

Fattori ambientali e salute: il ruolo degli elementi in traccia nella salute umana

MARIA LUISA FELICI

MLUISA@TIN.IT

La geomedicina è la disciplina che tratta dell'influenza dei fattori geografici e/o geologici sulla salute umana. In senso più esteso, essa può essere definita come la scienza che tratta dell'influenza dei fattori ambientali sulla distribuzione geografica di patologie umane e animali (Marktl, 2000; Boelviken, 1998).

Uno degli aspetti portanti della geomedicina è il riconoscimento delle relazioni intercorrenti tra ciclo biogeochimico degli elementi e ciclo alimentare.

Gli elementi chimici in traccia presenti in natura, metalli e non metalli, sono di grande utilità nella alimenta-

zione umana, in quanto sovrintendono al corretto funzionamento dell'organismo umano; gli stessi possono avere conseguenze negative sulla salute umana quando ingeriti in quantità anomale, inferiori o superiori ai valori medi raccomandati dall'OMS, l'Organizzazione Mondiale della Sanità. Esistono molti casi documentati in cui sia una assunzione prolungata nel tempo di elementi metallici e non metallici biodisponibili, come mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsenico (As), piombo (Pb), fluoro (F), in un ecosistema, sia una carenza continua di micronutrienti essenziali, come selenio (Se), zinco (Zn), rame (Cu), nell'alimentazione ha portato malattia e morte degli or-

ganismi viventi (Marktl, 2000; De Vivo et al., 2004). Ad esempio, alcune malattie della tiroide sono provocate da un elevato tenore di iodio; condizioni di pericolose intossicazioni sono invece causate da eccessivi quantitativi di metalli e non metalli nelle acque, come è il caso dei fluoruri in Africa e in India, dell'arsenico in Argentina, Cile, Bangladesh e Taiwan, dei nitrati nelle aree agricole in cui si ricorre massicciamente ai fertilizzanti; del selenio in alcune zone degli Stati Uniti, Venezuela e Cina.

Le anomalie nei contenuti elementari nei sistemi ambientali sono provocate da differenti cause sia natura-

Elementi	Rocce ignee				Rocce sedimentarie			Sedimenti marini		Oceani	
	Ultrabasiche	Basalti	Graniti		Sieniti	Argille	Arenarie	Carbonati	Argille		
			+ Ca	- Ca							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
As	1	2	1,9	1,5	1,4	13	1	1	1	13	3×10^{-3}
Cd	10^{-1}	$2,2 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	3×10^{-1}	10^{-2}	$3,5 \times 10^{-2}$	10^{-2}	$4,2 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-4}$
Co	$1,5 \times 10^{-2}$	48	7	1	1	19	3×10^{-1}	10^{-1}	7	74	10^{-4}
Cr	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	22	4,1	2	9	35	11	-	-	-
Cu	10	87	30	10	5	45	1	4	30	$2,5 \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
Fe	$9,4 \times 10^4$	$8,6 \times 10^4$	$2,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$	$4,7 \times 10^4$	$9,8 \times 10^4$	$3,8 \times 10^4$	9×10^3	$6,5 \times 10^4$	10^{-2}
F1	10^2	4×10^2	$5,2 \times 10^2$	$8,5 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$7,4 \times 10^2$	$2,7 \times 10^2$	$3,3 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$	$1,3 \times 10^3$	1,3
Hg	4×10^{-3}	7×10^{-3}	2×10^{-2}	$3,9 \times 10^{-2}$	10^{-2}	4×10^{-1}	3×10^{-2}	4×10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	3×10^{-5}
Mn	$1,62 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-2}$	10^2	$1,1 \times 10^3$	10^3	$6,7 \times 10^3$	2×10^{-3}
Ni	2×10^{-3}	$1,3 \times 10^{-2}$	15	4,5	4	68	2	20	30	$2,2 \times 10^{-2}$	2×10^{-3}
Pb	1	6	15	19	12	20	7	9	9	8	3×10^{-5}
Sb	10^{-1}	2×10^{-1}	2×10^{-1}	2×10^{-1}	10^{-1}	1,5	10^{-2}	2×10^{-1}	$1,5 \times 10^{-1}$	1	5×10^{-4}
Sn	5×10^{-1}	1,5	1,5	3	1	6	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	1,5	8×10^{-4}
Th	4×10^{-3}	4	8,5	17	13	12	1,7	1,7	1	7	5×10^{-5}
U	10^{-3}	1	3	3	3	3,7	$4,5 \times 10^{-1}$	2,2	10^{-1}	1,3	3×10^{-3}
Zn	50	1×10^2	60	39	$1,3 \times 10$	95	16	20	35	$1,6 \times 10^{-2}$	10^{-2}

Tabella 1 - Fondi geochimici (ppm) di alcuni litotipi. Colonna 1-10 da Turekian (1961). Colonna 11 da Goldberg (1965).

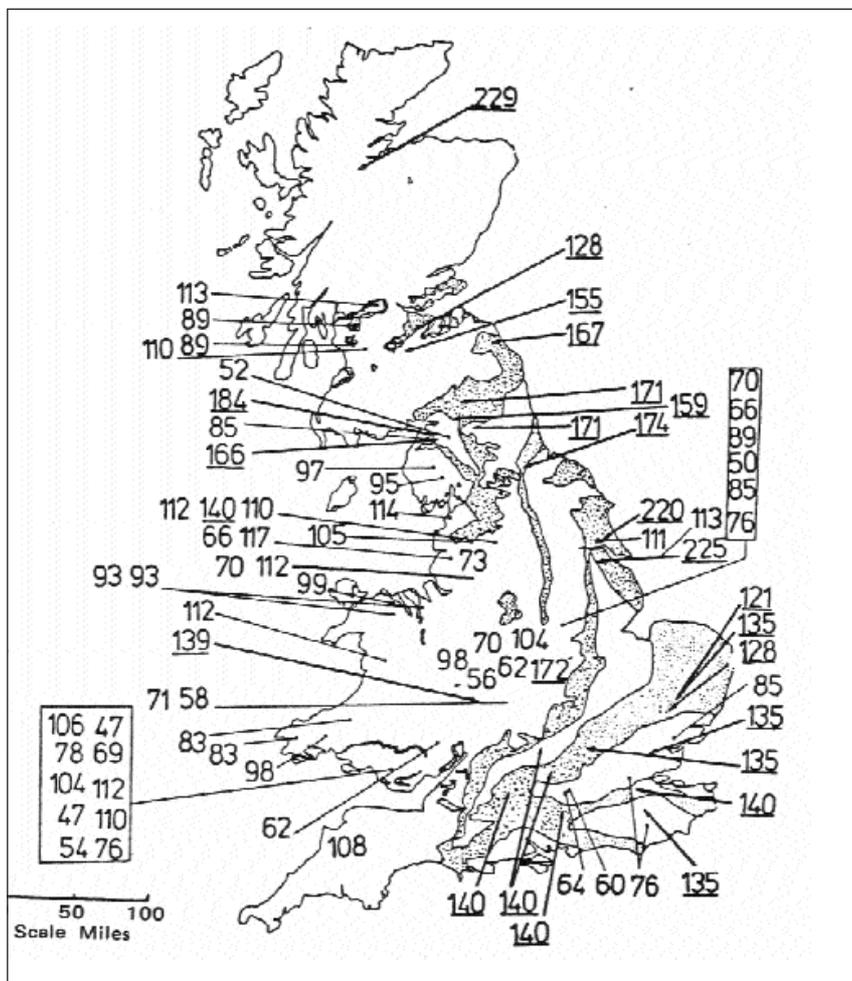


Figura 1 - Relazioni possibili tra la concentrazione di stronzio (mg/g) in campioni di ceneri di ossa umane e distribuzione delle rocce calcaree, aree ombreggiate, nella Gran Bretagna (Hamilton and Minski, 1972, 1973, in Fortescue, 1980).

li, sia antropiche: eccessiva concentrazione elementare naturale, con disponibilità eventualmente esaltata dalla presenza di coltivazioni minerarie; immissioni di elementi potenzialmente nocivi nelle acque superficiali e sotterranee; inquinamento dei suoli e delle acque da parte delle industrie e di non corrette pratiche agricole. E' da notare, tuttavia, che anche la presenza diffusa a basso tenore di metalli nei diversi sistemi ambientali può comportare conseguenze di ordine sanitario. Tale differenza di situazioni riguarda anche la naturalità delle presenze. Appare quindi opportuno farne un cenno sommario.

1. FONTI NATURALI DI ELEMENTI TOSSICI

Un fattore importante di riferimento negli studi epidemiologici, correlabili alla presenza naturale di elementi metallici potenzialmente tossici negli ambienti superficiali, sarebbe la conoscenza della distribuzione territoriale degli stessi. Una loro rappresentazione cartografica generale costituirebbe peraltro uno valido strumento di attribuzione corretta di un dato elemento in un ambiente a presenza naturale od a immissione antropica. Poiché sono gli esempi noti di caratterizzazione geochimica territoriale. A

fronte di questa carenza è importante almeno conoscere quali siano le tipologie fondamentali di possibile presenza naturale di elementi di interesse in un dato territorio. In termini di estrema semplificazione tali tipologie sono due:

- fondo geochimico formazionale (Clarke geochimico)
- provincia geochimica

La prima tipologia è riferita alla dotazione specifica in elementi delle singole categorie litologiche o litotipi. La tabella 1 evidenzia le differenze di concentrazioni elementari, generalmente a livello solo di ppm, che caratterizzano i singoli litotipi. I valori riportati in tabella riflettono una situazione di omogeneità reale dei valori di concentrazione elementare dei vari litotipi a scala planetaria. Particolarmente evidente risulta la differenza di dotazione elementare fra argille ed arenarie. Si tratta di due litotipi sviluppati in ambienti contigui sotto l'influenza di comuni apporti elementari. La differenza delle concentrazioni trae origine dalla diversa capacità di cattura degli ioni idrotrasportati caratteristica delle singole particelle dei due tipi di sedimenti citati. L'atto della dotazione di elementi è quindi un processo di associazione singenetica di sedimenti e di ele-

menti in traccia. Processi, comunque singenetici, sono sempre alla base delle diverse dotazioni elementari delle rocce magmatiche.

Quanto un fondo geochimico formazionale, a livello di ppm, sia comunque significativo come alimentatore per il trasferimento di propri elementi al biota è evidenziato nella figura 1, rappresentante la distribuzione geografica dello stronzio nelle ceneri di ossa di cittadini inglesi (Fortescue, 1980). Risulta evidente la corrispondenza dei valori di stronzio con la distribuzione di rocce calcaree.

Vardaki e Kelepersis (1999) hanno effettuato l'analisi di suoli, acque e piante in una area situata a nord est di Atene, nell'Eubea centrale. La vegetazione risulta inquinata da processi naturali dovuti alla presenza di rocce ultrabasiche con associate mineralizzazioni di nichel. Gli autori hanno rilevato il contenuto di nichel, cromo, carbonio, ferro, manganese, cadmio, manganese, piombo, zinco, rame e arsenico. Nichel e cromo sono risultati presenti in elevate concentrazioni, rispettivamente, in media, 2160 ppm e 1040 ppm, valori molto superiori alla capacità di accumulo delle piante, pari a 100 ppm per il nichel e 75-100 ppm per il cromo.

La seconda tipologia, quella delle province geochimiche, rappresenta il risultato della contaminazione di formazioni geologiche ad opera di flussi minerogenetici realizzati in qualsiasi fase della costituzione delle formazioni stesse, da quella genetica iniziale a quelle più tardive, addirittura in quella postorogena. Si tratta quindi di processi che possono interessare tutte le fasi da sin a dia ad oro, o solo alcune od una sola di esse, fino a quella finale di demolizione del paesaggio. Le concentrazioni variano irregolarmente dal ppm al per cento, dando talora luogo a giacimenti di interesse minerario. Gli ambienti coincidenti con aree di presenza di province geochimiche sono chiaramente soggetti a processi di contaminazione naturale. E' ovvio, comunque, che le produzioni minerarie e l'accumulo, e magari la dispersione, dei detriti di risulta costituiscono un fattore di esaltazione della potenzialità originaria di contaminazione della provincia geochimica, che chiama direttamente in gioco la responsabilità dell'uomo.

La provincia mercurifera della Toscana (fig. 2) corrisponde ad una delle aree di maggiore concentrazione di tale elemento a livello planetario. A fronte di concentrazioni localizzate, di interesse anche minerario, esiste una distribuzione diffusa di mercurio rilevata nei sedimenti alluvionali di questa regione, che si attesta su livelli decisamente anomali, qualche unità di



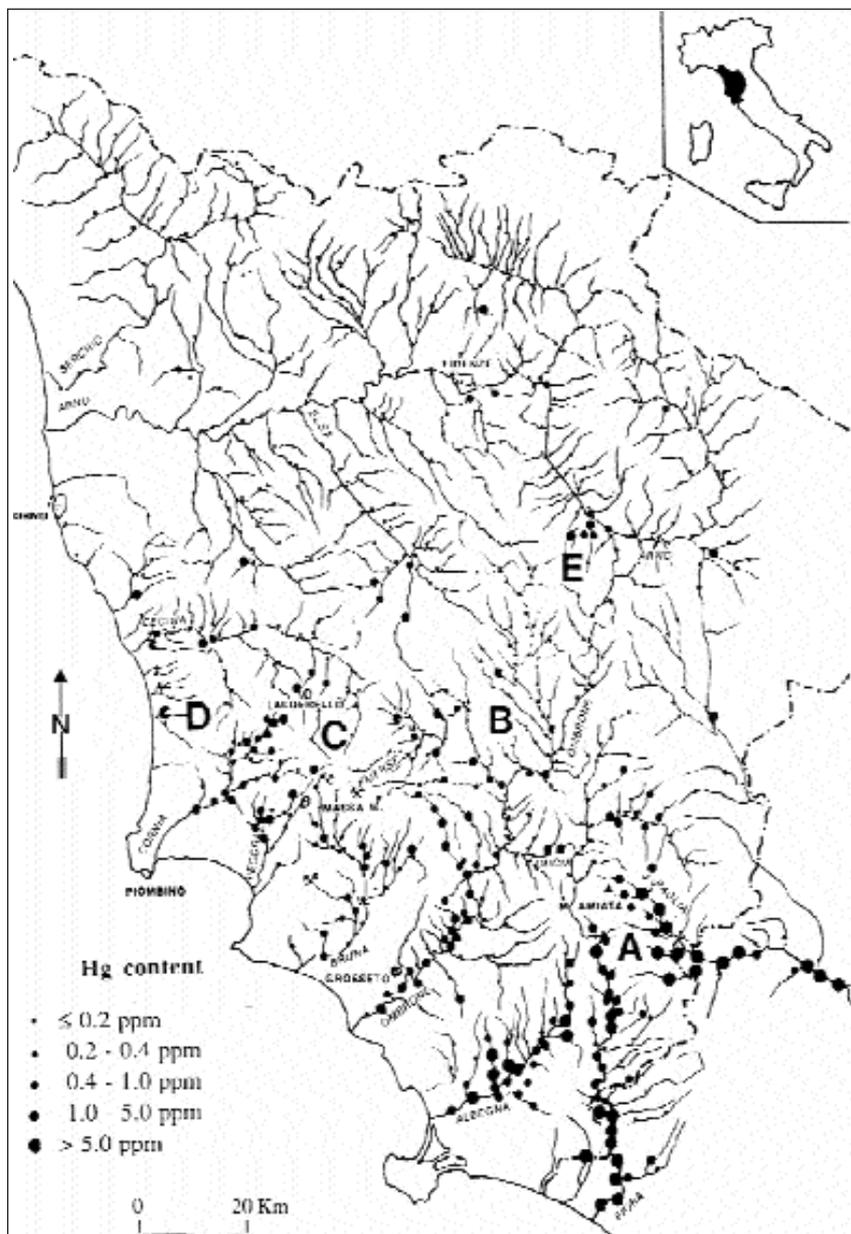


Figura 2 - Distribuzione del mercurio nei sedimenti fluviali della Toscana (Dall'Aglio et al., 1966, in Dall'Aglio, 2004).

ppm, rispetto al fondo medio, ordine dei decimi di ppm o addirittura meno. L'area anomala si estende anche al Lazio settentrionale ricoprendendo un areale complessivo di circa diecimila chilometri quadrati. Tracce del mercurio rilasciato da quest'area sono state riscontrate negli organismi di alcuni ambienti marini rispondenti ai maggiori bacini minerari.

La distribuzione di concentrazioni anomale di fluoro nelle acque scorre del Lazio settentrionale (fig. 3) coincide con la presenza di una provincia di tale elemento di importanza almeno continentale (Dall'Aglio, 2004). L'attività esplorativa e quella di modesta coltivazione dei cospicui giacimenti locali non incidono che marginalmente sulla elevata disponibilità del fluoro per il biota. Gli effetti della presenza dell'eccesso di tale elemento nelle acque locali destinate, alcuni decenni or sono, all'uso potabile erano ben visibili sulle dentizioni degli abitanti della

zona e lo sono ancora per le persone più anziane. In pratica gli effetti erano gli stessi del caso della fluorosi dentale studiata nelle Rift Valley africana, più avanti descritta.

2. AMBIENTE E TOSSICITA'

La disponibilità di metalli e metalloidi per il ciclo alimentare è collegata alla presenza di tali elementi nel contesto geologico di base ed alla attività dei fattori della loro mobilizzazione, smistamento e ridistribuzione nei vari sistemi ambientali. Oltre ai contenuti "fossili" degli elementi nelle formazioni geologiche, esistono immissioni attuali ad opera, ad esempio, dei vulcani. Il clima rappresenta il fattore primario di mobilizzazione e ridistribuzione. Le masse rocciose degradano per erosione fisica e per attacco chimico operati dagli agenti meteorici. Le acque costituiscono l'agente di attacco e veicolazione di materiali ed elementi verso le sedi deposizionali. Parametri chimici, come pH, potenzia-

le redox (Eh), carica ionica ed altri agiscono in maniera selettiva nei processi di degradazione delle masse "sorgente" degli elementi, nel controllo degli stessi in fase di veicolazione verso le sedi deposizionali e nel loro stato, di mobilità o fissazione, in questi ultimi. La stessa attività biologica svolge un'azione di controllo dei parametri chimici. La biodisponibilità, intesa come la percentuale o frazione di una specie chimica disponibile per essere assimilata da un organismo vivente, può quindi variare da un ambiente all'altro in relazione ai fattori ora citati.

La tossicità di un elemento dipende anche dalla forma ionica e dalla modalità di assimilazione nello stato in cui l'elemento si presenta, dal tipo di organismo vivente, dall'organo biologico di assimilazione, dall'età e dalla massa del corpo: ad esempio, il piombo è molto meno accumulato per via alimentare rispetto all'inalazione attraverso le vie respiratorie. La presenza di altri elementi chimici può sia esaltarne gli effetti, sia agire in maniera antagonista rispetto ad un altro elemento assunto. Ad esempio, l'arsenico in eccesso interferisce con il selenio; analogamente, un eccesso di molibdeno nel foraggio delle mucche da latte impedisce l'assimilazione del rame, per cui gli animali si ammalano di ipocuprosi, con perdita di peso e riduzione nella produzione di latte.

Dal punto di vista dell'alimentazione umana, gli elementi possono essere distinti (tab. 2) in:

- micronutrienti essenziali, in dosi di alcuni mg o μg al giorno, comprendenti arsenico (As), cobalto (Co), cromo (Cr), rame (Cu), ferro (Fe), manganese (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se), vanadio (V), zinco (Zn);

- micronutrienti non essenziali, come berillio (Be), cadmio (Cd), mercurio (Hg), nichelio (Ni), piombo (Pb), antimonio (Sb), stagno (Sn), titanio (Ti);

- macronutrienti essenziali, in dosi di circa 100 mg/giorno, includenti calcio (Ca), cloro (Cl), magnesio (Mg), fosforo (P), potassio (K), sodio (Na), zolfo (S);

altri micronutrienti essenziali, tra cui fluoro (F), iodio (I), silicio (Si) (De Vivo et al., 2004).

Come detto in precedenza, in caso di eccesso o deficienza dietetici di uno o più elementi in un determinato arco di tempo, l'organismo può sviluppare malattie o addirittura morire (fig. 4). Altri metalli, potenzialmente

tossici, sono non essenziali e non causano problemi se sono carenti nella dieta, ma il loro bioaccumulo tende a far peggiorare lo stato di salute di un organismo, con manifestazione di sintomi e malattie croniche. I metalli e i metalli non essenziali si accumulano nei diversi organi in maniera differenziata: come riportano De Vivo et al. (2004), il metile di mercurio, CH_3Hg^+ si concentra nel cervello mentre Cd^+ e Hg^{2+} si accumulano preferibilmente nel rene. Concentrazioni di mercurio (Hg) $>10 \mu\text{g/g}$ nel fegato o $>6 \mu\text{g/g}$ nel cervello possono causare la morte, mentre valori $>20 \mu\text{g/g}$ sono in grado di provocare danni cromosomici (Fergusson, 1990). Un accumulo di 55 mg di mercurio in una persona dal peso di 51 kg causa la perdita di controllo motorio (atassia).

I metalli potenzialmente tossici possono arrivare agli organismi viventi attraverso tre percorsi: la respirazione, l'acqua, il cibo (De Vivo et al., 2004).

Gli elementi potenzialmente tossici, quali arsenico, cadmio, mercurio, piombo, zinco, traggono primariamente origine da sorgenti naturali. E' tuttavia vero che il contributo naturale alla presenza ambientale odierna di questi e di altri elementi assume una dimensione minoritaria rispetto a quanto derivato a scala mondiale dalle attività antropiche. Ma altri tipi di immissioni contribuiscono ad allargare il quadro patologico. L'inhalazione di particelle e polveri di metalli pesanti derivanti dalle attività industriali è universalmente riconosciuta come causa di malattie negli operai. Silicosi, cancro ai polmoni, effetti radiogenici rappresentano patologie comuni. Il piombo in forma tetraetilica, presente nelle benzine per autotrazione, poteva comportare insorgenza di problemi respiratori. Quale che sia l'origine, naturale ed antropica, degli elementi metallici il loro comportamento ambientale è soggetto al controllo degli stessi fattori geochimici.

Le acque superficiali e sotterranee sono in grado di trasportare in soluzione gli ioni metallici; il loro consumo può pertanto arrecare danni alla salute umana. In particolare, le acque circolanti nelle vicinanze di giacimenti minerali, di siti adibiti a discariche di rifiuti urbani o industriali, di reti fognarie possono arricchirsi di elementi tossici e avvelenare gradualmente le popolazioni residenti. Questo vale soprattutto per i Paesi in cui non esiste disponibilità di acque per uso potabile, alimentare e igienico, con gravi conseguenze epidemiologiche.

L'assorbimento da parte delle ra-

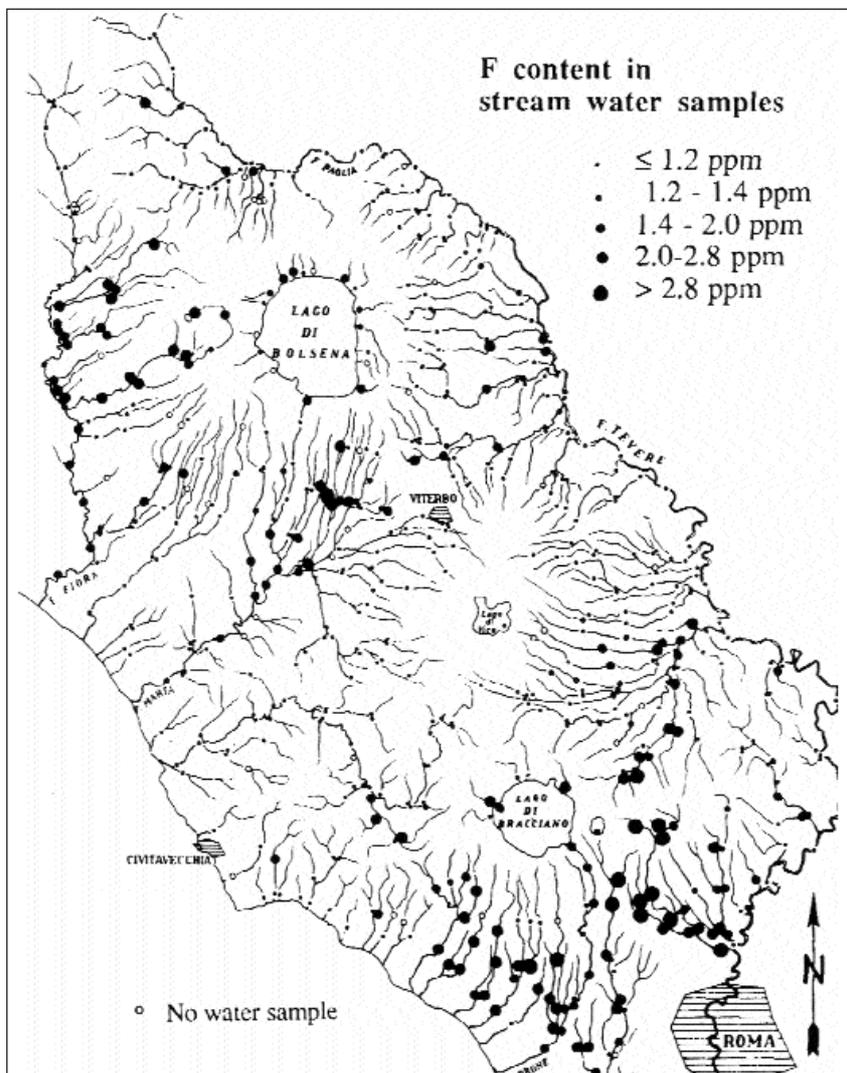


Figura 3 - Distribuzione del fluoro nelle acque fluviali del Lazio settentrionale (Dall'Aglio, 1974 in Dall'Aglio 2004).

dici delle piante costituisce il percorso principale attraverso cui i metalli entrano nella catena alimentare. Situazioni di nocività possono costituirsi con l'incremento del contenuto metallico dei suoli, come nel caso di spandimenti di fanghi arricchiti in metalli pesanti, quali cadmio, rame, piombo e zinco, di apporti di inquinanti derivanti dalle emissioni atmosferiche e di irrigazioni con acque arricchite di sostanze nocive. I suoli diventano così sede di accumulo di sostanze tossiche e, contestualmente, mezzo di trasmissione delle stesse alle piante, agli animali e in ultimo, all'uomo. La capacità di cessione degli elementi acquisiti dai suoli varia comunque consistentemente con la granulometria e con la natura mineralogica dei suoli stessi. Suoli sabbiosi hanno una capacità di ritenzione dei contaminanti estremamente limitata. La possibilità di cessione di elementi alle piante dura fino a che persiste la presenza delle acque interstiziali al loro interno. Il loro dilavamento determina il rapido trasferimento degli elementi in soluzione alle falde soggiacenti. Il contrario si verifica nel caso dei suoli a forte componente argillosa. L'elevata capacità di adsorbimento dei minerali ar-

gillosi determina situazioni di vero e proprio sequestro degli ioni in circolazione. Il risultato è la riduzione drastica della disponibilità degli ioni metallici per l'assunzione da parte delle piante e per la contaminazione delle falde. E' in più da mettere in conto l'estrema complessità e variabilità dei suoli come veri e propri sistemi chimici e chimico-fisici. Il loro ruolo, quali sistemi regolatori del comportamento dei metalli nell'ecosfera, è di primaria importanza e l'attendibilità degli esiti degli studi epidemiologici è fortemente condizionata dal grado di attenzione loro dedicato.

3. ESEMPI E RISULTATI DI STUDI GEOEPIDEMIOLOGICI

3.1. IL RUOLO DEL SELENIO NELLA MALATTIA DI KESHAN

Per quanto riguarda la geochimica del selenio, questo è un elemento chimico con un comportamento simile a quello dello zolfo e si presenta con quattro stati di ossidazione (2, 0, +4, +6). Le principali sorgenti del selenio sono rappresentate da solfuri metallici, tipici di giacimenti minerali. La concentrazione di selenio nei suoli, sotto forma di seleniato di ferro, seleniato



Metalli pesanti micronutrienti essenziali (alcuni mg o µg al giorno)	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Metalli pesanti non-essenziali	Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti
Macronutrienti (~ 100 mg o più al giorno)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Altri micronutrienti essenziali	F, I, Si

Tabella 2 - Micronutrienti essenziali per il funzionamento ottimale degli organi e dei processi biologici negli esseri umani e metalli pesanti non essenziali (De Vivo et al., 2004).

	Numero di prelievi	Stagione secca Intervallo	Stagione secca Media	Stagione umida Intervallo	Stagione umida Media
Pioggia				0,5-0,9	0,7
Dighe	3	1,3-3,3	2,3	1,5-2,8	2,1
Pozzi	5	3,1-4,7	3,9	2,5-7,5	5,0
Sondaggi	6	5,5-11,5	8,5	6,0-9,5	7,8
Fiumi	5	1,7-3,0	2,3	1,3-3,5	2,4
Sorgenti	1	6,2	6,2	4,8	4,8

Tabella 3 - Analisi del fluoruro (mg/l) nelle acque dell'area di Njoro (Moturi W. K. N. et al., 2002).

di calcio e allo stato elementare, è compresa fra 0,01 e 2 mg/g ed è trascurabile nelle acque, che possono comunque contenerne, nel caso si tratti di quelle superficiali, da 50 a 300 µg/l (Flocchia et al., 2003).

Fordyce et al., (2000) hanno evidenziato che l'evoluzione geologica del sito o il tipo di rocce in cui i suoli si formano sono il principale fattore di controllo nella distribuzione di selenio e di altri elementi. I processi di adsorbimento da parte della materia organica e la formazione dei complessi, dovuti alla presenza di ferro, ne ridurrebbero la biodisponibilità. Johnson et al., (2000) hanno invece rilevato che l'elevato contenuto di materia organica nei suoli dà luogo a fenomeni di chelazione, per cui il selenio non viene rilasciato nelle acque né è assorbito dalle colture.

Da un punto di vista biologico, il selenio è un elemento essenziale e benefico per il metabolismo animale (0,04-0,1 mg/kg di cibo) ma diventa tossico quando ingerito in quantità variabili da 0,1 a 10 mg/kg di cibo (Flocchia et al., 2003).

A proposito di questo elemento, è stato notato il legame esistente tra la sua carenza e la *malattia di Keshan* (Fordyce, 2000; De Vivo et al., 2004) che comporta gravi problemi cardiaci.

Alcune province della Cina sono state caratterizzate nel passato da una carenza di selenio nel suolo. La somministrazione di questo elemento agli abitanti ha evitato una maggiore diffusione della malattia; in particolare, la somministrazione settimanale di 0,5-1 mg ai pazienti ne ha ridotto notevolmente l'incidenza (Yin et al., 1983).

E' da notare che se la carenza di selenio provoca la malattia di Keshan, dall'altra un suo eccesso comporta di-

sturbi vascolari acuti, perdita di capelli, itterizia, e carie.

3.2. IL RUOLO DEL FLUORO NELLA FLUOROSI DENTALE

Il fluoro, appartenente alla famiglia degli alogeni, è un gas giallo verdastro altamente reattivo ed è presente sotto forma di fluoruro in rocce, piante, animali, aria e acqua in varia concentrazione. Il fluoro esiste in forma ionica ed entra nel corpo umano con l'ingestione e l'inalazione, e, solo in casi estremi, attraverso la pelle. Esso viene considerato un oligoelemento essenziale nell'alimentazione umana, sia pure in minime quantità, circa 0,5 mg al giorno (Flocchia et al., 2003). Le principali sorgenti di fluoro sono le aree vulcaniche e le acque; da non trascurare l'apporto dovuto alle attività industriali (fertilizzanti, produzione di alluminio, etc.). Il fluoruro presente nelle acque viene assorbito dal corpo umano più rapidamente del fluoruro insito nei cibi.

La *Rift Valley* africana è conosciuta per i suoi alti contenuti di fluoruro e associati problemi di salute. Definite da Clarke et al., (1990) "non modificate" per la loro composizione chimica derivata dalla normale interazione acqua roccia a temperatura media, queste acque mostrano concentrazioni elevate di fluoro, fino a 180 mg/l, indicando che la dissoluzione delle rocce vulcaniche della regione costituisce un importante contributo per i tenori di fluoruro nelle acque. I vulcani della *Rift Valley* mostrano una elevata alcalinità (pH > 7) e tenori altrettanto alti di sodio, potassio, bicarbonato e cloruri. Calcio e magnesio segnano livelli bassi, in quanto precipitano per lo più sotto forma di carbonati. Williamson (1953) ha trovato

elevati livelli di fluoruri nelle acque sotterranee della *Rift Valley*, 39,0 mg/l nei pozzi e 43,5 mg/l nei sondaggi. Sebbene la maggioranza degli alimenti delle popolazioni della zona contenga meno di 1 mg/kg di fluoruro, il té ed i pesci di lago mostrano una ampia eccezione.

E' stato dimostrato che notevoli tenori di fluoro negli ambienti di lavoro industriali e nelle aree urbane producono effetti nocivi sull'uomo, come irritazioni della pelle, degli occhi, delle vie respiratorie, anemia.

Quanto ad effetti a carico della dentizione, il fluoruro assorbito dal corpo, se non eliminato adeguatamente, può causare vari problemi, che vanno dai più lievi, come la formazione di strie e macchie su denti ed unghie, fino alla *fluorosi dentale*. La fluorosi dentale comporta una maggiore suscettibilità dei denti alla carie, fragilità, opacità dello smalto. Nei casi più gravi la fluorosi interessa anche lo scheletro con aumento nella densità delle ossa, cui si abbinano ispessimenti osteofitici.

Uno studio idrochimico condotto da Moturi et al., (2002) nella zona della *Rift Valley* africana mostra una significativa correlazione tra contenuti di fluoruro nelle acque e problemi di fluorosi dentale. Lo studio è stato effettuato nella zona di Njoro nel distretto di Nakuru, coprendo un'area di circa 774 kmq abitata da poco più di 167.000 persone. I punti di prelievo sono stati 20: 6 sondaggi, 5 pozzi, 5 fiumi, 3 dighe e 1 sorgente. Le misurazioni sono state eseguite due volte in ogni punto, sia durante la stagione delle piogge (settembre 1996) che durante la stagione secca (dicembre 1996-gennaio 1997). Anche l'acqua piovana è stata raccolta e analizzata.

I campioni di acqua sono stati sot-



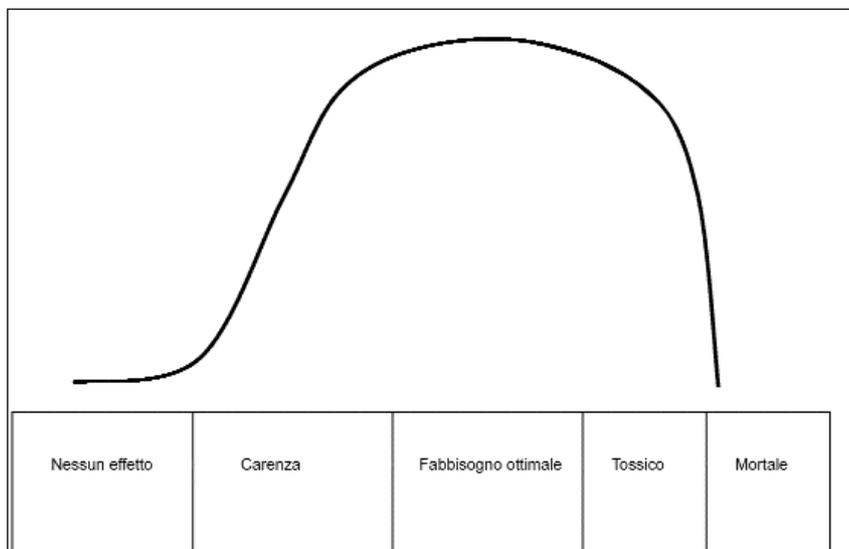


Figura 4 Effetti fisiologici sull'organismo umano in funzione della concentrazione dei macronutrienti (Sauer, 2000, modificata).

toposti alla misurazione dei parametri idrochimici: quali alcalinità, durezza, magnesio, calcio, fluoruro, sodio, silice e boro.

La tabella 3 presenta le medie e i valori di concentrazione del fluoruro nelle differenti acque, considerando sia la stagione secca che la stagione delle piogge. Al di fuori dell'acqua piovana, tutti i campioni di acque presentano livelli di fluoruro al di sopra dei valori raccomandati, ossia 1,0-1,5 mg/l. Le acque di superficie mostrano tenori di fluoruro inferiori rispetto alle acque sotterranee ma con concentrazioni variabili nel tempo e nello spazio; le acque dei fiumi mostrano livelli diversi in relazione al miscelamento con le acque sotterranee.

La maggior parte delle acque per uso domestico mostra concentrazioni di fluoruro molto varie, dai 2,5 a 8,5 mg/l. Non mancano casi di tenori più bassi o più elevati.

L'esame medico dei bambini indica che circa la metà, il 48,3%, presenta segni di fluorosi dentale, da moderata a grave. Ciò nonostante, alcuni bambini, pur essendo esposti ad elevati tenori di fluoruro, non presentano alcun segno di questa patologia e, pertanto, successivi studi potrebbero dimostrare una protezione dovuta a predisposizione genetica o ad altri fattori ambientali.

Le acque sotterranee sono ampiamente usate per uso culinario e come bevanda, in quanto più pure e meno torbide delle acque superficiali. Il trattamento con allume è considerato un valido ausilio per ridurre la concentrazione di fluoruri nelle acque (Njenga, 1982). Un'aggiunta di cloro nelle acque diminuisce la carica microbica ma non riduce il livello di fluoruro. L'uso dell'allume e delle acque piovane è quindi raccomandato come mezzo per contrastare gli elevati tenori di fluoruri nelle acque e ridurre l'incidenza nello sviluppo della fluorosi dentale.

3.3.IL PROBABILE RUOLO DEL RADON NELLA SCLEROSI MULTIPLA

Il radon (Rn) è un gas incolore e inodore prodotto dal decadimento radioattivo del radio (Ra), a sua volta generato dal decadimento dell'uranio (U). Si tratta di un gas radioattivo naturale, la cui principale fonte di immissione nell'ambiente è il suolo. Derivando da elementi chimici caratterizzati da radioattività, comuni, in genere, nelle rocce di origine vulcanica, il radon presenta maggiori concentrazioni nelle aree di origine vulcanica. Come gas, il radon fuoriesce dal terreno o dai materiali da costruzione, come il tufo, o dall'acqua, disperdendosi nell'atmosfera e accumulandosi negli ambienti chiusi. Esso viene considerato la seconda causa di tumori al polmone dopo il fumo di sigaretta, sebbene più che al radon in se stesso, il rischio sia associato ai prodotti del suo decadimento.

Boelviken (1998 e 2000) evidenzia in una delle sue ricerche una stretta correlazione tra i casi di sclerosi multipla registrati nella Norvegia meridionale, il contenuto di radon presente nell'ambiente domestico e la relativa scarsità di precipitazioni di magnesio marino. Nessuna analogia correlazione è stata riscontrata nella Norvegia settentrionale. Al riguardo il ricercatore ipotizza che il radon possa essa un fattore di rischio per la sclerosi multipla. Lo sviluppo di suoli arricchiti in radio Ra²⁺, capostipite di torio e uranio per disintegrazione radioattiva e precursori del radon, può essere forse contrastato dallo scambio ionico con magnesio Mg²⁺ a velocità che aumenta con la disponibilità di magnesio. Al riguardo l'autore, in Boelviken (2003) sottolinea che gli studi epidemiologici dovrebbero essere condotti comparando carte o analisi statistiche del tipo "spatially moving

statistical analyses", in quanto le corrispondenze tra substrato fisico e manifestazioni patologiche possono variare geograficamente e in maniera non lineare e non sono ipotizzabili meccanismi e correlazioni univoche.

BIBLIOGRAFIA:

BOELVIKEN B. (1998). GEOMEDICINE. NORSK JOURNAL EPIDEMIOLOGY.

BOELVIKEN B. (2000). ASSOCIATIONS BETWEEN DISEASES AND THE NATURAL ENVIRONMENT, IN: GEOMEDICINE SEMINAR, VIENNA, NOVEMBER 16 1999 BADEN, NOVEMBER 17 1999. BERICHT DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT. BAND 50. WIEN.

BOELVIKEN B. (2003). A METHOD FOR SPATIALLY MOVING CORRELATION ANALYSIS. NORSK JOURNAL EPIDEMIOLOGY, 13(2).

CLARKE, M.C.G., WOODHALL D. G., ALLEN D. AND DARLING G. (1990). GEOLOGICAL, VOLCANOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONTROLS ON THE OCCURRENCE OF GEOTHERMAL ACTIVITY IN THE AREA SURROUNDING LAKE NAIVASHA, KENYA. MINISTRY OF ENERGY REPORT. NAIROBI. KENYA.

DALL'AGLIO M.. (2004) GEOCHIMICA AMBIENTALE E SALUTE. ARACNE. ROMA

DE VIVO B., LIMA A. E SIEGEL F.R. (2004). GEOCHIMICA AMBIENTALE. METALLI POTENZIALMENTE TOSSICI. LIGUORI EDITORE. NAPOLI.

FERGUSON J. E., (1990). THE HEAVY ELEMENTS: CHEMISTRY, ENVIRONMENTAL IMPACT AND HEALTH EFFECTS. PERGAMON PRESS. OXFORD. ENGLAND.

FLOCCIA M., GISOTTI G., SANNA M. (2003). DIZIONARIO DELL'INQUINAMENTO. CAUSE, EFFETTI, RIMEDI, NORMATIVA. CAROCCI EDITORE, ROMA.

FORDYCE F.M.(2000). ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH GLOBAL PERSPECTIVES. COGEOENVIRONMENT NEWSLETTER, 16, JANUARY .

FORDYCE F. M., GUANGDI Z., GREEN K. E XINPING L., (2000). SOIL, GRAIN AND WATER CHEMISTRY IN RELATION TO HUMAN SELENIUM RESPONSIVE DISEASES IN ENSHI DISTRICT, CHINA. APPLIED GEOCHEM., 15.

FORTESCUE A. C. (1980)ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY. A HOLISTIC APPROACH, SPRINGER VERLAG. NEW YORK, HEIDELBERG, BERLIN.

GOLDBERG E. D. (1965)MINOR ELEMENTS IN SEAWATER. CHEMICAL OCEANOGRAPHY, VOL. 1, M. Y. ACADEMIC PRESS

HAMILTON E.I., MINSKI M.J. (1972-73) ABUNDANCE OF CHEMICAL ELEMENTS IN MAN'S DIET AND POSSIBLE RELATIONS WITH ENVIRONMENTAL FACTORS. THE SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT I, ELSEVIER, AMSTERDAM.

MARKTL W. (2000). GEOMEDICINE IN THE INTERDISCIPLINARY FIELD OF RESEARCH, POSSIBILITIES IN AUSTRIA, IN: GEOMEDICINE SEMINAR, VIENNA, NOVEMBER 16 1999 BADEN, NOVEMBER 17 1999, BERICHT DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT, BAND 50, WIEN.

MOTURI W. K. N., TOLE M. P. AND DAVIES T. C. (2002) THE CONTRIBUTION OF DRINKING WATER TOWARDS DENTAL FLUOROSIS: A CASE STUDY OF NJORO DIVISION, NAKURU DISTRICT, KENYA. ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH, 24.

NJENGA L. W. (1982). DETERMINATION OF FLUORIDE IN WATER USING SELECTIVE ELECTRODE AND COLORIMETRIC METHODS. MSc THESIS. UNIVERSITY OF NAIROBI.

SAUER D. (2000). GEOLOGY AND HEALTH, IN: GEOMEDICINE SEMINAR, VIENNA, NOVEMBER 16, 1999 BADEN, NOVEMBER 17, 1999, BERICHT DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT, BAND 50, WIEN.

SMITH B. ADIET OF DIRT. EARTHWISE, BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. ISSUE 14.

TUREKIAN K.K., WEDEPOHI K.H. (1961). DISTRIBUTION OF THE ELEMENTS IN SOME MAJOR UNITS OF THE EARTH'S CRUST. GEOL. SOC.AMER. BULL., 72

VARDAKI C. E KELEPERSIS A. (1999). ENVIRONMENTAL IMPACT OF HEAVY METALS (Fe, Ni, Cr, Co) IN SOILS, WATERS AND PLANTS OF TRIADA IN EUBOEA FROM ULTRABASIC ROCKS AND NICKELIFEROUS MINERALIZATION. ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH, 21.

YIN Z., YUE S. E HE R., (1983). CHARACTERISTICS OF THE ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY [OF SELENIUM] AND ITS RELATIONSHIP WITH "KESHAN DISEASE" IN THE PLATEAU SAND SOIL OF KESHIKETENGQI, INNER MONGOLIA. SCIENTIA GEOGRAPHICA SINICA, 3 (IN CINESE).

