

L'impatto ambientale e sanitario delle emissioni dell'impianto siderurgico di Taranto e della centrale termoelettrica di Brindisi

The Integrated Environmental Health Impact of emissions from a steel plant in Taranto and from a power plant in Brindisi, (Apulia Region, Southern Italy)

Ida Galise,¹ Maria Serinelli,¹ Angela Morabito,¹ Tiziano Pastore,¹ Annalisa Tanzarella,¹ Vito Laghezza,¹ Alessandra Nocioni,¹ Roberto Giua,¹ Lisa Bauleo,² Vito Bruno,¹ Carla Ancona,² Andrea Ranzi,³ Lucia Bisceglia,⁴ Gruppo Collaborativo VDS (vedi elenco p. 337)*

¹ Agenzia regionale per la prevenzione e protezione dell'ambiente della Regione Puglia, Bari

² Dipartimento di epidemiologia del Sistema sanitario regionale della Regione Lazio, ASL Roma 1, Roma

³ Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna, Bologna

⁴ Agenzia regionale strategica per la salute e il sociale della Puglia, Bari

Corrispondenza: Ida Galise; i.galise@arpa.puglia.it

RIASSUNTO

OBIETTIVI: stimare gli impatti ambientali e sanitari associati all'esposizione a PM_{2,5} originato dalle emissioni dell'ex ILVA di Taranto e della Centrale ENEL di Brindisi.

DISEGNO: è stata stimata l'esposizione media della popolazione al PM_{2,5} utilizzando modelli di dispersione sulla base di scenari emissivi sia misurati sia modellati secondo le prescrizioni delle autorizzazioni integrate ambientali (AIA) rilasciate nel 2012 all'ex ILVA e nel 2017 alla Centrale ENEL. Sono state utilizzate le funzioni concentrazione-risposta relative alla mortalità raccomandate dall'Organizzazione mondiale della sanità (Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE) e utilizzate nel Progetto CCM VIAS.

SETTING E PARTECIPANTI: residenti nei 40 comuni del dominio della valutazione del danno sanitario (VDS) di Brindisi (fonte: Istat 2011) e residenti nei comuni di Taranto, Statte e Massafra (fonte: studio di coorte).

PRINCIPALI MISURE DI OUTCOME: decessi attribuibili all'esposizione alle emissioni industriali per cause naturali, malattie cardiovascolari e respiratorie, tumore del polmone. *Incremental lifetime cumulative risks* (ILCR) per tumore del polmone (valore di riferimento per l'accettabilità del rischio: 1x10⁻⁴; 1 caso su 10.000).

RISULTATI: si osserva una riduzione dell'impatto sanitario dallo scenario pre a quello post AIA sia a Taranto sia a Brindisi. A Taranto si osservano ILCR superiori a 1x10⁻⁴ nel 2010 e nel 2012; a Tamburi l'ILCR è superiore a 1x10⁻⁴ anche per lo scenario 2015. A Brindisi gli ILCR stimati sono compresi tra 1x10⁻⁶ e 4x10⁻⁵.

CONCLUSIONI: la valutazione integrata di impatto ambiente e salute (VIAS) ha confermato i risultati delle VDS. Si stima un rischio non accettabile a Tamburi anche per lo scenario 2015, con una produzione di 4,7 milioni di tonnellate di acciaio, inferiore a quella autorizzata dall'AIA (8 milioni di tonnellate acciaio).

Parole chiave: PM_{2,5}, valutazione del rischio, valutazione di impatto sanitario, industria siderurgica, centrale elettrica

COSA SI SAPEVA GIÀ

- La Puglia, con legge regionale n. 21/2012, ha introdotto la valutazione del danno sanitario (VDS) nell'autorizzazione integrata ambientale (AIA).
- La valutazione del danno sanitario (VDS), basata sul *risk assessment* (RA) tossicologico, ha messo in evidenza un rischio cancerogeno superiore alla soglia di accettabilità di 1x10⁻⁴ (US-EPA) per lo scenario emissivo AIA 2012 dell'ex ILVA di Taranto; per la centrale di Brindisi la soglia risultava superata per rischio inalatorio non cancerogeno ma non per quello cancerogeno.
- Nelle due aree sono stati condotti studi di coorte residenziale.

COSA SI AGGIUNGE DI NUOVO

- È stata realizzata una valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) con approccio epidemiologico su tre scenari emissivi (pre-AIA, in corso di AIA e post-AIA) nelle aree di Taranto e Brindisi.
- È stata sperimentata una metodologia per la formulazione di un giudizio di accettabilità del rischio.
- Lo studio conferma i risultati delle VDS di Taranto e Brindisi; per Taranto mostra un rischio non accettabile nel quartiere prossimo allo stabilimento siderurgico anche per lo scenario 2015, non oggetto delle precedenti VDS.

ABSTRACT

OBJECTIVES: to estimate the environmental and health impact attributable to PM_{2,5} emissions from the ex-ILVA steel plant in Taranto and the ENEL power plant in Brindisi (Apulia Region, Southern Italy).

DESIGN: a SPRAY Lagrangian dispersion model was used to estimate PM_{2,5} concentrations and population weighted exposures following the requirements of the Integrated Environmental Authorization (IEA) of the two plants under study. Available concentration-response functions (OMS/HRAPIE and updates) were used to estimate the number of attributable premature deaths.

SETTING AND PARTICIPANTS: residents in the 40 municipalities of the domains of the VDS (assessment of health damage, according to the Regional Law n. 21/2012) of Brindisi (source: Italian National Institute of Statistics 2011 Census) and residents in Taranto, Statte, and Massafra (source: cohort study).

RASSEGNE E ARTICOLI

MAIN OUTCOME MEASURES: mortality from natural causes, cardiovascular and respiratory diseases, and lung cancer attributable to PM_{2.5}. Incremental lifetime cumulative risks (ILCRs) for lung cancer associated to PM_{2.5} exposure.

RESULTS: there was a reduction of the estimated impacts from the pre to the post IEA-scenarios in both Taranto and Brindisi. In Taranto, ILCRs greater than 1x10⁻⁴ were estimated in 2010 and 2012; the ILCR was greater than 1x10⁻⁴ in the district of Tamburi (near the plant) also for the 2015 scenario. ILCRs estimated for Brindisi were between 1x10⁻⁶ and 4x10⁻⁵.

CONCLUSIONS: the Integrated Environmental Health Impact Assessment confirmed the results of the VDS conducted according to the toxicological risk assessment approach. An unacceptable risk was estimated for Tamburi also for the 2015 scenario, characterized by a production of 4.7 million tons of steel, about half compared to one foreseen by the IEA (8 mt.).

Keywords: PM_{2.5}, risk assessment, health impact assessment, steel plant, power plant

INTRODUZIONE

Taranto e Brindisi sono aree caratterizzate dalla presenza di diversi stabilimenti produttivi e sono stati da tempo documentati gli effetti sanitari dell'inquinamento di origine industriale.¹⁻¹⁴

La Regione Puglia ha emanato nel 2012 la L.R. n. 21 "Norme a tutela della salute, dell'ambiente e del territorio sulle emissioni industriali inquinanti per le aree pugliesi già dichiarate a elevato rischio ambientale" per incorporare, attraverso il rapporto di valutazione di danno sanitario (VDS), elementi di prevenzione e protezione della salute umana nell'ambito delle procedure di autorizzazione integrata ambientale (AIA). I criteri metodologici per la redazione del rapporto VDS (Regolamento regionale n. 24/2012) considerano:

- 1 la descrizione del profilo epidemiologico della popolazione residente e del quadro di qualità ambientale;
- 2 la definizione di scenari emissivi pre e post definizione delle prescrizioni delle AIA degli impianti che insistono nel dominio di valutazione;
- 3 la stima dell'esposizione della popolazione a contaminanti di interesse sanitario attraverso modelli di dispersione;
- 4 il calcolo del rischio (cancerogeno e non) secondo l'approccio del *risk assessment* (RA) tossicologico proposto dalla United

States Environmental Protection Agency (US EPA).¹⁵ Le stime di rischio sono confrontate con soglie di accettabilità: US EPA considera un eccesso di rischio per tumore al di sotto di 1x10⁻⁶ (meno di 1 caso su 1.000.000 di persone esposte per tutta la vita) sufficientemente basso da essere trascurabile e rischi al di sopra di 1x10⁻⁴ (più di 1 caso su 10.000) sufficientemente alti da rendere opportuno qualche intervento.¹⁶ Il rischio non cancerogeno è espresso in termini di *hazard index* (dato dalla somma degli *hazard quotient* di ogni singola sostanza, ovvero dei quozienti che esprimono di quanto l'esposizione alla sostanza supera la dose di riferimento, RfD) ed è considerato accettabile se inferiore o uguale a 1. Queste soglie vanno intese come riferimenti operativi, superati i quali è necessario adottare strategie di ulteriore contenimento del rischio.

Un primo rapporto VDS nel 2013 ha valutato il rischio connesso alle emissioni industriali dello stabilimento siderurgico ex ILVA di Taranto sia nella situazione emissiva pre-AIA (2010) sia nello scenario conseguente al rilascio dell'AIA del 2012. La valutazione del rischio cancerogeno inalatorio prodotto dalle emissioni in aria dello stabilimento ha messo in luce una probabilità aggiuntiva di sviluppare un tumore (nell'arco dell'intera vita) superiore a 1x10⁻⁴ per una popolazione di circa 22.500 residenti a Taranto in relazione al quadro emissivo 2010 (pre-

DEFINIZIONI

AIA - Autorizzazione Integrata Ambientale

Provvedimento che autorizza l'esercizio di un impianto o di parte di esso a determinate condizioni che devono garantire che lo stesso sia conforme ai requisiti del decreto autorizzativo. Un'azienda rientra nella procedura di AIA quando le sue caratteristiche rispondono ai requisiti stabiliti in Allegato VIII (impianti di competenza regionale) e in Allegato XII (impianti di competenza statale) del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. con cui è recepita la direttiva dell'Unione europea relativa alle emissioni industriali (sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento).

VIIAS - Valutazione Integrata di Impatto Ambiente e Salute

Uno strumento per valutare i problemi relativi alla salute derivanti dall'ambiente nonché quantificare gli impatti sulla salute delle politiche e di altri interventi che incidono

sull'ambiente, in modo da tenere conto delle complessità, delle interdipendenze e delle incertezze del mondo reale. È un metodo comparativo, che prevede la valutazione e il confronto di diversi scenari. Questo approccio permette di valutare cosa e quanto si può guadagnare in termini di risparmio di malattie e morti premature se si definiscono scenari alternativi di riduzione delle emissioni o di prevenzione primaria.

VDS - Valutazione di Danno Sanitario

In attuazione della Legge Regionale n. 21 /2012 della Regione Puglia "Norme a tutela della salute, dell'ambiente e del territorio sulle emissioni industriali inquinanti per le aree pugliesi già dichiarate a elevato rischio ambientale", la VDS è redatta congiuntamente da Agenzia regionale dei servizi sanitari, Agenzia regionale per la prevenzione e la protezione dell'ambiente della Puglia

e Azienda sanitaria locale competente per territorio, con cadenza almeno annuale, in riferimento agli impianti soggetti ad AIA, insediati nelle aree di Brindisi e Taranto, che presentino specifiche caratteristiche definite nella stessa LR. I criteri metodologici sono definiti dal Regolamento Regionale n.24/2012.

In attuazione della Legge 24 dicembre 2012, n. 231, la VDS è il rapporto che l'Azienda sanitaria locale e l'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente competenti per territorio redigono congiuntamente, con aggiornamento almeno annuale, per gli stabilimenti di interesse strategico nazionale di dimensioni rilevanti soggetti ad AIA (impianto siderurgico ex ILVA di Taranto). I criteri metodologici utili per la redazione di tale rapporto sono definiti dal regolamento attuativo di cui al D.M. 24 aprile 2013.

RASSEGNE E ARTICOLI

AIA) e per una popolazione di circa 12.000 residenti a Taranto nella situazione post-AIA. I miglioramenti delle prestazioni ambientali, che si sarebbero conseguiti con l'attuazione dell'AIA, non risultavano compiutamente efficaci a ricondurre il rischio sanitario entro soglie di accettabilità.¹⁷

La VDS dell'area di Brindisi (2014) ha considerato le emissioni di tre centrali termoelettriche, del polo petrolchimico, di discariche e altre aziende presenti nel territorio. La procedura di RA ha messo in evidenza un livello massimo per il rischio cancerogeno inalatorio pari a $0,3 \times 10^{-4}$ (un valore appena sotto la soglia di accettabilità) e un *hazard index* >1 per il rischio inalatorio non cancerogeno, dovuto prevalentemente alle emissioni di una discarica.¹⁸

Contestualmente, in entrambe le aree sono stati condotti studi di coorti residenziali con l'obiettivo di indagare l'associazione tra le emissioni di origine industriale e lo stato di salute della popolazione. L'esposizione all'indirizzo di residenza è stata stimata attraverso modelli di dispersione. I risultati hanno riportato un'associazione tra l'esposizione a inquinanti selezionati e mortalità, ospedalizzazione e incidenza di alcune forme tumorali e hanno indicato la necessità di misure atte a tutelare la salute umana, incorporando nelle procedure autorizzative ambientali elementi di prevenzione e protezione sanitaria.^{19,20}

L'adozione dei provvedimenti in Puglia ha sollecitato una riflessione nazionale sul tema della valutazione degli impatti sanitari nei contesti autorizzativi. Il D.Lgs. 207/2012, convertito con modificazioni nella Legge 231/2012, nel classificare l'ILVA di Taranto come stabilimento di interesse strategico nazionale, ha introdotto la realizzazione di una VDS tra le procedure che possono motivare una richiesta di riesame dell'AIA per questa tipologia di impianti. Tale VDS deve essere condotta secondo i criteri metodologici successivamente definiti con il Decreto Interministeriale del 24.04.2013, che prevedono l'esecuzione di un RA tossicologico, ma solo a valle della verifica del superamento dei limiti ambientali stabiliti per gli inquinanti normati per scenari emissivi misurati.

Intorno a queste iniziative, si è innescato un dibattito che ha animato la comunità degli epidemiologi su approcci metodologici, procedure e implicazioni per le politiche.²¹⁻²⁴

Negli ultimi anni, sono state condotte in Italia diverse esperienze per la definizione di documenti di indirizzo per la valutazione di impatto ambientale e sanitario nelle procedure di autorizzazione ambientale: i progetti CCM "Tools for HIA (t4HIA)" e "Metodi per la valutazione integrata dell'impatto ambientale e sanitario dell'inquinamento atmosferico – Progetto VIIAS", le linee guida AssoARPA per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA, AIA).²⁵⁻²⁷

La tematica della valutazione preventiva degli impatti ambientali e sanitari è stata affrontata anche nel Piano nazionale della prevenzione 2014-2018. Il progetto CCM "Ambiente e Salute nel PNP 2014-2018: rete nazionale di epidemiologia ambientale, valutazione di impatto integrato sull'ambiente e salute, formazione e comunicazione (EpiAmbNet)"²⁸ ha realizzato alcuni casi studio per sperimentare la fattibilità di

queste valutazioni integrate in diverse aree e in diversi contesti e le criticità connesse.

Il caso studio pugliese ha affrontato il tema del confronto tra approccio tossicologico e approccio epidemiologico per la valutazione degli impatti e l'analisi di scenari pre-post autorizzazione in aree con la disponibilità di coorti georeferenziate e modelli di dispersione per la valutazione dell'esposizione.

In questo lavoro, sono illustrati i metodi e i risultati della stima dell'impatto delle emissioni dell'impianto siderurgico ex ILVA di Taranto e della centrale ENEL di Brindisi sulla salute dei residenti, in termini di contributo aggiuntivo di $PM_{2,5}$, in diversi scenari espositivi.

In particolare, gli obiettivi sono:

- stimare l'esposizione media della popolazione al $PM_{2,5}$ di origine industriale in relazione a scenari emissivi costruiti a partire da dati misurati (precedente al riesame dell'AIA e corrente) e uno scenario predittivo basato sugli adempimenti delle prescrizioni delle specifiche AIA;
- quantificare i decessi attribuibili all'esposizione a lungo termine secondo l'approccio epidemiologico dell'*health impact assessment* (HIA) nei diversi scenari;
- sperimentare una metodologia per la formulazione di un giudizio di accettabilità del rischio stimato attraverso l'approccio HIA;
- confrontare i risultati con le indicazioni ottenute con l'approccio del RA tossicologico applicato nelle VDS.

MATERIALE E METODI

L'impatto dell'esposizione a lungo termine al $PM_{2,5}$ industriale è stato stimato secondo la metodologia VIIAS, che implica la costruzione degli scenari emissivi, l'uso di modelli di dispersione degli inquinanti per la stima delle concentrazioni al suolo, la definizione della esposizione della popolazione, la scelta di adeguate funzioni concentrazione-risposta (FCR) e una conoscenza di base dei tassi di malattia e mortalità della popolazione. Il dominio territoriale di valutazione del presente studio coincide con quello delle VDS specifiche di area. Le concentrazioni al suolo di PM_{10} sono state stimate utilizzando un modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY, tenendo conto delle caratteristiche degli impianti, dei dati sulle emissioni, delle informazioni di tipo meteorologico e dell'orografia del territorio.^{17,18}

IMPIANTI, DATI EMISSIVI E MODELLI DI DISPERSIONE

A Taranto, la VIIAS è stata condotta sulle emissioni dello stabilimento ex ILVA (oggi ArcelorMittal Italia), il più grande complesso siderurgico a ciclo integrato in Europa.

Lo stabilimento nacque nel 1965 e nel 1968 raddoppiò la capacità produttiva, raggiungendo un'estensione di circa 1.500 ettari (maggiore dell'area del nucleo cittadino): conta un parco minerario principale, dove vengono stoccate le materie prime, che si estende per circa 70 ettari, situato a ridosso del quartiere Tamburi, e diversi parchi secondari; una cokeria con 12 batterie per la produzione del coke utilizzato in cinque altiforni (a

RASSEGNE E ARTICOLI

oggi non tutti attivi), un impianto di agglomerazione; l'area a freddo per la produzione di tubi e laminati; diverse discariche. Da un punto di vista autorizzativo, lo stabilimento ha ottenuto la prima AIA nel 2011, seguita dal decreto di riesame AIA del 26.10.2012 (che autorizzava una produzione massima pari a 8 milioni di tonnellate di acciaio) e, dopo diversi interventi normativi, dal recente DPCM del 29.09.2017.

Ai fini dell'elaborazione del modello diffusionale, sono state considerate le emissioni di PM_{10} misurate di 181 sorgenti convogliate. La stima delle emissioni non convogliate (diffuse e/o fuggitive) è stata ottenuta basandosi su dati produttivi/gestionali e documentazione tecnica di settore. Sono state considerate le emissioni diffuse cosiddette fredde, provenienti dai parchi "materie prime" e dalla "movimentazione e trasporto dei materiali", e le emissioni diffuse/fuggitive calde provenienti dalle aree impiantistiche quali cokeria, altoforno, agglomerato e acciaierie.

Sono stati considerati tre scenari emissivi:

- 2010: relativo a una situazione emissiva reale pre-AIA;
- 2012: scenario delle emissioni simulate in conseguenza delle prescrizioni definite dall'AIA rilasciata in quell'anno;
- 2015: relativo alla situazione emissiva reale, in corso di adeguamento all'AIA.

Oggetto della VIAS a Brindisi è la centrale termoelettrica ENEL Brindisi Sud, alimentata a carbone e costituita da quattro sezioni, con una capacità di 660 MWe ciascuna, entrata in funzione tra il 1991 e il 1993. Da un punto di vista autorizzativo, nel 2004 la centrale era autorizzata alle emissioni in atmosfera ai sensi del D.P.R. 203/88 con il decreto del Ministero delle attività produttive. La prima autorizzazione AIA per installazione esistente risale al 2012, riesaminata nel 2017.

Le emissioni convogliate considerate nelle valutazioni di impatto sono relative ai 4 gruppi termici. Le emissioni diffuse sono state stimate per il parco carbonile (movimentazione di materiali pulverulenti), scoperto sino al 2015, e hanno riguardato le attività legate al carico-scarico dei materiali (carbone, ceneri e gessi) e la movimentazione mediante mezzi di trasporto su gomma e nastro.

Nell'area di Brindisi sono stati valutati gli scenari emissivi 2004, 2010 e 2017. I primi due si riferiscono a situazioni emissive reali, ricostruite a partire da dati misurati (per le emissioni convogliate) e stimati (per le emissioni diffuse). Per il 2017, è stato considerato il quadro emissivo autorizzato dall'ultimo decreto di riesame dell'AIA di ENEL, considerando i limiti emissivi autorizzati e la massima capacità produttiva.

Le concentrazioni medie annuali di $PM_{2,5}$, scelto come tracciatore dell'inquinamento industriale e per il quale sono disponibili da letteratura stime di effetto sulla mortalità, sono state ottenute, per ciascun scenario, dalla conversione delle concentrazioni di PM_{10} , applicando un coefficiente specifico per area. Tale coefficiente è stato calcolato come media del rapporto tra le medie annue di $PM_{2,5}$ e PM_{10} ottenute dalle centraline della rete regionale di qualità dell'aria nel periodo 2010-2017. Tale rapporto è pari a 0,50 per Taranto e 0,65 per Brindisi.

Nelle tabelle S1 e S2 (materiali supplementari on-line) sono

descritte nel dettaglio le informazioni a partire dalle quali sono stati ricostruiti gli scenari emissivi e in figura S1 (materiali supplementari on-line) è rappresentato lo schema modellistico adottato.

POPOLAZIONE

Per l'area di Taranto, è stata considerata la coorte dei residenti al 01.01.1998 e delle persone che sono successivamente entrate per nascita o immigrazione fino al 31.12.2010 nei comuni di Taranto, Statte e Massafra.¹⁹ Ai fini del presente studio, è stato calcolato il numero medio di abitanti con età maggiore di 30 anni nei periodi 2009-2011, 2011-2013 e 2012-2013. In figura S2 (materiali supplementari on-line) sono riportati i confini amministrativi dei comuni che costituiscono l'area in studio, mentre i puntini indicano la localizzazione geografica della residenza dei soggetti reclutati nella coorte; in figura S3 (materiali supplementari on-line) sono rappresentati i diversi quartieri.

Per l'area di Brindisi, sono in studio i 339.085 residenti al Censimento 2011 (età 30 anni e più) nei 40 comuni del dominio della VDS di Brindisi (figura S4). Sono oggetto di approfondimento i 23.784 residenti nell'area di massima ricaduta (comuni di S. Pietro Vernotico, Torchiariolo e Squinzano). Le tabelle S3 e S4 mostrano la distribuzione per classi di età e genere delle popolazioni oggetto di studio.

L'esposizione media annuale della popolazione è stata calcolata, per ogni scenario, pesando le concentrazioni di $PM_{2,5}$ al suolo per la popolazione residente, al fine di ottenere una stima della Population Weighted Exposure (PWE). Nel caso di Taranto, dove è stata utilizzata la popolazione georeferenziata della coorte, l'esposizione è stata stimata all'indirizzo di residenza; nel caso di Brindisi, l'esposizione a PM_{10} è stata attribuita agli abitanti di ogni sezione censuaria pesando sulla popolazione residente al censimento 2011, ipotizzando una omogeneità geografica della distribuzione della popolazione all'interno di ogni sezione. Le PWE sono state calcolate come media delle concentrazioni pesate di tutte le sezioni censuarie comprese nell'area oggetto di studio e nell'area a maggior ricaduta.

STIMA DEL RISCHIO

Per la stima dell'impatto, sono stati considerati i decessi per patologie per le quali esiste sufficiente evidenza di relazione causale con l'inquinamento atmosferico: mortalità non accidentale (tutte le cause di morte con esclusione delle morti violente), tumore del polmone, malattie dell'apparato cardiovascolare e respiratorio. La fonte dei dati di mortalità è rappresentata dal Registro nominativo delle cause di morte (ReNCaM).

Nel caso studio di Taranto, è stato considerato il numero medio di decessi che si è verificato nella coorte con età maggiore di 30 anni nei periodi 2009-2011, 2011-2013 e 2012-2014 nell'intera area (tabella S5) e tra i residenti nel quartiere Tamburi (l'informazione relativa al quartiere di residenza è disponibile fino al 2013, per cui per il terzo scenario è stata calcolata la media del biennio 2012-2013) (tabella S6).

Nel caso studio di Brindisi, a partire dai dati del ReNCaM

RASSEGNE E ARTICOLI

CAUSA DI MORTALITÀ	ICD-9	ICD-10	ETÀ	RR	IC95%
Cause naturali	001-629; 677-799		30+ aa	1,07	(1,04-1,09)
Tumore del polmone	162	C33 e C34		1,09	(1,04-1,14)
Malattie cardiovascolari	390-459	I		1,1	(1,05-1,15)
Malattie respiratorie	460-519	J		1,1	(0,98-1,24)

Tabella 1. Associazione tra esposizione a PM_{2,5} e mortalità specifica per causa, come rilevato nella letteratura scientifica: rischio relativo (RR) e intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per un incremento di 10 µg/m³.

Table 1. Association between PM_{2,5} exposure and cause-specific mortality as reported in the scientific literature: relative risk (RR) and 95% confidence interval (95%CI) for an increment of 10 µg/m³.

provinciale, è stato calcolato il numero medio annuale di decessi dei residenti con età maggiore di 30 anni, rispettivamente nei periodi 2004-2005, 2009-2011 e 2013-2015, nei comuni che ricadono nel dominio oggetto di studio (tabella S7) e nell'area dei comuni S. Pietro Vernotico, Torchiarolo e Squinzano (tabella S8).

Le funzioni concentrazione-risposta (FCR) proposte dall'OMS nel documento HRAPIE e successivamente aggiornate²⁹⁻³⁰ sono state utilizzate per stimare, per tutti i residenti di 30 o più anni di età, i danni alla salute attribuibili alle esposizioni di lungo termine a PM_{2,5}. Per il tumore al polmone, si sono considerati i risultati della metanalisi di Hamra et al. (tabella 1).³¹ La FCR, espressa come rischio relativo, correla la risposta in termini di incremento percentuale di mortalità alla concentrazione dell'inquinante (10µg/m³).

L'impatto del PM_{2,5} sulla salute della popolazione residente è stato valutato in termini di numero di decessi attribuibili all'esposizione, applicando la seguente formula:

$$\text{decessi attribuibili} = AF * C * B_0 * P$$

dove

$$AF = \frac{\exp\left(\frac{\ln(RR)}{10}\right) - 1}{\exp\left(\frac{\ln(RR)}{10}\right)}$$

rappresenta la proporzione della mortalità nella popolazione esposta attribuibile all'inquinamento atmosferico per incremento unitario di PM_{2,5}; C è la *population weighted exposure* (PWE) stimata per il PM_{2,5}; B₀ è il tasso di mortalità di background dell'esito sanitario considerato nella popolazione; P è la popolazione esposta.

Per poter effettuare un confronto con un approccio di tipo tossicologico, a partire dalla relazione algebrica tra UR tossicologico e RR epidemiologico indicata dall'OMS,³² si è proceduto a stimare l'*incremental lifetime cumulative risk* (ILCR) per tumore del polmone associato all'esposizione a PM_{2,5}, ovvero il rischio cumulativo di sviluppare un tumore del polmone nel corso della vita associato all'esposizione considerata, calcolato secondo la seguente formula:

$$ILCR = P_{cri(30-74)} * \left[\exp\left(\frac{\ln(RR)}{10}\right) - 1 \right] * C$$

dove P_{cri(30-74)} è il rischio cumulativo di morire per tumore del polmone tra 30 e 74 anni, calcolato per ogni scenario a partire dai tassi medi di mortalità specifici per età per classi quinquennali osservati a Taranto nei periodi 2009-2011,

2011-2013 e 2012-2014 (fonte: coorte) e a Brindisi nei periodi 2004-2005, 2009-2011 e 2013-2015 (fonte: ReNCaM provinciale);³³

$$\left[\exp\left(\frac{\ln(RR)}{10}\right) - 1 \right]$$

rappresenta l'incremento di rischio di tumore polmonare per 1 µg/m³ di PM_{2,5} per i soggetti con più di 30 anni ed è stato calcolato considerando sia il RR per tumore al polmone per incrementi di 10 mg/m³ di PM_{2,5} (1,09) sia il limite inferiore del suo intervallo di confidenza al 95% (1,04); C è la PWE per il PM_{2,5}.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i criteri di accettabilità del rischio tossicologico secondo l'approccio US EPA. Per le sostanze cancerogene si considera "accettabile" un rischio incrementale per esposizione *lifetime* inferiore a 1x10⁻⁶, prevedendo interventi discrezionali nel range 1x10⁻⁴ e 1x10⁻⁶ e un intervento pianificato in caso di rischio superiore a 1x10⁻⁴.

RISULTATI

Nelle figure 1 e 2 sono rappresentate le concentrazioni al suolo di PM₁₀ industriale stimate nei diversi scenari considerati. In tabella 2 sono riportate le PWE a PM_{2,5} (con le deviazioni standard) stimate come medie annuali; il numero di decessi (assoluto e per 10.000 abitanti) e la proporzione di decessi attribuibili all'esposizione rispetto al totale dei decessi, per ciascuno scenario e per le cause di morte selezionate, a Taranto e Brindisi. Nel caso di Taranto, la stima del numero di decessi/anno per cause naturali attribuibili all'inquinamento da PM_{2,5} emesso da ILVA è pari a 28, 18 e 5 casi, rispettivamente, per gli scenari 2010, 2012 e 2015; a Tamburi sono stati stimati 8,5, 4,6 e 1,9 decessi/anno attribuibili al PM_{2,5} nei tre scenari considerati (tabella 2). Si osservano ILCR superiori alla soglia di accettabilità nel 2010 (4,3x10⁻⁴ nell'area e 2,6x10⁻³ a Tamburi) e 2012 (2,7x10⁻⁴ nell'area e 1,1x10⁻³ a Tamburi). A Tamburi, sono maggiori di 1x10⁻⁴ anche nello scenario 2015, caratterizzato da una produzione pari a poco più della metà rispetto a quella autorizzata dall'AIA (4,7 milioni di tonnellate di acciaio rispetto alla produzione autorizzata di 8 milioni di tonnellate), ma senza il completamento degli interventi previsti (tabella 3). Il numero di decessi/anno per cause naturali attribuibili all'inquinamento da PM_{2,5} emesso dalla centrale ENEL a Brindisi è risultato pari 3,8, 1,5 e 1,6 casi rispettivamente per gli scenari 2004, 2010 e 2017 (tabella 2). Gli ILCR stimati per Brindisi sono compresi tra 10⁻⁶ e 4x10⁻⁵ (tabella 3).

RASSEGNE E ARTICOLI

DISCUSSIONE

Il numero dei decessi attribuibili al contributo aggiuntivo di $PM_{2,5}$ dell'impianto siderurgico ex ILVA di Taranto e dalla centrale ENEL di Brindisi appare in diminuzione confrontando lo scenario emissivo pre-AIA con quello post-AIA in entrambe le aree in studio. Il rischio di sviluppare il tumore al polmone nell'area di Taranto è risultato non accettabile (superiore a 1×10^{-4}) negli scenari 2010 e 2012 e, limitatamente al quartiere Tamburi situato a ridosso dell'ILVA, anche nello scenario 2015. Gli ILCR stimati per Brindisi forniscono stime di rischio comprese nel range di discrezionalità per tutti gli scenari (ovvero compresi tra 10^{-6} e 6×10^{-5}).

L'obiettivo di questo studio era quello di sperimentare un approccio di tipo epidemiologico nel contesto delle AIA, per offrire un confronto – di metodo, nei risultati e nelle conseguenze applicative – rispetto al più tradizionale approccio del RA tossicologico, come suggerito dalle Linee Guida VIIAS prodotte dal Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (SNPA).²⁷

Anche gli studi VDS, condotti ai sensi della L.R. 21/2012 secondo l'approccio del RA, avevano messo in evidenza un rischio cancerogeno superiore alla soglia di accettabilità per le emissioni dell'ex ILVA a Taranto, mentre per gli insediamenti industriali di Brindisi il livello massimo di rischio cancerogeno inalatorio era pari a 3×10^{-5} .

Il RA, in generale, è una procedura che, correlando i dati tossicologici con il livello di esposizione, permette di stimare quantitativamente il rischio derivante dall'esposizione a sostanze tossiche e/o cancerogene. Questo rischio viene poi confrontato con i criteri di accettabilità che, per le sostanze non cancerogene con soglia di effetto coincide con il non superamento del valore di riferimento RfD_{inal} ($HI \leq 1$), mentre, per le sostanze cancerogene, l'US EPA ha proposto i tre livelli sopraccitati di accettabilità. Nel caso dell'approccio epidemiologico, le stime di rischio derivate da studi epidemiologici vengono utilizzate per effettuare una stima del numero di eventi sanitari attribuibili alla variazione delle concentrazioni di inquinanti provenienti da specifiche sorgenti emissive, tenendo conto dell'occorrenza di base dell'evento sanitario in studio nella popolazione esposta. Rispetto all'approccio tossicologico, è, quindi, necessaria una caratterizzazione della specifica popolazione in studio, dal punto di vista sia del livello di esposizione sia del profilo epidemiologico.

La IARC ha stabilito che esistono prove sufficienti della cancerogenicità dell'inquinamento atmosferico, classificando nel gruppo I (cancerogeno per l'uomo) il particolato fine ($PM_{2,5}$) in relazione al tumore al polmone.³⁴ Si è, dunque, aperta la possibilità di confrontare le indicazioni di accettabilità dell'US-EPA per le sostanze cancerogene con approccio tossicologico con indicazioni analoghe derivanti da evidenze di tipo epidemiologico. Studi successivi hanno mostrato una relazione lineare tra le concentrazioni di $PM_{2,5}$ nel range misurato anche nelle due aree in esame e la mortalità per tumore del polmone.^{35,36}

La relazione algebrica tra UR tossicologico e RR epidemiologi-

co ha reso possibile, per il tumore del polmone, una valutazione del livello di accettabilità del rischio incrementale di sviluppare un tumore nel corso della vita, basato sui livelli massimi accettabili di esposizione della popolazione indagata.³⁷

La valutazione di impatto sanitario condotta a Taranto e a Brindisi ha utilizzato due possibili approcci per la stima dell'esposizione media della popolazione: nell'area di Brindisi calcolata a partire dai dati censuari, mentre per i residenti della coorte di Taranto è stato considerato l'indirizzo georeferenziato. In entrambi i casi studio, la concentrazione al suolo del particolato è stata stimata utilizzando i modelli di dispersione in atmosfera. Le informazioni di *background* derivano a Brindisi dal Registro nazionale delle cause di morte (ReNCaM), mentre nel caso di Taranto dalle informazioni contenute nella coorte.

L'esercizio conferma, dunque, come una VIIAS possa essere eseguita anche avendo la sola disponibilità di sistemi informativi correnti (Brindisi); la disponibilità di studi analitici e la conseguente disponibilità di informazioni a livello del singolo individuo (coorte di Taranto) forniscono l'evidente vantaggio di effettuare valutazioni fino a un livello di aggregazione subcomunale, anche per gli indicatori sullo stato di salute della popolazione.

È stata sperimentata la possibilità di formulare un giudizio di accettabilità del rischio stimato utilizzando l'approccio VIIAS. Dai risultati è emerso che, nel caso della centrale ENEL di Brindisi, il rischio cumulativo di sviluppare un tumore del polmone è inferiore alla soglia di accettabilità per tutti gli scenari emissivi studiati, mentre a Taranto, nel quartiere Tamburi, il rischio non è mai accettabile, neanche nello scenario 2015, caratterizzato da una produzione dell'ex ILVA pari a poco più della metà rispetto a quella autorizzata dall'AIA, ma senza il completamento degli interventi previsti.

L'approccio VIIAS ha, quindi, confermato i risultati delle VDS condotte seguendo l'approccio del RA. La procedura di RA si fonda su funzioni di rischio tossicologiche e quindi generali, e non richiede né considera la caratterizzazione della popolazione effettivamente esposta in termini epidemiologici. Questo aspetto risulta, dal punto di vista degli autori, un elemento di forza dell'approccio VIIAS, dal momento che consente di tenere conto di specifiche vulnerabilità nella definizione dei quadri autorizzativi ambientali, che modificano i livelli massimi accettabili di esposizione della popolazione.

Nell'interpretazione dei risultati, anche a fini operativi, occorre considerare che precedenti studi di epidemiologia analitica e descrittiva condotti nell'area avevano già messo in luce specifiche criticità nei tassi di mortalità per patologie associate alle emissioni dell'impianto siderurgico nel comune di Taranto, nel quartiere Tamburi in particolare. La documentata maggiore vulnerabilità della popolazione imporrebbe dunque l'adozione di limiti ambientali più stringenti, da definirsi a partire da un livello di esposizione della popolazione raccomandato, al fine di contenere ulteriori impatti sanitari. Deve essere sottolineato che, in considerazione del fatto che l'approccio epidemiologico valuta lo stato di salute della popolazione effettivamente oggetto di studio, il livello di esposizione

RASSEGNE E ARTICOLI

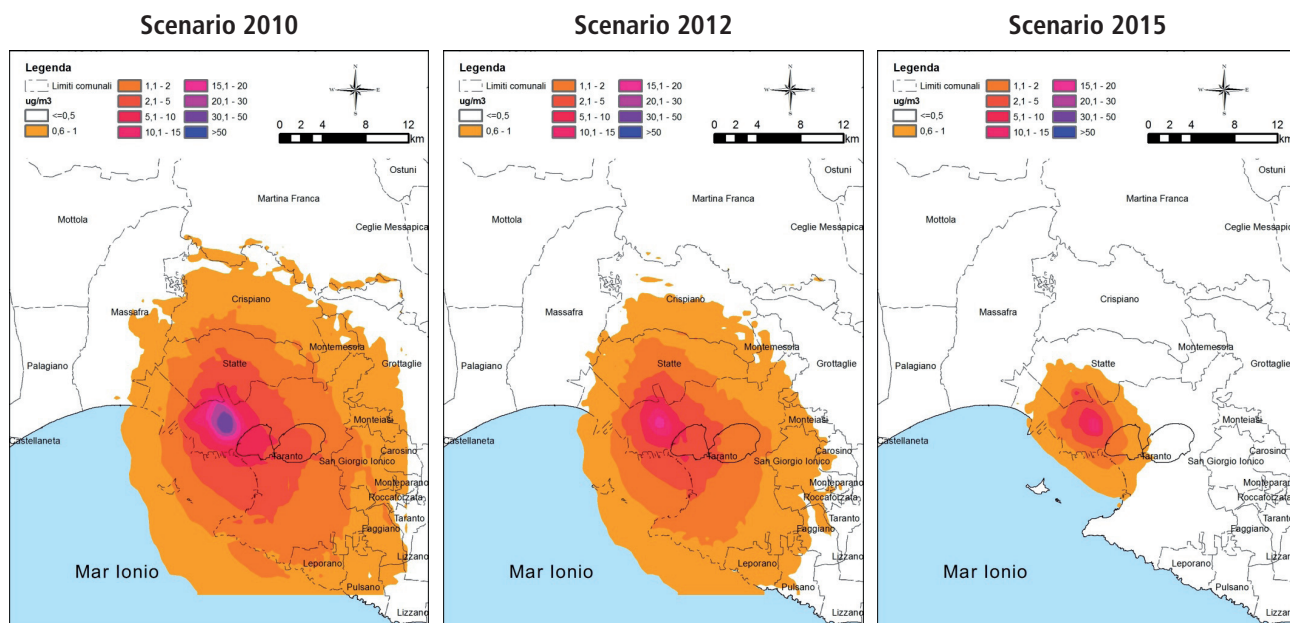


Figura 1. Concentrazione media annuale di PM₁₀ primario (µg/m³) prodotto dalle emissioni dallo stabilimento ex ILVA di Taranto.
Figure 1. Average annual PM₁₀ primary concentration (µg/m³) produced by emissions from the ex ILVA plant in Taranto.

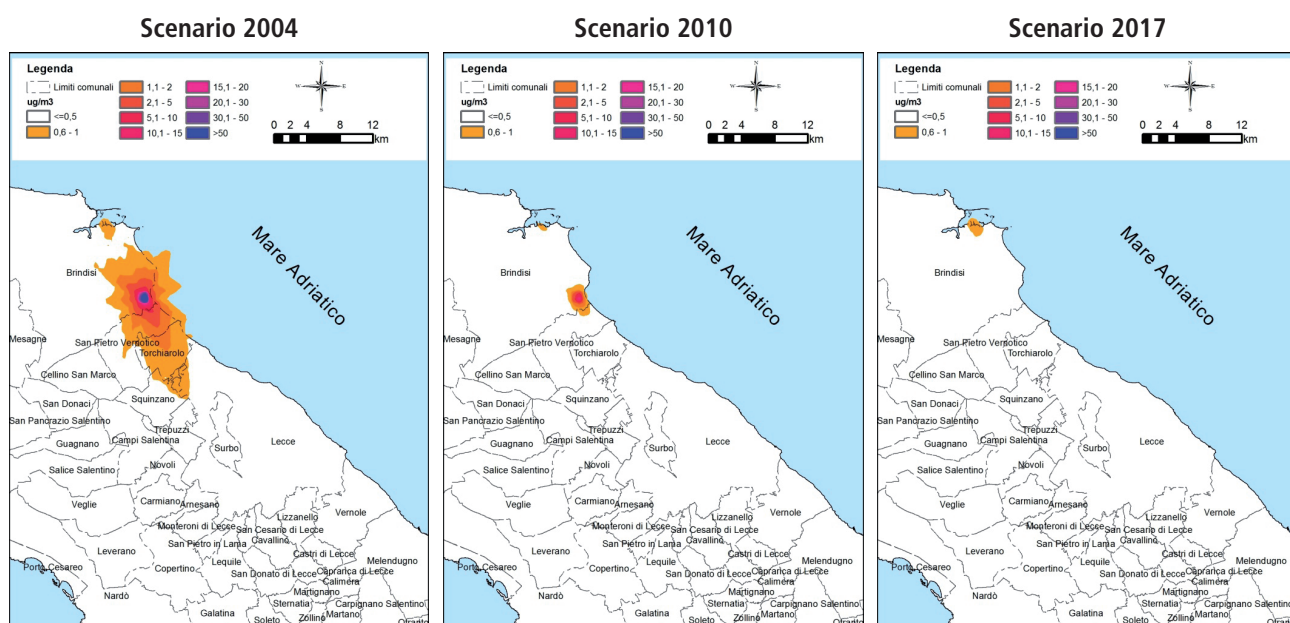


Figura 2. Concentrazione media annuale di PM₁₀ primario (µg/m³) prodotto dalle emissioni della Centrale ENEL di Brindisi.
Figure 2. Average annual PM₁₀ primary concentration (µg/m³) produced by emissions from the ENEL power plant in Brindisi.

raccomandato non è univoco, ma specifico per sito e funzione dell'incidenza di *background* della patologia nella popolazione indagata.

Alcune assunzioni e limitazioni nella procedura sono ancora presenti e oggetto di discussione, in particolare circa la necessità di disporre di robuste FCR, che, a oggi, riguardano prevalentemente il PM_{2,5} misurato in contesti urbani e non industriali. L'inquinamento emesso da una sorgente industriale ha una composizione e, quindi, un profilo tossicologico sicuramente differente rispetto a quello riscontrabile in un contesto urbano.

Un ulteriore elemento da considerare è che, nel caso del RA tossicologico, l'accettabilità del rischio riguarda lo sviluppo di un generico tumore, mentre la procedura proposta riguarda il rischio di decesso del solo tumore del polmone. In ogni caso, dal momento che il particolato atmosferico è di per sé una "miscela complessa" di diverse sostanze con diverso livello di cancerogenicità, l'approccio epidemiologico stima di fatto un rischio cumulativo: è questo il riferimento tossicologico a cui ci si propone di confrontarsi nel considerare i limiti di accettabilità.

RASSEGNE E ARTICOLI

AREA IN STUDIO	ANNO DELLO SCENARIO	PWE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CAUSA DI DECESSO											
				CAUSE NATURALI			TUMORE DEL POLMONE			MALATTIE CARDIOVASCOLARI			MALATTIE RESPIRATORIE		
				ICD-9: 001-629; 677-799			ICD-9: 162			ICD-9: 390-459			IC-9: 460-519		
				DA	DA %	DA per 10.000 ab.	DA	DA %	DA per 10.000 ab.	DA	DA %	DA per 10.000 ab.	DA	DA %	DA per 10.000 ab.
Area VDS Taranto	pre-AIA (2010)	1,90	1,95	28	1,28	1,6	2	1,62	0,1	15	1,8	0,8	3	1,8	0,2
	AIA (2012)	1,22	1,03	18	0,82	1	1	1,04	0,1	10	1,15	0,6	2	1,15	0,1
	post-AIA (2015)	0,34	0,48	5	0,23	0,3	0	0,29	0	3	0,32	0,2	0	0,32	0
Quartiere Tamburi	pre-AIA (2010)	7,86	3,14	8,5	5,2	7,7	0,7	6,6	0,6	4,6	7,2	4,2	1	7,2	0,9
	AIA (2012)	4,19	1,31	4,6	2,8	4,2	0,3	3,5	0,3	2,5	3,9	2,3	0,5	3,9	0,5
	post-AIA (2015)	1,76	1,04	1,9	1,2	1,7	0,1	1,5	0,1	1,1	1,7	1	0,2	1,7	0,2
Area VDS Brindisi	pre-AIA (2010)	0,12	0,06	3,8	0,08	0,11	0,3	0,11	0,01	2,1	0,12	0,06	0,4	0,12	0,01
	AIA (2012)	0,04	0,02	1,5	0,03	0,04	0,1	0,04	0,00	0,8	0,04	0,02	0,2	0,04	0,01
	post-AIA (2015)	0,042	0,03	1,6	0,03	0,05	0,1	0,04	0,00	0,8	0,04	0,02	0,2	0,04	0,01
S. Pietro Vernotico, Torchiarolo e Squinzano	pre-AIA (2010)	0,263	0,05	0,5	0,18	0,21	0,04	0,23	0,02	0,29	0,25	0,12	0,05	0,25	0,02
	AIA (2012)	0,08	0,01	0,2	0,05	0,07	0,01	0,07	0	0,11	0,07	0,05	0,01	0,07	0,01
	post-AIA (2015)	0,05	0,01	0,1	0,04	0,05	0,01	0,05	0	0,07	0,05	0,03	0,02	0,05	0,01

Tabella 2. Population Weighted Exposure (PWE) a $\text{PM}_{2,5}$ emesso dall'ex ILVA di Taranto e dalla centrale ENEL di Brindisi (media annuale e deviazione standard, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$); decessi attribuibili (DA), proporzione di decessi attribuibili rispetto al totale (DA%) e decessi attribuibili all'esposizione a $\text{PM}_{2,5}$ per 10.000 abitanti (DA per 10.000 ab.), per causa di morte nei diversi scenari. Area VDS Taranto, quartiere Tamburi, area VDS Brindisi e comuni S. Pietro Vernotico, Torchiarolo e Squinzano.

Table 2. Population Weighted Exposure (PWE) to $\text{PM}_{2,5}$ from the former ILVA steel plant (Taranto) and from the ENEL power plant (Brindisi) (annual average and standard deviation, expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$); attributable deaths (DA), proportion of attributable deaths (DA%) and deaths attributable to exposure to $\text{PM}_{2,5}$ per 10,000 inhabitants (DA per 10,000 inhabitants) in the different scenarios. Taranto VDS area, Tamburi district, Brindisi VDS area and S. Pietro Vernotico, Torchiarolo, and Squinzano municipalities.

ANNO SCENARIO	AREA IN STUDIO			
	ILCR (RR 1,09)	ILCR (RR 1,04)	ILCR (RR 1,09)	ILCR (RR 1,04)
	AREA VDS TARANTO		TAMBURI	
2010	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$
2012	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-4}$
2015	$6,3 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-5}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$
	AREA VDS BRINDISI		S.PIETRO V., TORCHIAROLO E SQUINZANO	
2004	$3,3 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$
2010	$1,2 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-5}$	$5,8 \times 10^{-6}$
2017	1×10^{-5}	$4,6 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-6}$

Gli ILCR sono espressi in notazione esponenziale (per esempio, 0,00044 è rappresentato nel formato scientifico $4,4 \times 10^{-4}$). / ILCRs are expressed in scientific notation (e.g., 0,00044 is represented by the scientific notation $4,4 \times 10^{-4}$)

Tabella 3. Incremental Lifetime cumulative risk (ILCR) per tumore del polmone associato all'esposizione a $\text{PM}_{2,5}$ emesso dall'ex ILVA di Taranto e dalla centrale ENEL di Brindisi nei diversi scenari, stimato utilizzando sia il rischio relativo (RR) per tumore del polmone (1,09) sia il limite inferiore del suo intervallo di confidenza al 95% (1,04).

Table 3. Incremental Lifetime cumulative risk (ILCR) for lung cancer associated with $\text{PM}_{2,5}$ from the former ILVA steel plant (Taranto) and the ENEL power plant (Brindisi) in different scenarios, estimated using Relative Risk (RR) for lung cancer (1.09) and the lower bound of its 95% confidence interval (1.04).

RASSEGNE E ARTICOLI

Da un punto di vista di sanità pubblica, la stima di un rischio non accettabile a Tamburi anche per lo scenario 2015, caratterizzato da una produzione pari a poco più della metà rispetto a quella autorizzata dall'AIA, sollecita un'attuazione degli interventi previsti a tutela della salute della popolazione residente e una valutazione delle attuali previsioni del Piano ambientale (DPCM 29.09.2017) per verificarne gli impatti sanitari.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Ringraziamenti. Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto CCM "Ambiente e Salute nel PNP 2014-2018: rete nazionale di epidemiologia ambientale, valutazione di impatto integrato sull'ambiente e salute, formazione e comunicazione (EpiAmbNet)", finanziato dal Ministero della Salute.

***Gruppo Collaborativo VDS. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione dell'Ambiente della Regione Puglia, Bari:** Francesca Intini, Anna Maria Nannavecchia, Gaetano Saracino; **Agenzia regionale strategica per la salute e il sociale della Puglia, Bari:** Vito Petrarolo, Antonio Chieti; **Azienda sanitaria locale Taranto:** Sante Minerba, Antonella Mincuzzi, Simona Leogrande; **Azienda sanitaria locale Brindisi:** Giuseppe Spagnolo, Antonino Ardizzone, Susi Epifani.

BIBLIOGRAFIA

- Bertolini R, Faberi M, Di Tanno N (eds). Ambiente e salute in Italia. Roma, Il Pensiero Scientifico Editore, 1997.
- Assennato G, Bisceglia L, Bruni A, Ciaccia G, Minerba S. Effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico nella città di Taranto: Studio MISA. *Epidemiol Prev* 2004;28(4-5) Suppl:1-100.
- Gianicolo EA, Serinelli M, Vigotti MA, Portaluri M. Mortalità nei comuni della Provincia di Brindisi, 1981-2001. *Epidemiol Prev* 2008;32(1):49-57.
- Martinelli D, Mincuzzi A, Minerba S et al. Malignant cancer mortality in Province of Taranto (Italy). Geographic analysis in an area of high environmental risk. *J Prev Med Hyg* 2009;50(3):181-90.
- Graziano G, Bilancia M, Bisceglia L, de Nichilo G, Pollice A, Assennato G. Statistical analysis of the incidence of some cancers in the province of Taranto 1999-2001. *Epidemiol Prev* 2009;33(1-2):37-44.
- Serinelli M, Gianicolo EA, Cervino M, Mangia C, Portaluri M, Vigotti MA. Effetti acuti dell'inquinamento a Brindisi: analisi case-cross-over. *Epidemiol Prev* 2010;34(3):100-07.
- Pirastu R, Iavarone I, Pasetto R et al. SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento: Risultati. *Epidemiol Prev* 2011;35(5-6) Suppl 4:1-204.
- Mataloni F, Stafoggia M, Alessandrini E, Triassi M, Biggeri A, Forastiere F. Studio di coorte sulla mortalità e morbosità nell'area di Taranto. *Epidemiol Prev* 2012;36(5):237-52.
- Gianicolo EA, Bruni A, Rosati E et al. Congenital anomalies among live births in a polluted area. A ten-year retrospective study. *BMC Pregnancy Childbirth* 2012;12:165.
- Gianicolo EA, Bruni A, Mangia C, Cervino M, Vigotti MA. Acute effects of urban and industrial pollution in a government-designated "Environmental risk area": the case of Brindisi, Italy. *Int J Environ Health Res* 2013;23(5):446-60.
- Baccini M, Biggeri A, Gruppo Collaborativo EpiAir2. Impatto a breve termine dell'inquinamento dell'aria nelle città coperte dalla sorveglianza epidemiologica EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):252-62.
- Pirastu R, Comba P, Conti S et al. SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento: Mortalità, incidenza oncologica e ricoveri ospedalieri. *Epidemiol Prev* 2014;38(5) Suppl 1:1-170.
- Minerba S, Mincuzzi A, Leogrande S, Serio G, Trerotoli P et al. Le mappe della salute a Taranto. Risultati dell'indagine IESIT 2. 2018. Disponibile all'indirizzo: https://www.sanita.puglia.it/ricerca_det/-/journal_content/56/890301/le-mappe-della-salute-a-taranto-indagine-iesit-2
- Zona A, Iavarone I, Buzzoni C et al. Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti esposti a rischio di inquinamento. Quinto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl 1:1-208.
- US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Part A. Washington, US EPA, 1989. Disponibile all'indirizzo: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf
- US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I: Human Health Evaluation Manual. Part F: Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment. Washington, US EPA, 2009.
- ARPA PUGLIA, ARReSS Puglia, ASL TA (eds). Rapporto di Valutazione del Danno Sanitario. Stabilimento ILVA di Taranto ai sensi della L.R. 21/2012, 2013. Disponibile all'indirizzo: <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/vds1>
- ARPA PUGLIA, ARReSS Puglia, ASL BR. Rapporto di Valutazione speditiva del Danno Sanitario nell'area di Brindisi ai sensi della L.R. 21/2012. Dicembre 2014 Rev.01 Settembre 2015. Disponibile all'indirizzo: http://www.arpa.puglia.it/c/document_library/get_file?uuid=42e8d592-b1a6-4490-9a1f-e89b8af07c27&groupId=13879
- Gruppo di lavoro per la conduzione di studi di epidemiologia analitica Area Taranto e Brindisi - Centro Salute e Ambiente Puglia. Macroarea 3, Linea d'intervento 3.4. Studio di coorte sugli effetti delle esposizioni ambientali occupazionali sulla morbosità e mortalità della popolazione residente a Taranto - Rapporto Conclusivo. Agosto 2016. Disponibile all'indirizzo: <https://www.sanita.puglia.it/web/csa/relazioni-scientifiche>
- Gruppo di lavoro per la conduzione di studi di epidemiologia analitica Area Taranto e Brindisi - Centro Salute e Ambiente Puglia, Macroarea 3, Linea d'intervento 3.4. Studio di coorte sugli effetti delle esposizioni ambientali sulla mortalità e morbosità della popolazione residente a Brindisi e comuni limitrofi. Maggio 2017. Disponibile all'indirizzo: <https://www.sanita.puglia.it/web/csa/relazioni-scientifiche>
- Bianchi F. La valutazione del danno sanitario in Puglia. 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://www.epiprev.it/lettera/la-valutazione-del-danno-sanitario-puglia>
- Bianchi F, Forastiere F, Terracini B. Valutazioni di impatto sanitario, sorveglianza epidemiologica e studi di intervento nelle aree a rischio. *Epidemiol Prev* 2013;37(6):349-51.
- <http://www.epiprev.it/ambiente-e-salute-separati-casa>
- Bianchi F, Cavanna V. Stato e prospettive della valutazione di impatto sulla salute in Italia. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3):127-28.
- Linzalone N, Bianchi F, Curzio O, Serasini L, Natali M. T4 HIA Project Working Group. Theory and practice to integrating health in environmental assessment: synthesis of an experience with stakeholders to deliver a national HIA guideline. *Environmental Impact Assessment Review* 2019;77:49-59. Progetto t4HIA: disponibile all'indirizzo: http://www.ccm-network.it/imgs/C_27_MAIN_progetto_416_listaFile_List11_item-Name_2_file.pdf
- Progetto CCM-VIIAS. Disponibile all'indirizzo: <https://www.viias.it>
- Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale. Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA e AIA). Manuali e Linee Guida 133/2016. ISPRA 2016. Disponibile all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/pubblicazioni-del-sistema-agenziale/linee-guida-per-la-valutazione-integrata-di-impatto-ambientale-e-sanitario-viias-nelle-procedure-di-autorizzazione-ambientale-vas-via-e-iaia?searchterm=linee+guida+VII>
- Progetto EpiAmbNet. Disponibile all'indirizzo: <https://reteambientesalute.epiprev.it>
- World Health Organization, Regional Office for Europe. Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf
- Forastiere F, Kan H, Cohen A. Updated exposure-response functions available for estimating mortality impacts. In: WHO Regional Office for Europe. WHO expert meeting: methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report. Copenhagen, WHO, 2014.
- Hamra GB, Guha N, Cohen A et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2014;122(9):906-11.
- World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series No 91. Copenhagen, WHO, 2000.
- Schouten LJ, Straatman H, Kiemeneij LA, Verbeek AL. Cancer incidence: life table risk versus cumulative risk. *J Epidemiol Community Health* 1994;48(6):596-600.
- IARC. Outdoor Air Pollution. Outdoor Air Pollution, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 109. Lyon, IARC, 2016.
- Di Q, Wang Y, Zanobetti A et al. Air pollution and mortality in the medicare population. *N Eng J Med* 2017;376(26):2513-22.
- Pinault LL, Weichenthal S, Crouse DL et al. Associations between fine particulate matter and mortality in the 2001 Canadian Census Health and Environment Cohort. *Environ Res* 2017;159:406-15.
- Hänninen O, Knol AB, Jantunen M et al. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. *Environ Health Perspect* 2014;122(5):439-46.