i maggiori valori è il mese di agosto, questo spiega anche la maggiore concentrazione di arsenico registrata nei biosensori passivi nel ciclo di campionamento di settembre 2005.

I risultati ottenuti dal monitoraggio dell'ozono (*cf.* § 7.2) suggeriscono che la stazione 1 "Monte San Calogero" è quella che ha fatto registrare le maggiori concentrazioni di ozono nei primi tre periodi di campionamento (maggio-giugno-luglio), mentre nei due successivi periodi (agosto-settembre) è la stazione 3 "Sciara" a restituire i valori maggiori.

Questo comportamento può essere imputabile alla peculiare posizione della stazione 1 "Monte San Calogero" e alle particolari condizioni climatiche verificatesi questo anno nell'area di studio.

Dall'indagine condotta sull'ozono troposferico appare subito evidente che esiste un comportamento naturale "gaussiano", con un trend che segue l'andamento stagionale delle temperature.

Anche se il 2005 ha visto l'introduzione di una nuova stazione di campionamento il comportamento mensile non risulta variare nel tempo, inoltre, uno specifico studio volto a mettere in relazione la distanza delle Centrale Termoelettrica con i risultati ottenuti, lascia intendere che la presenza di ozono nell'area di studio non è direttamente legata alla presenza del comparto termoelettrico insistente sul territorio.

Alla luce dei risultati oggi ottenuti è infine importante sottolineare che, confrontando i valori registrati nelle stazioni di campionamento passive e attive con quelli registrati nelle stazioni poste in aree di bianco/confronto, le differenze esistono ma non sono così significative da fare pensare ad una marcata e sostanziale differenza della qualità dell'aria in zone di tutela (aree scelte per l'installazione delle stazioni di bianco -allegato 3-) e in zone considerate con forte pressione antropica.

Non deve essere però tralasciato che due anni e mezzo di monitoraggio non possono assolutamente essere considerati sufficienti per poter disporre di una base dati esaustiva. La sintesi e l'indagine evolutiva (CAP. 10) a cui sono stati sottoposti i dati rappresentano una situazione reale, rispecchiando lo stato di salute dell'ambiente e delle sue variazioni, ma purtroppo rimane un'informazione limitata nel tempo.

Per avere un quadro d'indagine più ampio e approfondito e per ottenere un continuum storico dello studio, risulta di fondamentale importanza procedere con ulteriori indagini di monitoraggio ambientale nel territorio circostante la Centrale Termoelettrica di Termini Imerese. Così come suggerito nel progetto iniziale sarebbe sensato prevedere anche un ampliamento della rete, in tal modo si potrebbe tracciare un quadro maggiormente dettagliato dell'area analizzata, e disporre di una più completa gamma di informazioni sul territorio, utili a conoscerne le caratteristiche ambientali di alterazione e indispensabili per la programmazione delle più idonee misure di tutela.

Osservando attentamente il ventaglio di elementi monitorati si nota che questo è costituito da elementi chimici eterogenei con caratteristiche fisico-chimiche molto diverse tra loro. Le proprietà intrinseche degli elementi chimici causano una diversa circolazione degli stessi, basti pensare alla massa o al peso atomico di un elemento per capire come questa può influenzare la distribuzione spaziale a breve o grande distanza (es. Pb peso atomico 207, zolfo 32). Alla luce di queste considerazioni sarebbe importante condurre indagini integrate che interessino la chimica degli elementi e l'interazione di questi con le caratteristiche meteorologiche e orografiche del territorio per giungere alla formulazione di modelli matematici di ricaduta; questi modelli "predittivi" permetterebbero di ottimizzare gli studi di biomonitoraggio, suggerendo una distribuzione "ad hoc" delle stazioni verso porzioni di territorio mirate, mantenendo comunque un continuum spaziale.

Una nuova frontiera si sta oggi aprendo sul biomonitoraggio, grazie all'analisi dei risultati ottenuti da un'attività di monitoraggio biologico integrato con la VTA (Visual Tree Assessment) e relazionato con le caratteristiche meteorologiche, orografiche e antropiche (viadotti, dighe, ponti ferroviari, ecc.) condotto sul territorio aspromontano, è emerso che la dinamicità degli elementi è condizionata da una serie di aspetti naturali e non, che ne influenzano la concentrazione e la distribuzione. Questo ha permesso di sviluppare modelli diffusionali bidimensionali e tridimensionali.

Allo stesso proposito è importante sottolineare che aumentando i cicli di campionamento per lassi di tempo più brevi si ottiene una risposta più dettagliata e approfondita sullo stato di salute del territorio.

Bibliografia

- ADRIANO D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer New York
- ALLEGRI I., 1991. Qualità e caratteristiche dell'atmosfera. In: Deposizioni acide; i precursori; l'iterazione con l'ambiente e i materiali. A cura di Morselli L., Maggioli editore, Rimini.
- ARMITAGE P. (1971), Statistical Methods in Medical Research, Blackwell Scientific Publications.
- BARUFFO L. TETRIACH M (2001), Disposizione di metalli nella pedemontana Pordenonese. Provincia di Pordenone Assessorato all'ambiente.
- CAGLIOTTI L. 1979. I due volti della chimica. Benefici e rischi. Ed. Mondadori Milano
- COLBECK I., MACKENZIE A.R., 1994. Air pollution by photochemical oxidants. Elsevier, Amsterdam.
- DEL RIO M., FONT R., ALMELA C., VALEZ D., MONTORO R., DE HARO BAILON A.: Heavy metals and arsenic uptake by wild vegetation in the guadiamar river area after the toxic spill of the aznalcollar mine. *Journal of biotechnology* 98 (2002)
- DERWENT R.G., APLING A. J., ASHMORE M.R, BALL D.J., CLARK P., COCKS A.T., COX R.A., FOWLER D., GAY M., HARRISON M.R., JENKINS G.J., KAY P.J.A., LAXEN D.P.H., MARTIN A., McKENNA D., PENKETT S.A., WILLIAMS M.L., WOODS P.T., 1987. Ozone in the United Kingdom. Department of Environment & Department of Transport, London.
- DONGARRÀ G., OTTONELLO D., SABATINO G., TRISCARI M., 1996 – Preliminary data on heavy metal content in lichens from North Eastern Sicily. *Miner. Petrog. Acta* 37: 141-153 (1994).

- DONGARRÀ G., OTTONELLO D., VARRICA D., SIRONE A., TRISCARI M., SABATINO ,
1997 Determinazione di inquinamento da metalli pesanti in prossimità di aree
industriali mediante metodi biogeochimici. Giornate di studio: progettare la qualità
dell'aria. Lipari (ME) 2527 settembre 1997.
- HECK W.W., TAYLOR O.C., TINGEY D.T., 1988. Assesment of crop loss from air
pollution. London: Elsevier Applied Science.
- KRUPA S. V., GRUNHANGE L., JAGER H-J., NOSAL M., MANNING W.J., LEGGE A. H.,
HANEWALD K., 1995. Ambient ozone (O₃) and adverse crop response: a unfied view of
cause and effect. Environmental Pollution 87: 119-126.
- FLOCCIA M., GISOTTI G. & SANNA M., 1985. Dizionario dell'inquinamento: cause, effetti,
rimedi e normativa. Ed. NIS
- FREEDMAN D., PISANI R., PURVES R., MCGRAW-HILL, Statistica, Milano, 1998
- FUHRER J., GRANDJEAN GRIMM A., TSCHANNEN W., SHARIAT-MADARI H., 1992.
The response of sprng wheat (*Triticum aestivum* L.) to ozone at higher elevations.
II. Changes in yeld, yeld components and grain quality in response to ozne
fux. New Phitol. 121: 211-219.
- FUMAGALLI I., GIMENO B. S., VELISSARIOU D., DE TEMMERMAN L., MILLS G., 2001.
Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region.
Atmospheric Environment 35: 2583-2587.
- GIMENO B.S., BERMEJO V., REINERT R.A., ZHENG Y., BARNES J.D., 1999a. Adverse
effects of ambient ozone on watermelon yield and physiology at a rural site in
Eastern Spain. New Phytologist 144, 245-260.
- GRAYBILL, F.A. (1976), Theory and Applications of the Linear Model, North Scituate, MA:
Duxbury Press.
- JOHN, P. (1971) Statistical Design and Analysis of Experiments, New York: Mac Millan
Publishing Co.

- LINDT T.J.***, T.J., Fuhrer, J. & Stadelmann, F.X. (1990): Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen. Schriftenreihe der FAC Nr. 8. Liebefeld-Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene.
- LORENZINI G., 1996. Effetti dell'ozono sulla vegetazione. Biologi Italiani (Organo ufficiale dell'Ordine Nazionale dei Biologi) 26(3):11-16.
- LORENZINI G., SCHENONE G., 1995. The process of setting air quality standards for atmospheric ozone to protect the vegetation. Response of plants to air pollution. Agricoltura Mediterranea, speciale volume: pp.346-350.
- MARKERT B.*** (1992) Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the organic plant, and consequences for future investigation of inorganic environmental chemistry in ecosystems. Vegetatio 130, p: 1-30.
- MARKERT B. (1992) Establishing a "reference plant" for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. Water Air Soil Pollut., 64: 533 – 538.
- MARCKERT B. (1993) Plants as biomonitors – Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.
- MC DOWALL F.D.H., VICKERY L.S., RONECLES V.C., PATRICK Z.A., 1963. Ozone damage to tobacco in Canada. Can. Plant Dis. Survey, 43:131-151.
- MONHEN V.A., 1991. Il problema delle piogge acide. Le scienze , quaderni; no.58.
- NARDONE G., OTTONELLO D., D'ANGELO E., CUSIMANO D. 2005 Biomonitoraggio di elementi in traccia mediante l'utilizzo di licheni come bioaccumulatori nell'area urbana di Palermo XV Congresso nazionale S.I.T.E -Torino 12-14 settembre 2005 –

- OJAMPERA K., PATSIKKA E., YLARANTA T., 1998. Effects of low ozone exposure of spring wheat on net CO₂ uptake, Rubisco, leaf and hypocotyl. *Plant and Cell Physiology* 37: 790-799.
- OWEN S., BOISSARD C., STREET R. A., DUCKHAM S.C., CSIKY O. AND HEWITT C.N., 1997. Screening of 18 mediterranean plant species for volatile organic compound emissions. *Atmospheric Environment*, 31 (SI): 101-117.
- NIMIS P.L., BARGAGLI R., Linee guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. – Proc. Workshop Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale. Roma 1999.
- PARKER R. Introduzione alla statistica per la Biologia Ed. Edagricole, Bologna, 1990
- PROTOCOLLO ICP Vegetation UN/ECE 2003.
- REICH P.B., 1987. Quantifying plant response to ozone: a unifying theory. *Tree Physiology*, 3:63-91.
- RISS A.****, A., Schwarz, S., Benetka, E. & Rebler, R. (1990): Schwermetalle und Grünlandaufwuchs in der Umgebung einer Kupferhütte in Brixlegg/Tirol. in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Einträge, Bewertung, Regelungen. Düsseldorf: VDI Berichte 837, 209-223.
- SCHENONE G., FUMAGALLI I., MIGNANEGO L., MONTINARO F., SOLDATINI G. F., 1994. Effects of ambient air pollution in open-top chambers on bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *New Phytol.* 126:309-315.
- SIEGEL S., Castellan N.J. Jr. (1988), *Non Parametric Statistics for the Behavioural Sciences*, Mc Graw Hill.

SOFIEV M. & TUOVINEN J-P., 2001. Factors determining the robustness of AOT40 and other ozone exposure indices. *Atmospheric Environment* 35, 3521-3528.

TRESHOW M. & ANDERSON F.K., 1991. *Plant Stress from Air Pollution*. John Wiley & Sons, Chichester.

WANTA R.C., MORELAND W.B., HEGGESTAD H.E., 1961. Tropospheric ozone: An air pollution problem arising in the Washington D.C. metropolitan area. *Monthly Weather Rev.*, 89: 289-296.

WIRTH VOLKMAR, *Oekologische Kennzeichnung und Bestimmung der Flechten Suedwestdeutschlands und angrenzender Gebeite*. UTB ULMER, Stuttgart, 1980, pp. 552.