



Polonio 210 nel fumo di tabacco: il killer radioattivo

Polonium 210 in tobacco smoke: the radioactive killer

Vincenzo Zagà, Enrico Gattavecchia

Riassunto

Fra tutte le sostanze cancerogene presenti nel fumo di tabacco, il Polonio 210 (Po-210), con emivita di circa 138,38 giorni, è uno dei più potenti con una elevata capacità cancerogena cronica, lenta e progressiva. Provenienza principale è il fertilizzante utilizzato rappresentato dai polifosfati ricchi di radio (Ra-226) da cui emana il radon (Rn-222) che in aria decade a piombo-210 (Pb-210). Tramite i tricomi il Pb-210 viene concentrato nella foglia di tabacco dove si trasforma in Po-210 che alla temperatura di combustione della sigaretta (800°-900°C) passano allo stato gassoso principalmente adsorbiti sulle micro particelle liberate dalla combustione. Il fumo così diventato radioattivo nella sua componente gassosa e corpuscolata arriva a livello dell'apparato broncopolmonare, specie a livello degli speroni dove, in maniera singola ed in maniera sinergica con gli altri cancerogeni, esplicherà col tempo e specie in pazienti con clearance muco-ciliare molto compromessa il suo potere cancerogeno. Vari studi confermano che il rischio biologico del Po-210 in un fumatore di 20 sigarette/die per un anno è pari a quello di 300 radiografie del torace, con una capacità oncogenica autonoma di 4 tumori polmonari su 10.000 fumatori. Durante la combustione parte del Po-210 si disperde nell'ambiente circostante. Ed è fumo passivo.

Parole chiave: polonio, radioattività, tumore polmonare, polifosfati, fumo di tabacco

Summary

Among all cancerogenic substances contained in tobacco smoke, Polonium 210 (Po-210), with a half-life of 138 days, is one of the most dangerous, by exerting a devastating, chronic, slow and progressive tumorigenic activity. The main source of Po-210 in tobacco is represented by fertilizers (polyphosphates) containing radium-226 (Ra-226) which decays to plumb 210 (Pb-210). Through the trichomes Pb-210 is concentrated in the tobacco leaves, where it turns to Po-210, which at the cigarette combustion temperature (800-900 °C) reaches the gaseous state and it is absorbed by the microparticles released into tobacco smoke. Thus smoke becomes radioactive in both its gaseous and corpuscular components and reaches the airways, where, particularly at the branches level and together with other substances, it exerts its cancerogenic activity, especially in those subjects with impaired muco-ciliar clearance. The cancerogenic risk in one year of a smoker of 20 cigarettes per day is equivalent to that of undertaking 300 chest x-rays. It is calculated that Po-210 may be independently responsible of 4 lung cancers every 10,000 smokers. During the combustion tobacco smoke is also released in the air, contributing to a serious health risks for those exposed to passive smoke.

Keywords: polonium, radioactivity, lung cancer, polyphosphates, tobacco smoke.

INTRODUZIONE

Il fumo di sigaretta è unanimemente considerato uno dei principali problemi per la salute a causa dell'elevato prezzo in termini di vite umane che i fumatori e la società pagano ogni anno: 4,2 milioni di decessi (una vittima ogni 10 secondi) nel mondo (1, 5), circa 90.000 in Italia (1 ogni 8 minuti). Un'epidemia da tabacco, come la chiama l'OMS, totalmente evitabile (2, 3, 5, 6).

Il tabacco rappresenta infatti la prima causa di morte prevenibile, fra quelle non infettive, nei paesi industrializzati e il quarto fattore di rischio di malattia in tutto il mondo fra tutte le

cause. Mediamente, un individuo che fuma per tutta la vita ha il 50% di probabilità di morire di una patologia tabacco-correlata, e metà di queste morti avvengono in una età compresa tra i 45 e i 54 anni (6).

Il fumo di tabacco contiene oltre 4000 sostanze, fra cui nicotina, monossido di carbonio, sostanze irritanti e radicali liberi e cancerogeni. Di queste oltre 50 sono cancerogene per l'uomo (5, 56). Fra queste, oltre al benzopirene, 2-naftilamina, 4-aminobifenile, arsenico, cromo, va ricordato il Polonio 210 (Po-210).

La scoperta risale ai primi anni sessanta, quando gli scienziati individuavano la presenza di radioattività α nel tabacco di sigarette. Il radionuclide più importante, dal punto di vista radioprotezionistico, contenuto nel tabacco, è il Polonio-210 (Po-210) che è un noto alfa emittente. Il Po-210 è il primo elemento radioattivo scoperto dai coniugi Marie Sklodowska e Pierre Curie nel 1898. Per i lavori sulla radioattività in generale i Curie vinsero il Nobel per la Fisica nel 1903. Per la scoperta di radio e polonio Madame Curie si aggiudicò anche il Nobel per la Chimica nel 1911. (vedi box).

Vincenzo Zagà

(vincenzo.zaga@ausl.bo.it)
U.O. di Pneumotisiologia Territoriale
Azienda USL di Bologna,
Società Italiana di Tabaccologia-SITAB.

Enrico Gattavecchia

(enricus2000@libero.it)
Unità Complessa di Scienze chimiche,
radiochimiche e metallurgiche-Università
di Bologna, Italy.

Le radiazioni alfa, onde corte ma molto potenti, hanno un elevato potere ionizzante e, di conseguenza, sono particolarmente dannose quando entrano in contatto con il DNA delle cellule dei tessuti viventi. La pericolosità del Po-210 nel tabacco è legata al fatto che, alla temperatura di combustione della sigaretta (800-900°C), la stessa temperatura di ebollizione del Po-210, esso volatilizza [9], venendo inalato in parte sotto forma gassosa ed in parte tramite la componente corpuscolata divenuta radioattiva con una deposizione rapida sui tessuti dell'apparato respiratorio. Una parte, variabile a seconda dei vari autori, viene anche ritrovata nel fumo ambientale, che è il fumo passivo.

ITER STORICO DELLA RICERCA

Nel 1960 Turner e Radley e successivamente nel 1963 Marsden e Collins osservarono la presenza nel tabacco del radioisotopo Po-210. Radford ed Hunt nel 1964 individuarono la presenza di radioattività alfa nel fumo di tabacco e ipotizzarono che le radiazioni α da Po-210 potessero avere un ruolo significativo nella genesi del carcinoma bronchiale [8]. Little e coll. nel 1965 trovarono sorprendentemente alte concentrazioni di Po-210 su singole biforcazioni bronchiali in 7 su 37 fumatori di sigarette [12]. Anche Cohen e Harley riscontrarono degli "hot spot" studiando l'attività α del Po-210 in campioni autoptici tracheali di sette soggetti tre dei quali erano fumatori [39]. Ma Holtzman e collaboratori [14] sollevarono alcuni dubbi sulla validità di queste osservazioni a causa della volatilità del Po-210 e della conseguente sua rapida eliminazione dall'apparato broncopolmonare [15], salvo poi riscontrare negli alveoli polmonari una concentrazione doppia di Pb-210, in equilibrio col Po-210, nei fumatori rispetto ai non fumatori [14]. Successivamente comunque Martell [52] mise tutti d'accordo determinando che con la combustione del tabacco: a) il Po-210 passa allo stato gassoso rendendo radioattiva anche gran parte della componente corpuscolata; b) il Pb-210, debole α ($< 1/100.000$) β , γ e X emittente, precursore del Po-210) è altamente concentrato nei tricomi del tabacco e la loro combustione col tabacco delle sigarette



produce particelle insolubili arricchite di Pb-210 presenti nella corrente primaria del fumo attivo. Inoltre, visto che nel tempo il Pb-210 decade in Po-210, le alte concentrazioni di Po-210 osservate sulle biforcazioni segmentarie potrebbero essere spiegate dalla persistenza di particelle insolubili arricchite di Pb-210 depositate sugli speroni bronchiali in lento decadimento a Po-210 [4, 17]. Fleisher e Parungo confermarono sperimentalmente che i prodotti di decadimento del radon ed il Pb-210 sono fortemente concentrati nei tricomi delle foglie [16]. I meccanismi di accumulo del Pb-210 nei tricomi del tabacco sono stati discussi e studiati da Martell e Poet [15, 52].

PROVENIENZA DEL PIOMBO E POLONIO-210

Il Piombo (Pb-210) ed il Polonio (Po-210) presenti nelle piante di tabacco possono avere origini diverse [14]. Si ritiene che il Po-210 possa essere assorbito dalla pianta del tabacco, attraverso vie variamente combinate fra di loro:

- Direttamente da terreni contenenti Uranio, attraverso le radici [18, 35, 36, 53].
- Per deposizione sulle foglie attraverso eventi meteorologici come pioggia, neve e pulviscolo atmosferico. Infatti il Radon-222, derivato dalla catena di decadimento dell'U-238,

essendo un gas nobile, è volatile per cui sfugge, in parte, dal terreno, passa nell'atmosfera, dove decade a sua volta con formazione di Piombo-210 e, in parte, di Polonio-210. Questi assorbiti dal pulviscolo atmosferico formano le particelle di Aitken che si depositano poi sulle foglie delle piante accumulandosi nei tricomi tramite una deposizione diffusiva browniana, con la conseguente crescita nel tempo del Polonio-210 derivante dal decadimento del Piombo-210 [4, 16].

- da fertilizzanti costituiti da polifosfati di calcio provenienti da terreni di Apatite contenenti Uranio [18, 35, 36] e di conseguenza



arricchiti in radio, chimicamente simile al calcio. Non a caso vari studi hanno dimostrato che le sigarette Indiane, fatte con tabacco scarsamente concimato, come da agricoltura povera, sono all'incirca da 6 a 15 volte meno radioattive di quelle statunitensi [46], fabbricate con tabacchi coltivati in regime di agricoltura intensiva e iperfertilizzata.



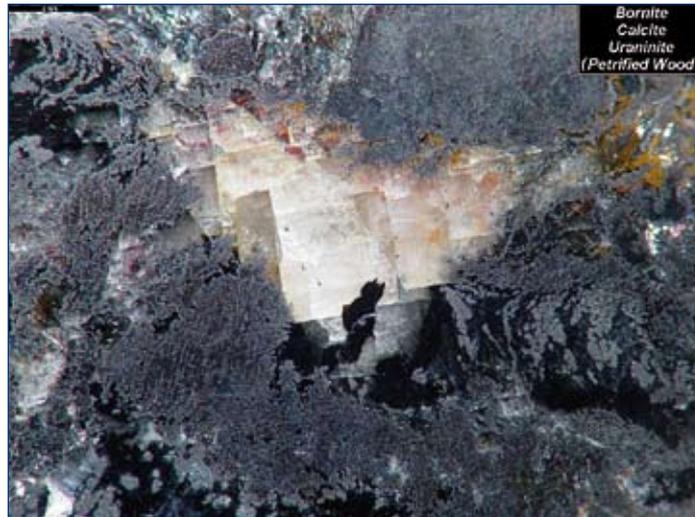
RADIOATTIVITÀ ALFA PRESENTE NEL FUMO DI SIGARETTA

Numerose sono le variabili che governano il grado di radioattività alfa da Po-210 nel fumo di tabacco: la regione geografica dove il tabacco cresce, tempi e modi di stoccaggio del tabacco, presenza o assenza del filtro, grandezza e composizione del filtro e modo di fumare (55). Il rischio associato al fumo di sigarette è dovuto non solo alla quantità e qualità dei carcinogeni ma anche alla scarsa efficienza dei filtri usati che non riducono adeguatamente la quantità dei carcinogeni presenti nel fumo di tabacco. L'efficienza media dei comuni filtri di sigaretta utilizzati in commercio riducono l'attività del Po-210, contenuto nel tabacco di sigaretta, del 4,6% circa (59). L'utilizzo di filtri di resina minimizza ancora di più l'esposizione dei polmoni dei fumatori alle alfa radiazioni (60).

Radford and Hunt nel 1964, Mussealo-Rauhamaa e Jaakkola nel 1985 hanno riscontrato il 6,5–22% di Po-210 nella corrente primaria del fumo di sigaretta (8, 45). Altri Autori hanno riportato differenti percentuali valutate in un range di 3,7-58% (57). In media secondo Parfenov approssimativamente il 50% del Po-210 presente nel tabacco di sigaretta è trasferito nel fumo, il 35% rimane nel mozzicone e circa il 15% lo si ritrova nella cenere (58).

Da alcuni anni, assieme al prof. Gattavecchia dell'Unità Complessa di Scienze Chimiche, Radiochimiche e Metallurgiche dell'Università di Bologna e

in collaborazione con l'ENEA e con la Società Italiana di Tabaccologia-SITAB, stiamo effettuando alcuni studi sulla radioattività alfa da Polonio 210 nel fumo di tabacco. Dalle nostre ricerche abbiamo riscontrato che il fumo di una sigaretta occidentale contiene una radioattività alfa da Po-210 di circa 75 mBq, variamente distribuito fra fumo attivo, fumo passivo e cenere: fumo attivo (mainstream) 5 mBq (6,7%), fumo passivo (sidestream) 1,2 mBq (1,6%), (cenere 68,8 mBq (91,7%). Questi dati, in via di pubblicazione, furono comunicati al Congresso Nazionale AIPO del 1999 a Firenze e al Congresso SRNT di Padova nel 2003 (28, 54).



COME LA RADIOATTIVITÀ ALFA ARRIVA ALL'APPARATO BRONCOPOLMONARE

Martel e Sweder (22) hanno dimostrato che il fumatore riceve alfa radiazioni che vanno ad interessare prevalentemente le biforcazioni bronchiali sostanzialmente da 3 sorgenti:

- 1) Dal radon indoor inalato con la normale respirazione e attraverso la corrente primaria delle sigarette fumate. Vari studi indicano che le radiazioni alfa provenienti da radon ambientale inalato potrebbe già spiegare l'incidenza del cancro polmonare nei non-fumatori (15, 19, 20, 21).
- 2) Dal Po-210 presente nella corrente primaria del fumatore.

- 3) Dal Po-210 che origina per lento decadimento dal Pb-210 presente nelle particelle insolubili del fumo che persistono a livello soprattutto delle biforcazioni bronchiali (17, 51).

Quando viene accesa una sigaretta, il tabacco che brucia a circa 800-900° C, considerando le differenti temperature di ebollizione per Po-210 (962° C) e Pb-210 (1740° C), produce una fase gassosa in cui è presente, fra le altre sostanze, anche il Po-210 che in parte viene eliminato nell'ambiente esterno e in parte viene "a far corpo" con la fase corpuscolata, che conterrà, oltre al Po-210, anche una elevata presenza di Pb-210. Tutte queste particelle inalate si depositano nell'apparato broncopolmonare ed in particolare per effetto dell'azione ciliare soprattutto a livello delle biforcazioni dei bronchi segmentari. Misurazioni eseguite da Cohen e collaboratori sul condensato di sigaretta hanno mostrato la presenza anche di Radium e Torio, fermo restando che il 99% della radioattività α proviene dal Po-210 (36),

che una volta inalato viene ritenuto nel polmone profondo (37).

Il successivo decadimento del Pb-210, che ha un'emivita di 22,3 anni, ha come conseguenza una elevata emissione locale di particelle alfa con potere carcinogenetico (8, 15, 17, 22, 49, 50, 51). Radford and Martell (50) confermano che l'elevata quantità del Po-210 sull'epitelio bronchiale è conseguente all'eccessiva presenza di Pb-210. Dall'apparato broncopolmonare le particelle di Po-210 e Pb-210 vengono eliminate in rapporto all'efficienza della clearance muco-ciliare. Questa depurazione meccanica viene progressivamente a mancare nei fumatori con BPCO. Ciò comporta una stasi della carica radioattiva che in parte at-



traverso il circolo polmonare raggiunge vari organi e tessuti causando nel tempo mutazioni della struttura cellulare genetica,

deviazione delle caratteristiche cellulari dallo standard ottimale, invecchiamento accelerato, e morte più rapida ad opera di un largo spettro di patologie (32, 34). I livelli di Po-210 nel sangue e nelle urine dei fumatori sono infatti significativamente superiori rispetto ai non fumatori (1, 8, 44).

CANCEROGENICITÀ DELLE RADIAZIONI ALFA

Molti studi sono stati condotti sulla cancerogenicità dei radioisotopi presenti nel tabacco già dalla fine degli anni '50.

Il Po-210 emette particelle alfa che hanno una bassa penetrazione ma un elevato potere ionizzante (LET). Infatti se sono emesse nelle vicinanze del DNA cellulare sono in grado di alterarlo, per azione diretta o indiretta mediata dalla radiolisi dell'acqua, e possono provocare il cancro.

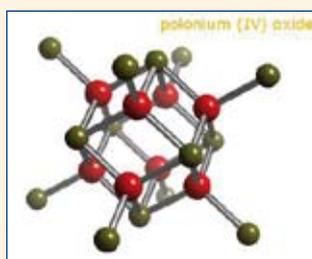
Il pericolo di radiazioni alfa da Polonio è dovuto al fatto che il Po-210 come il suo precursore Pb-210, in parte volatilizza alla temperatura di combustione della sigaretta. Secondo Holtzman (14) è probabile che i composti volatili inalati, siano prontamente dispersi e ripuliti dai loro siti di deposizione nel polmone attraverso la clearance muco-ciliare del fumatore che nei primi tempi è ancora abbastanza efficiente.

Inoltre secondo le osservazioni sperimentali di Radford e Hunt (8), una parte del Polonio volatile si attaccherebbe rapidamente e con forza alla superficie della componente particolata del fumo, penetrando così in maniera più stabile e profonda nei bronchi.

Comunque le elevate concentrazioni di Polonio nel polmone dei forti fumatori si potrebbero spiegare soprattutto attraverso l'accumulo di particelle insolubili di Piombo-210 che poi nel tempo decade a Polonio-210 (4, 19), grazie ad

Storia

La sua scoperta si deve ai coniugi Marie Sklodowska Curie e Pierre Curie, resa pubblica il 20 aprile 1902. Chiamato anche "radio F", venne poi battezzato polonio in omaggio alla Polonia, terra natale di Marie Curie con l'intenzione di porre alla pubblica attenzione anche la lotta per l'indipendenza della Polonia, all'epoca provincia dell'impero russo. Fu in questo senso il primo elemento chimico a legarsi esplicitamente ad una controversia geopolitica. Fu scoperto dai coniugi Curie mentre questi cercavano la fonte della radioattività della pechblenda i cui campioni continuavano a manifestare radioattività anche dopo essere stati depurati dal radio e dall'uranio che essi contenevano. Per avere un'idea delle dimensioni del lavoro che essa compì alla fine del 1800 per estrarre e caratterizzare questo nuovo elemento, basti pensare che la concentrazione di Po nei minerali di Uranio è circa 10-4 ppm, il che vuol dire circa 0,1 mg di Polonio ogni tonnellata di minerale. Per la scoperta del Radio i coniugi Curie si aggiudicarono il Nobel per la Fisica nel 1903. M.me Curie, nel frattempo rimasta vedova, si aggiudicò per la scoperta del Polonio anche il Nobel per la Chimica nel 1911.



Chimica

Il Po, in condizioni standard, è un metallo radioattivo di colore argenteo e non possiede isotopi stabili. Questo elemento ha il più alto numero di isotopi di qualunque altro elemento e tutti gli isotopi sono radioattivi. Il Polonio è presente nella tavola periodica di Mendeleev con numero atomico 84 e peso atomico 209 (quello del suo isotopo a vita più lunga ($t_{1/2} = 102$ anni)). Il Po è presente in natura nella pechblenda, ma in maniera così diluita che non è conveniente tentarne l'estrazione per cui l'isotopo più stabile, il Po-210, che ha una emivita di 138,38 giorni, ed è l'isotopo a più lunga vita tra quelli presenti in natura, viene prodotto artificialmente in laboratorio per irraggiamento bombardamento neutronico di Bi-209. L'uraninite o pechblenda è un minerale radioattivo, ed è una delle principali fonti naturali di uranio.

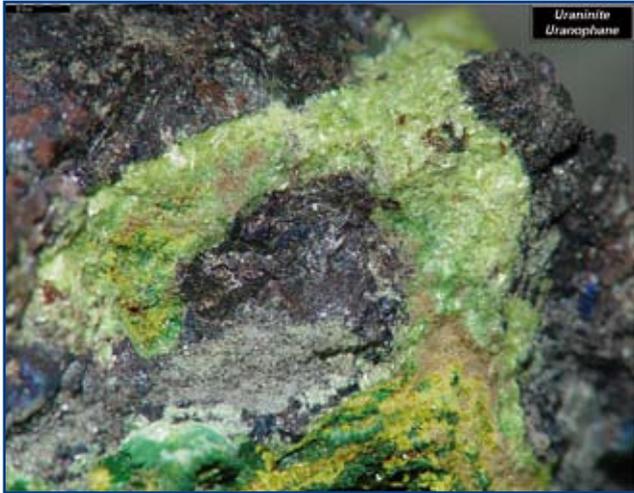
Impieghi principali

Gli usi del Po-210 sono estremamente limitati sia per la sua elevata radioattività alfa sia per le difficoltà estrattive in natura e in laboratorio. Impieghi principali: a) Quando è mescolato in lega con berillio, il polonio può essere usato come sorgente di neutroni. b) Come sorgente di energia per satelliti e in altri dispositivi spaziali. c) Nei dispositivi antistatici di alcuni strumenti di precisione e in speciali spazzole che eliminano la polvere accumulata sui negativi fotografici. Il polonio in queste spazzole è sigillato e schermato in modo da minimizzare i rischi da radiazioni d) In dispositivi per eliminare la carica elettrostatica nella manifattura di stoffe, ma è stato rimpiazzato da sorgenti di raggi beta, più facilmente disponibili e meno pericolose.

Tossicità

Il polonio è un elemento tossico, altamente radioattivo e pericoloso da manipolare, persino in quantitativi dell'ordine del milligrammo o meno. Le particelle alfa, che hanno un elevato potere ionizzante ed basso potere penetrante danneggiano fortemente i tessuti dell'organismo, dissipando una grande quantità di energia in piccoli volumi. Il carico corporeo ammesso di radioattività da polonio è 1100 Bq (0,03 µCi), una quantità corrispondente a quella prodotta da 6,8 µg, ($6,8 \times 10^{-12}$ g, pari a 6,8 miliardesimi di milligrammo) di Polonio.

Fonte: American Chemical Society and CRC Handbook of chemistry and Physics (<http://periodic.lanl.gov/elements/84.html>)



un sempre più progressivo rallentamento della clearance muco-ciliare. Più aumenta il grado di BPCO, più aumenta il rischio di accumulo di carica radioattiva [38].

La dose-radiazioni apportata dalle concentrazioni locali di Polonio sulla parete dell'epitelio bronchiale, dipende dalla frazione di particelle accumulate in queste aree e dal loro tempo di permanenza.

Holzman [14] nelle sue ricerche ha dimostrato che le concentrazioni di Pb-210 sono maggiori nello scheletro e nei polmoni dei fumatori rispetto a quello dei non fumatori. Pertanto visto che il Polonio ha un $T_{1/2}$ di 138,38 giorni ed il Piombo, che poi decade in Polonio, di 22 anni, è consequenziale che un significativo rischio di cancro può essere attribuito ad una cronica esposizione a bassi livelli di particelle insolubili alfa emittenti che, mentre apportano piccole dosi di radiazioni in toto, sono invece responsabili di dosi locali molto elevate in piccole aree tissutali soprattutto delle biforcazioni (hot spots) [4].

Tutto ciò viene facilitato in presenza di un'alterazione della clearance muco-ciliare spesso presente nei fumatori a causa della bronchite cronica, nella quale, come peraltro ha dimostrato Auerbach, sono presenti lesioni metaplasiche dell'epitelio ciliato nel 100% dei forti fumatori [7]. Il Po-210 presente nelle particelle insolubili, diventa così più penetrante attraverso le zone disepitelizzate o scarsamente ciliate ove ristagna maggiormente il muco [8, 30]. Non è un caso la recente osservazione

che i pazienti con severa BPCO, fumatori o ex fumatori, abbiano una maggior incidenza di neoplasia polmonare [38].

Martell stima che la dose cumulativa di radiazioni alfa a livello delle biforcazioni bronchiali del fumatore che muore di cancro polmonare è di circa 80 rad (1.600 rem), che è la dose sufficiente ad indurre trasformazione

maligna da interazioni alfa con le cellule basali [9, 10, 11, 22]. Secondo osservazioni cliniche e sperimentali di Marmerstein [42] il viraggio di istotipo del tumore polmonare che si è osservato negli ultimi 40 anni è dovuto alla radioattività alfa da fumo di tabacco sostenuta dall'uso e abuso di fertilizzanti polifosfatici.

Secondo Everett Coop dell'US Surgeon

General la potente radioattività presente nel tabacco è responsabile di circa il 90% dei tumori fumo di tabacco correlati [32]. Ravenholt, past Director of World Health Surveys dell'US Centers for Disease Control, ha dichiarato che gli Americani ricevono più radiazioni dal fumo di tabacco che da qualsiasi altra sorgente.

Vari studi sperimentali hanno dimostrato l'induzione di tumori in animali da esperimento dopo inalazioni di Po-210 [40]; viceversa non si sono avuti tumori da carcinogeni chimici prodotti da combustione di tabacco non radioattivi [31]. L'inutile quanto dannosa componente radioattiva veicolata dai fertilizzanti potrebbe essere ridotta attraverso un uso alternativo delle sorgenti di polifosfati, come i fertilizzanti fosfatici animali [33],

o con un trattamento degli stessi polifosfati minerali (ammonio fosfato al posto di calciofosfato) [33] e/o con tecniche diverse di stoccaggio e/o passando a modificazioni genetiche delle piante di tabacco con riduzione significativa della concentrazione di tricomi sulle foglie di tabacco. Uno studio ha dimostrato che la concentrazione di radioattività da Po-210 nel tabacco aumenta col tempo, dopo essere stato raccolto [41]. Una utile e opportuna raccomandazione dei ricercatori è quella di raccogliere il tabacco ancora verde ed evitare stoccaggi prolungati nei silos per evitare l'aumento delle concentrazioni di Po-210 che avviene per lento decadimento del Pb-210.

Applicando ai valori da noi riscontrati i dati ENEA del 1990 [24] circa il tem-



po medio effettivo di permanenza nei polmoni per il Po-210 che è di 53 giorni, i dati del Comitato BEIR IV del 1988 [23] sul rischio cancro al polmone in seguito ad esposizione a radom e suoi prodotti di decadimento (Pb-210 e Po-210), dati corretti e stimati dalla ICRP [25] in base ai sopravvissuti alla bomba A, risulta un rischio "puro" di tumore al polmone pari a 4×10^{-4} /anno⁻¹ (4 casi su 10.000 fumatori all'anno pari a 4.480 su una popolazione italiana di 12.200.000 fumatori), senza contare il ruolo di promotore (co-carcinogeno) nel tumore broncopolmonare per un'azione complessiva sinergica con le altre sostanze cancerogene, circa 50, presenti nel fumo di tabacco. Per capire il danno biologico che può essere causato dal Po-210 presente

nel fumo di tabacco lo si è paragonato a quello da Raggi X utilizzati nelle comuni radiografie del torace.

Per avere un rapporto con questa comune sorgente di radiazioni, si consideri che una moderna radiografia al torace comporta una dose equivalente pari 0,034 mSv/radiografia (26) per cui in pratica un fumatore di 20 sigg./die, in 1 anno riceve una dose di radiazioni equivalenti a circa 300 radiografie al torace.

Quello comunque che determina l'impennata del rischio cancerogenesi non è tanto l'azione singola e neanche la sommatoria della radioattività alfa agli idrocarburi policiclici, agli altri cancerogeni ed ai radicali liberi (prodotti per pirolisi e per danno da radiazioni alfa), quanto l'azione sinergica e moltiplicativa dei singoli componenti carcinogeni e co-carcinogeni (1, 2, 3, 13, 28, 47, 48, 49).

RADIOATTIVITÀ ALFA DEL TABACCO: UN PROBLEMA TEMUTO DA BIG TOBACCO

Sebbene i primi studi sulla radioattività del tabacco risalgano ai primi anni '60, e siano poi proseguiti anche con importanti conclusioni, purtroppo non hanno mai avuto quella ricaduta sul mondo sanitario e legislativo che il problema avrebbe meritato.

L'importanza di questi studi la si capisce dall'attenzione che la controparte,

Tavola periodica di Mendeleev

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

la Philips Morris (PM), ha a questi riservato. Fra gli oltre 37 milioni di documenti desecretati e resi pubblici sul sito www.pmdocs.com, per una sentenza dello Stato del Minnesota, sono presenti 462 documenti-memorandum confidenziali sulla radioattività alfa da Po-210 del fumo di tabacco (documenti presenti a tutto il 4 dicembre 2006). Uno di questi datato 1980, rivela che la PM era già a conoscenza che le sigarette contenevano Piombo e Polonio radioattivo e che ciò era dovuto in gran parte ai fertilizzanti utilizzati, e segnatamente ai fosfati di calcio, utilizzati nella coltivazione del tabacco ("210-Pb, radioactive lead, and 210-Po, radioactive Polonium, are present in tobacco and smoke..."). I produttori di tabacco erano inoltre, perfettamente a conoscenza degli studi di Martell e altri sulla possibilità di poter ridurre

i livelli di radioattività del tabacco e del fumo, riducendo quella dei fertilizzanti mediante la trasformazione del calcio fosfato in ammonio fosfato... un procedimento però troppo dispendioso ("using ammonium phosphate instead of calcium phosphate as fertilizer is probably a valid but expensive point...") (Newscript: Radioactive cigarettes, PM, Apr 2, 1980, doc. 2012611337/1138) (41).

CONCLUSIONE

La grande maggioranza dell'opinione pubblica ancora ignora la presenza di radioattività da polonio 210 nel fumo di tabacco che rappresenta sia una grave minaccia per la salute pubblica che una grande opportunità dal punto di vista comunicativo e motivazionale. Si tratta ovviamente non di una contaminazione acuta ma di una contaminazione da radiazioni alfa di tipo cronico, lento e progressivo che, nel fumatore, diventa sempre più importante con l'andare del tempo. Sarebbe pertanto opportuno aggiungere un nuovo avviso sui pacchetti di sigarette: "rappresentano una fonte di esposizione alle radiazioni". Visto il timore dell'opinione pubblica verso tutto ciò che è radioattivo, una campagna di informazione adeguata potrebbe contribuire ad aumentare significativamente l'efficacia dei programmi anti-fumo. ■



Bibliografia

1. Office on smoking and health. Smoking and Health: a report of the Surgeon General. Rockville, MD: Office on smoking and health, 1979. (DHEW Publication No. (PHS)79-50066) Willcox PA: Epidemiology of lung cancer. RT International 1997:51-52.
2. World Health Organization. Statement from Catherine Le Galès Camus, Assistant Director-General, Non Communicable Diseases and Mental Health. Available: www.who.int/tobacco/communications/events/wntd/2006/statement/en/index.html (accessed 2006 Jun 27).
3. US Centers for Disease Control and Prevention. Trends in the prevalence of cigarette use. Available: www.cdc.gov/HealthyYouth/yrbbs/pdf/trends/2005_YRBS_Cigarette_Use.pdf (accessed 2006 Jun 27).
4. Rajewsky B, Stahlhofen. Polonium-210 activity in the lungs of cigarette smokers. *Nature* 1966; 209:1312-1313.
5. US Department of Health and Human Services "The Health consequences of smoking: Nicotine Addiction". A Report of Surgeon General. Rockville, MD: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control, Centers for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 1988.
6. US Department of Health and Human Services "Reducing the Health consequences of smoking: 25 years of progress. A Report of Surgeon General. Rockville, MD: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control, Centers for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 1989.
7. Di Franza JR, Winters TH. Radioactivity in cigarette smoke. (Correspondence). *N Engl J Med* 1982; 307: 312-313.
8. Radford EP Jr, Hunt VR. Polonium-210, a volatile radioelement in cigarettes. *Science* 1964; 143: 247-249.
9. Martell EA. Radioactivity in cigarette smoke. (Correspondence). *N Engl J Med* 1982; 307: 309-310.
10. PM Document: www.pmdocs.com/getall.asp?DOCID=1000083404/3406
11. PM Document: www.pmdocs.com/getall.asp?DOCID=1000083407/3439
12. Little JB, Radford EP Jr, Mc Coombs HL, Hunt VR. Distribution of polonium-210 in pulmonary tissues of cigarette smokers. *N. Engl. J. Med.* 1965; 273:1343-51.
13. Little JB, MC Gandy RB, Kennedy AR. Interaction between polonium 210 alpha radiation, benzo (α) pyrene, and 0.9% NaCl solution instillations in the induction of experimental lung cancer. *Cancer Res*, 1978; 38:1928-35.
14. Holzman RB, Ilcewicz FH. Lead-210 and Polonium-210 in tissues of cigarette smokers. *Science*, 1966;153:1259-1260.
15. Martell EA, Poet SE. Radon Progeny on biological surface and their effects. In: Vohra KG et al., eds. *Proceeding, Bombay Symposium on Natural Radiation in the environment*. New Delhi: Wiley Eastern Ltd, 1982.
16. Fleischer RL, Parungo FP. Aerosol particles on tobacco trichomes. *Nature*, 1974; 250:158-9.
17. Martell EA: Tobacco radioactivity and cancer in smokers. *Am Sci*, 1975; 63: 404-12.
18. Tso TC, Harley NH, Alexander LT. Source of Pb210 and Po210 in tobacco. *Science*. 1966; 153:880-882.
19. Ennemoser O, Ambach W, Brunner P, Schneider. Esposizione domestica abnormemente elevata al radon e carcinoma polmonare. *Lancet* (ed it), 1995; 12:53.
20. Ennemoser O. High domestic and occupational radon exposure: a comparison. *Lancet*, 1993; 347:47.
21. Harley NH, Pasternack BS. A model for predicting lung cancer risks induced by environmental level of radon daughters. *Health Phys*, 1982; 40:307-16.
22. Martell EA, Sweder KS. The roles of polonium isotopes in the etiology of lung cancer in cigarette smokers and uranium miners. In: Gomez M ed *Proceedings of a symposium on radiation hazards in mining*. New York. American Institute of Mining Engineers, 1982:383-9.
23. BEIR IV. Health risks of Radon and other internally deposited alphas-emitters. National Academy Press. Washington DC 1988.
24. ENEA. Livelli di riferimento per la contaminazione interna. 2° ed. 1990.
25. ICRP. Recommendations of international Commission on Radiological Protection. ICRP 60. *Annals of the ICRP*, 1991; vol 21, n° 1-3.
26. Pillay M. Dosimetric aspect in *Textbook of radiopharmacy*, Sampson CB ed., Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1990: 344.
27. Allen B, Ingram DJ E. Free radicals in biological system. Academic Press, New York, 1961: 215.
28. Gattavecchia E, Chiamulera C, Zagà V. Alpha radioactivity, Polonium 210 and tobacco smoke. *Atti, Proceeding of the V European Conference of the Society for Research on Nicotine and Tobacco-SRNT*, Padova 2003.
29. Winters-TH, Franza-JR. Radioactivity in Cigarette Smoke. *New England Journal of Medicine*, 1982; 306(6): 364-365.
30. Cohen BS, Harley NH, Tso TC. Clearance of polonium-210-enriched cigarette smoke from the rat trachea and lung. *Toxicol Appl Pharmacol*, Jun 1985; 79 (2): 314-322.
31. Po-210, inhalation exposure: <http://nepenthes.lycaeum.org/Drugs/THC/Health/cancer.rad.html>
32. National Academy of Sciences-National Research Council. Long term effects of ionizing radiation from external sources. Washington D.C.: National Research Council, 1961.
33. Florida Institute of Phosphate Research: <http://www.fipr.state.fl.us>
34. Warren S. Longevity and causes of death from irradiation in physicians. *JAMA*. 1956; 162:464-468
35. Phosphate: http://www.moles.org/ProjectUnderground/drillbits/5_02/vs.html
36. Cohen BS, Eisenbud M, Harley NH. Alpha radioactivity in cigarette smoke. *Radiat Res*. 1979;83:190-196
37. Cohen BS, Eisenbud M, Wrenn ME, Harley NH. Distribution of polonium-210 in the human lung. *Radiat Res*. 1979;79:162-168
38. Schwartz AG. Susceptibility to Lung Cancer and COPD May Be Genetically Linked. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:16-22.
39. Cohen BS, Eisenbud M, Harley NH. Measurement of the alpha radioactivity on the mucosal surface of the human bronchial tree. *Health Phys*. 1980; 619-32.
40. Yuile CL, Berke HL, Hull T. Lung cancer following polonium-210 inhalation in rats. *Rad Res* 1967;31:760-3.
41. PM Docs (Po-210 & harvest): <http://tobacco.org/Documents/dd/dradioactivecigs.html>
42. Marmorstein J. Lung cancer: is the increasing incidence due to radioactive polonium in cigarettes? *South Med J* 1986 Feb;79(2):145-50.
43. Skwarzec B, Struminska DI, Borylo A, Ulatowski J. Polonium 210Po in cigarettes produced in Poland. *J Environ Sci Health Part A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2001; 36(4): 465-74.
44. Shabana El , Abd Elaziz MA, Al-Arifi MN, Al-Dhawaliie AA, Al-Bokari MM-A. Evaluation of the contribution of smoking to total blood polonium-210 in Saudi population. *Applied Radiation and Isotopes* 52, 2000; 23-26.
45. Mussalo-Rauhamaa H, Jaakkola T. Plutonium-239, 240Pu and 210Po content of tobacco and cigarette smoke. *Health Physics* 1985; 49, 296-301.
46. Singh DR, Nilekani SR. Measurement of polonium activity in Indian Tobacco. *Health Phys*. 1976 Oct; 31(4):393-4.
47. Kiltthau GF: Cancer risk in relation to radioactivity in tobacco. *Radiol. Technol.* 1996; 63 (3):217-222.
48. Wynder EL, Hoffman D. Tobacco and health: a societal challenge. *NEJM* 1979; 300:894-903
49. Little JB, O'Toole WF. Respiratory tract tumors in hamsters induced by benzo(a)pyrene and 210Po alpha-radiation. *Cancer Res* 1974;34:3026-39.
50. Radford EP, Martell EA. Polonium-210: lead-210 ratios as an index of residence times of insoluble particles from cigarette smoke in bronchial epithelium. In: Walton WH, ed. *Inhaled particles, part 2*. Oxford: Pergamon Press, 1977:567-580.
51. Winters TH, Di Franza J: Radioactivity and lung cancer in active and passive smokers. *Chest*. 1983; 84:653-654.
52. Martell EA: Radioactivity of tobacco trichomes and insoluble cigarette smoke particles. *Nature* 1974; 249:215-217.
53. Tso TC, Hallden NA, Alexander LT. Radium-226 and polonium-210 in leaf tobacco and tobacco soil. *Science*, 1964; 146, 1043-1045.
54. Zagà V., Gattavecchia E., Capecci V. Radioattività Alfa (Polonio 210) e fumo di tabacco. *Atti del XXXV Congresso Nazionale AIPO*, Firenze 6-9 novembre 1999; abstract n° 009.
55. Watson, A.P., 1985. Polonium-210 and lead-210 in food and tobacco products: transfer parameters and normal exposure and dose. *Nuclear Safety* 26 (2), 179-191.
56. Shields PG. Epidemiology of tobacco carcinogenesis. *Curr Oncol Rep*. 2000 May;2(3):257-62.
57. Khater AEM.. Polonium-210 budget in cigarettes. *Journal of Environmental Radioactivity* 2004; 71: 33-41.
58. Parfenov, Yu.D. Polonium-210 in the environment and in the human organism. *Atomic Energy Review*, 1974; 12: 75-143.
59. Skwarzec B, Ulatowski J, Struminska DI, Borylo A. Inhalation of 210Po and 210Pb from cigarette smoking in Poland. *Journal of Environmental Radioactivity* 2001; 57: 221-230.
60. Bretthauer EW, Black BC. Polonium-210: Removal from Smoke by Resin Filters. *Science* 9 June 1967; Vol. 156. no. 3780: 1375 - 1376.