



ARS TOSCANA
agenzia regionale di sanità

Prot. n. 1141
Firenze, 31.05.2012

A: Fabio Zita
Direzione Generale della Presidenza A.C.
Programmazione.
Settore Valutazione Impatto Ambientale

Piazza dell'Unità italiana, 1
50100 Firenze

**Oggetto: Contributo di ARS – Osservatorio di Epidemiologia al procedimento di VIA
“Costruzione ed esercizio della Centrale geotermoelettrica Bagnore 4”**

Gentile Zita,

in relazione all'oggetto sopra riportato, ti invio il documento prodotto dall'Agenzia regionale di sanità della Toscana.

Resto a disposizione per eventuali ulteriori richieste o informazioni.

Cordiali saluti,

dr. Francesco Cipriani
Direttore ARS

Documento a cura di:

Francesco Cipriani ¹, Daniela Nuvolone ², Fabio Voller ³

1: Direttore; 2: Ricercatore Osservatorio di Epidemiologia; 3: f.f. Coordinatore Osservatorio di Epidemiologia, Agenzia regionale di sanità della Toscana (ARS)

In merito alla richiesta del contributo di ARS sulla valutazione della documentazione progettuale e ambientale acquisita relativa alla costruzione ed esercizio della Centrale geotermoelettrica Bagnore 4, ARS ha predisposto due tipi di argomentazioni:

- 1- note e commenti in merito a tutti i riferimenti epidemiologici, sia quelli in cui è espressamente citata ARS, sia quelli in cui non è citata ARS ma sono di sua competenza;
- 2- note e commenti su l'intera documentazione prodotta e che potrebbero essere di interesse per l'impatto sanitario a cui spesso nei testi e documenti si fa riferimento.

1- Note e commenti su specifiche argomentazioni epidemiologiche citate nella documentazione della VIA.

Le note e commenti di ARS fanno riferimento a considerazioni di competenza epidemiologica presenti nei seguenti documenti:

- 1.1) Studio di Impatto Ambientale (SIA) di ENEL
- 1.2) Osservazione prodotta dal WWF
- 1.3) Osservazioni di gruppi e associazioni amiatine
- 1.4) Osservazione di Medicina democratica - Movimento di lotta per la salute
- 1.5) Problematica dell'arsenico nelle acque destinate al consumo umano, presente in più documenti

1.1 - Studio di Impatto Ambientale (SIA) di ENEL

Nello Studio di Impatto Ambientale (SIA) presentato da Enel, al capitolo 5 “Stato dell’ambiente” viene descritto dettagliatamente il tema dello stato dell’ambiente, in tutte le varie componenti interessate dalla costruzione della centrale geotermoelettrica Bagnore 4, quali la qualità dell’aria, i fattori climatici, l’acqua, il suolo e sottosuolo, la vegetazione e la flora, la fauna, gli ecosistemi, il paesaggio e il patrimonio culturale, le popolazioni e gli aspetti socio-economici. Al paragrafo 5.10.2 sono analizzati gli aspetti igienico-sanitari. Nella prima parte è riportata l’organizzazione del Servizio Sanitario della Toscana, in termini di numero di Aziende USL, Zone socio-sanitarie, ospedali pubblici e presidi ospedalieri pubblici e convenzionati, posti letto, ecc., sia a livello regionale, di ASL e nel dettaglio dell’area amiatina.

Nella seconda parte, specificatamente attinente alle competenze professionali di questa Agenzia, sono riportati dati epidemiologici di mortalità (generale, prematura e infantile) riferiti alla regione Toscana, prodotti dall’ARS stessa, e dati sugli infortuni sul lavoro di fonte INAIL. Chiudono il paragrafo estese tabelle che riportano le distribuzioni dei decessi per cause di morte (anno 2002), a livello regionale e a livello di ASL. Secondo la nostra esperienza, i dati nelle tabelle 5.10.2-e e 5.10.2-f sono verosimilmente di fonte Istituto per lo Studio e Prevenzione Oncologica (ISPO, ex-CSPO), che gestisce su mandato della Regione, il registro di mortalità regionale (RMR), e che mette a disposizione on-line la propria banca dati (http://www.ispo.toscana.it/rmr/index_RMR.html).

Queste tabelle, oltre a delle imprecisioni nell’indicazione di alcune cause di morte analizzate, riportano come informazioni i numeri assoluti, le percentuali ed i tassi grezzi (per le ASL sono riportati solo i numeri assoluti), che da sole non sono sufficienti a dare un quadro epidemiologico dello stato di salute della popolazione. L’indicatore usato in epidemiologia che meglio descrive i fenomeni di mortalità e che consente di fare confronti tra territori diversi, è, infatti, il tasso standardizzato di mortalità, che tiene conto delle diverse strutture per età delle popolazioni in studio, proprio perché l’età rappresenta il fattore che più di tutti influenza l’esperienza di mortalità delle popolazioni. Inoltre, da una verifica sul sito di ISPO e negli archivi a disposizione di ARS, le numerosità dei decessi per ASL non sembrano corrette. Ma, aldilà di tali errori oggettivi, l’intero paragrafo dedicato agli aspetti sanitari appare poco esplicativo e non adeguato per descrivere lo stato di salute delle popolazioni potenzialmente interessate dalla costruzione della nuova centrale. L’aver riportato dati di

mortalità a livello regionale o di ASL contrasta con il maggiore dettaglio geografico giustamente utilizzato nella descrizione delle altre componenti ambientali.

Dati epidemiologici di maggiore dettaglio geografico sono acquisibili, sia presso i servizi di epidemiologia delle ASL di Siena e Grosseto (dettaglio individuale riferito all'indirizzo di residenza delle persone) sia presso l'ARS (dettaglio comunale).

1.2 - Osservazione prodotta dal WWF

Nell'osservazione prodotta dal WWF al punto 5, si fa riferimento allo studio di Kilburn et al. "Low-level hydrogen sulfide and central nervous system dysfunction" *Toxicol Ind Health*. 2010 Aug;26(7):387-405. Lo studio intende valutare gli effetti dell'esposizione cronica a basse concentrazioni di H₂S. Come punti di forza la ricerca può contare sull'ampia batteria di esami respiratori, neuropsicologici e neurofisiologici già testati in altri studi di esposizione a vapori di sostanze tossiche. Inoltre lo studio si propone di confrontare gli esiti sanitari tra residenti in aree ad esposizione elevata (residenti di Lovington – New Mexico), medio-bassa (residenti a Tatum e Artesia- New Mexico) e pressochè nulla (residenti di Wickenburg-Arizona). Numerosi sono, però, anche i punti di debolezza:

- manca una misurazione oggettiva dei livelli di esposizione nelle tre aree. Per la definizione dell'esposizione alta-media-bassa ci si basa indirettamente sugli episodi degli incidenti con esposizione acuta elevata, sull'odore e su misurazioni occasionali e su report individuali;
- numerosità del campione in studio molto modesta (49 esposti e 42 non esposti), riferiti sia a lavoratori che a residenti potenzialmente esposti per motivi occupazionali o come popolazione generale, che non consente valutazioni statistiche sufficientemente affidabili;
- i livelli di esposizione dei residenti nell'area con valori di H₂S più elevati (Lovington), sono molto al di sopra di quelli riscontrati nelle aree geotermiche toscane. Quelli dei residenti nell'area di esposizione medio-bassa (Tatum-Artesia) sono invece in un range tra 0 e 14 ppb (equivalenti a 0-21 µ/m³ di H₂S), che è abbastanza vicino a quello riscontrato in alcune zone dell'area geotermica toscana (2-19 µ/m³, equivalenti a 1,3-27 ppm di H₂S), ma sono riferiti solo a 23 soggetti.

Pertanto, la metodologia dello studio limita la forza dei risultati e lascia numerosi dubbi sull'affidabilità dell'allarme sollevato nelle conclusioni dell'Autore. L'indagine pone però un

giusto accento sulla necessità di studi mirati a valutare effetti del H₂S a basse esposizioni protratte nel tempo. La numerosità degli studi disponibili ad oggi su questo argomento non è ancora sufficiente a produrre una evidenza chiara sui rapporti tra H₂S a dosi medio-basse e danni alla salute. A tal proposito ci pare doveroso segnalare la ricerca, in corso di esecuzione, di Michael Bates, dell'Università di Berkley, proprio su questo argomento con test respiratori e neurofisiologici condotti su un campione ampio di circa 2000 soggetti. Già in passato Bates ha pubblicato diversi contributi scientifici sulla questione geotermia e salute, a seguito di studi condotti a Rotorua in Nuova Zelanda, una delle aree del mondo più intensamente abitate e interessate da emissioni geotermiche di H₂S, naturali e non. Ci aspettiamo che i risultati del nuovo studio di Bates, la cui diffusione è prevista per il 2012-2013, su esposizioni croniche a basse concentrazioni possano contribuire a fare più chiarezza sui possibili effetti sulla salute e ad indirizzare le attività di monitoraggio e sorveglianza sanitaria.

L'ARS, nell'ambito degli approfondimenti epidemiologici nelle aree geotermiche concordati con Regione Toscana, ha avviato una collaborazione con Bates, finalizzata anche all'organizzazione di un seminario scientifico per la condivisione dei risultati.

1.3 - Osservazioni di gruppi e associazioni amiatine

Le osservazioni presentate in data 18 gennaio 2012 (già presenti in una precedente osservazione del 1 dicembre 2011) dal Coordinamento Ambientale dell'Amiata (Comitato Ambiente Amiata), dal gruppo consiliare al comune di Piancastagnaio "Prospettiva comune", dal gruppo consiliare al comune di Abbadia S.S "Lista per Abbadia" e dal forum ambientalista provincia di Grosseto pongono diverse questioni sullo studio epidemiologico "Progetto Geotermia" condotto dalla Fondazione Monasterio del CNR per conto di ARS.

- A pagina 32 si afferma:

"Lo Studio recente della Fondazione Monasterio sulla salute nei comuni sede di impianti geotermici, pur contenendo dati molto allarmanti è ricco di contraddizioni insanabili e non può sostituire una Valutazione di Impatto Sanitario."

Come argomentato nel Rapporto finale del “Progetto Geotermia”, scaricabile dal sito di ARS (<http://www.ars.toscana.it/en/progetto-geotermia>), nella sezione B capitolo 2 “Lo studio geografico descrittivo sullo stato di salute della popolazione”, per il disegno di studio applicato (studio ecologico su dati aggregati a livello comunale) la ricerca di ARS-CNR non può essere considerata una Valutazione di Impatto Sanitario che presuppone l'utilizzo di metodi di analisi diversi e adeguati allo scopo.

- A pag. 33, *le Associazioni evidenziano una contraddizione nello studio ARS in merito al ruolo delle condizioni socio-economiche nell'interpretazione dei risultati.*

Il fatto di aver preso a riferimento i comuni limitrofi nel raggio di 50 km dall'area in studio ha avuto come motivazione quella di limitare l'effetto confondente degli aspetti socio-economici, che sono tradizionalmente associati alla distribuzione di varie cause di malattia, come ad esempio nel caso del tumore del polmone. Cosa diversa è il ruolo di alcuni determinanti di salute, quali le esposizioni occupazionali, gli stili di vita, che agiscono attraverso molteplici meccanismi, non del tutto noti, nell'insorgenza delle malattie. Negli approfondimenti epidemiologici che l'Agenzia ha condotto, e che sono stati sottoposti per la pubblicazione in un supplemento della rivista “Epidemiologia & Prevenzione” (pubblicazione prevista entro dicembre 2012), il ruolo degli aspetti-socioeconomici è stato ulteriormente approfondito mediante l'utilizzo dell'indice di deprivazione socio-economica nel calcolo degli indicatori di mortalità e morbosità. A conferma delle motivazioni metodologiche che ci hanno indotto a scegliere come riferimento l'area dei 50 km, i rischi di mortalità e morbosità stimati tenendo conto dell'indice di deprivazione, non subiscono rilevanti variazioni rispetto a quelli calcolati nello studio iniziale.

- A pag 33 si afferma:

“La letteratura scientifica internazionale dimostra che lo stile di vita influenza in modo chiaro la mortalità e l'incidenza delle patologie cardiovascolari, patologie che invece nella zona geotermica sud sono in netto calo”.

E dopo a pag. 34:

“Nella tabella 6.1.1 a pag. 80 si vede chiaramente che nei maschi dell'area sud le cause di mortalità per tumori e malattie cardiovascolari si equivalgono, e questo è un risultato anomalo ed allarmante che non viene per nulla spiegato”.

Le attuali conoscenze scientifiche basate su risultati riportati nella letteratura scientifica internazionale, indicano che lo stile di vita influenza solo in parte la mortalità per malattie cardiovascolari, ma condiziona maggiormente l'incidenza di queste. Terapie farmacologiche e strumentali e l'accesso tempestivo a servizi di emergenza hanno inciso profondamente sui trend di mortalità, anche se fumo, dieta, attività fisica ed alcol hanno comunque un ruolo rilevante. L'eccesso di mortalità generale e per tumori nei maschi dell'Area Sud sono criticità sanitarie evidenziate con chiarezza e di cui si è espressa esplicitamente una necessità di approfondimento. E' importante sottolineare che all'eccesso della mortalità per tutti i tumori contribuiscono in maniera rilevante i tumori dello stomaco e del fegato, la cui insorgenza è raramente segnalata in letteratura come correlabile a fattori ambientali.

- Sempre a pag. 33 si afferma:

“Si noti infatti che Comuni vicini e limitrofi a quelli dove si rilevano gli eccessi, quali quelli Amiatini di Seggiano e di Santa Fiora oltre che quelli della zona Val D'Orcia e della zona collinare tra Amiata e Maremma, pur avendo uno “stile di vita” sostanzialmente identico a quello amiatino, non presentano i medesimi allarmanti dati”.

Lo studio ARS-CNR, ad eccezione di Santa Fiora, non riporta dati di mortalità/morbosità per i comuni citati, quali Seggiano o altri comuni della Val d'Orcia e della Maremma.

- A pag. 34 si afferma:

“Nella tabella 6.1.1 a pagina 80 la mortalità delle donne dell'area sud e in linea con l'area riportando un aumento solo di 5 casi. Se osserviamo dalla tabella la mortalità per malattie circolatorie si nota una riduzione di 56 casi non riportando valori significativi per le maggiori cause di morte analizzate nello studio. Queste osservazioni pongono un dubbio sul bilancio eccessi/diminuzioni di mortalità: di quale patologie sono morte le 61 donne che hanno sovvertito l'andamento dell'analisi visto che guardando le cause cardiache dovremmo avere un risultato migliore rispetto all'area di riferimento?”

La tabella 6.1.1 a pagina 80 dello Studio “Progetto Geotermia” (<http://www.ars.toscana.it/en/progetto-geotermia>) riporta, per i due generi e per le aree geotermiche, i numeri di casi di decessi osservati e attesi per la mortalità generale e per quattro dei principali gruppi di patologie (tumori, malattie cardiovascolari, malattie respiratorie e malattie genitourinarie), per i quali, in maniera disomogenea tra Area Nord e Area Sud e tra i due generi, sono state osservate delle criticità. Queste patologie rappresentano

comunque una selezione delle numerose malattie o gruppi di malattie incluse nello studio e riepilogate nella tabella 4.5.1 a pag 62 dello Studio e i cui risultati sono riportati interamente negli allegati. Esse stesse sono ancora una selezione di tutte le possibili cause di malattie codificate a livello internazionale. Pertanto il bilancio finale di 5 decessi in più (mortalità generale) è facilmente spiegabile ricostruendo la distribuzione degli osservati e degli attesi in tutti i possibili gruppi di cause di morte.

- A pag 34 si afferma:

“Invece l’ Agenzia Regionale di Sanità nelle conclusioni riportate nello “Studio in sintesi”, pag. 25 , dice tra l’altro:...”gli indizi e le prove raccolte evidenziano un quadro epidemiologico nell’area geotermica rassicurante perché simile a quello dei comuni limitrofi non geotermici ed a quello regionale”...

Lo studio di ARS-CNR ha avuto come obiettivo primario quello di delineare un quadro dello stato di salute delle popolazioni residenti nelle aree geotermiche, ossia popolazioni che, sebbene in maniera eterogenea, condividono l’esposizione a emissioni geotermiche, naturali e antropiche, e che le differenziano dal resto dei comuni toscani. Il disegno di studio applicato, come già evidenziato, non consente di trarre delle conclusioni in termini di relazioni causa-effetto tra esposizione a emissioni geotermiche e stato di salute. Gli indizi e le prove raccolti, come ad esempio il tipo di patologie in eccesso, l’incoerenza dei dati tra maschi e femmine, e le differenze geografiche riscontrate tra Area geotermica Nord e Area geotermica Sud nella frequenza delle malattie, fanno pensare ad un ruolo più rilevante di fattori di rischio diversi dalla geotermia. Ciò che ARS considera “rassicurante”, al netto dei limiti impliciti dello studio, non sono certo gli eccessi di mortalità generale e per singole cause, quanto piuttosto l’attribuibilità diretta di questi alle emissioni geotermiche. Al contrario, ARS nel proprio Studio ha evidenziato tutte le criticità sanitarie, con l’indicazione di effettuare ulteriori approfondimenti epidemiologici e interventi sanitari di prevenzione e mitigazione. Approfondimenti ed interventi sono in corso di esecuzione.

- A pag 34 si dice:

“L’Allegato 6 dello stesso Studio della Fondazione Monasterio titola: “Risultati staticamente significativi delle analisi di correlazione geografica tra dati ambientali e dati sanitari”, cioè si riconoscono patologie e mortalità in alcune zone delle aree geotermiche in relazione alle concentrazioni degli inquinanti presenti nelle zone medesime ma non si specifica quali

comuni siano presenti nei percentili rendendo impossibile la correlazione tra gli eventi e la presenza di inquinanti geotermici”.

L'Allegato 6 riporta i risultati dettagliati sulle analisi di correlazione tra dati ambientali e sanitari. La descrizione della metodologia e dei suoi limiti, compresa la difficoltà a scendere nell'analisi a livello comunale, è riportata nella Sezione E dello Studio “Studio di correlazione tra inquinanti ed eventi sanitari”.

1.4 - Osservazione di Medicina democratica

Nelle osservazioni di Medicina democratica a pag. 2 si afferma:

“Dalla ricerca emerge che soprattutto negli anni 2000-2006, la mortalità generale è aumentata in tutta l'area geotermica Sud ed in modo statisticamente significativo”.

Alle pagine 81, 83 e 211 dello Studio “Progetto Geotermia” e a pagina 16 della relativa Sintesi, si afferma chiaramente che la mortalità è in netta diminuzione fin dagli anni '70, sia nei maschi che nelle femmine, stesso *trend* che si osserva a livello regionale. Il grafico 6.1.4 a pag. 81 riporta gli andamenti degli SMR (rapporto standardizzato di mortalità) dei maschi che mostrano, in effetti, nell'ultimo periodo (2000-2006) per la mortalità generale, valori osservati significativamente più alti rispetto agli attesi.

In altre parole le curve di mortalità dell'area geotermica amiatina e della toscana sono entrambe in diminuzione nel corso degli anni, ma nell'ultimo periodo, e solo per la popolazione maschile, la mortalità nell'area amiatina diminuisce meno rispetto alla regione.

A pag. 4 si afferma:

“b) la recente indagine epidemiologica sugli effetti della geotermia, con 535 morti in più rispetto agli attesi, dei quali 99 nei comuni geotermici, ed i restanti nei comuni nel raggio di 50 Km dai comuni geotermici”.

Il dato riferito da Medicina democratica relativo ai 535 morti in eccesso nei comuni nel raggio di 50 Km dai comuni geotermici non è corretto. I 535 morti si riferiscono, infatti, alla somma dei decessi in eccesso nei maschi e nelle femmine nel periodo 2000-2006 di quei comuni che sono inclusi nei cluster risultati significativi. Per il cluster dei maschi il riferimento è

rappresentato dai comuni in colore blu nel grafico a pag. 81, con 296 decessi in eccesso. Per il cluster delle femmine il riferimento è rappresentato dai comuni in blu del grafico a pag. 83, con 239 decessi in eccesso. L'analisi di clustering, in entrambi i generi, include anche comuni che non appartengono all'area geotermica, cosa che rafforza l'ipotesi che negli eccessi di mortalità rilevati siano in gioco fattori diversi dalla geotermia. Inoltre, in questa analisi di clustering condotta a livello comunale, non è corretto sommare i decessi in eccesso riscontrati separatamente nei maschi e nelle femmine perché i cluster significativi dei due generi includono comuni diversi tra loro.

1.5 - Problematica dell'arsenico nelle acque destinate al consumo umano, presente in più documenti

Nelle conclusioni dello Studio "Progetto Geotermia", ARS fa esplicito riferimento al problema dell'esposizione della popolazione a livelli elevati di arsenico nelle acque destinate al consumo umano. Non rientra nelle competenze epidemiologiche di ARS la valutazione del nesso tra concentrazioni di arsenico nell'acqua potabile e sfruttamento della risorsa geotermica. Resta il fatto che gli elevati livelli di arsenico nel corso degli anni hanno indotto alcuni Comuni a far ricorso con una certa sistematicità alla richiesta di deroga ai limiti normativi. Dei 26 comuni toscani coinvolti nella richiesta delle deroghe dal 2006 ad oggi, 9 appartengono alle Aree geotermiche in studio e sono Castelnuovo Val di Cecina, Pomarance, Radicondoli, Monterotondo Marittimo e Montieri nell'Area Nord, ed Abbadia San Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano e Piancastagnaio nell'Area Sud. Comunque, nel corso del 2010, grazie ai nuovi sistemi di abbattimento introdotti dagli enti gestori, i livelli di arsenico sono scesi a valori tali da non dover ricorrere più alle deroghe. Considerando la sicura tossicità e cancerogenicità dell'arsenico, ARS ritiene importante un monitoraggio adeguato di questa criticità.

2- Contributo di ARS alla VIA

Riguardo all'intera documentazione presentata, per quanto di competenza delle professionalità epidemiologiche di ARS, rileviamo che:

ENEL ha presentato numerose mappe di diffusione e ricaduta di vari inquinanti emessi dalle centrali di Bagnore 3 e Bagnore 4. La quasi totalità di queste mappe evidenziano ricadute in aree quasi del tutto non abitate. L'unica eccezione è rappresentata dalle mappe di ricaduta di acido solfidrico emesso in occasione dei giorni di blocco della funzionalità dei filtri abbattitori AMIS (abbattitori di mercurio e acido solfidrico). Durante questa evenienza, alcuni agglomerati abitativi potrebbero essere esposti ad H_2S , anche se a livelli di concentrazioni al di sotto dei limiti sanitari di sicurezza per esposizione di medio periodo ($20 \mu g/m^3$, fonte OMS). In particolare, dalla lettura della Mappa 02.c del documento integrativo ENEL, sulla base della scala colorimetrica, una porzione di popolazione sarebbe esposta a livelli di H_2S compresi in un intervallo tra 5 e $25 \mu g/m^3$. Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, non sappiamo se questi livelli di esposizione prolungati nel tempo a livello di popolazione generale possano produrre effetti avversi. In questo caso si parla di effetti sanitari per bassi livelli di esposizione, cioè inferiori a 20 o $50 \mu g/m^3$. E' noto, invece, l'effetto dannoso per valori più elevati ($> 150 \mu g/m^3$).

In particolare, ad oggi sono scarsi gli studi sullo stato di salute di popolazioni residenti in aree geotermiche e pochi sono perciò gli studi sull'impatto sanitario dell'acido solfidrico respirato a basse concentrazioni, anche perché è ovviamente rara l'urbanizzazione in prossimità di aree geotermiche naturali.

Escludendo lo studio condotto da ARS in Toscana, fino ad oggi possiamo contare solo 5 studi internazionali condotti in residenti in aree geotermiche, di cui tre a Rotorua, in Nuova Zelanda. Rotorua è una cittadina di circa 50.000 abitanti situata nell'area vulcanica attiva del Taupo, dove vive una delle più grandi comunità al mondo esposte ad emissioni geotermiche. Campagne di monitoraggio degli anni '70 evidenziavano un quarto della popolazione esposta a valori di acido solfidrico superiori ai $200 \mu g/m^3$, con picchi di concentrazioni oltre i $1500 \mu g/m^3$. Valori decisamente più elevati di quelli presenti nelle aree geotermiche toscane. Nel primo studio del 1997¹, gli autori hanno valutato l'incidenza di difetti congeniti e la mortalità per malattie del sistema nervoso, cardiocircolatorio e respiratorio nel periodo 1981-1990, nei

residenti a Rotorua rispetto all'intera popolazione della Nuova Zelanda. Rapporti standardizzati di mortalità (SMR) significativamente più elevati sono stati identificati solo per le malattie del sistema respiratorio nelle donne Maori (SMR= 161; IC95%= 119-212). Gli autori non hanno escluso che i risultati potessero risentire di *bias* di registrazione dell'etnia. Nel successivo studio del 1998², Bates et al., studiando l'incidenza di tumori e l'ospedalizzazione per diverse cause nei residenti a Rotorua nel periodo 1981-1990, hanno riscontrato un eccesso statisticamente non significativo di rapporti di incidenza standardizzati per età (SIR) di tumori nasali (SIR=167; IC95%=54-390) e della laringe (SIR=126; IC95%=73-202). Rispetto alle coetanee neozelandesi, le donne Maori mostravano un maggior rischio di incidenza di tumori alla trachea, bronchi e polmoni (SIR=148; IC95%= 103-206). Indipendentemente dal genere ed dall'etnia, eccessi statisticamente significativi di ricoveri sono stati rilevati per malattie del sistema nervoso (SIR=111; IC95%=107-115), del sistema circolatorio (SIR=105; IC95%=102-107) e del sistema respiratorio (SIR=101; IC95%=99-104). Nel terzo studio del 2002³, l'area di Rotorua è stata categorizzata in base ai livelli di acido solfidrico nell'aria, definiti con metodo colorimetrico semiquantitativo utilizzando campionatori passivi con carta fotografica trattata. Le numerose misure effettuate nella città, anche grazie al basso costo della metodologia, hanno mostrato valori di H₂S nel range di 320-800 ppb (0,4-1,1mg /m³) per le zone ad elevata esposizione e nel range di 0-40 ppb (0-56 µg/m³) nelle aree a bassa esposizione⁴⁻⁵. Per ciascuna area di esposizione ad H₂S sono stati calcolati i SIR, aggiustati per genere, età ed etnia, per cause neurologiche, respiratorie e cardiovascolari nel periodo 1993-1996. Tra i residenti di Rotorua, rispetto ai neozelandesi, sono emersi andamenti crescenti dei SIR al crescere dell'esposizione, sia per le malattie neurologiche (esposizione alta: SIR=219, IC95%=199-241; esposizione media: SIR=131, IC95%= 11-147; esposizione bassa: SIR=123, IC95%=116-130), sia per le malattie respiratorie (esposizione alta: SIR=165, IC95%=151-179; media: SIR=103, IC95%= 94-114; bassa: SIR=111, IC95%=106-116), che per le malattie cardiovascolari (esposizione alta: SIR=139, IC95%=129-150; media: SIR=95, IC95%= 86-106; bassa: SIR=108, IC95%=102-113). Gli autori hanno concluso concordando sull'opportunità di ulteriori indagini epidemiologiche di approfondimento a Rotorua, che si sono concretizzate con uno studio trasversale, attualmente ancora in corso, su un campione di 1800 adulti (18-65 anni) valutati con questionari, test spirometrici, neurofisiologici, neuro-comportamentali e di performance visiva.

Durand et al.⁶ hanno pubblicato un altro studio nell'area di Rotorua, condotto con un'analisi di clustering spaziale per sezione di censimento per il periodo 1991-2001. Gli Autori hanno rilevato addensamenti significativi di casi di malattie dell'apparato respiratorio, di asma e di broncopneumopatia cronico ostruttiva nelle aree con livelli più elevati di H₂S.

Al di fuori dell'area di Rotorua, si può contare solo su un'indagine condotta da Legator⁷ in due comunità di residenti in aree soggette ad esposizione ad acido solfidrico, rispettivamente per la presenza di una centrale geotermoelettrica a Puna (Hawaii) e di un impianto industriale a Odessa (Texas), utilizzando come confronto i non esposti di alcune comunità degli stessi paesi. In particolare, rischi maggiori sono emersi per sintomi del sistema nervoso centrale (OR=12,7; IC95%= 7,6-22,1), per sintomi respiratori (OR=11,9; IC95%= 6,0-25,7) e per alterazioni ematologiche (OR=8,1; IC95%= 3,6-21,2). I rischi neurologici e respiratori sono coerenti con quelli rilevati a Rotorua, anche se nello studio di Legator sono riferiti a esposizioni più basse ad H₂S. Ad Odessa, una campagna di monitoraggio eseguita nel 1992 riportava una concentrazione annuale media di H₂S nel range di 3-40 µg/m³ ed una concentrazione massima giornaliera di 150-300 µg/m³. A Puna, secondo quanto riportato dagli autori, sebbene non fossero disponibili dati di monitoraggio ambientale, un'indagine dell'Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR) riportava valori di H₂S modesti, nel range dei microgrammi/m³, con picchi occasionali. I risultati dello studio di Legator sono condizionati da *response* e *recall bias* per la maggiore sensibilità ed accuratezza degli esposti nel rispondere alle domande e ricordare sintomi, eventi ed esposizioni del passato, favoriti anche dal clima conflittuale sviluppatosi nella comunità sul tema del rischio ambientale indotto dagli impianti geotermici.

L'insieme dei pochi studi epidemiologici condotti sugli esposti alle emissioni geotermiche, sia naturali che antropiche, ad oggi suggerisce una possibile associazione tra esposizione ad acido solfidrico, anche a concentrazioni relativamente basse, ed alcuni esiti sanitari, soprattutto a carico del sistema nervoso centrale e del sistema respiratorio. I disegni di studio condotti non sono, però, sufficienti ad evidenziare una relazione di causalità tra esposizione ed effetto.

Se pochi sono gli studi sugli effetti sanitari dell'esposizione all'acido solfidrico proveniente dalle attività geotermiche, più numerosi sono quelli relativi all'acido solfidrico emesso da fonti industriali. Nella tabella sono riportati gli effetti sull'uomo di dosi crescenti di acido solfidrico. L'ATSDR⁸ riporta come Minimal Risk Level (MRL), ossia la stima del livello dell'esposizione umana giornaliera che molto probabilmente non comporta rischi

sanitari avversi non cancerogeni, il valore di 0,07 ppm (pari a ~ 100 µg/m³) per esposizione ad inalazione acuta (≤14 giorni) di acido solfidrico e un valore 0,02 ppm (pari a ~ 28 µg/m³) per esposizione ad inalazione intermedia (15-364 giorni). Non è indicata invece una soglia di rischio minimo per una esposizione cronica. Analoghi sono i valori di riferimento raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS): 150 µg/m³ come media sulle 24 ore, 100 µg/m³ come media 1-14 giorni, e 20 µg/m³ come media nel periodo 1-90 giorni.

Tabella 1: Effetti sulla salute umana in base alla concentrazione di acido solfidrico (fonte: WHO, 2003)

Esposizione (mg/m ³)	Effetto/Osservazione	Referenze
0,011	Soglia per la quale si percepisce l'odore	Amoore & Hautala, 1983
2,8	Costrizione dei bronchi per gli individui asmatici	Jappinen et al., 1990
5,0	Aumento dei disturbi oculari	Vanhoorne et al., 1995
7 or 14	Aumento della concentrazione del lattato nel sangue, diminuzione dell'attività della sintesi del citrato nei muscoli, diminuzione dell'assunzione di ossigeno	Bhambhani & Singh, 1991; Bhambhani et al., 1996b, 1997
5–29	Irritazione degli occhi	IPCS, 1981
28	Fatica, perdita di appetito, mal di testa, irritabilità, perdita di memoria, vertigini	Ahlhorg, 1951
>140	Paralisi olfattiva	Hirsch & Zavala, 1999
>560	Problemi respiratori	Spolyar, 1951
≥700	Morte	Beauchamp et al., 1984

Studi di Kilburn e collaboratori condotti tra gli anni '80 e '90 con test neurofisiologici e neuropsicologici su lavoratori esposti a moderate ed elevate concentrazioni di H₂S e su residenti nei pressi di emissioni industriali di H₂S, evidenziano una maggiore frequenza tra gli esposti di disturbi e sintomi come cefalea, nausea, vomito, depressione, dispnea, epistassi, sonnolenza, irritabilità, oltre a disturbi neuro comportamentali e di performance visiva⁹⁻¹¹. Uno studio degli addetti alla centrale geotermoelettrica di Larderello, in Toscana, non ha

evidenziato eccessi significativi di mortalità generale e per tumori¹². Uno studio su adulti residenti in una cittadina finlandese nei pressi di una cartiera ed esposti a valori medi di composti dello zolfo di 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ha evidenziato una maggiore frequenza di irritazione agli occhi ed al naso, di cefalea, di tosse persistente e di infezioni respiratorie rispetto ad un gruppo di controlli non esposti¹³. In uno studio di coorte prospettico condotto successivamente nella stessa comunità da Jaakkola et al.¹⁴ ed in una comunità di controllo, è stata rilevata una riduzione di infezioni respiratorie coerente con la riduzione registrata nella comunità esposta ma non in quella non esposta. Uno studio di Kilburn¹⁵ del 2010 condotto su 49 lavoratori e residenti esposti a fonti industriali di H_2S e composti dello zolfo, con livelli di esposizione compresi tra 2-74 ppm (2,8-103 mg/m^3) per i livelli più elevati di esposizione e 0-14 ppb (0-21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) per le esposizioni minori, e su 42 soggetti non esposti, ha evidenziato deficit neurologici, comportamentali e respiratori tra i più esposti ed i moderatamente esposti rispetto al gruppo di controllo.

I meccanismi molecolari del danno biologico da acido solfidrico non sono ancora chiari. Comunque, una fiorente letteratura scientifica sta focalizzando l'attenzione sull' H_2S anche come nuovo potenziale trasmettitore molecolare nei tessuti dei mammiferi e probabilmente presente come attore principale in diversi processi vitali cellulari. Oltre che per gli effetti dannosi, sta crescendo l'attenzione scientifica per il potenziale effetto favorevole dell' H_2S , in particolare rispetto ad alcune alterazioni molecolari alla base di disturbi cardiovascolari.

In conclusione, lo stato attuale delle conoscenze non consente di valutare adeguatamente il ruolo dell'impatto sulla salute dell'esposizione cronica a basse dosi di H_2S , che rimane una questione scientificamente aperta e che potrebbe in futuro condizionare l'entità e durata dei monitoraggi ambientali e della sorveglianza epidemiologica delle popolazioni esposte. Per questo i risultati dello studio trasversale in corso sui residenti a Rotorua condotto da Bates e coll. rivestono un ruolo rilevante, con la possibilità che sia evidenziato o al contrario non confermato un rapporto tra esposizione a bassi livelli di acido solfidrico e insorgenza di qualche disturbo neurologico, comportamentale, visivo o respiratorio. In caso di dimostrazione di un effetto delle basse dosi, dovremmo riconsiderare lo stato di salute della popolazione che risiede nelle aree con livelli di H_2S oggi ritenuti privi di rischi, utilizzando strumenti e metodi adeguati. Nel corso del 2012 sono attesi i risultati preliminari di questo studio. Intanto ARS sta organizzando per ottobre 2012 un seminario con

la partecipazione del team di ricercatori di Bates, per verificare la congruità del dato della ricerca di Rotorua con il contesto ambientale e sanitario dell'area geotermica toscana.

Allo stato attuale delle conoscenze, si raccomanda un adeguato piano di monitoraggio della qualità dell'aria, che sia rappresentativo dell'esposizione della popolazione generale ad acido solfidrico, con un controllo appropriato delle emissioni degli impianti, con particolare riferimento alla verifica del funzionamento degli AMIS. E' anche consigliabile una migliore definizione del contributo delle fonti naturali al carico globale di acido solfidrico nell'area di ricaduta delle emissioni dagli impianti geotermoelettrici. Dal punto di vista sanitario, si sottolinea che tutta l'area geotermica toscana è attualmente oggetto di monitoraggio dello stato di salute della popolazione da parte di ARS, attraverso l'analisi dei dati dei flussi sanitari regionali correnti.

Bibliografia

1. Bates MN, Garrett N, Graham B, Read D. Air pollution and mortality in the Rotorua geothermal area. *Aust N Z J Public Health* 1997; 21: 581-6.
2. Bates MN, Garrett N, Graham B, Read D. Cancer incidence, morbidity and geothermal air pollution in Rotorua. *New Zealand Int J Epidemiol* 1998; 27: 10-4.
3. Bates MN, Garrett N, Shoemack P. Investigation of health effects of hydrogen sulfide from a geothermal source. *Arch Environ Health* 2002; 57: 405-11.
4. Horwell CJ, Patterson JE, Gamble JA, Allen AG. Monitoring and mapping of hydrogen sulphide emissions across an active geothermal field: Rotorua, New Zealand. *J Vol Geo Res* 2005; 139: 259-69.
5. Horwell CJ, Allen AG, Mather TA, Patterson JE. Evaluation of a novel passive sampling technique for monitoring volcanogenic hydrogen sulfide. *J Environ Monit* 2004; 6: 630-35.
6. Durand M, Wilson JG. Spatial analysis of respiratory disease on an urbanized geothermal field. *Environ Res* 2006; 101: 238-45.
7. Legator MS, Singleton CR, Morris DL, Philips DL. Health effects from chronic low-level exposure to hydrogen sulfide. *Arch Environ Health* 2001; 56: 123-31.
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). *Toxicological profile for Hydrogen Sulfide*. ATSDR, 2006
9. Kilburn KH, Warshaw RH. Hydrogen sulfide and reduced-sulfur gases adversely affect neurophysiological functions. *Toxicol Ind Health* 1995; 11: 185-97.
10. Kilburn KH. Exposure to reduced sulfur gases impairs neurobehavioral function. *South Med J* 1997; 90: 997-1006.
11. Kilburn KH. Effects of hydrogen sulfide on neurobehavioral function. *South Med J*. 2003; 96: 639-46.
12. Pira E, Turbiglio M, Maroni M, Carrer P, La Vecchia C, Negri E et al. Mortality among workers in the geothermal power plants at Larderello, Italy. *Am J Ind Med* 1999; 35: 536-9.
13. Partti-Pellinen K, Marttila O, Vilkkä V, Jaakkola JJ, Jäppinen P, Haahtela T. The South Karelia Air Pollution Study: effects of low-level exposure to malodorous sulfur compounds on symptoms. *Arch Environ Health* 1996; 51: 315-20.
14. Jaakkola JJ, Partti-Pellinen K, Marttila O, Miettinen P, Vilkkä V, Haahtela T. The South Karelia Air Pollution Study: changes in respiratory health in relation to emission reduction of malodorous sulfur compounds from pulp mills. *Arch Environ Health* 1999; 54: 254-63.
15. Kilburn KH, Thrasher JD, Gray MR. Low-level hydrogen sulfide and central nervous system dysfunction. *Toxicol Ind Health* 2010; 26: 387-405.

Il Direttore ARS
Dr. Francesco Cipriani

