

# Inquinamento da idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

## Prima valutazione degli IPA a Mottola e approccio educativo al lavoro scientifico

**Domenico Potenz, Gabriella Pansini**

*Gruppo di Lavoro dell'Associazione AVAMPOSTO.EDUCATIVO Onlus<sup>1</sup>*

dpotenz@alice.it

### **Contributo per la ricerca**

Giuseppe D'Auria, Lisanna D'Onghia, Marco Montemurro

*Liceo Scientifico "A. Einstein" Mottola*

### **Ringraziamenti**

Alessandro Marescotti –PeaceLink per la strumentazione messa a disposizione

Pietro Rotolo –Dir. Sc. Liceo Scientifico Mottola per il sostegno al lavoro con gli studenti

### **Riassunto**

La visione educativa prospettica ha condotto l'Associazione Avamposto.Educativo Onlus a progettare, per giovani maturati che hanno frequentato il **Percorso di Chimica** per i test d'ingresso alle Facoltà Scientifiche, una ricerca di carattere scientifico sul territorio con l'obiettivo di sviluppare una sensibilità e un'attenzione alle problematiche del proprio ambiente.

L'indagine svolta, condotta con un analizzatore portatile della EcoChem Analysis in grado di fornire risposte attendibili in tempi brevi, ha portato ad una prima valutazione dell'inquinamento atmosferico da Idrocarburi policiclici aromatici -IPA-. Le fonti principali di queste sostanze inquinanti derivano dalla produzione di energia termica e trasformazione di combustibili fossili legati a processi industriali quali quelli siderurgici e civili dovuti al riscaldamento e al traffico veicolare. I dati disponibili per il territorio riguardano la città di Taranto, dove la presenza dell'ILVA comporta livelli elevati di inquinamento, in particolare per la quantità di benzo(a)pirene, uno degli IPA per il quale è riconosciuto un alto rischio cancerogeno.

Le misure sono state effettuate il 28.09.2011, tra le ore 17.00 e le ore 19.00, in sei diversi siti appositamente scelti, tenendo conto anche delle condizioni del vento. I risultati della ricerca evidenziano un legame tra concentrazione degli IPA e livello del traffico urbano, raggiungendo valori che superano nettamente il valore soglia individuato in  $100 \text{ ng} / \text{m}^3$  in situazione di traffico intenso. Si è anche valutato l'inquinamento all'interno degli ambienti di vita. Il lavoro svolto ha una ricaduta, dal punto di vista della formazione scientifica, sui giovani nel momento di passaggio dalle scuole superiori all'università.

### **Abstract**

An educational vision in perspective has led the Association Avamposto.Educativo to plan a scientific research for young people who attended the courses of Chemistry for the University entrance exam, with the aim of developing an interest in environmental problems.

The analysis, conducted with an EcoChemAnalysis portable analyzer able to provide reliable results in a short time, allowed to measure the air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons-PAH-. The main sources of these pollutants are the production of thermal energy in steel industrial processes and the conversion of fossil fuels in civilian behaviour, consisting in heat and vehicular traffic. The data available refer to the area around the city of Taranto, where the existence of ILVA implies high levels of pollution, particularly for the presence of benzo (a) pyrene, a PAH recognized for its high carcinogenic action.

Measurements were made on 28.09.2011, between 17.00 and 19.00, in six different sites specifically selected, taking into consideration the wind conditions. The research findings show a link between the concentrations of PAHs and the level of city traffic, which reaches values that far exceed the threshold value identified in  $100 \text{ ng} / \text{m}^3$  in situations of intense traffic. The level of pollution in indoor environments was also evaluated. The work has a positive effect on the quality of scientific education of youth in their transition from high school to college.

<sup>1</sup> Associazione AVAMPOSTO.EDUCATIVO ONLUS –Via Gutenberg, 1 -74017 Mottola  
www.avampostoeducativo.it

## PAROLE CHIAVE

Educazione scientifica; Chimica a scuola; Idrocarburi policiclici aromatici; Inquinamento atmosferico da idrocarburi policiclici aromatici.

## KEY WORDS

Science education; Chemistry at school, polycyclic aromatic hydrocarbons, air pollution from polycyclic aromatic hydrocarbons .

## 1. ASPETTI EDUCATIVI DEL LAVORO SCIENTIFICO

La misura della concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici nell'atmosfera a Mottola rappresenta il momento conclusivo di un percorso formativo che l'Associazione Avamposto Educativo Onlus ha organizzato per i neo maturati nell'a.s. 2010-2011. L'obiettivo del percorso era quello di far acquisire in maniera organica le conoscenze essenziali di chimica, sia per affrontare i test d'ingresso alle Facoltà Scientifiche e iniziare un corso di laurea, sia per cogliere alcuni aspetti importanti della relazione tra scienza, tecnologia e società.

L'impegno educativo profuso si situa in un lungo cammino di attenzione verso la preparazione scientifica dei giovani del territorio, cammino vissuto da alcuni del gruppo di lavoro dell'Associazione Avamposto Educativo. In questo contesto, negli anni novanta il prof Antonino Drago ha tenuto, per i ragazzi del 5° anno del corso professionale per Tecnici Chimico Biologici, una serie di incontri sulla storia della scienza, i cui contenuti opportunamente elaborati, hanno condotto alla pubblicazione di un testo divulgativo [1].

L'elaborazione e lo sviluppo del lavoro di ricerca sono stati mirati a consentire, nei ragazzi disponibili all'esperienza, un graduale avvicinamento al contesto pratico e al recupero e integrazione di tutte le acquisizioni scolastiche necessarie. Dopo alcuni incontri introduttivi, in cui si è presentato il progetto di ricerca, si è proceduto ad effettuare le misure sul campo e ad assegnare i vari compiti relativi allo sviluppo dei dati e alla ricerca bibliografica necessaria. Ci è parso importante discutere nel dettaglio gli elementi basilari di un report, il cui schema utilizzato è riportato nella Figura 1, perché questi danno spessore e significato al lavoro scientifico.

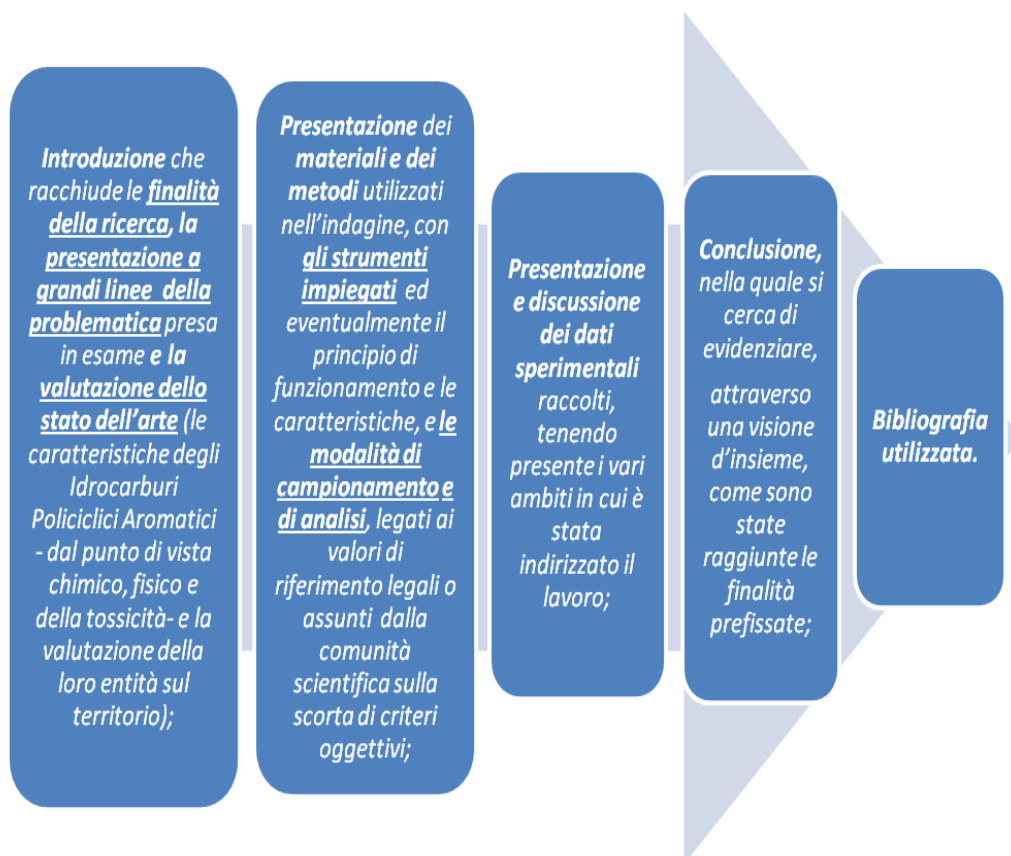


Figura 1. Schema a blocchi dello sviluppo di un report

## 2. INTRODUZIONE

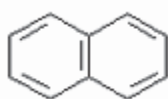
### 2.1 Motivazioni e finalità della ricerca

Le finalità della ricerca sono quelle di valutare il livello di inquinamento da IPA a Mottola, attraverso le misure fatte nelle diverse postazioni prese in esame, e sviluppare, con una conoscenza approfondita della tematica e una divulgazione dei dati, una sensibilità e un'attenzione alle problematiche che minano il benessere del proprio territorio.

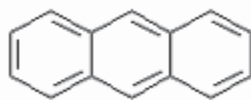
### 2.2 IPA: tipi di composti e provenienza

Gli idrocarburi policiclici aromatici -IPA o PAH nell'acronimo inglese-, sono idrocarburi costituiti da due o più anelli benzenici condensati che si formano generalmente durante i processi di combustione, per polimerizzazione di frammenti delle molecole del combustibile. La reazione di polimerizzazione avviene, in particolare, in condizioni di carenza di ossigeno; i frammenti di combustibile perdono atomi di idrogeno, che con l'ossigeno generano vapore acqueo, e i residui ricchi di carbonio si combinano in modo tale da formare gli idrocarburi aromatici policiclici, molecole relativamente stabili e con un rapporto C/H elevato [2].

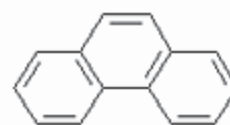
Il più semplice composto degli IPA è il **naftalene**, ottenuto dalla condensazione di due anelli benzenici. La fusione di una terza molecola di benzene porta a due diversi composti, in uno gli anelli sono disposti linearmente (**antracene**) e nell'altro danno luogo ad una ramificazione (**fenantrene**).



**Naftalene**

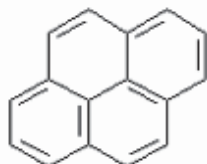


**Antracene**

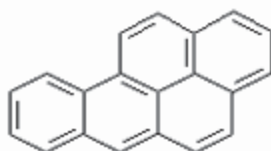


**Fenantrene**

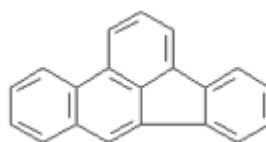
All'aumentare del numero di anelli benzenici utilizzati aumenta il numero dei possibili composti, si valuta che in natura esistono più di cento diversi IPA alcuni dei quali hanno effetti inquinanti e presentano una alta tossicità per i vari organismi, in particolare, per l'uomo. Le molecole riconosciute dannose per la salute degli animali e dell'uomo sono: l'acenaftene, l'acenaftilene, l'antracene, il benzo(a)antracene, il dibenzo(a,h)antracene, il crisene, il pirene, il benzo(a)pirene, l'indeno(1,2,3-c,d)pirene, il fenantrene, il fluorantene, il benzo(b)fluorantene, il benzo(k)fluorantene, il benzo(g,h,i)perilene e il fluorene [3]. Si riportano di seguito le formule di alcuni di questi composti:



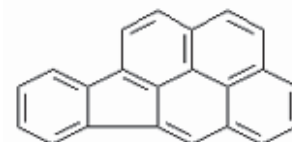
**Benzo(a)Pirene**



**Benzo(a)Pirene**



**Benzo(b)Fluorantene**



**Indeno(1,2,3-c,d)Pirene**

Gli IPA, che si trovano naturalmente nel carbon fossile e nel petrolio, possono provenire da fonti naturali e antropiche. Nel primo caso sono dovuti a biosintesi particolari, effettuate da batteri e piante, e a emissioni in atmosfera durante le eruzioni vulcaniche e l'incendio di boschi. Nel secondo, dove la produzione è legata alle attività dell'uomo, si ottengono dalla combustione incompleta di combustibili di vario tipo, compresi i rifiuti solidi urbani, durante processi industriali (processi siderurgici, di incenerimento e di produzione di energia termica e di trasformazione di combustibili fossili) e civili (sistemi di riscaldamento domestico e traffico veicolare). Gli IPA ad alto peso molecolare, come il benzo(a)pirene, sono presenti in elevate quantità in asfalti, bitumi, carbone e fuliggine di legna ottenuta sempre dalla combustione. Gli IPA a basso peso molecolare, come naftalene e fluorene, essendo solubili in acqua, sono ubiquitari e, pertanto, possono inquinare le acque sotterranee.

### 2.3 Proprietà fisiche e chimiche degli IPA

Gli IPA sono solidi a temperatura ambiente, presentano punti di ebollizione e di fusione elevati che aumentano con il peso molecolare, tendono a sublimare e presentano generalmente una tensione di vapore bassa e inversamente proporzionale al numero di anelli condensati. La solubilità di queste molecole in acqua decresce all'aumentare del peso molecolare, per cui gli IPA con più di quattro anelli si trovano adsorbiti sulla superficie di particelle come il particolato atmosferico, mentre gli IPA a basso peso molecolare con due o tre anelli possono trovarsi liberi nei sistemi acquosi. Sono sostanze altamente lipofili e persistenti e ciò spiega la tendenza ad accumularsi negli organismi per ingestione, respirazione o semplice contatto, raggiungendo concentrazioni nettamente superiori all'ambiente circostante (bioaccumulo).

## Prima valutazione degli IPA a Mottola

La reattività chimica degli IPA è influenzata da molti fattori ambientali fra i quali la luce, la temperatura, i livelli di ossigeno e di ozono, la presenza di materiale capace di adsorbirli. È stato osservato che l'adsorbimento su materiale particolato, quale ad esempio la fuliggine, ne riduce l'ossidazione fotochimica che porta alla loro decomposizione.

Gli IPA immessi in atmosfera con un numero di anelli benzenici minore o uguale a quattro tendono a restare allo stato gassoso e in un tempo ridotto subiscono una degradazione radicalica. Le molecole con un numero superiore a quattro benzeni condensati sono condotti a subire, come è stato detto, un processo di adsorbimento sul particolato, particelle comunemente di cenere o di fuliggine disperse in atmosfera, che tendono a raggiungere la superficie terrestre, cadendo sul suolo o su superfici acquose [4].

Le dimensioni del particolato hanno una notevole importanza, infatti mentre le particelle con diametro superiore a 10  $\mu\text{m}$  sono sedimentabili e non generano problemi respiratori, quelle con diametro inferiore penetrano nel tratto respiratorio. In particolare, il particolato  $\text{PM}_{10}$  -minore di 10  $\mu\text{m}$ - penetra nel naso e nella laringe ed è detto polvere inalabile, quello tra  $\text{PM}_5$  e  $\text{PM}_{2,5}$  si deposita nei bronchioli, il particolato minore di  $\text{PM}_{2,5}$  penetra nei polmoni ed è chiamato polvere toracica, quello di dimensioni ancora inferiori è in grado di penetrare anche negli alveoli ed è detto polvere respirabile.

### 2.4 Effetti inquinanti e tossici per la salute umana

L'inquinamento atmosferico degli IPA, in alcune città, è responsabile di danni alla salute della popolazione, la loro concentrazione ammonta ad alcuni nanogrammi per metro cubo e può raggiungere valori decine di volte superiori in ambienti molto inquinati. La quantità di IPA negli ambienti chiusi è dovuta al fumo del tabacco ed alla combustione, ad esempio, di legno e di carbone. Recentemente sono stati segnalati come "probabili cancerogeni per l'uomo", i gas ed il particolato emessi dagli scarichi degli autoveicoli a motore diesel e alcuni composti nitroderivati.

Gli IPA risultano generare anche un inquinamento delle acque, in particolare marine. Ne sono responsabili la produzione di distillati del catrame di carbone, la fuoriuscita del petrolio dalle raffinerie, dalle petroliere e dalle trivellazioni del petrolio in mare aperto. Nell'acqua potabile, la concentrazione degli IPA comunemente ammonta a pochi ng/l, tanto da essere considerato una fonte trascurabile di tali composti.

Una quantità rilevante è assunta dall'uomo attraverso alcuni cibi cotti a temperatura elevata (prodotti grigliati e affumicati), o contenenti i vegetali a foglia larga, su cui possono depositarsi queste sostanze presenti nell'atmosfera sotto forma di aerosol, e il fumo di tabacco.

Vari IPA sono stati classificati dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) come "possibili cancerogeni per l'uomo", e il Benzo(a)Pirene -BaP- è stato recentemente (2008) inserito nella categoria 1 come "cancerogeno per l'uomo" e assunto al ruolo di "marker" degli IPA. Gli studi epidemiologici effettuati hanno dimostrato che l'esposizione alle miscele IPA, contenenti in particolare il BaP, come accade per il fumo delle sigarette, comporta un aumento dell'insorgenza di forme tumorali, in particolare ai polmoni, alla pelle ed al tratto genito-urinario [5].

In merito al meccanismo di formazione dei tumori, si rileva che le posizioni relative degli anelli condensati degli IPA svolgono un ruolo importante nel determinarne il livello di potenzialità cancerogena. Gli IPA che, come il Benzo(a)Pirene, rappresentano gli agenti cancerogeni più potenti possiedono una "regione di recesso" (bay region) formata da una ramificazione nella sequenza di atomi degli anelli benzenici -vedi Figura 2- che nell'organismo subisce un'ossidazione ad opera dei sistemi enzimatici presenti negli organi bersaglio come il fegato. Si genera così un intermedio reattivo che costituisce un carcinogeno genotossico. Questo composto può dare un legame con l'RNA o il DNA attraverso la base azotata Adenina, provocando un notevole danno al materiale genetico che può condurre a delle mutazioni e ad un aumento considerevole della probabilità di cancerogenesi.

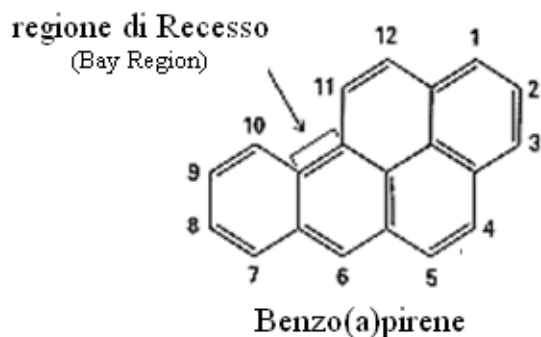


Figura 2. Regione di recesso del Benzo(a)Pirene

## 2.5 Valutazione dell'entità degli IPA a Taranto e Provincia

L'ARPA Puglia (Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente) nella relazione Tecnica Preliminare del 04 Giugno 2010 offre una valutazione della problematica degli IPA e in particolare del BaP a Taranto e nelle vicinanze, rapporto che risulta essere un obiettivo e valido riferimento per la valutazione dell'inquinamento atmosferico da IPA sul nostro territorio [6].

La normativa italiana, legata al DM 25.11.1994 e al D.lgs. 152/2007, fissa per il Benzo(a)Pirene il valore obiettivo di  $1,0 \text{ ng/m}^3$  calcolato come media su un anno civile e vincola le Regioni a perseguire questo obiettivo agendo sulle principali fonti di emissione (D.lgs.152/2007- Art.2 d) *Valore obiettivo: concentrazione nell'aria ambiente stabilita al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente, il cui raggiungimento, entro un dato termine, deve essere perseguito mediante tutte le misure a tale fine necessarie che non comportano costi sproporzionati*). Attualmente il valore di  $1,0 \text{ ng/m}^3$  è stato sospeso con il D.lgs 155/2010 e verrà reintrodotta come valore obiettivo dal 31/12/2012. Le misure effettuate secondo le norme evidenziano che a Taranto, in via Machiavelli a meno di un chilometro di distanza dall'area a caldo del centro siderurgico dell'ILVA, il valore obiettivo è stato superato sia nel 2008 che nel 2009:

- BaP:  $1,26 \text{ ng/m}^3$  - Valutazione da maggio a dicembre 2008
- BaP:  $1,31 \text{ ng/m}^3$  - Valutazione anno solare 2009

In precedenza altri dati confermano la tendenza, ad esempio il Dipartimento di Chimica dell'Università di Bari aveva trovato nell'autunno 2005 valori di  $1,1 \text{ ng/m}^3$  e nell'inverno 2006 valori di  $1,8 \text{ ng/m}^3$ .

In Figura 3 si riportano gli andamenti mensili delle concentrazioni di BaP nel 2008 e 2009:

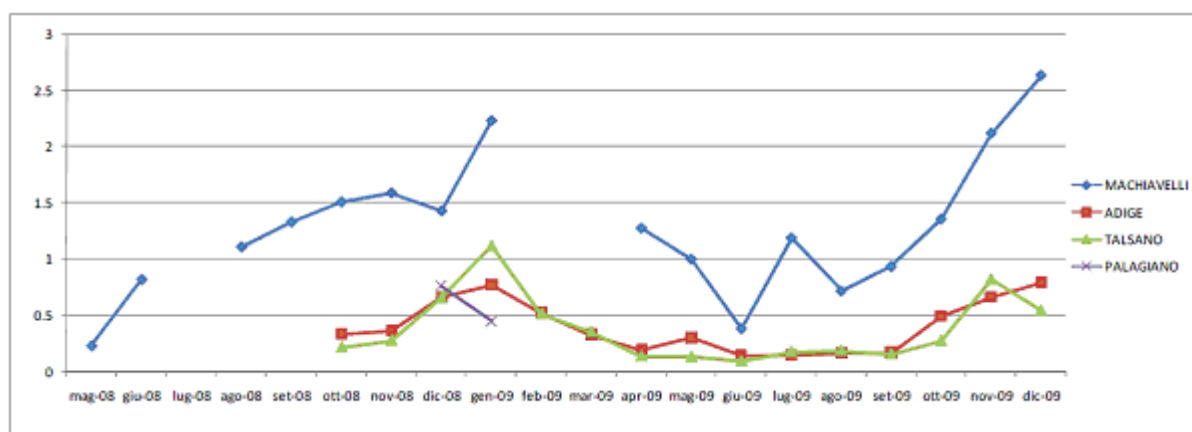


Figura 3. Dati mensili delle concentrazioni di Benzo(a)Pirene a Taranto e zone limitrofe

Il riferimento alla realtà di altre città italiane, secondo i dati riportati da Il Giornale il 19 febbraio 2010, la zona di Taranto a ridosso dell'area industriale si situa tra le realtà più inquinate come Padova e Pordenone, città che raggiungono una quantità di BaP pari a  $1,4 \text{ ng/m}^3$ .

Prendendo in esame gli IPA totali, dal 07 maggio 2009 l'ARPA ha effettuato la loro misura in continuo, su particolato fine con scansione oraria, utilizzando l'apparecchio EcoChem PAS 2000 installato presso la centralina di via Machiavelli. Dai dati raccolti, si osserva che i valori giornalieri raggiungono picchi elevati della durata di poche ore per poi tornare molto bassi e che vi è una stagionalità dell'andamento delle concentrazioni con punte nel periodo di ottobre – dicembre. Queste tendenze possono correlarsi a episodi di inquinamento acuto per lo più nel periodo invernale, anche legato all'impiego di combustibili fossili di bassa qualità per il riscaldamento in ambito civile, e al verificarsi delle inversioni termiche.

Particolarmente interessante è l'andamento della concentrazione di questi idrocarburi in funzione dei venti, analizzando le situazioni atmosferiche in cui si avevano i picchi si è evidenziato che le quantità più elevate di IPA nell'aria si hanno quando i venti spirano dal quadrante di Nord-Ovest con successive riduzioni della velocità (tendenza alla calma), ovvero a venti provenienti dall'area dello stabilimento siderurgico ILVA, limitrofa al quartiere Tamburi, dove sono situati il parco minerali e la cokeria.

Si riportano, nella seguente tabella 1, alcuni dati relativi alla concentrazione di IPA e BaP campionati dall'ARPA in modo vento-selettivo per due siti a Taranto, il primo in via Lago di Bolsena, verso Talsano, e l'altro a Tamburi Chiesa vicino all'area industriale.

**Tabella 1.** Rilevazioni di microinquinanti organici

Sito	Situazione Vento	Periodo	IPA Totali	Benzo(a)Pirene
			ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Via Lago di Bolsena	Sottovento	11-29/08/08	226,1	1,19
	Sopravento	11-29/08/08	14,3	0,11
	Calma di vento	11-29/08/08	56,9	0,50
Tamburi Chiesa	Sottovento	23/02-05/03/09	638,52	3,88
	Sopravento	23/02-05/03/09	52,09	0,042
	Calma di vento	23/02-05/03/09	689,16	1,76

Le rilevazioni riportate mostrano come le concentrazioni di IPA totali e di benzo(a)pirene intorno all'area industriale siano nettamente superiori per il settore di provenienza "sottovento" rispetto all'area industriale, rispetto alle concentrazioni "sopravento". Queste osservazioni, insieme ad altre, confermano che le emissioni in aria di IPA e BaP sono attribuibili in modo preponderante, per più di un ordine di grandezza, allo stabilimento siderurgico ILVA e, in particolare, alla cokeria. L'Arpa afferma che il contributo derivante dall'impianto cokeria alla concentrazione di BaP rilevata nel sito di via Machiavelli è valutabile, rispettivamente, in più del 99%, mentre le restanti sorgenti emmissive danno un contributo nettamente minore.

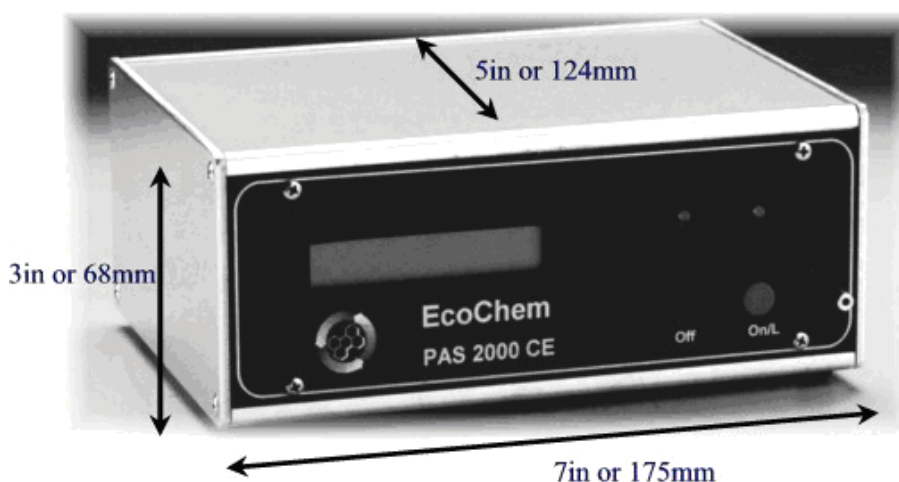
Una stima dell'impatto sanitario per la popolazione del quartiere Tamburi-Lido Azzurro di Taranto, fatta secondo le indicazioni dell'OMS, tenendo conto della concentrazione annua (2009) di Benzo(a)Pirene pari a 1,3 ng/m<sup>3</sup> su particolato, porta ad un incremento di circa 2 casi di tumore del polmone. Importante è la constatazione che nel 2009 la produzione dello stabilimento ILVA è stata limitata a circa il 50% rispetto all'anno precedente, per la crisi intervenuta nell'ambito siderurgico.

### 3. Materiali e metodi

#### 3.1 Strumentazione utilizzata

I metodi previsti dalle diverse normative tecniche per la misura degli IPA, curati dai diversi organismi nazionali come l'US-EPA degli Stati Uniti, prevedono un campionamento di volumi elevati di aria, l'estrazione con opportuni solventi, la purificazione e l'analisi con HPLC o GCMS [7]. Nella cromatografia liquida ad alta pressione (HPLC) si utilizza un rivelatore di tipo fluorimetrico (dato che molti di questi composti danno emissione in fluorescenza) oppure un rivelatore di tipo UV a 254nm. Nella tecnica che impiega la gas cromatografia si utilizza un rivelatore a ionizzazione di fiamma -FID- o, migliorando la qualità della misura, combinando il gas cromatografo con lo spettrometro di massa (GCMS).

Tutte queste metodiche richiedono particolari procedure analitiche, che comportano tempi lunghi di analisi e strumentazione complessa, ed esigono un'alta specializzazione degli operatori per cui rendono difficile l'ampiezza e la continuità dei rilevamenti. Per ovviare a questi inconvenienti oggi si è diffuso l'impiego di uno strumento messo a punto dalla EcoChem Analysis, l'analizzatore *EcoChem PAS 2000 CE* -vedi foto riportata nella Figura 4-, che consente misure continue e in tempi rapidi, richiedendo il ricorso alle tecniche ufficiali solo per la calibrazione e il controllo dei dati ottenuti.



**Figura 4.** Foto con le dimensioni dell'apparechio EcoChem PAS 2000 CE-

Le misure sperimentali sono state eseguite con lo strumento citato, messo gentilmente a disposizione da Alessandro Maescotti -responsabile di PeaceLink (Taranto)- sensibile alle problematiche ambientali del territorio come emerge dal suo lungo, puntuale e continuo lavoro di informazione.

### 3.2 EcoChem Pas 2000 CE: Principio di funzionamento e caratteristiche

L'analizzatore utilizzato funziona sul principio della fotoionizzazione selettiva degli IPA adsorbiti sulle particelle di aerosol carboniose con diametro compreso tra 0,01 e 1  $\mu\text{m}$ , particelle che rappresentano una frazione pari o superiore al 95% degli IPA aereodispersi (PAS è l'acronimo di Photoelectric Aerosol Sensor) [8].

Gli aerosol sono esposti ad una stretta e intensa banda di radiazioni UV la cui lunghezza d'onda, corrispondente a 185 nm, è scelta opportunamente in modo che solo le particelle di aerosol che contengono molecole di IPA adsorbiti sono ionizzate, mentre le molecole di gas e gli aerosol di carbonio restano immutate. Gli elettroni emessi vengono successivamente rimossi applicando un campo elettrico. Si riporta nella Figura N.5 lo schema di quanto descritto.

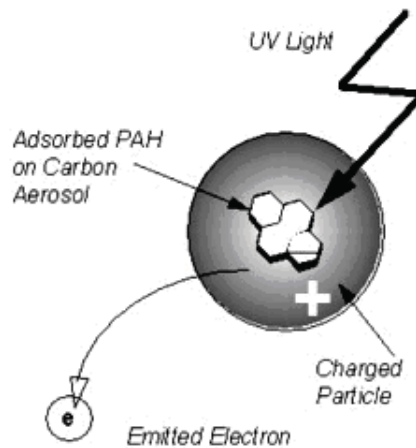


Figura 5. Ionizzazione di particelle di aerosol con IPA adsorbiti  
(Schema della casa costruttrice EcoChem Analysis)

Le particelle cariche positivamente rimanenti sono raccolte su un filtro all'interno di un elettrometro, dove si misura la carica. La corrente elettrica risultante stabilisce un segnale che è proporzionale alla concentrazione totale di particelle che contengono gli IPA legati. Nella Figura N.6 è riportato lo schema dell'apparecchio.

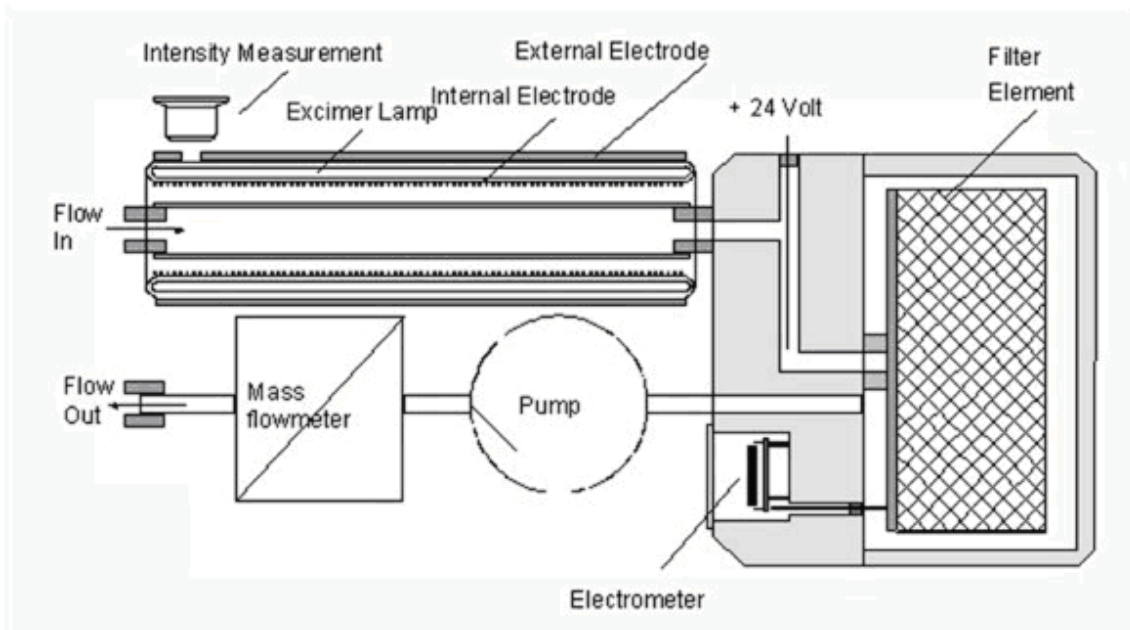


Figura 6. Schema di funzionamento dell'analizzatore EcoChem PAS 2000

## Prima valutazione degli IPA a Mottola

Le caratteristiche salienti dello strumento utilizzato sono:

- Possibilità d'uso in ambienti diversi, viste le ridotte dimensioni (133x236x317 mm) e l'alimentazione a batteria;
- Tempi di risposta di 10 secondi e possibilità di memorizzazione fino a 2500 dati;
- Utilizzo di lampada UV ad eccimeri pulsante per eliminare il rumore di fondo;
- Calibrazione dello zero automatica allo spegnimento della pompa interna allo strumento;
- Risposta dello strumento calibrabile per confronto con analisi chimiche effettuate nel sito;
- Limite di rilevabilità:  $3 \text{ ng/m}^3$ ;
- Intervallo di misura:  $0\text{-}1000 \text{ ng/m}^3$

Lo strumento, attraverso opportuni software può essere tarato per una valutazione mirata dell'inquinamento da traffico urbano o industriale.

### 3.3 Campionamento e valori di riferimento

L'obiettivo di raccogliere informazioni significative sull'inquinamento atmosferico da IPA ha condotto ad uno studio dei punti di prelievo nella Città di Mottola e alla selezione di opportuni criteri operativi, legati anche alle caratteristiche dello strumento.

Il campionamento è stato eseguito tra le ore 17.00 e le ore 19.00 del 28.09.2011, intervallo di tempo dove il traffico urbano è in genere sostenuto. Le condizioni meteorologiche, che come si è visto influenzano notevolmente i risultati, sono state desunte dai bollettini e risultano essere:

*Nubi sparse; Temperatura tra 19 e 23°C; Vento NNE moderato (velocità tra 12 e 25 Km/h)*

I siti scelti per il campionamento esterni nell'atmosfera, ritenuti significativi, sono stati:

- °Via Matteotti, prima dell'incrocio con via Madonna delle 7 Lampade (traffico ridotto)
- °Belvedere -Rotonda- (traffico ridotto)
- °Largo S. Nicola (centro storico)
- °Bivio Mottola, c/o Supermercato Penny (traffico elevato, misure sotto vento)
- °Incrocio via De Gasperi - via Palagianello (traffico intenso)
- °Via Palagianello, all'altezza della Farmacia Lasalvia

Si è poi ritenuto utile valutare:

- L'effetto del vento sulla valutazione degli IPA, per cui al Bivio Mottola si è proceduto a fare delle misure anche c/o Supermercato Dok dalla parte opposta alla strada (letture sopravento);
- L'inquinamento "indoor", ossia interno alle abitazioni, procedendo alla rilevazione dell'entità degli IPA sia nel locale a piano terra in via Matteotti, di fronte al luogo dove si è fatta la misura esterna, sia nella Farmacia Lasalvia;
- l'inquinamento nell'interno delle due auto, una Fiat Punto del 2001 e una Fiat Uno del 1990, utilizzate per gli spostamenti tra i diversi siti, misure fatte con le auto in moto durante il percorso.

Per tener conto della estrema variabilità delle misure, per ogni punto di prelievo sono state effettuate un numero considerevole di ripetizioni, inoltre con l'impiego di un PC portatile i dati sono stati inseriti direttamente su un foglio elettronico per il calcolo delle medie e per avere in tempo reale una valutazione della situazione.

La presentazione dei dati in modo significativo ha richiesto il calcolo dell'errore standard della media e dell'intervallo fiduciale delle medie delle misure fatte per i diversi punti [9], una elaborazione statistica eseguita utilizzando il livello di probabilità del 95%.

In merito ai valori di riferimento, non vi sono norme che definiscono dei limiti vincolanti per gli IPA, la loro pericolosità dipende dalla composizione percentuale dei diversi componenti e dalla loro tossicità. Volendo costruire una scala di riferimento legata alla nostra realtà, prendendo come indice la concentrazione di BaP, dai diversi dati in possesso riferiti alla valutazione quantitativa su di uno stesso campione di 22 IPA tra cui il BaP (vedi dati ARPA Puglia riportati dalla relazione del 04.06.2010 citata e nei Rapporti di Prova del 2011 [10]) si ha che questa molecola è mediamente presente in quantità pari o inferiore al 1% degli IPA totali, per cui nella situazione più sfavorevole a  $100 \text{ ng/m}^3$  di IPA si associa  $1 \text{ ng/m}^3$  di BaP -valore di allarme indicato dalla normativa-. Questa riflessione, tenendo conto di tutti i limiti posti dalla possibile variazione della composizione di IPA con la tipologia della fonte inquinante e della correlazione tra le misure con lo strumento adottato e quelle con metodi ufficiali, ci porta a considerare, in prima approssimazione un valore soglia per gli IPA di  $100 \text{ ng/m}^3$  e ad adottare la scala di riferimento di seguito indicata. Detta scala considera come valori accettabili quelli minori di  $10 \text{ ng/m}^3$ , tenendo presente che misure effettuate in ambienti salubri hanno sempre dato tali concentrazioni e che il BaP correlato, anche in situazioni drastiche [11] non supera il valori di  $1 \text{ ng/m}^3$ :

**Valore soglia IPA =  $100 \text{ ng/m}^3$**

Intervallo di accettabilità:  $\text{IPA} < 10 \text{ ng/m}^3$



Intervallo di attenzione:  $10 \text{ ng/m}^3 < \text{IPA} < 50 \text{ ng/m}^3$   
 Intervallo di pre-allarme:  $50 \text{ ng/m}^3 < \text{IPA} < 100 \text{ ng/m}^3$   
 Zona di allarme:  $\text{IPA} > 100 \text{ ng/m}^3$

#### 4. Dati sperimentali e Discussione

##### 4.1 Valutazione nei punti prelievo

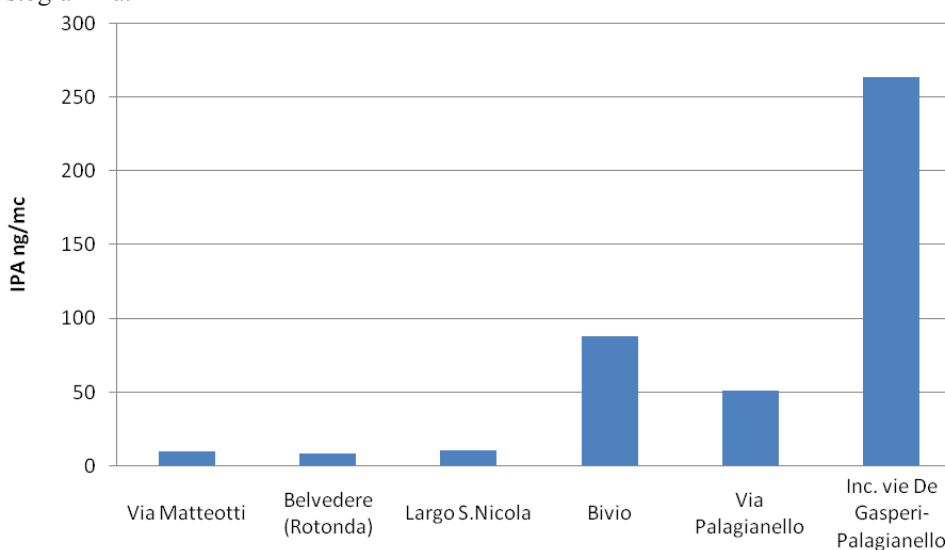
Le misure sull'entità degli Idrocarburi policiclici aromatici, nei vari siti individuati, per valutare la qualità dell'aria a Mottola, sono state riportate nella Tabella 2. Sempre nella tabella sono state indicate, insieme al valore medio IPA delle diverse misure ripetute nel tempo e del numero di tali ripetizioni, la valutazione statistica dell'errore standard della media e dell'intervallo fiduciale, lo stato del traffico da autoveicoli e la direzione del vento, la data e l'ora delle determinazioni con il relativo sito.

**Tabella 2.** Rilevazione IPA tot nei siti selezionati

Sito	Data e Ora	Stato del Traffico / Vento	Numero di Ripetizioni	IPA	Errore Standard della Media	Intervallo Fiduciale
				ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Via Matteotti	28.09.2011 Ore 17.25	Minimo	46	8	0,7	8± 1
Belvedere	28.09.2011 Ore 17.38	Assente	70	11	0,8	11± 2
Largo S.Nicola (Centro storico)	28.09.2011 Ore 18.00	Assente	68	6	0,3	6± 1
Bivio Mottola	28.09.2011 Ore 18.37	Elevato / Sottovento	101	88	6	88± 11
Inc.vie De Gasperi - Palagianello	28.09.2011 Ore 19.00	Intenso	56	264	25	264± 51
Via Palagianello	28.09.2011 Ore 18.47	Elevato	35	51	2	51± 4

Dall'esame dei dati della tabella emerge chiaramente che i primi tre punti di prelievo presentano una concentrazione di idrocarburi molto bassa, tale da trovarsi verso la parte inferiore dell'intervallo di accettabilità. Si tratta di siti dove il traffico è minimo o assente ed emerge il valore più basso, anche se non significativamente diverso, del Centro storico. Nella scala crescente di valori, troviamo via Palagianello (altezza Farmacia Lasalvia) con una concentrazione di IPA tra l'intervallo di attenzione e quello di pre-allarme, Bivio Mottola (lato Supermercato Penny) con gli IPA nell'intervallo di pre-allarme e, infine, Incrocio tra via De Gasperi e via Palagianello (sull'isola pedonale centrale) con valori che si situano nella zona di allarme. Quello che emerge chiaramente è un parallelismo tra i valori delle concentrazioni e l'entità del traffico da autoveicoli.

Una visione immediata della diversa situazione tra i vari siti si ha con la Figura 7 che riporta i valori medi degli IPA in un grafico a istogramma.



**Figura 7.** Confronto tra i valori medi degli IPA nei diversi siti

## Prima valutazione degli IPA a Mottola

Per poter apprezzare la variabilità delle misure durante le varie rilevazioni, si riporta in Figura 8 il loro andamento nel tempo, per i diversi siti. Le misure si susseguono a intervalli regolari di 10 secondi. Un'indicazione di questa variabilità ci viene fornita osservando la variazione della media in eccesso o in difetto, in merito all'intervallo fiduciale. Questa variazione è legata alla deviazione standard, un parametro statistico che indica la dispersione dei dati. Il sito Incrocio tra via De Gasperi e via Palagianello, con una variazione di  $\pm 51 \text{ ng/m}^3$ , presenta la massima deviazione standard.

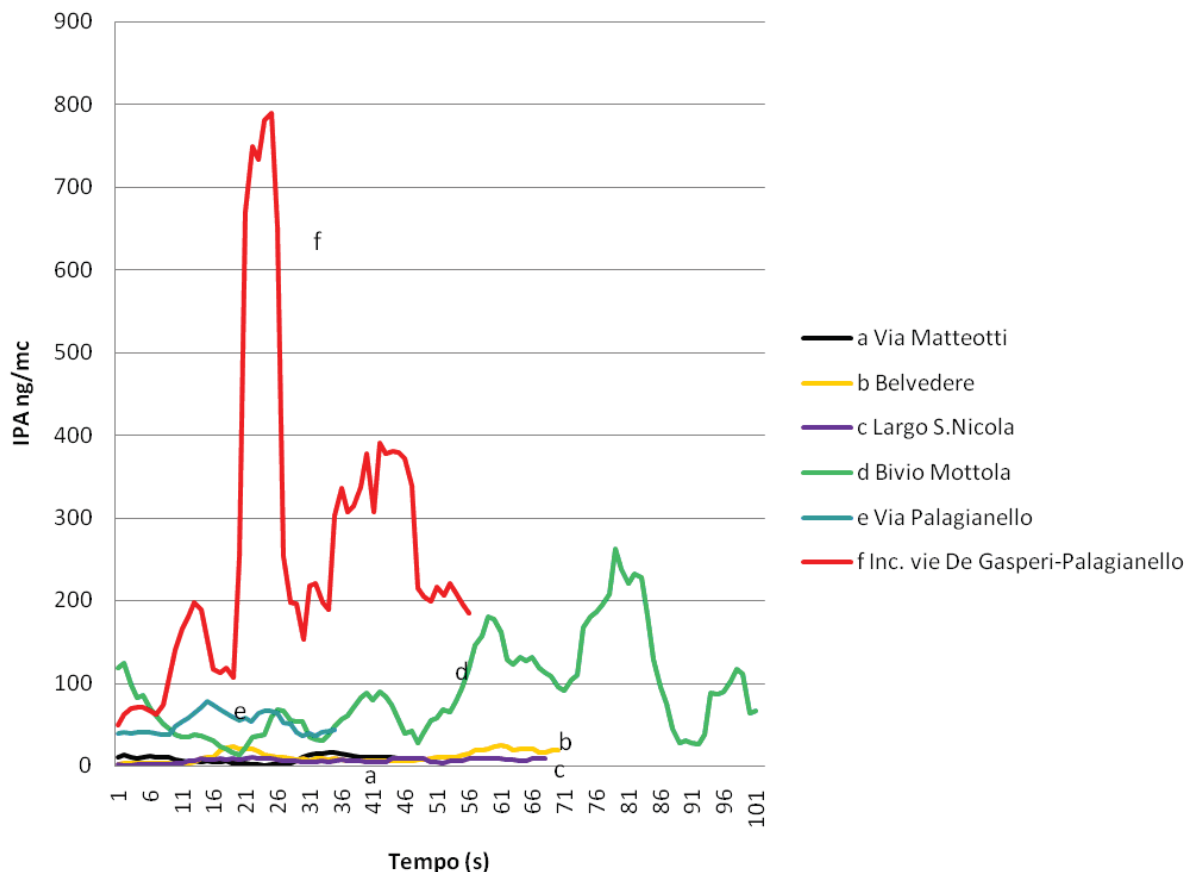


Figura 8. Andamento, nel tempo, dei valori delle misure ripetute per i siti in esame

### 4.2 Valutazioni vento selettive e indoor

Una variabile che, come si è evidenziato attraverso la Tabella 1, incide in modo preponderante sulle misure di IPA è la condizione del vento, in particolare se il punto di rilevamento è sottovento o sopravvento o, ancora, si è in condizioni di calma.

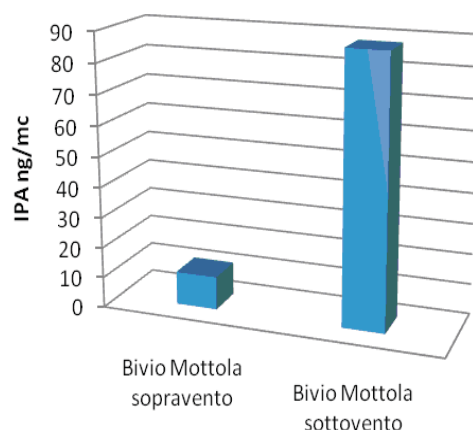
Nella Tabella N. 3 sono riportate le misure fatte al Bivio Mottola nelle due situazioni, al lato supermercato Penny – sottovento- e al lato supermercato Dok -sopravvento-, i valori medi trovati risultano tangibilmente diversi, per cui una valutazione del livello di inquinamento è significativa solo se è vento selettiva.

Tabella 3. Confronto tra misure sottovento e controvento

Sito	Data e Ora	Stato del Traffico / Vento	Numero di Ripetizioni	IPA	Errore Standard della Media	Intervallo Fiduciale
				ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Bivio Mottola*	28.09.2011 Ore 18.37	Elevato / Sottovento	101	88	6	88± 11
Bivio Mottola	28.09.2011 Ore 18.37	Elevato/ Sopravvento	66	11	0,4	11± 1

\*Dati inseriti nella Tabella 2

La diversità dei risultati in funzione del vento, si evidenzia chiaramente nel grafico a istogramma riportato nella Figura 9.



**Figura 9.** Confronto tra i valori medi degli IPA al Bivio nelle condizioni sopra- e sotto-vento-

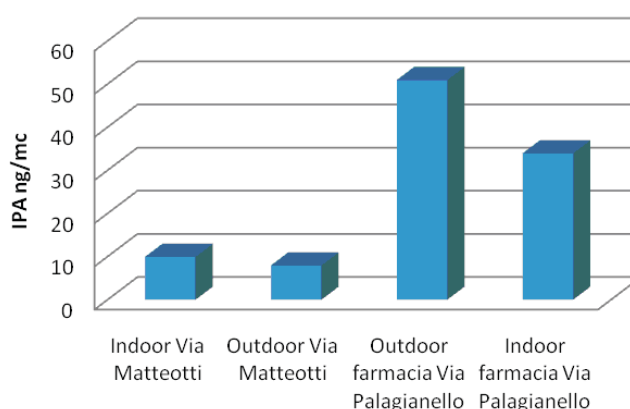
Per la salute umana è anche importante la stima della concentrazione degli IPA negli ambienti destinati ad abitazione o ad attività varie, in confronto alla situazione esterna, escludendo ovviamente fonti interne di inquinamento atmosferico. Questa valutazione è stata fatta in via Matteotti, facendo riferimento al locale a piano terra di fronte alla postazione esterna di misura, e in via Palagianello, negli ambienti della Farmacia. I risultati delle misure sono riportati nella Tabella 4, dalla quale si deduce che, per basse concentrazioni di IPA -via Matteotti- i dati sono sovrapponibili, essendo le differenze non significative, mentre per concentrazioni apprezzabili -Via Palagianello- si evidenzia che l'ambiente interno ne risente.

**Tabella 4.** Confronto tra misure effettuate all'esterno e all'interno di ambienti

Sito	Data	Numero di Ripetizioni	IPA	Errore Standard della Media	Intervallo Fiduciale
			ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Via Matteotti* - Esterno -	28.09.2011	46	8	0,7	8± 1
Via Matteotti - Interno -	28.09.2011	44	10	0,4	10± 1
Via Palagianello* - Esterno -	28.09.2011	35	51	2	51± 4
Via Palagianello - Interno -	28.09.2011	36	34	2	34± 4

\*Dati inseriti nella Tabella 2.

Anche in questo caso si riportano i dati nel grafico a istogramma di Figura N. 10, per meglio evidenziare quanto emerso.



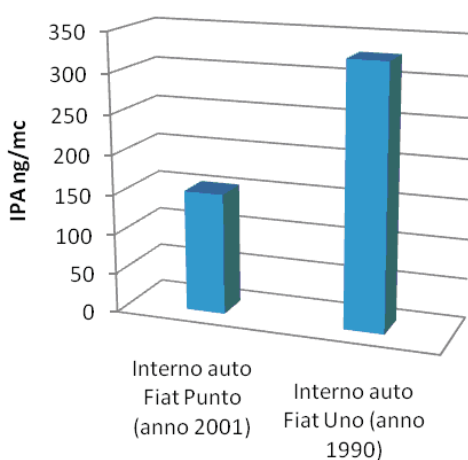
**Figura 10.** Confronto tra i valori medi degli IPA in via Matteotti e in via Palagianello, in condizioni outdoor e indoor

## Prima valutazione degli IPA a Mottola

Per completare la trattazione della problematica dell'inquinamento atmosferico negli ambienti chiusi, si sono effettuate misurazioni di IPA all'interno di due auto in moto, una Fiat Punto del 2001 e una Fiat Uno del 1990, impiegate durante gli spostamenti tra i diversi siti scelti. Dai dati, riportati nella Tabella 5 e nella Figura 11, si evidenzia che la concentrazione degli inquinanti è elevata e superiore al valore soglia. Questa osservazione risulta essere importante ai fini della difesa della salute.

**Tabella 5.** Misure effettuate all'interno di automobili in movimento (con motore acceso)

Auto	Data e Ora	Numero di Ripetizioni	IPA	Errore Standard della Media	Intervallo Fiduciale
			ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Fiat Punto 2001	28.09.2011	24	153	5	153± 10
Fiat Uno 1990	28.09.2011	28	328	8	328± 16



**Figura 11.** Confronto tra i valori medi degli IPA nelle auto Fiat Punto 2001 e Fiat Uno 1990

## 5. Conclusioni

### 5.1 Risultati della ricerca

L'analisi puntuale fatta sui dati raccolti consente alcune riflessioni sulle problematiche dell'inquinamento atmosferico a Mottola.

Dal punto di vista generale si può affermare che il tipo di inquinamento riscontrato è essenzialmente dovuto al traffico auto veicolare non essendo ancora in funzione gli impianti di riscaldamento, né sono pensabili altre fonti. Non è ipotizzabile, nelle condizioni sperimentali utilizzate, un effetto della zona industriale di Taranto in quanto intorno alle ore 15,30 sono state fatte delle misure sulla statale 100, costeggiando l'ILVA, dalle quali emerge un valore medio di IPA pari a 34 ng/m<sup>3</sup> con un errore standard della media di 2 ng/m<sup>3</sup> e l'intervallo fiduciale di 34 ± 4 ng/m<sup>3</sup>.

La concentrazione di IPA, nelle due situazioni di traffico peggiori -incrocio vie De Gasperi /Palagianello e Bivio-, raggiunge valori anche elevati, con punte rispettivamente di 790 e 262 ng/m<sup>3</sup>. Ciò indurrebbe a valutare la possibilità di interventi per regolare la circolazione degli autoveicoli.

Le misure che tengono conto della direzione dei venti indicano che porsi in posizione sopravvento, è importante perché, come si è riscontrato al Bivio, anche valori elevati di IPA possono rientrare nell'intervallo di accettabilità. Le osservazioni riguardanti la situazione degli ambienti chiusi, portano a dire che, sempre in assenza di particolari fonti interne di inquinamento, si può pensare alla tendenza alla diffusione degli inquinanti atmosferici tra fuori e dentro i locali, come dicono i dati di via Palagianello, in tali situazioni sarebbe utile un opportuno ricambio di aria. Per quanto riguarda l'interno degli autoveicoli, i dati raccolti sono particolarmente allarmanti per auto datate e, pertanto risulta importante un controllo dell'impianto di circolazione dell'aria nell'abitacolo e dello stato dei filtri.

Una sintesi dei risultati delle misure effettuate è riportata nella Figura 12, dove i valori medi degli IPA per ogni sito di campionamento sono posizionati sulla mappa della cittadina di Mottola.

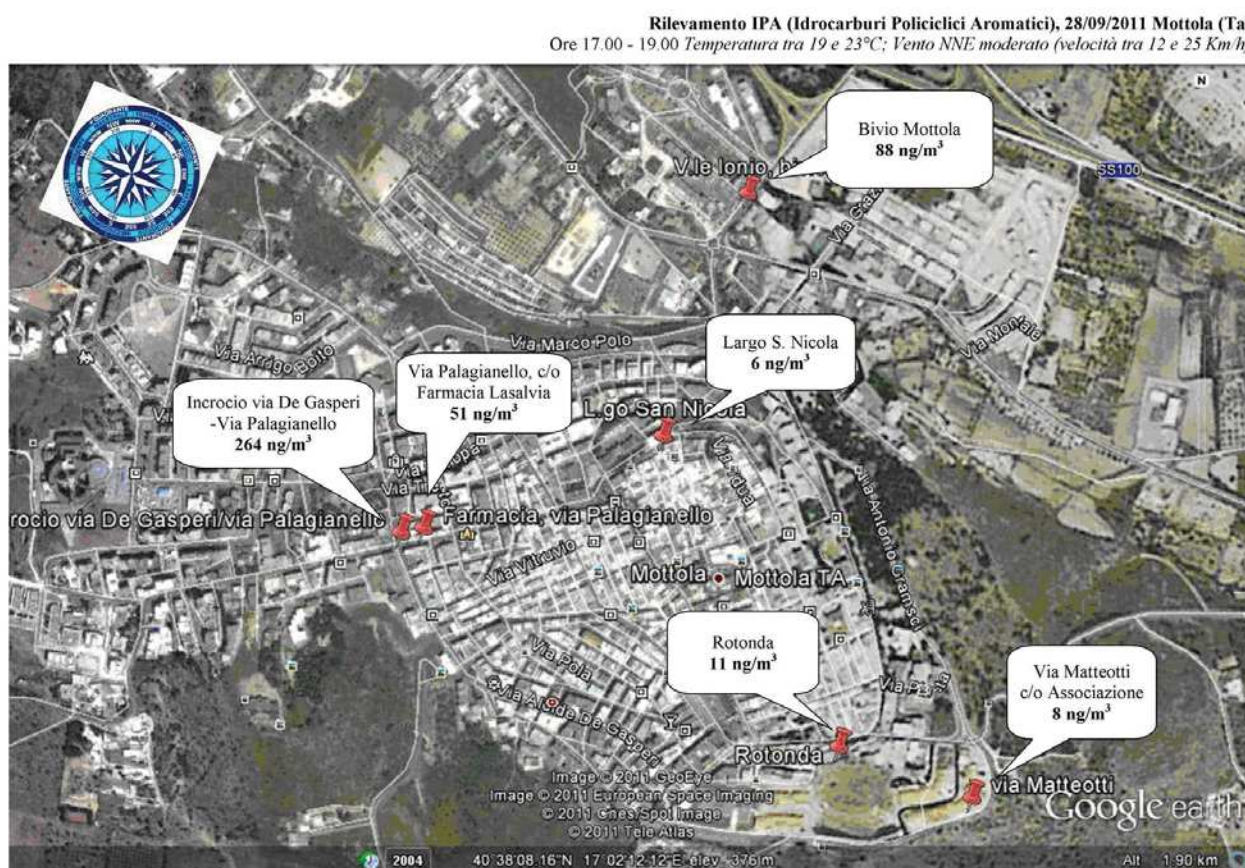


Figura 12. Valori medi degli IPA nei siti di campionamento, riportati sulla mappa di Mottola

## 5.2 Punti di arrivo del lavoro educativo

Il momento finale del lavoro educativo svolto è stato la comunicazione dei risultati agli abitanti del territorio, in particolare agli studenti del Liceo Scientifico e ai genitori, avvenuta il 30.12.2011. Questo momento ha avuto diverse valenze, una rivolta ai giovani coinvolti che, attraverso una presentazione preparata con il programma PowerPoint, hanno esposto la ricerca, e l'altra verso gli studenti presenti, che hanno potuto cogliere i diversi aspetti dell'esperienza formativa.

Riportiamo di seguito quelli che riteniamo siano stati i punti salienti della ricerca, per la formazione scientifica dei giovani:

- Il lavoro improntato sulla "soluzione" di un problema concreto, quale la valutazione dell'inquinamento atmosferico, che caratterizza la scienza chimica [12];
- Le modalità di individuazione dei siti dove effettuare le misure e la capacità di fare scelte rapide in loco, ad esempio per tener conto della direzione dei venti;
- L'attenzione alle caratteristiche strumentali ai fini della significatività delle misure, vedi la correlazione con i metodi ufficiali e il limite di rilevabilità;
- L'elaborazione statistica dei dati registrati, con la stima dell'errore;
- La problematica dei valori di riferimento per una lettura dei dati ai fini di un primo giudizio sull'inquinamento atmosferico.

La funzione di tutor svolta dal nostro gruppo di lavoro verso i neo maturati che si sono preparati per sostenere i test universitari e, in particolare, per quelli che hanno accolto la proposta della ricerca sugli IPA ha consentito di facilitare e rendere più consapevole il passaggio agli studi scientifici. Questo pensiero, sostenuto dall'esperienza fatta da alcuni di noi in passato [13] e da un'esplicita richiesta del Dirigente Scolastico del Liceo, ci ha condotto a formulare un percorso di "indirizzo agli studi scientifici" per gli alunni delle classi 5° con l'obiettivo di completare la visione di scienza mediata dagli studi fatti, verificare il bagaglio di conoscenze in riferimento al tipo di percorso scientifico da scegliere e cogliere alcuni aspetti del legame scienza - tecnologia - società, fondamentali per le sfide della nostra società complessa.

### Link utili per approfondimenti e ricerche

Si riportano alcuni siti internet relativi alla Casa Costruttrice dello strumento EcoChem PAS 2000 CE, alle Istituzioni per l'ambiente e all'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità.

Ecochem Analytics costruttrice Eco PAS 2000 CE

<http://www.ecochem.biz>

ARPA Puglia, Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente

<http://www.arpa.puglia.it>

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare

[http://www.minambiente.it/home\\_it/index.html?lang=it](http://www.minambiente.it/home_it/index.html?lang=it)

European Environment Agency (EEA)

<http://www.eea.europa.eu>

IARC – The International Agency for Research on Cancer (IARC)

<http://www.iarc.fr>

US Environmental Protection Agency

<http://www.epa.gov/>

### BIBLIOGRAFIA

1. A. Drago, *Le due opzioni. Una storia popolare della scienza*, La Meridiana, Molfetta, 1991, 11-15
2. L.W. Ledbetter, *Air pollution*, Dekker, New York, 1972
3. USEPA, *Locating and Estimating Air Emissions from sources of Polycyclic Organic Matter (POM)*, Research Triangle Park, PB88-149059, 1987
4. S. O. Baek et al., *Phase distribution and particle size dependency of PAHs in urban atmosphere*, Chemosphere, 1991,22, 5-6, 503-520.
5. A. Dipple, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon. Carcinogenesis, Polycyclic Hydrocarbons and Carcinogenesis*, ACS Symposium Series 283, 1985, Washington, DC.
6. ARPA Puglia, *Relazione Tecnica Preliminare -Benzo(a)Pirene aereo disperso presso la stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di via Macchiavelli a Taranto- Bari 04.06.2010*
7. California Air Resources Board, *Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) emissions from stationary sources*, Method 429, 1989.
8. EcoChem Analytics, Technical References, League City USA, 2011 - Sito internet: [ww.ecochem.biz](http://www.ecochem.biz)
9. L. Lison, *Statistica applicata alla biologia sperimentale*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1961, 44-51
10. Rapporto ARPA Puglia AR 1147 del 05.07.2011
11. ARPA Puglia Risultati analitici sulla concentrazione dei microinquinanti organici nei campioni di Particolato PM10 prelevato in Torchiarolo (BR) nei giorni 25-27 febbraio 2011
12. A. Drago *I rapporti della chimica con le altre teorie scientifiche*, La chimica nella scuola, 2010, XXXII, n.4, 10-17
13. L. A. Calianno, D. Potenz, *Dalla formulazione del progetto educativo al dialogo con il tutor*, Scuola e città, 1995, 8, 350-354