

# Qualità dell'aria e tutela della salute

Le *smart cities* sono città sostenibili, in grado di rispondere alle emergenze ambientali. L'inquinamento atmosferico è uno dei principali rischi per la salute delle popolazioni delle città. La valutazione epidemiologica e il *risk assessment* permettono la conoscenza delle aree critiche per la qualità dell'aria in Italia

DOI 10.12910/EAI2017-013

di **Antonio Piersanti, Luisella Ciancarella, Francesca Pacchierotti, Pierluigi Altavista**  
e **Marina Mastrantonio, ENEA**

L'inquinamento atmosferico è oggi riconosciuto come il principale rischio ambientale per la salute umana e la sua attività cancerogena è stata ormai dimostrata dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro che ha classificato l'inquinamento atmosferico *outdoor* e il particolato atmosferico nel Gruppo 1, che include le sostanze accertate come cancerogene per l'uomo. La *smart city* non può quindi essere declinata solo come città efficiente, capace, inclusiva e connessa ma anche sostenibile, e quindi come città capace di mettere al centro interventi per la riduzione degli impatti ambientali e per la risoluzione delle emergenze ambientali ritenute prioritarie. Le emergenze di qualità dell'aria e di sa-

lute, in aree urbane e non urbane, di questi ultimi due inverni documentano efficacemente quanto il tema sia tuttora critico.

L'evidenza scientifica relativa agli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana si è arricchita notevolmente negli ultimi anni, grazie alla grande disponibilità di studi epidemiologici che hanno documentato un ampio spettro di esiti sanitari, acuti e cronici, che vanno dai sintomi respiratori alla morbosità e mortalità per cause cardiologiche, respiratorie e tumorali. Le sostanze responsabili di effetti sulla salute sono principalmente il particolato (PM), il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e l'ozono (O<sub>3</sub>). È ovviamente il contesto urbano quello in cui si manifestano i maggiori impatti sanitari:

circa 359 milioni di cittadini europei (il 72% della popolazione totale dell'Unione Europea) risiedono nelle città, di grande e piccola dimensione, e nelle periferie urbane.

La *smart city* dovrà quindi condividere in modo rapido e "intelligente" anche l'informazione sull'inquinamento atmosferico e sul rischio sanitario che ne deriva, in particolare per gruppi di popolazione particolarmente sensibili.

Questa condivisione deve però appoggiarsi su un *framework* conoscitivo solido per orientare scelte condivise anche con i cittadini (*smart community*) e senza produrre allarmismi. La "previsione" deve quindi agganciarsi a una conoscenza di base, in particolare sulle fonti prevalenti, sui dati cui ci si riferisce

(misure indicative, parametri di riferimento, dati modellistici) e sull'esposizione.

Sul versante della qualità dell'aria, è importante individuare le basi informative più utili per un tale processo, perché dalle concentrazioni in atmosfera dei principali inquinanti si parte per qualunque valutazione epidemiologica e di *risk assessment*. La qualità, accuratezza e rappresentatività spaziale dei dati di concentrazione determinano, insieme ai *pattern* di popolazione, la qualità e affidabilità della valutazione sanitaria.

La sensoristica avanzata di basso costo, anche in combinazione con modellistica previsionale, costituisce un approccio innovativo le cui potenzialità di sviluppo appaiono particolarmente interessanti, per conseguire un'elevata risoluzione spaziale e temporale rispetto alle stazioni di monitoraggio convenzionali. I dati prodotti con simulazioni modellistiche offrono una grande copertura spaziale e temporale ma con gradi diversi di accuratezza differenziati a seconda delle risoluzioni adottate nella simulazione, in particolare per la rappresentazione degli inquinanti secondari in area urbana (particolato e ozono).

### Gli studi epidemiologici

Gli studi epidemiologici per la valutazione dell'impatto sulla salute possono prendere in considerazione gli effetti a breve termine (quelli cioè che si osservano dopo pochi giorni dall'esposizione) e gli effetti a lungo termine (osservabili dopo esposizione di lunga durata, anche anni).

Nel primo caso si possono valutare le modificazioni dello stato di salute della popolazione esposta per un breve periodo a elevate concentra-

Inquinante	lag	RR%	IC 95%
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-1	0,47	0,12;0,83
	2-5	0,25	-0,05;0,55
	0-5	0,44	0,06;0,83
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-1	0,55	0,10;1,00
	2-5	0,53	-0,07;1,13
	0-5	0,78	0,12;1,46
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-1	0,44	-0,05;0,94
	2-5	0,77	0,37;1,17
	0-5	1,08	0,60;1,56
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-1	0,24	-0,16;0,63
	2-5	0,43	-0,08;0,95
	0-5	0,53	-0,04;1,10

Tab. 1 Risultati dello studio EPIAIR condotto in Italia sugli effetti a breve termine degli inquinanti, in termini di aumento percentuale del rischio relativo (RR) e corrispondenti intervalli di confidenza (IC 95%) per mortalità totale in soggetti con età superiore a 35 anni in funzione dei giorni di esposizione (lag) e per variazioni di 10 unità dell'inquinante

Nota: lo studio ha coinvolto 25 città distribuite su tutto il territorio nazionale ed ha considerato come inquinanti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>

zioni di inquinanti, osservando le fluttuazioni dello stato di salute della popolazione durante i "picchi" d'inquinamento.

Il più recente studio meta-analitico sugli effetti a breve termine condotto in Italia è lo studio EPIAIR[1], che ha coinvolto 25 città distribuite su tutto il territorio nazionale ed ha considerato come inquinanti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>.

Nella Tabella 1 vengono presentati sinteticamente i risultati di EPIAIR, in termini di aumento percentuale del rischio relativo (RR) e corrispondenti intervalli di confidenza (I.C. 95%) per mortalità totale in soggetti con età superiore a 35 anni in funzione dei giorni di esposizione (lag) e per variazioni di 10 unità dell'inquinante. È da notare la presenza di una risposta significativa già nello stesso giorno del picco di inquinamento (lag 0-1), il che suggerisce un effetto su soggetti già in condizioni critiche per malattie croniche preesistenti [2].

La valutazione invece degli effetti di un'esposizione prolungata a basse concentrazioni di inquinanti risulta più complessa sia per la lunga latenza tra esposizione ed effetto sia per la presenza di fattori di confondimento, ovvero fattori che concorrono all'insorgenza della stessa malattia (come ad esempio l'abitudine al fumo per il tumore polmonare).

La metodologia prevalentemente adottata per la valutazione degli effetti a lungo termine è quella degli studi di coorte. In tali studi i soggetti arruolati che vivono in contesti di esposizione differenti vengono seguiti nel tempo, valutando l'incidenza o la mortalità in relazione alle diverse esposizioni ambientali. In questi studi vengono valutati anche fattori di rischio individuali, confondenti rispetto all'inquinamento atmosferico, come il fumo di tabacco e l'esposizione lavorativa.

Negli studi degli effetti a lungo termine il principale fattore di rischio considerato è il particolato (PM<sub>10</sub> e

PM<sub>2,5</sub>) in quanto l'ozono e gli ossidi di azoto inducono prevalentemente effetti a breve termine. Tra le cause di morte in eccesso rientrano patologie cardiovascolari, respiratorie e tumorali e soprattutto il tumore del polmone. La cancerogenicità è determinata dalla presenza nel particolato di idrocarburi policiclici aromatici che si formano durante i processi di combustione, di metalli pesanti (cromo, arsenico, nichel) e di fibre di amianto.

Recenti studi analitici riportano aumenti di rischio di tumore al polmone per incrementi di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> di 5-10 µg/m<sup>3</sup> [3]. Sempre in relazione al tumore del polmone, meta-analisi condotte in diverse parti del mondo indicano differenti valori di aumento della mortalità che vanno da 1 al 29% per incrementi di PM<sub>2,5</sub> di 10 µg/m<sup>3</sup>.

Un ulteriore approccio metodologico è quello che si basa sull'applicazione di procedure di *risk assessment*. Sulla base delle concentrazioni degli inquinanti presenti nell'aria (misurate o stimate anche con modelli previsionali), di valori di riferimento per effetti tumorali e non tumorali, stabiliti per ciascun inquinante da

Agenzie Internazionali tenendo conto dei più recenti studi epidemiologici e tossicologici, e di opportuni algoritmi, sono calcolati la probabilità incrementale di sviluppare tumori nella popolazione esposta e il pericolo d'insorgenza di patologie non tumorali, e sono derivate mappe di rischio sanitario per le popolazioni esposte.

I principali e più recenti progetti relativi agli effetti dell'inquinamento sulla salute sono il progetto europeo ESCAPE (*European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*) [3] e le rassegne REVIHAAP (*Review of evidence on health aspects of air pollution*) [4] e HRAPIE (*Health risks of air pollution in Europe*), dell'Organizzazione Mondiale della Sanità.

### Le principali esperienze italiane con la collaborazione di ENEA

L'ENEA, insieme alla competenza di analisi degli effetti indotti da agenti chimico/fisici, ha una consolidata esperienza nel campo della simulazione modellistica della qualità dell'aria che ha portato negli anni allo sviluppo del Sistema Modellistico denominato MINNI (Modello

Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico, [www.minni.org](http://www.minni.org)), finanziato dal Ministero dell'Ambiente come strumento modellistico di riferimento a scala nazionale (D.Lgs. 155/2010).

Le mappe nazionali di concentrazione degli inquinanti, per diversi anni base e alcuni anni di scenario, sono state elaborate e utilizzate nel progetto VIIAS (Valutazione Integrata dell'impatto dell'Inquinamento Atmosferico su ambiente e Salute) [5] che ha stimato sia il tasso di mortalità totale, per malattie respiratorie, malattie cardiovascolari e tumore al polmone, sia i mesi di vita persi a causa dell'esposizione all'inquinamento atmosferico. Le stime sono state effettuate sia sull'Italia nel suo complesso sia sulle singole regioni, per PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>.

Per quantificare i benefici per la salute della popolazione italiana ottenuti con politiche di riduzione delle emissioni inquinanti, VIIAS ha effettuato prima una valutazione di base sugli anni 2005 e 2010 e, successivamente, su diverse ipotesi di scenari emissivi al 2020: lo scenario *Current Legislation* – CLE, con l'applicazio-





			2005	2010	2020 CLE	2020 CLE + Target1	2020 CLE + Target2
PM <sub>2,5</sub>	Mortalità generale	Esposizione della popolazione (µg/m <sup>3</sup> )	20,1	15,8	18,1	16,2	14,5
		Morti attribuibili (intervallo di confidenza 95%)	34552 (20608-43215)	21524	28595	23170	18511
		Mesi di vita persi	9,7	5,5	7,7	5,9	4,2
NO <sub>2</sub>	Mortalità generale	Esposizione della popolazione (µg/m <sup>3</sup> )	24,7	17,9	16,6	16,1	13,3
		Morti attribuibili (intervallo di confidenza 95%)	23387 (21514-50283)	11993	10117	9021	5247
O <sub>3</sub>	Mortalità da malattie respiratorie	Esposizione della popolazione (µg/m <sup>3</sup> )	105,1	108,2	97	-	-
		Morti attribuibili (intervallo di confidenza 95%)	1707 (622-2861)	1858	1320	-	-

Tab. 2 Esposizione media della popolazione, morti attribuibili per il PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, e mesi di vita persi per il PM<sub>2,5</sub>, in Italia nell'anno 2005. Risultati del progetto VIIAS

ne delle attuali normative europee sulle emissioni, e due scenari teorici (rispetto dei limiti di concentrazione imposti dalla direttiva EU, una riduzione del 20% della concentrazione prevista nel CLE).

L'esposizione della popolazione è stata associata agli esiti sanitari utilizzando funzioni concentrazione-risposta, specifiche dei singoli inquinanti, tratte dallo studio HRAPIE, che sintetizza le evidenze scientifiche disponibili. Una sintesi dei risultati a livello nazionale è presentata nella Tabella 2.

Un altro importante studio su scala nazionale che ha utilizzato dati MINNI è MED HISS (*Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance*) ([www.medhiss.eu](http://www.medhiss.eu)), progetto finanziato nei bandi EU LIFE + Pilot (2013-2016) e che si è concluso di recente. MED HISS, che ha coinvolto quattro Pae-

si europei (Italia, Francia, Slovenia e Spagna), ha avuto come obiettivo centrale quello di istituire un sistema di sorveglianza di effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico, basato su fonti di dati *low cost* su qualità dell'aria e salute, come i modelli di chimica e trasporto degli inquinanti in atmosfera da un lato e i registri delle ammissioni ospedaliere e i sondaggi nazionali sulla salute (*National Health Interview Surveys, NHIS*) dall'altro.

Sull'Italia, gli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico su mortalità e ricoveri ospedalieri (questi ultimi raramente valutati in studi epidemiologici) sono stati calcolati con il NHIS degli anni 1999-2000, con diversi periodi di follow-up. I risultati, in termini di fattori di rischio di mortalità e indici di pericolosità di malattie, sono in linea con altri studi di coorte, e aggiungono nuovi elementi di prova per le cause con

pochi studi disponibili (per esempio infarto del miocardio, malattie cerebrovascolari, arteriosclerosi, angina).

Infine ENEA ha sviluppato un recente studio [6] sulla mortalità per tumore polmonare nelle donne ed esposizione a PM condotto su 64 capoluoghi di provincia nel periodo 2000-2011. Per la valutazione dell'esposizione sono state prese in considerazione le concentrazioni medie annue di PM<sub>10</sub> rilevate dalle stazioni delle reti regionali per il monitoraggio della qualità dell'aria. Gli indici epidemiologici sono stati elaborati mediante la banca dati epidemiologica dell'ENEA, che contiene le schede individuali di decesso classificate per causa specifica, relative a tutto il territorio nazionale disaggregato a scala comunale. Lo studio ha evidenziato un aumento del tasso di mortalità di 0,325 per ogni incremento di 1 µg/m<sup>3</sup> della con-

centrazione di  $PM_{10}$ . Sulla base di questo studio, una frazione tra 13 e 16% di tumori polmonari osservati nella popolazione presa in esame è da ascrivere all'esposizione a  $PM_{10}$  superiore al livello di soglia WHO ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Conclusioni

La *smart city* è un modello di sviluppo urbano con molte caratteristiche, tra cui la qualità ambientale e la salute

dei cittadini. In Italia, le città sono spesso il luogo delle emergenze di qualità dell'aria, che possono essere affrontate con una condivisione rapida e intelligente dell'informazione sull'inquinamento atmosferico e sul rischio sanitario che ne deriva. Le basi informative più utili sono le concentrazioni in atmosfera (ottenute con reti di misura, sensori innovativi a basso costo, dati modellistici) su cui basare valutazione epidemiologica e di *risk assessment*. La qua-

lità, accuratezza e rappresentatività spaziale dei dati di concentrazione determinano, insieme ai pattern spazio-temporali di popolazione, la qualità e affidabilità della valutazione sanitaria. I risultati di studi e progetti effettuati con la collaborazione di ENEA mostrano numeri rilevanti di esiti sanitari (mortalità e malattie) per diversi inquinanti e diverse cause, incoraggiando lo sviluppo di sistemi di valutazione di qualità dell'aria e salute dedicati alle *smart city*.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gruppo collaborativo EPIAIR2, 2013. Inquinamento Atmosferico e Salute Umana. *Epidemiologia e Prevenzione* Anno 37 (4-5) 2013  
[http://www.epiprev.it/materiali/2013/EP4-5/EP\\_4-5\\_S2\\_EpiAir.pdf](http://www.epiprev.it/materiali/2013/EP4-5/EP_4-5_S2_EpiAir.pdf)
- [2] ISPRA, 2016. *Qualità dell'ambiente urbano - XII Rapporto*. Edizione 2016
- [3] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R et al., 2013. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 2013; 14:813-22
- [4] WHO, 2013. Review of evidence on health aspects on air pollution – REVIHAAP project: technical report. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf)
- [5] Ministero della Salute, 2015. Metodi per la Valutazione Integrata dell'Impatto Ambientale e Sanitario dell'inquinamento atmosferico (VIAS).  
<http://www.viias.it>
- [6] Uccelli R., Mastrantonio M., Altavista P. et al. (2016). Female lung cancer mortality and long-term exposure to particulate matter in Italy. *Eur J Public Health*. 2016 Nov 11