

Capitolo 9

Cambiamento climatico, alte temperature e incidenti sul lavoro in Italia: una prospettiva di genere*

Edoardo Santoni, Margherita Scarlato

SOMMARIO

1. Introduzione – 2. Recenti contributi scientifici su alte temperature e incidenti sul lavoro – 3. Dati e metodologia – 3.1. Dati - 3.2. Metodologia – 4. Statistiche descrittive – 5. Risultati – 6. Conclusioni

1. Introduzione

Questo articolo analizza empiricamente la relazione tra elevate temperature e incidenti sul lavoro in Italia in una prospettiva di genere. Le motivazioni del nostro studio vanno ricondotte a diversi filoni della letteratura ed evidenze empiriche.

Il punto di partenza sono gli studi sui divari di genere nel mercato del lavoro italiano, da cui emerge che, negli ultimi decenni, il divario complessivo si è ridotto, pur rimanendo più elevato rispetto alle altre principali economie europee (Carta *et al.*, 2023). Nella letteratura sul caso italiano, le dimensioni maggiormente studiate del divario delle donne rispetto agli uomini nel mercato del lavoro sono il livello di istruzione e la transizione scuola-lavoro, la probabilità di occupazione e il salario, la progressione di carriera, l'impatto della maternità su scelte e risultati, e, più di recente, le politiche salariali delle imprese. Tuttavia, un aspetto del divario di genere sul mercato del lavoro che ancora appare non sufficientemente approfondito riguarda le condizioni di lavoro, e in particolare la sicurezza sul lavoro. Questa dimensione, seppure poco indagata, è cruciale poiché incide in modo significativo sulla qualità dell'impiego. Infatti, secondo i dati Eurostat

* Gli Autori desiderano ringraziare i colleghi Silvia Ciucciiovino, Maria Giovannone, Francesco Giuli, Alessio Ferraro, Elena Paglialunga e, inoltre, la dott.ssa Silvia D'Amario (INAIL) e la dott.ssa Adelina Brusco (INAIL), per i preziosi suggerimenti ricevuti durante i vari passaggi della costruzione del dataset INAIL-GAMD.

disponibili più recenti, nel 2021 nell'Unione Europea gli incidenti sul lavoro a causa dei quali i lavoratori si sono dovuti assentare per 4 giorni o più sono stati 2,17 milioni (Eurostat 2024), un dato estremamente alto¹.

L'analisi della disuguaglianza di genere nel mercato del lavoro deve quindi considerare che miglioramenti sul piano della occupabilità e retribuzione delle donne potrebbero mascherare un peggioramento nelle cosiddette *amenities* (benefici non monetari) dal punto di vista della salute e sicurezza sul lavoro (Razzolini *et al.* 2014). In particolare, una riduzione del divario salariale non implica necessariamente un progresso della posizione delle donne nel mercato del lavoro se non è accompagnata da un miglioramento sul fronte della salute e sicurezza dell'ambiente di lavoro. Nel caso dell'Italia, Razzolini *et al.* (2014), ad esempio, hanno mostrato che la riduzione del *wage gap* tra uomini e donne nel periodo 1994-2002 è andata di pari passo con l'aumento relativo del rischio di infortunio sul lavoro per le donne con basse qualifiche a causa di una riallocazione in mansioni più rischiose precedentemente occupate dagli uomini.

Tener conto di questa dimensione del divario di genere è importante ancora di più guardando ai possibili scenari futuri, se consideriamo l'andamento degli incidenti sul lavoro dovuti al cambiamento climatico, in particolare all'aumento della temperatura ambientale. Infatti, la crescente probabilità del verificarsi di temperature elevate sta peggiorando sempre di più le condizioni di lavoro, aggravando il rischio di infortuni collegati allo stress termico (Eurofond 2024; ILO 2024a). Il cambiamento delle condizioni di lavoro è stato particolarmente rapido in Europa, dove dal 2000 al 2020 la quota di incidenti sul lavoro legati alle elevate temperature è aumentata del 16,4% e l'esposizione dei lavoratori al caldo eccessivo, all'aperto e in ambienti chiusi, è aumentata del 17,3%, un incremento quasi doppio rispetto a quello medio globale (ILO 2024b).

Questo fenomeno non solo incide sulla salute e produttività dei lavoratori e sui costi sanitari, ma sta anche approfondendo le disparità dei lavoratori in relazione alla diversa vulnerabilità allo stress termico sulla base di genere, età, stato socioeconomico, e alla diversa esposizione a tale rischio per tipo di occupazione e posizione geografica. L'impatto di questi nuovi rischi professionali sulla disuguaglianza nel mercato del lavoro, e in particolare sulla disuguaglianza di genere, è un tema di ricerca che nei prossimi anni diventerà sempre più importante a causa dell'aumento delle tempera-

¹ In Italia, nel 2023 le denunce di infortunio sono state 590.000, di cui 1.147 con esito mortale (INAILa 2024).

ture e della maggiore frequenza di eventi estremi, da un lato, e del progressivo aumento della presenza femminile in occupazioni tipicamente maschili, più esposte al rischio di incidenti dovuti ad alta temperatura, dall'altro. Tuttavia, questo tema al momento è stato poco indagato nella letteratura economica internazionale e nazionale.

L'obiettivo del nostro studio è contribuire a colmare questa lacuna stimando la relazione causale tra elevate temperature e incidenti sul lavoro in Italia, a livello provinciale e giornaliero, per il periodo 2014-2022, e fornendo un'analisi dell'impatto sulle diverse tipologie e severità degli incidenti, per settore produttivo ed età degli individui occupati, in una prospettiva di genere. Le stime vengono anche ripetute per sottoperiodi al fine di evidenziare l'andamento della relazione nel corso del tempo, per uomini e donne, e verificare se il fenomeno è stato mitigato dall'adattamento al caldo estremo attraverso l'evoluzione di comportamenti e pratiche aziendali o se invece si è acuito. La nostra analisi fornisce un contributo innovativo anche sotto l'aspetto metodologico poiché, come verrà spiegato in seguito, utilizziamo un indicatore dello stress da calore più complesso ed efficace rispetto alla letteratura economica prevalente.

Il caso dell'Italia è di particolare interesse sia per l'eterogeneità delle caratteristiche climatiche tra Nord al Sud (Olper *et al.* 2021), che si sommano alla variabilità degli indicatori di sviluppo economico e reddito, sia perché l'economia è caratterizzata da una presenza massiccia di piccole imprese specializzate in produzioni tradizionali (ad esempio, l'abbigliamento), dove è particolarmente elevata la vulnerabilità dei lavoratori allo stress termico, così come l'incidenza di donne occupate (ILO 2024b, INAIL 2024b). La crescente segmentazione del mercato del lavoro italiano tra lavoratori con contratto permanente e a termine è un'altra caratteristica del mercato del lavoro italiano che rende interessante questa analisi: i lavoratori a tempo determinato sono infatti quelli con maggiore probabilità di incorrere in un incidente sul lavoro sia per la loro minore esperienza nell'impresa, sia perché il datore di lavoro ha minori incentivi ad investire sulla loro sicurezza e tende ad assegnare mansioni più pericolose ai lavoratori temporanei con minor potere contrattuale (Picchio e van Ours 2017). Tutte le dimensioni del dualismo del mercato del lavoro in Italia sono quindi influenzate dal cambiamento climatico e possono essere amplificate nel tempo, in assenza di correttivi.

Per condurre l'analisi sulla relazione tra alte temperature e incidenti sul lavoro, è necessario costruire due dataset tra i quali attuare un *match*: un dataset sugli incidenti sul lavoro, a livello locale e su base giornaliera, e

un dataset sulla temperatura che i lavoratori hanno sperimentato in un particolare giorno e luogo. In questo studio, ci avvaliamo dei dati amministrativi sull'universo degli incidenti sul lavoro raccolti dall'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Incidenti sul Lavoro (INAIL) considerando il livello provinciale (NUTS3) e il periodo 2014-2022. Per quanto riguarda il clima, utilizziamo il dataset *Gridded Agro-Meteorological Database* (GAMD), fornito dalla Commissione Europea, che contiene le grandezze rilevate dalle stazioni metereologiche a livello granulare, su base giornaliera. A differenza dei contributi forniti dalla letteratura economica, in cui è consolidato l'utilizzo della temperatura dell'aria a 2 metri sopra il suolo come variabile metereologica, nella nostra analisi misuriamo il cosiddetto *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT), un indicatore di temperatura più complesso diffuso nelle indagini sulla sicurezza dell'ambiente di lavoro, sul clima e sulla salute nell'attività sportiva. Il WBGT incorpora temperatura dell'aria, umidità, calore radiante e velocità dell'aria ed è quindi una misura più forte dello stress termico rispetto al semplice indice di temperatura dell'ambiente (Lemke e Kjellstrom 2012). Inoltre, il WBGT è l'indice sintetico di rischio adottato dalla normativa UNI EN ISO 7243: 2017 sulla valutazione dello stress da calore a cui i lavoratori sono esposti in ambienti occupazionali caldi (ISO 2017), e ci è sembrato quindi un indice più accurato e coerente con l'analisi dell'impatto delle alte temperature sugli infortuni sul lavoro.

Seguendo la metodologia proposta da Ireland *et al.* (2023) e adattando al nostro caso quella di Filomena e Picchio (2024), identifichiamo l'impatto causale della temperatura sugli incidenti considerando le deviazioni della temperatura (media) giornaliera registrata nel capoluogo di provincia, rispetto alla media di tale temperatura a livello di provincia-mese.

L'analisi mostra che il rischio di incidenti sul lavoro aumenta in modo significativo in ambienti umidi e caldi. L'impatto positivo delle alte temperature è presente non solo per gli uomini, come atteso dato il loro impiego prevalente nelle occupazioni *outdoor*, manuali e che richiedono un maggiore sforzo fisico, ma anche per le donne, in particolare nel settore dei servizi. Infine, nel corso del tempo il rischio di incidenti dovuti a stress termico è aumentato ed ha coinvolto in misura crescente la forza lavoro femminile.

Per quanto riguarda le implicazioni di *policy*, questi risultati mostrano che, a fronte dell'intensificarsi di incidenti e malattie legate al caldo eccessivo, l'Italia deve rafforzare le misure di tutela dei lavoratori nella legislazione sulla salute e sicurezza degli ambienti di lavoro all'interno della strategia più ampia di garantire i diritti ad una *just transition* e le imprese de-

vono adottare nuovi dispositivi di protezione e riorganizzare i tempi e le modalità del lavoro tenendo conto dell'impatto delle alte temperature sulla salute. Con riferimento specifico alla condizione delle donne nel mercato del lavoro, l'analisi suggerisce che, in assenza di correttivi, il cambiamento climatico può aggravare i divari di genere in Italia attraverso il suo impatto sulla sicurezza sul lavoro.

L'articolo si svolge nel modo che segue: la Sezione 2 sintetizza la letteratura economica di riferimento; la Sezione 3 illustra il dataset e la metodologia; la Sezione 4 presenta un'analisi descrittiva dei dati mentre la Sezione 5 raccoglie i risultati dell'analisi econometrica; la Sezione 6 conclude e suggerisce le implicazioni di politica economica; infine, nella Sezione 7 è riportata l'Appendice con figure e tabelle aggiuntive.

2. Recenti contributi scientifici su alte temperature e incidenti sul lavoro

In questa sezione, richiamiamo brevemente la letteratura economica internazionale di riferimento su alte temperature e incidenti sul lavoro e le analisi che riguardano il caso dell'Italia.

Numerosi studi scientifici hanno documentato che il cambiamento climatico, e in particolare le elevate temperature, hanno un impatto negativo sulla salute dei lavoratori (Guo *et al.* 2014). Una caratteristica fondamentale dell'ambiente di lavoro è infatti la combinazione di temperatura dell'aria e umidità che determina l'equilibrio dell'organismo umano: se siamo poco distratti con temperature di poco al di sopra o al di sotto dei 18 °C e i 22 °C (Heal e Park 2016), la performance umana cala di fronte ad uno stress termico nell'ambiente di lavoro. In particolare, il calore estremo può influenzare la concentrazione e causare affaticamento mentale, danni psicologici, disidratazione, peggioramento delle malattie cardiovascolari, respiratorie e neurologiche, se il corpo non è in grado di mantenere la temperatura abituale (Morrisey *et al.* 2021; Park 2022; Seppanen *et al.* 2006). I danni alla salute possono coinvolgere sia coloro che lavorano all'esterno, come nel caso dell'agricoltura e delle costruzioni, sia i lavoratori occupati nelle fabbriche, magazzini e uffici e i danni possono avvenire anche in tempi diversi rispetto al periodo in cui si verificano le ondate di calore. Il problema è dunque di vasta portata e strutturale.

La letteratura economica ha analizzato ampiamente e da lungo tempo come lo stress da calore, peggiorando le condizioni fisiche e psicologiche

dei lavoratori, conduce ad una riduzione della loro produttività², ad un rallentamento dell'accumulazione di capitale umano e, a livello macroeconomico, ad una contrazione della crescita della produzione nel breve e lungo termine (Burke *et al.* 2015; Heal e Park 2014).

L'analisi economica dell'impatto delle elevate temperature sugli infortuni sul lavoro è invece più recente e meno estesa, ma rappresenta un filone di letteratura emergente di grande rilevanza scientifica in quanto può indirizzare le misure di politica economica volte a garantire l'adattamento dell'organizzazione del lavoro e a mitigare gli effetti climatici avversi.

Considerando la letteratura internazionale, Dillender (2021) fornisce una delle prime evidenze sugli effetti della temperatura sulla salute dei lavoratori occupati nelle mansioni più esposte alle variazioni meteorologiche usando dati per il Texas nel periodo 2006-2014 e mostra che, nei giorni in cui si manifesta il caldo estremo, gli infortuni sul lavoro aumentano in modo significativo. Si noti che questo studio mostra che i lavoratori impiegati in occupazioni più esposte a stress termico sono gli uomini e i lavoratori con più bassa istruzione. Park *et al.* (2021) usano dati amministrativi sull'universo degli incidenti sul lavoro in California nel periodo 2001-2018 ed esplorano la relazione tra alte temperature e sicurezza sul lavoro e le implicazioni per la disuguaglianza nel mercato del lavoro. Lo studio mostra che il rischio di infortunio sul lavoro legato alle alte temperature è più elevato per gli uomini rispetto alle donne, per i giovani e per i lavoratori che guadagnano redditi più bassi, inasprendo la disuguaglianza dovuta ai divari salariali. Ireland *et al.* (2023), infine, esplora l'effetto causale della temperatura sugli incidenti sul lavoro usando un grande dataset per lo stato Victoria in Australia nel periodo 1985-2020, mostrando un aggravarsi della relazione nel periodo 2015-2020. Diversamente da Park *et al.* (2021), emerge anche che, nelle occupazioni manuali, donne, lavoratori più anziani e lavoratori con retribuzione media più alta sono maggiormente soggetti al rischio di incidenti sul lavoro dovuti a stress da calore. Inoltre, con riferimento alle caratteristiche delle imprese, l'effetto è maggiore nelle imprese di dimensioni piccole e medie, probabilmente perché meno sindacalizzate e tutelate rispetto ai rischi legati alle alte temperature. Le differenze nei risultati presentati dalla letteratura internazionale riflettono non solo la varietà di dataset e metodologie utilizzati, ma anche e soprattutto la diversa capacità delle istituzioni e normative nazionali e locali di mitigare l'impatto negativo

² Sull'impatto della temperatura sulla produttività del lavoro in Italia nel periodo 1980-2014, si veda Olper *et al.* (2021).

delle alte temperature sulla sicurezza sul lavoro.

Per quanto riguarda la letteratura sul caso italiano, Marinaccio *et al.* (2019) stimano l'impatto delle temperature sugli incidenti sul lavoro per il periodo 2006-2010 mentre Filomena e Picchio (2024) estendono l'analisi al periodo 2008-2021 utilizzando metodi di inferenza causale. L'ultimo studio, in particolare, conferma l'impatto positivo delle alte temperature sugli incidenti, e la maggiore esposizione degli uomini rispetto alle donne, spiegata dal fatto che con maggiore frequenza gli uomini sono impiegati in occupazioni all'esterno, più esposte alle variazioni della temperatura e alle ondate di calore, come le costruzioni e i trasporti, oppure in occupazioni nel settore dell'industria più impegnative dal punto di vista dello sforzo fisico, anch'esse più esposte al rischio di stress da calore. Tuttavia, emerge anche un effetto significativo delle alte temperature sugli incidenti sul lavoro per le donne nel settore dei servizi, dove la presenza femminile è maggiormente marcata.

A differenza della letteratura esistente sul caso italiano, l'analisi che segue stima l'effetto delle alte temperature sugli incidenti sul lavoro utilizzando come variabile climatica il WBGT, un indice più completo rispetto alle variabili meteorologiche usualmente impiegate e più coerente con la normativa di riferimento. Inoltre, l'analisi mostra separatamente le stime per il campione degli uomini e delle donne al fine di evidenziare e discutere le differenze di genere per gli incidenti da stress dovuto a temperature elevate.

3. Dati e metodologia

3.1. Dati

Per condurre la nostra analisi, ci avvaliamo dei dati amministrativi sull'universo degli incidenti sul lavoro raccolti dall'INAIL. Al riguardo, la disciplina definisce come incidente ogni lesione originata, in occasione di lavoro, da causa violenta che determini la morte della persona o ne menomi parzialmente o totalmente la capacità lavorativa (D.P.R. n.1124/1965). Rientra negli incidenti sul lavoro il cosiddetto "incidente in itinere", cioè quello occorso al lavoratore nel tragitto compiuto per recarsi o tornare dal luogo di lavoro a casa. A norma di legge e a fini assicurativi, i datori di lavoro devono segnalare all'INAIL gli incidenti sul lavoro, sia quelli avvenuti sul luogo di lavoro che in itinere, che comportano lesioni non guaribili entro tre giorni. A fini statistici, anche gli incidenti che richiedono un'assenza di

un giorno devono essere comunicati all'INAIL (Legge 19/2017). Di conseguenza, il dataset INAIL rende disponibili i dati su tutti gli incidenti sul lavoro³. Indipendentemente dal tempo trascorso tra l'incidente e la scadenza per la notifica, i datori di lavoro devono dichiarare la data dell'incidente. Tale informazione ci permette di osservare il numero di incidenti a livello provinciale e giornaliero per il periodo che va dal 2014 al 2022.

Una volta acquisiti i dati, abbiamo un totale 5,7 milioni di eventi registrati con una media di 637.803 denunce di incidenti all'anno. L'INAIL effettua anche una propria valutazione circa l'indennizzabilità dell'incidente verificando, ad esempio, l'occasione di lavoro, l'obbligo di comunicazione a fini assicurativi o statistici e la presenza delle condizioni per la tutela assicurativa. L'esito positivo di questa valutazione è un'informazione fornita dall'INAIL e la utilizziamo per attuare un primo "taglio" al dataset che produciamo, escludendo la sottopopolazione di incidenti non indennizzabili⁴. In questo modo, riduciamo del 30% il numero di osservazioni, arrivando a circa 400.000 eventi all'anno.

In seguito, ci focalizziamo sugli eventi che riguardano i soggetti con almeno 16 anni e, seguendo Filomena e Picchio (2024), escludiamo le date del 25/04, 01/05, 02/06, 01/11, 08/12 e il periodo dal 23/12 al 06/01 e dall'08/08 al 22/08. In questi giorni festivi, il tasso di denuncia di infortunio diminuisce artificialmente poiché il numero di persone effettivamente al lavoro è ridotto e maggiormente concentrato in settori specifici come il settore del turismo. Inoltre, eliminiamo le osservazioni per le quali il settore economico del datore di lavoro interessato non è presente. Dopo queste modifiche, arriviamo a circa 3 milioni di osservazioni presenti nel nostro dataset.

Considerando le caratteristiche collegate agli incidenti, il dataset INAIL rende disponibili le informazioni su vari aspetti: le caratteristiche del lavoratore (identificativo anonimo del lavoratore, età, sesso, nazionalità); le caratteristiche del datore di lavoro (identificativo del datore, settore economico); le caratteristiche dell'incidente (data e comune dell'evento, gravità dell'incidente inclusi i casi di decesso, incidente sul lavoro o in itinere, incidente con o senza mezzi di trasporto, grado di invalidità, numero di giorni indennizzati).

Per quanto riguarda le variabili metereologiche, costruiamo un dataset usando i dati resi disponibili su base giornaliera dal progetto GAMD del

³ Il sito da cui si può accedere a tali dati è <<https://dati.inail.it/portale/it.html>>.

⁴ In particolare, escludiamo gli incidenti per i quali c'è il solo obbligo di denuncia a fini statistici, in quanto non coprono l'intero periodo di valutazione.

Joint Research Center della Commissione Europea (Toreti 2014)⁵. I dati GAMD sono forniti su una griglia regolare di circa 25×25 km e coprono tutti i comuni per i quali sono disponibili i dati sugli incidenti. In particolare, il GAMD fornisce informazioni sulle temperature medie, massime e minime (gradi Celsius, °C), la velocità del vento (m/s), la precipitazione totale (mm di pioggia) e la pressione del vapore.

Una volta costruiti i due dataset, abbiamo incrociato i dati giornalieri sugli incidenti a livello provinciale e i dati climatici giornalieri riferiti al capoluogo di ogni singola provincia. Seppure le singole province abbiano un clima eterogeneo all'interno del loro territorio, consideriamo che la maggior parte delle persone e delle attività economiche tendono a concentrarsi intorno ai singoli capoluoghi di provincia. Ovviamente, poiché il nostro obiettivo è misurare il legame tra temperature e incidenti, la nostra procedura rimane pur sempre un'approssimazione che contiene un certo errore di misurazione. Al fine di limitare tale problematica, consideriamo le deviazioni della temperatura (media e massima) giornaliera registrata nel capoluogo di provincia, dalla media della temperatura a livello di provincia-mese. Di conseguenza, le analisi sono state condotte a livello di provincia-mese-giorno, una procedura che ha portato le osservazioni a poco meno di 300.000.

Di seguito, il dataset completo che utilizziamo verrà denominato INAIL-GAMD, dalle due fonti di dati che abbiamo usato per costruirlo.

Infine, costruiamo l'indicatore climatico WBGT, che rappresenta un'innovazione rispetto alla semplice variabile della temperatura ambientale di uso consolidato nella letteratura in ambito economico. Il WBGT ha molte applicazioni ed è ampiamente diffuso in diversi campi di ricerca, come la salute occupazionale e pubblica, lo sport e l'esercizio fisico, il cambiamento climatico (Heo *et al.* 2019; Kjellstrom *et al.* 2009; Lemke e Kjellstrom 2012; Lucas *et al.* 2014; Racinais *et al.* 2015). Questa letteratura fornisce diverse procedure per calcolare tale indicatore ma, sulla base dei dati a nostra disposizione, seguiamo la procedura indicata dall'*American College of Sports Medicine* (1987) che continua ad essere una delle più diffuse nonostante la presenza di una certa dose di errore di misura (Chen *et al.* 2019; Grundstein e Cooper 2018; Kong e Huber 2021). In particolare, la formula che utilizziamo per calcolare il WBGT è:

⁵ Si può accedere ai dati al link <<https://agri4cast.jrc.ec.europa.eu/DataPortal/Index.aspx>>.

$$WBGT = 0,567 \times temp. + (0,393 \times pressionevapore) + 3,94 \tag{1}$$

Nell’equazione (1), *temp* è la temperatura giornaliera ottenuta dalla media della temperatura misurata a 2 metri di altezza (c.d. *dry bulb temperature*) mentre *pressionevapore* è la pressione del vapore acqueo giornaliera misurata in hPa.

Come già detto, il WBGT è un indice utilizzato per valutare lo stress termico a cui un lavoratore è esposto nella giornata lavorativa in condizioni di calore estremo, tenendo conto dello sforzo compiuto. La letteratura internazionale ha individuato delle categorie standard di rischio associate al livello del WBGT (ISO 2017; Brimicombe *et al.* 2023; Jacklitsch *et al.* 2016), che noi applichiamo nella nostra analisi. Tali categorie sono riportate nella Tabella 1.

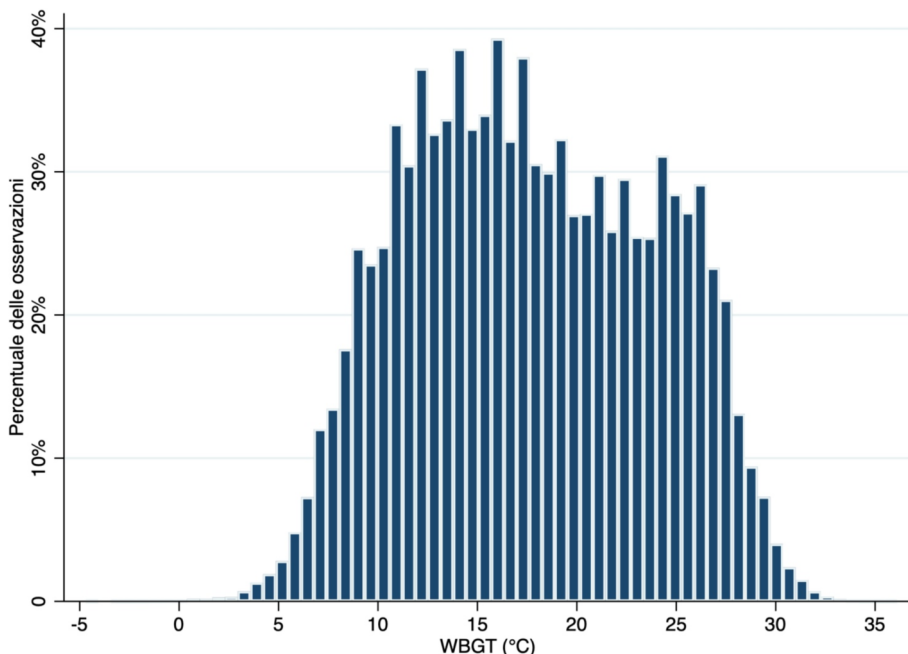
Tabella 1. *Categorie di stress termico in ambiente di lavoro*

WBGT (°C)	Carico di lavoro massimo raccomandato	Cicli approssimativi di lavoro/riposo (minuti)	Categoria
>33	Riposo	Riposo	5
30–33	Leggero	15/45	4
28–30	Moderato	30/30	3
25–28	Pesante	30/15	2
23–25	Molto pesante	45/15	1
<23	Nessuna raccomandazione	Nessuna raccomandazione	0

Fonte: Brimicombe *et al.* (2023)

Per rendere fattibile l’analisi e darle potenza statistica, sulla base delle osservazioni di cui disponiamo, accorpriamo le classi 3-4-5. La motivazione di questa scelta si può comprendere osservando il grafico riportato nella Figura 1, da cui emerge che circa il 95% delle osservazioni si trova al di sotto dei 28 gradi.

Figura 1. Percentuale delle osservazioni per livelli dell'indice WBGT



Fonte: elaborazione degli autori sui dati INAIL-GAMD

3.2. Metodologia

La nostra metodologia segue quella utilizzata negli articoli di Ireland *et al.* (2023) e Filomena e Picchio (2024), i quali studiano l'impatto della temperatura misurata a 2 metri di altezza sugli infortuni sul lavoro, in Australia e in Italia rispettivamente. Tale metodo si basa sulla seguente equazione:

$$y_{it} = f(temp_{it}; \beta) + \alpha x_{it} + \delta_t + \gamma_{im} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

dove i e t indicano, rispettivamente, la provincia (107 in totale) e la data del periodo analizzato. La variabile y_{it} rappresenta il numero di incidenti sul lavoro, mentre $f(temp_{it}; \beta)$ è una funzione che ci permette di osservare l'effetto non lineare dell'indice WBGT sugli incidenti sul lavoro, suddividendo i valori dell'indice in intervalli che corrispondono alle categorie di rischio “<23 °C”, “(23-25) °C”, “(25-28) °C”, “>28 °C”. Inoltre, x_{it} è un vettore di altre variabili meteorologiche, come la quantità di precipitazioni e la velocità del vento. Gli effetti fissi δ_t sono inclusi per controllare le va-

riazioni stagionali, mentre rappresenta gli effetti fissi per mese-anno e provincia, inclusi per tenere conto delle differenze strutturali nei tassi di infortunio tra province e cicli economici locali, ad esempio per via dell'andamento stagionale della temperatura e dell'offerta di lavoro (e della sua composizione).

Il controllo per gli effetti fissi di provincia-anno-mese ci permette di identificare l'effetto causale della temperatura sugli infortuni tramite la variazione esogena della temperatura giornaliera dalla sua media a livello di provincia-mese. In questo modo possiamo arginare il potenziale errore di misura nella relazione tra la temperatura (del capoluogo di provincia) e l'incidente che potrebbe accadere in ogni luogo della provincia. Infatti, mentre la temperatura del capoluogo potrebbe non essere collegata all'incidente avvenuto nella sua provincia (perché la temperatura del capoluogo potrebbe essere diversa da quella del luogo dell'incidente), è molto plausibile che la deviazione giornaliera della temperatura del capoluogo dalla sua media mensile sia più uniformemente distribuita sul territorio e che quindi il suo legame con l'incidente avvenuto sul territorio provinciale sia misurato in maniera più precisa (Filomena e Picchio 2024; Dillender 2021)⁶. Per tenere conto di questa forte correlazione spaziale di eventi climatici, gli *standard error* saranno clusterizzati a livello provinciale.

Infine, le nostre stime sono svolte su diverse configurazioni dell'*outcome* (incidenti per settore di attività economica, per età dei lavoratori, per severità) e considerando l'evoluzione dell'effetto nel tempo. Tutto ciò, sempre compiendo stime separate per genere.

4. Statistiche descrittive

In Italia ci sono state circa 637.000 denunce di incidenti sul lavoro in media all'anno per il periodo di analisi. Di queste, il 37% ha riguardato le donne, e si passa al 10% se si guarda alle denunce di incidenti fatali, mentre arriviamo a circa 1.300 denunce all'anno includendo anche gli uomini.

Considerando la distribuzione per età delle denunce di incidente, circa il 60% riguarda la fascia di età 30-55 e il restante 40% è diviso equamente tra la fascia di età 15-29 e over 55. Invece, gli esiti mortali per età vedono una distribuzione spostata verso le fasce più anziane, con il 50% delle denunce per la fascia mediana e il 40% per gli over 55. Per quanto riguarda la

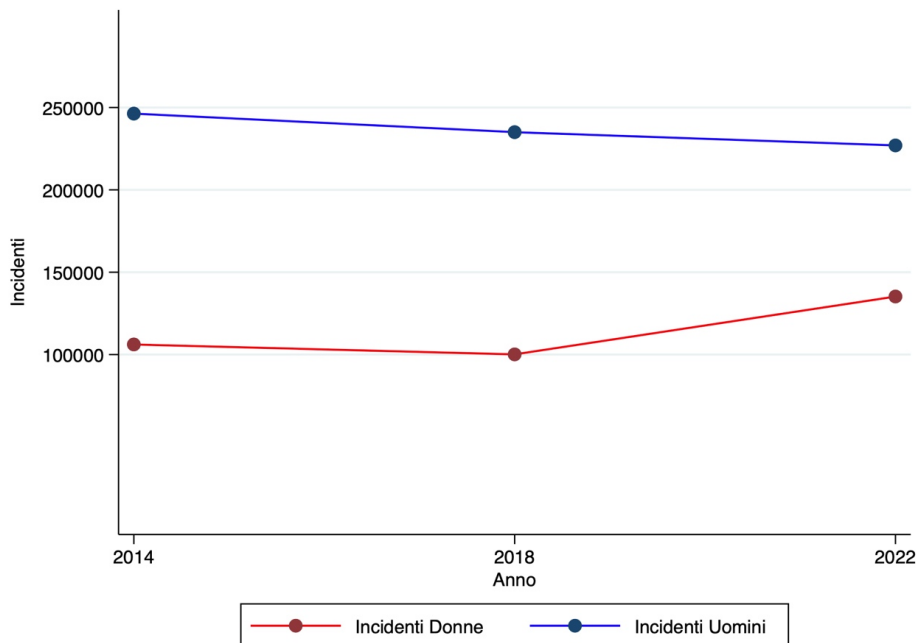
⁶ Sulla esogeneità della variazione giornaliera, si veda la Figura A.1 in Appendice.

distribuzione settoriale (per le osservazioni a cui possiamo associare i codici ATECO), le denunce provengono per il 60% dal settore dei servizi, il 32% dal settore dell'industria, e per la quota restante dall'agricoltura. Le denunce per esiti mortali riguardano per il 38% l'industria, per il 48% i servizi e per la parte restante l'agricoltura. Come si evince da queste percentuali, la distribuzione degli incidenti per settore rispecchia le quote di occupazione registrate nelle diverse branche dell'economia italiana.

Passando al dato che utilizzeremo nelle analisi successive (come descritto nella sezione 2.1), e quindi in particolare analizzando solo i casi che l'INAIL ha ritenuto in linea con i parametri legislativi e quelli per cui abbiamo il codice ATECO, si passa a circa 337.000 incidenti sul lavoro accertati in media all'anno. Di questi, il 32% riguarda le donne. Per gli esiti mortali, arriviamo a circa 700 incidenti mortali all'anno, in media, di cui circa il 9% riguardanti donne. La distribuzione per età è come prima concentrata sulla fascia di età 30-54 che esprime il 63% degli incidenti. Per gli over 55, si registrano il 21% degli incidenti e il restante riguarda i più giovani. La distribuzione degli esiti mortali replica quella vista poco sopra, con il 52% registrato nella fascia di età 30-54, il 36 % per i soggetti over 55 e il 12% per le età comprese tra 15 e 29 anni. Anche la distribuzione settoriale segue quella precedentemente definita, con il 58% dei casi registrati nei servizi, il 34% nell'industria e la restante parte nell'agricoltura. Infine, la distribuzione degli incidenti mortali accertati attribuisce il 45% delle morti al settore dei servizi, il 41% all'industria e il 14% all'agricoltura.

Per quanto riguarda l'andamento nel tempo degli incidenti sul lavoro accertati dall'INAIL, l'evoluzione è rappresentata nella Figura 2. Come si può osservare, il numero degli incidenti è rimasto abbastanza stabile nel periodo d'interesse ma si registra un leggero aumento per le donne alla fine del periodo di osservazione.

Come anticipato nelle sezioni precedenti, l'obiettivo dell'analisi è fornire evidenza empirica sul legame tra alte temperature e incidenti sul lavoro. Poiché il *match* tra i dati sulla temperatura e i dati sugli incidenti avviene a livello provincia-giorno, è utile fornire qualche informazione più specifica sulle statistiche relative agli incidenti aggregati a livello di provincia-giorno.

Figura 2. *Andamento nel tempo degli incidenti sul lavoro (2014-2022)*

Fonte: elaborazione degli autori sui dati Inail, 2014-2022

Nella Tabella 2 riportiamo i dati sugli incidenti giornalieri a livello provinciale. Osserviamo che si verificano circa 10 incidenti al giorno, con circa 3,3 incidenti riferiti alle donne, con una media di giorni indennizzati (quindi giorni di lavoro persi) pari a 30⁷. Se riportiamo il dato a livello mensile, abbiamo circa 85 incidenti al mese per le donne e 178 per gli uomini. La media giornaliera degli incidenti mortali è di 0,02, di cui circa il 10% riguardano le donne. Tale valore arriva a 0,5 se riportiamo i dati a livello mensile, con una proporzione del 10% sul totale, come nel caso precedente.

⁷ Ricordiamo che nel dataset usato per l'analisi e usato per costruire la Tabella 2, consideriamo solo i casi di incidenti sul lavoro accertati dall'INAIL.

Tabella 2. *Media incidenti sul lavoro giornalieri a livello provinciale, per genere*

	Incidenti	Incidenti - Donne	Incidenti - Uomini	Giorni persi- Uomini	Giorni persi - Donne
Incidenti tot.	10,14	3,27	6,88	36,12	30,73
Incidenti mortali	0,0021	0,002	0,019	-	-
N. Osservazioni	299.376				

Fonte: elaborazione degli autori sui dati Inail, 2014-2022

Passando alla Tabella 3, riportiamo la distribuzione per settore e per classe di età della media di incidenti giornalieri a livello provinciale. Come mostra la tabella, si registrano circa 6 incidenti al giorno, in media, nel settore dei servizi, 4 nell'industria e circa 1 nel settore agricolo. Questo dato si traduce, in termini mensili, in circa 20 incidenti nel settore dell'agricoltura, 90 nell'industria e 152 nel settore dei servizi. Invece, la mortalità nei settori dell'industria e dei servizi è sostanzialmente identica, con un valore pari a 0,009, che si traduce in 0,2 morti al mese a livello provinciale. Dalla Tabella 3, si può osservare come la distribuzione degli incidenti per età registri 1,7 incidenti al giorno per la fascia di età 15-29, 6,4 incidenti per la fascia di età 30-54, e 2,1 per gli over 55. A livello mensile, questo significa, rispettivamente, 43, 165 e 54 incidenti al giorno. Il dato provinciale giornaliero rispecchia l'andamento del dato nazionale annuale: le morti sul lavoro sono concentrate tra i soggetti over 30.

Tabella 3.

Media incidenti sul lavoro giornalieri a livello provinciale, per settore e classe di età dei lavoratori

	Agricoltura	Industria	Servizi	15-29	30-54	+55
Incidenti tot.	0,78	3,48	5,88	1,68	6,38	2,09
Incidenti mortali	0,002	0,009	0,009	0,002	0,01	0,008
N. Osservazioni	299.376					

Fonte: elaborazione degli autori sui dati Inail, 2014-2022

Completata questa prima descrizione del fenomeno degli incidenti sul lavoro, procediamo con la descrizione delle variabili legate alla temperatura, riportate nella Tabella 4. Riportiamo sia la temperatura a 2 metri dal suolo che il WBGT in quanto il confronto ci permette di capire la differenza tra i due indicatori. Come si vede già dall'equazione (1), il WBGT non è altro che una trasformazione della variabile temperatura dell'aria e questo è confermato nella tabella che segue. Per la temperatura a 2 metri dal suolo, il valore medio registrato è 15,29 °C, mentre il WBGT ha una media di 17,67

°C. La tabella riporta anche i valori medi delle deviazioni giornaliere dalla media mensile per ciascuna variabile, distinguendo tra deviazioni positive e negative. In particolare, per la temperatura a 2 metri dal suolo, la deviazione positiva è di 1,83 °C, con una deviazione standard di 1,41 °C. La deviazione negativa è di -1,86 °C, con una deviazione standard di 1,51 °C. Per il WBGT, la deviazione giornaliera positiva dalla media mensile è di 1,57, con una deviazione standard di 1,17, mentre la deviazione negativa è di -1,62, con una deviazione standard di 1,30.

In aggiunta, la tabella riporta il numero di giorni in cui la temperatura a 2 metri dal suolo si è discostata di almeno 2 °C dalla media mensile, pari a 113.219 giorni, mentre per il WBGT sono stati registrati 93.712 giorni con una deviazione simile. Infine, è indicato il numero totale di giorni di registrazione, pari a 299.376. Si noti che emerge una chiara correlazione positiva tra le due misure di temperatura. Considerando che il WBGT tiene conto anche di fattori quali l'umidità, si comprende che l'indicatore WBGT può essere scalato verso l'alto rispetto alla temperatura dell'aria.

Tabella 4. *Statistiche descrittive delle variabili meteorologiche*

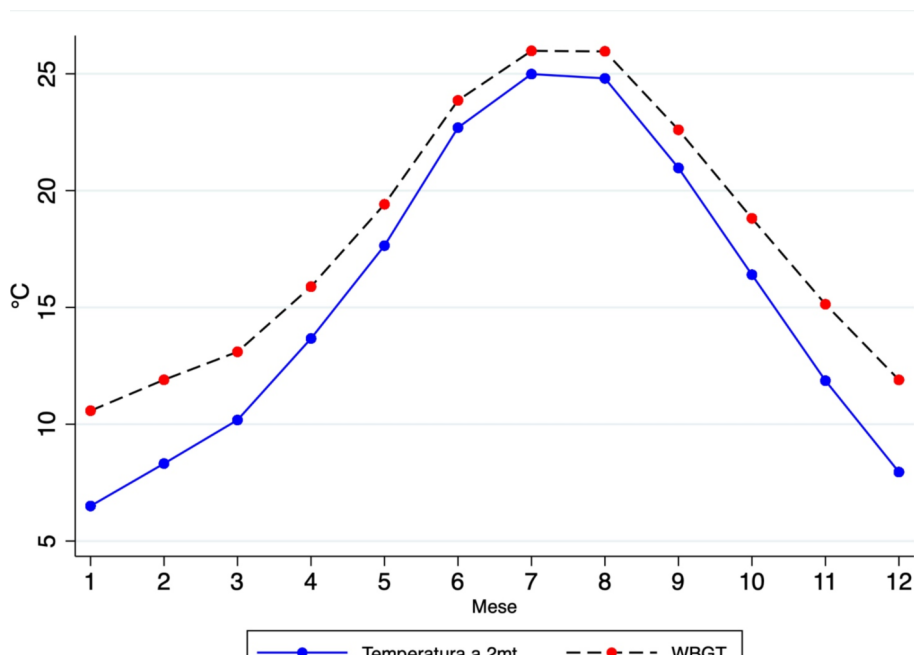
	Media	Deviazione giornaliera dalla media mensile (positiva)	Deviazione giornaliera dalla media mensile (negativa)	Giorni di deviazione dalla media mensile (2 gradi)
Temperatura a 2 mt.	15,29	1,83 (1,41)	-1,86 (1,51)	113.219
WBGT	17,67	1,57 (1,17)	-1,62 (1,30)	92.712
N. Osservazioni	299.376			

Fonte: elaborazione degli autori su dati GAMD, 2014-2022

Rispetto al rapporto tra il WBGT e la semplice temperatura dell'aria, nella Figura 3 riportiamo quanto si registra nei dati in termini di andamento mensile della temperatura giornaliera media, per gli anni che vanno dal 2014 al 2022. Come si può vedere, il WBGT è sempre al di sopra della temperatura a 2 metri dal suolo.

Figura 3.

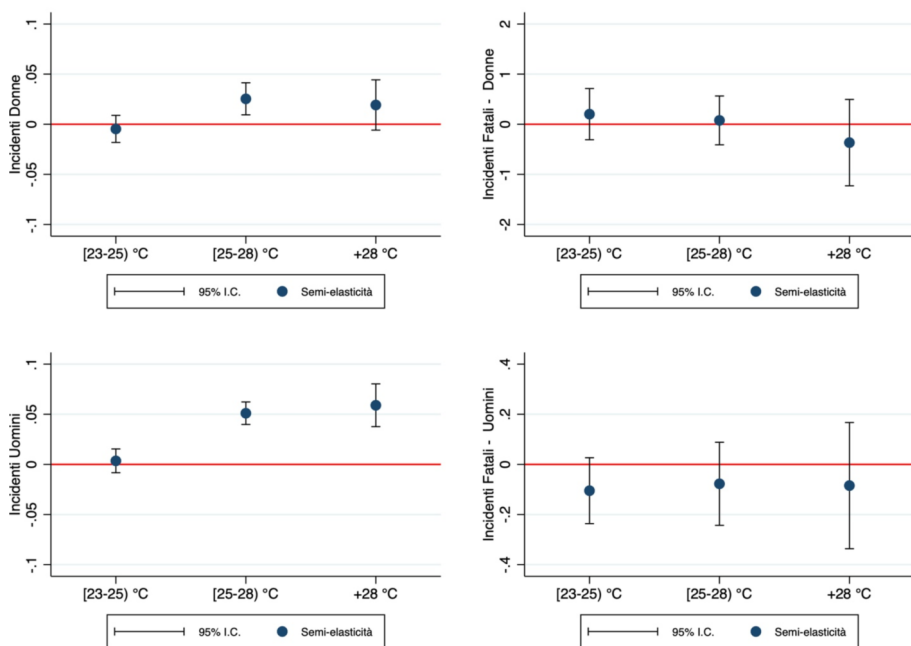
Andamento mensile dell'indice WBGT e della temperatura a 2 metri di altezza (2014-2022)



Fonte: elaborazione degli autori su dati GAMD

5. Risultati

I primi risultati che presentiamo riguardano l'effetto dell'indice WBGT sul totale degli infortuni giornalieri a livello provinciale, suddiviso per genere, e poi ripetiamo la stessa stima per gli incidenti mortali. Tutti i coefficienti riportati in questa sezione vanno considerati sempre rispetto all'effetto di una categoria di temperature di riferimento, individuata dalla categoria che raggruppa le temperature al di sotto dei 23 °C. Quindi i coefficienti vanno interpretati come variazione media del numero di incidenti giornalieri, per ciascuna categoria considerata, rispetto al valore medio dell'effetto quando la temperatura è al di sotto dei 23 °C.

Figura 4. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per genere*

Fonte: elaborazione dati degli autori sui dati INAIL-GAMD.

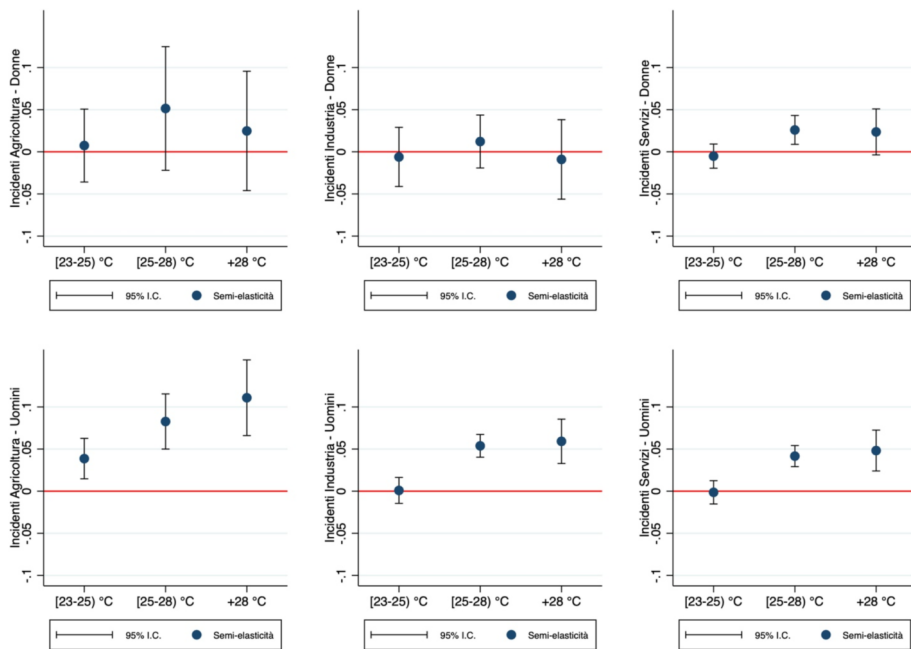
I coefficienti derivano dalla stima dell'equazione (2)

Le stime rappresentate nella Figura 4 ci dicono che l'effetto sugli incidenti delle donne è significativo solo per le temperature oltre i 25 °C e spazia da 1,9% (per le temperature da 25 a 28 °C) a 2,5% per le temperature più alte (si veda anche la Tabella A.1 in Appendice). Questo significa che il verificarsi di temperature oltre i 25 °C ha l'effetto di aumentare gli incidenti sul lavoro rispetto a quanto accade a livelli sotto i 23 °C, ovvero la categoria di riferimento contro cui stimiamo l'equazione (2). L'effetto stimato per gli uomini a temperature sopra i 25 °C è più marcato, pari a circa il 5%. Da notare invece che l'effetto dello stress termico sugli incidenti mortali non riesce a raggiungere mai la significatività (tale risultato è robusto anche ad un'analisi settoriale). Questo potrebbe indicare che la mortalità sul luogo di lavoro è influenzata da fattori diversi rispetto al clima. Tali risultati sono coerenti con quanto osservato da Filomena e Picchio (2024).

L'impatto della temperatura sul rischio di incidenti può variare in relazione ai diversi settori in cui si svolge il lavoro. Inoltre, le imprese in settori diversi hanno diverse possibilità di mitigare l'effetto della temperatura tra-

mite l'utilizzo, ad esempio, di sistemi di climatizzazione più o meno importanti. Questo discorso si intreccia con la diversa composizione dell'occupazione per genere. Infatti, l'occupazione maschile è maggiormente concentrata in settori a più alto rischio (Ireland *et al.* 2023). Per tutti questi motivi, proponiamo di seguito un'analisi in cui gli incidenti giornalieri a livello provinciale sono disaggregati non solo per genere, ma anche per i seguenti settori: agricoltura, industria (settore minerario, manifattura, forniture energetiche, acqua e costruzioni), e servizi.

Gli effetti della temperatura utilizzando questa disaggregazione sono riportati nella Figura 5 (si veda anche la Tabella A.2 in Appendice). Quello che si vede nella Figura 5 è che l'effetto della temperatura nel settore agricolo è concentrato sugli uomini mentre per le donne tale effetto non è significativo. Per quanto riguarda l'industria, si può ripetere la stessa osservazione, in quanto si registra un effetto significativo e positivo per gli uomini per temperature al di sopra dei 25 °C. Invece, per quanto riguarda il settore dei servizi, emerge un effetto positivo per entrambi i generi, anche se di nuovo più forte nel caso degli uomini (intorno al 4%) rispetto al caso delle donne (intorno al 2%, significativo per le temperature oltre i 25 °C).

Figura 5. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per settore e genere*

Fonte: elaborazione dati degli autori sui dati INAIL-GAMD.

I coefficienti derivano dalla stima dell'equazione (2)

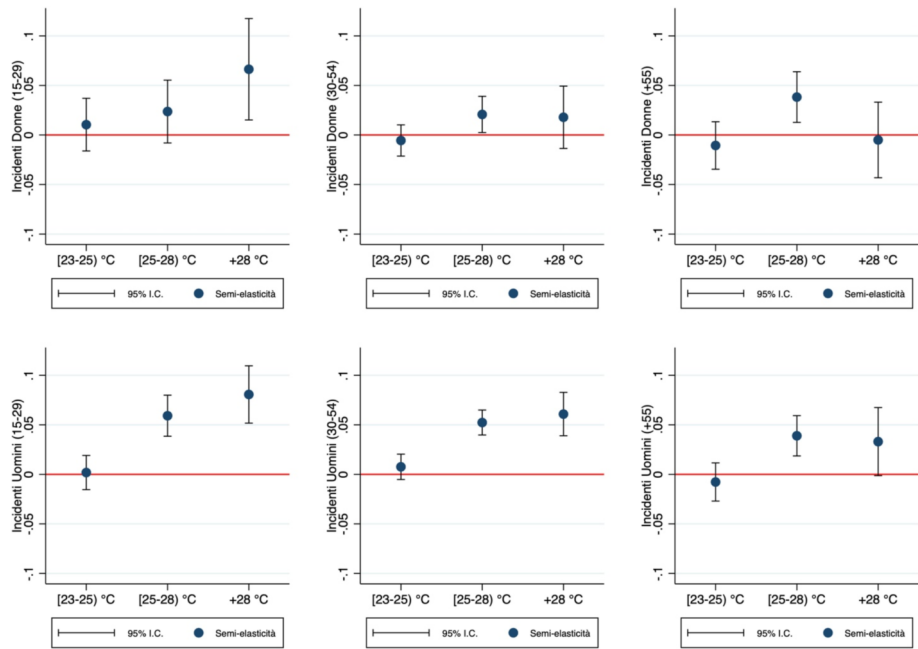
Un altro aspetto interessante da indagare è l'eterogeneità dell'effetto per età: infatti se è vero che soggetti con più esperienza e quindi, tendenzialmente, più anziani sono più formati e, potenzialmente, più capaci di aggiustare le proprie pratiche di lavoro all'ambiente esterno è anche vero che i più anziani hanno meno capacità termo-regolatoria. Tutto ciò espone soggetti di diverse età a diversi livelli di rischio. Abbiamo quindi proposto in Figura 6 un'analisi per età dell'effetto della temperatura, sempre mantenendo una prospettiva di genere. Gli effetti più forti si trovano, sia per gli uomini che per le donne, nella categoria dei più giovani, questo potrebbe indicare che i soggetti più giovani e presumibilmente con meno esperienza lavorativa e potere contrattuale nel mercato del lavoro (e nell'azienda) svolgono mansioni più esposte al rischio di stress termico legato al caldo eccessivo (Picchio e van Ours 2017). In particolare, per le donne emerge un effetto del 2% (6% per gli uomini) per le temperature tra 25 °C e 28 °C e del 6% (8 % per gli uomini) per il caso delle temperature oltre i 28 °C.

I risultati che riguardano le altre classi di età (riportati in Appendice,

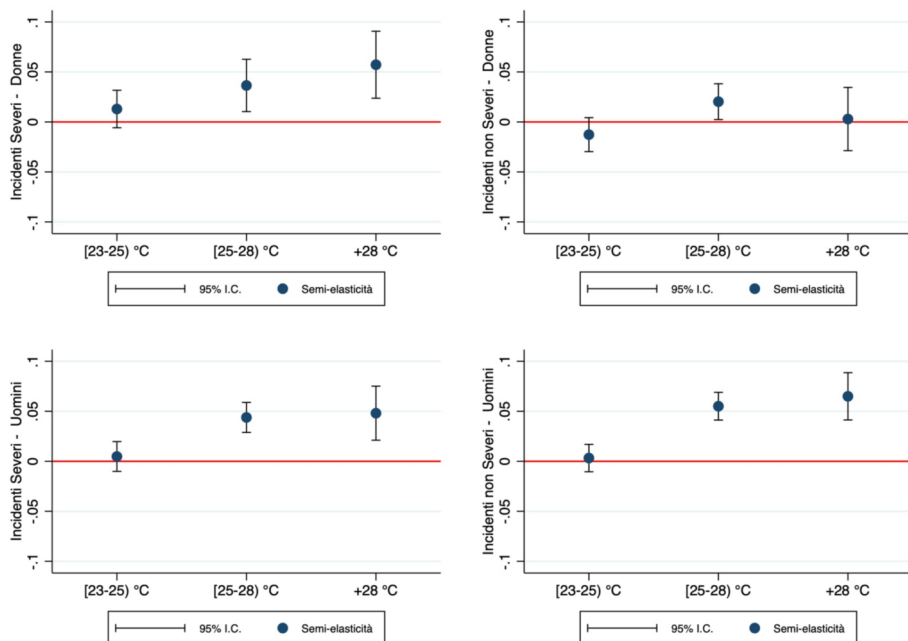
Tabella A.3) indicano comunque un effetto positivo della temperatura sugli incidenti sul lavoro ma questi sono più significativi e più forti per gli uomini. Si può notare inoltre che, a differenza dei soggetti tra i 15 e 29 anni, l'effetto delle temperature più estreme tende ad appiattirsi per le altre categorie di età rispetto all'effetto registrato nelle categorie di temperatura più basse. Ad esempio, tali coefficienti si abbassano fino ad essere non significativi per le donne mentre per gli uomini rimangono significativi anche per la classe 30-54. Questo risultato potrebbe essere speculare rispetto a quello che succede ai soggetti più giovani: i lavoratori con più esperienza potrebbero aver "guadagnato" la possibilità di adattarsi all'interno dell'azienda quando si verificano temperature estreme, ad esempio, richiedendo un cambio di mansione. Quindi i soggetti più anziani, in virtù della posizione raggiunta nell'impresa, potrebbero avere una maggiore capacità di negoziare condizioni lavorative anche sulla base di un contratto di lavoro che li tutela di più rispetto ai giovani.

Nella Figura 7, abbiamo rappresentato l'effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro in base alla severità degli incidenti, e sempre differenziato per genere (si veda anche la Tabella A.4 in Appendice). Un incidente si considera severo se l'INAIL ha previsto almeno 30 giorni di indennizzo a seguito dell'evento (non mortale). Come si vede, l'effetto è più marcato nel caso degli incidenti severi e significativo per le temperature dai 25 °C in su. I coefficienti legati alle donne si muovono tra il 3,5% e il 5,7 %, per le temperature tra i 25-28 °C e oltre i 28 °C, rispettivamente. Per gli uomini, i coefficienti si attestano tra il 4% (temperature tra i 25-28 °C) e il 5% (oltre i 28 °C). Per quanto riguarda gli incidenti non severi, l'effetto rimane positivo sia per gli uomini che per le donne ma è più forte e significativo per la popolazione maschile, con coefficienti che si attestano tra il 5% e il 6% per le temperature tra i 25-28 °C e oltre i 28 °C, rispettivamente.

Figura 6. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per classe di età e genere*



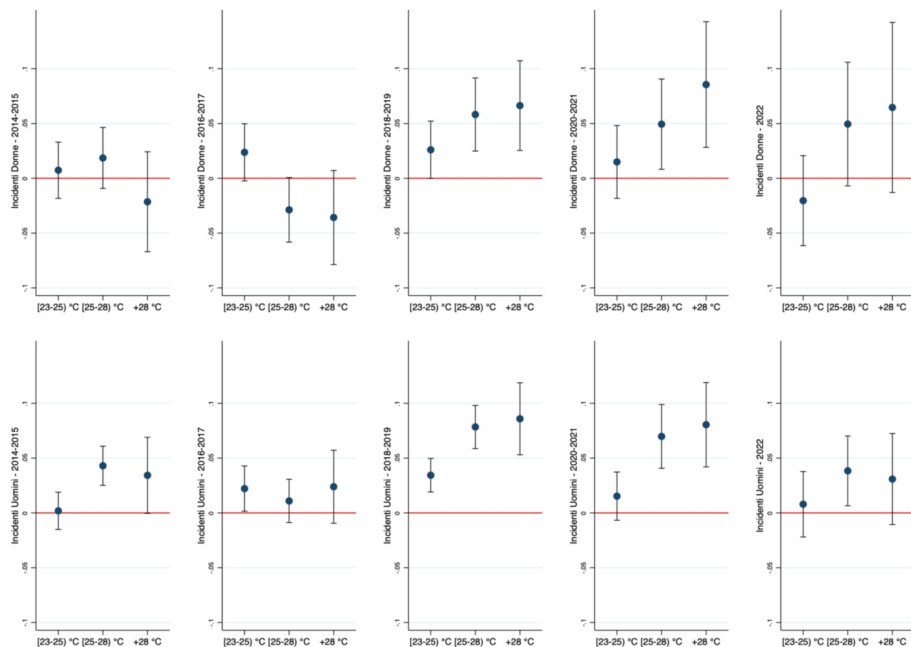
Fonte: elaborazione dati degli autori sui dati INAIL-GAMD.
I coefficienti derivano dalla stima dell'equazione (2)

Figura 7. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per severità dell'incidente e genere*

Fonte: elaborazione dati degli autori sui dati INAIL-GAMD.

I coefficienti derivano dalla stima dell'equazione (2)

Come ultimo set di risultati, nella Figura 8 presentiamo l'andamento delle stime nel tempo e per genere per verificare un eventuale cambio di segno dei coefficienti o di intensità delle stime (si veda anche la Tabella A.5 in Appendice). Questa analisi consente di verificare se sono in atto o meno fenomeni di adattamento al cambiamento climatico nel mercato del lavoro anche dovuti all'introduzione nelle imprese di dispositivi per tutelare la salute dei lavoratori o forme organizzative dei turni di lavoro che riducano ii rischi di stress termico.

Figura 8. *Andamento delle stime nel tempo, per genere*

Fonte: elaborazione dati degli autori sui dati INAIL-GAMD.

I coefficienti derivano dalla stima dell'equazione (2)

La Figura 8 mostra per il caso delle donne un'evoluzione molto chiara dei coefficienti, che passano dall'essere vicino allo zero o, in qualche caso, dall'essere di segno negativo ma non significativo, ad avere segno positivo e significativo dal 2018. Questa tendenza è molto interessante perché, nonostante si tratti solo di nove anni, in questo periodo si sono verificati molti cambiamenti che hanno avuto un forte impatto sul mercato del lavoro. Ad esempio, sono state introdotte importanti riforme istituzionali (come il *Jobs Act* e il decreto Dignità), e ci sono stati gli effetti del COVID-19. Quindi, si tratta di un decennio di particolare importanza per osservare le dinamiche infortunistiche nel mercato del lavoro italiano. A giudicare dalle stime, l'effetto delle alte temperature sugli incidenti è cambiata nel tempo diventando positivo per le donne anche in circostanze in cui in passato non era significativo mentre, per gli uomini, la magnitudine dell'effetto si è amplificata. Questo mostra che non solo è mancato un adattamento alle alte temperature da parte di imprese e lavoratori, ma anzi il rischio di incidenti sul lavoro dovuto al caldo estremo si è acuito e il fenomeno si è esteso coinvolgendo

sempre di più la forza lavoro femminile.

6. Conclusioni

L'aumento della temperatura globale è una delle principali preoccupazioni del 21° secolo. Gli studi economici che analizzano l'impatto del cambiamento climatico su PIL, crescita, e produttività del lavoro sono aumentati enormemente negli ultimi anni, ma analisi empiriche e modelli teorici focalizzati sui mutamenti che riguardano il mercato del lavoro sono ancora scarsi. Questo fenomeno, inoltre, interagisce con altri grandi trasformazioni strutturali che stanno profondamente modificando il lavoro, come l'intelligenza artificiale, e con cambiamenti culturali, in parte già avvenuti nei Paesi avanzati, come l'aumento progressivo della partecipazione femminile al mercato del lavoro. L'esito congiunto di queste tendenze negli anni futuri è incerto e in buona misura dipenderà dalla capacità di adattamento dei sistemi economici e dalle politiche che verranno introdotte per mitigare gli effetti negativi. L'utilizzo di grandi banche dati potrà essere di fondamentale supporto nel fornire la base informativa necessaria per disegnare politiche economiche mirate e per monitorarne l'efficacia.

Il nostro studio fornisce un contributo in questa direzione, mostrando la relazione causale tra elevate temperature e incidenti sul lavoro in una prospettiva di genere, un tema che riveste grande rilievo e che al momento è stato ancora poco indagato. L'analisi empirica applicata al caso dell'Italia, mostra che gli incidenti sul lavoro causati dallo stress termico legato all'aumento delle temperature riguardano prevalentemente la forza lavoro maschile. Questo dato riflette l'effetto composizione, cioè il fatto che la composizione dell'occupazione è caratterizzata dalla prevalenza della presenza maschile in occupazioni *outdoor* o comunque più esposte ai rischi di infortunio collegati alle alte temperature. Tuttavia, l'impatto dell'alta temperatura sugli incidenti che coinvolgono le donne è significativo, specialmente nelle attività del settore dei servizi in cui sono impiegate intensivamente le donne.

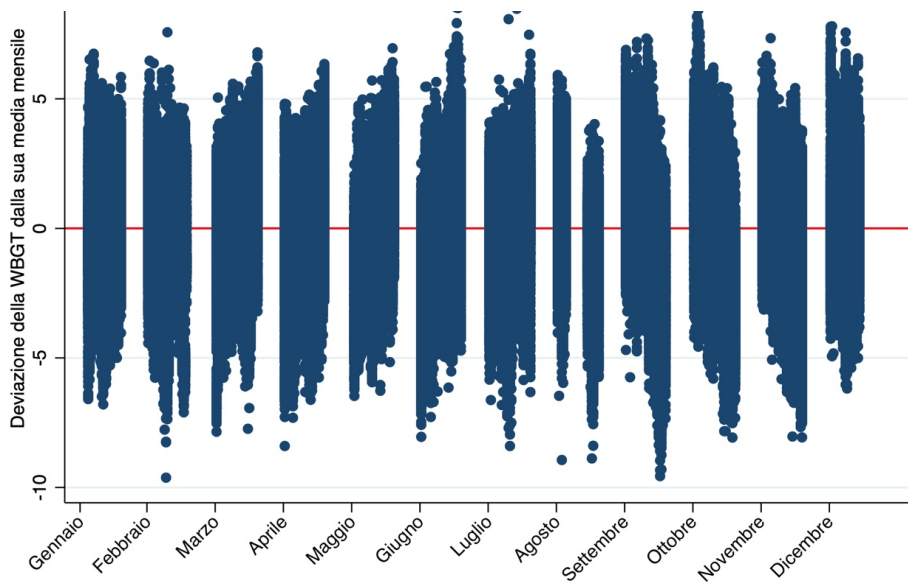
Il fenomeno, inoltre, mostra una tendenza crescente nell'ultimo decennio, in cui l'impatto, nel complesso, è diventato positivo, più forte e significativo per le donne. Il peggioramento delle condizioni di lavoro delle donne a causa del cambiamento climatico rappresenta quindi una questione che sempre più dovrà essere considerata in futuro e che rende più grave il persistente problema del *gender pay gap*, suggerendo che in Italia la riduzione

della sicurezza sul lavoro delle donne, dovuta anche al cambiamento climatico, non è compensata da incrementi retributivi.

Ulteriori sviluppi della nostra ricerca approfondiranno gli aspetti relativi alla eterogeneità occupazionale e regionale, e le interazioni con le variabili relative a salari e ore di lavoro, per stimare come la relazione tra cambiamento climatico e incidenti sul lavoro impatta sulle diverse dimensioni della disuguaglianza nel mercato del lavoro in Italia.

7. Appendice

Figura A.1. *Distribuzione della deviazione del WBGT giornaliero dalla sua media mensile*



Fonte. elaborazione degli autori sui dati INAIL-GAMD, 2014-2022

Tabella A.1. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per genere*

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Incidenti Donne	Incidenti Uomini	Incidenti fatali - Donne	Incidenti fatali - Uomini
[23-25) °C	-0,0047 (0,0069)	0,0035 (0,0061)	0,2016 (0,2604)	-0,1050 (0,0671)
[25-28) °C	0,0254*** (0,0082)	0,0510*** (0,0057)	0,0767 (0,2483)	-0,0774 (0,0845)
+28 °C	0,0192 (0,0128)	0,0590*** (0,0109)	-0,3668 (0,4396)	-0,0846 (0,1284)
Osservazioni	299.376	299.376	299.376	299.376
Effetti fissi anno-mese-provincia				
Effetti fissi giornalieri				
Media Variabile Dipendente	3,27	6,88	0,0009	0,02

Note: in questa tabella riportiamo i risultati della stima dell'equazione (2) su diversi outcome e usando come controllo anche il livello di precipitazioni e la velocità del vento. Gli standard error in parentesi sono a livello provinciale. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Tabella A.2. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per settore e genere*

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Agricoltura - Donne	Agricoltura - Uomini	Industria - Donne	Industria - Uomini	Servizi - Donne	Servizi - Uomini
[23-25) °C	0,0074 (0,0221)	0,0387*** (0,0122)	-0,0061 (0,0179)	0,0009 (0,0078)	-0,0051 (0,0073)	-0,0013 (0,0071)
[25-28) °C	0,0514 (0,0375)	0,0827*** (0,0167)	0,0122 (0,0160)	0,0538*** (0,0069)	0,0260*** (0,0087)	0,0416*** (0,0064)
+28 °C	0,0248 (0,0361)	0,1109*** (0,0229)	-0,0090 (0,0241)	0,0592*** (0,0134)	0,0236* (0,0139)	0,0482*** (0,0124)
Osservazioni	299.376	299.376	299.376	299.376	299.376	299.376
Effetti fissi anno-mese- provincia						
Effetti fissi giornalieri						
Media Variabile Dipendente	0,16	0,62	0,37	3,12	2,75	3,13

Note: in questa tabella riportiamo i risultati della stima dell'equazione (2) su diversi outcome e usando come controllo anche il livello di precipitazioni e la velocità del vento. Gli standard error in parentesi sono a livello provinciale. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Tabella A.3. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per classe di età e genere*

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Donne (15-29)	Uomini (15-29)	Donne (30-54)	Uomini (30-54)	Donne (+55)	Uomini (+55)
[23-25) °C	0,0104 (0,0136)	0,0018 (0,0088)	-0,0055 (0,0080)	0,0076 (0,0065)	-0,0106 (0,0122)	-0,0077 (0,0098)
[25-28) °C	0,0237 (0,0162)	0,0592*** (0,0106)	0,0207** (0,0093)	0,0523*** (0,0064)	0,0383*** (0,0130)	0,0389*** (0,0104)
+28 °C	0,0663** (0,0261)	0,0806*** (0,0148)	0,0179 (0,0161)	0,0608*** (0,0112)	-0,0050 (0,0195)	0,0330* (0,0175)
Osservazioni	299.376	299.376	299.376	299.376	299.376	299.376
Effetti fissi anno-mese-provincia						
Effetti fissi giornalieri						
<i>Media Variabile Dipendente</i>	0,44	1,23	2,08	4,31	0,75	1,34

Note: in questa tabella riportiamo i risultati della stima dell'equazione (2) su diversi outcome e usando come controllo anche il livello di precipitazioni e la velocità del vento. Gli standard error in parentesi sono a livello provinciale. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Tabella A.4. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, per severità dell'incidente e genere*

	(3)	(4)	(5)	(6)
	Incidenti severi - Donne	Incidenti severi - Uomini	Incidenti non severi - Donne	Incidenti non severi - Uomini
[23-25) C°	0,0129 (0,0096)	0,0048 (0,0076)	-0,0127 (0,0087)	0,0033 (0,0070)
[25-28) C°	0,0365*** (0,0133)	0,0439*** (0,0077)	0,0203** (0,0091)	0,0551*** (0,0071)
+28 C°	0,0572*** (0,0171)	0,0481*** (0,0138)	0,0029 (0,0161)	0,0650*** (0,0121)
Osservazioni	299.376	299.376	299.376	299.376
Effetti fissi anno-mese-provincia				
Effetti fissi giornalieri				
Media Variabile Dipendente	0,98	2,26	2,29	4,60

Note: in questa tabella riportiamo i risultati della stima dell'equazione (2) su diversi outcome e usando come controllo anche il livello di precipitazioni e la velocità del vento. Gli standard error in parentesi sono a livello provinciale. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Tabella A.5. *Effetto del WBGT sugli incidenti sul lavoro, variazione nel tempo*

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	Donne 2014-2015	Donne 2016-2017	Donne 2018-2019	Donne 2020-2021	Donne 2022	Uomini 2014-2015	Uomini 2016-2017	Uomini 2018-2019	Uomini 2020-2021	Uomini 2022
[23-25) °C	0,0074 (0,0131)	0,0237* (0,0133)	0,0260* (0,0133)	0,0149 (0,0169)	-0,0204 (0,0209)	0,0019 (0,0087)	0,0222** (0,0105)	0,0344*** (0,0078)	0,0153 (0,0112)	0,0079 (0,0152)
[25-28) °C	0,0185 (0,0142)	-0,0288* (0,0150)	0,0582*** (0,0170)	0,0494** (0,0210)	0,0495* (0,0288)	0,0430*** (0,0091)	0,0109 (0,0101)	0,0784*** (0,0101)	0,0698*** (0,0149)	0,0384** (0,0162)
+28 °C	-0,0214 (0,0233)	-0,0358 (0,0219)	0,0663*** (0,0209)	0,0855*** (0,0293)	0,0646 (0,0396)	0,0343* (0,0177)	0,0239 (0,0170)	0,0859*** (0,0168)	0,0805*** (0,0197)	0,0309 (0,0212)
Osservazioni	66.959	66.677	66.513	65.918	33.303	66.959	66.677	66.519	65.918	33.303
Effetti fissi anno- mese-provincia										
Effetti fissi giornalieri										
Media Variabile Dipendente	3,08	2,95	3,00	3,68	4,06	7,21	7,07	7,04	6,22	6,82

Note: in questa tabella riportiamo i risultati della stima dell'equazione (2) su diversi outcome e usando come controllo anche il livello di precipitazioni e la velocità del vento. Gli standard error in parentesi sono a livello provinciale. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Riferimenti bibliografici

- American college of sports medicine (1987) American college of sports medicine position stand on: The prevention of thermal injuries during distance running, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19(5), 529-533.
- Brimicombe, C., Lo, C.H.B., Pappenberger, F., Di Napoli, C., Maciel, P., & Quintino, T. (2023) Wet Bulb Globe Temperature: Indicating extreme heat risk on a global grid, *GeoHealth*, 7(2), e2022GH000701.
- Burke, M., Hsiang, S. & Miguel, E. (2015) Global non-linear effect of temperature on economic production, *Nature* 527, 235-239.
- Carta F., De Philippis, M., Rizzica, L., & Viviano, E. (2023) Women, labour markets and economic growth, Bank of Italy Workshops and Conferences 26, Rome.
- Chen, X., Li, N., Liu, J., Zhang, Z., & Liu, Y. (2019). Global heat wave hazard considering humidity effects during the 21st century. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1513.
- Dillender, M. (2021) Climate change and occupational health. Are there limits to our ability to adapt? *Journal of Human Resources* 56, 184-224.
- Eurofond (2024) Job quality side of climate change, Working conditions and sustainable work series, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Eurostat (2024) European statistics on accidents at work (ESAW), European Commission, online data <https://ec.europa.eu/eurostat/data/browseproduct/page/hsw_n2_02>.
- Filomena, M., & Picchio, M. (2024) Unsafe temperatures, unsafe jobs: The impact of weather conditions on work-related injuries, *Journal of Economic Behavior and Organization* 224, 851-875.
- Grundstein, A., & Cooper, E. (2018). Assessment of the Australian Bureau of Meteorology wet bulb globe temperature model using weather station data. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2205-2213.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B., Li, S., Tawatsupa, B., & Tobias, A. (2014) Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: A systematic evaluation. *Epidemiology* 25, 781-789.
- Heal, G.M., & Park, R.J. (2014) Feeling the heat: Temperature, physiology & the wealth of nations, Discussion Paper 2014-51. Cambridge, Mass.:

- Harvard Environmental Economics Program.
- Heal, G.M., & Park, R.J. (2016) Temperature stress and the direct Impact of climate change: A review of an emerging literature, *Review of Environmental Economics and Policy* 10, 347-362.
- Heo, S., Bell, M.L., & Lee, J.T. (2019) Comparison of health risks by heat wave definition: Applicability of wet-bulb globe temperature for heatwave criteria, *Environmental Research* 168, 158-170.
- ILO (International Labour Organization) (2024a) Ensuring safety and health at work in a changing climate, Geneva.
- ILO (International Labour Organization) (2024b) Heat at work: Implications for safety and health, Geneva.
- INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Incidenti sul Lavoro) (2024a) Relazione annuale 2023, Roma.
- INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Incidenti sul Lavoro) (2024b) DossierDonne Inail 2024, Roma.
- Ireland, A., Johnston, D., & Knott, R. (2023) Heat and worker health, *Journal of Health Economics* 91, 102800.
- ISO (International Organization for Standardization) (2017) Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index-ISO 7243:2017, International Standards Organisation.
- Jacklitsch, B., Williams, J., Musolin, K., Coca, A., Kim, J.H., & Turner, N. (2016) Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to heat and hot environments, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Kjellstrom, T., Holmer, I., & Lemke, B. (2009). Workplace heat stress, health and productivity-an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change, *Global Health Action*, 2(1), 2047.
- Kong, Q., & Huber, M. (2022). Explicit calculations of wet-bulb globe temperature compared with approximations and why it matters for labor productivity, *Earth's Future*, 10(3), e2021EF002334.
- Lemke B., & Kjellstrom T. (2012) Calculating workplace WBGT from meteorological data: A tool for climate change assessment, *Industrial Health* 50, 267-278.
- Lucas, R.A.I., Epstein, Y., & Kjellstrom, T. (2014) Excessive occupational heat exposure: A significant ergonomic challenge and health risk for

- current and future workers, *Extreme Physiology & Medicine*, 3(1), 14.
- Marinaccio, A., Scortichini, M., Gariazzo, C., Leva, A., Bonafede, M., De' Donato, F.K., Stafoggia, M., Viegi G., Michelozzi, P., Carla, A., *et al.* (2019) Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy, *Environment International* 133, 105176.
- Morrissey, M.C., Brewer, G.J., Williams, W.J., Quinn, T. & Casa, D.J. (2021) Impact of occupational heat stress on worker productivity and economic cost, *American Journal of Industrial Medicine* 64, 981-988.
- Olper, A., Maugeri, M., Manara, V., & Raimondi, V. (2021) Weather, climate and economic outcomes: Evidence from Italy, *Ecological Economics* 189, 107156.
- Park, R.J., Pankratz, N., & Beher A.P. (2021) Temperature, workplace safety, and labor market inequality, IZA Discussion Paper No. 14560, IZA.
- Park, R.J. (2022) Hot temperature and high-stakes performance, *Journal of Human Resources* 57, 400-434.
- Picchio, M. & van Ours, J.C. (2017) Temporary jobs and the severity of workplace accidents, *Journal of Safety Research* 61, 41-51.
- Racinais, S., Alonso, J.M., Coutts, A.J., Flouris, A.D., Girard, O., & González-Alonso, J. (2015) Consensus recommendations on training and competing in the heat, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 6-19.
- Razzolini, T., Leombruni, R., Mastrobuoni, G., & Pagliero, M. (2014) Beneath the surface: The decline in gender injury gap, *Labor Economics* 30, 282-288.
- Seppanen, O., Fisk, W.J., & Lei, Q. (2006) Effect of temperature on task performance in office environment, Lawrence Berkeley National Laboratory, Report No. LBNL- 60946.
- Toreti, A. (2014) Gridded Agro-Meteorological Data in Europe, European Commission, Joint Research Centre (JRC), <http://data.europa.eu/89h/jrc-marsop4-7-weather_obs_grid_2019>.

