



Dipartimento di Trieste



Provincia di Trieste

**MONITORAGGIO
DI IPA AERODISPERSI
NELLA PROVINCIA DI TRIESTE
TRAMITE MOSS-BAGS E
QUADRELLI
COME ACCUMULATORI
RELAZIONE 2007**

Nordio MIANI

Nicola SKERT

Luigi GIORGINI

Jari FALOMO

Roberto GRAHONJA

INDICE

1. RIASSUNTO	3
2. INTRODUZIONE	3
2.1 Premessa	3
2.2. Caratteristiche chimico-fisiche degli IPA	4
2.3. Le piante come bioaccumulatori di IPA	4
3. AREA DI STUDIO E STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO	7
4. MATERIALI E METODI	10
4.1 Caratteristiche delle matrici utilizzate nell'indagine	10
4.1.1. Muschi	10
4.1.2 Dacron®	10
4.2 Preparazione dei campioni	11
4.2.1. "Moss bags"	11
4.2.3. "Quadrello"	11
4.3 Allestimento dei campioni	11
4.4. Analisi chimiche	12
4.4.1. Estrazione	12
4.4.2. Analisi in HPLC (High Pressure Liquid Chromatography)	12
4.4.3. Elaborazione dei dati	13
4.4.4. Interpretazione dei dati	13
5. RISULTATI	15
5.1 Acenaftene (Nome IUPAC: Acenaftene)	20
5.2 Fluorene (Nome IUPAC: 9H-Fluorene)	21
5.3 Fenantrene (Nome IUPAC: Phenanthrene)	23
5.4 Antracene (Nome IUPAC: Anthracene)	26
5.5 Fluorantene (Nome IUPAC: Fluoranthene)	28
5.6 Pirene (Nome IUPAC: Pyrene)	30
5.7 Benzo(b)fluorantene (Nome IUPAC: Benzo[b]fluoranthene)	32
5.8 Benzo(k)fluorantene (Nome IUPAC: Benzo[k]fluoranthene)	34
5.9 Benzo(a)pirene (Nome IUPAC: Benzo[a]pyrene)	36
5.10 Dibenzo(ah)antracene (Nome IUPAC: Dibenzo[a,h]anthracene)	38
5.11 Benzo(ghi)perilene (Nome IUPAC: Benzo[ghi]perylene)	40
5.12 Indeno(123cd)pirene (Nome IUPAC: Indeno[123cd]pyrene)	42
5.13 Carico totale	44
7. CONCLUSIONI	48
8. BIBLIOGRAFIA	49

1. RIASSUNTO

Si riportano i risultati di uno studio di monitoraggio ambientale sperimentale tramite accumulatori biologici e artificiali di IPA aerodispersi. Sulla base di studi pregressi, come matrice biologica è stato scelto il muschio, come artificiale il dacron, nome commerciale di una fibra poliestere. Il monitoraggio è stato esteso su tutto il territorio della Provincia di Trieste per un totale di 21 stazioni di campionamento, scegliendo una strategia di campionamento di tipo sistematico. I risultati individuano una generale migliore capacità di accumulo del dacron rispetto al muschio, seppur con qualche eccezione. Per quanto concerne il monitoraggio, sono stati individuati i pattern diffusionali di 13 IPA su tutto il territorio studiato. E' stato inoltre elaborato un primo approccio di interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

2. INTRODUZIONE

2.1 Premessa

Per Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) si intende una famiglia di circa 660 composti accomunati da una struttura molecolare a due o più anelli aromatici (benzenici) condensati. Sono costituiti essenzialmente da idrogeno e carbonio seppur occasionalmente possano includere azoto, cloro, ossigeno e zolfo (composti eterociclici aromatici). Essi originano dalla combustione incompleta o dal cracking di carburanti organici sia di origine naturale che antropica. Eruzioni vulcaniche ed incendi boschivi rappresentano le principali fonti di emissione naturali di IPA, mentre quelle antropiche derivano da attività industriali, di trasporto, riscaldamento domestico. Negli ultimi 100 anni la loro concentrazione nella biosfera (acqua, aria, suolo) è in continuo aumento (Jones et al., 1989) e questo incremento è imputabile alle emissioni antropiche. Dal momento che molti di questi composti e loro derivati si sono recentemente rivelati cancerogeni e mutagenici (Denissenko et al., 1996), diventa impellente individuare efficaci misure di controllo e abbattimento di queste emissioni. Da alcuni anni si stanno sviluppando in molti paesi industrializzati applicazioni tecniche e normative in grado di far fronte a questo problema sanitario emergente, obbligando ad esempio l'impiego esclusivo di automobili catalizzate. Infatti secondo Rogge et al. (1993), le vetture non catalizzate emettono una quantità di IPA quasi trenta volte superiore alle vetture dotate di questo dispositivo.

Al fine di incrementare il controllo della distribuzione e deposizione di queste sostanze, si stanno individuando metodiche di monitoraggio sia tramite matrici artificiali che biologiche in qualità di accumulatori di IPA. Queste permettono di individuare aree a rischio, eventuali hot spots e patterns di deposizione anche a lunga distanza da un'eventuale fonte emittente, nonché di indirizzare eventuali politiche di abbattimento delle emissioni. Le matrici biologiche presentano diversi vantaggi rispetto alle matrici artificiali attualmente in uso quali a) costi più contenuti, b) minore o nulla manutenzione, c) non richiedono allacciamenti elettrici, d) consentono un'alta densità di punti di misurazione.

E' in questa ottica che si inserisce il seguente studio, volto a saggiare la capacità di applicazione di matrici biologiche e sintetiche quali accumulatori di IPA aerodispersi.

La presente ricerca è maturata nel corso di uno studio articolato in più anni, di cui in primi risultati sono stati pubblicati da Skert et al. (2006). Nelle prime fase del lavoro è stata comparata la capacità di accumulo di due matrici biologiche (aghi di pino e muschio) e una artificiale (dacron). Lo studio successivo si è focalizzato solo sulle matrici che hanno fornito i risultati più promettenti, ovvero escludendo gli aghi di pino. I dati di accumulo delle due matrici sono stati confrontati con quelli ricavati da due campionatori attivi di IPA utilizzati dall'ARPA FVG – Dipartimento di Trieste, per le sue routinarie campagne di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. I dati sono stati sottoposti a diverse analisi statistiche quali test di regressione lineare, di ripetibilità, di significatività statistica e analisi multivariata. I risultati indicano che le due matrici, seppure con differenti capacità di accumulo, mostrano una significativa coerenza statistica con i dati ricavati dai campionatori attivi. Lo studio di seguito riportato rappresenta la fase conclusiva della sperimentazione, in cui il campionamento è stato esteso su tutto il territorio della Provincia di Trieste al fine di verificare quali pattern diffusionali individuano le due matrici, nonché elaborare una prima, seppur ancora imprecisa, scala di interpretazione dei dati in termini di rischio ambientale.

2.2. Caratteristiche chimico-fisiche degli IPA

Gli IPA si possono trovare in natura sia in fase solida che in vapore in relazione alla temperatura ed alla pressione di vapore ambientale. Generalmente, ad una temperatura di 25°C, IPA costituiti da tre anelli benzenici (quali fenantrene e antracene) si trovano prevalentemente in fase vapore, IPA a 4-5 anelli (quali pirene, fluorantene e benzo[a]pyrene) si distribuiscono tra le due fasi, mentre IPA da 6 anelli in su (quali antanantrene e coronene) si trovano quasi esclusivamente in fase solida (Yamasaki et al., 1982). La pressione di vapore degli IPA varia di un ordine di grandezza per ogni cambio di temperatura pari a 15°. Questo implica che ad elevate temperature, caratteristiche dei periodi estivi, anche IPA pesanti quali il benzo[a]pyrene si possono trovare in fase di vapore, mentre alle basse temperature invernali gran parte degli IPA leggeri volatili si cristallizzano passando allo stato solido. Gli IPA presenti in atmosfera tendono a legarsi al particolato atmosferico con diametro inferiore ai 3 µm (Lane, 1989). In assenza di deposizioni umide queste particelle possono rimanere sospese in atmosfera per parecchi giorni (da 4h ai 40 giorni; Eswea & Corn, 1971) e presentano pattern di distribuzione e deposizione molto estesi.

Gli IPA sono estremamente sensibili alla luce ed assorbono sia negli UVa che UVb, subendo due tipologie di reazioni fotochimiche: fotosensibilizzazione e fotodegradazione. Nella prima si formano radicali liberi (ad esempio superossidi), ovvero sostanze chimicamente molto reattive e pericolose per la salute umana, nella seconda gli IPA subiscono profonde mutazioni strutturali dando origine a composti di degradazione la cui tossicità è in fase di studio.

2.3. Le piante come bioaccumulatori di IPA

Una delle maggiori vie naturali di rimozione degli IPA dalla biosfera è rappresentata dalle piante, come dimostrato dal gruppo di ricerca di Simonich & Hites (1994a,b, 1995). Essi infatti, studiando le emissioni di dieci IPA e il loro accumulo in 147 campioni di suolo e vegetazione nel N-E degli USA, hanno stimato che circa il

50% degli IPA emessi in atmosfera vengono rimossi dalla vegetazione locale, 5-10% si deposita direttamente sul suolo o nelle acque superficiali, circa il 41% degrada (presumibilmente per fotolisi) o finisce nella circolazione atmosferica a grande scala. Da numerosi studi è emerso che il compartimento di maggior accumulo di IPA nelle piante è costituito dalle foglie. Queste infatti sono rivestite da uno strato extracellulare (cuticola) costituita essenzialmente da cutina (un biopolimero insolubile) e da lipidi simil-cerosi che rallentano fortemente la perdita passiva di acqua dalla pianta. Questo strato è fortemente lipofilo ed è quindi in grado di legare sostanze organiche apolari aerodisperse quali, appunto, gli IPA.

Il destino metabolico degli IPA assimilati dalle piante è ancora incerto e non approfonditamente studiato, tuttavia ci si aspetta una risposta cellulare simile a quella riservata ad altri xenobiotici. Le piante, riconoscendo gli IPA come composti estranei al loro organismo, reagiscono attraverso diversi processi metabolizzanti quali reazioni redox, reazioni di coniugazione con amminoacidi, oligopeptidi o esosi. Una volta metabolizzate, le sostanze xenobiotiche degradate vengono escrete dal citoplasma, attraverso proteine di trasporto, ed accumulate nei vacuoli. Il ruolo delle radici nell'assorbimento e traslocazione degli IPA dal suolo ai vari compartimenti della pianta è incerto e pare sia substrato- e specie-specifico. Dallo studio di Reilley et al. (1996) è tuttavia emerso che IPA caratterizzati da almeno tre anelli benzenici vengono fortemente sequestrati dal materiale organico lipofilo del suolo o dai componenti lipidici delle radici. In quest'ultimo caso, si è dimostrato che la traslocazione di IPA con quattro o più anelli benzenici al comparto fogliare è assolutamente trascurabile (Sims & Overcash, 1983; Thomas et al., 1984; Edwards, 1988; Wild & Jones, 1991).

Nell'ultimo decennio molti ricercatori hanno focalizzato la loro attenzione sulla possibilità di utilizzare le piante come bioaccumulatori di IPA nel campo del biomonitoraggio dell'inquinamento dell'aria. La maggiore difficoltà è consistita nel trovare la pianta ottimale da utilizzare in studi routinari di controllo. Infatti la capacità di accumulo di IPA da parte delle piante, ed in particolare dalle foglie, è un fenomeno strettamente specie-specifico ed è legato alle seguenti variabili chimico-fisiche:

1. *Concentrazione di lipidi.* Maggiore è la concentrazione di sostanze apolari nella pianta, maggiore sarà la sua capacità di accumulare sostanze lipofile.
2. *Area della superficie fogliare.* Maggiore è la superficie totale delle foglie, maggiore risulta il tasso di intercettazione e accumulo di IPA aerodispersi. L'Indice di Area Fogliare (LAI= Leaf Area Index, Salisbury & Ross 1992), valuta il rapporto tra superficie fogliare totale della pianta e superficie del suolo occupata dalla stessa. L'uso di questo indice permette di comparare i tassi di accumulo tra specie diverse.
3. *Stato di fase degli IPA.* Generalmente IPA in fase gassosa vengono accumulati dalle foglie più facilmente di quelli in fase solida (Nakajima et al., 1995; Simonich & Hites, 1994b).
4. *Clima.* Come precedentemente accennato la temperatura gioca un ruolo fondamentale nella ripartizione degli IPA in fase solida o di vapore. Generalmente il calore può diminuire la capacità di accumulo delle foglie dal momento che gli IPA più leggeri possono rivolatizzarsi in atmosfera (Ignesti et al., 1992; Franzaring et al., 1992; Lodovici et al., 1994-1998; Simonich & Hites, 1994b; Nakajima et al., 1995; Khun et al., 1998). Solo gli IPA caratterizzati da molti anelli benzenici ed alto peso molecolare,

possedendo una maggiore affinità per il particolato atmosferico, non sono temperatura-dipendenti e non tendono a venire rilasciati dalle foglie una volta accumulati attraverso deposizioni secche (Simonich & Hites, 1994b).

Sulla base di queste considerazioni ricercatori di tutto il mondo hanno sperimentato numerose piante come potenziali bioaccumulatori di IPA. Nella loro esauriente review Slaski et al. (2000), comparando 16 diversi potenziali bioaccumulatori, individuano negli aghi di pino e nei muschi gli organismi più adatti per studi di biomonitoraggio di IPA aerodispersi. Questa affermazione è stata tuttavia parzialmente smentita dallo studio di Skert et al. (2006), dal quale si evidenzia una scarsa capacità di accumulo da parte dell'ago di pino.

3. AREA DI STUDIO E STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO

Il territorio considerato nello studio corrisponde alla parte centrale della Provincia di Trieste. La Fig. 1 mostra l'area di studio con indicate le posizioni delle 21 stazioni di campionamento della Rete Sperimentale per lo studio di accumulo di IPA. Tale rete è perfettamente sovrapposta a quella per il rilevamento della Biodiversità Lichenica (Skert et al. 2006), costituita da 31 stazioni di rilevamento distribuite su tutto il territorio provinciale, in modo tale da poter eventualmente incrociarne i dati. Per facilitarne il confronto è stata conservato il medesimo criterio di numerazione delle stazioni. In Tab. 1 si riporta una breve descrizione topografica delle stazioni e le coordinate di riferimento espresse in UTM (WGS 84).

Da un punto di vista geomorfologico e di sfruttamento del territorio, l'area di studio può venire suddivisa in due distretti principali:

- a) l'altopiano carsico, che dai 300 m di altitudine degli abitati di Gropada e Padriciano, si innalza progressivamente verso Est, raggiungendo i 565 m in corrispondenza del M. Cocusso. L'altopiano carsico, caratterizzato da substrato calcareo, è oggi largamente occupato da una boscaglia dominata da specie submediterranee e centroeuropee. Sono presenti piccoli centri urbani e numerose arterie stradali, rilevanti o secondarie;
- b) la conca di Trieste comprende l'area urbana periferica residenziale e la zona industriale del capoluogo, il porto e altre frazioni minori del comune di Trieste e S. Dorligo. La parte costiera pianeggiante presenta elevazioni inferiori ai 100 m, ed è circondata da una serie di rilievi precarsici; il substrato prevalente è il Flysch arenaceo-marnoso;

Dal punto di vista climatico l'area di studio presenta un clima di transizione tra il tipo mediterraneo e quello continentale-prealpino, caratterizzato da inverni piuttosto piovosi, da estati relativamente secche, e da una estrema fugacità delle stagioni di trapasso (primavera e autunno). La piovosità cresce rapidamente dalla costa verso l'interno; pur mantenendosi su valori abbastanza elevati (ca. 1000 mm all'anno presso la costa, sino a 1600 mm nelle stazioni più interne del Carso Triestino) essa viene contrastata dalla grande percolabilità dei substrati calcarei e dal vento freddo e secco di Bora. Mentre il clima della zona costiera è essenzialmente marittimo-mediterraneo, quello dell'altopiano presenta caratteri di maggiore continentalità.

Per quel che riguarda il grado di antropizzazione, l'area di studio si caratterizza per una situazione estremamente dinamica e diversificata: da un lato l'altopiano carsico, un tempo sfruttato intensamente per il pascolo e, in misura minore, per l'agricoltura, è oggi soggetto ad un rapido processo di rimboschimento naturale che tende a sostituire la landa carsica di origine antropozoogena. Per quanto quest'area sia intersecata da numerose vie di scorrimento (ferrovie, autostrada, una fitta rete viaria, oleodotto), essa pur tuttavia mantiene in molte parti caratteri di spiccata naturalità. Gli insediamenti industriali propriamente detti sono scarsissimi e gli insediamenti urbani sono in genere di piccole dimensioni. La situazione cambia rapidamente nella conca di Trieste, che risulta invece fortemente urbanizzata, anche se nell'area industriale si ha uno scarso insediamento di industrie di trasformazione, e quindi di potenziali fonti emittenti sostanze inquinanti.

La strategia di rilevamento degli IPA è di tipo sistematico e ricalca la Rete Provinciale di rilevamento della IBL (Indice di Biodiversità Lichenica), in modo tale da

poter eventualmente confrontare i dati stazionali e la loro interpretazione in termini di alterazione ambientale.. Sono state individuate 21 stazioni di rilevamento localizzate nel territorio come da Fig. 1. Il campionamento è stato eseguito tra gennaio e febbraio 2007, per un periodo di esposizione dei campioni pari a 3 settimane.

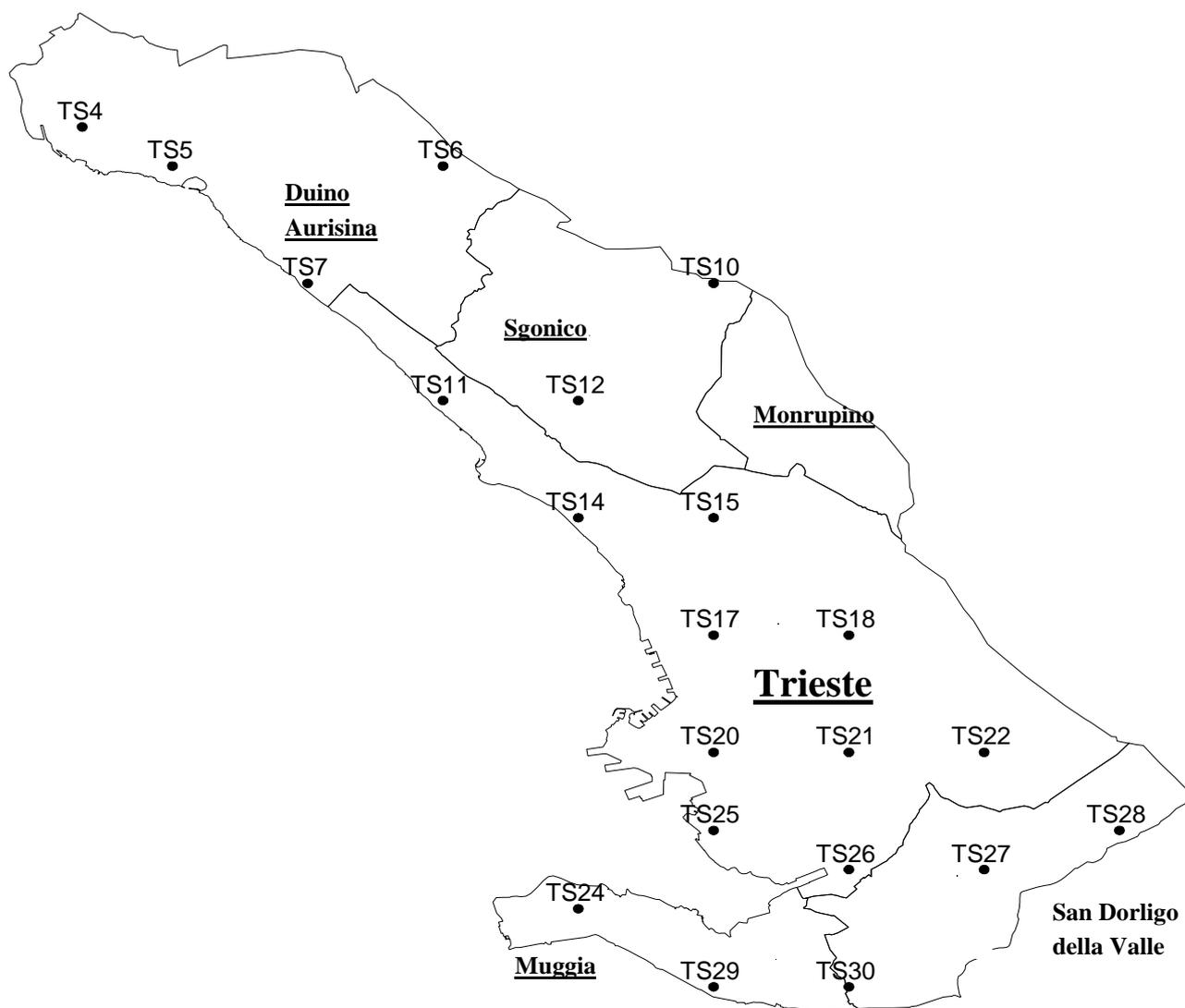


Fig. 1. Localizzazione delle stazioni di rilevamento di IPA nella Provincia di Trieste tramite muschio e dacron® come accumulatori.

Stazione	Località - Comune	Longitudine	Latitudine	Alt
4	Villaggio del Pescatore – Duino Aurisina	391000	5071000	27
5	Sistiana – Duino Aurisina	393000	5070000	54
6	San Pelagio – Duino Aurisina	399000	5070000	220
7	Costiera – Trieste	396000	5067000	75
10	Monte Lanaro – Sgonico	405000	5067000	450
11	Santa Croce – Trieste	399000	5064000	96
12	Prosecco – Trieste	402000	5064000	220
14	Barcola – Trieste	402000	5061000	59
15	Opicina – Trieste	405000	5051000	302
17	Roiano – Trieste	405000	5058000	151
18	Area di Ricerca Padriciano – Trieste	408000	5058000	387
20	Piazza Garibaldi – Trieste	405000	505500	43
21	Rozzol – Trieste	408000	505500	180
22	Basovizza – Trieste	411000	505500	360
24	Zindis – Muggia	402000	505100	100
25	Servola – Trieste	405000	505300	8
26	Zona industriale – Trieste	408000	505200	10
27	Dolina – San Dorligo della Valle	411000	505200	66
28	Draga sant’Elia, Pesek – San Dorligo della Valle	414000	505300	434
29	Santa Barbara – Muggia	405000	504900	208
30	Valle delle Noghère – Muggia, S. Dorligo della V.	408000	504900	5

Tab. 1 Stazioni di campionamento utilizzate per il monitoraggio di IPA. Alt= altitudine s.l.m., Coordinate geografiche espresse in UTM (WGS 84)

4. MATERIALI E METODI

4.1 Caratteristiche delle matrici utilizzate nell'indagine

4.1.1. Muschi

L'utilizzo di muschi come bioaccumulatori di metalli è di lunga data e risale al 1969 (Rühling & Tyler, 1969), ma solo nell'ultima decade sono stati sviluppati studi metodologici ed applicativi per il loro utilizzo come accumulatori di IPA. I motivi principali per cui i muschi sono buoni bioaccumulatori sono i seguenti:

- 1) *Non possiedono un apparato radicale*, di conseguenza vivono praticamente di sostanze aerodisperse.
- 2) *Possiedono un notevole rapporto superficie/massa* (1,6 m²/g) agendo da filtratori dell'aria (Darlington et al., 2001).
- 3) *Possiedono un forte fattore di accumulo* rispetto ad altri biomonitori in relazione alle deposizioni umide.

Per quanto concerne la capacità di accumulo di IPA, è da sottolineare che i muschi sono dotati sia di pochi lipidi (<1%) che di una massa organica molto ridotta. Questo implica una maggiore velocità di saturazione dei comparti di accumulo, assimilabile ad un mese di esposizione circa (Knulst et al., 1995). Ne consegue che i muschi possono essere considerati ottimi bioaccumulatori di IPA solo nel breve periodo, perdendo le informazioni per periodi prolungati di esposizione. Il problema è stato risolto nel 1992 da Wegner et al. (1992), i quali proposero l'utilizzo dei muschi come "moss bags", ovvero come biomonitori alloctoni da posizionare in una reticella di nylon trasportabile in qualsiasi sito oggetto di studio. Questi, dopo un periodo di esposizione non superiore alle tre settimane, vengono rimossi ed analizzati fornendo informazioni sulla effettiva concentrazione degli inquinanti oggetto di studio nel periodo di esposizione. Il metodo fornisce informazioni su fenomeni di esposizione acuta nel breve periodo (tre settimane), e possono essere collocati in luoghi dove non sono presenti biomonitori autoctoni.

Nel presente studio come bioaccumulatore è stato scelto *Hypnum cupressiforme*, specie di muschio già ampiamente utilizzata come accumulatore di metalli grazie alla sua ampia diffusione sul territorio italiano.

4.1.2 Dacron®

Il dacron® è il nome commerciale di una fibra poliestere (polietilene tereftalato, Fig. 2), impiegata nella fabbricazione di vele, cavi, cime, filtri dell'aria, imbottiture ecc.

Le fibre poliestere e derivati possiedono delle caratteristiche chimico-fisiche che le rendono particolarmente adatti come dispositivi di accumulo passivo di IPA aerodispersi. Grazie alla loro struttura di filtro sono in grado di intrappolare le polveri che rappresentano i maggiori veicoli di diffusione di IPA. Le proprietà termostatiche in particolare del dacron® favoriscono l'intrappolamento delle polveri nel tessuto polimerico. Inoltre le fibre poliestere e derivati, in particolare il dacron®, possiedono una notevole stabilità chimica-fisica e sono poco o nulla reattivi nei confronti degli IPA.

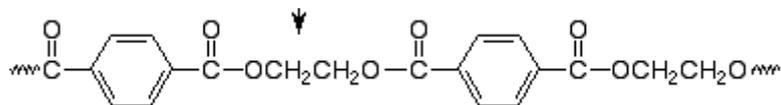


Fig. 2: formula di struttura del polietilentereftelato (dacron®)

4.2 Preparazione dei campioni

4.2.1. “Moss bags”

Il muschio è stato raccolto sull’altopiano carsico triestino, presso la località di Basovizza, in una zona boschiva lontana da strade trafficate e zone industriali e quindi non coinvolta da significativi fenomeni di deposizione di IPA aerodispersi.

Il materiale prelevato è stato portato in laboratorio. Dai tappetini di muschio sono state prelevate le parti apicali verdi dei fusticini, corrispondenti agli ultimi 3-4 cm, escludendo le parti molto sporche e quindi ripuliti da materiale estraneo (terriccio, foglioline ecc). Il muschio così trattato è stato successivamente sottoposto a 5 sessioni di lavaggio in acqua deionizzata al fine di rimuovere eventuale particolato depositato. Il materiale è stato lasciato asciugare a temperatura ambiente su carta da filtro per 24 h.

Circa 1,5 grammi di muschio secco sono stati inseriti, avendo cura di non comprimerlo per permettere la libera circolazione dell’aria anche nelle parte centrale del campione, in un contenitore cilindrico di metallo a rete con passo di maglia di 1 mm, di 4 cm di diametro e 12 di altezza.

4.2.3. “Quadrello”

Il “Quadrello”, nome cui di seguito si fa riferimento al dispositivo contenente la matrice artificiale, è un parallelepipedo costituito da una rete metallica a passo di maglia di 1 mm, nel quale viene inserito un campione di dacron® di misure 2x4x4 cm, dal peso di circa 0,5 grammi. Prima dell’esposizione il quadrello viene lavato per immersione in cicloesano per 24h, in modo tale da eliminare eventuali tracce di IPA. Successivamente viene posto in stufa ad una temperatura di 60° per rimuovere il solvente. I campioni vengono inseriti in un contenitore di metallo a rete con passo di maglia di 1 mm, di dimensioni 2x7x8 cm.

4.3 Allestimento dei campioni

Una volta preparati i campioni vengono sigillati in contenitori scuri e posti in frigorifero sino a loro esposizione nei siti di interesse. I campioni, prima e dopo l’esposizione, vengono maneggiati utilizzando guanti in nitrile in modo tale da evitare contaminazioni. Essi vengono fissati in un box, normalmente utilizzato per il campionamento passivo con matrici artificiali, costruito in modo tale da consentire la libera circolazione dell’aria e proteggere i campioni sia dagli agenti atmosferici che dalla radiazione solare diretta, dal momento che gli IPA sono fotosensibili. La scatola di protezione viene fissata a supporti quali pali della luce, alberi ecc ad un’altezza di circa 2.5 metri. I campioni vengono esposti per tre settimane.

4.4. Analisi chimiche

4.4.1. Estrazione

Un grammo di muschio, oppure mezzo grammo di dacron®, viene omogeneizzato e mescolato a 5 g di NaSO₄ allo scopo di disperdere la massa ed assorbire l'acqua in eccesso. Il materiale viene successivamente avvolto in carta da filtro, al fine di garantirne l'immersione nel solvente (cicloesano), e vengono inseriti nei contenitori per l'estrazione (ditali). Il campione così allestito viene posto in microestrattore Soxhlet, immerso in un contenitore con 70 ml di cicloesano come solvente, ed avviata l'estrazione. Nel contenitore del solvente viene inserita una sfera di vetro, allo scopo di regolare l'ebollizione che avviene durante il processo di estrazione, e anche un piccolo pezzo di rame elettrolitico che reagisce con eventuali presenze di prodotti solforati, utile per diminuire l'interferenza durante la successiva analisi in HPLC.

Il processo di estrazione avviene ad una temperatura del manto di 175°C e si divide in due fasi: nella prima, dalla durata di 3 ore, l'estrazione avviene per immersione nel solvente, nella seconda, dalla durata di 2 ore, avviene il lavaggio del campione. In quest'ultima fase il ditale viene sollevato con un'apposita leva e lo sgocciolamento continuo del solvente su di esso, provocato dalla serpentina di condensazione dello strumento, deterge il campione dagli IPA, trascinandoli nel contenitore del cicloesano.

Una volta terminata l'estrazione, il solvente con gli IPA viene portato a secco con l'impiego di un Rotavapor. Sfruttando le diverse tensioni di vapore, lo strumento distilla il cicloesano dagli IPA portando la soluzione ad ebollizione (temperature non superiori a 40 °C, grazie al vuoto prodotto). Successivamente gli IPA, mantenuti in un palloncino a fondo conico oscurato per proteggerli dalla fotodegradazione, vengono diluiti con 2 ml di una soluzione contenente il 20% di tetraidrofurano, il 30% di metanolo ed il 70% di aceto nitrile. Il tutto viene poi filtrato su un setto di nylon con porosità di 0,2 µm per eliminare le particelle che possono ostruire la colonna di analisi dell'HPLC e travasato in boccettine di vetro scuro pronte per essere riposte nell'autocampionatore dell'HPLC.

4.4.2. Analisi in HPLC (High Pressure Liquid Chromatography)

Le analisi sono state condotte in HPLC con cromatografia di ripartizione. I campioni sono immessi nel sistema tramite un autocampionatore computerizzato. E' stata utilizzata una valvola d'iniezione a sei vie tipo Rheodyne, che impiega un *loop* di capacità pari a 20 µl, al fine di aumentare la ripetibilità del sistema. Una quantità di 20 µl del campione viene separato ad una temperatura costante di 24°C su colonne SUPELCOSIL 150x4.6 µm LC-PAH (Liquid Chromatography-PolyAromatic Hydrocarbons, Sygma Aldrich Co.) da 5 µm di fase stazionaria. Nel corso dell'analisi è stata utilizzata un'eluizione a gradiente di concentrazione impiegando una soluzione composta da acqua ed aceto nitrile, con velocità di flusso di 1.5-2 ml/min. Il gradiente è stato prodotto da due pompe ad alta pressione.

Per l'analisi delle concentrazioni di IPA è stato utilizzato un rivelatore a fluorescenza (FLD, fluorimetro detector) con lunghezza d'onda variabile da 280 nm a 500 nm, capace di sfruttare l'energie di eccitazione e di emissione che caratterizzano le sostanze indagate. Gli IPA vengono identificati sulla base dei loro tempo di ritenzione, della lunghezza d'onda di eccitazione e di emissione (Tab. 2) e quantificati in relazione

alla risposta dei campioni di riferimento. In totale sono stati analizzati 11 composti nei campioni di quadrello e 12 in quelli del muschio, ovvero quelli che vengono monitorati di routine nelle campagne di rilevamento di ARPA FVG – Dipartimento di Trieste, e che vengono ritenuti rappresentativi della corposa classe di composti identificati dall'acronimo IPA.

IPA	TEMPO DI RITENZIONE (approssimato al minuto)	L'UNGHEZZA D'ONDA DI ECCITAZIONE	L'UNGHEZZA D'ONDA DI EMISSIONE
Acenaftene			
Fluorene	6 min.	280 nm	330 nm
Fenantrene	7 min.	246 nm	370 nm
Antracene	8 min.	250 nm	406 nm
Fluorantene	9 min.	280 nm	450 nm
Pyrene	10 min.	270 nm	390 nm
Benzo(b)fluorantene	17 min.	290 nm	430 nm
Benzo(k)fluorantene	19 min.	290 nm	430 nm
Benzo(a)pyrene	20 min.	290 nm	430 nm
Dibenzo(ah)antracene	22 min.	290 nm	410 nm
Benzo(ghi)perylene	23 min.	290 nm	410 nm
Indeno(123cd)pyrene	24 min.	300 nm	500 nm

Tab. 2 Tempi di ritenzione, lunghezza d'onda di eccitazione e di emissione degli IPA indagati

4.4.3. Elaborazione dei dati

Le elaborazioni sono state eseguite in modo tale da ridurre il margine di soggettività nell'interpretazione dei dati. La distribuzione delle concentrazioni di metalli sul territorio è stata riportata sotto forma di carte, ottenute con programmi di cartografia computerizzata (SURFER 8 per Windows, Golden Software Inc. 2002). Le carte sono basate su una griglia le cui maglie hanno dimensioni calcolate sulle coordinate estreme dei dati. Il metodo di interpolazione, che crea una maglia regolare a partire da punti (stazioni) disposti irregolarmente sul territorio, attribuisce a ciascun nodo un valore che dipende da quelli delle n stazioni più vicine, sulla base dell'inverso della distanza tra ciascun nodo e le stazioni circostanti, elevato al quadrato (Inverse Distance to a Power). Data la relativamente bassa densità di stazioni queste carte vanno comunque considerate solo come un mezzo per visualizzare i risultati più rilevanti, ed evidenziare eventuali patterns geografici.

4.4.4. Interpretazione dei dati

L'interpretazione dei dati è essenzialmente di due tipi, cui corrispondono altrettanti riporti cartografici per ogni IPA analizzato:

- comparazione con i valori di concentrazione nel bianco di riferimento.
- elaborazione di una scala di deviazioni da condizioni naturali.

Nel primo approccio l'alterazione ambientale, intesa come deviazione da condizioni ritenute naturali, è espressa da un multiplo del bianco di riferimento. Questo

approccio ha il vantaggio di individuare i pattern di distribuzione degli inquinanti, evidenziando le aree più a rischio e la magnitudo dell'incremento rispetto al bianco di riferimento, ma lo svantaggio di non poter qualificare il grado di alterazione ambientale.

Nel secondo approccio si cerca di fornire una risposta a questo problema. Sostanzialmente si è cercato di elaborare delle scale di interpretazione dei dati che consentano di fornire indicazioni utili sulle zone a maggiore rischio ambientale. Le scale si rifanno concettualmente alla metodica utilizzata per i metalli in traccia (Nimis et. al. 1999) che, per analogia, può essere applicata anche per gli IPA.

Le scale, riportate in Tab.2, derivano da un'analisi delle distribuzioni di tutti i valori di concentrazione di IPA registrati nei campioni di muschio e quadrello sinora analizzati. Esse esprimono la deviazione dei valori di concentrazione da condizioni "naturali". La classe 1 rappresenta la situazione di massima naturalità, intesa come valori di background naturale. Le scale di Tab. 3a,b sono una prima approssimazione, passibili di modifiche ed integrazioni non appena ulteriori dati saranno disponibili. La metodica infatti è stata applicata solo in Provincia di Trieste, per un totale di 41 misure su quadrello e 43 su muschio. Questo implica che mancano sia riferimenti a realtà più estese, nonché un numero statisticamente accettabile di misure (>100).

Percentili	Nat./Alterazione	Colori	Flu	Fen	Ant
20°perc.	1- Nat.molto alta	Blu	<1,64	<4,50	<1,51
50°perc.	2 - Nat. alta	Verde scuro	1,64	4,50	1,51
75°perc.	3 -Nat.media	Verde chiaro	4,85	6,42	2,90
90°perc.	4 - Nat./Alter.basse	Giallo	8,89	10,63	5,38
95°perc.	5- Alter.media	Arancione	14,07	16,86	10,40
98°perc	6- Alter.alta	Rosso	27,12	21,44	14,59
	7 -Alter.molto alta	Cremisi	52,03	23,17	20,39

a)

Fluo	Pyr	BbF	BkF	BaP	DB	BghiP	I(123cd)P
<12,12	<4,49	<2,37	<2,75	<0,59	<0,51	<0,08	<0,40
12,12	4,49	2,37	2,75	0,59	0,51	0,08	0,40
22,59	13,04	4,82	5,33	0,80	0,81	0,27	0,85
36,99	31,13	8,92	8,27	1,78	1,72	0,96	1,24
49,96	37,94	17,39	16,68	4,30	2,04	2,79	2,96
51,09	53,38	22,84	18,98	6,48	2,55	9,58	5,10
64,16	63,33	39,91	25,04	6,96	2,76	11,62	15,71

b)

Percentili	Nat./Alterazione	Colori	Flu	Fen	Ant
20°perc.	1- Nat.molto alta	Blu	<1,04	<0,64	<1,26
50°perc.	2 - Nat. alta	Verde scuro	1,04	0,64	1,26
75°perc.	3 -Nat.media	Verde chiaro	1,83	0,98	2,05
90°perc.	4 - Nat./Alter.basse	Giallo	2,40	1,51	3,40
95°perc.	5- Alter.media	Arancione	3,85	2,14	6,19
98°perc	6- Alter.alta	Rosso	4,53	2,82	8,23
	7 -Alter.molto alta	Cremisi	4,75	3,31	9,19

Fluo	Pyr	BbF	BkF	BaP	DB	BghiP	I(123cd)P	Fluo
<0,91	<4,02	<2,96	<1,35	<1,08	<0,75	<0,14	<0,47	<0,68
0,91	4,02	2,96	1,35	1,08	0,75	0,14	0,47	0,68
2,65	7,86	8,84	1,75	1,38	1,01	0,53	0,78	0,91
6,43	17,51	16,81	3,02	1,66	1,34	0,98	1,65	1,18
10,02	26,08	35,27	39,71	2,03	1,67	1,73	4,02	1,83
11,17	37,61	44,87	48,94	2,44	1,85	3,71	5,06	4,23
12,11	44,22	55,84	61,68	2,49	2,02	4,84	5,84	10,58

Tabb 3a,b- Scale dei livelli di naturalità/alterazione per muschio (a) e dacron (b); le concentrazioni sono espresse in ng/g. Per ulteriori commenti vedere testo.

5. RISULTATI

Le Tabb. 4a,b riportano i dati di concentrazione di IPA rilevati nei campioni di muschio e quadrello® nelle 21 stazioni di campionamento e nei bianchi di riferimento. Al fine di normalizzare i dati e valutare il fattori di accumulo, i valori di concentrazione di ogni singolo IPA sono stati rapportati al dato di concentrazione del rispettivo bianco di riferimento.

I paragrafi successivi riportano i risultati delle analisi e delle elaborazioni cartografiche per singolo IPA e per carico totale.

IPA	acen	flu	fen	ant	fluo	pyr	BbF	BkF	BaP	DB	BghiP	I(123cd)P
stazione												
4	8,4	7,97	43,59	3,71	20,13	24,37	15,91	7,41	15,54	11,48	57,8	22,11
5	8,73	16,11	75,14	7,06	78,46	68,61	32,24	9,38	10,65	0,91	30,65	24,85
6	5,37	18,85	49,55	2,26	46,38	44,7	23,35	7,28	8,16	8,76	27,74	19,65
7	7,56	13,52	53,42	4,38	35,8	30,42	27,11	7,89	0,56	0,33	18,78	15,6
10	6,6	6,19	48,07	1,98	47,17	38,9	24,17	7,34	8,26	0,63	34,35	18,27
11	6,55	10,65	44,22	2,91	28,49	23,97	21,45	7,58	12,01	2,14	29,21	16,26
12	2,34	6,66	70,59	3,69	47,42	60,5		9,57	13,8	0,8	34,65	18,59
14	6,53	31,49	134,17	5,71	69,99	77,69	0,91	10,1	17,23		32,75	16,32
15	3,87	16,24	127,4	12,31	102,87	144,4	0,52	11,45	19,38		51,14	21,09
17	3,47	10,62	115,37	12,14	129,39	187,96	32,4	10,88	18,48		65,78	21,27
18	14,16	6,58	97,93	5,05	89,61	120,09	33,32	11,09	18,08	5,54	114,75	25,34
20	3,92	22,93	177,9	33,24	214,19	438,98	58,23	19,37	35,57		106,65	36,43
21		13,7	146,06	18,35	153,2	240,73	46,34	13,78	16,14		31,73	25,51
22	8,18	39,32	263,45	30,75	178,81	249,63	28,23	10,72	14,43	6,08	24,5	17,26
24	18,35	51	146,91	11,99	91,37	120,4	28,34	9,74	16,79	1,71	69,23	20,96
25	16,92	35,41	520,93	25,79	196,11	274,07		14,29	25	5,87	134,04	31,53
26	7,16	72,66	347,68	48,32	323,69	507,45		15,17	26,76	1,52	86,49	26,78
27	9,83	34,29	351,56	46,61	332,98	497,99	29,57	11,86	16,5		45,93	24,99
28	10,63	30,15	261,96	30,88	142,77	198,19	25,18	9,9	12,11	1,61	34,01	23,42
29	6,41	47,21	227,14	10,17	81,7	114,58	24,84	10,36	12,9	0,99	78,28	20,45
30	2,91	12,74	110,72	8,81	86,64	117,07	29,78	11,69	22,88	1,62	177,71	31,58
BIANCO	3,75	16,46	41,21	4,16	19,82	26,33	16,83	7,38	17,08	11,23	58,55	23,17
Min	2,91	12,74	41,21	4,16	19,82	26,33	16,83	7,38	12,11	0,99	24,50	17,26
Max	18,35	72,66	520,93	48,32	332,98	507,45	58,23	19,37	35,57	11,48	177,71	36,43
Media	7,89	24,01	162,56	15,53	118,91	170,51	26,77	10,80	16,25	3,33	61,25	22,77
Dev. St.	4,36	17,30	125,48	14,42	88,99	150,25	13,17	2,99	7,20	3,83	40,97	5,38

Tab. 4a Concentrazioni di 12 IPA rilevati nei muschi nelle 21 stazioni di campionamento. Le celle vuote indicano dati mancanti. I valori sono espressi in ng/g

IPA	flu	fen	ant	fluo	pyr	BbF	BkF	BaP	DB	BghiP	I(123cd)P
stazione											
4	49,41	143,02	2,81	137,33	84,55	5,39	3,28	3,99	7		2,68
5	82,87	322,72	3,32	544,51	435,01	3,88	10,36	6,99	9,86	13,08	12,13
6	44,26	190,22	6,4	187,32	99,16	4,31	3,71	3,3	1,61	4,95	3,84
7	56,35	144,43	7,69	127,23	87,82	7,02	4,48	3,33	4,51	7,63	9,6
10	44,76	140,17	0,73	255,99	138,65	11,53	5,71	5,35	11,13	61,09	16,69
11	64,9	137,14	14,86	146,03	64,09	10,99	2,72	3,02	4,68	13,37	6,47
12	47,87	181,49	10,76	167,98	80,22	6,82	4,53	2,9	2,71	3,16	5,48
14	52,6	204,01	8,02	294,73	161,34	0,67	6,47	4,22	2,23	8,66	9,35
15	147,44	681,5	43,76	1070,49	838,15	24,34	13,11	5,89	5	7,79	18,11
17	73,96	337,75	14,31	954,66	760,28	47,68	23,38	12,07	8,97	23,1	24,33
18	40,97	147,04	4,75	231,92	130,25	8,97	5	4,05	3,49	11,58	9,42
20	240,82	777,73	105,73	1360,63	1465,81	85,88	34,54	37,75	16,68	146,73	87,62
21	65,11	276,97	16,76	553,99	514,12	57,96	0,66	11,83	4,04	80,66	53,35
22	107,52	581,99	31,2	774,4	555,56	15,35	9,7	1,63	17,54	39,75	25,11
24	99,37	394,47	18,45	535,74	341,94	12,98	6,02	5,19	14,52	34,36	21,24
25	120,04	520,93	31,06	878,9	687,99	32,98	16,06	12,76	6,4	55,87	30,06
26	136,58	726,05	50,04	1380,84	1173,34	90,69	32,51	32,34	10,89	100,67	79,58
27	101,85	535,8	28,92	946,23	706,38	33,73	15,25	8,33	12,36	27,9	21,92
28	89,69	472,18	13,89	497,16	706,38	16,09	7,47	0,36	4,53	16,67	11,64
29	72,2	282,31	7,77	339,83	166,76	13,62	6,26	3,72	11,06	25,74	10,2
30	85,56	311,71	8,95	480,43	288,12	22,06	9,84	7,15	4,41	58,02	15,89
BIANCO	9,86	31,78	3	21,27	22,09	3,97	1,82	5,17	6,17	138,27	26,36
Min	40,97	137,14	0,73	127,23	64,09	0,67	0,66	0,36	1,61	3,16	2,68
Max	240,82	777,73	105,73	1380,84	1465,81	90,69	34,54	37,75	17,54	146,73	87,62
Media	86,86	357,60	20,48	565,06	451,71	24,43	10,53	8,39	7,79	37,04	22,61
Dev. St.	48,55	215,14	23,46	406,47	393,75	25,59	9,27	9,30	4,68	42,68	22,68

Tab. 4b Concentrazioni di 11 IPA rilevati nei campioni di quadrello® nelle 21 stazioni di campionamento. Le celle vuote indicano dati mancanti. I valori sono espressi in ng/g

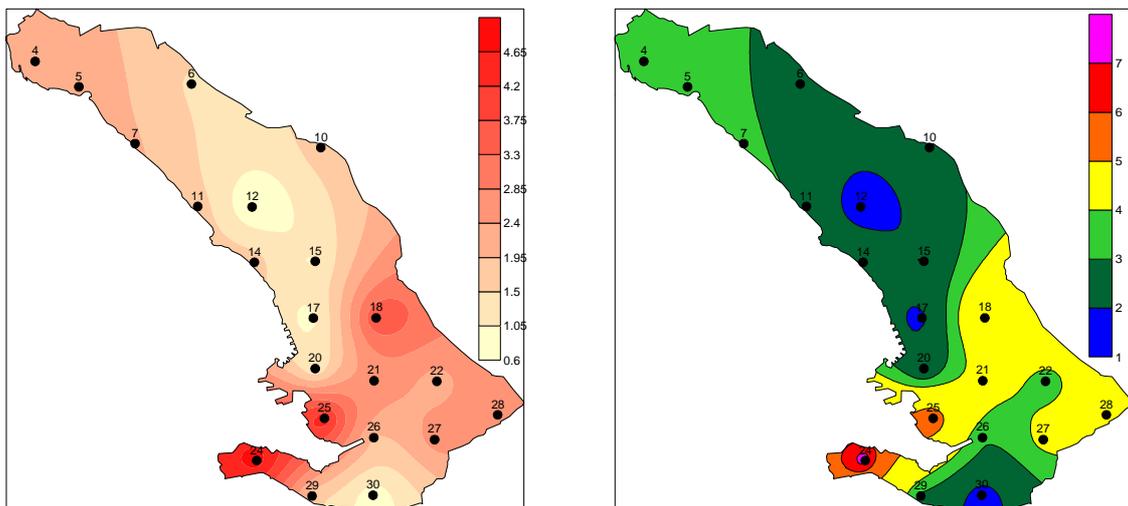
5.1 Acenaftene (Nome IUPAC: Acenaftene)

E' una forma idrogenata di acenaftilene, dal peso molecolare di 154.21 g/mol. E' utilizzato nella industria dei coloranti, farmaceutica, delle materie plastiche, per la produzione di pesticidi, fungicidi e erbicidi. E' stato individuato nel catrame, nel fumo di sigaretta, pesticidi, industrie di conservanti (EPA, 1980). L'aspetto tossicologico non è stato ancora studiato approfonditamente.

Il muschio presenta decisamente una maggiore capacità di accumulo di acenaftene rispetto al quadrello, per il quale non è stato possibile rilevare, con la strumentazione disponibile, la presenza di questo composto. Come da Tab. 4a, il valore di concentrazione più basso è stato rilevato nella stazione 30, presso la Valle delle Noghere (2,91 ng/g), il valore più alto nella stazione 24, in località Zindis nel Comune di Muggia (18,35 ng/g). La carta di Fig. 3a mostra il pattern di distribuzione di acenaftene nelle 21 stazioni di campionamento dei muschi.

La distribuzione di questo composto particolarmente volatile pare slegata dalle fonti tradizionali di IPA in ambiente antropico (riscaldamento domestico e traffico veicolare). I punti di maggiore concentrazione sono la già citata stazione 30, la 25 localizzata nel rione di Servola e la 18 presso l'abitato di Padriciano.

Secondo la carta di interpretazione di Fig. 3b si evidenzia una fascia di moderata alterazione nella porzione meridionale della Provincia di Trieste (stazioni 18, 21, 27 e 28) e un cono di pronunciata alterazione che dalla stazione 25 si allarga sulla stazione 30.



Figg. 3a,b. Carta di distribuzione di acenaftene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

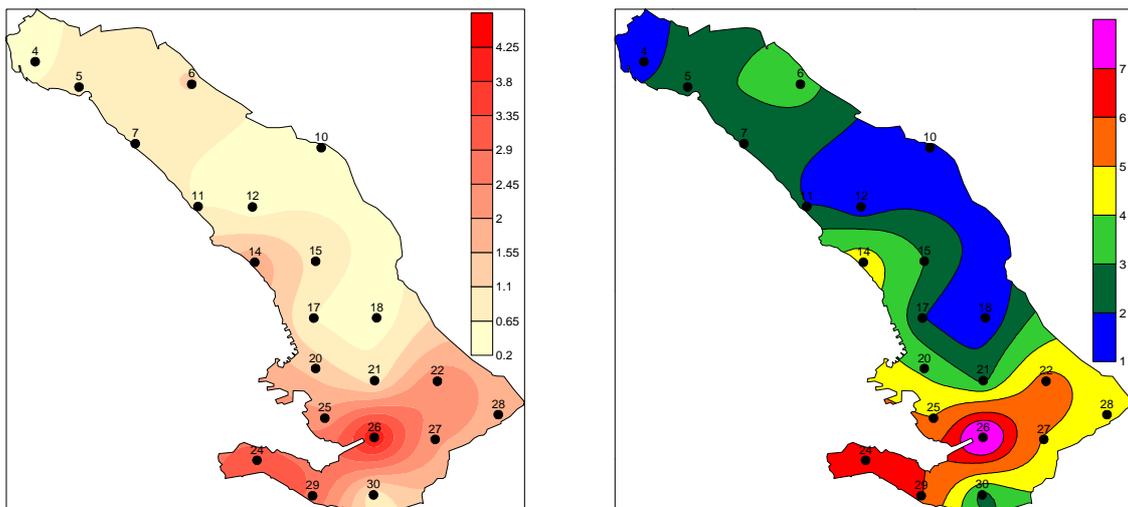
5.2 Fluorene (Nome IUPAC: 9H-Fluorene)

E' costituito da tre anelli benzenici, con un peso molecolare di 166.21 g/mol. Oltre alle fonti comuni agli altri IPA, è utilizzato nell'industria dei coloranti, plastica e dei pesticidi ed è stato individuato nel catrame, nonché nel fumo di sigaretta (IARC, 1983). Non sono disponibili dati relativi alla tossicità nell'uomo e studi su cavie non suggeriscono una attività carcinogena (U.S. EPA, 1992).

Muschio

Il valore minimo di fluorene è stato registrato presso la stazione 10, situata sul Monte Lanaro nel Comune di Sgonico, ed è pari a 6,19 ng/g. Il valore massimo, pari a 72,66 ng/g, è stato registrato nella stazione 26, presso la Zona industriale est di Trieste (Tabb. 1 e 4a).

La carta di Fig. 4a individua i maggiori pattern di distribuzione nella porzione meridionale della città di Trieste e il Comune di Muggia. La carta di interpretazione di Fig. 4b suggerisce una situazione di alterazione molto forte presso la succitata stazione 26, seguita dalle stazioni 24 e 29 nel Comune di Muggia (Località Zindis e Santa Barbara rispettivamente). Una situazione di alterazione da moderata a media interessa le stazioni di Servola (st. 24), San Dorligo della Valle (st. 27), Basovizza (st. 22), il confine di Pesek (st. 28) e Barcola (st. 14).

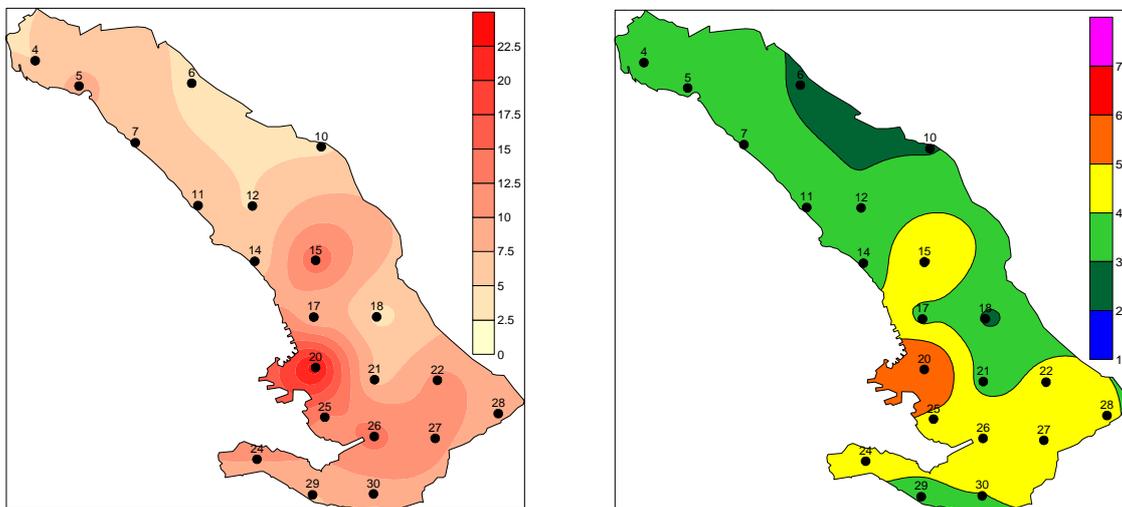


Figg. 4a,b. Carta di distribuzione di fluorene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello®

Come da Tabb. 1 e 4b, Il valore minimo è stato registrato sull'altipiano carsico presso Padriciano (st. 18; 40,97 ng/g), il massimo a Piazza Garibaldi nella città di Trieste (st. 20; 240,82 ng/g). La carta di Fig. 5a individua pattern di distribuzione particolarmente estesi nella Provincia di Trieste, interessando oltre alla sua porzione meridionale anche l'altipiano carsico. Tuttavia la carta di interpretazione di Fig. 5b suggerisce livelli di alterazione non particolarmente pronunciati. Una situazione di alterazione media è stimato in Piazza Garibaldi (st. 20), altrimenti moderata presso la località Zindis nel Comune di Muggia (st. 24), Servola (st. 25), la Zona industriale est di Trieste (st. 26), San Dorligo della Valle (st. 27), Basovizza (st. 22), Pesek (st. 28) e

Opicina (st. 15). Non si individuano aree di massima naturalità in nessuna parte del territorio provinciale.



Figg. 5a,b. Carta di distribuzione di fluorene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

STAZIONE MUSCHIO QUADRELLO		
4	0,48	5,01
5	0,98	8,40
6	1,15	4,49
7	0,82	5,72
10	0,38	4,54
11	0,65	6,58
12	0,40	4,85
14	1,91	5,33
15	0,99	14,95
17	0,65	7,50
18	0,40	4,16
20	1,39	24,42
21	0,83	6,60
22	2,39	10,90
24	3,10	10,08
25	2,15	12,17
26	4,41	13,85
27	2,08	10,33
28	1,83	9,10
29	2,87	7,32
30	0,77	8,68
Min	0,38	4,16
Max	4,41	24,42
Media	1,46	8,81

Confronto muschio-quadrello

Le carte di distribuzione delle concentrazioni di IPA sono piuttosto dissimili tra i due accumulatori per quanto riguarda l'altipiano carsico. Le carte di interpretazione dei dati forniscono informazioni non confrontabili. La Tab. 5 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. In 11 stazioni di campionamento del muschio si è rilevato una perdita di concentrazione di fluorene rispetto al bianco di riferimento, fenomeno che non si è registrato in nessun campione di quadrello. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 4,41 per il muschio e 24,42 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento, con un valore medio quasi sei volte superiore.

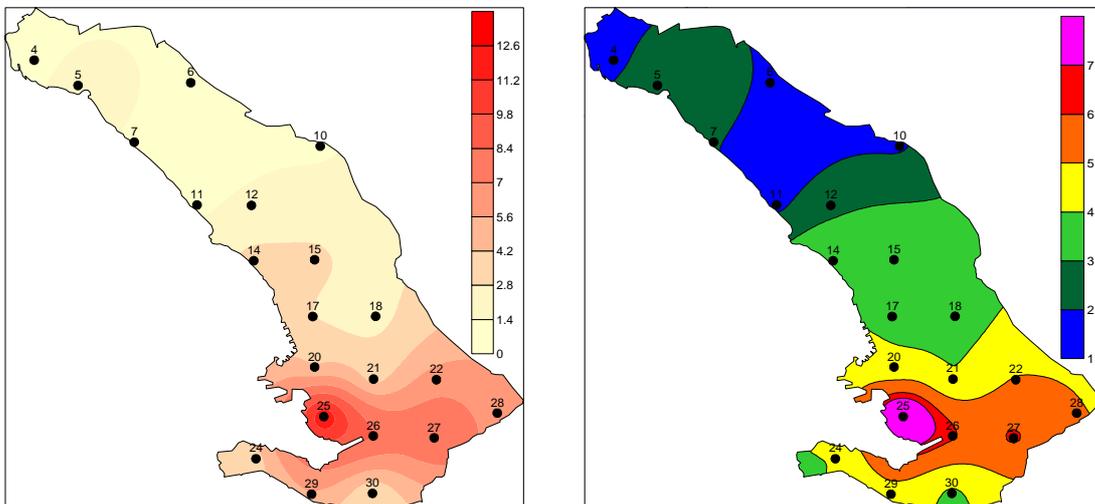
Tab. 5. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media

5.3 Fenantrene (Nome IUPAC: Phenanthrene)

E' caratterizzato da tre anelli benzenici, dal peso molecolare di 178.22 g/mol. E' pressoché ubiquitario nell'ambiente (U.S. EPA, 1988; IARC, 1983). Deriva dalla combustione incompleta di combustibili fossili, dall'attività di cokeria, acciaierie, ferriere, impianti per la produzione di alluminio, inceneritori (U.S. EPA, 1987). Nell'uomo l'assorbimento avviene per esposizione dermica e inalazione (Storer et al., 1984). Il profilo tossicologico è ancora poco chiaro e sulla base dei dati disponibili, la US EPA (United States Environmental Protection Agency) ha ritenuto opportuno non classificarlo come cancerogeno (U.S. EPA 1993a, 1987).

Muschio

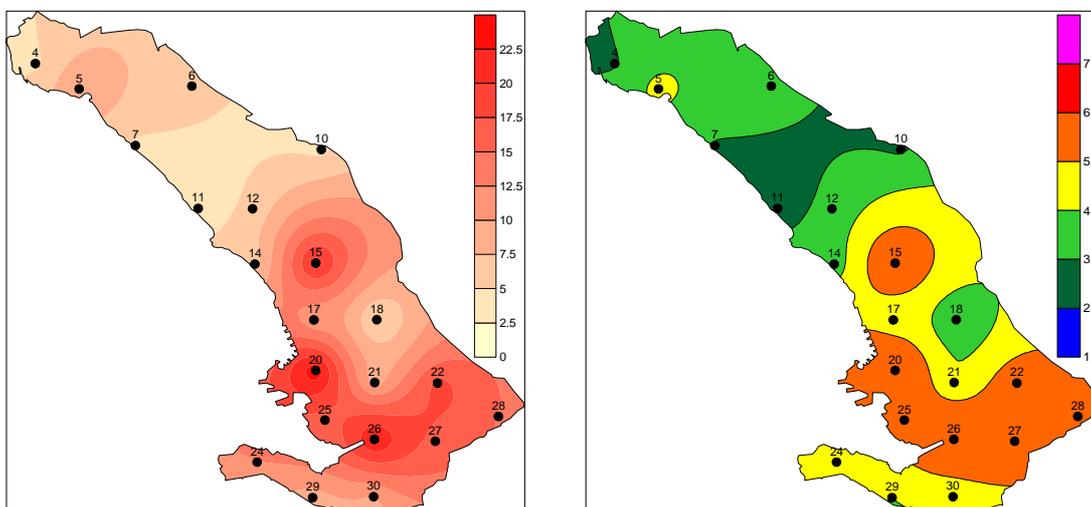
Dai dati di Tab. 4a si desume che il valore minimo è stato registrato presso la località Villaggio del Pescatore (st. 4; 43,59 ng/g), il massimo presso il rione di Servola nella città di Trieste (st. 25; 520,93 ng/g). La carta di Fig. 6a individua i maggiori pattern di diffusione di fenantrene nella porzione meridionale della Provincia di Trieste. La carta di interpretazione di Fig 6b stima presso la stazione 25 di Servola una situazione di alterazione ambientale molto forte, seguita in ordine decrescente di gravità dalla st. 26, presso la zona industriale est di Trieste, San Dorligo della Valle (st. 27), Basovizza (st. 22) e il confine di Pesek (st. 28). Situazioni di bassa alterazione sono stati stimati per le stazioni di Zindis (st. 24) e Santa Barbara (St. 29) nel Comune di Muggia, Piazza Garibaldi (St 20) e rione Rozzol (St. 21) nella città di Trieste. Nel resto della provincia si evidenziano situazioni di naturalità da media a molto alta.



Figg. 6a,b. Carta di distribuzione di fenantrene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo di fenantrene (Tab. 4b) è stato registrato sull'altipiano carsico presso Santa Croce (St. 11, 137,14 ng/g), il massimo presso la stazione 20, situata in Piazza Garibaldi a Trieste (777,73 ng/g). La carta di Fig. 7a suggerisce estesi pattern di diffusione per questo composto su tutta la porzione centro-meridionale del territorio provinciale, tuttavia la carta di interpretazione di Fig. 7b stima situazioni non particolarmente gravi. Situazioni di alterazione media riguardano tre stazioni localizzate nel capoluogo provinciale (st 20, 25 e 26), nonché i siti di campionamento di Opicina, San Dorligo della Valle, Pesek e Basovizza (st. 15, 27, 28 e 22 rispettivamente). Situazioni di bassa alterazione riguardano le stazioni presso Zindis, Santa Barbara, Valle delle Noghère, nonché i quartieri Rozzol e Roiano della città di Trieste (St 24, 29, 30, 21 e 17 rispettivamente). Per il resto della provincia si stimano situazioni di media e buona naturalità, ma mai eccelse.



Figg. 7a,b. Carta di distribuzione di fenantrene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

FENANTRENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	1,06	4,50
5	1,82	10,15
6	1,20	5,99
7	1,30	4,54
10	1,17	4,41
11	1,07	4,32
12	1,71	5,71
14	3,26	6,42
15	3,09	21,44
17	2,80	10,63
18	2,38	4,63
20	4,32	24,47
21	3,54	8,72
22	6,39	18,31
24	3,56	12,41
25	12,64	16,39
26	8,44	22,85
27	8,53	16,86
28	6,36	14,86
29	5,51	8,88
30	2,69	9,81
Min	1,06	4,32
Max	12,64	24,47
Media	3,94	11,25

Confronto muschio-quadrello

Le carte di distribuzione delle concentrazioni di IPA sono piuttosto dissimili tra i due accumulatori soprattutto in relazione all'altipiano carsico centro-settentrionale. Anche le carte di interpretazione dei dati forniscono informazioni non facilmente confrontabili. La Tab. 6 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 12,64 per il muschio e 24,47 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento, con un valore medio quasi tre volte superiore.

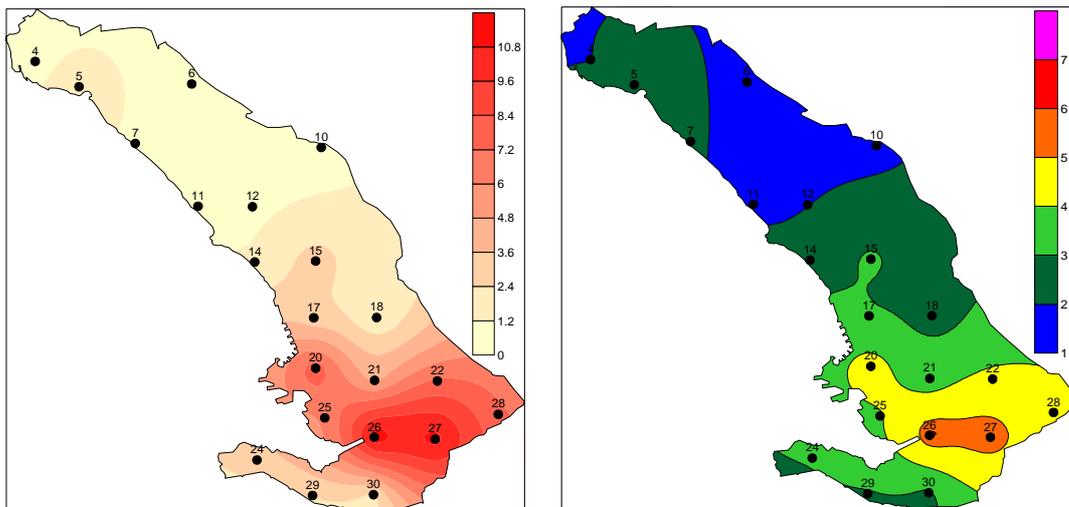
Tab. 6. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.4 Antracene (Nome IUPAC: Anthracene)

E' costituito da tre anelli benzenici, con un peso molecolare pari a 178.23 g/mol. E' presente nel catrame ed è utilizzato nella produzione di pigmenti e impianti per la rivelazione di fumo. Nell'uomo l'assorbimento avviene principalmente per via dermica e orale, provocando effetti tossici su pelle, tratto gastrointestinale, sistema emopoietico e linfatico (Falkson et al., 1985; Volkova, 1983). Sulla base degli studi attuali, ritenuti tuttavia incompleti, questo composto non presenta attività cancerogena (U.S. EPA, 1991a,b).

Muschio

Il valore minimo (Tab. 4a) è stato registrato presso la cima del Monte Lanaro (St. 10, 1,98 ng/g), il massimo presso la Zona industriale est di Trieste (St. 26, 48,32 ng/g). La carta di distribuzione di Fig. 8a individua i maggiori pattern nella porzione meridionale della Provincia di Trieste, mentre la porzione centro settentrionale non presenta significativi pattern diffusionali. La carta di interpretazione di Fig. 8b suggerisce tuttavia una situazione non allarmante, con estese aree di buona naturalità. Una fascia di media alterazione coinvolge la succitata stazione 26 e la 27 presso San Dorligo della Valle. Si stima una situazione di bassa alterazione presso la stazione di Piazza Garibaldi nel capoluogo provinciale, Basovizza e Pesek (St. 20, 22 e 28 rispettivamente).

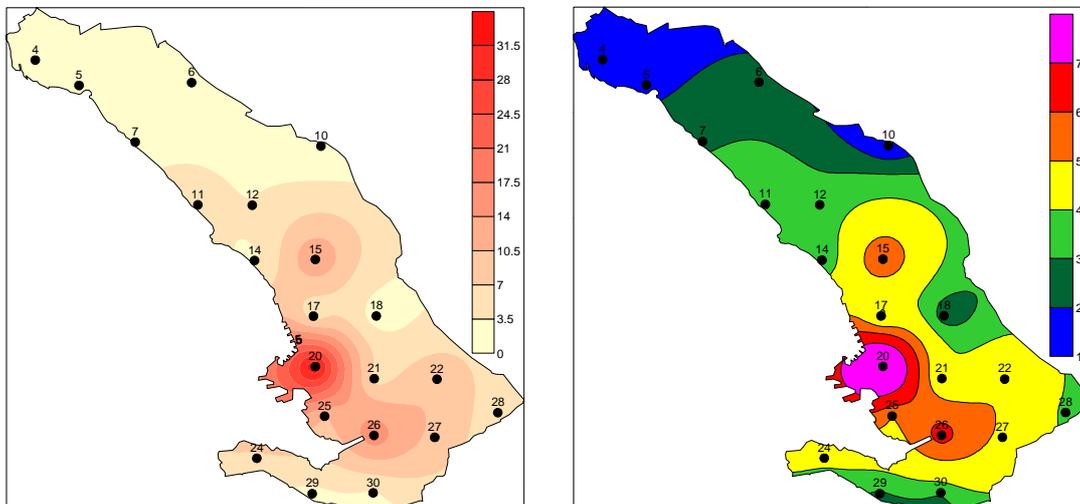


Figg. 8a,b. Carta di distribuzione di antracene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo (Tab. 4b) è stato registrato presso la cima del Monte Lanaro (St. 10, 0,73 ng/g), il massimo presso la stazione 20 situata in Piazza Garibaldi nella città di Trieste (105,73 ng/g). La carta di distribuzione di Fig. 9a individua i maggiori pattern nella porzione meridionale della Provincia di Trieste e nella porzione centrale dell'altipiano carsico. La carta di interpretazione di Fig. 9b stima nella città di Trieste una situazione di alterazione ambientale molto forte, sia presso la succitata stazione 20 che in prossimità della stazione 26 presso la Zona industriale est di Trieste. Una forte alterazione ambientale è stimata anche per la stazione 15 presso l'abitato di Opicina, e

in decrescendo presso Servola, Basovizza e San Dorligo della Valle (St. 25, 22 e 27 rispettivamente). Situazioni di naturalità da buona a molto buona sono stimate nella porzione centro-settentrionale del territorio provinciale.



Figg. 9a,b. Carta di distribuzione di antracene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

ANTRACENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,89	0,94
5	1,70	1,11
6	0,54	2,13
7	1,05	2,56
10	0,48	0,24
11	0,70	4,95
12	0,89	3,59
14	1,37	2,67
15	2,96	14,59
17	2,92	4,77
18	1,21	1,58
20	7,99	35,24
21	4,41	5,59
22	7,39	10,40
24	2,88	6,15
25	6,20	10,35
26	11,62	16,68
27	11,20	9,64
28	7,42	4,63
29	2,44	2,59
30	2,12	2,98
Min	0,48	0,24
Max	11,62	35,24
Media	3,73	6,83

Confronto Muschio-quadrello

Le maggiori differenze tra i due accumulatori riguardano la distribuzione dei valori massimi di concentrazione riscontrati su territorio provinciale. Il quadrello individua situazioni di alterazione ambientale che vengono, a confronto, sottostimate dal muschio. La Tab. 7 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. In 5 campioni di muschio e in 2 di quadrello si assiste ad una perdita di concentrazione di antracene rispetto ai bianchi di riferimento. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 11,62 per il muschio e 35,24 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio per 17 stazioni di campionamento su 21, con un valore medio superiore di quasi il doppio.

Tab. 7. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.5 Fluorantene (Nome IUPAC: Fluoranthene)

E' costituito da benzene e naftalene, dal peso molecolare di 202,26 g/mol. Al pari degli altri IPA, è un composto ubiquitario che è stato identificato anche nei cibi grigliati (IARC, 1983). La sua potenziale tossicità non è stata ancora studiata approfonditamente.

Muschio

Il valore minimo di fluorantene (Tab. 4a) è stato registrato presso il Villaggio del Pescatore (St. 4, 20,13 ng/g), il massimo nella stazione 27 a San Dorligo della Valle (332,98 ng/g). La carta di Fig 10a individua pattern di diffusione consistenti nella porzione meridionale della Provincia di Trieste, tuttavia la carta di Fig. 10b non suggerisce situazioni di alterazione ambientale neppure nelle zone in cui sono state rilevate le massime concentrazioni.

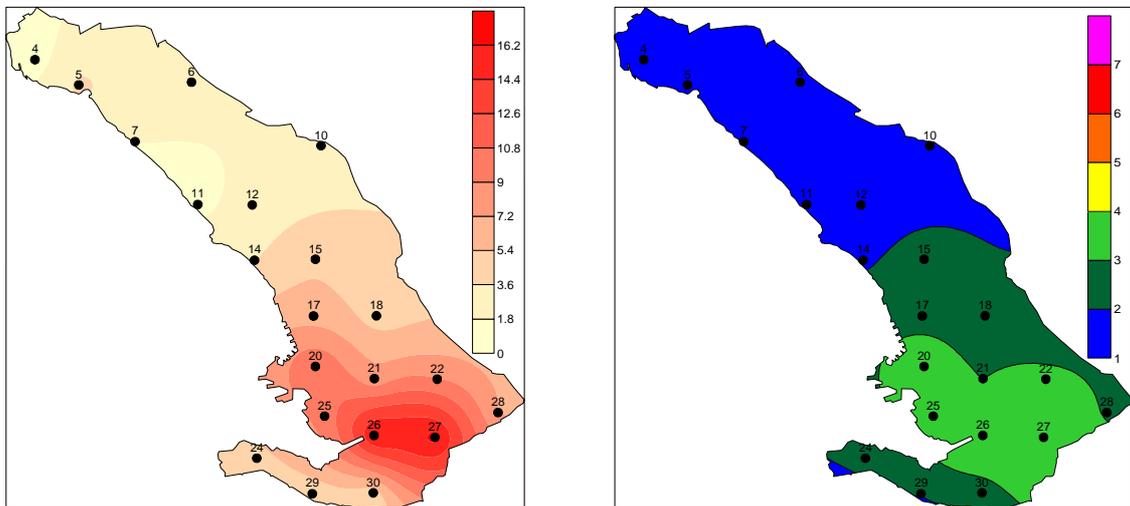
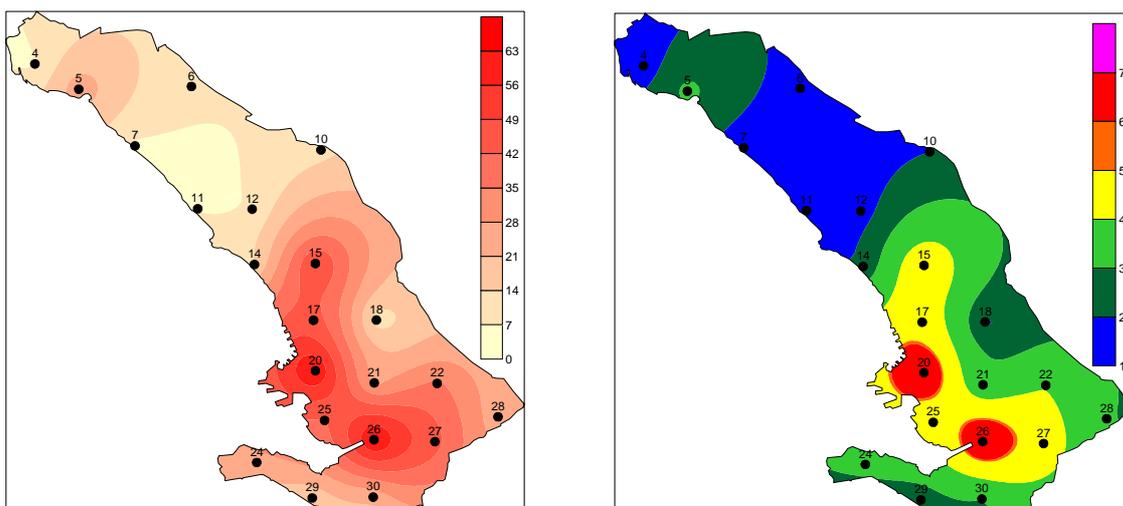


Fig. 10a,b. Carta di distribuzione di fluorantene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo (Tab. 4b) è stato registrato presso la stazione 7, localizzata lungo la costiera (127,23 ng/g), il massimo presso la Zona industriale est di Trieste (st. 26, 1380,84 ng/g). La carta di Fig 11a individua pattern di diffusione consistenti nella porzione centro-meridionale della Provincia di Trieste, coinvolgendo sia l'agglomerato urbano del capoluogo che l'altipiano carsico. La carta di Fig. 11b suggerisce situazioni di forte alterazione ambientale presso le stazioni di Piazza Garibaldi (St. 20) e la succitata stazione 26. Le condizioni di alterazione ambientale relative al fluorantene degradano velocemente, stimando situazioni di moderata alterazione presso le stazioni di Servola e Roiano nella città di Trieste, nonché presso San Dorligo della Valle e Opicina (St. 25, 17, 27 e 15 rispettivamente)



Figg. 11a,b. Carta di distribuzione di fluorantene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

FLUORANTENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	1,02	6,46
5	3,96	25,60
6	2,34	8,81
7	1,81	5,98
10	2,38	12,04
11	1,44	6,87
12	2,39	7,90
14	3,53	13,86
15	5,19	50,33
17	6,53	44,88
18	4,52	10,90
20	10,81	63,97
21	7,73	26,05
22	9,02	36,41
24	4,61	25,19
25	9,89	41,32
26	16,33	64,92
27	16,80	44,49
28	7,20	23,37
29	4,12	15,98
30	4,37	22,59
Min	1,02	5,98
Max	16,80	64,92
Media	6,00	26,57

Confronto muschio-quadrello

Le maggiori differenze tra i due accumulatori riguardano la distribuzione dei valori massimi di concentrazione riscontrati su territorio provinciale. Il quadrello individua situazioni di alterazione ambientale che non vengono rilevate nella scala di interpretazione dei dati ricavati dai campioni di muschio. La Tab. 8 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. Il maggiore fattore di accumulo è pari a 16,80 per il muschio e 64,92 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento, con un valore medio maggiore di oltre 4 volte.

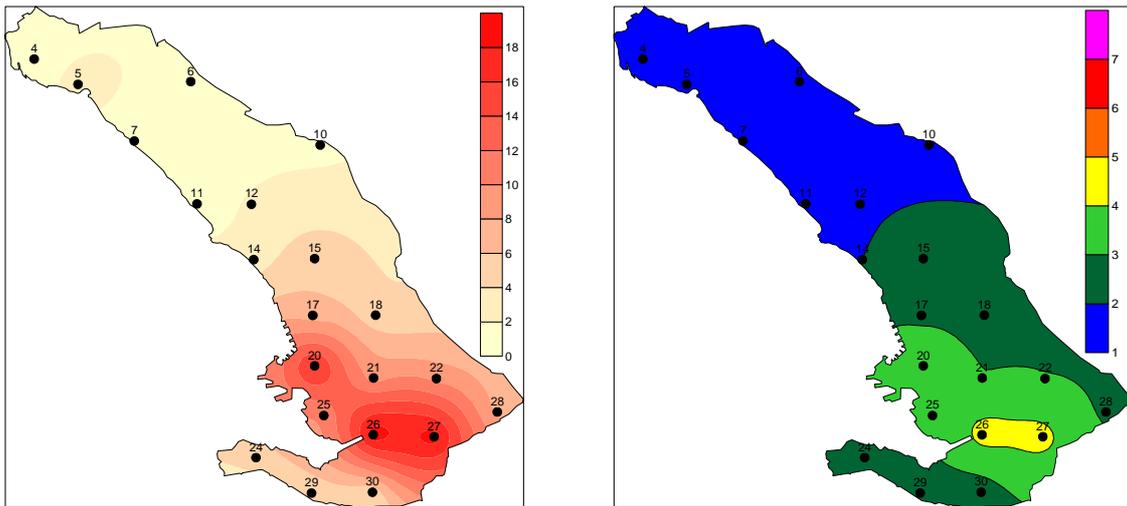
Tab. 8. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.6 Pirene (Nome IUPAC: Pyrene)

E' costituito da 4 anelli benzenici, dal peso molecolare di 202.25 g/mol. Ubiquitario nell'ambiente, è stato individuato anche nel catrame, in numerosi cibi e nell'acqua potabile (U.S. EPA, 1988, 1987; IARC, 1983). E' utilizzato nella produzione plastica, farmaceutica e dei pigmenti. Al momento la potenziale tossicità e cancerogenicità del pirene non è stata studiata in modo approfondito.

Muschio

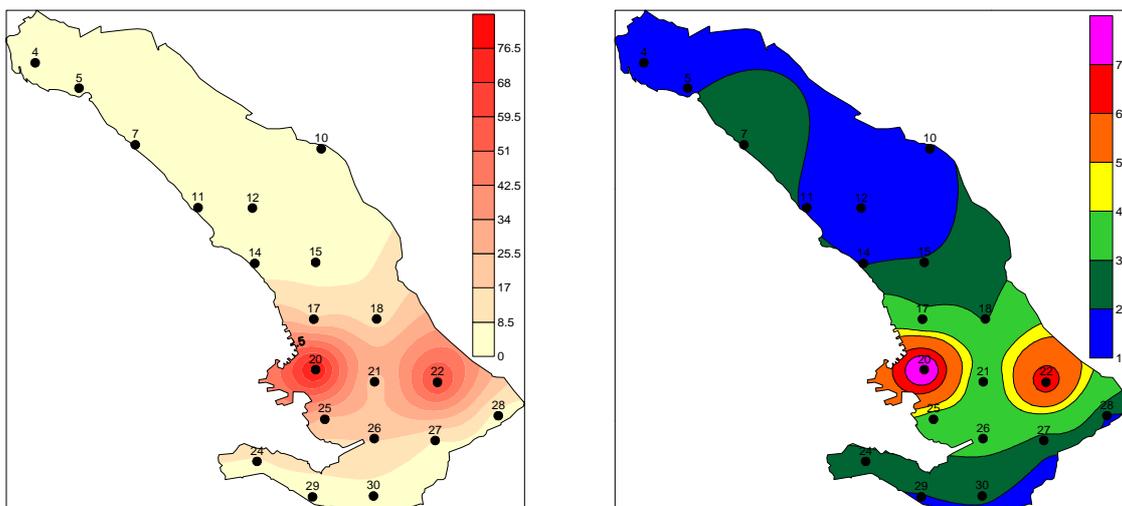
Il valore minimo di pirene (Tab. 4a) è stato registrato presso la località Santa Croce (St. 11, 23,97 ng/g), il valore massimo in Zona industriale est di Trieste (St. 26, 507,45 ng/g). La carta di fig. 12a suggerisce estesi pattern diffusionali nella porzione meridionale della provincia che degradano procedendo in direzione del confine amministrativo settentrionale. La carta di Fig. 12b suggerisce tuttavia condizioni di naturalità da media a molto buona in quasi tutto il territorio, escludendo le stazioni localizzate presso la Zona industriale est di Trieste e San Dorligo della Valle (St. 26 e 27 rispettivamente), per le quali si stima una condizione di moderata alterazione ambientale.



Figg. 12a,b. Carta di distribuzione di pirene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Come riportato in Tab. 4b, la concentrazione minima di pirene è stata riscontrata nel campione di quadrello esposto presso la località Santa Croce (St. 11, 64,09 ng/g), la massima presso Piazza Garibaldi a Trieste (St. 20, 1465,81 ng/g). La carta di Fig. 13a individua due *hot spots* da cui si dipartono altrettanti pattern diffusionali nella porzione centro-meridionale del territorio provinciale. La carta di interpretazione di Fig. 13b conferma uno stato di grave alterazione ambientale relativamente a questo composto presso la st. 20 situata in Piazza Garibaldi a Trieste, e di intensità leggermente inferiore presso la st. 22 in località Basovizza sull'altipiano carsico. Condizioni di naturalità da media a molto buona caratterizzano il resto della provincia.



Figg. 13a,b. Carta di distribuzione di pirene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Confronto muschio-quadrello

I pattern diffusionali individuati dai due accumulatori presentano alcune differenze in relazione alla distribuzione sul territorio e loro intensità, seppur mantengano una buona coerenza geografica nell'area dove maggiormente si verificano le emissioni maggiori di questo composto. Le carte di interpretazione suggeriscono nel quadrello una maggiore sensibilità nell'individuazione di aree alterate rispetto al muschio.

La Tab. 9 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stagionale e bianco di riferimento. In due campioni di muschio si assiste ad un decremento di concentrazione di pirene rispetto al bianco di riferimento, fenomeno che non si è verificato in alcun campione di quadrello. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 19,27 per il muschio e 66,36 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento, con un valore medio oltre tre volte superiore.

PIRENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,93	3,83
5	2,61	19,69
6	1,70	4,49
7	1,16	3,98
10	1,48	6,28
11	0,91	2,90
12	2,30	3,63
14	2,95	7,30
15	5,48	37,94
17	7,14	34,42
18	4,56	5,90
20	16,67	66,36
21	9,14	23,27
22	9,48	25,15
24	4,57	15,48
25	10,41	31,14
26	19,27	53,12
27	18,91	31,98
28	7,53	31,98
29	4,35	7,55
30	4,45	13,04
Min	0,91	2,90
Max	19,27	66,36
Media	6,48	20,45

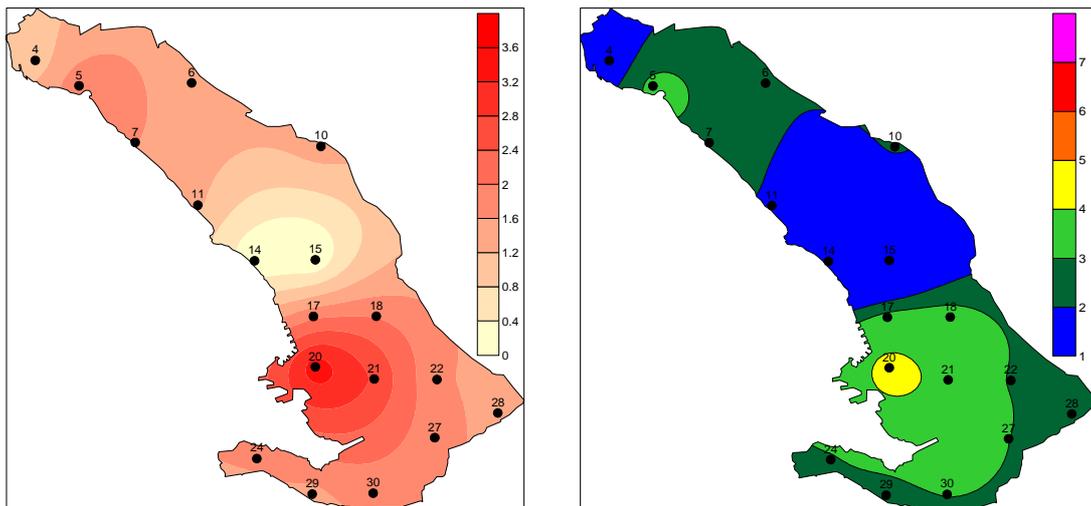
Tab. 9. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.7 Benzo(b)fluorantene (Nome IUPAC: Benzo[b]fluoranthene)

E' costituito da due anelli da 5 e 6 elementi rispettivamente, dal peso molecolare di 252,32 g/mol. Come risultato dalla combustione incompleta, origina oltre che da combustibili fossili anche dal fumo di sigaretta, cibi grigliati e affumicati. E' stato identificato anche in oli e margarine (IARC, 1983). Studi sulla sua tossicità sono ancora frammentari, tuttavia si sospetta un possibile ruolo nella carcinogenesi (EPA, 1994).

Muschio

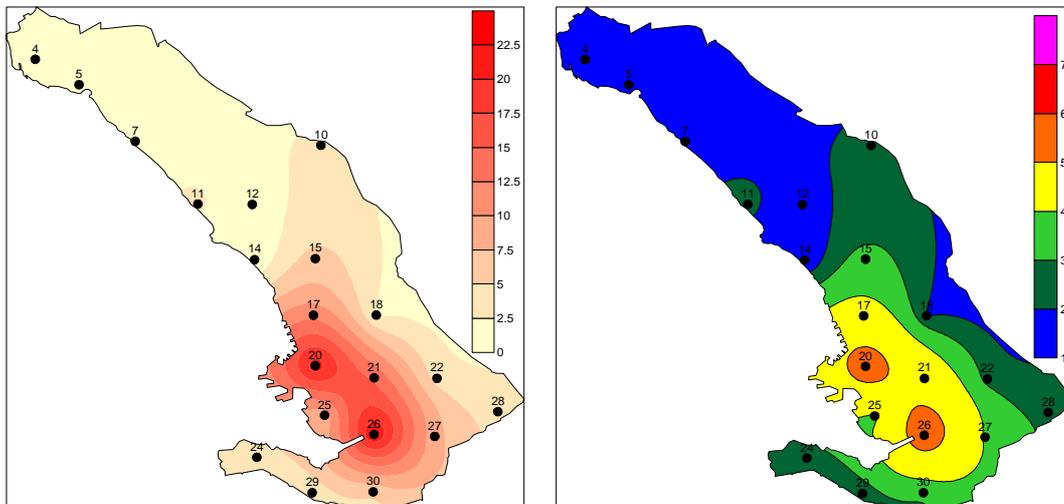
A causa di problemi in fase di analisi, non è stato possibile valutare le concentrazioni di benzo(b)fluorantene per le stazioni 12, 25 e 26 (Tab. 2a). Il valore minimo è stato registrato presso Opicina (St. 15, 0,52 ng/g), il massimo presso Piazza Garibaldi a Trieste (St. 20, 58,23 ng/g). La carta di Fig. 14a suggerisce una contaminazione diffusa sul territorio provinciale, registrando i maggiori picchi nell'agglomerato urbano di Trieste. La carta di interpretazione di Fig. 14b stima tuttavia una situazione di naturalità da media a molto buona per tutta l'area di studio, tranne per la succitata st. 20 presso la quale si stima una situazione di moderata alterazione ambientale.



Figg. 14a,b. Carta di distribuzione di benzo(b)fluorantene (a) nei muschi delle 18 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Come riportato in Tab. 2b, il valore minimo di concentrazione è stato registrato presso la stazione in località Barcola (St. 14, 0,67 ng/g), quello massimo presso la zona industriale est di Trieste (St. 26; 90,69 ng/g). La carta di Fig. 15a suggerisce fenomeni pronunciati di diffusione nell'area maggiormente antropizzata della provincia, mentre la porzione centro-settentrionale presenta fenomeni diffusivi assai moderati. La carta di Fig. 15b stima condizioni di alterazione ambientale, seppur non particolarmente pronunciate, presso la succitata stazione 26 e Piazza Garibaldi a Trieste (St. 20), alterazione che è stata registrata in diminuzione presso i quartieri di Servola, Rozzol e Roiano nella città di Trieste (St. 25, 21 e 17 rispettivamente). Presso le altre stazioni di rilevamento si stima una situazione di naturalità da media a molto buona.



Figg. 15a,b. Carta di distribuzione di benzo(b)fluorantene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Confronto muschio-quadrello

I pattern di distribuzione non sono direttamente confrontabili dal momento che l'analisi chimica non è stata realizzata per tre campioni di muschio. Per quanto concerne le carte di interpretazione il muschio pare, in relazione al quadrello, di sottostimare le situazioni di alterazione ambientale relativamente a questo composto.

La Tab. 10 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. In 3 campioni di muschio e in 2 di quadrello si è verificata una perdita di concentrazione di benzo(b)fluorantene dopo l'esposizione. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 3,46 per il muschio e 22,84 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento tranne 2, con un valore medio quasi 4 volte superiore.

BENZO(B)FLUORANTENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,95	1,36
5	1,92	0,98
6	1,39	1,09
7	1,61	1,77
10	1,44	2,90
11	1,27	2,77
12		1,72
14	0,05	0,17
15	0,03	6,13
17	1,93	12,01
18	1,98	2,26
20	3,46	21,63
21	2,75	14,60
22	1,68	3,87
24	1,68	3,27
25		8,31
26		22,84
27	1,76	8,50
28	1,50	4,05
29	1,48	3,43
30	1,77	5,56
Min	0,03	0,17
Max	3,46	22,84
Media	1,59	6,15

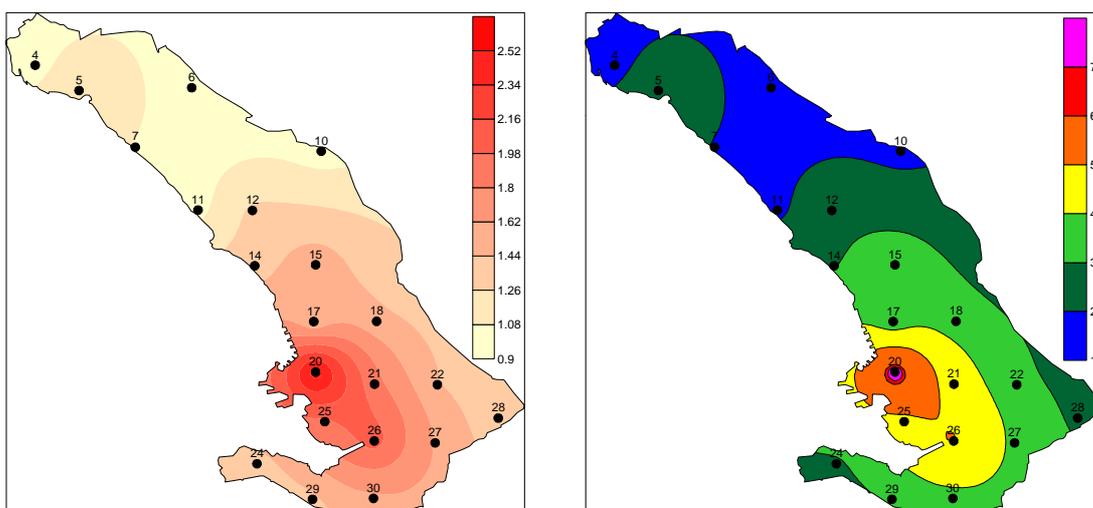
Tab. 10. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.8 Benzo(k)fluorantene (Nome IUPAC: Benzo[k]fluoranthene)

È costituito da due anelli aromatici a 4 e 5 elementi rispettivamente, con peso molecolare pari a 252,32 g/mol. Il composto, di diffusione ubiquitaria, non presenta impieghi commerciali ed è originato dalla combustione incompleta. La sua tossicità non è stata studiata adeguatamente, tuttavia è sospettato di avere attività cancerogena (EPA, 1994).

Muschio

Il valore minimo di concentrazione (Tab 4a) è stato registrato presso la località San Pelagio nel Comune di Duino-Aurisina (St. 6; 7,28 ng/g), il massimo in Piazza Garibaldi nella città di Trieste (st. 20; 19.37 ng/g). La carta di Fig. 16a individua fenomeni diffusivi che dalla città di Trieste si dipartono attenuandosi ai quattro punti cardinali. La carta di interpretazione di Fig. 16b stima una condizione di alterazione ambientale molto forte presso la succitata stazione 20, leggermente più attenuata in prossimità della stazione 26 (zona industriale est). Condizioni di alterazione moderata sono stimate presso le stazioni presso i rioni di Servola e Rozzol (st. 25 e 21 rispettivamente).

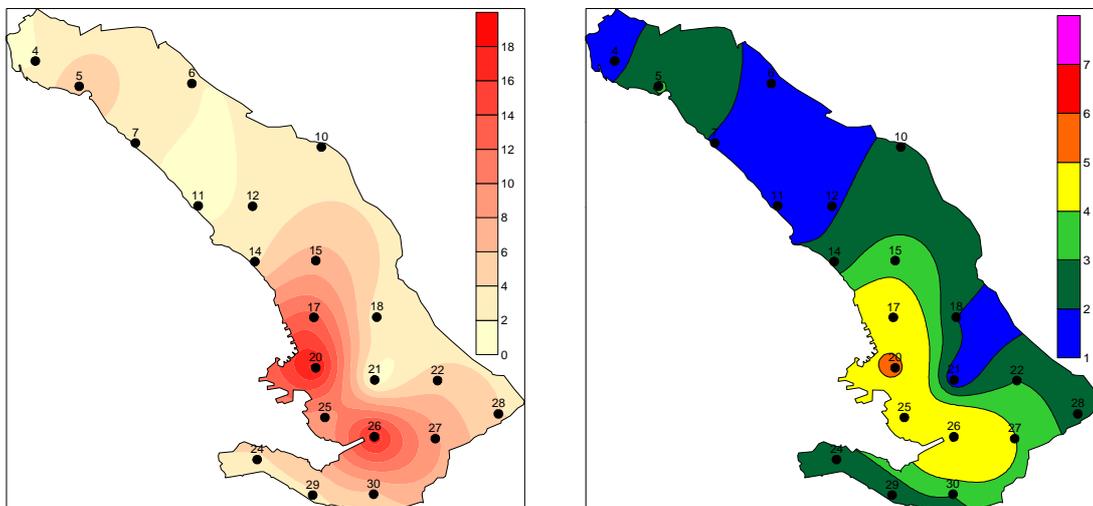


Figg. 16a,b. Carta di distribuzione di benzo(k)fluorantene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Come riportato in Tab. 4b, il valore minimo è stato registrato presso la stazione di Rozzol (st. 21; 0,66 ng/g), il massimo in Piazza Garibaldi (st. 20; 34,54 mg/g), entrambe nella città di Trieste. La carta di Fig. 17a individua i maggiori pattern di diffusione nella porzione meridionale della provincia che degradano lungo il profilo altimetrico ascensionale dell'altipiano carsico. La carta di interpretazione di Fig. 17b segnala una condizione di alterazione seppur non troppo elevata presso la stazione 20, ed una estesa fascia di moderata alterazione ambientale che coinvolge le stazioni

localizzate presso i rioni di Servola e Roiano, la Zona industriale est di Trieste e San Dorligo della Valle (st. 24, 17, 26 e 27 rispettivamente).



Figg. 17a,b. Carta di distribuzione di benzo(k)fluorantene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

BENZO(K)FLUORANTENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	1,00	1,80
5	1,27	5,69
6	0,99	2,04
7	1,07	2,46
10	0,99	3,14
11	1,03	1,49
12	1,30	2,49
14	1,37	3,55
15	1,55	7,20
17	1,47	12,85
18	1,50	2,75
20	2,62	18,98
21	1,87	0,36
22	1,45	5,33
24	1,32	3,31
25	1,94	8,82
26	2,06	17,86
27	1,61	8,38
28	1,34	4,10
29	1,40	3,44
30	1,58	5,41
Min	0,99	0,36
Max	2,62	18,98
Media	1,46	5,78

Confronto muschio-quadrello

I pattern di distribuzione rappresentati dal muschio sono più estesi rispetto a quelli del quadrello, tendenza rappresentata anche dalle rispettive carte di interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale, secondo le quali il muschio individua situazioni di sofferenza sottostimate nella carta del quadrello.

La Tab. 11 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. Solo 1 campione di muschio presenta una perdita di concentrazione di benzo(b)fluorantene dopo l'esposizione. Il maggiore fattore di accumulo registrato nell'area di studio è pari a 2,86 per il muschio e 18,98 per il quadrello. Tranne per 1 campione, la capacità di accumulo del quadrello è superiore al muschio in tutte le stazioni di campionamento, con un valore medio quasi 4 volte superiore.

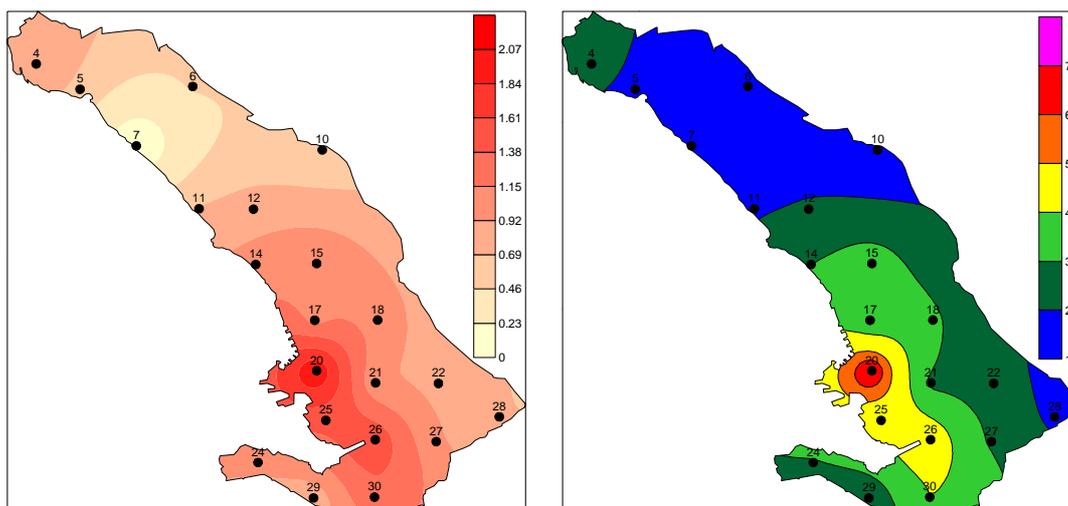
Tab. 11. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.9 Benzo(a)pirene (Nome IUPAC: Benzo[a]pyrene)

E' costituito da 5 anelli aromatici, dal peso molecolare di 252,31 g/mol. Diffuso ubiquitariamente, deriva come gli altri IPA dalla combustione incompleta di combustibili fossili. E' il composto maggiormente conosciuto tra gli idrocarburi policiclici aromatici per quanto concerne la distribuzione ambientale, le vie di rimozione, le vie di assorbimento nell'uomo e la tossicità (ATSDR, 1990). E' considerato un probabile composto cancerogeno (EPA, 1994)

Muschio

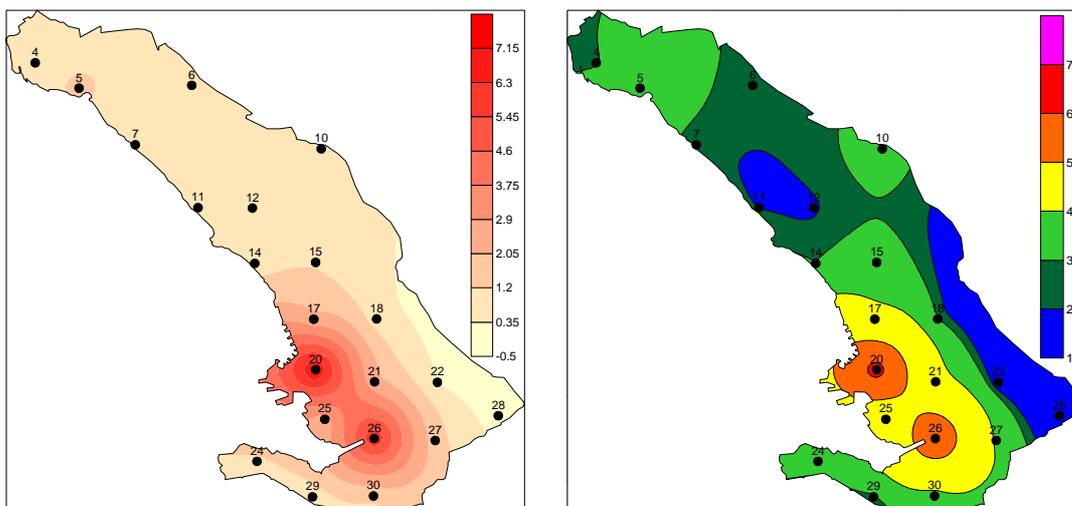
Il valore minimo dell'area di studio è stato registrato presso la stazione 7 lungo il tratto costiero (0,56 ng/g, Tab. 4a), il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (st. 20; 35,57 ng/g). La carta di Fig. 18a suggerisce estesi pattern di diffusione su tutto il territorio provinciale, tuttavia la carta di interpretazione di Fig. 18b individua una condizione di forte alterazione ambientale solamente presso la stazione di Piazza Garibaldi (st. 20) e moderati sintomi presso Servola, la zona industriale est di Trieste e parzialmente in Valle delle Noghere (St. 20, 26 e 30 rispettivamente).



Figg. 18a,b. Carta di distribuzione di benzo(a)pirene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo dell'area di studio è stato registrato presso la stazione 28 in prossimità del confine di Pesek (0,36 ng/g, Tab 4b), il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (st 20; 37,75 ng/g). La carta di distribuzione di Fig. 19a concentra i maggiori fenomeni diffusivi nella porzione sud-occidentale della provincia, come confermato dalla carta di fig. 19b che stima fenomeni di forte alterazione ambientale presso Piazza Garibaldi e la Zona industriale est di Trieste (st. 20 e 26 rispettivamente). Situazioni di moderata alterazione sono stimati presso i rioni di Servola, Rozzol e Roiano (st. 24, 21 e 17 rispettivamente).



Figg. 19a,b. Carta di distribuzione di benzo(a)pirene (a) nei campioni di quadrone delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

BENZO(A)PIRENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,91	0,77
5	0,62	1,35
6	0,48	0,64
7	0,03	0,64
10	0,48	1,03
11	0,70	0,58
12	0,81	0,56
14	1,01	0,82
15	1,13	1,14
17	1,08	2,33
18	1,06	0,78
20	2,08	7,30
21	0,94	2,29
22	0,84	0,32
24	0,98	1,00
25	1,46	2,47
26	1,57	6,26
27	0,97	1,61
28	0,71	0,07
29	0,76	0,72
30	1,34	1,38
Min	0,03	0,07
Max	2,08	7,30
Media	0,95	1,62

massimo e media.

Confronto muschio-quadrone

La carta di distribuzione del muschio suggerisce fenomeni diffusi molto più estesi rispetto al quadrone, il quale differenzia molto la situazione della conca di Trieste rispetto all'altipiano carsico. La carta di interpretazione del muschio pare sottostimare le condizioni di alterazione ambientale rispetto a quella del quadrone.

La Tab. 12 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stagionale e bianco di riferimento. Si individua una perdita di concentrazione di benzo(a)pirene dopo l'esposizione in ben 13 campioni di muschio e 10 di quadrone. Il maggiore fattore di accumulo è pari a 2,08 per il muschio e 7,30 per il quadrone. La capacità di accumulo del muschio è superiore al quadrone in 8 stazioni di campionamento. Il quadrone possiede mediamente una, seppur modesta, maggiore capacità di accumulo rispetto al muschio, essendo pari a 1,71 volte.

Tab. 12. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo,

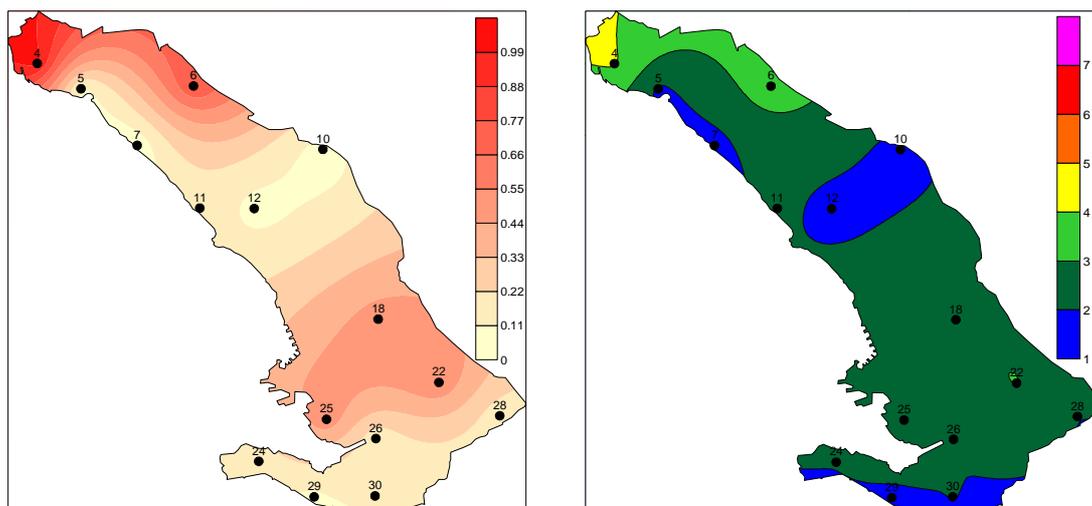
5.10 Dibenzo(ah)antracene (Nome IUPAC: Dibenzo[a,h]anthracene

E' costituito da 5 anelli aromatici ed è presente in numerosi composti tra cui catrame, fuliggine, oli esausti, combustione di benzina, forni, fumo di sigaretta, carne grigliata (ATSDR, 1993; IARC, 1985). La sua potenziale tossicità nell'uomo è ancora poco studiata.

Muschio

Per problemi in fase di analisi, non è stato possibile quantificare le concentrazioni di dibenzo(ah)antracene in 6 dei 21 campioni di muschio (Tab 2a). Il valore minimo riscontrato nell'area di studio è stato registrato presso la stazione 7 lungo la strada costiera (0,33 ng/g, Tab 4a), il massimo presso la località Villaggio del Pescatore (11,48 ng/g).

La carta di Fig. 20a suggerisce fenomeni diffusivi particolarmente pronunciati nella porzione settentrionale del territorio provinciale e meno intensi nella parte meridionale, tuttavia la carta di Fig. 20b stima condizioni di naturalità da media a molto buona per tutto il territorio, tranne un fenomeno di moderata alterazione presso la stazione 4.

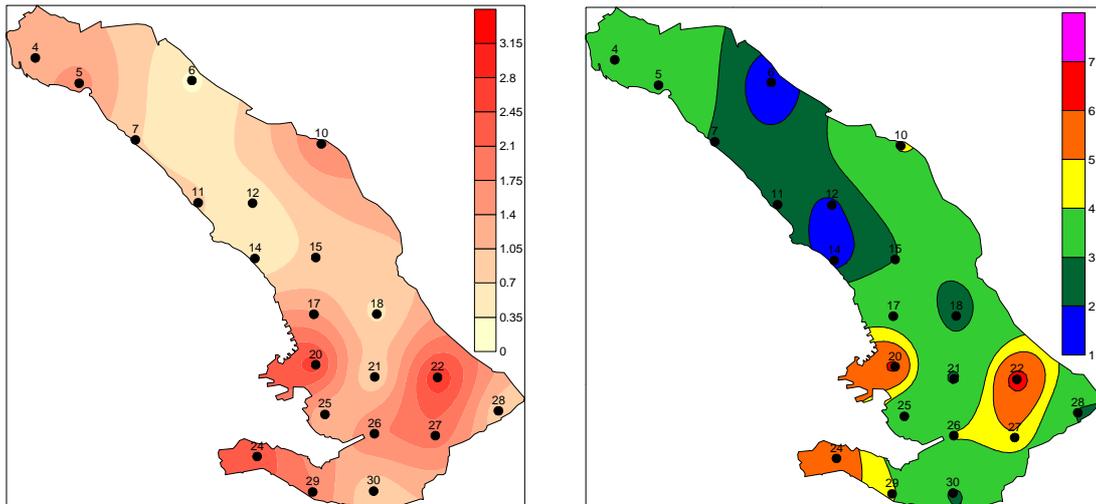


Figg. 20a,b. Carta di distribuzione di dibenzo(ah)antracene (a) nei muschi delle 15 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo riscontrato nell'area di studio è stato registrato presso la stazione 6 a San Pelagio nel comune di Duino-Aurisina (1,61 ng/g, Tab 4b), il massimo presso Basovizza (st.22; 17,54 ng/g).

La carta di Fig. 21a suggerisce i maggiori fenomeni diffusivi nella porzione centro-meridionale della provincia di Trieste, in cui la carta di Fig. 21b stima fenomeni di forte alterazione ambientale presso la stazione di Piazza Garibaldi a Trieste e Basovizza (st. 20 e 22 rispettivamente). Fenomeni di alterazione ambientale, seppur più contenuti, riguardano anche la stazione 24 in località Zindis nel Comune di Muggia.



Figg. 21a,b. Carta di distribuzione di dibenzo(ah)antracene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

DIBENZO(AH)ANTRACENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	1,02	1,13
5	0,08	1,60
6	0,78	0,26
7	0,03	0,73
10	0,06	1,80
11	0,19	0,76
12	0,07	0,44
14		0,36
15		0,81
17		1,45
18	0,49	0,57
20		2,70
21		0,65
22	0,54	2,84
24	0,15	2,35
25	0,52	1,04
26	0,14	1,76
27		2,00
28	0,14	0,73
29	0,09	1,79
30	0,14	0,71
Min	0,03	0,26
Max	1,02	2,84
Media	0,30	1,26

Confronto muschio-quadrello

La carta di distribuzione del muschio è in disaccordo con quella del quadrello, dal momento che figurano scenari diffusionali opposti. La carta di interpretazione del muschio pare sottostimare le condizioni di alterazione ambientale rispetto a quella del quadrello.

La Tab. 13 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. Si individua una perdita di concentrazione di dibenzo(ah)fluorantene dopo l'esposizione in tutti i campioni muschio, tranne 1 che rimane prossimo al valore del bianco di riferimento) e in 10 di quadrello. Il maggiore fattore di accumulo è pari a 1,02 per il muschio e 2,84 per il quadrello. La capacità di accumulo del muschio è nullo e quello del quadrello, seppur superiore di oltre 4 volte, pare comunque non adeguato a rappresentare una situazione reale.

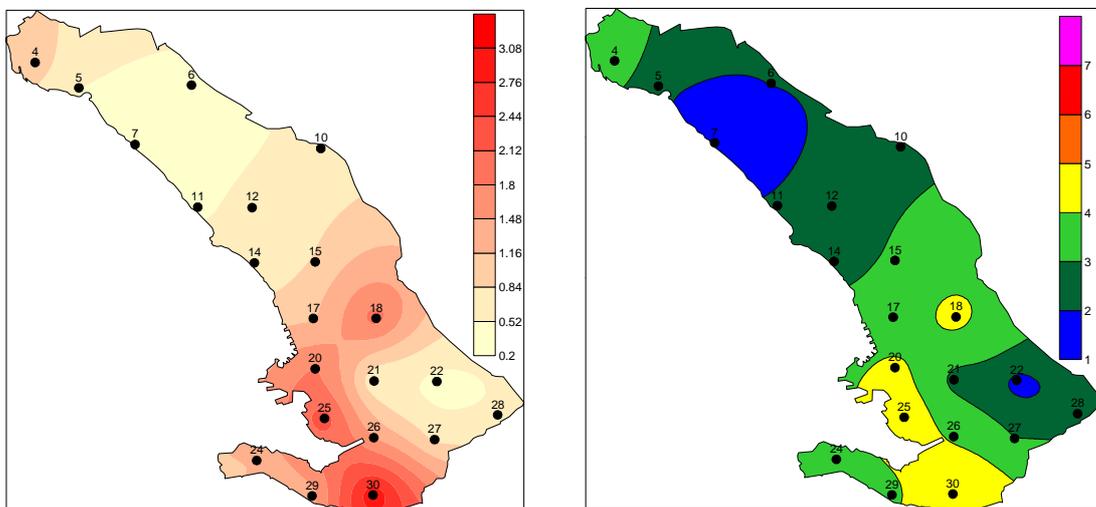
Tab. 13. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.11 Benzo(ghi)perilene (Nome IUPAC: Benzo[ghi]perylene)

E' costituito da 6 anelli aromatici, si trova naturalmente nel petrolio, catrame e origina dalla combustione incompleta di combustibili fossili. Il profilo tossicologico è poco studiato.

Muschio

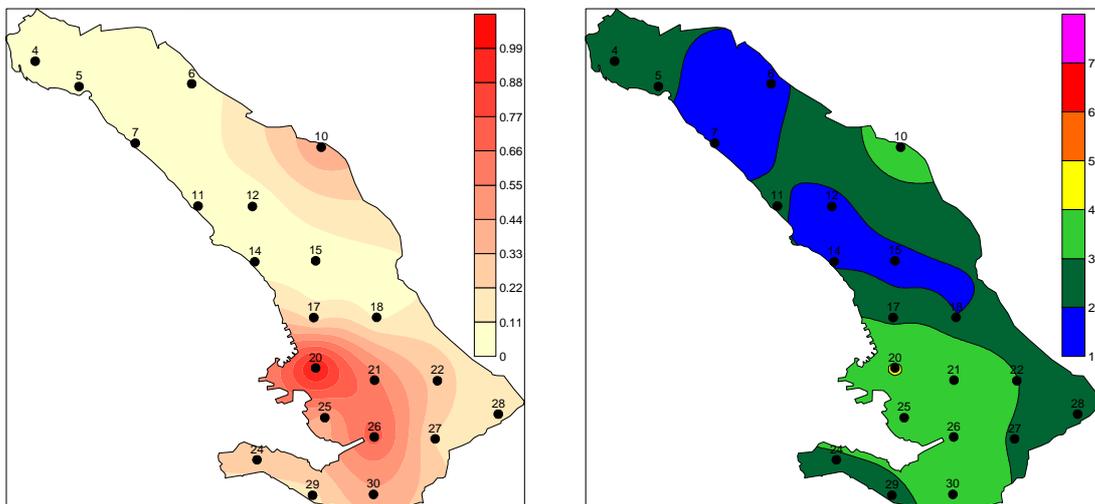
Il valore minimo di benzo(ghi)perilene è stato registrato presso la stazione 7 lungo il tratto costiero (18,78 ng/g; tab. 4a), il massimo in Valle delle Noghere (177,71 ng/g). La carta di Fig. 22a individua pronunciati fenomeni diffusivi nella porzione sud-est della provincia di Trieste, corrispondenti a situazioni di moderata alterazione ambientale come mostrato nella carta di interpretazione di Fig. 22b, e riguardano specificatamente le stazioni localizzate presso Piazza garibaldi e il rione di Servola a trieste (st. 20 e 25 rispettivamente), Valle delle Noghere (st. 30) e Opicina (st. 15).



Figg. 22a,b. Carta di distribuzione di benzo(ghi)perilene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Non è stato possibile realizzare l'analisi per questo composto in 1 campione. Il valore minimo è stato registrato presso la stazione 12 in località Prosecco (3,16 ng/g; tab. 4b), il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (146,73 ng/g). La carta di Fig. 23a individua fenomeni diffusivi nella porzione sud-est della provincia, tuttavia la carta di interpretazione di Fig. 23b stima fenomeni di naturalità da media a molto buona per tutta l'area di studio, tranne limitatamente alla stazione 20 in cui si suggerisce moderati fenomeni di alterazione ambientale.



Figg. 23a,b. Carta di distribuzione di benzo(ghi)perilene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

BENZO(GHI)PERILENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,99	
5	0,52	0,09
6	0,47	0,04
7	0,32	0,06
10	0,59	0,44
11	0,50	0,10
12	0,59	0,02
14	0,56	0,06
15	0,87	0,06
17	1,12	0,17
18	1,96	0,08
20	1,82	1,06
21	0,54	0,58
22	0,42	0,29
24	1,18	0,25
25	2,29	0,40
26	1,48	0,73
27	0,78	0,20
28	0,58	0,12
29	1,34	0,19
30	3,04	0,42
Min	0,32	0,02
Max	3,04	1,06
Media	1,05	0,27

Confronto muschio-quadrello

La carta di distribuzione del muschio è in buon accordo con quella del quadrello, tuttavia secondo le carte di interpretazione il quadrello pare sottostimi le condizioni di alterazione ambientale se paragonato al muschio.

La Tab. 14 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stazionario e bianco di riferimento. Si individua una perdita di concentrazione di benzo(ghi)perilene dopo l'esposizione in 13 campioni di muschio e in 20 di quadrello. Il maggiore fattore di accumulo è pari a 3,04 per il muschio e 1,06 per il quadrello. La capacità di accumulo del quadrello è nullo e quello del muschio, seppur superiore di oltre 5 volte, pare comunque non adeguato a rappresentare una situazione reale.

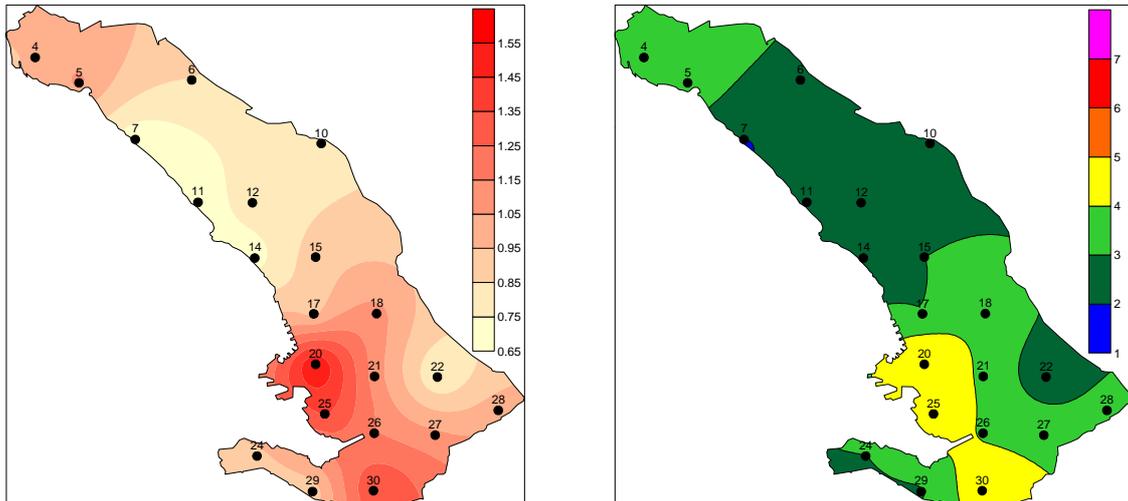
Tab. 14. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.12 Indeno(123cd)pirene (Nome IUPAC: Indeno[123cd]pyrene)

È costituito da 5 anelli aromatici, dal peso molecolare di 276,3 g/mol. Si trova nei combustibili fossili e in prodotti da combustione incompleta (IARC, 1983). Nonostante gli studi sulla sua tossicità siano poco approfonditi, è tuttavia considerato un probabile composto cancerogeno (EPA, 1994).

Muschio

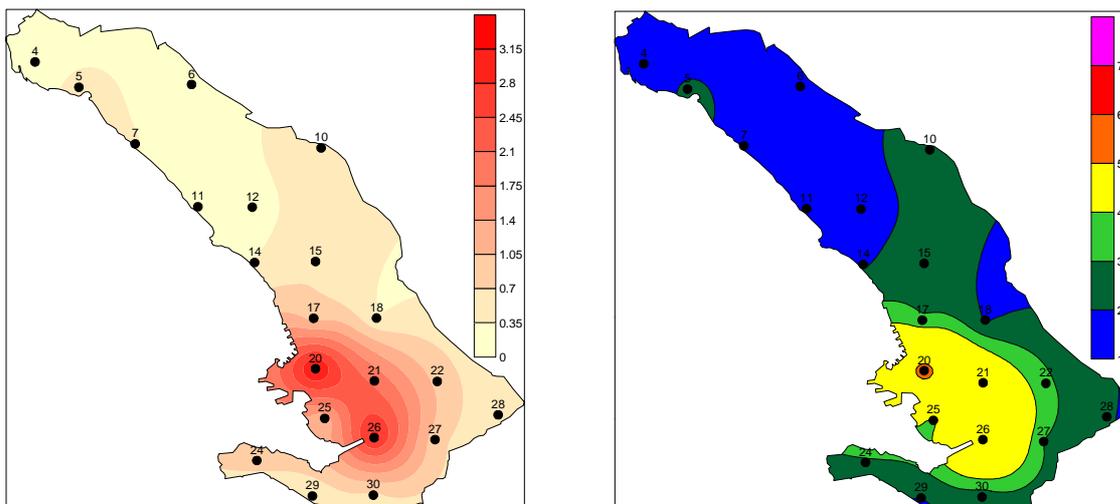
Il valore minimo di indeno(123cd)pirene è stato registrato presso la stazione 7 lungo il tratto costiero (15,60 ng/g, Tab. 4a), il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (st. 20; 34,43 ng/g). La carta di Fig. 24a individua consistenti pattern diffusionali che dalla porzione meridionale della Provincia di Trieste degradano procedendo verso Nord sull'altipiano carsico e lungo la costiera. La carta di Fig. 24b suggerisce moderati fenomeni di alterazione solo nelle stazioni situate presso Piazza Garibaldi, la Zona industriale est a Trieste e in Valle delle Noghère (st. 20, 26 e 30 rispettivamente).



Figg. 24a,b. Carta di distribuzione di indeno(123cd)pirene (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo di è stato registrato presso la stazione 4 in località Villaggio del Pescatore (2,68 ng/g, Tab 4b), il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (st. 20; 87,62 ng/g). La carta di Fig. 25a individua pronunciati fenomeni diffusionali dalla città di Trieste, corrispondenti a fenomeni di moderata alterazione ambientale secondo la carta di Fig. 25b, relativamente alle stazioni localizzate presso Piazza Garibaldi, Servola, Rozzol e la Zona industriale est a Trieste (st. 20, 25,21 e 30 rispettivamente).



Figg. 25a,b. Carta di distribuzione di indeno(123cd)pirene (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

INDENO8123CD)PIRENE		
STAZIONE	MUSCHIO	QUADRELLO
4	0,95	0,10
5	1,07	0,46
6	0,85	0,15
7	0,67	0,36
10	0,79	0,63
11	0,70	0,25
12	0,80	0,21
14	0,70	0,35
15	0,91	0,69
17	0,92	0,92
18	1,09	0,36
20	1,57	3,32
21	1,10	2,02
22	0,74	0,95
24	0,90	0,81
25	1,36	1,14
26	1,16	3,02
27	1,08	0,83
28	1,01	0,44
29	0,88	0,39
30	1,36	0,60
Min	0,67	0,10
Max	1,57	3,32
Media	0,98	0,86

Confronto muschio-quadrello

Sia la carta di distribuzione che di interpretazione del muschio sono in buon accordo con quelle del quadrello.

La Tab. 15 riporta i fattori di accumulo per i due accumulatori, intesi come rapporto tra dato stagionale e bianco di riferimento. Si individua una perdita di concentrazione di indeno(123cd)pirene dopo l'esposizione in 12 campioni di muschio e in 17 di quadrello. Il maggiore fattore di accumulo è pari a 1,57 per il muschio e 3,32 per il quadrello. La capacità di accumulo è trascurabile in entrambe le matrici.

Tab. 15. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

5.13 Carico totale

In questo paragrafo si propone una trattazione sintetica del carico totale di IPA riscontrato su tutto il territorio provinciale. Come carico totale si intende la media dei fattori di accumulo di ogni IPA analizzato per singola matrice di accumulo. Sono stati esclusi dal calcolo il dibenzo(ah)antracene, benzo(ghi)perilene e indeno(123cd)pirene, dal momento che per entrambe le matrici impiegate si è assistito ad una perdita di concentrazione di questi composti in confronto ai rispettivi bianchi di riferimento. Per l'interpretazione dei carichi totali delle due matrici in termini di alterazione ambientale vengono proposte le scale come da Tab. 16. Le scale rappresentano un primo approccio di interpretazione dei dati, suscettibili quindi di modifiche non appena saranno disponibili ulteriori misure ricavate dall'applicazione di analoghe metodologie.

Classi	Carico muschio	Carico quadrello	Colore
1. Naturalità molto alta	1	1	Blu
2. Naturalità alta	1.5	4	Verde scuro
3. Naturalità media	2.5	7	Verde chiaro
4. Natur. bassa / Alter. Bassa	4	11	Giallo
5. Alterazione media	5	15	Arancione
6. Alterazione alta	6	20	Rosso
7. Alterazione molto alta	7	25	Cremisi

Tab. 16. Scale di interpretazione di deviazione dei carichi totali da condizioni di background naturale.

Muschio

Il valore minimo è stato registrato presso la stazione 10 situata sul Monte Lanaro (0,85; Tab. 16), il massimo presso la Zona industriale est a Trieste (St. 26), pari a 7,26 volte il valore del bianco di riferimento. Presso la succitata stazione 10 e a Barcola (st. 11) si è assistito addirittura ad un calo rispetto al carico totale iniziale. La carta di Fig. 26a suggerisce consistenti fenomeni diffusivi dalla porzione meridionale della provincia dove si concentrano i maggiori insediamenti urbani e industriali. La carta di interpretazione di fig. 26b suddivide il territorio in fasce come segue:

Fascia 1: naturalità molto buona. Rientrano in questa fascia le stazioni situate presso la località Villaggio del Pescatore (st 4), Santa Croce (st. 11), Monte Lanaro (st 10), Costiera (st. 7), San Pelagio (st. 6) e Prosecco (st. 12).

Fascia 2: naturalità buona. Rientrano in questa fascia le stazioni presso Barcola (st 14), Sistiana (st. 5), Valle delle Noghère (st 30), Padriciano (st 18), Opicina (st. 15).

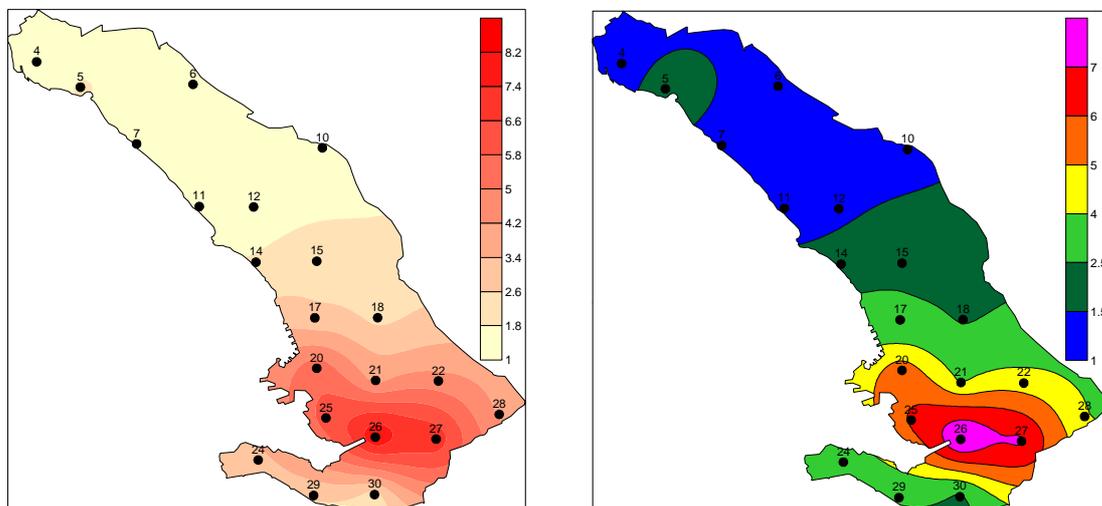
Fascia 3: naturalità media. E' rappresentata dalle stazioni presso Zindis e Santa Barbara (st. 24 e 29 rispettivamente) nel Comune di Muggia, nonchè la stazione situata nella porzione alta del Rione di Roiano a Trieste (st. 17).

Fascia 4: naturalità moderata/alterazione moderata. Raggruppa 2 stazioni situate presso il confine di Pesek (st. 28) e Basovizza (st. 22).

Fascia 5: alterazione media. Rientra in questa fascia solo la stazione situata presso Piazza Garibaldi (st. 20).

Fascia 6: alterazione forte. Condizione ambientale che riguarda solo la stazione 25 presso Servola.

Fascia 7: alterazione molto forte. Raggruppa 2 stazioni situate presso la Zona industriale est di Trieste (st. 26) e San Dorligo della Valle (St. 27).



Figg. 26a,b. Carta di distribuzione del carico totale di IPA (a) nei muschi delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Quadrello

Il valore minimo è stato registrato presso la stazione 4 in località Villaggio del Pescatore, il massimo in Piazza Garibaldi a Trieste (st. 20, Tab. 16). La carta di Fig. 27a individua pattern diffusionali che coinvolgono la parte centro-meridionale della provincia, estendendosi anche su vaste porzioni di altipiano carsico. La carta di interpretazione di fig. 27b suddivide il territorio in fasce come segue:

Fascia 1: naturalità molto buona. Raggruppa 5 stazioni, situate presso la località Villaggio del Pescatore (st 4), Costiera (st. 7), San Pelagio (st. 6), Prosecco (st. 12), Santa Croce (st. 11).

Fascia 2: naturalità buona. Rientrano in questa fascia le stazioni presso Monte Lanaro (st. 10), Padriciano (st. 18), Barcola (st. 14), e Santa Barbara (St. 29).

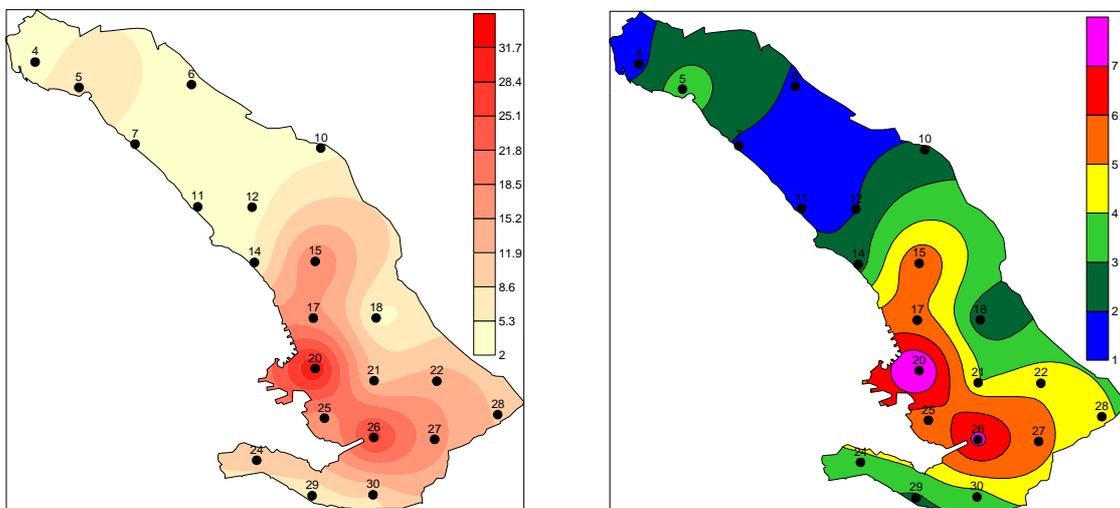
Fascia 3: naturalità media. Raggruppa 3 stazioni, situate presso Zindis e Valle delle Noghère nel Comune di Muggia (st. 24 e 30 rispettivamente), e una a nord del territorio provinciale, presso Sistiana (st. 4).

Fascia 4: naturalità moderata/alterazione moderata. Rientrano in questa fascia le stazioni situate presso Basovizza e Pesek sull'altipiano carsico (st. 22 e 28 rispettivamente)

Fascia 5: alterazione media. Raggruppa 4 stazioni, situate presso Opicina (st. 15), San Dorligo della Valle (st. 27), i rioni di Roiano e Servola a Trieste (st. 17 e 25 rispettivamente).

Fascia 6: alterazione forte. Nessuna stazione rientra in questa fascia

Fascia 7: alterazione molto forte. Raggruppa 2 stazioni situate presso Piazza Garibaldi (st. 20) e la zona industriale est di Trieste (st. 26).



Figg. 27a,b. Carta di distribuzione del carico totale di IPA (a) nei campioni di quadrello delle 21 stazioni di rilevamento e (b) interpretazione dei dati in termini di alterazione ambientale.

Confronto muschio-quadrello

Le carte di distribuzione del carico totale di IPA riscontrato nei campioni di entrambe le matrici sono ben sovrapponibili solo nella porzione centro-settentrionale del territorio provinciale, dove si concentrano le stazioni a maggiore naturalità ambientale.

Il muschio tende a concentrare maggiormente i fenomeni diffusivi nella porzione meridionale della provincia, mentre il quadrello va a rappresentare pattern più estesi sull'altipiano carsico in direzione settentrionale. Le carte di interpretazioni sono confrontabili per quanto concerne le zone di maggiore naturalità, confinate soprattutto nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio, tuttavia il quadrello pare rilevare condizioni di alterazione più estese e pronunciate rispetto al muschio, come confermato dalla Tab. 17. In questa tabella sono riportati i fattori di accumulo relativi al carico totale di IPA per entrambe le matrici, cui vengono associati i rispettivi colori di interpretazione in termini di alterazione o naturalità ambientale come da Tab. 16. Si nota che 11 stazioni di rilevamento presentano la medesima interpretazione, 6 differiscono di una classe, 3 di 2 classi, e 1 stazione ben di 3 classi. La tab. 18 riporta i fattori di accumulo medi rilevati nelle stazioni di campionamento per tutti gli IPA indagati e per il carico totale. Il quadrello presenta un fattore di accumulo maggiore rispetto a quello del muschio per tutti gli IPA tranne per il benzo(ghi)perilene e indeno(123cd)pirene, composti per i quali è stata però riscontrata una sostanziale incapacità di entrambe le matrici ad accumularli. La capacità di accumulo del quadrello è mediamente superiore di oltre 3 volte, con un picco di 6,04 per il fluorene e un minimo di 1,71 relativamente al benzo(a)pirene.

STAZIONE	LOCALITA'	MUSCHIO	QUADRELLO
4	Villaggio del Pescatore – Duino Aurisina	1,05	3,08
5	Sistiana – Duino Aurisina	1,91	9,12
6	San Pelagio – Duino Aurisina	1,25	3,71
7	Costiera – Trieste	1,21	3,46
10	Monte Lanaro – Sgonico	1,17	4,32
11	Santa Croce – Trieste	1,06	3,81
12	Prosecco – Trieste	1,30	3,81
14	Barcola – Trieste	1,91	5,02
15	Opicina – Trieste	2,38	19,22
17	Roiano – Trieste	2,83	16,17
18	Area di Ricerca Padriciano – Trieste	2,38	4,12
20	Piazza Garibaldi– Trieste	5,60	32,80
21	Rozzol – Trieste	3,90	10,93
22	Basovizza – Trieste	4,54	13,84
24	Zindis – Muggia	3,07	9,61
25	Servola – Trieste	6,15	16,37
26	Zona industriale – Trieste	8,20	27,30
27	Dolina – San Dorligo della Valle	7,16	16,47
28	Draga sant'Elia, Pesek – San Dorligo della Valle	4,08	11,52
29	Santa Barbara – Muggia	2,74	6,24
30	Valle delle Noghère – Muggia, S. Dorligo della V.	2,21	8,68
MIN		1,05	3,08
MAX		8,20	32,80
Media		3,15	10,93

Tab. 17. Fattori di accumulo per i due accumulatori in relazione ad ogni stazione di campionamento, minimo, massimo e media.

	MUSCHIO	QUADRELLO	Q/M
FLUORENE	1,46	8,81	6,04
FENANTRENE	3,94	11,25	2,85
ANTRACENE	3,73	6,83	1,83
FLUORANTENE	6,00	26,57	4,43
PIRENE	6,48	20,45	3,16
BENZO(E)PIRENE	4,95	14,95	3,02
BENZO(B)FLUORANTENE	1,59	6,15	3,87
BENZO(K)FLUORANTENE	1,46	5,78	3,95
BENZO(A)PIRENE	0,95	1,62	1,71
DIBENZO(AH)ANTRACENE	0,30	1,26	4,26
BENZO(GHI)PERILENE	1,05	0,27	0,26
INDENO(123CD)PIRENE	0,98	0,86	0,87
CARICO TOTALE	3,15	10,93	3,47

Tab. 18. Fattori di accumulo medio di tutte le stazioni di campionamento per ogni IPA indagato e per il carico totale.

7. CONCLUSIONI

Per quanto concerne il confronto sperimentale tra le due matrici indagate, i risultati ottenuti dal presente studio indicano una generale maggiore capacità di accumulo del quadrello rispetto al muschio. Tuttavia il muschio è in grado di accumulare acenafene, per un valore sino a oltre 5 volte superiore rispetto al bianco di riferimento, composto che non viene accumulato nel quadrello in concentrazioni rilevabili.

Per entrambe le matrici si è individuata una sostanziale incapacità di accumulare gli IPA più pesanti, ovvero dibenzo(ah)antracene, benzo(ghi)perilene e indeno(123cd)pirene, dal momento che si è assistito addirittura a frequenti perdite di concentrazione di questi composti in confronto ai rispettivi bianchi di riferimento. Questo è dovuto probabilmente a differenti fattori tra cui la maggiore fotodegradabilità degli IPA più pesanti, al maggiore peso molecolare di suddetti composti, nonché alle basse temperature atmosferiche del periodo in cui è stato eseguito il rilevamento, fattori che diminuiscono la loro volatilità riducendone sensibilmente le concentrazioni in atmosfera.

Il quadrello pare possedere una maggiore capacità di rilevare situazioni di alterazione ambientale rispetto al muschio, individuando aree a rischio più estese e maggiormente differenziate.

Per quanto concerne i risultati ambientali, la porzione centro-settentrionale della Provincia di Trieste presenta situazioni di buona naturalità. Le fonti emittenti di IPA sono ridotte a pochi agglomerati urbani e due grosse arterie di traffico veicolare (la strada costiera e l'autostrada sull'altipiano carsico) e non sembrano costituire consistenti pattern diffusionali. Sono state individuate estese aree di alterazione ambientale, da moderata a molto forte, sostanzialmente nella conca di Trieste e, benché in misura inferiore, nella porzione centro-meridionale dell'altipiano carsico, territorio provinciale soggetto a maggiore pressione antropica di natura residenziale, veicolare e industriale.

E' da sottolineare che i campioni di accumulatori sono stati esposti nel periodo dell'anno e nelle condizioni meteorologiche in cui si verificano le maggiori punte di inquinamento atmosferico da IPA, ovvero in inverno, assenza di vento, bassa pressione, umidità elevata. Si suggerisce uno studio su scala annuale in modo tale da fornire un quadro più completo dei pattern diffusionali nella Provincia di Trieste di questa importante classe di inquinanti, nonché per affinare le tecniche di interpretazione dei dati in termini di inquinamento atmosferico.

8. BIBLIOGRAFIA

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1990. Toxicological Profile for Benzo(a)pyrene. Prepared by ICF-Clement, under Contract No. 68-02-4235. ATSDR/TP-88-05.
- Behymer, T. D., Hites, R. A., 1985. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on simulated atmospheric particulates, *Environ. Sci. Technol.* 19: 100-1006.
- Darlington A.B., Dat J.F., Dixon M.A., 2001. The biofiltration of indoor air: air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene, and xylene. *Environ. Sci. Technol.* 35, 240-246.
- Dennissenko M.F., Pao A., Tang M.S., Pfeifer G.P., 1996. Preferential formation of benzo[a]pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53. *Science* 274, 430-432.
- Edwards N.T., 1988. Assimilation and metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons by vegetation. In "polycyclic aromatic hydrocarbons: a decade of progress". Cooke M., Dennis A.J. (Eds.), Battelle Press, Columbus, OH. pp 211-229.
- Eswea N.A., Corn M., 1971. Residence time of particles in urban air. *Atmos. Environm.* 5, 571-578.
- Falkson, G., B. Klein and H. Falkson. 1985. Hematological toxicity: Experience with anthracylines and anthracenes. *Exp. Hematol.* 13: 64-71.
- Franzaring J., Bierl R., Ruthsatz B., 1992. Active biological monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons using kale (*Brassica oleracea*) as a monitor-species. *Chemosphere* 25, 827-834.
- Harrison, Smith, Luhana, 1996. Source Apportionment of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Collected from an Urban Location in Birmingham, U.K. *Environment Science Technologie*, 30, 825-832.
- Hellström A., 2003. Uptake of airborne organic pollutants in pine needles. Geographical and seasonal variations. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, pp. 39.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 1983. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Polynuclear Aromatic Compounds. Part 1. Chemical, Environmental and Experimental Data, Vol. 32. World Health Organization, Lyon, France, pp. 419-430.
- Ignesti G., Lodovici M., Dolara P., Lucia P., Grechi D., 1992. Polycyclic aromatic hydrocarbons in olive fruits as a measure of air pollution in the valley of Florence (Italy). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 48, 809-814.
- Jones K.C., Grimmer G., Jakob J., Johnston A.E. (1989). Changes in the polynuclear aromatic hydrocarbon content of wheat grain and pasture grassland over last century from one site in the U.K. *Sci. Total Environ.* 78, 117-130.
- Kayali, Rubio-Barroso, Polo-diez. 1995. Rapid PAH Determination in Urban Particulate Air Samples by HPLC with Fluorometric Detection and Programmed Excitation and emission Wavelength Paris.-*Journal of Chromatographic Science* 33,181-185
- Khun A., Ballach H.J., Wittig R. 1998. Seasonal variation of the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in poplar leaves. *Fresenius Environ. Bull.* 7, 164-169.

- Knulst J.C., Westling H.O., Brorström-Lunden E., 1995. Airborne organic micropollutant concentrations in mosses and humus as indicator for local versus long range sources. *Environ. Mon. Ass.* 36, 75-91.
- Kylin H., Grimvall E., Ostman C., 1994. Environmental monitoring of polychlorinated biphenyls using pine needles as passive samplers. *Environ. Sci. Technol.* 28, 1320-1324.
- Kylin H., Söderkvist K., Undeman A., Franich R.A., 2002. Seasonal variation of the terpene content, an overlooked factor in the determination of environmental pollutants in pine needles. *Bull. Environm. Cont. Toxicol.* 68, 155-160.
- Lane D.A., 1989. The fate of polycyclic aromatic compounds in the atmosphere and during sampling. In "Chemical analysis of polycyclic aromatic compounds". T. Vo-Dinh (Ed.), J. Wiley & Sons. pp. 31-58.
- Lodovici M., Dolara P., Taiti S., Carmine P.D., Bernardi L., Agati L., Ciapellano S., 1994. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the leaves of the evergreen tree *Laurus nobilis*. *Sci. Tot. Environ.*, 153, 61-68.
- Lodovici M., Akpan V., Casalini C., Zappa C., Dolara P., 1998. Polynuclear aromatic hydrocarbons in *Laurus nobilis* leaves as a measure of air pollution in urban and rural sites of Tuscany. *Chemosphere* 36, 1703-1712.
- Masclat P., Mouvier G, Nikolaou K., 1986. Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmos Environ*; 20: 439-46.
- Nakaijma D., Yoshida Y., Suzuki J., Suzuki S., 1995. Seasonal changes in the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in azalea leaves and relationship to atmospheric concentration. *Chemosphere* 30, 409-418.
- Nimis P.L., Skert N., Castello M., 1999. Biomonitoraggio di metalli in traccia tramite licheni in aree a rischio del Friuli-Venezia-Giulia. *Studia Geobotanica* 18: 3-49.
- Niu J., Chen J., Martens D., Quan X., Yang F., Kettrup A., Schramm K.W., 2003. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] needles under sunlight irradiation. *Environ. Poll.* 123, 39-45.
- Reilley K.A., Banks M.K., Schwab A.P., 1996. Organic chemicals in the environment. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J. Environ. Qual.* 25, 212-219.
- Rogge W.F., Hidlemann L.M., Mazurek M.A.A., Glen R.C., Simoneit B.R.T., 1993. Sources of fine organic aerosol. 2. Non-catalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. *Environmental Science and Technology* 27, 636-651.
- Rühling A, Tyler G., 1969. Ecology of heavy metals – a regional and historical study. *Botaniska Notiser* 122, 248 – 259.
- Salisbury F.B., Ross C.W., 1992. *Plant physiology*. Wadsworth, Belmont CA. 682 pp.
- Sicre M.A., Marty J.C., Saliot A., Aparicio X., Grimalt J., Albaiges J. 1987. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin, *Atmospheric Environment* , 21: 2247-2259.
- Simonich S.L., Hites R.A., 1994a. Importance of vegetation in removing polycyclic aromatic hydrocarbons from the atmosphere. *Nature* 370, 49-51.
- Simonich S.L., Hites R.A., 1994b. Vegetation-atmosphere partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.* 28, 939-943.
- Simonich S.L., Hites R.A., 1995. Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environ. Sci. Technol.* 29, 2905-2914.
- Sims R.C., Overcash M.R., 1983. Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. *Residue Rev.* 88, 1- 68.

- Skert N., Miani N., Giorgini L., 2007. Matrici biologiche e artificiali come accumulatori di IPA aerodispersi. *Acqua & Aria*, 1 gennaio 2007: 26-30.
- Slaski J.J., Archanbaud D.J., Xiaomei L., 2000. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) accumulation in plants. The potential use of PAH accumulation as a marker of exposure to air emissions from oil and gas flares. ISBN 0-7785-1228-2. Report prepared for the Air Research Users Group, Alberta Environment, Edmonton, Alberta, pp. 30.
- Soclo H., 1986. Etudes de la distribution des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans les sediments Marins Recents, Identification des Sources, Ph.D. Thesis, University Bordeaux I, Bordeaux, France.
- Storer, J.S., I. DeLeon, L.E. Millikan, et al. 1984. Human absorption of crude coal tar products. *Arch Dermatol.* 120: 874-877. (Cited in ATSDR, 1990)
- Thomas W., Ruhling A., Simon H., 1984. Accumulation of airborne pollutants (PAH, chlorinated hydrocarbons, heavy metals) in various plant species and humus. *Environ. Poll.* 36, 295-310.
- Tomaniovà, Haislovà, Pavelka Jr., Kocourek, Haladovà, Klimovà 1998. Microwave-assisted solvent extraxion—a new method for isolation of polynuclear aromatic hydrocarbons from plants. *Journal Chromatography A*, 827, 21-29.
- Yamasaki H., Kuwata K., Miyamoto H. (1982). Effect of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.* 16, 189-194.
- Yunker M. B., Macdonald R. W., Vingarzan R., Mitchell H., Goyette, D., Sylvestre S., 2002. *Org. Geochem.*, 33, 489.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1988. Drinking Water Criteria Document for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Prepared by the Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, for the Office of Drinking Water. ECAO-CIN-D010.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) 1991a. Anthracene. Health Effects Assessment Summary Tables. Annual FY-1991. Prepared by the Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH, for the Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. NTIS PB91-921199.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1991b. Anthracene. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Cincinnati, OH.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1992. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Cincinnati, OH.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1993a. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Cincinnati, OH.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1994. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Cincinnati, OH.
- Volkova, N.I. 1983. Anthracene and derivatives. In: *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, Vol. 1. L. Parmeggiani, Ed. International Labour Office, Geneva, pp. 162-163.

- Wegener J.W.M., Schaik van M.J.M., Aiking H., 1992. Active biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of mosses. *Environ. Poll.* 76, 15-18.
- Wild S.R., Jones K.C., 1991. Studies of the polynuclear aromatic hydrocarbons content of carrots (*Daucus carota*). *Chemosphere* 23, 243-251.
- Zepp R.G., Schlotzhauer P.F., 1979. Photoreactivity of selected aromatic hydrocarbons in water. In: Jones P.R., Leber P. (eds.), *Polynuclear aromatic hydrocarbons*. Ann Arbor Science Publisher, Ann Arbor, MI, pp. 141-15