

Esiti	Risultati	Studio
Leucemia	Evidenza inadeguata (8 studi)	Fazzo 2017 ¹⁸
	Mortalità più alta di 4,6 volte tra i residenti nella <i>near zone</i> di Ghemme, anche se sulla base di 2 casi	Salerno 2019 ³⁸
Leucemie linfatiche croniche	Evidenza inadeguata (1 studio)	Fazzo 2017 ¹⁸
Leucemie linfatiche acute	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Leucemie mieloidi croniche	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Leucemie mieloidi acute	Evidenza inadeguata (2 studi)	
Disordini della tiroide	Evidenza inadeguata (2 studi)	
Diabete	Evidenza inadeguata (3 studi)	Fazzo 2017 ¹⁸
Malattia di Parkinson e altri disordini del sistema nervoso centrale	Evidenza inadeguata (2 studi)	
Malattia di Alzheimer	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Disordini del sistema nervoso periferico	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Malattie del sistema cardiovascolare/circolatorio	Evidenza inadeguata (5 studi) Cause prevalenti di mortalità nella <i>medium zone</i> di Ghemme, in prossimità della strada a veloce scorrimento e nella zona vicino alla discarica (<i>near zone</i>) di Cavaglio	
Ipertensione	Evidenza inadeguata (3 studi)	Fazzo 2017 ¹⁸
Malattia cardiaca	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Malattie ischemiche	Evidenza inadeguata (singoli studi)	
Infarto	Evidenza inadeguata (3 studi)	
Infarto acuto del miocardio	Evidenza inadeguata (2 studi)	
Malattie cerebrovascolari	Evidenza inadeguata (2 studi)	Salerno 2019 ³⁸
Malattie dell'apparato respiratorio	Evidenza inadeguata (5 studi) A Cavaglio, la mortalità per malattie respiratorie rappresenta la seconda causa di morte nella <i>near zone</i> e nella <i>medium zone</i> , mentre nella <i>far zone</i> prevale la mortalità per malattie polmonari e del tratto digestivo. Maggior rischio di mortalità per malattie respiratorie tra i residenti delle <i>medium zone</i> a Ghemme.	
Malattie polmonari ostruttive, incluse BPCO, bronchiti ed enfisema	Evidenza inadeguata (4 studi)	
Infezioni acute dell'apparato respiratorio, incluse polmoniti e influenza	Evidenza inadeguata (4 studi)	
Asma	Evidenza limitata (5 studi)	
Malattie dell'apparato digerente	Evidenza inadeguata (studi 3) Maggior rischio di mortalità per malattie dell'apparato gastro-intestinale tra i residenti della <i>medium zone</i> a Ghemme	Salerno 2019 ³⁸
Cirrosi biliare	Evidenza inadeguata (1 studio)	Fazzo 2017 ¹⁸
Cirrosi epatica	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Sindrome metabolica	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Malattie endocrine e metaboliche	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Disfunzioni ovariche	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Disfunzioni testicolari	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Malattie del sistema genitourinario	Evidenza inadeguata (2 studi)	
Altri disordini del tratto genitale femminile, inclusa endometriosi	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Lesioni esterne	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Infertilità	Evidenza inadeguata (1 studio)	
Sintomi acuti generali e neurologici	Evidenza Sufficiente per discariche di rifiuti di industrie petrolifere con emissioni di alte concentrazioni di acido solfidrico (1 studio)	
Sintomi acuti dell'apparato digerente	Evidenza Sufficiente per discariche di rifiuti di industrie petrolifere con emissioni di alte concentrazioni di acido solfidrico (2 studi)	
Sintomi acuti respiratori e cutanei	Evidenza Sufficiente per discariche di rifiuti di industrie petrolifere con emissione di alte concentrazioni di acido solfidrico (2 studi)	

Tabella 3. Risultati sull'esposizione a discariche (popolazione generale)

Table 3. Summary of the results of the studies on exposure to landfills (general population)

Esiti	Risultati	Studio
Tutti i tumori	<p>Impianti di I generazione <i>Goria 2009</i>: eccesso di incidenza al crescere del valore di esposizione a diossine da inceneritore per le femmine (coeff. 0,671) e un rischio non significativo per gli uomini (coeff.0,214). <i>Michelozzi 1998</i>: non riporta eccessi significativi di mortalità nei residenti tra 0-10 km dall'impianto: femmine osservati/attesi (O/E) 1,02 (0,96-1,05); maschi O/E 0,97 (0,94-1,01). <i>Elliott 1996</i>: moderato eccesso di incidenza tra i residenti nell'area tra 0- 7,5 km dall'impianto: O/E 1,02, p-value di Sotne: 0,0001.</p> <p>Impianti di II generazione <i>Ancona 2015</i>: nessun eccesso significativo in relazione al valore di esposizione al particolato sottile PM₁₀. Mortalità: maschi HR 1,02 (0,92-1,12); femmine HR 1,04 (0,92-1,17); Ospedalizzazione: maschi HR=0,95 (0,89-1,02), femmine HR 0,96 (0,89-1,03). <i>Federico 2010</i>: incidenza tra i residenti nella fascia 0-5 km dall'inceneritore in linea con l'atteso (SIR 1,00 (0,98-1,02)) <i>Ranzi 2011</i>: tra gli esposti a concentrazioni >2 ng/m³ di metalli pesanti, eccesso di mortalità tra le femmine RR 1,47 (1,09-1,99); non osservato nei maschi: RR 0,85 (0,64-1,12); incidenza: femmine: RR 0,90 (0,73-1,11); maschi: RR 0,87 (0,72-1,06). <i>Garcia-Perez 2013</i>: eccesso di mortalità tra i residenti entro 5 km dall'impianto SMR 1,09 (1,01-0,18). <i>Fakuda 2003</i>: il tasso di mortalità non è maggiore nelle città con un inceneritore rispetto a quelle con un impianto.</p>	Negri 2020 ¹⁹
Tumore maligno del polmone	<p>Impianti di I generazione <i>Biggeri 1996</i>: eccesso significativo in prossimità della sorgente di esposizione che diminuisce con la distanza (OR 6,7). <i>Parodi 2004</i>: aumento del rischio di tumore del polmone nelle donne sia per alte esposizioni (RR 2,14; 1,09-4,20) sia per basse esposizioni (RR 1,54; 1,01-2,36) (si intende sia esposizione a inceneritore sia a centrale elettrica e industria). <i>Elliott 1996</i>: eccesso tra i residenti entro i 7,5 km dall'impianto (SMR 1,10). Due studi non mostrano associazione significativa (Elliott 1992, Michelozzi 1998).</p> <p>Impianti di II generazione Due studi su 7 studi mostrano un eccesso di rischio di mortalità nei residenti in prossimità dell'inceneritore (Garcia-Perez 2013, Fukuda 2003).</p>	
Tumore maligno della laringe	<p>Impianti di I generazione <i>Elliott 1996</i>: eccesso per il tumore della laringe tra i residenti entro i 7,5 km dall'impianto (SMR 1,10). Nessuna associazione significativa in 2 studi (Elliott 1992, Michelozzi 1998).</p> <p>Impianti di II generazione <i>Ancona 2015</i>: eccesso tra la popolazione femminile esposta a contaminanti emessi dall'inceneritore. Due studi riportano nessuna associazione (Federico 2010, Ranzi, 2011).</p>	
Tumore maligno dell'intestino	Uno studio di coorte ha messo in evidenza il rischio in eccesso tra i residenti vicino l'inceneritore (Ranzi 2011)	Tait 2020 ¹⁷
Tumore maligno dello stomaco	<i>Ranzi 2011</i> : eccesso di rischio tra i residenti vicino l'inceneritore	
Tumore maligno della mammella	<i>Viel 2008</i> : eccesso di rischio tra i residenti vicino l'inceneritore	
Tumori maligno del sistema linfoematopoietico	<p>Impianti I generazione <i>Michelozzi 1998</i>: nessun eccesso della mortalità nei residenti in prossimità (0-10 km) dell'inceneritore. <i>Elliott 1996</i>: eccesso dell'incidenza tra i residenti nella fascia tra 0 e 3 km dall'inceneritore (O/E 1,05).</p> <p>Impianti II generazione Due studi non hanno messo in evidenza alcun eccesso per tumori del sistema linfoematopoietico complessivamente (Ancona, 2015, Ranzi 2011). <i>Romanelli 2019</i>: eccesso dei ricoveri nelle classi maggiormente esposte a NO_x, sia tra i maschi (SMR 1,41; 0,92-2,15) sia tra le femmine (SMR 1,21; 0,78-1,88), anche se non significativi. La mortalità è risultata in eccesso significativo tra i soli maschi: SMR 1,79 (1,03-3,12); femmine SMR 1,26 (0,71-2,21).</p>	Negri 2020 ¹⁹

Tabella 4. Sintesi dei risultati degli studi sull'esposizione a inceneritori (popolazione generale).
Table 4. Summary of the results of the studies on exposure to incinerators (general population).

Continua →

Esiti	Risultati	Studio
Linfoma non Hodgkin	<p>Eccessi sono stati riportati in alcuni studi, in particolare per impianti di I generazione.</p> <p>Impianti di I generazione <i>Floret 2003</i>: eccesso di rischio di incidenza per alte esposizioni (OR 2,3; 1,4-3,8). <i>Elliott 1996</i>: eccesso di rischio per incidenza nei residenti nell'area 0-7,5 km dall'impianto SIR (1,04;1,10-1,08). <i>Michelozzi 1998</i>: eccesso della mortalità nella fascia 0-10 km tra le femmine (SIR 116;90-149) e non tra i maschi (SMR 100;77-127).</p> <p>Impianti di II generazione <i>Viel 2008</i>: eccesso significativo di rischio di incidenza tra gli esposti al 90 percentile di diossine (1,00-1,25). Tre studi non riportano eccessi dell'incidenza tra i residenti in aree più vicine agli inceneritori (Federico, 2010; Reeve, 2013; Pronk 2013). <i>Ranzi 2011</i>: per i residenti esposti a concentrazioni >2 ng/m³ di metalli pesanti: mortalità, femmine RR 2,03 (0,48-8,67); maschi RR 0,52 (0,11-2,45) – incidenza: femmine RR 1,06 (0,39-2,93); maschi RR 0,59 (0,23-1,57). <i>Romanelli 2019</i>: tra gli esposti a NO_x >0,031 µg/m³: eccessi di mortalità e incidenza in entrambi i generi, anche se non significativi. <i>Garcia-Perez 2013, Ortega Garcia 2017</i>: eccessi di mortalità, seppure non significativi, tra i residenti <5 km e <4 km dall'inceneritore, rispettivamente.</p>	Negri 2020 ¹⁹
Linfoma di Hodgkin	<p>Impianti di I generazione <i>Viel 2000</i>: eccesso di incidenza nel cluster intorno l'inceneritore, anche se non significativi. Due studi (Michelozzi 1998, Elliott 1996) non hanno riportato eccessi significativi nelle popolazioni residenti in prossimità degli impianti.</p>	
Mieloma multiplo	<p>Impianti di I generazione Nessuno studio ha riportato eccessi significativi nelle popolazioni residenti in prossimità degli impianti. <i>Michelozzi 1998</i>: eccesso di incidenza tra le femmine residenti tra 3-8 km dall'inceneritore (115; 50-223). <i>Elliott 1996</i>: eccesso di mortalità non significativo tra le femmine residenti tra 0 e 3 km da un inceneritore (SMR 1,08; 0,98-1,19)</p>	
Leucemie	<p>Impianti di I generazione Nessuno studio ha riportato eccessi significativi nelle popolazioni residenti in prossimità degli impianti (Michelozzi 1998, Elliott 1996).</p> <p>Impianti di II generazione <i>Federico 2010</i>: eccesso di incidenza in entrambi i generi residenti tra 0-2 km e 2-3,5 km dall'inceneritore. <i>Romanelli 2019</i>: eccessi non significativi di mortalità e incidenza sia tra i maschi sia tra le femmine maggiormente esposte a NO_x, rispetto ai meno esposti. Nessuno studio ha riportato eccessi significativi nelle popolazioni residenti in prossimità degli impianti.</p>	
Sarcomi dei tessuti molli	<p>Possibili eccessi sono stati evidenziati per i primi inceneritori nelle aree più vicine agli impianti</p> <p>Impianti di I generazione 3 studi su 4 mostrano un eccesso di incidenza tra i residenti con alta esposizione a diossine (Zambon 2007), oppure in prossimità dell'impianto (Viel 2000, Comba 2003, Elliott 1996)</p> <p>Impianti di II generazione <i>Ranzi 2011</i>: nessun eccesso di incidenza tra gli esposti a >2ng/m³ di metalli pesanti. <i>Garcia Perez 2013</i>: eccesso di mortalità (RR 1,04; 0,74-1,41) tra i residenti a una distanza <5 km dall'inceneritore.</p>	
Esiti cardiovascolari	Non si osserva alcun pattern consistente tra gli studi né per mortalità né per incidenza di patologie cardiovascolari.	
Malattie respiratorie	Non si osserva alcun pattern di associazione consistente per patologie respiratorie e la presenza di inceneritori.	

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio

Tabella 4. Sintesi dei risultati degli studi sull'esposizione a inceneritori (popolazione generale).

Table 4. Summary of the results of the studies on exposure to incinerators (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Tutte le cause	Tutte le forme di produzione di carbone non sembrano essere correlate a un eccesso di mortalità totale (Bucanich 2014)	Boyles* 2017 ¹⁶
Tutti i tumori maligni	RR mortalità compreso tra 1,01 e 1,06; $p < 0,05$ (Bucanich 2014) Aumento del tasso mortalità per residenza e produzione di carbone (214 contee USA). (Mueller 2015, Hendryx 2010, Hitt 2010, Hendryx 2010)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
	Tutte le forme di produzione di carbone erano associate a un eccesso di mortalità per cancro (Bucanich 2014). Tasso di mortalità per tutti i tumori maligni associata a esposizione georeferenziata più che alle quantità in tonnellate di carbone estratto (Hendryx 2010).	Boyles 2017 ¹⁶
Tumore maligno dell'esofago	Aumento del tasso di mortalità aggiustato per età: beta 0,766 (0,353); $p < 0,05$. 82 contee USA con miniere di carbone (anni 2003-2007). (Ahern and Hendryx 2012)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
Tumore maligno dello stomaco	Aumento del tasso mortalità aggiustato per età: beta 0,935 (0,482); $p < 0,05$. 82 contee USA con miniere di carbone (anni 2003-2007) (Ahern 2012).	
Tumore maligno del colon retto	Mortalità Maschi-femmine: RR 1,27 (1,12-1,44) <i>Residenza <5 km estrazione carbone</i> Maschi: RR 1,31(1,13-1,52) tasso di mortalità Aumento dei tassi di mortalità per residenza, produzione di carbone e tipo di estrazione del carbone. 127 contee USA e 87 città spagnole (Mueller 2015, Buchanich 2014, Ahern 2012)	
Tumore maligno del fegato e dei dotti biliari intraepatici	Aumento del tasso mortalità beta 0,788 (0,395); $p < 0,05$ nelle contee con miniere di carbone (anni 1999-2002) (Ahern 2012) <i>Residenza <5 km estrazione carbone</i> Maschi: RR 1,69 (1,09-2,63) (Fernandez-Navarro 2012) 82 contee USA e 48 città spagnole	
Tumore maligno della laringe	Aumento coefficiente di regressione (standardizzato/aggiustato R2) tasso mortalità aggiustato per età nelle contee USA con miniere di carbone r/R^2 0,367/0,42; $p < 0,002$ (Hendryx 2010)	
Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	Mortalità Maschi-femmine: RR 1,22 (1,01-1,49) <i>Residenza <5 km estrazione carbone</i> Maschi: RR 1,29 (1,05-1,59) tasso mortalità (Fernandez-Navarro 2012). Aumento del tasso di mortalità per residenza, produzione di carbone, tipo di estrazione mineraria e tipologia di estrazione del carbone nella contea. 82 contee USA e 48 città spagnole (Mueller 2015, Buchanich 2014, Ahern 2012, Hendryx 2010, Hendryx 2008)	
	L'esposizione ad attività di estrazione mineraria di carbone potrebbe contribuire all'elevata incidenza del cancro polmonare nel Kentucky sud-orientale (Christian 2011). Quantità di carbone estratto non è stato associato a un aumento del rischio di ospedalizzazione per cancro polmonare (Hendryx 2007). Mortalità per tumore polmonare più elevata nelle aree degli Appalachi con elevata estrazione di carbone (Hendryx 2008).	Boyles 2017 ¹⁶
Melanoma maligno della cute	Aumento del tasso mortalità aggiustato per età nelle contee con miniere di carbone beta/R ² 0,441/0,16; $p < 0,002$ Aumento tasso mortalità aggiustato per età per tonnellate di carbone prodotte beta/R ² 0,324/0,1; $p < 0,02$ 29 contee USA (Hendryx 2010)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
Tumore maligno della mammella	Debole associazione tra mortalità per tumore e residenza in prossimità di strutture minerarie (4 Km) RR 1,10 (1,00-1,21)	Garcia-Perez 2016 ³²
Tumore maligno della prostata	Associazione tra la recente produzione di carbone e la mortalità per cancro alla prostata, popolazione residente r -0,27 ($p=0,047$) (Mueller 2015)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
Tumore maligno della prostata	Nessuna associazione tra mortalità per tumore in prossimità di strutture minerarie (4 Km) RR 0,92(0,83-1,02)	Garcia-Perez 2016 ³²
Tumore maligno della vescica	Aumento di mortalità aggiustata per età (contee minerarie, miniere nelle contee minerarie-rimozione cime montagne) Beta 1,33 (0,438); $p < 0,01$ Popolazione in 82 contee USA (anni 2003-2007) (Ahern 2012)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰

Tabella 5. Risultati degli studi sull'esposizione a miniere (popolazione generale).
Table 5. Summary of the results of the studies on exposure to mines (general population).

Continua →

Esiti	Risultati	Studio
Tumori del sistema nervoso centrale	Incrementi della mortalità aggiustata per età, separatamente per tumore delle meningi (C70), del cervello (C71), del midollo spinale, dei nervi cranici e altre sedi del SNC (C72) (Fernandez-Navarro 2012, Hendryx 2010)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
Malattia di Hodgkin	Aumento della mortalità aggiustata per età, nelle contee con miniere di carbone beta/R ² 0,41/0,16; p<0,002 Aumento della mortalità aggiustata per età, per tonnellate di carbone prodotte beta/R ² 0,324/0,1; p<0,02 29 contee USA (Hendryx 2010)	
Linfomi non Hodgkin	Aumento della mortalità aggiustata per età, nelle contee con miniere di carbone r/R ² 0,441/0,16; p<0,002 Aumento della mortalità aggiustata per età, per tonnellate di carbone prodotte r/R ² 0,324/0,1; p<0,02 29 contee USA (Hendryx 2010)	
Mieloma multiplo e tumori immunoproliferativi	Aumento della mortalità aggiustata per età, nelle contee con miniere di carbone r/R ² 0,41/0,16; p<0,002 Aumento della mortalità aggiustata per età, per tonnellate di carbone prodotte r/R ² 0,324/0,1; p<0,02 29 contee USA (Hendryx 2010)	
Leucemie	Aumento mortalità in contee con miniere di carbone Beta 1,102 (0,554); p < 0,05 (Ahern 2012) r (standardizzato/aggiustato R ²) r/R ² 0,441/0,16; p <0,002 in contee con miniere di carbone r 0,324/0,1 p <0,02 per produzione di carbone 82 contee USA (Hendryx 2010)	
Diabete	Quantità di carbone estratto non associate ad aumentato rischio di ospedalizzazione (Hendryx 2007)	Boyles 2017 ¹⁶
Malattie del sistema circolatorio	Aumento del tasso di mortalità aggiustato per età, in contee con miniere di carbone ad alta produzione Beta 14,32 (6,61) p <0,03 (Hendryx 2010)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
	I residenti delle aree minerarie del carbone degli Appalachi hanno riportato tassi più elevati di malattie cardiovascolari (Hendryx 2009). La produzione di carbone non era correlata, dopo aggiustamento, al tasso di ospedalizzazione per malattie circolatorie (Talbot 2015). Estrazione di carbone (rimozione cima montagne) associata con incremento tassi mortalità patologie cardiovascolari croniche (Esch 2011).	Boyles 2017 ¹⁶
Malattia ipertensiva	Aumento del tasso di mortalità aggiustata per età, contee con miniere di carbone r 16,9 (7,5); p <0,03 Aumento coefficiente regressione (errore standard) mortalità aggiustata per età, per tonnellate di carbone estratto r 11,4 (5,5); p <0,05 (Esch 2011)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
	Quantità di carbone prodotto associata a un aumento del rischio di ospedalizzazione per ipertensione (Hendryx 2007). Alti livelli di produzione di carbone associati a tassi più elevati di ipertensione (Hendryx 2008).	Boyles 2017 ¹⁶
Malattie dell'apparato respiratorio	Aumento del tasso di mortalità aggiustato per età beta 6,29 (1,79); p <0,001 Aumento del tasso di mortalità per tipologia di estrazione mineraria Beta 9,81 (2,32); p <0,0001 (Hendryx 2010)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
	La produzione di carbone in superficie fornisce un contributo piccolo ma significativo ai tassi di ospedalizzazione per malattie respiratorie (Brink 2014)	Boyles 2017 ¹⁶
Malattie polmonari cronico-ostruttive	Quantità di carbone prodotto associata a un aumento del rischio di ospedalizzazione per malattie polmonari cronico-ostruttive (BPCO) (Hendryx 2007). Alti livelli di produzione di carbone associati a tassi più elevati di BPCO (Hendryx 2008). I residenti delle contee minerarie con rimozione della cima delle montagne avevano un'elevata prevalenza di BPCO (Hendryx 2015).	
Asma	Aumento del rischio relativo di mortalità maschile, aggiustato per età, contee minerarie/contee non minerarie Maschi: RR 1,04 (IC95% 1,02-1,06) (Liao Y 2016)	Cortes-Ramirez 2018 ¹⁰
Malattie dell'apparato urinario	Quantità di carbone estratto non associate ad aumentato rischio di ospedalizzazione (Hendryx et al. 2007). Elevata produzione di carbone associata ad alti tassi di patologie renali (Hendryx 2008).	Boyles 2017 ¹⁶

* Boyles et al. riportano che «Questa revisione sistematica non ha potuto trarre conclusioni sugli effetti sulla salute della comunità delle miniere (tecnica rimozione cima montagne, MTR) a causa del forte potenziale di distorsione [...]. Una migliore caratterizzazione delle esposizioni mediante futuri studi sulla salute della comunità e ulteriori studi sugli effetti delle miscele chimiche di estrazione di MTR nei modelli sperimentali saranno fondamentali per determinare i rischi per la salute dell'estrazione di MTR per le comunità. Senza tale lavoro, rimarrà l'incertezza sull'impatto di queste pratiche sulla salute delle persone che respirano l'aria e bevono l'acqua affette dall'estrazione mineraria con MTR» / Boyles et al. stated that «This systematic review could not reach conclusions on community health effects of MTR mining because of the strong potential for bias in the current body of human literature [...]. Improved characterization of exposures by future community health studies and further study of the effects of MTR mining chemical mixtures in experimental models will be critical to determining health risks of MTR mining to communities. Without such work, uncertainty will remain regarding the impact of these practices on the health of the people who breathe the air and drink the water affected by MTR mining».

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio

Tabella 5. Risultati degli studi sull'esposizione a miniere (popolazione generale).

Table 5. Summary of the results of the studies on exposure to mines (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Tutte le cause	Aumento di rischio di mortalità Maschi: OR 1,42; 1,16-1,73 Femmine: OR 1,19; 1,02-1,37 (Ruiz-Rudolph 2016)	Amster 2019 ²¹
	Il modello tiene conto anche della deprivazione (anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,05 (IC90% 0,96-1,14) Femmine: RR 1,03 (IC90% 0,94-1,14) <i>Residenza <2km</i> Maschi RR 1,00 (IC90% 0,95-1,05) Femmine RR 1,02 (IC90% 0,97-1,07)	Cambra 2011 ³¹
Tutti i tumori maligni	Aumento di rischio per esposizione ad arsenico, cadmio cromo e nickel significativamente più alto nei residenti nelle zone sottovento rispetto alla centrale elettrica (Tang 2013).	Amster 2019 ²¹
	Aumento di rischio Maschi: OR 1,94; 1,36-2,74 Femmine: OR 1,25; 1,04-1,50 (Ruiz-Rudolph 2016)	
Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	Il modello tiene conto anche della deprivazione (mortalità anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,28 (IC90% 1,06-1,53) Femmine: RR 0,75 (IC90% 0,35-1,29) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,06 (IC90% 0,96-1,17) Femmine: RR 1,00 (IC90% 0,79-1,28)	Cambra 2011 ³¹
	L'aumento dell'esposizione al benzene è significativamente associato all'aumento di rischio di tumore del polmone tra le donne di età maggiore di 75 anni: IRR 1,86 (1,15-3,00) terzile intermedio vs terzile più basso; IRR: 2,00 (1,23-3,25) terzile più alto vs terzile più basso. Aumento associato anche ad esposizione a SO _x e NO _x . NO ₂ IRR: 1,70 (1,07-2,71) terzile intermedio vs terzile più basso; IRR: 1,72 (1,07-2,77) terzile più alto vs. terzile più basso. SO ₂ IRR: 1,55 (0,96-2,49) terzile intermedio vs. terzile più basso; IRR: 1,71 (1,07-2,73) terzile più alto vs. terzile più basso Nessuna associazione significativa per il tumore del polmone in persone <75 anni in entrambi i sessi. (Collarile 2017)	Amster 2019 ²¹
Neoplasie cutanee non melanomatose	Uno studio (Pesch et al. 2002) riporta un'alta incidenza rispetto ai valori di riferimento nazionale associate a esposizione ad arsenico (SIR 1,64; 1,24-2,17)	
Tumore maligno della mammella	Il modello utilizzato nell'analisi tiene conto anche della deprivazione (anni 1996-2003) Mortalità <i>Residenza <1km</i> RR 0,97 (IC90% 0,70-1,31) <i>Residenza <2km</i> RR 1,09 (IC90% 0,96-1,27) <i>Residenza inferiore a 0,8 km</i> Donne in premenopausa: OR 1,00 (0,35-2,85) Donne in post menopausa: OR 1,15 (0,62-2,13) Donne in premenopausa e post menopausa (overall): OR 1,25 (0,75-2,06) <i>Residenza tra 0,8 e 3,2 km</i> Donne in premenopausa: OR 1,24 (0,88-1,75) Donne in post menopausa: OR 1,29 (1,00-1,66) Donne in premenopausa e post menopausa (overall): OR 1,31 (1,07-1,60)	Cambra 2011 ³¹
		Pan 2011 ³⁹
Tumore maligno della vescica	Nessuna associazione significativa per il tumore del polmone in persone <75 anni in entrambi i sessi (Collarile 2017).	Amster 2019 ²¹
Tumori maligni del tessuto linfoematopoietico e tessuti correlati	Il modello tiene conto anche della deprivazione (mortalità anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,90 (IC90% 0,61-1,33) Femmine: RR 0,76 (IC90% 0,46-1,21) <i>Residenza <2km</i> Maschi RR 1,00 (IC90% 0,84-1,18) Femmine RR 1,01 (IC90% 0,84-1,21)	Cambra 2011 ³¹
Leucemia mieloide acuta	Tasso di incidenza standardizzato (SIR) più elevato nei comuni a <7,5 km di distanza da una centrale termoelettrica (9,58 vs 1,72; p = 0,004) o a meno di 10 km dal punto di massima densità della rete ad alta tensione.	Rodriguez-Garcia 2012 ⁴⁰
Malattie ischemiche del cuore	Incremento di mortalità associato all'incremento di 1 mg/m ³ del PM _{2,5} attribuito alla combustione (Hazard Risk 1,05; 1,02-1,08) (Thurston 2016)	Amster 2019 ²¹
	Il modello tiene conto anche della deprivazione (anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,93 (IC90% 0,7-1,13) Femmine: RR 0,90 (IC90% 0,69-1,19) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,00 (IC90% 0,84-1,18) Femmine: RR 1,02 (IC90% 0,90-1,16)	Cambra 2011 ³¹
Malattie cerebrovascolari	Il modello tiene conto anche della deprivazione (mortalità anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,99 (IC90% 0,79-1,24) Femmine: RR 1,12 (IC90% 0,91-1,38) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 0,92 (IC90% 0,83-1,03) Femmine: RR 1,04 (IC90% 0,94-1,16)	
Malattie dell'apparato respiratorio	Il modello tiene conto anche della deprivazione (mortalità anni 1996-2003) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,11 (IC90% 0,86-1,42) Femmine: RR 0,74 (IC90% 0,47-1,12) <i>Residenza <1km</i> Maschi RR: 0,99 (0,88-1,15) Femmine RR: 0,82 (0,68-1,01)	
Sintomi respiratori	Uno studio (Amster 2014) riporta tosse cronica OR 1,58 (1,19-2,22), catarro cronico OR 1,45 (1,06-1,98), per ogni aumento di 1 ppb di NO _x .	Amster 2019 ²¹

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio; SIR: rapporto standardizzato di mortalità / standardized incidence ratio

Tabella 6. Risultati degli studi per esposizione a centrali elettriche (popolazione generale).

Table 6. Summary of the results of the studies on exposure to power plants (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Tutte le cause	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,90 (IC90% 0,85-0,97); Femmine: RR 0,97 (IC90% 0,90-1,04); <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,00 (IC90% 0,96-1,06); Femmine: RR 1,03 (IC90% 0,98-1,09)	Cambra 2011 ³¹
Tumore maligno della bocca e della faringe	Mortalità Maschi: RR 1,03 (0,97-1,09) Femmine: RR 1,05 (0,94-1,17)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore maligno dell'esofago	Mortalità Maschi: RR 1,01 (0,94-1,08) Femmine: RR 1,05 (0,90-1,23)	
Tumore maligno dello stomaco	Mortalità Maschi: RR 1,12 (1,06-1,19); Femmine: RR 1,04 (0,98-1,11)	
Tumore maligno dell'intestino tenue	Mortalità Maschi: RR 1,04 (0,83-1,30) Femmine: RR 0,97 (0,76-1,25)	
Tumore maligno del colon retto	Mortalità Maschi: RR 1,06 (1,03-1,10) Femmine: RR 1,05 (1,01-1,09)	
	Eccesso di rischio per mortalità, in entrambi i sessi, associato a impianti di produzione di fertilizzanti RR 1,06 (1,008 -1,115)	
Tumore maligno del fegato	Mortalità Maschi: RR 1,12 (1,04-1,21) Femmine: RR 1,04 (0,92-1,17)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore maligno della cistifellea	Mortalità Maschi: RR 1,22 (1,09-1,37) Femmine: RR 1,01 (0,93-1,11)	
Tumore maligno del pancreas	Mortalità Maschi: RR 1,05 (1,00-1,11) Femmine: RR 1,02 (0,96-1,07)	
Tumore maligno del peritoneo	Mortalità Maschi: RR 1,30 (1,06-1,60) Femmine: RR 0,88 (0,73-1,06)	
Tumori maligni del tessuto linfoematopoietico e tessuti correlati	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,27 (IC90% 0,99-1,61) Femmine: RR 1,09 (IC90% 0,81-1,42) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,18 (IC90% 0,99-1,40) Femmine: RR 1,08 (IC90% 0,90-1,31)	Cambra 2011 ³¹
Tumori maligni nasali	Mortalità Maschi: RR 0,97 (0,75-1,26) Femmine: RR 0,81 (0,57-1,17)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore maligno del polmone	Mortalità Maschi: RR 1,06 (1,03-1,10) Femmine: RR 0,96 (0,90-1,02)	Cambra 2011 ³¹
	Mortalità <i>Maschi</i> <1 km: RR 0,90 (IC90% 0,77-1,04) <2 km: RR 1,03 (IC90% 0,93-1,15) <i>Femmine</i> <1 km: RR 0,97 (IC90% 0,65-1,37) <2 km: RR 1,03 (IC90% 0,79-1,30)	
Tumore maligno della pleura	Mortalità Maschi: RR 1,40 (1,11-1,78) Femmine: RR 1,34 (0,99-1,84)	
Tumori maligni delle ossa	Mortalità Maschi: RR 0,94 (0,80-1,10) Femmine: RR 0,97 (0,71-1,18)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumori maligni del tessuto connettivo e dei tessuti molli	Mortalità Maschi: RR 1,15 (1,01-1,32) Femmine: RR 1,04 (0,89-1,21)	
Melanoma	Mortalità Maschi: RR 1,01 (0,91-1,12) Femmine: RR 1,09 (0,98-1,22)	
Tumore maligno della cute	Mortalità Maschi: RR 1,00 (0,86-1,15) Femmine: RR 0,98 (0,83-1,15)	
Tumore maligno della mammella	Mortalità RR 1,02 (1,00-1,06) Eccesso di rischio per tutte le distanze dalle industrie , significativo per i 3 km tutti i soggetti: OR 1,30 (1,00-1,69) residenti da lungo tempo: OR 1,36 (1,01-1,85) <i>Industrie di chimica organica</i> OR 3,08 (1,33-7,15) a 1,5 km di distanza dall'impianto OR 2,19 (1,18-4,07) a 2 km di distanza dall'impianto OR 2,12 (1,20-3,76) a 2,5 km di distanza dall'impianto <i>Industria alimentare</i> OR 1,85 (1,05-3,26) a 2 km di distanza dall'impianto OR 2,04 (1,22-3,42) a 2,5 km di distanza dall'impianto OR 1,87 (1,26-2,78) a 3 km di distanza dall'impianto <i>Trattamenti di superficie con solventi organici</i> OR 2,00 (1,23-3,24) a 3 km di distanza dall'impianto <i>Trattamenti di superficie con solventi organici</i> OR 1,51 (1,06-2,14) a 3 km di distanza dall'impianto L'analisi ristretta ai lungo residenti dà simili risultati.	Garcia-Perez 2018 ³³

Tabella 7. Risultati degli studi per esposizione a industria chimica (popolazione generale).

Table 7. Summary of the results of the studies on exposure to chemical industry (general population).

Continua →

Esiti	Risultati	Studio
Tumore maligno della mammella	Emissioni di cancerogeni e interferenti endocrini Nessun eccesso significativo per gruppi di cancerogeni. <u>Per interferenti endocrini</u> <i>Industrie con emissioni di pesticidi</i> OR 2,50 (1,00-6,22) a 1 km di distanza dall'impianto OR 2,23 (1,16-4,29) a 1,5 km di distanza dall'impianto 2 km: OR 2,09 (1,14-3,82) a 2 km di distanza dall'impianto <i>Industrie con emissioni di altri solventi</i> OR 1,48 (1,02-2,16) a 2,5 km di distanza dall'impianto OR 1,56 (1,10-2,22) a 3 km di distanza dall'impianto Per i soggetti esposti per lungo tempo, compare anche significatività per i residenti vicino a industrie con emissioni di idrocarburi aromatici non alogenati OR 2,34 (1,18-4,65) a 3 km di distanza dall'impianto Polveri sottili (PM ₁₀) OR 1,66 a 1,5 km di distanza dall'impianto <u>Analisi per gradiente di rischio</u> Effetto positivo (incremento dell'OR con aumento della prossimità agli impianti) per <i>Industria chimica organica, Trattamenti di superfici con solventi organici, Industria alimentare</i> Residenza <1km: nessun eccesso di rischio per la popolazione Residenza <2km: nessun eccesso di rischio per la popolazione Nessun eccesso di rischio nella popolazione esposta.	Garcia-Perez 2018 ³³
Tumore maligno dell'utero	RR 0,97 (0,92-1,03)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore maligno dell'ovaio	RR 1,09 (1,04-1,16) RR 1,10 (1,04-1,16)	
Tumore maligno della prostata	RR 1,00 (0,96-1,04) Nessun eccesso di rischio nella popolazione esposta	Garcia-Perez 2018 ³³
Tumore maligno del testicolo	RR 0,94 (0,69-1,29)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore maligno del rene	Maschi: RR 1,11 (1,03-1,19) Femmine: RR 1,10 (1,00-1,21)	
Tumore maligno della vescica	Maschi: RR 1,09 (1,04-1,14); Femmine: RR 0,98 (ns)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Tumore cerebrale	Maschi: RR 1,04 (0,98-1,11) Femmine: RR 1,10 (1,03-1,18)	
Tumore di altri organi del sistema nervoso centrale	Maschi: RR 2,21 (0,88-1,67) Femmine: RR 1,03 (0,72-1,48)	Klozko 2016 ³⁴
Tumore della tiroide	<i>Distanza 5 km</i> (casi 191, controlli 185) OR 1,15 (0,86-1,54); p =0,97 <i>Distanza 2 km</i> (casi 89, controlli 73) OR 1,20 (0,84-1,73); p =0,06	
Linfomi non Hodgkin	Maschi: RR 1,09 (1,01-1,17) Femmine: RR 1,00 (0,93-1,08)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Linfoma di Hodgkin	Maschi: RR 1,10 (0,92-1,31) Femmine: RR 1,06 (0,86-1,29)	
Mieloma multiplo	Maschi: RR 1,08 (0,99-1,16) Femmine: RR 1,05 (0,97-1,14)	
Leucemie	Maschi: RR 1,11 (1,04-1,17) Femmine: RR 1,02 (0,96-1,09)	
Tumore maligno della vulva e della vagina	RR 0,99 (0,88-1,12)	Ayuso-Alvarez 2020 ²⁹
Mortalità per malattie ischemiche del cuore	<i>Residenza <1 km</i> Maschi: RR 0,88 (IC90% 0,77-1,01) Femmine: RR 0,88 (IC90% 0,74-1,06) <i>Residenza <2 km</i> Maschi: RR 0,95 (IC90% 0,86-1,05) Femmine: RR 0,98 (IC90% 0,87-1,11)	Cambra 2011 ³¹
Mortalità per malattie cerebrovascolari	<i>Residenza <1 km</i> Maschi: RR 0,96 (IC90% 0,82-1,10) Femmine: RR 1,06 (IC90% 0,92-1,22) <i>Residenza <2 km</i> Maschi: RR 0,90 (IC90% 0,81 to 1,00) Femmine: RR 1,10 (IC90% 0,99-1,22)	
Mortalità per malattie respiratorie	<i>Residenza <1 km</i> Maschi: RR 0,80 (IC90% 0,64-0,97) Femmine: RR 0,91 (IC90% 0,68-1,16) <i>Residenza <2 km</i> Maschi: RR 1,15 (IC90% 1,01-1,31) Femmine: RR 1,07 (IC90% 0,88-1,28)	

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio

§ Lo studio di Cambra 2011 analizza i dati secondo il modello BYM (Besag-York-Mollie) con un intervallo di confidenza al 90% / The study of Cambra 2011 analyses data according to BYM (Besag-York-Mollie) model, with a 90% confidence interval

Tabella 7. Risultati degli studi per esposizione a industria chimica (popolazione generale).

Table 7. Summary of the results of the studies on exposure to chemical industry (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Tumore maligno del colon retto	Mortalità Eccesso di rischio RR 1,050 (1,004-1,099) Nelle donne residenti in città situate in prossimità di industrie della ceramica è stato osservato un eccesso di mortalità statisticamente significativo in entrambi i modelli di analisi utilizzati (modello misto di regressione di Poisson e modello di Besag-York-Mollié - BYM) Per BYM: RR 1,085 (1,024-1,150)	Lopez Abente 2012 ³⁰
Tumore maligno della mammella	Mortalità RR 1.05 (1,00-1,09) a 5 km di distanza dall'impianto	Garcia-Perez 2016 ³²
	Incidenza OR 4,19 (1.00-17,52) a 1 km di distanza dall'impianto OR 4,71 (1,62-13,66) a 1,5 km di distanza dall'impianto	Garcia-Perez 2018 ³³
	Mortalità RR 1.03 (0,97-1,09) a 2 km di distanza dall'impianto RR 1,02 (0,98-1,07) a 5 km di distanza dall'impianto	Garcia-Perez 2016 ³²

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio
In grassetto, gli eccessi statisticamente significativi / In bold, statistically significant excesses

Tabella 8. Risultati degli studi per esposizione a industria della ceramica (popolazione generale).

Table 8. Summary of the results of the studies on exposure to ceramic industry (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Tutte le cause	Mortalità Aumento percentuale del rischio di mortalità per cause naturali (1,86%; -0,06;3,83%) per 1 µg/m ³ di cambiamento annuale di PM ₁₀ industriale dovuto principalmente a: <i>patologie respiratorie</i> (8,74%; 1,50-16,51%); <i>patologie cardiache</i> (1,91%; 1,55-5,50), con associazioni significative solo negli adulti con 65+ anni.	Leogrande 2019 ⁴¹
	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,99 (IC90% 0,96-1,04) Femmine: RR 1,00 (IC90% 0,95-1,04) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,01 (IC90% 0,98-1,04) Femmine: RR 1,01 (IC90% 0,98-1,04)	Cambra 2011 ³¹
Tumore maligno del colon retto e dell'ano	Mortalità Eccesso di rischio in entrambi i sessi, associato a impianti di produzione e lavorazione di metalli (RR 1,065; 1,011-1,123). L'analisi stratificata per genere mostra un eccesso maggiore nei maschi (RR 1,059; IC non riportato) rispetto alle femmine (RR 1,033; IC non riportato).	Lopez-Abente 2012 ³⁰
Tumore maligno del polmone	Incidenza In soggetti residenti nell'area più vicina alle seguenti fonti di emissione (zona 3): <i>Acciaieria</i> : OR 1,88 (0,92-3,87) <i>Cockeria</i> : OR 1,45 (0,74-2,81) <i>Deposito di minerali</i> : OR 1,38 (0,71-2,69) <i>Cantiere navale</i> : OR 1,57 (0,79-3,15) Eccesso di rischio per tumore al polmone in soggetti residenti in zona 2: <i>Acciaieria</i> : OR 2,87 (1,45-5,79) <i>Cockeria</i> : OR 2,05 (1,07-3,93) <i>Depositi minerali</i> : OR 2,06 (1,08-3,94) <i>Cantiere navale</i> : OR 2,25 (1,16-4,36) Stime di rischio non statisticamente significative sono state rilevate in associazioni con qualsiasi distanza da quattro delle strutture indagate: raffineria di petrolio, depositi di petrolio, industria del cemento e arsenale della marina.	Marinaccio 2011 ³⁵
	Incidenza <i>Residenza <1 km</i> Maschi: RR 0,96 (IC90% 0,88-1,06) Femmine: RR 0,88 (IC90% 0,70-1,09) <i>Residenza <2 km</i> Maschi: RR 1,02 (IC90% 0,96-1,09) Femmine: RR 1,10 (IC90% 0,96-1,26)	Cambra 2011 ³¹
Tumore maligno della pleura	Incidenza <i>Acciaieria</i> : OR 1,62 (0,37-7,10) <i>Cockeria</i> : OR 2,18 (0,31-15,31) <i>Deposito di minerali</i> : OR 1,17 (0,24-5,58) <i>Cantiere navale</i> : OR 2,82 (0,41-19,69)	Marinaccio 2011 ³⁵
Tumore maligno della mammella	Incidenza (femmine) <i>Residenza <1km</i> RR 1,12 (IC90% 0,98-1,27); <i>Residenza <2km</i> RR 0,96 (IC90% 0,88-1,04)	Cambra 2011 ³¹
	Acciaieria OR 1,18 (1,02-1,37) Donne in premenopausa: OR 1,28 (1,00-1,63) Donne in post menopausa: OR 1,10 (0,91-1,33) Donne in pre e post menopausa (overall): OR 1,18 (1,02-1,37)	Pan 2011 ³⁹

Tabella 9. Risultati degli studi per esposizione a industria siderurgica (popolazione generale).

Table 9. Summary of the results of the studies on exposure to metal-processing industry (general population).

Continua →

Esiti	Risultati	Studio
Tumori ematologici	Incidenza <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,10 (IC90% 0,93-1,30) Femmine: RR 1,05 (IC90% 0,88-1,25) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,06 (IC90% 0,95-1,18) Femmine: RR 1,05 (IC90% 0,93-1,18)	Cambra 2011 ³¹
Malattie ischemiche del cuore	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,06 (IC90% 0,97-1,15); Femmine: RR 1,12 (IC90% 1,01-1,25) <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,01 (IC90% 0,95-1,07) Femmine: RR 1,09 (IC90% 1,01-1,17)	
Malattie cerebrovascolari	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 1,04 (IC90% 0,95-1,14) Femmine: RR 0,95 (IC90% 0,86-1,04) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,02 (IC90% 0,96-1,09) Femmine: RR 0,97 (IC90% 0,91-1,03)	
Malattie respiratorie	Mortalità <i>Residenza <1km</i> Maschi: RR 0,97 (IC90% 0,86-1,08) Femmine: RR 1,12 (IC90% 0,95-1,32) <i>Residenza <2km</i> Maschi: RR 1,04 (IC90% 0,96-1,13) Femmine: RR 1,12 (IC90% 1,0-1,24)	

RR: rischio relativo / relative risk; OR: odds ratio / odds ratio

Tabella 9. Risultati degli studi per esposizione a industria siderurgica (popolazione generale).

Table 9. Summary of the results of the studies on exposure to metal-processing industry (general population).

Esiti	Risultati	Studio
Mesotelioma	Incidenza <i>Overall</i> (14 studi) RR 5,88 (2,62-13,16); I ² =99,1% <i>Genere</i> Maschi: RR 5,71 (1,18-27,54) (4 studi) Femmine: RR 7,69 (1,91, 31,00) (5 studi) <i>Tipo di fibre</i> Crisotilo: RR 2,70 (0,03- 273,75) (2 studi) Mix: RR 10,36 (3,24-33,16) (7 studi) Non riportato: 3,53 (1,27-9,81) (6 studi) <i>Regione</i> Europa: 7,59 (3,24-17,77) (10 studi) USA/Canada: 0,77 (0,30, 1,95) SudAfrica/Egitto: 22,27 (6,35-81,32) (2 studi) Australia: 2,55 (1,09-4,64) (2 studi) <i>Disegno di studio</i> <i>Coorte:</i> RR 11,59 (4,37-30,79) (4 studi) RR 3,37 (2,08-5,46) (12 studi)	Xu 2018 ¹¹
	Incidenza <i>Overall</i> (13 studi) RR 6,9 (4,2-11,4); I ² =85,9%; p <0,0001 <i>Crisotile</i> (3 studi) RR 3,8 (0,4-38,4) <i>Mix</i> (6 studi) RR 8,4 (4,7-14,9) <i>Amfibole</i> (2 studi) RR 21,1 (5,3 to 84,5)	Marsh 2017 ¹²
	Incidenza Stima metanalitica delle frazioni attribuibili <i>Solo cemento-amianto</i> Maschi: 91 (87 - 93) Femmine: 94 (91 - 95)	Pasetto 2019 ²⁸

RR: rischio relativo / relative risk

Tabella 10. Risultati degli studi per esposizione a amianto

Table 10. Summary of the results of the studies on exposure to asbestos (general population)

Esiti	Risultati	Studio
Tumore della mammella	Mortalità Cantieristica navale <i>Distanza ≤5 km</i> RR 1,12 (1,00-1,26)	Garcia-Perez 2016 ³²

RR: rischio relativo / relative risk

Tabella 11. Risultati degli studi per esposizione ad aree portuali (popolazione generale).

Table 11. Summary of the results of the studies on exposure to harbour area (general population)

Bibliografia

- Pirastu R, Ancona C, Iavarone I, Mitis F, Zona A, Comba P (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento: Valutazione della evidenza epidemiologica. *Epidemiol Prev* 2010;34(5-6) Suppl 3:1-96.
- Fazzo L, Benedetti M, Bruno C, Vecchi S, Zona A. Valutazione dell'evidenza epidemiologica dell'associazione tra fonti di esposizione ambientale nei siti contaminati ed esiti sanitari: un aggiornamento. In: Zona A, Fazzo L, Pasetto R (eds). SENTIERI-Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento: Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:366-74.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *J Clin Epidemiol* 2009;62(7):1006-12.
- Johnson PI, Sutton P, Atchley DS et al. The Navigation Guide – evidence-based medicine meets environmental health: systematic review of human evidence for PFOA effects on fetal growth. *Environ Health Perspect* 2014;122(10):1028-39.
- Shea BJ, Reeves BC, Wells G et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ* 2017;358:j4008. Disponibile all'indirizzo: <https://amstar.ca/Amstar-2.php>
- Wells G, Shea B, O'Connell D et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomized studies in metaanalysis. Disponibile all'indirizzo: http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp
- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento: Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:1-286.
- Lin CK, Hsu YT, Brown KD, Pokharel B, Wei Y, Chen ST. Residential exposure to petrochemical industrial complexes and the risk of leukemia: A systematic review and exposure-response meta-analysis. *Environ Pollut* 2020;258:113476.
- Lin CK, Hsu YT, Christiani DC, Hung HY, Lin RT. Risks and burden of lung cancer incidence for residential petrochemical industrial complexes: A meta-analysis and application. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):404-14.
- Cortes-Ramirez J, Naish S, Sly PD, Jagals P. Mortality and morbidity in populations in the vicinity of coal mining: a systematic review. *BMC Public Health* 2018;18(1):721.
- Xu R, Barg FK, Emmett EA, Wiebe DJ, Hwang WT. Association between mesothelioma and non-occupational asbestos exposure: systematic review and meta-analysis. *Environ Health* 2018;17(1):90.
- Marsh GM, Riordan AS, Keeton KA, Benson SM. Non-occupational exposure to asbestos and risk of pleural mesothelioma: review and meta-analysis. *Occup Environ Med* 2017;74(11):838-46.
- Boonhat H, Lin RT. Association between leukemia incidence and mortality and residential petrochemical exposure: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2020;145:106090.
- Chang W, Boonhat H, Lin RT. Incidence of Respiratory Symptoms for Residents Living Near a Petrochemical Industrial Complex: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(7):2474.
- Lin CK, Hung HY, Christiani DC, Forastiere F, Lin RT. Lung cancer mortality of residents living near petrochemical industrial complexes: a meta-analysis. *Environ Health* 2017;16(1):101.
- Boyles AL, Blain RB, Rochester JR et al. Systematic review of community health impacts of mountaintop removal mining. *Environ Int* 2017;107:163-72.
- Tait PW, Brew J, Che A et al. The health impact of waste incineration: a systematic review. *Aust N Z J Public Health* 2020;44(1):40-48
- Fazzo L, Minichilli F, Santoro M et al. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environ Health* 2017;16(1):107.
- Negri E, Bravi F, Catalani S et al. Health effects of living near an incinerator: A systematic review of epidemiological studies, with focus on last generation plants. *Environ Res* 2020;184:109305.
- Jephcote C, Brown D, Verbeek T, Mah A. A systematic review and meta-analysis of haematological malignancies in residents living near petrochemical facilities. *Environ Health* 2020;19(1):53.
- Amster E. Public health impact of coal-fired power plants: a critical systematic review of the epidemiological literature. *Int J Environ Health Res* 2021;31(5):558-80
- World Health Organization. Waste and human health: Evidence and needs. WHO Meeting Report, 5-6 November 2015. Disponibile all'indirizzo: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/317226/Waste-human-health-Evidence-needs-mtg-report.pdf
- International Agency for Research on Cancer/ World Health Organization. List of classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans, IARC Monographs Volumes 1-132a. Disponibile all'indirizzo: https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/07/Classifications_by_cancer_site.pdf
- Bergman Å, Heindel JJ, Jobling S, Kidd KA, Zoeller RT (eds). World Health Organization/United Nations Environment Programme. State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. Geneva, UNEP/WHO, 2013. Disponibile all'indirizzo: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78102/WHO_HSE_PHE_IHE_2013_1_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- International Agency for Research on Cancer. IARC. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some nanomaterials and some fibres. Volume 111. IARC, Lione, 2017; pp. 215-242. Disponibile all'indirizzo: https://publications.iarc.fr/_publications/media/download/4518/8df270f8d3c20015be01cb6b4f6313b7b5047f14.pdf
- International Agency for Research on Cancer. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. A review of Human Carcinogens. Volume 100C. IARC, Lione, 2012; pp. 169-211.
- International Labour Organization and World Health Organization. Outline for the Development of National Programmes for Elimination of Asbestos-Related Diseases. 2007. Disponibile all'indirizzo: <https://www.who.int/publications/item/WHO-SDE-PHE-07-02>
- Pasetto R, Zona A, Fazzo L et al. Proportion of mesothelioma attributable to living in industrially contaminated areas in Italy. *Scand J Work Environ Health* 2019;45(5):444-49.
- Ayuso-Alvarez A, García-Pérez J, Triviño-Juárez JM et al. Association between proximity to industrial chemical installations and cancer mortality in Spain. *Environ Pollut* 2020;260:113869.
- López-Abente G, García-Pérez J, Fernández-Navarro P, Boldo E, Ramis R. Colorectal cancer mortality and industrial pollution in Spain. *BMC public health* 2012;12:589.
- Cambrá K, Martínez-Rueda T, Alonso-Fustel E et al. Mortality in small geographical areas and proximity to air polluting industries in the Basque Country (Spain). *Occup Environ Med* 2011;68(2):140-47
- García-Pérez J, Pérez-Abad N, Lope V et al. Breast and prostate cancer mortality and industrial pollution. *Environ Pollut* 2016;214:394-99.
- García-Pérez J, Lope V, Pérez-Gómez B et al. Risk of breast cancer and residential proximity to industrial installations: New findings from a multicase-control study (MCC-Spain). *Environ Pollut* 2018;237:559-68
- Kloczko N. Residential Proximity To Manufacturing Facilities And Risk Of Thyroid Cancer. *Public Health Theses* 2016;1152.
- Marinaccio A, Belli S, Binazzi A et al. Residential proximity to industrial sites in the area of Taranto (Southern Italy). A case-control cancer incidence study. *Ann Ist Super Sanita* 2011;47(2):192-99.
- Yuan TH, Ke DY, Wang JEH, Chan CC. Associations between renal functions and exposure of arsenic and polycyclic aromatic hydrocarbon in adults living near a petrochemical complex. *Environ Pollut* 2020;256:113457.
- Yuan TH, Shen YC, Shiea RH, Hung SH, Chena CF, Chan CC. Increased cancers among residents living in the neighborhood of a petrochemical complex: A 12-year retrospective cohort study. *Int J Hyg Environ Health* 2018;221(2):308-14.
- Salerno C, Marciani P, Esposito A, Palin LA. Mortality in the district of Ghemme and Cavaglio d'Agogna, site of an urban waste landfill. *Ig Sanita Pubbl* 2018;74(1):35-48.
- Pan SY, Morrison H, Gibbons L et al. Breast cancer risk associated with residential proximity to industrial plants in Canada. *J Occup Environ Med* 2011;53(5):522-29.
- Rodriguez-Garcia JA, Ramos F. High incidence of acute leukemia in the proximity of some industrial facilities in El Bierzo, northwestern Spain. *Int J Occup Med Environ Health* 2012;25(1):22-30.
- Leogrande S, Alessandrini ER, Stafoggia M et al. Industrial air pollution and mortality in the Taranto area, Southern Italy: A difference-in-differences approach. *Environ Int* 2019;132:105030.
- World Health Organization. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Geneva, WHO, 2007. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107872>

I siti contaminati del Progetto SENTIERI: aggiornamenti legislativi, caratteristiche della contaminazione e fonti di esposizione ambientale

The contaminated sites in the SENTIERI Project: an update of legislative, contamination, and sources of environmental exposure aspects in Italy

Federica Scaini,¹ Marta Benedetti,^{1,2} Maria Eleonora Soggiu,¹ Amerigo Zona,^{1,2} Gaetano Settimo,¹ Eleonora Beccaloni¹

¹ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

² WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

Corrispondenza: Federica Scaini; federica.scaini@iss.it

Riassunto

La problematica dei siti contaminati viene introdotta per la prima volta a livello normativo con il Decreto Ronchi n. 22 del 1997. Successivamente, le norme che hanno definito la maggior parte dei Siti contaminati di interesse nazionale (SIN) sono state la Legge n. 426 del 09.12.1998 e la Legge n. 179 del 31.07.2002. Attualmente, il riferimento è il D.lgs. 152/2006 "Testo Unico Ambientale", che nella Parte IV, Titolo V "Bonifica di siti contaminati", detta le procedure amministrative e tecniche per la bonifica dei siti contaminati. Nel tempo, ci sono stati numerosi aggiornamenti normativi che hanno modificato i criteri di selezione dei SIN, portando alcuni di questi a essere declassati a siti di interesse regionale (SIR).

I SIN nella loro interezza sono gestiti dal Ministero dell'ambiente, oggi della Transizione ecologica, mentre i SIR passano per competenza alle Regioni territorialmente interessate per le operazioni di verifica ed eventuale bonifica. Al momento, in Italia sono presenti 42 SIN e 17 SIR. Tutte le informazioni derivate dalle varie normative ambientali e quelle reperite nell'ambito delle procedure delle bonifiche hanno permesso di definire l'esposizione della popolazione residente nelle aree limitrofe ai SIN e ai SIR, nonché l'elaborazione di specifiche schede dove sono riportate tutte le informazioni specifiche per ogni sito.

Parole chiave: siti di interesse nazionale, siti di interesse regionale, bonifica, legislazione, esposizione ambientale

Abstract

In Italy, the problem of contaminated sites was introduced for the first time at a regulatory level with the 'Ronchi Decree' No. 22 of 1997. Subsequently, the regulations that defined most of the contaminated Sites of National Interest (SINs) were Law No. 426 of 09.12.1998 and Law no. 179 of 31.07.2002. Today, the reference directive is the Legislative Decree 152/2006 'Consolidated Environmental Act', which in Part IV, Title V 'Remediation of contaminated sites', dictates the administrative and technical procedures for the remediation of contaminated sites. Over time, there have been numerous regulatory updates that have changed the selection criteria for the SINs, leading some of these to be downgraded to Sites of Regional Interest (SIRs).

The SINs in their entirety are managed by the Italian Ministry of the Environment, today called 'of the Ecological Transition', while the pass to the competence of the territorially concerned Regions SIRs regarding the verification and eventual remediation operations. Currently, in Italy there are 42 SINs and 17 SIRs. All the information derived from the various environmental regulations and that found in the context of the remediation procedures made it possible to define the exposure of the population residing in the areas adjacent to the SINs and SIRs as well as the elaboration of sheets containing all the site-specific information.

Keywords: national priority contaminated sites, regional priority contaminated sites, reclamation, legislation, environmental exposure

Introduzione

I siti di interesse nazionale (SIN) rappresentano aree «individuabili in relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico, nonché di pregiudizio per i beni culturali e ambientali». Queste aree sono definite con apposito decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM, ora Ministero della transizione ecologica, MiTE) sulla base dei criteri fissati dall'art. 252 del D.lgs. 152/2006¹ e sono connotate da particolare complessità e da specifiche

problematiche ambientali e/o sanitarie, i cui procedimenti sono in capo al Ministero stesso.

Il decreto legislativo 22/1997² (Decreto Ronchi) fu il primo atto normativo che affrontò questa tematica nell'art. 17 "Bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati", approfondita nel Decreto ministeriale 471/1999³ e ripresa nella sua interezza nel D.lgs.152/2006,¹ all'art. 252 "Siti di Interesse Nazionale". I SIN, nella loro complessità, raffigurano aree contaminate molto estese classificate come pericolose dallo Stato italiano e che necessitano di interventi di bonifica del suolo, del sottosuolo e/o delle acque su-

perficiale e sotterranee al fine di evitare danni all'ambiente e alla salute umana, nonché il rischio per i beni di interesse storico-culturale e il rilevante impatto socioeconomico.

Sono state, quindi, individuate come SIN le aree nelle quali, a seguito di attività umane svolte o ancora in corso, è stata riscontrata una contaminazione del terreno, delle acque superficiali e sotterranee; per alcuni SIN, la perimetrazione ha interessato sia aree a terra sia aree marine. Alla perimetrazione di dettaglio di ciascun SIN ha provveduto (o provvede) il MATTM con decreto dedicato, sentiti i Comuni, le Province, le Regioni e gli altri enti locali, assicurando la partecipazione dei responsabili, nonché dei proprietari delle aree da bonificare se diversi dai soggetti responsabili. Con questo criteri e procedure, sono stati individuati dal MATTM 57 siti localizzati su tutto il territorio nazionale, dei quali 28 interessano la fascia costiera.

Le prime normative che hanno identificato la maggior parte dei SIN sono state emanate dal 1998 con la Legge n. 426⁴ del 09.12.1998 fino al 2002 con la Legge n. 179⁵ del 31.07.2002.

Normativa di riferimento

Il D.lgs. 152/2006¹ ss.mm.ii. "Testo Unico Ambientale", nell'articolato e nei cinque allegati alla parte IV Titolo V, detta i criteri tecnici e definisce le procedure amministrative di un sito contaminato.

In particolare, l'art. 252 "Siti di interesse nazionale", ai commi 1, 2 e 3, definisce i criteri di classificazione di sito d'interesse nazionale che vengono di seguito riportati:

1. i siti di interesse nazionale, ai fini della bonifica, sono individuabili in relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico, nonché di pregiudizio per i beni culturali e ambientali;

2. all'individuazione dei siti di interesse nazionale si provvede con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, d'intesa con le Regioni interessate, secondo i seguenti principi e criteri direttivi:

- a.** gli interventi di bonifica devono riguardare aree e territori, compresi i corpi idrici, di particolare pregio ambientale;
- b.** la bonifica deve riguardare aree e territori tutelati ai sensi del decreto legislativo 22.01.2004, n. 42;
- c.** il rischio sanitario e ambientale che deriva dal rilevato superamento delle concentrazioni soglia di rischio deve risultare particolarmente elevato in ragione della densità della popolazione o dell'estensione dell'area interessata;
- d.** l'impatto socioeconomico causato dall'inquinamento dell'area deve essere rilevante;

e. la contaminazione deve costituire un rischio per i beni di interesse storico e culturale di rilevanza nazionale;

f. gli interventi da attuare devono riguardare siti compresi nel territorio di più regioni;

f-bis. l'insistenza, attualmente o in passato, di attività di raffinerie, di impianti chimici integrati o di acciaierie.

2-bis. sono, in ogni caso, individuati quali siti di interesse nazionale, ai fini della bonifica, i siti interessati da attività produttive ed estrattive di amianto;

3. ai fini della perimetrazione del sito, inteso nelle diverse matrici ambientali, compresi i corpi idrici superficiali e i relativi sedimenti, sono sentiti i Comuni, le Province, le Regioni e gli altri enti locali, assicurando la partecipazione dei responsabili, nonché dei proprietari delle aree da bonificare se diversi dai soggetti responsabili. I valori d'intervento specifici per sito delle matrici ambientali in aree marine, che costituiscono i livelli di contaminazione al di sopra dei quali devono essere previste misure d'intervento funzionali all'uso legittimo delle aree e proporzionali all'entità della contaminazione, sono individuati con decreto di natura non regolamentare del Ministero della transizione ecologica su proposta dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) (art. 37, comma 1, lettera h), della legge n. 108⁶ del 2021).

Aggiornamento della normativa

Nel 2012, è stata effettuata una rivalutazione della classificazione dei 57 SIN sulla base delle modifiche integrate ai criteri di individuazione, introdotte dalla legge n. 134⁷ del 07.08.2012, art. 36-bis "Razionalizzazione dei criteri di individuazione di siti di interesse nazionale". Dalla ricognizione effettuata e da quanto previsto nel comma 3 del succitato decreto – che recita: «Su richiesta della regione interessata, con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentiti gli enti locali interessati, può essere ridefinito il perimetro dei siti di interesse nazionale, fermo restando che rimangono di competenza regionale le necessarie operazioni di verifica ed eventuale bonifica della porzione di siti che, all'esito di tale ridefinizione, esuli dal sito di interesse nazionale» – il numero complessivo dei SIN è stato ridotto.

Con il decreto del MATTM dell'11.01.2013⁸ ("Approvazione dell'elenco dei siti che non soddisfano i requisiti di cui ai commi 2 e 2-bis dell'art. 252 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e che non sono più ricompresi tra i SIN"), approvando l'elenco dei siti che non soddisfano i requisiti di cui all'art. 252, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152,¹ come modificato dal comma 1 dell'art. 36 -bis della legge 7 agosto

2012, n. 134,⁷ e che pertanto non sono più compresi tra i siti di bonifica di interesse nazionale, i SIN sono stati ridotti da 57 a 39. Inoltre, la competenza per le operazioni di verifica ed eventuale bonifica all'interno dei siti viene trasferita alle Regioni territorialmente interessate che subentrano nella titolarità dei relativi procedimenti di bonifica.

I siti che non soddisfano i requisiti di cui sopra passano di competenza alle Regioni e sono indicati come siti di interesse regionale (SIR). È pertanto definita SIR l'area interessata da procedimenti di bonifica non ricompresa nei siti di interesse nazionale e il cui procedimento (in corso o concluso), è in capo alla Regione o a enti territoriali da essa delegati.

Di seguito, se ne riporta l'elenco per regione:

- Regione Abruzzo: "Fiumi Saline Alento";
- Regione Campania: "Litorale Domizio Flegreo e Agro Aversano", "Pianura", "Bacino idrografico del fiume Sarno", "Aree del Litorale Vesuviano";
- Regione Emilia-Romagna: "Sassuolo-Scandiano";
- Regione Lazio: "Bacino del fiume Sacco", "Frosinone";
- Regione Liguria: "Pitelli (La Spezia)";
- Regione Lombardia: "Milano-Bovisa", "Cerro al Lambro";
- Regione Marche: "Basso Bacino del fiume Chienti";
- Regione Molise: "Guglionesi II";
- Regione Piemonte: "Basse di Stura";
- Regione autonoma della Sardegna: "La Maddalena";
- Regione Toscana: "Le Strillaie";
- Regione del Veneto: "Mardimago-Ceregnano";
- Provincia autonoma di Bolzano: "Bolzano" (questo sito non è più compreso tra i SIR).

Si precisa che non tutti i siti elencati sono attualmente considerati nel Progetto SENTIERI.

Successivamente, la sentenza del TAR Lazio n. 7586 del 17.07.2014 ha determinato il reinserimento, tra i SIN, dell'area del bacino del Fiume Sacco e ha annullato la precedente attribuzione delle competenze alla Regione Lazio. La titolarità sul procedimento amministrativo di bonifica è ritornata al MATTM (ora MiTE). L'iter amministrativo di ripermetrazione si è concluso con il D.M. n. 321 del 22.11.2016,⁹ che ha approvato il perimetro definitivo del SIN aumentandone la superficie complessiva pari a circa 7.200 ettari. Il sito attualmente comprende Comuni o parti di essi afferenti alle Province di Roma e di Frosinone.

Con la legge n. 205¹⁰ del 27.12.2017 "Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020", è stata inserita, tra i SIN, l'area di Bologna denominata "Officina Grande Riparazione ETR di Bologna". Inoltre, nella legge n. 120¹¹ dell'11.09.2020 "Conversione in legge, con modificazione, del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, recan-

te misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale", è stato introdotto il comma 9-bis dell'art. 252 del D.lgs. n. 152/2006 che individua quale ulteriore SIN l'Area vasta di Giugliano (NA).

Per cui, al momento, risultano 42 siti d'interesse nazionale e 17 siti d'interesse regionale, il sito di Bolzano non è più presente tra tutti i siti contaminati.

Il D.M. n. 144¹² del 24.04.2013 ha ridefinito, diminuendolo, il perimetro del SIN di "Venezia - Porto Marghera", lasciando la competenza alla Regione Veneto per le operazioni di verifica ed eventuale bonifica della porzione di territorio già compreso nella perimetrazione del SIN e ora non più incluso nella nuova perimetrazione.

Il SIN di "Massa e Carrara" è stato ripermetrato nell'ottobre 2013, con l'emanazione del D.M. n. 312,¹³ che ha eliminato la parte a mare lasciando le seguenti aree a terra: area ex Farmoplant; area ex Ferroleghie; area Solvay Chimica Italia S.p.A.; area Syndial S.p.A. (ora Eni Rewind S.p.A.).

Il SIN di "Crotone-Cassano-Cerchiara" è stato ridefinito con decreto prot. n. 304¹⁴ del 09.11.2017 a firma del Ministro dell'ambiente per quanto riguarda le aree a terra, includendo i siti con presenza di conglomerato idraulico catalizzato (CIC).

Il SIN di Trieste è stato ridefinito con decreto del 02.02.2018 e in ultimo con decreto del MiTE del 16.03.2021.¹⁵ La nuova area perimetrata a terra ricomprende la zona portuale e industriale a Sud-Ovest della città di Trieste e l'area marina della Baia di Muggia, oltre alla ferriera di Servola e alcune aree di discarica. Il sito di interesse nazionale di "Laguna di Grado e Marano" comprendeva una superficie complessiva di circa 10.695 ettari, di cui 3.755 ettari di aree a terra e 6.940 ettari di aree a mare (60% della laguna). Con il D.M. del 31.03.2017¹⁶ è stata modificata la denominazione del SIN da "Laguna di Grado e Marano" a "Caffaro di Torviscosa" ed è stata ridefinita la perimetrazione dello stesso. Il SIN "Caffaro di Torviscosa" comprende attualmente le aree Caffaro (aree di stabilimento e aree esterne), superficie complessiva pari a circa 200 ettari, e l'area della Lavanderia Adriatica S.r.l., con una superficie pari a circa 1 ettaro.

Il SIN di Orbetello (Area ex Sitoco) comprendeva sia l'area circostante lo stabilimento ex Sitoco sia l'area lagunare a esso prospiciente. Con successivo decreto del MATTM del 26.11.2007,¹⁷ il SIN è stato esteso sino a comprendere l'intero bacino lagunare (Laguna di Ponente e di Levante) e ulteriormente ampliato, con O.P.C.M. n.3841 del 19.01.2010, che ha compreso, tra l'altro, anche aree a terra, tra cui l'area denominata "Patanello".

Il SIN "Aree industriali di Porto Torres" è stato ripermetrato con decreto del 21.07.2016¹⁸ recante "Rettifica

del decreto 3 agosto 2005 nella ripermimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale Aree industriali di Porto Torres”, che ha inserito nel perimetro del SIN anche l’area a mare.

Il SIN di “Bussi sul Tirino” ha subito diverse ripermimetrazioni nel tempo. Con il D.M. del 10.08.2016¹⁹ è stato ridefinito il perimetro mediante lo stralcio di un’area non contaminata pari a circa 2,6 ettari, situata a monte dello stabilimento industriale di Bussi. Nel 2021, con il D.M. n. 49²⁰ del 27 gennaio il perimetro è stato ridefinito mediante l’inclusione di un’ulteriore porzione di circa 4 ettari in località Piano d’Orta, nel Comune di Bolognana, interessata dalla presenza di rifiuti simili a quelli già rilevati all’interno del SIN, che attualmente interessa circa 236 ettari.

Siti di interesse nazionale

I SIN sono aree nelle quali, in seguito ad attività produttive/industriali svolte nel passato o in corso, è stata accertata un’alterazione delle caratteristiche qualitative dei terreni, delle acque superficiali e sotterranee e, nello specifico, comprendono:

- aree industriali dismesse;
- aree industriali in corso di riconversione;
- aree industriali in attività;
- siti interessati da attività produttive ed estrattive di amianto;
- porti;
- aree che sono state oggetto in passato di incidenti con rilascio di inquinanti chimici;
- ex miniere, cave, discariche non conformi alla legislazione, discariche abusive.

In questi siti, l’esposizione alle sostanze contaminanti per la popolazione generale può avvenire dalle emissioni industriali e dallo stato di contaminazione di suoli e falde acquifere, oltre che dall’esposizione professionale. I SIN sono stati individuati con norme di varia natura e sono stati perimetrati mediante decreti del MATTM (ora MiTE), d’intesa con le regioni interessate.

La procedura di bonifica dei SIN è di competenza del MiTE che si avvale per l’istruttoria tecnica ambientale del Sistema nazionale a rete per la protezione dell’ambiente (SNPA) e per l’istruttoria tecnica sanitaria dell’Istituto superiore di sanità, nonché, per competenza, di altri soggetti qualificati pubblici o privati (art. 252, comma 4 del D.lgs. 152/06 e ss.mm.ii.).

La perimetratura dei SIN è nel tempo variata con incrementi o riduzioni delle superfici coinvolte sulla base di informazioni aggiornate sulla contaminazione potenziale e/o accertata di nuove aree o sulla base di una più accurata definizione delle zone interessate dalle potenziali sorgenti di contaminazione. Per alcuni SIN, la perimetratura interessa sia aree a terra sia

aree a mare: la superficie complessiva a terra è pari a 171.211 ettari e rappresenta lo 0,57% della superficie del territorio italiano, l’estensione complessiva delle aree a mare è pari a 77.733 ettari.

Nella figura 1, tratta dal sito del MiTE,²¹ viene illustrato l’elenco di tutti i SIN con la propria numerazione originale; i numeri assenti corrispondono agli odierni SIR. I SIN presenti nella figura 1 interessati da attività produttive ed estrattive di amianto sono 10: Priolo (n. 4), Casale Monferrato (n. 11), Balangero (n. 14), Napoli Bagnoli (n. 17), Tito (n. 20), Bari Fibronit (n. 33), Biancavilla (n. 35), Emarese (n. 38), Broni (n. 43), Officina Grande Riparazione ETR di Bologna (n. 58).

Tutte le notificazioni derivate dalla consultazione delle normative sopraccitate e dalle informazioni reperite nell’ambito delle procedure di bonifica, in particolare dalle caratterizzazioni ambientali specifiche per ogni sito contaminato condotte nelle relative aree, hanno permesso l’elaborazione e il successivo aggiornamento delle schede allegate al Rapporto SENTIERI del 2011.

Nelle schede²² erano presenti, per ogni sito allora studiato in SENTIERI (Pirastu et al. 2011),²³ una serie di dettagli relativi a:

- nome del SIN o SIR;
- Regione di appartenenza;
- superficie dell’area a terra e a mare;
- tipologia di impianti presenti nell’area;
- denominazione degli impianti;
- comparto ambientale interessato alla contaminazione (suolo/acque di falda);
- tempi di attività o di dismissione dell’impianto;
- tipologia dei contaminati presenti nei comparti ambientali.

Nelle schede nominate sopra, sono stati aggiunti ex-novo (Materiale supplementare, SENTIERI6_Siti_informazioni.docx):

- l’anno di inizio della prima attività industriale svolta nel sito;
- la tipologia e la denominazione degli impianti (attivi oppure non più attivi);
- l’attività di bonifica condotta;
- una nuova scheda relativa al sito “Officina grande riparazione ETR di Bologna”.

Nel “Comparto contaminanti”, in alcune schede, è stato indicato con l’apice (a) (per esempio, Suolo^(a)), l’inserimento di ulteriori informazioni per quanto attiene alla presenza di nuovi contaminanti riscontrati nei suoli e nelle acque di falda. Questo aggiornamento è a valle di verifiche delle attività di caratterizzazione condotte nei SIN, in particolare riguarda i risultati di indagini di integrazioni in aree già indagate e di nuove caratterizzazioni in aree che non erano state ancora indagate.

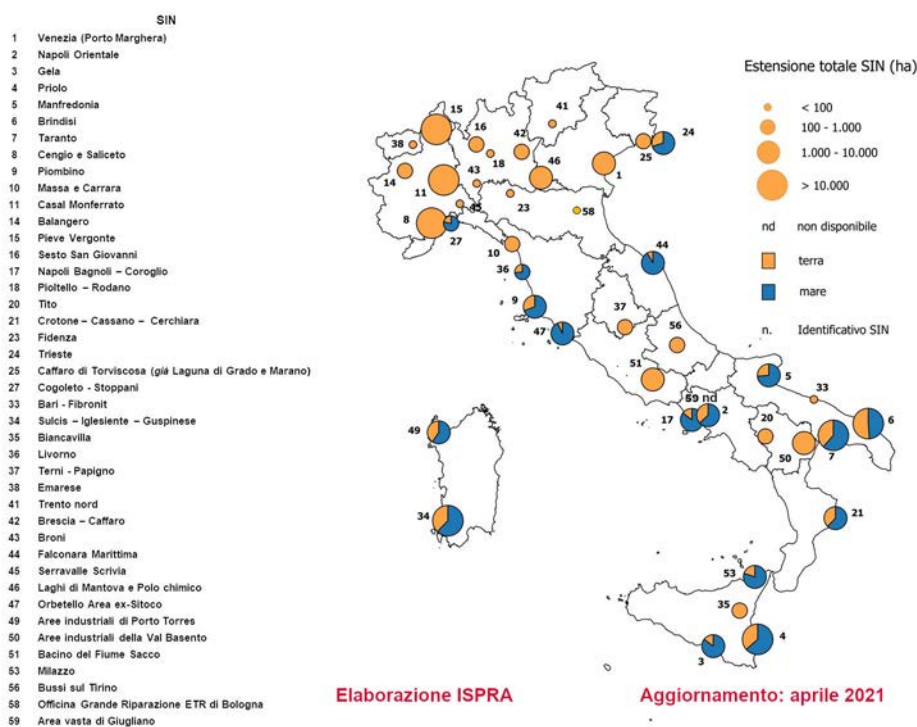


Figura 1. Siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN).
Figure 1. Italian contaminated sites of national interest (SIN).

Si ricorda, infatti, che le attività di caratterizzazione nei SIN sono generalmente attuate sulle diverse porzioni di territorio in tempi diversi, poiché la procedura specifica di caratterizzazione deve essere approvata dal Ministero prima che questa possa essere realizzata. Negli aggiornamenti delle schede dei SIN di questo Sesto Rapporto SENTIERI²⁴ si potranno pertanto riscontrare nuove e diverse sostanze in relazione alle recenti attività di caratterizzazione.

Oltre alle schede citate, nel materiale supplementare disponibile online il file SENTIERI6_Siti_decreti.xlsx che riporta informazioni relative ai decreti di istituzione e perimetrazione dei siti.

Gli aggiornamenti hanno riguardato i decreti relativi alle nuove perimetrazioni dei SIN e al decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare dell'11.01.2013 "Approvazione dell'elenco dei siti che non soddisfano i requisiti di cui ai commi 2 e 2-bis dell'art. 252 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e che non sono più ricompresi tra i SIN", che declassificano i SIN a SIR.

Conclusioni

Negli ultimi anni, sono state apportate modifiche legislative che hanno istituito nuovi SIN, definito i SIR e riprodotto alcuni di essi. Sono stati ridotti di dimen-

sione, per esempio, il SIN di Venezia Porto Marghera, il SIN della Laguna di Grado e Marano (oggi Caffaro di Torviscosa) e il SIN di Trieste; altri, invece, sono stati ampliati, come accaduto per il territorio del SIN Bacino Idrografico del Fiume Sacco.

SENTIERI valuta lo stato di salute della popolazione residente nelle aree definite come contaminate, muovendosi su basi di dati aggiornati, necessitando quindi di informazioni sempre più attuali che devono tener conto dell'evoluzione normativa.

Rispetto al trasferimento di alcuni SIN a SIR, l'approccio di valutazione epidemiologica rimane inalterato, considerando che tale cambiamento è quasi sempre solo di tipo amministrativo. Risulta, invece, rilevante l'aggiornamento relativo alle riprodottrazioni delle aree, poiché in questi casi potrebbero presentarsi variazioni, non trascurabili, relativamente alla diminuzione/aumento del numero dei Comuni interessati; di conseguenza, è stato necessario procedere a un aggiornamento dell'identificazione e della definizione della numerosità della popolazione su cui condurre le valutazioni sanitarie.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

1. D.lgs. n. 152 del 03.04.2006 "Norme in materia ambientale".
2. D.lgs. n. 22 del 05.02.1997 (Decreto Ronchi) "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio".
3. D.M. n. 471 del 25.10.1999 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni".
4. Legge n. 426 del 09.12.1998 "Nuovi interventi in campo ambientale".
5. Legge n. 179 del 31.07.2002 "Disposizioni in materia ambientale".
6. Ripubblicazione del testo del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, coordinato con la legge di conversione 29 luglio 2021, n. 108, recante: «Governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure.», corredato delle relative note.
7. Legge n. 134 del 07.08.2012 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 22 giugno 2012, n. 83, recante misure urgenti per la crescita del Paese".
8. D.M. 1.01.2013 "Approvazione dell'elenco dei siti che non soddisfano i requisiti di cui ai commi 2 e 2-bis dell'art. 252 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e che non sono più ricompresi tra i siti di bonifica di interesse nazionale".
9. D.M. del 22.11.2016 "Perimetrazione del sito di interesse nazionale 'Bacino del fiume Sacco'".
10. Legge n. 205 del 27.12.2017 "Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020".
11. Legge n. 120 dell'11.09.2020 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, recante misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale".
12. D.M. del 24.04.2013 "Ridefinizione del perimetro del sito di bonifica di interesse nazionale di 'Venezia (Porto Marghera)'".
13. D.M. del 29.10.2013 "Ridefinizione del perimetro del sito di bonifica di interesse nazionale di 'Massa e Carrara'".
14. D.M. del 09.11.2017 "Nuova perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale 'Crotone, Cassano e Cerchiara'".
15. Decreto del Ministro della transizione ecologica del 16.03.2021 "Nuova perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale di 'Trieste'".
16. D.M. del 31.03.2017 "Nuova denominazione e nuova perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale 'Caffaro di Torviscosa', già 'Laguna di Grado e Marano'".
17. D.M. del 26.11.2007 "Perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale di 'Orbetello area ex-Sitoco'".
18. D.M. del 21.07.2016 "Rettifica del decreto 3 agosto 2005 nella ripermetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale Aree industriali di Porto Torres".
19. D.M. del 10.08.2016 "Rettifica della ripermetrazione del Sito di bonifica di interesse nazionale 'Bussi sul Tirino'".
20. D.M. del 27.01.2021 "Ridefinizione del perimetro del sito di bonifica di interesse nazionale di Bussi sul Tirino".
21. Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica. Mappa dei siti SIN. Disponibile all'indirizzo: <https://bonifichesitocontaminati.mite.gov.it/mappa-dei-siti-sin/>
22. Schede disponibili al seguente indirizzo: <https://epiprev.it/documenti/downloadfile.php?fileid=7ddeed592ff6526c198d66940bc8db12bcb0ef27>
23. Pirastu R, Iavarone I, Pasetto R, Zona A, Comba P (eds). 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.
24. Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI-Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl. 1:1-286.

Dalla selezione degli inquinanti prioritari alla lettura dei dati sanitari nel Progetto SENTIERI

From the selection of priority pollutants to the analysis of health data in the SENTIERI Project

Gaetano Settimo,¹ Maria Eleonora Soggiu,¹ Marta Benedetti,^{1,2} Amerigo Zona,^{1,2} Federica Scaini,¹ Eleonora Beccaloni,¹ Ida Marcello³

¹ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

² WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

³ Centro nazionale sostanze chimiche, prodotti cosmetici e protezione del consumatore, Istituto superiore di sanità, Roma

Corrispondenza: Gaetano Settimo, gaetano.settimo@iss.it

Riassunto

Obiettivi: valutare mortalità e ospedalizzazione dei soggetti residenti in cinque siti contaminati di interesse per le bonifiche italiani studiati nel Progetto SENTIERI per quelle patologie che, sulla base delle valutazioni di agenzie ed enti internazionali, sono note per avere un nesso eziologico con l'esposizione a inquinanti ambientali specifici.

Disegno: studio ecologico.

Setting e partecipanti: popolazione residente nei siti di Trieste e Piombino (impianti siderurgici), Falconara, Livorno e Area industriale di Milazzo (impianti petrolchimici e/o raffinerie). Dati estratti dal Sesto Rapporto SENTIERI.

Principali misure di outcome: mortalità (2013-2017) e ospedalizzazione (2014-2018) per cause associate all'esposizione a specifici inquinanti rilevati nelle matrici suolo e falda acquifera e quelli stimati in aria.

Risultati: i risultati ottenuti non mostrano *pattern* comuni tra gli eccessi nei siti di Trieste e Piombino (impianti siderurgici) né tra Livorno, Falconara e Milazzo (petrolchimici e/o raffinerie). Livorno e Trieste, siti con una popolazione più ampia, presentano il maggior numero di eccessi.

Conclusioni: si ritiene che l'approccio proposto possa essere un utile strumento, a integrazione di altri, per lo studio del profilo di salute dei residenti nei siti contaminati, capace di offrire spunti per studi epidemiologici di tipo eziologico.

Parole chiave: sanità pubblica e ambientale, esposizione ambientale, inquinanti ambientali, industria petrolchimica, acciaieria

Abstract

Objectives: evaluation of mortality and hospitalization of residents in five Italian National Priority Contaminated Sites, studied in the SENTIERI Project, for those pathologies which, on the basis of the assessments of international agencies and bodies, are known to have an aetiological connection with exposure to specific environmental pollutants.

Design: ecological study.

Setting and participants: resident population in the sites of Trieste and Piombino (steel plants), and Falconara, Livorno, and the industrial area of Milazzo (petrochemical plants and/or refineries). Data extracted from the Sixth SENTIERI Report.

Main outcome measures: mortality (2013-2017) and hospitalization (2014-2018) for associated causes by exposure to specific pollutants detected in the soil and water matrices.

Results: the results obtained do not show common patterns between the excesses found in Trieste and Piombino Sites (steel plants) nor among Livorno, Falconara, and Milazzo (petrochemicals and/or refineries). Livorno and Trieste sites, having a larger population, show the greatest number of excesses.

Conclusions: the proposed approach can be a useful tool, in addition to others, for the study of the health profile of residents in contaminated sites, being also the basis for aetiological epidemiological studies.

Keywords: environment and public health, environmental exposure, environmental pollutants, petrochemical industry, steel plant

Introduzione

In analogia a quanto pubblicato nel Quinto Rapporto SENTIERI relativamente al sito di Gela,¹ utilizzando i dati di mortalità e ricovero del Sesto Rapporto SENTIERI,² si è proceduto a un approfondimento su alcuni siti che ospitano specifici impianti produttivi, valutando i risultati relativi agli effetti sanitari associabili ai contaminanti presenti nei siti stessi che possano aver determinato un'esposizione per la popolazione residente.

Materiali e metodi

La selezione degli inquinanti prioritari per ciascun sito

preso in esame utilizza i criteri descritti da Zona et al.:³

- l'ampiezza del superamento del valore soglia nella matrice di interesse (acque e suolo);
- la compresenza dell'inquinante in più matrici ambientali (multiesposizione);
- la pericolosità della sostanza per la salute umana (tossica e/o cancerogena) e le sue proprietà di bioaccumulo e persistenza nell'ambiente;
- la valutazione della qualità del dato e la sua provenienza;
- la presenza di fonti di emissione tuttora attive di quella determinata sostanza.

Seguendo questo approccio, è stato effettuato lo studio per alcune siti che, all'interno del loro perimetro di definizione, includono impianti siderurgici e petrolchimici e/o raffinerie, ampliando quanto già riportato nelle relative schede presenti nella sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI (vedi questo fascicolo, pp. 41-286).⁴ La scelta è ricaduta su questa tipologia di impianti per completare le valutazioni dell'associazione tra esposizione a specifici contaminanti ed effetti sanitari, condotta nel precedente rapporto solo per il sito di Gela, che include queste attività produttive all'interno dell'area perimetrata.

Sulla base delle caratterizzazioni chimiche dei suoli e delle acque sotterranee condotte in ciascun sito, secondo la normativa sulla bonifica dei siti contaminati e della conoscenza dei cicli produttivi con le conseguenti emissioni in atmosfera, per ciascun sito è potenzialmente identificabile un set di inquinanti prioritari ai quali fare riferimento per integrare e supportare la lettura dei dati epidemiologici presenti nella Sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴ Il percorso prevede, quindi, la conoscenza degli inquinanti presenti nelle matrici ambientali suolo, corpi idrici superficiali e sotterranei, e la selezione dei contaminanti che rispettino totalmente o parzialmente i suddetti criteri. Successivamente, sulla base delle valutazioni delle evidenze scientifiche formulate da agenzie ed enti internazionali, quali International Agency for Research on Cancer (IARC), National Toxicology Program (NTP) del Department of Health and Human Services (DHHS) ed Environmental Protection Agency (US-EPA) statunitensi e Unione europea (UE) attraverso la European Chemical Agency (ECHA), che traducono in sistemi di classificazione/valutazione i risultati dell'identificazione del pericolo, per ciascun inquinante, vengono identificati gli organi bersaglio e le conseguenti patologie che gli inquinanti potenzialmente inducono. L'ECHA è l'unica agenzia le cui classificazioni, una volta adottate dalla Commissione europea e pubblicate sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, hanno una ricaduta a carattere normativo.

Si sottolinea che, mentre per le matrici suolo e acque le sostanze sono selezionate sulla base della caratterizzazione chimica effettuata, ovvero sulle risultanze analitiche ottenute nelle indagini, per la componente aria gli inquinanti prioritari sono individuati sulla base della conoscenza delle caratteristiche dei cicli produttivi che è noto emettono determinate sostanze. Questa metodologia di selezione è necessaria in particolar modo quando ci si riferisce a periodi lontani nel tempo, in assenza di dati di monitoraggio specifici.

I monitoraggi ambientali della matrice aria sono affidati alle reti di postazioni fisse in contesti generalmente ur-

bani e dedicate principalmente ai cosiddetti macroinquinanti, inquinanti le cui concentrazioni sono dell'ordine dei microgrammi per metro cubo: ossidi di azoto (NO_x, NO e NO₂), biossido di zolfo (SO₂), PM₁₀, PM_{2,5}, monossido di carbonio (CO), benzene. Le reti di monitoraggio industriale sono più rare e generalmente dedicate al rilevamento di qualche inquinante specifico dell'attività produttiva presente in un'area (per esempio, SO₂, PM₁₀ e PM_{2,5} con caratterizzazione chimica), quindi non sempre finalizzate al rilevamento dei microinquinanti quali diossine, furani (PCDD/F), policlorobifenili (PCB), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli pesanti, più frequentemente associabili alla tipologia di impianti produttivi selezionati in questo studio. Le reti di monitoraggio dell'aria, come da D.lgs. 155/2010 (GU n. 216 del 15.09.2010, supplemento ordinario n. 217) sono, infatti, di più recente istituzione e principalmente finalizzate alla verifica della qualità dell'aria per gli inquinanti maggiormente presenti e non specificamente correlati alle attività industriali. In alcuni siti industriali, negli anni passati, possono essere state condotte campagne di monitoraggio ad hoc, ma solo per periodi molto limitati e dedicati esclusivamente ad alcune sostanze e non a tutte quelle qui selezionate.

In questo approfondimento, sono stati inclusi i siti di Trieste e Piombino per la presenza di impianti siderurgici, Livorno, Falconara e Area industriale di Milazzo per la presenza di impianti petrolchimici e/o raffinerie.

Risultati

Nella tabella 1 sono riportati i siti identificati e gli inquinanti prioritari selezionati in relazione alla matrice ambientale di appartenenza.

La tabella 2 presenta i 17 congeneri delle diossine (7 policloro-dibenzo-p-diossine, PCDD, e 10 dibenzofurani, PCDF) e 12 policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL), di particolare interesse dal punto di vista tossicologico.

La tabella 3 elenca gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) così come vengono distinti dal D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dal D.lgs 46/2014 (recepimento Direttiva 2010/75).

La tabella 4 mostra gli inquinanti prioritari selezionati e gli effetti sanitari associati alla loro esposizione.

Nelle tabelle da 5 a 14, relative alla mortalità e ai ricoveri, sono riportate tutte le cause che presentano eccessi in almeno in uno dei generi, cioè i casi osservati sono maggiori di quelli attesi, ossia il valore del rapporto standardizzato di mortalità (SMR) o di ospedalizzazione (SHR) è maggiore di 100. Nel testo, sono riportati solo i risultati ritenuti più rilevanti. Quando l'intervallo di confidenza (IC) delle stime contiene il valore 100, l'eccesso è definito incerto.

Sito (anno inizio attività)	Impianti chiusi (anni di attività)	Impianti attivi	Inquinanti prioritari
Trieste (1930)	Inceneritore (1915-1999)	Acciaierie Servola, Inceneritore Errera3, CTE Servola, GLT, depositi costieri Trieste, depositi Shell e Siot, Alder spa (produzione formaldeide) Burgo group, Sertubi, Italcementi, Grandi Molini Italiani, Saul Sadoch spa	Aria: PCDD/F, PCB, IPA, COV, metalli pesanti Suolo: PCDD/F, PCB, IPA, BTEX, metalli pesanti Acque: IPA, metalli pesanti, BTEX
Livorno (1938)	Deposito Agip petroli	CTE Enel, Raffineria ENI, ex Itaoil stabilimento GPL	Aria: PCDD/F, PCB, IPA, COV, metalli pesanti Suolo: PCDD/F, IPA, As, Cr tot, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Pb Acque: As, Ni, Hg
Piombino (1911)	CTE Enel (1977-2015) Altoforno (1911-2014) Acciaieria		Aria: PCDD/F, PCB, IPA, COV, metalli pesanti Suolo: PCDD/F, PCB, IPA, As, Cr tot, V, Cd, Zn, Hg, Cu Acque: PCB, As, Pb, Cr ^{VI} , Ni
Falconara (1950)	Aerdorica spa, ex Vibrocementi Adriatica srl	API Raffineria, Ex Enichem (Azienda agricola Rocca Mare srl, del Poggio sas, Agricola 932 srl), Edilverde Costruzioni (ex DEAR industria bitumi)	Aria: PCDD/F, PCB, IPA, COV, metalli pesanti Suolo: PCDD/F, PCB, IPA, Metalli pesanti, As, Cd, Zn, Hg, Cu, Pb; Pb alchili, BTEX Acque: IPA, PCB, BTEX, tricloroetilene, Tetracloroetilene
Area Industriale di Milazzo (1961)		Raffineria Milazzo, CTE SFM, Acciaieria Duferdofin, Consorzio piccole e medie imprese ceramica, mobili, agroalimentare; cantieristica navale imbarcazioni di lusso; ESI spa (recupero piombo batterie esauste)	Aria: PCDD/F, PCB, IPA, COV, metalli pesanti Suolo: PCDD/F, PCB, IPA, Metalli pesanti, As, Cr tot, V, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Pb; PB alchili, BTEX Acque: IPA, PCB, BTEX, metalli pesanti, As, Pb, Cr ^{VI} , Ni, Hg, Mn, tricloroetilene, tetracloroetilene

As: arsenico / *arsenic*; **BTEX:** benzene, toluene, etil-benzene, orto-, meta-, e para-xilene / *benzene, toluene, ethylbenzene, and ortho-, meta-, and para-xylenes*; **Cd:** cadmio / *cadmium*; **Cr:** cromo / *chromium*; **Cu:** rame / *copper*; **Hg:** mercurio / *mercury*; **IPA:** idrocarburi policiclici aromatici / *polycyclic aromatic hydrocarbons*; **Mn:** manganese / *manganese*; **Ni:** nichel / *nickel*; **Pb:** piombo / *lead*; **PCB:** policlorobifenili / *polychlorinated biphenyl*; **PCDD/F:** policloro-dibenzo-p-diossine/policlorodibenzofurani / *polychlorinated dibenzo-p-dioxins/polychlorinated dibenzofurans*; **V:** vanadio / *vanadium*; **COV:** composti organici volatili / *volatile organic compounds*; **Zn:** zinco / *zinc*

Tabella 1. Siti selezionati per l'analisi degli inquinanti prioritari specifici.

Table 1. Sites selected for priority pollutants analysis.

Sostanze	IARC	US DHHS13	US-EPA	WHO-TEF (1998)*	WHO-TEF (2005) ⁵¹
Policlorodibenzo-p-diossine (PCDD)					
2,3,7,8 - TCDD	1 (Vol. 100F, 2012)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	in corso di valutazione	1	1
1,2,3,7,8 - PeCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	1	1
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	HxCDD, miscela di 1,2,3,6,7,8-HxCDD e 1,2,3,7,8,9-HxCDD probabile cancerogeno per l'uomo sulla base di dati sperimentali (US EPA, 1987)**	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	HxCDD, miscela di 1,2,3,6,7,8-HxCDD e 1,2,3,7,8,9-HxCDD probabile cancerogeno per l'uomo sulla base di dati sperimentali (US EPA, 1987)**	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,01	0,01
OCDD	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,0001	0,0003
Policloro-dibenzofurani (PCDF)					
2,3,7,8 - TCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,1
1,2,3,7,8 - PeCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,05	0,03
2,3,4,7,8 - PeCDF	1 (Vol. 100F, 2012)	ND	ND	0,5	0,3
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,3
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,01	0,01
OCDF	3 (Vol. 69, 1997)	ND	ND	0,0001	0,0003
Policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL)					
PCB 77	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0001
PCB 81	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0003
PCB 105	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0003
PCB 114	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0005	0,0003
PCB 118	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0003
PCB 123	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0003
PCB 126	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,1	0,1
PCB 156	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0005	0,0003
PCB 157	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0005	0,0003
PCB 167	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,00001	0,0003
PCB 169	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,01	0,03
PCB 189	1 (Vol. 107, 2016)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND	0,0001	0,0003

HpCDD: eptacloro-p-dibenzodiossina / heptachlorodibenzo-p-dioxin; **HxCDF:** eptaclorodibenzofurano / heptachlorodibenzofuran; **HxCDD:** esaclorodibenzo-p-diossina / hexachlorodibenzo-p-dioxin; **HxCDF:** esaclorodibenzofurano / hexachlorodibenzofuran; **OCDF:** octaclorodibenzofurano / octachlorodibenzofuran; **PCB:** policlorobifenile / polychlorinated biphenyl; **ND:** dato non disponibile / not available data; **PCB-DL:** policlorobifenili diossina-simili / polychlorinated biphenyl dioxin-like; **PCDD:** policloro-dibenzo-p-diossine / polychlorinated dibenzodioxins; **PCDF:** dibenzofurani / dibenzofurans; **PCDF:** pentaclorodibenzo-p-diossina / pentachlorodibenzo-p-dioxin; **PeCDF:** pentaclorodibenzofurano / pentachlorodibenzofuran; **TCDD:** tetraclorodibenzo-p-diossina / tetrachlorodibenzo-p-dioxin; **TCDF:** tetraclorodibenzofurano / tetrachlorodibenzofuran; **US:** Stati Uniti / United States

* Van den Berg M, Birnbaum LS, Bosveld AT et al. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wild-life. Environ Health Perspect 1998;106(12):775-92.

** United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) - Chemical Assessment Summary on Hexachlorodibenzo-p-dioxin (HxCDD), mixture of 1,2,3,6,7,8-HxCDD and 1,2,3,7,8,9-HxCDD; CASRN 57653-85-7 and 19408-74-3. Cincinnati (OH), U.S. EPA, 1987. Disponibile all'indirizzo: https://iris.epa.gov/static/pdfs/0166_summary.pdf

Tabella 2. Identificazione delle 17 diossine (7 PCDD e 10 PCDF) e dei 12 PCB-DL che destano particolare preoccupazione dal punto di vista tossicologico.
Table 2. Identification of the 17 dioxins congeners (7 PCDD and 10 PCDF) and 12 PCB-DL of particular toxicological concern.

Idrocarburi policiclici aromatici	Sigla	Classificazione UE*16	IARC	US DHHS13	US-EPA
Benzo(a)Antracene	B(a)A	Cancerogeno di categoria 1B	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Benzo(a)Pirene	B(a)P	Cancerogeno di categoria 1B Mutageno di categoria 1B Tossico per la riproduzione di categoria 1B Sensibilizzante cutaneo di categoria 1	1 (Vol. 100F, 2012)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	Cancerogeno per l'uomo
Benzo(b)Fluorantene	B(b)F	Cancerogeno di categoria 1B	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Benzo(ghi)Perilene	B(g,h,i)P	ND	3 (Vol. 92, 2010)	ND	ND
Benzo(j)Fluorantene	B(j)F	Cancerogeno di categoria 1B	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Benzo(k)Fluorantene	B(k)F	Cancerogeno di categoria 1B	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Crisene	CRI	Cancerogeno di categoria 1B Mutageno di categoria 2	2B (Vol. 92, 2010)	ND	ND
Dibenzo(a,e)Pirene	DB(a,e)P	ND	3 (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Dibenzo(a,h)Antracene	DB(a,h)A	Cancerogeno di categoria 1B	2A (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Dibenzo(a,h)Pirene	DB(a,h)P	ND	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Dibenzo(a,i)Pirene	DB(a,i)P	ND	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Dibenzo(a,l)Pirene	DB(a,l)P	ND	2A (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Indeno(1,2,3-cd)Pirene	I(1,2,3-cd)P	ND	2B (Vol. 92, 2010)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	ND
Naftalene	NAPH	Cancerogeno di categoria 2; Tossico acuto di categoria 4 per ingestione	2B (Vol. 82, 2002)	Cancerogeno riconosciuto per l'uomo	Possibile cancerogeno per l'uomo
Pirene	PIR	ND	3 (Vol. 92, 2010)	ND	Non classificabile come cancerogeno per l'uomo

* La classificazione dell'Unione Europea (EU) fa riferimento esclusivamente ai pericoli per la salute (e non a quelli ambientali) / The European Union (EU) classification refers only to the health hazards (and not to the environmental ones)

ND: dato non disponibile / not available data

Tabella 3. Identificazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) come distinti nel D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dal D.lgs 46/2014 (recepimento Direttiva 2010/75).

Table 3. Identification of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) as defined by the Legislative Decree 152/2006 and subsequent amendments, and by the Legislative Decree 46/2014 (transposition of the Directive 2010/75)

Inquinanti prioritari selezionati	Patologie associate
Arsenico	Tumore maligno del polmone Tumore maligno del fegato Tumore maligno della cute Tumore maligno della vescica Tumore maligno della prostata Tumore maligno del rene Diabete
Cadmio	Tumore maligno del polmone Tumore maligno della prostata Tumore maligno del rene Malattie dell'apparato urinario Insufficienza renale cronica
Cromo esavalente	Tumore maligno del polmone
Nichel	Tumore maligno del polmone
Piombo	Tumore maligno dello stomaco Malattie dell'apparato urinario Insufficienza renale cronica Ipertensione
Benzene	Leucemia linfocitica acuta Leucemia linfocitica cronica Leucemia mieloide acuta Linfoma non Hodgkin Mieloma multiplo
Stirene	Tumori linfoematopoietici
Tetracloroetilene (percloroetilene)	Tumore maligno della vescica
Toluene	Non classificabile per IARC
Tricloroetilene	Tumore maligno del fegato e dei dotti biliari Tumore maligno del rene Linfoma non Hodgkin Malattie dell'apparato urinario
Diossine (intese come PCDD e PCDF)	TCDD: Tutti i tumori maligni Tumore maligno del polmone Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli Linfoma non Hodgkin
PCB diossina-simili	Tumore maligno della mammella Melanoma cutaneo Linfoma non Hodgkin
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	Tumore maligno del polmone Tumore della cute

Tabella 4. Inquinanti prioritari selezionati ed effetti sanitari associati alla loro esposizione.

Table 4. Selected priority pollutants and health effects associated with their exposure.

PCB: policlorobifenili / *polychlorinated biphenyls*; **PCDD:** dibenzo-p-diossine / *polychlorinated dibenzo-p-dioxins*; **PCDF:** dibenzo-p-furani / *dibenzofuranes*; **TCDD:** 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina / *2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin*

Tossicità, organi e tessuti bersaglio degli inquinanti identificati

Inquinanti inorganici

■ **Arsenico.** L'arsenico (As) è un tossico sistemico e un cancerogeno multisito i cui effetti tossici sono correlati a stato di ossidazione e forma chimica: le specie trivalenti sono più tossiche delle pentavalenti e l'As inorganico è più tossico di quello organico.⁵

L'esposizione ad As negli ambienti di lavoro avviene soprattutto per via inalatoria, mentre quella non professionale *indoor* avviene attraverso acqua da bere e alimenti.⁶

I principali effetti avversi dovuti all'ingestione a lungo termine di As inorganico negli esseri umani sono lesioni della pelle, cancro, tossicità sullo sviluppo, disturbi vascolari periferici e cardiovascolari, metabolismo del glucosio anormale e **diabete**.⁷⁻¹²

Inoltre, da un'ampia base di studi sull'uomo, emergono prove convincenti (*convincing evidence*) che l'esposizione per via orale e inalatoria ad As inorganico possa causare gravi effetti neurologici.¹⁰ Studi epidemiologici hanno mostrato che polmoni, vescica e cute sono le sedi principali di sviluppo di tumore per inalazione o per ingestione di acqua contaminata da As.⁶

La IARC, l'US-EPA e il DHHS hanno classificato l'As e i suoi composti inorganici come cancerogeni per l'uomo.^{5,6,13}

La IARC e l'US-EPA individuano come sedi tumorali con evidenza di cancerogenicità *sufficiente* **polmoni, cute e vescica** e con evidenza *limitata* **fegato e dotti biliari, prostata e rene**. Questa valutazione vale per l'intera classe e non è necessariamente valida per tutti i singoli composti.

■ **Cadmio.** Sebbene in linea generale l'assimilazione orale costituisca la via di esposizione più importante per il cadmio (Cd), anche l'aria ambiente pone un rischio per la salute umana, in particolare in prossimità di sorgenti di emissione industriale. Il Cd si accumula in modo efficiente in reni e fegato e ha un'emivita che varia da 10 a 30 anni. Gli organi più sensibili alla tossicità cronica del Cd sono reni e ossa in seguito a esposizione per via orale e reni e polmoni come conseguenza di un'esposizione per via inalatoria.¹⁴ Il Cd è eliminato molto lentamente dall'organismo umano.

È tossico principalmente per il **rene**, specialmente per le cellule del tubulo prossimale, ove si accumula progressivamente compromettendo la filtrazione glomerulare e alterando così la funzionalità renale. Inoltre, può causare demineralizzazione ossea sia danneggiando direttamente l'osso sia indirettamente come effetto secondario della disfunzione renale.¹⁵ Esposizioni ripetute ambientali a bassi livelli di Cd possono comportare

una diminuita funzionalità renale ed effetti sul sistema scheletrico (osteoporosi, aumento del rischio di fratture ossee, diminuzione della densità minerale ossea).¹⁴

La IARC e il DHHS hanno classificato il Cd e i suoi composti come cancerogeni per l'uomo.^{6,13} La IARC individua il **polmone** come sede tumorale per la quale l'evidenza di cancerogenicità è *sufficiente*, **prostata e rene** come sedi tumorali per le quali l'evidenza di cancerogenicità è *limitata*.

L'UE classifica il Cd come sostanza che può provocare il cancro (categoria 1B - H350), sospettata di provocare alterazioni genetiche (mutageno di categoria 2 - H341) e di nuocere alla fertilità e al feto (tossico per la riproduzione di categoria 2 - H361fd).¹⁶

■ **Cromo esavalente.** Il cromo esavalente (Cr^{VI}) è assorbito prevalentemente dal tratto respiratorio e si distribuisce in tutti i tessuti, principalmente in reni, fegato e ossa. Viene anche assorbito in seguito a esposizione orale.⁶

Bersaglio primario dell'esposizione inalatoria a Cr^{VI} sono i polmoni, mentre all'esposizione orale sono associati principalmente effetti gastrointestinali.¹⁷

L'esposizione professionale a Cr^{VI} determina un aumento del rischio di cancro del sistema respiratorio, principalmente broncogeno e nasale.

L'esposizione ambientale tramite acqua da bere è stata associata a un aumento statisticamente significativo del rischio di tumore dello stomaco.¹⁸

La IARC, il DHHS e l'US-EPA classificano i composti del Cr^{VI} come cancerogeni per l'uomo per esposizione inalatoria.^{6,13,19} Inoltre, la IARC ha individuato il **polmone** come sede tumorale per la quale l'evidenza di cancerogenicità è *sufficiente* e **cavità nasali e seni paranasali** come sedi tumorali per le quali l'evidenza di cancerogenicità è *limitata*, mentre l'evidenza per il tumore dello **stomaco** è considerata scarsa (*little evidence*).

■ **Mercurio.** L'esposizione cronica al mercurio (Hg) attraverso qualsiasi via può comportare danni al sistema nervoso centrale e provocare effetti nocivi sui reni, che rappresentano il bersaglio critico per la tossicità del mercurio inorganico. Altri bersagli comprendono i sistemi immunitario, riproduttivo e dello sviluppo (il mercurio può pregiudicare lo sviluppo del feto e provocare un calo della fertilità).²⁰⁻²²

La IARC considera il mercurio e i suoi composti inorganici non classificabili come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 3) e il metilmercurio come *possibile cancerogeno per l'uomo* (Gruppo 2B).²³

L'UE classifica il mercurio come sostanza che «può nuocere al feto» (tossico per la riproduzione di categoria 1B - H360D).¹⁶

■ **Nichel.** Gli effetti non cancerogeni per la salute umana del nichel (Ni) in aria ambiente si riscontrano a livello

del tratto respiratorio, del sistema immunitario e dell'equilibrio endocrino. Gli effetti dipendono dalla forma del Ni e dalla capacità di sciogliersi nei fluidi biologici. L'effetto critico più importante, per esposizione sia ambientale sia occupazionale, è il **cancro polmonare**.²⁴

La IARC e il DHHS hanno classificato i composti del Ni come cancerogeni per l'uomo.^{6,13} La IARC ha individuato polmoni, cavità nasali e seni paranasali come sedi tumorali per le quali l'evidenza di cancerogenicità è *sufficiente*.

■ **Piombo.** L'esposizione a piombo (Pb) può avvenire attraverso alimenti, acqua, aria, suolo. Il Pb è facilmente trasferito al feto attraverso la placenta durante la gestazione e successivamente durante l'allattamento.

Nell'uomo induce una serie di effetti avversi in funzione della dose e della durata di esposizione. La preoccupazione principale deriva dalla tossicità cronica del Pb in considerazione della sua lunga emivita (pari a circa 30 giorni e a 10-30 anni nel sangue e nell'osso, rispettivamente).²⁵ Nell'uomo, il principale organo bersaglio è il sistema nervoso centrale; il cervello in via di sviluppo è più vulnerabile alla neurotossicità del Pb rispetto al cervello maturo. Negli adulti, l'esposizione a Pb è associata a effetti neurotossici (**neuropatie periferiche**), renali (**nefropatie croniche**), a carico del sistema cardiovascolare (**ipertensione**), sulla riproduzione e sul sistema immunitario. Il Pb può anche avere effetti sulle ossa sia negli adulti sia nei bambini.²⁵⁻²⁷

Sulla base di un ampio corpus di prove proveniente da studi sull'uomo, che ha dimostrato effetti avversi del Pb sia per la fertilità (atrofia testicolare e bassa qualità dello sperma) sia per lo sviluppo (tossicità per il sistema nervoso in via di sviluppo, ridotto quoziente intellettivo in bambini con esposizione fetale e/o postnatale), l'UE ha classificato il Pb, in quanto tale e in tutte le sue forme, come sostanza che «può nuocere alla fertilità e sospettato di nuocere al feto» (tossico per la riproduzione di categoria 1A - H360).¹⁶ La IARC ha classificato i composti inorganici del Pb come probabili cancerogeni per l'uomo (Gruppo 2A) e ha individuato lo **stomaco come sede tumorale** per la quale l'evidenza di cancerogenicità è sufficiente.²⁸

■ **Piombo alchili.** Gli alchili del piombo, come il piombo tetraetile e il piombo tetrametile, sono composti organici del piombo che nelle vie respiratorie si comportano come gas e sono assorbiti in misura maggiore rispetto alle particelle di piombo inorganico.²⁸ Sono assorbiti anche attraverso la cute. Nell'organismo, subiscono de-alchilazione ossidativa con produzione di piombo inorganico che si distribuisce, con concentrazioni più elevate in fegato e reni seguite da encefalo e cuore.

Nell'uomo, i composti organici del piombo sono metabolizzati, almeno in parte, a piombo ionico. Ci si aspet-

ta che il piombo ionico, generato dal piombo organico presente nell'organismo, eserciti la sua tossicità associata al piombo inorganico. L'esposizione cronica porta a segni generali di alterazione del sistema nervoso centrale come da composti inorganici del Piombo.^{26,28}

L'UE ha classificato tutti gli alchili del Pb come sostanze che «possono nuocere al feto e sospettate di nuocere alla fertilità» (tossiche per la riproduzione di categoria 1A - H360Df) e come «sostanze che possono provocare danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta» (tossico specifico per organi bersaglio - esposizione ripetuta di categoria 2 - H373).¹⁶

La IARC considera i composti organici del Pb, inclusi gli alchili del piombo, «non classificabili in relazione alla loro cancerogenicità per l'uomo» (Gruppo 3).²⁸

■ **Rame.** Il rame (Cu) è un elemento essenziale per la salute umana, ampiamente distribuito in natura. L'esposizione della popolazione generale avviene mediante inalazione, consumo di alimenti e acqua, contatto cutaneo con polveri in aria, acqua e suolo contenenti rame. A causa dell'ubiquità del rame nell'ambiente e della presenza generale di rame nel particolato atmosferico, l'esposizione per via inalatoria è molto comune. Dati disponibili sull'uomo e sugli animali suggeriscono che, a seguito di esposizione per via orale, il bersaglio maggiormente critico della tossicità del rame è il tratto gastrointestinale. L'esposizione a lungo termine alla polvere di rame può irritare naso, bocca e occhi e causare mal di testa, vertigini, nausea e diarrea.²⁹

Nell'uomo sono ben documentate nella letteratura medica due patologie genetiche: il morbo di Wilson (che determina accumulo di rame nel fegato e in altri organi con sviluppo di sintomi epatici o neurologici) e la malattia di Menkes (che è un disturbo del metabolismo del rame caratterizzato da progressivo deterioramento neurologico e significative anomalie del tessuto connettivo). Negli individui non affetti da queste due patologie genetiche, i meccanismi omeostatici naturali che regolano il rame prevengono qualsiasi accumulo nel cervello e nei tessuti neurali in modo che il rame non mostri un potenziale neurotossico.³⁰

L'effetto critico dell'esposizione per inalazione al rame è l'azione locale a carico dell'apparato respiratorio, che include un'immunosoppressione che è attribuibile al disturbo della funzione dei macrofagi alveolari.³¹

■ **Vanadio.** La tossicità dei composti del vanadio (V) aumenta all'aumentare dello stato di valenza: i composti pentavalenti sono i più tossici.

Nell'uomo, gli effetti cronici dell'esposizione a vanadio si manifestano a carico delle vie respiratorie superiori (è un potente irritante respiratorio) che rappresentano il bersaglio primario.³²⁻³⁴

La IARC ha classificato il vanadio pentossido come pos-

sibile cancerogeno per l'uomo (Gruppo 2B) sulla base di evidenza di cancerogenicità *inadeguata* nell'uomo e *sufficiente* negli animali da laboratorio.³⁵

L'UE classifica il vanadio pentossido come sostanza: che può provocare il cancro (categoria 1B - H350), sospettata di provocare alterazioni genetiche (mutageno di categoria 2 - H341) e di nuocere alla fertilità e al feto (tossico per la riproduzione di categoria 2 - H361fd) e ai lattanti allattati al seno (H362) e come «sostanza che provoca danno alle vie respiratorie in caso di esposizione prolungata o ripetuta per inalazione» (tossico specifico per organi bersaglio - esposizione ripetuta di categoria 1 - H372 provoca danni alle vie respiratorie per inalazione).¹⁶

■ **Zinco.** Lo zinco (Zn) è un elemento che, in piccole quantità, è essenziale per la salute umana, in quanto cofattore di molti sistemi enzimatici. L'esposizione della popolazione generale a zinco avviene principalmente mediante ingestione; altre possibili vie di esposizione sono acqua e aria, sebbene le quantità inalate nell'aria ambiente siano trascurabili. L'esposizione a zinco tramite l'aria avviene in gran parte in ambito occupazionale attraverso l'inalazione di polveri o fumi industriali. Il tratto respiratorio è l'organo bersaglio più sensibile per esposizione inalatoria, mentre gli organi bersaglio associati all'esposizione orale includono tratto gastrointestinale, sangue, sistema immunitario e pancreas.

In seguito a esposizione a lungo termine a basse dosi di composti dello zinco, i sintomi osservati sono un ridotto assorbimento di rame con la dieta che porta all'abbassamento dei livelli di rame, con conseguente l'anemia che si manifesta come diminuzione del numero di eritrociti e dell'ematocrito.³⁶

Inquinanti organici

■ **Benzene.** È un composto organico volatile (COV). L'effetto tossico più importante del benzene è a carico del sistema linfematopoietico. Il benzene provoca **leucemia mieloide acuta, definita anche leucemia non linfocitica acuta**. Si è riscontrata anche un'associazione positiva tra esposizione a benzene e **leucemia linfocitica acuta, leucemia linfocitica cronica, mieloma multiplo e linfomi non Hodgkin**.

Vi è un'evidenza forte che i metaboliti del benzene producano molteplici effetti genotossici a livello delle cellule staminali pluripotenti, determinando modificazioni cromosomiali nell'uomo coerenti con quelle osservate nel cancro ematopoietico.³⁷

L'UE, il DHHS e la IARC classificano il benzene come *cancerogeno riconosciuto* per l'uomo.^{13,16,37} La IARC individua un'associazione causale tra esposizione a benzene e leucemia acuta mieloide/leucemia acuta non linfocitica.

■ **Etilbenzene.** È un composto organico volatile (COV).

L'esposizione a etilbenzene è sia ambientale sia professionale e la popolazione generale è esposta principalmente per inalazione di aria ambiente. È ben assorbito dalla pelle, dai polmoni e dal tratto gastrointestinale e metabolizzato per idrossilazione dei due atomi di carbonio della catena laterale ed eliminato principalmente nelle urine. Nell'uomo, l'esposizione prolungata a vapori di etilbenzene può determinare leucopenia e linfocitosi, disturbi neurofunzionali ed epatite. Studi sperimentali individuano come organo bersaglio l'apparato uditivo (sostanza ototossica).^{38,39}

La IARC ha classificato l'etilbenzene come *possibile cancerogeno* per l'uomo (Gruppo 2B) sulla base di evidenza di cancerogenicità *inadeguata* nell'uomo e *sufficiente* negli animali da laboratorio.³⁹

L'UE classifica l'etilbenzene come «sostanza che può provocare danno uditivo in caso di esposizione prolungata o ripetuta» (tossico specifico per organi bersaglio - esposizione ripetuta di categoria 2 - H373 può provocare danni uditivi).¹⁶

■ **Stirene.** È un composto organico volatile (COV). Nell'uomo, la principale via di esposizione a stirene è quella inalatoria. Nella popolazione generale, l'esposizione a basse concentrazioni è molto diffusa principalmente a causa della sua presenza nel fumo di tabacco, mentre altre fonti includono inquinamento dell'aria esterna e in ambienti confinati e migrazione da imballaggi alimentari a base di stirene.

Viene assorbito dopo inalazione (via prevalente), contatto cutaneo o ingestione e, successivamente, è rapidamente assorbito nel circolo ematico; si distribuisce largamente nel tessuto adiposo ed è ampiamente metabolizzato. Circa il 60% dei prodotti di escrezione a seguito di stirene inalato provengono dal suo metabolismo a stirene-7,8-ossido, metabolita elettrofilo che reagisce direttamente con il DNA, la cui presenza è stata determinata nel sangue sia di lavoratori esposti sia nella popolazione generale. Esiste, inoltre, forte evidenza che sia lo stirene sia lo stirene-7,8-ossido siano genotossici e che questo meccanismo possa funzionare anche negli esseri umani.⁴⁰

Gli effetti acuti e cronici riguardano principalmente il sistema nervoso centrale; viene segnalata anche una compromissione della visione dei colori e, in misura minore, del nervo uditivo.⁴¹

La IARC ha classificato lo stirene come *probabile cancerogeno* per l'uomo (Gruppo 2A) e gli studi epidemiologici forniscono evidenza attendibili che l'esposizione alla sostanza causi tumori del **sistema linfematopoietico** anche se non possono essere esclusi fattori di confondimento e bias.⁴⁰

Il DHHS considera lo stirene e lo stirene-7,8-ossido *probabili cancerogeni per l'uomo*.¹³ L'UE lo classifica come

sostanza «sospetta di nuocere al feto» (tossico per la riproduzione di categoria 2 - H361d) e come «sostanza che provoca danno uditivo in caso di esposizione prolungata o ripetuta» (tossico specifico per organi bersaglio - esposizione ripetuta di categoria 1 - H372 provoca danni uditivi).¹⁶

■ **Tetracloroetilene (percloroetilene).** Il tetracloroetilene è rapidamente assorbito per tutte le vie di esposizione (inalatoria, dermica e orale) e si distribuisce in modo sistemico in tutti i tessuti.⁴²

Nell'uomo, l'esposizione prolungata (oltre 10 anni) e ripetuta a basse concentrazioni è stata associata a epatotossicità e danno epatico.^{43,44}

La sostanza è stata, inoltre, associata a effetti avversi a carico dei reni e osservazioni multiple (sia nell'uomo sia negli animali) forniscono chiara evidenza che il sistema nervoso centrale è un tessuto bersaglio per la tossicità indotta da tetracloroetilene.⁴²

Studi epidemiologici hanno documentato che la sostanza è neurotossica anche per lo sviluppo.⁴⁵

La IARC ha classificato il tetracloroetilene come *probabile cancerogeno* per l'uomo (Gruppo 2A) e ha individuato la **vescica** come sede tumorale per la quale l'evidenza di cancerogenicità è *limitata*.⁴² Anche l'US EPA lo considera un *probabile cancerogeno* per l'uomo e l'UE lo classifica come *sospetto cancerogeno* per l'uomo (categoria 2 - H351).¹⁶

■ **Toluene.** È un composto organico volatile (COV). L'esposizione a toluene è sia ambientale sia professionale e l'inalazione è la principale via di esposizione. È ben assorbito dai polmoni e dal tratto gastrointestinale. Come per altri alchilbenzeni, in seguito a esposizione per brevi o lunghi periodi a basse concentrazioni ambientali, il sistema nervoso centrale risulta il principale organo bersaglio. L'esposizione cronica inalatoria a basse concentrazioni di toluene può determinare anche alterazioni dell'udito.⁴⁶

L'UE classifica il toluene come sostanza «sospetta di nuocere al feto» (tossico per la riproduzione di categoria 2 - H361d) e come «sostanza che può provocare danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta» (tossico specifico per organi bersaglio - esposizione ripetuta di categoria 2 - H373).¹⁶

La IARC considera il toluene come «non classificabile in relazione alla sua cancerogenicità per l'uomo» (Gruppo 3).³⁹

■ **Tricloroetilene.** È un composto organico volatile (COV). Il tricloroetilene (TCE) è cancerogeno per l'uomo per tutte le vie di esposizione. Il pericolo potenziale per la salute umana per la tossicità non cancerogena è a carico di sistema nervoso centrale, reni, fegato, sistema immunitario, sistema riproduttivo maschile e sviluppo fetale.^{47,48} EPA e IARC classificano il tricloroetilene come cance-

rogeno per l'uomo e individuano il **rene** come sede tumorale per la quale l'evidenza di cancerogenicità è *sufficiente* e **fegato e dotti biliari** come sedi tumorali per le quali l'evidenza è *limitata*. Anche per **linfomi non Hodgkin** l'evidenza è *limitata*.^{42,48}

IL DHHS lo considera un *cancerogeno riconosciuto* per l'uomo e l'UE lo classifica come sostanza che può provocare il cancro (categoria 1B - H350).^{13,16}

■ **Xileni (o, m, p).** È un composto organico volatile (COV). L'esposizione agli xileni è sia ambientale sia professionale. Sono rapidamente assorbiti da polmoni, tratto gastrointestinale e cute e sono in grado di attraversare la placenta. Esplicano la loro azione, sia a breve sia a lungo termine, a livello del sistema nervoso centrale.⁴⁹

LA IARC considera gli xileni come «non classificabili in relazione alla loro cancerogenicità per l'uomo» (Gruppo 3).⁵⁰

■ **Diossine e PCB diossina-simili.** Il termine «diossine» indica un gruppo di 75 congeneri di policlorodibenzo-para-diossine (PCDD) e 135 congeneri di policlorodibenzofurani (PCDF). Queste due famiglie di composti chimici aromatici hanno proprietà chimico-fisiche simili, quali insolubilità in acqua, alta lipofilità, estrema resistenza alla degradazione chimica e biologica. Di particolare rilievo sotto il profilo tossicologico sono 17 congeneri (7 PCDD e 10 PCDF), identificati in tabella 2, in cui sono presenti atomi di cloro nelle posizioni 2, 3, 7 e 8. Il congenere maggiormente tossico è la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina (2,3,7,8-TCDD).

I policlorobifenili (PCB) costituiscono un gruppo di 209 congeneri, 12 dei quali presentano proprietà tossicologiche analoghe a quelle delle diossine e sono pertanto stati identificati dall'Organizzazione mondiale della salute (OMS) come «PCB diossina-simili».⁵¹ Gli altri PCB non presentano una tossicità affine a quella delle diossine, avendo un profilo tossicologico diverso.⁵²

Generalmente le diossine vengono rilevate nelle diverse matrici non come singoli composti, ma come miscele complesse dei diversi congeneri (PCDD + PCDF + PCB); inoltre, non tutti i congeneri sono tossici o lo sono alla stessa maniera.⁵² Per esprimere la tossicità dei singoli congeneri, è stato introdotto il concetto di **fattore di tossicità equivalente** (*toxicity equivalence factor*, TEF). I TEF si basano sulla considerazione che PCDD e PCDF sono composti strutturalmente simili che presentano il medesimo meccanismo strutturale di azione (attivazione del recettore Ah) e producono effetti tossici simili: proprio il legame tra le diossine e il recettore Ah è il passo chiave per il successivo innessarsi degli effetti tossici. I TEF quantificano la tossicità di ciascun congenere tossico rispetto a quello più tossico, ovvero la 2,3,7,8-TCDD, cui è convenzionalmente attribuita tos-

sicità unitaria.^{51,52} La concentrazione totale di PCDD e PCDF, espressa in termini di tossicità equivalente (TEQ), è data dalla somma dei contributi dei singoli congeneri tossici (le 7 TCDD e i 10 TCDF) presenti nella miscela, moltiplicati per lo specifico fattore TEF associato. Il medesimo criterio della concentrazione tossica equivalente si applica anche ai 12 PCB diossina-simili.⁵¹

Le diossine sono ubiquitarie e rilevate in tutte le matrici ambientali (aria, acqua, suolo e sedimenti). Tendono, nel tempo, a bioaccumulare negli organismi viventi, cioè in tessuti e organi dell'uomo e degli animali. Inoltre, salendo nella catena trofica (alimentare), la concentrazione di tali sostanze può aumentare giungendo a esporre a rischio maggiore il vertice di detta catena.

L'esposizione umana può essere ambientale, occupazionale e accidentale. L'esposizione della popolazione generale a diossine in generale e ai relativi composti diossina-simili è diffusa e avviene principalmente tramite il consumo di alimenti (oltre il 90%) e attraverso l'inalazione di aria contaminata. Infine, anche l'ingestione di suolo contaminato e l'assorbimento dermico possono essere una via di esposizione in casi particolari. In questi ultimi anni, le concentrazioni ambientali sono andate via via scemando grazie a interventi di tipo tecnologico che hanno limitato fortemente l'emissione da parte delle diverse sorgenti, con particolare riferimento a quelle industriali.

L'esposizione a breve termine ad alti livelli di PCDD e PCDF in ambienti lavorativi o in seguito a incidenti industriali può causare lesioni cutanee note, come la cloracne, che è persistente. L'esposizione ambientale a lungo termine causa danni a carico del sistema immunitario, effetti sullo sviluppo neurologico e sul sistema endocrino, disturbi sulla funzionalità riproduttiva oltre alla sospetta azione cancerogena di seguito descritta in maggior dettaglio. Lo stadio di vita più sensibile è considerato il feto e il neonato.

- **Policlorodibenzodiossine (PCDD).** La 2,3,7,8-TCDD è stata classificata dalla IARC nel 1997 come *cancerogeno per l'uomo* (Gruppo 1) sulla base di evidenza di cancerogenicità limitata nell'uomo e sufficiente nei roditori e forte evidenza nell'uomo e negli animali di un meccanismo tramite il legame iniziale al recettore degli idrocarburi arilici (AhR), che porta a cambiamenti nell'espressione genica, nella replicazione cellulare e nell'apoptosi.⁵³ La classificazione come *cancerogeno per l'uomo* è stata confermata dalla IARC nel 2010 sulla base di sufficiente evidenza epidemiologica **per tutti i tumori combinati** piuttosto che per una sede specifica ed evidenza limitata per il **sarcoma dei tessuti molli, i linfomi non Hodgkin e il tumore del polmone**.³⁷ La 2,3,7,8-TCDD è il primo agente la cui classificazione iniziale nel Gruppo 1 sulla base di evidenza suffi-

ciente di cancerogenicità negli animali da esperimento e forti dati sul meccanismo animale, è stata successivamente confermata da un'aumentata incidenza di tumori nell'uomo. Questo sottolinea la capacità delle informazioni meccanicistiche di fornire evidenza robusta di cancerogenicità. Il DHHS lo considera un *cancerogeno riconosciuto per l'uomo*.¹³

Nella valutazione del 2010, la IARC ha concluso che esiste evidenza convincente che il meccanismo d'azione per la cancerogenesi nell'uomo associato alla 2,3,7,8-TCDD opera come meccanismo d'azione per la cancerogenesi nell'uomo anche per le altre sei PCDD (identificate nella tabella 2). Queste sei PCDD si legano tutte all'AhR nelle cellule umane e mostrano cambiamenti nell'espressione genica coerenti con quelli osservati per la 2,3,7,8-TCDD, il 2,3,4,7,8-PeCDF e il PCB 126. Tuttavia, i dati disponibili per queste sei PCDD supportano solo alcuni aspetti dei meccanismi delineati per la 2,3,7,8-TCDD,³⁷ pertanto continuano a essere considerate dalla IARC non classificabili come cancerogene per l'uomo (Gruppo 3).⁵³

- **Policlorodibenzofurani (PCDF).** Il 2,3,4,7,8-pentaclorodibenzofurano (2,3,4,7,8-PeCDF) negli animali da esperimento è un cancerogeno certo ed esiste forte evidenza che esso operi nell'uomo come la 2,3,7,8-TCDD attraverso lo stesso meccanismo mediato dal recettore Ah; pertanto, la IARC classifica il 2,3,4,7,8-PeCDF *cancerogeno per l'uomo* (Gruppo 1).³⁷

La IARC, nella valutazione del 2010, sottolinea che esiste evidenza convincente che anche per gli altri nove PCDF (identificati nella tabella 2) opera come meccanismo d'azione per la carcinogenesi nell'uomo lo stesso meccanismo associato alla 2,3,7,8-TCDD. I nove PCDF si legano tutti all'AhR nelle cellule umane e mostrano cambiamenti nell'espressione genica coerenti con quelli osservati per la 2,3,7,8-TCDD e il 2,3,4,7,8-PeCDF. Tuttavia, i dati disponibili supportano solo alcuni aspetti dei meccanismi delineati per la 2,3,7,8-TCDD;³⁷ pertanto, i nove PCDF continuano a essere considerati dalla IARC non classificabili come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 3).⁵³

- **Policlorobifenili e PCB diossina-simili.** I policlorobifenili (PCB) hanno proprietà tossicologiche simili alle diossine e l'esposizione della popolazione generale è soprattutto attraverso il consumo di alimenti. I PCB sono rapidamente assorbiti e tendono a distribuirsi nell'organismo, accumulandosi in particolare nel tessuto adiposo. I 12 PCB congeneri, identificati in tabella 2, che hanno una forte affinità per il recettore AhR sono indicati come "PCB diossina-simili".

L'esposizione ambientale a lungo termine ai PCB causa effetti sul sistema immunitario a carico dello sviluppo, neurocomportamentali, su tiroide e ormone steroideo e sulla funzione riproduttiva. Gli stadi di vita più sensi-

bili sono quello fetale e neonatale. Il bersaglio dei PCB è il sistema endocrino.^{54,55}

La IARC, nella sua ultima valutazione, ha concluso che non solo i PCB diossina-simili, ma tutti i PCB, possono indurre: formazione di composti reattivi dell'ossigeno, effetti genotossici, immunosoppressione, una risposta infiammatoria ed effetti endocrini a vari livelli e tramite vie metaboliche differenti. La IARC ha classificato i PCB come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 1), con un'evidenza di cancerogenicità *sufficiente* per il **melanoma cutaneo**, e *limitata* per il **linfoma non Hodgkin e il tumore della mammella**.⁵⁶ In aggiunta, i PCB diossina-simili sono classificati come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 1) anche sulla base della forte evidenza di un meccanismo di cancerogenicità identico a quello della 2,3,7,8-TCDD ed evidenza di cancerogenicità *sufficiente* negli animali da esperimento. In ogni caso, la cancerogenicità dei PCB non può essere attribuita esclusivamente alla cancerogenicità dei PCB diossina-simili.⁵⁶ Il DHHS classifica i PCB come *probabili cancerogeni per l'uomo*.¹³

L'UE classifica i PCB come «sostanze che possono provocare danno in caso di esposizione prolungata o ripetuta» (tossico specifico per organi bersaglio – esposizione ripetuta di categoria 2 – H373).¹⁶

• **Idrocarburi policiclici aromatici.** Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono un ampio gruppo di composti organici che contengono carbonio e idrogeno e sono costituiti da due o più anelli aromatici fusi. Gli IPA sono ubiquitari nell'ambiente e la popolazione generale è esposta a livelli di fondo misurabili. Sono presenti nell'ambiente sottoforma di miscele complesse. In passato, il benzo(a)pirene (da qui in poi, B(a)P) veniva utilizzato come *marker* per misurare l'esposizione agli IPA, mentre allo stato sono misurati individualmente numerosi IPA. Molti IPA sono dotati di attività cancerogena e mutagena. In generale, vengono caratterizzati i quindici IPA identificati nella tabella 3.

Nella sua ultima valutazione, la IARC ha confermato che nell'uomo l'esposizione a IPA provoca **tumori della pelle** e del **polmone**. Sebbene non sia disponibile alcuno studio epidemiologico sull'esposizione singola a B(a)P, la sostanza è cancerogena in molte specie animali (studi hanno dimostrato effetti cancerogeni sia locali sia sistemici). Esiste evidenza meccanicistica che indica che il B(a)P è convertito a metaboliti altamente reattivi (ossidi e diidrodiooli) in grado di formare addotti covalenti al DNA. Esposizioni a B(a)P e a miscele complesse che contengono B(a)P inducono anche alterazioni citogenetiche, rottura del DNA, lesioni ossidative del DNA e mutazioni specifiche negli oncogeni e nei geni oncosoppressori: tutto ciò può contribuire agli effetti cancerogeni negli esseri umani esposti del B(a)P e delle mi-

scele complesse che lo contengono. Questa evidenza meccanicistica consistente e coerente proveniente da numerosi studi sperimentali e studi sull'uomo forniscono la plausibilità biologica per sostenere la classificazione del B(a)P come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1).³⁷ La IARC classifica inoltre dibenzo(a,h)antracene e dibenzo(a,l)pirene come *probabili cancerogeni* per l'uomo (Gruppo 2A); benz(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, crisene (CRI), dibenzo(a,h)pirene, dibenzo(a,i)pirene e indeno(1,2,3-cd)pirene come *possibili cancerogeni* per l'uomo (Gruppo 2B) mentre dibenzo(a,e)pirene e pirene non sono classificabile come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 3).⁵⁷ Anche il naftalene è classificato come *possibile cancerogeno* per l'uomo (Gruppo 2B).⁵⁸

Il DHHS considera *cancerogeni riconosciuti* per l'uomo 15 IPA individuali.¹³

L'UE classifica come sostanze che *possono provocare il cancro* (categoria 1B – H350) B(a)P, B(e)P, B(a)A, B(b)F, B(j)F, B(k)F, crisene (CRI), DB(a,h)A e il naftalene come *sospetto cancerogeno* per l'uomo (categoria 2 – H351).¹⁶

Trieste

Il sito, di pertinenza regionale, è stato ripermetrato con decreto del 02.02.2018 (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/02/19/18A01084/sg>) e, in ultimo, con decreto del Ministro della transizione ecologica n. 95 del 16.03.2021 (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/03/30/21A01805/sg>). È stato scelto, poiché include al suo interno l'impianto siderurgico Ferriere di Servola. L'estensione del sito è di circa 500 ettari. All'interno del perimetro sono presenti altri impianti, quali un inceneritore, depositi di combustibili, un cementificio, una cartiera e una rilevante e trafficata area portuale.

Gli inquinanti di interesse sono riportati in tabella 1.

■ **Mortalità.** In questo sito (tabella 5) si rilevano eccessi nei maschi per il mieloma multiplo e per il diabete mellito, nelle femmine per il tumore polmonare, in entrambi i generi per il complesso delle malattie urinarie, in particolare per l'insufficienza renale cronica.

Con stime incerte, si mettono in evidenza un eccesso nelle femmine per tutti i tumori maligni, nei maschi per il tumore polmonare, in entrambi i generi per il melanoma cutaneo e dei linfomi non Hodgkin.

Va sottolineato che in questo sito la qualità della certificazione di morte è risultata bassa, come riportato nella sezione Risultati del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴ Pertanto, i dati vanno considerati con una certa cautela.

■ **Ospedalizzazione.** I ricoveri (tabella 6) mostrano eccessi per tutti i tumori maligni in entrambi i generi, per il tumore della mammella maschile, per i tumori polmonare e vescicale nelle femmine, in entrambi i

generi per le leucemie linfoidi e mieloidi, sebbene con stime incerte nelle femmine. Malattie dell'apparato urinario e insufficienza renale cronica sono in eccesso in entrambi i generi.

Eccessi con stime incerte sono, inoltre, presenti per i tumori maligni del connettivo nelle femmine, il mieloma multiplo e il diabete mellito nei maschi, per i linfomi non Hodgkin nelle femmine.

■ **Commenti.** Gli eccessi osservati sia per la mortalità sia per i ricoveri supportano l'ipotesi di un contributo dell'esposizione agli inquinanti ambientali. In alcuni casi, più inquinanti sono associabili a una patologia. In particolare, diossine, PCB, metalli pesanti e benzene sono i contaminanti rilevanti per il sito in termini di effetti sulla salute. Per una trattazione più ampia del profilo di salute dei residenti in questo sito, si rimanda ai «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴

Piombino

Il sito di interesse nazionale di Piombino è stato ripreparato con D.M. Ambiente del 07.04.2006 (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2006/06/27/06A05925/sg>) e include al suo interno l'impianto siderurgico della Lucchini, le centrali termoelettriche (CTE) alimentate a gas di altoforno, gas di cokeria, metano e in parte a olio combustibile (Ise, Elettra).

L'area industriale si estende per un totale di circa 931 ettari e include anche un'area marina antistante il sito che si spinge al largo per circa 3 km.

La CTE a olio combustibile di Enel-Torre del Sale è stata dismessa nel 2015. L'attività siderurgica integrale è stata dismessa nell'aprile 2014, mentre restano ancora in produzione gli impianti di laminazione.

Gli inquinanti di interesse sono riportati in tabella 1.

■ **Mortalità.** In questo sito (tabella 7) si rilevano eccessi nei maschi per il tumore polmonare e nelle femmine per la vescica.

Stime incerte mostrano in entrambi i generi un eccesso per tutti i tumori maligni e per il tumore epatico, le malattie dell'apparato urinario e le insufficienze renali.

Nei maschi, sono in eccesso il melanoma cutaneo e il tumore della vescica. Nelle femmine, è presente un eccesso per il tumore del rene e sono in eccesso le leucemie linfoidi e mieloidi.

Va sottolineato che, in questo sito, la qualità della certificazione di morte è risultata bassa, come riportato nella sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴ Pertanto, i dati vanno considerati con una certa cautela.

■ **Ospedalizzazione.** I ricoveri (tabella 8) mostrano eccessi in entrambi i generi per tutti i tumori maligni e per il tumore della vescica. Il tumore epatico è in eccesso nelle femmine. Le leucemie mieloidi sono in eccesso nella popolazione femminile.

Stime incerte mostrano un eccesso maschile per il tumore dello stomaco e del fegato; nelle femmine, sono presenti eccessi per il tumore polmonare e i tumori maligni del connettivo. Il melanoma della cute è in eccesso in entrambi i generi, così come i linfomi non Hodgkin e le leucemie linfoidi.

■ **Commenti.** Gli eccessi osservati sia per la mortalità sia per i ricoveri supportano l'ipotesi di un contributo dell'esposizione agli inquinanti ambientali. In alcuni casi, più inquinanti sono associabili a una patologia. In particolare, diossine, metalli pesanti e, in aggiunta per i ricoveri, benzene e PCB sono i contaminanti rilevanti per il sito in termini di effetti sulla salute. Per una trattazione più ampia del profilo di salute dei residenti in questo sito, si rimanda ai «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴

Livorno

Con D.M. n. 147 del 22.05.2013 (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/16/14A05477/sg>), il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare ha ripreparato, riducendolo in ampiezza, il sito di Livorno, che comprende la Raffineria ENI e aree correlate sempre di competenza ENI, la CTE Enel di "Marzocco" dismessa nel 2015, i Depositi costieri e attività artigianali-industriali e le aree di competenza dell'Autorità portuale.

Gli inquinanti di interesse sono riportati in tabella 1.

■ **Mortalità.** In questo sito (tabella 9) si rilevano eccessi in entrambi i generi per tutti i tumori maligni e per il tumore epatico. Nei maschi, sono presenti eccessi per il tumore polmonare, della vescica e per l'insufficienza renale cronica. Nella sola popolazione femminile, sono in eccesso il tumore della mammella, il mieloma multiplo e il diabete mellito.

Basati su stime incerte, si osservano in entrambi i generi un eccesso per le leucemie mieloidi, nei maschi per il melanoma cutaneo, dei linfomi non Hodgkin e del diabete mellito; nelle femmine, dell'insufficienza renale cronica.

Va sottolineato che in questo sito la qualità della certificazione di morte è risultata bassa, come riportato nella sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴ Pertanto, i dati vanno considerati con una certa cautela.

■ **Ospedalizzazione.** I ricoveri (tabella 10) mostrano eccessi in entrambi i generi per il melanoma cutaneo e per i linfomi non Hodgkin. Nella popolazione maschile, è in eccesso la leucemia linfoide.

Stime incerte mostrano, in entrambi i generi, un eccesso per il tumore epatico; nei maschi, per tutti i tumori maligni, per il tumore polmonare, vescicale e le leucemie mieloidi. Nella popolazione femminile, stime incerte rilevano eccessi per il tumore della mammella, del

rene, per il mieloma multiplo, la leucemia linfoide.

■ **Commenti.** Gli eccessi osservati sia per la mortalità sia per i ricoveri supportano l'ipotesi di un contributo dell'esposizione agli inquinanti ambientali. In alcuni casi, più inquinanti sono associabili a una patologia. In particolare, diossine, metalli pesanti e benzene, a cui si aggiungono i PCB per i ricoveri, sono i contaminanti rilevanti per il sito in termini di effetti sulla salute. Per una trattazione più ampia del profilo di salute dei residenti in questo sito, si rimanda ai «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴

Falconara

Il sito è stato perimetrato con un Decreto del 26.02.2003 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2003/05/27/03G06104/sg>). È costituito da un'area marino-costiera di circa 1.200 ettari e un territorio di circa 108 ettari. Il sito include i seguenti impianti: Api Raffineria di Ancona S.p.A.; stabilimento ex Montedison; aree interne Aerdorica S.p.A.; ex Liquigas – località Castellaraccia; ex industria chimica-bitumi; area di via Monti e Tognetti; area RFI antistante Sito ex Montedison campo sportivo parrocchia di S. Maria della Neve e S. Rocco; ex officina meccanica Gattini; ex Vibrocementi; ex discarica R.S.U.

Gli inquinanti di interesse sono riportati in tabella 1.

■ **Mortalità.** In questo sito (tabella 11), si rileva un eccesso nella popolazione femminile per tutti i tumori maligni. Stime incerte mostrano un eccesso in entrambi i generi per il tumore polmonare; nella popolazione maschile, per il melanoma cutaneo, i linfomi non Hodgkin e l'ipertensione arteriosa; in quella femminile, per il tumore della mammella, del rene e per il mieloma multiplo.

■ **Ospedalizzazione.** In entrambi i generi (tabella 12), si osserva un eccesso per tutti i tumori maligni. Nella popolazione maschile, sono presenti eccessi per i tumori prostatico e vescicale, per il diabete, per le malattie dell'apparato urinario e l'insufficienza renale cronica.

Sono in eccesso, nelle femmine, i tumori del tessuto connettivo e della mammella.

Stime incerte rilevano eccessi in entrambi i generi per il tumore polmonare e il melanoma cutaneo; nella popolazione maschile, per tumori del tessuto connettivo, del rene e i linfomi di Hodgkin; nella popolazione femminile, per tumori dello stomaco, leucemie linfoidi e insufficienza renale cronica.

■ **Commenti.** Gli eccessi osservati sia per la mortalità sia per i ricoveri supportano l'ipotesi di un contributo dell'esposizione agli inquinanti ambientali. In alcuni casi, più inquinanti sono associabili a una patologia. In particolare, diossine, IPA, metalli pesanti e, per i ricoveri, benzene e tricloroetilene sono i contaminanti rilevanti per il

sito in termini di effetti sulla salute. Per una trattazione più ampia del profilo di salute dei residenti in questo sito, si rimanda ai «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴

Area industriale di Milazzo

Il sito è stato perimetrato con un Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio dell'11.08.2006 (<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2006/11/03/06A09741/sg>). Il sito ha un'estensione pari a 550 ettari di aree a terra, mentre l'area a mare copre una superficie di circa 1000 ettari. Al suo interno, trovano collocazione la raffinazione di petrolio (Raffineria di Milazzo S.C.p.A.); produzione di elettricità (Centrale elettrica Edipower ex Enel, Centrale elettrica Termica Milazzo ex Sondel); siderurgia (Dufenco Travi e Profilati S.p.A.); produzione di apparecchiature elettriche (ETS); stoccaggio di elettrodomestici (stabilimento Messinambiente S.p.A.), lavorazione di amianto, completamente dismessa (ex Sacelit ora Punto Industria), oltre a diversi depositi di prodotti petroliferi e discariche di rifiuti industriali e al consorzio piccole e medie imprese ceramica, mobili, agroalimentare; cantieristica navale; impianto per il recupero del piombo da batterie esauste.

Gli inquinanti di interesse sono riportati in tabella 1.

■ **Mortalità.** Si segnala un eccesso del tumore della vescica nella popolazione maschile (tabella 13).

La medesima tabella riporta altri eccessi, tutti basati su stime incerte. In entrambi i generi, sono in eccesso le leucemie mieloidi; nella popolazione maschile, si osservano per il tumore prostatico, per i linfomi non Hodgkin e le malattie dell'apparato urinario; nelle femmine, per il tumore della vescica.

■ **Ospedalizzazione.** La tabella 14 mostra, nella popolazione maschile, eccessi per il tumore della prostata, per le malattie dell'apparato urinario e per l'insufficienza renale cronica.

Si osservano altri eccessi, basati su stime incerte: in entrambi i generi, per i tumori maligni del tessuto connettivo; nella popolazione maschile, per il melanoma della cute, i linfomi non Hodgkin e le leucemie linfoidi; nella popolazione femminile, per il tumore della mammella, della vescica, per il mieloma multiplo e le insufficienze renali croniche.

■ **Commenti.** Gli eccessi osservati sia per la mortalità sia per i ricoveri supportano l'ipotesi di un contributo dell'esposizione agli inquinanti ambientali. In alcuni casi, più inquinanti sono associabili a una patologia. In particolare, metalli pesanti, benzene e tricloroetilene, a cui si aggiungono i PCB per i ricoveri, sono i contaminanti rilevanti per il sito in termini di effetti sulla salute. Per una trattazione più ampia del profilo di salute dei residenti in questo sito, si rimanda ai «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴

Trieste

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SMR (IC90%)	OSS	SMR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	1.924	97 (94-101)	1.847	103 (99-107)
As, Ni, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	434	102 (94-110)	290	125 (113-138)
Diossine	Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	14	143 (92-221)	9	96 (56-165)
Policlorobifenili	Melanoma cutaneo	35	119 (91-158)	28	112 (82-153)
As, tricloroetilene	Tumore maligno della vescica	67	99 (81-121)	31	106 (79-142)
Benzene, Diossine, Policlorobifenili	Linfomi non Hodgkin	57	105 (85-131)	52	114 (91-144)
Benzene	Mieloma multiplo e tumori immunoproliferativi	49	136 (107-171)	37	80 (61-105)
As	Diabete mellito	183	123 (109-138)	178	107 (95-121)
Pb	Malattia ipertensiva	247	106 (95-117)	503	108 (100-116)
Pb	Malattie dell'apparato urinario	94	120 (102-143)	119	119 (102-138)
Pb	Insufficienza renale cronica	45	197 (154-251)	39	131 (101-170)

Tabella 5. Trieste. Mortalità (2013-2017): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di mortalità (SMR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 5. Trieste. Mortality (2013-2017): number of observed cases (OSS), standardized mortality ratio (SMR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SHR (IC90%)	OSS	SHR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	4.731	106 (104-109)	4.790	107 (105-110)
As, Ni, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	481	99 (92-107)	318	128 (117-140)
Diossine	Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	35	95 (72-125)	33	119 (90-158)
Policlorobifenili	Tumore maligno della mammella	19	182 (125-264)	1.351	97 (93-102)
As, tricloroetilene	Tumore maligno della vescica	599	94 (88-101)	206	116 (104-131)
Benzene, diossine; policlorobifenili	Linfomi non Hodgkin	156	97 (85-111)	156	108 (94-123)
Benzene	Mieloma multiplo	68	119 (97-145)	58	97 (78-120)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	50	137 (108-172)	35	132 (100-175)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	73	149 (123-180)	47	111 (87-141)
As	Diabete mellito	349	107 (98-117)	237	90 (80-100)
Pb	Malattie dell'apparato urinario	2.617	122 (118-126)	1.895	119 (114-123)
Pb	Insufficienza renale cronica	424	178 (165-193)	216	141 (126-158)

Tabella 6. Trieste. Ospedalizzazione (2014-2018): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 6. Trieste. Hospitalization (2014-2018): number of observed cases (OSS), standardized hospitalization ratio (SHR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Piombino

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SMR (IC90%)	OSS	SMR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	350	103 (94-112)	290	109 (99-120)
As	Tumore maligno primitivo del fegato e dei dotti biliari intraepatici	21	115 (81-164)	15	146 (96-223)
As, Cd, Cr^{VI}, Ni, IPA, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	104	120 (102-141)	35	97 (73-128)
Policlorobifenili	Melanoma cutaneo	7	144 (78-266)	<3	
As,	Tumore maligno della vescica	25	138 (99-191)	14	280 (181-433)
As, Cd	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	7	72 (39-133)	8	150 (85-266)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	3	75 (30-188)	4	120 (54-267)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	3	49 (20-123)	5	104 (51-213)
Cd, Hg, Pb	Malattie dell'apparato urinario	21	104 (72-148)	27	122 (89-167)
Cd, Hg, Pb	Insufficienza renale cronica	8	104 (59-185)	8	117 (66-208)

Tabella 7. Piombino. Mortalità (2013-2017): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di mortalità (SMR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 7. Piombino. Mortality (2013-2017): number of observed cases (OSS), standardized mortality ratio (SMR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SHR (IC90%)	OSS	SHR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	773	111 (104-117)	697	107 (101-114)
Pb	Tumore maligno dello stomaco	34	114 (86-152)	15	79 (52-121)
As	Tumore maligno primitivo del fegato e dei dotti biliari intraepatici	32	119 (89-159)	26	200 (145-276)
As, Cd, Cr^{VI}, Ni, IPA, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	101	118 (100-139)	48	113 (89-143)
Diossine	Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	5	83 (40-171)	7	146 (79-269)
Policlorobifenili	Melanoma maligno della cute	12	112 (70-179)	10	114 (68-190)
As,	Tumore maligno della vescica	144	117 (102-134)	45	141 (110-180)
As, Cd	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	36	106 (81-140)	20	108 (75-155)
Benzene, diossine, policlorobifenili	Linfomi non Hodgkin	26	119 (86-164)	21	121 (84-172)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	8	145 (82-258)	6	138 (71-267)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	10	106 (63-177)	13	166 (105-260)
Pb	Insufficienza renale cronica	424	178 (165-193)	216	141 (126-158)

Tabella 8. Piombino. Ospedalizzazione (2014-2018): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 8. Piombino. Hospitalization (2014-2018): number of observed cases (OSS), standardized hospitalization ratio (SHR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Livorno

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SMR (IC90%)	OSS	SMR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	1630	108 (104-113)	1295	106 (101-111)
As	Tumore maligno primitivo del fegato e dei dotti biliari intraepatici	102	125 (106-147)	61	132 (107-163)
As, Cd, Ni, IPA, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	424	110 (102-120)	174	105 (92-119)
Policlorobifenili	Melanoma cutaneo	28	128 (94-174)	11	75 (46-123)
Policlorobifenili	Tumore maligno della mammella	<3		220	123 (110-138)
As, Cd	Tumore maligno della prostata	125	106 (91-123)		
As,	Tumore maligno della vescica	100	127 (108-150)	22	97 (69-138)
As, Cd	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	38	88 (68-115)	25	103 (74-143)
Benzene, diossine, policlorobifenili	Linfomi non Hodgkin	46	113 (88-143)	34	90 (68-120)
Benzene	Mieloma multiplo e tumori immunoproliferativi	24	78 (56-109)	43	150 (117-192)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	31	115 (86-154)	26	118 (86-163)
As	Diabete mellito	149	111 (97-127)	201	117 (104-131)
Cd, Hg, Pb	Malattie dell'apparato urinario	93	107 (90-127)	103	102 (87-120)
Cd, Hg, Pb	Insufficienza renale cronica	43	131 (102-168)	34	110 (83-145)

Tabella 9. Livorno. Mortalità (2013-2017): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di mortalità (SMR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 9. Livorno. Mortality (2013-2017): number of observed cases (OSS), standardized mortality ratio (SMR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SHR (IC90%)	OSS	SHR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	3257	102 (99-105)	3065	99 (96-102)
As	Tumore maligno primitivo del fegato e dei dotti biliari intraepatici	135	109 (94-125)	61	103 (83-127)
As, Cd, Ni, IPA, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	407	105 (97-114)	200	100 (89-113)
Policlorobifenili	Melanoma maligno della cute	102	201 (171-237)	92	213 (180-253)
Policlorobifenili	Tumore maligno della mammella	7	74 (40-136)	958	103 (98-109)
As,	Tumore maligno della vescica	593	107 (100-114)	136	92 (80-106)
As, Cd	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	154	97 (85-111)	92	105 (89-125)
Benzene, diossine, policlorobifenili	Linfomi non Hodgkin	142	137 (120-158)	116	140 (120-163)
Benzene	Mieloma multiplo	35	87 (66-115)	35	106 (80-140)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	42	162 (126-209)	24	116 (83-163)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	53	122 (97-152)	36	98 (74-128)

Tabella 10. Livorno. Ospedalizzazione (2014-2018): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 10. Livorno. Hospitalization (2014-2018): number of observed cases (OSS), standardized hospitalization ratio (SHR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Falconara

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SMR (IC90%)	OSS	SMR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	226	96 (86-107)	210	117 (104-131)
As, Cd, IPA, diossine	Tumore maligno della trachea, dei bronchi e del polmone	60	112 (90-138)	23	110 (78-155)
Policlorobifenili	Melanoma cutaneo	4	131 (59-291)	<3	
Policlorobifenili	Tumore maligno della mammella	<3		29	106 (78-144)
As, Cd, tetracloroetilene	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	5	75 (36-154)	5	154 (75-317)
Benzene, policlorobifenili, diossine, tetracloroetilene	Linfomi non Hodgkin	9	129 (75-222)	4	70 (32-156)
Benzene	Mieloma multiplo	3	66 (26-165)	5	104 (51-214)
Pb	Malattia ipertensiva	25	107 (77-148)	37	83 (64-109)

Tabella 11. Falconara. Mortalità (2013-2017): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di mortalità (SMR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 11. Falconara. Mortality (2013-2017): number of observed cases (OSS), standardized mortality ratio (SMR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SHR (IC90%)	OSS	SHR (IC90%)
Diossine	Tutti i tumori maligni	656	115 (108-123)	594	116 (109-125)
Pb, tetracloroetilene	Tumori maligni dello stomaco	21	80 (56-115)	24	134 (96-187)
As, tricloroetilene	Tumori maligni del fegato e dei dotti biliari intraepatici	12	87 (54-139)	6	103 (53-199)
As, Cd, diossine, IPA	Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni	64	106 (87-131)	35	128 (97-169)
Diossine	Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	11	140 (86-229)	12	213 (133-341)
Policlorobifenili	Melanoma maligno della cute	15	122 (80-186)	14	142 (92-219)
Policlorobifenili	Tumori maligni della mammella	<3		183	125 (111-142)
As, Cd	Tumori maligni della prostata	97	131 (111-154)		
As	Tumori maligni della vescica	99	119 (101-141)	19	95 (65-138)
As, Cd, tricloroetilene	Tumori maligni del rene, eccetto la pelvi	31	133 (99-179)	8	66 (37-117)
Benzene, diossine, policlorobifenili, tricloroetilene	Linfomi non Hodgkin	26	104 (75-143)	20	102 (71-147)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	6	98 (51-190)	5	117 (57-241)
As	Diabete	59	129 (104-159)	37	102 (78-133)
Cd, Pb, tricloroetilene	Malattie dell'apparato urinario	294	111 (101-122)	168	92 (81-105)
Cd, Pb	Insufficienza renale cronica	84	167 (139-200)	35	116 (88-153)

Tabella 12. Falconara. Ospedalizzazione (2014-2018): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 12. Falconara. Hospitalization (2014-2018): number of observed cases (OSS), standardized hospitalization ratio (SHR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Area industriale di Milazzo

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SMR (IC90%)	OSS	SMR (IC90%)
As	Tumore maligno della prostata	40	123 (95-160)		
As, tetracloroetilene	Tumore maligno della vescica	27	139 (101-190)	5	118 (57-242)
Benzene, diossine, policlorobifenili, tetracloroetilene	Linfomi non Hodgkin	10	118 (71-198)	5	87 (43-179)
Benzene	Leucemia mieloide (acuta e cronica)	9	161 (94-276)	6	135 (70-262)
Hg, Pb, tricloroetilene	Malattie dell'apparato urinario	30	124 (92-167)	28	102 (75-140)

Tabella 13. Area industriale di Milazzo. Mortalità (2013-2017): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di mortalità (SMR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 13. Area industriale di Milazzo. Mortality (2013-2017): number of observed cases (OSS), standardized mortality ratio (SMR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Inquinante	Causa	Maschi		Femmine	
		OSS	SHR (IC90%)	OSS	SHR (IC90%)
Diossine	Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	7	105 (57-194)	5	108 (53-223)
Policlorobifenili	Melanoma maligno della cute	11	135 (82-220)	6	86 (45-167)
Policlorobifenili	Tumore maligno della mammella	<3		184	103 (91-116)
As	Tumore maligno della prostata	102	127 (108-149)		
As, tetracloroetilene	Tumore maligno della vescica	106	86 (73-101)	27	112 (81-153)
As, tetracloroetilene	Tumore maligno del rene, eccetto le pelvi	21	102 (71-145)	5	49 (24-101)
Benzene, diossine, policlorobifenili, tetracloroetilene	Linfomi non Hodgkin	37	119 (91-156)	20	90 (62-130)
Benzene	Mieloma multiplo	12	95 (59-152)	11	112 (69-183)
Benzene	Leucemia linfoide (acuta e cronica)	10	113 (68-190)	<3	
Hg, Pb, tricloroetilene	Malattie dell'apparato urinario	486	109 (101-117)	277	97 (88-107)
Hg, Pb, tricloroetilene	Insufficienza renale cronica	150	149 (130-170)	81	103 (86-124)

Tabella 14. Area industriale di Milazzo. Ospedalizzazione (2014-2018): numero di casi osservati (OSS), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), intervalli di confidenza al 90% (IC90%), per genere. Riferimento regionale.

Table 14. Area industriale di Milazzo. Hospitalization (2014-2018): number of observed cases (OSS), standardized hospitalization ratio (SHR), 90% confidence intervals, by gender. Regional reference.

Discussione

Il Progetto SENTIERI è uno studio ecologico che ha come oggetto lo studio di popolazioni, non di individui, e basa la sua metodologia sull'utilizzo delle evidenze scientifiche del nesso tra esposizioni ambientali derivanti dalla residenza nei pressi degli impianti produttivi presenti e le patologie di interesse, registrate nei flussi amministrativi correnti.

L'assenza di informazioni su esposizioni a inquinanti specifici la cui presenza è rilevata dalla caratterizzazione ambientale ha indotto il gruppo di lavoro SENTIERI a sviluppare un approccio integrativo sugli effetti degli inquinanti selezionati, secondo i criteri sopra descritti, sulla salute dei residenti nei siti, ampliando le patologie di interesse specifiche per ogni sito, sulla base dell'evidenza scientifica disponibile.

L'utilizzo delle evidenze scientifiche più aggiornate non deve, però, far dimenticare che nell'interpretazione dei risultati si deve tener conto di alcuni importanti aspetti, per esempio, l'eziologia multifattoriale delle patologie studiate,⁵⁹ che non consente, ove si osservino eccessi, di affermare la loro totale attribuzione a una o più esposizioni ambientali né di quantificarne una parziale attribuzione. L'esposizione ambientale presenta un'ampia variabilità, dovuta alla distribuzione dei residenti nel territorio, quindi alla sua localizzazione rispetto alle fonti di esposizione ambientale. Nel caso degli inquinanti emessi in aria, entrano in gioco specifiche condizioni meteorologiche e orografiche del sito, che rendono peculiari le caratteristiche di ogni contesto territoriale.

La molteplicità delle sostanze presenti nei siti contaminati introduce il tema complesso dell'esposizione multipla, con effetti sanitari ancora non completamente noti. A questo tema, molti studiosi stanno tentando di dare una risposta adottando modelli di studio multidisciplinari.⁶⁰

In alcuni casi, esistono fattori di rischio individuali che SENTIERI non può identificare, quali la familiarità, l'abitudine al fumo, il consumo di alcolici, la dieta, l'obesità, oltre alla concomitante presenza di una o più patologie considerate fattori di rischio per la patologia in esame (per esempio, diabete e ipertensione sono tra i principali fattori di rischio per l'insufficienza renale cronica).⁵⁹

Con questa consapevolezza, è di interesse osservare

anche la coerenza tra eccessi documentati e presenza di determinati inquinanti relativamente a ciascun sito. Nei siti studiati in questo lavoro, se si prendono in esame mortalità e ricoveri, gli eccessi più ricorrenti si osservano per tutti i tumori maligni, per l'insufficienza renale cronica, per i linfomi non Hodgkin, per il melanoma cutaneo, per i tumori del polmone e della vescica, per le leucemie e le malattie dell'apparato urinario. Le esposizioni ad arsenico, benzene, cadmio, cromo^{VI}, PCDD/F, IPA, nichel, PCB, piombo, tetracloroetilene e tricloroetilene sono potenzialmente associabile a queste patologie (tabella 4).

Gli eccessi presenti in entrambi i generi sono indizio di possibile esposizione ambientale.

Non si osservano *pattern* comuni tra gli eccessi nei siti di Trieste e Piombino (impianti siderurgici) né tra Livorno, Falconara e Area industriale di Milazzo (petrolchimici e/o raffinerie), sito, quest'ultimo, che presenta il minor numero di eccessi.

I siti hanno caratteristiche diverse tra loro (per esempio, numerosità dei residenti pari a 214.547 a Trieste, 25.780 a Falconara), gli impianti hanno storie di attività non sovrapponibili. La finestra temporale presa in esame è di soli cinque anni. In alcuni casi (Trieste, Piombino e Livorno), la qualità della certificazione della mortalità è risultata bassa, come indicato nelle rispettive schede nella sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.⁴ Questi fattori possono aver influito sulla numerosità dei casi osservati, almeno per le patologie a minor incidenza, nei siti meno popolati.

In diversi casi non si osservano eccessi in entrambi i generi per una medesima causa di malattia o di morte: si possono ipotizzare stili di vita diversi (per esempio, abitudine al fumo e tumore polmonare), esposizioni occupazionali prevalentemente maschili, una suscettibilità di genere a una specifica patologia.⁵⁹

Gli Autori ritengono che i risultati ottenuti siano di interesse, confortino la bontà dell'approccio utilizzato, che, oltre a integrare quanto già osservato nel profilo di salute dei residenti nei siti contaminati, può essere da stimolo per studi epidemiologici per saggiare ipotesi eziologiche di interesse, com'è nella natura degli studi ecologici.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

- Zona A, Pasetto R, Fazzo L et al (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento. Quinto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl.1:180-88.
- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:1-286.
- Zona A, Marcello I, Carere M et al. Inquinanti indice e organi bersaglio in Pira-stu R, Comba P, Conti S et al (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento. Mortalità, incidenza oncologica e ricoveri ospedalieri. *Epidemiol Prev* 2014;38(2) Suppl. 1:144-52.
- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. Risultati. In: Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI – Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento: Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:41-286.
- U.S. EPA. IRIS Toxicological Review of Inorganic Arsenic (Cancer) (External Review Draft, 2010). EPA/635/R-10/001. Washington (DC), U.S. Environmental Protection Agency, 2010.
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 100C. A Review of Human Carcinogens: Arsenic, Metals Fibers and Dusts. Lyon, IARC, 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/index.php>
- Otles S, Çağindi O. Health importance of arsenic in drinking water and food. *Environ Geochem Health* 2010;32(4):367-71.
- Scientific Committee on Health and Environmental Risks. Scientific opinion on request for derogations on the Drinking Water Directive (Directive 98/83/EC). SCHER, Bruxelles, 2010. Disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_120.pdf
- Heck JE, Andrew AS, Onega T et al. Lung Cancer in a U.S. Population with Low to Moderate Arsenic Exposure. *Environ Health Perspect* 2009;117(11):1718-23.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Arsenic (Update). Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2007. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal* 2009;7(10):1351. Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>
- World Health Organization. Exposure to arsenic: A major public health concern. Geneva, WHO, 2019. Disponibile all'indirizzo: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.1>
- National Toxicology Program. Report on Carcinogens, Fifteenth Edition. Research Triangle Park (NC), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2021. Disponibile all'indirizzo: <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc15>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2012. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>
- European Food Safety Authority. Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012;10(1):2551. Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>
- Parlamento Europeo e Consiglio. Regolamento CE 1272/2008 del 16.12.2008, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imbballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea* L 353, 31.12.2008 e s.m.i.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Chromium. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf>
- Beaumont JJ, Sedman RM, Reynolds SD et al. Cancer mortality in a Chinese population exposed to hexavalent chromium in drinking water. *Epidemiology* 2008;19(1):12-23.
- United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) on Chromium (VI) (CASR N 18540-29-9). Cincinnati (OH), US EPA, 1998. Disponibile all'indirizzo: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicallanding.cfm?substance_nmbr=144
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Mercury. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 2012. Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>
- World Health Organization. Exposure to mercury: A major public health concern. Geneva, WHO, 2007. Disponibile all'indirizzo: https://www.who.int/docs/default-source/chemical-safety/mercury/mercury-2007.pdf?sfvrsn=39552921_2
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 58. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. Lyon, IARC, 1993. Disponibile all'indirizzo: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499756/pdf/Bookshelf_NBK499756.pdf
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Nickel. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2005. Disponibile all'indirizzo: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp15.pdf>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal* 2010;8(4):1570. Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Lead. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2020. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
- World Health Organization. Exposure to lead: A major public health concern. Geneva, WHO, 2019.
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 77. Inorganic and organic lead compounds. Lyon, IARC, 2006. Disponibile all'indirizzo: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono87.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Copper. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2004. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf>
- EFSA (European Food Safety Authority), Arena M, Auteri D et al. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance copper compounds copper(I), copper(II) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper(I) oxide, Bordeaux mixture. *EFSA Journal* 2018;16(1):e05152. Disponibile all'indirizzo: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/efsa.2018.16.1>
- Commissione Europea. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Copper and its inorganic compounds. SCOEEL/SUM/171, Marzo 2014.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Vanadium. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. IRIS Toxicological Review of Vanadium Pentoxide (External Review Draft, 2012). EPA/635/R-11/004A. Washington (DC), U.S. EPA, 2011.
- World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. 2nd edition. European Series, No. 93. Copenhagen, WHO Regional Publications, 2000. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0016/123082/AQG2ndEd_6_12vanadium.PDF
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Vol. 86. Cobalt in hard metals and cobalt sulfate gallium arsenide, indium phosphide and vanadium pentoxide. Lyon, IARC, 2006.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Zinc. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2005. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.pdf>
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 100F. A Review of Human Carcinogens: Chemical Agents and Related Occupations. Lyon, IARC, 2012. Disponibile all'indirizzo: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304416/>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Addendum for Polychlorinated Biphenyls. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2011. Disponibile all'indirizzo: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/pCBS_addendum.pdf

39. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 77. Some industrial chemicals. Lyon, IARC, 2000. Disponibile all'indirizzo: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono77.pdf>
40. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Vol. 121. Styrene, Styrene-7,8-oxide, and Quinoline. Lyon, IARC, 2019.
41. Institut National de Recherche et Sécurité. Fiche Toxicologique. FT 2. Styrène. Paris, INRS, 2019. Disponibile all'indirizzo: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_2
42. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 106. Trichloroethylene, Tetrachloroethylene and Some Other Chlorinated Agents. Lyon, IARC, 2019. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp18.pdf>
43. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Tetrachloroethylene (PCE). Case studies in environmental medicine. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2008. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/pce/docs/pce.pdf>
44. Institut National de Recherche et Sécurité. Fiche Toxicologique. FT 29. Tétrachloroéthylène. Paris, INRS, 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2029>
45. Grandjean P, Landrigan PJ. Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *Lancet Neurol* 2014;13(3):330-38.
46. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Toluene. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2017. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp56.pdf>
47. United States Environmental Protection Agency. Toxicological Review of Trichloroethylene. EPA/635/R-09/01 1F. Washington (DC), U.S. EPA, 2011.
48. Chiu WA, Jinot J, Scott CS et al. Human Health Effects of Trichloroethylene: Key Findings and Scientific Issues. *Environ Health Perspect* 2013;121(3):303-11.
49. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Xylene. Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2009. Disponibile all'indirizzo: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp71.pdf>
50. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 71. Re-Evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine and Hydrogen Peroxide. Lyon, IARC, 1999. Disponibile all'indirizzo: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK498701/>
51. Van den Berg M, Birnbaum LS, Denison M et al. The 2005 World Health Organization reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. *Toxicol Sci* 2006;93(2):223-41.
52. Commissione europea. Regolamento (CE) n. 1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminanti nei prodotti alimentari. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* n. L 364/5 del 20.12.2006
53. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Vol. 69. Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and polychlorinated dibenzofurans. Lyon, IARC, 1997. Disponibile all'indirizzo: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono69.pdf>
54. United States Environmental Protection Agency. Learn about Polychlorinated Biphenyls (PCBs). U.S. EPA. Disponibile all'indirizzo: <https://www.epa.gov/pcbs/learn-about-polychlorinated-biphenyls-pcbs>
55. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Atlanta (GA), US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR, 2000. Disponibile all'indirizzo: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp17.pdf>
56. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 107. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. Lyon, IARC, 2016. Disponibile all'indirizzo: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol107/index.php>
57. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 92. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. Lyon, IARC, 2010. Disponibile all'indirizzo: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/index.php>
58. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 82. Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene. Lyon, IARC, 2002. Disponibile all'indirizzo: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Traditional-Herbal-Medicines-Some-Mycotoxins-Naphthalene-And-Styrene-2002>
59. Loscalzo J, Jameson JL, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Longo D (eds). *Harrison's principles of internal medicine* (vol. 1-2). 21th edition. New York, McGraw-Hill Education, 2022.
60. European Food Safety Authority. Chemical mixtures. Disponibile all'indirizzo: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/chemical-mixtures>

Valutazione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute della popolazione residente nelle aree industriali italiane incluse nel Progetto SENTIERI

SENTIERI Project: air pollution and health impact of population living in industrial areas in Italy

Lisa Bauleo,¹ Alessandra Fabri,^{2,3} Marco De Santis,^{2,3} Maria Eleonora Soggiu,² Carla Ancona¹

¹ Dipartimento di epidemiologia del Servizio sanitario regionale, Regione Lazio, ASL Roma 1, Roma

² Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

³ WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

Corrispondenza: Lisa Bauleo; l.bauleo@deplazio.it

Riassunto

Obiettivi: valutare l'impatto sulla salute derivante dall'esposizione a PM_{2,5} e PM₁₀ nelle aree industriali italiane incluse nel progetto SENTIERI caratterizzate da impianti industriali con processi di combustione rilevanti con emissioni puntuali.

Disegno: attraverso l'utilizzo dei dati satellitari, è stata stimata l'esposizione media pesata per la popolazione (PWE) a PM_{2,5} e PM₁₀ della popolazione residente nelle aree prese in esame per il 2011 e il 2015. Le funzioni concentrazione-risposta disponibili in letteratura sono state utilizzate per stimare il numero di decessi prematuri attribuibili all'esposizione alle emissioni industriali. Sono stati utilizzati i livelli controfattuali raccomandati dalle nuove linee guida sulla qualità dell'aria (AQGL) dell'Organizzazione mondiale della sanità.

Setting e partecipanti: per la selezione degli impianti, è stata utilizzata la banca dati europea sulle emissioni dello *European Pollutant Release and Transfer Register*. Sono stati considerati i residenti in aree di 1 km x 1 km e di 4 km x 4 km attorno agli impianti industriali in studio al 2011 e al 2015.

Principali misure di outcome: è stato stimato il numero di decessi prematuri per cause non accidentali, per malattie cardiovascolari e respiratorie e per tumore del polmone.

Risultati: il valore della PWE per entrambi gli inquinanti, ovvero 17,3 µg/m³ (Nord: 23,3) per PM_{2,5} e 24,3 µg/m³ (Nord: 30,3) per PM₁₀, tende ad aumentare a mano a mano che si riducono le dimensioni dell'area in studio ed è in generale ovunque più alta nel 2011 rispetto al 2015, con valori sempre maggiori della media (overall) al Nord. A causa dell'esposizione a PM_{2,5}, sono stati stimati 1.709 decessi (IC95% 1.309-1.903) nel 2011 e 1.215 decessi (IC95% 929-1.354) nel 2015, mentre sono attribuibili all'esposizione a PM₁₀ 1.611 decessi (IC95% 1.225-2.353) nel 2011 e 1.383 decessi (IC95% 1.050-2.025) nel 2015. I decessi attribuibili all'esposizione a PM_{2,5} e a PM₁₀ tendono a seguire un gradiente Nord-Centro-Sud e Isole per tutte le cause osservate e per entrambi gli anni di analisi.

Conclusioni: sebbene lo strumento utilizzato per valutare l'esposizione della popolazione (modello *random-forest*) difficilmente permette di cogliere il differenziale quantitativo dovuto al contributo specifico della componente industriale, i risultati dello studio sono suggeriti

Cosa si sapeva già

- L'inquinamento atmosferico rappresenta il principale fattore di rischio ambientale per la salute umana e causa nel mondo circa 5 milioni di decessi all'anno.
- Il particolato atmosferico (PM) è costituito da una miscela di sostanze organiche e inorganiche che ne rendono la composizione chimica variabile a seconda della tipologia delle sorgenti di emissione, naturali e/o antropiche, che lo hanno generato.
- Il progetto SENTIERI contempla la sorveglianza epidemiologica periodica delle popolazioni residenti nei comuni che ricadono nei siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN).

Cosa si aggiunge di nuovo

- La *Population Weighted Exposure* (PWE) a PM_{2,5} e a PM₁₀ aumenta al diminuire della distanza dal SIN.
- La PWE risulta in generale ovunque più alta nel 2011 rispetto al 2015, con valori sempre maggiori della media al Nord Italia.
- I tassi di mortalità specifici per causa attribuibili all'esposizione a PM_{2,5} e a PM₁₀ mostrano, nel periodo in studio, un gradiente decrescente Nord-Centro-Sud e Isole.

stivi di un impatto sulla salute per esposizione a PM nelle aree industriali considerate, con impatto maggiore in prossimità degli impianti. È necessario, dunque, mettere in campo azioni urgenti di riduzione dell'impatto in un'ottica di tutela della salute pubblica.

Parole chiave: inquinamento atmosferico, particolato atmosferico, siti industriali contaminati, VIAS

Abstract

Objectives: to estimate the impact of PM_{2,5} and PM₁₀ in the Italian industrial areas included in the SENTIERI project characterized by industrial plants with combustion processes deriving from point emissions.

Design: using satellite data, the Population Weighted Exposure (PWE) to PM_{2,5} and PM₁₀ for 2011 and 2015 was estimated. The concentration-response functions available were used to estimate the number of premature deaths attributable to exposure to industrial emissions. The counterfactual levels recommended by the new WHO Air Quality Guidelines were used.

Setting and participants: for the selection of industrial plants, the European database on emissions of the European Pollutant Release and Transfer Register was used. Residents in areas of 1 km x 1 km and 4 km x 4 km around the selected industrial plants were considered.

Main outcome measures: the number of premature deaths from non-accidental causes, cardiovascular and respiratory diseases, and lung cancer was estimated.

Results: residents were exposed to PM_{2.5} values of 17.3 µg/m³ (Northern Italy: 23.3) and to 24.3 µg/m³ (Northern Italy: 30.3) of PM₁₀. PWE for both pollutants tends to increase as the size of the area under study is reduced and it is generally higher everywhere in 2011 than in 2015, with values that are always higher than the average (overall) in the Northern Italy. In 2011, 1,709

(IC95% 1,309-1,903) and 1,611 (IC95% 1,225-2,353) non accidental premature deaths were estimated attributable to PM_{2.5} and PM₁₀, respectively, in residents close to the industrial plants (1 km x 1 km). Deaths attributable to exposure to PM_{2.5} and PM₁₀ tend to follow a North-Central-South&Islands gradient for all observed causes and for both years of analysis.

Conclusions: although exposure assessment of the population by using random-forest model does not allow to disentangle the contribution of the industrial component, the results of the study are suggestive of an impact on health from PM exposure in the industrial areas considered, with a greater impact in the vicinity of the plants, recommending the implementation of urgent impact reduction actions.

Keywords: air pollution, particulate matter, contaminated sites, HIA

Introduzione

L'inquinamento atmosferico rappresenta il principale fattore di rischio ambientale per la salute umana. L'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) stima, infatti, che l'inquinamento dell'aria *outdoor* causa nel mondo circa 3,7 milioni di decessi all'anno, di cui 800.000 solo in Europa; esso è responsabile di 6,3 milioni di anni di vita persi e del 3% della mortalità cardio-respiratoria. Con inquinamento atmosferico si intende ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica dovuta alla presenza nella stessa di uno o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria e costituire pericolo per la salute dell'uomo (DPR n. 203 del 24.05.1988). I valori di riferimento della qualità dell'aria sono normati dal D.lgs. 155/2010, che recepisce la Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

Il termine "inquinamento atmosferico" è usato per indicare la presenza nell'aria di un insieme di inquinanti quali il particolato atmosferico (*particulate matter*, PM), gli inquinanti gassosi come l'ozono, il biossido di azoto (NO₂), i composti organici volatili, il monossido di carbonio (CO) e l'anidride solforosa (SO₂). Il particolato atmosferico è una miscela di particelle solide che contengono materiale carbonaceo, residuo delle combustioni, altre sostanze organiche (come gli idrocarburi policiclici aromatici), metalli e ioni inorganici e sostanze gassose intrappolate nelle particelle come NO₂, SO₂ e CO. La composizione chimica del PM varia, dunque, a seconda della tipologia delle sorgenti di emissione, naturali e/o antropiche, che lo hanno generato. La variazione dei livelli giornalieri di massa totale del PM è fortemente legata a parametri mete-

orologici, come direzione e velocità del vento, temperatura, pressione atmosferica, umidità, precipitazioni; questi parametri influiscono sul trasporto e la diluizione del particolato stesso nell'atmosfera.^{1,2} L'analisi delle condizioni meteorologiche sul lungo periodo consente, dunque, di effettuare una descrizione più accurata delle relazioni tra inquinamento ed esposizione, oltre a supportare le interpretazioni delle sue variazioni nel tempo.

Molti studi hanno messo in evidenza una diretta associazione tra l'esposizione a particolato atmosferico (PM_{2.5} e PM₁₀) e un aumento della mortalità o morbilità sia nel breve sia nel lungo periodo³ e, nel 2013, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) ha stabilito che esistono prove sufficienti della cancerogenicità del particolato per il cancro del polmone.⁴ Sia PM_{2.5} sia PM₁₀ sono in grado di penetrare in profondità nei polmoni; nello specifico, il PM₁₀, costituito da materiale particellare inalabile, penetra nell'albero respiratorio, sebbene non riesca a raggiungere i bronchioli. Il PM_{2.5} è, invece, quella frazione di polvere respirabile che può penetrare in profondità nei polmoni entrando anche nel flusso sanguigno, provocando effetti sanitari gravi a carico principalmente dei sistemi cardiovascolare e respiratorio.⁵ In riferimento al solo PM_{2.5} e ai livelli di concentrazione misurate nel 2019 in aria ambiente nei 27 Paesi EU, l'Agenzia ambientale europea stima un impatto in Europa di 307.000 morti premature.⁶

L'OMS ha pubblicato numerosi documenti per descrivere gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico e periodicamente, sulla base delle conoscenze scientifiche più aggiornate, pubblica le *Air Quality Guidelines* (AQG) utili per informare amministratori e cittadini sui rischi associati per la salute. Nell'ultima revisione delle AQG, del settembre 2021, i valo-

ri di concentrazione raccomandati per gli inquinanti (PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , O_3 , SO_2) sono stati ridotti in misura considerevole rispetto ai precedenti del 2005 e viene fortemente suggerito a livello mondiale di introdurre politiche atte a ridurre l'inquinamento atmosferico in modo più incisivo, salvando così milioni di vite umane. L'AQG per il $PM_{2,5}$, rispetto al valore del 2005, è stato dimezzato da $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale, mentre il limite raccomandato per PM_{10} , sempre come media annuale, è passato da $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.⁷ Considerato che, a livello globale, questi obiettivi sono di difficile traguardo nel breve periodo, l'OMS raccomanda di mettere in atto un percorso di continua riduzione delle concentrazioni ambientali e suggerisce a tal fine dei valori *interim* da adottare in tempi ragionevolmente brevi per arrivare infine a raggiungere i livelli raccomandati.

La valutazione integrata di impatto ambiente e salute (VIAS) rappresenta uno strumento per valutare i problemi relativi alla salute derivanti dagli impatti sull'ambiente, nonché per quantificare gli impatti sulla salute determinati dalle politiche e da altri interventi che incidono sull'ambiente, in modo da tenere conto delle complessità, delle interdipendenze e delle incertezze del mondo reale. Si tratta di un metodo comparativo, che prevede la valutazione e il confronto di diversi scenari, ed è un approccio che permette di valutare quanto si può guadagnare in termini di risparmio di malattie e morti premature se si individuano scenari finalizzati alla riduzione delle emissioni o di prevenzione primaria. Negli anni recenti, in Italia sono state condotte diverse esperienze e definiti documenti di indirizzo per la valutazione di impatto ambientale e sanitario nelle procedure di autorizzazione ambientale. In Italia, infatti, il recepimento della Direttiva europea (2014/52/CE) sulla valutazione di impatto ambientale (VIA), avendo messo maggior enfasi sulla valutazione degli impatti sulla salute delle popolazioni, ha inserito la VIS all'interno della procedura autorizzativa di VIA per i grandi impianti di combustione, che viene condotta sulla base delle linee guida prodotte dall'Istituto superiore di sanità (ISS).⁸

Inoltre, alcuni progetti, quali il CCM "Tools for HIA (t4HIA)" e "Metodi per la valutazione integrata dell'impatto ambientale e sanitario dell'inquinamento atmosferico - Progetto VIAS", le linee guida AssoARPA per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA, AIA), il documento sui casi studio dei progetti EpiAmbNet e RIAS, rappresentano esempi di applicazione in diverse situazioni caratterizzate da differenti contesti e fattori di rischio ambientali realizzati in varie regioni.⁹⁻¹⁴

In preparazione dei lavori della COP26, è stata recentemente prodotta una stima aggiornata dell'impatto dell'inquinamento atmosferico in Italia.¹⁵ I risultati del rapporto mostrano che in Italia la concentrazione media di $PM_{2,5}$ è oggi di $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tre volte il valore raccomandato dall'OMS), ma nelle città della Pianura padana la media sale anche sopra a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con picchi fino a $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, perché quest'area, oltre ad accogliere la gran parte della popolazione urbana e numerosi complessi industriali, presenta condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli, che portano all'accumulo degli inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera. Le stime della VIAS indicano che, se nelle nostre città fosse rispettata per il $PM_{2,5}$ la soglia di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in Italia avremmo ogni anno 51.000 morti in meno e una diminuzione del 8% sul totale dei decessi.

In Italia, il progetto SENTIERI (Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento)¹⁶ sottopone a sorveglianza epidemiologica periodica le popolazioni residenti nei comuni che ricadono nei siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN), descrivendone i profili di salute in relazione alle fonti di esposizione ambientale e alle contaminazioni che caratterizzano queste aree. Attualmente i siti considerati sono 46 e includono 316 comuni, per una popolazione totale che rappresenta circa un decimo di quella nazionale. L'impatto sulla salute viene valutato per le popolazioni residenti all'interno o in prossimità di alcuni importanti siti contaminati, ovvero delle aree geografiche dove sono/erano presenti attività produttive in cui è stata accertata un'alterazione delle caratteristiche qualitative delle matrici ambientali (suolo, sottosuolo e acque sotterranee), tale da rappresentare un rischio per l'ambiente e la salute umana. Molti di questi siti ospitano o hanno ospitato in passato: impianti chimici, petrolchimici, siderurgici, manifatturieri, minerari, cave di amianto, siti portuali, cementifici, impianti per smaltimento e/o trattamento di rifiuti e per la produzione di energia elettrica. La presenza di queste aree in prossimità di centri urbani mette in luce la complessità di effettuare accurate stime dell'impatto sulla salute, in relazione alla complessa interazione delle esposizioni ambientali con molti altri determinanti di salute.

Il tema dei siti contaminati costituisce, insieme a quello dei rifiuti, una delle sette priorità identificate nella dichiarazione finale della Sesta conferenza ministeriale su ambiente e salute dei 53 Paesi della Regione europea dell'OMS tenutasi a Ostrava (Repubblica Ceca) il 13-15 giugno 2017. L'importante messaggio pervenuto dalla Conferenza è stato che equità, inclusione sociale e uguaglianza di genere vanno protetti insieme all'ambiente e la salute e, per perseguire questi obietti-

vi, bisogna intensificare gli sforzi per affrontare i principali determinanti ambientali e sanitari, come l'inquinamento atmosferico, i servizi idrici e igienici inadeguati, i prodotti chimici pericolosi, i rifiuti, i siti contaminati e i cambiamenti climatici.¹⁷ Si ritiene, dunque, importante quantificare l'impatto sulla salute derivante dall'esposizione a particolato dei residenti nelle aree incluse nel progetto SENTIERI. Pur nella consapevolezza che lo strumento utilizzato (VIAS) non consente di cogliere lo specifico differenziale quantitativo dovuto alla presenza dell'impianto, l'obiettivo di questo lavoro è di stimare i casi attribuibili all'esposizione a PM_{2,5} e PM₁₀ della popolazione residente negli anni 2011 e 2015 nei SIN inclusi in SENTIERI, caratterizzati da impianti con processi di combustione rilevanti con emissioni puntuali, come centrali termoelettriche (CTE), acciaierie, petrolchimici, eccetera.

Materiali e metodi

Selezione dei siti oggetto di studio

Lo studio è condotto nei SIN inclusi in SENTIERI. Gli impianti industriali considerati possono essere interni o esterni ai perimetri del SIN, ma comunque all'interno di uno dei comuni appartenenti ai siti. Si ricorda che i siti sono perimetrati mediante decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (ora Ministero della transizione ecologica), d'intesa con le regioni interessate. Per alcuni di essi, la perimetrazione interessa sia aree a terra sia aree marine. Per individuare gli impianti oggetto di analisi, è stata inizialmente utilizzata la banca dati europea sulle emissioni dello *European Pollutant Release and Transfer Register* (E-PRTR), che fornisce dati sulle emissioni di più di 30.000 impianti industriali nell'Unione europea (EU). Successivamente, sono state selezionate le attività produttive con processi di combustione rilevanti associabili a sorgenti puntuali di emissione (ciminiera). Da questi, sono stati selezionati i grandi impianti, quali CTE e acciaierie, localizzati nel territorio di un sito studiato da SENTIERI. I siti considerati in questa analisi, corrispondenti ai suddetti criteri, sono 16 e rappresentano, dunque, un sottoinsieme dell'elenco dei 46 siti sottoposti alla sorveglianza di SENTIERI. La tabella 1 riporta i siti esaminati in questo lavoro, con i relativi processi produttivi associati.

Gli impianti selezionati dalla banca dati europea sono stati rappresentati in un *layer* GIS usando le coordinate fornite dalla stessa banca dati mediante l'utilizzo del software QGIS. In alcuni casi, il punto di geolocalizzazione dell'impianto è stato rivalutato, perché non riportato correttamente come ha rilevato un confronto effettuato utilizzando Google Maps. Gli indirizzi degli impianti selezionati, ma non presenti nella banca dati



Codice	Sito
APT	Aree industriali di Porto Torres
BRI	Brindisi
CDT	Caffaro di Torviscosa
FAL	Falconara
GEL	Gela
LIV	Livorno
LMN	Laghi di Mantova e polo chimico
MIL	Milazzo
PIO	Piombino
PIT	Pitelli
PRI	Priolo
SIG	Sulcis-Iglesiente-Guspinese
TAR	Taranto
TER	Terni-Papigno
TRI	Trieste
VEN	Venezia (Porto Marghera)

Figura 1. Localizzazione geografica degli impianti industriali oggetti della VIAS.

Figure 1. Geographic localization of industrial plants included in the VIAS

europea, sono stati geocodificati e rappresentati in un secondo *layer*. Successivamente, i due *layer* sono stati fusi in un unico *layer* e tutte le coordinate degli impianti sono state sottoposte a una sessione di *editing* manuale, affinché coincidessero con quelle delle ciminiera degli impianti. La figura 1 mostra la localizzazione geografica degli impianti.

Valutazione dell'esposizione

Come tracciante dell'inquinamento, nelle aree industriali selezionate, sono stati considerati sia il PM_{2,5} sia il PM₁₀, per i quali sono disponibili in letteratura le funzioni concentrazione-risposta, considerando come esito la mortalità. Le concentrazioni medie degli inquinanti considerati per gli anni 2011 e il 2015 sono quelle stimate per tutta l'Italia utilizzando un modello di *machine learning*, il *random forest*.¹⁸ Nello specifico, il metodo messo a punto da Stafoggia et al. raccoglie parametri spaziali e spazio-temporali per ogni giorno di ciascun anno e per tutte le 307.635 celle di ampiezza pari a 1 km² che compongono tutto il territorio nazionale. I parametri spaziali includono: aree amministrative, popolazione residente, aree geoclimatiche, variabili di copertura e di uso del territorio, emissioni industriali ed emissioni totali, densità di superfici impervie, altitudine, luminosità notturna, densità stradale, vicinanza ad aeroporti, porti, mare, laghi. Per quanto riguarda i parametri spazio-temporali, invece, sono inclusi: stime modellistiche di PM_{2,5} e PM₁₀ da modelli di dispersione europei messi a disposizione dalla rete Copernicus, spessore ottico dell'aerosol (*Aerosol Optical Depth*, AOD), stime giornaliere di variabili meteorologiche (temperatura dell'aria, *dew-point*, altezza dello strato limite planetario, umidità, pressione barometrica, velocità e direzione del vento, copertura nuvolosa, precipitazioni), indici mensili di vegetazione (*Normalized difference vegetation index*, NDVI, e *Leaf area index*, LAI), giorni di avvezione di eventi sahariani. Usando la serie giornaliera dei livelli di concentrazione di PM_{2,5} e PM₁₀ stimate sulle celle 1 km x 1 km, sono stati calcolati i livelli di esposizione medi annui per il 2011 e 2015 (figura 2) in termini di concentrazione al suolo. I modelli di calibrazione per PM_{2,5} e PM₁₀¹⁸ hanno tutti mostrato in generale buone prestazioni predittive per i due inquinanti tracciati, con R² ~ 0,80 e 0,75, rispettivamente. Inoltre, a partire dalle concentrazioni giornaliere stimate dal modello *random forest*, l'esposizione media annuale di tutta la popolazione italiana è stata calcolata pesando le concentrazioni di PM_{2,5} e PM₁₀ a livello di singola cella per la popolazione residente all'interno della cella stessa (stimata a sua volta assumendo una omogenea distribuzione della popolazione comunale all'interno delle celle), al fine di ottenere una stima della *population-weighted exposure* (PWE).

Popolazione in studio ed esiti sanitari

Sono stati inclusi nello studio i residenti nei comuni dei 16 siti considerati e quelli dei comuni che rientravano in un intorno di 4 km dall'impianto di interesse. Nel complesso, sono stati coinvolti nello studio 76 comuni, di cui 11 posti all'esterno del perimetro indicato dal decreto per il SIN. L'elenco completo dei comuni interessati allo studio è riportato in tabella S1 (vedi materiali supple-

mentari), in cui il codice 4x4 esplicita i comuni che sono all'esterno del perimetro del SIN. Utilizzando la base di dati elaborata dall'Ufficio di statistica dell'ISS, a partire dall'indagine sulle cause di morte e dai dati delle popolazioni comunali fornite dall'Istituto nazionale di statistica (ISTAT), per gli anni 2011 e 2015 sono stati estratti i dati della popolazione totale e dei decessi dei residenti con età maggiore di 30 anni per cause non accidentali, ovvero tutte le cause di morte (con esclusione delle morti violente) per malattie cardiovascolari, respiratorie e per tumore del polmone per le quali esiste sufficiente evidenza di relazione causale con l'inquinamento atmosferico.

Valutazione di impatto

Le funzioni concentrazione-risposta (FCR) recentemente aggiornate nel lavoro di Chen et al. del 2020¹⁹ per entrambi gli inquinanti considerati in questa analisi sono state utilizzate per stimare, per tutti i residenti di 30 anni e più di età, gli effetti sulla salute attribuibili alle esposizioni di lungo termine a PM_{2,5} e PM₁₀ (tabella 2). La FCR, espressa come rischio relativo, correla la risposta, in termini di incremento percentuale di mortalità, alla concentrazione dell'inquinante per incrementi di 10 µg/m³. Le stime sono state realizzate considerando i livelli di concentrazione del PM_{2,5} superiori a 5 µg/m³ e le concentrazioni di PM₁₀ superiori a 15 µg/m³ come raccomandato dall'OMS.

L'impatto del PM_{2,5} e del PM₁₀ sulla salute della popolazione residente è stato valutato in termini di numero di decessi attribuibili all'esposizione (IC95%), applicando la seguente formula:

$$\frac{\left\{ \exp \left[\frac{\ln(RR)}{10} * C \right] - 1 \right\}}{\exp \left[\frac{\ln(RR)}{10} * C \right]} * B_0 * P$$

dove:

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

rappresenta la proporzione di rischio nella popolazione esposta attribuibile all'inquinamento atmosferico corrispondente al livello di concentrazione C, ovvero alla PWE osservata per il PM_{2,5} e PM₁₀, rispettivamente;

■ B₀ è il tasso di mortalità di *background* dell'esito sanitario considerato che è dovuto a una costellazione di fattori di rischio (per esempio, età, predisposizione genetica, abitudini individuali, fattori ambientali) che insistono sulla popolazione in studio;

■ P è la popolazione esposta.

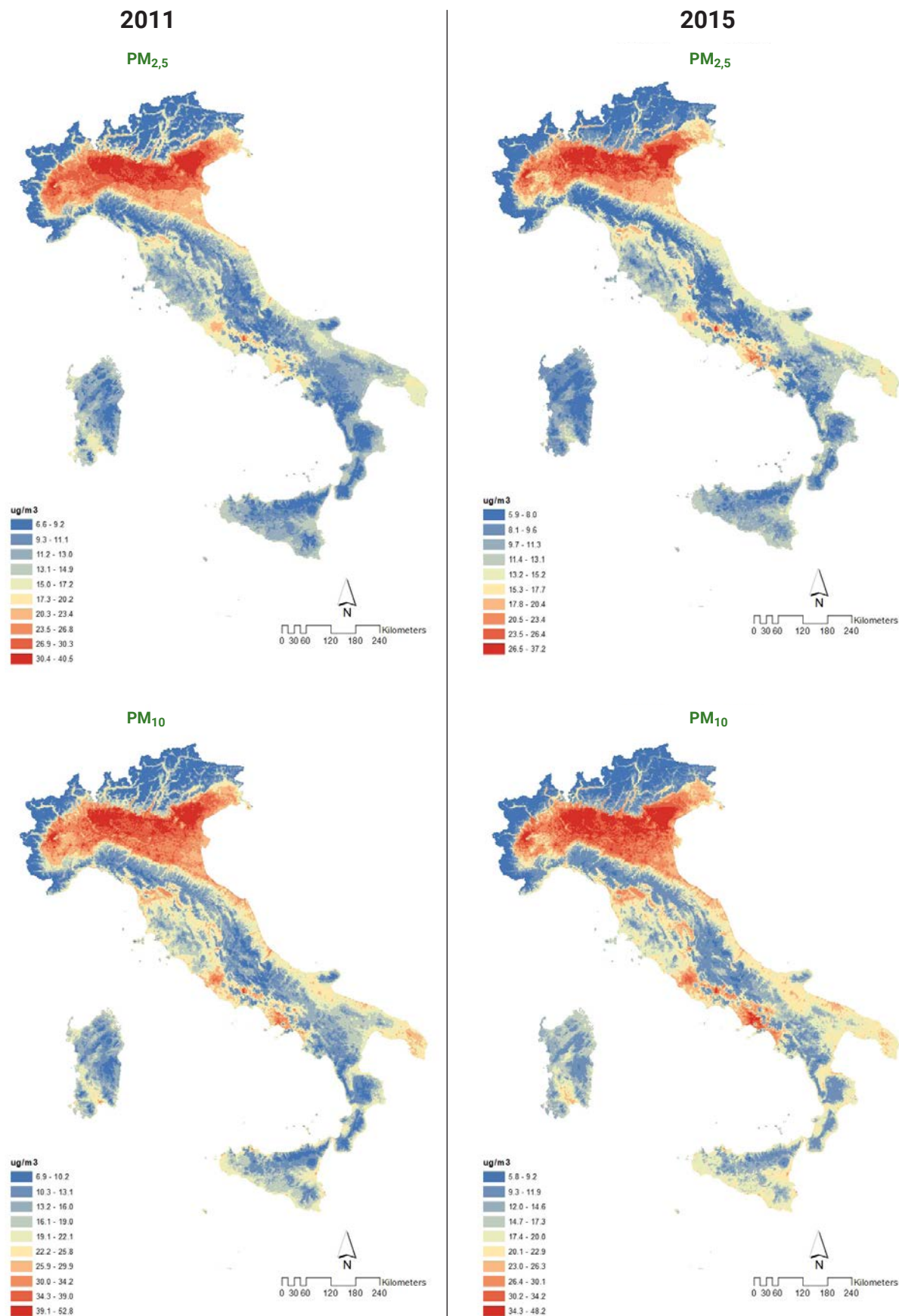


Figura 2. Concentrazioni annue stimate di PM_{2,5} e PM₁₀ al 2011 e al 2015.

Figure 2. Estimated annual concentrations of PM_{2,5} and PM₁₀ in 2011 and 2015.

Per una migliore resa delle immagini, si veda la versione online dell'articolo.

	Regione	Sito	Comune dell'impianto	Tipo di attività industriale	Stato dell'impianto al 2011	Stato dell'impianto al 2015	
Nord	Liguria	Pitelli (La Spezia, Lerici)	La Spezia	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
	Lombardia	Laghi di Mantova e polo chimico (Mantova, Virgilio)	Mantova	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Stoccaggio, distribuzione prodotti petroliferi	Attivo	Attivo	
				Cartiera	Attivo	Attivo	
	Friuli Venezia Giulia	Laguna di Grado e Marano	Torviscosa	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
	Friuli Venezia Giulia	Trieste	Trieste	Acciaieria	Attivo	Attivo	
				Inceneritore	Attivo	Attivo	
	Veneto	Venezia - Porto Marghera	Venezia	Centrale termoelettrica di Fusina	Attivo	Attivo	
				Raffineria	Attivo	Attivo	
				Impianto di chimica organica di P.to Marghera	Attivo	Attivo	
Centrale termoelettrica di Marghera Levante				Attivo	Attivo		
Centro	Toscana	Livorno (Collesalveti, Livorno)	Collesalveti	Raffineria	Attivo	Attivo	
	Toscana	Piombino	Piombino	Centrale termoelettrica	Attivo	2013 fine attività (2015 autorizzazione alla dismissione)	
				Acciaieria	Attivo	Non Attivo	
	Marche	Falconara Marittima	Falconara Marittima	Raffineria e impianto IGCC	Attivo	Attivo	
Umbria	Terni Papigno (Terni)	Terni	Acciaieria	Attivo	Attivo		
Macroarea Sud e Isole	Puglia	Brindisi	Brindisi	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Centrale termoelettrica	Attivo	Non attivo (fermo dal 2012)	
	Puglia	Taranto (Statte, Taranto)	Taranto	Acciaieria	Attivo	Attivo	
				Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Raffineria	Attivo	Attivo	
				Cementificio	Attivo	Attivo	
	Sicilia	Gela	Gela	Raffineria (agosto 2019 avviata la Bioraffineria)	Attivo	Probabilmente ferma per conversione impianti	
	Sicilia	Milazzo (Milazzo, Pace del Mela, San Filippo del Mela)	San Filippo del Mela	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
			Milazzo	Raffineria	Attivo	Attivo	
				Siderurgico	Attivo	Attivo	
	Sicilia	Priolo (Augusta, Melilli, Priolo Gargallo, Siracusa)	Priolo Gargallo	Augusta	Raffineria	Attivo	Attivo
				Raffineria	Attivo	Attivo	
				Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo	
				Impianti chimici	Attivo	Attivo	
	Sardegna	Aree industriali di Porto Torres (Porto Torres, Sassari)	Porto Torres	Industria di Chimica Organica	Nel 2010 fermo di alcuni impianti	Attivo dal 2014 come impianto di chimica verde	
Centrale termoelettrica di Fiume Santo				Attivo	Attivo		
Sardegna	Sulcis-Iglesiente-Guspinese (Arbus, Assemini, Buggerru, Calasetta, Capoterra, Carbonia, Carloforte, Domus De Maria, Domusnovas, Fluminimaggiore, Giba, Gonnese, Gonnosfanadiga, Guspini, Iglesias, Masainas, Musei, Narcao, Nuxis, Pabillonis, Perdaxius, Piscinas, Portoscuso, Pula, San Gavino Monreale, San Giovanni Suergiu, Santadi, Sant'Anna Arresi, Sant'Antioco, Sarroch, Siliqua, Teulada, Tratalias, Uta, Vallerrosa, Villa San Pietro, Villacidro, Villamassargia, Villaperuccio)	Portoscuso	Centrale termoelettrica	Attivo	Attivo		
		Assemini	Raffineria alluminio	Attivo (2012 Fermo dell'impianto)	Non attivo		
			Produzione derivati inorganici del fluoro e acido solforico	Attivo	Attivo		
Sardegna		Sarroch	Raffineria	Attivo	Attivo		

Tabella 1. Caratteristiche degli impianti in studio.
Table 1. Characteristics of the plants under study.

Causa di mortalità	ICD-9	ICD-10	Età (anni)	PM _{2,5}		PM ₁₀	
				RR	IC95%	RR	IC95%
Cause naturali	001-629; 677-799	A00-R99	30+	1,08	(1,06-1,09)	1,04	(1,03-1,06)
Tumore del polmone	162	C33-C34		1,12	(1,07-1,16)	1,08	(1,04-1,13)
Malattie cardiovascolari	390-459	I00-I99		1,11	(1,09-1,14)	1,04	(0,99-1,10)
Malattie respiratorie	460-519	J00-J99		1,10	(1,03-1,18)	1,12	(1,06-1,19)

Tabella 2. Associazione tra esposizione a PM_{2,5} e PM₁₀ e mortalità specifica per causa: rischio relativo (RR) e intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per un incremento di 10 µg/m³ (Chen 2020).

Table 2. Association between exposure to PM_{2,5} and PM₁₀ and cause-specific mortality: relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) for an increase of 10 µg/m³ (Chen 2020).

Applicando tale funzione alle PWE precedentemente stimate, si ottiene il numero di decessi attribuibili a PM_{2,5} e PM₁₀. Dai decessi attribuibili è stato stimato il tasso di mortalità attribuibile (per 100.000) e la frazione attribuibile (%), cioè la proporzione di malattia tra gli esposti, attribuibile all'esposizione.

Le stime di impatto condotte per il 2011 e il 2015 sono state aggregate per macroaree geografiche (Nord, Centro e Sud e Isole) e sono state effettuate considerando l'intera popolazione residente in tutta l'area del sito (tutti i comuni appartenenti al sito) e in aree di 4 km x 4 km e 1 km x 1 km attorno alla sorgente di emissione.

Risultati

La tabella 3 e la tabella 4 riportano i risultati della valutazione di impatto per PM_{2,5} e PM₁₀, rispettivamente, relative agli anni 2011 e 2015. Nello specifico, in ciascuna tabella e per gli anni considerati, sono riportati la PWE (µg/m³), la popolazione con età maggiore di 30 anni e per ciascuna delle cause in studio, oltre al numero di decessi osservati, anche i decessi, il tasso di mortalità e la frazione attribuibile all'esposizione a PM_{2,5} (tabella 3) e PM₁₀ (tabella 4) nelle aree considerate dei siti in studio.

Il valore della PWE per entrambi gli inquinanti tende ad aumentare a mano a mano che si riducono le dimensioni dell'area in studio ed è in generale ovunque più alta nel 2011 rispetto al 2015, con valori sempre maggiori della media (overall) al Nord. Nel 2011, il valore overall nei comuni dei siti per il PM_{2,5} è pari a 17,3 µg/m³ (Nord: 23,2; Centro: 14,2; Sud e Isole: 14,2) e per il PM₁₀ è pari a 24,3 µg/m³ (Nord: 30,2; Centro: 21,8; Sud e Isole: 21,1). Per il 2015, il PM_{2,5} medio overall è pari a 14,9 µg/m³ (Nord: 20,2; Centro: 13,7; Sud e Isole: 11,9), mentre per il PM₁₀ è uguale a 21,9 µg/m³ (Nord: 26,9; Centro: 20,6; Sud e Isole: 19,0). Da rilevare che a, livello di aree 4 km x 4 km e 1 km x 1 km attorno all'impianto, le concentrazioni per ciascuno degli anni considerati sono praticamente uguali.

La popolazione esposta di 30+ anni nel 2015 è pres-

soché invariata rispetto a quella del 2011 ed è pari, rispettivamente, a 1.969.832 residenti e 1.947.566 in tutti i comuni dell'area in cui l'impianto è collocato, 156.025 residenti vs 158.540 nell'area 4 km x 4 km intorno al sito e 14.310 vs 14.512 nell'area 1 km x 1 km intorno al sito.

L'esposizione a PM_{2,5} in queste aree industrialmente contaminate ha prodotto un impatto sulla mortalità non accidentale pari 1.709 decessi (IC95% 1.309-1.903) nel 2011 e a 1.215 decessi (IC95% 929-1.354) nel 2015 (tabella 3). Per quanto riguarda l'esposizione a PM₁₀, sono stati stimati nel 2011 1.611 decessi (IC95% 1.225-2.353) per cause non accidentali e nel 2015 1.383 decessi (IC95% 1.050-2.025) (tabella 4). Questi decessi si sarebbero potuti evitare se le concentrazioni di PM_{2,5} e PM₁₀ fossero sotto la soglia di 5 µg/m³ e 15 µg/m³ come raccomandato dall'OMS.⁶

Il tasso attribuibile al PM_{2,5} (tabella 3) aumenta al ridursi della dimensione dell'area considerata, passando da 87 per 100.000 quando si considerano tutti i comuni del sito a 118 per 100.000 nell'area 4 km x 4 km attorno all'impianto, fino a 126 per 100.000 nell'area 1 km x 1 km attorno all'impianto. La stessa cosa accade per il 2015, dove, però, il valore del tasso attribuibile è sempre più basso di quello osservato nel 2011 (62 per 100.000 in tutti i comuni del sito, 95 per 100.000 nell'area 4 km x 4 km, 99 per 100.000 nell'area 1 km x 1 km).

Anche per il tasso di mortalità per cause non accidentali attribuibile al PM₁₀ (tabella 4) si osserva una riduzione all'aumentare della dimensione dell'area e una riduzione passando dal 2011 al 2015. Nello specifico, per il 2011 il tasso osservato è pari a 82 per 100.000 in tutti i comuni del sito, a 111 per 100.000 nell'area 4 km x 4 km e a 116 per 100.000 nell'area 1 km x 1 km, mentre per il 2015 si passa a un tasso di 71 per 100.000 in tutti i comuni del sito, 99 per 100.000 nell'area 4 km x 4 km, 103 per 100.000 nell'area 1 km x 1 km.

In generale, lo stesso trend nel confronto tra le aree e tra gli anni, per tutti e due gli inquinanti, si osserva anche per i decessi per malattie cardiovascolari, respiratorie e per tumore del polmone.

Area	PWE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Popolazione >30 anni	Cause non accidentali					Malattie cardiovascolari				
			Decessi osservati	Decessi attribuibili		Tasso attribuibile (per 100.000)		Frazione attribuibile (%)	Decessi osservati	Decessi attribuibili		Tasso attribuibile (per 100.000)
			n.	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)	n.	n.	(IC95%)

2011

Comuni dell'area														
OVERALL	17,3	1.969.832	29.103	1.709	(1.309-1.903)	87	(66-97)	6	(4-7)	10.679	855	(714-1.055)	43	(36-54)
NORD	23,2	722.979	12.592	1.175	(903-1.306)	162	(125-181)	9	(7-10)	4.593	593	(497-729)	82	(69-101)
CENTRO	14,2	274.910	4.210	131	(100-146)	48	(36-53)	3	(2-3)	1.715	70	(58-87)	25	(21-32)
SUD e ISOLE	14,2	971.943	12.301	404	(307-451)	42	(32-46)	3	(2-4)	4.371	191	(159-239)	20	(16-25)
Area 4 km x 4 km intorno al sito														
OVERALL	20,2	156.025	2.355	184	(141-205)	118	(90-131)	8	(6-9)	912	96	(80-118)	61	(51-75)
NORD	24,6	80.592	1.360	141	(109-157)	175	(135-195)	10	(8-12)	532	73	(62-90)	91	(76-112)
CENTRO	17,7	23.026	335	18	(14-21)	80	(61-89)	6	(4-6)	133	10	(8-12)	43	(36-53)
SUD e ISOLE	14,9	52.407	659	24	(19-27)	47	(35-52)	4	(3-4)	248	12	(10-15)	23	(19-29)
Area 1 km x 1 km intorno al sito														
OVERALL	20,4	14.310	224	18	(14-20)	126	(97-140)	8	(6-9)	87	9	(8-12)	66	(55-81)
NORD	24,9	7.816	137	14	(11-16)	185	(143-206)	11	(8-12)	54	8	(6-9)	97	(82-120)
CENTRO	17,7	1.185	17	1	(1-1)	80	(61-90)	5	(4-6)	7	1	(0-1)	43	(21-31)
SUD e ISOLE	15,0	5.310	70	3	(2-3)	49	(37-55)	4	(3-4)	27	1	(1-2)	25	(21-31)

2015

Comuni dell'area														
OVERALL	14,9	1.947.566	29.476	1.215	(929-1.354)	62	(48-70)	4	(3-5)	11.003	595	(496-737)	31	(25-38)
NORD	20,2	668.521	11.852	873	(669-971)	131	(100-145)	7	(6-8)	4.779	411	(343-508)	61	(51-76)
CENTRO	13,7	288.474	4.754	121	(92-135)	42	(32-47)	3	(2-3)	1.725	64	(53-80)	22	(19-28)
SUD e ISOLE	11,9	990.571	12.869	222	(169-249)	22	(17-25)	2	(1-2)	4.499	120	(99-150)	12	(10-15)
Area 4 km x 4 km intorno al sito														
OVERALL	17,8	158.540	2.478	151	(115-168)	95	(73-106)	6	(5-7)	955	77	(64-95)	49	(41-60)
NORD	21,2	81.537	1.406	113	(86-125)	138	(106-154)	8	(6-9)	533	57	(48-70)	70	(58-86)
CENTRO	17,3	23.342	379	20	(15-22)	86	(65-96)	5	(4-6)	145	10	(9-13)	45	(37-56)
SUD e ISOLE	13,3	53.662	693	18	(14-20)	33	(25-37)	3	(2-3)	276	10	(8-12)	18	(15-22)
Area 1 km x 1 km intorno al sito														
OVERALL	17,9	14.512	232	14	(11-16)	99	(76-110)	6	(5-7)	92	7	(6-9)	51	(43-64)
NORD	21,3	7.902	141	11	(9-13)	145	(111-161)	8	(6-9)	54	6	(5-7)	74	(62-91)
CENTRO	17,1	1.193	20	1	(1-1)	84	(64-93)	5	(4-6)	7	1	(0-1)	43	(36-54)
SUD e ISOLE	13,6	5.417	72	2	(1-2)	36	(27-40)	3	(2-3)	30	1	(1-1)	20	(17-25)

Tabella 3. Population Weighed Exposure (PWE), decessi, tassi di mortalità specifici per causa e frazione attribuibili all'esposizione a $\text{PM}_{2.5}$, per area geografica. Anni 2011 e 2015.

Table 3. Population Weighed Exposure (PWE), deaths, cause-specific mortality rates, and attributable fraction to $\text{PM}_{2.5}$ exposure, by geographical area. Years 2011 and 2015.

		Malattie respiratorie					Tumore del polmone								
Frazione attribuibile (%)		Decessi osservati	Decessi attribuibili		Tasso attribuibile (per 100.000)		Frazione attribuibile (%)		Decessi osservati	Decessi attribuibili		Tasso attribuibile (per 100.000)		Frazione attribuibile (%)	
n.	(IC95%)	n.	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)	n.	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)	n.	(IC95%)
8	(7-10)	2.040	129	(42-216)	7	(2-11)	6	(2-11)	1.735	147	(90-188)	7	(5-10)	7	(4-9)
13	(11-16)	815	81	(26-133)	11	(4-18)	10	(3-16)	709	99	(61-126)	14	(8-17)	12	(8-15)
4	(3-5)	285	11	(3-18)	4	(1-7)	4	(1-6)	272	12	(7-15)	4	(3-6)	4	(3-5)
4	(4-5)	940	38	(12-65)	4	(1-7)	4	(1-7)	754	36	(22-47)	4	(2-5)	4	(2-5)
10	(9-13)	159	14	(5-24)	9	(3-15)	9	(3-15)	140	16	(10-20)	10	(6-13)	11	(7-15)
14	(12-17)	91	11	(3-18)	13	(4-22)	12	(4-19)	80	12	(8-15)	15	(9-19)	13	(8-17)
7	(6-9)	22	1	(0-2)	6	(2-10)	6	(2-11)	20	2	(1-2)	7	(4-9)	8	(5-10)
5	(4-6)	46	2	(1-4)	4	(1-7)	5	(1-8)	40	2	(1-3)	4	(3-6)	5	(3-6)
11	(9-13)	15	1	(0-2)	10	(3-16)	9	(3-16)	13	2	(1-2)	11	(7-14)	12	(7-15)
14	(12-17)	9	1	(0-2)	14	(5-24)	12	(4-20)	8	1	(1-2)	16	(10-20)	13	(8-17)
7	(6-9)	1	0	(0-0)	6	(2-10)	7	(2-11)	1	0	(0-0)	7	(4-9)	8	(5-10)
5	(4-6)	5	0	(0-0)	4	(1-7)	5	(1-8)	4	0	(0-0)	4	(3-5)	5	(3-6)
5	(5-7)	2.285	111	(36-186)	6	(2-10)	5	(2-8)	1.660	100	(61-128)	5	(3-7)	4	(3-6)
9	(7-11)	907	78	(25-130)	12	(4-19)	9	(3-14)	665	72	(44-92)	11	(7-14)	8	(5-10)
4	(3-5)	336	11	(4-20)	4	(1-7)	3	(1-6)	248	11	(6-14)	4	(2-5)	3	(2-4)
3	(2-3)	1.042	21	(7-36)	2	(1-4)	2	(1-3)	748	17	(10-22)	2	(1-2)	2	(1-2)
8	(7-10)	188	13	(4-22)	8	(3-14)	7	(2-12)	137	12	(7-15)	7	(5-10)	9	(5-11)
11	(9-13)	111	10	(3-17)	12	(4-20)	9	(3-15)	76	9	(5-11)	11	(7-14)	8	(5-10)
7	(6-9)	27	2	(1-3)	7	(2-12)	6	(2-11)	21	2	(1-2)	7	(4-9)	6	(4-8)
3	(3-4)	50	2	(1-3)	3	(1-5)	3	(1-6)	40	1	(1-2)	3	(2-4)	3	(2-4)
8	(7-10)	18	1	(0-2)	9	(3-15)	7	(2-12)	13	1	(1-1)	8	(5-10)	9	(5-11)
11	(9-13)	11	1	(0-2)	13	(4-22)	9	(3-15)	8	1	(1-1)	11	(7-14)	8	(5-10)
7	(6-9)	1	0	(0-0)	7	(2-12)	6	(2-11)	1	0	(0-0)	7	(4-9)	6	(4-7)
4	(3-5)	5	0	(0-0)	3	(1-6)	3	(1-6)	4	0	(0-0)	3	(2-4)	3	(2-4)

Area	PWE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Popolazione >30 anni	Cause non accidentali				Malattie cardiovascolari			
			Decessi osservati	Decessi attribuibili	Tasso attribuibile (per 100.000)	Frazione attribuibile (%)	Decessi osservati	Decessi attribuibili	Tasso attribuibile (per 100.000)	
			n.	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n.	n. (IC95%)	n. (IC95%)	

2011

Comuni dell'area										
OVERALL	24,3	1.969.832	29.103	1.611 (1.225-2.353)	82 (62-119)	6 (4-8)	10.679	594 (0-1.372)	30 (0-70)	
NORD	30,2	722.979	12.592	908 (691-1.321)	126 (96-183)	7 (5-10)	4.593	327 (0-748)	45 (0-103)	
CENTRO	21,8	274.910	4.210	194 (147-284)	70 (53-103)	5 (3-7)	1.715	76 (0-177)	28 (0-64)	
SUD e ISOLE	21,1	971.943	12.301	510 (386-749)	52 (40-77)	4 (3-6)	4.371	190 (0-447)	20 (0-46)	

Area 4 km x 4 km intorno al sito

OVERALL	29,1	156.025	2.355	174 (132-253)	111 (85-162)	7 (6-11)	912	68 (0-155)	43 (0-99)
NORD	33,0	80.592	1.360	116 (88-168)	144 (110-209)	9 (6-12)	532	45 (0-103)	56 (0-128)
CENTRO	28,2	23.026	335	23 (17-33)	98 (74-143)	7 (5-10)	133	9 (0-21)	39 (0-90)
SUD e ISOLE	24,0	52.407	659	36 (27-52)	68 (52-100)	5 (4-8)	248	13 (0-31)	26 (0-60)

Area 1 km x 1 km intorno al sito

OVERALL	29,1	14.310	224	17 (13-24)	116 (88-169)	7 (6-11)	87	7 (0-15)	45 (0-104)
NORD	32,8	7.816	137	12 (9-17)	148 (113-215)	8 (6-12)	54	5 (0-10)	59 (0-134)
CENTRO	28,7	1.185	17	1 (1-2)	101 (77-147)	7 (5-10)	7	0 (0-1)	40 (11-93)
SUD e ISOLE	24,8	5.310	70	4 (3-6)	72 (55-105)	5 (4-8)	27	1 (0-3)	27 (7-64)

2015

Comuni dell'area										
OVERALL	21,9	1.947.566	29.476	1.383 (1.050-2.025)	71 (54-104)	5 (4-7)	11.003	653 (0-1.510)	34 (0-78)	
NORD	26,9	668.521	11.852	769 (585-1.122)	115 (87-168)	6 (5-9)	4.779	360 (0-823)	54 (0-123)	
CENTRO	20,6	288.474	4.754	185 (141-272)	64 (49-94)	4 (3-6)	1.725	79 (0-186)	28 (0-64)	
SUD e ISOLE	19,0	990.571	12.869	429 (325-631)	43 (33-64)	3 (3-5)	4.499	213 (0-501)	22 (0-51)	

Area 4 km x 4 km intorno al sito

OVERALL	26,3	158.540	2.478	157 (120-229)	99 (75-145)	6 (5-9)	955	71 (0-162)	44 (0-102)
NORD	29,9	81.537	1.406	104 (79-152)	128 (97-186)	7 (6-11)	533	46 (0-104)	56 (0-128)
CENTRO	26,0	23.342	379	23 (17-33)	97 (74-142)	6 (5-9)	145	10 (0-23)	42 (0-97)
SUD e ISOLE	21,4	53.662	693	30 (23-44)	56 (43-83)	4 (3-6)	276	15 (0-35)	28 (0-65)

Area 1 km x 1 km intorno al sito

OVERALL	26,5	14.512	232	15 (11-22)	103 (78-150)	6 (5-9)	92	7 (0-16)	47 (0-107)
NORD	29,9	7.902	141	10 (8-15)	132 (101-193)	7 (6-11)	54	5 (0-11)	58 (0-133)
CENTRO	26,1	1.193	20	1 (1-2)	99 (75-145)	6 (5-9)	7	1 (0-1)	43 (12-100)
SUD e ISOLE	22,0	5.417	72	3 (2-5)	61 (46-89)	5 (3-7)	30	2 (0-4)	30 (8-71)

Tabella 4. Population Weigthed Exposure (PWE), decessi, tassi di mortalità specifici per causa e frazione attribuibili all'esposizione a PM_{10} , per area geografica. Anni 2011 e 2015.

Table 4. Population Weigthed Exposure (PWE), deaths, cause-specific mortality rates, and attributable fraction to PM_{10} exposure, by geographical area. Years 2011 and 2015.

Malattie respiratorie					Tumore del polmone				
Frazione attribuibile (%)	Decessi osservati	Decessi attribuibili	Tasso attribuibile (per 100.000)	Frazione attribuibile (%)	Decessi osservati	Decessi attribuibili	Tasso attribuibile (per 100.000)	Frazione attribuibile (%)	Frazione attribuibile (%)
n. (IC95%)	n.	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n.	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n. (IC95%)	n. (IC95%)
6 (0-13)	2.040	299 (161-437)	15 (8-22)	15 (8-21)	1.735	189 (100-288)	10 (5-15)	9 (5-14)	
7 (0-16)	815	154 (84-222)	21 (12-31)	19 (10-27)	709	104 (55-156)	14 (8-22)	13 (7-19)	
4 (0-10)	285	34 (18-51)	12 (7-18)	12 (6-18)	272	23 (12-35)	8 (4-13)	8 (4-12)	
4 (0-10)	940	111 (59-164)	11 (6-17)	12 (6-17)	754	63 (33-97)	6 (3-10)	7 (3-10)	
7 (0-17)	159	31 (17-44)	20 (11-28)	19 (10-28)	140	20 (10-30)	13 (7-19)	14 (7-12)	
9 (0-19)	91	20 (11-28)	24 (13-35)	22 (12-31)	80	13 (7-19)	16 (9-24)	14 (8-21)	
7 (0-16)	22	4 (2-6)	17 (9-25)	18 (10-26)	20	3 (1-4)	11 (6-17)	12 (6-18)	
5 (0-13)	46	7 (4-10)	13 (7-20)	15 (8-22)	40	4 (2-6)	8 (4-12)	9 (5-14)	
45 (70-17)	15	3 (2-4)	20 (11-30)	19 (11-28)	13	2 (1-3)	13 (7-19)	14 (7-21)	
59 (90-19)	9	2 (1-3)	26 (14-37)	22 (12-31)	8	1 (1-2)	16 (9-24)	14 (7-20)	
40 (70-16)	1	0 (0-0)	17 (9-24)	19 (10-27)	1	0 (0-0)	11 (6-17)	12 (7-19)	
27 (50-13)	5	1 (0-1)	13 (7-20)	15 (8-22)	4	0 (0-1)	8 (4-12)	9 (5-14)	
6 (0-14)	2.285	287 (154-422)	15 (8-22)	13 (7-18)	1.660	149 (78-228)	8 (4-12)	7 (3-10)	
8 (0-17)	907	155 (84-226)	23 (13-34)	17 (9-25)	665	81 (43-123)	12 (6-18)	9 (5-14)	
5 (0-11)	336	38 (20-56)	13 (7-19)	11 (6-17)	248	20 (10-30)	7 (4-10)	6 (3-9)	
5 (0-11)	1.042	94 (50-140)	10 (5-14)	9 (5-13)	748	48 (25-75)	5 (3-8)	5 (2-7)	
7 (0-17)	188	32 (17-46)	20 (11-29)	17 (9-25)	137	16 (9-25)	10 (5-16)	12 (6-18)	
9 (0-20)	111	21 (11-31)	26 (14-37)	19 (10-28)	76	11 (6-16)	13 (7-20)	10 (5-14)	
7 (0-16)	27	4 (2-6)	19 (10-27)	16 (9-24)	21	2 (1-4)	10 (5-16)	9 (5-14)	
5 (0-13)	50	6 (3-9)	11 (6-17)	12 (6-18)	40	3 (2-5)	6 (3-10)	7 (3-10)	
7 (0-17)	18	3 (2-4)	21 (11-30)	17 (9-25)	13	2 (1-2)	11 (6-16)	12 (6-19)	
9 (0-19)	11	2 (1-3)	27 (15-39)	19 (10-28)	8	1 (1-2)	14 (7-20)	10 (5-15)	
7 (2-16)	1	0 (0-0)	18 (10-27)	16 (9-24)	1	0 (0-0)	10 (5-16)	9 (5-14)	
5 (1-13)	5	1 (0-1)	12 (7-18)	13 (7-19)	4	0 (0-1)	7 (3-10)	7 (4-10)	

I tassi di mortalità attribuibili all'esposizione a $PM_{2,5}$ e a PM_{10} tendono a seguire un gradiente Nord-Centro-Sud e Isole per tutte le cause osservate e per entrambi gli anni di analisi.

Un'analisi supplementare condotta per misurare la variazione percentuale della mortalità attribuibile al $PM_{2,5}$ (figura S1), totale e specifica per causa tra il 2011 e il 2015 mostra che la riduzione osservata a livello nazionale è meno marcata al Centro, dove addirittura si nota un incremento dei tassi per le malattie respiratorie in tutte le aree in studio e un leggero incremento anche per le malattie cardiovascolari e le cause naturali nelle aree in studio più piccole (1 km x 1 km e 4 km x 4 km). La stessa analisi condotta in riferimento al PM_{10} (figura S2) mostra, invece, per le malattie cardiovascolari e, in alcuni casi, anche per le malattie respiratorie, un incremento dei tassi per tutte le aree analizzate e per tutte le ripartizioni geografiche.

Discussione

Questa valutazione di impatto ha messo in luce che, nelle aree industriali italiane caratterizzate da impianti con processi di combustione rilevanti quali centrali termoelettriche, acciaierie e impianti petrolchimici con emissioni puntuali (ciminiera), più di 14.000 persone (di cui il 55% al Nord) risiedono entro 1 km² dall'industria, in territori nei quali sono in corso (o sono previsti) interventi di bonifica. Considerando un'area di 4 km², le persone interessate sono più di 150.000, mentre, considerando anche i comuni esterni al perimetro dei siti considerati, le persone esposte arrivano a quasi 2 milioni. In termini di esposizione a inquinamento, si è stimato che la PWE media annua sia per $PM_{2,5}$ sia per PM_{10} aveva valori leggermente più bassi nel 2015 rispetto al 2011.

A causa dell'esposizione a $PM_{2,5}$, è stato stimato, rispetto alla soglia considerata, un eccesso pari a 1.709 decessi (IC95% 1.309-1.903) nel 2011 e a 1.215 decessi (IC95% 929-1.354) nel 2015, mentre sono attribuibili all'esposizione a PM_{10} 1.611 decessi (IC95% 1.225-2.353) nel 2011 e 1.383 decessi (IC95% 1.050-2.025) nel 2015. Questi decessi si sarebbero potuti evitare se le concentrazioni di $PM_{2,5}$ e PM_{10} fossero state, rispettivamente, sotto la soglia di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, come raccomandato dall'OMS.⁷

Questa VIIAS ha rilevato un andamento in riduzione dal 2011 al 2015 del numero di decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico da $PM_{2,5}$ e da PM_{10} nei siti in studio, con tassi e decessi sempre più alti della media nelle aree del Nord. Sebbene i risultati non mostrino differenze in termini di PWE nelle aree più prossime all'impianto (1 km x 1 km e 4 km x 4 km), bisogna ricordare che questa è una misura di esposizione che tiene conto del numero di persone che vi-

vonano nell'area industriale che spesso è scarsamente popolata.

Il confronto della diminuzione dell'impatto tra Nord, Centro e Sud mostra risultati interessanti, ma meritori di approfondimenti specifici, in quanto non si può escludere che la scarsa numerosità dei casi stimati potrebbe aver influito sui risultati.

La metanalisi di Chen del 2020¹⁹ ha aggiornato le FCR per il $PM_{2,5}$ finora note e ha reso disponibili anche le FCR per il PM_{10} , includendo tutti gli studi di coorte e caso-controllo effettuati a livello individuale che consideravano esposizioni a inquinamento atmosferico outdoor.^{20,21} La disponibilità delle FCR ha, dunque, consentito di effettuare la VIIAS sia dell'esposizione a $PM_{2,5}$ sia a PM_{10} .

Il particolato derivante dai processi di combustione (in particolare, di combustibili fossili) è una miscela di particelle solide costituite da materiale carbonaceo, a cui sono adese sostanze organiche (per esempio, idrocarburi policiclici aromatici) e inorganiche (per esempio, metalli pesanti e ioni inorganici), la cui abbondanza è riconducibile alle caratteristiche dei processi stessi. In generale, il PM presente in atmosfera è dovuto all'immissione primaria diretta da sorgenti che lo generano (emissione dei processi di combustione, trasporto di sabbie, erosione di suolo eccetera) e per reazione chimica di PM primario e altri inquinanti/sostanze che portano alla formazione di quello che viene definito particolato secondario e che rappresenta, in alcune aree come la Pianura padana, soprattutto per la granulometria più fine, la percentuale più elevata. Il particolato che si misura in atmosfera, quindi, è il risultato della presenza di PM primario direttamente immesso e PM secondario generato dalle trasformazioni chimiche.²² Una valutazione di impatto più accurata potrebbe essere effettuata se si indagasse sulla composizione chimica del particolato emesso dalla sorgente (fingerprint della sorgente). Esistono alcuni profili di concentrazione peculiari per specifiche sorgenti di emissioni che, se effettuate in studi specifici, possono aiutare a comprendere il contributo della sorgente nell'insieme del PM misurato (source apportionment).

Nell'interpretazione dei risultati di questo studio, bisogna tenere presente che gli effetti sanitari stimati sono attribuibili all'inquinamento atmosferico da $PM_{2,5}$ e PM_{10} presente in queste aree, non riconducibili alle sole emissioni industriali presenti nei siti. Infatti, l'inquinamento stimato in Stafoggia et al.¹⁸ è relativo all'area nel suo insieme, dunque include tutte le fonti emissive presenti sui territori: inquinamento industriale, da traffico stradale, da riscaldamento civile, da agricoltura o da allevamenti di animali. La vicinanza di molte di queste zone industriali alle aree urbane rende difficile la separazione dei singoli contributi all'inquinamento atmosferico, a cui

l'impianto industriale dà il suo apporto. Inoltre, si deve tener conto, come detto precedentemente, della rilevanza dei parametri meteorologici che possono far variare i livelli giornalieri di PM e/o il suo trasporto e la sua distribuzione in atmosfera.

Inoltre, nell'interpretare i risultati del lavoro, bisogna ricordare che i decessi attribuibili ai due inquinanti in studio non possono essere sommati, poiché il PM₁₀ include anche le granulometrie più fini. Importante comunque considerare entrambi gli inquinanti proprio per la molteplicità delle fonti di emissioni (areali o puntuali) presenti nei SIN che, ovviamente, la nostra lente non riesce a cogliere.

Lo studio ha messo in evidenza una riduzione in termini di PWE nel 2015 rispetto al 2011, dovuta a una diminuzione delle concentrazioni di PM_{2,5} e PM₁₀ che è in parte una conseguenza della crisi economica e produttiva degli ultimi anni responsabile della riduzione delle attività produttive con conseguente riduzione delle emissioni, come peraltro riscontrato dalle analisi condotte da ISPRA,^{23,24} ma anche delle azioni di riduzione dell'inquinamento messe in atto negli anni. Sebbene per gli anni considerati sia stato effettuato un controllo sullo stato di attività degli impianti, non è possibile conoscere nel dettaglio il livello produttivo specifico (per esempio, ore di produzione di ogni singolo impianto) e come questo sia variato tra i due anni considerati in questo studio. Infatti, il particolato emesso da una sorgente industriale ha una composizione e, quindi, un profilo tossicologico funzione principalmente del combustibile che lo ha generato diversi rispetto a quello riscontrabile in un contesto puramente urbano, come discusso anche da Galise et al.²⁵ Va inoltre detto che i risultati di uno studio di valutazione di impatto sulla salute presentano incertezze di non facile esplicitazione e quantificazione, ascrivibili a tutte le fasi del processo, dai valori *baseline* per lo stato di salute, alla quantificazione dell'esposizione, alle stime di effetto.

Una possibile limitazione dell'approccio utilizzato in questo lavoro riguarda le FCR utilizzate. Queste derivano da metanalisi di studi longitudinali condotti prevalentemente in Paesi europei e principalmente in contesti urbani. La composizione chimica del PM_{2,5} e PM₁₀ varia a seconda della sorgente da cui viene generata (traffico veicolare, industrie, combustioni biomasse) e, di conseguenza, cambia anche la tossicità per le popolazioni interessate. Per condurre una VIAS appropriata, sarebbe, dunque, necessario disporre di FCR non solo robuste, ma anche specifiche per componente.

Può ulteriormente limitare i risultati di questa valutazione l'assunzione di una distribuzione uniforme del-

la popolazione e degli eventi sanitari da essa generati all'interno di ciascuna cella delle aree considerate.

Un'altra incertezza dello studio riguarda le caratteristiche delle popolazioni, per cui a risentire maggiormente dell'impatto sull'inquinamento potrebbero essere le comunità più socialmente svantaggiate, aventi un rischio di *background* maggiore rispetto al resto della popolazione. Infatti, nel contesto dei siti contaminati, le comunità che vivono in prossimità di complessi industriali inquinanti di solito mostrano maggiori elementi di fragilità, inclusi quelli correlati ai rischi conseguenti all'inquinamento.

La maggior parte dei risultati della letteratura esistente relativi all'iniqua distribuzione dei rischi per la salute delle strutture inquinanti supportano l'ipotesi delle disuguaglianze sociali nella distribuzione delle fonti di inquinamento, in particolare nei confronti delle minoranze etniche e delle comunità vulnerabili a livello socioeconomico.²⁶ In molti casi, la storia delle comunità considerate dal progetto SENTIERI è stata influenzata dalla presenza di impianti industriali, inizialmente vista come fonte di lavoro e generale benessere, ma poi progressivamente anche come sorgente di contaminazione ambientale e deterioramento dell'ambiente di vita.²⁷ La documentata maggiore vulnerabilità delle popolazioni residenti in queste aree imporrebbe l'adozione di misure di mitigazione tali da ridurre i livelli di esposizione, con conseguente riduzione degli impatti sanitari.

Inoltre, va specificato che le aree oggetto di questa VIAS fanno riferimento solo a una tipologia specifica di impianti industriali (a combustione e con sorgenti di emissione puntuale) e sono (o dovrebbero essere) aree già interessate da interventi di bonifica. I risultati non sono, dunque, generalizzabili a tutte le aree industriali oggetto del progetto SENTIERI; tuttavia, le caratteristiche di contesto (ambientale e sociale) sono molto probabilmente comuni a tutte le aree industriali italiane.

In generale, i risultati dello studio sono suggestivi di un impatto sulla salute per esposizione a inquinamento da particolato atmosferico dei residenti in queste aree con impatto crescente in prossimità degli impianti, raccomandando di adottare azioni di riduzione dell'impatto in un'ottica di tutela della salute pubblica. Già precedenti studi di epidemiologia analitica e descrittiva condotti nelle stesse aree avevano messo in luce specifiche criticità.²⁸⁻³³

Sebbene con le incertezze sopra descritte, i risultati conseguiti forniscono indicazioni stringenti per coloro che hanno responsabilità verso la collettività, ai diversi livelli di governo, anche alla luce delle più recenti indicazioni dell'OMS.

Conclusioni

Negli ultimi anni, si sono intensificate le politiche per diminuire le concentrazioni di inquinanti nell'aria, ma, nonostante i progressi effettuati, l'esposizione della popolazione all'inquinamento atmosferico rimane un problema rilevante, continuando a rappresentare una preoccupazione importante per la salute.

Da un punto di vista di sanità pubblica, nonostante l'incertezza delle stime e la misura dell'esposizione non prettamente riferita all'inquinamento di origine industriale, questo lavoro suggerisce di proseguire la sorveglianza sanitaria dell'esposizione della popolazione residente nel perimetro dei SIN e nei comuni adiacenti, integrata con una più attenta conoscenza del dato di concentrazione ambientale al fine di effettuare stime di associazione concentrazione-effetto più accurate e individuare le comunità vulnerabili soggette a

un carico elevato di contaminazione. Inoltre, le aree analizzate fanno parte dei siti contaminati oggetto di bonifica e ripristino ambientale; pertanto, si sottolinea la necessità di attuare prontamente gli interventi necessari per l'eliminazione o la riduzione della contaminazione ambientale delle matrici interessate, che possono rappresentare un ulteriore sorgente di esposizione per la popolazione residente.

Necessarie politiche di sanità pubblica dovrebbero implementare strategie di intervento nazionale per ridurre gli impatti sulla salute derivanti dall'esposizione all'inquinamento atmosferico di origine antropica, con un approccio integrato che consenta di coniugare una efficace prevenzione sanitaria in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

1. Aslam A, Ibrahim M, Shahid I et al. Pollution Characteristics of Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and Constituent Carbonaceous Aerosols in a South Asian Future Megacity. *Applied Sciences* 2020;10(24):8864.
2. Rodríguez S, Querol X, Alastuey A et al. Comparative PM₁₀-PM_{2.5} source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. *Sci Total Environ*. 2004;328(1-3):95-113.
3. World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. Geneva, WHO, 2016. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
4. International Agency for Research on Cancer Outdoor. Air Pollution IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 109. Lyon, IARC, 2013. Disponibile all'indirizzo: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2015>
5. Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 2017;49(1):1600419
6. European Environmental Agency. Air quality in Europe 2021. Health impacts of air pollution in Europe, 2021. Disponibile all'indirizzo: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution>
7. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, WHO, 2021. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.
8. Dogliotti E, Achene L, Beccaloni E et al. Linee guida per la valutazione di impatto sanitario (DL.vo 104/2017). Rapporto Istisan 19/9. Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2019. Disponibile all'indirizzo: https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2850_allegato.pdf
9. Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Valutazione di Impatto Ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale. Linee Guida SNPA n. 28/2020. Disponibile all'indirizzo: <https://www.snpambiente.it/2020/05/08/valutazione-di-impatto-ambientale-norme-tecniche-per-la-redazione-degli-studi-di-impatto-ambientale/>
10. Linzalone N, Bianchi F, Curzio O, Serasini L, Natali M, T4HIA 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.
11. Progetto CCM "Valutazione di Impatto sulla Salute (VIS): Linee Guida e strumenti per valutatori e proponenti; t4HIA". Disponibile all'indirizzo: <https://www.ccm-network.it/progetto.jsp?id=programmi/2013/valutazione-impatto-salute>
12. Progetto CCM "Metodi per la valutazione integrata dell'impatto ambientale e sanitario (Viias) dell'inquinamento atmosferico". Disponibile all'indirizzo: <https://www.viias.it>
13. Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale. Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA e AIA). Manuali e Linee Guida 133/2016. Roma, ISPRA, 2016. Disponibile all'indirizzo: <https://bit.ly/2PWqTsg>
14. Ranzi A, Parmagnani F, Bisceglia L et al. Programma CCM 2015. Ambiente e Salute nel PNP 2014-2018: rete nazionale di epidemiologia ambientale, valutazione di impatto integrato sull'ambiente e salute, formazione e comunicazione (EpiAmbNet). Disponibile all'indirizzo: <https://reteambientesalute.epiprev.it/documenti/VIIAS/documento-tecnico-VIIAS.pdf>
15. Vineis P, Alfano R, Ancona C et al (eds). Mitigation of climate change and health prevention in Italy: the co-benefits policy. Roma, ISS, 2021. Rapporti ISTISAN 21/20. Disponibile all'indirizzo: <https://www.iss.it/documents/20126/0/21-20+web.pdf/e1a4d4e2-83fa-f42f-5d1a-2c655b6a3401?t=1635941196865>
16. Zona A, Pasetto R, Fazzo L, Iavarone I, Bruno C, Pirastu R, Comba P (a cura di). SENTIERI. Studio epidemiologico nazionale dei territori e insediamenti esposti a inquinamento. Quinto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2) (Suppl 1):172-175. DOI: 10.19191/EP19.2-3. S1.032. <https://epiprev.it/pubblicazioni/sentieri-studio-epidemiologico-nazionale-dei-territori-e-degli-insediamenti-esposti-a-rischio-da-inquinamento-quinto-rapporto>.
17. World Health Organization. Sixth Ministerial Conference on Environment and Health, Ostrava, Czech Republic, 13-15 June 2017. Declaration of the Sixth Ministerial Conference on Environment and Health: conference briefing. Geneva, WHO Regional Office for Europe, 2017. Disponibile all'indirizzo: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/347439>
18. Stafoggia M, Bellander T, Bucci S et al. Estimation of daily PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in Italy, 2013-2015, using a spatiotemporal land-use random-forest model. *Environ Int* 2019; 124:170-79.
19. Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2020; 143:105974.
20. World Health Organization. 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. Geneva, WHO Regional Office for Europe, 2013. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf
21. 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. Disponibile all'indirizzo: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local-national-and-international-level.pdf

22. Rossi M. Emissioni degli inceneritori e modelli di ricaduta. I quaderni di Monitor. Regione Emilia-Romagna. Disponibile all'indirizzo: <https://www.arpae.it/it/documenti/pubblicazioni/i-quaderni-di-monitor>.
23. ISPRA. Analisi dei trend dei principali inquinanti atmosferici in Italia (2008-2017). ISPRA Rapporti 302/2018. Roma, ISPRA, 2019. Disponibile all'indirizzo: https://www.isprambiente.gov.it/files/2019/pubblicazioni/rapporti/R_302_18_TREND_ARIA.pdf
24. Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. La qualità dell'aria in Italia. Rapporti 17/2020. SNPA 2020. Disponibile all'indirizzo: <https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2020/12/QUALITA-ARIA-ITALIA.pdf>
25. Galise I, Serinelli M, Morabito A et al. L'impatto ambientale e sanitario delle emissioni dell'impianto siderurgico di Taranto e della centrale termoelettrica di Brindisi. *Epidemiol Prev* 2019;43(5-6):329-37.
26. Di Fonzo D, Fabri A, Pasetto R. Distributive justice in environmental health hazards from industrial contamination: a systematic review of national and near-national assessments of social inequalities. *Soc Sci Med* 2022; 297:114834.
27. Pasetto R, Environmental Justice nei siti industriali contaminati. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporto ISTISAN 20/21. Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2020. Disponibile all'indirizzo: <https://www.iss.it/documents/20126/0/20-21+web.pdf/1dcc3560-b97d-9d75-5155-e0f0a79b6f1f?t=1605519156122>
28. Pirastu R, Comba P, Iavarone I et al. Environment and health in contaminated sites: the case of Taranto, Italy. *J Environ Public Health* 2013; 2013:753719.
29. Gessoni F, Macciò S, Barbiellini Amidei C, Simonato L. Study on the health status of the population living in Marghera (Venice, Italy) through the use of a longitudinal surveillance system. *Ann Ist Super Sanita* 2020;56(2):157-67.
30. Comba P, Fazzo L, Berrino F. I sarcomi dei tessuti molli a Mantova: revisione delle evidenze epidemiologiche e prospettive di risanamento ambientale. *Epidemiol Prev* 2004;28(4-5):266-71.
31. Di Salvo F, Baili P, Mariottini M, Baldini M, Micheli A, Meneghini E. Eccesso di morti per tumori ematologici a Falconara Marittima: breve storia dall'indagine epidemiologica a oggi. *Epidemiol Prev* 2017;41(5-6):243-47.
32. Serinelli M, Gianicolo EA, Cervino M, Mangia C, Portaluri M, Vigotti MA. Effetti acuti dell'inquinamento a Brindisi: analisi case-crossover. *Epidemiol Prev* 2010;34(3):100-7.
33. Pasetto R, Comba P, Pirastu R, Zona A. Studio di mortalità e morbosità dei lavoratori di un petrolchimico nel contesto della caratterizzazione epidemiologica di un sito inquinato: il caso di Gela. *G Ital Med Lav Ergon* 2013;35(4):278-81.

Approcci metodologici per valutare l'andamento della mortalità nel lungo periodo nel sistema di sorveglianza SENTIERI: focus sull'analisi di coorte

Methodological approaches to evaluate the over-time mortality in SENTIERI epidemiological surveillance system: a focus on cohort analyses

Giorgia Stoppa,¹ Giada Minelli,² Valerio Manno,² Emiliano Ceccarelli,³ Roberto Pasetto,⁴ Lucia Fazzo,⁴ Ivano Iavarone,⁴ Annibale Biggeri,¹ Dolores Catelan,¹ Gruppo di lavoro Statistica SENTIERI*

¹ Unità di biostatistica, epidemiologia e sanità pubblica, Dipartimento di scienze cardio-toraco vascolari e sanità pubblica, Università di Padova

² Servizio di statistica, Istituto superiore di sanità, Roma

³ Dipartimento di scienze statistiche, Università degli studi di Roma "Sapienza", Roma

⁴ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

Corrispondenza: Dolores Catelan; dolores.catelan@unipd.it

Riassunto

Il Progetto SENTIERI analizza il profilo di salute delle popolazioni residenti nei siti di interesse per le bonifiche (SIN) in specifici periodi di calendario, utilizzando un approccio trasversale. Un aspetto non ancora valutato è l'analisi di lungo periodo per comprendere i mutamenti nel tempo dei profili di salute anche in funzione dei cambiamenti avvenuti nei territori. In questo contributo, vengono studiati gli andamenti temporali per coorte di nascita e periodo di calendario per la mortalità generale e la mortalità per tumore del polmone dal 1980 al 2018, separatamente per gli uomini e le donne, per tre siti: Pitelli (Liguria), Priolo (Sicilia) e Terni-Papigno (Umbria). Viene poi proposto un metodo per la selezione del modello temporale che meglio si adatta ai dati. La mortalità generale presenta profili temporali complessi se si considerano i rischi cumulativi; l'asse temporale più importante risulta la coorte di nascita per gli SMR cumulativi. Per il tumore del polmone, l'asse temporale più importante risulta la coorte di nascita e il modello più appropriato, in particolare negli uomini di Priolo e Terni, è quello età-coorte.

Parole chiave: siti contaminati, mortalità, trend temporali, tumore polmonare, coorte di nascita

Abstract

The SENTIERI Project analyses the health profile of the populations residing in Italian national priority contaminated sites in specific calendar periods using a cross-sectional approach. An aspect that has not been evaluated so far is the analysis over a long period, for understanding the changes in health profiles over time and studying them also in function of the changes occurred in the ter-

Cosa si sapeva già

- Il Progetto SENTIERI analizza il profilo di salute delle popolazioni residenti nei siti contaminati di interesse per le bonifiche in specifici periodi di calendario, utilizzando un approccio trasversale.
- I rapporti periodici forniscono un quadro dello stato di salute della popolazione residenti in ciascun sito, negli specifici periodi di calendario di osservazione.

Cosa si aggiunge di nuovo

- In questo lavoro viene mostrato che l'analisi degli andamenti temporali, in particolare l'analisi per coorte di nascita, per la profondità temporale che consente di avere, è un approccio che, seppur nella sua complessità di interpretazione, permette una lettura più specifica delle interazioni esistenti fra le possibili esposizioni e le ricadute in termini di rischio sanitario nelle popolazioni residenti nei siti contaminati di interesse per le bonifiche.

ritories. This article studies temporal trends by birth cohort and calendar period for overall mortality and lung cancer mortality from 1980 to 2018, separately for men and women, for three sites: Priolo (Sicily Region, Southern Italy), Pitelli (Liguria Region, Northern Italy), and Terni-Papigno (Umbria Region, Central Italy). A method for selecting the temporal model that best fits the data is then proposed. General mortality presents complex temporal profiles when considering cumulative risks, and usually the most important temporal axis is the birth cohort for cumulative SMRs (i.e., after adjusting for trends in the reference population). For lung cancer, the most important time axis is the birth cohort and the age-cohort model is the most appropriate, in particular for men of Priolo and Terni.

Keywords: contaminated sites, mortality, over time, lung cancer, birth cohort

*Gruppo di lavoro Statistica SENTIERI: Unità di biostatistica, epidemiologia e sanità pubblica, Dipartimento di scienze cardio-toraco vascolari e sanità pubblica, Università di Padova: Annibale Biggeri, Dolores Catelan, Giorgia Stoppa; Dipartimento di scienze statistiche, Università degli studi di Roma "Sapienza", Roma: Emiliano Ceccarelli, Daniele De Rocchi, Giovanna Jona Lasinio, Vittoria La Serra; Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma: Lucia Fazzo, Ivano Iavarone, Roberto Pasetto; Servizio di statistica, Istituto superiore di sanità, Roma: Valerio Manno, Alice Maraschini, Giada Minelli.

Introduzione

Il Progetto SENTIERI, avviato come progetto di ricerca nel 2006, è divenuto un sistema di sorveglianza epidemiologica permanente delle popolazioni residenti nei comuni interessati dalle contaminazioni ambientali dei siti di interesse nazionale per le bonifiche (SIN). Nel primo Rapporto SENTIERI è stata analizzata la mortalità da fonte Istat.¹ Successivamente, il dato di mortalità è stato integrato con quello di ospedalizzazione e con quello di incidenza tumorale con dati da fonte registri tumori.^{2,3} I profili di salute sono stati prodotti considerando inizialmente la popolazione generale di tutte le età e successivamente anche le sottoclassi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili, includendo l'esito delle anomalie congenite. La sorveglianza epidemiologica si basa su una caratterizzazione generale, ossia per grandi gruppi di cause, e una specifica che riguarda l'insieme delle cause considerate d'interesse *a priori* in quanto associabili, in relazione alle evidenze della letteratura scientifica, con la residenza in prossimità delle fonti di contaminazione ambientale presenti in ciascun sito.

A partire dal 1995, sono stati utilizzati i dati Istat sulla mortalità per causa. Le analisi, presentate in diversi rapporti, sono state effettuate separatamente per genere, calcolando una serie di statistiche basate su criteri e riferimenti di popolazione definiti nel primo Rapporto.¹

Per ogni periodo di osservazione, si è utilizzato un approccio trasversale in cui l'esito sanitario specifico per periodo è stato descritto dai seguenti indicatori: numero di eventi osservati, rapporto standardizzato per età di mortalità (SMR), rapporto standardizzato di ospedalizzazione (SHR), rapporto standardizzato di incidenza neoplastica (SIR) e relativo intervallo di confidenza al 90% (IC90%). L'intervallo di confidenza riassume l'incertezza statistica della stima del rischio.

I diversi Rapporti SENTIERI rappresentano aggiornamenti successivi del profilo di salute specifico per causa relativo a brevi periodi, sempre inferiori a 10 anni. Un aspetto sinora non valutato è l'analisi complessiva su lungo periodo che tenga conto dei mutamenti nel tempo dei profili di salute delle popolazioni oggetto di studio da leggere anche in funzione dei cambiamenti avvenuti nei territori dei siti. L'evoluzione temporale del rischio per l'esito sanitario indagato può essere analizzata per periodo di calendario o per coorte di nascita.⁴ Nel primo caso, si studiano tanti profili trasversali (la serie di tassi specifici per classe di età), uno per ogni periodo di calendario esaminato. Nel secondo, si studia la serie di tassi specifici per classe di età di ogni coorte di nascita, quindi si tratta di profili longitudinali, perché i tassi specifici per età

si riferiscono a differenti periodi di calendario relativi alla stessa coorte di nascita che è seguita longitudinalmente nel tempo.⁵ Le variazioni di esposizione a fattori di rischio in genere tendono a manifestarsi come effetti coorte, perché è necessario considerare il tempo di latenza (se possibile, valutato a partire dalla prima esposizione) nel caso di patologie cronico-degenerative. Quindi l'effetto di una nuova esposizione in un certo periodo di calendario si esplica in modo differente a seconda dell'età (anno di nascita) del soggetto. È, invece, più raro osservare un effetto periodo, dovuto cioè a un'esposizione che contemporaneamente esercita lo stesso effetto su tutte le classi di età, come nel caso dell'introduzione di nuove terapie.⁶

In questo lavoro, si mostra l'utilità delle analisi per coorte di nascita nella valutazione degli andamenti temporali su un lungo arco temporale usando come esempio alcune popolazioni residenti in siti nazionali di interesse e di cause di morte, applicabili alla sorveglianza SENTIERI o ad altri esempi di sorveglianza epidemiologica ambientale.

I tre siti selezionati per il presente lavoro sono caratterizzati dalla presenza di poli industriali attualmente in attività e per i quali è presumibile l'emissione di contaminanti volatili, quali gli impianti petrolchimici, le raffinerie e le centrali elettriche a Priolo e Pitelli, e l'impianto siderurgico a Terni. In SENTIERI, la caratterizzazione ambientale dei siti fa riferimento alla documentazione prodotta nell'ambito delle procedure per le bonifiche. I siti di Priolo e Pitelli includono poli industriali complessi, con la presenza di numerose attività su territori vasti, mentre il sito di Terni, seppure il più antico come data di inizio delle attività industriali, include il solo polo siderurgico e alcune discariche a servizio di questo. Il sito industriale di Pitelli si estende su una superficie di 3.300 ettari (e circa 1.500 a mare), è costituito da 2 Comuni ed è caratterizzato dalla presenza di impianti chimici, una centrale elettrica, un'area portuale, alcune discariche abusive e una contaminazione da amianto; le principali attività industriali sono iniziate nel 1978. L'area industriale di Priolo ha un'estensione di 5.814 ettari (e circa il doppio in aree marine) ed è costituito da 4 Comuni; le principali attività iniziarono nel 1947 e includono impianti chimici, un polo petrolchimico, una raffineria, un'area portuale, una fabbrica di manufatti in cemento-amianto in uno dei Comuni del sito e discariche non a norma di rifiuti industriali. L'area del sito di Terni-Papigno, di circa 650 ettari, include il solo Comune di Terni ed è localizzato nella relativa conca; l'impianto siderurgico la cui contaminazione ambientale ha portato alla definizione del sito di interesse nazionale per le bonifiche iniziò le attività nel 1935.

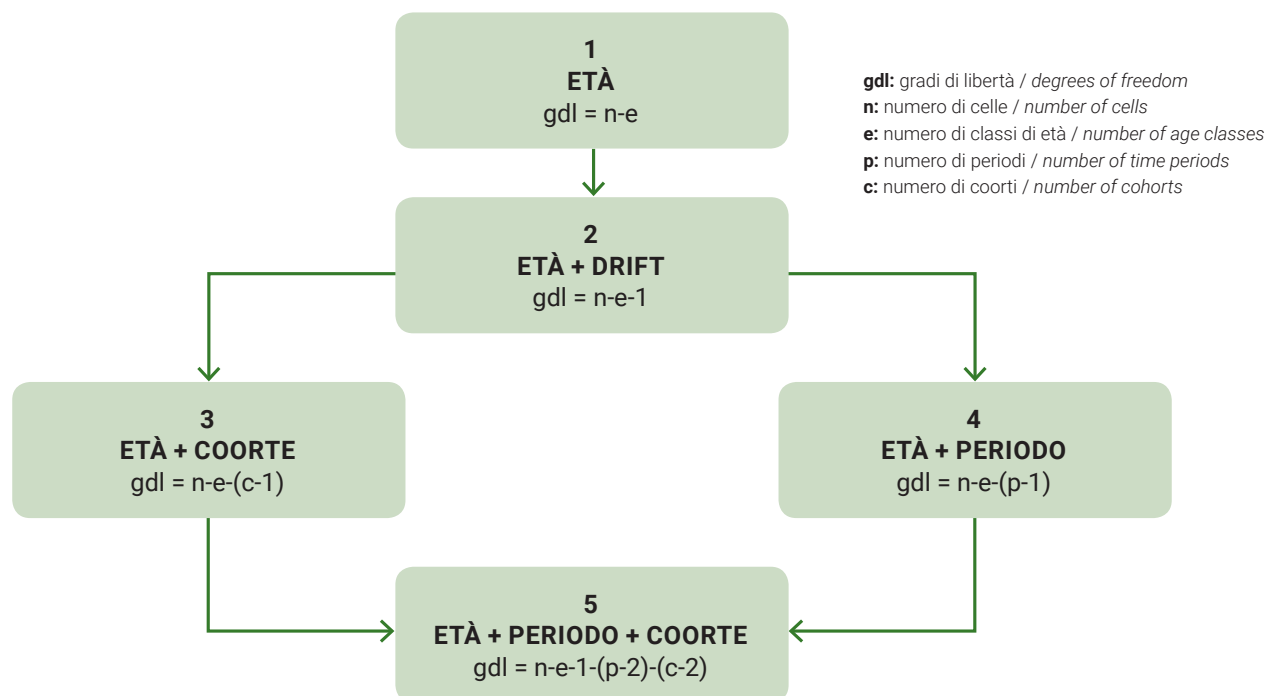


Figura 1. Diagramma di flusso che mostra i differenti modelli che sono stati specificati e la loro reciproca relazione gerarchica.

Figure 1. Logical order in which to consider models with at most one type of temporal variation. The formula on the second line of a box gives the number of degrees of freedom for a table with E age classes, P time periods, C cohorts

Fonte di dati

È stata utilizzata la banca dati disponibile presso il Servizio di statistica dell'Istituto superiore di sanità a partire dall'indagine sulle cause di morte dell'Istat e dalle popolazioni comunali Istat (www.demoistat.it). Le cause di morte sono state classificate secondo la International Classification of Diseases (ICD) elaborata dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS). Essa viene sottoposta periodicamente ad aggiornamenti, rispondenti al progredire delle conoscenze mediche sulle patologie, denominate "Revisioni". A partire dall'anno 2003, è stata adottata in Italia la classificazione tuttora vigente, la decima revisione (ICD-10).⁷ Negli anni precedenti al 2003, era in vigore la nona revisione (ICD-9), applicata per i decessi dal 1979 al 2002.⁸ Nelle successive revisioni, i cambiamenti prodotti negli andamenti temporali della mortalità per causa sono stati documentati per il nostro Paese attraverso uno studio di *bridge coding*.⁹

L'elenco delle cause selezionate per lo studio viene riportato in tabella 1 con i rispettivi codici ICD di riferimento, i dati sono stati elaborati per genere e classi quinquennali di età.

Metodi

Analisi esplorativa

È stata effettuata un'analisi esplorativa preliminare degli andamenti di mortalità specifica per causa dei singoli siti rispetto alle loro regioni di riferimento: sono state prodotte delle curve lisce di tipo LO-

ESS (*Local Regression*), costruite sulla serie temporale dei tassi standardizzati dei siti e delle regioni (Allegato 1 Materiale supplementare). Sono state calcolate anche le bande di confidenza al 90% per ciascuna curva, per mostrare il grado di incertezza associato alle stime puntuali. Le curve LOESS sono una generalizzazione della regressione polinomiale, si basano sull'adattamento di modelli di regressione polinomiale di primo o secondo grado a sottoinsiemi localizzati dei dati al fine di stimare una funzione non lineare continua che descriva la parte deterministica della variabilità osservata, punto per punto.^{10,11}

Modelli età, periodo, coorte

Il focus del lavoro si è poi concentrato sull'analisi per coorte di nascita e periodo di calendario.

Sono stati considerati i dati aggregati in 18 classi di età quinquennali (0-4, 5-9, [...], 85+) e 8 periodi quinquennali (a eccezione dell'ultimo che è un quadriennio: 1980-1984, 1985-1989, 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2018).

La tabella 2 riporta il diagramma di Lexis e la ricostruzione delle coorti di nascita. Sono riportate le 15 coorti che sono state considerate nell'analisi. Le coorti sono definite sulle diagonali del diagramma di Lexis, coprono un lasso temporale di 10 anni e sono tra di loro parzialmente sovrapposte (tabella 2).

Per ogni causa, sesso e sito indagati sono stati adattati una serie di modelli loglineari gerarchicamente ordinati (figura 1) ed è stato scelto il modello che meglio

si adatta ai dati. Il test statistico effettuato si basa sulla differenza tra logaritmi del rapporto di massima verosimiglianza di modelli gerarchicamente ordinati.⁶

In generale, considerando le righe $i=1\dots I$ e le colonne $j=1\dots J$ del diagramma di Lexis, definiti O_{ij} il numero di decessi osservati (PY_{ij} i relativi anni-persona di osservazione) per la i -esima riga e j -esima colonna, come variabili casuali poissoniane $O_{i,c} \sim \text{Poisson}(E_{i,c})$, si specifica un modello log-lineare:

$$\log(E_{i,c}) = \beta_i + \beta_j^{\text{periodo}} + \beta_c^{\text{coorte}} + \log(PY_{i,c})$$

dove:

β_i è il coefficiente per la i -esima riga (in genere la classe di età);

β_j^{periodo} i coefficienti per la j -esima colonna (in genere il periodo di calendario);

β_c^{coorte} la c -esima diagonale (in genere la coorte di nascita); $\log(PY_{i,c})$ è l'offset (il peso da attribuire a ogni cella, nel caso in cui si modellino i tassi saranno gli anni persona di osservazione, nel caso in cui si modellino i rapporti tra tassi saranno gli attesi secondo la standardizzazione indiretta).¹²

Il modello contiene, quindi, un termine di interazione tra righe e colonne, che indicizza le diagonali del diagramma di Lexis. I coefficienti sono linearmente correlati, per esempio, per una generica diagonale $c=I-i+j$ per cui il modello completo è sovrapparametrizzato. Una soluzione consiste nel ridefinire il modello con un termine lineare (il cosiddetto *drift*) $J-2$ termini non lineari per il periodo e $C-2$ termini non lineari per la coorte:

$$\log(E_{i,c}) = \beta_i + \beta^{\text{drift}} + \beta_j^{\text{periodo}} + \beta_c^{\text{coorte}} + \log(PY_{i,c})$$

Fissando i termini per l'età, il termine lineare è attribuibile o al periodo o alla coorte facendo opportune assunzioni.

Ponendo a zero i coefficienti di periodo o di coorte si ottiene la sequenza di modelli gerarchicamente ordinati mostrati in figura 1.

Per esemplificare la lettura della figura 1, confrontiamo il modello con solo i termini per le classi di età (modello 1) con il modello a lui gerarchicamente ordinato che oltre i termini per le classi di età include i termini per il periodo di calendario (modello 4). Questo confronto è eseguito calcolando la differenza tra il logaritmo del rapporto di massima verosimiglianza marginale del modello con solo i termini età e il logaritmo del rapporto di massima verosimiglianza del modello con i termini per età e periodo. Sotto ipotesi nulla (cioè che i termini per il periodo di calendario non contribuiscano a spiegare la variabilità osservata), la differenza tra i due logaritmi del rapporto di massima verosimiglianza si distri-

buisce come una deviatata χ^2 con gradi di libertà (gdl) pari alla differenza tra i gdl residui dei due modelli. Se si osserva bene, si vede che questo confronto è scomponibile in due parti, un primo test per l'andamento lineare (relativamente al *drift*) con un grado di libertà (confrontando il modello 1 con il modello 2) e un test per l'andamento non lineare con $p-2$ gradi libertà, che confronta il modello 4 con il modello 2.

I modelli età-coorte (modello 3) ed età-periodo (modello 4) non sono direttamente confrontabili, in quanto non sono gerarchicamente ordinati, quindi la differenza tra i logaritmi del rapporto di massima verosimiglianza dei due modelli non è distribuita come una deviatata χ^2 . Per la valutazione dei modelli, inoltre, è stato utilizzato anche il criterio di informazione bayesiano (BIC). Quando si adattano i modelli con molti parametri, è sempre possibile ottenere un buon adattamento ed è pertanto difficile eseguire il confronto e interpretare i risultati. Il BIC risolve questo problema introducendo un termine di penalizzazione per il numero di parametri del modello, privilegiando perciò modelli più parsimoniosi.¹³

Effetti di interesse e stimatori utilizzati (estimand)

Per quanto riguarda gli andamenti di periodo, sono stati calcolati i tassi standardizzati diretti (rispetto alla popolazione standard europea)¹⁴ e gli SMR. Per il calcolo di questi ultimi, sono stati utilizzati come riferimento i tassi osservati nelle popolazioni regionali dei siti di appartenenza per lo stesso periodo di calendario, con esclusione delle popolazioni dei siti presenti nella Regione. L'analisi dei rapporti osservati/attesi permette di studiare la variazione relativa della mortalità e la sua evoluzione nel tempo. Vi è un'esatta corrispondenza con le stime dei termini di periodo del modello età-periodo nel caso in cui sia valida l'assunzione di moltiplicatività degli effetti.¹⁵ Per semplicità di calcolo e robustezza, si sono quindi usati questi stimatori standardizzati.¹⁶

Più complessa la valutazione degli andamenti per coorte di nascita. In questo caso, gli stimatori si basano sulle stime dei termini di coorte del modello età-coorte e l'assunto di validità del modello moltiplicativo deve essere valido. Sono stati calcolati i rischi cumulativi 20-84 anni calcolati a partire dalla matrice dei tassi specifici stimati per età e periodo e gli SMR cumulativi 20-84 anni calcolati sulla matrice dei rapporti osservati/attesi stimati. Anche per la coorte di nascita, l'analisi dei rapporti osservati/attesi permette di studiare la variazione relativa della mortalità e la sua evoluzione nel tempo. In particolare, ricordiamo la specifica del modello loglineare nel caso degli effetti di coorte.

Definiti $O_{i,c}$ e $PY_{i,c}$ il numero di decessi osservati e i relativi anni-persona di osservazione per la i -esima clas-

se d'età e c-esima coorte di nascita si adatta un modello log-lineare di regressione di Poisson:

$$\log(E_{i,c}) = \beta_i + \beta_c^{\text{coorte}} + \log(PY_{ic})$$

dove:

$O_{i,c} \sim \text{Poisson}(E_{i,c})$, β_i è il coefficiente per la i-esima classe di età (logaritmo del tasso specifico della i-esima classe di età);

β_c^{coorte} il coefficiente per la c-esima coorte (logaritmo del rapporto tra il tasso per la c-esima coorte e il tasso della coorte di riferimento);

$\log(PY_{ic})$ è l'offset, cioè il peso da attribuire alla relativa frequenza osservata.

La coorte di riferimento scelta è la coorte dei nati negli anni 1925-1934. Nel modello non è inserita l'intercetta, per cui i coefficienti specifici per età sono tutti interpretabili direttamente come logaritmi dei tassi specifici. Il precedente modello, dove gli effetti periodo sono posti a zero, è una semplificazione rispetto al modello più generale età-periodo-coorte.

Il rischio cumulativo 20-84 anni per la generica c-esima coorte è definito come

$$RC_c = 1 - \exp\left(-5 \sum_{i=20-24}^{I=80-84} \exp(\beta_i + \beta_c^{\text{coorte}})\right)$$

ed è stimato a partire dalle stime dei coefficienti di regressione del corrispondente modello età-coorte; il suo intervallo di confidenza è ottenuto attraverso il metodo delta.¹⁷

Abbiamo definito anche gli SMR cumulativi 20-84 anni per le coorti analizzate. In questo caso, gli attesi, come detto prima, sono stati ottenuti per ogni periodo di calendario sulla base dei tassi specifici per età della popolazione di riferimento.

Il modello di regressione è analogo a quello descritto in precedenza, ma con il logaritmo del numero di eventi attesi sotto standardizzazione indiretta come offset. Per la c-esima coorte, l'SMR cumulativo 20-84 anni è definito dalla seguente formula:

$$SMR_{cum_c} = \sum_{i=20-24}^{I=80-84} \exp(\beta_i + \beta_c^{\text{coorte}})$$

ed è stimato a partire dalle stime dei coefficienti di regressione del corrispondente modello età-coorte con $\log(\text{Attesi}_{ic})$ che sostituisce $\log(PY_{ic})$; il suo intervallo di confidenza è ottenuto attraverso il metodo delta.¹⁷

Ricapitolando, nella sezione «Metodi» sono state presentate:

1. le analisi esplorative con funzioni di liscio applicate agli andamenti per periodo di calendario;

2. le analisi età-periodo-coorte definite sul diagramma di Lexis e la metodologia di selezione del modello. Il lettore deve essere consapevole delle arbitrarietà comunque insite nella scelta di un unico modello. In questo lavoro, ci si è interessati a rilevare se il modello età-coorte sia in generale quello che meglio riassume gli andamenti temporali osservati;

3. gli stimatori (*estimand*) delle quantità di interesse (tassi, cioè frequenze assolute, e rapporti tra tassi, cioè frequenze relative) per le due dimensioni temporali considerate, il periodo di calendario e la coorte di nascita. Mentre per periodo di calendario non ci sono difficoltà, quindi si riporteranno i tassi standardizzati diretti o indiretti (come SMR); nel caso della coorte di nascita gli stimatori, si basano sulle stime dei parametri di un modello di regressione.

Infine, si ricorda che in questo lavoro vengono presentate le analisi degli andamenti temporali per coorte di nascita e periodo di calendario per la mortalità generale e la mortalità per tumore del polmone, separatamente per gli uomini e le donne. Questa scelta, oltre a essere dettata dalla necessità di contenere il numero di grafici e tabelle, è fatta sulla base dell'esigenza di fornire comunque un quadro complessivo dell'andamento degli indicatori nei tre siti selezionati attraverso l'analisi della mortalità per tutte le cause e per una causa considerata *a priori* di particolare importanza nei tre siti.

Risultati

Le analisi grafiche effettuate con le curve LOESS (appendice 1) hanno riguardato tutte le cause presentate in tabella 1; la finalità di queste rappresentazioni è quella di mostrare le tendenze di periodo dell'andamento dei tassi per causa nei siti, rispetto all'andamento del loro riferimento regionale. In molti casi, le tendenze degli andamenti regionali si riscontrano anche nei singoli SIN; un esempio di andamenti diversi tra SIN e Regione si trova per le malattie ischemiche del cuore a Pitelli. In tabella 3 sono riportati i risultati dell'adattamento dei differenti modelli età-periodo-coorte. Gli andamenti per coorte di nascita sono in genere preferiti come appare dalla tabella, che riassume i modelli età-periodo-coorte che meglio si adattano ai tassi osservati (età-coorte 28 volte su 60 modelli che sono stati specificati). Il modello età-periodo è risultato preferito 7 volte; 14 volte il modello con il solo termine lineare; 5 volte non era presente alcun andamento temporale e 6 volte il più complesso modello con gli effetti di coorte e di periodo.

La mortalità generale mostra profili temporali più complessi se si considerano i rischi cumulativi, ma generalmente mostra che l'asse temporale più importante è la coorte di nascita per gli SMR cumulativi (una

volta cioè che si aggiusta per l'andamento della popolazione di riferimento).

L'asse temporale più importante per i tumori è la coorte di nascita. Nel caso del tumore del polmone, è chiara la preferenza per il modello età-coorte per Priolo e Terni negli uomini.

Per le malattie ischemiche e valutando la mortalità relativa (SMR), il modello che meglio si adatta è il modello età-periodo, suggerendo che eccessi rispetto alla popolazione di riferimento per questa patologia possono avere tempi di latenza minori.

Per quanto riguarda le malattie respiratorie croniche, il quadro è meno chiaro e il modello che meglio si adatta ai dati osservati differisce tra sito e sito. Si deve tener conto, in questo caso, della minor numerosità dei decessi, quindi della maggiore instabilità delle stime.

Per quanto riguarda gli andamenti per periodo di calendario dei tassi standardizzati di mortalità per tutte le cause, si osservano in tutti e tre i siti indagati e in entrambi i generi i grandi trend secolari di riduzione della mortalità (figura 2). Per quanto riguarda gli andamenti per periodo di calendario dei tassi standardizzati di mortalità per tumore del polmone, si osserva negli uomini una tendenza all'omogeneizzazione nei tre siti, con un livello simile di mortalità negli ultimi tre periodi temporali. Negli anni precedenti, invece, è evidente un forte sbilanciamento, con alti tassi di mortalità, per il sito di Pitelli. Nelle donne, si osserva una tendenza all'aumento della mortalità per tumore polmonare in tutti i tre i siti indagati (figura 3).

Gli andamenti dei rischi cumulativi per coorte di nascita mostrano, per la mortalità generale, i grandi trend secolari di riduzione del rischio in tutti i siti e in entrambi i generi. Nel sito Pitelli, tra gli uomini, i nati dopo il 1960 hanno rischi cumulativi più alti rispetto alle coorti nate dopo il 1954, in controtendenza rispetto ai trend secolari e a quanto osservato negli altri due siti esaminati (figura 4). I rischi cumulativi di tumore polmonare per coorte di nascita mostrano, per le donne, una generale tendenza all'aumento, particolarmente evidente per il sito di Terni. Negli uomini, nel Sito di Priolo e Terni si osserva il picco di rischio per le coorti nate intorno al 1930, coerentemente con l'andamento medio nazionale. Nel sito di Pitelli, si osserva invece un fortissimo rischio per le coorti più anziane; rischio che si riporta sui valori degli altri siti per le coorti più giovani, a partire dalla coorte di nascita 1925-1934 (figura 5).

La lettura degli andamenti degli SMR per periodo di calendario e degli SMR cumulativi per coorte di nascita è meno facile, in quanto si tratta di valutazioni relative rispetto agli andamenti della popolazione di riferimento, cioè la popolazione regionale al netto della popolazione residente nei siti indagati.

Gli SMR relativi alla mortalità generale per periodo di calendario mostrano che a Pitelli si mantiene su livelli inferiori alla popolazione di riferimento per tutti i periodi indagati sia negli uomini sia nelle donne. La popolazione del sito di Priolo mostra, invece, una tendenza differente per genere. Negli uomini, rispetto a un eccesso registrato nel periodo 1985-1989, negli ultimi anni si rileva un ritorno ai valori di mortalità della popolazione di riferimento. Per nelle donne, il vantaggio storico registrato nei primi periodi temporali (SMR inferiori a 100) si perde progressivamente e si arriva ai livelli di mortalità della popolazione di riferimento nei periodi più recenti.

Per il sito di Terni, da una situazione iniziale che non mostra differenze di mortalità rispetto alla popolazione di riferimento si passa progressivamente a una situazione di maggior mortalità sia negli uomini sia nelle donne (figura 6).

Per il tumore del polmone, l'analisi degli SMR per periodi di calendario mostra, negli uomini, una tendenza a riportarsi da una situazione di eccesso a un ritorno ai valori di mortalità della popolazione di riferimento per i siti di Pitelli e Priolo. Nelle donne, l'andamento degli SMR nei due siti è meno chiaro. Per il sito di Terni, gli SMR per tumore del polmone mostrano, soprattutto tra gli uomini in quasi tutti i periodi, una mortalità superiore alla media della popolazione di riferimento e, maggiormente nelle donne, una chiara tendenza all'aumento con valori superiori alla popolazione di riferimento per gli ultimi periodi indagati (figura 7).

Gli SMR cumulativi per coorte di nascita rappresentano l'effetto differenziale di coorte di nascita rispetto all'andamento regionale delle stesse coorti di nascita. Come valore nullo, si consideri il valore 13 (tredici classi di età). Nelle donne, per la mortalità generale, gli SMR cumulativi mostrano una certa stabilità con valori inferiori alla media della popolazione di riferimento per Pitelli, mentre per Priolo e Terni si registra una tendenza all'aumento, con valori di mortalità superiori alla media per le coorti più giovani. Negli uomini, gli andamenti per coorte non mostrano differenze rispetto alla popolazione di riferimento, tranne che per Priolo, dove si osserva la perdita del vantaggio in termini di mortalità che avevano le coorti più anziane e l'allineamento delle coorti più giovani alla mortalità della popolazione di riferimento (figura 8). Per il tumore del polmone, gli SMR cumulativi per coorte di nascita mostrano nelle donne un andamento favorevole per Pitelli, con una progressiva riduzione del rischio relativamente al riferimento per le coorti più giovani. Diversamente, nei siti di Priolo e Terni, le donne delle coorti di nascita più giovani mostrano rischi crescenti rispetto al riferimento. Negli uomini, gli SMR cumulativi per coorte sono stabili con una mortalità in linea con il riferimento per Pitelli, in diminu-

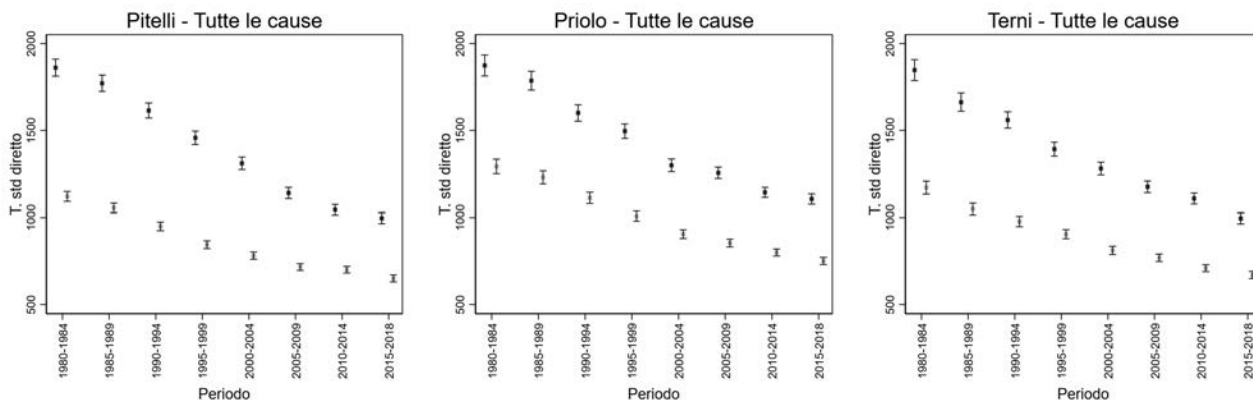


Figura 2. Andamenti per periodo di calendario dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tutte le cause con popolazione standard Europa 2013 (Sabbia Femmine Rosso Maschi).

Figure 2. Comparison of mortality for all-causes. Direct standardised rates. Reference: 2013 European population (Khaki Females Red Males).

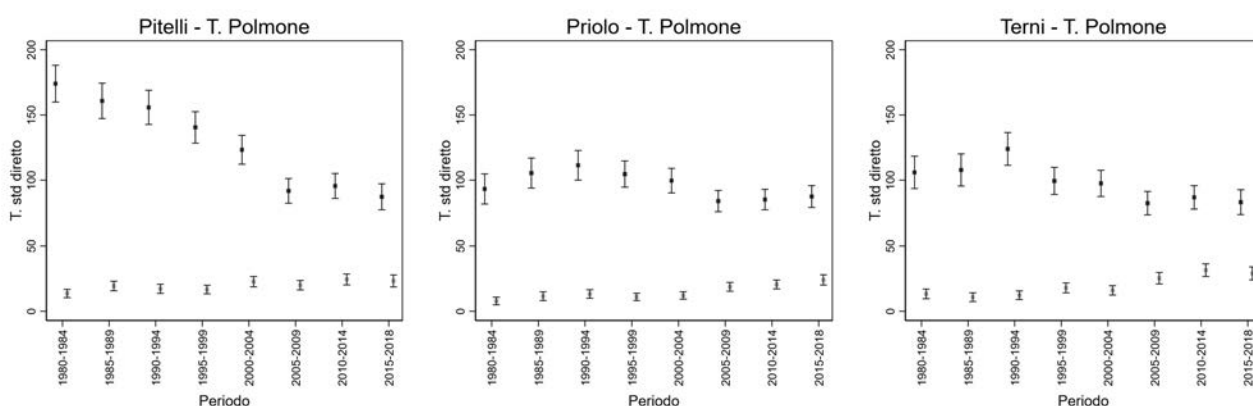


Figura 3. Andamenti per periodo di calendario dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tumore del polmone con popolazione standard Europa 2013 (Sabbia Femmine Rosso Maschi).

Figure 3. Comparison of mortality for lung cancer. Direct standardised rates. Reference: 2013 European population (Khaki Females Red Males).

zione con la mortalità che si riporta sui valori del riferimento per le coorti più giovani a Priolo, in aumento con rischio che tende a mostrare una maggior mortalità, in particolare nel genere femminile, rispetto al riferimento, per Terni (figura 9).

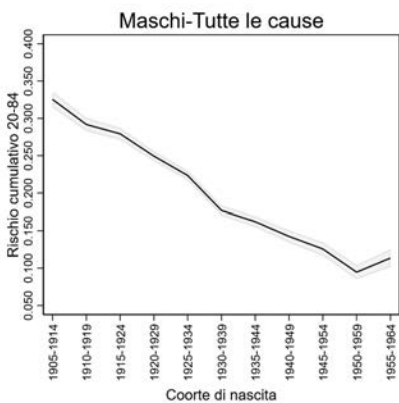
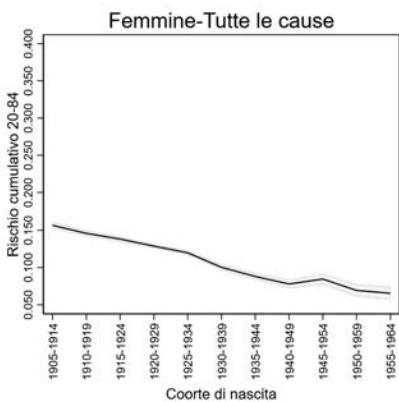
Valutazioni conclusive

Tutti i siti oggetto del piano di sorveglianza epidemiologica di SENTIERI sono aree nelle quali la contaminazione ambientale è stata valutata di entità tale da rappresentare un rischio per l'ambiente e la salute delle popolazioni ivi residenti. Tutti i siti, al momento della loro istituzione (intorno ai primi anni Duemila), sono stati definiti di interesse nazionale per le bonifiche ambientali. Attualmente, sono poche le aree per le quali le attività di bonifica sono terminate e, seppure sia presumibile che a partire dai primi anni Duemila l'introduzione di nuovi sistemi produttivi e di abbattimento delle emissioni abbia portato alla riduzione dei contaminanti emessi degli impianti, per i restanti siti non è possibile al momento individuare con precisione una data a partire dalla quale ci sia stata una dimi-

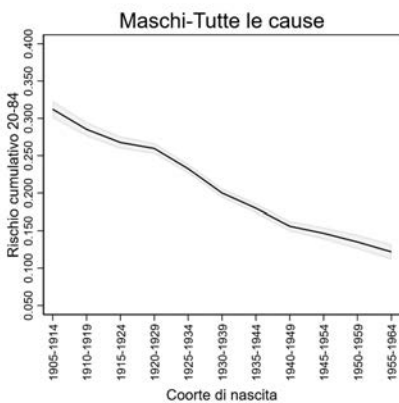
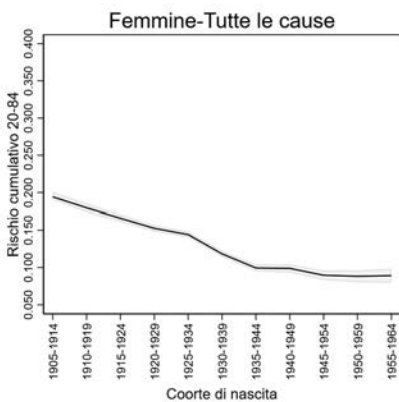
nuzione dell'esposizione a contaminanti ambientali e quando verranno completate le attività di bonifica.¹⁸ Tutti e tre i siti presi in considerazione in questo studio hanno almeno una delle fonti di contaminazione per la quale l'evidenza *a priori* di associazione con il tumore del polmone (la cui mortalità è stata analizzata come esempio per i modelli qui utilizzati) è stata definita limitata oppure sufficiente: petrolchimici e raffinerie, centrali elettriche, impianti siderurgici, fabbriche di cemento-amianto.¹⁹ L'analisi per periodo di calendario copre gli anni 1980-2018; quindi, tranne che per il sito di Pitelli, un periodo largamente successivo all'insediamento degli impianti. L'analisi degli andamenti per periodo di calendario dei tassi standardizzati di mortalità per tutte le cause mostra in tutti e tre i siti indagati e in entrambi i generi i grandi *trend* secolari di riduzione della mortalità osservati a livello nazionale. Anche per il tumore del polmone, si osservano le tendenze nazionali, in particolare la decrescita della mortalità negli uomini e il *trend* in aumento nelle donne.

Gli andamenti temporali degli SMR nei siti sono me-

Pitelli



Priolo



Terni

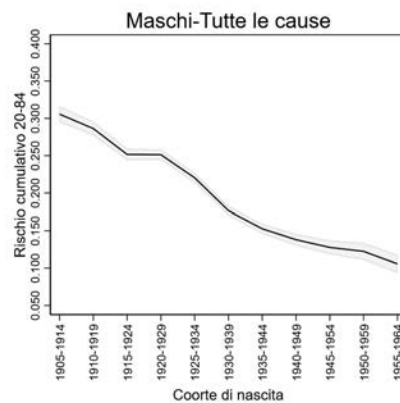
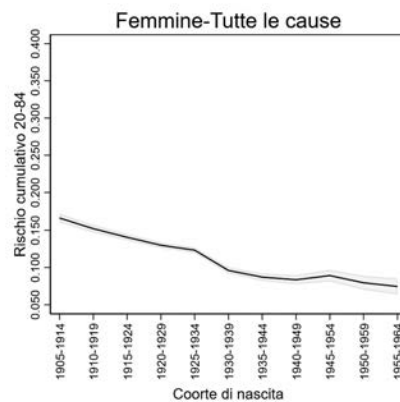
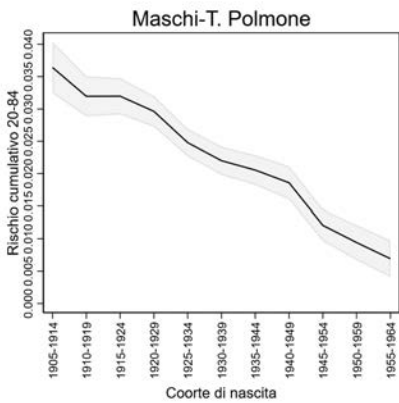
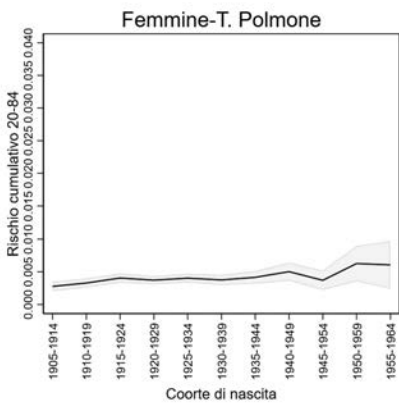
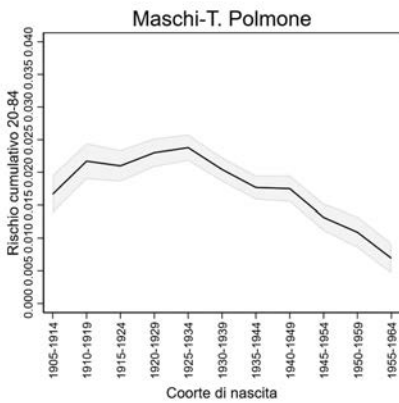
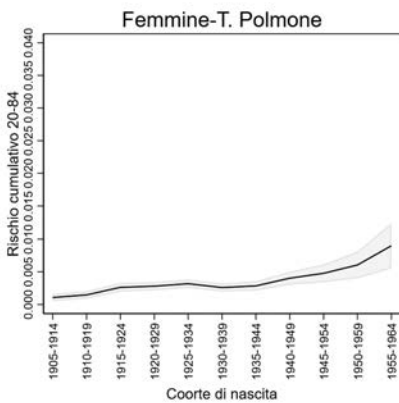


Figura 4. Andamento dei rischi cumulativi per coorte di nascita dei tassi standardizzati di mortalità per tutte le cause. Maschi e femmine.
Figure 4. Cumulative risk for all-cause mortality by birth cohort. Males and females.

Pitelli



Priolo



Terni

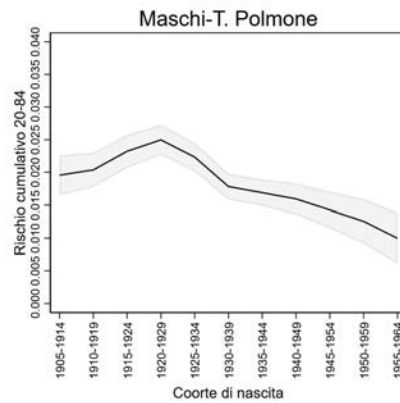
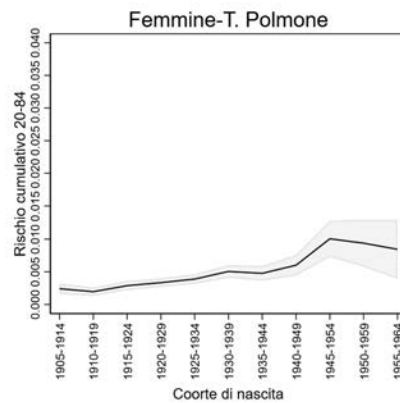


Figura 5. Andamento dei rischi cumulativi per coorte di nascita dei tassi standardizzati della mortalità per tumore del polmone. Maschi e femmine.
Figure 5. Cumulative risk for lung cancer mortality by birth cohort. Males and females.

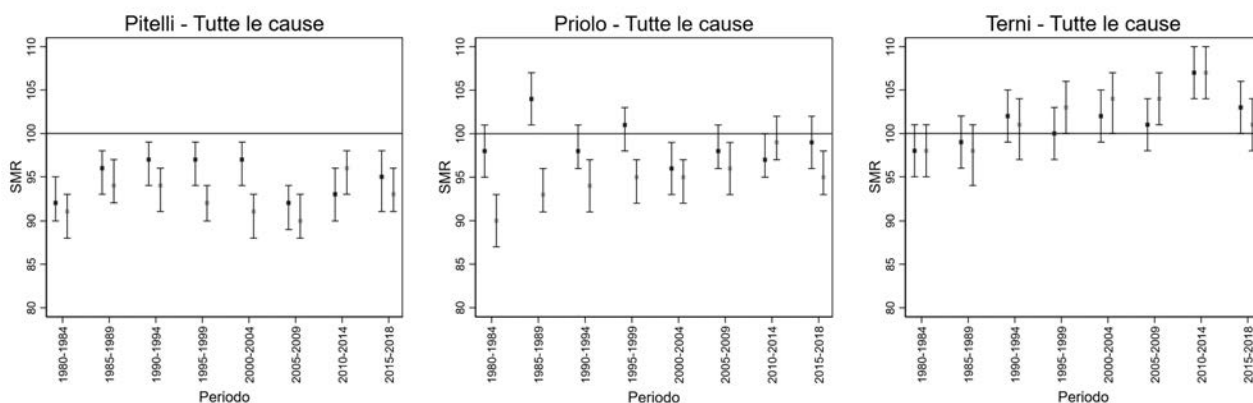


Figura 6. Andamenti per periodo di calendario dei rapporti standardizzati di mortalità per tutte le cause (SMR) con riferimento regionale specifico per periodo di calendario (Sabbia Femmine Rosso Maschi).

Figure 6. Mortality for all-causes. Sex- and cause-specific SMR%, according to calendar period and age class, regional reference (Khaki Females Red Males).

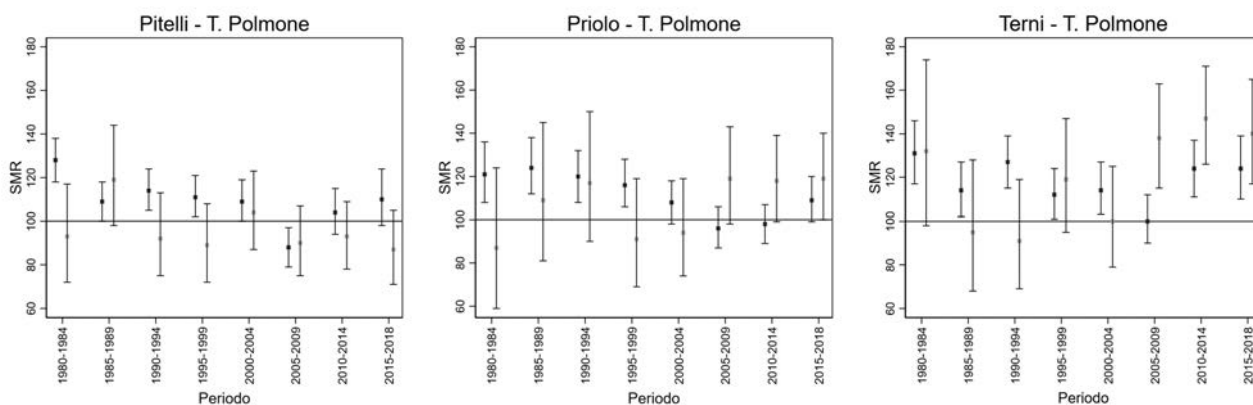


Figura 7. Andamenti per periodo di calendario dei rapporti standardizzati di mortalità per tumore del polmone (SMR) con riferimento regionale specifico per periodo di calendario (Sabbia Femmine Rosso Maschi).

Figure 7. Mortality for lung cancer. Sex- and cause-specific SMR%, according to calendar period and age class, regional reference (Khaki Females Red Males).

glio spiegati dalla coorte di nascita. Gli andamenti degli SMR per periodo di calendario sono difficilmente interpretabili rispetto ai periodi di insediamento degli impianti produttivi, fatta eccezione per gli SMR per tumore del polmone negli uomini residenti a Terni, dove si riscontra un incremento del rischio relativo rispetto alla media a partire dal 2010.

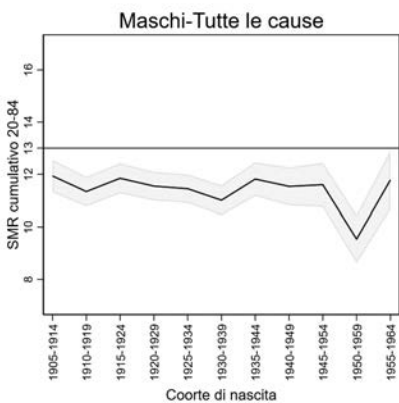
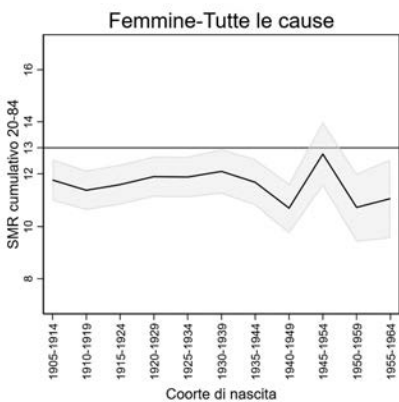
L'analisi per coorte di nascita permette di fare delle valutazioni compiute sulla storia e l'evoluzione che ha avuto la mortalità in questi contesti, perché si riesce a coprire il lasso temporale dal 1905 al 1964.

Per quanto riguarda il sito di Pitelli, dove le attività industriali, come riportate nella documentazione per le bonifiche, sono più recenti, con l'inizio delle principali attività nel 1978, non si osservano andamenti degli SMR cumulativi per coorte nascita che siano da mettere in relazione con il periodo relativo alle attività industriali. Assumendo che l'impatto possa aver avuto luogo a partire dalle coorti che avevano vent'anni al momento dell'inizio delle attività, si dovrebbe osservare un aumento dei rischi relativi per le coorti di na-

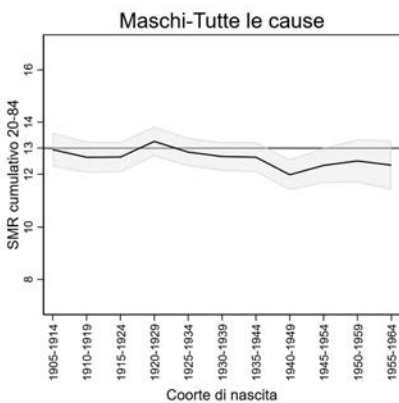
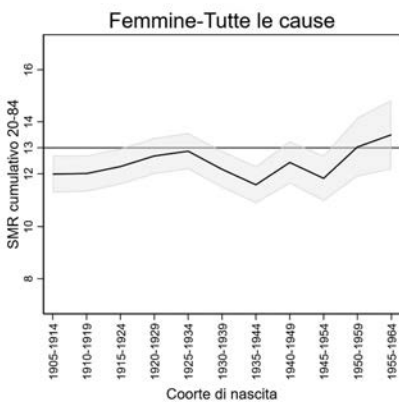
scita dal 1950-1959 in poi: si vede una leggera tendenza in questo senso per il tumore del polmone, ma con una grande incertezza statistica.

Nel sito di Priolo, l'attività industriale è attiva dal 1947. Rispetto agli andamenti temporali dei rischi relativi per la mortalità generale, l'asse temporale principale è la coorte di nascita. In entrambi i generi si riscontra un aumento del rischio relativo (SMR cumulativi) a partire dalle coorti nate nel periodo 1945-1954. Si nota, in particolare per la mortalità generale tra la popolazione femminile, un peggioramento del rischio della mortalità per tutte le cause a partire dalle nate dopo il 1950. Per il tumore del polmone negli uomini, si osserva una tendenza a riportarsi sulla media regionale per le coorti più giovani. L'andamento in crescita per il tumore del polmone si osserva dalle coorti di nascita dei primi anni del Novecento, decrescendo nelle coorti più giovani: in altre parole, gli SMR cumulativi per tumore del polmone sono al di sopra del livello di riferimento in tutte le coorti di nascita analizzate, anche se con un miglioramento per le coorti di nascita più

Pitelli



Priolo



Terni

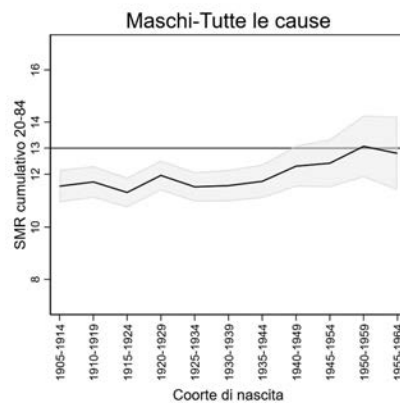
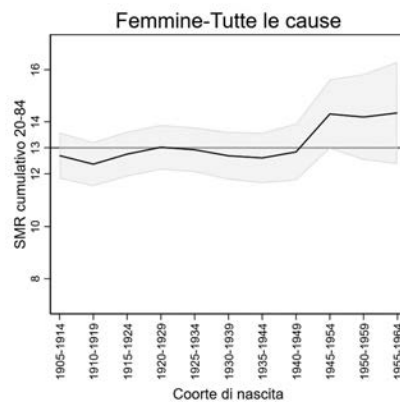
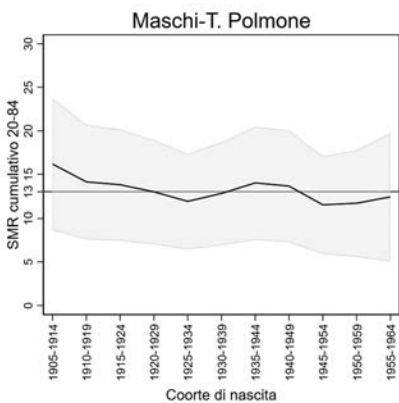
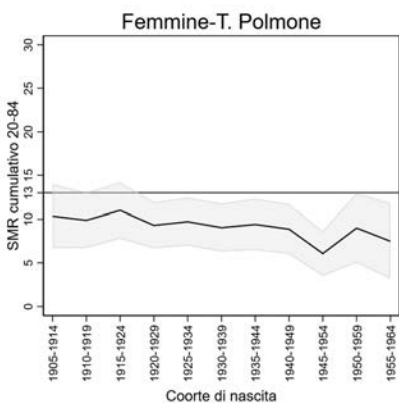
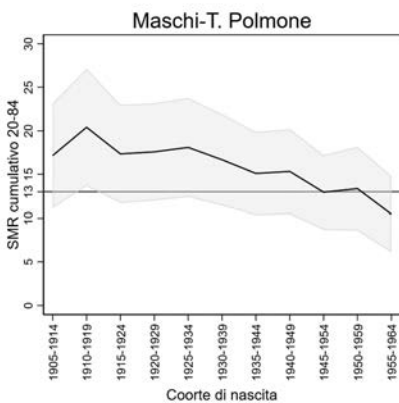
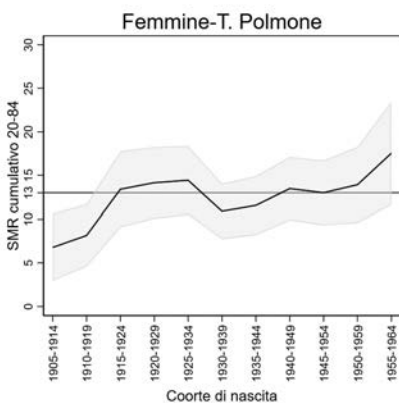


Figura 8. Andamento degli SMR cumulativi per coorte di nascita dei rapporti standardizzati di mortalità per tutte le cause. Maschi e femmine.
Figure 8. Cumulative SMR for all-cause mortality by birth cohort. Males and females.

Pitelli



Priolo



Terni

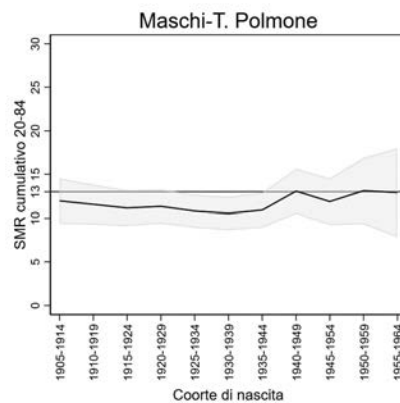
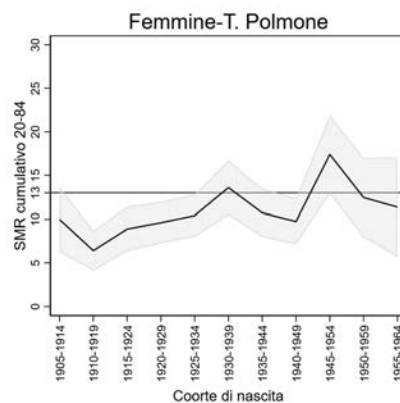


Figura 9. Andamento dei rischi cumulativi per coorte di nascita dei rapporti standardizzati della mortalità per tumore del polmone. Maschi e femmine.
Figure 9. Cumulative SMR for lung cancer mortality by birth cohort. Males and females.

recenti. Nelle donne, l'andamento per coorte di nascita è molto più incerto. Un effetto, pur con grande imprecisione, si osserva sia negli uomini sia nelle donne considerando le coorti che avevano vent'anni al momento dell'inizio delle attività.

Nel sito di Terni, le attività industriali sono iniziate a partire dal 1937 ed è quindi presumibile che molti soggetti siano stati esposti fin dalla nascita. Osservando l'andamento degli SMR per tutte le cause e per tumore del polmone per periodo di calendario, si iniziano a vedere scostamenti rispetto alla media a partire dagli ultimi periodi di osservazione, soprattutto nelle donne. L'andamento degli SMR cumulati di mortalità per tutte le cause per coorte di nascita mostra un aumento del rischio relativo nelle donne nate dopo il 1950, mentre per il tumore polmonare, sempre nelle donne, compare una tendenza all'aumento soprattutto per le nate dopo il 1954. Negli uomini, questa tendenza, pur presente, è molto più sfumata.

Per generalizzare, l'andamento dei tassi per classe di età che si ritiene più appropriato a riflettere la storia naturale della malattia è quello longitudinale, ottenuto cioè seguendo una popolazione omogeneamente esposta nel tempo. In questo senso, il profilo dei tassi specifici per età che si ottiene nell'analisi per coorte di nascita (profilo longitudinale) potrebbe essere preferito rispetto al profilo dei tassi specifici per età che si ottiene nell'analisi per periodo di calendario, dato che ogni classe di età in quel caso si riferisce a coorti di nascita diverse. L'analisi per coorte di nascita si adatta, quindi, a patologie con differenti profili per età, non essendo ristretta a situazioni oncologiche (si veda, per

esempio, il caso del diabete di tipo I in età infantile in Bruno et al., 2013).²⁰

Nel caso di esposizioni ambientali, le analisi per coorte di nascita sono utili per chiarire eventuali differenze di rischio a svantaggio delle popolazioni più giovani e per mettere in evidenza effetti a lungo termine che continuano a verificarsi nell'intero arco di vita delle popolazioni esposte.

Come è stato spiegato nella sezione «Metodi», la finalità di questo lavoro è di mostrare le potenzialità e l'importanza di un'analisi temporale per coorte di nascita nello studio dei profili di salute delle popolazioni residenti nei siti analizzati nel progetto SENTIERI. A scopo esemplificativo, sono stati scelti tre siti e riportate le analisi relative alla mortalità generale e al tumore del polmone. La metodologia è estendibile alla maggior parte dei siti e delle cause di morte o di ospedalizzazione analizzate in SENTIERI e ad altre indagini di epidemiologia descrittiva su lunghi periodi temporali, fatto salvo il caso in cui le frequenze siano piccole e con molti zeri campionari.

In conclusione, in questo lavoro si è mostrato come l'analisi degli andamenti temporali, in particolare l'analisi per coorte di nascita, per la profondità temporale che consente di avere, sia un approccio che, seppur nella sua complessità di interpretazione, permette una lettura più specifica delle interazioni esistenti fra le possibili esposizioni e le ricadute in termini di rischi sanitario nelle popolazioni residenti nei siti contaminati di interesse per le bonifiche.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

- Pirastu R, Iavarone I, Pasetto R, Zona A, Comba P, SENTIERI Working Group. 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.
- 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(2) Suppl 1:1-170.
- Zona A, Pasetto R, Fazzo L et al.. SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento: Quinto rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl 1:1-206.
- MacMahon B, Pugh TF. *Epidemiologic Methods*. Boston, Little, Brown, 1960; riedito col titolo: *Epidemiology: Principles and Methods*. Boston, Little, Brown, 1970.
- Lilienfeld AM, Lilienfeld D. *Foundations of epidemiology*. New York, Oxford University Press, 1980.
- Clayton D, Schifflers E. Models for temporal variation in cancer rates. I: Age-period and age-cohort models. *Stat Med* 1987;6(4):449-67.
- World Health Organization. *International statistical classification of diseases and related health problems, 10th revision, 5th edn, vol 1*. Geneva: World Health Organization, 2016.
- World Health Organization. *International classification of diseases, 9th revision*. Geneva: World Health Organization, 1978.
- Istat. *Analisi del bridge coding ICD-9-ICD-10 per le statistiche di mortalità per causa in Italia. Metodi e Norme n. 50*. Roma, Istat, 2011.
- La Serra V, Pasetto R, Manno V, Iavarone I, Jona Lasinio G, Minelli G. Exploring methods for the assessment of temporal trends in mortality and hospitalization in Italian industrially contaminated sites. *Ann Ist Super Sanita* 2021;57(2):183-92.
- Fox J. *Nonparametric Regression Appendix to An R and S-PLUS Companion to Applied Regression*. Preprint. 2022.
- Non andrebbero usati gli stessi simboli per i coefficienti di regressione dei modelli relativi ai tassi e agli SMR. La scelta dell'uso della stessa simbologia è stata effettuata per non appesantire la notazione, in quanto il significato dei parametri risulta chiaro dal contesto.
- Schwarz G. Estimating the Dimension of a Model. *Ann Stat* 1978;6(2):461-64.
- Revision of the European standard population. Report of the Eurostat's task force. 2013 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
- Breslow NE, Day NE. Indirect standardization and multiplicative models for rates, with reference to the age adjustment of cancer incidence and relative frequency data. *J Chronic Dis* 1975;28(5-6):289-303.
- Breslow NE, Day NE. *Statistical methods in cancer research. Volume II - the design and analysis of cohort studies*. IARC Sci Publ 1987;(82):1-406.
- Oehlert GW. A note on the delta method. *American Statistician* 1992;46:27-29.
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/siti-contaminati>
- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2): Suppl 1:1-286.
- Bruno G, Maule M, Biggeri A et al. More than 20 years of registration of type 1 diabetes in Sardinian children: temporal variations of incidence with age, period of diagnosis, and year of birth. *Diabetes* 2013;62(10):3542-46.

Stime globali della mortalità e ospedalizzazione nei siti contaminati italiani inclusi nel progetto SENTIERI

Global evaluation of the mortality and hospitalization in the Italian contaminated sites included in the SENTIERI project

Lucia Fazzo,^{1,2} Fabrizio Minichilli,³ Valerio Manno,⁴ Ivano Iavarone,^{1,2} Marta Benedetti,^{1,2} Paolo Contiero,⁵ Alice Maraschini,⁴ Giada Minelli,⁴ Roberto Pasetto,^{1,2} Paolo Ricci⁶

¹ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

² WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

³ Unità di ricerca di epidemiologia ambientale e registri di patologia, Istituto di fisiologia clinica, Consiglio nazionale delle ricerche, Pisa

⁴ Servizio di statistica, Istituto superiore di sanità, Roma

⁵ Unità di epidemiologia ambientale, Fondazione IRCCS Istituto nazionale dei tumori, Milano

⁶ già UOC Osservatorio epidemiologico, ATS Val Padana, Mantova

Corrispondenza: Lucia Fazzo; lucia.fazzo@iss.it

Riassunto

Dal 2006, in Italia è in corso una sorveglianza epidemiologica delle popolazioni residenti nei siti contaminati (Progetto SENTIERI). Viene qui presentato l'aggiornamento delle stime globali della mortalità (2013-2017) e dell'ospedalizzazione (2014-2018).

Sono stati calcolati i decessi in eccesso (osservati-attesi) nell'insieme dei 46 siti per i grandi gruppi di patologie. Attraverso una metanalisi a effetti random dei rapporti standardizzati di mortalità (SMR) e di ospedalizzazione (SHR) sono stati stimati gli SMR/SHR *pooled* per l'insieme dei siti e loro raggruppamenti.

Nei 46 siti, sono stati stimati 8.342 decessi in eccesso (1.668/anno), 4.353 maschi e 3.989 femmine, con un eccesso di rischio del 2% in entrambi i generi. L'ospedalizzazione per tutte le cause è in eccesso del 3%. Questi eccessi sono ascrivibili maggiormente ai tumori maligni. In sottogruppi di siti, si sono osservati in entrambi i generi SMR *pooled* in eccesso per i mesoteliomi totali e pleurici e i tumori polmonari e del colon retto.

Gli SHR *pooled* per tutte le cause sono in eccesso nel primo anno di vita (+8%) e nelle classi 0-19 e 20-29 anni (+3-5%); non si rilevano eccessi di mortalità nelle sottoclassi 0-29 anni.

Parole chiave: siti contaminati, stime globali, metanalisi, mortalità, ospedalizzazione

Abstract

Since 2006, epidemiological surveillance of populations living in Italian contaminated sites has been ongoing (SENTIERI Project). Updated global estimates of mortality (2013-2017) and hospitalization (2014-2018) are reported.

The excess deaths (observed-expected) for the main

Cosa si sapeva già

- Per il periodo 1995-2002, era stata stimata complessivamente in 44 siti contaminati una sovramortalità di 9.960 decessi (1.423/anno), con un eccesso di rischio di circa il 2% rispetto al resto della popolazione.
- Il Rapporto SENTIERI del 2019 ha messo in evidenza un eccesso globale di 11.992 decessi nel periodo 2006-2013, pari a circa 1.499 decessi in eccesso/anno, e di 2.645 casi di tumori in 5 anni.

Cosa si aggiunge di nuovo

- Nella popolazione dei 46 siti contaminati investigati da SENTIERI, nel periodo 2013-2017 sono stati stimati globalmente 8.342 decessi in eccesso (1.668/anno) rispetto al resto della popolazione, pari a un eccesso di rischio del 2%, e un eccesso di rischio di ospedalizzazione del 3% nel periodo 2014-2018.
- Nelle sottoclassi 0-29 anni non si rilevano scostamenti significativi della mortalità rispetto all'atteso.
- L'ospedalizzazione per tutte le cause è in eccesso nel primo anno di vita (+8%) e nelle classi 0-19 e 20-29 anni.

groups of diseases were calculated for all the 46 sites together. Through a random-effect meta-analysis of the standardized mortality and hospitalization rates (SMR/SHR), the pooled SMR/SHR for all the sites and their groupings were estimated.

In the 46 sites, 8,342 exceeding deaths (1,668/year) were estimated, 4,353 in males and 3,989 in females, resulting in an excess risk of 2% in both genders. The risk of hospitalization for all causes was in excess of 3%. These excesses are mainly attributable to malignant tumours. In subgroups of sites, exceeding SMRs were observed for all mesotheliomas and pleural mesotheliomas, lung and colorectal cancers in both genders. SHR for all causes were observed in excess in the first year of life (+8%), in the group 0-19 and 20-29 years (+3-5%); no excesses of mortality were observed in the group 0-29 years.

Keywords: contaminated sites, global estimates, meta-analyses, mortality, hospitalization

Introduzione

Dal 2006, in Italia è in corso un piano di sorveglianza epidemiologica delle popolazioni residenti nei siti contaminati di interesse nazionale, il Progetto SENTIERI (Studio Epidemiologico Nazionale Territori e Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento). I siti oggetto della sorveglianza sono le aree definite di interesse nazionale per le bonifiche (DM 471/99), per alcune delle quali successivamente le opere di bonifica sono state attribuite alle Regioni (Legge 134/2012).

Nei Rapporti periodici di SENTIERI viene fornito il profilo di salute delle popolazioni residenti in ciascun sito, con un particolare focus sulle patologie che riconoscono tra i possibili fattori di rischio l'esposizione a sostanze emesse dalle fonti di contaminazione ambientale presenti sul territorio, le cosiddette *patologie a priori*. Lo studio è di tipo ecologico a livello comunale e, per ognuno dei siti, vengono fornite le stime di rischio calcolate sull'insieme dei Comuni inclusi nel sito, rispetto alle popolazioni di riferimento opportunamente selezionate.

L'ultimo aggiornamento ha analizzato la mortalità e l'ospedalizzazione relative, rispettivamente, agli anni 2013-2017 e 2014-2018 sull'insieme delle età e nelle sottoclassi pediatrico-adolescenziali e giovanili e la prevalenza delle anomalie congenite per i periodi di osservazione disponibili presso i Registri regionali.¹

I siti sono molto eterogenei per caratteristiche demografiche, territoriali e ambientali. La maggior parte di essi sono caratterizzati dalla presenza di diverse fonti di contaminazione ambientale, classificate da SENTIERI in: amianto, aree portuali, industrie chimiche, discariche, centrali elettriche, inceneritori, petrolchimici/raffinerie, impianti siderurgici e miniere.²

Le valutazioni globali della mortalità nel periodo 1995-2002 avevano messo in luce, rispetto al resto della popolazione, una sovramortalità di circa 9.960 casi in eccesso (1.423/anno), con un eccesso di rischio pari a circa il 2%.³ Successivamente, sono stati pubblicati due studi metanalitici delle stime prodotte nell'ambito di SENTIERI: il primo sulla mortalità nei siti con discariche di rifiuti industriali e di smaltimento abusivo,⁴ il secondo sull'ospedalizzazione per specifiche patologie renali nei siti contaminati da metalli pesanti e solventi.⁵ Il Rapporto del 2019 ha riportato un eccesso globale di 11.992 decessi nel periodo 2006-2013, pari a circa 1.499 decessi in eccesso/anno, e di 2.645 casi di tumori in 5 anni.⁶ Il presente contributo riporta le valutazioni globali del carico di mortalità (numero di deceduti in eccesso) e le stime di rischio *pooled* di mortalità e ospedalizzazione nell'insieme delle popolazioni residenti nei siti contaminati italiani, rispetto al resto della popolazione, svolte sulla base dei dati dell'ultimo aggiornamento di

SENTIERI del 2023.¹ Questo approccio ha l'obiettivo di stimare gli eccessi di rischio che l'insieme delle popolazioni residenti in queste aree esperiscono rispetto alle popolazioni di riferimento.

Metodi

Sulla base dei dati elaborati in SENTIERI per ciascun sito, è stata analizzata la mortalità per il periodo 2013-2017, considerando le cause principali di decesso, codificate secondo la decima revisione della classificazione internazionale delle cause di morte (ICD-10); l'analisi dell'ospedalizzazione ha riguardato il periodo 2014-2018, prendendo in esame le diagnosi principali riportate nelle schede di dimissione ospedaliera, codificate secondo la classificazione internazionale denominata ICD-9-CM (International Classification of Diseases - Ninth revision - Clinical Modification). Le fonti dei dati per entrambe le analisi sono state le banche dati nazionali di mortalità e ospedalizzazione elaborate dal Servizio di statistica dell'Istituto superiore di sanità, basate, rispettivamente, sull'indagine delle cause di morte dell'Istituto nazionale di statistica (Istat) e sui dati del Ministero della salute.

Nelle tabelle S1 e S2 (vedi materiale supplementare online) sono riportate le cause analizzate, con i relativi codici di classificazione.

Sono stati calcolati i rapporti standardizzati di mortalità (SMR) e di ospedalizzazione (SHR) *pooled* e il numero di decessi in eccesso nell'insieme dei siti, in base ai dati elaborati in SENTIERI per la popolazione di tutte le età e per le sottoclassi dell'età pediatrico-adolescenziale (0-1 anno e 0-19 anni) e giovanile (20-29 anni). Il numero dei casi attesi di mortalità e di ospedalizzazione nei singoli siti è stato stimato sulla base della popolazione della Regione di appartenenza del sito, escludendo i residenti nei siti indagati in SENTIERI.¹

Metanalisi SMR/SHR

Sono state eseguite analisi metanalitiche degli SMR e SHR di ciascun sito con il software STATA 15,⁷ applicando il modello a effetti random.⁸ Nelle metanalisi degli studi ecologici, l'eterogeneità tra gli studi, in questo caso le analisi dei singoli siti, è spesso elevata e questo modello permette di tenerne conto in maniera idonea, riducendone il possibile *bias*.⁸ Si forniscono gli SMR/SHR *pooled*, con gli intervalli di confidenza al 90% (IC90%) e i valori della statistica I^2 , che descrive la percentuale di variazione tra gli studi dovuta alla loro eterogeneità. Per mostrare il grado di eterogeneità, è stata utilizzata la scala proposta da Higgins: bassa (I^2 25%-50%), media (I^2 50%-75%), alta (I^2 >75%).⁹

Gli SMR/SHR *pooled* per i principali gruppi di patologie (tutte le cause, tutti i tumori maligni, malattie del

sistema circolatorio, degli apparati respiratorio, digerente e urinario) sono stati calcolati includendo le stime di tutti i 46 siti, al fine di fornire un profilo di salute complessivo delle popolazioni indagate. Inoltre, sono state elaborate specifiche analisi per le patologie che riconoscono tra i possibili fattori di rischio l'esposizione a sostanze emesse dalle fonti di contaminazione ambientale presenti sui territori con un'evidenza definita sufficiente o limitata in base alla letteratura, le cosiddette *patologie a priori*.¹⁰ Sono stati, quindi, elaborati gli SMR/SHR *pooled* per ogni *patologia a priori*, considerando il gruppo di siti con le fonti di esposizione ambientale la cui evidenza di associazione specifica per ogni patologia è stata definita sufficiente o limitata.¹⁰ La mortalità per l'insieme dei tumori del tessuto linfoematopoietico non è stata analizzata, visto che un solo sito (Massa Carrara) include un inceneritore, unico impianto con evidenza *a priori* di associazione definita limitata. La tabella S2 riporta, per ogni *patologia a priori* considerata, le fonti di esposizione la cui associazione è stata valutata sufficiente o limitata e i relativi siti.

Casi in eccesso

Per i grandi gruppi di patologie, è stato calcolato il numero di decessi in eccesso nell'insieme dei siti, in termini di sommatoria della differenza tra i casi osservati e i casi attesi in ciascun sito. Accanto al valore puntuale, viene fornito l'IC90%. L'analisi è stata svolta con il software STATA 11.

Risultati Tutte le età

Nell'insieme dei 46 siti, si osservano eccessi di mortalità per tutte le cause, per tutti i tumori maligni e per le malattie dell'apparato digerente in entrambi i generi; nei primi due casi, le stime sono caratterizzate da un'elevata eterogeneità ($I^2 > 70\%$), mentre per le malattie dell'apparato digerente l'eterogeneità è medio-bassa (tabella 1).

L'ospedalizzazione è in eccesso in entrambi i generi per l'insieme di tutte le cause e per tutti i gruppi di malattie analizzati. Le stime *pooled* derivano da stime estremamente eterogenee, con I^2 sempre superiore all'85% (tabella 2).

Le figure da S1 a S12 (vedi materiale supplementare online) riportano i *forest plot* delle metanalisi della mortalità e dell'ospedalizzazione per i grandi gruppi di patologie sulla popolazione di tutte le età.

Nella tabella 3 sono riportati i decessi in eccesso (sommatoria della differenza tra i casi osservati e i casi attesi) stimati nell'insieme dei 46 siti. Il numero di decessi è in eccesso in entrambi i generi complessivamente

e per i grandi gruppi di cause; le patologie dell'apparato urinario sono in difetto. Nel periodo analizzato, si sono stimati complessivamente 8.342 decessi in eccesso (IC90% 1.875-14.809), dei quali 4.665 per tumore maligno. Tra le malattie non oncologiche, quelle del sistema circolatorio hanno fatto registrare un maggior numero di casi in eccesso, pari a 1.122 decessi, anche se la stima è incerta; i deceduti per malattie dell'apparato digerente sono in eccesso sia tra i maschi (+246 decessi) sia tra le femmine (+355 decessi).

La figura 1 mostra la distribuzione per gruppi di cause del numero dei decessi osservati (figura 1A) e del numero dei decessi in eccesso (osservati meno attesi) (figura 1B) per l'insieme dei 46 siti. La proporzione dei decessi per cause tumorali passa dal 28% dei casi osservati al 56% dei casi in eccesso. Per quanto riguarda le patologie del sistema circolatorio, si passa dal 36% nei casi osservati al 13% in quelli in eccesso.

La tabella 4 riporta gli SMR *pooled* per le *patologie a priori* in gruppi di siti con fonti di esposizione specifiche. La mortalità per tutti i tumori maligni è in eccesso del 4% tra i maschi e del 5% tra le femmine. In particolare, sono in eccesso in entrambi i generi i mesoteliomi totali e pleurici e i tumori polmonari e del colon retto; la mortalità per il tumore della vescica è in eccesso tra i soli maschi, mentre nelle sole donne è in eccesso il tumore della mammella. Tutti gli SMR in eccesso sono caratterizzati da un'elevata eterogeneità ($I^2 > 70\%$), tranne quelli relativi al tumore del colon retto, che hanno un'eterogeneità media (I^2 intorno al 50%) (tabella 4).

Le figure da S13 a S29 (vedi materiale supplementare online) riportano i *forest plot* delle metanalisi della mortalità per le patologie *a priori* svolte sulla popolazione di tutte le età.

Sottoclassi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili

Nella tabella 5 sono riportati gli SMR *pooled* per i 46 siti relativi al primo anno di vita e alle classi di età pediatrico-adolescenziale (0-19 anni) e giovanile (20-29 anni) sull'insieme dei due generi. Gli SMR per tutte le cause, per le condizioni morbose di origine perinatale e per tutti i tumori maligni in tutte le fasce di età sono in difetto, con una bassa eterogeneità (I^2 0%-47%).

La tabella 6 riporta gli SHR *pooled* per le sottoclassi di età analizzate.

Nel primo anno di vita, in entrambi i generi si rileva un eccesso di ricoverati dell'8% per tutte le cause naturali e di circa il 20% per le condizioni morbose di origine perinatale, con un'eterogeneità estremamente alta tra le singole stime ($I^2 > 94\%$). L'ospedalizzazione per tutti i tumori maligni nel primo anno di vita è in difetto, sebbene con stime incerte.

Causa di morte	Maschi			Femmine		
	OSS (n.)	SMR pooled (IC90%)	I ²	OSS (n.)	SMR pooled (IC90%)	I ²
Tutte le cause	152.631	1,02 (1,00-1,04)	92%	165.452	1,02 (1,00-1,04)	94%
Tutti i tumori maligni	49.961	1,04 (1,01-1,06)	84%	39.107	1,03 (1,01-1,05)	80%
Malattie del sistema circolatorio	49.716	1,01 (0,99-1,04)	88%	65.204	1,01 (0,98-1,04)	95%
Malattie dell'apparato respiratorio	12.256	0,99 (0,95-1,03)	82%	10.678	0,97 (0,93-1,01)	75%
Malattie dell'apparato digerente	5.935	1,03 (1,01-1,05)	33%	6.216	1,04 (1,02-1,07)	58%
Malattie dell'apparato urinario	2.620	0,96 (0,93-1,00)	40%	3.213	0,95 (0,89-1,01)	64%

OSS: casi osservati / *observed cases*; **IC90%:** intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*; **I²:** test di eterogeneità statistica / *statistical test for heterogeneity*

Tabella 1. Mortalità per i principali gruppi di cause: rapporti standardizzati di mortalità (SMR) *pooled* per i 46 siti, per genere. Anni 2013-2017.
Table 1. Mortality for the main groups of causes of death: pooled standardized mortality ratios (SMR) in the 46 contaminated Italian contaminated sites, by gender. Years 2013-2017.

Causa di ricovero	Maschi			Femmine		
	OSS (n.)	SHR pooled (IC90%)	I ²	OSS (n.)	SHR pooled (IC90%)	I ²
Tutte le cause	927.826	1,03 (1,01-1,04)	98%	961.539	1,03 (1,01-1,05)	99%
Tutti i tumori maligni	113.062	1,04 (1,02-1,05)	86%	103.877	1,04 (1,02-1,05)	87%
Malattie del sistema circolatorio	234.186	1,02 (1,00-1,04)	95%	185.085	1,03 (1,01-1,06)	97%
Malattie dell'apparato respiratorio	137.860	1,02 (0,99-1,04)	96%	116.209	1,03 (1,00-1,06)	97%
Malattie dell'apparato digerente	194.043	1,03 (1,01-1,06)	97%	154.171	1,06 (1,03-1,08)	97%
Malattie dell'apparato urinario	60.638	1,05 (1,01-1,08)	96%	44.927	1,03 (0,99-1,07)	96%

OSS: casi osservati / *observed cases*; **IC90%:** intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*; **I²:** test di eterogeneità statistica / *statistical test for heterogeneity*

Tabella 2. Ospedalizzazione per i principali gruppi di cause: rapporti standardizzati di ospedalizzazione (SHR) *pooled* per i 46 siti, per genere. Anni 2014-2018.
Table 2. Hospitalization for the main groups of causes: pooled standardized hospitalization ratios (SHR) in the 46 contaminated Italian contaminated sites, by gender. Years 2014-2018.

Causa di morte	Genere	Casi Osservati	Casi attesi	Casi in eccesso (osservati-attesi)	
				Casi (n.)	(IC90%)
Mortalità generale	maschi	152.631	148.278	4.353	(334; 8.372)
	femmine	165.452	161.463	3.989	(-1.122; 9.101)
	totali	318.083	309.741	8.342	(1.875; 14.809)
Tutti i tumori maligni	maschi	49.961	47.147	2.814	(884; 4.744)
	femmine	39.107	37.256	1.851	(613; 3.089)
	totali	89.068	84.403	4.665	(2.379; 6.952)
Malattie del sistema circolatorio	maschi	49.716	49.121	595	(-936; 2.126)
	femmine	65.204	64.677	527	(-2.264; 3.318)
	totali	114.920	113.798	1.122	(-2.043; 4.288)
Malattie dell'apparato respiratorio	maschi	12.256	12.118	138	(-448; 725)
	femmine	10.678	10.641	37	(-357; 430)
	totali	22.934	22.759	175	(-528; 878)
Malattie dell'apparato digerente	maschi	5.935	5.689	246	(42; 451)
	femmine	6.216	5.861	355	(79; 630)
	totali	12.151	11.550	601	(259; 942)
Malattie dell'apparato urinario	maschi	2.620	2.645	-25	(-144; 95)
	femmine	3.213	3.270	-57	(-267; 152)
	totali	5.833	5.915	-82	(-322; 158)

IC90%: intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*

Tabella 3. Mortalità per i principali gruppi di cause: decessi in eccesso nei 46 siti, per genere. Anni 2013-2017.
Table 3. Mortality for the main groups of causes of death: exceeding deaths in the 46 Italian contaminated sites, by gender. Years 2013-2017.

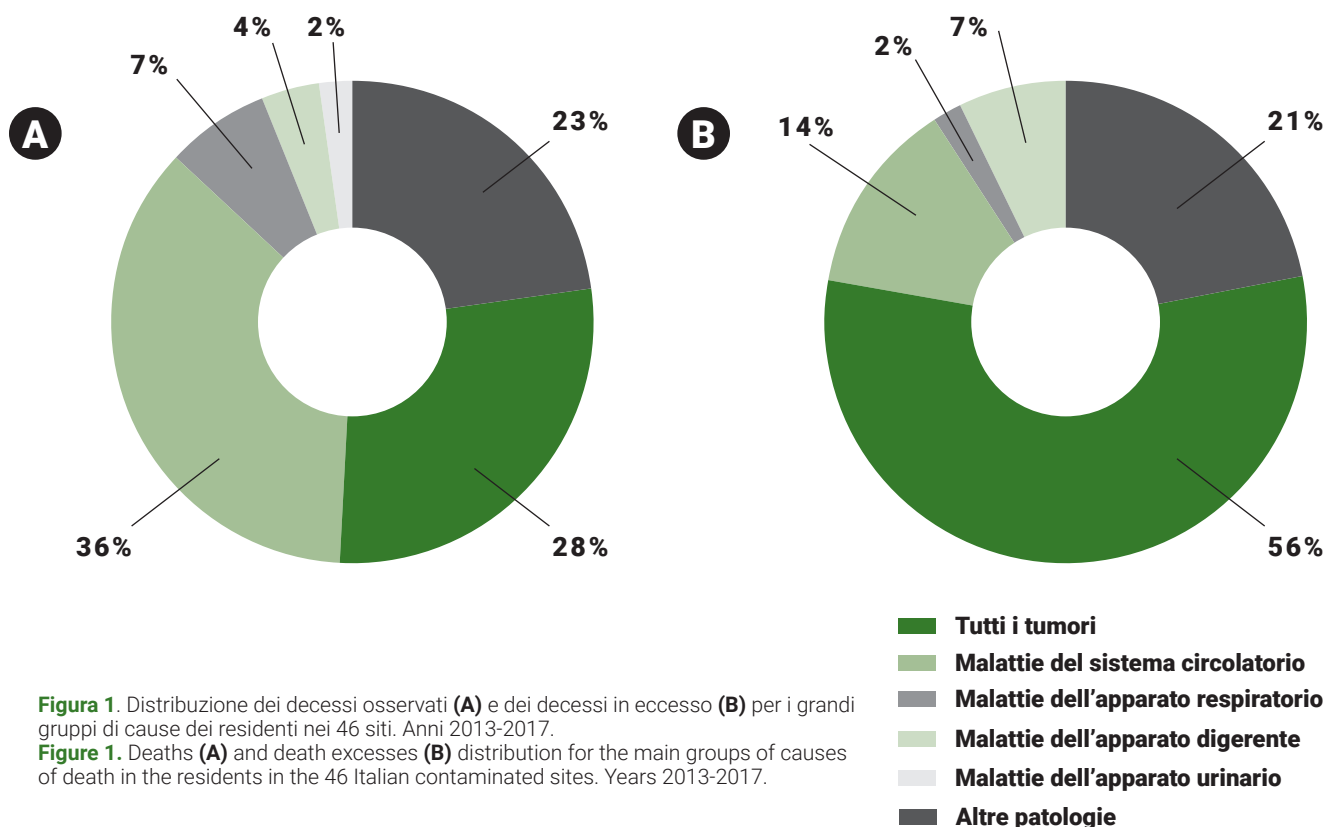


Figura 1. Distribuzione dei decessi osservati (A) e dei decessi in eccesso (B) per i grandi gruppi di cause dei residenti nei 46 siti. Anni 2013-2017.
Figure 1. Deaths (A) and death excesses (B) distribution for the main groups of causes of death in the residents in the 46 Italian contaminated sites. Years 2013-2017.

Causa	Fonti di esposizione con associazione a priori	Maschi		Femmine	
		SMR (IC90%)	I ²	SMR (IC90%)	I ²
Tutti i tumori maligni	E, I, M, P&R, S	1,04 (1,02-1,07)	79%	1,05 (1,02-1,08)	77%
Tumori maligni dello stomaco	C, I	0,93 (0,89- 0,98)	33%	0,92 (0,87-0,97)	21%
Tumori maligni del colon retto	C, M	1,04 (1,01-1,08)	42%	1,03 (1,00-1,07)	55%
Tumori maligni del fegato e dei dotti biliari intraepatici	D, I, M	1,00 (0,93- 1,08)	70%	1,04 (0,93-1,15)	70%
Tumori maligni di trachea, bronchi e polmone	A, E, I, M, P&R, S	1,06 (1,03-1,10)	59%	1,07 (1,00-1,13)	65%
Mesoteliomi	A	3,02 (2,18-3,87)	91%	3,61 (2,33-4,88)	87%
Mesoteliomi pleurici	A, AP	2,47 (1,94-3,00)	88%	2,43 (1,67-3,19)	79%
Tumori maligni del tessuto connettivo e di altri tessuti molli	I, P&R, S	0,59 (0,41-0,76)	41%	0,52 (0,34-0,70)	2%
Tumori maligni della mammella	D, I, P&R, S	0,73 (0,45-1,00)	0%	1,06 (1,01-1,10)	64%
Tumori maligno dell'ovaio	A			1,00 (0,93-1,08)	37%
Tumori maligno della prostata	S	1,00 (0,93-1,07)	0%		
Tumori maligno del testicolo	D	0,53 (0,29-0,77)	0%		
Tumori maligni del rene	S	0,95 (0,84-1,05)	0%	1,03 (0,87-1,18)	0%
Tumori maligni della vescica	D	1,06 (1,02-1,11)	50%	1,00 (0,92-1,09)	19%
Linfomi non Hodgkin	D, I, S	1,05 (0,99-1,11)	0%	0,97 (0,91-1,03)	35%
Leucemie	I, M, P&R, S	0,95 (0,89-1,02)	8%	1,00 (0,92-1,08)	29%
Malattie dell'apparato respiratorio	AP, C, D, E, M, P&R, S	0,98 (0,94-1,03)	81%	0,97 (0,93-1,01)	75%

IC90%: intervallo di confidenza al 90% / 90% confidence interval; **I²:** test di eterogeneità statistica / statistical test for heterogeneity; **A:** amianto / asbestos, **AP:** area portuale / harbour area; **C:** chimico / chemical; **D:** discarica / landfill; **E:** centrale elettrica / power plant; **I:** inceneritore / incinerator; **M:** miniere / mines; **P&R:** petrolchimico/raffineria / petrochemical plant/refinery; **S:** siderurgico / iron and steel plant

Tabella 4. Mortalità per patologie a priori: rapporti standardizzati di mortalità (SMR) pooled per gruppi di siti (fonti di esposizione ambientale) e genere. Anni 2013-2017.

Table 4. Mortality for the a priori diseases: pooled standardized mortality ratios (SMR), by groups of Italian contaminated sites (environmental exposure sources) and gender. Years 2013-2017.

Causa	Età (anni)	OSS	SMR pooled (IC 90%)	I ²
Tutte le cause naturali	0-1	728	0,91 (0,84-0,97)	47%
	0-19	1.411	0,96 (0,91-1,00)	25%
	20-29	1.006	0,90 (0,85-0,95)	0%
Condizioni morbose di origine perinatale	0-1	415	0,86 (0,78-0,95)	20%
Tutti i tumori maligni	0-19	175	0,83 (0,70-0,97)	0%
	20-29	207	0,90 (0,77-1,03)	0%

OSS: casi osservati / *observed cases*; **IC90%:** intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*; **I²:** test di eterogeneità statistica / *statistical test for heterogeneity*

Tabella 5. Mortalità per i principali gruppi di cause nelle sottoclassi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili: rapporti standardizzati di mortalità (SMR) *pooled* per i 46 siti. Anni 2013-2017.

Table 5. Mortality for the main groups of causes of death by age class (0-29 years): pooled standardized mortality ratios (SMR) in the 46 contaminated Italian contaminated sites. Years 2013-2017.

Causa	Età (anni)	Maschi			Femmine		
		OSS (n.)	SHR (IC90%)	I ²	OSS (n.)	SHR (IC90%)	I ²
Primo anno di vita							
Tutte le cause naturali	0-1	30.325	1,08 (1,03-1,13)	95%	24.085	1,08 (1,03-1,14)	94%
tutti i tumori maligni	0-1	54	0,85 (0,54-1,16)	0%	43	0,81 (0,46-1,16)	0%
condizioni morbose di origine perinatale	0-1	12.664	1,19 (1,10-1,29)	96%	10.108	1,18 (1,09-1,28)	95%
0-19 anni e 20-29 anni							
Tutte le cause naturali	0-19	145.136	1,04 (1,02-1,06)	96%	109.345	1,05 (1,02-1,08)	96%
	20-29	59.002	1,03 (1,00-1,05)	85%	57.225	1,05 (1,02-1,08)	91%
Tutti i tumori maligni	0-19	1.021	0,99 (0,94-1,05)	0%	845	0,97 (0,91-1,03)	0%
	20-29	1.286	1,02 (0,97-1,07)	27%	1.255	0,93 (0,88-0,97)	14%
Malattie del sistema circolatorio	0-19	2.873	0,94 (0,91-0,96)	50%	1.049	0,92 (0,88-0,95)	0%
	20-29	5.843	1,01 (0,96-1,06)	69%	1.734	0,97 (0,90-1,03)	46%
Malattie dell'apparato respiratorio	0-19	30.215	1,00 (0,96-1,03)	91%	23.557	1,03 (0,98-1,07)	92%
	20-29	7.770	1,04 (1,00-1,09)	74%	5.639	1,04 (1,00-1,09)	66%
Malattie dell'apparato digerente	0-19	17.848	1,02 (0,98-1,06)	83%	15.153	1,06 (1,01-1,11)	89%
	20-29	10.274	0,99 (0,95-1,03)	80%	11.045	1,03 (0,97-1,09)	89%
Malattie dell'apparato urinario	0-19	4.311	0,99 (0,94-1,04)	60%	3.737	0,95 (0,89-1,00)	60%
	20-29	1.647	1,05 (1,00-1,09)	46%	2.056	1,03 (0,94-1,11)	70%

OSS: casi osservati / *observed cases*; **IC90%:** intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*; **I²:** test di eterogeneità statistica / *statistical test for heterogeneity*

Tabella 6. Ospedalizzazione per i principali gruppi di cause nel primo anno di vita e nelle classi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili: rapporti standardizzati di ospedalizzazione (SHR) *pooled* per i 46 siti, per genere. Anni 2014-2018.

Table 6. Hospitalization for the main causes in childhood and adolescents: pooled standardized hospitalization ratios (SHR) in the 46 Italian contaminated sites, by gender. Years 2014-2018.

Cause di morte	Età (anni)	Casi osservati (n.)	Casi attesi (n.)	Casi in eccesso (osservati-attesi)	
				Casi (n.)	(IC90%)
Tutte le cause naturali	0-1	728	711	17	(-42; 76)
	0-19	1411	1414	-3	(-66; 61)
	20-29	1006	1069	-63	(-121; -5)
Condizioni morbose di origine perinatale	0-1	415	414	1	(-33; 35)
Tutti i tumori maligni	0-19	175	175	0	(-19; 20)
	20-29	207	191	16	(-15; 48)

IC90%: intervallo di confidenza al 90% / *90% confidence interval*

Tabella 7. Mortalità per i principali gruppi di cause nelle sottoclassi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili: decessi in eccesso nei 46 siti, per classi di età. Anni 2013-2017.

Table 7. Mortality for the main groups of causes of death in children and adolescents: exceeding deaths in the 46 Italian contaminated sites. Years 2013-2017.

In età pediatrico-adolescenziale (0-19 anni) e giovanile (20-29 anni), si nota un eccesso di ospedalizzazione per tutte le cause naturali in entrambi i generi, con un alto grado di eterogeneità. Le stime *pooled* per tutti i tumori maligni non mettono in luce scostamenti rispetto ai riferimenti, tranne il difetto tra le femmine in età 20-29 anni (bassa eterogeneità). I ricoveri per malattie circolatorie sono in difetto rispetto all'atteso in entrambi i generi in età 0-19 anni (eterogeneità medio-bassa tra siti). L'ospedalizzazione per le malattie respiratorie è in eccesso tra i 20-29 anni in entrambi i generi (eterogeneità media tra le stime).

Le figure da S30 a S33 (vedi materiale supplementare online) riportano i *forest plot* delle metanalisi dell'ospedalizzazione per le condizioni morbose di origine perinatale nel primo anno di vita e per tutte le cause naturali nelle sottoclassi pediatriche-adolescenziali e giovanili. Nell'insieme dei 46 siti, l'analisi per sottoclassi di età pediatriche-adolescenziali e giovanili non ha riscontrato differenze di rilievo tra il numero di decessi osservati e attesi (tabella 7). Seppure sulla base di stime molto incerte, si stimano 17 decessi in eccesso nel primo anno di vita; tra i giovani, la mortalità per tutte le cause è in difetto di 63 decessi, mentre per i tumori maligni si stimano 16 casi in eccesso.

Discussione

I 46 siti contaminati inclusi nell'ultimo aggiornamento del Progetto SENTIERI, oggetto della presente metanalisi, includono 316 Comuni, con una popolazione totale di 6.227.531 residenti, 3.016.288 maschi e 3.211.243 femmine (Censimento Istat 2019); di questi, 1.128.396 rientrano nella fascia di età pediatrica-adolescenziale (0-19 anni) e 665.284 sono giovani adulti (età tra i 20 e i 29 anni).¹

Complessivamente, nei 46 siti contaminati indagati sono stati stimati, nel periodo 2013-2017, 8.342 decessi in più rispetto al resto della popolazione (4.353 maschi e 3.989 femmine), pari a circa 1.668 casi in eccesso/anno. L'eccesso di rischio *pooled* della mortalità generale è del 2% in entrambi i generi.

Nel primo Rapporto SENTIERI, nei 44 siti considerati era stato stimato, nel periodo 1995-2002, un eccesso di 9.969 decessi, pari a circa 1.246 decessi/anno.³ Nel Quinto Rapporto, che ha indagato la mortalità in 45 siti negli anni 2006-2013, erano stati stimati 11.992 casi di mortalità in eccesso (1.499/anno), su un totale di 435.962 casi osservati.⁶ La percentuale degli eccessi rispetto al totale dei decessi osservati è pressoché costante nel tempo, passando dal 2,5% nel 1995-2002 al 2,6% nel periodo più recente (2013-2017). Anche il numero dei decessi stimati in eccesso all'anno in valore assoluto è molto simile tra i periodi analizzati.

I deceduti per tutti i tumori maligni contribuiscono maggiormente agli eccessi osservati, rappresentandone il 56%. La distribuzione per causa dei decessi osservati nei 46 siti corrisponde a quanto si osserva nella popolazione generale, con il maggior numero di decessi per le malattie del sistema circolatorio, mentre il maggior numero dei casi in eccesso si osserva per l'insieme delle malattie tumorali maligne. Queste osservazioni erano state rilevate anche precedentemente, seppure lo scarto nella proporzione dell'insieme dei tumori tra casi osservati e quelli in eccesso era meno consistente.³ Considerando che l'amianto è l'unica tra le fonti di esposizione ambientale presenti nei siti, come categorizzate in SENTIERI, per cui l'evidenza di associazione con patologie tumorali è definita sufficiente,¹⁰ si fa presente che le stime *pooled* della mortalità generale e per tutti i tumori maligni sono in eccesso anche escludendo i siti con la presenza del solo amianto tra le fonti di esposizione ambientali (tumori maligni: SMR maschi 1,03; IC90% 1,01-1,06 – SMR femmine 1,03; IC90% 1,00-1,05) (risultati non mostrati).

Sono stati osservati 1.411 decessi in età pediatrico-adolescenziale e 1.006 tra i giovani adulti, che corrispondono rispettivamente a 0,4% e 0,3% dei decessi osservati su tutte le età. L'analisi di mortalità in queste classi di età non ha mostrato elementi di criticità, con stime *pooled* per tutte le cause, per le condizioni morbose di origine perinatale e per tutti i tumori maligni in difetto rispetto all'atteso.

L'ospedalizzazione nell'insieme dei 46 siti è risultata in eccesso in entrambi i generi per tutte le cause (eccesso di rischio del 3% sia nei maschi sia nelle femmine) e per tutti i grandi gruppi di patologie. Un eccesso di rischio per tutte le cause viene osservato anche nel primo anno di vita (8%) e in età pediatrico-adolescenziale e giovanile (3-4 % tra i maschi e 5% tra le femmine). Questi rischi potrebbero essere affetti da una certa sovrastima, considerando che tra gli osservati potrebbero essere stati conteggiati i ricoveri della stessa persona, nel caso di cambio di residenza nel periodo analizzato tra Comuni inclusi in siti diversi. Per questo motivo, non si è calcolato il numero degli eccessi (osservati-attesi) dei ricoverati, mentre si può ragionevolmente ipotizzare che le stime *pooled*, basate sui singoli SHR, siano meno affetti da questo possibile *bias*.

I risultati relativi alle stime *pooled* nei 46 siti, riguardo sia la mortalità sia i ricoverati, sono coerenti nell'indicare eccessi di rischio in entrambi i generi per l'insieme delle patologie considerate, soprattutto per tutti i tumori maligni.

In particolare, specifiche *patologie a priori* sono risultate in eccesso nel gruppo di siti con fonti di esposizione a esse associabili. Nell'interpretazione dei risultati, si

deve tener conto che in molti siti sono presenti diverse fonti di esposizione e che la stima del rischio specifica per singola tipologia di impianti richiede ulteriori approfondimenti applicando metodi metanalitici *ad hoc*, che tengano conto della loro copresenza in molte aree. Gli eccessi osservati per i mesoteliomi totali e pleurici in entrambi i generi sono coerenti con gli eccessi precedentemente riscontrati.³ Le analisi dei mesoteliomi totali includono 14 siti con l'amianto, per 7 dei quali l'amianto è l'unica fonte di esposizione (ex cave, fabbriche del cemento-amianto e un impianto di decobezingatura di carrozze ferroviarie). Questi siti contribuiscono in buona misura anche alle stime *pooled* dei mesoteliomi pleurici, seppure siti con aree portuali e altri impianti industriali, come Livorno, Trieste e Venezia, sembrano pesare nel determinare l'eccesso osservato.

Le stime *pooled* della mortalità per tumore polmonare includono 28 siti e la media eterogeneità delle stime (I^2 59-65%) sembra indicare un peso di tutti i siti nell'eccesso osservato, per cui è ipotizzabile che vi abbiano contribuito, oltre all'amianto (evidenza sufficiente di associazione), anche altre fonti di contaminazione. Questo dato è confermato dalla metanalisi per tumore polmonare svolta escludendo i 7 siti con il solo amianto, che ha rilevato un SMR *pooled* in eccesso (● SMR maschi 1,07; IC90% 1,03-1,1 ● SMR femmine 1,07; IC90% 1,01-1,13). Un discorso diverso merita l'eccesso della mortalità per il tumore del colon retto, non osservato precedentemente, nell'insieme dei 31 siti con impianti chimici e miniere. In un solo sito (Sulcis-Iglesiente-Guspinese) sono presenti le miniere e nei restanti 30 siti gli impianti chimici sono caratterizzati da produzione e lavorazioni di sostanze chimiche molto diverse, però con un'eterogeneità tra le singole stime medio-bassa (I^2 42% tra i maschi e 55% tra le femmine). La mortalità per tumore della vescica è in eccesso nella popolazione maschile del *pool* dei siti con discariche, unica fonte di esposizione la cui associazione ha un'evidenza limitata: il sito Litorale domizio-flegreo e agro-aversano, che ha una popolazione molto numerosa e un SMR in eccesso, sembra avere un forte peso nella metanalisi, anche se la statistica I^2 mette in evidenza una bassa eterogeneità tra le singole stime. L'SMR *pooled* per il tumore della mammella è risultato in eccesso tra le femmine. Questo tumore, pur riconoscendo diversi fattori di rischio, ha un'evidenza di associazione limitata con diverse sorgenti di esposizione ambientale. La IARC ne definisce limitata l'evidenza di associazione con diossine e policlorobifenili¹¹ e recenti studi hanno rilevato una possibile associazione con l'esposizione a sostanze ed elementi a interferenza endocrina, quali solventi e metalli pesanti,¹² contaminanti presenti in molti siti. Tra le patologie *a priori*, i tumori dello stomaco e dei tessuti molli

risultano in difetto come causa di decesso nell'insieme dei siti considerati: a tal proposito, si fa presente che si tratta di neoplasie multifattoriali e a eziologia in parte sconosciuta.

Tutte le patologie analizzate hanno un'eziologia multifattoriale, per cui l'esposizione a contaminanti ambientali può aver avuto un ruolo causale e/o concausale nel determinare gli eccessi rilevati. È ipotizzabile che molti di questi fattori, come quelli legati a stili di vita (abitudine al fumo, consumo di alcol) o familiari, pesino equamente tra i residenti nelle aree in studio e in quelle di riferimento, mentre tra i residenti nei siti potrebbero pesare maggiormente esposizioni in contesti lavorativi (presenza di forza lavoro degli impianti). Inoltre, va segnalato che le popolazioni residenti in queste aree risultano spesso particolarmente deprivate dal punto di vista socioeconomico, con condizioni, quindi, che comportano un ulteriore rischio per la salute.¹³ Questo elemento può pesare particolarmente sul tasso di ospedalizzazione, che può essere determinato non solo dalla morbosità, ma anche da fattori quali la qualità dell'accesso alle cure. A tal proposito, per le patologie oncologiche, in particolare per quelle con una bassa letalità, si raccomanda di svolgere analisi dell'incidenza basate sui dati dei Registri tumori, attivando collaborazioni con la rete dei Registri.

Nell'interpretazione degli eccessi descritti, che mettono in evidenza un possibile ruolo di esposizioni ambientali, si deve tener conto delle caratteristiche dello studio. Le metanalisi sono state eseguite su stime elaborate nell'ambito di uno studio ecologico a livello comunale e i risultati forniscono indicazioni di rischi a livello di popolazione, utili per azioni di sanità pubblica di comunità,¹⁴ ma non possono inferire rischi individuali. In questo tipo di studi, uno dei limiti è rappresentato dalla definizione dell'esposizione. In SENTIERI, quindi anche nel presente contributo, sono considerate come esposte le popolazioni residenti nei Comuni inclusi nei siti di interesse nazionale/regionale per le bonifiche. Le stime di rischio vengono elaborate a livello di sito contaminato, accorpando le popolazioni comunali in esso incluse. All'interno di ciascun sito, in particolare in quelli territorialmente vasti, può esserci una forte eterogeneità dei livelli di esposizione tra la popolazione; inoltre, la definizione dell'esposizione sulla base del Comune di residenza al momento dell'evento (decesso/ricovero) può non rappresentare la reale esposizione nella finestra temporale idonea per l'eziopatogenesi. Questi limiti nella definizione dell'esposizione possono, quindi, determinare una distorsione nelle stime. Va comunque considerato che, negli studi di epidemiologia geografica basati su dati aggregati, l'imprecisione nell'attribuzione dei livelli di esposizione ai singoli

soggetti, la misclassificazione casuale (ovvero, non differenziale) dell'esposizione, può comportare una sotto-stima del rischio piuttosto che una sovrastima.¹⁵ Infine, si rammenta che le stime *pooled* esprimono una valutazione dell'impatto globale di siti molto eterogenei e che il contributo dei singoli siti può essere molto diversificato (il modello utilizzato tiene conto dell'eterogeneità delle singole stime). Per i risultati dei singoli siti, si rimanda alla sezione «Risultati» del Sesto Rapporto SENTIERI.¹

Conclusioni

Nel periodo 2013-2017, è stata stimata una sovramortalità nei 46 siti indagati rispetto al resto della popolazione, con 8.342 decessi in più, pari a circa 1.668 casi/anno e un eccesso di rischio del 2% in entrambi i generi. Questi eccessi si riferiscono verosimilmente agli adulti (>30 anni), in quanto, nelle classi di età pediatrico-adolescenziali e giovanili, per la mortalità non si ri-

levano scostamenti di rilievo rispetto all'atteso. Anche l'ospedalizzazione complessiva è in eccesso del 3% nella popolazione di tutte le età. Questi eccessi sono ascrivibili in particolare ai tumori maligni. Eccessi di ospedalizzazione per tutte le cause si osservano anche nel primo anno di vita (8%) e nelle classi di età 0-19 e 20-29 anni (3-5%).

I risultati mettono in luce il perdurare di condizioni di rischio di salute per le popolazioni residenti nei siti contaminati. Si ritiene urgente intervenire per la mitigazione dei fattori di rischio che interessano queste popolazioni, anche al fine di promuovere la giustizia ambientale, dato che il pericolo associato al vivere in aree contaminate si affianca frequentemente a deprivazione socioeconomica e a sovramortalità e sovraospedalizzazione.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:1-286.
- Pirastu R, Ancona C, Iavarone I, Mitis F, Zona A, Comba P (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Valutazione della evidenza epidemiologica. *Epidemiol Prev* 2010;34(5-6) Suppl 3:1-96.
- Martuzzi M, Mitis F, Pirastu R et al. Valutazioni globali del carico di mortalità nei siti di interesse nazionale per le bonifiche. In: Pirastu R, Iavarone I, Pasetto R et al (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento: Risultati. *Epidemiol Prev* 2011;35(5-6) Suppl 4:153-62.
- Fazzo L, Minichilli F, Pirastu R et al. Meta-analysis of mortality data in Italian contaminated sites with industrial waste landfills or illegal dumps. *Ann Ist Super Sanita* 2014;50(3):278-85.
- Benedetti M, Minichilli F, Soggiu ME, Manno V, Fazzo L. Ecological meta-analytic study of kidney disease in Italian contaminated sites. *Ann Ist Super Sanita* 2021;57(4):314-23.
- Zona A, Pasetto R, Fazzo L et al (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Quinto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl 1:1-206.
- Fisher D, Harris R, Bradburn M et al. METAN: Stata module for fixed and random effects meta-analysis. Statistical Software Components S456798, Boston College Department of Economics, 2006; revised 15.02.2021.
- DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials* 1986;7(3):177-88.
- Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003;327(7414):557-60.
- Fazzo L, Benedetti M, Bruno C, Vecchi S, Zona A. Valutazione dell'evidenza epidemiologica dell'associazione tra fonti di esposizione ambientale nei Siti contaminati ed esiti sanitari: un aggiornamento. In: Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al. (eds). SENTIERI-Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:366-74.
- International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. 2019. List of classification by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans, IARC Monographs Volumes 1-132a. Disponibile all'indirizzo: https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/07/Classifications_by_cancer_site.pdf
- Bergman A, Heindel JJ, Jobling S, Kidd KA, Thomas Zoller R (eds). State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. Geneva, WHO, 2013. Disponibile all'indirizzo: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78102/WHO_HSE_PHE_IHE_2013_1_eng.pdf
- Pasetto R, Di Fonzo D, Porcu R, De Santis M, Zona A. Environmental health inequalities among municipalities affected by contaminated sites in Italy. *Environmental Justice* 2022;15(4):228-34.
- Pearce N. Traditional epidemiology, modern epidemiology and public health. *Am J Public Health* 1996;86(5):678-83.
- Grandjean P, Budtz-Jørgensen E, Keiding N, Weihe P. Underestimation of risk due to exposure misclassification. *Int J Occup Med Env Health* 2004;17(1):131-36.

Il contributo di SENTIERI alla promozione della giustizia ambientale nei siti contaminati italiani

Environmental justice promotion in the Italian contaminated sites through the national epidemiological surveillance system SENTIERI

Roberto Pasetto,^{1,2} Daniela Marsili^{1,2}

¹ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

² WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

Corrispondenza: Roberto Pasetto; roberto.pasetto@iss.it

Riassunto

Il contributo riassume gli aspetti concettuali e operativi relativi allo studio della giustizia ambientale e alla sua promozione, nonché i risultati finora ottenuti da valutazioni di giustizia ambientale, nell'ambito del sistema di sorveglianza epidemiologica SENTIERI.

Nei Comuni (e rispettive comunità) interessati dai principali siti contaminati italiani, sono frequenti le condizioni di ingiustizia distributiva legate al sommarsi del pericolo da pressioni ambientali con la maggiore deprivazione e il maggior rischio di mortalità. Complessivamente, in Italia è presente un gradiente di ingiustizia distributiva Nord-Sud, con condizioni peggiori al Sud e nelle Isole, dove la prevalenza delle comunità interessate dai processi di contaminazione presenta condizioni di deprivazione socioeconomica.

I principali meccanismi di produzione e mantenimento dell'ingiustizia distributiva nei siti contaminati sono riconducibili a condizioni di ingiustizia procedurale, in particolare la marginalizzazione e il non riconoscimento sostanziale delle comunità o sottogruppi più svantaggiati nei processi decisionali, relativi sia alla permanenza degli impianti industriali inquinanti sia agli interventi migliorativi di bonifica, di riduzione delle esposizioni nocive e dell'impatto sulla salute. Nell'ambito di SENTIERI, sono state sviluppate strategie per piani di comunicazione partecipativi territoriali e per la promozione e il rafforzamento dell'*environmental health literacy* degli attori istituzionali e sociali.

Il programma di sorveglianza SENTIERI può contribuire al rafforzamento delle capacità di comunità per promuovere la giustizia ambientale a livello locale.

Parole chiave: giustizia ambientale, siti contaminati, sorveglianza epidemiologica, capacità di comunità

Abstract

Conceptual and operational aspects of studying and promoting environmental justice and the results from assessments on environmental justice carried out within the epidemiological surveillance SENTIERI focused on communities living close to main Italian contaminated sites are here summarized.

Messaggi principali

- SENTIERI ha fatto emergere un evidente gradiente Nord-Sud con condizioni di ingiustizia distributiva associata ai siti contaminati per le comunità residenti in prossimità dei siti del Sud e delle Isole.
- SENTIERI ha portato alla luce i principali meccanismi di produzione e mantenimento dell'ingiustizia distributiva nei siti contaminati riconducibile a condizioni di ingiustizia procedurale e ha individuato le capacità di comunità da potenziare per promuovere la giustizia ambientale.
- SENTIERI può continuare a fornire un contributo con la produzione di documentazione sulla giustizia distributiva e procedurale a livello nazionale, migliorando progressivamente la qualità e la pertinenza delle informazioni prodotte, promuovendo l'adozione di buone pratiche a livello locale, favorendo la condivisione delle informazioni prodotte con le comunità locali.

The communities under SENTIERI surveillance often have environmental injustice conditions associated with the cumulative impact of environmental pressures due to contamination and a high socioeconomic deprivation and mortality risk. In Italy, a North-South divide gradient is present, with the worst conditions in the South&Island, where most communities affected by contaminated sites are socioeconomically deprived. The main mechanisms of development and maintenance of distributive injustice in contaminated sites are attributable to procedural injustice conditions, with marginalization and misrecognition of disadvantaged communities or subgroups in decisional processes regarding both the location and permanence of polluting industrial plants and the interventions on remediation and reduction of hazardous exposures and health-related impacts. Within SENTIERI, strategies have been developed to produce participative territorial communication plans and to strengthen the environmental health literacy of local institutional and social actors. SENTIERI contributes in promoting environmental justice through the empowerment of social capacities of local communities.

Keywords: environmental justice, contaminated sites, epidemiological surveillance, community capacity

Introduzione

Il presente contributo riassume gli aspetti concettuali e operativi relativi allo studio della giustizia ambientale e alla sua promozione, nonché i risultati finora ottenuti da valutazioni che la riguardano, nell'ambito del sistema di sorveglianza epidemiologica SENTIERI.

Una serie di pubblicazioni a carattere tecnico-scientifico e divulgative, che includono anche una scheda documentale prodotta nell'ambito della Rete italiana ambiente e salute,¹ fornisce il quadro di riferimento relativo al tema della giustizia ambientale in termini generali e nella specificità della sua applicazione ai siti contaminati.²⁻⁷ Tra queste, è presente il rapporto ISTISAN *Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*³ prodotto nell'ambito del progetto SENTIERI 2019-2022. Questo Rapporto, frutto di un'analisi multidisciplinare, fornisce indicazioni per la valutazione e il monitoraggio delle disuguaglianze associate ai siti contaminati, per la comprensione dei meccanismi di generazione e mantenimento di tali disuguaglianze e per l'individuazione di interventi di promozione della giustizia ambientale nei siti contaminati.

In termini generali, la giustizia ambientale si riferisce al trattamento equo relativo al grado di protezione dai rischi per la salute associati all'ambiente, ovvero alla fruizione dei benefici di natura ambientale per persone, gruppi, comunità, popolazioni, indipendentemente dal colore della pelle, dall'etnia, dall'età, dalle condizioni socioeconomiche, nonché all'uguale accesso ai processi decisionali dei diversi portatori d'interesse, attraverso un reale coinvolgimento, per l'adozione e l'applicazione di leggi, regolamenti e politiche ambientali per un ambiente sano in cui vivere e lavorare. La giustizia ambientale si articola in due principali categorie: la giustizia distributiva e la giustizia procedurale. La giustizia distributiva si riferisce all'equità nella distribuzione dei rischi e dei benefici ambientali tra gli individui, i gruppi di popolazione, le comunità (senza discriminazione per caratteristiche quali, per esempio, le condizioni socioeconomiche o l'etnia). È legata, in particolare, alla valutazione delle disuguaglianze nella distribuzione delle esposizioni ad agenti ambientali pericolosi e dei rischi per la salute a essi associati. La giustizia procedurale si riferisce alla necessità di partecipazione e coinvolgimento, soprattutto dei gruppi di popolazione più svantaggiati, ai processi decisionali che influiscono sulla distribuzione dei rischi e dei benefici ambientali. Riguarda, in particolare, lo studio dei meccanismi e dei processi attraverso i quali l'ingiustizia distributiva è creata e mantenuta nel tempo.

Il tema della giustizia ambientale nei siti contaminati è rappresentato da un ramo della mappa concettuale digitale di SENTIERI 2019-2022 (illustrata da Marsili

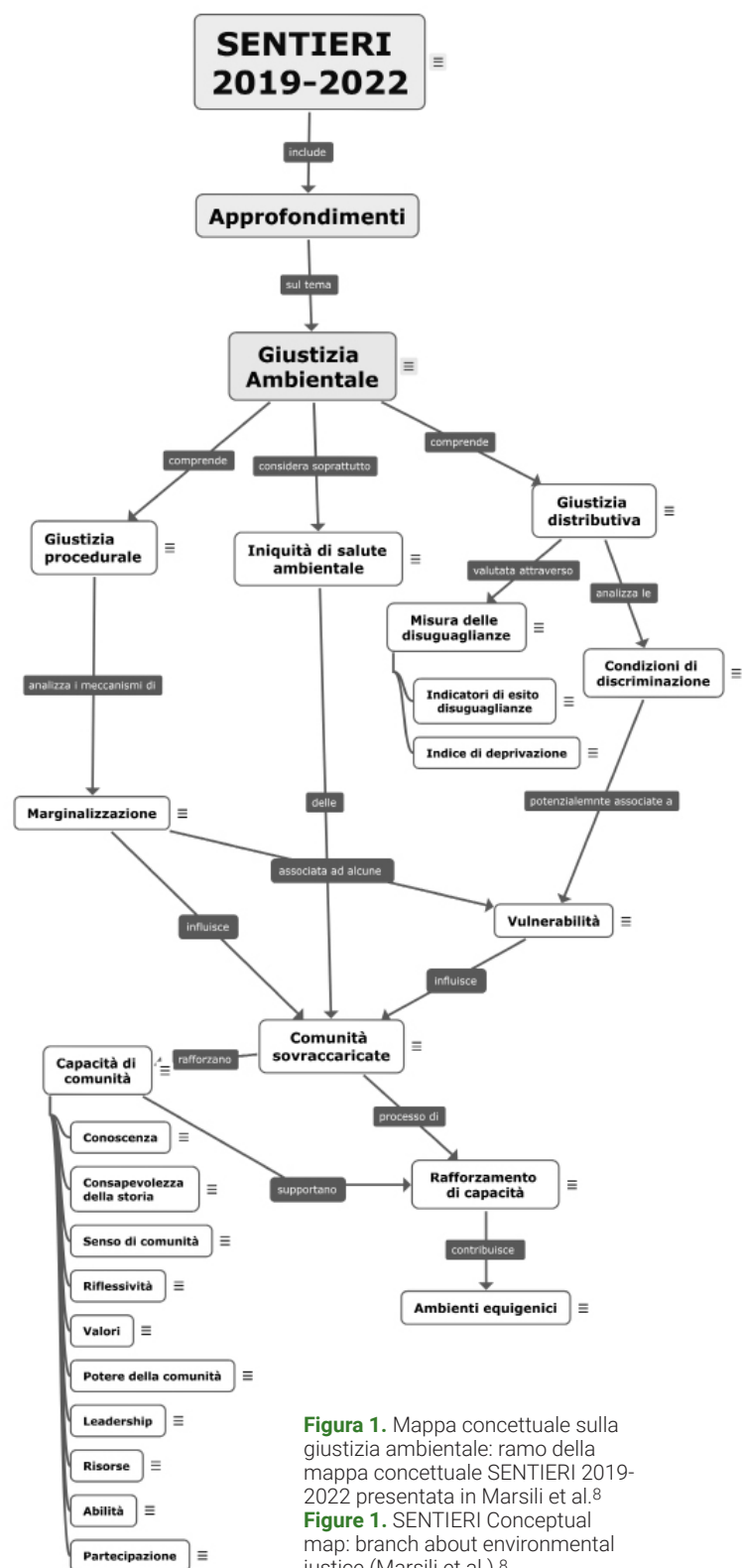


Figura 1. Mappa concettuale sulla giustizia ambientale: ramo della mappa concettuale SENTIERI 2019-2022 presentata in Marsili et al.⁸ **Figure 1.** SENTIERI Conceptual map: branch about environmental justice (Marsili et al.).⁸

et al.).⁸ La mappa digitale ha la finalità di favorire l'accesso ai contenuti scientifici di SENTIERI attraverso un linguaggio fruibile dai non esperti.⁸ In questa prospettiva, il ramo relativo alla giustizia ambientale, oltre ai concetti principali sopra descritti, rappresenta i riferimenti concettuali che sono attinenti al tema attraverso l'esplicitazione del significato di singoli termini e delle relazioni tra di loro (figura 1). In coda a questo contributo, viene presentato il glossario dei termini selezionati per il tema della giustizia ambientale.

Nelle sezioni a seguire, sono presentati i principali risultati ottenuti tramite SENTIERI attinenti alle valutazioni di giustizia distributiva e procedurale. Le valutazioni cui si fa riferimento derivano anzitutto da un'analisi concettuale di declinazione degli argomenti della giustizia ambientale al tema dei siti contaminati, cui sono seguite applicazioni all'insieme dei principali siti contaminati italiani (*national assessment*), che sono monitorati da SENTIERI. Ai fini delle valutazioni di giustizia ambientale, le unità di osservazione in SENTIERI sono i singoli Comuni inclusi nei siti che, per municipalità di piccole e medie dimensioni, come sono in prevalenza i Comuni d'interesse (il 95% dei 316 comuni ha una popolazione inferiore ai 60.000 residenti), rappresentano l'unità di riferimento anche per le comunità locali sia in termini amministrativi sia sociali. Il concetto di comunità è, infatti, fondamentale in valutazioni di giustizia ambientale e nella prospettiva della sua promozione.^{3,4} La comunità locale è intesa come quel tipo di collettività i cui membri condividono un'area territoriale come base di operazioni per le attività quotidiane e come una "comunità societaria" che ha come funzione l'integrazione degli individui che la costituiscono.⁹

In termini psicosociali, la comunità presenta le seguenti caratteristiche: l'interdipendenza dei sistemi relazionali tra le persone; la condivisione e l'interiorizzazione di norme e valori, non necessariamente espressi formalmente; lo sviluppo di un sentimento di comunità connesso a un senso dell'ingroup ("noi") che si definisce anche per differenziazione rispetto a *outgroup* esterni (gli "altri", "loro").¹⁰ Queste caratteristiche solitamente confluiscono in necessità e problemi che possono essere affrontati tramite azioni collettive.¹¹ La presenza di questi elementi comuni non implica necessariamente che le comunità locali siano entità semplici e omogenee; il loro grado di coesione dipende dalle capacità della comunità di rispondere ai bisogni dei suoi membri, così come dalle sue caratteristiche strutturali. SENTIERI, per sua natura, è in grado di dare una visione descrittiva sia sui singoli siti sia sul loro insieme, mentre valutazioni di dettaglio richiedono approfondimenti specifici che devono riguardare le singole comunità.

Per descrivere le modalità con cui SENTIERI può svolgere un ruolo nella promozione della giustizia ambientale a livello locale, si farà riferimento all'esperienza di studio che ha riguardato la comunità del Comune di Porto Torres. Queste attività sono riportate nel dettaglio in un rapporto tecnico e in un documento a carattere divulgativo.^{12,13} In questa sede, verranno trattati gli aspetti che vedono il collegamento tra SENTIERI e quanto svolto per Porto Torres per documentare sia le condizioni associate all'ingiustizia ambientale sia le attività svolte per porre le basi della promozione della giustizia ambientale a livello locale.

Valutazioni di giustizia distributiva in SENTIERI

SENTIERI svolge la funzione di descrivere i profili di salute delle popolazioni interessate dai principali siti contaminati italiani e, data l'applicazione delle stesse procedure a ciascun sito, dà l'opportunità di avere un quadro generale a livello nazionale dell'impatto sulla salute associabile all'insieme dei siti sottoposti a sorveglianza.¹⁴ Questa duplice valenza riguarda anche valutazioni di giustizia distributiva. Al riguardo, quanto prodotto da SENTIERI è stato riportato nel secondo *assessment report* edito dall'Ufficio ambiente e salute dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) della Regione europea sulle disuguaglianze associate ai principali fattori ambientali emersi come priorità dall'ultima conferenza interministeriale su ambiente e salute della stessa Regione.¹⁵

I risultati ottenuti in un primo studio^{16,17} sono stati confermati da valutazioni successive eseguite sulla base di dati aggiornati sia per l'indicatore di deprivazione socioeconomica utilizzato sia per il periodo considerato per le analisi relative alla mortalità.¹⁸ La figura 2 mostra i risultati relativi alla distribuzione percentuale dei comuni monitorati da SENTIERI per macroarea geografica in relazione al loro livello di deprivazione socioeconomica. È evidente un gradiente di maggiore deprivazione passando dal Nord al Sud. La figura 3 riporta, distinti per genere, i risultati relativi alla mortalità generale per l'insieme dei Comuni meno deprivati e per l'insieme dei Comuni più deprivati, ove per ciascun Comune la mortalità osservata è stata confrontata con quella attesa sulla base del riferimento regionale; inoltre, per i Comuni più deprivati, riporta i risultati distinti per macroarea geografica. Le analisi complessive hanno messo in luce, nell'insieme dei Comuni più deprivati e in entrambi i generi, un eccesso di rischio di mortalità generale; nelle donne, questo eccesso è stato osservato anche nei comuni meno deprivati. Gli stessi risultati sono stati confermati nelle diverse macroaree geografiche (Nord, Centro, Sud e Isole).

Complessivamente, i diversi studi sulla mortalità hanno portato alla luce condizioni di ingiustizia distributiva presenti nei siti contaminati italiani frutto della combinazione di:

1. pericolo da pressioni ambientali dovute ai siti contaminati;
2. maggiore deprivazione socioeconomica;
3. maggior rischio di mortalità.

Il gradiente da Nord a Sud e Isole di progressivo svantaggio in associazione ai siti contaminati va di pari passo con analoghi gradienti di svantaggio socioeconomico osservati a livello del Paese che hanno complesse ragioni storiche precedenti e/o concomitanti al processo d'industrializzazione,¹⁹ come viene, per

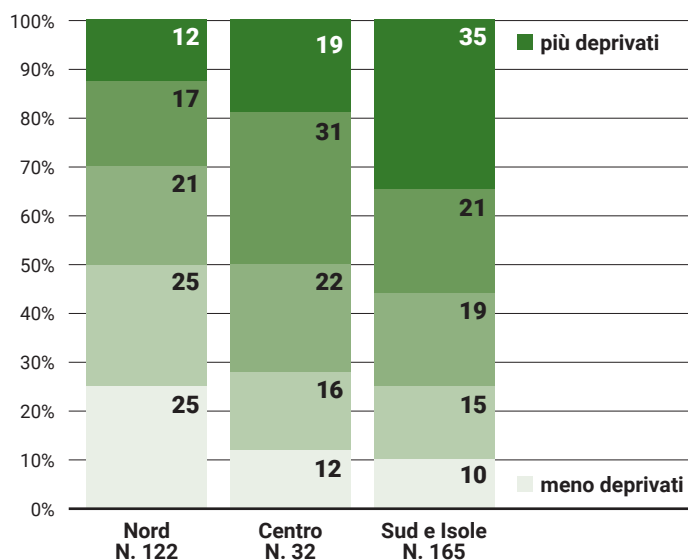


Figura 2. Proporzione (%) dei comuni nei siti seguiti da SENTIERI per livello di deprivazione socioeconomica e macroarea geografica (elaborata da Pasetto et al.).¹⁸

Figure 2. Proportion (%) of municipalities in Italian contaminated sites under SENTIERI surveillance, by socioeconomic deprivation level and geographical macroarea (data from Pasetto et al.).¹⁸

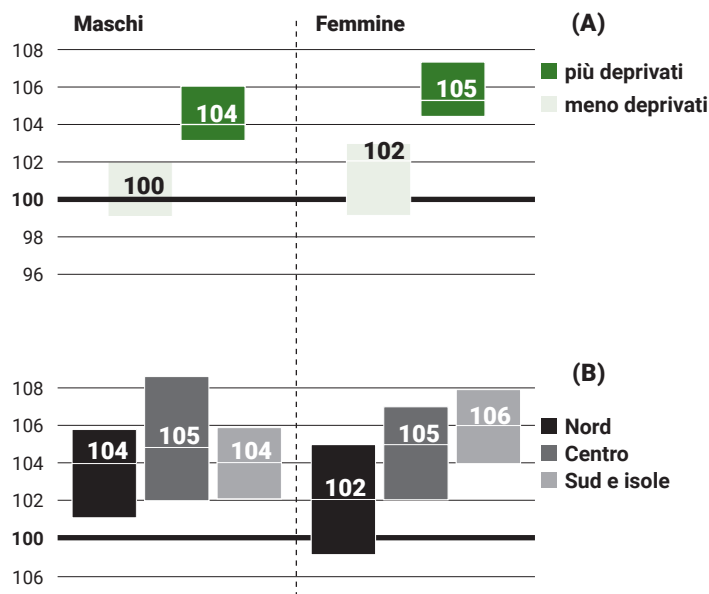


Figura 3. Meta-rapporti standardizzati di mortalità (meta-SMR) per l'insieme delle cause, per genere nei Comuni dei siti sorvegliati da SENTIERI. Valore delle stime puntuali e dimensione dell'incertezza associate agli intervalli di confidenza al 90%: **(A)** meta-SMR per l'insieme dei Comuni più deprivati e per l'insieme dei Comuni meno deprivati a livello socio-economico; **(B)** meta-SMR per l'insieme dei Comuni più deprivati per macro-area geografica (elaborata da Pasetto et al.).¹⁸

Figure 3. Meta-standardized mortality ratios (meta-SMRs) for all causes combined, by gender in Municipalities included in the contaminated sites under SENTIERI surveillance. Punctual estimates and dimension of their uncertainties (90% confidence intervals): **(A)** meta-SMR for the most and for the least socioeconomically deprived municipalities; **(B)** meta-SMR for the most deprived municipalities by geographical macro-area (North, Center, South&Islands) (data from Pasetto et al.).¹⁸

esempio, riportato nei rapporti Istat sul benessere equo e sostenibile.²⁰ Lo stesso indicatore di deprivazione socioeconomica utilizzato nelle analisi sopra riportate presenta valori mediani (e relativi alla sua distribuzione) più elevati nelle Regioni del Sud e delle Isole rispetto a quelli osservati nelle Regioni del Nord e del Centro,²¹ cosicché, essendo l'indice di deprivazione utilizzato nelle analisi calibrato a livello regionale, le comunità del Sud e delle Isole con livelli di deprivazione maggiori presentano generalmente uno svantaggio sia rispetto al contesto regionale sia rispetto a quello osservato nelle comunità categorizzate con lo stesso livello di deprivazione delle regioni del Centro e del Nord. È evidente che la prevalenza delle comunità del Sud residenti in prossimità dei siti contaminati monitorati da SENTIERI presenta livelli di deprivazione socioeconomica elevati e anche un maggior rischio di mortalità generale in entrambi i generi. Pur nei limiti di una valutazione quantitativa di tipo descrittivo, che non rende conto della complessità dei fenomeni legati all'evoluzione delle comunità rispetto alla presenza nel territorio di grandi impianti indu-

striali (ed eventuali altre importanti sorgenti di contaminazione), emerge un quadro generale di ingiustizia ambientale per le comunità residenti in prossimità dei principali siti inquinati nel meridione d'Italia.

Il rapporto OMS sulle disuguaglianze ambientali precedentemente citato, tra le raccomandazioni per la mitigazione delle disuguaglianze associate ai siti contaminati nei diversi Paesi della Regione europea OMS, include l'indicazione di definire le priorità d'intervento a livello nazionale anche sulla base di valutazioni di giustizia distributiva, analoghe a quelle effettuate da SENTIERI, con l'intento di valutare la presenza di eventuali *pattern* spaziali a livello nazionale. Una recente rassegna sistematica sugli *assessment* su base nazionale o di macroarea mette in evidenza come queste valutazioni siano carenti (a eccezione di quelle effettuate negli Stati Uniti) e ne rimarca, invece, l'importanza, suggerendo raccomandazioni per valutazioni di alta qualità.²² Quanto fatto finora tramite SENTIERI si pone nel solco di queste raccomandazioni.

SENTIERI, oltre a fornire un quadro generale a livel-

lo nazionale sulla giustizia distributiva associata ai principali siti contaminati italiani, a partire dal Sesto Rapporto,²³ include per ciascun sito informazioni aggiuntive per valutare la presenza di fragilità locali associabili alla deprivazione. I dati inclusi riguardano:

- il numero di comuni del sito appartenenti al livello più alto di deprivazione sul totale dei comuni del sito (con la deprivazione su base comunale definita sulla base dell'indicatore di deprivazione ID-SENTIERI 2011);²⁴

- la percentuale di popolazione residente nelle sezioni di censimento del sito con livello di deprivazione più alto (con la deprivazione su base di sezione di censimento definita sulla base dell'indicatore di deprivazione nazionale 2011);²¹

- il tasso standardizzato di mortalità prematura per malattie croniche (sulla base dell'indicatore 3.4.1 degli SDG²⁵ per genere, espresso come variazione in più o in meno rispetto al riferimento regionale sia in casi per 100.000 sia in percentuale).

I siti nei quali i tre indicatori utilizzati in SENTIERI convergono nel rilevare la presenza di fragilità²³ sono:

- nel Sud e nelle Isole: l'Area Litorale Vesuviano, le Aree industriali Val Basento, Biancavilla, Crotone-Cassano-Cerchiara, il Litorale Domizio Flegreo e Agro Aversano;

- nel Centro: i siti di Livorno, Massa Carrara, Basso Bacino fiume Chienti;

- nel Nord: il solo sito di Trieste.

I siti, invece, in cui le comunità residenti risultano sovraccaricate (*overburdened*), oltre che per le pressioni ambientali legate alle contaminazioni e per la deprivazione socioeconomica (per esempio, la porzione di popolazione residente in sezioni di censimento ad alto livello di deprivazione socioeconomica supera il riferimento), anche per l'eccesso di rischio di mortalità per tutte le cause, sono:

- per il Sud e le Isole: oltre ai siti sopra elencati, anche quelli di Porto Torres e Gela;

- nel Centro: oltre ai siti sopra elencati, il sito di Piombino;

- nel Nord: oltre al sito di Trieste, quello di Venezia.

Ciascun sito e ciascuna comunità ha la sua storia, che non può essere descritta da un sistema di monitoraggio su base nazionale.

I fenomeni di ingiustizia distributiva possono caratterizzare le comunità locali al loro interno, con maggiori esposizioni ai contaminanti, quindi con un accresciuto rischio per la salute in sottogruppi di popolazione più fragili a livello socioeconomico. Ciò, per esempio, è stato osservato a livello di quartiere nel caso di Taranto, in cui la contaminazione dell'aria da sorgenti industriali è risultata maggiore nei quartieri più prossimi al complesso industriale, la cui popolazione è peraltro maggiormente deprivata a livello socioeconomico.²⁶

Valutazioni di giustizia procedurale in SENTIERI

Il secondo *assessment report* sulle disuguaglianze ambientali edito dall'Ufficio ambiente e salute dell'OMS Europa,¹⁵ precedentemente citato, riporta anche i risultati di studi effettuati per valutare la giustizia procedurale nei siti contaminati.² Questi studi sono stati alla base dell'approfondimento di analisi sui meccanismi sociali e psicosociali di generazione e mantenimento delle disuguaglianze nei siti contaminati riportati nell'ambito del rapporto ISTISAN sopra menzionato.^{27,28}

I meccanismi di generazione e mantenimento delle disuguaglianze nei siti contaminati fanno riferimento alle modalità istituzionali e sociali che caratterizzano i processi decisionali in quei territori. Ciò chiama in causa i fenomeni di marginalizzazione e *misrecognition* che interessano queste comunità, ossia il non riconoscimento formale e sostanziale della popolazione e dei sottogruppi maggiormente svantaggiati nei processi decisionali che riguardano sia l'insediamento sia la permanenza per decenni di impianti industriali inquinanti nei territori dove essi risiedono. I fenomeni di *misrecognition* riguardano anche gli interventi migliorativi delle condizioni di degrado dei loro territori, in primis le bonifiche, e, sul fronte della sanità pubblica, gli interventi di riduzione delle esposizioni agli inquinanti e del conseguente impatto sulla salute della popolazione residente.

Inoltre, fattori psicosociali individuali e collettivi che influiscono sulle percezioni e sui comportamenti delle comunità o di loro sottogruppi sono fortemente condizionati dall'accesso alle informazioni *evidence-based* e dalle disuguaglianze sociali. Queste condizioni possono esacerbare meccanismi di interiorizzazione e giustificazione dello svantaggio o alimentare quelli conflittuali associati alle condizioni ambientali.²⁹

Nell'ottica di ridurre le disuguaglianze nei siti contaminati, gli studi sulla giustizia ambientale hanno messo in evidenza che il coinvolgimento degli attori istituzionali e sociali delle comunità residenti deve necessariamente accompagnare gli studi che documentano i rischi e gli impatti sulla salute e la traduzione delle evidenze in interventi.⁴

In primo luogo, l'adozione di procedure formali di riconoscimento del ruolo delle comunità e di sottogruppi nei processi decisionali risulta indispensabile per contrastare condizioni di marginalità e disuguaglianze sociali. L'implementazione di piani di comunicazione partecipativi territoriali può integrare tali procedure per il riconoscimento dei ruoli degli attori istituzionali e sociali e promuovere il loro coinvolgimento e partecipazione informata alla negoziazione degli interessi in campo. In quest'ottica, SENTIERI

ha proposto un approccio metodologico e linee di azione per l'adozione di piani e strategie di comunicazione partecipativi nei siti contaminati.^{30,31} La guida metodologica sviluppata da SENTIERI può essere implementata a livello locale attraverso lo studio dell'articolazione istituzionale e sociale della comunità, seguito dal coinvolgimento degli attori istituzionali e sociali territoriali nell'adattamento del piano e delle strategie di comunicazione alle caratteristiche del contesto locale.^{12,31}

In secondo luogo, il supporto alle capacità sociali delle comunità per promuovere partecipazione consapevole degli attori istituzionali e sociali ai processi decisionali può beneficiare di processi di costruzione sociale e di *empowerment*.⁴ Le caratteristiche di multidimensionalità e di processo delle capacità sociali delle comunità si riferiscono alla conoscenza e alla consapevolezza su:

- rischi per la salute associati all'esposizione agli inquinanti;
- attori coinvolti nella gestione dei rischi;
- ruoli e responsabilità degli attori istituzionali preposti;
- quadro normativo di riferimento;
- precedenti azioni intraprese dalla comunità in relazione alle specifiche problematiche ambientali e sanitarie.^{4,6}

A questo riguardo, SENTIERI ha messo in luce a livello concettuale il ruolo dell'*environmental health literacy* delle comunità nei siti contaminati rispetto al rafforzamento della conoscenza, comprensione e uso delle informazioni *evidence-based*.²⁰ Ciò è stato elaborato sulla base di esperienze maturate in processi di comunicazione partecipativi alla luce delle specificità, delle differenze e delle criticità riscontrate nei diversi siti studiati (per esempio, Gela,³² Biancavilla,³³ Milazzo e Porto Torres³⁴). Accanto a queste, giocano un importante ruolo dimensioni quali il senso di appartenenza, i valori e la connessione sociale, nonché le reti sociali riconducibili a legami tra cittadini e loro organizzazioni e tra cittadini e istituzioni. La Commissione sui determinanti sociali della salute dell'OMS ha riconosciuto la valenza delle reti sociali (una componente strutturale del capitale sociale, *linking social capital*) nel promuovere la partecipazione dei cittadini e la redistribuzione di potere tra portatori di interesse.³⁵ Ciò è di particolare importanza nei processi decisionali e nello sviluppo di politiche che riguardano il benessere e la qualità della vita della cittadinanza, che risultano fondamentali nel contrastare le disuguaglianze sociali.³⁵ SENTIERI ha sottolineato a livello concettuale e operativo come approcci collaborativi e processi di comunicazione bidirezionale tra ricercatori coinvolti nelle attività di studio e attori istituzionali e sociali territoriali possano contribuire al rafforzamento dei rapporti tra cittadini e istituzioni.³⁴

Dalle evidenze prodotte da SENTIERI sul SIN di Porto Torres agli approfondimenti su base locale per la promozione della giustizia ambientale

Le valutazioni di giustizia ambientale rispetto ai rischi derivanti dai siti contaminati nella dimensione della comunità riguardano in particolare le cosiddette *monotown*,³⁶ ossia cittadine dove la presenza di imponenti industrie o di complessi industriali ha determinato un'evoluzione monofunzionale (per esempio, evoluzione socioeconomica delle comunità e delle realtà industriali in modo strettamente connesso) precludendo loro altre possibilità di sviluppo. Diverse sono le *monotown* tra i siti monitorati da SENTIERI nel Sud e nelle Isole, tra le quali si trovano, per esempio, le cittadine di Porto Torres e Gela, che sorgono immediatamente a ridosso di complessi industriali, con prevalenti attività petrolchimiche, la cui estensione territoriale risulta maggiore di quella del nucleo urbano. Le valutazioni descrittive relative alla deprivazione di area effettuate in SENTIERI hanno identificato, tra i siti con la prevalenza della popolazione residente in sezioni di cesimato ad alto livello di deprivazione e con un eccesso di mortalità per l'insieme delle cause, anche il SIN di Porto Torres. In occasione della presentazione del Quinto Rapporto SENTIERI, un'associazione locale di Porto Torres ha fatto presente la necessità di trattare in modo distinto e particolare la comunità locale rispetto all'insieme dei comuni dell'omonimo SIN, che per quel sito vede valutazioni che includono sia la municipalità di Porto Torres sia quella di Sassari. Gli studi sul SIN di Porto Torres erano allora pochi e peraltro mai focalizzati sulla sola comunità di Porto Torres. Un progetto di affiancamento dell'ISS agli enti della Regione Sardegna per lo sviluppo di capacità nello studio dei siti contaminati ha rappresentato l'occasione per indirizzare l'attenzione sulla comunità di Porto Torres. Le attività di studio sono state avviate con l'interlocuzione con l'Amministrazione comunale e gli enti territoriali dell'SSN e l'ARPAS e con una visita congiunta al sito industriale e al territorio di Porto Torres che ha avuto anche il fine di conoscere direttamente la realtà locale. La storia della comunità locale, in particolare la sua evoluzione socioeconomica in relazione alla presenza del complesso industriale, è stata inizialmente approfondita tramite l'analisi di documenti e con la ricostruzione del suo sviluppo socioeconomico attraverso indicatori descrittivi di origine censuaria.³⁷ La popolazione locale è cresciuta nel primo decennio delle attività industriali (avviate negli anni Sessanta) di circa il 45% (attualmente il comune ha circa 22.000 residenti). La forza lavoro nel complesso petrolchimico ha raggiunto negli anni Settanta circa 8.000 unità. Negli anni

intorno al 2010, la maggior parte delle attività industriali è stata dismessa (con la messa in cassa integrazione di migliaia di lavoratori) e le restanti attività vedono oggi impiegate alcune centinaia di lavoratori. Al censimento 2011, l'80% della popolazione locale risultava risiedere in sezioni di censimento ad alto livello di deprivazione socioeconomica. L'interazione con la comunità locale per il tramite dell'Amministrazione comunale e quella con i tecnici regionali del SSN e dell'ARPAS ha consentito di comprendere le ragioni dell'attuale deprivazione socioeconomica. Si è appreso, per esempio, che una larga porzione della popolazione vive in case popolari non di proprietà, costruite prevalentemente nel periodo di espansione industriale, nel quartiere che ha accolto maggiormente i lavoratori del complesso petrolchimico. Inoltre, l'articolazione attuale del territorio comunale vede occupato circa il 50% della sua estensione dal Parco nazionale dell'Asinara e intorno al 30% dall'area industriale, rimanendo così a disposizione per la comunità locale solo il 20% della sua superficie totale. Questi elementi, tra quelli alla base delle condizioni di ingiustizia ambientale generate dall'evoluzione del sito industriale, non possono essere appresi se non svolgendo attività di ricerca con un'interazione con la comunità locale. Il piano di comunicazione costruito sulla base della guida metodologica di SENTIERI³⁰ è stato lo strumento attraverso il quale il processo di comunicazione partecipativo è stato implementato localmente, con il coinvolgimento degli attori istituzionali, sociali e la comunità nel suo complesso nelle diverse fasi dello studio. Ciò è avvenuto tramite l'utilizzo di canali e attività di comunicazione diversificati e con la realizzazione di prodotti di comunicazione liberamente fruibili.^{12,13} La maggiore consapevolezza dei potenziali rischi per la salute associati alla contaminazione ambientale e della necessità di renderne conto all'intera comunità ha portato gli enti coinvolti (istituzioni nazionali, regionali e locali) a definire congiuntamente un insieme di raccomandazioni, a partire dalle modalità di articolazione del monitoraggio ambientale ed epidemiologico fino a quelle tese all'ulteriore diffusione della consapevolezza della comunità locale delle relazioni tra i rischi e i benefici di natura ambientale e la salute individuale e collettiva. Le istituzioni territoriali coinvolte hanno, inoltre, espresso in modo trasparente il loro contributo a che queste attività vengano effettuate.^{12,13} Stampa e social media locali hanno riportato i contenuti e i risultati dello studio attraverso l'interlocuzione diretta con gli esperti e utilizzando i materiali prodotti. La rappresentazione dei risultati dello studio da parte dei media locali è risultata aderente alla realtà.

La maggiore conoscenza, consapevolezza, motivazione e l'utilizzo delle informazioni basate sulle evidenze da parte della comunità di Porto Torres sono la manifesta-

zione del suo rafforzamento nelle capacità sociali e rappresentano la premessa per lo sviluppo di interventi di promozione della giustizia ambientale in quel territorio.

Considerazioni conclusive

SENTIERI ha fatto emergere un evidente gradiente Nord-Sud, con condizioni di ingiustizia distributiva associata ai siti contaminati per le comunità residenti in prossimità dei siti del Sud e delle Isole.

Inoltre, ha portato alla luce i principali meccanismi di produzione e mantenimento dell'ingiustizia distributiva nei siti contaminati riconducibile a condizioni di ingiustizia procedurale e ha individuato le capacità di comunità da potenziare per promuovere la giustizia ambientale.

SENTIERI potrà, nel futuro, fornire un contributo sulla base delle seguenti linee d'indirizzo:

- continuare la produzione di documentazione sulla giustizia distributiva e procedurale a livello nazionale (anche al fine di una valutazione complessiva nel tempo dell'efficacia di interventi di promozione della giustizia ambientale);
- migliorare progressivamente la qualità e la pertinenza delle informazioni prodotte tramite:
 - valutazioni con nuovi indicatori a livello di comunità che rappresentino dimensioni ulteriori rispetto a quelle già analizzate (per esempio indicatori analoghi a quelli prodotti dall'Istat sul benessere equo e sostenibile, attualmente disponibili solo a livello regionale e per le aree metropolitane);
 - interazione con altre sorveglianze per descrivere meglio il quadro epidemiologico in associazione ai suoi determinanti a livello di comunità (per esempio, la sorveglianza PASSI,³⁸ con sviluppo di attività di sovracampionamento che tengano conto delle componenti ambientali e socioeconomiche);
- promuovere l'adozione di buone pratiche per documentare condizioni di giustizia distributiva e procedurale a livello locale attraverso:
 - indagini qualitative che possano far comprendere l'evoluzione del contesto locale ed eventualmente fornire spunti anche per valutazioni quantitative;
 - indagini epidemiologiche di tipo analitico ad ampio spettro a livello delle comunità maggiormente interessate dai siti contaminati, in particolare nelle comunità delle *monotown*, che siano in grado di raccogliere informazioni sui diversi determinanti, con attenzione a quelli ambientali e a quelli sociali, e siano in grado di svolgere la funzione di sorveglianza epidemiologica locale;^{39,40}
 - applicazione di modalità di ricerca che uniscano competenze delle discipline epidemiologiche con quelle delle scienze sociali;^{41,42}

Glossario sulla giustizia ambientale nei siti contaminati

Ambienti equigenici. Contesti di vita che presentano condizioni grazie alle quali è possibile interrompere la conversione delle iniquità socioeconomiche e ambientali in disuguaglianze di salute; per esempio, le comunità hanno capacità di comprendere le loro condizioni di fragilità e di attivare azioni di contrasto.

Capacità di comunità. Si riferisce a un insieme di caratteristiche e risorse che possono essere utilizzate per rafforzare le comunità nel comprendere le proprie condizioni di salute in relazione ai fattori ambientali di rischio o beneficio ed effettuare interventi migliorativi.

• **Conoscenza.** Si riferisce alla conoscenza su: rischi per la salute associati all'esposizione agli inquinanti; attori coinvolti nella gestione del rischio; ruoli e responsabilità degli attori istituzionali preposti; quadro normativo di riferimento.

• **Consapevolezza della storia della comunità.** Conoscenza e condivisione della storia e dell'impegno profuso dalla comunità in relazione alle problematiche sanitarie e ambientali.

• **Senso di comunità.** Senso di appartenenza e connessione sociale.

• **Riflessività.** Capacità di apprendimento degli attori sociali.

• **Valori.** Orientamenti condivisi rispetto all'ambiente e alla salute.

• **Potere della comunità.** Capacità di influenzare le decisioni attraverso la partecipazione informata ai processi decisionali.

• **Leadership.** Capacità di iniziativa e protagonismo competente degli attori sociali.

• **Risorse.** Risorse finanziarie e tecniche utilizzabili o attivabili per fare fronte ai problemi collettivi.

• **Abilità.** Abilità e competenze degli attori sociali (organizzative, scientifiche, politiche, ecc.).

• **Partecipazione.** Grado di motivazione a partecipare e di coinvolgimento ad iniziative della comunità.

Comunità sovraccaricate

(overburdened). Sono le comunità sovraccaricate da elementi di fragilità sociale ed economica ai quali si aggiungono le pressioni legate all'inquinamento del territorio.

Condizioni di discriminazione. Si tratta delle condizioni individuali o che caratterizzano un gruppo o una comunità per cui si può determinare ingiustizia distributiva. Le principali sono: il luogo di residenza, l'etnia, l'occupazione, il sesso, l'età, la religione, il livello di istruzione, lo stato socioeconomico, il capitale sociale.

Determinanti sociali della salute. Sono i fattori di natura sociale che influenzano lo stato di salute degli individui e delle comunità o di una popolazione.

Determinanti delle disuguaglianze di salute. Sono i fattori che causano l'iniqua distribuzione di condizioni di salute tra gli individui e tra popolazioni o al loro interno.

Dimensioni delle disuguaglianze. Sono le dimensioni solitamente considerate per stratificare le opportunità di salute e gli esiti di salute quando si considerano le disuguaglianze: luogo di residenza, razza/etnia/cultura/lingua, professione, genere/sesso, religione, livello di istruzione, stato socioeconomico, capitale sociale.

Disuguaglianze/iniquità di salute ambientale. Si riferiscono all'iniqua (sproporzionata, ingiusta, prevenibile e modificabile) distribuzione dei rischi ambientali per la salute tra gli individui, tra le comunità e/o al loro interno.

Rafforzamento di capacità (empowerment). Si riferisce al processo attraverso il quale gli individui e le comunità acquisiscono e rafforzano le capacità di orientare al meglio le loro condizioni di vita, in particolare le loro scelte, per tutelare e promuovere la propria salute.

Giustizia ambientale. Si riferisce al trattamento equo relativo al grado di protezione dai rischi per la salute associati all'ambiente, ovvero alla fruizione dei benefici di natura ambientale, per le persone, gruppi, comunità, popolazioni, indipendentemente dal colore della pelle, dall'etnia, dall'età, dal reddito, dalle condizioni socioeconomiche, nonché all'uguale accesso ai processi decisionali, attraverso un reale coinvolgimento, per l'adozione e l'applicazione di leggi, regolamenti e politiche ambientali per un ambiente sano in cui vivere e lavorare. È di particolare importanza nell'ambito dei siti contaminati. La giustizia ambientale si articola in due principali categorie: la giustizia distributiva e la giustizia procedurale.

Giustizia distributiva. Si riferisce all'equità nella distribuzione dei rischi e dei benefici ambientali tra gli individui, i gruppi di popolazione, le comunità (per esempio, senza discriminazione per caratteristiche socioeconomiche o etniche). È legata alla valutazione delle disuguaglianze nella distribuzione sia dei fattori di rischio (per esempio, esposizioni a sostanze chimiche pericolosi) sia di fattori di protezione per la salute di natura ambientale, e della loro eventuale associazione con un aumento o diminuzione di rischio.

Giustizia procedurale. Si riferisce alla necessità di partecipazione democratica ed equa (equo coinvolgimento soprattutto dei gruppi di popolazione più svantaggiati) ai processi decisionali che influiscono sulla distribuzione dei rischi e dei benefici ambientali. Riguarda, in particolare, lo

studio dei meccanismi e dei processi attraverso i quali l'ingiustizia distributiva è creata e mantenuta nel tempo.

Indicatori di esito delle disuguaglianze. Si tratta di indicatori che valutano gli effetti di condizioni di svantaggio. Un esempio è fornito dall'indicatore 3.4.1 degli Obiettivi di sviluppo sostenibile (*sustainable development goals*, SDG) dell'Agenda 2030 delle Nazioni unite che indica la mortalità prematura per i principali gruppi di patologie croniche potenzialmente, almeno in parte, prevenibile

Indice di deprivazione. È un indicatore composito di condizioni socioeconomiche/sociodemografiche che influiscono direttamente o indirettamente sullo stato di salute. Si tratta di un indicatore multidimensionale che riassume più condizioni di svantaggio in termini relativi, ossia le unità di osservazione possono essere messe a confronto tra di loro. L'indice di deprivazione può essere attribuito a individui, aree, popolazioni, in relazione alla disponibilità dei dati. Questo indicatore di solito combina almeno tre dimensioni: il livello di istruzione, l'occupazione e la disponibilità di beni materiali. È utilizzato per monitorare la giustizia distributiva.

Marginalizzazione. Si riferisce al fenomeno di cui soffrono frequentemente le comunità residenti in prossimità dei siti contaminati rispetto alle decisioni che riguardano il territorio dove vivono e lavorano. Questo fenomeno può riguardare, all'interno di una comunità, i sottogruppi di popolazione più fragili a livello socioeconomico che sono maggiormente esposti ai contaminanti e ai rischi per la salute.

Misura delle disuguaglianze. Si riferisce ai dati relativi ad alcuni fattori sociali ed economici utili per misurare le disuguaglianze. Questi dati possono avere come fonti, per esempio, i censimenti di popolazione e le anagrafi sanitarie o comunali. I dati riguardano condizioni sociodemografiche (come sesso, età, cittadinanza, residenza) ed economiche (per esempio, occupazione, reddito).

Vulnerabilità. È una condizione di svantaggio di partenza che può amplificare l'effetto di una distribuzione iniqua di rischi e benefici ambientali, con conseguente aumento delle disuguaglianze in salute. Le principali vulnerabilità sono associate all'età (i bambini, per la maggiore suscettibilità fisiologica e associata ai comportamenti, e gli anziani, per una maggiore vulnerabilità acquisita), al basso livello di istruzione, alla deprivazione socioeconomica, a un esiguo capitale sociale.

- coinvolgimento degli amministratori e operatori e tecnici dell'SSN e del SNPA locali e delle associazioni territoriali attraverso interazioni continue durante le attività di ricerca e con valutazioni pre-post attività (per esempio, tramite interviste rivolte ai portatori d'interesse non tecnici);

- mappatura delle “capacità di comunità”, secondo quanto indicato da SENTIERI,⁴ da effettuare insieme agli amministratori locali, sia in avvio delle attività di ricerca, per individuare le condizioni della comunità locale rispetto alle singole capacità, sia in conclusione delle attività stesse in relazione ai risultati ottenuti per indirizzare gli interventi.

■ favorire la condivisione delle informazioni prodotte con le comunità locali e loro sottogruppi svantaggiati per migliorare la consapevolezza sugli effetti per la salute della contaminazione ambientale e sulle condizioni di ingiustizia ambientale e promuoverne la loro traduzione in interventi. In termini generali, ciò può essere favorito dall'utilizzo di linguaggi semplificati rispetto a quelli prettamente scientifici e di canali e strumenti di comunicazione che promuovano la fruibilità e la diffusione delle informazioni *evidence-based* (per esempio, l'utilizzo di nuovi strumenti di comunicazione digitali interattivi). Inoltre, nel caso di stu-

di epidemiologici in siti specifici, tramite il coinvolgimento dei cittadini nelle diverse fasi della ricerca. La loro partecipazione può andare dal fornire dati o informazioni, fino al coinvolgimento in tutte le fasi degli studi (co-creazione e sviluppo dello studio), includendo: definizione delle domande sulla base delle quali definire gli obiettivi di studio, raccolta dei dati, analisi degli stessi, loro interpretazione, partecipazione alla diffusione dei risultati e loro traduzione in decisioni da implementare con azioni conseguenti.⁴³ Gli studi si possono configurare, per esempio, con componenti di citizen science (per quanto riguarda esempi di ricerca partecipata, in particolare di citizen science, si vedano i diversi casi descritti nella sezione «EpiChange» della rivista *Epidemiologia&Prevenzione*).⁴⁴ Infine, nelle interazioni con le comunità locali, tramite la promozione di attività di natura culturale, incluse quelle artistiche, associate con quelle di ricerca,⁴⁵ anche per andare incontro alla necessità di tali comunità di poter immaginare e costruire un futuro in cui la propria identità non sia più strettamente connessa alle condizioni di contaminazione ambientale.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

1. Rete italiana ambiente salute (RIAS). Disponibile all'indirizzo: <https://rias.epiprev.it/index.php?site-contaminati-e-giustizia-sociale>
2. Pasetto R, Mattioli B, Marsili D. Environmental justice in industrially contaminated sites. a review of scientific evidence in the WHO European region. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16(6):998.
3. Pasetto R, Fabri A (eds). La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi. Rapporti ISTISAN 20/27. Roma, ISS, 2020. Disponibile all'indirizzo: <https://www.iss.it/documents/20126/0/20-21+web.pdf/1dcc3560-b97d-9d75-5155-e0f0a79b6f1f?t=1605515556122>
4. Pasetto R, Marsili D, Rosignoli F et al. Promozione della giustizia ambientale nei siti industriali contaminati. *Epidemiol Prev* 2020;44(5-6):417-25.
5. Pasetto R, Rosignoli F. Giustizia ambientale e salute ambientale. *La Salute umana* 2020;280:8-10. Disponibile all'indirizzo: https://www.edizioniculturasalute.com/wp-content/uploads/2021/04/Salute_Umana_280_2020_art_g_a.pdf
6. Marsili D, Mannarini T, Pasetto R. Rafforzare le capacità delle comunità residenti nei siti contaminati nella prospettiva della giustizia ambientale. *La Salute Umana* 2020;280:11-16. Disponibile all'indirizzo: https://www.edizioniculturasalute.com/wp-content/uploads/2021/04/Salute_Umana_280_2020_art_marsili.pdf
7. Pasetto R, Fabri A, Marsili D. Giustizia ambientale nei siti industriali contaminati. *Ecoscienza* 2021;4:38-39. Disponibile all'indirizzo: <https://www.arpae.it/it/ecoscienza/numeri-ecoscienza/anno-2021/numero-4-anno-2021>
8. Marsili D, Iavarone I, Pasetto R et al. La mappa concettuale: uno strumento digitale interattivo per la comunicazione del sistema di sorveglianza epidemiologica SENTIERI nei siti contaminati. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:385-91. La mappa è disponibile all'indirizzo: <https://bit.ly/sentieri6mappa>
9. Parsons T. *The system of modern societies*. Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall, 1971.
10. Mannarini T. *Senso di comunità. Come e perché i legami contano*. New York, McGrawHill, 2016.
11. Laverack G. *Public health. Power, empowerment and professional practice*. Londra, Palgrave Macmillan, 2016.
12. Pasetto R, Zona A, Marsili D, Fabri A. Profilo di salute di una comunità intesa da contaminazione industriale. Il caso di Porto Torres: valutazioni ambiente-salute, epidemiologia e comunicazione. Rapporti ISTISAN 22/13. Roma, ISS, 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://www.iss.it/web/guest/-/rapporto-istisan-22/13-profilo-di-salute-di-una-comunit%C3%A0-interessata-da-contaminazione-industriale.-il-caso-di-porto-torres-valutazioni-ambiente-salute-epidemiologia-e-comunicazione.-a-cura-di-roberto-pasetto-amerigo-zona-daniela-marsili-alessandra-f>
13. Istituto Superiore di Sanità. *Salute e ambiente a Porto Torres. Risultati dello studio epidemiologico descrittivo della popolazione residente*. 2022. Disponibile all'indirizzo: <https://www.sardegna.salute.it/index.php?xsl=316&s=9&v=9&c=95339&na=1&n=10>
14. Fazzo L, Minichilli F, Iavarone I et al. Stime globali della mortalità e ospedalizzazione nei siti contaminati italiani inclusi nel progetto SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:366-74.
15. World Health Organization Regional Office for Europe. *Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2019. Disponibile all'indirizzo: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-health-inequalities-in-europe.-second-assessment-report-2019>
16. Pasetto R, Zengarini N, Caranci N et al. Environmental justice nel sistema di sorveglianza epidemiologica SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2017;41(2):134-39.
17. Pasetto R, Iavarone I. Environmental Justice in industrially contaminated sites. From the development of a national surveillance system to the birth of an international network. In: Mah A, Davis T (eds). *Toxic truths: Environmental justice and citizen science in a post-truth age*. Manchester, Manchester University Press, 2020; pp. 199-219. Disponibile all'indirizzo: <https://www.manchesteropenhive.com/view/9781526137005/9781526137005.00023.xml>
18. Pasetto R, Di Fonzo D, Porcu R, De Santis M, Zona A. Environmental health inequalities among municipalities affected by contaminated sites in Italy. *Environmental Justice* 2022;15(4):197-278.
19. Federico G, Vasta M. *The Origins of the Italian Regional Divide: Evidence from Real Wages, 1861-1913*. CEPR Discussion Paper No. DP12358. (2017). Disponibile all'indirizzo: <https://papers.ssrn.com/abstract=3049915>

20. Istat. BES 2021. Il benessere equo e sostenibile in Italia. Roma, Istat, 2022. Disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/files//2022/04/BES_2021.pdf
21. Rosano A, Pacelli B, Zengarini N, Costa G, Cislighi C, Caranci N. Aggiornamento e revisione dell'indice di deprivazione italiano 2011 a livello di sezione di censimento. *Epidemiol Prev* 2020;44(2-3):162-70.
22. Di Fonzo D, Fabbri A, Pasetto R. Distributive justice in environmental health hazards from industrial contamination: A systematic review of national and near-national assessments of social inequalities. *Soc Sci Med* 2022;297:114834.
23. Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al (eds). SENTIERI-Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Inseguimenti Esposti a Rischio da Inquinamento. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:1-286.
24. Pasetto R, Caranci N, Pirastu R. L'indice di deprivazione negli studi di piccola area su ambiente e salute. *Epidemiol Prev* 2011;35(5-6) Suppl 4:174-80.
25. Sustainable Development Goals. SDG Indicators. Metadata Repository. Disponibile all'indirizzo: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata>
26. Bisceglia L, Ancona C, Bauleo L. Il sito contaminato di Taranto e la sua comunità: la sorveglianza integrata ambiente e salute nell'ottica del contrasto alle disuguaglianze. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporti ISTISAN 20/21. Roma, ISS, 2020; pp. 13-23.
27. Marsili D. Meccanismi di generazione e mantenimento delle disuguaglianze nei siti contaminati. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporti ISTISAN 20/21. Roma, ISS, 2020; pp. 57-67.
28. Mannarini T. Meccanismi psicosociali di costruzione, mantenimento e critica delle disuguaglianze: una prospettiva meridionale. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporti ISTISAN 20/21. Roma, ISS, 2020; pp. 68-74.
29. Marsili D, Fazzo L, Iavarone I, Comba P. Communication plans in contaminated areas as prevention tools for informed policy. *Public Health Panor* 2017;3(2):261-67.
30. Marsili D, Battifoglia E, Bisceglia L et al. La comunicazione nei siti contaminati. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl 1:198-205.
31. Ramirez AS, Ramondt S, Van Bogart K, Perez-Zuniga R. Public Awareness of Air Pollution and Health Threats: Challenges and Opportunities for Communication Strategies to Improve Environmental Health Literacy. *J Health Commun* 2019;24(1):75-83.
32. Pasetto R, Saitta P, Bracci C. Sviluppo di un'indagine epidemiologica in un sito inquinato: il contributo imprevisto della sociologia e della medicina legale. *Epidemiol Prev* 2008;32(6):325-28.
33. Bruno C, Marsili D, Bruni BM, Comba P, Scondotto S. Prevenzione della patologia da fluoro-edenite: il modello Biancavilla. Percorsi di ricerca, interventi di sanità pubblica e di promozione della salute. *Not Ist Super Sanita* 2015;28(5) Suppl 1:3-19.
34. Marsili D, Pasetto R, Iavarone I, Fazzo L, Zona A, Comba P. Fostering Environmental Health Literacy in Contaminated Sites: National and Local Experience in Italy From a Public Health and Equity Perspective. *Front Commun* 2021;6. Disponibile all'indirizzo: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fcomm.2021.697547>
35. Solar O, Irwin A. A conceptual framework for action on the social determinants of health. *Social Determinants of Health Discussion Paper 2 (Policy and Practice)*. CSDH-WHO. Geneva, WHO, 2010. Disponibile all'indirizzo: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44489/9789241500852_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
36. Shastitko A, Fakhitova A. Monotowns: a new take on the old problem. *Balt Reg* 2015;1(23):4-24.
37. Fabri A, Pasetto R. Il ruolo dell'industria petrolchimica nella trasformazione socioeconomica di un territorio: il caso di Porto Torres. *Villaggio Globale* 2021;24(94):67-78. Disponibile all'indirizzo: <https://www.vglbale.it/2021/06/01/industria-petrolchimica-e-il-caso-di-porto-torres>
38. Minardi V, Contoli B. Fonti informative e dati per documentare gli stili di vita in relazione alle disuguaglianze. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporti ISTISAN 20/21. Roma, ISS, 2020; pp. 40-54.
39. Comba P, Pasetto R. Health in contaminated sites: the contribution of epidemiological surveillance to the detection of causal links. *Ann Ist Super Sanita* 2022;58(4):223-26.
40. Zengarini N, Caranci N. Un modello concettuale e possibili dati per il monitoraggio delle disuguaglianze nei siti contaminati. In: Pasetto R, Fabri A (eds). *La Environmental Justice nei siti industriali contaminati: documentare le disuguaglianze e definire gli interventi*. Rapporti ISTISAN 20/21. Roma, ISS, 2020; pp. 27-39.
41. Hoover E, Renauld M, Edelstein MR, Brown P. Social Science Collaboration with Environmental Health. *Environ Health Perspect* 2015;123(11):1100-6.
42. Comba P, Marsili D. Towards integration of epidemiological and social sciences approaches in the study of communities affected by asbestos exposure. *Ann Ist Super Sanita* 2019;55(1):68-69.
43. English PB, Richardson MJ, Garzon-Galvis C. From crowdsourcing to extreme citizen science: Participatory research for environmental health. *Ann Rev Public Health* 2018;39:335-50.
44. Si vedano, al riguardo, i casi descritti nella sezione «EpiChange» della rivista *Epidemiologia&Prevenzione*, disponibili all'indirizzo: <https://epiprev.it/page/epichange>
45. Pasetto R, Innocenti Malini G. Promoting environmental justice in contaminated areas by combining environmental public health and community theatre practices. *Futures* 2022;142:10301.

La mappa concettuale: uno strumento digitale interattivo per la comunicazione del sistema di sorveglianza epidemiologica SENTIERI nei siti contaminati

The concept map of SENTIERI Project: a communication interactive digital tool of the national epidemiological surveillance system of Italian contaminated sites

Daniela Marsili,^{1,2} Ivano Iavarone,^{1,2} Roberto Pasetto,^{1,2} Maria Eleonora Soggiu,¹ Lucia Fazzo,^{1,2} Giada Minelli,³ Marina Forti,⁴ Francesco Unali,⁵ Alessandra Fabri,^{1,2} Amerigo Zona^{1,2}

¹ Dipartimento ambiente e salute, Istituto superiore di sanità, Roma

² WHO Collaborating Centre for Environmental Health in Contaminated Sites, Istituto superiore di sanità, Roma

³ Servizio di statistica, Istituto superiore di sanità, Roma

⁴ Giornalista indipendente

⁵ Ufficio stampa, Università Campus Bio-medico di Roma

Corrispondenza: Daniela Marsili; daniela.marsili@iss.it

Riassunto

Questo lavoro illustra lo sviluppo e il potenziale utilizzo delle mappe concettuali nell'ambito delle strategie di comunicazione di SENTIERI come strumento di informazione e comunicazione scientifica applicato alla sorveglianza epidemiologica nei siti contaminati.

La mappa concettuale di SENTIERI 2019-2022 è stata progettata e implementata nella prospettiva di favorire accesso a informazioni scientifiche complesse, garantendo fruibilità dei contenuti e comunicazione con i diversi *stakeholder*. La mappa concettuale si propone di promuovere l'*environmental health literacy* nei siti contaminati.

La metodologia adottata per realizzare la mappa ha previsto le seguenti fasi: **1.** scelta di una *dynamic focus question*; **2.** selezione dei termini rappresentativi degli argomenti trattati; **3.** elaborazione del glossario dei termini selezionati; **4.** rappresentazione dei collegamenti tra i termini selezionati; **5.** individuazione delle proposizioni che esplicitano il significato di ciascun collegamento. L'accesso online alla mappa è garantito attraverso il software Mindomo.

L'uso della mappa concettuale favorisce l'apprendimento attivo degli argomenti che caratterizzano SENTIERI 2019-2022 attraverso percorsi di conoscenza scelti in base a specifici interessi e finalità di apprendimento.

La mappa concettuale deriva dall'integrazione di approcci specifici della disciplina epidemiologica e delle scienze sociali e offre la possibilità di sviluppare mappe specifiche per sito attraverso il confronto con gli attori territoriali e di integrare elementi legati a problematiche emergenti, interessi istituzionali e locali.

Parole chiave: mappe concettuali, strategie di comunicazione, siti contaminati, sorveglianza epidemiologica, *environmental health literacy*

Abstract

This paper describes the development and the envisioned use of concept maps in the framework of the SENTIERI communication strategies as an information and scientific communication tool applied to epidemiological surveillance in contaminated sites.

The concept map of SENTIERI 2019-2022 was designed and implemented to foster access to complex scientific

Messaggi principali

■ Negli anni, SENTIERI ha sviluppato strategie di comunicazione per promuovere l'accesso a informazioni scientifiche complesse sulla sorveglianza epidemiologica e sulle relazioni tra contaminazioni ambientali e relativi rischi per la salute, garantendo fruibilità dei risultati e comunicazione con i diversi *stakeholder*.

■ Nell'ambito di SENTIERI, è stata sviluppata una mappa concettuale come strumento digitale e interattivo di comunicazione scientifica in sanità pubblica finalizzato a promuovere l'apprendimento attivo dei diversi attori che operano sul territorio, integrando approcci specifici della disciplina epidemiologica con quelli delle scienze sociali.

■ La mappa concettuale generale SENTIERI 2019-2022 è uno strumento utile anche a promuovere lo sviluppo di mappe concettuali specifiche per ogni sito attraverso il confronto con gli attori locali (comunità, operatori ambientali e sanitari, amministratori, insegnanti eccetera) e l'integrazione di elementi legati a problematiche emergenti e interessi istituzionali e locali.

information ensuring usability of the contents and communication with the various stakeholders. The concept map aims to promote environmental health literacy in contaminated sites.

The methodology adopted to create the map includes the following phases: **1.** choice of a dynamic focus question; **2.** selection of the representative terms of the addressed topics; **3.** elaboration of the glossary of the selected terms; **4.** representation of the links among the selected terms; **5.** identification of the significant propositions that make explicit the meaning of each link. Online access to the map is guaranteed by the Mindomo software.

The use of the concept map promotes active learning of the topics that characterize SENTIERI 2019-2022 through knowledge paths chosen because of the specific interests and learning purposes.

The concept map derives from the integration of specific approaches of the epidemiological discipline with those of the social sciences and offers the possibility of developing site-specific maps through the interactions with local actors and the integration of elements related to emerging problems as well as institutional and local interests.

Keywords: concept maps, communication strategies, contaminated sites, epidemiological surveillance, environmental health literacy

Introduzione

Le mappe concettuali sono state sviluppate a partire dagli anni Settanta nell'ambito delle scienze sociali in un programma di ricerca sulla psicologia dell'insegnamento, coordinato dallo psicologo americano Josef Novak¹ e basato sulla teoria cognitiva dell'insegnamento di David Ausubel. La tecnica delle mappe concettuali si basa sull'idea fondamentale che l'apprendimento è un processo di acquisizione e assimilazione di elementi conoscitivi relativi a nuovi concetti e proposizioni sulle conoscenze preesistenti.^{2,3} Le mappe concettuali sono, quindi, strumenti di rappresentazione grafica di un argomento complesso (può essere uno studio, un progetto, un tema) che permettono la comprensione e l'acquisizione di nuove conoscenze, promuovendo la memoria dell'apprendimento su quell'argomento.

Secondo la definizione di Novack & Cañas, le mappe concettuali consentono di organizzare graficamente la struttura della conoscenza con la finalità di rappresentare relazioni significative tra concetti espressi in forma di proposizioni.² Per la costruzione di mappe concettuali, infatti, vengono utilizzate parole di collegamento tra i concetti precedentemente selezionati, definite parole "significanti", che rafforzano la potenzialità rappresentativa delle mappe concettuali.³

Molti autori concordano sulla funzione delle mappe concettuali nella rappresentazione della conoscenza in diverse discipline da utilizzare nella formazione professionale, inclusa quella medico-sanitaria, così come nei campi dell'educazione e della comunicazione scientifica.⁴⁻⁸

In considerazione dei diversi livelli di capacità di comprensione di concetti complessi, le mappe concettuali, grazie alla loro capacità di esplicitare le relazioni tra concetti, sono state considerate strumenti che promuovono la comprensione e il pensiero critico nella formazione medica, attraverso l'integrazione di informazioni scientifiche di base con informazioni più specifiche in campo clinico, passando da modelli di pensiero lineare a modelli olistici più integrati.⁷ A questo riguardo, un ulteriore vantaggio cognitivo delle mappe concettuali deriva dalla combinazione di modalità visive e verbali di rappresentazione della conoscenza: utilizzando parole significative per indicare il tipo di relazione tra i termini, la semantica di una rappresentazione grafica può essere compresa e comunicata facilmente grazie alla doppia codifica degli stimoli verbali e visivi.⁵ In un'ottica di sanità pubblica e di prevenzione, il Programma SENTIERI ha sviluppato strategie di comunicazione attinenti alla sorveglianza epidemiologica nei siti contaminati adottando un approccio metodologico di comunicazione strutturata con gli attori istituzionali e sociali che operano nelle comunità incluse nelle aree in-

teressate.^{9,10} Inoltre, sono state analizzate e valutate le modalità di comunicazione adottate nei diversi contesti mettendo in luce il beneficio reciproco dell'interazione collaborativa e della comunicazione bidirezionale tra il piano nazionale e quello locale e tra gli attori istituzionali e sociali territoriali.¹¹ Tutto ciò a supporto dell'*environmental health literacy* degli attori istituzionali e sociali delle comunità residenti in prossimità dei siti contaminati:¹¹⁻¹⁴ aumentare la capacità di comprendere i concetti base della sorveglianza epidemiologica per promuovere la consapevolezza del rischio ambientale e sanitario nei siti contaminati e l'utilizzo dei risultati della sorveglianza a supporto della prevenzione del rischio e di promozione della salute pubblica. Va fatto presente che la comunità locale è intesa come la collettività i cui membri condividono un'area territoriale come base di operazioni per le attività quotidiane e come una "comunità societaria" che ha come funzione l'integrazione degli individui che la costituiscono.¹⁵ In termini psicosociali, la comunità presenta le seguenti caratteristiche: l'interdipendenza dei sistemi relazionali tra le persone; la condivisione e l'interiorizzazione di norme e valori, non necessariamente espressi formalmente; lo sviluppo di un sentimento di comunità connesso a un senso dell'*ingroup* ("noi") che si definisce anche per differenziazione rispetto a *outgroup* esterni (gli "altri", "loro").¹⁶ Queste caratteristiche solitamente confluiscono in comuni necessità e problemi che possono essere affrontati tramite azioni collettive.¹⁷ La presenza di questi elementi comuni non implica necessariamente che le comunità locali siano entità omogenee e il loro grado di coesione dipende dalle capacità sociali della comunità di rispondere ai bisogni dei suoi membri, così come dalle sue caratteristiche strutturali.¹⁸

Nell'ambito del Progetto SENTIERI 2019-2022,¹⁹ è stato studiato l'utilizzo di strumenti di comunicazione digitali interattivi con la finalità di ampliare gli ambiti e i target della comunicazione: tali strumenti promuovono il trasferimento e la condivisione di contenuti scientifici complessi, attraverso linguaggi fruibili da interlocutori non esperti degli argomenti trattati (operatori sanitari e ambientali, media, sistema scolastico). Per questo scopo, è stato scelto lo strumento della mappa concettuale digitale nella prospettiva di accesso e condivisione delle informazioni scientifiche, di miglioramento delle capacità di comprensione e di consapevolezza della relazione tra esposizioni ambientali e salute.

Obiettivo

Lo scopo di questo lavoro è di illustrare lo sviluppo della mappa concettuale SENTIERI 2019-2022 nella prospettiva di promuovere l'utilizzo delle mappe concettuali come nuovo strumento per l'implementazione delle strategie di comunicazione di SENTIERI. Sono discusse le poten-

zialità di questo strumento digitale interattivo per la comunicazione sulla sorveglianza epidemiologica e sui temi a essa collegati, che sono oggetto di approfondimenti nel Progetto SENTIERI 2019-2022, nella prospettiva di rafforzare l'*environmental health literacy* dei diversi *stakeholder* nei siti contaminati. La mappa concettuale è proposta come strumento per favorire l'accesso a contenuti scientifici complessi attraverso un linguaggio che sia fruibile dai non esperti e di aiuto alla comprensione dei termini tecnico-scientifici, che sono necessariamente predefiniti. Attraverso la combinazione di modalità visive e verbali e i collegamenti tra le sue diverse parti, la mappa faciliterà la comprensione dell'insieme del Progetto SENTIERI e l'utilizzo dei suoi contenuti.

Metodologia

Per la costruzione della mappa concettuale del Progetto SENTIERI 2019-2022, è stata utilizzata la metodologia proposta da Novack & Cañas,³ impiegando le tre caratteristiche principali di questo strumento di rappresentazione grafica:

1. una lista di termini selezionati per la loro rappresentatività dell'argomento trattato;
 2. i collegamenti tra i concetti selezionati espressi graficamente con linee;
 3. le proposizioni che esplicitano il significato di ciascun collegamento; le relazioni tra termini sono rappresentate attraverso linee e parole di collegamento significanti.
- La mappa concettuale è stata costruita per rappresentare la struttura e il funzionamento del Progetto SENTIERI 2019-2022 attraverso la spiegazione di concetti caratterizzanti, mettendo in luce ed esplicitando le relazioni esistenti tra i concetti. La costruzione si è articolata in tre fasi distinte, con l'impiego di competenze multidisciplinari del gruppo di lavoro che vanno dall'epidemiologia ambientale e sociale alle scienze sociali e della comunicazione.

La prima fase è stata finalizzata alla formulazione della domanda principale (*focus question*) alla quale la mappa concettuale deve rispondere. La domanda formulata è stata la seguente: «Come lavora il Progetto SENTIERI 2019-2022?» È stato scelto di formulare una *dynamic focus question*^{20,21} utilizzando l'avverbio interrogativo "come" per far risaltare il potenziale esplicativo della mappa sul funzionamento di SENTIERI e incoraggiare, in particolar modo, la ricerca dell'interdipendenza funzionale tra i concetti caratterizzanti selezionati che sono rappresentati nella mappa.^{3,20,21} La formulazione di questo tipo di domanda ha influenzato la scelta dei concetti caratterizzanti, esplicitati nel loro significato, sottolineando le relazioni esistenti tra di essi.

Nella seconda fase di costruzione della mappa concettuale, sono stati selezionati i concetti fundamenta-

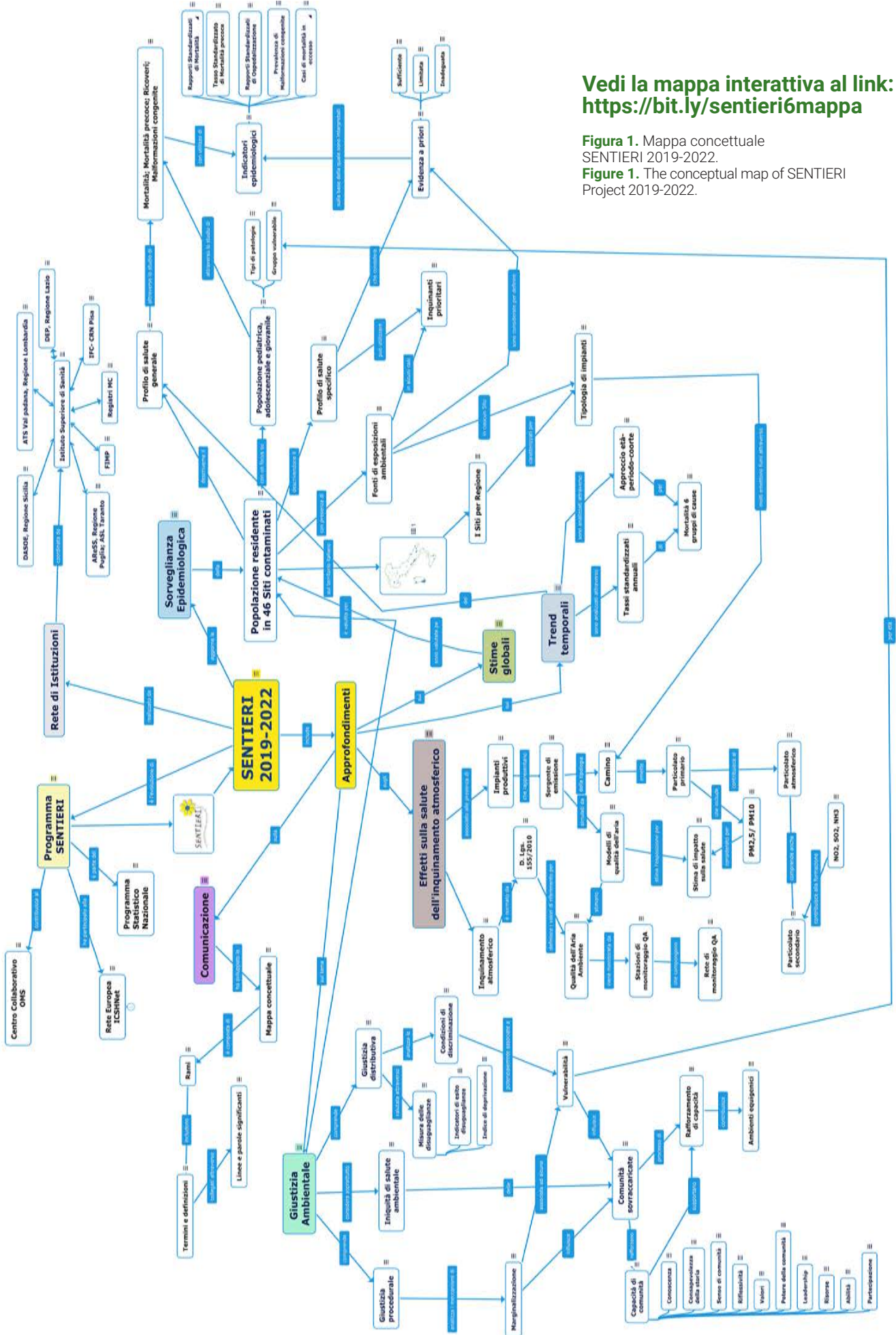
li del Progetto SENTIERI 2019-2022 relativi sia alla sorveglianza epidemiologica nei 46 siti contaminati sia ai temi che sono stati oggetto di approfondimenti pubblicati in questo Supplemento. Le competenze multidisciplinari del gruppo di lavoro hanno permesso di affrontare gli aspetti metodologici della rappresentazione dei contenuti e quelli relativi alle gerarchie e alle definizioni dei contenuti stessi. I concetti selezionati più generali sono stati sviluppati gerarchicamente, collegandoli progressivamente con concetti sempre più specifici attraverso la costruzione di rami. Per ciascun concetto selezionato, è stata elaborata una definizione scientificamente corretta che è stata espressa, in considerazione della finalità della mappa, attraverso un linguaggio semplificato rispetto a quello prettamente scientifico. Le definizioni sono state verificate dall'intero gruppo di lavoro che include esperti di comunicazione.

Nella terza fase, sono state disegnate le linee che rappresentano graficamente i collegamenti precedentemente identificati tra i concetti selezionati per ogni singolo ramo e individuate le parole di collegamento che ne esprimono il significato. Sono state anche individuate le parole significanti di collegamento tra i concetti che compongono i diversi rami della mappa, con la funzione di esplicitare il tipo di relazione esistente tra i diversi argomenti presenti in SENTIERI. La costruzione della mappa concettuale è stata finalizzata alla realizzazione di uno strumento digitale interattivo che promuova un ruolo attivo degli interlocutori nella consultazione: si tratta di un'interattività di primo livello, cioè di interattività di selezione, che consiste nell'ampliare le scelte a disposizione dell'utente per facilitare l'apprendimento influenzando le forme della comunicazione mediata.^{22,23} La mappa concettuale è stata realizzata in modo tale che l'utente non sia obbligato a seguire un unico percorso di conoscenza: è possibile scegliere di seguire la guida fornita per l'organizzazione delle informazioni presenti nella mappa oppure scegliere i propri percorsi di conoscenza sui diversi argomenti della mappa; è anche possibile interrogare la mappa su singoli termini in considerazione del proprio interesse e delle finalità di apprendimento.

La facilità di accesso e di interrogazione della mappa concettuale sono state considerate requisiti fondamentali per permetterne un'ampia diffusione, anche attraverso il coinvolgimento degli operatori territoriali, e un reale utilizzo delle informazioni fornite per attività di formazione e di supporto all'*environmental health literacy* degli interlocutori. L'accessibilità online della mappa concettuale è garantita dall'utilizzo del software Mindomo; il collegamento alla mappa è possibile attraverso un hyperlink: <https://bit.ly/sentieri6mappa>

Vedi la mappa interattiva al link:
<https://bit.ly/sentieri6mapa>

Figura 1. Mappa concettuale SENTIERI 2019-2022.
 Figure 1. The conceptual map of SENTIERI Project 2019-2022.



Risultati

La mappa concettuale del Progetto SENTIERI 2019-2022 (figura 1) presenta diversi rami, ciascuno dei quali è dedicato a un argomento specifico. Attraverso la rappresentazione grafica degli argomenti trattati, la mappa mostra le relazioni funzionali esistenti tra i concetti selezionati nei diversi rami: “Sorveglianza epidemiologica nei 46 siti contaminati”, “Trend temporali”, “Stime globali”, “Effetti sulla salute dell’inquinamento atmosferico”, “Giustizia ambientale”, “Comunicazione”. La mappa include due ulteriori rami che completano la descrizione del quadro di lavoro di SENTIERI: il ramo della “Rete di istituzioni” che hanno collaborato al Progetto e il ramo “Programma SENTIERI” che riassume la storia di SENTIERI e i suoi collegamenti nazionali e internazionali.

Attraverso lo sviluppo del ramo “Sorveglianza epidemiologica”, la mappa rende esplicito il significato dei termini fondamentali e frequentemente utilizzati dando una rappresentazione grafica delle componenti e degli strumenti della sorveglianza epidemiologica impiegati per descrivere il profilo di salute delle popolazioni residenti nei 46 siti contaminati. La mappa esplicita, quindi, il significato degli indicatori epidemiologici utilizzati per stimare lo stato di salute della popolazione generale e di sottogruppi di popolazione particolarmente vulnerabili (popolazione pediatrica, adolescenziale e giovanile) nei singoli siti e nel loro insieme e per analizzare l’andamento temporale in alcuni siti selezionati. La vulnerabilità concerne i bambini, sia perché, a parità di inquinamento ambientale, presentano usualmente livelli di esposizione più elevati degli adulti sia perché rispondono in modo diverso dagli adulti a fattori di tipo ambientale. SENTIERI è in grado di segnalare in questi gruppi eccessi di rischio potenzialmente associati all’inquinamento ambientale (eventi sentinella della qualità ambientale) a livello comunale.

La mappa esplicita il significato del livello di evidenza dell’associazione tra la residenza in prossimità delle fonti di contaminazione presenti nei siti e specifiche patologie (evidenza *a priori*), in base alle conoscenze scientifiche disponibili e aggiornate. L’evidenza *a priori* è esplicitata nella mappa, perché il suo utilizzo per l’interpretazione dei dati è caratterizzante dell’approccio metodologico del Programma SENTIERI fin dalla sua nascita.

La mappa fornisce, inoltre, gli elementi chiave per inquadrare i 46 siti in studio: la loro posizione geografica sul territorio, la localizzazione all’interno di ciascuna Regione e la loro caratterizzazione per fonti di contaminazione ambientale. Quest’ultimo elemento è importante per rendere facilmente comprensibile la

tipologia di impianti di interesse per la sorveglianza epidemiologica e permettere il collegamento con l’argomento rappresentato dal ramo della mappa “Effetti sulla salute dell’inquinamento atmosferico”. Questo ramo si focalizza sulla specifica matrice ambientale aria, la cui contaminazione è in parte associata ai processi di combustione degli impianti produttivi presenti nei siti, con specifica attenzione ai livelli di concentrazione di $PM_{2,5}$ e PM_{10} , come illustrato nel contributo di Bauleo et al.²⁴ presente in questo Supplemento. Questo tema è di particolare interesse, perché la normativa relativa all’istituzione di un sito contaminato non prende in considerazione la matrice aria, in quanto per sua natura essa non consente una lettura “storica” della contaminazione trascorsa. Per la prima volta in SENTIERI, vengono stimanti i principali effetti sanitari per esposizione a $PM_{2,5}$ e PM_{10} nelle popolazioni residenti in 16 siti selezionati secondo specifici criteri, come descritto nel contributo sopraccitato.

Il ramo della mappa concettuale “Giustizia ambientale” rappresenta il significato più generale del termine e dei due aspetti che lo compongono: la giustizia distributiva e la giustizia procedurale. Per ciascuno dei due aspetti sono rappresentati i concetti chiave e i collegamenti esistenti tra di essi. I collegamenti tra “Giustizia ambientale” e alcuni termini del ramo “Sorveglianza epidemiologica” esplicitano l’ampliamento delle prospettive con cui è affrontata la sorveglianza epidemiologica SENTIERI 2019-2022, ponendo particolare attenzione alle disuguaglianze ambientali e di salute associate ai principali siti contaminati italiani, così come affrontato in dettaglio da Pasetto e Marsili²⁵ presente in questo Supplemento.

Il ramo della mappa “Comunicazione” esplicita le finalità della mappa concettuale realizzata nell’ambito dell’implementazione delle strategie di comunicazione del Programma SENTIERI,⁹⁻¹¹ richiamate nella parte introduttiva di questo stesso contributo. La rappresentazione grafica di questo ramo, inoltre, è di supporto agli interlocutori nel fornire le informazioni sul funzionamento, le modalità di ricerca e la consultazione della mappa.

I due rami che rappresentano rispettivamente la “Rete di Istituzioni” che hanno collaborato al Progetto SENTIERI 2019-2022 e la storia del “Programma SENTIERI” completano la mappa concettuale dando un inquadramento storico e attuale delle reti di collaborazione nazionale e internazionale di SENTIERI, mostrando da un lato l’importanza della multidisciplinarietà e multi-istituzionalità del gruppo di lavoro, dall’altra le potenzialità di sviluppo, la trasferibilità dell’approccio e delle metodologie adottate.

La consultazione della mappa digitale interattiva per-

mette di comprendere le modalità con le quali viene realizzata la sorveglianza epidemiologica nel suo complesso, i significati e i collegamenti tra i diversi argomenti che compongono SENTIERI 2019-2022, nonché di ricercare i termini e di scegliere i percorsi di conoscenza secondo il proprio interesse e le finalità di apprendimento. La figura 1 mostra la mappa concettuale nel suo insieme.

Discussione

Lo sviluppo delle mappe concettuali come strumento di comunicazione è stato proposto per la prima volta in SENTIERI nell'ambito dell'implementazione delle strategie di comunicazione in considerazione dell'importanza e della necessità di rendere fruibili i complessi contenuti della sorveglianza epidemiologica a un più ampio spettro di interlocutori. Al tempo stesso, la versatilità di questo strumento digitale interattivo permette di ampliare gli ambiti e le iniziative di comunicazione di SENTIERI.

Questo strumento è stato realizzato innanzitutto per essere utilizzato dagli attori territoriali che operano sulle tematiche trattate da SENTIERI, al fine di acquisire nuove conoscenze per facilitare la comprensione dei risultati del Progetto e maggiore consapevolezza dell'importanza di aumentare l'*environmental health literacy*, componente basilare delle capacità sociali delle comunità residenti nei siti.^{11,18} La mappa concettuale esplicita un comune vocabolario di riferimento. Gli attori territoriali già coinvolti possono avere un ruolo importante nel promuovere l'accesso alla mappa concettuale, al fine di aumentare le conoscenze sulla sorveglianza epidemiologica e i temi a essa collegati. Inoltre, l'accesso ai contenuti della mappa consente un utilizzo appropriato dei risultati di SENTIERI, fornendo agli interlocutori territoriali la spiegazione del significato dei termini e dei collegamenti tra concetti espressi con termini tecnico-scientifici e indicatori epidemiologici. In quest'ottica, tale strumento promuove le interazioni tra il piano nazionale e quello locale e viceversa, facilitando le collaborazioni finalizzate a condividere azioni di comunicazione sui risultati di SENTIERI.

La prospettiva è di utilizzare la mappa per comunicare in ambiti e con interlocutori diversi, per esempio, nell'ambito della formazione professionale per operatori sanitari e ambientali ai diversi livelli, nonché in ambito scolastico e di divulgazione scientifica, proprio in considerazione del fatto che la sua natura digitale interattiva favorisce un facile accesso a contenuti complessi e un apprendimento attivo.

La mappa rappresenta uno strumento di comunicazione fruibile sia attraverso la sua consultazione da remoto sia attraverso la presentazione e la condivisione dei contenuti durante iniziative in presenza. Nel pri-

mo caso, la consultazione della mappa sarà motivata dall'interesse dell'utente, il quale potrà scegliere autonomamente la ricerca dei termini e i percorsi di consultazione. In questo caso, il linguaggio adottato faciliterà l'accesso ai contenuti e alla navigazione. Nel secondo caso, la mappa può contribuire a promuovere una comunicazione bidirezionale attraverso l'interazione sui contenuti tra colui che illustra la mappa e gli interlocutori, che siano insegnanti e studenti o partecipanti a iniziative di formazione professionale.⁷ Per esempio, nei corsi di formazione e/o aggiornamento professionale per operatori sanitari e ambientali la mappa consente di mettere in rilievo la necessaria integrazione delle due componenti ambientale e sanitaria per approfondire le tematiche e per trovare congiuntamente soluzioni per la riduzione del rischio finalizzato alla tutela della salute. In particolare, questa integrazione è richiesta per due aspetti legati a SENTIERI. Il primo riguarda la caratterizzazione dell'esposizione delle popolazioni che vivono in prossimità dei siti contaminati, tema cruciale in SENTIERI, l'altro riguarda quello delle priorità di intervento delle bonifiche. Su questi due fronti, le collaborazioni con altre istituzioni preposte, quali il sistema ISPRA-SNPA e il Ministero della transizione ecologica (già Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare), sono auspicate e necessarie.

Un ulteriore possibile ambito di futuro utilizzo della mappa concettuale può essere quello dei corsi di aggiornamento dell'Ordine dei giornalisti e per i comunicatori della Pubblica amministrazione, in particolare i giornalisti e i comunicatori interessati alle tematiche specifiche legate ad ambiente e salute e coloro che operano nelle aree dei siti contaminati.

In questi diversi contesti, la discussione sui contenuti della mappa, l'ascolto dei bisogni informativi, e il *feedback* ricevuto dai gruppi di partecipanti alle iniziative educative e formative potrà essere un fattore importante per implementare ulteriormente i contenuti della mappa stessa e valutarne l'impatto comunicativo.

Attualmente, è prevista una valutazione iniziale dell'utilizzo della mappa concettuale mediante la quantificazione delle visualizzazioni attraverso una funzione del software utilizzato che misura il totale delle visualizzazioni e della consultazione dei diversi contenuti della mappa. La valutazione specifica dell'utilizzo della mappa e del suo impatto è possibile attraverso il *feedback* ricevuto dai diversi gruppi di interlocutori che accederanno ai contenuti della mappa in eventi di formazione e di comunicazione di SENTIERI.

Considerazioni conclusive

Le caratteristiche e le potenzialità di questo strumento di comunicazione digitale interattivo garantiscono

ampie possibilità di sviluppo. Sulla base di questa mappa concettuale e attraverso il confronto con gli attori territoriali, sarà possibile valutare l'opportunità di produrre mappe concettuali dedicate alla sorveglianza epidemiologica specifica per sito, integrando i risultati di SENTIERI con quelli di studi epidemiologici locali, al fine di condividere un quadro di conoscenze più completo con un maggior numero di interlocutori e con la popolazione residente in ciascun sito. La crescente complessità di SENTIERI, che nei diversi contesti e iniziative di comunicazione diventa elemento cruciale, troverà nella mappa concettuale un utile strumento facilitatore.

Inoltre, la mappa potrà in futuro essere implementata integrando ulteriori elementi legati a possibili proble-

matiche emergenti, interessi istituzionali o locali specifici, nonché aspetti particolari affrontati nei contributi inclusi in questo Supplemento.²⁴⁻³⁰

Infine, questo strumento ha le potenzialità di essere sviluppato per approfondire ulteriormente gli studi sull'integrazione di approcci specifici della disciplina epidemiologica con quelli delle scienze sociali per l'adozione di strategie efficaci di comunicazione di SENTIERI nei siti contaminati, rafforzando il coinvolgimento degli attori territoriali anche per l'implementazione condivisa di mappe concettuali che rispondano alle specificità del territorio e alle criticità riscontrate.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Bibliografia

- Novak JD. Concept mapping: A useful tool for science education. *J Res Sci Teach* 1990;27(10):937-49.
- Novak JD, Cañas AJ. The origins and the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization* 2006;5(3):175-84.
- Novak JD, Cañas AJ. Theoretical origins of Concept Maps, how to construct them, and uses in education. *Reflecting Education* 2007;3(1):29-42.
- Hill LH, Roslan MM. Using visual concept mapping to communicating medication information to chronic disease patients with low health literacy. In: Cañas AJ, Novak J, Gonzales F. (eds). *Concept maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*. Pamplona, Spain 2004.
- Tergan SO. Digital concept maps for managing knowledge and information. In: Tergan S-Q, Keller T (eds.): *Knowledge and Information visualization*. LNCS 3426. Berlino, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005; pp. 185-204.
- Orúe AB, Alvarez G, Montoya F. Using Concept Maps to improve Scientific Communications. In: "ENMA Education: International Conference on Engineering and Mathematics". Bilbao 2008.
- Daley BJ, Torre DM. Concept maps in medical education: an analytical literature review. *Med Educ* 2010;44(5):440-48.
- Luna de la Luz V. Mapas conceptuales para favorecer el aprendizaje significativo en ciencias de la salud. *Inv Ed Med* 2014;3(12):220-23.
- Marsili D, Fazzo L, Iavarone I, Comba P. Communication plans in contaminated areas as prevention tools for informed policy. *WHO Public Health Panorama* 2017;3(2):261-67. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/341543/8_PolicyPractice_CommunicationPlans_ENG.pdf?ua=1
- Marsili D, Battifoglia E, Bisceglia et al. La comunicazione nei siti contaminati. In: Zona A, Iavarone I, Buzzoni et al (eds). *SENTIERI- Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento*. Quinto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2019;43(2-3) Suppl 1:198-206.
- Marsili D, Pasetto R, Iavarone I, Fazzo L, Zona A, Comba P. Fostering environmental health literacy in contaminated sites: national and local experience in Italy from a public health and equity perspective. *Front Commun* 2021;6:697547.
- Finn S, O'Fallon L. The emergence of environmental health literacy – from its roots to its future potential. *Environ Health Perspect* 2017;125(4):495-501.
- Davis LF, Ramirez-Andreotta MD, McLain JET, Kilungo A, Abrell L, Buxner S. Increasing Environmental Health Literacy through Contextual Learning in Communities at Risk. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(10):2203.
- Gray K. From content knowledge to community change: a review of representation of environmental health literacy. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(3):466.
- Parsons T. *The System of Modern Societies*. Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1971.
- Mannarini T (ed). *Senso di comunità. Come e perché i legami contano*. New York, McGrawHill Education, 2016; pp. 214.
- Laverack G. *Public health: power, empowerment and professional practice*. Third edition. Basingstoke (Hampshire), Palgrave Macmillan, 2016.
- Marsili D, Mannarini T, Pasetto R. Rafforzare le capacità delle comunità residenti nei siti contaminati nella prospettiva della giustizia ambientale. *La Salute Umata* 2020;280:11-16. Disponibile all'indirizzo: https://www.edizioniculturasalute.com/wp-content/uploads/2021/04/Salute_Umana_280_2020_art_marsili.pdf
- Zona A, Fazzo L, Pasetto R et al (eds). *SENTIERI-Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento*. Sesto Rapporto. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:1-286.
- Derbentseva N, Safayeni F, Cañas AJ. Concept maps: Experiments on dynamic thinking. *J Res Sci Teach* 2006;44(3):448-65.
- Miller NL. Effect of the nature of the focus question on presence of dynamic propositions in a concept map. In: Cañas AJ, Reiska P, Åhlberg M, Novak JD (eds). *Concept Mapping: Connecting Educators Proceedings of the Third International Conference on Concept Mapping*. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland 2008.
- Jensen J. Interactivity: Tracking a New Concept in Media and Communication Studies. In: Mayer P (ed). *Computer Media and Communication*. Oxford, Oxford University Press, 1999; pp. 160-87.
- Mechant P, Van Looy J. Interactivity. In: Ryan ML, Emerson L, Robertson B (eds). *The Johns Hopkins Guide to Digital Media*. Baltimore (Maryland, USA), Johns Hopkins University Press, 2014; pp. 302-5.
- Bauleo L, Fabri A, De Santis M, Soggiu ME, Ancona C. Valutazione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute della popolazione residente nelle aree industriali italiane incluse nel Progetto SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:338-53.
- Pasetto R, Marsili D. Il contributo di SENTIERI alla promozione della giustizia ambientale nei siti contaminati italiani. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:375-84.
- Vecchi S, Benedetti M, Fazzo L, Bruno C, Zona A. Revisione della letteratura scientifica sull'associazione tra fonti di esposizione ambientale in siti contaminati ed esiti di salute, Progetto SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:289-309.
- Scaini F, Benedetti M, Soggiu ME, Zona A, Settimo G, Beccaloni E. I siti contaminati del Progetto SENTIERI: aggiornamenti legislativi, caratteristiche della contaminazione e fonti di esposizione ambientale. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:310-15.
- Settimo G, Soggiu ME, Benedetti M, et al. Dalla selezione degli inquinanti prioritari alla lettura dei dati sanitari nel Progetto SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:316-37.
- Stoppa G, Minelli G, Manno V et al. Approcci metodologici per valutare l'andamento della mortalità nel lungo periodo nel sistema di Sorveglianza SENTIERI: focus sull'analisi di coorte. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:354-65.
- Fazzo L, Minichilli F, Manno V et al. Stime globali della mortalità e ospedalizzazione nei siti contaminati italiani inclusi nel Progetto SENTIERI. *Epidemiol Prev* 2023;47(1-2) Suppl 1:366-74.



EPIDEMIOLOGIA & PREVENZIONE

ABBONAMENTI 2023

		ON-LINE + SUPPLEMENTI ON-LINE	ON-LINE + CARTA + SUPPLEMENTI ON-LINE	ON-LINE + CARTA + SUPPLEMENTI
Privati Italia	1 anno	72	80	95
	2 anni	135	150	180
	3 anni	190	210	250
Enti Italia Accesso Unico*	1 anno	148	155	170
	2 anni	275	290	320
	3 anni	390	410	450
Enti Estero	1 anno	165	180	210
	2 anni	310	335	395
	3 anni	425	475	555
Privati Estero	1 anno	85	100	130
	2 anni	160	190	245
	3 anni	225	265	350

* ENTI ITALIA AD ACCESSO MULTIPLO: ABBONAMENTI DA CONCORDARE CON L'EDITORE

35€

Abbonamento on-line per **GIOVANI EPIDEMIOLOGI** under 35.

40€

Per gli **AUTORI** di un contributo nell'anno in corso e non sono abbonati da almeno 2 anni.

50€

Ai **GENEROSI EPIDEMIOLOGI GIÀ ABBONATI**, regalare un abbonamento per il 2021 costa solo 50 euro per l'edizione on-line e 60 euro per avere anche il cartaceo.

0€

Per gli **EPIDEMIOLOGI "CONTAGIOSI"** che fanno sottoscrivere due nuovi abbonamenti a chi non conosce la rivista o non è più abbonato da almeno due anni, l'abbonamento o il rinnovo è gratuito.

EPIDEMIOLOGIA & PREVENZIONE

ABBONAMENTO ALLA RIVISTA A PARTIRE DAL PRIMO NUMERO RAGGIUNGIBILE

SCRIVI A: abbonamenti@inferenze.it **TELEFONA:** 02 48702283
INFERENZE scarl via Ricciarelli, 29 - 20148 Milano

DATA / / TIPO DI ABBONAMENTO EURO

MODALITÀ DI PAGAMENTO

PAYPAL

fai tutto on-line con alla pagina www.epiprev.it/abbonamenti

BONIFICO BANCARIO

BPER BANCA, Piazza Wagner 8,
20145 Milano
IBAN IT83Z0538701612000035010623
intestato a Inferenze scarl,
via Ricciarelli, 29 - 20148 Milano
(per velocizzare, inoltra anche via mail
la richiesta allegando la contabile)

CARTA DI CREDITO

American Express Carta Si Master Card Eurocard VISA

COGNOME E NOME

AZIENDA

INDIRIZZO

CAP / LOCALITÀ / PROVINCIA

TEL. / FAX

E-MAIL

NUMERO

SCADENZA

COD.CV2 (ULTIME 3 CIFRE STAMPATE SUL RETRO DELLA CARTA)

FIRMA

eio