

LE RELAZIONI TRA CLIMA E INQUINAMENTO ATMOSFERICO

SIA LA PRESENZA DI INQUINANTI NELL'ARIA SIA IL CAMBIAMENTO CLIMATICO HANNO UN PESANTE IMPATTO SULLA SALUTE E SUL BENESSERE UMANO. UN RECENTE STUDIO NE HA ANALIZZATO LE INTERAZIONI, COSTRUENDO UN MODELLO CHE PUÒ SUPPORTARE LA PROGETTAZIONE DI POLITICHE INTEGRATE CHE MASSIMIZZINO L'EFFICACIA DELLE MISURE.

I cambiamenti climatici e l'inquinamento atmosferico sono tra i più importanti problemi ambientali. L'inquinamento atmosferico è considerato dall'Oms il rischio ambientale più importante, essendo stato responsabile, nel 2019, di un decesso su nove nel mondo (Gbd 2019). L'inquinamento atmosferico aumenta il numero di morti premature dovute a ictus, cardiopatie ischemiche, cancro ai polmoni, infezioni delle basse vie respiratorie, diabete e broncopneumopatia cronica ostruttiva (McDuffie et al., 2021), solo per citare le malattie e le patologie per le quali la letteratura mostra evidenze solide. Tuttavia, l'inquinamento atmosferico è associato anche a una diminuzione delle capacità cognitive, a manifestazioni di aggressività, a perdita di produttività, a nascite premature e basso peso alla nascita. L'inquinamento atmosferico esterno da solo è responsabile di 4,5 milioni di decessi (95% CI 3,625-5,364) in tutto il mondo, causati da particolato fine (PM_{2,5}) e ozono (O₃). Di questi decessi, il 5,7% è riconducibile all'ozono e il rimanente al PM_{2,5}. Quest'ultimo è di gran lunga il più letale tra tutti gli inquinanti atmosferici. Nel 2013, la ricaduta negativa sul benessere globale dovuta all'inquinamento atmosferico è stata stimata in quasi il 7% del prodotto interno lordo globale.

Anche il cambiamento climatico è responsabile di un'ampia gamma di problemi. Tra questi, il caldo estremo, le forti precipitazioni, la siccità, l'innalzamento del livello del mare e l'acidificazione degli oceani (Ippc, 2021). In ultima analisi, ciò porta a mortalità prematura, perdita di biodiversità e perdite economiche, disuguaglianze, migrazioni e conflitti. Il 2020 ha registrato 3,1 miliardi di giorni-persona in più di esposizione alle ondate di calore nella popolazione di età superiore ai 65 anni e 626 milioni di giorni-persona in più per i bambini

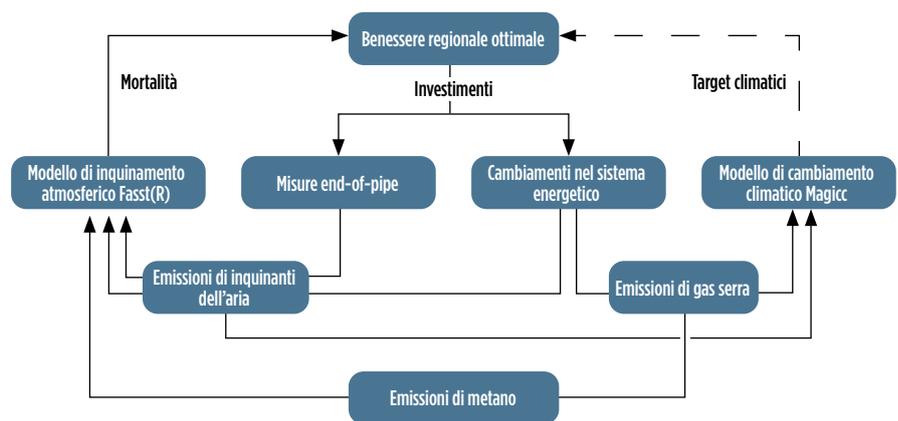


FIG. 1 MODELLO WITCH

Il modello di valutazione integrata Witch (*World induced technical change hybrid*), collegato al modello climatico Magicc e al modello sull'inquinamento atmosferico Fασst(R). Il modello Witch ottimizza l'allocatione degli investimenti in misure strutturali e end-of-pipe. Le linee tratteggiate rappresentano i target climatici, che possono essere o meno inclusi come vincoli.

Fonte: Elaborazione da Aleluia Reis L. et al, 2022, traduzione a cura della redazione di Ecoscienza

di età inferiore a 1 anno (Romanello et al., 2021). Nel 2019, la mortalità dovuta alle ondate di calore ha rappresentato l'equivalente dello 0,28% del prodotto interno lordo mondiale, con l'Europa come regione più colpita al mondo. Se questi sono i dati degli anni passati, riusciamo a immaginare i numeri del 2022?

Origine comune, diverse scale spaziali

L'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico sono intrinsecamente connessi. Entrambi incidono sulla salute e sul benessere umano e hanno un'origine comune: la combustione di combustibili fossili. Il cambiamento climatico è la conseguenza dell'accumulo di emissioni di gas serra (Arias et al. 2021) derivanti anche dal cambiamento di destinazione d'uso dei terreni, dall'utilizzo di fertilizzanti e dal degrado delle foreste (Ippc, 2014). L'inquinamento atmosferico, invece, deriva anche da altre attività, come l'uso di solventi, l'estrazione mineraria, l'agricoltura, l'edilizia, i pneumatici e

i manufatti stradali, oltre che da fonti naturali come la polvere del deserto, gli incendi, il sale marino e l'attività biogenica degli alberi (McDuffie et al., 2021; Li et al., 2020; Harrison et al., 2021). Alcuni inquinanti atmosferici possono non essere emessi, ma si formano nell'atmosfera attraverso la reazione chimica di altri inquinanti: si tratta del cosiddetto inquinamento secondario. Ne sono un esempio l'ozono e il particolato secondario. I due problemi ambientali, tuttavia, differiscono per molti aspetti. Il cambiamento climatico è per lo più un problema su scala globale. Ciò è dovuto alla natura della CO₂, che può restare nell'atmosfera per centinaia di anni, mescolandosi in essa molto bene. Ciò significa che la riduzione delle emissioni di CO₂ in Italia, o in un'altra parte del mondo, contribuisce in modo simile a mitigare il cambiamento climatico. Lo stesso non accade con gli inquinanti atmosferici. Anche se possono essere soggetti a trasporto a lungo raggio, in genere hanno una durata di vita nell'atmosfera di alcuni giorni al massimo. Pertanto, l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico hanno scale spaziali diverse: globale per

il cambiamento climatico, locale per l'inquinamento atmosferico. A causa di queste differenze di scala, anche le politiche per affrontarli possono essere diverse. L'obiettivo finale deve essere quello di garantire che entrambi i problemi vengano affrontati nel modo più efficiente.

Interazioni reciproche di segno diverso

Inquinamento atmosferico e cambiamento climatico possono anche entrare in conflitto. Un esempio è il caso della biomassa come fonte di energia, che contribuisce a ridurre le emissioni di carbonio ma può generare anche inquinanti atmosferici (Williams M., 2012). Un altro esempio è la riduzione degli aerosol riflettenti. Alcuni inquinanti atmosferici sono aerosol, come ad esempio il carbonio organico: una volta rilasciati nell'atmosfera, riflettono la radiazione solare in entrata, contribuendo così a raffreddare la Terra. Questo effetto è chiamato "di mascheramento" ed è noto per essere globalmente di bassa portata (Ipcc, 2021). Quando si applicano politiche sull'inquinamento atmosferico, per ridurre l'esposizione delle popolazioni a sostanze nocive, si può quindi provocare un riscaldamento, riducendo gli aerosol riflettenti che "mascherano" l'effetto di riscaldamento. Quando si considera il raggiungimento degli obiettivi di temperatura fissati, volti a prevenire danni climatici maggiori, questo aspetto "indesiderato" (*trade-off*) non dovrebbe essere trascurato. La sfida consiste quindi nel prendere in considerazione entrambe le problematiche ambientali e a controbilanciare tutti gli effetti incrociati dei due obiettivi. Una volta fatto questo, includendo gli impatti delle externalità negative nelle decisioni, i *policymaker* potranno avere tutte le informazioni necessarie e agire conseguentemente.

Misure strutturali e tecnologie specifiche

Nel complesso, nonostante i diversi ambiti territoriali e le interazioni negative reciproche, le due problematiche ambientali sono collegate perché condividono alcune fonti di emissione, in particolare la combustione di combustibili fossili. Adottare alcune misure energetiche strutturali, come il miglioramento dell'efficienza e il passaggio a fonti rinnovabili, può quindi contribuire alla

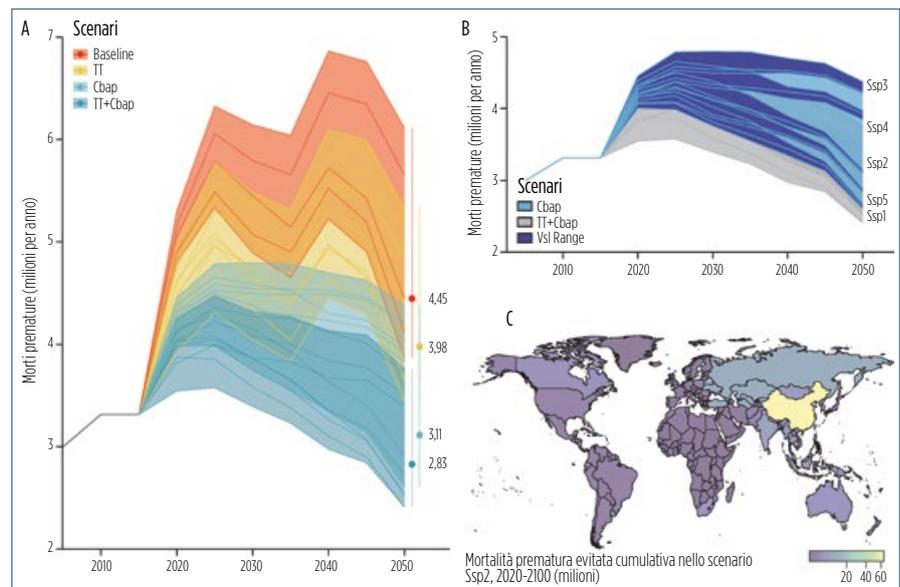


FIG. 2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO E MORTALITÀ PREMATURA

(A) Mortalità annuale prematura fino al 2050 in milioni per i 4 tipi di politiche considerati (Baseline, Cbap, Tt e Tt+Cbap) in tutti gli scenari Spp. Il target di temperatura (Tt) dell'Accordo di Parigi include entrambi gli obiettivi al 2100 di 1,5 °C e 2 °C. I punti rappresentano il valore mediano. (B) L'influenza del valore per vita statistica (Vsl) sugli scenari Cbap (tutti gli scenari Spp) è mostrata in blu, quella sugli scenari Tt+Cbap in grigio. (C) Mortalità prematura evitata, valore cumulativo regionale, nello scenario Ssp2, internalizzando costi e benefici dell'inquinamento atmosferico nelle 13 regioni del modello Witch.

Cbap=valutazione costi-benefici dell'inquinamento atmosferico. Ssp=percorso socioeconomico condiviso. Tt=target di temperatura. Vsl=valore per vita statistica.

Fonte: Aleluia Reis L. et al, 2022, traduzione a cura della redazione di Ecoscienza

risoluzione di entrambi. Senza considerare gli aspetti economici e di fattibilità, si dovrebbe puntare esclusivamente su misure strutturali. Tuttavia, queste possono non essere percorribili dal punto di vista economico e politico, causando un sensibile ritardo nella loro adozione. Esistono altre soluzioni, come ad esempio le tecnologie di rimozione dell'anidride carbonica (Cdr) direttamente dall'aria, che però non agiscono simultaneamente su entrambe le problematiche ambientali: viene rimossa la CO₂ dall'atmosfera, mitigando così il cambiamento climatico, ma non si agisce sull'inquinamento atmosferico. Esistono già, d'altra parte, molte soluzioni *end-of-pipe* (come *scrubber* o precipitatori elettrostatici) per mitigare l'inquinamento atmosferico. Queste soluzioni, generalmente efficienti e più economiche delle misure strutturali, sono ampiamente diffuse solo nei Paesi sviluppati e non nel resto del mondo. Si tratta in ogni caso di tecniche che impediscono il rilascio di inquinanti nell'atmosfera ma non mitigano le emissioni di gas serra.

Un modello che tiene conto di tutte le interazioni

Trovare il giusto equilibrio tra le diverse tecnologie, affinché la soluzione a un

problema ambientale non provochi conseguenze indesiderate sull'altro, non è banale. Questo punto di equilibrio può essere stimato attraverso l'ausilio di modelli di valutazione integrata e con analisi di scenario. Questo è l'oggetto di un nostro nuovo studio ed è qui che il nostro recente lavoro di modellazione introduce un'innovazione rispetto alla letteratura scientifica passata. La sfida principale è individuare misure che permettano di raggiungere gli obiettivi climatici e riducano al minimo gli impatti dell'inquinamento atmosferico (ad esempio la mortalità) e che, contemporaneamente, soddisfino la domanda di energia e massimizzino il benessere. Per farlo, c'è necessità di architetture di modellazione complesse. Abbiamo progettato un quadro modellistico con diversi moduli interconnessi, in grado di tenere conto delle interazioni più importanti tra sistema energetico, inquinamento atmosferico e clima. Utilizziamo un modello che rappresenta il globo in 13 regioni, il modello Witch (*World induced technical change hybrid*).

Il risultato è un percorso ottimizzato di tecnologie, investimenti ed emissioni in cui il mondo raggiunga l'obiettivo climatico entro il 2100 (ad esempio 1,5°C) e nel quale ogni regione riduca al minimo gli impatti dell'inquinamento atmosferico. Abbiamo calcolato che

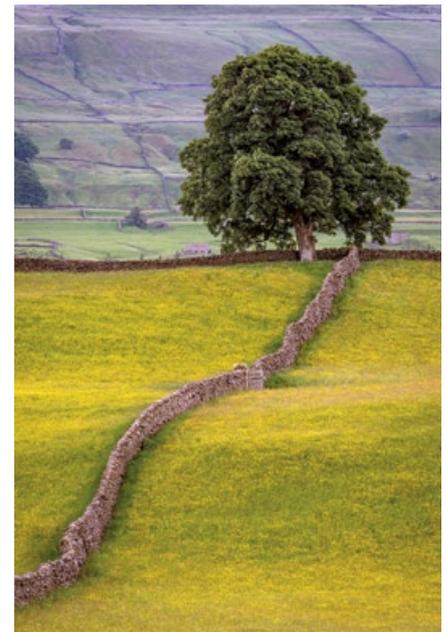
questo tipo di azioni può evitare circa 1,62 milioni di morti premature, a livello globale al 2050, un numero tre volte superiore a quello dei soli co-benefici climatici. Ciò significa che in un quadro di massimizzazione del benessere, le informazioni sulle esternalità sono importanti e spingono i responsabili politici ad agire per ridurre gli impatti, in questo caso evitando la mortalità prematura. Le principali riduzioni della mortalità si registrerebbero in Cina, India, Sud-est asiatico e nei Paesi dell'ex Unione Sovietica.

Un aspetto importante da sottolineare, per il ruolo che ha nella distribuzione spaziale dei benefici, è la modalità con cui si attribuisce valore economico all'impatto dell'inquinamento atmosferico. Abbiamo utilizzato quello "per vita statistica", proprio per tenere conto di come le popolazioni valutano i miglioramenti della salute, in relazione a quelli dell'inquinamento atmosferico. Tale modalità è controversa e non esiste un consenso universale sul suo numero reale. Spesso si utilizza un valore europeo o nordamericano che viene trasposto al resto del mondo utilizzando il reddito pro capite. Ciò significa che quando i responsabili delle politiche stanno minimizzando l'impatto delle loro scelte, il valore della

mortalità evitata dipenderà non solo da quello delle morti premature evitate, ma anche dal modo in cui i miglioramenti della salute dovuti all'inquinamento atmosferico sono valutati in una determinata regione.

Sebbene il valore per vita statistica sia più alto nei Paesi ad alto reddito, l'inquinamento atmosferico ha un impatto sull'internalizzazione e non aumenta la disuguaglianza di reddito globale.

Questo risultato ha un'elevata rilevanza politica, data la regressività degli impatti del cambiamento climatico e la distribuzione non uniforme dei costi della riduzione delle emissioni di CO₂. Ad esempio, i principali esportatori di combustibili fossili come il Medio Oriente e la Russia potrebbero opporsi alla transizione a fonti a basse emissioni di carbonio per timore di perdite commerciali. La nostra analisi dimostra che queste regioni hanno molto da guadagnare da politiche per il clima e da un'aria più pulita. Il benessere globale e regionale è ampiamente migliorato dall'internalizzazione degli interventi sull'inquinamento atmosferico, senza ripercussioni negative sulla disuguaglianza globale. Progettare politiche economicamente integrate che generino contemporaneamente aria più pulita e minor riscaldamento globale



aumenta il benessere globale e facilita la trasformazione del sistema economico verso soluzioni basate sull'energia sostenibile nelle regioni responsabili delle maggiori emissioni.

Lara Aleluia Reis

Rff-Cmcc European Institute on Economics and the Environment

Traduzione di Roberta Renati

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Aleluia Reis L., Drouet L., Tavoni M., 2022, "Internalising health-economic impacts of air pollution into climate policy: a global modelling study", *The Lancet. Planetary Health*, 6(1), e40-e48. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00259-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00259-X).

AA.VV., 2021, "Technical Summary", in *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33-144. doi:10.1017/9781009157896.002.

Gettelman A., Lamboll R., Bardeen C.G., Forster P.M., Watson Parris D., 2021, "Climate impacts of Covid-19 induced emission changes", *Geophysical Research Letters*, 48(3), <https://doi.org/10.1029/2020gl091805>.

Global burden of disease study 2019 (Gbd 2019), data resources, (n.d.), healthdata.org, consultato 4 agosto 2022, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-2019>.

Harrison R.M., Allan J., Carruthers D., Heal M.R., Lewis A.C., Marnier B., Murrells T., Williams A., 2021, "Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review", *Atmospheric Environment*, Oxford, England: 1994, 262(118592), 118592. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118592>.

Ippcc, 2014, "Summary for policymakers", in *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, Usa.

Ippcc, 2021, "Summary for policymakers", in *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32, doi:10.1017/9781009157896.001.

Li L., Yang W., Xie S., Wu Y., 2020, "Estimations and uncertainty of biogenic volatile organic compound emission inventory in China for 2008-2018", *The Science of the Total Environment*, 733(139301), 139301, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139301>.

McDuffie E.E., Martin R.V., Spadaro J.V., Burnett R., Smith S.J., O'Rourke P., Hammer M.S., van Donkelaar A., Bindle L., Shah V., Jaeglé L., Luo G., Yu F., Adeniran J.A., Lin J., Brauer M., 2021, "Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales", in *Nature Communications*, Vol. 12, Issue 1, Springer Science and Business Media LLC, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y>.

Romanello M., McGushin A., Di Napoli C., Drummond P., Hughes N., Jamart L., Kennard H., Lampard P., Solano Rodriguez B., Arnell N., Ayeb-Karlsson S., Belesova K., Cai W., Campbell-Lendrum D., Capstick S., Chambers J., Chu L., Ciampi L., Dalin C., Hamilton I., 2021, "The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future", *Lancet*, 398(10311), 1619-1662, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6).

Williams M., "Tackling climate change: what is the impact on air pollution?", *Carbon Manage*, 2012, 3, 511.