



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

## Particelle ultrafini in aria ambiente, metodi per la valutazione delle emissioni allo scarico e sviluppi della ricerca.

Gli studi epidemiologici volti a valutare le relazioni tra esposizione alle particelle ed effetti sulla salute sono stati condotti negli ultimi due decenni sulla base principalmente delle metriche di concentrazione di massa PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>. È stato ampiamente riconosciuto che l'esposizione al PM ha un effetto sulle malattie cardiopolmonari e sul cancro ai polmoni, che può portare a mortalità prematura<sup>1</sup>.

Le particelle sospese nell'aria che vanno circa da 1 nm a 100 µm possono essere inalate e possono penetrare oltre la laringe fino alle vie respiratorie e possono raggiungere più in profondità nei polmoni a seconda delle loro dimensioni e solubilità. L'intervallo dimensionale compreso tra 0,0025 e 0,1 µm viene definito come modo ultrafine o dei nuclei di Aitken. Le particelle in questo intervallo dimensionale sono dette ultrafini (UFP). Esse, in un dato campione di aria ambiente, sono numericamente prevalenti, sebbene contribuiscano in modo poco rilevante alla concentrazione in massa dell'aerosol.

Inoltre, particelle di dimensioni diverse (cioè ultrafini, fini e grossolane) hanno mostrato una scarsa correlazione a causa delle loro principali fonti e dei relativi meccanismi di formazione. Pertanto, la massa di particelle rivela solo informazioni limitate sul numero di particelle e viceversa.

Le principali fonti di UFP ambientali nelle aree urbane sono le emissioni legate alla combustione, principalmente dallo scarico dei veicoli, in particolare dai motori diesel<sup>2</sup>. Conversione da gas a particella, coagulazione, condensazione, diluizione o miscelazione, deposizione a secco, evaporazione, nucleazione e processi fotochimici portano alla trasformazione delle particelle in atmosfera, e generalmente, alla riduzione della concentrazione del numero di particelle con la distanza dalle sorgenti di emissione<sup>3</sup>.

Sulla base delle prime ipotesi tossicologiche<sup>4</sup>, sono stati condotti numerosi studi per valutare la variabilità spaziale e temporale nelle aree urbane, suburbane, rurali e remote utilizzando i risultati del monitoraggio effettuato in un numero limitato di siti<sup>5</sup>. Gli effetti sulla salute a breve termine dell'esposizione alle UFP sono stati valutati utilizzando come metrica la concentrazione totale in numero delle particelle (PNC), come proxy della concentrazione di UFP<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> Rückerl et al., 2011; Shah et al., 2013; Götschi et al., 2008; Guarnieri et al., 2014; Pope III et al., 2006; IARC 2013; Hamra et al., 2014

<sup>2</sup> Morawska et al., 2008)

<sup>3</sup> Kumar et al., 2010, Kulmala et al., 2004; Holmes, 2007

<sup>4</sup> Seaton et al., 1995

<sup>5</sup> Aalto et al., 2005; Kumar et al., 2010; Kumar et al., 2014

<sup>6</sup> e.g. Belleudi et al., 2010 Von Klot et al. 2002; Andersen et al. 2008; Song et al. 2011



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



**Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente**

Sono stati effettuati pochi studi epidemiologici sulle esposizioni a lungo termine a UFP ambientali, principalmente a causa della mancanza di dati sui contrasti spaziali nelle concentrazioni di UFP necessari per condurre studi epidemiologici per esposizioni a lungo termine<sup>7</sup>.

Va considerato che, allo stato attuale, in considerazione dell'insufficienza di evidenze epidemiologiche da cui derivare una conclusione sulla relazione esposizione-risposta, non esistono valori guida o di riferimento per quest'ultima classe dimensionale in aria ambiente.

Poiché mancano reti di monitoraggio delle UFP, sono necessari studi *ad hoc* per colmare le lacune della ricerca. Le informazioni limitate disponibili sulla distribuzione spaziale dell'UFP urbano, a differenza di altri inquinanti e metriche PM, mostrano una grande variabilità spaziale in tutto l'ambiente urbano, con possibili gradienti di esposizione tra i cittadini che vivono nello stesso contesto urbano<sup>8</sup>

Solo di recente sono stati compilati inventari affidabili delle emissioni basati sulla PNC per diverse città europee, che sono stati usati come input emissivo per stimare la dispersione della PNC mediante un approccio deterministico<sup>9</sup>

#### **Limiti alle emissioni dei veicoli stradali e metodi per la verifica all'omologazione.**

Il regolamento (CE) n. 715/2007 e il regolamento (CE) n. 692/2008 della Commissione, del 18 luglio 2008, recante attuazione e modifica del regolamento (CE) n. 715/2007 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo all'omologazione dei veicoli a motore riguardo alle emissioni dai veicoli passeggeri e commerciali leggeri (Euro 5 e Euro 6) e all'ottenimento di informazioni per la riparazione e la manutenzione del veicolo, stabiliscono le prescrizioni tecniche comuni per l'omologazione di veicoli a motore e parti di ricambio riguardo alle loro emissioni e fissa norme sulla conformità in servizio, sulla durata dei dispositivi di controllo dell'inquinamento, sui sistemi diagnostici di bordo (OBD), sulla misurazione del consumo di carburante e sull'accessibilità delle informazioni per la riparazione e la manutenzione del veicolo.

Il regolamento (UE) N. 459/2012 della commissione del 29 maggio 2012 ha modificato il regolamento (CE) n. 715/2007 e il regolamento (CE) n. 692/2008 e ha fissato un valore limite per il numero di particelle<sup>10</sup> emesse pari  $6 \times 10^{11}$  particelle/km per i veicoli ad accensione comandata (*Positive Ignition*) e per i veicoli ad accensione spontanea (*Compression Ignition*). Tale limite vale per i veicoli di categoria M (veicoli a motore destinati al trasporto di persone ed aventi almeno quattro ruote), N<sub>1</sub> (veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t) ed N<sub>2</sub> (veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t ma non superiore a 12 t).

<sup>7</sup> Ostro et al., 2015; Cesaroni et al. 2019

<sup>8</sup> Kumar et al, 2014; Klompmaker et al, 2015

<sup>9</sup> Kukkonen et al., 2016

<sup>10</sup> numero di particelle» (PN): il numero totale di particelle solide emesse dallo scarico del veicolo, come definito dalla procedura di misurazione prevista dal regolamento per la valutazione della conformità al limite d'emissione Euro 6



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



**Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente**

I limiti relativi alla massa del particolato e al numero di particelle dei veicoli con motore ad accensione comandata si applicano solo ai veicoli con motore a iniezione diretta. Fino a tre anni dopo la data di cui all'articolo 10, paragrafi 4 e 5, rispettivamente per le nuove omologazioni e i veicoli nuovi, un limite di emissione del numero di particelle pari a  $6,0 \times 10^{12}$  iniezione diretta su richiesta del fabbricante.

Al più tardi a tale data si applica un metodo di prova per l'omologazione atto a garantire l'effettiva limitazione del numero di particelle emesse dai veicoli nelle condizioni reali di guida.

I protocolli di misure sono stati stabiliti dopo diversi anni di sperimentazione del programma cosiddetto PMP (*Particle Measurement Programme*) che ha previsto la validazione della metodologia per valutare ripetibilità e riproducibilità del metodo.

Esso è riportato nel REGOLAMENTO (UE) 2017/1151 DELLA COMMISSIONE del 1° giugno 2017. Il sistema di campionamento delle particelle (*portable emission measurement system, PEMS*) è costituito da una sonda o un punto di campionamento che estrae un campione da un flusso omogeneamente miscelato in un sistema di diluizione, un separatore di particelle volatili (*volatile particulate remover - VPR*) a monte di un contatore di particelle (*particulate number counter - PNC*) e adeguate condotte di trasferimento.

Il metodo finale che è stato stabilito si basa sul conteggio delle particelle solide (non volatili) più grandi di 23 nm (SPN23) con una efficienza del 50%. L'efficienza deve arrivare al 90% a partire da particelle con diametro di 41 nm. Il diametro minimo di 23 nm era stato selezionato per includere le più piccole particelle di soot (carboniose e solide) ed invece escludere le particelle volatili in modalità di nucleazione.

I sistemi di misura validati si basano su 2 metodologie definite: *Diffusion Chargers* (DCs) e CPC (*Particle Condensation Counter*). Oltre ai limiti durante i test di omologazione in laboratorio sono previsti *In-service Conformity test* (ISC) che includono la misura delle SPN con strumentazione *Portable Emissions measurement Systems* (PEMS) in prove su strada sia per veicoli *light-duty* che *heavy-duty*. L'incertezza del PEMS per la misura del SPN23 è coperta dal cosiddetto *Conformity Factor* (CF) che include un margine che tiene conto dell'incertezza strumentale, incertezza che è stata valutata sperimentalmente sia dal JRC che da altri laboratori. Attualmente la legislazione europea è l'unica che controlla le emissioni di SPN23, con l'eccezione dei nuovi standard introdotti dalla Cina.

In ambito EU, nel programma di ricerca Horizon2020 sono stati finanziati diversi progetti proprio finalizzati ad attività di ricerca necessarie per sviluppare metodi per controllare il livello delle emissioni di particolato di tutti i motori ad accensione comandata, in particolare per quanto riguarda la gamma di dimensioni e la composizione chimica delle particelle emesse al di sotto dei 23 nm, nonché le emissioni nelle condizioni reali di guida.

Quasi tutti questi progetti (di 2-3 anni di durata) si sono conclusi alla fine del 2019, tra questi:



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

- SUREAL-23 - *Understanding and measuring SUB-23 nm particle emissions from direct injection engines including REAL driving conditions*<sup>11</sup>
- DownToTen – *Measuring automotive exhaust particles down to 10 nanometres*;
- PaREGE – *Particle Reduced, Efficient Gasoline Engines*;
- PEMs4Nano – *Portable Nano-Particle Emission Measurement System*;
- UPGRADE – *High efficient Particulate free Gasoline Engines*;
- Dieper Project - *Diesel Engines Diesel Efficiency improvement with Particulates and emission Reduction*.

Nell'ambito di alcuni di questi progetti sono stati presentati dei lavori che mostrano i livelli emissivi di PN<23 nm delle varie tecnologie e alimentazioni.

Ad esempio, il progetto *DownToTen*<sup>12</sup> sta sviluppando una solida metodologia che migliorerà l'approccio normativo nei confronti delle emissioni del numero di particelle (PN) nella regione sub 23nm. L'attenzione si concentra sulle nuove generazioni di motori a benzina e diesel ad iniezione diretta, e alla valutazione delle emissioni in condizioni reali.

Sulla base di indagini dettagliate sulla natura e le caratteristiche di queste particelle, *DownToTen* sta valutando una varietà di strumenti di misurazione di PN e metodi di campionamento per particelle sub 23 nm, utilizzando criteri rigorosi in condizioni analitiche complesse. L'obiettivo è sviluppare un metodo PN-PEMS con elevata efficienza nel determinare le emissioni PN delle tecnologie attuali e future dei motori in condizioni di real-world. DownToTen mira inoltre a comprendere meglio gli impatti delle particelle emesse allo scarico sull'inquinamento atmosferico. Vengono studiati anche i meccanismi di formazione di particelle all'interno del cilindro e la ricerca sui sistemi di filtrazione delle particelle.

In questo ambito, è stato presentato uno studio da Samaras ed altri sulle emissioni di un veicolo light-duty bifuel (benzina con iniezione GDI e CNG con iniezione PFI) usando il sistema di campionamento sviluppato nell'ambito di quel progetto (dove hanno misurato fino a 2.5 nm)<sup>13</sup> in cui viene evidenziato come benzina GDI e CNG hanno livelli comparabili di emissioni di particelle solide SPN2.5 (nanometri), mentre il CNG presenta emissioni più basse per SPN10 e SPN23.

Tra quelli indicati, un altro progetto recentemente concluso *SUREAL-23*<sup>14</sup> ha studiato in particolare le emissioni di particolato dei motori a combustione interna (DI) a iniezione diretta (DI) fino alla soglia di almeno 10 nm. Nel programma di ricerca sono state studiate soluzioni per completare ed estendere la capacità della strumentazione esistente al fine di permettere la

<sup>11</sup> <http://sureal-23.cperi.certh.gr/>;

<sup>12</sup> <http://www.downtoten.com/about>

<sup>13</sup> <http://www.pems4nano.eu/wp-content/uploads/2018/12/Emissions-measurements-of-GDI-CNG.pdf>

<sup>14</sup> <http://sureal-23.cperi.certh.gr/>



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

valutazione della distribuzione dimensionale e la caratterizzazione della composizione dell'aerosol di scarico, in particolare per particelle inferiori a 23 nm.

Vi è molto interesse da parte della comunità scientifica su questo tema ma è ancora in sviluppo una procedura standardizzata che risulti ripetibile e riproducibile in questo campo di misura. Gli avanzamenti della ricerca in questo campo oltre a permettere la caratterizzazione in dettaglio della natura delle emissioni di particolato che potenzialmente sfuggono alla tecnologia e alle normative vigenti in materia di controllo delle emissioni, hanno lo scopo di supportare i futuri sviluppi normativi e tecnico-normativi in tale campo.