

The **COOPER** Tiles

Tratto da <http://marco-casolino.blogspot.com/>

Prima edizione: maggio 2011

© Banda Larga srl
Via Atanasio Kircher, 7
00197 Roma
www.coopereditore.it – www.bandalargaeditore.it

Progetto grafico di Sara Fanelli
www.sarafanelli.com

Impaginazione di Fabio Rizzo

ISBN 978-88-7394-175-0

Non è stato possibile rintracciare gli aventi diritto delle figure 3 e 6. L'editore si dichiara disponibile a corrispondere i diritti a chi ne sia realmente in possesso.

Le altre figure presenti nel volume sono state elaborate dal nostro studio grafico.

COOPER è un marchio di **banda larga**

Marco Casolino

Come sopravvivere alla radioattività

COOPER



Indice

Come sopravvivere alla radioattività

| | | |
|------|---|----|
| | Introduzione | 7 |
| | Ringraziamenti | 11 |
| | Cosa <i>non</i> è successo a Fukushima e in Giappone | 15 |
| I. | Radiazione: se la conosci la temi un po' di meno | 19 |
| | Figura 1 | 25 |
| | Figura 2 | 26 |
| II. | <i>Radithor</i> : un salutare bicchiere di acqua radioattiva | 27 |
| | Figura 3 | 36 |
| III. | Effetti biologici della radiazione | 37 |
| | Figura 4 | 46 |
| | Figura 5 | 47 |
| | Figura 6 | 48 |

| | | |
|-------|--|-----|
| IV. | Come difendersi dalla radiazione | 49 |
| | Figura 7 | 64 |
| V. | L'energia nucleare: bombe e centrali | 65 |
| | Figura 8 | 74 |
| VI. | Figuriamoci se... cosa è successo a Fukushima | 75 |
| VII. | Il nucleare in Giappone | 93 |
| VIII. | Altri usi della radiazione | 101 |
| IX. | Come <i>non</i> sopravvivere alla radioattività | 106 |
| | Figura 9 | 110 |
| | Figura 10 | 111 |
| X. | Come sopravvivere alla radioattività | 112 |
| | Conclusioni | 119 |
| | Riferimenti bibliografici | 121 |
| | Note | 124 |

Introduzione

In questo libro cercherò di affrontare i rischi reali e i falsi miti che circondano la radiazione e la radioattività, un tema tornato drammaticamente d'attualità a causa dell'incidente alla centrale di Fukushima, in Giappone.

Parte dei contenuti provengono dal materiale – adattato per un pubblico non specialistico – che ho utilizzato in cicli di lezioni tenuti per vari anni nell'ambito dei corsi di laurea e dottorato in fisica dell'Università di Roma Tor Vergata.

Altri spunti nascono dalla mia esperienza nel campo della fisica dei raggi cosmici e la ricerca di antimateria nello spazio in esperimenti dell'INFN (Istituto nazionale di fisica nucleare) e dell'ASI (Agenzia spaziale italiana), nonché dagli studi ventennali sull'ambiente radioattivo cui sono soggetti astronauti e cosmonauti nello spazio, dapprima a bordo della vecchia e gloriosa Stazione spaziale russa Mir e successivamente sulla Stazione spaziale internazionale.

La concezione di questo volumetto è nata in viaggio verso il Giappone, pochi giorni dopo l'incidente di Fukushima: a seguito delle informazio-

ni amplificate e distorte fino al ridicolo, l'aereo viaggiava mezzo vuoto, con un solo passeggero occidentale oltre all'equipaggio e me.

La quantità di radiazione misurata dagli organismi internazionali, l'ambasciata italiana a Tokyo e i colleghi del RIKEN – l'istituto dove mi recavo per lavoro – era ben entro i limiti di sicurezza anche nei primi giorni dopo l'incidente. Dovendomi però fermare a lungo nel paese del Sol Levante mi ero premunito e portavo con me per sicurezza un paio di contatori Geiger.

Come c'era da aspettarsi, la radiazione in volo era quasi venti volte quella rivelabile a Roma. Giunto a Tokyo, dopo un atterraggio a Osaka perché i nostri aerei non atterravano nell'aeroporto della capitale, fu possibile verificare di persona che la radiazione a Tokyo fosse appena un terzo di quella di Roma.

Su suggerimento dell'editore di Cooper, con cui avevamo in cantiere un altro progetto sul Giappone, si è pensato di realizzare un libro che potesse chiarire i principi fondamentali della radiazione e al tempo stesso discuterne i rischi reali.

Putroppo i resoconti delle vicissitudini della centrale di Fukushima sono stati troppo spesso esagerati, riportati erroneamente e con titoli e contenuti che nulla avevano a che fare con gli eventi che stavano avendo luogo in Giappone. Anche gli inviti del governo giapponese agli organi di stampa esteri a riportare con obiettività la situazione sono caduti nel vuoto. In Italia come altrove le poche voci assennate sono state sommerse da urla e strepiti che hanno oscurato i reali problemi ingegneristici o fisici cui sono chiamati i tecnici per stabilizzare la situazione a Fukushima.

La radiazione e la radioattività sono temi che

spaventano tutti noi, e tuttavia questa paura, invece di invitare a una seria attività di divulgazione e di comprensione di questo fenomeno, instaura troppo spesso un terrore e una superstizione che sfociano più nella ricerca degli untori di manzoniana memoria piuttosto che nella discussione delle reali cause e sorgenti di radioattività.

Quasi tutta la radiazione cui siamo soggetti noi italiani viene dal radon sotterraneo che penetra nelle case e dal polonio presente nelle sigarette. In Italia come altrove, una frazione elevata di morti per tumore ai polmoni è dovuta al decadimento di queste particelle radioattive che possiamo respirare con il fumo attivo o passivo o se ci troviamo in ambienti chiusi e non ventilati. Se il clamore suscitato dall'arrivo della cosiddetta "nube radioattiva" di Fukushima, contenente, peraltro, una frazione trascurabile del radon e polonio già citati, fosse stato dedicato ad affrontare questi problemi, avremmo potuto ridurre in pochi anni l'incidenza di queste malattie.

A livello europeo la tragedia di Chernobyl e i devastanti effetti che 25 anni di ricaduta radioattiva hanno avuto nell'ex Unione Sovietica, in Europa e in Italia sono stati a lungo taciuti, minimizzati e nascosti. Solo di recente sta emergendo un quadro clinico molto serio non solo in Ucraina e Bielorussia ma anche nel resto delle nazioni colpite dalla ricaduta del materiale radioattivo della centrale.

Queste pagine cercano di illustrare i meccanismi e i processi fisici che sono alla base della radioattività senza supporre in chi legge particolari conoscenze tecnico-scientifiche. Le descrizioni maggiormente dettagliate, che potrebbero non

interessare tutti, ma che possono aiutare a capire più analiticamente i vari argomenti trattati sono riportate in box a parte.

Dopo un capitolo che descrive quanto accaduto a Fukushima, viene presentato un breve decalogo su “come sopravvivere alla radiazione”, ossia come ridurre gli effetti sia nella vita di tutti i giorni che in tempo di crisi.

Chi cerca una posizione nel dibattito scottante quanto sterile a favore o contro il nucleare in Italia e nel mondo non troverà qui una risposta, perché ho preferito trattare l'argomento attenendomi ai dati e alla situazione attuale, senza estrapolare da essi implicazioni di carattere economico o di politica dell'energia.

I proventi a me destinati dalla pubblicazione di questo volume saranno devoluti alla Croce Rossa giapponese per i soccorsi nella regione del Tohoku colpita dal terremoto e dallo *tsunami*.

Ringraziamenti

Ringrazio tutti coloro che mi hanno aiutato e consigliato nella stesura di questo testo: Michelangelo, Marzia Colandrea per il paziente e preciso lavoro nella concezione e nell'editing del testo, Ugo ed Enzo per le correzioni e i preziosi suggerimenti, Leo Sorge per il suo unico e insostituibile contributo.

Un ringraziamento speciale va a Naoko Takahashi per le traduzioni e i chiarimenti sull'evolversi della situazione in Giappone. Da ultimo i colleghi del RIKEN per le stimolanti discussioni tecnico scientifiche e gli interessanti e spesso discordanti pareri su come risolvere la situazione a Fukushima.

Come sopravvivere alla radioattività





Cosa *non* è successo a Fukushima e in Giappone

Prima di addentrarmi nei territori più scientifici legati alla radiazione, vorrei innanzitutto sgombrare il campo da possibili equivoci intorno alla situazione attuale di Fukushima e permettere un'adeguata comprensione degli argomenti trattati.

- 1) Non c'è stata un'esplosione nucleare. I reattori delle centrali nucleari non sono in grado di esplodere come le bombe atomiche, dato che la densità di materiale è troppo bassa. Nei quattro edifici della centrale è esploso l'idrogeno formatosi a causa delle alte temperature.
- 2) Non c'è stata fusione nucleare. Le centrali nucleari sono a fissione, ossia rompono i nuclei di atomi grandi in nuclei più piccoli; soltanto il nostro sole e le altre stelle producono energia con la fusione nucleare, ossia aggregando nuclei di atomi leggeri per produrne di più pesanti. Se potessimo ottenere la fusione nucleare in una centrale avremmo risolto (quasi) tutti i problemi energetici del pianeta in quanto avremmo a disposizione grandi quantità di energia pulita.

- 3) Fukushima non è come Chernobyl e meno che mai come Hiroshima e Nagasaki. Nella centrale ucraina ci fu un'esplosione che spaccò il guscio del reattore e distrusse l'edificio, spargendo radioattività per mezza Europa. A Fukushima i reattori sono relativamente intatti e la quantità materiale radioattivo disperso è minore di quello della centrale ucraina. Paragonare la detonazione delle bombe nucleari sulle città giapponesi all'esplosione di Fukushima è come paragonare il piombo di un proiettile sparato da una pistola con quello sparso nell'aria delle città inquinate.
- 4) Chi è stato esposto a radiazioni anche intense non diventa radioattivo e tanto meno "contagioso". Una volta effettuata la procedura di decontaminazione, che consiste in una doccia molto accurata e nella distruzione dei vestiti, le persone esposte a Fukushima emanano la stessa radioattività di quelle non esposte. Che è piccola ma non è zero.
- 5) Non esiste un vento radioattivo. Probabilmente l'unico vento radioattivo nel raggio di milioni di chilometri è quello di origine solare. Infatti il sole emette continuamente un plasma ionizzato di bassa energia che si propaga in tutto lo spazio interplanetario e – nei giorni di particolare attività – è causa delle aurore polari. Le particelle di materiale radioattivo vengono diffuse dalle correnti e dal vento come il polline. Il materiale radioattivo è pericoloso, soprattutto se la pioggia lo fa accumulare al suolo, ma a distanze oltre i 50 chilometri – stando ai rilevamenti sino ad ora praticati – è completamente innocuo.
- 6) Le mascherine che indossano gli abitanti di

Tokyo non servono per la radioattività, ma per proteggersi dai batteri e dal polline. In Giappone è uso comune andare in giro protetti da una maschera facciale sia per non essere contagiati da eventuali germi ma soprattutto per non infettare gli altri quando si è malati. Peraltro le mascherine offrono una protezione minima o nulla dalla radiazione, per la quale sono necessarie maschere stile Prima guerra mondiale con filtri e protezioni ben più consistenti.

- 7) Non ci sono *kamikaze* tra i lavoratori a Fukushima. I giapponesi non usano mai il termine *kamikaze* (letteralmente 'vento divino'), non lo usavano neanche al tempo della Seconda guerra mondiale, quando la designazione era *tokkō*, 'attacco speciale'. I lavoratori della centrale (che comunque temono seriamente per la loro vita) sono stati esposti a dosi elevate, qualche centinaio di *milliSievert* circa, che però non li pongono in pericolo immediato di vita, pur esponendoli al rischio di patologie nei decenni a venire. Ai più esposti sono state praticate terapie specifiche per ridurre i danni da radiazione, per cui si può sperare che non manifesteranno tumori o altri effetti negativi nei prossimi anni: ma non c'è la certezza né in un senso né nell'altro. La notizia che sei persone dell'esercito giapponese sono morte a causa dell'esplosione di uno dei reattori è priva di fondamento.
- 8) Non c'è stato panico nei negozi o accaparramento di cibo. Anche se i supermercati hanno in vendita meno prodotti del solito, i giapponesi hanno rispettato le raccomandazioni del governo che invitavano a non comprare più

cibo del necessario. In questa maniera è stato possibile rifornire le zone colpite dallo *tsunami* e dalla radiazione di tutti i medicinali e del cibo necessario. Anche nei giorni in cui l'acqua di Tokyo aveva una radioattività superiore alla soglia di sicurezza per i bambini, non sono mancate acqua e bibite in bottiglia. I pochi che compravano grandi quantità d'acqua o cibo sono stati considerati con disprezzo.

- 9) La quantità di materiale radioattivo giunta in Italia a causa dei venti da Fukushima è infinitesimale e a malapena misurabile. La fonte di radiazione più elevata è nelle nostre cantine, sotto forma di radon, un gas radioattivo che penetra dal terreno. Per i fumatori la fonte maggiore di radiazione proviene dal polonio contenuto nelle sigarette.
- 10) Per chi viaggia in aereo o nello spazio la dose più alta proviene invece dalla radiazione cosmica che permea tutta la galassia e il nostro sistema solare: in volo verso Tokyo si è soggetti a una dose venti volte più alta che nella capitale giapponese.

I
**Radiazione: se la conosci la temi
un po' di meno**

«L'energia nucleare non mi entusiasma, ma d'altro canto vedo cose completamente assurde, gente disposta a correre rischi migliaia di volte più grandi di quelli dell'energia nucleare senza batter ciglio e ne sono contenti. Ma se si ha a che fare con la radiazione allora tutto è inaccettabile... Perché non ha odore, non ha colore, non ha sapore, per cui deve fare male».

Emilio Segrèⁱ, premio Nobel per la fisica nel 1959 per la scoperta dell'antiprotone (testo tradotto dall'Autore dall'inglese).

Perché la radioattività è pericolosa? I rischi per la salute sono dovuti alla radiazione emessa nel decadimento dei nuclei radioattivi. Non tutta la radiazione è pericolosa ma solo quella *ionizzante*, quella in grado cioè di strappar via gli elettroni degli atomi e delle molecole del nostro corpo. La luce è un esempio di radiazione non ionizzante e pertanto innocua, almeno fino a che non ci si punta un laser negli occhi¹.

La prima scoperta della radiazione ionizzante riguardò i raggi x, nel 1895. Fu il loro scopritore, Wilhelm Röntgen (1845-1923), a battezzarli così perché “misteriosi” in origine e natura.

L'anno successivo, il fisico francese Henri Becquerel (1852-1908) notò che un minerale contenente uranio aveva casualmente impressionato

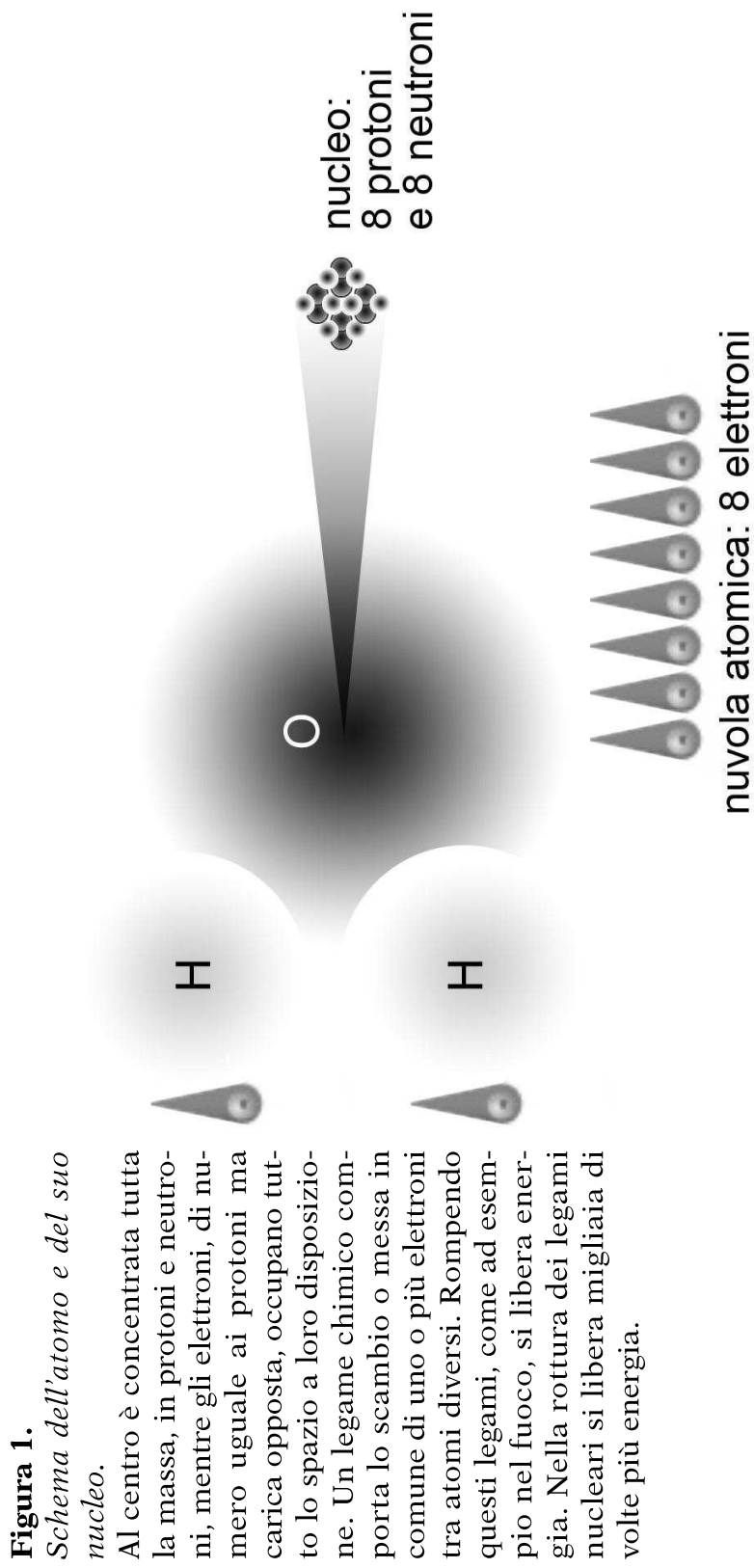
una lastra fotografica, emettendo un qualche tipo di sostanza sconosciuta. Nel 1898 Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) furono i primi a isolare uno degli elementi responsabili della radiazione, il radio. Altri, come l'uranio, il plutonio e il torio seguirono a breve.

Fu Ernest Rutherford (1871-1937) a determinare che vi erano tre tipi distinti di radiazione, da lui battezzati alfa (α), beta (β) e gamma (γ). Lo scienziato neozelandese le classificò in base alle proprietà con cui interagiscono con la materia e alla loro capacità di penetrarla in profondità. I raggi α vengono fermati da un solo foglio di carta, i β attraversano anche qualche millimetro di alluminio e i γ riescono a penetrare anche vari centimetri di cemento armato (*figura 2*).

Questi risultati sono ancora più rivoluzionari se si pensa che all'inizio del Novecento non si sapeva ancora come fosse fatto l'atomo. Fu solo nel 1911 che Rutherford propose il modello comunemente accettato di un microscopico nucleo centrale pesante, composto da protoni (con carica positiva) e neutroni (senza carica), e circondato da una nuvola di elettroni leggeri (con carica negativa) (*figura 1*).

In questo schema gli isotopi sono nuclei con lo stesso numero di protoni e più o meno neutroni: la carica elettrica è la stessa ma la massa è maggiore o minore. Le proprietà chimiche di tutti gli isotopi sono le stesse ma le caratteristiche nucleari possono essere profondamente diverse: aggiungere o rimuovere uno o più neutroni può rendere il nucleo instabile e farlo decadere molto facilmente.

Con il modello atomico di Rutherford fu anche possibile comprendere la natura della radiazione:



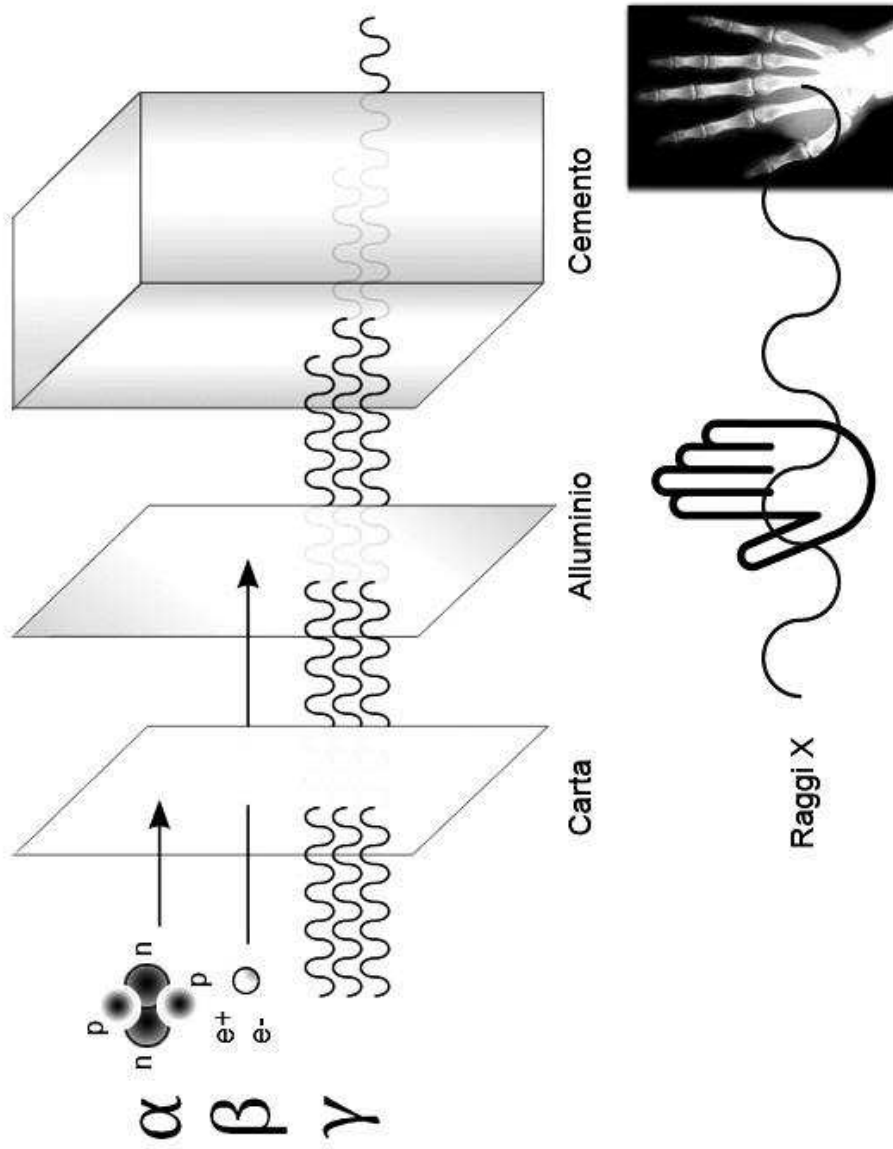


Figura 2.
Schema dei decadimenti.
 Il decadimento alfa (α) libera un nucleo di elio, che si ferma in pochi millimetri d'aria o in un foglio di carta. Il decadimento beta (β) può liberare un elettrone (β^-) o un positrone (β^+), che sono fermati da un foglio di alluminio. I raggi gamma (γ) possono invece penetrare centimetri di cemento o una parte del corpo umano. I raggi x attraversano il corpo umano e possono essere utilizzati per produrre radiografie.

II

Radithor: un salutare bicchiere di acqua radioattiva

Avendo descritto i processi fisici alla base della radioattività e delle radiazioni, è ora possibile affrontare gli effetti medici e biologici ad essa associati. A questi si affiancano gli effetti psicologici e di percezione della radiazione da parte dell'opinione pubblica, che nel corso degli anni hanno subito cambiamenti notevoli.

All'epoca della scoperta del radio, si ignoravano completamente gli effetti che la radiazione poteva avere sul corpo umano. Erano anni di ricerca frenetica, in cui a una scoperta rivoluzionaria ne seguiva un'altra ancora più grande: i pionieri della ricerca lavoravano senza protezioni con materiale radioattivo in quantità immensamente superiori a quelle consentite al giorno d'oggi dalle norme di sicurezza. Agli studi teorici fecero presto seguito le prime applicazioni pratiche: i raggi X erano in grado di scrutare all'interno del corpo umano, il radio poteva essere utilizzato per rendere fosforescenti i quadranti degli strumenti di volo e degli orologi...

Tra queste, le prime applicazioni riguardavano la radioterapia: già nel 1906 fu creato a Parigi un

“Laboratorio biologico per la terapia del radio”⁵, per la cura di tumori altrimenti non trattabili. Nella sua crudezza questo tipo di terapia ebbe un buon successo e gli studi clinici basati sui pazienti aiutarono a porre le basi della moderna radioterapia. Il radio fu abbandonato negli anni Sessanta quando si passò ad usare altri isotopi che decadevano emettendo raggi gamma come il Cesio-137, più facilmente gestibile.

Con i primi impieghi scientifici, all’inizio del Novecento sul mercato comparvero anche pozioni e ammenicoli che oggi ci farebbero scappare a gambe levate per l’enorme radioattività che contenevano. Presto si fece la scoperta che l’acqua delle sorgenti termali – nota per le sue proprietà terapeutiche – conteneva una buona quantità di radon (captato dalle rocce vulcaniche del sottosuolo). Ben presto si arrivò ad attribuire alla sola radiazione le proprietà taumaturgiche delle acque termali. Oggi sappiamo che non c’era nulla di più errato e privo di fondamento, ma al tempo il materiale radioattivo fu commercializzato in ogni modo. Il radio comparve sotto forma di pillole, di bavaglini e di indumenti da indossare per ricavarne effetti benefici e curativi. Dagli scaffali non poté mancare anche il pane radioattivo e il dentifricio radioattivo per denti ultra brillanti.

Nella rincorsa all’alimento “più radioattivo che mai” fu però contestato che il radon di molti prodotti aveva un tempo di dimezzamento inferiore ai 4 giorni. Pertanto sarebbe potuto decadere perdendo ogni proprietà benefica prima di raggiungere la tavola delle famiglie. La soluzione era di usare un particolare dispensatore d’acqua, una specie di caffettiera che conteneva materiale radioattivo: di notte bastava lasciare l’acqua accan-

Misurare la radiazione: la questione delle dosi



Per misurare la radiazione vengono impiegate una miriade di scale di misura, alcune delle quali obsolete⁶, altre ormai inutili, a seconda della quantità che si vuole misurare. Parte delle complicazioni legate alla misura della dose radioattiva sorgono quando si cerca di mettere in relazione le quantità fisiche, come i decadimenti, l'energia persa e la ionizzazione dell'aria, con quelle biologiche, legate agli effetti che la radiazione può avere nel corpo umano.

Il numero di decadimenti di un nucleo radioattivo al secondo si misura in *Becquerel*, in onore del noto fisico francese. Un *Becquerel* equivale a un decadimento al secondo, per cui un alto numero di *Becquerel* nell'acqua o nel cibo indica una elevata concentrazione di materiale radioattivo.

La soglia di sicurezza per l'acqua potabile a Tokyo è 100 *Becquerel/l* ossia 100 decadimenti al secondo in un litro d'acqua. Dopo un picco di 210 *Bq/kg* per lo iodio-131 il 24 marzo, i valori sono tornati alla normalità. In Italia il Consiglio Superiore di Sanità ha fissato la quantità di radon nell'acqua in 100 *Bq/litro* (per i bambini questa soglia scende a 32 *Bq/litro*).

Per confronto, la radiazione dell'acqua nel mare nei pressi di Fukushima il 25 marzo era di 50 *kBq/l* e quella accumulata nella sala accanto a quella del reattore era di 3.9 G *Bq/l*.

Il suolo nella zona di liate, a 40 km a sud da Fukushima è risultato essere di 2 *kBq/cm²*, ossia un *cm²* di terreno mostrava 2.000 decadimenti al secondo, rispetto ad una soglia di sicurezza di 1000.

L'energia rilasciata dalla radiazione in un materiale viene misurata in *Gray (Gy)*^v. Il *Gray* è l'unità di misura della dose assorbita e corrisponde a una quantità di radiazione che rilascia 1 *Joule* (circa ¼ di caloria) in un chilogrammo di materia (organica come il nostro corpo o inorganica come gli edifici). Essere esposti a un *Gray* è estremamente pericoloso e può portare – senza cure – alla morte in breve tempo: la radiazione cui siamo soggetti al suolo in un anno ammonta circa a un millesimo di *Gray*, o *milliGy*.

III

Effetti biologici della radiazione

«Sono passati 20 anni dall'anniversario dell'incidente [di Chernobyl] e nell'ovest nulla è cambiato. È come se nessuno di questi eventi fosse mai accaduto. I bambini continuano a morire di cancro vicino a siti inquinati che continuano a rilasciare radioisotopi prodotti dalla fissione sotto permessi basati sul modello dell'ICRP. Cause in tribunale sono ancora perse da genitori disperati e infuriati perché i giudici ritengono che le dosi [cui sono stati esposti] i bambini [ammalati o morti di tumore] fossero troppo basse».

Chris Busby, Segretario Scientifico, ECRR, Comitato Europeo sui Rischi da Radiazione.

La radiazione ionizzante può determinare vari effetti nei tessuti che attraversa. Il più pericoloso è il rischio di danneggiare o rompere l'elica del DNA delle cellule. Questo può avvenire sia quando il DNA viene colpito direttamente dalla radiazione, sia quando viene colpito indirettamente, attraverso l'azione dei radicali liberi. Questi sono atomi o molecole con un elettrone spaiato che li rende molto attivi chimicamente. Ci sono molti tipi di radicali utili per il normale funzionamento cellulare, ma si ritiene che quelli contenenti ossigeno, come i perossidi (ad esempio OH^\cdot), siano particolarmente dannosi per la vita cellulare e per il DNA. Le cause della formazione dei radicali liberi sono molteplici: un'alimentazione errata e l'inquinamento sono le

principali, ma la radiazione ionizzante può scindere le molecole dell'acqua nella cellula producendo radicali liberi. La maggior parte dei danni alla cellula o al DNA nel suo nucleo (il nucleo della cellula ha un diametro di 3 micron, centinaia di milioni di volte più grande anche di un nucleo di uranio) non causa problemi: il DNA può ripararsi, il danno può avvenire in un punto non importante, oppure la cellula può morire senza riprodursi. Se la riparazione del DNA avviene in maniera anomala, possono generarsi mutazioni o riarrangiamenti cromosomici in grado di determinare trasformazioni cellulari. Le cellule "trasformate", negli organismi pluricellulari (come l'uomo), possono propagarsi di generazione in generazione in modo non controllato, portando allo sviluppo di tumori.

Nonostante gli studi siano ancora in corso, si ritiene che una dieta ricca di antiossidanti come le Vitamine C ed E sia in grado di neutralizzare l'effetto dei radicali liberi, anche quelli non creati dalla radiazione ionizzante.

Gli effetti della radiazione ionizzante vengono classificati secondo due raggruppamenti: deterministici e stocastici. I primi si manifestano *sempre* se esposti ad alte dosi di radiazione mentre i secondi sono tipici di basse dosi assorbite. Gli effetti stocastici sono casuali e vengono evidenziati solo analizzando – comparativamente rispetto alla generalità della popolazione – un consistente numero di pazienti o di persone esposte anche a dosi basse ma per lunghi periodi di tempo.

Nei soggetti esposti ad un'alta dose di radiazioni (maggiore di 0.25 Sv) i sintomi – spossatezza, mal di testa nausea e vomito, a cui ci si riferisce con il più comune "malessere da radiazione" – si manifestano con certezza nelle prime ore dopo

Geiger

Il contatore Geiger, dal nome del suo inventore Hans Wilhelm Geiger (1882-1945), è il più semplice misuratore di radiazione attivo: consiste in un tubo in cui è sigillato del gas. Quando il tubo è portato ad alta tensione, gli elettroni ionizzati dal passaggio della particella producono una scarica elettrica che viene letta dai circuiti elettronici. Se il circuito è collegato ad un altoparlante questo emette il caratteristico ticchettio. Dal numero di conteggi in un certo tempo si ottiene la quantità di radiazione o dose in quel momento. Essendo costituiti da un tubo metallico, i Geiger sono adatti per misurare raggi gamma, e sono solo debolmente efficaci ai beta e ciechi agli alfa. Per misurare le particelle alfa è necessario un contatore che abbia un'apertura speciale per far sì che la radiazione non sia assorbita dal metallo. Nelle figure 4 e 5 sono mostrati i due contatori Geiger in mio possesso. Uno è portatile, di fabbricazione russa, e l'altro è un residuo bellico della Germania dell'Est. I due rivelatori sono molto affidabili e forniscono misure in accordo tra loro, anche se il secondo ha problemi a funzionare in condizioni di bassa radioattività ambientale. Rivelatori del genere sono acquistabili nei negozi specializzati o su internet per meno di 100 euro.

Dosimetri

I dosimetri misurano la dose assorbita da una persona e devono essere indossati in tutte le occasioni in cui si può essere soggetti a radiazioni. Questo include macchine di radioterapia, acceleratori di particelle, centrali nucleari. Sembrerebbe che la scarsità di dosimetri e il gran numero di lavoratori presenti a Fukushima abbia fatto dero-

**Figura 4.**

Foto del Geiger di fabbricazione russa.

Grande come due pacchetti di sigarette, il contatore ha il tubo nella parte destra, dove si trovano le fessure nella plastica. Alimentato da una batteria a 9 volt, l'apparecchio misura la radiazione in *micro Roentgen/ora (R/h)*. $1\mu R/h = 0.01\mu Sv/h$. I conteggi vengono sommati per 45 secondi e poi riportati nel display a led rossi. In questo caso la lettura del 16 aprile 2011 fornisce $15\mu R/h$ nell'area di Tokyo.

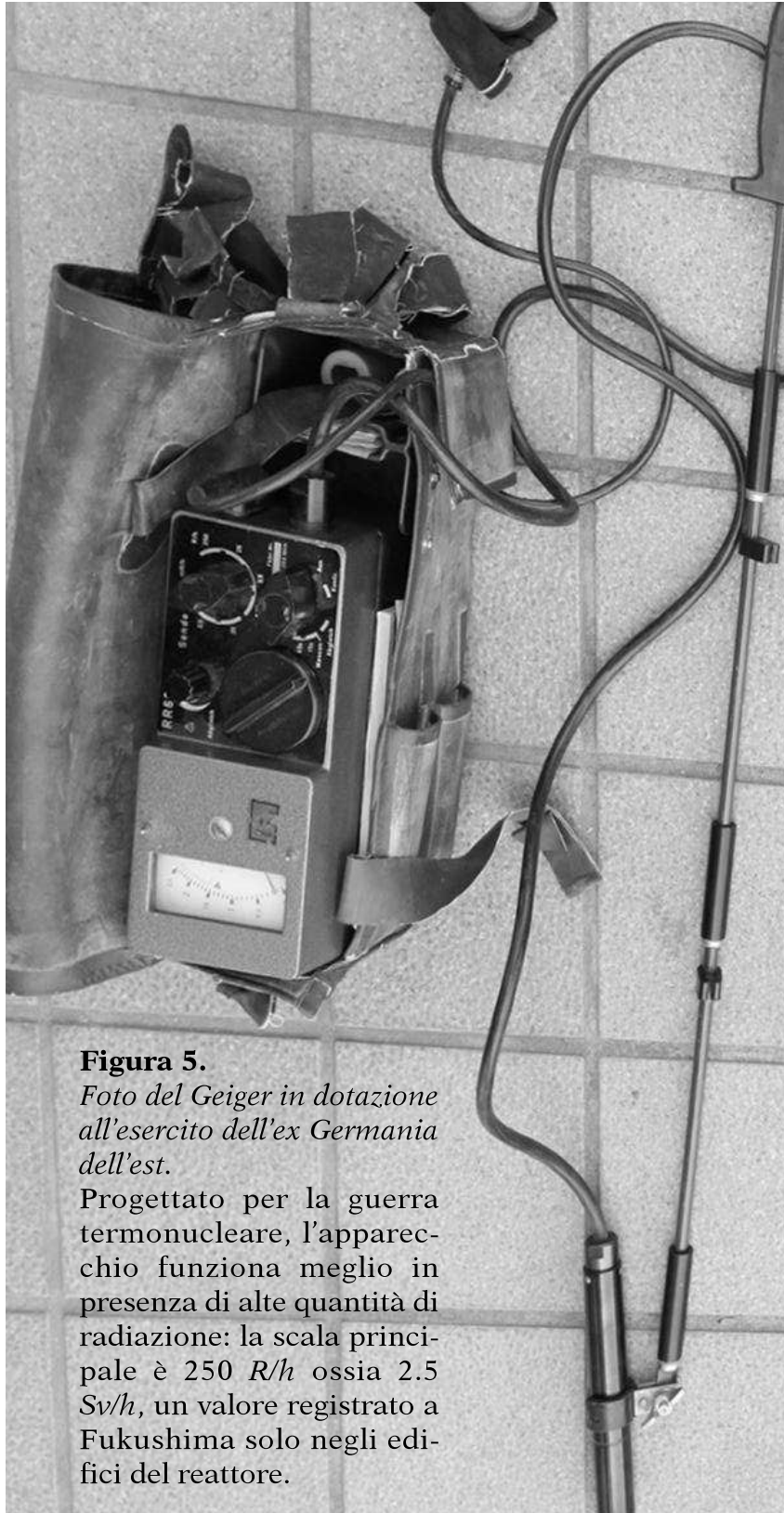


Figura 5.
*Foto del Geiger in dotazione
all'esercito dell'ex Germania
dell'est.*

Progettato per la guerra termonucleare, l'apparecchio funziona meglio in presenza di alte quantità di radiazione: la scala principale è 250 R/h ossia 2.5 Sv/h, un valore registrato a Fukushima solo negli edifici del reattore.

IV Come difendersi dalla radiazione

La radiazione è ovunque noi andiamo: sulla Terra, in aereo e nello spazio. A seconda del luogo, il tipo di radiazione e le contromisure da adottare sono molto diverse.

Che succede sulla Terra

Il nostro pianeta contiene enormi quantità di materiale radioattivo nella crosta e nel mantello sottostante. Le sostanze più abbondanti sono quelle caratterizzate da lunghi tempi di decadimento: l'uranio (^{238}U con tracce di ^{235}U), il torio-232 e il potassio-40 hanno tempi di dimezzamento di miliardi di anni, compatibili con l'età stimata del pianeta di 4.5 miliardi di anni^x. Contrariamente a quello che ci si può aspettare, la crosta terrestre contiene materiale radioattivo in densità centinaia di volte maggiori che il sottostante mantello. Tuttavia, dato che la crosta occupa meno dell'1% del volume della Terra contro l'84% del mantello, la quantità di materiale radioattivo presente in quest'ultimo è maggiore e contribuisce in maniera notevole al flusso di calore del nostro pianeta. Si ritiene che tra il 30% e il 50% del

calore generato dall'interno della terra (circa 19 TW su 30-44 TW) sia dovuto alla radioattività, che contribuisce in buona parte a mantenere fuso il nucleo esterno della terra, governando il flusso convettivo delle correnti nel mantello^{xi}.

Nel corso delle ere passate il materiale radioattivo si è accumulato nella crosta terrestre in presenza di faglie e di vulcani. Alcune rocce, come il granito e i basalti alcalini, sono più radioattive di altre come le duniti e le condriti.

I valori dei livelli di uranio possono variare da 2 parti per milione (ppm) nei calcari e nelle dolomie a 15-60 ppm nelle vulcaniti (lave, ignimbriti, tufi).

Sulla superficie del nostro pianeta ci sono zone estremamente ricche di materiale radioattivo, a causa di sorgenti termali o per la conformazione delle rocce.

La città iraniana di Ramsar, sulle rive del mar Caspio, è uno dei luoghi con la più alta radiazione ambientale: in un anno i suoi 30.000 abitanti sono esposti in media a 260 *mSv*, circa 500 volte in più della media mondiale. La causa sono le acque termali della regione, ricche di radon, e le rocce di travertino che contengono un'alta concentrazione di torio. Gli abitanti della regione non manifestano però alcun sintomo legato all'esposizione da radiazione e la vita media è la stessa del resto dell'Iran^{xii}.

Kerala, in India, è un altro luogo in cui il fondo di radiazione è molto elevato: le splendide spiagge contengono infatti un'elevata quantità di monazite. Questo minerale conferisce alla sabbia il caratteristico colore scuro della regione ma contiene una elevata quantità di torio. Vivendo nella paradisiaca località marina si è esposti a 70 *mSv/anno*, ma anche in questo caso non si osser-

Il fondo di radon varia molto a seconda della zona: Lazio e Lombardia sono i luoghi con la più alta concentrazione, più di 100 Bq/m^3 . Liguria, Marche e Basilicata hanno invece il fondo più basso, meno di 20 Bq/m^3 .

Anche il tipo di materiale da costruzione utilizzato può incidere sulla radioattività delle abitazioni^{xiv}: gessi e argille sono praticamente inattivi rispetto ai tufi e pozzolane laziali, anche se il primato assoluto – più di 10 volte le argille – spetta alle lave del Vesuvio campano¹⁴.

Riguardo le abitazioni, la normativa dell'Unione europea stabilisce la soglia a 400 Bq/m^3 (ossia 400 decadimenti al secondo in un metro cubo d'aria) per gli edifici già esistenti e 200 Bq/m^3 per quelli ancora da costruire¹⁵.

Vari studi hanno mostrato come la maggior parte delle case e delle scuole siano sicure, anche se – ad esempio – il 40% delle case dell'Alto Lazio^{xiv} si colloca sopra la soglia di 200 Bq/m^3 e il 13% presenta radon in concentrazioni superiori ai 400 Bq/m^3 . Una situazione analoga si trova nelle scuole: a Napoli^{xv} la media degli edifici rispetta la soglia di sicurezza, ma il 20% circa supera la soglia di 200 Bq/m^3 e l'8% quella di 400 Bq/m^3 . Per confronto la radiazione di alcuni ambienti delle terme ungheresi già citata^{iv} supera i 7.000 Bq/m^3 .

Polonio

La seconda specie radioattiva cui siamo maggiormente esposti in Italia è il polonio-210, proveniente non da laboratori segreti o depositi di armi nucleari ma dal tabacco. Infatti nelle sigarette è presente questo elemento, che si accumula sulle foglie a causa del fertilizzante usato, l'apatite, che contiene anche radio e piombo-210.

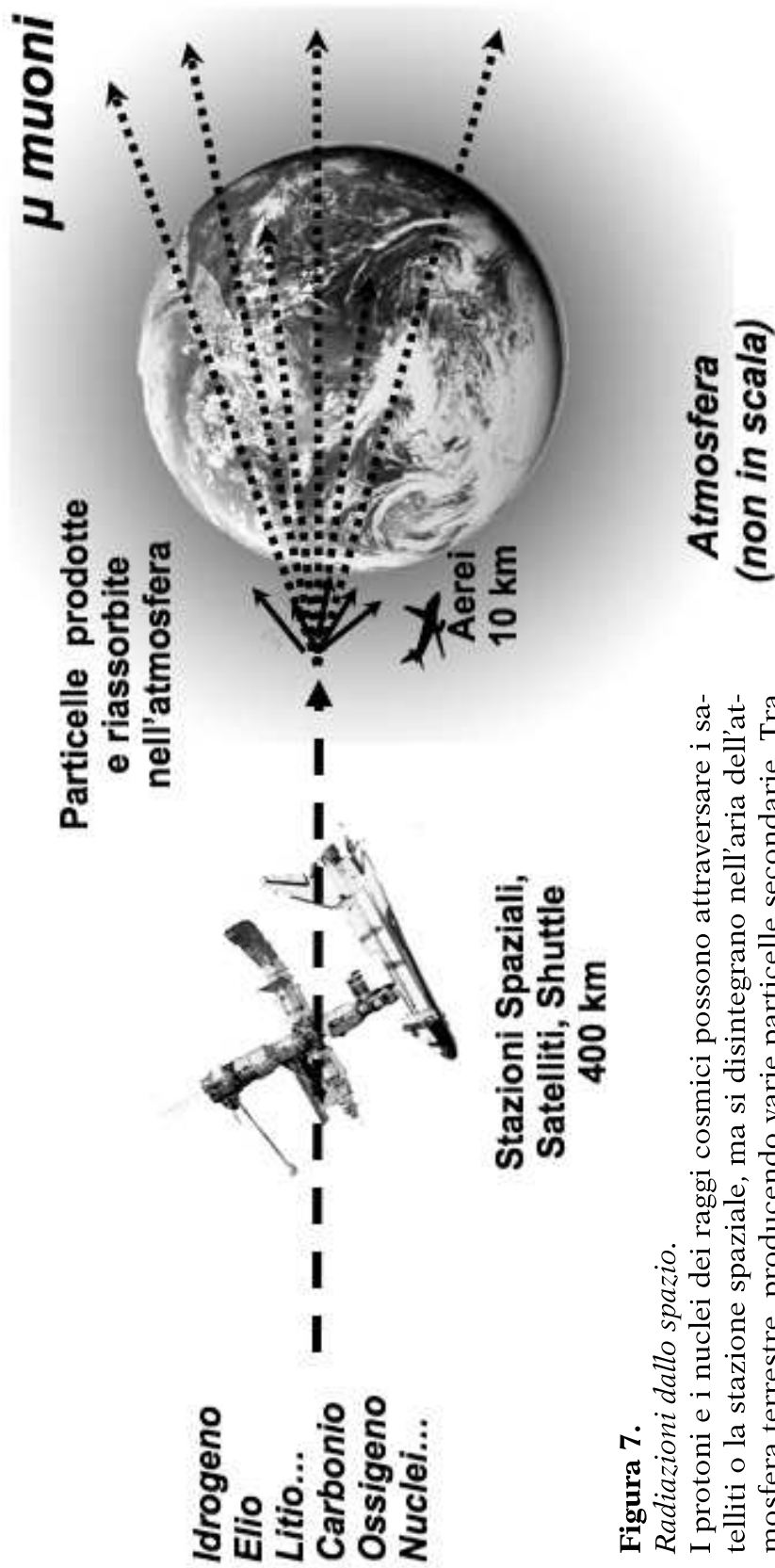


Figura 7.

Radiazioni dallo spazio.

I protoni e i nuclei dei raggi cosmici possono attraversare i satelliti o la stazione spaziale, ma si disintegrano nell'aria dell'atmosfera terrestre, producendo varie particelle secondarie. Tra queste, i muoni (μ) riescono anche ad attraversare tutto il nostro pianeta.

Una centrale nucleare spontanea?

Il minerale di uranio che si estrae dalle miniere contiene il 99.3% di uranio-238 e solo una minima parte, lo 0.720%, di uranio-235. Lo 0.720% è un numero molto preciso e uguale ovunque sulla Terra. Questa composizione non permette di realizzare centrali nucleari, che richiedono uranio con una percentuale maggiore dell'isotopo 235. Infatti, per sostenere una reazione nucleare è necessario che la percentuale di ^{235}U presente in una barra di combustibile di uranio sia almeno del 3%: in questo caso si parla di uranio arricchito. Il processo di arricchimento viene effettuato con speciali centrifughe che possono selezionare gli isotopi in base alla loro diversa massa.

Come abbiamo visto, il materiale radioattivo decade naturalmente: la misura che viene usata per indicare questa velocità è il tempo di dimezzamento, ovvero il tempo necessario perché la quantità di materiale radioattivo si dimezzi a furia di decadere in altri nuclei.

Mentre il tempo di dimezzamento dell' ^{238}U è più o meno pari all'età della Terra, 4.5 miliardi di anni, l'isotopo 235 dell'uranio ha un tempo di dimezzamento più breve, 700 milioni di anni. Proviamo ad andare indietro nel tempo: 700 milioni di anni fa il minerale d'uranio conteneva dunque poco più dell'1.4% di ^{235}U . Due miliardi di anni fa non ci sarebbe stato bisogno di arricchimento in quanto si rinveniva in natura il fatidico 3%, quello necessario per una reazione di fissione nucleare a catena.

Due miliardi di anni fa le miniere di uranio potevano quindi innescare reazioni a catena spontanee? Pare di sì. Questo è quanto si ritiene si sia verificato nel bacino del fiume Oklo, in Gabon.

VI

Figuriamoci se... cosa è successo a Fukushima

Nel resoconto che segue ho tentato di riassumere gli eventi salienti avvenuti alla centrale nucleare di Fukushima a seguito del terremoto dell'11 marzo. Data la rapida evoluzione degli eventi ho cercato di attenermi il più possibile alle fonti: la IAEA, la TEPCO (Tokyo electric power company), la ditta che ha costruito e gestisce la centrale di Fukushima, il governo giapponese, Greenpeace confrontandole tra loro, spesso integrandole con informazioni dei colleghi giapponesi del RIKEN, l'Istituto di Ricerca ove mi trovo per lavoro. Questo non sempre è stato possibile a causa della reticenza della TEPCO e dei dati spesso in disaccordo tra di loro. In generale, le informazioni degli organi di stampa giapponesi si sono rivelate di gran lunga più corrette di quelle internazionali. Se nel primo caso vi è il rischio di una certa censura, i dati e le informazioni di seconda mano delle agenzie straniere sono raramente di prima mano, e soffrono quindi dello stesso rischio di disinformazione. Inoltre, le agenzie di informazione internazionali sono state pesantemente criticate dal governo giapponese per aver esagerato e

amplificato fuori proporzione le notizie alla ricerca del titolo più apocalittico possibile.

Il terremoto e lo *tsunami*

La regione di Miyagi, nel nord-est del Giappone, è stata popolata per migliaia di anni, ma la nascita in epoca moderna si fa risalire al 1600, quando fu fondata la città di Sendai, capoluogo della regione. Dopo la battaglia di Sekigahara, in cui il vittorioso *shōgun* Ieyasu Tokugawa unificò il paese sotto il suo dominio, il feudo fu concesso a Masamune Date uno dei *daimyō* più coraggiosi e potenti schieratosi dalla parte di Tokugawa. Date si trasferì nella regione edificandovi il suo castello. Quattrocento anni dopo, Sendai ricorda con orgoglio il “drago da un solo occhio”, come era chiamato il feudatario rimasto orbo da bambino. La città era famosa per la bellezza dei suoi templi e delle sue lussuose foreste che si affacciavano direttamente sul mare.

Alle 2:46 del pomeriggio dell'11 marzo 2011 un terremoto di intensità 9.0 della scala Richter colpì il Giappone. L'ipocentro²¹ era situato ad una profondità di 32 km, ad una distanza di 72 km dalle coste giapponesi e a 130 km dalla città di Sendai, che si trova sulla costa est del Giappone, a 300 km a nord della capitale.

L'intensità del *Tōhoku Chihō Taiheiyō-oki Jishin* (letteralmente ‘terremoto nell’oceano Pacifico della regione del nord-est’) – così è stato chiamato – lo rende il più forte mai registrato in Giappone e uno dei più intensi del globo.

La forza del sisma è stata ben al di sopra delle stime dei geologi, i quali pure si attendevano che – in media ogni secolo – un terremoto di caratte-

VII Il nucleare in Giappone

Cenni storici

Il Giappone diede inizio al suo programma nucleare nel 1954, con il primo prototipo di reattore ad acqua bollente reso operativo nel 1963. Il primo reattore commerciale, una unità raffreddata a gas di 160 MW di potenza, fu importato dalla Gran Bretagna negli anni Sessanta, restando operativo dal 1966 sino al 1998. Successivamente le competenze tecniche delle ditte giapponesi si formarono costruendo in casa reattori e centrali su disegni e brevetti statunitensi. Negli anni Settanta l'industria giapponese giunse ad essere in grado di sviluppare la capacità di progettare e realizzare indipendentemente centrali, vendendo la loro tecnologia sia in Asia che in Europa. Nel 2008 il Giappone ha prodotto 1.085 miliardi di Kwh, per una potenza media di 123 gw. All'inizio del marzo 2011 i 55 reattori nucleari giapponesi erano in grado di fornire 47.5 gw, pari a circa il 30% della produzione di energia. L'idroelettrico fornisce il 7.5% e il resto è ottenuto bruciando combustibili fossili. Il governo giapponese intende implementare i protocolli di Kyoto tramite

IX

Come *non* sopravvivere alla radioattività**Radiazione & omicidi**

Il primo novembre 2006 il russo Alexander Litvinenko fu ricoverato in ospedale in preda a dolori addominali, febbre e vomito. La malattia era sconosciuta ma divenne subito chiaro che si era trattato di avvelenamento di qualche sostanza. Litvinenko, ex agente dei servizi segreti russi, aveva chiesto asilo politico in Gran Bretagna a seguito della pubblicazione di due volumi in cui denunciava i metodi brutali con cui Putin era giunto al potere. I medici brancolarono nel buio per settimane, sospettando il tallio, usato come componente del veleno per topi. Con il passare del tempo fu chiaro che il quadro clinico in costante peggioramento non era compatibile con l'uso del veleno reso famoso dai romanzi di Agatha Christie. Fu solo a pochi giorni dalla morte del dissidente che i dottori si accorsero che questi aveva ingerito una enorme dose di polonio-210. Questo rarissimo isotopo può essere prodotto solo nei reattori RBMK delle centrali ex sovietiche ed è a disposizione solo di determinate agenzie governative. È impossibile rivelare il ^{210}Po se non lo si cerca in maniera speci-