

Il "mortality cost" delle emissioni di CO₂ di uno stabilimento siderurgico nel Sud Italia: una valutazione degli impatti sanitari derivanti dal cambiamento climatico

The mortality cost of carbon dioxide emissions from a steel plant in Southern Italy: a climate change health impact assessment

Orazio Valerio Giannico,¹ Simona Baldacci,² Lucia Bisceglia,³ Sante Minerba,⁴ Michele Conversano,² Antonia Mincuzzi¹

¹ Struttura complessa di statistica ed epidemiologia, Azienda sanitaria locale di Taranto, Taranto, Italy

² Dipartimento di prevenzione, Azienda sanitaria locale di Taranto, Taranto, Italy

³ Area epidemiologia e Care Intelligence, Agenzia regionale strategica per la salute e il sociale della Puglia, Bari, Italy

⁴ Direzione sanitaria, Azienda sanitaria locale di Taranto, Taranto, Italy

Corrispondenza: Orazio Valerio Giannico; oraziovaleriogiannico@gmail.com

Riassunto

Obiettivi: quantificare gli impatti sanitari mondiali, correlati alle variazioni di temperatura, delle emissioni di CO₂e dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Disegno: utilizzando le funzioni di rischio disponibili in letteratura, è stato condotto un *health impact assessment* prospettico globale delle emissioni marginali di CO₂e dichiarate dall'acciaieria per il 2020.

Setting e partecipanti: popolazione mondiale nel periodo 2020-2100.

Principali misure di outcome: decessi nel periodo 2020-2100 attribuibili alla CO₂e marginale emessa dall'acciaieria di Taranto nel 2020.

Risultati: considerando le stime centrali nello scenario emissivo *baseline* (aumento di 4,1 gradi entro il 2100), le emissioni di CO₂e dello stabilimento siderurgico di Taranto del 2020 causeranno 1.876 decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100. La quota maggiore sarà attribuibile ai processi siderurgici, con 1.093 decessi. Le stesse emissioni causeranno $5,56 \times 10^{-4}$ decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di acciaio prodotta nel 2020, ovvero un decesso ogni 1.799 tonnellate di acciaio. Se nel 2020 le emissioni di CO₂e dello stabilimento siderurgico fossero state ridotte del 25%, del 50% o del 75%, le morti evitate nel mondo nel periodo 2020-2100 sarebbero state rispettivamente 469, 938 e 1.407.

Conclusioni: le stime prevedono un probabile importante impatto delle emissioni di gas serra dello stabilimento siderurgico di Taranto in termini di mortalità a livello mondiale entro la fine del secolo. La sola riduzione del 50% delle emissioni di un singolo anno permetterebbe forse di evitare oltre 900 morti in tutto il mondo entro la fine del secolo. Ciò conferma l'importanza di attuare incisive politiche di riduzione delle emissioni di gas serra in tutti i settori.

Parole chiave: cambiamento climatico, riscaldamento globale, CO₂, gas serra, valutazione di impatto sanitario, industria siderurgica

Abstract

Objectives: to quantify the temperature-related global health impacts of the Taranto steel plant CO₂e emissions.

Design: using the risk functions available in the literature,

Cosa si sapeva già

- Sebbene siano stati condotti e pubblicati numerosi studi e valutazioni in relazione agli impatti sanitari derivanti dall'esposizione a diversi inquinanti nella popolazione dell'area a rischio di Taranto, come suggerito dall'Unione europea sarebbe opportuno considerare anche il contributo dell'acciaieria al cambiamento climatico tramite le sue emissioni di CO₂.
- Lo stabilimento siderurgico di Taranto è responsabile di una consistente quota di emissioni di gas serra, ponendosi fra i principali emettitori di CO₂.

Cosa si aggiunge di nuovo

- È stato condotto un *health impact assessment* prospettico globale per il periodo 2020-2100 delle emissioni marginali di CO₂e dichiarate dall'acciaieria di Taranto per il 2020.
- Nello scenario emissivo *baseline*, si stima che le emissioni di CO₂e dello stabilimento siderurgico di Taranto del 2020 causeranno 1.876 decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100.
- La sola riduzione del 50% delle emissioni dell'acciaieria di Taranto di un singolo anno permetterebbe forse di evitare oltre 900 morti in tutto il mondo entro la fine del secolo.

a prospective global health impact assessment of the marginal CO₂e emissions declared by the steel plant for 2020 was conducted.

Setting and participants: world population in the period 2020-2100.

Main outcomes measures: deaths in the period 2020-2100 attributable to the marginal CO₂e emitted by the Taranto steel plant in 2020.

Results: considering the central estimates in the baseline emission scenario (4.1°C warming by 2100), the Taranto steel plant 2020 CO₂e emissions will cause 1,876 deaths worldwide between 2020 and 2100. The largest part will be attributable to steelmaking processes, accounting for 1,093 deaths. The same emissions will cause 5.56×10^{-4} deaths worldwide between 2020 and 2100 per tonne of steel produced in 2020, i.e. one death for every 1,799 tonnes of steel. If the 2020 CO₂e emissions of the steel plant had been reduced by 25%, 50% or 75%, the deaths avoided in the world in the period 2020-2100 would have been 469, 938 and 1,407 respectively.

RASSEGNE E ARTICOLI

Conclusions: estimates predict a probably significant mortality impact worldwide by the end of the century associated with the greenhouse gases emissions of the Taranto steel plant. Just reducing emissions by 50% in a single year could maybe avoid over 900 deaths worldwide by the end of the century.

This confirms the importance of implementing incisive policies to reduce greenhouse gases emissions in all sectors.

Keywords: climate change, global warming, CO₂, greenhouse gases, health impact assessment, steel industry

Introduzione

Il cambiamento climatico, i cui effetti sono già visibili in tutto il pianeta, rappresenta probabilmente la più grande minaccia per la salute globale che l'umanità dovrà affrontare nei prossimi decenni, eppure spesso si fa fatica a percepire correttamente l'impatto sanitario di tale fenomeno.¹⁻⁴

Per cambiamento climatico si intende una modificazione a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici, mentre il riscaldamento globale è definito come il riscaldamento a lungo termine della superficie terrestre. A partire dal XIX secolo, le attività umane, e in particolare l'utilizzo di combustibili fossili come il carbone, il petrolio e il gas, sono state la principale causa di questi due fenomeni.^{5,6}

Dall'inizio dell'era industriale, infatti, le attività umane hanno determinato un aumento della anidride carbonica (CO₂) atmosferica del 50%, il che significa che la quantità di questo gas è attualmente il 150% del suo valore nel 1750. La CO₂ è un gas che intrappola il calore, o gas serra (*greenhouse gas*, GHG). Questi gas, una volta emessi, possono permanere nell'atmosfera per un periodo variabile da pochi anni fino a migliaia di anni, abbastanza a lungo da diventare ben miscelati. Ciò significa la loro quantità misurata nell'atmosfera è più o meno la stessa in tutto il mondo, indipendentemente dalla fonte locale di emissione.⁷⁻⁹

Per quanto concerne l'aumento delle temperature, dal periodo preindustriale, si stima che le attività umane abbiano determinato un incremento della temperatura media globale della Terra di circa 1°C, un numero che attualmente sta aumentando di oltre 0,2°C per decennio. L'attuale tendenza al riscaldamento è inequivocabilmente il risultato dell'attività umana e sta procedendo a un ritmo senza precedenti nel corso dei millenni.⁵⁻⁷

In generale, gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sulla salute umana possono includere un aumento delle malattie respiratorie e cardiovascolari, lesioni e morti premature legate ad eventi meteorologici estremi, impatti sul sistema alimentare, cambiamenti nella prevalenza e nella distribuzione geografica di diverse malattie trasmissibili, alterazioni della qualità dell'aria ed effetti sul comportamento umano, sulla salute mentale e sull'erogazione di servizi sanitari e sociali, sulla sfe-

ra riproduttiva e sulla salute materno-fetale.^{1,2,4,10-13} Focalizzando l'attenzione sugli effetti sulla salute umana mediati dal calore, l'aumento delle temperature e le ondate di calore, in buona parte attribuibili ai cambiamenti climatici, sono responsabili di un documentato eccesso di mortalità e morbilità a livello globale, con impatti che variano per età, sesso, grado di urbanizzazione e fattori socioeconomici.^{3,4,10,14,15}

Le temperature elevate, definite come temperature medie giornaliere più alte della temperatura associata al minimo di mortalità per tutte le cause, sono state anche analizzate tra i fattori di rischio di livello 3 del *Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study* (GBD) 2019, che riporta una stima di 308.000 morti e 11,7 milioni di *disability-adjusted life years* (DALYs) per il 2019.¹⁶

In relazione a quanto sopra esposto, la disponibilità sempre maggiore di dati, evidenze e modelli riguardanti sia le ripercussioni delle emissioni di gas serra sul clima sia gli effetti di tali alterazioni climatiche sulla salute umana permette oggi di poter provare a stimare, seppure con dei margini di incertezza, gli impatti sanitari dei cambiamenti climatici.^{4,14,17-19}

Fra i principali emettitori di GHG vi è l'industria siderurgica, che è responsabile del 7% delle emissioni di CO₂ nel mondo e del 5% in Europa.²⁰

Lo stabilimento siderurgico di Taranto (Puglia, Sud Italia) è uno dei più grandi nel continente europeo ed è responsabile di una consistente quota di emissioni di gas serra, ponendosi fra i principali emettitori di CO₂.^{21,22}

Nello stesso territorio, dove è stato individuato un Sito di Interesse Nazionale (SIN), sono anche presenti una raffineria, un'area portuale e alcune discariche.²³

Sebbene siano stati condotti e pubblicati numerosi studi e valutazioni in relazione agli impatti sanitari derivanti dall'esposizione a diversi inquinanti nella popolazione dell'area a rischio di Taranto²³⁻²⁶, come suggerito dall'Unione europea sarebbe opportuno considerare anche il contributo dell'acciaieria al cambiamento climatico tramite le sue emissioni di CO₂.²⁷

Scopo di questo studio è, dunque, provare a quantificare gli impatti sanitari, correlati alle variazioni di temperatura, determinati dalle emissioni di CO₂ dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Materiali e metodi

Emissioni di CO₂ e mortalità

Per le valutazioni di impatto sanitario delle emissioni dell'acciaieria è stato utilizzato il *Mortality Cost of Carbon* (MCC) del 2020 calcolato da Bressler¹⁹ per il periodo 2020-2100, che quantifica (stima centrale, <10° e >90° percentile) i decessi in eccesso in tutto il mondo nel periodo 2020-2100 attribuibili all'aumento delle temperature causato da ogni tonnellata aggiuntiva (marginale) di CO₂ equivalente (CO₂e) emessa nel 2020.

In pratica sono morti premature attribuibili al cambiamento climatico che si verificano, in tutto il mondo ed entro fine secolo, in eccesso rispetto ad uno scenario controfattuale in cui l'emissione di CO₂e marginale non si è verificata.¹⁹

L'MCC(2020) è stato, dunque, stimato da Bressler¹⁹ secondo la seguente equazione:

$$MCC(2020) = \sum_{t=2020}^{t=2100} \frac{\partial \delta(T_t)}{\partial T_t} \frac{\partial T_t}{\partial E_{2020}} L_t d_t$$

T_t ed E_{2020} rappresentano rispettivamente la temperatura media globale nel periodo t e le emissioni di CO₂e nel 2020.

$\partial \delta(T_t) / \partial T_t$ rappresenta l'effetto marginale di un leggero aumento delle temperature globali medie sulla mortalità, ovverosia la derivata prima della *mortality damage function* $\delta(T_t)$.

$\partial T_t / \partial E_{2020}$ rappresenta l'effetto marginale delle emissioni del 2020 sulle temperature globali medie ed è determinato dal modello climatico.

L_t e d_t rappresentano rispettivamente la popolazione umana globale e il tasso di mortalità nel periodo t . La funzione di mortalità $\delta(T_t)$, che tiene conto anche delle azioni di adattamento difensivo ai cambiamenti climatici, è stata stimata da Bressler conducendo una *quantitative systematic research synthesis* della letteratura scientifica riguardante gli effetti del cambiamento climatico (nello specifico, gli effetti dell'aumento delle temperature) sulla mortalità e riportando, oltre alla stima centrale, anche la sua incertezza (<10° e >90° percentile).¹⁹

Tale funzione, di forma quadratica, appare convessa rispetto alla temperatura, ovverosia $\partial \delta(T_t) / \partial T_t$ aumenta all'aumentare della temperatura.¹⁹

Per tenere conto delle eventuali azioni di mitigazione dei cambiamenti climatici a livello mondiale, tale stima è stata condotta da Bressler¹⁹ nell'ambito di due scenari emissivi globali, quello *baseline* (aumento di 4,1 °C entro il 2100, rispetto all'epoca pre-industriale) e quello "ottimale" (aumento di 2,4 °C entro il 2100, rispetto all'epoca pre-industriale).

Nello scenario emissivo *baseline* (aumento di 4,1 °C

entro il 2100), l'MCC(2020) unitario è pari a 2,26 (-1,71; 6,78) × 10⁻⁴ morti fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di CO₂e emessa nel 2020.¹⁹

Nello scenario emissivo ottimale (aumento di 2,4 °C entro il 2100), l'MCC(2020) unitario è pari a 1,07 (-2,16; 5,22) × 10⁻⁴ morti fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di CO₂e emessa nel 2020.¹⁹

Questo vuol dire che, nello scenario *baseline* e utilizzando la stima centrale, la riduzione delle emissioni di CO₂e di un milione di tonnellate nel 2020 avrebbe permesso di evitare 226 morti nel periodo 2020-2100. Un milione di tonnellate di CO₂e corrispondono all'incirca alle emissioni annuali medie di 35 aerei di linea commerciali, 216.000 autovetture e 115.000 abitazioni negli Stati Uniti. Questo valore dell'MCC(2020) unitario implica anche che le emissioni di CO₂e del 2020 di una centrale elettrica a carbone di media grandezza negli Stati Uniti saranno responsabili di 904 morti stimate nel periodo 2020-2100.¹⁹

Secondo lo studio di Bressler,¹⁹ lo scenario emissivo "ottimale" sarebbe quello che determinerebbe un aumento delle temperature di "soli" 2,4 °C entro il 2100. In tale scenario si eviterebbero infatti, in larga parte, le temperature in cui gli aumenti marginali della temperatura derivanti da un'emissione marginale odierna sarebbero più dannosi per la salute umana. Tuttavia, per il suo raggiungimento, secondo il modello di Bressler¹⁹ sarebbero necessarie riduzioni grandi e immediate delle emissioni di CO₂e, fino ad una completa decarbonizzazione entro il 2050.

In sintesi, il valore dell'MCC(2020) dipende dalla scenario climatico globale, il quale a sua volta è determinato dalla politica climatica presente e futura.¹⁹

In ogni caso, fissando uno scenario emissivo globale, l'MCC(2020) unitario, che è una stima degli impatti marginali ed è costante per quello specifico scenario, può essere utilizzato per le valutazioni di impatto delle emissioni di CO₂e del 2020 derivanti dalle attività di individui, famiglie, aziende e altre organizzazioni. Tali emissioni, infatti, possono essere considerate marginali rispetto alle emissioni aggregate mondiali conteggiate dalla rivoluzione industriale fino alla fine del ventunesimo secolo.¹⁹

Per ulteriori dettagli sulla metodologia di stima dell'MCC(2020) e sul suo utilizzo si rimanda al lavoro di Bressler.¹⁹

Valutazione di impatto sanitario delle emissioni di CO₂ dell'acciaieria di Taranto

L'MCC(2020) delle emissioni dell'acciaieria è stato, dunque, calcolato moltiplicando l'MCC(2020) unitario (stima centrale, <10° e >90° percentile, in entrambi gli scenari di riscaldamento globale,¹⁹ per le emissioni di CO₂e (tonnellate di CO₂e) dichiarate dell'acciaieria per il 2020,

RASSEGNE E ARTICOLI

sia totali che disaggregate per fonte di emissione.^{22,28} Le emissioni di CO₂e sono quelle calcolate e dichiarate dall'acciaiera relativamente all'anno di esercizio 2020 e sono consultabili anche sulla pagina web dello Union Registry della Commissione Europea.^{22,28}

Nel dettaglio, le emissioni dichiarate possono essere divise fra processo produttivo (*scope 1*), produzione di energia da parte delle due centrali termoelettriche (*scope 1*) ed emissioni indirette derivanti dall'energia acquistata (*scope 2, location based*).^{22,28}

Le emissioni di GHG *scope 1* sono quelle dirette derivanti da fonti controllate o di proprietà dello stabilimento (combustione di gas, forni etc.). Le emissioni di GHG *scope 2*, invece, sono quelle indirette derivanti dall'acquisto o acquisizione di energia (elettricità, calore, vapore etc.). Per le emissioni *scope 2* è stata utilizzata la metodologia *location based*, che considera l'intensità media delle emissioni di CO₂e delle reti sulle quali si verifica il consumo di energia, utilizzando principalmente i dati relativi al fattore di emissione medio della rete.^{28,29}

Per ulteriori dettagli sulla metodologia di stima delle emissioni di CO₂e, si rimanda al documento di ADI.²⁸ Successivamente, moltiplicando l'MCC(2020) unitario¹⁹ per la *carbon intensity* (CI) (tonnellate di CO₂e/tonnellata di acciaio prodotta) del 2020 dichiarata dall'acciaiera per il 2020,²⁸ è stata calcolata una nuova misura, il *Mortality Cost of the Carbon Intensity* dell'Acciaiera (MCCI) del 2020 per il periodo 2020-2100, che rappresenta il costo globale in morti fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di acciaio prodotta nel 2020.

Infine, si sono prese in considerazione tre ipotesi di riduzione e tre di incremento delle emissioni di CO₂e del 2020 dell'acciaiera rispettivamente del 25%, 50% e 75% e sono state calcolate le morti evitate - o causate - nel mondo fra il 2020 e il 2100 se si fossero ridotte - o incrementate - le emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico rispettivamente di quelle percentuali.

Risultati

In Tabella 1 sono riportati le emissioni di CO₂e dichiarate per il 2020^{22,28} e il MCC(2020) (numero di decessi attribuibili) stimato per il periodo 2020-2100 dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Per il 2020 l'acciaiera ha dichiarato l'emissione (*Scope 1 + 2 location based*) di 8.299.668 tonnellate di CO₂e (t CO₂e). La quota maggiore è attribuibile ai processi siderurgici, con 4.834.123 t CO₂e, seguita dalla produzione di energia, con 3.442.085 t CO₂e.

Nello scenario emissivo *baseline* (aumento di 4,1 gradi entro il 2100), le stime prevedono che le emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto causeranno 1.876 (-1.419; 5.627) decessi nel

mondo fra il 2020 e il 2100. La quota maggiore sarà attribuibile ai processi siderurgici, con 1.093 (-827; 3.278) decessi, seguita dalla produzione di energia, con 778 (-589; 2.334) decessi.

Nello scenario emissivo ottimale (aumento di 2,4 gradi entro il 2100), le stime prevedono che le emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto causeranno 888 (-1.793; 4.332) decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100. La quota maggiore sarà attribuibile ai processi siderurgici, con 517 (-1.044; 2.523) decessi, seguita dalla produzione di energia, con 368 (-743; 1.797) decessi.

In Tabella 2 sono riportate la CI(2020) (tonnellate di CO₂e/tonnellata di acciaio prodotta) dichiarata per il 2020²⁸ e il MCCI(2020) (numero di decessi attribuibili/tonnellata di acciaio prodotta) stimato per il periodo 2020-2100 dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Per il 2020 l'acciaiera ha dichiarato una CI(2020) di 2,46 t CO₂e emesse nel 2020 per tonnellata di acciaio prodotta nel 2020.

Nello scenario emissivo *baseline*, le stime prevedono che le emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto causeranno 5,56 (-4,21; 16,68) × 10⁻⁴ decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di acciaio prodotta nel 2020, ovvero un decesso ogni 1.799 tonnellate di acciaio (stima centrale). Nello scenario emissivo ottimale, le stime prevedono che le emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto causeranno 2,63 (-5,31; 12,84) × 10⁻⁴ decessi nel mondo fra il 2020 e il 2100 per tonnellata di acciaio prodotta nel 2020, ovvero sia un decesso ogni 3.799 tonnellate di acciaio (stima centrale).

Di seguito sono riportati i risultati delle valutazioni relative a tre ipotesi di riduzione e tre ipotesi di incremento delle emissioni di CO₂e del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto in termini di variazione del MCC(2020) dell'acciaiera (stima centrale, per entrambi gli scenari climatici) per il periodo 2020-2100.

Nello scenario emissivo *baseline*, le stime prevedono che, se le emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto fossero state ridotte del 25%, del 50% o del 75%, le morti evitate nel mondo fra il 2020 e il 2100 sarebbero state rispettivamente 469, 938 e 1.407.

Nello scenario emissivo ottimale, le stime prevedono che, se le emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto fossero state ridotte del 25%, del 50% o del 75%, le morti evitate nel mondo fra il 2020 e il 2100 sarebbero state rispettivamente 222, 444 e 666. Nello scenario emissivo *baseline*, le stime prevedono che, se le emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto fossero state incrementate del 25%, del 50% o del 75%, le morti causate nel mondo

RASSEGNE E ARTICOLI

Emissioni globali di GHG (2020-2100)	Emissioni locali di GHG (2020)		Costo globale (2020-2100) delle emissioni locali di GHG		
	Fonte di emissione	t CO ₂ e	MCC (decessi attribuibili)		
			Low mortality estimate (<10 th p.)	Central mortality estimate	High mortality estimate (>90 th p.)
Scenario emissivo <i>baseline</i> (riscaldamento di 4,1 °C entro il 2100)	Stabilimento siderurgico	8.299.668	-1.419	1.876	5.627
	Processi siderurgici	4.834.123	-827	1.093	3.278
	Produzione di energia	3.442.085	-589	778	2.334
	Energia acquistata o acquisita	23.460	-4	5	16
Scenario emissivo <i>ottimale</i> (riscaldamento di 2,4 °C entro il 2100)	Stabilimento siderurgico	8.299.668	-1.793	888	4.332
	Processi siderurgici	4.834.123	-1.044	517	2.523
	Produzione di energia	3.442.085	-743	368	1.797
	Energia acquistata o acquisita	23.460	-5	3	12

CO₂e: carbon dioxide equivalent/anidride carbonica equivalente; GHG: greenhouse gases/gas serra; MCC: mortality cost of carbon/costo del carbonio in termini di mortalità; p: percentile/percentile; t: metric ton/tonnellata metrica.

Tabella 1. MCC globale nel periodo 2020-2100 derivante dalle emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Table 1. Global MCC in the period 2020-2100 deriving from the 2020 emissions of the Taranto steel plant.

Emissioni globali di GHG (2020-2100)	Emissioni locali di GHG (2020)		Costo globale (2020-2100) delle emissioni locali di GHG		
	Fonte di emissione	CI (t CO ₂ e / t di acciaio prodotta)	MCCI (decessi attribuibili / t di acciaio prodotta)		
			Low mortality estimate (<10 th p.)	Central mortality estimate	High mortality estimate (>90 th p.)
Scenario emissivo <i>baseline</i> (riscaldamento di 4,1 °C entro il 2100)	Stabilimento siderurgico	2,46	-4,21 × 10 ⁻⁴	5,56 × 10 ⁻⁴	16,68 × 10 ⁻⁴
Scenario emissivo <i>ottimale</i> (riscaldamento di 2,4 °C entro il 2100)	Stabilimento siderurgico	2,46	-5,31 × 10 ⁻⁴	2,63 × 10 ⁻⁴	12,84 × 10 ⁻⁴

CI: carbon intensity/intensità carbonica; CO₂e: carbon dioxide equivalent/anidride carbonica equivalente; GHG: greenhouse gases/gas serra; MCCI: mortality cost of the carbon intensity/costo dell'intensità carbonica in termini di mortalità; p: percentile/percentile; t: metric ton/tonnellata metrica.

Tabella 2. MCCI globale nel periodo 2020-2100 derivante dalle emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto.

Table 2. Global MCCI in the period 2020-2100 deriving from the 2020 emissions of the Taranto steel plant.

fra il 2020 e il 2100, da aggiungere a quelle già stimate sulle emissioni dichiarate, sarebbero state rispettivamente 469, 938 e 1.407.

Nello scenario emissivo ottimale, le stime prevedono che, se le emissioni del 2020 dello stabilimento siderurgico di Taranto fossero state incrementate del 25%, del 50% o del 75%, le morti causate nel mondo fra il 2020 e il 2100, da aggiungere a quelle già stimate sulle emissioni dichiarate, sarebbero state rispettivamente 222, 444 e 666.

Discussione

Le stime del presente studio prevedono un probabile importante impatto delle emissioni di gas serra dello stabilimento siderurgico di Taranto in termini di mortalità a livello mondiale entro la fine del seco-

lo, in accordo con le evidenze scientifiche internazionali che attribuiscono chiaramente ai cambiamenti climatici indotti dall'uomo importanti impatti di sanità pubblica presenti e futuri.¹⁻⁴

Facendo riferimento solo alle stime centrali, nell'ambito dello scenario emissivo *baseline* la sola riduzione del 50% delle emissioni di un singolo anno dello stabilimento siderurgico di Taranto avrebbe forse permesso di evitare oltre 900 morti in tutto il mondo entro la fine del secolo. Questo eccesso di mortalità globale si aggiunge, peraltro, ai già ben documentati e noti impatti sulla salute della popolazione locale.²³⁻²⁶

Per esempio, la valutazione di Galise et al.²⁵ sugli impatti delle emissioni di PM_{2.5} dell'acciaieria di Taranto ha stimato, per lo scenario emissivo 2015, un numero di decessi attribuibili annuali pari a 5 nei tre comuni di Taranto, Statte e Massafra.

RASSEGNE E ARTICOLI

Se si prendono in considerazione, in generale, tutte le tipologie di emissioni di CO₂e e si fa riferimento all'inventario delle emissioni europee,³⁰ il 77% delle emissioni di GHG è legato alla produzione di energia, l'11% all'agricoltura, il 9% ai processi industriali e il 3% al trattamento dei rifiuti.

Applicando, con finalità di confronto, la stessa metodologia (stima centrale, scenario *baseline*) alle emissioni stimate annuali degli abitanti (emissioni pro-capite del 2020 moltiplicate per la popolazione residente del 2020)^{31,32} della Regione Puglia (18.580.534 t CO₂e) e della Provincia di Taranto (2.650.777 t CO₂e), si ottengono rispettivamente 4.199 e 599 decessi nel mondo nel periodo 2020-2100 attribuibili alle emissioni di CO₂e del 2020 della popolazione residente.

Ciò conferma l'importanza, in un'ottica di sanità pubblica, di implementare incisive politiche di riduzione delle emissioni di GHG in tutti i settori, non solo quello industriale.

A tal proposito, sarebbe altresì utile applicare questa metodologia di stima degli impatti sanitari del cambiamento climatico anche ad altre realtà industriali presenti nel territorio di Taranto. In particolare, sarebbe interessante estendere il presente studio alla raffineria situata vicino allo stabilimento siderurgico, tenendo conto non solo delle emissioni di CO₂e scope 1 o 2, ma anche di quelle derivanti dall'utilizzo, in qualsiasi parte del mondo, dei combustibili fossili prodotti dalla raffineria stessa (scope 3).

I vantaggi dell'approccio suggerito da Bressler 2021¹⁹ e qui ripreso in un ambito locale sono essenzialmente i seguenti:

1. la metodologia è facilmente applicabile e riproducibile;¹⁹
2. l'MCC(2020) rappresenta un indicatore semplice e trasparente dell'impatto delle emissioni di GHG, a differenza delle stime degli impatti del cambiamento climatico in termini di costo economico della CO₂e emessa (e dei decessi), che invece dipendono largamente dalla scelta a priori della metodologia e sollevano interrogativi di natura etica in merito alla "valutazione economica" della vita umana;¹⁹
3. la funzione di mortalità utilizzata da Bressler per stimare il MCC(2020) tiene conto anche degli effetti dell'adattamento difensivo attuato al fine di ridurre gli impatti del cambiamento climatico in termini di mortalità.¹⁹
4. l'MCC(2020) tiene conto anche degli effetti delle azioni di mitigazione dei cambiamenti climatici a livello mondiale, in quanto le stime sono state condotte nell'ambito di due scenari globali, *baseline* e ottimale, che rappresentano in qualche modo gli estremi di un *continuum* di possibili futuri scenari emissivi e climatici.¹⁹

Lo studio presenta d'altro canto importanti limitazioni, che sono sostanzialmente le stesse del lavoro di Bressler:¹⁹

1. le stime centrali degli impatti sono accompagnate da ampi margini di incertezza che includono anche l'ipotesi di non-effetto;¹⁹
2. le stime non tengono conto dei co-benefici degli interventi di riduzione delle emissioni di GHG, per esempio la riduzione delle emissioni di particolato atmosferico;^{19,25,33}
3. la stima tiene conto solo degli effetti legati all'aumento delle temperature, non considerando altri *climate-mortality pathways* come quelli relativi ai cambiamenti della distribuzione di diverse malattie infettive, alle guerre, alla scarsità di cibo e alle inondazioni.^{1,4,19,34}

La prima limitazione potrebbe causare una sovrastima oppure una sottostima degli impatti delle emissioni di CO₂e sulla mortalità, la seconda e la terza invece potrebbero determinarne verosimilmente una sottostima.¹⁹

In relazione alla prima limitazione, è probabile che ulteriori dati, ricerche e studi permetteranno nel prossimo futuro di stimare con sempre maggiore accuratezza gli impatti sulla salute umana dei cambiamenti climatici.

D'altro canto, occorre anche tenere presente che tali margini di incertezza si riferiscono principalmente alla quantificazione della funzione che lega l'incremento della temperatura alla mortalità a livello globale. A prescindere da tale quantificazione numerica, infatti, in letteratura non vi sono praticamente dubbi ormai sulla direzione di tale relazione, ovverosia sul fatto che i cambiamenti climatici e il riscaldamento globale determinano e determineranno impatti negativi sulla salute umana in tutto il mondo.^{1-4,10,14,35-37} Un aumento futuro della mortalità correlata al caldo è infatti considerato come uno degli impatti più probabili del cambiamento climatico di origine antropica, mediato sia dagli aumenti delle temperature medie stagionali sia da un aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore.^{4,14,36,37}

Tali impatti sono già visibili. In Europa, per esempio, nel 2003 sono stati osservati circa 70.000 decessi attribuibili alle ondate di calore. Sempre in Europa, sono stati registrati consistenti aumenti delle temperature, addirittura pari al doppio della media globale degli ultimi 30 anni: le temperature nel continente europeo sono infatti aumentate di 0,5°C per decade dal 1990 al 2021. Come ulteriore conseguenza, i ghiacciai alpini hanno perso ben 30 metri di spessore di ghiaccio dal 1997 al 2021; similmente, la calotta glaciale della Groenlandia si sta sciogliendo, contribuendo ad accelerare l'innalzamento del livello del mare.^{10,35}

RASSEGNE E ARTICOLI

Per quanto riguarda la seconda limitazione, qualsiasi sia il settore di intervento, bisogna appunto considerare da un punto di vista di sanità pubblica anche i benefici per la salute umana derivanti dalla riduzione contemporanea dell'esposizione ad altri inquinanti, come, per esempio il particolato atmosferico, associata alle politiche di riduzione delle emissioni di gas serra.^{19,25,33}

In tale ottica non bisogna inoltre dimenticare, oltre ai guadagni in termini di vite umane salvate a seguito di una riduzione delle emissioni di CO₂e, anche i benefici sociali, sanitari ed economici che deriverebbero dalla mitigazione dei cambiamenti climatici. Si fa riferimento, per esempio, alla prevenzione dei costi sociali, sanitari ed economici derivanti dall'aumento delle patologie correlate al caldo (come quelli legati all'assistenza sanitaria) o dall'attuazione delle strategie di adattamento difensivo (come quelli legati all'utilizzo massivo degli impianti di condizionamento dell'aria).^{4,10,19}

Infine, in relazione all'ultima limitazione, è importante ricordare che il cambiamento climatico esercita degli effetti sulla salute umana anche non direttamente correlati all'aumento delle temperature (malattie infettive, guerre, malnutrizione, inondazioni etc.).^{1,4,19,34}

Sarebbe auspicabile dunque, in futuro, proseguire gli studi e aggiornare le valutazioni sanitarie del presente lavoro, sia utilizzando, quando saranno disponibili, funzioni di rischio accompagnate da una minor incertezza, sia prendendo in considerazione, nel processo di *assessment*, anche gli elementi di cui alle ultime due limitazioni.

In sostanza, la valutazione degli effetti del cambiamento climatico sulla salute umana e, di conseguenza, la programmazione delle azioni volte alla mitigazione e all'adattamento obbligano a riflessioni che non riguardano unicamente la sfera locale, in quanto gli effetti dell'aumento dei gas serra si manifestano su tutto il pianeta e coinvolgono tutta l'umanità, risultando spesso più evidenti in contesti di maggiore vulnerabilità della popolazione.⁴

Come accennato in precedenza, ciò che conta per l'impatto (correlato all'aumento delle temperature) delle emissioni marginali di CO₂e non è tanto il nu-

mero aggregato di decessi, ma la derivata prima della *mortality damage curve*, ovvero quanti decessi in eccesso derivano da un aumento incrementale delle temperature derivante da un aumento incrementale delle emissioni del 2020. Infatti, quando le temperature medie globali superano i 2 °C, la derivata prima diventa piuttosto "ripida" e lo diventa sempre di più man mano che le temperature continuano ad aumentare.¹⁹

Tali evidenze dovrebbero costituire per tutti un forte incentivo a voler assolutamente evitare quegli scenari emissivi e climatici in cui le temperature medie globali determineranno verosimilmente gli impatti più significativi in termini di mortalità.¹⁹

A tal proposito, anche se le stime quantitative di questo studio riguardano unicamente l'effetto marginale delle emissioni di un singolo anno dell'acciaieria, non bisogna dimenticare che tali emissioni comunque contribuiscono, nel corso degli anni e insieme a tutte le altre emissioni mondiali, alla definizione dello scenario globale.

Pertanto, la riduzione di tali emissioni locali non solo avrebbe di per sé effetti positivi relativamente al danno marginale stimato dall'MCC(2020) nel presente studio, ma potrebbe contribuire, soprattutto se duratura e se attuata insieme alla riduzione delle altre emissioni a livello mondiale, a influenzare positivamente anche lo scenario emissivo globale.

Si rende pertanto necessaria l'adozione di una nuova prospettiva, che tenga conto degli effetti delle attività umane, siano esse industriali o legate all'approvvigionamento energetico, ai trasporti o all'agricoltura, non soltanto sulle aree geografiche circostanti, ma su tutto il pianeta.

In conclusione, pur tenendo conto dei limiti di cui sopra, in particolare della significativa incertezza delle stime, questo studio rappresenta un importante tentativo di quantificazione degli impatti sanitari globali di un'installazione locale mediata dal cambiamento climatico, che, utilizzando una metodologia facilmente riproducibile, prova a stimare i decessi attribuibili ad una determinata quantità di emissioni annuali di gas serra.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

- World Health Organization. Climate Change and Health. 2021a. Disponibile all'indirizzo: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- Centers for Disease Control and Prevention. Climate Effects on Health. 2022a. Disponibile all'indirizzo: <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm#:~:text=The%20health%20effects%20of%20these,and%20threats%20to%20mental%20health> (Ultimo accesso: 27.12.2022).
- Centers for Disease Control and Prevention. Climate Effects on Health - Temperature Extremes. 2022b. Disponibile all'indirizzo: https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/temperature_extremes.htm (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- United Nations. Climate Action. What Is Climate Change? 2023. Disponibile all'indirizzo: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change> (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- National Aeronautics and Space Administration. Global Warming vs. Climate Change. 2023a. Disponibile all'indirizzo: <https://climate.nasa.gov/global-warming-vs-climate-change/> (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- United States Environmental Protection Agency. Basics of Climate Change 2022a. Disponibile all'indirizzo: <https://www.epa.gov/climatechange-science/basics-climate-change> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases. 2022b. Disponibile all'indirizzo: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#CO2-references> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- National Aeronautics and Space Administration. Vital Signs. Carbon Dioxide. 2023b. Disponibile all'indirizzo: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- World Health Organization. Heat and Health. 2018. Disponibile all'indirizzo: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- Poursafa P, Keikha M, Kelishadi R. Systematic review on adverse birth outcomes of climate change. *J Res Med Sci* 2015;20(4):397-402.
- Kuehn L, McCormick S. Heat Exposure and Maternal Health in the Face of Climate Change. *Int J Environ Res Public Health* 2017;14(8):853.
- Canelón SP, Boland MR. A Systematic Literature Review of Factors Affecting the Timing of Menarche: The Potential for Climate Change to Impact Women's Health. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(5):1703.
- World Health Organization. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. 2014. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/134014> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- He C, Ma L, Zhou L et al. Exploring the mechanisms of heat wave vulnerability at the urban scale based on the application of big data and artificial societies. *Environ Int* 2019;127:573-83.
- GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. High temperature - Level 3 risk. *Lancet* 2020; 396(10258):s238-39. Disponibile all'indirizzo: <https://www.thelancet.com/pb-assets/Lancet/gbd/summaries/risks/high-temperature.pdf> (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- Gasparrini A, Guo Y, Sera F et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet Health* 2017;1(9):e360-e367.
- Carleton T, Jina A, Delgado M et al. Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits. Working Paper 27599, 2020;115. Disponibile all'indirizzo: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3665869# (Ultimo accesso: 15.01.2023).
- Bressler RD. The mortality cost of carbon. *Nat Commun* 2021;12(1):4467.
- European Commission. EU climate targets: how to decarbonise the steel industry. 2022. Disponibile all'indirizzo: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/eu-climate-targets-how-decarbonise-steel-industry-2022-06-15_en#_ftn1 (Ultimo accesso: 31.01.2023).
- European Commission. Environment: European Commission urges Italy to address severe pollution issues at Europe's biggest steel plant. 2014. Disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_14_1151 (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- European Commission. Union Registry. Verified emissions for 2020. 2021. Disponibile all'indirizzo: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_en (Ultimo accesso: 16.11.2022).
- Zona A, Iavarone I, Buzzoni C, et al. 2019. Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Quinto Rapporto [SENTIERI: Epidemiological Study of Residents in National Priority Contaminated Sites. Fifth Report]. *Epidemiol Prev* 2019 Mar-Jun;43(2-3 Suppl 1):1-208. Italian. Erratum in: *Epidemiol Prev* 2019 Jul-Aug;43(4):219.
- Alessandrini ER, Leogrande S, Morabito A, et al. Studio di coorte sugli effetti delle esposizioni ambientali ed occupazionali sulla morbosità e mortalità della popolazione residente a Taranto. 2016. Disponibile all'indirizzo: <https://www.sanita.puglia.it/documents/890301/896208/Relazione+Finale+Studio+di+Coor+te++2016/ea231c81-e196-4b43-99a4-0882bd60b83b> (Ultimo accesso: 25.01.2023).
- Galise I, Serinelli M, Morabito A et al. L'impatto ambientale e sanitario delle emissioni dell'impianto siderurgico di Taranto e della centrale termoelettrica di Brindisi. *Epidemiol Prev* 2019;43(5-6):329-37.
- Leogrande S, Alessandrini ER, Stafoggia M et al. Industrial air pollution and mortality in the Taranto area, Southern Italy: A difference-in-differences approach. *Environ Int* 2019;132:105030.
- European Parliament. The ILVA Industrial Site in Taranto. In-Depth Analysis. Directorate General For Internal Policies. Policy Department A: Economic And Scientific Policy. 2015. Disponibile all'indirizzo: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/563471/IPOL_IDA\(2015\)563471_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/563471/IPOL_IDA(2015)563471_EN.pdf) (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- Acciaierie d'Italia. Rapporto di sostenibilità. Esercizio 2021. Stabilimento di Taranto. 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://www.acciaierieditalia.com/it/insight/bilancio-sostenibilita-stabilimento-Taranto/> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- United States Environmental Protection Agency. Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance. 2022c. Disponibile all'indirizzo: <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- European Parliament. Emissioni di gas serra nell'UE per paese e settore: Infografica. 2021. Disponibile all'indirizzo: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180301STO98928/20180301STO98928_it.pdf (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- Istituto Nazionale di Statistica. Popolazione residente per sesso, età e stato civile al 1° gennaio 2020. Disponibile all'indirizzo: <https://demo.istat.it/app/?i=POS&it> (Ultimo accesso: 17.01.2023).
- The World Bank. CO₂ emissions (metric tons per capita). 2023. Disponibile all'indirizzo: https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?name_desc=false (Ultimo accesso: 23.08.2023).
- World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021b. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (Ultimo accesso: 21.05.2023).
- European Centre for Disease Prevention and Control. Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments. 2010. Disponibile all'indirizzo: https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/1003_TED_handbook.climatechange.pdf (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- World Meteorological Organization. Temperatures in Europe increase more than twice global average. 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/temperatures-europe-increase-more-twice-global-average#:~:text=Temperatures%20over%20Europe%20have%20warmed,to%20accelerating%20sea%20level%20rise> (Ultimo accesso: 24.01.2023).
- Smith K, Woodward A, Campbell-Lendrum D et al. Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Field CB, Barros V, Dokken D, editors. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Vol I: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 2014.
- Huang C, Barnett AG, Wang X, Vaneckova P, Fitzgerald G, Tong S. Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. *Environ Health Perspect* 2011;119(12):1681-90.