



**BENZO(a)PIRENE AERODISPERSO PRESSO LA
STAZIONE DI MONITORAGGIO DELLA
QUALITÀ DELL'ARIA DI VIA MACHIAVELLI A
TARANTO**

ATTRIBUZIONE ALLE SORGENTI EMISSIVE

RELAZIONE TECNICA PRELIMINARE

Bari, 4 giugno 2010

INTRODUZIONE

La presente relazione intende fornire una prima valutazione sulle sorgenti di emissione del benzo(a)pirene rilevato da ARPA Puglia nella stazione di monitoraggio di qualità dell'aria in Via Machiavelli, nel quartiere Tamburi di Taranto.

Il benzo(a)pirene è considerato il "marker" di una classe di inquinanti organici denominati Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). L'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato il benzo(a)pirene come cancerogeno per l'uomo (classe 1) e altri IPA come probabili (classe 2A) o possibili (classe 2B) cancerogeni per l'uomo¹.

Gli IPA sono generati dalla combustione incompleta di sostanze organiche durante processi industriali e civili, e sono tra i microinquinanti organici più diffusi nell'ambiente. Le principali sorgenti degli IPA sono i processi industriali (trasformazione di combustibili fossili, processi siderurgici, processi di incenerimento, produzione di energia termoelettrica, ecc.), il traffico auto veicolare e navale, i sistemi di riscaldamento domestico.

La normativa italiana di riferimento è rappresentata dal DM 25.11.1994 e dal D. Lgs. 152/07 e s.m.i., che per il benzo(a)pirene fissano un valore obiettivo di 1,0 ng/m³, calcolato come media su un anno civile. Nelle zone e negli agglomerati in cui si registri una concentrazione superiore a 1,0 ng/m³, le Regioni sono chiamate a perseguire il raggiungimento del valore obiettivo, attraverso l'adozione di misure che intervengano prioritariamente sulle principali fonti di emissione.

Nel comune di Taranto il benzo(a)pirene è attualmente monitorato in tre siti (via Machiavelli, via Alto Adige, Talsano) la cui collocazione è riportata nell'immagine che segue.



¹ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 92 (2005; 2010) Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures

Nel 2009, il valore obiettivo di 1,0 ng/m³ è stato superato nella stazione di via Machiavelli, come mostrato nella tabella che segue, in cui sono riportati i valori di benzo(a)pirene, espressi in ng/m³.

VIA MACHIAVELLI	VIA ALTO ADIGE	TALSANO
1.31	0.36	0.35

Tabella 1: concentrazione di B(a)p in ng/m³ nei 3 siti di Taranto – anno 2009

È necessario ricordare che il valore obiettivo, nella stazione di monitoraggio di Via Machiavelli, appariva superato anche nell'anno 2008, durante il quale il monitoraggio fu effettuato solo a partire dal mese di maggio; nel periodo da maggio a dicembre, la concentrazione di benzo(a)pirene nell'aria, sempre nella stazione di via Machiavelli, risultò pari a 1,26 ng/m³.

Inoltre, appare opportuno sottolineare che nel quartiere Tamburi di Taranto, campionamenti non sistematici di IPA erano stati effettuati già prima della messa a regime del monitoraggio da parte di ARPA Puglia. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva di questi monitoraggi.

FONTE DATI	PERIODO	Concentrazione Benzo(a)pirene (ng/m ³)
Indagine Viviano et al.	Periodo caldo 1999-2000	1,9
	Periodo freddo 1999-2000	2,6
ISPESL U.O. 5	Invernale 2004	5,8
	Estivo 2004	0,8
Università di Bari – Dip. Chimica	Autunnale (ottobre 2005)	1,1
	Invernale (febbraio 2006)	1,8

Sebbene tali rilevazioni non raggiungano il periodo minimo di copertura temporale del 33% dei giorni dell'anno civile, previsto dalla normativa, e pertanto non possano essere utilizzati per valutare il superamento del valore obiettivo negli anni in cui sono state effettuate, esse offrono una preziosa informazione sulla persistente criticità dei livelli di benzo(a)pirene nell'area urbana a ridosso dello stabilimento siderurgico ILVA.

A partire dai risultati dei monitoraggi svolti da ARPA ed attraverso l'utilizzo di un approccio multidisciplinare, la presente relazione giunge ad una prima identificazione delle diverse sorgenti industriali e civili di IPA e benzo(a)pirene, stimando il loro contributo al bilancio emissivo dell'area tarantina e, in particolare, alla concentrazione di benzo(a)pirene rilevato, nel corso dell'anno 2009, nel sito di monitoraggio di via Machiavelli.

Il documento è strutturato nei seguenti paragrafi:

- Qualità dell'aria;
- Bilancio emissivo;
- Modellistica;

- Sorgenti di benzo(a)pirene al Q.re Tamburi Taranto. Suolo e deposizioni atmosferiche.
- Rischio cancerogeno associato all'esposizione
- Conclusioni

I risultati esposti nel presente documento costituiscono solo una prima, sommaria sintesi relativa all'area di Taranto di una serie di studi tuttora in corso presso ARPA Puglia, che sono indirizzati a fornire una completa ed esaustiva identificazione di tutte le sorgenti emissive presenti nel territorio pugliese, all'origine della complessiva situazione di qualità dell'aria e delle sue criticità ("*source apportionment*").

1. QUALITA' DELL'ARIA

1.1 - Livelli di benzo(a)pirene nel PM10 – biennio 2008 / 2009

A partire dal maggio 2008 il Dipartimento Provinciale di Taranto dell'ARPA Puglia ha avviato il monitoraggio sistematico e continuo degli IPA nel particolato PM10, effettuando determinazioni analitiche di laboratorio su campioni mensili di PM10².

I siti individuati e i periodi di monitoraggio sono descritti in tabella 1 e figura 1.

Tabella 1

sito	comune	ubicazione	tipologia	periodo di campionamento
1	Taranto	Via Machiavelli	sito nel quartiere Tamburi, a ridosso del comparto industriale di Taranto	a partire dal maggio 2008 *
2	Taranto	Via Alto Adige	sito caratterizzato da alto traffico veicolare e alta densità abitativa	da ottobre 2008
3	Taranto	Via Brunelleschi	Talsano – Frazione di Taranto Scelto come sito di fondo	da ottobre 2008
4	Palagianò	Via 25 Aprile	Comune di circa 15000 abitanti , distante 20 km da Taranto Scelto come ulteriore sito di fondo e di confronto	N. 2 mesi di campionamento: dicembre 2008 e gennaio 2009

* i mesi di luglio 2008 e febbraio - marzo 2009 mancano a causa di guasto strumentale

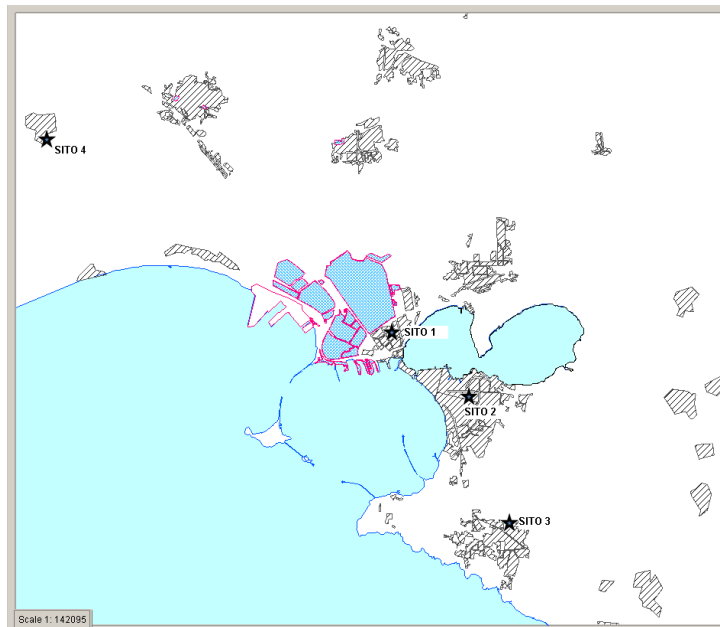


Figura 1 - siti di monitoraggio

Per il 2008 c'è una copertura temporale del monitoraggio sufficiente solo per il sito di via Machiavelli, mentre per il 2009 sono disponibili dati completi nei 3 siti di Taranto.

In tabella 2 si riporta la media benzo(a)pirene per il solo sito di Via Machiavelli nel 2008 e, per il 2009, le medie nei tre siti di Taranto, **da cui si evince il superamento del valore obiettivo di 1 ng/m³ stabilito dal d.lgs. 152/07 nel sito di Via Machiavelli, registrando valori ben superiori agli altri due siti, che registrano valori medi del tutto comparabili.**

² Analisi di laboratorio su gruppi di filtri di PM10 raccolti nell'arco di 24 ore, come previsto dalla normativa (DM60/02 e d.lgs. 152/07 e s.m.i.).

Tabella 2

Anni	medie pesate in ng/m ³		
	VIA MACHIAVELLI	VIA ALTO ADIGE	TALSANO
2008	1,26	-	-
2009	1,31	0,36	0,35

In figura 2 si riportano gli andamenti mensili delle concentrazioni di benzo(a)pirene nei 4 siti indagati nel periodo 2008-2009, da cui è possibile osservare:

- che i valori registrati nel sito di Via Machiavelli sono costantemente superiori in tutti i mesi dell'anno;
- la stagionalità degli andamenti, con valori mediamente più alti nei mesi invernali.

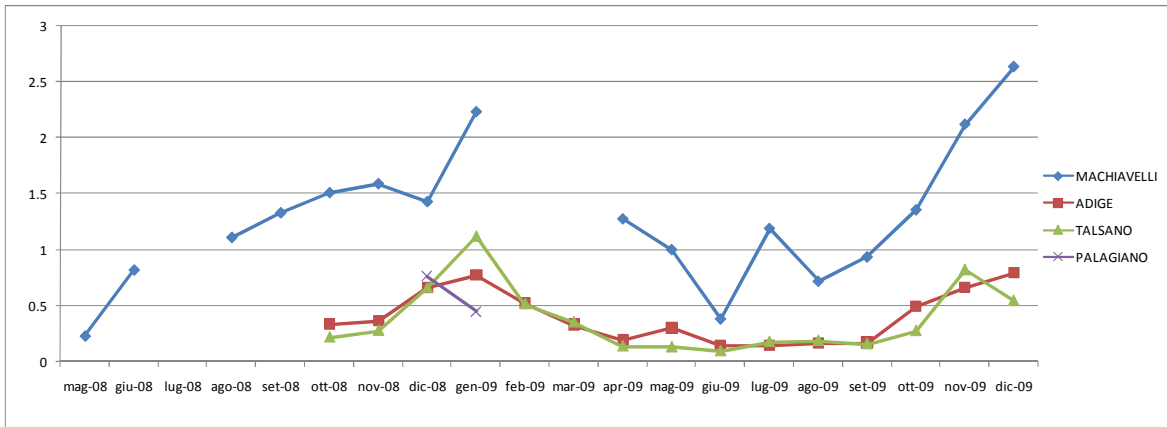


Figura 2- Andamento delle concentrazioni mensili di benzo(a)pirene nei 4 siti

1.2 - Misura oraria del livello di IPA totali mediante analizzatore in continuo

A partire dal 7 maggio 2009 sono disponibili presso la centralina di via Machiavelli i dati orari dello strumento EcoChem PAS 2000, per il rilievo degli IPA totali sul particolato fine. Tale strumento permette di seguire l'andamento nel tempo, con cadenza oraria, del parametro IPA totali e può dare utili informazioni sui fenomeni di trasporto e accumulo di tali inquinanti. Dall'analisi statistica dei dati orari di un anno (maggio 2009 – maggio 2010), si possono trarre le seguenti indicazioni.

- a) Gli andamenti sono caratterizzati da picchi della durata di poche ore seguiti da valori molto bassi.
- b) Gli andamenti risultano correlati con gli ossidi di azoto, e più particolarmente con il composto primario monossido d'azoto, mentre non risultano correlazioni significative con gli altri parametri chimici (tabella 3).

Tabella 3

	SO2	NOX	NO	NO2	CO	CH4	NMHC	BENZENE	TOLUENE	PM10 SHARP
IPA TOT	0.08	0.84	0.83	0.67	0.22	0.32	0.01	0.28	0.41	0.11

- c) Si conferma, come già evidenziato per i dati mensili di benzo(a)pirene, la stagionalità dell'andamento delle concentrazioni (figura 3).

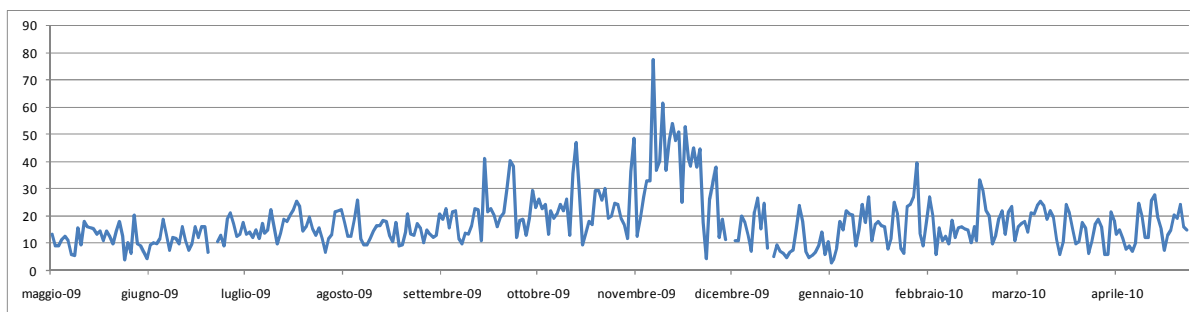


Figura 3

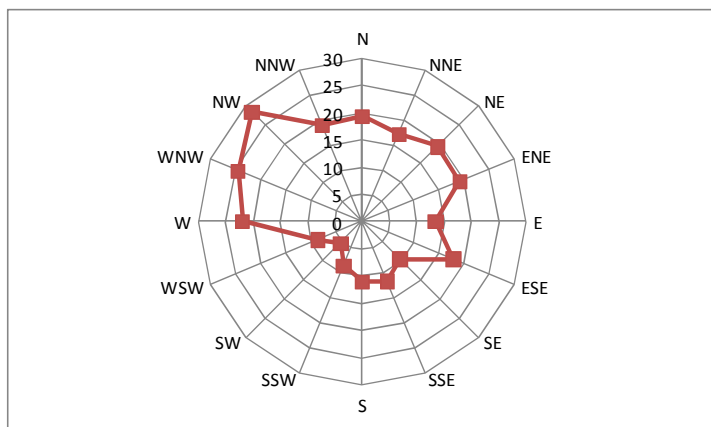
- d) Analizzando nel dettaglio i singoli casi di picco e i casi con valori giornalieri minimi, si conferma che i venti dai quadranti meridionali portano ad un abbattimento delle concentrazioni di IPA, mentre, al contrario, i casi peggiori si determinano quando i venti spirano dal quadrante di Nord-Ovest con successive riduzioni della velocità del vento (tendente alla calma). Suddividendo i dati registrati durante le calme di vento (velocità vento inferiore a 0,5 m/s) si registrano valori medi più alti del doppio che in tutti gli altri casi (tabella 4).

Tabella 4

concentrazione media di IPA totali con VV < 0,5 m/s	concentrazione media di IPA totali con VV > 0,5 m/s
39.6	16.8

- e) Dall'analisi incrociata tra i dati orari di IPA totali e i dati orari di direzione del vento risulta una correlazione dei picchi orari con i venti dai quadranti di Nord-Ovest. In figura 4 si riportano i valori medi registrati per settore di vento registrando la media più alta nel settore di N-O con 28 ng/m³ e la più bassa nel settore S-O con 6 ng/m³. In figura 5 si riporta la rosa dei venti durante il periodo di osservazione, mentre in figura 6 si riporta, per ciascun dato orario di vento della rosa, la distribuzione dei dati inferiori e superiori al valore mediano della distribuzione dei dati, da cui si evidenzia nuovamente come

i valori più alti sono maggiormente correlati a venti dal quadrante di N-O, mentre i valori più bassi ai quadranti meridionali.



Settore	conc. media
N	19
NNE	17
NE	19
ENE	19
E	13
ESE	18
SE	10
SSE	12
S	11
SSW	9
SW	6
WSW	9
W	22
WNW	25
NW	28
NNW	19

Figura 4 - concentrazioni medie di IPA totali in funzione del settore di provenienza del vento

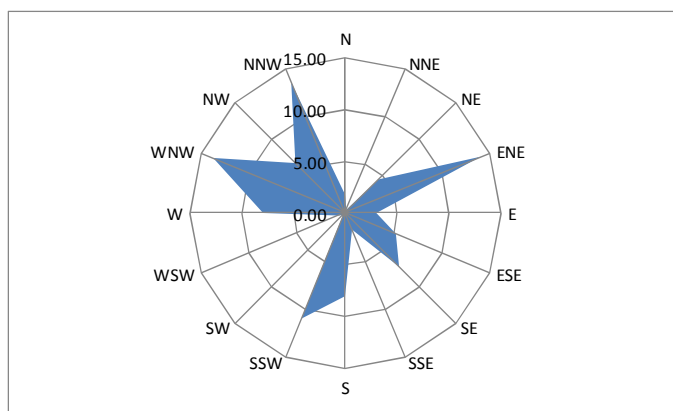


Figura 5 - rosa dei venti

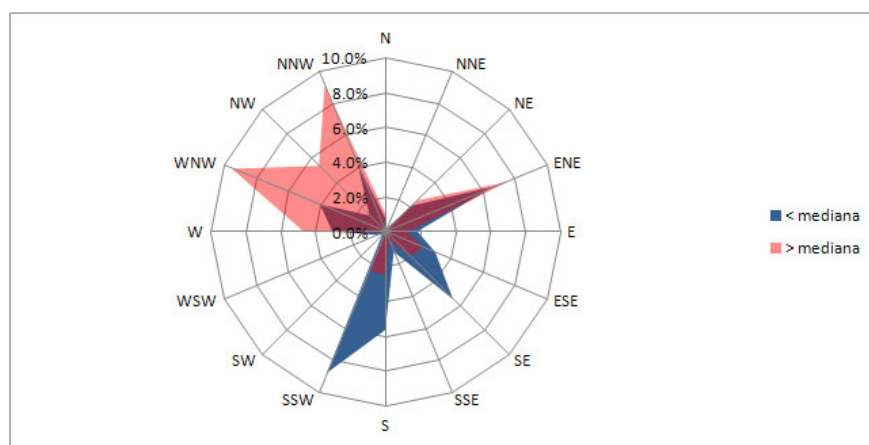


Figura 6 - distribuzione delle concentrazioni inferiori e superiori al valore mediano rispetto alla direzione di provenienza del vento

1.3 – Ulteriori elaborazioni statistiche

Si riportano le elaborazioni statistiche effettuate sulla serie storica dei dati provenienti dalla centralina di monitoraggio di via Machiavelli sita nel quartiere Tamburi a Taranto.

Dal grafico riportato in Figura 7 si evidenzia come i valori più alti di concentrazione di Idrocarburi Policiclici Aromatici Totali si osservino in corrispondenza di venti provenienti da NE e NW.

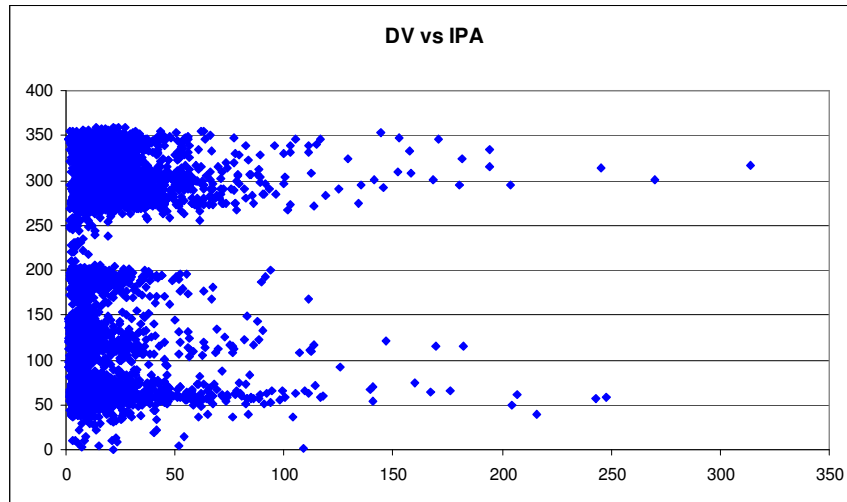


Figura 7 - Direzione del vento in funzione delle concentrazioni di IPA totali.

In particolare, si può ricavare una statistica del numero di superamenti delle concentrazioni di IPA (30, 50, 100, 150 ng/m³ rispettivamente) per il settore di direzioni comprese fra 0° - 60° (N) e 300°-360° (N) (Settore I, Figura 8).

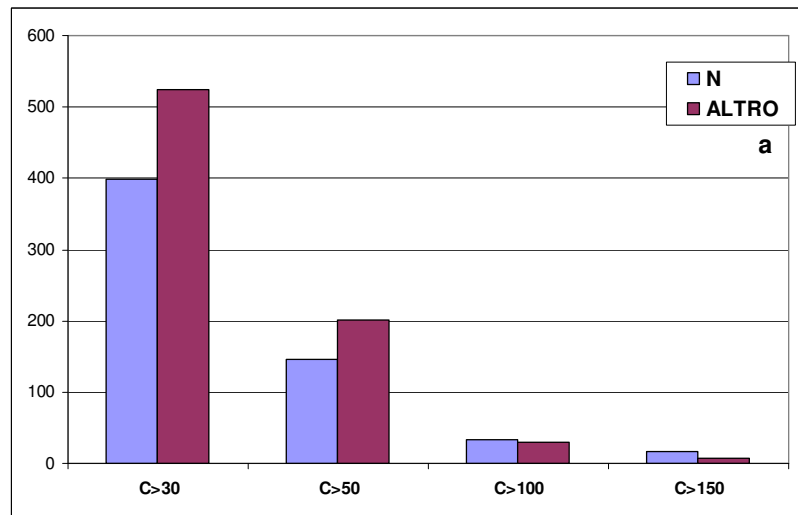


Fig. 8 - Superamenti delle concentrazioni di 30, 50, 100 e 150 ng/m³ di IPA totali nel Settore I.

Come si vede, la frequenza dei valori di IPA totali superiori a 150 ng/m³ corrispondenti al Settore di vento I (da Nord) supera del doppio la frequenza delle stesse concentrazioni, con direzioni del vento provenienti da tutti gli altri settori.

Riportando, invece, la velocità del vento in funzione delle concentrazioni di IPA Totali per il Settore I e per i restanti individuati (Settore II: 60° - 180° (S-E); Settore III: 180° - 300° (S-O)) si evidenziano andamenti differenti in funzione della tipologia di Settore considerata. In particolare, per quanto concerne il Settore II, le concentrazioni più alte di riscontrano in corrispondenza di condizioni meteorologiche di calma di vento, mentre concentrazioni più

basse si registrano per velocità del vento più elevate, mostrando l'assenza di una sorgente localizzata di IPA nella direzione del vento indicata.

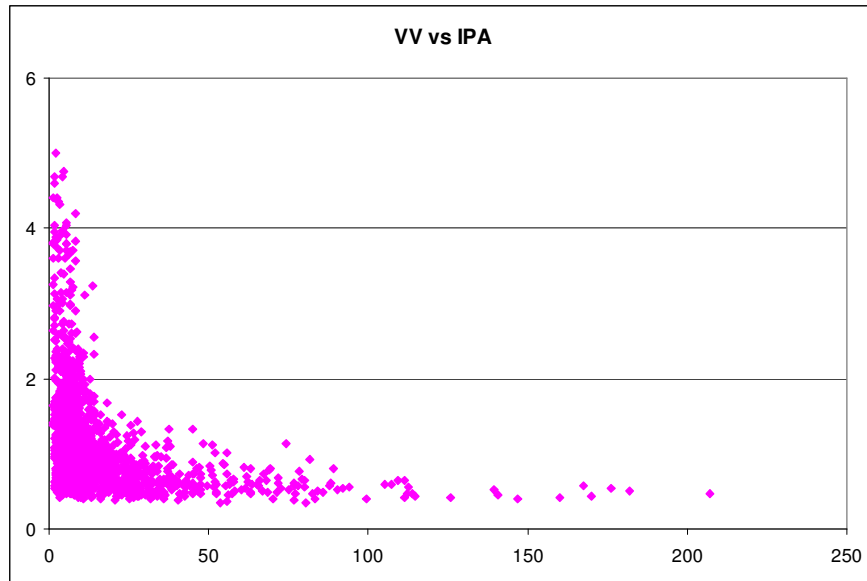


Figura 9 - Velocità del vento in funzione delle concentrazioni di IPA totali per il Settore II.

Di contro, nel grafico riportato in Figura 9, si può osservare come il Settore I sia rappresentato dal più alto numero di eventi caratterizzati da elevata concentrazione di IPA, ed è possibile verificare come le stesse si determinano anche in corrispondenza di venti più forti lungo la direzione indicata, con verosimile presenza di una sorgente di IPA in tale Settore (Nord).

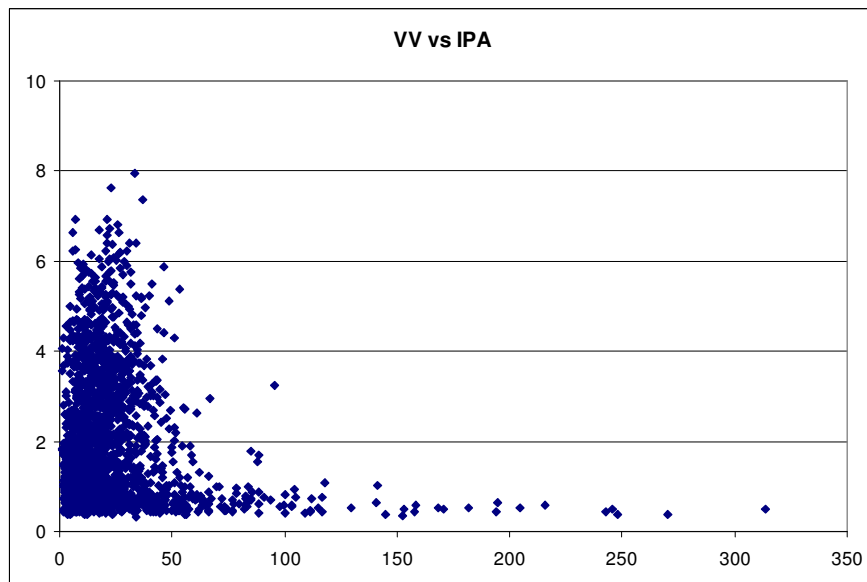


Figura 10 - Velocità del vento in funzione delle concentrazioni di IPA totali per il Settore I.

Il Settore III vede alla situazione riportata in Figura 10 aggiungersi eventi simili a quelli osservati nel Settore I, determinati da condizioni meteorologiche di vento da Ovest (Figura 11).

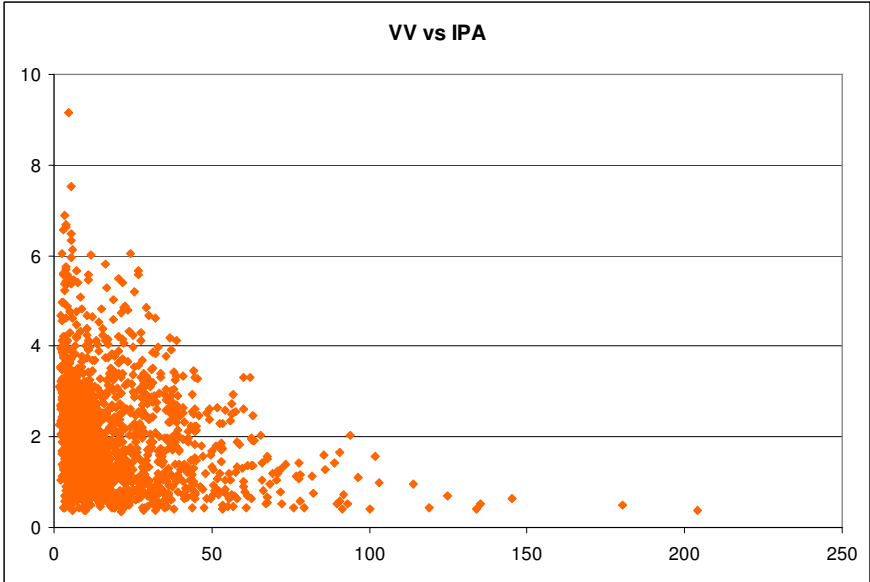


Figura 11 - Velocità del vento in funzione delle concentrazioni di IPA totali per il Settore III.

1.4 - Risultati delle campagne di monitoraggio di aria ambiente vento-selettive effettuate con campionatori Wind Select di ARPA Puglia nel comune di Taranto – anni 2008-2009.

ARPA Puglia ha effettuato nell'area tarantina, a partire dal mese di giugno del 2008, alcune campagne di monitoraggio vento selettivo in aria ambiente dei microinquinanti organici Policlorodibenzodiossine (PCDD) e Policlorodibenzofurani (PCDF), Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e Policlorobifenili (PCB), mediante l'utilizzo di due campionatori "Wind Select" in dotazione all'Agenzia, in grado di catturare su diversi supporti di campionamento (PUF+filtro) i microinquinanti organici provenienti da due differenti settori di vento ed in condizioni di calma di vento.

Si riportano, di seguito, i risultati ottenuti dalle campagne effettuate nel secondo semestre 2008 e nel corso dell'anno 2009 da ARPA Puglia con i suddetti i campionatori vento-selettivi per microinquinanti organici, con particolare riferimento ai dati di benzo(a)pirene.

Le campagne sono state svolte, come descritto in tabella 5, in quattro differenti siti ed in tre periodi distinti: dall'11 al 29 agosto 2008 in Via lago di Bolsena, dal 25 febbraio al 2 marzo 2009 contemporaneamente nei siti Tamburi-Chiesa Divin Lavoratore e Statte c/o Tecnomec, mentre dall'11 novembre all'1 dicembre 2009 presso la Masseria Carmine (Via della Transumanza) (figura 12).

Nella tabella si indica con il numero 1 il sito di campionamento oggetto di studio nel corso della campagna svolta nell'anno 2008, in Via Lago di Bolsena, sul tetto dell'edificio dove hanno sede alcuni uffici della Provincia di Taranto, con il numero 2 il sito nel quartiere Tamburi, con il numero 3 il sito c/o Tecnomec sulla Strada Statale per Statte e con il numero 4 il sito presso Masseria Carmine.

Tabella 5 - Siti e condizioni meteorologiche durante il monitoraggio

	Distanza dai confini dell'area industriale	Altezza del punto di campionamento rispetto alla strada	Stagione	Media della Temperatura Ambiente	Pioggia (nel periodo di monitoraggio)
SITO 1	6 km	circa 20 metri	estate	28 °C	0 mm
SITO 2	0.5 km	circa 10 metri	inverno	10°C	14 mm
SITO 3	0.5 km	circa 10 metri	inverno	10°C	14 mm
SITO 4	3.5 Km	circa 10 metri	inverno	13 °C	16 mm

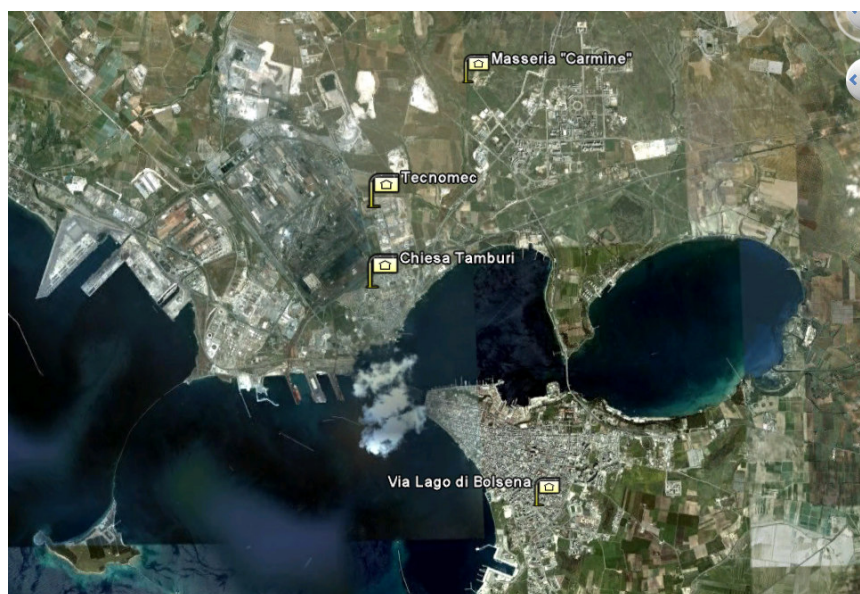


Figura 12 - Sito 1: Via Lago di Bolsena (11÷29/08/2008); Sito 2: Tamburi Chiesa (25/02-5/03 2009); Sito 3: Tecnomec (25/2-5/03 2009); Sito 4: Masseria Carmine (11/11-01/12/2009)

Nella tabella 6 si riporta uno schema riassuntivo dei risultati ottenuti nei quattro siti per tutti i microinquinanti organici analizzati.

I dati SOTTOVENTO si riferiscono alle concentrazioni registrate quando il vento spirava dalla zona industriale. I dati SOPRAVENTO si riferiscono ai venti provenienti dalle altre direzioni.

I dati di CALMA DI VENTO si riferiscono alle concentrazioni rilevate durante periodi con velocità del vento inferiore a 0.5 m/s.

Tabella 6 - Risultati delle rilevazioni di microinquinanti organici campionati in modo vento-selettivo rilevate da ARPA in aria ambiente a Taranto – Lago di Bolsena (SITO 1), Taranto-Tamburi Chiesa (SITO 2), Taranto-Tecnomec (SITO 3) e Taranto-Mass. Carmine (SITO 4)

Sito	Periodo	IPA totali *	Benzo(a)pirene	PCB totali **	PCB WHO-TE	PCDD/Fs	V camp.
		ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	fg TE/m ³	fg I-TE/m ³	m ³
Taranto - Via Lago di Bolsena (rispetto all'area industriale)	SOTTOVENTO 11-29/08/08	226.1	1.19	12.7	43.58	133.21	78.78
	SOPRAVENTO 11-29/08/08	14.3	0.11	0.61	4.37	6.37	1152.36
	CALMA DI VENTO *** 11-29/08/08	56.9	0.59	3.2	43.64	46.6	378.15
Taranto - Tamburi Chiesa (rispetto all'area industriale)	SOTTOVENTO 23/02-05/03/09	638.52	3.88	4.251	12.31	252.48	155.17
	SOPRAVENTO 23/02-05/03/09	52.09	0.042	1.411	8.59	18.95	399.84
	CALMA DI VENTO *** 23/02-05/03/09	689.16	1.76	5.3	14.04	52.34	233.11
Taranto - Tecnomec	SOTTOVENTO 23/02/09-05/03/09	1056.73	2.24	6.19	34.56	47.14	98.16
	SOPRAVENTO 23/02/09-05/03/09	58.6	0.21	1.01	3.75	11.17	837.76
	CALMA DI VENTO *** 23/02/09-05/03/09	179.62	0.33	0.79	5.45	8.21	144.3
Statte - Masseria Carmine	SOTTOVENTO (170 - 270 deg) dal 11/11/2009 al 1/12/09	1418.5	2.468	6.3	61	206.8	261.8
	SOPRAVENTO (271 - 169 deg) dal 11/11/2009 al 1/12/09	56.67	0.342	0.9	19	69.8	1612.24
	CALMA DI VENTO *** dal 11/11/2009 al 1/12/09	402.24	1.176	3.5	57	127.5	278.35
<small>* Naftalene, Acenafilene, Acenafene, Fluorene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Ciclopentadiene, Benzo(a)antracene, Crisene, 5-metilcrisene, Benzo(k)+(j)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(a)pirene, Indeno(123-cd)pirene, Dibenzo(ah)antracene, Benzo(ghi)perilene, Dibenzo(al)pirene, Dibenzo(ae)pirene, Dibenzo(a)pirene, Dibenzo(ah)pirene ** Somma Mono-Deca Clorobifenili *** Venti inferiori a 0.5 km/h</small>							

I risultati dei campionamenti hanno mostrato una netta direzionalità di provenienza degli IPA (oltre che degli altri microinquinanti organici analizzati) e di benzo(a)pirene, con concentrazioni di IPA provenienti dal settore sottovento all'area industriale circa 18 volte superiori a quelle rilevate da tutto il rimanente settore di provenienza nel sito 2 (Tamburi Chiesa), circa 12 volte nel sito 3 (Tecnomec) e circa 25 volte nel sito 4 (Mass. Carmine) (tabella 7: rapporti sottovento/sopravento).

Va rilevato, inoltre, che nel sito del quartiere Tamburi, le concentrazioni di IPA totali e di benzo(a)pirene sono particolarmente alte in condizioni di calma di vento.

Si osserva, inoltre, per gli IPA una stagionalità nelle concentrazioni, con valori superiori nella stagione invernale.

Tabella 7 - Rapporto concentrazione Sottovento/Sopravento

Sito/Periodo di campionamento	IPA	B(a)p	PCB tot.	PCB WHO-TE	PCDD/Fs	
SITO 1	11÷29 Agosto 2008	15.8	10.8	20.8	10.0	20.9
SITO 2	23 Febbraio – 5 Marzo 2009	12.3	92.4	3.0	1.4	13.3
SITO 3	23 Febbraio – 5 Marzo 2009	18.0	10.7	6.1	9.2	4.2
SITO 4	11 Novembre – 01 Dicembre 2009	25.0	7.2	7.0	3.2	3.0

Dai dati misurati relativi alle concentrazioni degli inquinanti campionati nelle tre cartucce in ogni sito, conoscendo i volumi di campionamento e le masse dei composti analizzati, è possibile anche calcolare e confrontare i risultati riscontrati nel corso di tutte le campagne svolte nei diversi siti nell'area tarantina sia nel 2008 che nel primo semestre 2009, in modo tale da assimilare i campionamenti a prelievi continui non-direzionali, negli stessi siti e nello stesso periodo.

Le concentrazioni così calcolate sono riportate in tabella 8.

Tabella 8 – Riepilogo concentrazioni microinquinanti organici rilevate a Taranto con Wind Select –anni 2008/2009

	Periodo	IPA totali *	Benzo(a)pirene	PCB totali **	PCDD/Fs	V totale campionato
		ng/mc	ng/mc	ng/mc	fg I-TE/mc	mc
Taranto Via L. di Bolsena	dall'11 al 29 agosto 2008	34.7	0.28	1.81	22.03	1609.29
Taranto, Tecnomec	dal 25 febbraio al 5 marzo 2009	165.5	0.41	1.45	14.04	1080.22
Taranto-Tamburi Chiesa	dal 25 febbraio al 5 marzo 2009	355.98	1.31	3.12	74.8	788.12
Taranto Mass. Fornaro	dall'11 nov al 1 dic 2009	267	0.71	1.89	93.93	2689.51
Valori di riferimento		-	1 ***		100 ****	

* Naftalene, Acenafilene, Acenafene, Fluorene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Ciclopentadiene, Benzo(a)antracene, Crisene, 5-metilcrisene, Benzo(k)+(j)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(a)pirene, Indeno(123-cd)pirene, Dibenzo(ah)antracene, Benzo(ghi)perilene, Dibenzo(al)pirene, Dibenzo(ae)pirene, Dibenzo(ai)pirene, Dibenzo(ah)pirene

** Somma Mono-Deca Clorobifenili

*** Dgs 152/07, media annuale

**** Valore guida riportato nel documento dell'OMS "Air quality guidelines for Europe" del WHO Regional Office for Europe (Second Edition, 2000)

2. EMISSIONI IN ATMOSFERA

2.1 – Generalità

Una prima, efficace attribuzione alle sorgenti delle concentrazioni di benzo(a)pirene (BaP) e di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) rilevate in corrispondenza della stazione di monitoraggio di via Machiavelli a Taranto è ricavabile dal bilancio delle emissioni di IPA.

L'inventario nazionale INES-EPER registra, per il 2005, un'emissione di IPA dichiarata dall'ILVA di Taranto pari a 25,84 tonnellate/anno, il che corrisponde al 93% delle emissioni nazionali di IPA presenti nel suddetto registro; a tali emissioni contribuiscono principalmente l'impianto "cokerie" con un'emissione in aria di IPA con 18,82 tonnellate/anno, seguito dall'impianto "sinterizzazione" con un'emissione di IPA di 6,97 tonnellate/anno.

Tale sorgente informativa considera, peraltro, solo le grandi sorgenti di tipo industriale, con emissione di inquinanti superiori a determinate soglie "di rilevanza" (per gli IPA: 50 Kg/anno).

Si è ritenuto, quindi, opportuno, stimare in dettaglio, e con specifico riferimento all'anno 2009, i diversi contributi emissivi di IPA e di BaP derivanti dalle varie attività antropiche presenti nell'area (industria, porti, trasporto stradale e riscaldamento).

È stata impiegata la metodologia di riferimento internazionale per la valutazione delle emissioni CORINAIR, che classifica le attività emmissive secondo una specifica catalogazione detta SNAP (*Selected Nomenclature for sources of Air Pollution*).

2.2 – Valutazione delle emissioni di IPA

Nella Tabella 13 sono indicate le sorgenti emmissive considerate, presenti nel dominio di studio.

Tabella 13 – Sorgenti e tipologie delle fonti considerate

SORGENTI	FONTI	STABILIMENTI
Puntuale/Areale	Industria	ILVA
		ENI
		EDISON
		ENIPOWER
		CEMENTIR
		APPPIA ENERGY
		AMIU
Areale	Riscaldamento	
Lineare	Trasporto	
Areale	Porto	

Nel caso dell'ILVA, che risulta (come di seguito esposto) la sorgente emmissiva di IPA di gran lunga più significativa dell'area, la valutazione è stata riferita, specificamente, ai volumi di produzione "effettivi" conseguiti nell'anno 2009 all'interno dello stabilimento siderurgico di Taranto, pari a circa il 50% rispetto alla produzione dell'anno 2008.

È stata impiegata nella valutazione la metodologia "bottom-up" per tutte le sorgenti (in particolare quelle industriali) per le quali erano disponibili informazioni sufficientemente dettagliate sulle concentrazioni a camino e sulle caratteristiche produttive/emmissive, mentre

per le sorgenti areali relative al trasporto e al riscaldamento si è adottata la metodologia "top-down", con la disaggregazione delle emissioni note a livello provinciale.

Nella successiva Tabella 14 sono riportati i contributi emissivi di IPA derivanti dalle sorgenti di tipo puntuale diverse dall'ILVA.

Tabella 14 – Stima emissioni IPA da sorgenti puntuali

IMPIANTO	Attività SNAP	EMISSIONE kg/anno
<i>EDISON</i>	<i>01 01 01</i>	0,10
<i>ENIPOWER</i>	<i>01 01 01</i>	0,03
<i>CEMENTIR</i>	<i>03 03 01</i>	10,2
<i>ENI</i>	<i>01 03 06</i>	2,01
<i>APPIA ENERGY</i>	<i>09 02 01</i>	1,20
<i>AMIU*</i>	<i>09 02 01</i>	1,60

* Impianto attivato nel 2010

Nella Tabella n. 15 sono invece riportati i contributi emissivi per le sorgenti ILVA, sia puntuali che di tipo areale.

Tabella 15 – Stima emissioni IPA da sorgenti ILVA

FASE IMPIANTO	Sorgente Puntuale /Diffusa	EMISSIONE IPA kg/anno	EMISSIONE B(a)P kg/anno
Altoforno (spillatura ghisa – refrattari contenenti catrame)	<i>D</i>	4.721	139
Altoforno (spillatura ghisa – refrattari privi di catrame)	<i>D</i>	47	1,4
Cokeria (riscaldamento forni batterie)	<i>P</i>	3,38	0,21
Cokeria (sistema trattamento e purificazione gas coke)	<i>P</i>	7,5	0,48
Cokeria (caricamento, perdite da porte-coperchi, sfornamento, spegnimento)	<i>D</i>	6.580	423
Sinterizzazione	<i>P</i>	1.620	4,3

È necessario specificare che, per quanto riguarda l'operazione di spillatura ghisa in altoforno, è possibile una emissione diffusa in aria assai cospicua di IPA, dovuta al contatto dei materiali

fusi (ghisa e loppa) con il catrame, utilizzato come legante nei refrattari; l'impiego di refrattari, non contenenti catrame, consente l'abbattimento del 99% di tali emissioni³. Non disponendo di informazioni documentate sulla effettiva, avvenuta completezza di tale sostituzione negli altiforni dello stabilimento ILVA di Taranto, abbiamo ritenuto necessario valutare le emissioni in entrambi le condizioni.

Nella successiva Tabella 16 sono riportate tutte le sorgenti, sia areali che diffuse, considerate nel dominio in studio.

Tabella 16 – Contributi emissivi di IPA nel dominio considerato

Fonti	EMISSIONE IPA kg/anno		Incidenza delle singole fonti emissive sul totale (%)
EDISON	0,10		0,0012
ENIPOWER	0,03		0,0004
CEMENTIR	10,2		0,1232
ENI	2,01		0,0243
APPIA ENERGY	1,20		0,0145
AMIU*	1,60		0,0193
ILVA **	8.258		99,74
PORTO	1,25		0,0151
TRAFFICO	2,44		0,0295
RISCALDAMENTO	2,40		0,0290
	0,20		0,0024

* Impianto attivato nel 2010

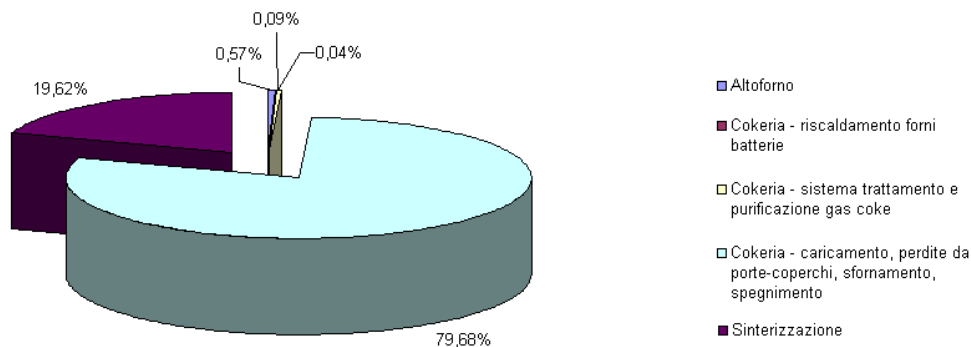
** Refrattari senza catrame (con il catrame, la percentuale ILVA sale al 99,87%)

2.3 – Considerazioni finali

Il bilancio emissivo per l'anno 2009 conferma il predominante apporto dello stabilimento siderurgico alle emissioni in atmosfera di IPA nell'area di Taranto, in misura tale che nessuna delle sorgenti puntuali o areali considerate diverse dall'ILVA raggiunge, comunque, lo 0,1% del totale, mentre molte sorgenti risultano di vari ordini di grandezza inferiori.

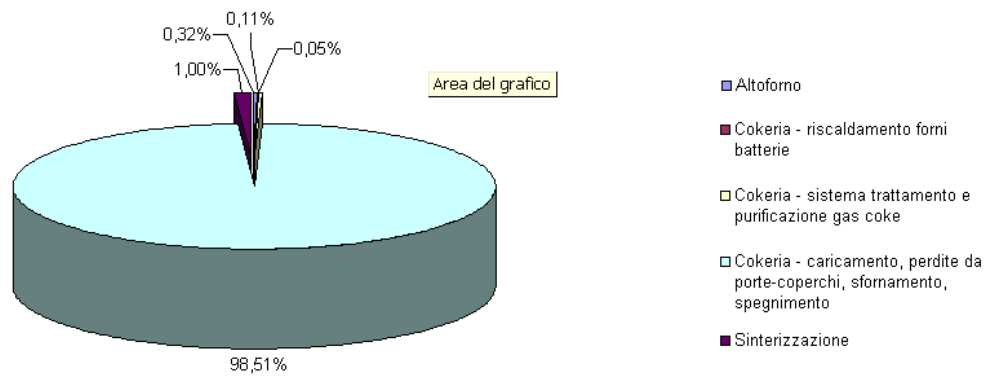
All'interno delle sorgenti di IPA dello stabilimento siderurgico, la più rilevante risulta la cokeria, con percentuali rispettivamente del 79,7% (per gli IPA totali) e del 98,5% (per il benzo(a)pirene), nel caso in cui sia completa la sostituzione dei refrattari con altri privi di catrame, come dai grafici riportati di seguito.

Figura 13 – Bilancio emissioni IPA stabilimento ILVA (refrattari senza catrame)



³ IPCC – Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel – July 2009.

Figura 14 – Bilancio emissioni BaP stabilimento ILVA (refrattari senza catrame)



3. MODELLISTICA DIFFUSIONALE

3.1 – Introduzione

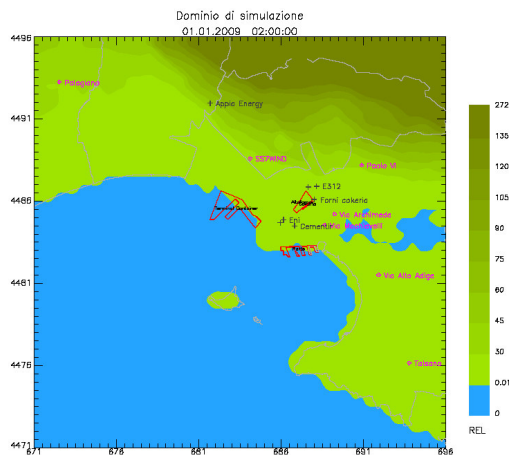
A partire dal bilancio emissivo, presentato nel paragrafo precedente, è stata realizzata attraverso l'utilizzo di un sistema modellistico diffusionale un'ulteriore attribuzione alle sorgenti delle concentrazioni di benzo(a)pirene e di Idrocarburi Policiclici Aromatici, osservate nel 2009 presso la centralina di monitoraggio sita in Via Machiavelli.

3.2 – Sistema Modellistico

Per tale valutazione è stata impiegata una catena modellistica costituita dal modello lagrangiano a particelle SPRAY, dal preprocessore meteorologico MINERVE e dal preprocessore micrometeorologico SURFPRO. Tale catena, alimentata con le previsioni meteorologiche⁴ elaborate dalla ditta Arianet S.r.L per l'anno 2009, è in grado di simulare il trasporto e la diffusione di specie chimicamente inerti in condizioni meteorologiche complesse, caratterizzate cioè da disomogeneità spazio-temporali delle variabili meteo-diffusive. Il sistema è inoltre in grado di simulare emissioni provenienti da sorgenti puntuali, areali o lineari.

3.3 – Dominio di simulazione

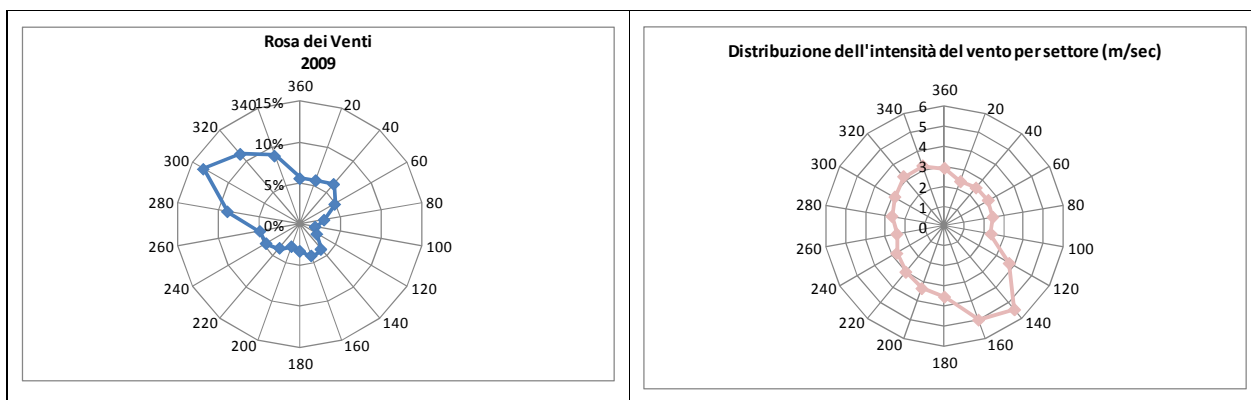
Il dominio di simulazione, mostrato nella figura successiva, è stato scelto in modo da essere centrato sulle sorgenti di emissione e comprendere le centraline di monitoraggio della QA installate in provincia di Taranto e gestite da Arpa Puglia.



L'area investigata ha dimensioni pari a 25 Km x 25 Km ed una risoluzione spaziale pari a 500m x 500m.

3.4 – Regime anemologico anno 2009

Al fine di caratterizzare le condizioni anemologiche del sito di monitoraggio denominato "Via Machiavelli" relativamente all'anno 2009, di seguito si mostra la rosa dei venti annuale e la distribuzione dell'intensità del vento per settore, elaborate a partire da campi meteorologici al suolo ricostruiti dalla catena modellistica.



La rosa dei venti indica una prevalenza del settore NO che pone il sito Via Machiavelli sottovento all'area industriale con una frequenza pari al 13.5%. I venti relativi a questo settore sono caratterizzati da un'intensità media pari a 3m/sec.

Si rilevano poi i settori NE (6.4%) con velocità del vento inferiori ai 3m/sec e SE (4.9%) con vento superiore ai 5m/sec. La condizione di "calma di vento" (ovvero presenza di venti con intensità inferiore a 0.5 m/sec) si è manifestata con una frequenza pari al 5%.

3.5 – Simulazioni

Al fine di valutare separatamente il contributo delle diverse tipologie di sorgenti inquinanti presenti nell'area in esame sono state condotte separatamente tre simulazioni:

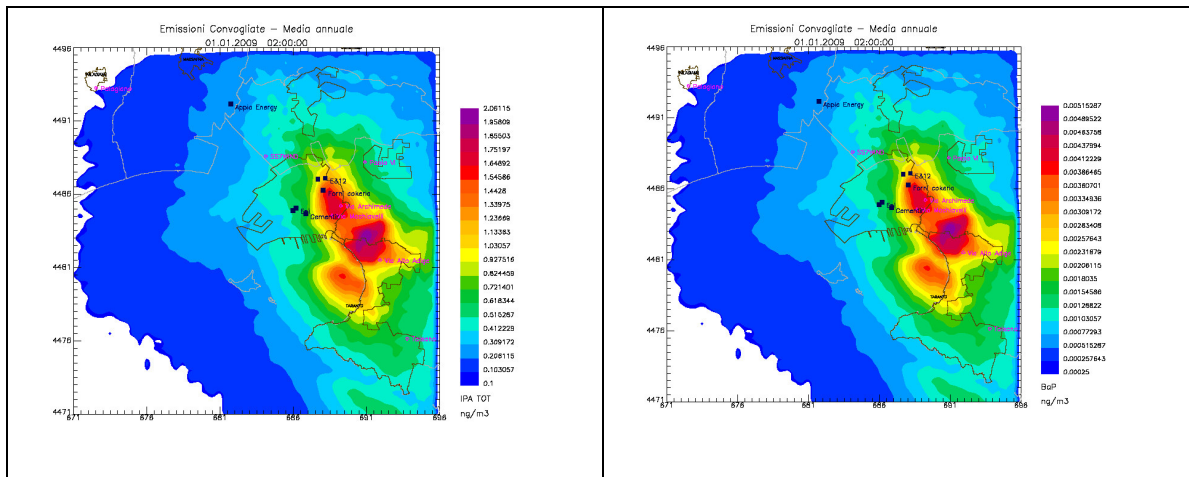
- Sorgenti convogliate industriali;
- Sorgenti Areali;
- Sorgenti Lineari.

a) Puntuali

Le sorgenti considerate sono quelle indicate nella tabella successiva. Si precisa che nella simulazione non è stato considerato lo stabilimento AMIU, poiché inattivo nel 2009. Le emissioni delle sorgenti convogliate sono costanti tranne che per i camini dello stabilimento ILVA per i quali risultano disponibili le modulazioni annuali.

SORGENTI	FONTI	STABILIMENTI
Puntuale	Industria	ILVA - agglomerato
		ILVA - forni cokeria
		ENI
		EDISON
		ENIPOWER
		CEMENTIR
		APPRIA ENERGY

Nelle mappe successive si riportano la concentrazione media annuale di IPA TOT e la concentrazione di BaP previste dalla catena modellistica per il 2009 relativamente alle sorgenti considerate.



Le concentrazioni di BaP dovute alle emissioni convogliate in Via Machiavelli risultano di entità poco significativa.

b) Sorgenti Areali

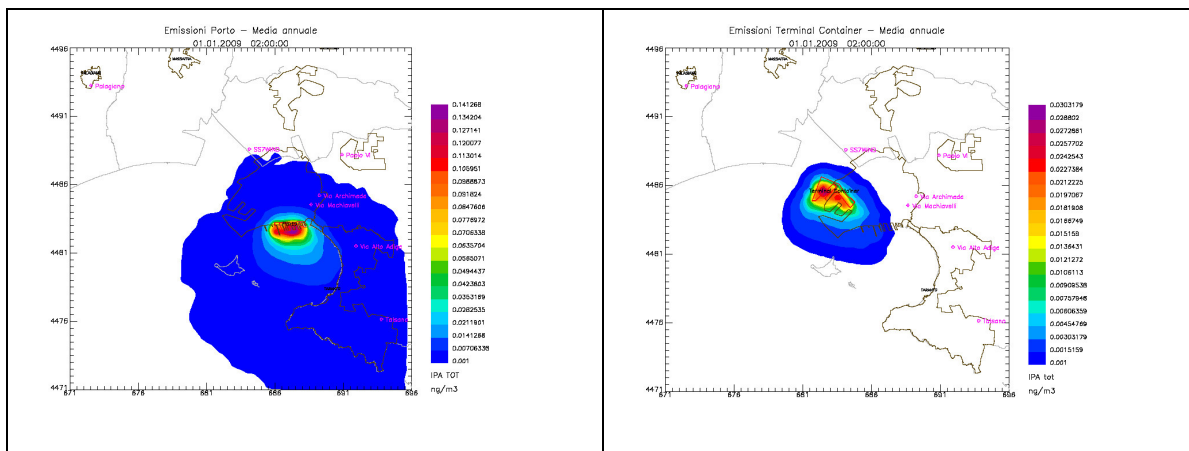
Nella tabella successiva si riportano le sorgenti areali simulate dal modello.

SORGENTI	FONTI	STABILIMENTI
Areale	Industria	ILVA Cokeria
		ILVA Altoforno
Areale	Attività Traffico Portuale	

Non è stato trattato il riscaldamento residenziale che, come mostrato nel bilancio emissivo, incide in modo poco rilevante.

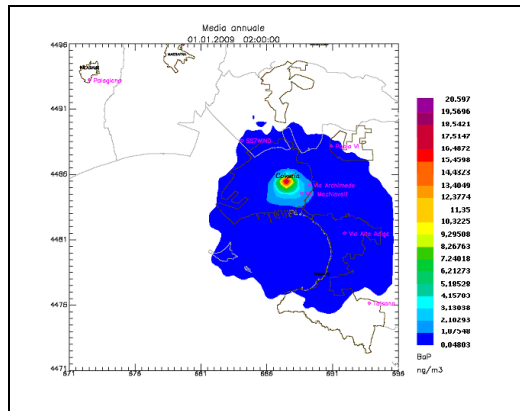
Le attività del traffico portuale sono state suddivise in trasporto portuale e trasporto container poiché vengono espletate in aree distinte.

Nelle mappe successive si riportano le ricadute espresse in termini di concentrazioni medie annuali di IPA TOT dovute a Porto e Terminal Container.



Alle concentrazioni di IPA TOT modellate al suolo contribuisce in maniera determinante la sorgente areale Ilva Cokeria. Per quanto riguarda il BaP, si mostra la mappa di concentrazione

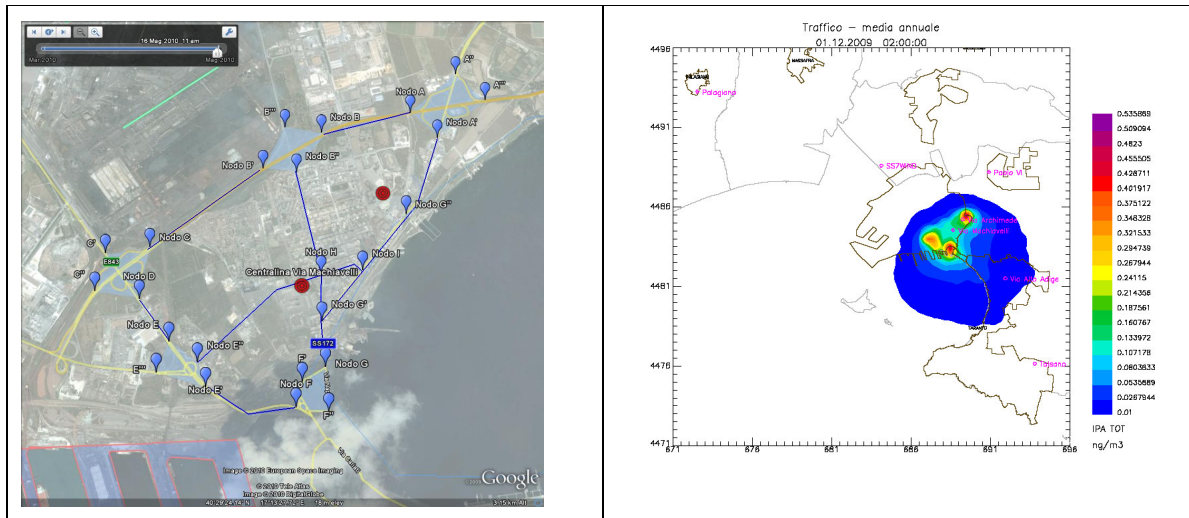
media annuale relativamente alle sorgenti areali Ilva per le quali è stata stimata la relativa emissione⁵.



c) Traffico

Riguardo all'emissione lineare da traffico è stata simulata la concentrazione al suolo di IPA TOT dovuta al traffico delle strade poste in prossimità di Via Machiavelli.

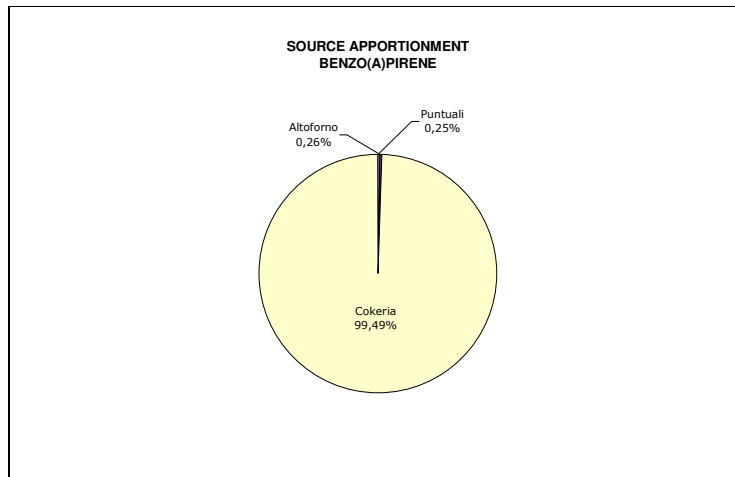
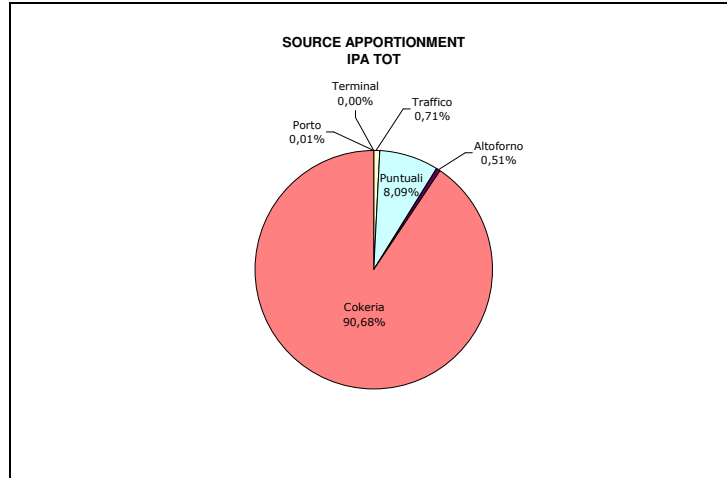
Nelle mappe successive è mostrato il grafo stradale considerato e la relativa mappa della concentrazione media annuale di IPA TOT al suolo simulata dal modello.



⁵ La mappa è stata ricavata supponendo che i refrattari degli altiforni siano tutti senza catrame.

3.6 – Source Apportionment

Si riportano di seguito le torte di attribuzione delle concentrazioni medie annuali al suolo di IPA e benzo(a)pirene dovute alle sorgenti considerate, supponendo che la sostituzione dei refrattari contenenti catrame degli altiforni sia completa.



4. SORGENTI DI BENZO(A)PIRENE AL Q.RE TAMBURI TARANTO. SUOLO E DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE.

Il D.Lgs 152/07 pone l'obiettivo della "raccolta e la diffusione di informazioni esaurienti in merito alle concentrazioni nell'aria ambiente ed alla deposizione" di benzo(a)pirene (cfr. Art 1.1). La deposizione totale è così definita dal testo di Legge: *massa totale di sostanze inquinanti che, in una data area e in un dato periodo, è trasferita dall'atmosfera al suolo, alla vegetazione, all'acqua, agli edifici e a qualsiasi altro tipo di superficie* (cfr Art. 2.1.e). Lo scopo è quello di "valutare l'esposizione indiretta della popolazione agli inquinanti attraverso la catena alimentare" (cfr All. III.II.1.c).

A partire dal mese di maggio 2008 la scrivente Agenzia ha attivato a Taranto, Q.re Tamburi, Via Orsini Chiesa S. Francesco De Geronimo, una postazione di raccolta delle deposizioni totali ai sensi del citato D.Lgs 152/07 e conforme alla metodologia ISTISAN 06/38. I valori finora registrati sono compresi nell'intervallo 57 – 565 ng/mq die, i quali, collocano il Q.re Tamburi al vertice della graduatoria delle zone a più alto tasso di deposizione di IPA (cfr ARPA Puglia, Relazione sui Dati Ambientali dell'Area di Taranto, del 07/09/09 inviata al Sindaco di Taranto).

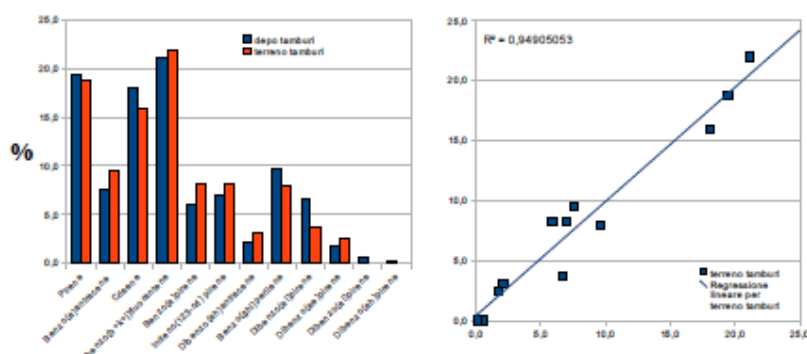
Per contribuire all'individuazione delle sorgenti che hanno contribuito al superamento dell'obiettivo di qualità di 1 ng/mc nel PM10, si ritiene utile affiancare ai dati di qualità dell'aria (PM10 e deposizioni) anche le concentrazioni di BaP nel suolo superficiale quale recettore delle polveri sedimentabili ma, in determinate condizioni atmosferiche come le piogge, anche delle poveri sospese (PM10).

Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) occorre quindi verificare che sussista una correlazione fra la composizione della miscela di IPA che caratterizza le deposizioni totali, il terreno superficiale, e le potenziali sorgenti. Un modo per operare il confronto è quello di usare i cosiddetti profili di concentrazione. Il termine profilo indica la distribuzione relativa delle singole molecole costituenti la miscela di IPA. L'esame dei profili nei campioni ambientali/alimentari può fornire utili informazioni circa il contributo di una specifica fonte della quale sia noto lo specifico profilo a seguito, per esempio, di misure dei rilasci in atmosfera o in acqua o al suolo; potenzialmente consente, inoltre, di paragonare le fonti di rilascio sulla base dei differenti composti emessi e di approfondire le modalità di formazione di ciascuno di essi.

I dati che saranno utilizzati nella presente discussione comprendono campioni di suolo superficiale industriale (Rapporto di Prova ARPA Puglia RG_3733_08, RG_3734_08, RG_3735_08 prelevati rispettivamente in ILVA Spa cokeria, agglomerato, acciaieria), campioni di deposizione atmosferica (RdP ARPA Puglia RG_3920_08, picco di deposizioni al Q.re Tamburi), e campioni di suolo urbano (RdP INCA-Marghera 9630 del 29/06/07, Via Machiavelli Taranto).

Un primo confronto, utile anche a descrivere la metodologia utilizzata, è fra il profilo delle deposizioni e del suolo urbano al Q.re Tamburi, come illustrato nella Figura che segue.

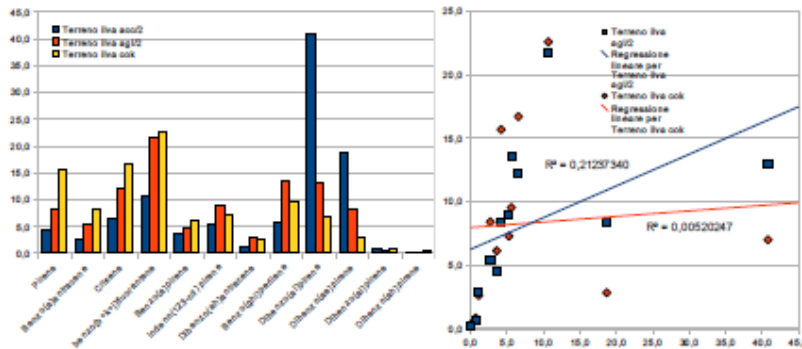
Figura 15 - Confronto fra i profili di deposizione e suolo urbano per il Q.re Tamburi.



Nel grafico a destra, in blu è rappresentato il contributo percentuale della concentrazione di ogni singolo composto alla concentrazione totale degli IPA per il campione di deposizione atmosferica (profilo delle deposizioni), mentre in rosso il profilo del suolo urbano. Sono considerati solo gli IPA per i quali il D.Lgs 152/06 fissa la CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) nel suolo. L'evidente sovrapposibilità dei profili può essere meglio valutata con strumenti statistici, ed in questo caso si propone la regressione lineare delle serie di dati con valutazione del valore R2 (valori tendenti ad 1 indicano presenza di correlazione, valori tendenti a 0 indicano assenza di correlazione). Per le deposizioni ed il suolo urbano la correlazione è pari ad $R^2=0,94$ ed è quindi ottima. Una maniera alternativa di esprimere lo stesso concetto è di osservare la dispersione (distanza) dei punti dalla retta di regressione lineare. In questo caso è possibile affermare che le due matrici ambientali subiscono l'impatto di una stessa sorgente o di uno stesso insieme di sorgenti.

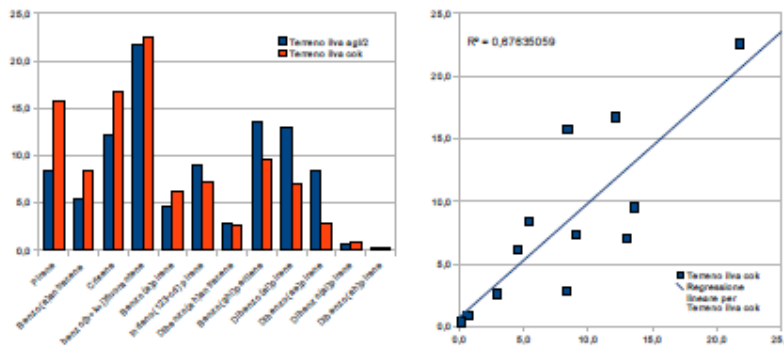
E' utile confrontare i profili di tre campioni di suolo industriale che possono essere considerati rappresentativi di tre distinte sorgenti presenti a Taranto: acciaieria, cokeria, ed agglomerato. I profili sono rappresentati di seguito.

Figura 16 - Confronto fra i profili di tre diverse sorgenti.



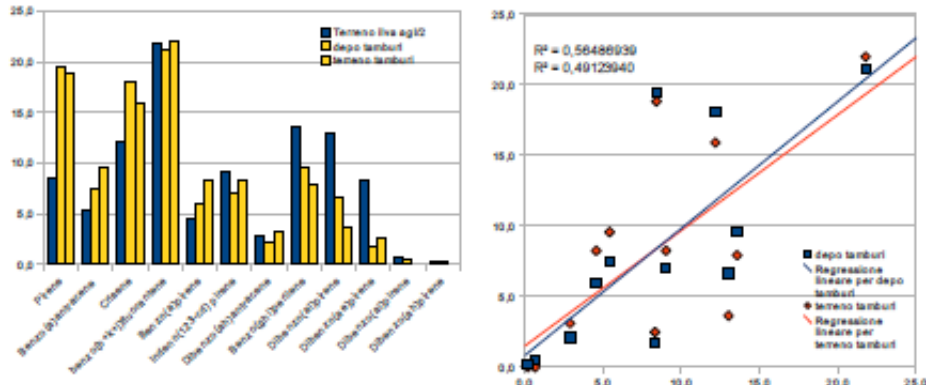
Come è evidente, non sussiste correlazione fra le tre sorgenti, il che può essere utile ad isolare i singoli contributi. Alla stessa conclusione si arriva confrontando i profili dei campioni di suolo industriale provenienti dalle due maggiori sorgenti di IPA censite a Taranto, ovvero le cokerie e l'agglomerato ILVA Spa. Il fattore R2 è pari a 0,67 e quindi la correlazione resta scarsa e le due sorgenti sono distinguibili.

Figura 17 - Confronto fra i profili di cokeria ed agglomerato.



Avendo fatto le precedenti premesse, è ora possibile confrontare i profili delle sorgenti con quelle dei recettori. La Figura che segue presenta i profili della sorgente "agglomerato" (in blu) con le matrici suolo e deposizione (in giallo) per il Q.re Tamburi.

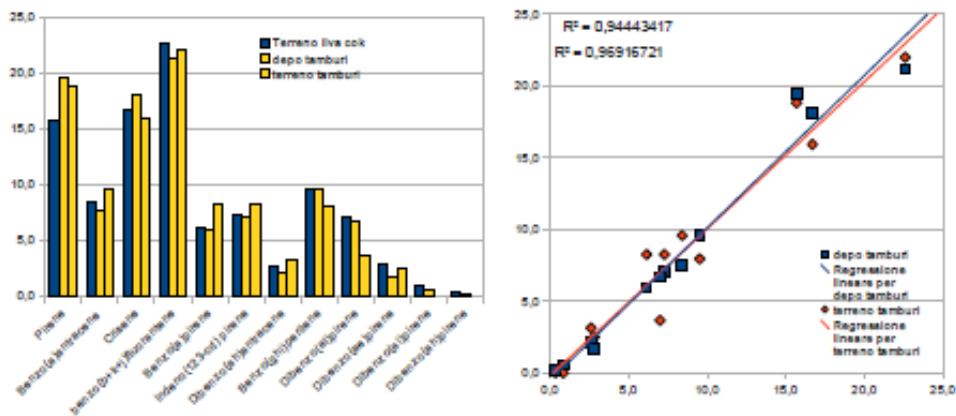
Figura 18 - Confronto fra i profili di agglomerato, suolo urbano, e deposizione totale



La correlazione R2 è pari a 0,56 e 0,49 per il suolo e le deposizioni, rispettivamente. La dispersione dei dati è elevata e il profilo del suolo industriale da agglomerato è distinto da quello dei recettori.

Di seguito viene invece presentato il confronto fra i profili suolo industriale da cokeria con i recettori suolo urbano e deposizioni atmosferiche (Figura 19).

Figura 19 - Confronto fra i profili di cokeria, deposizioni, e suolo urbano



E' possibile osservare come la dispersione dei dati sia molto piccola e la correlazione sia molto elevata pari a 0,94 e 0,97 per le deposizioni ed il suolo urbano, rispettivamente. Sulla base di questi dati si può concludere che il suolo della cokeria, il suolo urbano e le deposizioni totali del Q.re Tamburi subiscono l'impatto di una stessa sorgente.

5. STIMA DEL RISCHIO CANCEROGENO

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), generati dalla combustione di materiale organico, sono ubiquitari nei luoghi di lavoro e negli ambienti di vita.

E' ormai ampiamente noto che diversi IPA sono in grado di determinare tumori in animali da esperimento e studi epidemiologici su lavoratori esposti, in particolare in cokeria e nelle fonderie di alluminio, hanno mostrato chiari eccessi di rischio di tumore del polmone e altamente suggestivi rischi di tumore della vescica (Boffetta et al. 1997; IARC 1984, 1985, 1987).

Nonostante la letteratura scientifica sia concorde nell'affermare che l'esistenza dell'associazione tra l'esposizione ad IPA e aumento di rischio di tumore sia oltre ogni ragionevole dubbio (Armstrong B et al, 2004), vi è una certa incertezza circa la stima quantitativa del rischio cancerogeno e quindi della relazione tra esposizione e risposta, che è evidentemente la base per stabilire standard di esposizione ambientali e professionali.

In particolare, per stima quantitativa del rischio cancerogeno si intende una metodologia in grado di determinare una stima numerica del rischio cancerogeno per un dato livello di esposizione dell'agente cancerogeno in questione, col supporto di modelli matematici.

Questo tipo di stima è reso particolarmente complicato dal fatto che gli IPA sono una miscela, all'interno della quale i diversi componenti mostrano un potenziale cancerogeno diverso, come mostrato dalle classificazioni IARC e US EPA:

IPA	Classificazione IARC	Volume	Anno
Acenaphthene	3	92	2010
Anthracene	3	92	2010
Benz[j]aceanthrylene	2B	92	2010
Benz[a]anthracene	2B	92	2010
Benzo[b]chrysene	3	92	2010
Benzo[b]fluoranthene	2B	92	2010
Benzo[j]fluoranthene	2B	92	2010
Benzo[k]fluoranthene	2B	92	2010
Benzo[ghi]perylene	3	92	2010
Benzo[c]phenanthrene	2B	92	2010
Benzo[a]pyrene	1	92, 100F in prep	2010
Benzo[e]pyrene	3	92	2010
Chrysene	2B	92	2010
Coronene	3	32, Sup 7	1987
Cyclopenta[cd]pyrene	2A	92	2010
Dibenz[a,h]anthracene	2A	92	2010
Dibenzo[a,h]pyrene	2B	92	2010
Dibenzo[a,i]pyrene	2B	92	2010
Dibenzo[a,l]pyrene	2A	92	2010
Fluoranthene	3	92	2010
Fluorene	3	92	2010
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2B	92	2010
5-Methylchrysene	2B	92	2010
Naphthalene	2B	82	2002
Naphtho[1,2-b]fluoranthene	3	92	2010

Naphtho[2,1-a]fluoranthene	3	92	2010
Phenanthrene	3	92	2010

^a *Classificazione IARC (1987, 2010): 1, Cancerogeno per l'uomo (sulla base di sufficiente evidenza negli animali da esperimento); 2A, Probabile cancerogeno per l'uomo (sulla base di evidenza limitata nell'uomo ed evidenza sufficiente negli animali da esperimento); 2B, Possibile cancerogeno per l'uomo (sulla base di evidenza limitata nell'uomo e evidenza non del tutto sufficiente negli animali da esperimento oppure di evidenza sufficiente negli animali ed evidenza inadeguata nell'uomo); 3, Non classificabile per la cancerogenicità per l'uomo.*

^b *Classificazione OEHHA (1993): B2, probabile cancerogeno per l'uomo (sulla base di sufficienti evidenze di cancerogenicità negli animali e di insufficienti evidenze negli esseri umani); D, Non classificabile per la cancerogenicità per l'uomo.*

Una possibilità per superare questo aspetto è rappresentata dall'utilizzo di un singolo IPA come indice di esposizione: la maggior parte degli studi fanno riferimento al benzo[a]pirene (BaP).

Ricorrendo all'utilizzo dei rapporti tra la potenza cancerogena degli IPA ed il BaP è possibile determinare un livello di BaP equivalente (BaPequ) e quindi derivare dal rischio attribuibile al BaP quello attribuibile agli altri IPA.

I fattori di potenza equivalente (PEF) indicati dall'US EPA Office of Pesticides, Pollution Prevention and Toxic Substances (OPPTS) sono i seguenti:

PAH compound	Relative potency value
Benzo[a]pyrene	1
Dibenzo[a,h]anthracene	1
Benzo[b]fluoranthene	1
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.1
Benzo[k]fluoranthene	0.1
Benzo[a]anthracene	0.1
Chrysene	0.01
Anthracene	0.01
Benzo[ghi]perylene	0.01
Fluoranthene	0.01
Acenaphthylene	0.01
Fluorene	0
Pyrene	0
Phenanthrene	0
Benzo[j]fluoranthene	0.1
Dibenzo[a,e]pyrene	0.1
Dibenzo[a,h]pyrene	1
Dibenzo[a,i]pyrene	1
Dibenzo[a,l]pyrene	1

Sono state calcolate stime della relazione esposizione-risposta attraverso l'estrapolazione da studi animali (Collins et al. 1991; US EPA 1984) ma questo approccio risulta problematico, soprattutto in considerazione delle differenze tra specie.

Per quanto riguarda i dati tratti da indagini epidemiologiche, sono stati utilizzati i risultati di studi di grandi coorti di lavoratori delle cokerie (WHO 1987) e di fonderie di alluminio (Armstrong et al 2004), per la stima della relazione dose-risposta. Una sintesi dei diversi valori di rischio unitario stimato è disponibile in Boström et al. (2002).

Table 12. Summary of unit risk estimates for B[a]P and for PAHs with B[a]P as the indicator substance (life-time risk per ng/m³ of B[a]P).

Basis for calculation	Unit risk	Reference
Animal experiments		
Inhalation of B[a]P in hamsters (Thyssen et al. 1981)	0.28 × 10 ⁻⁶ ^a	RIVM (1989)
Inhalation of B[a]P in hamsters (Thyssen et al. 1981)	0.37–1.7 × 10 ⁻⁶ ^b	CARB (1994); Collins et al. (1991); Muller (1997)
Inhalation of B[a]P + SO ₂ in rats (Laskin et al. 1970 cit. RIVM 1989)	0.59 × 10 ⁻⁶ ^a	RIVM (1989)
Inhalation of B[a]P in mice (Knizhikow et al. 1982 cit. RIVM 1989)	400 × 10 ⁻⁶ ^a	RIVM (1989)
Intratracheal instillation of B[a]P in hamsters		
Saffiotti et al. (1972)	4.4 × 10 ⁻⁶ ^b	CARB (1994); Collins et al. (1991)
Feron et al. (1973)	4.8 × 10 ⁻⁶ ^b	CARB (1994); Collins et al. (1991)
Inhalation of coal tar/pitch aerosol with B[a]P as the indicator substance	20 × 10 ⁻⁶ ^b	Heinrich et al. (1994)
Epidemiology (PAH with B[a]P as indicator)		
U.S. coke-oven workers	87 × 10 ⁻⁶	WHO (1987, 2000)
U.S. coke-oven workers	23 × 10 ⁻⁶	Muller (1997)
U.S. coke-oven workers	50 × 10 ⁻⁶	Pott (1985)
U.K. gas workers	430 × 10 ⁻⁶	Pike (1983)
Smoky coal indoors in China	67 × 10 ⁻⁶	RIVM (1989)
Most appropriate estimate	100 × 10 ⁻⁶	RIVM (1989)
Aluminum smelters	90 × 10 ⁻⁶	Armstrong et al. (1994); converted from workplace exposure to continuous lifetime exposure

^aLinear extrapolation. ^bLinearized multistage model.

Ulteriori stime sono state calcolate da Vyskocil et al (2004) utilizzando sia la tossicità equivalente a BaP dei singoli IPA derivata da studi animali (che porta a stime comprese tra 0.012-4.7 × 10⁻⁵ in fonderia di alluminio) sia attraverso studi epidemiologici basati su misure di esposizione di BaP (0.02-89 × 10⁻⁵, sempre in fonderia).

Armstrong et al (2009), attraverso una revisione e meta-analisi di 39 coorti professionali, pervengono a stime di rischio relativo unitario per esposizione a 100 µg/m³ di BaP /anni cumulativi pari di 1.35 e di 2.68, a seconda del modello di analisi utilizzato.

In particolare, **la procedura di calcolo del WHO** (Airquality guidelines for Europe, 1987) fa riferimento al calcolo del "rischio unitario" (UR: Unit Risk), ossia del rischio incrementale per una data popolazione esposta per tutta la vita ad una concentrazione media ponderata di 1 µg/m³ di agente cancerogeno, secondo la formula:

$$UR = P_0 (RR-1) / X$$

dove P₀ rappresenta l'incidenza di base; RR il rischio relativo stimato in studi epidemiologici, ovvero il rapporto tra l'incidenza di tumore nel gruppo degli esposti rispetto a quella del gruppo di non esposti; X è l'esposizione media ponderata per il tempo-vita.

Tale metodologia, che combina l'estrapolazione a basse dosi e l'estensione della stima ad un'ipotetica popolazione generale, è comunque condizionata dalla incidenza di base della malattia, dalla definizione dei livelli di esposizione che non è sempre agevole e dall'aver posto le seguenti assunzioni: la risposta è funzione della dose cumulativa; non è ammessa una dose-soglia; il modello determina una estrapolazione lineare della relazione dose-risposta.

La stima del rischio è prodotta sulla base dei dati di uno studio sui lavoratori di cokeria e utilizza come il BaP come indicatore dell'intera miscela di IPA.

Il WHO calcola un rischio di **8.7 × 10⁻⁵ per 1 ng/m³** di BaP valore adottato dall'OMS in "Airquality guidelines for Europe" (1987 e 2000): ciò significa che concentrazioni di BaP pari a 0.012 - 0.12 e 1.2 ng/m³ corrispondono ad una stima dell'eccesso di rischio per tumore del polmone rispettivamente di 1/1.000.000, 1/100.000 e 1/10.000. In generale, la US EPA considera rischi di tumore in eccesso al di sotto di 1 caso su 1.000.000 così piccoli da essere trascurabili, e rischi al di sopra di 1 caso su 10.000 sufficientemente grandi da auspicare un qualche tipo di mitigazione.

Va sottolineato che il rischio così calcolato si riferisce alla miscela totale di IPA e non solo al contenuto di BaP e che il risk assessment basato su uno studio sul rischio di tumore polmonare in lavoratori della produzione di alluminio ha condotto a stime molto simili (Boström et al. 2002).

Stima dell'impatto sanitario per la popolazione del quartiere Tamburi-Lido Azzurro a Taranto

Partendo dalla concentrazione media di BaP rilevata presso il sito di via Machiavelli a Taranto tra maggio 2008 e dicembre 2009 (1.3 ng/m^3) e impiegando il valore di Unit Risk indicato dall'OMS (8.7×10^{-5} per 1 ng/m^3 di BaP), si stima un rischio incrementale per la concentrazione misurata pari a:

$$\text{Incremental Lifetime Cancer Risk} = 8.7 \times 10^{-5} (\text{ng/m}^3) \times 1.3 (\text{ng/m}^3) = 11.3 \times 10^{-5}$$

La stima dei casi di tumore del polmone nella popolazione del quartiere Tamburi-Lido Azzurro (17.644 abitanti al 9 aprile 2009⁶) dovuti ad una esposizione per tutta la vita al livello considerato di BaP, misurato sul solo particolato, risulta pari a:

$$11.3 \times 10^{-5} \times 17.644 = \mathbf{1.99 \text{ tumori.}}$$

⁶ Fonte: <http://www.comune.taranto.it/amministrazione/pagina.php?id=794>

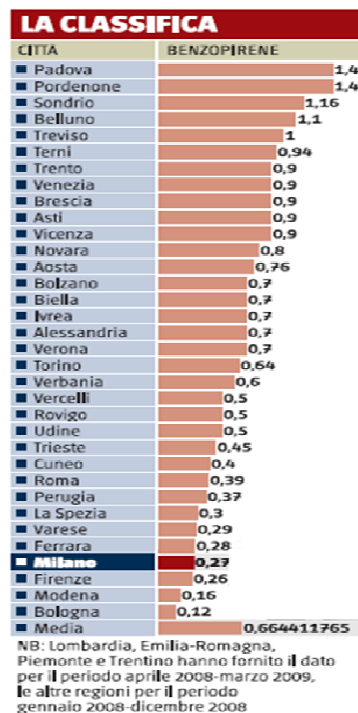
CONCLUSIONI

In conclusione, dai dati illustrati si evince che le concentrazioni di BaP misurate nel quartiere Tamburi pongono la zona a ridosso dell'area industriale ai livelli alti della classifica delle città italiane, come riportato nella figura accanto (Il Giornale, 19 febbraio 2010). Viceversa, i livelli misurati nel centro cittadino e a Talsano si posizionano al di sotto della media nazionale.

Tutti i dati finora esposti, indicano concordemente che il contributo emissivo all'origine, in modo preponderante, del superamento del livello di 1 ng/m^3 per il benzo(a)pirene nel sito di monitoraggio di via Machiavelli a Taranto è costituito dai processi produttivi condotti nell'area a caldo dello stabilimento siderurgico ILVA ed in modo maggioritario, all'interno di tale area, dall'impianto di distillazione del carbon fossile, per la produzione di coke metallurgico (cokeria).

In particolare, si enumerano di seguito gli elementi all'origine di tale asserzione:

- dei 4 siti di monitoraggio per i quali ARPA Puglia ha prodotto dati (Machiavelli, Alto Adige, Talsano, Palagiano), **il sito di via Machiavelli, a meno di un chilometro di distanza dall'area a caldo dello stabilimento siderurgico, è quello per il quale si registrano i livelli di gran lunga più alti di benzo(a)pirene nell'aria;** le rilevazioni effettuate sono concordi con i risultati ottenuti da studi effettuati nel passato in ambito peritale o di ricerca, che mostravano, già, concentrazioni di benzo(a)pirene di entità superiore a 1 mg/m^3 in corrispondenza del quartiere Tamburi;
- l'analisi dei dati di IPA ottenuti con lo strumento EcoChem PAS 2000, installato presso la centralina di via Machiavelli, che consente il rilievo degli IPA totali sul particolato fine con scansione oraria, mostra che **le concentrazioni più alte di IPA nell'aria si hanno quando i venti spirano dal quadrante di Nord-Ovest con successive riduzioni della velocità del vento (tendente alla calma), ovvero in corrispondenza al vento proveniente dall'area dello stabilimento siderurgico ILVA,** limitrofa al quartiere Tamburi, dove sono collocate (in ordine di distanza dall'abitato) il parco minerali e la cokeria;
- le rilevazioni di microinquinanti organici effettuate, tutt'intorno all'area industriale, con campionatori bifasici vento-selettivi, mostrano come in tutti i casi le concentrazioni di



IPA totali e di benzo(a)pirene siano nettamente superiori per il settore di provenienza "sottovento" rispetto all'area industriale, rispetto alle concentrazioni "sopravento". **I rapporti sottovento/sopravento sono tutti superiori a 10, mostrando così che il contributo di origine industriale di IPA e benzo(a)pirene è superiore di più di un ordine di grandezza rispetto agli altri contributi;**

- anche la elaborazione statistica dei dati degli inquinanti, rilevati dalla centralina di via Machiavelli, fra cui gli IPA totali, mostra come **tali inquinanti provengano dal settore di venti Nord-Ovest, con una relazione con la velocità del vento caratteristica di una sorgente localizzata, e come lo stesso settore sia caratterizzato dalla principale sorgente di variabilità dei dati considerati;**
- il bilancio emissivo delle principali sorgenti emmissive degli IPA e del benzo(a)pirene presenti nell'area tarantina mostra 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;**
- la simulazione modellistica della diffusione di tali inquinanti nell'atmosfera mostra come **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 molto minore (il contributo emissivo da parte degli altiforni potrebbe essere superiore, qualora si accertasse la non completa eliminazione del catrame dai refrattari);
- un confronto fra i "fingerprint" degli IPA misurati nel terreno e nelle deposizioni atmosferiche in corrispondenza del quartiere Tamburi, e del "top-soil" prelevato all'interno dello stabilimento ILVA nelle immediate vicinanze della cokeria, mostra una notevole analogia, confermando **la correlazione tra le polveri generate nell'ambito dello stabilimento in corrispondenza della cokeria, e quelle presenti nell'abitato, nella località ove è collocata la centralina di via Machiavelli;**
- alle concentrazioni annue 2009 di BaP misurate di $1,3 \text{ ng/m}^3$ su particolato è associata la stima di circa 2 casi di tumore del polmone nella popolazione del quartiere Tamburi-Lido Azzurro dovuti ad una esposizione per tutta la vita al livello considerato.

Va rilevato, infine, che le considerazioni sopra sono tutte riferite all'anno 2009 nel quale la produzione dello stabilimento ILVA è stata limitata a circa il 50% rispetto all'anno precedente, per la crisi intervenuta nell'ambito siderurgico.

Pur ritenendo, con quanto sopra esposto, di aver fornito risposta alla richiesta del Sindaco di Taranto di fornire una prima indicazione sulle sorgenti emmissive all'origine del superamento del livello di 1, rilevato nel sito di via Machiavelli nell'anno 2009, si conferma la volontà della

scrivente Agenzia di continuare nell'attività di studio sulla problematica, allo scopo di fornire dati ancor più dettagliati ed esaustivi.

Hanno collaborato alla redazione del testo:

Lorenzo Angiuli

Eleonora Andriani

Monica Bevere

Lucia Bisceglia

Crescenza Calculli

Gianluigi De Gennaro

Annamaria Demarinis Loiotile

Vittorio Esposito

Ida Galise

Roberto Giua

Simonetta Loguercio Polosa

Micaela Menegotto

Angela Morabito

Alessandra Nocioni

Alessio Pollice

Tiziano Pastore

Roberto Primerano

Maria Serinelli

Stefano Spagnolo

Maria Spartera