

## I a) Scenario di Base

Prendiamo il 2017 come riferimento perché è necessaria una base di dati omogenea e univoca, sia per l'inquinamento atmosferico, sia per le emissioni climalteranti. L'Inventario delle Emissioni in Atmosfera più recente di ARPA Lombardia ([www.inemar.eu](http://www.inemar.eu)), che censisce le fonti di emissioni su territorio comunale, è riferito a quell'anno.

### I a.1) Profilo climatico locale e rischio climatico

Per i nostri obiettivi è essenziale avere una conoscenza profonda di come il clima stia cambiando, degli effetti e impatti di questo fenomeno, nonché delle sue cause.

Il cambiamento climatico comporta per il sistema urbano (che ha sviluppato un suo equilibrio su temperature più basse) una serie di shock e stress in termini di adattamento. Per

questo, la maggior parte delle azioni di adattamento è volta al contrasto del caldo estremo (e mira a mitigare l'effetto "isola di calore" attraverso misure di raffrescamento della città) o alla riduzione dell'esposizione socioeconomica attraverso misure che aumentano la resilienza del sistema urbano.

Per quanto concerne la qualità dell'aria è possibile che, in futuro, la configurazione molto sfavorevole alla dispersione degli inquinanti tipica oggi della Pianura Padana si intensifichi anche durante la stagione invernale, a causa dell'innalzamento di latitudine degli anticiclioni subtropicali associato ai cambiamenti climatici.

Per quanto riguarda la mitigazione, gli scenari energetici e di emissioni presentati nei prossimi paragrafi considerano il quadro climatico attuale e quello previsionale. Il Piano sarà poi attuato con modalità che ottimizzano le sinergie potenziali tra mitigazione e adattamento.

Nel 2018 il Comune ha stipulato un accordo di collaborazione con l'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE) e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente lombarda (ARPA Lombardia), finalizzato all'elaborazione del Profilo Climatico Locale di Milano. Il documento si compone di due parti: la prima studia la variabilità climatica della città dal 1961 al 2017, la seconda formula proiezioni per il periodo 2020-2050.

L'analisi della variabilità climatica tra il 1961 e il 2017 mette in luce un aumento significativo delle temperature minime, medie e massime stagionali (0,2-0,5°C ogni dieci anni) nonché un aumento della media annuale di circa 2°C. Questa tendenza è correlata a temperature invernali meno rigide, con diminuzione del numero annuale di giorni con gelo, e all'innalzamento dei valori massimi estivi. L'aumento risulta anche dall'analisi del numero e durata media delle ondate di calore e



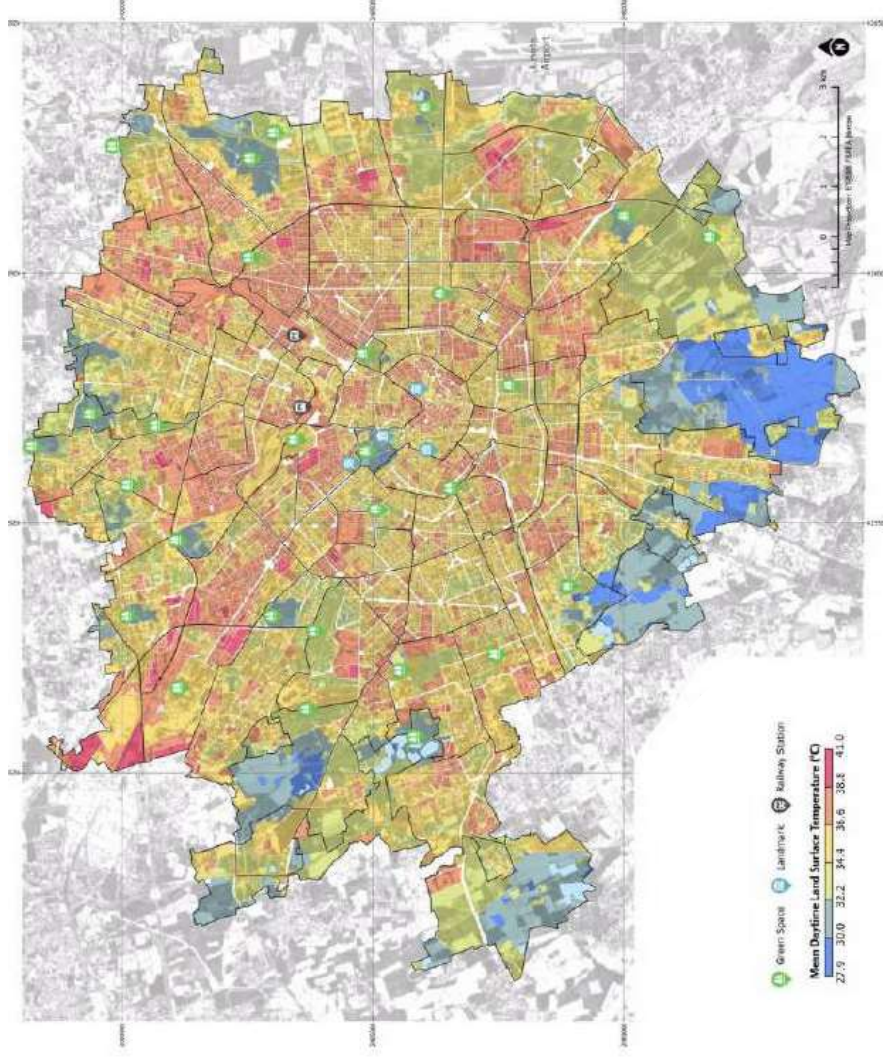
delle notti tropicali, quasi raddoppiate nell'ultimo trentennio (1991-2017) rispetto al primo periodo di analisi (1961-1990). Per le precipitazioni, si notano variazioni statisticamente non rilevanti, che potrebbero suggerire un calo del valore cumulato annuale e un aumento del numero di eventi estremi. Un altro trend suggerisce poi un aumento di giorni consecutivi privi di precipitazioni in estate.

Tra i cambiamenti principali previsti tra il 2020 e il 2050 vi è un innalzamento delle temperature minime e massime stagionali, compreso tra 1 e 2,3°C. Le anomalie più significative potranno verificarsi in estate, sia per le temperature minime che per quelle massime. È probabile un aumento del numero e durata delle ondate di calore e delle notti tropicali e una diminuzione del numero di giorni con gelo in inverno. Per quanto le precipitazioni si prevede un peggioramento dei fenomeni siccitosi, quindi un calo del valore cumulato estivo e un aumento dei giorni consecutivi privi di precipitazioni in tutte le stagioni escluso l'autunno, con un conseguente peggioramento del comfort termo-igrometrico. In particolare, le proiezioni climatiche per il 2021-2050 mostrano una diminuzione delle precipitazioni stagionali su tutto l'anno, più significativa d'estate (circa -23%) e più limitata d'inverno (circa -7%).

Il Profilo Climatico Locale di Milano mostra come il clima stia diventando più caldo e secco. Questo comporta un calo dei consumi invernali per il riscaldamento e l'aumento consistente dei consumi di energia elettrica per il raffrescamento, sia per l'aumento della domanda, sia per la maggiore energia richiesta dalle macchine termiche per il raffrescamento dell'aria.

Il rischio climatico per Milano si traduce nella necessità di gestire gli effetti del caldo estremo e sviluppare una gestione resiliente del deflusso delle acque piovane, in particolare in riferimento ai fenomeni di pioggia estremi.

Fig. 1: Temperature medie superficiali durante il giorno (Bloomberg Associates e Osservatorio Nazionale di Atene, NOA)



### I a.1.1.1) Aumento delle temperature e caldo estremo

La mappa del rischio da ondate di calore della città di Milano è l'esito della sovrapposizione della pericolosità climatica (rappresentata dalla distribuzione delle temperature in città) ad altri due fattori: la vulnerabilità e l'esposizione.

Le mappe della distribuzione delle temperature in città identificano la pericolosità climatica come possibile manifestarsi del fenomeno "isola di calore", cui fa seguito un danno che può essere fisico, economico o negativo più in generale.

La figura 1 riporta le temperature medie superficiali diurne di quattro estati consecutive (2014-2017; giugno, luglio e agosto) e mette in relazione le differenze di temperatura con i diversi tipi di tessuto urbano.

Le temperature superficiali si abbassano notevolmente nei pressi delle grandi aree verdi e dei campi agricoli, mentre raggiungono i loro massimi nelle aree particolarmente dense e con un basso indice di permeabilità. L'alto livello di impermeabilizzazione della città intensifica l'effetto "isola di calore", un fattore di stress per la popolazione e un pericolo per la salute pubblica.



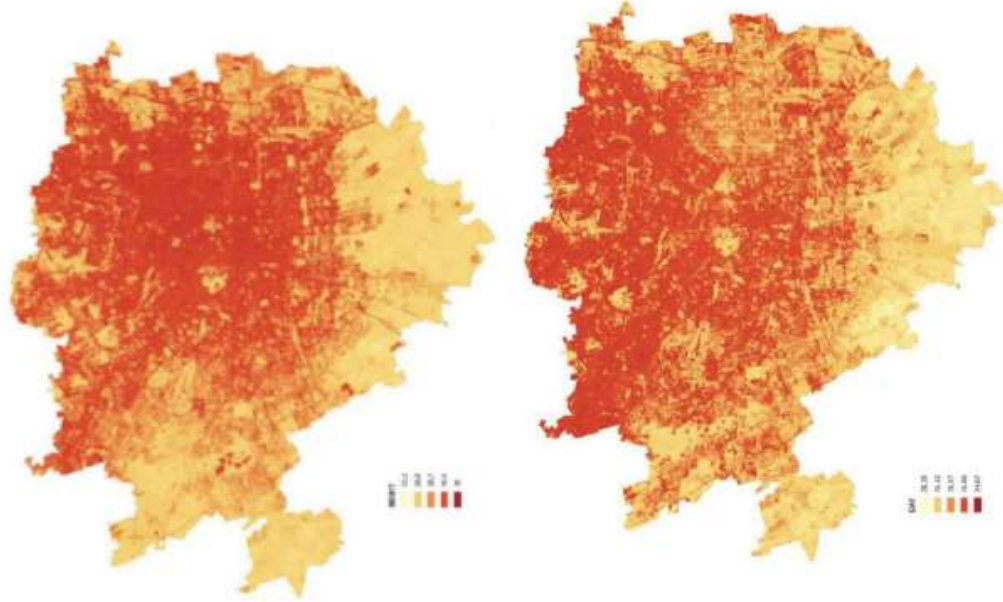


Fig. 2: Near Surface Air Temperature (NSAT) di notte (alle 21.30) e di giorno (alle 10.30) del 4 agosto 2017

La figura 2 illustra le temperature dell'aria in prossimità del suolo alle 10.30 e alle 21.30 del 4 agosto 2017.

Per la valutazione della vulnerabilità rispetto all'impatto di ondate di calore, definita come predisposizione a essere affetti negativamente dal fenomeno, la metodologia (progetto CARIPLO CCT 2017) considera diversi elementi: superficie permeabile (comprendente verde a terra e alberature), edifici, superficie impermeabile, temperatura superficiale e sky-view factor.

La valutazione della vulnerabilità è poi integrata con la valutazione dell'esposizione, cioè la presenza di elementi che possono essere danneggiati dal caldo estremo. L'esposizione è rappresentata attraverso le categorie colpite da questo pericolo: popolazione  $\geq 65$  anni, popolazione  $< 10$  anni, popolazione disoccupata, popolazione sola (nuclei familiari monocomponente), popolazione affollata (più di 4 abitanti per abitazione). Si considerano poi i  $m^2$  di verde/abitante, e gli edifici degradati come elementi più esposti alle ondate di calore.

Sulla base della vulnerabilità fisica, della Near-Surface Air Temperature (NSAT) e dell'esposizione di popolazione e territorio ai cambiamenti climatici è stata costruita la mappa del rischio climatico, che individua dei cluster in cui è prioritario attuare interventi di raffrescamento urbano.

La mappa (fig. 3) evidenzia la variabilità del rischio nelle diverse zone della città: più basso sia nel centro città (alto livello di impermeabilizzazione, ma densità abitativa ed esposizione socioeconomica ridotte), sia nelle aree più esterne (alta esposizione socioeconomica, mentre sono ridotte la densità abitativa e l'impermeabilizzazione). Il rischio è invece alto nelle aree dove la permeabilità e la presenza di vegetazione sono minori e, al contempo, sono alte la densità abitativa e l'esposizione socioeconomica.

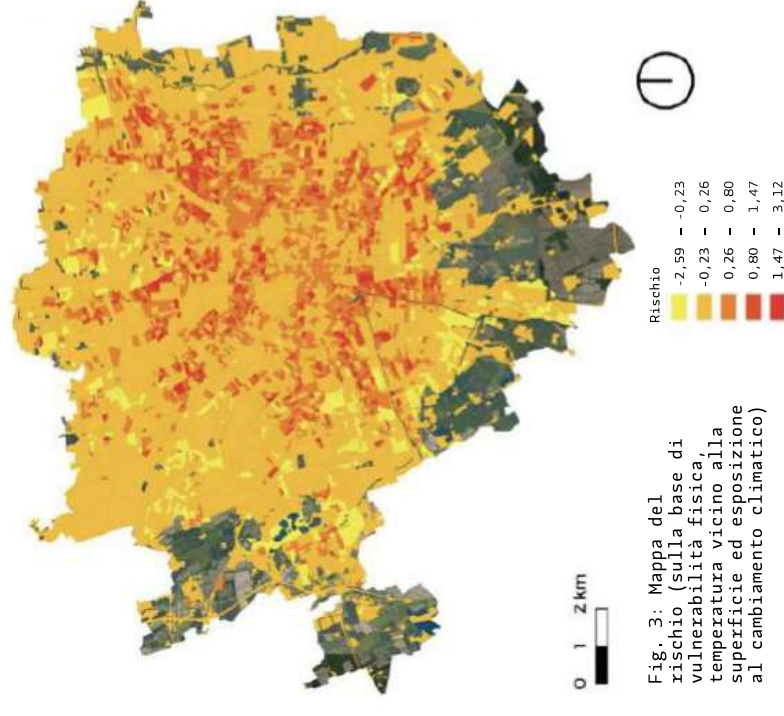


Fig. 3: Mappa del rischio (sulla base di vulnerabilità fisica, temperatura vicino alla superficie ed esposizione al cambiamento climatico)

## I a.1.2) Il rischio idraulico

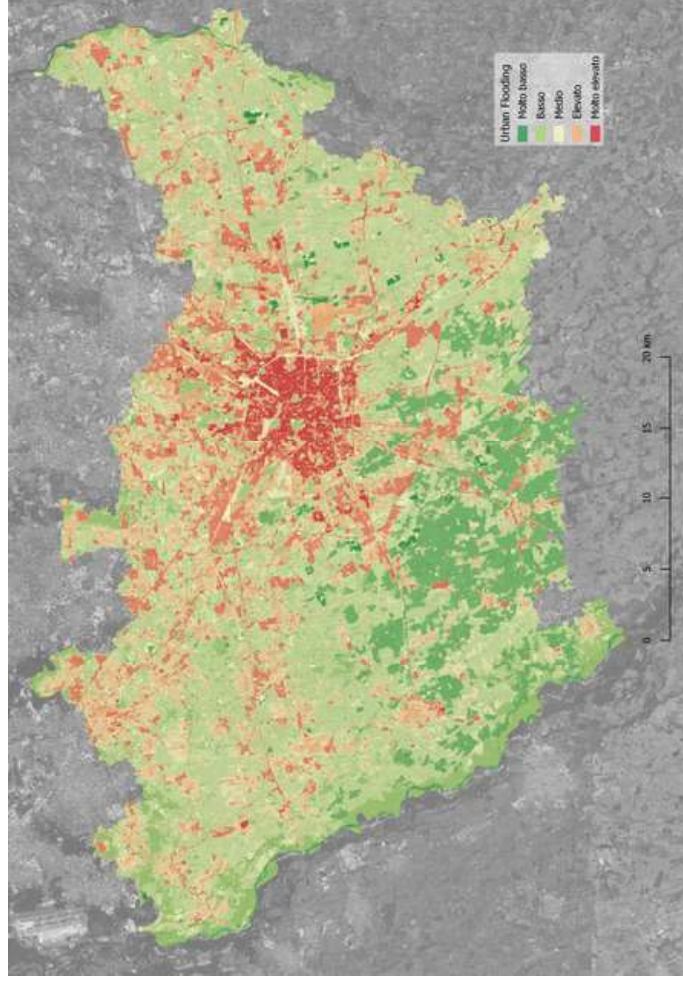
La corretta gestione del deflusso delle acque in ambito urbano è un fattore cruciale della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. In uno scenario in cui la portata e l'andamento delle precipitazioni hanno subito notevoli variazioni, le città devono poter governare sia le condizioni di scarsità sia quelle di eccedenza (con i conseguenti dissesti idrogeologici), anche ricostituendo il naturale ciclo delle acque in ambito urbano, dove il processo è particolarmente denaturalizzato a causa dell'elevata impermeabilizzazione derivante dall'urbanizzazione.

Milano ha un indice consumo di suolo del 70% (fonte: PGT, Piano di Governo del Territorio) e una bassa permeabilità. Questo comporta un aumento del deflusso superficiale delle acque ("surface runoff") e, di conseguenza, della quantità d'acqua che raggiunge la rete di drenaggio. Sebbene questa rete a Milano sia molto interconnessa, e consenta in condizioni normali di smaltire velocemente grandi quantità d'acqua, le precipitazioni intense (sempre più frequenti) ne provocano la saturazione. Ciò rallenta lo smaltimento delle acque, causando rigurgiti fognari e allagamenti. Tutto questo fa salire i costi di manutenzione dell'infrastruttura di smaltimento e depurazione delle acque, producendo inoltre effetti a catena anche su altre infrastrutture, sull'ambiente naturale e costruito e sulle persone, influenzando negativamente ritmi e attività della città.

Il profilo climatico locale rivela che negli ultimi anni è aumentato il numero delle giornate annue con pioggia estrema. L'impatto più rilevante, però, è quello connesso alla distribuzione degli eventi estremi, che non mostra differenze stagionali significative: il 31% dei giorni con pioggia intensa si manifestano in primavera, il 28% in autunno, il 22% in inverno, il 24% in estate. Infine, la pioggia non cade uniformemente su tutto il territorio, ma in modo eterogeneo nelle diverse aree. Precipitazioni molto intense concentrate in un brevissimo intervallo di tempo costituiscono un grosso rischio per la città.

L'urbanizzazione e l'impermeabilizzazione del suolo possono alterare significativamente le prestazioni idrauliche di una data geomorfologia, limitando il naturale assorbimento delle acque meteoriche da parte della vegetazione e del suolo. Questo favorisce l'incremento dei volumi idrici derivanti dal fenomeno del runoff urbano (scorrimento delle acque piovane sulla superficie dovuto ai fattori succitati). Il rischio di alluvione aumenta di conseguenza.

Fig. 4: Propensione all'impatto da allagamento urbano espressa in classi qualitative, per la Città Metropolitana di Milano (elaborazione di Denis Pozzer, Università Iuav di Venezia)



Il rischio alluvionale e le esondazioni fluviali sono spesso considerati separatamente rispetto all'allagamento causato da pioggia intensa ed eventi meteorici estremi. È necessario invece valutare queste dinamiche in ottica sistemica all'interno degli strumenti di piano e di gestione del rischio. Una visione intersetoriale deve tutelare le prestazioni idrauliche dei suoli ponderando e stimando i tassi di infiltrazione a scala di bacino idrogeologico.

Un'analisi del rischio idraulico fluviale per Milano è presente nel Piano di Governo del Territorio. Individua una serie di aree a cui sono associati diversi livelli di rischio e, in loro corrispondenza, formula prescrizioni urbanistiche. Ciò costituisce un livello analitico di particolare importanza: riconosce in quali aree il rischio di esondazione fluviale è più alto e dove, di conseguenza, il sistema urbano è più esposto al deflusso superficiale. Le aree a maggior rischio sono quelle del Seveso (area nord di Milano, quartiere di Niguarda) e del Lambro (area est).

L'analisi del comportamento delle acque rispetto alle caratteristiche orografiche e litologiche di Milano riprende una metodologia del Planning Climate Change Lab dell'Università Iuav di Venezia per la stima della correlazione esistente tra runoff (deflusso), impermeabilizzazione e geomorfologia (usi, suoli, altimetrie). Questo approccio consente di generare nuovi scenari conoscitivi di modellizzazione, valutazione e mappatura del rischio, evidenziando le variazioni d'uso più influenti sulle prestazioni idrauliche dei suoli. Lo studio è verificato mediante un modello statistico che associa gli usi del suolo alle caratteristiche fisiche e morfologiche del territorio. L'indagine analizza le caratteristiche geomorfologiche dei suoli che più condizionano la capacità d'assorbimento delle acque di precipitazione, identificando la criticità idraulica delle diverse aree.

Lo studio ha interessato l'intera Città Metropolitana (fig. 4). Fornisce una base utile per un monitoraggio costante dello stato di salute del sistema idraulico metropolitano, nel quadro



dell'obiettivo di ridurre la sensibilità del territorio e migliorarne la capacità di adattamento. La mappa mostra chiaramente come le aree urbanizzate di Milano siano tra quelle che più richiedono interventi di deimpermeabilizzazione.

## I a.2) Qualità dell'aria a Milano

La qualità dell'aria è una delle criticità ambientali più pressanti per Milano. I recenti provvedimenti dell'Amministrazione per incoraggiare l'uso di combustibili più puliti e il rinnovo del parco veicolare hanno portato a una significativa diminuzione di molti inquinanti tradizionali, come il monossido di carbonio (CO), il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), le polveri totali sospese (TSP) e il benzene. Le concentrazioni di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), particolato atmosferico (PM10 e PM<sub>2,5</sub>) e ozono (O<sub>3</sub>), al contrario, sono ancora elevate e superano i valori stabiliti dalla normativa europea e dalle Linee-guida OMS. Questa situazione caratterizza molte città del Bacino Padano che si trovano in condizioni meteo-climatiche particolarmente sfavorevoli, rendendolo uno dei luoghi più inquinati a livello europeo e mondiale.

### I a.2.1) Gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico a Milano

L'inquinamento atmosferico è il primo fattore ambientale di rischio per la salute dei milanesi. A Milano, come nel resto della Pianura Padana, si stima che ciascun abitante perda tra i 2 e i 3 anni di vita per l'esposizione a concentrazioni degli inquinanti atmosferici superiori ai valori-limite OMS.

I soggetti più colpiti dalle conseguenze sanitarie di una cattiva qualità dell'aria sono le persone fisiologicamente più sensibili: i bambini, gli anziani, chi è affetto da malattie croniche,

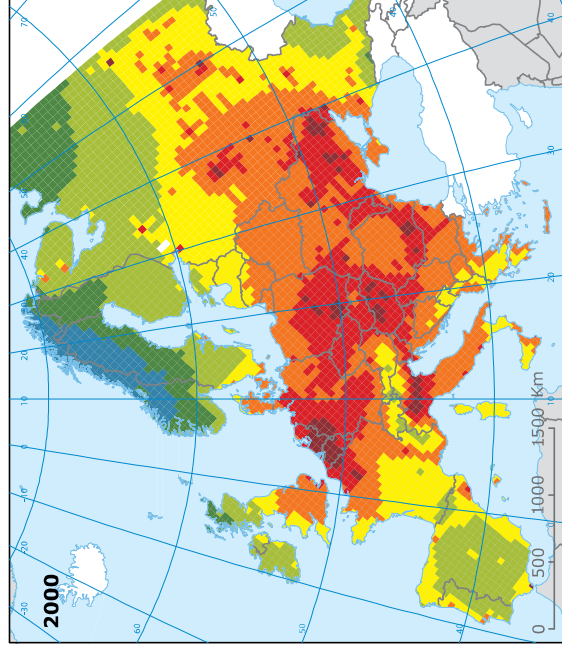
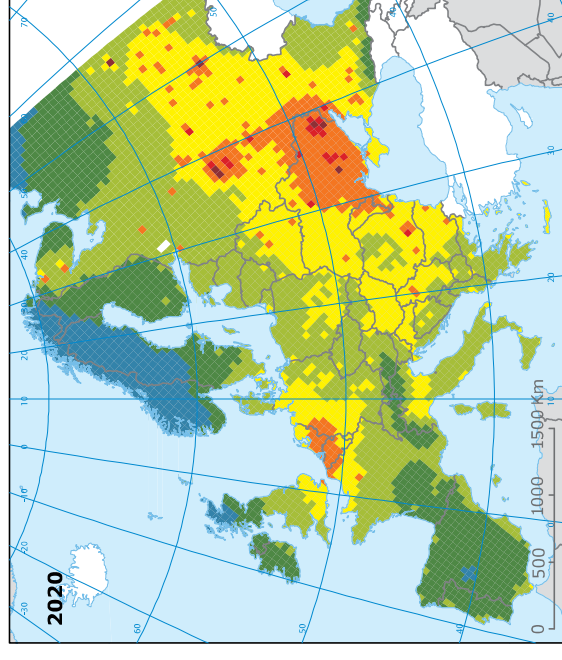


Fig. 5: Mappa della perdita di aspettativa di vita (in mesi) attribuibile al contributo antropogenico alle concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> in atmosfera, in corrispondenza dei livelli per l'anno 2000 (riquadro sinistro) e della stima per il 2020 (riquadro destro) (fonte: EEA, 2016)

le donne in gravidanza, i nascituri. Ma la qualità della vita di tutta la popolazione è compromessa.

Anche i procedimenti aperti contro l'Italia dalla Commissione UE (nel 2018 e 2019) per il superamento dei valori-limite di PM10 e biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) dimostrano la necessità di migliorare la qualità dell'aria a Milano.

Numerosi studi clinici, tossicologici ed epidemiologici documentano gli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico. Il 17 ottobre 2013 l'International Agency for Research on Cancer (IARC, agenzia specializzata dell'Organizzazione Mondiale della Sanità) ha classificato l'inquinamento atmosferico fra gli agenti definiti "sicuramente cancerogeni per gli esseri umani" (Gruppo 1): l'esposizione alle sostanze inquinanti presenti in atmosfera provoca il cancro ai polmoni e aumenta il rischio di sviluppare altri tipi di tumore, per esempio quello alla vescica. Ciò vale in particolare per il particolato atmosferico, una delle componenti



Mesi

- 0-1
- 1-2
- 2-4
- 4-6
- 6-9
- 9-12
- 12-36
- Arree non oggetto dello studio

principali dell'inquinamento dell'aria, generalmente noto con gli acronimi PM, PM10 o PM<sub>2,5</sub>.

Studi più recenti hanno dimostrato che la frazione più fine del particolato (le particelle ultrafini, UFP, e le nanoparticelle, NP, a oggi non ancora regolamentate) è in grado di penetrare più profondamente nell'organismo, trasportando composti tossici a tutti gli organi vitali (sistema nervoso, cervello ecc.). La nanoparticella nota come "black carbon" (BC; generalmente equiparabile all'"elemental carbon" o EC) è una delle frazioni più tossiche del particolato, in quanto "adsorbe" (fenomeno di accumulo di sostanze con interazione chimico-fisica) anche idrocarburi policiclici aromatici (gli IPA).

Per l'Organizzazione Mondiale della Sanità, i valori-limite della normativa europea (Direttiva 2008/50/CE) sono insufficienti a escludere gli effetti sanitari dell'esposizione a breve e a lungo termine all'inquinamento atmosferico. In particolare, il limite