

Ambiente, Geotermia e Salute Pubblica nel Monte Amiata: revisione integrata delle evidenze ambientali ed epidemiologiche

Revisione narrativa delle evidenze su geotermia, contaminazione e impatti sanitari
(Relatore: Fabio Landi)

Sansepolcro, 24 Ottobre

Congresso Nazionale ISDE Italia 2026

Costruire identità, conoscenza e coerenza nella salute ambientale

Disclaimer (Fabio Landi)

Dipendente della società Takeda Italia

“Quanto rappresentato nell’ambito dell’intervento/relazione è a titolo personale e non riflette necessariamente la posizione di Takeda”.

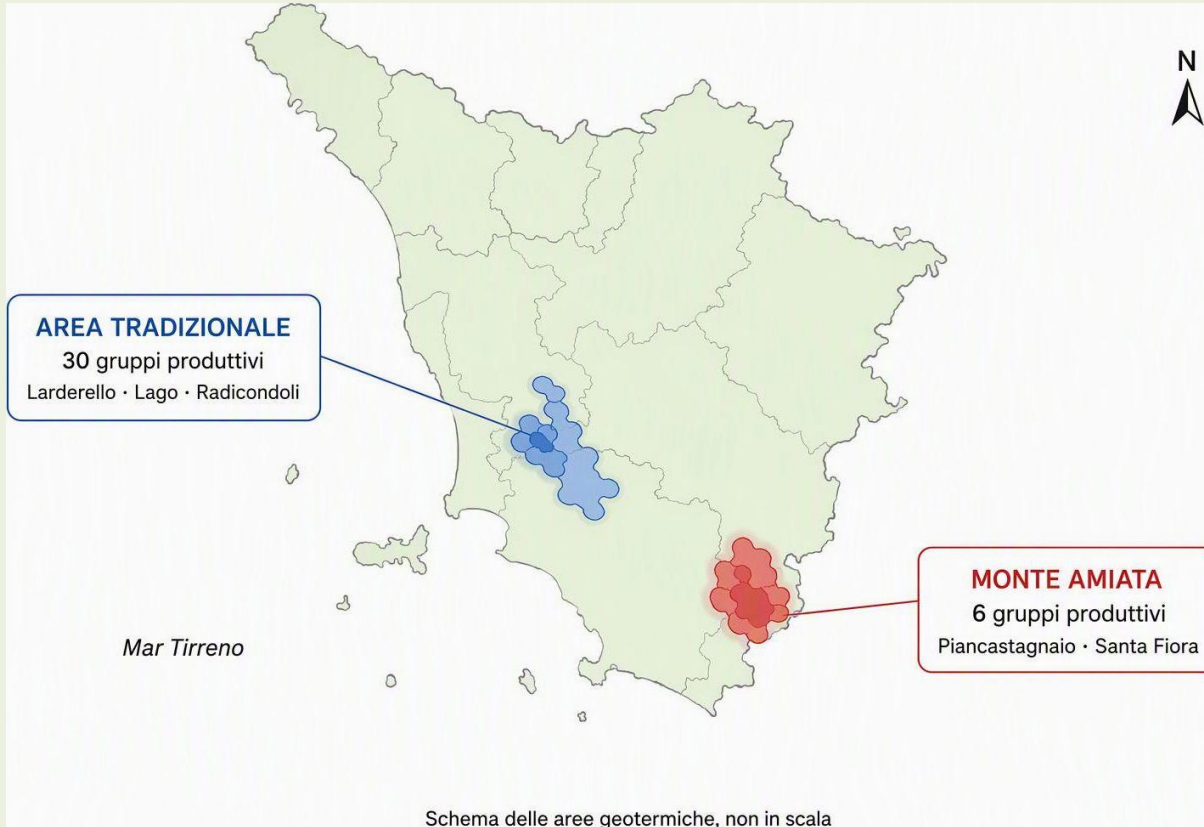
Agenda

- Geotermia ed emissioni
- Studi epidemiologici
- Nuove Evidenze Scientifiche

Agenda

- Geotermia ed emissioni
- Studi epidemiologici
- Nuove Evidenze Scientifiche

Geotermia in Toscana: quadro ARPAT 2025



Area tradizionale (Nord)

28 centrali

Larderello e Val di Cecina (Pisa)
Lago e Radicondoli

Amiata (Area Sud)

5 centrali

Piancastagnaio: PC3, PC4 e PC5
Santa Fiora: Bagnore 3 e Bagnore 4

33 centrali attive in Toscana con 36 gruppi geotermoelettrici produttivi

Emissioni giornaliere delle centrali geotermiche amiatine con filtri AMIS attivi



Attività ARPAT Anno 2018:

- 10 controlli in 7 centrali su 33 per un totale di 25 punti emissivi
- Monitorati 6 inquinanti.

Centrali geotermiche attive in Toscana (33):

Sostanze per cui sono previsti limiti alle emissioni:

- Idrogeno solforato (H₂S).
- Mercurio (Hg).
- Arsenico (As).
- Anidride solforosa (SO₂).

Monitoraggio delle aree geotermiche toscane Anno 2018



	NH ₃ (Kg/day)*	H ₂ S (Kg/day)*	Hg (g/Day)*	CO ₂ (Kg/day)*	CH ₄ (Kg/day)*	SO ₂ (Kg/day)*
Bagnore 3	177,6	24,0	57,6	220632,0	5328,0	360,0
Bagnore 4 GRP 1	696,0	163,2	55,2	212184,0	6528,0	1015,2
Bagnore 4 GRP 2	158,4	50,4	55,2	215160,0	9936,0	1416,0
Piancastagnaio 3	468,0	228,0	108,0	278880,0	5544,0	1128,0
Piancastagnaio 4	19,2	180,0	110,4	344664,0	3768,0	2400,0
Piancastagnaio 5	24,0	247,2	72,0	146424,0	2544,0	1920,0
Totale*	1.543,2	892,8	458,4	1.417.944,0	3.3648,0	8.239,2

NH₃ (Kg/day)* H₂S (Kg/day)* Hg (g/Day)* CO₂ (Kg/day)* CH₄ (Kg/day)* SO₂ (Kg/day)*

*AMIS

Emissioni giornaliere delle centrali geotermiche amiatine con filtri AMIS attivi



Attività ARPAT Anno 2023:

- 8 Controlli in 6 Centrali su 33
- Monitorati 3 Inquinanti.



Attività ARPAT Anno 2025:

- 13 Controlli in 4 Centrali su 33
- Monitorati 3 Inquinanti.

Tabella 5 – Risultati relativi alle portate di acido solfidrico, mercurio e anidride solforosa e valori di abbattimento percentuale di mercurio e acido solfidrico per l’impianto AMIS delle CGTE controllate nel 2023

Denominazione centrale	Data controllo	Scarico compressore		Uscita AMIS			Efficienza di abbattimento %	
		Flusso di massa acido solfidrico (kg/h)	Flusso di massa mercurio (g/h)	Flusso di massa acido solfidrico (kg/h) VLE 3 kg/h	Flusso di massa mercurio (g/h) VLE 2g/h	Flusso di massa anidride solforosa (g/h) VLE 200g/h	Acido solfidrico	Mercurio
N. Castelnuovo	15/03/2023	37	4	Inferiore Limite Quantificazione	0,2	2	99,8	94,9
N. Radicondoli grp.1	05-06/04/2023	151	6	Inferiore Limite Quantificazione	0,5	4	99,9	91,5
Nuova Molinetta	09/05/2023	33	11	Inferiore Limite Quantificazione	0,2	7	99,8	98
Le Prata	08/06/2023	59	5	Inferiore Limite Quantificazione	4	17	99,8	26,5
PC3	27/06/2023	175	41	Inferiore Limite Quantificazione	0,2	334	99,8	99,4
PC4	28/06/2023	179	47	Inferiore Limite Quantificazione	1	64	99,9	97,4



Per tutti gli impianti controllati *non sono stati registrati superamenti dei valori limite alle emissioni*, di cui agli specifici atti autorizzativi, che recepiscono la normativa regionale. Oltre ai controlli veri e propri, il settore ha supervisionato le **attività di autocontrollo del Gestore** su tre impianti produttivi

Atmosfera e inquinanti geotermici

- Emissioni di particolato secondario in atmosfera delle centrali geotermoelettriche.
- Per avere parametri di riferimento sono state utilizzate le analisi di PM10 effettuate sui campioni di Arezzo e di Firenze nonché l'analisi del fluido geotermico **post-AMIS** immesso in atmosfera prelevato direttamente dalla **centrale di Piancastagnaio PC5**.

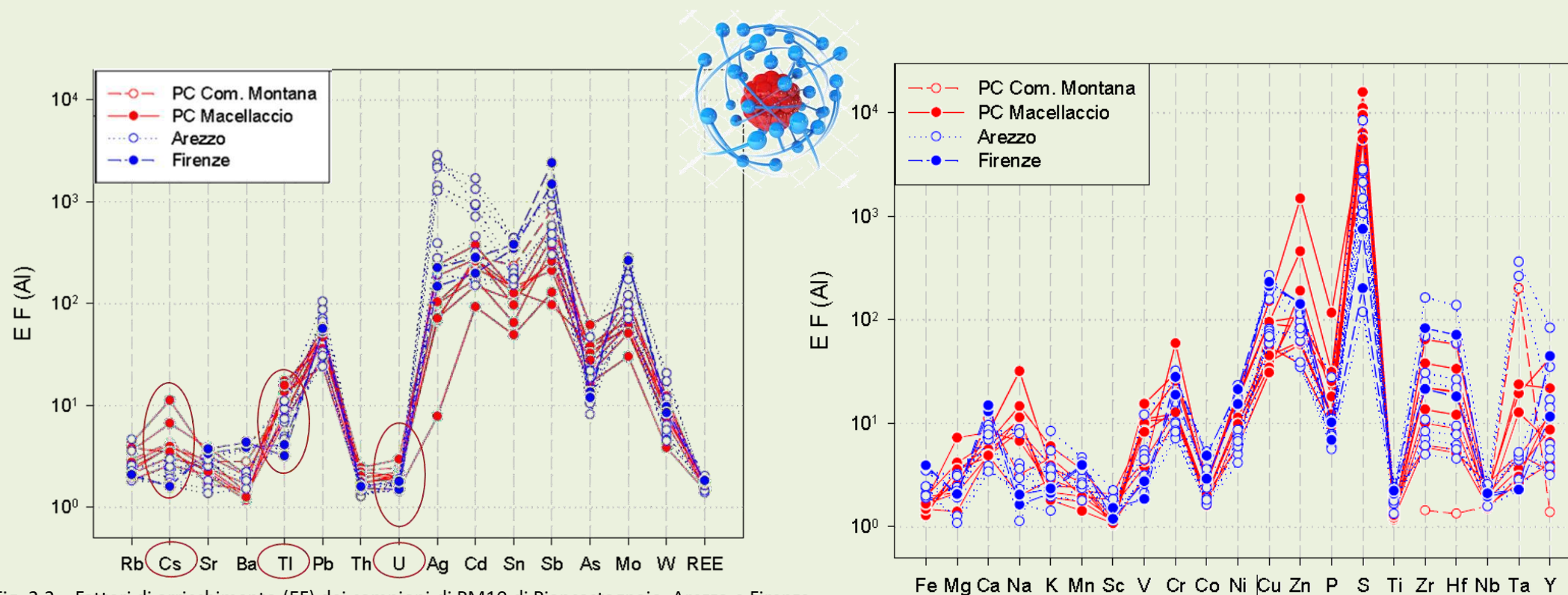


Fig. 3.3 – Fattori di arricchimento (EF) dei campioni di PM10 di Piancastagnaio, Arezzo e Firenze.

Inquinamento atmosferico ed effetto Cumulativo



EPIDEMIOLOGIA & PREVENZIONE
RIVISTA DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI EPIDEMIOLOGIA

Tutti gli studi condotti fino ad oggi mostrano inoltre che non esiste un livello-soglia al di sotto del quale non siano evidenziabili effetti dell'inquinamento sulla salute. Proprio nei giorni scorsi l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha ribadito che anche al di sotto dei limiti di legge previsti per il particolato, vi sono effetti sanitari sulle popolazioni esposte (documento "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP" [interim report](#)).



**2026 World Conference
on Lung Cancer**

SEPTEMBER 12 – 15, 2026 | SEOUL, REPUBLIC OF KOREA

BMJ Oncology

Air pollution and its impact on cancer incidence, cancer care and cancer outcomes

Roselle De Guzman ¹, Joan Schiller^{2,3}



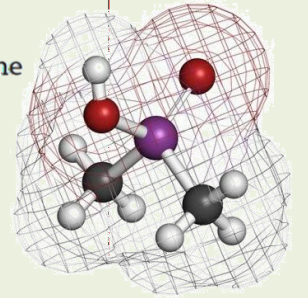
Carcinogenesis, 2015, Vol. 36, Supplement 1, S254–S296

doi:10.1093/carcin/bgv039
Review

REVIEW

Assessing the carcinogenic potential of low-dose exposures to chemical mixtures in the environment: the challenge ahead

William H. Goodson III¹, Leroy Lowe^{1,2}, David O. Carpenter³, Michael Gilbertson⁴, Abdul Manaf Ali⁵, Adela Lopez de Cerain Salsamendi⁶, Ahmed Lasfar⁷, Amancio Carnero⁸, Amaya Azqueta⁶, Amedeo Amedei⁹, Amelia K. Charles¹⁰, Andrew R. Collins¹¹, Andrew Ward¹², Anna C. Salzberg¹³, Annamaria Colacci¹⁴, Ann-Karin Olsen¹⁵,



Abstract

Lifestyle factors are responsible for a considerable portion of cancer incidence worldwide, but credible estimates from the World Health Organization and the International Agency for Research on Cancer (IARC) suggest that the fraction of cancers attributable to toxic environmental exposures is between 7% and 19%. To explore the hypothesis that low-dose exposures to mixtures of chemicals in the environment may be combining to contribute to environmental carcinogenesis, we reviewed 11 hallmark phenotypes of cancer, multiple priority target sites for disruption in each area and prototypical chemical

S258 | *Carcinogenesis*, 2015, Vol. 36, Supplement 1

disruptors for all targets, this included dose-response characterizations, evidence of low-dose effects and cross-hallmark effects for all targets and chemicals. In total, 85 examples of chemicals were reviewed for actions on key pathways/mechanisms related to carcinogenesis. Only 15% (13/85) were found to have evidence of a dose-response threshold, whereas 59% (50/85) exerted low-dose effects. No dose-response information was found for the remaining 26% (22/85). **Our analysis suggests that the cumulative effects of individual (non-carcinogenic) chemicals acting on different pathways, and a variety of related systems, organs, tissues and cells could plausibly conspire to produce carcinogenic synergies.** Additional basic research on carcinogenesis and research focused on low-dose effects of chemical mixtures needs to be rigorously pursued before the merits of this hypothesis can be further advanced. However, the structure of the World Health Organization International Programme on Chemical Safety 'Mode of Action' framework should be revisited as it has inherent weaknesses that are not fully aligned with our current understanding of cancer biology.

BMJ Oncology 2025;4:e000535. doi:10.1136/bmjonc-2024-000535 Review of evidence on health aspects of air pollution

REVIHAAP Project Technical Report World Health Organization 2013

Carcinogenesis. 2015;36(Suppl 1):S254–S296. DOI: 10.1093/carcin/bgv039

<http://www.epiprev.it/comunicato-stampa-dellaie-sullilva-di-taranto>

Considerato quanto segue:

1. La produzione di energia elettrica da fonte geotermica rappresenta una caratteristica specifica della Toscana, non essendo presente in nessun'altra regione italiana nella peculiare forma in cui in essa è caratterizzata la coltivazione;

2. I fluidi geotermici estratti nei diversi campi di coltivazione e destinati alla produzione di energia elettrica non hanno una composizione chimica uniforme, essendo questa legata alle caratteristiche geomorfologiche e geochimiche del sottosuolo interessato. In particolare, i fluidi estratti dai campi geotermici del Monte Amiata contengono inquinanti, per quantità e qualità, che impongono cautele maggiori per il loro sfruttamento;

3. È necessario assumere, quale livello massimo da non superare, lo scenario attuale delle emissioni in atmosfera, considerando l'effetto cumulativo delle stesse;

Art. 3

Ammodernamento degli impianti esistenti

1. Ai fini del raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalla presente legge, la Regione promuove accordi ai fini dell'ammodernamento degli impianti esistenti.

Art. 2

Rilascio delle concessioni e delle autorizzazioni.

Inserimento degli allegati A e B

1. Il rilascio delle autorizzazioni per nuovi impianti nell'ambito delle concessioni esistenti e il rilascio delle nuove concessioni per media o alta entalpia è subordinato alla previsione, nell'ambito del progetto presentato a tali fini:

a) dell'utilizzo delle migliori tecnologie e modalità di gestione disponibili, al fine di ridurre le emissioni di gas inquinanti e limitare le ore di non funzionamento degli impianti geotermoelettrici a non più del 2 per cento del totale delle ore di funzionamento annuo, computando anche le frazioni orarie, in conformità a quanto specificato agli allegati A e B della presente legge;

b) della implementazione di un sistema di monitoraggio della qualità dell'aria presso i ricettori sensibili, finalizzato a monitorare l'acido solfidrico in continuo e, con campagne stagionali, il mercurio, l'arsenico, il boro, l'ammoniaca;

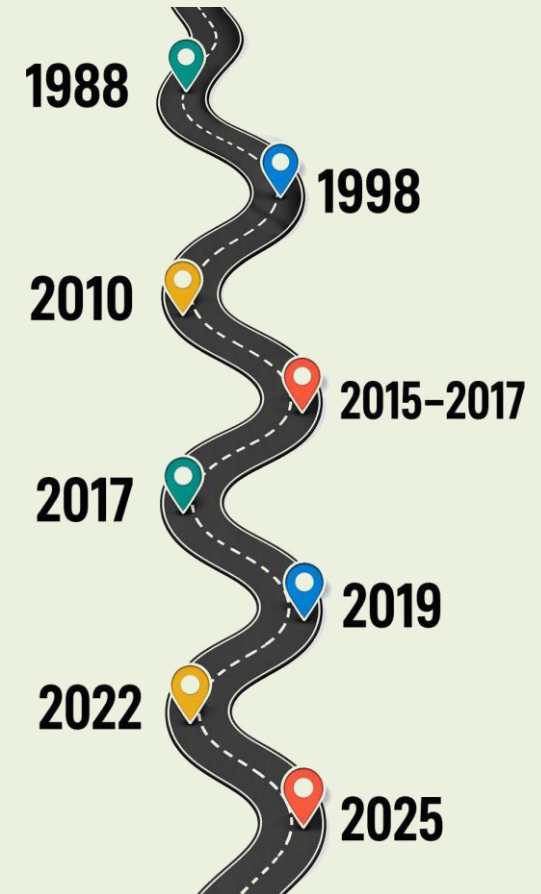
c) di un monitoraggio in continuo, con possibilità di accesso in remoto da parte della Regione, dell'autorità sanitaria locale e dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana (ARPAT), del funzionamento di tutti gli impianti, con particolare riferimento alle emissioni in atmosfera, al fine di assicurare il rispetto di quanto stabilito alle lettere a) e b);

Agenda

- Geotermia ed emissioni
- Studi epidemiologici
- Nuove Evidenze Scientifiche

Cronistoria degli Studi su Salute e Geotermia*

- 1988: Risultati Studio epidemiologico ISS (Prof. Alfredo Zappponi)
- 1998 (osservazione fino al 2016): Studio su As e Hg ISS e ASL Siena
- 2010: Studio Agenzia Regionale di Sanità (ARS)
- 2013: Incidence of cancer among residents of high temperature geothermal areas in Iceland: a census-based study 1981 to 2010 (Islanda)
- 2015-2017: Studi su H₂S Prof. Bates (Rotorua Nuova Zelanda)
- 2017: effetti acuti del H₂S sulla salute degli esposti
- 2019: Studio sull'esposizione cronica ad H₂S (Nuvolone – Voller)
- 2022: Risultati Studio InVetta
- 2025: Pubblicazioni dell'effetto dei metalli pesanti sul Tumore della Tiroide



** L'elenco ha il solo scopo di riassumere gli studi principali e non è da ritenersi esaustivo*

Valutazioni di massima sull'impatto sulla salute della produzione di energia geotermica nell'area dell'Amiata

* Giovanni Alfredo Zapponi

1. Alcuni dati di riferimento per la valutazione dello stato di salute della popolazione nell'area geotermica del Monte Amiata

Un primo esame dei dati ISTAT-ISS relativi alla USL 9040, che include i comuni di Abbadia S. Salvatore, Castiglione d'Orcia, Piancastagnaio, Radicofani, Arcidosso, Castel del Piano, Castell'Azzara, Roccalbegna, Santa Fiora, Seggiano e Semproniano, indica che la mortalità per il triennio 1980-1982, per i maschi di fascia di età tra 0 e 74 anni è stata significativamente inferiore a quella nazionale (412 casi osservati, rispetto all'intervallo di confidenza 95% dei valori attesi su base nazionale, pari a 437-519), e non significativamente diversa da quella regionale (intervallo di confidenza 95% dei valori attesi pari a 335 - 411) (Fig. 1 e 2).

Per quanto concerne la popolazione femminile, in particolare per le classi di età da 0 a 74 anni, non appaiono, secondo la pubblicazione citata, differenze di rilievo con la situazione regionale e nazionale

1988

Per quanto concerne la popolazione maschile, la mortalità per la categoria generale "Tumori" risulta significativamente inferiore a quella attesa su base regionale ed al limite inferiore di quella attesa a livello nazionale (129 casi, rispetto all'intervallo di confidenza 95% atteso su base regionale e nazionale, rispettivamente pari a 136 - 185 e pari a 129 - 177) (Fig. 3, 5 e 7). Per quanto concerne la specifica

sia pure a carattere preliminare.

In primo luogo, considerando che i dati sulla mortalità per tutte le cause per la popolazione maschile indicano nell'area in esame tassi significativamente inferiori a quelli nazionali, e che i dati relativi alla categoria "tumori" indicano tassi inferiori sia a quelli regionali che

2010: Studio Agenzia Regionale di Sanità (ARS)

INTRODUZIONE

Nell'ambito del Protocollo d'intesa tra Regione, Enti Locali ed Enel, denominato Accordo Generale sulla Geotermia (DGR 870/2007), orientato allo sviluppo sostenibile della risorsa geotermica toscana, la Direzione Generale delle Politiche Territoriali ed Ambientali ha commissionato all'Agenzia Regionale di Sanità della Toscana (ARS) una valutazione sulle condizioni di salute dei cittadini residenti nei sedici comuni geotermici toscani. La stessa ARS ha incaricato la Fondazione Toscana "Gabriele Monasterio" di svolgere uno studio epidemiologico mirato a verificare l'esistenza di possibili danni alla salute dei residenti nei comuni dell'area geotermica. L'indagine ha previsto l'analisi e l'interpretazione dei dati già disponibili negli archivi ambientali e sanitari regionali e di quanto prodotto da indagini e ricerche effettuate nel passato.

L'obiettivo dello studio, basato su dati osservazionali e valutazioni empiriche, è la selezione ed identificazione di possibili criticità per cause ambientali e sanitarie. Il metodo utilizzato, fondato essenzialmente sul confronto tra dati ambientali e sanitari disponibili negli archivi regionali, non consente conclusioni definitive su rapporti di tipo causa-effetto, ma fornisce utili indicazioni per indagini più approfondite e focalizzate, da condursi con metodi e strumenti più adeguati.

Area
Geotermica
Nord

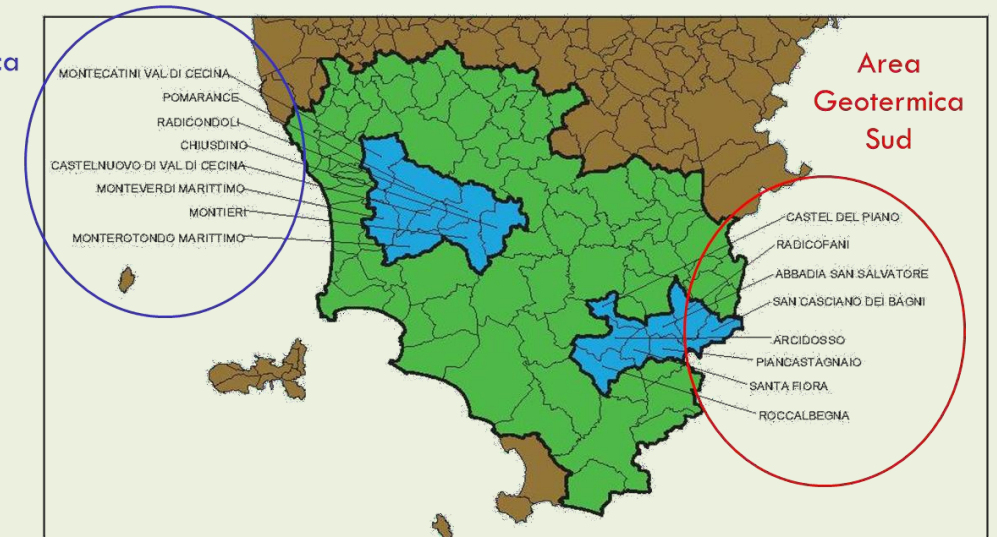


Figura 5.1.1 – Mappa dell'area di riferimento locale contenente i comuni in studio.
Nota: in verde l'area di riferimento locale.

Sezione B: Analisi dei flussi sanitari correnti

6.2 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE ANALISI DELLA MORTALITÀ

L'uso della mortalità del periodo 2000-2006 come descrittore dello stato di salute della popolazione è ragionevolmente giustificata dal fatto che tale periodo è sufficientemente distante dall'entrata in funzione della maggior parte degli impianti geotermici (anni '80), ed anche in ragione del tempo d'induzione-latenza della maggior parte dei tumori e delle malattie croniche.



Confronto con Popolazione non
esposta alle emissioni geotermiche

CONCLUSIONI

Dello stesso significato sono le criticità sanitarie riscontrate nell'area geotermica amiatina, con un eccesso significativo di mortalità generale nei soli maschi (+ 13%), che risente della mortalità per malattie respiratorie, per alcuni tipi di tumore, tra cui quello dello stomaco, e per malattie infettive. Quasi nessun problema sanitario

Area	Comune	O	A	O-A	SMR
Sud	Abbadia S.S.	144	107,5	36,5	134,0
	Piancastagnaio	79	60,4	18,6	130,7
	Radicofani	20	17,8	2,2	112,6
	Santa Fiora	54	53,3	0,7	101,3
	Arcidosso	81	62,3	18,7	130,1
	Totale			76	

Tabella Pagina 89: Commento a Tutti i Tumori Maschi:

“...Nell’area Sud si osserva un eccesso statisticamente significativo nell’ultimo periodo del 19% rispetto all’area circostante e 16% rispetto alla regione...”

Studio ARS:Allegato 6



Inquinante	Ricoveri 2004-06	Sesso	Casi	Rischio Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pagina di Rif.
Acido Solfidrico	Malattie respiratorie	M	10	0,53*	0,064	1,26	0,003	5
			147	1,49*	0,008			
	Malattie respiratorie acute	F	112	2,3*	<0,0001	1,56	<0,0001	6
Mercurio	Tumore sistema nervoso centrale	M	4	1,87 (#)	N.S.	1,30	0,022	7
			10	4,83*	0,042			
	M. Respiratorie	F	198	1,34 (#)	0,008	1,13	0,031	8
			175	1,29*	0,026			
	M.Polmonari croniche ostruttive	F	47	1,82*	0,014	1,39	0,01	9
			41	3,69(#)	<0,0001			
	Insufficienza renale			2,03*	0,067	1,26	N.S.	10

Inquinante	Ricoveri 2004-06	Sesso	Casi	Rischio Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pagina di Rif.
Acido Solfidrico	Malattie respiratorie	M	10	0,53*	0,064	1,26	0,003	5
			147	1,49*	0,008			
	Malattie respiratorie acute	F	112	2,3*	<0,0001	1,56	<0,0001	6
Mercurio	Tumore sistema nervoso centrale	M	4	1,87 (#)	N.S.	1,30	0,022	7
			10	4,83*	0,042			
	M. Respiratorie	F	198	1,34 (#)	0,008	1,13	0,031	8
			175	1,29*	0,026			
	M.Polmonari croniche ostruttive	F	47	1,82*	0,014	1,39	0,01	9
			41	3,69(#)	<0,0001			
	Insufficienza renale			2,03*	0,067	1,26	N.S.	10



Inquinante	Ricoveri 2004-06	Sesso	Casi	Ris.Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pagina di Rif.
Arsenico	Tumore del sist. nervoso centrale	M	5	2,06 (#)	N.S.	1,97	0,047	21
			11	3,95*	0,074			
	Malattie Respiratorie	F	182	1,18 (#)	N.S.	1,15	0,009	22
			233	1,34*	0,01			
	Mal.dell'app.genito urinario	M	163	1,19 (#)	N.S.	1,17	0,004	23
			216	1,38*	0,005			
Boro	Insufficienza renale	F	29	1,97(#)	0,056	1,33	0,062	24
			33	2,02*	0,043			
	Totalità tumori	F	231	1,23*	0,015	1,11	0,014	25
	Tumore vescica	M	15	1,45 (#)	N.S.	1,37	0,048	26
			21	1,88*	0,049			
	Tumori sist. linfomatopoitico	M	20	2,71*	0,006	1,66	0,006	27
			15	1,63 #	N.S.			
	Tumori sist. linfomatopoitico	F	18	1,96*	0,05	1,4	0,047	28
	Leucemia	M	2	3,44 (#)	N.S.	3,31	0,012	29
			7	11,13*	0,024			
	Mal. Dell'Apparato Digerente				0,004	1,11	0,01	30
	Mal. Dell'Apparato Digerente				0,024	1,09	0,039	31
	Mal. Dell'Apparato genito					1,12	0,015	32

Inquinante	Mortalità 2001-06	Sesso	Casi	Rischio Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pagina di Rif.
Arsenico	Mortalità tutte le cause	M	932	1,006	1,07	0,012	0,006	54
			285	1,22 (#)	0,031			
	Mortalità per tutti i tumori	M	333	1,29*	0,005	1,13	0,006	55
	Tumore stomaco	F	35	1,83*	0,064	1,42	0,033	56
Boro	Tumore trachea, bronchi e polmone	M	70	1,36*	N.S.	1,17	0,078	57
			82	1,42*	0,065			
	Malattie Respiratorie acute	F	20	1,54 (#)	N.S.	1,61	0,007	58
			34	2,54*	0,013			
	Malattie Respiratorie acute	M	12	1,14 (#)	N.S.	1,64	0,011	59
			27	2,41*	0,022			
	Tumori sist. linfomatopoitico	M	16	1,45 (#)	N.S.	1,37	0,043	60
			22	1,88*	0,0044			
	Malattie Circolatorie	F	321	1,18*	0,021	1,09	0,022	61
	Disturbi circolatori dell'encefalo	M	140	1,73*	<0,0001	1,31	<0,0001	62

Inquinante	Ricoveri 2004-06	Sesso	Casi	Rischio Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pag. di Rif.
Arsenico	Tumore sist linfomatopoitico.	M	14	1,54 (#)	N.S.	1,61	0,013	11
			28	2,54*	0,02			
	Malattie Respiratorie	M	325	1,22#	0,021	1,10	0,018	12
			392	1,23*	0,013			
Boro	Malattie Apparato digerente	M	561	1,34*	<0,0001	1,17	<0,0001	13
	Tumore del Fegato	M	8	1,43 (#)	N.S.	1,89	0,012	14
			23	3,17*	0,033			
	Tumore sist nervoso centrale	F	26	2,56*	0,054	1,84	0,013	15
			262	1,42(#)	0,001			
Mercurio	Malattie Respiratorie	F	338	1,34*	0,005	1,12	0,022	16
	Malattie polmonari cronico ostruttive	F	44	1,44 (#)	N.S.	1,27	0,04	17
			71	1,66*	0,041			
	Malattie Respiratorie acute	M	135	1,57*	0,002	1,26	0,002	18
			56	2,33(#)	<0,0001			
	Malattie Polmonari cronico ostruttive	M	59	1,85*	0,01	1,26	0,03	19
	Tumore del sist. nervoso centrale			2,1*	0,073	1,52	0,05	20



Inquinante	Mortalità 2001-06	Sesso	Casi	Rischio Rel.	Prob.	Trend	Prob.	Pag. di Rif.
Arsenico	Disturbi circolatori encefalo	M	103	1,28 (#)	N.S.	1,13	0,029	40
			188	1,38*	0,023			
	Malattie Respiratorie	M	29	3,10 (#)	0,005	1,97	<0,0001	42
			62	4,87*	<0,0001			
Boro	Mortalità tutte le cause	M	1154	1,14 (#)	0,006	1,07	0,002	43
			1442	1,18*	0,001			
	Mortalità per tutti i tumori	M	362	1,170)	0,041	1,12	0,005	44
			493	1,26*	0,004			
	Tumore allo stomaco	F	47	1,84*	N.S.	1,30	0,075	45
			160	1,840)	0,001			
Antimonio	Tumore al polmone	M	126	1,8*	0,001	1,25	0,005	46
	tumore del cavo orale, bocca e faringe	M	9	4,18 (#)	0,067	1,72	0,054	47
			12	4,48*	0,05			
	Malattie Respiratorie	M	104	1,460)	0,015	1,27	<0,0001	48
			167	1,68*	<0,0001			
Mercurio	Pneumoconiosi	M	29	14,310)	<0,0001	2,48	<0,0001	49
			48	24,37	<0,0001			
	Mortalità per tutti i tumori	F	228	1,240)	0,027	1,08	0,09	50
			294	1,19*	0,046			
	Mortalità per tutti i tumori	M	477	1,18*	0,021	1,10	0,011	51
	Tumore all'orofaringe	M	2	2,05 (#)	N.S.	3,12	0,018	52
			10	7,88*	0,049			
	Tumore della trachea, bronchi e polmone	M	126	1,31*	0,044	1,17	0,039	53

Analisi di correlazione della concentrazione degli inquinanti geotermici nelle Matrici Aria, Suolo ed Acqua e rischio relative per Mortalità ed Ospedalizzazione nei 16 Comuni Geotermici (Clusterizzazione in terzi)

Rapporto Progetto di ricerca epidemiologica sulle popolazioni residenti nell'intero bacino geotermico Toscano "Progetto Geotermia". 2010

Studio InVettA: Cronistoria e valutazioni sanitarie



RACCOLTA DI UN CAMPIONE DI SANGUE E URINE

per determinare la presenza di **metalli pesanti** (arsenico, mercurio, cromo, tallio e altri) e per effettuare alcuni **esami di laboratorio**, tra i quali glicemia, colesterolo, emocromo, transaminasi, ecc.



VISITA GENERALE DELLO STATO DI SALUTE

che prevede la misurazione della **pressione**, la rilevazione delle **misure antropometriche** (peso, altezza) e l'esecuzione di una **spirometria** per la valutazione della salute respiratoria.

2.060 persone
di età compresa tra 18 e 70 anni

1855 nei Comuni principali vs
205 nei comuni di Controllo
(47,2% Volontari)



Confronto tra
popolazioni esposte
alle emissioni
geotermiche



COMPILAZIONE DI UN QUESTIONARIO

su abitudini, ambiente di vita e di lavoro e storia clinica personale.

- ▶ **L'obiettivo principale:** fornire una *valutazione dell'esposizione* a fattori di rischio ambientali, delle abitudini di vita e dei comportamenti individuali, e di altre condizioni clinico-sanitarie, in un campione rappresentativo della popolazione dei comuni amiatini.
- ▶ **L'obiettivo secondario:** Valutare se vi sia *relazione tra esposizione alle emissioni geotermiche e livelli di metalli nei campioni biologici*. Come per i metalli anche per gli indicatori dello stato di salute generale l'obiettivo è valutare se vi siano associazioni con l'esposizione alle emissioni degli impianti geotermici.

- ▶ L'occorrenza delle malattie/sintomatologie cardiovascolari ***non ha mostrato associazioni*** con l'aumento dell'esposizione ad acido solfidrico e con gli altri indicatori di esposizione alle emissioni delle centrali geotermiche.
- ▶ Rispetto alle patologie oncologiche i dati InVETTA confermano ***un'assenza di associazione tra l'insorgenza di neoplasie e l'esposizione ad acido solfidrico di fonte geotermica***
- ▶ L'analisi dei dati di InVETTA non ha evidenziato alcuna associazione tra l'aumento delle concentrazioni in aria di H₂S, Arsenico e Mercurio emessi dalle centrali geotermiche ed il rischio di patologie respiratorie, al contrario, **emerge una tendenza ad una relazione inversa, ovvero ad una diminuzione del rischio di patologie respiratorie al crescere dell'esposizione ad acido solfidrico.**
- ▶ L'analisi di confronto interno dei dati di primo ricovero (Tabella 3.11) conferma la **diminuzione dei rischi di ricovero per tumori maligni al crescere dell'esposizione a H₂S, così come osservato anche nell'analisi di mortalità.**

Studio InVettA: Quali popolazioni sono state confrontate?

D. Nuvolone et al. / Science of the Total Environment 659 (2019) 973–982

975

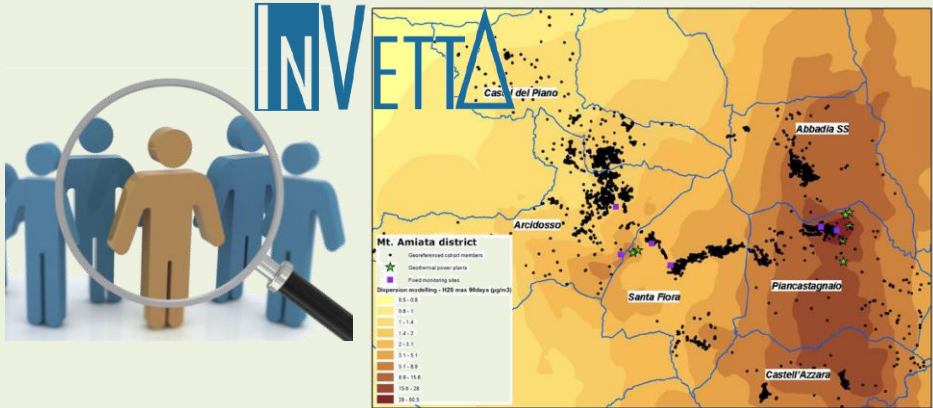


Fig. 1. Map of the Mt. Amiata geothermal district.

Confronto tra popolazioni esposte alle emissioni geotermiche
($< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $5\text{-}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $>20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Mortality			Hospitalisation		
	Group I: $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$			Group I: $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SMR (95%CI)			SHR (95%CI)		
Total	115.6	111.5	119.8	154.1	150.9	157.4
All malignant cancers	123.5	115.4	132.1	107.3	102.0	112.9
Trachea, bronchus, lung	128.4	109.9	150.1	111.6	95.8	130.0
Colon rectum	113.8	95.0	136.4	100.1	88.0	113.9
Breast	95.5	70.0	130.2	90.5	78.1	104.9
Bladder	151.4	110.6	207.2	89.2	74.3	107.0
Stomach	158.5	130.3	192.8	142.0	119.5	168.7
Liver	149.0	117.5	188.9	151.8	124.4	185.2

Table 2: Standardized mortality ratio (SMR), standardized hospitalisation ratio (SHR) and 95% confidence interval, stratified by H_2S exposure groups



Figura 5.1.1 – Mappa dell'area di riferimento locale contenente i comuni in studio. Nota: in verde l'area di riferimento locale.

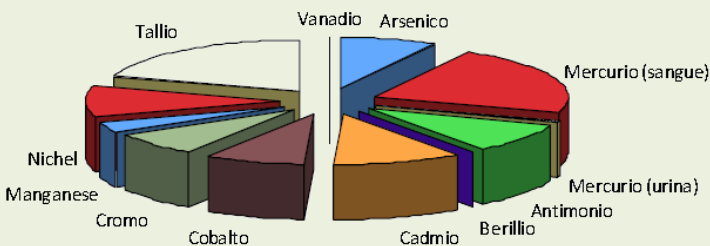
Confronto tra Popolazioni esposte ad emissioni geotermiche vs non esposte

“Health effects associated with chronic exposure to low-level hydrogen sulfide from geothermoelectric power plants. A residential cohort study in the geothermal area of Mt. Amiata in Tuscany - Daniela Nuvolone ed altri (Science of the Total Environment 659 (2019) 973–982). Materiale Supplementare: Tabella 2

- ▶ I campioni biologici raccolti nell'indagine InVETTA mostrano ***concentrazioni dei metalli mediamente più elevati dei valori di riferimento*** della popolazione italiana prodotti dalla SIVR (Società Italiana Valori di Riferimento) e in particolare per il ***tallio e il mercurio***.
- ▶ I residenti nei sei ***comuni principali*** (Abbadia San Salvatore, Piancastagnaio, Arcidosso, Castel del Piano, Santa Fiora, Castell'Azzara) hanno ***mostrato livelli di metalli nei campioni biologici più alti*** di quelli che vivono nei comuni di controllo (Castiglione d'Orcia, Radicofani, Cinigiano, Seggiano), soprattutto per arsenico, mercurio (sia urinario che ematico), tallio, cobalto e cromo.
- ▶ I ***lavoratori presso le centrali geotermiche*** di ENEL Green Power (N=50) mostrano **livelli più alti** di mercurio urinario (+28%), mercurio ematico (+53%) e tallio (+26%), **rispetto al resto dei partecipanti a InVETTA.**

	Media geometrica SIVR 2017	Media geometrica InVetta	5°- 95° P SIVR 2017	5°- 95° P InVetta	Valore massimo InVetta
Arsenico (As)	4.0	7.44	ND-16.1	2.04-21.0	96
Mercurio ematico (Hg)	1.2	3.4	0.35-5.2	1.02-11	43
Mercurio urinario (Hg)	1.5	1.0	0.1-5.0	0.3-3.3	11.7
Cadmio (Cd)	0.255	0.432	0.055-0.900	0.136-1.23	3.87
Cobalto (Co)	0.432	0.85	0.077-2.24	0.200-2.93	58.4
Manganese (Mn)	0.289	0.311	0.040-1.53	<LoQ-1.43	20.9
Nichel (Ni)	1.47	2.15	0.372-4.44	0.704-5.79	79.4
Tallio (Tl)	0.203	0.472	0.060-0.759	0.108-2.76	26.3
Vanadio (V)	0.096	0.033	<LoQ-0.855	<LoQ-0.138	0.765

Valori superiori al 95° percentile SIVR



- Gli sforamenti del 95° percentile SIVR 2017 prevalenti sono stati riscontrati nel caso del mercurio ematico (metilmercurio, 30%), del tallio (27.7%) e del cadmio (14.8%).
- Complessivamente il 64.5% dei soggetti analizzati presenta almeno un valore superiore al 95° percentile SIVR 2017.

Agenda

- Geotermia ed emissioni
- Studi epidemiologici
- **Nuove Evidenze Scientifiche**

Inquinamento e Tumore della Tiroide (2025)



Article

Epidemiology of Thyroid Cancer in Tuscany (Central Italy) 2013–2017: Not Just Overdiagnosis

Marco Capezzone ^{1,*}, Liborio Torregrossa ², Anello Marcello Poma ², Alessandra Cartocci ³, Luisa Petrone ⁴, Clotilde Sparano ⁴, Matteo Puccioni ⁴, Daniele Barbaro ⁵, Daniela Bigini ⁶, Annamaria Marcantonio ⁷, Cinzia Pupilli ⁷, Cristina Ladu ⁷, Elena Gianetti ⁷, Chiara Vezzosi ⁸, Valentina Belardini ⁸, Virginia Mancini ⁹, Eugenia Maria Morabito ¹, Gilda Dalmazio ¹, Massimo Tosti Balducci ¹, Nicola Libertà Decarli ¹⁰, Giacomo Giubbolini ¹⁰, Simone Boccuzzi ¹¹, Massimo Alessandri ¹, Paolo Piacentini ¹², Caterina Di Cosmo ¹³, Melissa De Servi ¹⁴, Luca Tomisti ¹⁴, Marco Pellegrini ¹⁵, Giovanni Gravina ¹⁶, Marco Cerotti ¹⁷, Luigi De Napoli ¹⁸ and Gabriele Materazzi ¹⁸

Conclusioni: Il fenomeno della sovradiagnosi è la principale spiegazione dell'aumento dell'incidenza del carcinoma tiroideo in Toscana. Tuttavia, in alcune aree geografiche della regione, *la presenza di inquinamento ambientale, in particolare quello caratterizzato dal rilascio di metalli pesanti, potrebbe influenzare i tassi di incidenza del carcinoma tiroideo e il fenotipo*

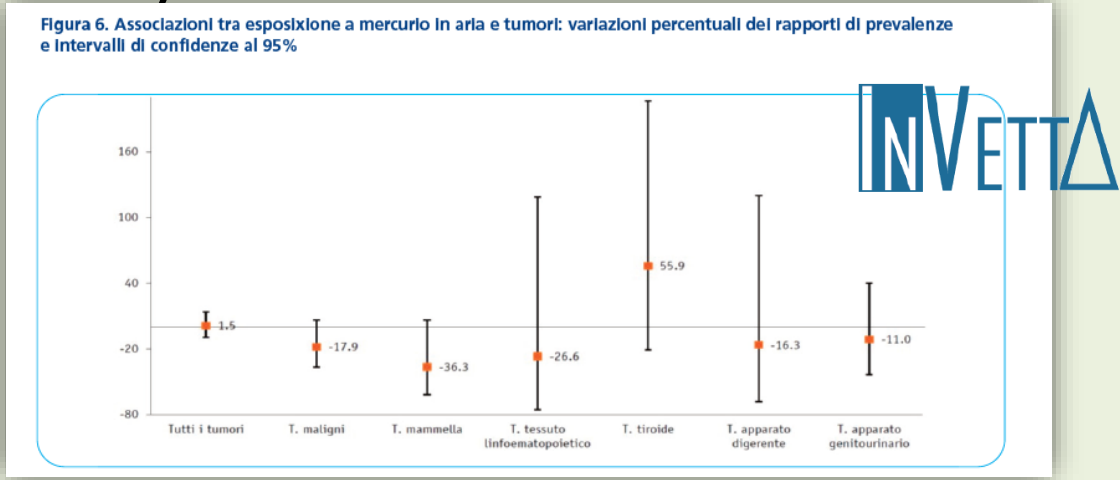


Grafico estratto dal Protocollo “Indagine di biomonitoraggio e valutazioni epidemiologiche a tutela della salute nei territori dell’Amiata.” (Studio InVETTA) Versione 2 del 02/03/2017



Conclusioni:

Le evidenze scientifiche documentano chiaramente l’impatto ambientale e sanitario delle attività minerarie nel Monte Amiata. In particolare, *la contaminazione da metalli pesanti, e soprattutto da mercurio, rappresenta un fattore di rischio significativo per la salute della popolazione locale, contribuendo all’incidenza e all’espressione fenotipica del carcinoma tiroideo.*

1. Cancers 2025, 17, 717 <https://doi.org/10.3390/cancers17050717>
2. THYROID CANCER MONITOR GESTIONE DEL CARCINOMA DELLA TIROIDE IN ITALIA Una fotografia su una patologia complessa e in continua evoluzione - 2025

Messaggi conclusivi: dalle evidenze alla prevenzione

► Conformità ai limiti non significa assenza di rischio

Non esiste una soglia di inquinamento atmosferico priva di effetti sanitari. Le miscele di inquinanti geotermici (H_2S , Hg, As, Tl) vanno valutate come esposizione cumulativa e di lungo periodo, come richiesto anche dalla L.R. Toscana 7/2019.

► Segnali convergenti giustificano il principio di precauzione

Eccessi di mortalità oncologica (ARS 2010), aumentato rischio per malattie respiratorie rispetto alle popolazioni non esposte (Nuvolone 2019) e maggior carico di metalli nei campioni biologici (InVETTA) **non dimostrano da soli un nesso causale ma richiedono approfondimenti.**

► Tutela della salute pubblica e prevenzione dei danni

Ridurre l'esposizione agli inquinanti con le migliori tecnologie disponibili. Monitoraggio continuo e indipendente, sorveglianza epidemiologica e dialogo con le comunità devono guidare la prevenzione: ***tradurre le evidenze in tutela concreta della salute pubblica.***



**Congresso Nazionale
ISDE Italia 2026**

23-25 Ottobre 2026



“Se non speri l’insperato non lo troverai,
perché essendo sconosciuto è difficile da ricercare”
(Eraclito)