

Analisi dei mutamenti temporali della relazione tra caldo e mortalità in provincia di Modena: periodo di studio 2010-2024

Maria Giulia Gatti^a, Giovanna Barbieri^a, Karin Bonora^a, Chiara Belli^b, Giulia Tempesta^a, Petra Bechtold^a, Rossella Miglio^b, Giuliano Carrozzi^a, Gianfranco De Girolamo^a

^a Servizio Epidemiologia e comunicazione del rischio, Ausl Modena

^b Dipartimento di Scienze Statistiche, Alma Mater Studiorum Bologna

SUMMARY

Analysis of changes over time in the relationship between heat and mortality in the province of Modena, Italy (2010-2024)

Introduction

Rising temperatures and an ageing population both increase the risk of heat-related health issues. This study examined whether the relationship between temperature and mortality in the province of Modena intensified or weakened across three time periods: 2010-2014, 2015-2019 and 2020-2024.

Materials and methods

The study analysed residents aged 45 years and over living in the province of Modena (excluding mountainous areas) who died during the summer months of June to August. Bioclimatic discomfort was measured using maximum apparent temperature. Daily deaths from natural, cardiovascular, respiratory and degenerative causes were analysed using Poisson regression models (linear and non-linear), adjusting for age, sex, ozone, PM10, holidays, and COVID-19 (2020-2024). The incidence rate ratio (IRR) was estimated using a reference temperature of 21 °C.

Results

From 2020 to 2024, the maximum apparent temperature (Mat) during the summer months showed an increasing trend, reaching its highest value in summer 2024 (mean Mat of 34 °C). Despite the record temperatures, however, multivariate models did not indicate an increase in the incidence rate ratio for natural mortality between 2020 and 2024 compared to previous periods. Similar patterns were observed for respiratory and degenerative diseases. The risk of summer mortality did not significantly increase due to the pandemic. The 'harvesting effect' (a higher risk in June) shifted during the pandemic.

Discussion and conclusions

Despite record levels of heat exposure, natural mortality showed a mitigating trend, which suggests that public health prevention measures are effective and that individuals are resilient. However, the increase in cardiovascular mortality requires further investigation. Future research should consider non-fatal outcomes (e.g. hospital admissions) in order to refine preventive strategies against extreme heat.

Key words: mortality; heat waves; temporal variation

gi.gatti@ausl.mo.it

Introduzione

Lo studio degli effetti sanitari delle alte temperature sta assumendo un ruolo rilevante in sanità pubblica in relazione ai cambiamenti climatici e all'aumento della popolazione vulnerabile. Dal 2004, anno successivo a quello in cui si verificò l'ondata di calore estivo che provocò un importante incremento della mortalità in Europa (1), in Italia è stato attivato il Piano nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo che ha promosso sistemi di monitoraggio degli esiti sanitari causati dal caldo e l'adozione di interventi mirati alla protezione delle popolazioni a rischio (2).

In linea col Piano nazionale, in provincia di Modena, dal 2004, è stata avviata una sorveglianza della mortalità estiva i cui dati negli

anni hanno evidenziato eccessi in relazione alle ondate di calore. A partire dal 2019, però, tale relazione è apparsa indebolirsi (3), nonostante l'aumento delle temperature e contrariamente alla presenza di evidenze scientifiche che indicano un maggiore effetto del caldo sui decessi (4, 5). Gli studi presenti in letteratura non sono, però, tutti concordi nell'osservare un aumento dell'effetto del caldo sulla mortalità; ad esempio, de Donato e colleghi (6) hanno osservato una progressiva attenuazione del rischio di mortalità associato al caldo, ipotizzando un possibile effetto di adattamento della popolazione. Ciò considerato, con il presente lavoro si vuole approfondire la relazione tra mortalità e calore nel contesto provinciale di Modena, in particolare ponendosi l'obiettivo di

analizzare tale relazione nel tempo. Si è quindi valutato l'effetto del caldo estivo sull'occorrenza dei decessi di tre quinquenni, 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024, al fine di indagare se l'impatto del caldo sulla mortalità si sia modificato nel tempo, considerando oltre alla temperatura, altri determinanti di mortalità, quali età, sesso ed esposizioni ambientali concomitanti che possono incrementare gli effetti avversi delle alte temperature come particolato (particulate matter $\leq 10 \mu m$, PM10) (7) e ozono (8).

Materiali e metodi

La popolazione in studio (Fonte: Regione Emilia-Romagna - statistica.regione.emilia-romagna.it/dati/statistica-self-service) è costituita dai residenti di età superiore o uguale a 45 anni, deceduti nella provincia di Modena, a esclusione dei Comuni di montagna identificati sulla base della classificazione delle zone altimetriche fornita dall'Istat, per focalizzare l'analisi sulle aree maggiormente esposte al calore. Sono stati considerati i decessi verificatisi nei mesi estivi (giugno-agosto) nel periodo 2010-2024 (Fonte: banca dati di mortalità dell'Emilia-Romagna - salute.regione.emilia-romagna.it/siseps/sanita/rem).

Poiché non esiste un indicatore universalmente riconosciuto che identifichi l'esposizione al calore, si è scelto l'indice sulla base della osservazione della letteratura (9), optando per la Temperatura massima apparente (Tma). Tale indice risulta più adatto a essere utilizzato nelle analisi modellistiche dell'indice di Thom impiegato nel monitoraggio estivo modenese (3). La Tma rappresenta un indicatore della temperatura percepita che tiene conto della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa. In linea con la letteratura (9), valori di Tma superiori al 75° percentile sono stati utilizzati per individuare le estati più calde. In particolare, è stata utilizzata la Tma registrata nel capoluogo come indicatore proxy dell'esposizione al caldo dell'intera area di studio, non possedendo una completa copertura territoriale della rilevazione della temperatura. Si ritiene tale indicatore utile all'individuazione della variazione dei livelli di esposizione al calore nell'intera area, in considerazione anche dell'esclusione dall'analisi dei Comuni montani.

Gli esiti sanitari sono stati analizzati utilizzando il numero di decessi giornalieri per tutte le cause, per cause naturali non traumatiche, per cause cardiovascolari e respiratorie e per malattie degenerative senili e presenili (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 1**). Il periodo in analisi è stato suddiviso in tre quinquenni 2010-2014, 2015-2019

e 2020-2024, al fine di valutare eventuali variazioni temporali. I dati dell'effetto del caldo sulla mortalità dell'estate 2025 non sono stati inclusi, in quanto provvisori al momento delle analisi. Vengono comunque presentati, insieme a quelli relativi al disagio bioclimatico (indice di Thom), registrati in provincia di Modena (**Materiale Aggiuntivo - Figura 1, Tabella 2**), commentati nella Discussione.

Nelle analisi descrittive, sono stati calcolati tassi grezzi di mortalità per sesso e classe di età (45-74 e 75+) e sono stati stimati i rischi relativi di decesso in relazione all'aumento della Tma, separatamente per ciascun periodo e ciascuna covariata inserita nei modelli. La relazione tra il numero giornaliero di decessi e la Tma giornaliera è stata analizzata mediante modelli di regressione di Poisson pesati per la popolazione a rischio. Sono stati stimati sia modelli lineari sia non lineari, distinti per ciascuna combinazione di causa di decesso e periodo per offrire una visione dettagliata della relazione tra rischio di decesso e Tma e modellare potenziali relazioni non lineari con la mortalità.

La Tma è stata inserita nei modelli lineari come variabile continua unitamente alle seguenti covariate: sesso, classe di età, anno, mese, PM10, ozono (Fonte: ARPAE - www.arpae.it/it/menu/temi-ambientali/temi-ambientali), dato di festività come variabile dicotomica che indica i giorni festivi e non festivi al fine di controllarne l'effetto sulla mortalità (10-12).

In tutti i modelli la valutazione dell'esposizione è data dalla media dell'esposizione del giorno del decesso e il giorno successivo (lag 0-1), considerando il miglior fitting osservato tramite i criteri di informazione Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) e la necessità di utilizzare un lag univoco per tutti i modelli. Per l'ultimo quinquennio 2020-2024 sono stati inclusi anche i casi COVID-19 tra le covariate, calcolati come media mobile dei casi occorsi nei 7 giorni precedenti il decesso, considerando il primo tampone positivo. Questo dato è stato scelto considerando il miglior fitting osservato tramite i criteri AIC e BIC, tra le medie mobili dei casi COVID-19 comprese tra i 7 e i 13 giorni precedenti il decesso, considerate le latenze di 7 giorni dal ricovero e di 13 dalla data inizio sintomi descritte dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2022 (13).

A causa dell'elevata numerosità dei casi giornalieri di COVID-19 rispetto al numero dei decessi, il coefficiente stimato dal modello è stato moltiplicato per 100, esprimendo l'incremento di rischio ogni 100 casi giornalieri in più. Nei modelli non lineari sono stati stimati i rischi relativi di mortalità e i relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%, utilizzando come riferimento una

temperatura pari a 21 °C, a partire da modelli analoghi a quelli lineari e introducendo le variabili continue come spline.

Tutte le analisi sono state implementate con l'utilizzo del software STATA (19.0 SE).

Risultati

Descrittive e analisi univariata

Tma

La **Tabella 1** riporta la distribuzione della Tma per ciascun anno in studio, nonché il numero di giorni con Tma superiore o uguale al valore medio o al 75° percentile nei mesi estivi. Nel 2024 la Tma ha oscillato tra i 23 °C e i 41 °C con valore medio di 34 °C. Tra le estati più calde, dopo il 2024, si colloca il 2022 (media 31,4 °C), seguita dal 2012 (media 30,9 °C), dal 2017 (media 30,8 °C) e dal 2019 (media 30,8 °C). L'estate più fresca è risultata quella del 2014, con la Tma compresa tra i 19 °C e i 34 °C (valore medio 27,4 °C).

La Tma nei mesi estivi del periodo 2010-2024 ha mostrato un trend in aumento, in particolare a partire da luglio 2020 (30,4 °C). Il valore massimo è stato raggiunto nell'estate 2024, con 35,5 °C a luglio e 36,4 °C ad agosto. Un precedente picco si è verificato nel luglio 2015 (34 °C) (**Materiale Aggiuntivo - Figura 2**).

La Tma è stata posta in relazione al numero dei decessi giornalieri della provincia di Modena attraverso un grafico dose-risposta per valutare incrementi di mortalità all'aumentare delle

temperature (**Figura 1**). Nella **Figura 1** si osserva che nei primi due periodi (linee blu e arancione) l'aumento della Tma provoca un maggiore aumento della mortalità per temperature superiori ai 29 °C, rispetto al periodo più recente (linea verde) in cui l'impatto sulla mortalità dell'incremento della temperatura è più lieve e costante, tanto che dopo i 33 °C si stabilizza. In particolare, la curva relativa al 2015-2019 (linea arancione) mostra una lieve flessione verso il basso della mortalità giornaliera per temperature medio/basse e un incremento della stessa mostra una lieve flessione verso il basso dei decessi per temperature comprese tra i 21 °C e i 26 °C, per poi evidenziare un aumento a partire dai 27 °C fino a incrociare e superare le curve degli altri periodi. La curva del 2010-2014 evidenzia un aumento dei decessi sempre a partire dai 27 °C con superamento della curva del 2020-2024 dopo i 34 °C.

L'analisi univariata che esplora la relazione tra mortalità e Tma ha evidenziato un aumento del rischio di decesso all'aumentare della temperatura in tutti i periodi (2010-2014: 1,015; 2015-2019: 1,016; 2020-2024: 1,008) (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 3**).

Età e sesso

I tassi grezzi di mortalità estiva per anno, classe di età e sesso (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 4**) sono superiori nella classe di età 75+ in tutti gli

Tabella 1 - Principali indicatori della Temperatura massima apparente (Tma). Provincia di Modena, giugno-agosto 2010-2024

Anno	Temperatura massima apparente							
	Media	Min	Max	p75	p90	p95	n. giorni tma ≥ media	n. giorni tma ≥ p75
2010	28,7	16	36	32	34	34	52	27
2011	28,9	19	37	31,5	35	35	50	23
2012	30,9	21	37	33	35	36	58	34
2013	28,7	18	37	31	34	36	51	31
2014	27,4	19	34	30	32	33	42	28
2015	30,7	22	39	34	36	37	47	28
2016	29,1	20	36	32	34	34	46	31
2017	30,8	23	39	33	35	37	54	32
2018	29,7	19	37	32	34	35	50	36
2019	30,8	21	38	33	35	36	49	27
2020	29,3	18	38	32,5	34	35	48	23
2021	30,0	21	37	33	34	35	55	24
2022	31,4	24	37	33,5	35	36	45	23
2023	30,4	20	38	34	36	37	48	24
2024	34,0	23	41	37	38	39	60	32

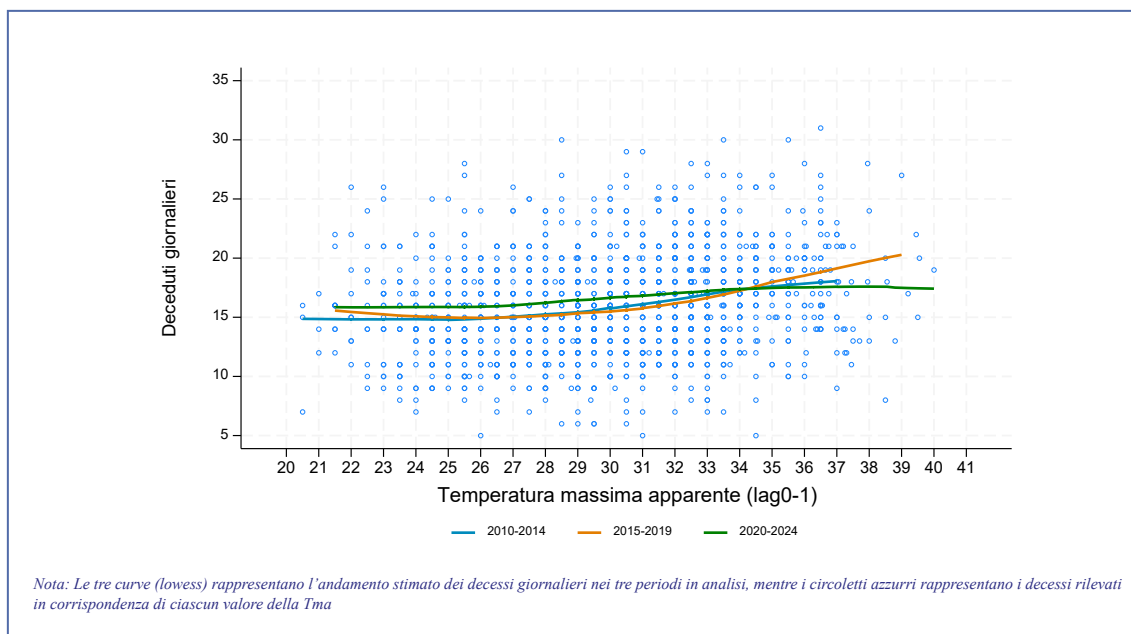


Figura 1 - Andamento della mortalità naturale giornaliera per Tma (lag 0-1) e periodi quinquennali

anni in studio; tale andamento è osservabile anche nei modelli univariati che mostrano la relazione tra mortalità e classe di età (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 5**).

Negli ultra 75enni i tassi grezzi mostrano valori variabili per periodo e sesso, con i valori maggiori a carico dell'uno o dell'altro sesso a seconda dei periodi considerati. Analogamente, i modelli univariati dei primi due periodi (2010-2014, 2015-2019) mostrano rischi di decesso inferiori nelle femmine rispetto ai maschi, seppur con intervalli di confidenza non significativi, mentre il modello dell'ultimo periodo (2020-2024) evidenzia un rischio superiore nelle femmine (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 5**).

Ozono e PM10

In tutti i periodi considerati, i livelli di ozono non sembrano incrementare il rischio di decesso, mentre il PM10 mostra un aumento del rischio seppur lieve all'aumentare dei propri livelli (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 5**).

Casi COVID-19

Nel modello del periodo 2020-2024 è stata introdotta anche la media mobile dei casi di COVID-19 della settimana precedente il decesso. Tale variabile ha mostrato un incremento del rischio di mortalità ogni 100 casi di COVID-19 in più all'aumentare della temperatura, con intervalli di confidenza ampi (incidence rate ratio, IRR 2,367 (IC 0,546-10,325) ogni 100 nuovi casi COVID-19) (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 5**).

Festività

Per controllare l'effetto degli spostamenti estivi delle persone sui decessi e la diversa occorrenza di mortalità nei giorni festivi (10-12), è stata introdotta nei modelli la variabile "festività". Il modello univariato relativo ha evidenziato un rischio di decesso inferiore nei giorni festivi rispetto agli altri in tutti i periodi considerati (**Materiale Aggiuntivo - Tabella 5**).

Modelli lineari

Mortalità naturale

La **Tabella 2** mostra i risultati dei modelli relativi alla mortalità per cause non traumatiche (mortalità naturale), evidenziando un aumento di rischio di decesso all'aumentare della Tma in tutti i periodi considerati, ma con l'IRR di decesso dell'ultimo periodo (2020-2024) non superiore ai precedenti: 2020-2024, IRR 1,010 (IC 1,000-1,019); 2015-2019, IRR 1,025 (IC 1,013-1,036); 2010-2014 IRR 1,019 (IC 1,008-1,030). In tutti i modelli si osserva un rischio di decesso inferiore nelle femmine e nelle giornate festive, più evidente nel periodo 2020-2024, mentre il rischio risulta sempre costantemente superiore negli ultra 75enni.

All'aumentare del PM10 il rischio di mortalità mostra un lievissimo aumento nell'ultimo periodo, mentre il livello di ozono non evidenzia mai incrementi di rischio.

Nel primo periodo (2010-2014), l'anno col maggiore rischio di decesso rispetto al riferimento 2010 è risultato il 2012. Nel periodo

Tabella 2 - Esiti dei modelli lineari che valutano su tre periodi il rischio di mortalità per cause naturali. Covariate: Temperatura massima apparente, Tma (lag 0-1), sesso, età, livelli di PM10, livelli di ozono, anno, mese e decesso nei giorni festivi e circolazione del COVID-19 (solo nel modello 2020-2024). Indicatori: incidence rate ratio (IRR), intervalli di confidenza al 95% (IC 95%), p-value e reference category (rc). Provincia di Modena, periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024*

2010-2014				2015-2019				2020-2024			
Variabile	IRR	IC 95%	p-value	Variabile	IRR	IC 95%	p-value	Variabile	IRR	IC 95%	p-value
Tma	1,019	1,008-1,030	0,001	Tma	1,025	1,013-1,036	0,000	Tma	1,010	1,000-1,019	0,029
Sesso				Sesso				Sesso			
F	0,796	0,760-0,834	0,000	F	0,809	0,772-0,847	0,000	F	0,898	0,858-0,939	0,000
Classe di età				Classe di età				Classe di età			
75+	12,190	11,539-12,877	0,000	75+	14,409	13,602-15,263	0,000	75+	14,723	13,880-15,616	0,000
PM10	1,000	0,995-1,005	0,954	PM10	0,999	0,995-1,003	0,745	PM10	1,001	0,998-1,004	0,345
Ozono	0,999	0,998-1,000	0,309	Ozono	0,999	0,997-1,000	0,059	Ozono	1,000	0,998-1,001	0,695
Anno (rc 2010)				Anno (rc 2015)				Anno (rc 2020)			
2011	1,017	0,940-1,100	0,676	2016	0,998	0,928-1,072	0,954	2021	0,989	0,917-1,067	0,778
2012	1,087	1,004-1,177	0,040	2017	0,952	0,884-1,024	0,185	2022	0,974	0,872-1,087	0,639
2013	1,039	0,956-1,128	0,362	2018	0,957	0,892-1,027	0,228	2023	0,965	0,896-1,038	0,337
2014	0,960	0,884-1,041	0,322	2019	0,944	0,878-1,015	0,121	2024	0,903	0,830-0,982	0,018
Mese (rc giugno)				Mese (rc giugno)				Mese (rc giugno)			
Luglio	0,914	0,855-0,977	0,008	Luglio	0,956	0,896-1,020	0,175	Luglio	0,988	0,927-1,052	0,706
Agosto	0,903	0,843-0,966	0,003	Agosto	0,954	0,895-1,016	0,142	Agosto	1,012	0,950-1,077	0,713
Festività	0,988	0,924-1,056	0,723	Festività	0,935	0,875-0,998	0,045	Festività	0,915	0,855-0,977	0,009
COVID-19*	/	/	/	COVID-19*	/	/	/	COVID-19*	1,016	0,995-1,037	0,128

(*) Il coefficiente stimato dal modello originario è stato moltiplicato per 100 esprimendo l'incremento di rischio ogni 100 casi giornalieri in più anziché per singolo caso

2015-2019, invece, è stato l'anno di confronto 2015 a evidenziare un rischio maggiore rispetto ai successivi.

Considerando i mesi, nei primi due periodi, giugno presenta rischi di decesso superiori rispetto a luglio e ad agosto; nel terzo periodo, si osserva un rischio maggiore in agosto.

In quest'ultimo periodo, l'inclusione del numero medio settimanale di casi di COVID-19 ha evidenziato un lieve incremento del rischio di decesso con IC ampi (IRR 1,016 ogni 100 casi COVID-19; IC 0,995-1,037).

Altre cause

La **Tabella 3** riporta i risultati della relazione stimata dai modelli multivariati lineari tra aumento della Tma e rischio di decesso per mortalità generale, naturale, malattie degenerative, cardiovascolari e respiratorie. L'effetto della Tma sulla mortalità generale risulta sostanzialmente sovrapponibile alla mortalità naturale con coefficienti che variano di poco. Le cause degenerative e respiratorie mostrano incrementi dei rischi di mortalità in relazione alla Tma in particolare nei primi due

Tabella 3 - Rischio relativo di decesso per cause naturali, degenerative, cardiovascolari e respiratorie in relazione all' aumento della Temperatura massima apparente (lag 0-1) per periodo di osservazione. incidence rate ratio (IRR) e intervalli di confidenza al 95% (IC 95%). Modelli lineari. Provincia di Modena periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

Cause di decesso	2010-2014		2015-2019		2020-2024	
	IRR	IC 95%	IRR	IC 95%	IRR	IC 95%
Mortalità generale	1,018	1,007-1,028	1,026	1,016-1,037	1,011	1,001-1,020
Mortalità naturale	1,019	1,008-1,030	1,025	1,013-1,036	1,010	1,000-1,019
Malattie degenerative	1,037	1,005-1,069	1,031	0,999-1,064	0,989	0,966-1,013
Malattie cardiovascolari	1,022	1,005-1,040	1,018	0,998-1,037	1,023	1,005-1,041
Malattie respiratorie	1,046	1,007-1,087	1,033	0,997-1,070	1,011	0,977-1,046

periodi, seppure con limiti di confidenza ampi; nello specifico le degenerative mostrano nell'ultimo periodo un rischio relativo inferiore a 1 (IRR 0,989; IC 0,966-1,013). Le malattie cardiovascolari mostrano incrementi dei rischi relativi di decesso in tutti e tre i periodi all'aumentare della Tma (2010-2014: IRR 1,022; IRR 1,018 IC 0,998-1,037; 2020-2024 IRR 1,023; IC 1,005-1,041).

Modelli non lineari

La mortalità naturale (Figura 2) nel periodo 2010-2014 evidenzia un aumento quasi lineare del rischio all'aumentare della Tma a partire dai 21 °C con rischi massimi che si pongono tra 1,2 e 1,5. Nel successivo periodo (2015-2019) l'incremento del rischio appare non lineare e si registra in modo netto a partire dai 29 °C, fino a raggiungere rischi relativi tra 1,5 e 1,8.

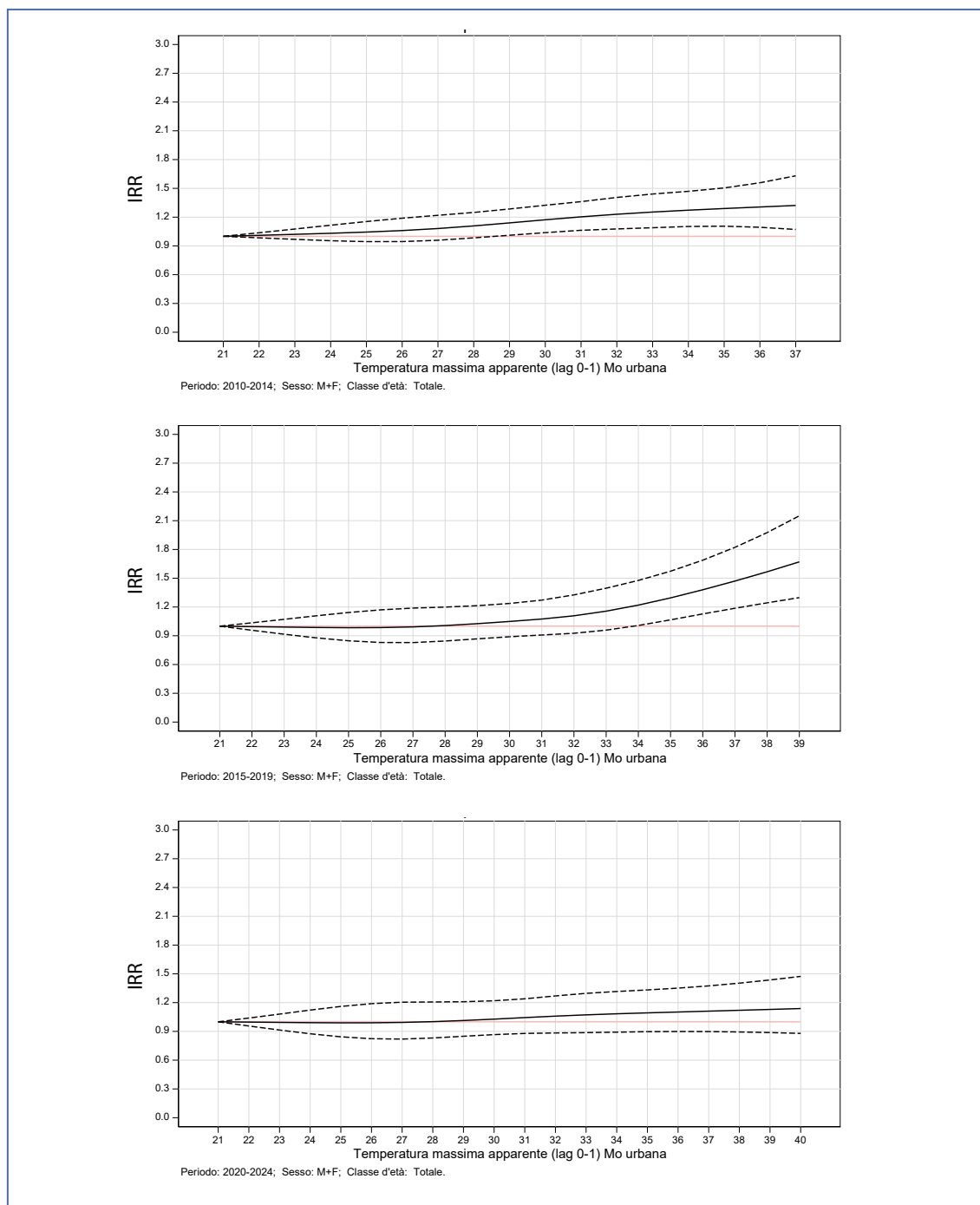


Figura 2 - Andamento dell'incidence rate ratio (IRR, linea rossa IRR = 1) di mortalità per periodo di osservazione per cause naturali in relazione all'incremento della Temperatura massima apparente (lag 0-1). Modelli non lineari (spline). Provincia di Modena periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

Nel 2020-2024 l'incremento della mortalità in relazione alla Tma appare lieve, con andamento quasi piatto e rischi massimi inferiori a 1,2.

Le malattie degenerative senili e presenili (Figura 3) nel 2010-2014 mostrano un aumento quasi lineare della mortalità all'aumentare della Tma con incremento ulteriore a partire dai 32 °C, raggiungendo rischi di poco inferiori a 2.

Nel successivo periodo (2015-2019) l'andamento appare non lineare con un aumento importante a partire dai 32 °C e rischi relativi massimi superiori a 2,4. Nel 2020-2024 la relazione tra rischio di decesso e Tma, si appiattisce e cala mostrando rischi mediamente inferiori all'unità.

Le malattie cardiovascolari (Figura 4) nel periodo 2010-2014 evidenziano un rischio di decesso che aumenta quasi linearmente

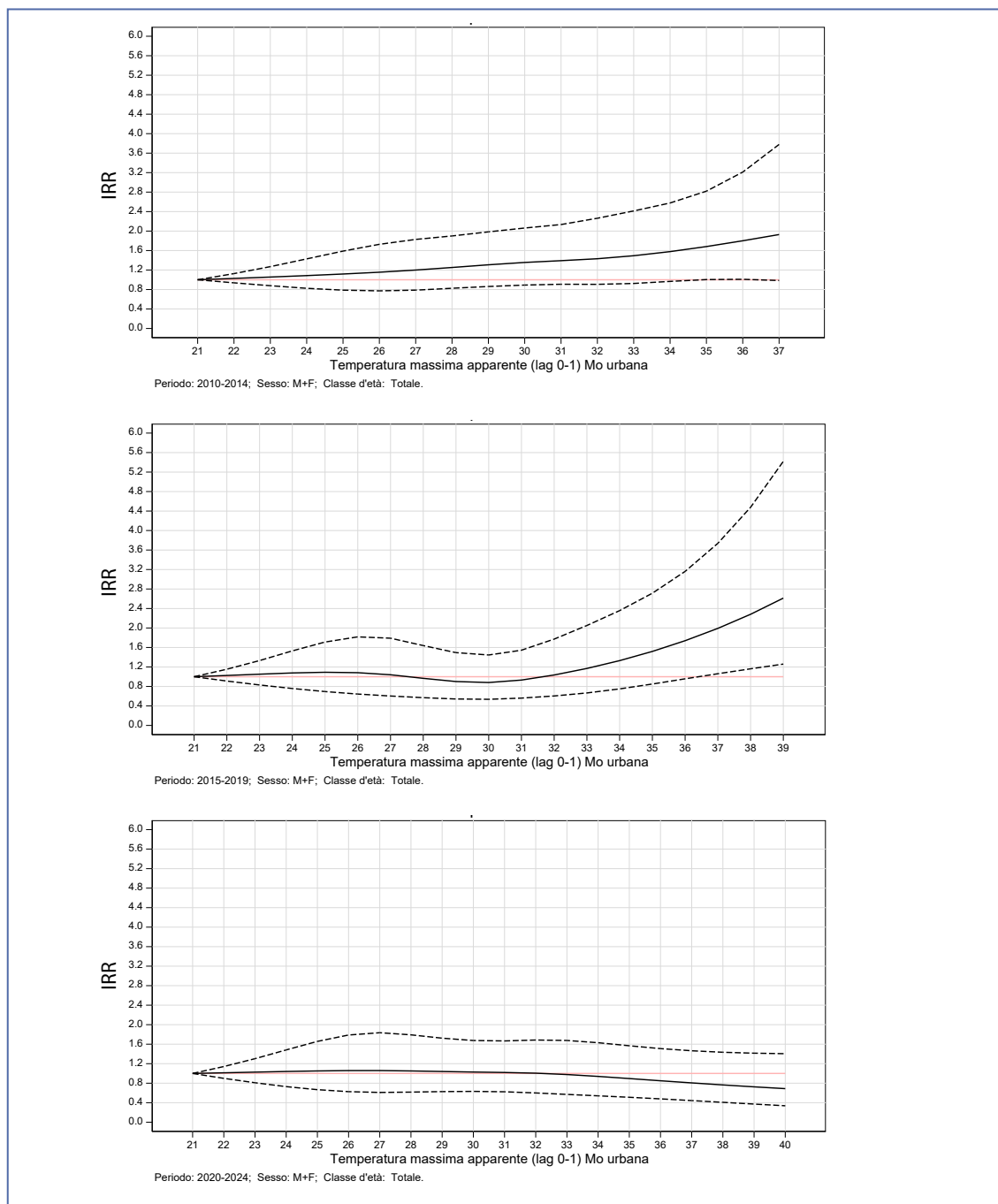


Figura 3 - Andamento dell'incidence rate ratio (IRR, linea rossa IRR = 1) di mortalità per periodo di osservazione per malattie degenerative senili e presenili in relazione all'incremento della Temperatura massima apparente. Modelli non lineari (spline). Provincia di Modena periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

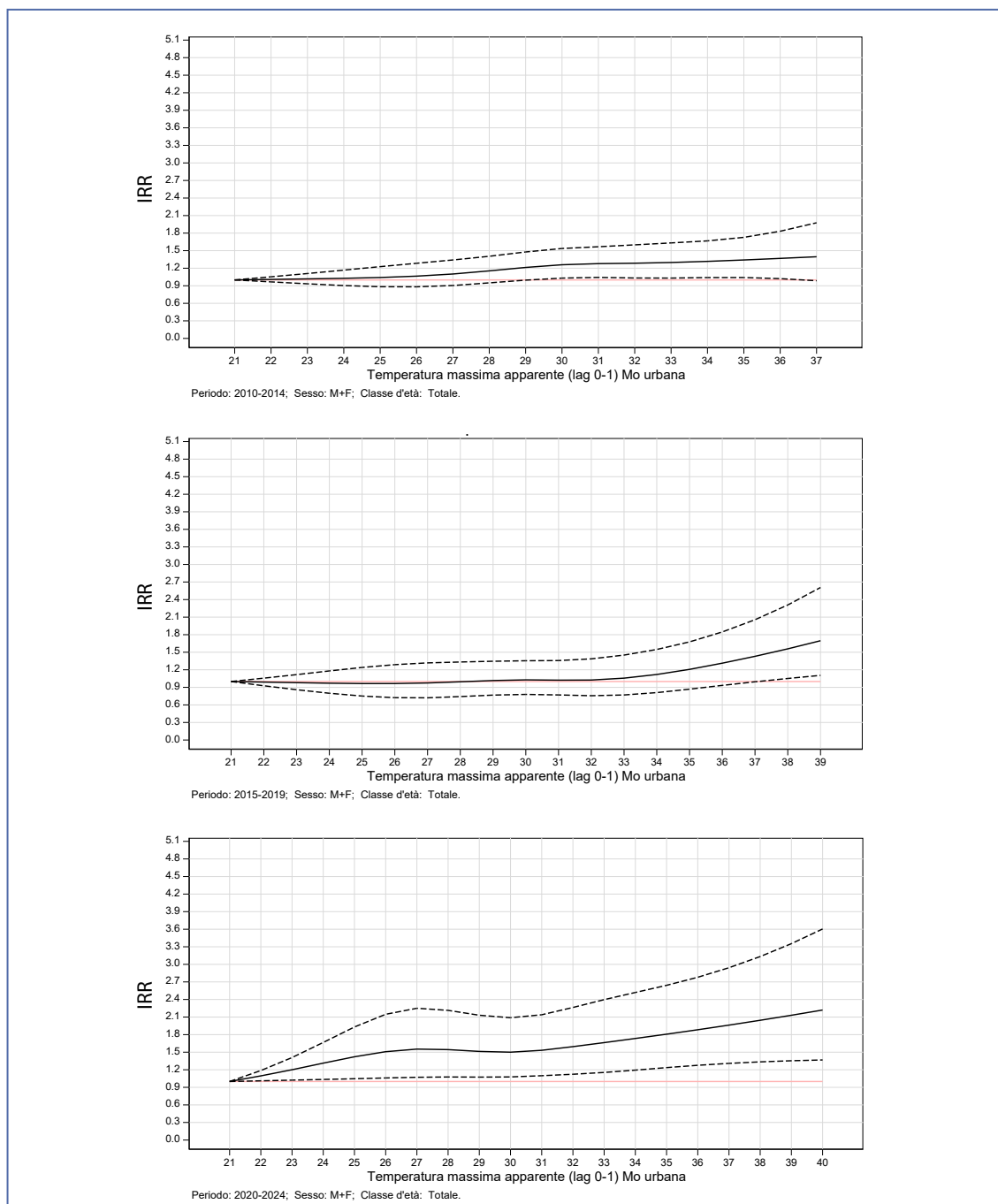


Figura 4 - Andamento dell'incidence rate ratio (IRR, linea rossa IRR = 1) di mortalità per periodo di osservazione per malattie cardiovascolari in relazione all'incremento della Temperatura massima apparente (lag 0-1). Modelli non lineari (spline). Provincia di Modena, periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

fino ai 37 °C, con rischi relativi massimi di poco inferiori a 1,5. Nel successivo periodo (2015-2019) l'aumento parte dai 32 °C circa, con rischi massimi vicini a 1,8. Nel 2020-2024, dopo un primo andamento non lineare che parte dai 21 °C con rischi relativi osservabili tra 1,2 e 1,5, si registra un aumento lineare importante a partire dai 31 °C con rischi relativi massimi superiori a 2.

Le malattie respiratorie (**Figura 5**) nel 2010-2014 mostrano un aumento importante del rischio di decesso all'aumentare della Tma a partire dai 30 °C, con rischi relativi massimi vicini a 2,4. Nel secondo periodo 2015-2019, il rischio relativo di mortalità incrementa a partire dai 30 °C raggiungendo rischi relativi vicini a 2. Nel periodo 2020-2024 la curva del rischio si appiattisce aumentando alla temperatura di 34 °C fino a raggiungere rischi relativi tra 1,2 e 1,6.

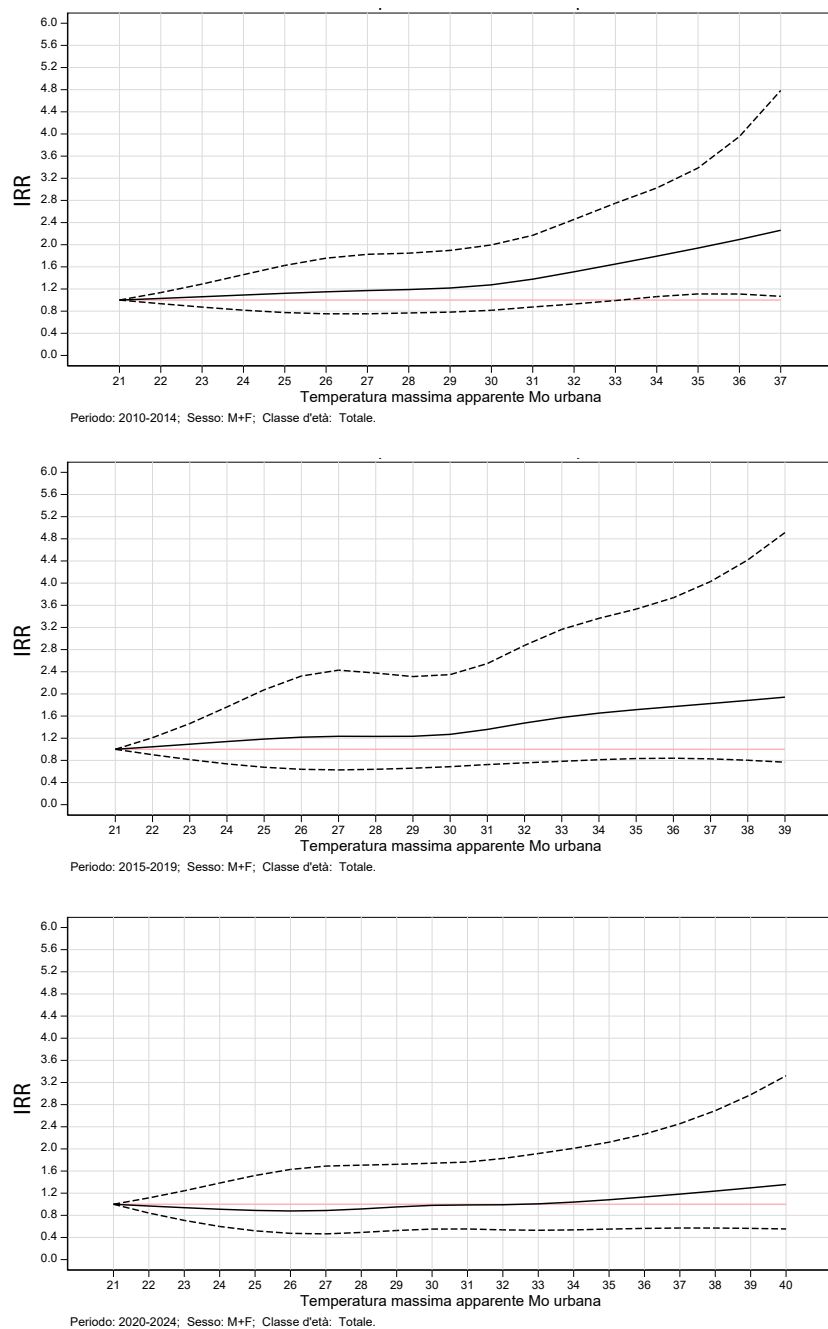


Figura 5 - Andamento dell'incidence rate ratio (IRR, linea rossa IRR = 1) di mortalità per periodo di osservazione per malattie respiratorie in relazione all'incremento della Temperatura massima apparente (lag 0-1). Modelli non lineari (spline). Provincia Modena, periodi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

Discussione e conclusioni

Dall'analisi dei risultati emerge che la mortalità naturale mostra un incremento del rischio relativo di decesso in tutti i periodi analizzati in relazione all'aumento della Tma, con tendenza alla diminuzione dell'effetto nell'ultimo periodo (2020-2024), nonostante le temperature superiori registrate. Un andamento analogo della relazione

tra mortalità e Tma è stato riscontrato per le malattie degenerative senili e quelle respiratorie, viceversa, le cardiocircolatorie non hanno mostrato la medesima tendenza alla diminuzione dell'effetto. Tale andamento, da verificare nel suo perdurare, è da considerare anche alla stregua di possibili conseguenze dovute alla pandemia e in relazione alla recente osservazione della aumentata mortalità

per cause cardiovascolari in Emilia-Romagna (14). Le altre variabili associate a un aumento del rischio di decesso sono state: l'età superiore ai 75 anni e il sesso maschile. Ulteriori covariate hanno mostrato relazioni meno robuste con la mortalità, come il PM10 che ha evidenziato in tutti i periodi un debolissimo aumento del rischio appena accentuato nel 2020-2024, e i livelli di ozono che non hanno mostrato relazioni incrementali del rischio. Vista l'importanza del tema, queste ultime osservazioni richiederanno ulteriori valutazioni, considerando i livelli mediamente più bassi del particolato solitamente presenti in estate (15) e l'esclusione dallo studio dei periodi più freschi e delle aree montane che possono aver portato ad analizzare concentrazioni di ozono omogenee (16). I giorni festivi, come noto (10-12), hanno mostrato in tutti i periodi rischi di decesso inferiori ai feriali. La numerosità dei casi COVID-19 non ha mostrato una robusta relazione con l'incremento della mortalità del periodo 2020-2024, probabilmente perché il 2020 è stato caratterizzato, a Modena come nell'intero territorio regionale e nazionale, da un'elevata letalità per COVID-19 verificatasi però nel periodo invernale, mentre gli anni successivi sono stati caratterizzati da una riduzione della letalità dell'infezione (17, 18) (**Materiale Aggiuntivo - Figura 3**). I modelli hanno evidenziato gli anni con maggiore mortalità, il 2015 e il 2020, coerentemente con la letteratura e altre analisi condotte sul territorio (19, 20). Considerando i mesi, è apparso interessante come giugno abbia rappresentato il mese a maggior rischio di mortalità nei primi due periodi analizzati, probabilmente a causa dei primi effetti delle alte temperature sulla popolazione vulnerabile. A questo incremento è poi seguita una diminuzione della mortalità nei mesi luglio e agosto, probabilmente riconducibile all'esaurimento delle coorti di fragili deceduti in giugno (effetto harvesting) (21). Tale andamento non è stato osservato nel periodo 2020-2024 caratterizzato, però, da ciclicità atipiche della mortalità influenzate anche dalla pandemia (22). In conclusione, i risultati consentono di affermare che la mortalità naturale dovuta al caldo non appare aumentata negli ultimi anni in provincia di Modena, nonostante le elevate temperature registrate. I risultati ottenuti, quindi, non avvalorano le osservazioni presenti in letteratura che affermano il contrario (4, 5), anzi, in senso opposto mostrano una tendenza alla attenuazione dell'effetto del caldo sulla mortalità nel modenese. Solo la mortalità per patologie cardiovascolari continua a mostrare una tendenza all'aumento e che dovrà essere verificata nel futuro. A completamento di tali osservazioni, pur non avendo inserito i dati del 2025 nei modelli

in analisi, si può affermare che, in provincia di Modena, anche nell'estate di quell'anno non sono stati osservati eccessi di mortalità rispetto all'atteso in relazione a condizioni di disagio bioclimatico (**Materiale Aggiuntivo - Figura 1, Tabella 2**). È quindi possibile che, come osservato da de Donato e colleghi (6), sistemi di resilienza diffusi e dei singoli abbiano protetto negli ultimi anni la popolazione.

Sono però da considerare alcuni limiti dello studio, che potrebbero essere ovviati con ulteriori ricerche, quali l'aver rilevato i dati di temperatura attraverso una sola centralina e l'aver ristretto le analisi ai soli mesi di giugno, luglio, agosto senza esplorare la relazione con temperature più miti e le aree montane, causando così una restrizione delle osservazioni e possibili distorsioni dell'effetto. Ciò considerato, occorre continuare la sorveglianza sulla mortalità avviando alle cause individuate di possibile distorsione, proiettandosi sempre più lontani dalla mortalità anomala del periodo pandemico e considerando parallelamente ulteriori esiti sanitari. Le prossime analisi dovranno quindi incentrarsi anche su esiti non fatali, la cui conoscenza riveste un ruolo fondamentale in ottica di prevenzione, quali i ricoveri, gli accessi al pronto soccorso o ai Centri di salute mentale, come suggerito da nuove evidenze (23).

Citare come segue:

Gatti MG, Barbieri G, Bonora K, Belli C, Tempesta G, Bechtold P, Miglio R, Carrozzi G, De Girolamo G. Analisi dei mutamenti temporali della relazione tra caldo e mortalità in provincia di Modena: periodo di studio 2010-2024. *Boll Epidemiol Naz* 2026;7(1):10-20.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Finanziamenti: nessuno.

Authorship: tutti gli autori hanno contribuito in modo significativo alla realizzazione di questo studio nella forma sottomessa.

Riferimenti bibliografici

1. Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol* 2008;331(2):171-8. doi: 10.1016/j.crv.2007.12.001
2. Direzione Generale della Prevenzione Sanitaria. *Piano nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute: Linee di indirizzo e protocolli operativi*. Ministero della Salute. Roma, 2025.
3. Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena, Servizio di Epidemiologia e Comunicazione del Rischio. Sorveglianza mortalità estiva e accessi in pronto soccorso: Sintesi dei risultati estate 2024. 2024 <https://www.ausl.mo.it/media/Monitoraggio-estivo-dei-decessi-in-provincia-di-Modena-nellestate-2024.pdf?x75285>; ultimo accesso 5/6/2026.

4. Ballester J, Quijal-Zamorano M, Méndez Turrubiates RF, Pegenaute F, Herrmann FR, Robine JM, et al. Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nat Med* 2023;29(7):1857-66. doi: 10.1038/s41591-023-02419-z
5. Gallo E, Quijal-Zamorano M, Méndez Turrubiates RF, Tonne C, Basagaña X, Achebak H, et al. Heat-related mortality in Europe during 2023 and the role of adaptation in protecting health. *Nat Med* 2024;30(11):3101-3105. doi: 10.1038/s41591-024-03186-1
6. de' Donato F, Scortichini M, De Sario M, de Martino A, Michelozzi P. Temporal variation in the effect of heat and the role of the Italian heat prevention plan. *Public Health* 2018;161:154-62. doi: 10.1016/j.puhe.2018.03.030
7. Scortichini M, De Sario M, de' Donato F, Davoli M, Michelozzi P, Stafoggia M. Short-Term Effects of Heat on Mortality and Effect Modification by Air Pollution in 25 Italian Cities. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(8):1771. doi: 10.3390/ijerph15081771
8. Gao J, Wood D, Katsouyanni K, Benmarhnia T, Evangelopoulos D. The synergistic and mediating effects of ozone on associations between high temperature, heatwaves and mortality in the Greater London area between 2010 and 2018. *Environmental Research* 2025;277:121577. doi: 10.1016/j.envres.2025.121577
9. Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, D'Ippoliti D, De Sario M, Marino C, et al. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7(5):2256-73. doi: 10.3390/ijerph7052256
10. Evriadiou K, Aylin P, Bottle AP, Honeyford K. A The weekend effect in vigilance and patient safety: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Quality & Safety* 2023;32(11):661-70.
11. Bell CM, Redelmeier DA. Mortality among Patients Admitted to Hospitals on Weekends as Compared with Weekdays. *N Engl J Med* 2001;345(9):663-8. doi:10.1056/NEJMsa003376
12. Spagnolo G, Michelozzi P, Scortichini M. Mortalità giornaliera e giorno della settimana: un'analisi secondaria dei dati del sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera. *Epidemiologia & Prevenzione*, 44(5-6), 346-353, 2020.
13. Istituto Superiore di Sanità. Epicentro. Caratteristiche dei pazienti deceduti positivi all'infezione da SARS-CoV-2 in Italia. Dati al 10 gennaio 2022. https://www.epicentro.iss.it/coronavirus/bollettino/Report-COVID-2019_10_gennaio_2022.pdf; ultimo accesso 5/6/2026.
14. Regione Emilia-Romagna. Report di mortalità. Analisi descrittiva della mortalità per causa. Anno 2024. ottobre 2025. <https://salute.regione.emilia-romagna.it/normativa-e-documentazione/rapporti/atlan-te-di-mortalita>; ultimo accesso 5/6/2026.
15. Cesari D, Merico E, Grasso FM, Dinoi A, Conte M, Genga A, et al. Analysis of the contribution to PM10 concentrations of the largest coal-fired power plant of Italy in four different sites. *Atmospheric Pollution Research* 2021;12(8):101135. doi: 10.1016/j.apr.2021.101135
16. Amann M, Derwent D, Forsberg B, Hänninen O, Hurley F, Krzyzanowski M, et al. *Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution*. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe; 2008.
17. Alicandro, G. Remuzzi, G. La Vecchia C. Updated estimates of excess total mortality in Italy during the circulation of the BA.2 and BA.4-5 Omicron variants. *European Journal of Epidemiology*, 2022.
18. Regione Emilia-Romagna. Report di mortalità. Analisi descrittiva della mortalità per causa. Anno 2023. novembre 2024. <https://salute.regione.emilia-romagna.it/normativa-e-documentazione/rapporti/atlan-te-di-mortalita>; ultimo accesso 5/6/2026.
19. Michelozzi P, De' Donato F, Scortichini M, De Sario M, Asta F, Agabiti N, et al. Sull'incremento della mortalità in Italia nel 2015: analisi della mortalità stagionale nelle 32 città del Sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera. *Epidemiol Prev* 2016;40(1):22-8. doi: 10.19191/EP16.1.P022.010
20. Regione Emilia-Romagna. Analisi descrittiva della mortalità per causa in Emilia-Romagna occorsa nell'anno 2020. Luglio 2021. <https://salute.regione.emilia-romagna.it/normativa-e-documentazione/rapporti/atlan-te-di-mortalita>; ultimo accesso 5/06/2026.
21. Kannankeril Joseph J, Conte Keivabu R, Muttarak R, Zagheni E, Mazzucco S. Harvesting Effect and Extreme Temperature-Related Mortality in Italy. *Eur J Popul* 2026;42(1):3 doi: 10.1007/s10680-025-09764-4
22. Istituto Superiore di Sanità, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale – Regione Lazio, Istituto Nazionale di Statistica. Analisi e valutazione del documento "Mortalità in eccesso negli anni 2021 e 2022 dati ufficiali dall'Italia e dal mondo" dell'Associazione Umanità e Ragione. Battaglini M, Bella A, Bonifazi G, Ceccarelli E, Corsetti G, Dorrucchi M, Grippo F, Lista L, Marchetti S, Menasce D, Mezzetto M, Michelozzi P, Minelli G, Pappagallo M, Pedrini D, Pezzotti P, Rota MC, Spighi R. (Ed.). 31 luglio 2023. https://www.iss.it/documents/20126/0/Risposta+_Eccesso+Mortalita%CC%80+Umanita%CC%80+e+Ragione_ultimo_rev31_07.pdf/34ae7793-32f1-7d7d-57e3-4f0b16833cd1?t=1696589930009; ultimo accesso 30/6/2026.
23. Thompson R, Lawrance EL, Roberts LF, Grailey K, Ashrafian H, Maheswaran H, et al. Ambient temperature and mental health: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health* 2023;7:e580-e589.

Tabella 1 - Cause di morte analizzate nello studio e relativi codici ICD-10

CAUSE DI MORTE	Codici ICD-10
MAL. DEGENERATIVE INVOL. CEREBRALI SENILI E PRESENILI	F01, F03-F04, G20-G26, G30-G32, L89
MALATTIE SISTEMA CARDIOVASCOLARE	I00-I99
MALATTIE SISTEMA RESPIRATORIO	J00-J99
MORTALITA' NATURALE	A00-R99, U07, U10.9
MORTALITA' GENERALE	A00-Z99

Figura 1 - Trend settimanale dell'indice di Thom e del Rapporto di Mortalit  Osservato/Atteso (O/A) distinto per sesso. Tutte le classi di et . Provincia di Modena, periodo maggio-settembre 2025

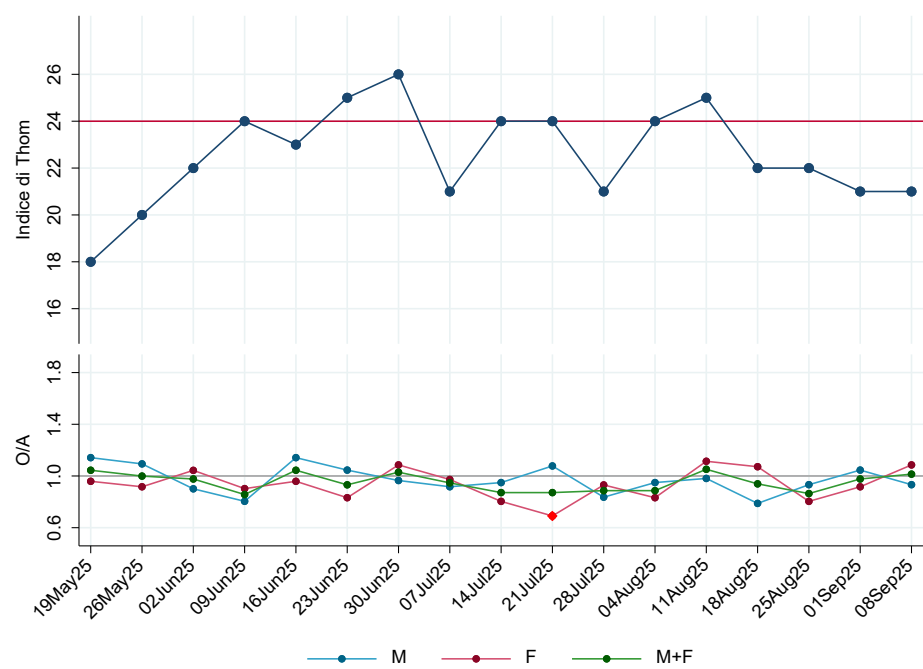


Tabella 2 - Numero di deceduti (N) e rapporto di mortalità Osservato/Atteso (O/A) con relativo intervallo di confidenza al 95%, distinti per settimana di rilevazione e sesso. Tutte le classi d'età. Provincia di Modena, periodo maggio-settembre 2025

Settimana	Tutte le età					
	Maschi		Femmine		Totale	
	N	O/A (IC95%)	N	O/A (IC95%)	N	O/A (IC95%)
19/05-25/05	71	1,14 (0,89-1,44)	68	0,96 (0,74-1,22)	139	1,04 (0,88-1,23)
26/05-01/06	68	1,09 (0,85-1,39)	65	0,92 (0,71-1,17)	133	1,00 (0,84-1,18)
02/06-08/06	56	0,90 (0,68-1,17)	74	1,04 (0,82-1,31)	130	0,98 (0,82-1,16)
09/06-15/06	50	0,80 (0,60-1,06)	64	0,90 (0,70-1,15)	114	0,86 (0,71-1,03)
16/06-22/06	71	1,14 (0,89-1,44)	68	0,96 (0,74-1,22)	139	1,04 (0,88-1,23)
23/06-29/06	65	1,05 (0,81-1,33)	59	0,83 (0,63-1,07)	124	0,93 (0,77-1,11)
30/06-06/07	60	0,97 (0,74-1,24)	77	1,09 (0,86-1,36)	137	1,03 (0,86-1,22)
07/07-13/07	57	0,92 (0,69-1,19)	69	0,97 (0,76-1,23)	126	0,95 (0,79-1,13)
14/07-20/07	59	0,95 (0,72-1,22)	57	0,80 (0,61-1,04)	116	0,87 (0,72-1,05)
21/07-27/07	67	1,08 (0,84-1,37)	49	0,69 (0,51-0,91)	116	0,87 (0,72-1,05)
28/07-03/08	52	0,84 (0,62-1,10)	66	0,93 (0,72-1,18)	118	0,89 (0,73-1,06)
04/08-10/08	59	0,95 (0,72-1,22)	59	0,83 (0,63-1,07)	118	0,89 (0,73-1,06)
11/08-17/08	61	0,98 (0,75-1,26)	79	1,11 (0,88-1,39)	140	1,05 (0,88-1,24)
18/08-24/08	49	0,79 (0,58-1,04)	76	1,07 (0,84-1,34)	125	0,94 (0,78-1,12)
25/08-31/08	58	0,93 (0,71-1,21)	57	0,80 (0,61-1,04)	115	0,86 (0,71-1,04)
01/09-07/09	65	1,05 (0,81-1,33)	65	0,92 (0,71-1,17)	130	0,98 (0,82-1,16)
08/09-14/09	58	0,93 (0,71-1,21)	77	1,09 (0,86-1,36)	135	1,01 (0,85-1,20)
Cumulati	1.026	0,97 (0,91-1,03)	1.129	0,94 (0,88-0,99)	2.155	0,95 (0,91-0,99)
Attesi settimanali	62		71		133	
Attesi periodo	1.057		1.206		2.262	

Figura 2 - Tma media mensile e relativa stima dell'andamento (lowess-linea verde) nei periodi estivi dal 2010 al 2024

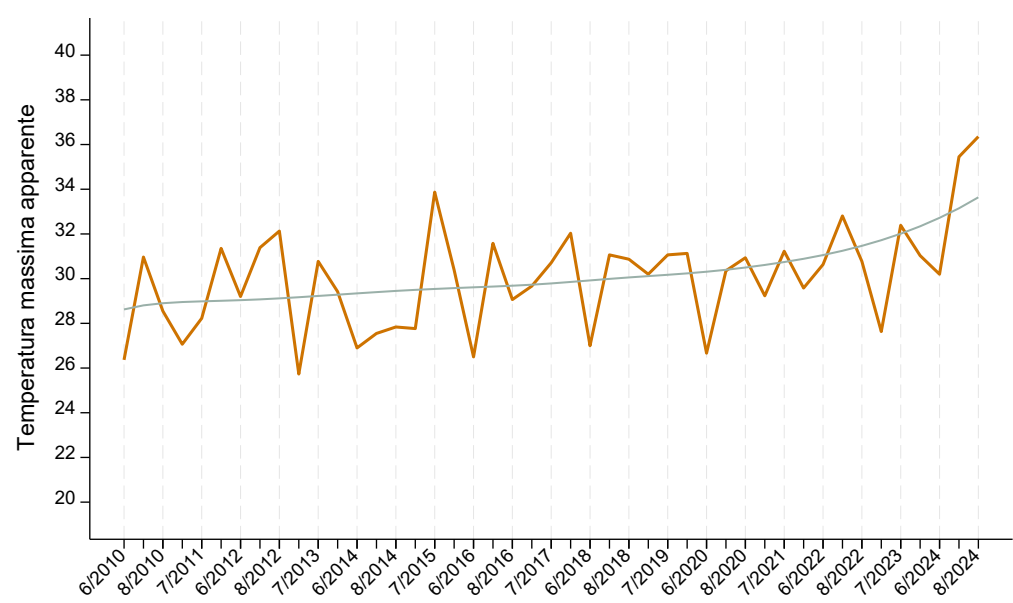


Tabella 3 - Stima da modello lineare dell'incidence rate ratio (IRR) per mortalità naturale in relazione all'aumento dei livelli di Tma (Lag 0-1) e relativi intervalli di confidenza al 95% (IC 95%) e p-value. Provincia Modena, periodi estivi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

Periodo	IRR	IC 95%	p-value
2010-2014	1,015	0,999-1,030	0,052
2015-2019	1,016	0,998-1,033	0,065
2020-2024	1,008	0,993-1,023	0,249

Tabella 4 - Numero di deceduti (N) e tassi grezzi (TG) di mortalità naturale estiva per età, anno e sesso.
Provincia Modena, 2010-2024

Mortalità naturale							
Anno	Classi d'età	Maschi		Femmine		Totale	
		N	TG	N	TG	N	TG
2010	45-74	183	237,5	135	320,2	318	266,7
	75+	457	3.671,6	593	2.635,9	1.050	3.004,8
	Totale	640	715,0	728	1.125,9	1.368	887,3
2011	45-74	184	289,2	134	384,2	318	322,8
	75+	457	2.269,7	636	3.971,0	1.093	3.023,4
	Totale	641	765,2	770	1.512,9	1.411	1.047,8
2012	45-74	203	373,1	143	156,7	346	237,5
	75+	514	3.407,1	728	3.706,0	1.242	3.576,2
	Totale	717	1.031,7	871	785,4	1.588	880,3
2013	45-74	225	710,5	132	144,0	357	289,4
	75+	495	4.074,7	623	3.742,0	1.118	3.882,3
	Totale	720	1.643,3	755	696,9	1.475	969,4
2014	45-74	168	414,8	134	158,5	302	241,6
	75+	474	5.269,6	601	2.971,1	1.075	3.678,6
	Totale	642	1.297,0	735	701,7	1.377	892,7
2015	45-74	176	272,0	123	173,6	299	220,6
	75+	545	3.321,6	643	3.148,4	1.188	3.225,5
	Totale	721	889,0	766	839,3	1.487	862,7
2016	45-74	181	308,3	120	174,6	301	236,2
	75+	510	3.487,7	639	4.085,9	1.149	3.796,8
	Totale	691	942,4	759	899,8	1.450	919,6
2017	45-74	165	241,9	113	247,4	278	244,1
	75+	523	3.392,8	638	2.852,0	1.161	3.072,6
	Totale	688	822,7	751	1.103,7	1.439	948,7
2018	45-74	175	202,4	106	162,0	281	185,0
	75+	481	6.053,4	685	2.330,2	1.166	3.122,5
	Totale	656	694,9	791	834,2	1.447	764,7
2019	45-74	160	485,6	112	169,7	272	274,9
	75+	518	3.239,5	690	2.352,7	1.208	2.665,6
	Totale	678	1.385,4	802	841,2	1.480	1.025,8
2020	45-74	172	175,2	113	177,2	285	176,0
	75+	511	2.274,0	699	2.572,9	1.210	2.437,6
	Totale	683	566,2	812	893,0	1.495	706,6
2021	45-74	187	189,3	131	129,7	318	159,2
	75+	490	2.986,3	727	2.944,9	1.217	2.961,4
	Totale	677	587,8	858	682,6	1.535	637,3
2022	45-74	174	401,7	134	176,6	308	258,4
	75+	579	3.929,2	753	2.650,7	1.332	3.087,3
	Totale	753	1.297,1	887	850,6	1.640	1.010,3
2023	45-74	170	391,6	125	194,4	295	273,9
	75+	559	3.216,2	693	2.966,0	1.252	3.072,7
	Totale	729	1.199,2	818	933,2	1.547	1.042,1
2024	45-74	149	209,9	121	131,2	270	165,4
	75+	517	2.745,9	727	2.995,0	1.244	2.886,2
	Totale	666	741,4	848	727,8	1.514	733,7

Tabella 5 - Stima da modelli univariati lineari dell'incidence rate ratio (IRR) per mortalità naturale in relazione a: Temperatura massima apparente (Tma, lag 0-1), classe di età, sesso, PM10, Ozono (O3), casi di Covid-19 e giorni festivi. Intervalli di confidenza al 95% (IC 95%) e p-value. Provincia Modena, periodi estivi 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024

Mortalità naturale			
Periodo	IRR	IC 95%	p-value
Tma			
2010-2014	1,015	0,999-1,030	0,052
2015-2019	1,016	0,998-1,033	0,065
2020-2024	1,008	0,993-1,023	0,249
Classe d'età 75+ (rc <75)			
2010-2014	11,933	11,293-12,607	0,000
2015-2019	14,157	13,361-14,998	0,000
2020-2024	14,590	13,785-15,440	0,000
Sesso F (rc M)			
2010-2014	0,988	0,943-1,035	0,621
2015-2019	0,985	0,940-1,031	0,518
2020-2024	1,069	1,022-1,117	0,003
PM10			
2010-2014	1,006	1,003-1,009	0,000
2015-2019	1,004	1,001-1,007	0,010
2020-2024	1,004	1,001-1,006	0,005
O3			
2010-2014	1,001	1,000-1,002	0,007
2015-2019	1,001	0,999-1,002	0,071
2020-2024	1,001	0,999-1,002	0,086
Casi Covid-19*			
2020-2024	2,367	0,546-10,235	0,001
Festività (rc gg. feriali)			
2010-2014	0,989	0,928-1,053	0,725
2015-2019	0,935	0,877-0,997	0,04
2020-2024	0,914	0,858-0,974	0,005

** Il coefficiente stimato dal modello originario è stato moltiplicato per 100 esprimendo l'incremento di rischio ogni 100 casi giornalieri in più anziché per singolo caso.*

Figura 3 – Andamento giornaliero del numero di decessi per tutte le cause di morte, dei decessi per COVID-19, dei decessi attesi per tutte le cause di morte (decessi medi periodo 2017-2019) e dei casi positivi al COVID-19. Provincia di Modena. Periodo 2020-2022

