

Work Accidents and Air Pollution

Domenico Depalo ¹ Alessandro Palma ²

¹Bank of Italy

²Gran Sasso Science Institute
CEIS Tor Vergata

Il contesto I

- ▶ L'inquinamento atmosferico è un importante fattore di rischio per diverse ragioni, tra cui lo sviluppo del capitale umano
- ▶ Nonostante diverse leggi cerchino di contrastare l'inquinamento (ad es. *Direttiva 50/2008/CE, Clean Air Act*), in molti paesi i livelli raccomandati di concentrazione di polveri sottili sono spesso superati (EPA 2019, EEA 2017)
- ▶ Numerosi studi empirici incentrati sugli effetti gravi dell'inquinamento: mortalità e morbilità.

Il contesto II

- ▶ Studi recenti mostrano **effetti meno evidenti** dell'inquinamento su:
 - ▶ offerta di lavoro (Hanna & Oliva, 2015)
 - ▶ produttività sul lavoro (Graff Zivin & Neidell 2012; Chang et al. 2016; He et al. 2018)
 - ▶ comportamento umano: crimini (Bondy et al. 2018), propensione al rischio (Hey et al. 2016),
 - ▶ concentrazione, prontezza mentale e capacità cognitive (Ebenstein et al. 2016; Zhang et al. 2018; Sager 2019; Kunn et al, 2019; Bedi et al., 2021)
- ▶ I costi di questi “**effetti latenti**” possono essere considerevoli poiché influiscono su ampi gruppi di popolazione.

Questo lavoro

- ▶ È il primo a indagare sulla relazione causale tra inquinamento atmosferico e sicurezza sul lavoro:
 - ▶ analizza una ricca serie di risultati: # di infortuni, gravità (invalidità e decessi), giorni di inabilità al lavoro
 - ▶ esplorare le implicazioni teoriche ed empiriche dell'incentivo dell'impresa a risparmiare sui costi degli infortuni (oggi solo accennato)

Infortuni sul lavoro

- ▶ Gli infortuni rappresentano una dimensione importante del mercato del lavoro:
 - ▶ riguardano circa 15/1000 lavoratori in Europa
 - ▶ ingenti spese per il welfare
 - ▶ incide sullo sviluppo economico e sociale (perdita di capitale umano e competenze lavorative)
- ▶ Precedenti studi esaminano le cause degli infortuni [all'interno del luogo di lavoro](#) (Galizzi, 2013).
- ▶ Nulla sappiamo del ruolo svolto dall'inquinamento atmosferico, un "male pubblico".

Dati

- ▶ **Infortuni sul lavoro:** eventi traumatici sul lavoro che comportano un'invaldit  lavorativa temporanea (almeno 3 giorni lavorativi persi), un'invaldit  lavorativa permanente (totale o parziale) o il decesso
 - ▶ tutti i lavoratori italiani devono essere assicurati contro gli infortuni tramite l'INAIL: tutti gli infortuni italiani sono denunciati
 - ▶ **Altre informazioni:** caratteristiche del lavoratore, del datore di lavoro, dell'infortunio
 - ▶ Periodo: 2014-2018
 - ▶ 8 regioni italiane (5201 comuni): Lombardia, Veneto, Piemonte (Nord), Toscana, Lazio (Centro), Campania, Puglia, Sicilia (Sud): circa 2,1 milioni di eventi (420.000/anno), circa il 65% di il totale degli infortuni sul lavoro in Italia

Dati

► Ambientali:

- Concentrazioni giornaliere di inquinamento atmosferico dal database EU AirBase, raccolte dalle stazioni di monitoraggio.
- Misura dell'esposizione: Indice di qualità dell'aria (AQI) secondo l'ambiente europeo. Maggiore è l'AQI, maggiore è il livello di inquinamento atmosferico.

Pollutant	Index level (based on pollutant concentrations in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor	Extremely poor
Particles less than $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Particles less than $10 \mu\text{m}$ (PM_{10})	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200
Nitrogen dioxide (NO_2)	0-40	40-90	90-120	120-230	230-340	340-1000
Ozone (O_3)	0-50	50-100	100-130	130-240	240-380	380-800
Sulphur dioxide (SO_2)	0-100	100-200	200-350	350-500	500-750	750-1250

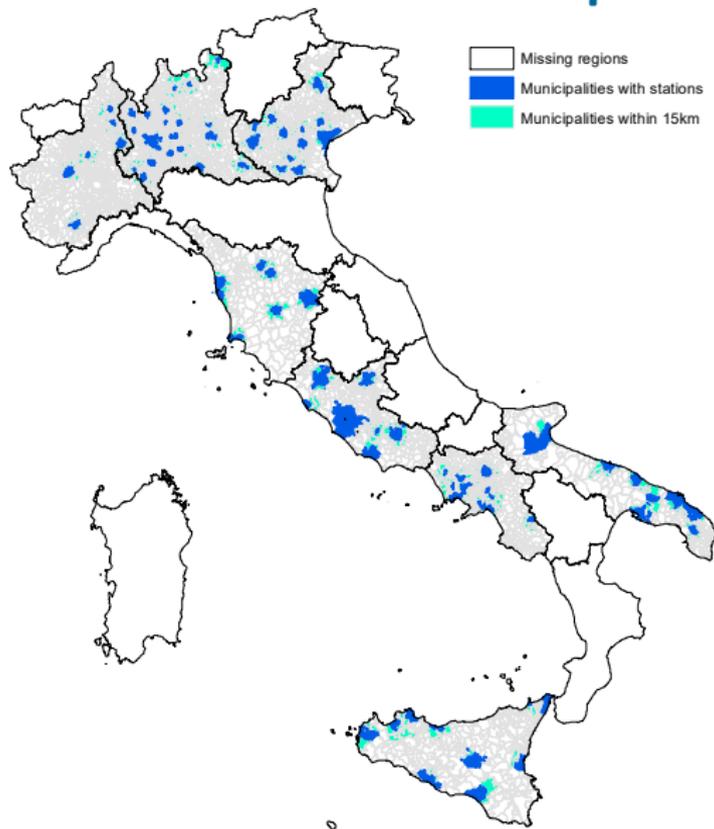
Dati

- ▶ **Composizione della forza lavoro:** dati amministrativi forniti dall'Istituto nazionale per la sicurezza sociale (INPS)
 - ▶ tutti i dipendenti privati italiani dipendenti, per settore, qualifica, sesso, età, tipo di contratto
 - ▶ consentono di controllare qualsiasi cambiamento nell'offerta di lavoro
- ▶ **Meteorologici:**
 - ▶ dal database Agri-4-Cast (EU-JRC): precipitazioni e temperature giornaliere (min, max)
 - ▶ eventi estremi (accumulo di ghiaccio, grande grandinata)
- ▶ **Altro:**
 - ▶ feste nazionali (sito del Governo italiano)
 - ▶ scioperi generali e trasporti in un'unica giornata (Commissione Italiana Sciopero e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)

Popolazione di riferimento

- ▶ Ci limitiamo agli infortuni occorsi a soggetti in età lavorativa (16-67 anni) e avvenuti sul posto di lavoro (1,5 mil. os)
- ▶ Abbiniamo gli incidenti con i dati sull'inquinamento, collassando per municipalità×giorno per un totale di 99 comuni “core” con stazioni di monitoraggio
- ▶ Consideriamo i comuni limitrofi entro un massimo di 15 km dal baricentro di ciascuna stazione di monitoraggio (1857 comuni)
 - ▶ Applichiamo la ponderazione della distanza inversa (IDW) alle concentrazioni di inquinamento nei comuni non centrali (Knittel et al. 2016, Moretti & Neidell 2011, Chay & Greenstone, 2003)

Mappa dei comuni inclusi nel campione

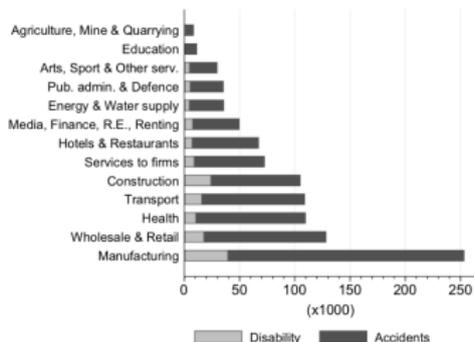


Statistiche descrittive

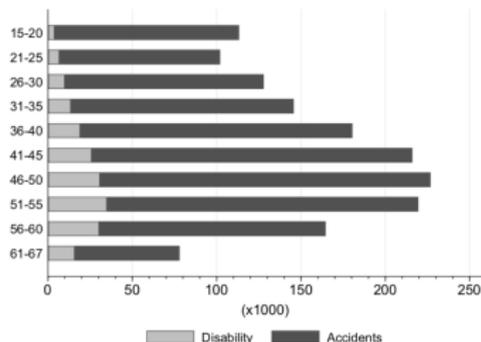
Variabile	Media	sd
Infortuni	2.068	4.603
Disabilità	0.240	0.712
Femmina	0.298	0.414
Estero	0.167	0.343
Età 21-25	0.070	0.234
Età 26-30	0.083	0.251
Età 31-35	0.095	0.267
Età 36-40	0.119	0.295
Età 41-45	0.141	0.317
Età 46-50	0.145	0.320
Età 51-55	0.137	0.313
Età 56-60	0.099	0.271
Età 61-67	0.045	0.189
AQI	9.812	15.096
Pop. ($\times 1.000$)	35.926	137.154
Riscaldamento invernale	0.349	0.477

Note: i dati sono aggregati nelle celle dei comuni in media nel periodo 2014-2018.

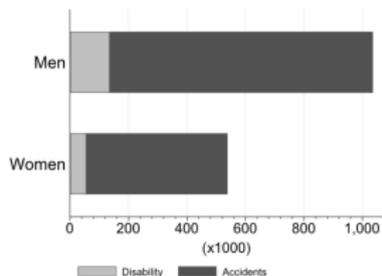
Statistiche descrittive sugli incidenti



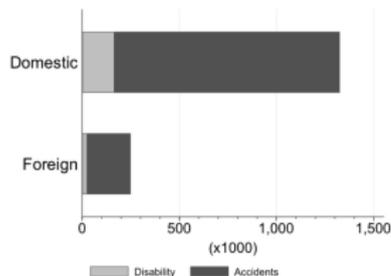
(a) Across economic sectors



(b) Across age classes



(c) Across gender



(d) Across nationality

Stima degli effetti causali

- ▶ L'esposizione a inquinamento è **non casuale** e sistematicamente **correlata** con altri determinanti dei risultati
- ▶ Due principali sfide empiriche per ottenere **effetti causali**:
 - ▶ Se i lavoratori producono di più e in tempi più rapidi, **umentano la probabilità di infortunio** ma anche **inquinano di più**
 - ▶ **autoselezione**: i lavoratori possono evitare di andare al lavoro quando l'inquinamento è più alto. I dati raramente consentono di osservare direttamente queste informazioni (posizione effettiva dei lavoratori).
- ▶ **Approccio IV**, utilizzando **regole del riscaldamento invernale per valutare la qualità dell'aria** Dettagli IV

Results I - Qualità dell'aria & Incidenti

	OLS		IV	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Infortuni	0.012*** (0,005)	0.012*** (0,004)	0.048*** (0,012)	0.034*** (0,010)
Disabilità	0.003** (0,001)	0.003** (0,001)	0.003 (0,003)	-0.003 (0,007)
Costo Imprese	0.009*** (0.003)	0.009*** (0.002)	0.025** (0.010)	0.023*** (0.008)

Notes: Tutte le regressioni controllano la composizione della forza lavoro complessiva (sesso, classi di età 5 anni, full time, part-time, tempo determinato, open end, operai, impiegati, quadri, apprendisti) e composizione della forza lavoro infortunata (sesso, nazionalità, Classi di età 5 anni, settori economici ATECO 1 cifra) in ogni comune. I controlli non lineari per il tempo includono polinomi fino al quarto grado per temperature minime e massime, precipitazioni e velocità del vento. Gli errori standard, tra parentesi, sono raggruppati sui comuni. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo a 1%.

Meccanismi & possibili misure

- ▶ La cattiva qualità dell'aria **riduce la concentrazione e prontezza mentale dei lavoratori, alterando la loro risposta cognitiva.**
 - ▶ Kunn et al. (2019) hanno condotto un esperimento controllato su **giocatori di scacchi in Germania** per studiare l'effetto fisiologico della qualità dell'aria sulle prestazioni individuali durante i tornei di scacchi.
 - ▶ Sager (2019) stima l'effetto causale di AP sul numero di **incidenti stradali nel Regno Unito** che controllano le condizioni meteorologiche e la nebbia.
- ▶ Cosa si può fare per **evitare questi incidenti?**

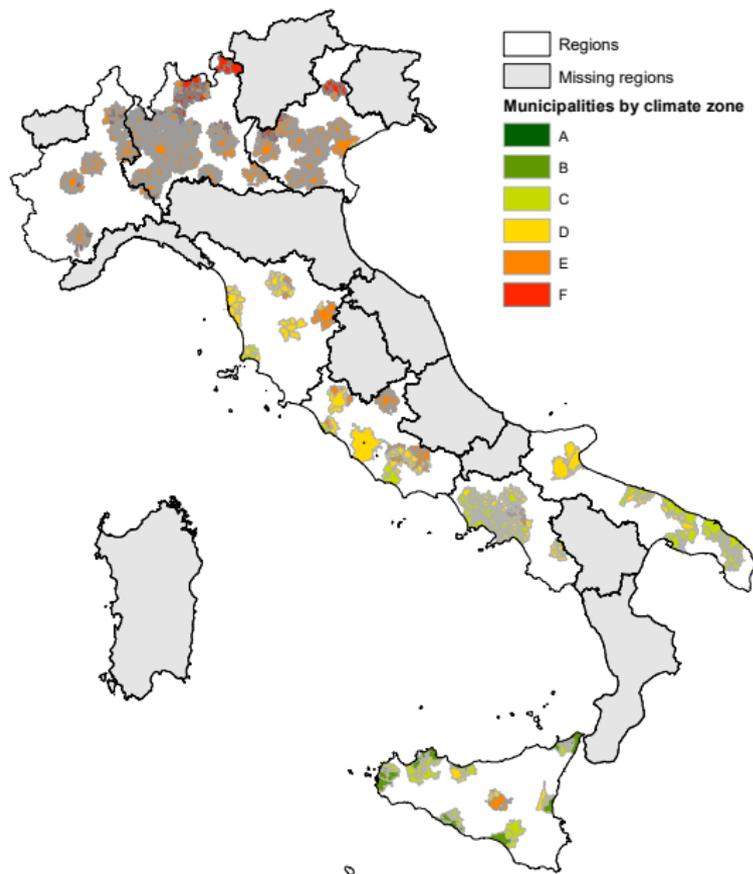
Messaggi principali

- ▶ AP, un'esternalità diffusa, colpisce il mercato del lavoro aumentando il numero di infortuni sul lavoro: **un peggioramento del 10% della qualità dell'aria aumenta gli infortuni del 2%**.
- ▶ Poiché l'inquinamento incide sugli incidenti con costi interamente sostenuti dalle aziende private, **le aziende private dovrebbero attuare strategie difensive** (e.g. dotando i dipendenti di DPI).
- ▶ La riduzione di questo effetto può essere vista come un **investimento chiave nel capitale umano e nella politica di riduzione dei costi** anche in un contesto rigorosamente regolamentato (Italia).

Grazie!

domenico.depalo@bancaditalia.it

Mappa dei Comuni per Zona Climatica



Regole del riscaldamento invernale per zona climatica

Zona climatica e numero di comuni	quota	inizio/fine periodo di riscaldamento
A	1	0.001
B	32	0.022
C	219	0.147
D	139	0.093
E	1022	0.687
F	75	0.050

Notes: la dimensione del campione (a 15 km) è 324.773 in 1.488 comuni.

[Back to main](#)

DiD Estimates

Stime DiD dell'effetto del riscaldamento invernale sulle città fredde/calde

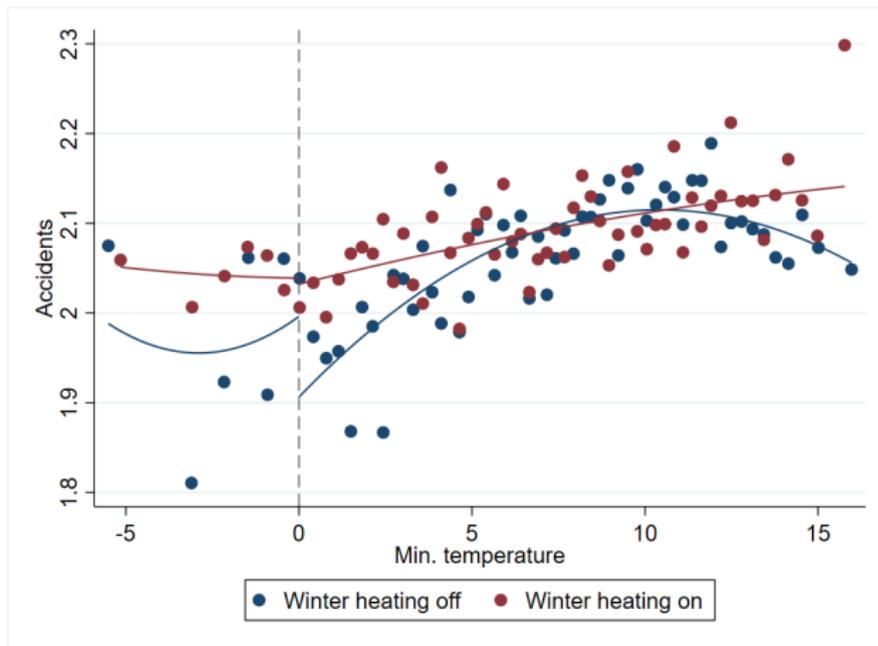
	OLS	OLS (completo)
Riscaldamento invernale	0.084 (0.078)	0.072 (0.049)
N	10,245	10,216

Notes: tutte le regressioni includono controlli completi. Gli errori standard, tra parentesi, sono raggruppati per province.

* significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo a 1%.

[Back to main](#)

RDD Grafico



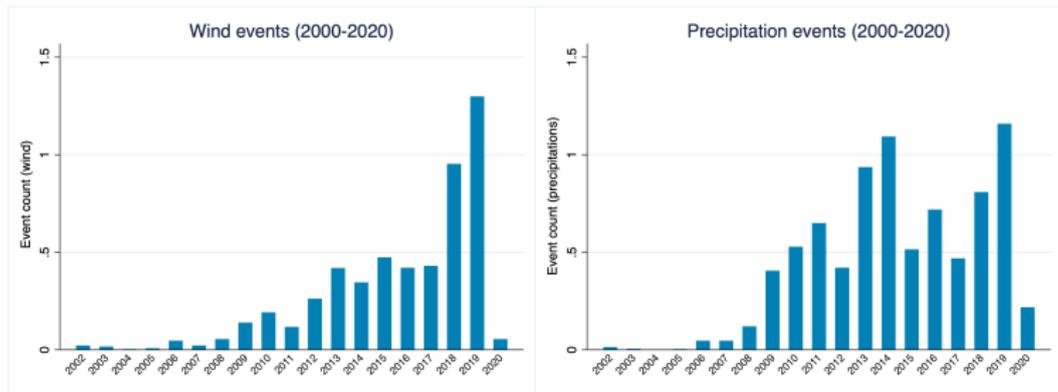
[Back to main](#)

Robustezza: eventi estremi

Stime dell'effetto della qualità dell'aria su **incidenti**

	OLS		IV	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>AQI</i>	0.011***	0.012**	0.047***	0.024***
	(0.001)	(0.001)	(0.013)	(0.006)
Comune FE	x	x	x	x
Anno FE	x	x	x	x
Giorno della settimana FE	x	x	x	x
Festività + scioperi	x	x	x	x
Meteo non lineare	x	x	x	x
Provincia × anno-mese FE		x		x
Eventi estremi	x	x	x	x
N	211,795	211,772	211,795	211,772
F-stat			14.65	45.26

Trends di eventi estremi in Italia (ESWD)



[Back to main](#)

Errori di misura

Effetto dell'AQI sugli incidenti sul lavoro in diversi campioni

	Km			
	0	6	12	18
AQI	0.039*** (0.011)	0.031*** (0.009)	0.022*** (0.007)	0.024*** (0.006)
N	89,358	137,909	324,773	464,276

Notes: tutte le regressioni includono controlli completi. Gli errori standard, tra parentesi, sono raggruppati per province. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo a 1%.

[Back to main](#)

Un semplice quadro teorico I

Ipotesi di base:

Le aziende hanno informazioni quasi complete sulle loro attività di produzione e sui relativi rischi, stabilendo un livello di investimento ottimale nelle spese difensive.

Le aziende ignorano il rischio di incidenti causati dall'inquinamento: l'inquinamento dell'aria è un "male pubblico", le principali fonti sono il riscaldamento e i trasporti. Inoltre, la dispersione delle emissioni inquinanti dipende da fattori meteorologici difficili da prevedere, per cui il contributo di ciascuna impresa alla qualità complessiva dell'aria è trascurabile (Chang et al., 2019).

Il sistema di compensazione dipende dal contesto istituzionale (rischio portato da agenti pubblici e privati). Se le aziende private contribuiscono a risarcire il lavoratore infortunato, devono affrontare due costi:

- ▶ un costo diretto dovuto all'indennità di malattia
- ▶ un costo indiretto dovuto alla perdita di produttività

Consideriamo un contesto in cui solo le aziende private sono portatrici di rischio.

Un semplice quadro teorico II

Sia CA il costo dell'incidente, γ i fattori di rischio specifici del settore, CS il costo della sicurezza.

L'impresa imposta il livello di sicurezza ottimale s minimizzando la seguente funzione di costo:

$$\min_s CA[\gamma(s)] + CS(s) \quad (1)$$

In assenza di inquinamento atmosferico, l'impresa sceglie il livello ottimale di sicurezza s^* bilanciando il beneficio marginale (MB) della riduzione degli infortuni sul lavoro e il costo marginale (MC) degli investimenti difensivi.

Ottimale s^* soddisfa il seguente FOC:

$$-\frac{\partial CA}{\partial \gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial s} = \frac{\partial CS}{\partial s} \quad (2)$$

Un semplice quadro teorico III

Se la qualità dell'aria influisce sulla probabilità di incidente, l'azienda deve affrontare un rischio aggiuntivo e i relativi costi per la minore produttività e la compensazione dei lavoratori. L'impresa minimizza la seguente funzione di costo:

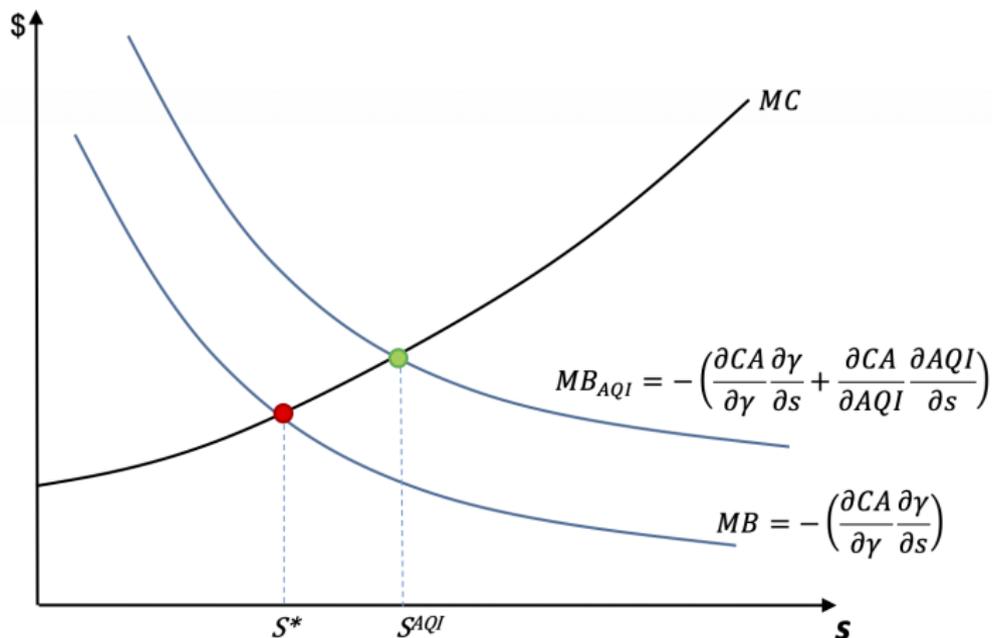
$$\min_s CA[\gamma(s) + AQI(s)] + CS(s) \quad (3)$$

AQI è la funzione di esposizione all'inquinamento sul lavoro, che non dipende dall'attività dell'impresa (nel nostro contesto è generato esogeno dal riscaldamento e dal trasporto su strada).

Il nuovo FOC per un livello di sicurezza ottimale s^{AQI} che tiene conto dell'inquinamento atmosferico:

$$-\left(\frac{\partial CA}{\partial \gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial s} + \frac{\partial CA}{\partial AQI} \frac{\partial AQI}{\partial s} \right) = \frac{\partial CS}{\partial s}, \quad (4)$$

Un semplice quadro teorico IV



Poiché $s^* < s^{AQI}$, gli investimenti difensivi non sono ottimali se le aziende ignorano che l'inquinamento atmosferico aumenta il costo degli incidenti.

Strategia di stima

Modello a effetti fissi di base:

$$Y_{ct} = \alpha + \beta AQI_{ct} + \mathbf{W}'_{ct}\gamma + \mu_c + \mathbf{T}_{tau} + \varepsilon_{ct} \quad (5)$$

- ▶ Y_{ct} è il n. di infortuni o disabilità nel comune c e giorno t ;
- ▶ AQI_{ct} è l'indicatore della qualità dell'aria (PM10, NO2, CO, O3);
- ▶ \mathbf{W}_{ct} contiene i controlli per le caratteristiche degli infortuni e la composizione della forza lavoro (età, sesso, nazionalità, codice NACE), le caratteristiche meteorologiche (fino a polinomi di quarto grado in temperatura minima e massima, precipitazioni e velocità del vento), manichini per feste nazionali e scioperi generali
- ▶ \mathbf{T}_{τ} sono un ricco set di FE stagionali: anno, giorno della settimana, anno-mese \times provincia
- ▶ μ_c sono FE municipali

Impostazione “quasi sperimentale”

FE multipli potrebbero non consentire di eliminare completamente la potenziale endogeneità:

Approccio IV, utilizzando [regole del riscaldamento invernale per valutare la qualità dell'aria](#)

- ▶ Il riscaldamento invernale negli edifici privati e pubblici è regolato da specifiche norme per la riduzione delle emissioni nocive (DPR n. 412/1993).
- ▶ Il regolamento consiste in una classificazione dei comuni in [6 aree climatiche](#), ciascuna caratterizzata da [periodi specifici](#) durante i quali è consentito il riscaldamento invernale [Mappa delle zone climatiche](#) [Regole per il riscaldamento invernale](#)
- ▶ I combustibili fossili in Italia fanno la parte del leone (85%) nel mix energetico per il riscaldamento
- ▶ Il riscaldamento invernale provoca un [massiccio rilascio di diverse emissioni nocive](#), principalmente PM10, CO, SO2 e NO2 [Back](#)

modello 2SLS

$$AQI_{ct} = \alpha + \lambda D(Heat)_{ct} + \mathbf{W}'_{ct}\gamma + \mu_c + \mathbf{T}_\tau + \varepsilon_{ct} \quad (6)$$

$$Y_{ct} = \alpha + \beta \widehat{AQI}_{ct} + \mathbf{W}'_{ct}\gamma + \mu_c + \mathbf{T}_\tau + \eta_{ct} \quad (7)$$

- ▶ $D(Heat)_{ct}$ è una dummy (1= il riscaldamento invernale inizia in ogni gruppo di periodo comunale in base alle sei zone climatiche)
- ▶ \widehat{AQI}_{ct} è il valore predetto di AQI_{ct} . [Back](#)

Results (First Stage)

Stima degli Effetti dei riscaldamento su AQI

	Accidents		Disability	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Riscaldamento invernale	2.820*** (0,396)	2.711*** (0,352)	4.756*** (0,776)	3.964*** (0,598)
Comune FE	x	x	x	x
Anno FE	x	x	x	x
Giorno della settimana FE	x	x	x	x
Festività + scioperi	x	x	x	x
Provincia × anno-mese FE		x		x
Meteo non lineare		x		x
N	255.268	255.248	55.163	55.071

Notes: N si riferisce al campione a 10 km (per la colonna 1-2, AQI media: 16.39, sd: 18.52, per la colonna 3-4, AQI media: 23.97, sd: 21.56). Tutte le regressioni controllano la composizione della forza lavoro complessiva (sesso, classi di età 5 anni, full time, part-time, tempo determinato, open end, operai, impiegati, quadri, apprendisti) e composizione della forza lavoro infortunata (sesso, nazionalità, Classi di età 5 anni, settori economici ATECO 1 cifra) in ogni comune. I controlli non lineari per il tempo include anche i termini fino al quarto ordine delle temperature invernali e estive. Gli standard devianti sono riportati in parentesi.

Costi interni alle aziende Back

Effetto della qualità dell'aria su **Infortuni indennizzati dalle aziende** (≤ 4 giorni)

	OLS		IV	
	(1)	(2)	(3)	(4)
AQI	0.009*** (0.003)	0.009*** (0.002)	0.025** (0.010)	0.023*** (0.008)
Comune. FE	x	x	x	x
Anno FE	x	x	x	x
Giorno della settimana FE	x	x	x	x
Festività + sciopero	x	x	x	x
Meteo non lineare	x	x	x	x
Provincia \times anno-mese FE		x		x
N	152.799	152.778	152.799	152.778
F-stat.			29.04	71.65

Notes: N si riferisce al campione a 10 km (infortuni media=2.43, sd=4.18) e include solo gli infortuni con assenze per malattia inferiori o uguali a quattro giorni. Tutte le regressioni controllano la composizione

Emissioni specifiche del settore Back

Effetto dell'AQI sugli infortuni sul lavoro in [Settori non manifatturieri](#)

	OLS		IV	
	(1)	(2)	(3)	(4)
AQI	0.011*** (0,004)	0.012*** (0,004)	0.047*** (0,013)	0.023*** (0,008)
Comune. FE	x	x	x	x
Anno FE	x	x	x	x
Giorno della settimana FE	x	x	x	x
Festività + sciopero	x	x	x	x
Meteo non lineare	x	x	x	x
Provincia × anno-mese FE		x		x
N	211.795	211.772	211.795	211.772
F-stat.			28.29	61.09

Notes: N si riferisce al campione a 10 km. Tutte le regressioni controllano la composizione della forza lavoro complessiva (sesso, classi di età 5 anni, full time, part-time, tempo determinato, open-end, operai, impiegati, 

Controlli di robustezza I Back

- ▶ **Comportamento di evitamento:** gli individui possono modificare la propria esposizione in risposta ai cambiamenti negli AP (riducendo il tempo trascorso all'aperto, investimenti difensivi) (Neidell 2009; , Moretti & Neidell 2011).
 - ▶ Per ridurre questo pregiudizio, **consideriamo solo gli incidenti avvenuti sul posto di lavoro** (nessun evento *in itinere*): i lavoratori dipendenti non hanno quasi alcuna possibilità di modificare la propria posizione o posticipare i propri compiti in risposta ai cambiamenti nell'AP, almeno su base giornaliera.
- ▶ **Effetti indipendenti della temperatura:** la temperatura può alterare in modo significativo sia gli AP che gli incidenti sul lavoro *via* spostamenti di produttività o formazione di ghiaccio:
 - ▶ Stime DiD: confronto dell'effetto del riscaldamento invernale nelle città con temperature invernali superiori alla mediana (trattate) e inferiori alla mediana invernale (controlli) durante una finestra temporale $t = \{-5; +7\}$ giorni , dove $t = 0$ è la nostra variabile pre-post DiD Estimates
 - ▶ Stime RD: testare l'effetto di min. temperature nelle città con/senza riscaldamento invernale, con soglia impostata su 0 gradi Celsius. RD Graph

Controlli di robustezza II

Back

- ▶ **Eventi meteorologici estremi:** possono influenzare i risultati direttamente attraverso danni e alterare le concentrazioni di AP:
 - ▶ Aumentiamo il modello di base includendo [manichini su combinazioni di data-comune con estremi su grandinate, vento, precipitazioni, tornado](#). I dati sono forniti dall'European Severe Weather Database [Eventi estremi](#)
 - ▶ I nostri risultati sopravvivono a questa specifica. [Risultati](#)
- ▶ **Errore di misurazione:** un'assegnazione errata dell'inquinamento può generare errori di misurazione.
 - ▶ Eseguiamo stime su 5 campioni, con distanza dai centroidi dei comuni principali di 0, 6, 12 e 18 km. L'effetto diminuisce con la distanza ma con una distorsione di attenuazione molto bassa. Tutti i coefficienti significativi all'1%. [Risultati](#)
- ▶ **Ponderazione:** pesiamo per n. di lavoratori nel mercato del lavoro ogni anno. Le stime ponderate producono risultati simili.

Costi totali degli incidenti causati da inquinamento

- ▶ Sulla base dell'EU-OSHA (2019), i costi includono tutti i prodotti e servizi sanitari, siano essi pagati dal settore pubblico, dall'assicuratore, dal datore di lavoro, dai lavoratori o da altre parti interessate.
- ▶ Categorie di costo considerate:
 - ▶ Costi diretti: 1) spese sanitarie formali pagate dal settore pubblico/assicuratore; 2) spese di amministrazione del settore pubblico/assicuratore; 3) tempo di assistenza informale da parte della famiglia e della comunità; 4) spese vive del lavoratore per prodotti e servizi sanitari
 - ▶ Costi indiretti: 1) perdita di produzione sul mercato, perdita di produzione/guadagno per invalidità permanente, buste paga/indennità accessorie per adeguarsi al salario pieno, costi di amministrazione assicurativa (12% del salario totale), costi per la perdita di produzione domestica
 - ▶ Costi immateriali: perdite legate alla qualità della vita correlata alla salute
- ▶ Il costo medio totale è di EUR 55.000/incidente (rif. anno 2015, tasso di sconto al 3%, età pensionabile a 65 anni), spese totali per incidente: EUR 23,5 fattura. (1,4% del PIL)
- ▶ Costi totali dovuti a incidenti causati dall'inquinamento:
 $55.000 \times 0,08 \times 420.000 = 1.848$ miliardi di EUR/anno