

Benzopirene: l'aromatico assassino

Storia, natura, leggi e crimini di un inquinante in crescita.

Di Dario Faccini

In Breve

Il benzo(a)pirene (BaP) è un composto con due tristi primati: è il primo cancerogeno mai scoperto (1933) ed è l'unico inquinante in crescita in Italia.

Appartiene alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), una classe di composti persistenti che si formano in ogni combustione incompleta di materia organica ad esempio con le sigarette, la legna, il gasolio, i rifiuti e nei cibi bruciati, oltre che negli impianti industriali, soprattutto siderurgici.

Tra gli IPA il benzo(a)pirene è di gran lunga il più studiato, perché induce una varietà di tumori non ultimo quello ai polmoni nei fumatori. Molti IPA oltre a poter essere cancerogeni, sono mutageni, tossici per la riproduzione, per lo sviluppo e per il sistema immunitario.

Nell'aria il BaP si trova depositato sulle polveri sottili, soprattutto sul PM2,5 che ne diventa veicolo per l'ingresso nelle vie respiratorie. La concentrazione di IPA nell'aria è rilevata proprio misurando il BaP che viene così usato come marker per tutta la classe di composti. Questa scelta, se da un lato semplifica il lavoro, dall'altro comporta una sottostima di almeno il 50% del rischio associato.

In Italia la prima legge per limitare la concentrazione di BaP nell'aria è del 1994, con un testo all'avanguardia che viene disatteso nei fatti. Leggi successive introducono procrastinazioni e annacquamenti alla cogenza del limite della concentrazione di benzo(a)pirene nell'aria, che solo dal 2013 è fissato su tutto il territorio nazionale alla media annua di 1 microgrammo al metro cubo.

I ritardi con cui la politica italiana decide di trattare l'inquinamento da IPA creano le condizioni affinché solo nel 2015 l'Istituto Superiore per la Prevenzione e Ricerca Ambientale (ISPRA) comunichi, in sordina, che i livelli di benzo(a)pirene in atmosfera sono in aumento. La causa è precisa: l'incremento del consumo delle biomasse, in primis la legna, che è stato spinto dalle incentivazioni previste per le fonti di energia rinnovabile. La combustione delle biomasse nel settore civile contribuisce ormai per i due terzi delle emissioni di IPA. Paradossale è la scoperta dell'ISTAT che nel 2014 il loro consumo di biomasse in Italia sia stato il doppio di quanto fosse prima stimato. Oltre il 12% della popolazione italiana è così esposta a livelli di benzo(a)pirene superiori ai limiti di legge.

In realtà le biomasse sono ben poco "green", e non solo da un punto di vista sanitario: dalla loro combustione si libera il Black Carbon, la frazione carboniosa del particolato, che contribuisce al riscaldamento climatico.

Questi aspetti sembrano purtroppo del tutto estranei alle politiche di incentivazione pubblica che continuano imperterrite a promuovere l'uso diffuso delle biomasse.

150 anni di indagini

La presenza di una sostanza mortale che induceva tumori negli spazzacamini inglesi era già stata ipotizzata dal medico Sir Percival Pott nel 1775, ma i mezzi dell'epoca non permettevano di isolarla. La stessa correlazione si ripropose nell'800 tra i lavoratori che preparavano il carbon coke cuocendo in grandi stufe il carbon fossile: tra i residui rimaneva anche il catrame di carbone da cui potevano essere successivamente estratti vari composti che all'epoca trovavano i primi impieghi. [1]

Il cerchio iniziava pian piano a restringersi: qualsiasi cosa fosse era contenuta nel catrame di carbone. Nel 1915 si riuscì per la prima volta ad indurre tumori della pelle su cavie animali spennellando il catrame per mesi, diverse volte al giorno, sulle orecchie di conigli di laboratorio. Con questa e altre tecniche primitive fu possibile nel 1922 iniziare una faticosa ricerca per individuare il composto preciso responsabile della comparsa dei tumori. Tutto quello che si sapeva era che doveva essere un composto aromatico pesante (con più anelli di atomi di carbonio), privo di arsenico, zolfo o azoto, la sua banda di fluorescenza doveva essere compatibile con quelle presentate dal catrame di carbone e doveva indurre tumori negli animali di laboratorio. Dopo aver sintetizzato e caratterizzato oltre 60 nuovi composti, un gruppo di ricercatori in quello che diventerà l'Istituto per la Ricerca sul Cancro di Londra, inizia nel 1930 il lavoro finale. Da due tonnellate di catrame si giungerà nell'autunno del 1931 ad isolare 7 grammi di un composto cristallino giallo. Ulteriori processi di purificazione e di separazione porteranno infine all'individuazione di due composti puri. Con un ulteriore lavoro di sintesi per comparazione, fu possibile determinare il procedimento di produzione per sintesi dei due composti isolati, che si presentavano come due cancerogeni molto potenti: il Benzo(a)Pirene (BaP) e il Benzo(e)Pirene. Era il 1933. [2]

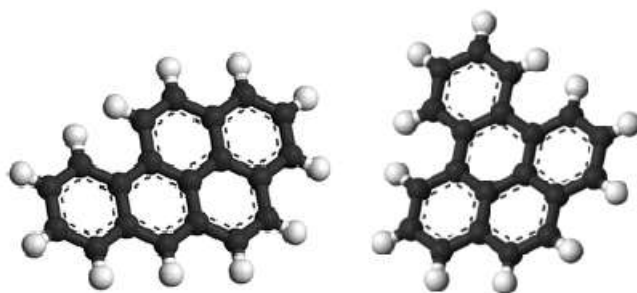


Figura 1: Struttura del Benzo(a)Pirene, a sinistra, e del Benzo(e)Pirene, a destra.

Capobanda di un gruppo criminale

Nei successivi 80 anni il benzo(a)pirene sarà oggetto di un numero altissimo di ricerche.

Insieme con un altro centinaio di composti analoghi sarà classificato nel gruppo degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA, PAH in inglese), formati da 2 a 7 anelli di benzene condensati (cioè con una coppia di atomi di carbonio in comune). Presentano tutti scarsa solubilità in acqua e alta lipofilia. Le sorgenti naturali di IPA sono il petrolio e il carbone, ma vengono prodotti in tutte le combustioni incomplete e le pirolisi ("cottura" in assenza di ossigeno) di materia organica, come quelle della legna, delle sigarette e del cibo. Oltre al

benzo(a)pirene circa una ventina di IPA sono dannosi per l'uomo e la loro persistenza nell'ambiente li rende inquinanti temibili. [3]

Gli IPA possono entrare nell'organismo attraverso la respirazione di aria contaminata (come il fumo di sigaretta o l'inquinamento derivante da legna, traffico, rifiuti e processi industriali), il semplice contatto (suoli contaminati o prodotti come il catrame, il creosoto e gli oli pesanti) e l'ingestione (di acque o vegetali su suoli contaminati). Una volta che sono entrati nell'organismo si diffondono nei tessuti grassi. [3]

Il fumo di tabacco contiene concentrazioni non trascurabili di IPA, quindi molti studi sono relativi a questo ambito. In particolare il benzo(a)pirene può essere attivato dal metabolismo del corpo trasformandosi in BPDE (Benzo Pirene Diolo Epossido) un composto che si lega al DNA in corrispondenza del nucleotide guanina, con un meccanismo che nel 1996 è stato dimostrato condurre alla formazione del tumore ai polmoni nei fumatori [4].

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) classifica il benzo(a)pirene nel gruppo 1 relativo alle sostanze di accertata cancerogenicità, per le quali c'è una sufficiente evidenza negli esseri umani o una sufficiente evidenza negli animali supportata dall'individuazione di meccanismi biologici negli esseri umani. Il benzo(a)pirene ha prodotto tumori in tutte le specie di animali di laboratorio su cui è stato testato, indipendentemente dalla via di esposizione (orale, cutanea, sottocutanea, inalatoria, intratracheale, intrabronchiale, intraperitoneale, intravenosa) tra cui: tumori ai polmoni, alla pelle, al prestomaco, al fegato, alle mammelle oltre a sarcomi e linfomi. Inoltre il benzo(a)pirene è genotossico, cioè è in grado di danneggiare il DNA anche senza portare necessariamente allo sviluppo di una neoplasia. [5]

In generale molti IPA sono genotossici, mentre diversi sono anche immunotossici, tossici per la riproduzione e cancerogeni. Il cibo è ritenuto essere la fonte principale di esposizione per l'uomo, sia per gli IPA che si formano durante la cottura, soprattutto in corrispondenza di bruciature, sia per quelli presenti nell'aria che si depositano sulle colture agricole. Nell'aria, la quasi totalità degli IPA sono adsorbiti al particolato e solo una piccola frazione, quella più leggera con due o tre anelli di benzene, è presente in forma volatile, benché questo possa variare con la temperatura.[6]

Nello specifico, più dell'80% del benzo(A)pirene presente nell'aria si trova adsorbito su particelle di diametro inferiore a 2,5µm (PM2,5).

La vita media in atmosfera varia molto in base alle condizioni e alla stagione. Dovrebbe essere compresa tra il tempo limite di rimozione del particolato cui è adsorbito, circa una decina di giorni (principalmente per deposizione secca e solo in minima parte umida) e le reazioni con altre specie chimiche (prima di tutte l'ozono, poi gli ossidi di azoto e zolfo e l'acido nitrico) unite all'azione degli UV della radiazione solare, per un tempo stimabile in estate di qualche ora. Questo spiega le bassissime concentrazioni che si rilevano durante la bella stagione. [7]

Alcune reazioni hanno un effetto attivante sugli IPA, portando alla produzione di inquinanti secondari. Studi degli anni '70 sul particolato aerodisperso hanno mostrato che la tossicità dell'aerosol era maggiore a quella correlabile ai soli IPA. Ciò venne spiegato dalla presenza nella frazione respirabile di altre composti organici spesso derivati degli IPA, come i nitro-IPA (nIPA, in inglese NPAHs), una classe di composti altamente mutageni e sospettati di cancerogenicità nell'uomo che si formano in presenza di luce solare per reazione con l'acido nitrico, oppure gli IPA ossidati (oIPA, in inglese oPAHs) derivanti da reazioni con l'ozono. La sostituzione di uno o più idrogeni con altrettanti gruppi nitro (NO₂) aumenta l'azione mutagenica e cancerogena degli IPA di partenza e talvolta trasforma in cancerogeni o mutageni IPA che originariamente non lo sarebbero. [8][9]

I nitro-IPA si formano anche direttamente nella combustione del gasolio nei motori, in quella del carbone nelle centrali elettriche e in quella della legna e dei suoi derivati. Uno studio condotto sull'aria domestica a Barcellona ha individuato per i Nitro-IPA un contributo alla mutagenicità complessiva dell'aria pari al 50%. [10] [11]

Il benzo(a)pirene, per la sua elevata cancerogenicità, per le concentrazioni che può raggiungere nell'aria ambiente e per le conoscenze raccolte in decenni di studi, è stato scelto come *marker*, cioè indicatore di carcinogenicità, per tutto gli IPA presenti nell'aria. In pratica, usando il benzo(a)pirene è possibile effettuare valutazioni di rischio quantitative: la misura di concentrazione di BaP nell'aria, rilevata in medie annue di ng/m^3 , si moltiplica per il rischio di sviluppare un tumore polmonare nell'arco della vita di una persona esposta a $1\text{ng}/\text{m}^3$, pari a 0,000087. Si osservi come questa impostazione di fatto consideri solo un effetto sanitario tra tutti quelli possibili, pur se quello con maggior incidenza. [6]

L'uso di una sola specie chimica per caratterizzare il rischio di tutto il gruppo degli IPA porta però ad un'altra sottostima del rischio complessivo, perché esclude gli effetti della maggior parte degli IPA presenti nell'aria. E' possibile porre rimedio analizzando la concentrazione di ogni IPA e moltiplicandola per un Fattore di Tossicità Equivalente (TEF) tipico di ogni IPA che normalizza la misura in unità di BaP. Un'analisi di questo tipo è stata pubblicata nel 2012 per l'aria di Venezia-Mestre e da essa si ricava che l'aumento di rischio di sviluppare un tumore polmonare considerando anche le specie diverse dal benzo(a)pirene è del 50% più elevato rispetto a quello che si sarebbe ottenuto considerando solo il marker principale. [12] [13]

Infine, per tenere conto della maggiore vulnerabilità dei bambini all'esposizione di inquinanti ubiquitari cancerogeni, andrebbe pesata diversamente l'incidenza nelle fasce di popolazioni più giovani. Questo può essere fatto adottando dei fattori di aggiustamento dipendenti dall'età (ADAF, Age Dependent Adjustment Factors). Ad esempio per i bambini da 0 a 2 anni l'ADAF vale 10, mentre tra 2 e 16 anni vale 3, oltre i 16 anni non si effettua aggiustamento. [13] [14]

Un regola del pollice per calcolare rapidamente il rischio di incidenza di tumore polmonare può quindi essere quella di raddoppiare il rischio associato alla concentrazione di benzo(a)pirene nell'aria, tenendo così conto sia degli altri IPA, sia degli aggiustamenti necessari per l'età.

Italia: leggi innovative e retrograde

Nel 1994 l'Italia si pone all'avanguardia in Europa nella tutela della salute, con il DM del 25/11/1994 [15], che impone obiettivi di qualità dell'aria relativamente agli IPA in 23 città con più di 150.000 abitanti: una media annuale di concentrazione di benzo(a)pirene inferiore a $2,5\text{ng}/\text{m}^3$ dal 1996 che scenderà a $1\text{ng}/\text{m}^3$ dal 1999.

Dieci anni dopo la Direttiva Europea 2004/107/CE [16] estende in tutta Europa l'obiettivo di qualità sugli IPA, anche al di fuori dei centri urbani, con limite sempre a $1\text{ng}/\text{m}^3$. L'Italia recepisce la direttiva con il DLgs 152/2007[17], che allarga anche al di fuori dei 23 centri urbani l'obiettivo di qualità, ma per questa estensione l'entrata in vigore è nel 2013. [8]

Una nuova Direttiva UE, la 2008/50/CE [18] sulla qualità dell'aria in Europa, che però non coinvolge gli IPA, obbliga il legislatore italiano a recepirla con il DLgs 155/2010[19]. A sorpresa, il nuovo DLgs oltre che ad abrogare il DLgs 152, riorganizza anche la normativa sugli IPA abrogando l'obiettivo di qualità per i grandi centri urbani (vigente dal 1999) e lasciando quello su tutto il territorio nazionale dal 2013. Associazioni

ambientaliste e scientifiche protestano per l'interruzione, seppure temporanea, di una norma a tutela della salute. [8]

Limiti a parte è interessante anche osservare l'evoluzione della cogenza dei limiti: nel DM del 1994 era un valore di riferimento da *raggiungere e rispettare*; con il DLgs del 2007 diventa un *valore obiettivo* il cui *raggiungimento [...] deve essere perseguito mediante tutte le misure a tale fine necessarie che non comportano costi sproporzionati*; con DLgs del 2010 diventa *da conseguire, ove possibile*, entro una data stabilita. Insomma, un perfetto esempio di "annacquamento" nell'evoluzione normativa.[8]

Italia: quella crescita in segreto

L'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) afferma in una pubblicazione del 2010 [8] che:

"Il fondo naturale del benzo(a)pirene è prossimo allo zero ma nei centri urbani e nelle aree industriali le sue concentrazioni in atmosfera possono essere molto alte. Negli anni '60, in molte città europee le concentrazioni medie annue di BaP erano anche superiori ai 100 ng/m³ (WHO, 1987) ma negli ultimi decenni i livelli in aria di questo inquinante sono scesi sensibilmente. Dalla seconda metà degli anni ottanta, con l'introduzione in Europa delle marmitte catalitiche, una progressiva diminuzione dell'uso del carbone, la diffusione del gas naturale e il progressivo miglioramento delle tecniche di combustione, la riduzione generalizzata nella presenza in atmosfera degli IPA è stata superiore all'ordine di grandezza rispetto ai valori registrati vent'anni prima."

Purtroppo, questa tendenza si è invertita negli ultimi dieci anni, tanto che nell'Annuario dei dati Ambientali 2014-2015 [20] la stessa ISPRA cambia completamente la sua posizione ed afferma categorica che:

"Il benzo(a)pirene è l'unico inquinante a presentare livelli atmosferici in crescita in Europa e in Italia."

Una dichiarazione del genere ci si aspetterebbe che fosse seguita almeno dall'accenno delle cause che contribuiscono ad un tale fenomeno, in fin dei conti stiamo parlando di salute pubblica. E invece niente. Non solo non si trova una spiegazione nel documento citato, ma anche in numerose altre pubblicazioni dell'ISPRA, con l'eccezione di due che verranno qui citate. Persino nei dati dell'Annuario dei Dati Ambientali online [21] (peraltro non aggiornati da almeno due anni) ci si limita solo ad indicare il problema:

[dal] trend delle emissioni regionali di IPA e di diossine e furani tra il 1990 e il 2010 [...] si evidenzia un incremento medio dell'IPA del 36% e un decremento medio delle diossine e furani del 32% circa.

Anche i grafici (figura 2) che vengono forniti non danno informazioni aggiuntive, perché non presentano una disaggregazione per settore o attività emissiva.

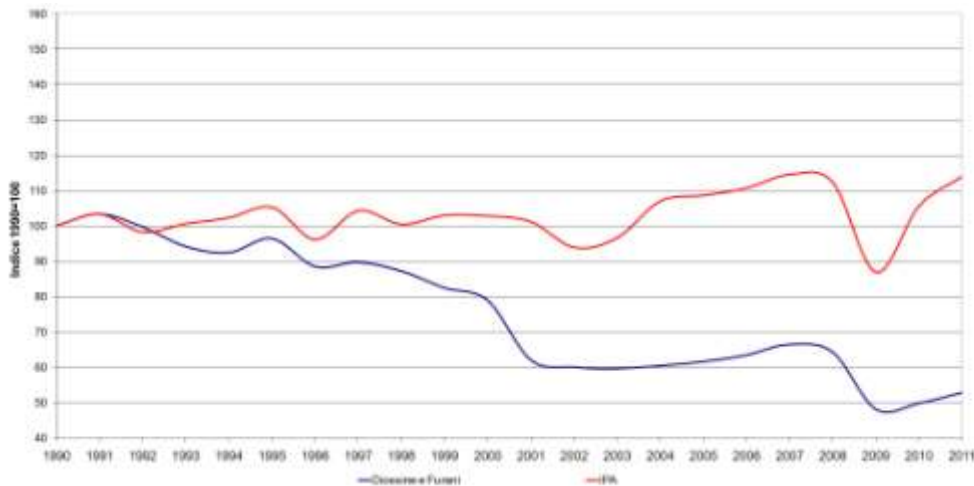


Figura 2: Emissioni nazionali di composti organici persistenti, dal 1990 al 2011. [21]

Solo andando ad analizzare i dati storici di emissioni nazionali ripartiti per macrosettore si ha la prima prova che permette di “stringere il cerchio dei sospetti”: le emissioni del macrosettore “**B combustioni non industriali**” passano dalle 12,6 tonnellate all’anno del 1990 alle 31,3 del 2011, **un aumento del 248%**. Da osservare come l’aumento non sia quindi imputabile ai settori tradizionalmente sotto accusa per l’inquinamento dell’aria: industria, trasformazione energia (es. produzione elettrica), gestione rifiuti e trasporti. Il colpevole deve essere per forza un’attività del settore civile.

Un’indicazione piuttosto diretta di chi possa essere è possibile dedurla dal rapporto ISPRA ‘Stato dell’ambiente 2012’ [22].

“Per quanto riguarda gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene e indeno(1,2,3-cd)pirene), per il 2011, il 46% delle emissioni proviene da combustione e processi del settore siderurgico, e il 35% da combustione di biomassa nel riscaldamento degli ambienti. Italia, 2011, emissioni di IPA: 46 % proviene dall’industria e 35% da combustione di biomassa per riscaldamento civile.”

E’ bene ripeterlo: il 35% delle emissioni IPA nel 2011 derivava da combustione di biomassa nel riscaldamento civile. In una parola, **legna**.

Sin qui i dati che erano disponibili fino metà 2015, quando il quadro ufficiale delle emissioni nazionali di IPA è **improvvisamente peggiorato** in seguito all’uscita del rapporto ISPRA ‘Serie storica delle emissioni nazionali di inquinanti atmosferici 1980-2013’ [23], una pubblicazione online in lingua inglese che è prevista nell’ambito della Convenzione sull’Inquinamento Transfrontaliero a Lungo Raggio (CRLTA/UNECE). Nel rapporto si ammette che **i dati di consumo delle biomasse** nel riscaldamento civile sono da sempre sottostimati e che **in realtà sono circa il doppio**. E’ grazie ad un sondaggio nazionale ISTAT del 2014 [24], finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, che la verità è venuta a galla. Nel rapporto ISPRA è stato così possibile effettuare una revisione corretta dei consumi di biomasse, e relative emissioni IPA, almeno per l’anno 2013. Una revisione completa di tutta la serie storica di consumo delle biomasse è già in atto e si promette che sarà disponibile nel 2016.

Con il solo dato del 2013 validato, la serie storica delle emissioni nazionali di IPA 1990-2013 mostra quindi una brusca impennata nell’ultimo anno (figura 3).

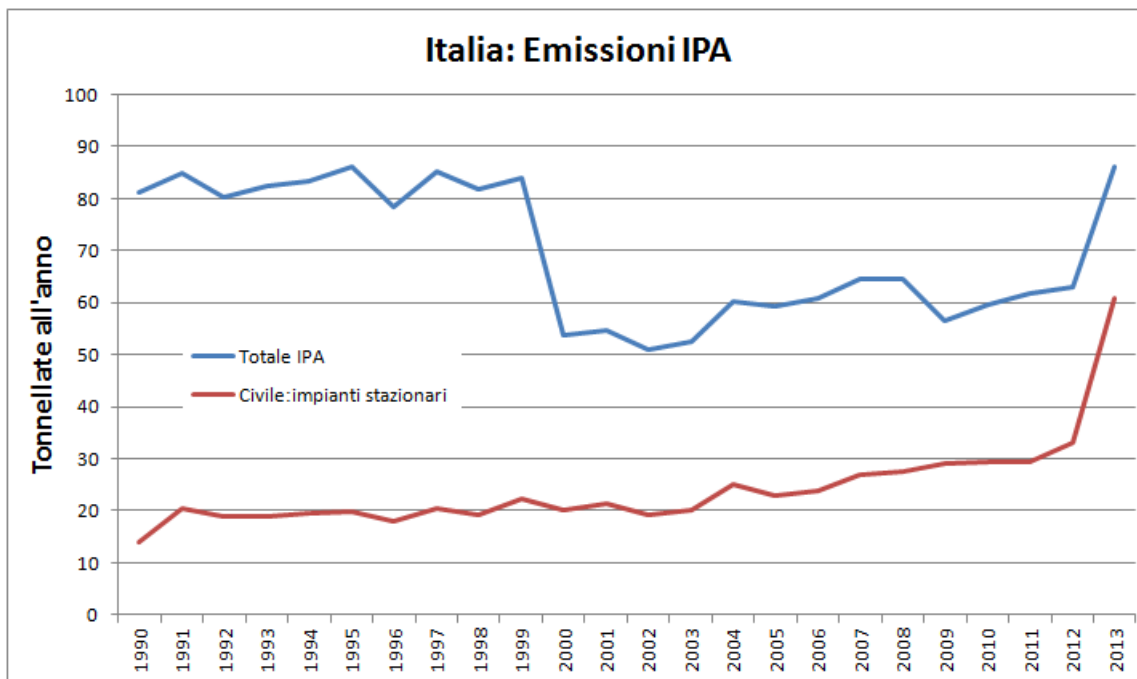


Figura 3: Serie storica delle emissioni nazionali di IPA (benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene e indeno(1,2,3-cd)pirene), con in evidenza il contributo del settore civile tramite gli impianti stazionari, nella quasi totalità sistemi di riscaldamento a biomasse. L'impennata tra il 2012 e il 2013 è dovuta alla revisione del contributo della legna, come spiegato sopra nel testo. Il brusco calo tra 1999 e 2000 sembra invece dovuto ad una revisione delle emissioni nella produzione di acciaio, con un calo degli IPA emessi da questo settore di ben il 65% anno su anno. Fonte: rielaborazione dell'autore su dati SINAnet [25].

Andando a disaggregare le emissioni di IPA del 2013 per macrosettore e per attività, emerge che le biomasse nel settore residenziale sono responsabili del 65% delle emissioni, a seguire c'è l'Industria e l'uso dei solventi che emettono il 15,5%, le sorgenti naturali come gli incendi (7,5%) e l'incenerimento dei rifiuti (6,8%). Figura 4.

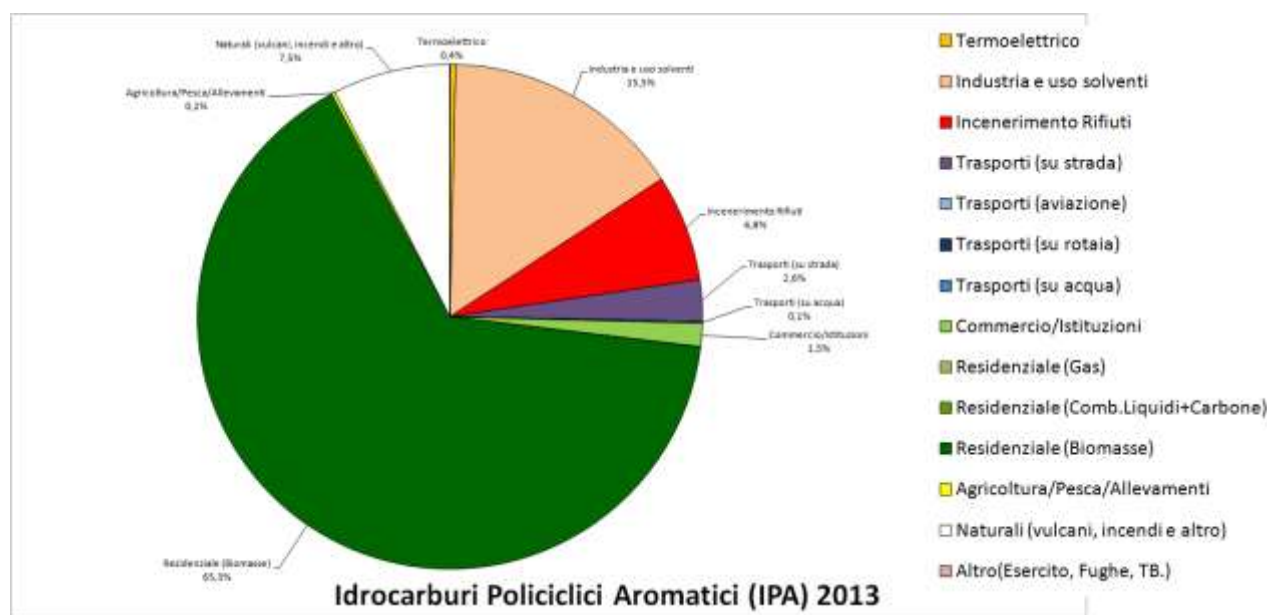


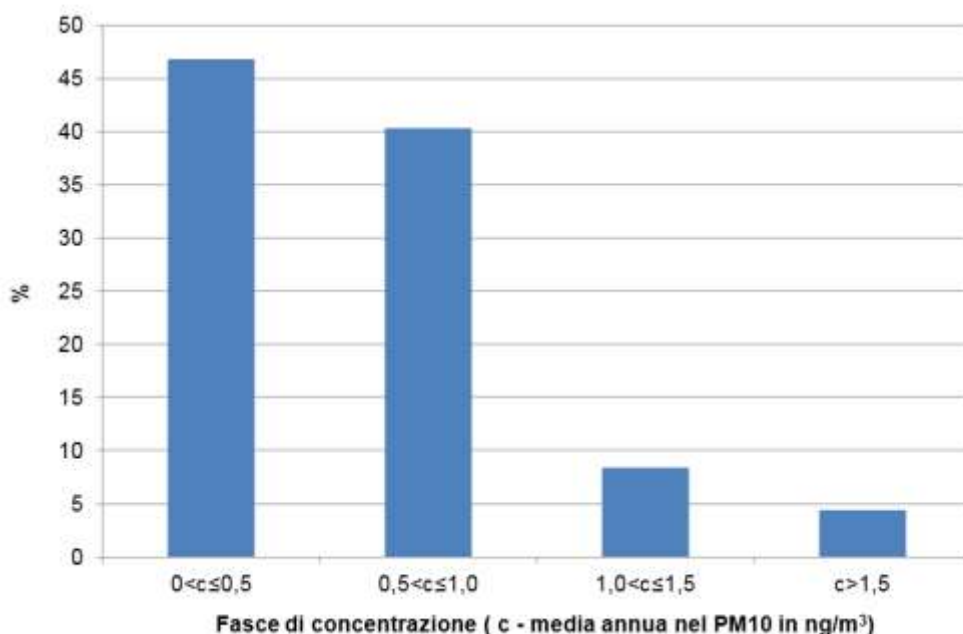
Figura 4: Disaggregazione emissioni IPA nel 2013, per macrosettore e attività. Fonte: rielaborazione dell'autore su dati SINAnet [25] utilizzando i fattori di emissione per sorgenti di combustione stazionarie riferite al 2011 [29].

Visto l'aumento delle emissioni derivante dall'incremento di utilizzo delle biomasse nel settore civile, non stupisce che il valore obiettivo annuale di $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ sul benzo(a)pirene nel 2013 sia stato superato nel 28% delle aree urbane monitorate (10 su 36, per lo più localizzate nel Nord Italia)[27]. Tra l'altro la rete di monitoraggio è ancora largamente deficitaria.

Circa il 12,5% della popolazione italiana vive così in aree in cui il valore annuo obiettivo di benzo(a)pirene viene superato (figura 5).

Percentuale di popolazione esposta a B(a)P nel PM10 per fasce di concentrazione media annua

Il Benzo(a)pirene è un Idrocarburo Policiclico Aromatico (IPA) presente nel particolato atmosferico. Il Benzo(a)pirene è l'unico IPA al momento normato (valore obiettivo di $1\text{ ng}/\text{m}^3$ – media annuale) ed è una sostanza cancerogena, ritenuto anche causa di mutazioni genetiche, infertilità e disturbi dello sviluppo.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati ARPA/APPA e ISTAT

Figura 5: percentuale di popolazione italiana esposta alle varie fasce di concentrazione annua di benzo(a)pirene. Fonte: Ispra 2015 [28].

“Verdi” conclusioni

E' doveroso chiudere questa sintesi sul benzo(a)pirene con un paragrafo dell'unico documento ISPRA [27] che denuncia in modo completo il fenomeno:

[...] il benzo(a)pirene [è un] idrocarburo policiclico aromatico di accertata cancerogenicità (IARC, Gruppo 1), costituente del particolato atmosferico prodotto nei processi di combustione. Il benzo(a)pirene è l'unico inquinante, tra quelli regolamentati dalle Direttive europee 2008/50/CE e 2004/107/CE e dal D.Lgs. 155/2010, a presentare livelli atmosferici in crescita in Europa e in Italia. Questo aspetto è strettamente legato alle crescenti emissioni di particolato, soprattutto PM2,5, dalla combustione delle biomasse per il riscaldamento domestico. Negli ultimi anni l'uso delle biomasse per il riscaldamento domestico, incentivato nel piano nazionale per le energie rinnovabili, si è diffuso ampiamente assumendo un ruolo piuttosto

importante; in particolar modo è cresciuto l'utilizzo della legna per il suo basso costo e per una generalizzata percezione che questa scelta sia green.

Quanto sia "green" la scelta politica di incentivare l'utilizzo delle biomasse viene ben spiegato sempre nello stesso documento [27]. La combustione delle biomasse è comunemente ritenuta neutra per le emissioni di carbonio (e anche qui ci sarebbe da discutere) ma è responsabile per oltre il 40% delle emissioni nazionali di Black Carbon, la frazione carboniosa del particolato che, in virtù delle sue proprietà ottiche, ha un forcing radiativo positivo, cioè contribuisce al riscaldamento climatico.

Riferimenti

- [1] Giorgio Nebbia, [Il Benzopirene nemico numero uno](#), *Gazzetta del Mezzogiorno*, 1/3/2011
- [2] David H. Phillips, [Fifty years of benzo\(a\)pyrene](#), *Nature* **303**, 468 - 472 (09 June 1983); doi:10.1038/303468a0
- [3] EPA, [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons \(PAHs\)](#), gennaio 2008
- [4] Denissenko MF, Pao A, Tang M, Pfeifer GP, [Preferential formation of benzo\[a\]pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53](#), *Science*, 1996 October 18; 274(5286):430-2.
- [5] IARC, [Monografia 100-F "Benzo\(a\)pirene"](#)
- [6] Organizzazione Mondiale della Sanità, [Air Quality Guidelines for Europe](#), WHO Regional Publications, European Series, No. 91, seconda edizione, 2000
- [7] California Air Resources Board and the Office of Environmental Health Hazard-Assessment, [BENZO\[a\]PYRENE AS A TOXIC AIR CONTAMINANT](#), luglio 1994
- [8] ISPRA, Qualità dell'Ambiente Urbano, [Focus su la Qualità dell'Aria](#), VII rapporto edizione 2010, da pag 24
- [9] Ministero dell'ambiente, [Gli inquinanti](#), pagina web visitata il 24/10/2015.
- [10] G Talaska et al., [Polycyclic aromatic hydrocarbons \(PAHs\), nitro-PAHs and related environmental compounds: biological markers of exposure and effects](#), *Environ Health Perspect.* 1996 Oct; 104(Suppl 5): 901-906.
- [11] Thanyarat Chuesaard et al., [Influence of Biomass Burning on the Levels of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Nitro Derivatives in Chiang Mai, Thailand](#), *Aerosol and Air Quality Research* 06/2014; 14(4):1247-1257. DOI: 10.4209/aaqr.2013.05.0161
- [12] Mauro Masiol, Angelika Hofer, Stefania Squizzato, Rossano Piazza, Giancarlo Rampazzo, Bruno Pavoni, [Carcinogenic and mutagenic risk associated to airborne particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons: A source apportionment](#), *Atmospheric Environment* Volume 60, December 2012, Pages 375-382
- [13] EPA, [Guidelines for Carcinogen Risk Assessment](#), 2005
- [14] Maria De la Gala et al., [Ambient air levels and health risk assessment of benzo\(a\)pyrene in atmospheric particulate matter samples from low-polluted areas: application of an optimized microwave extraction and HPLC-FL methodology](#), *Environmental Science and Pollution Research*, 10/2014; 22(7). DOI: 10.1007/s11356-014-3722-x
- [15] Decreto Ministeriale del 25/11/1994, [Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane](#).
- [16] Direttiva Europea 2004/107/CE del 15 dicembre 2004 [concernente l'Arsenico, il Cadmio, il Mercurio, il Nickel e gli Idrocarburi Policiclici Aromatici nell'aria ambiente](#)
- [17] Decreto Legislativo 3 agosto 2007, n. 152, [Attuazione della direttiva 2004/107/CE concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente](#)

- [18] Direttiva Europea 2008/50/CE del 21 maggio 2008 [relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa](#)
- [19] Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155, [Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa](#)
- [20] ISPRA, [Annuario dei dati Ambientali 2014-2015, Ricapitolando...l'Ambiente](#), 2015
- [21] ISPRA, **Annuario dei Dati Ambientali online**, pagina web visitata il 1/11/2015
<http://annuario.isprambiente.it/ada/scheda/4868/11>
- [22] ISPRA, Stato dell'ambiente 2012, [Capitolo 3 La qualità dell'aria](#), pag 155
- [23] ISPRA, [Italian Emission Inventory 1990-2013, Informative Inventory Report 2015](#)
- [24] ISTAT, [I consumi energetici delle famiglie \(anno di riferimento 2013\)](#), 2014
- [25] ISPRA, [Serie storiche delle emissioni nazionali di inquinanti atmosferici 1980-2013](#), SINA net, foglio di calcolo, giugno 2015
- [26] EMEP/EEA, [Air pollutant emission inventory guidebook](#), 2009
- [27] ISPRA, [Annuario dei dati Ambientali 2014-2015, La qualità dell'aria](#), 2015
- [28] ISPRA, [Annuario dei dati Ambientali 2014-2015, l'Annuario in cifre](#), 2015, pag 80
- [29] ISPRA, [Fattori di Emissione per le Sorgenti di combustione stazionarie in Italia](#), anno 2011