



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
dipartimento di Fisica e
INFN sezione di Pavia

via bassi 6, 27100 pavia - tel. 0382.98.7905
elio.giroletti@unipv.it

Elio GIROLETTI




Elio GIROLETTI
dipartimento Fisica
Università degli Studi di Pavia

STAGE STUDENTI: INFN + DIP. FISICA

NOI IRRAGGIATI? *ma va! ...e come?*



Radiazioni ionizzanti
Effetti delle radiazioni sull'uomo
Radiazioni naturali
Radiazioni nella società
Conclusioni

Pavia, giugno 2017



RADIAZIONI IONIZZANTI

radiazione: trasporto di energia nello spazio
direttamente ionizzanti

- adroni carichi: protoni, ioni, ecc.
- alfa: $2n+2p$, α
- beta: positroni, β^+ - elettroni, β^-

indirettamente ionizzanti

- elettromagnetiche: raggi X e gamma
- neutroni

Energia delle radiazioni

- elettromagnetiche, $E=h\nu$
- corpuscolari: $T=(\gamma-1)m_0c^2$



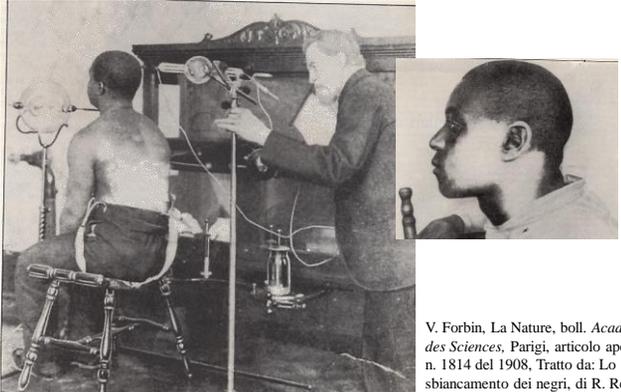

radiazioni non ionizzanti

le radiazioni emesse da:

- telefoni cellulari
- antenne (radiotelevisive e cellulari)
- linee alta tensione
- risonanza magnetica
- forno a microonde
- ecografia (ultrasuoni)

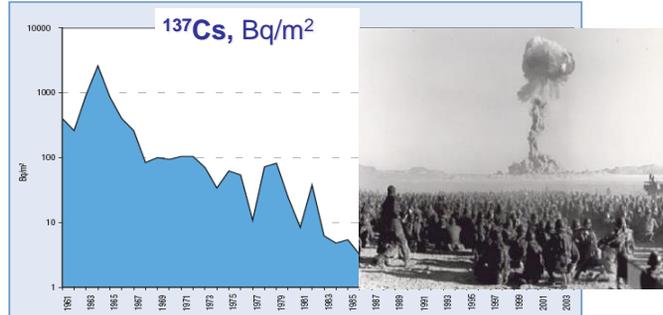
non hanno energia sufficiente per ionizzare

radioprotezione, un po' di storia...
si può cambiare colore alla pelle?



V. Forbin, La Nature, boll. *Académie des Sciences*, Parigi, articolo apertura n. 1814 del 1908. Tratto da: Lo sbiancamento dei negri, di R. Zentzetti

radioprotezione, un po' di storia...
fall-out esplosioni nucleari in atmosfera



• **1955:** 200 casi di leucemia in superstiti di bombe atomiche

Figura 15.7: Andamento annuale della deposizione totale di Cs-137 in Italia
 ANPA, Stato dell' ambiente, 2004

radioprotezione, un po' di storia...
radioattivo fa bene?



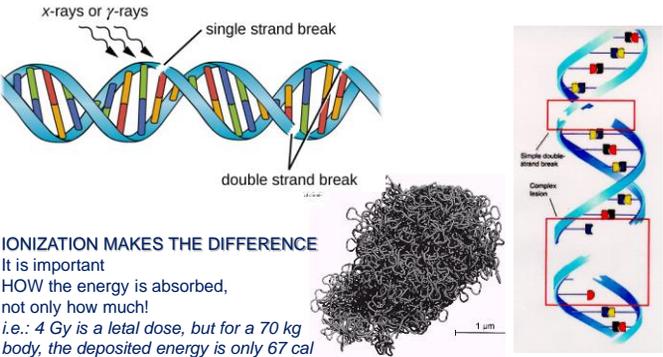
ON NE VIEILLIT PLUS
 MERCI ON RAYONNÉ

LA
CRÈME ACTIVA
 radioactive

provoque une action particulière de la vie des tissus. la peau mise en état de jeunesse constante devient plus fine et plus blanche et les rides disparaissent

Fonte Radioattive
LURISIA

EFFETTI delle RADIAZIONI IONIZZANTI



x-rays or γ -rays

single strand break

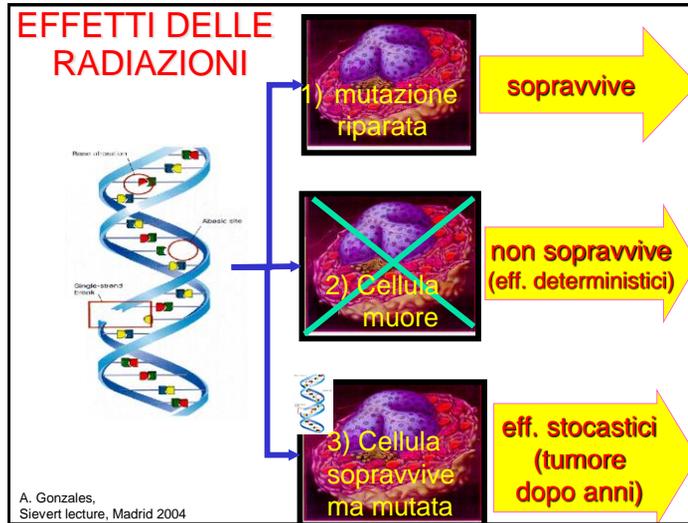
double strand break

IONIZATION MAKES THE DIFFERENCE
 It is important
 HOW the energy is absorbed,
 not only how much!
 i.e.: 4 Gy is a lethal dose, but for a 70 kg body, the deposited energy is only 67 cal (280J), as much as a warm coffe...!

Simple double strand break
 Complex lesion

1 μ m

video: DNA irradiation



POSSIBILI EFFETTI

deterministici (reazioni tessutali): frequenza e gravità variano con la dose; esiste una soglia di dose; comprendono: *radiodermite, cataratta (!), sterilità temporanea o permanente, sindrome acuta da raggi, decesso ma anche ... radioterapia!*

stocastici (probabilistici): la probabilità e non la gravità è proporzionale alla dose; si ipotizza assenza di soglia; distribuiti casualmente tra esposti; *insorgono* naturalmente tra la popolazione (>20%); appaiono *dopo anni*; comprendono: *leucemie, tumori solidi e malattie ereditarie nella progenie*

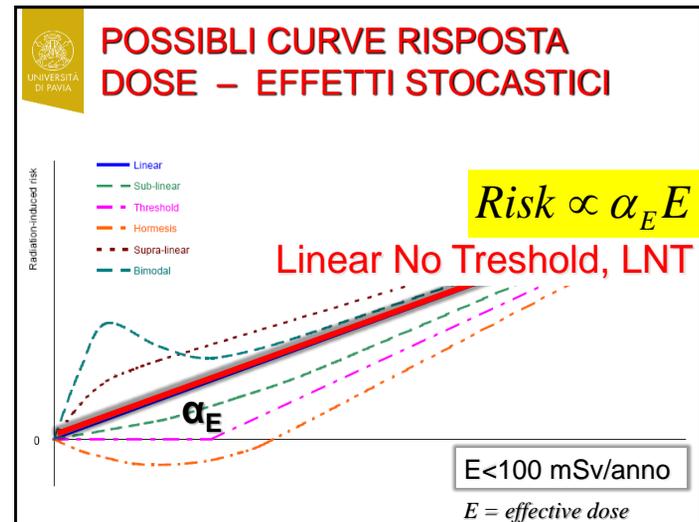
Reazioni tessutali

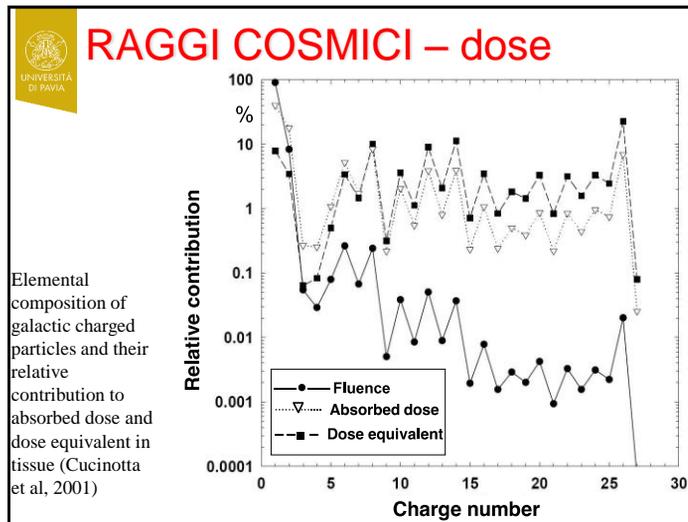
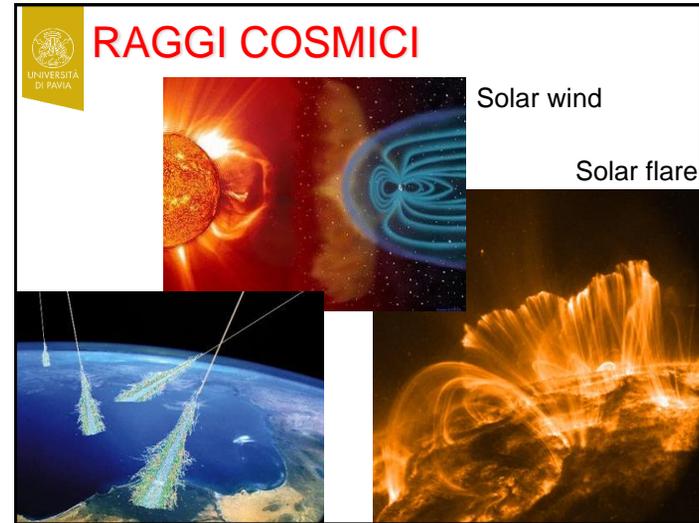
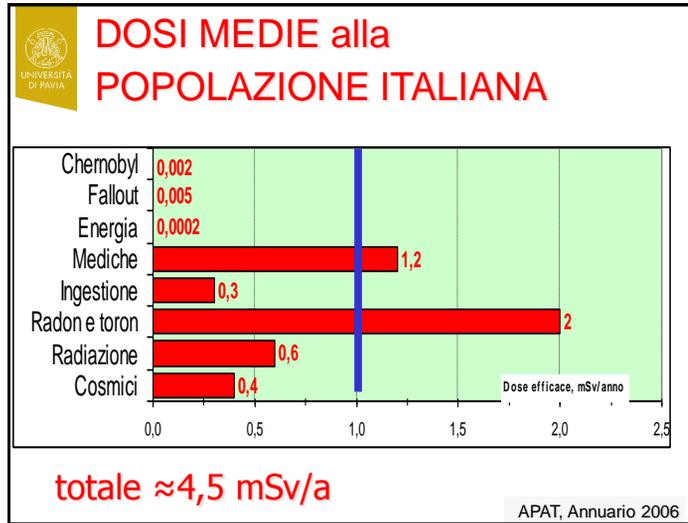
Atrophic indurated plaque Hyper & hypo pigmentation, with telangiectasia

(REPORTED BY E. VANO, 1987)

Chronic radiodermatitis in 17 year old female patient after x2 radiofrequency ablation procedures

ICRP





famiglie radioattive naturali

- famiglia del torio, Th-232 (4n)
- famiglia dell' uranio, U-238 (4n+2)
- famiglia dell' attinio, U-235 (4n+3)
- **hanno in comune:**
 - **capostipite:** elemento a vita molto lunga
 - **ultimo:** sempre un isotopo del piombo
 - **elemento gassoso:** isotopo del radon:
 - famiglia torio: Rn-220, toron
 - famiglia uranio: Rn-222, radon
 - famiglia attinio, Rn-219, attinon

RADIAZIONE ALFA (α)

$W_R=20$

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He^{++} + \dots$$

esempio: ${}^{226}_{88} Ra \rightarrow {}^{222}_{86} Rn + \alpha (100\%)$

${}^{226}Ra$ nelle PIASTRELLE

| Id. Legenda | min | max |
|-------------|-----|-----|
| 1 | 26 | 89 |
| 2 | 118 | 247 |
| 3 | 42 | 69 |
| 4 | 50 | 60 |
| 5 | 52 | 95 |
| 6 | 50 | 79 |
| 7 | 48 | 56 |
| 8 | 48 | 230 |
| 9 | 77 | 82 |
| 10 | 40 | 230 |
| 11 | 61 | 118 |
| 12 | 124 | 164 |
| 13 | 33 | 197 |
| 14 | 25 | 331 |
| 15 | 6 | 340 |
| 16 | 72 | 140 |

Fonte: S. VERITÀ; TESI DOTTORATO, 2009

1. Pakou et al., 1994; 2. Bruzzi et al., 1991; 3. Bruzzi et al., 1991; 4. Amrani & Tahat, 2001; 5. Papastefanou et al., 1984; 6. Bruzzi et al., 2000; 7. Righi & Bruzzi, 2006; 8. Righi & Bruzzi, 2006; 9. Higgy et al., 2000; 10. Khalifa, 2005; 11. El Afifi et al., 2006; 12. Ahmad & Hussein, 1998; 13. Righi et al. 2007; 14. Gres porcellanato (misure dottorato) 15. Piastrelle smaltate (misure dottorato); 16. Gres (CINA)

radon, ${}^{222}Rn$: figli

dose non deriva dal ${}^{222}Rn$ ma dai prodotti di decadimento, metalli pesanti radioattivi, che depositano nei polmoni:

- polonio, Po218 e Po214,
- piombo, Pb214,
- bismuto, Bi214.

U238 (4,47·10⁹ a) → altri prodotti → Ra226 (1600 a) → Rn222 (3,8235 g) → Po218 (3,05 m) → Bi214 (19,9 m) → Pb214 (26,8 m) → Po214 (164 μs) → Bi210 (5,01 g) → Pb210 (22,3 a) → Po210 (138,4 g) → Pb206 (STABILE)

radon: prodotti di decadimento nel tabacco

L'uranio-238 decade in radon-222 (un gas), e poi in piombo-210, che si depono sulle foglie di tabacco e in seguito si converte in polonio-210.

Polonio-210

Radon 222

Fertilizzanti ricavati da rocce fosfatiche ricche di uranio

Uranio-238

Piombo 210

Il piombo-210 presente nel terreno viene assorbito attraverso le radici.

Le scienze, 2011 n.511

radon: polmoni

- bronchi: 23 generazioni
- superficie albero bronchiale: 0,4 m²
- condotti respiratori: 14 milioni
- alveoli: 300 milioni
- interfaccia aria/tessuto: 75 m²
- volume aspirato: 23 m³/giorno
 - a riposo: 3,6 l/min
 - attività leggera: 9,6
 - altre attività: 14,6

Particle size (AMAD or AMTD) inside the respiratory tract

Deposition in each respiratory tract region for a reference worker, as a function of aerosol median size. In the transition size-range (0.1–1 mm) values are given for both AMAD (mainly sedimentation) and AMTD (mainly diffusion)

ET

BB

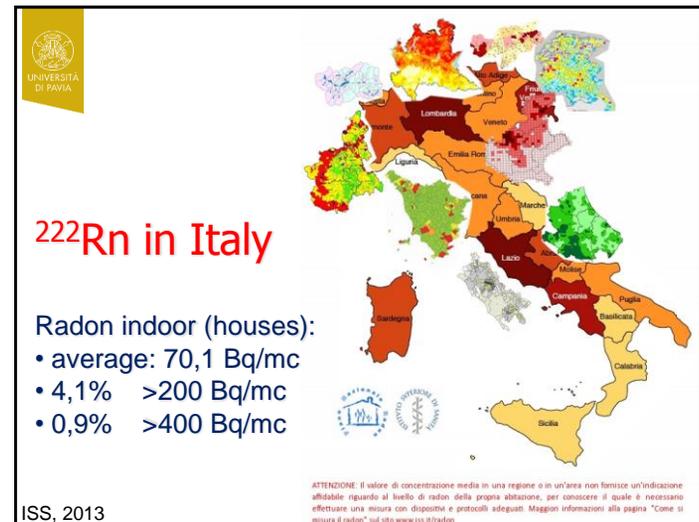
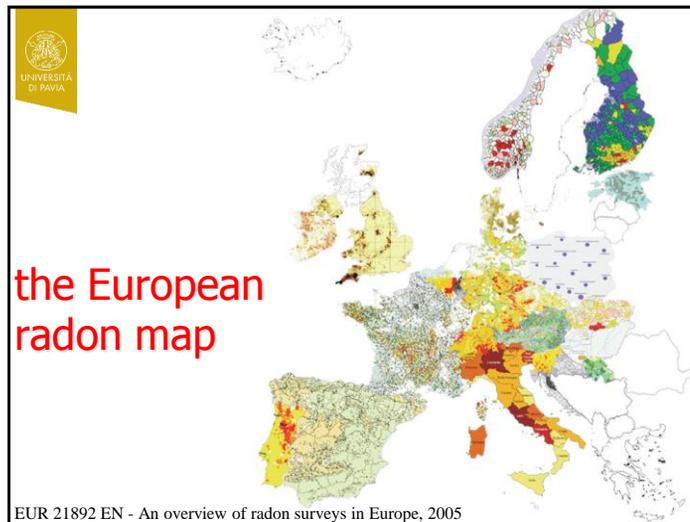
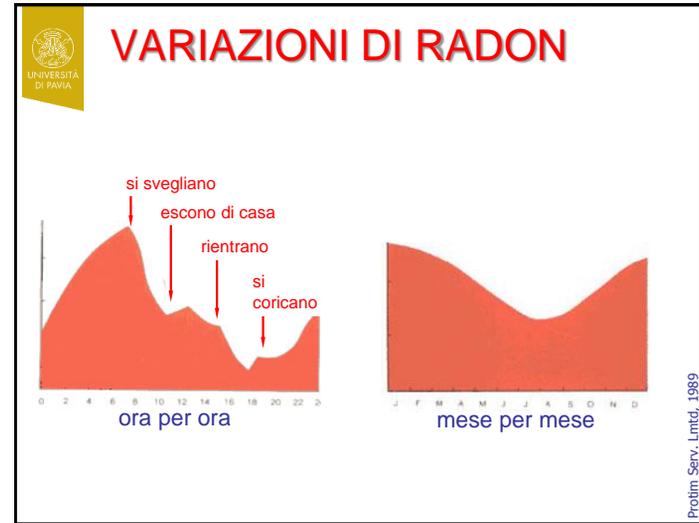
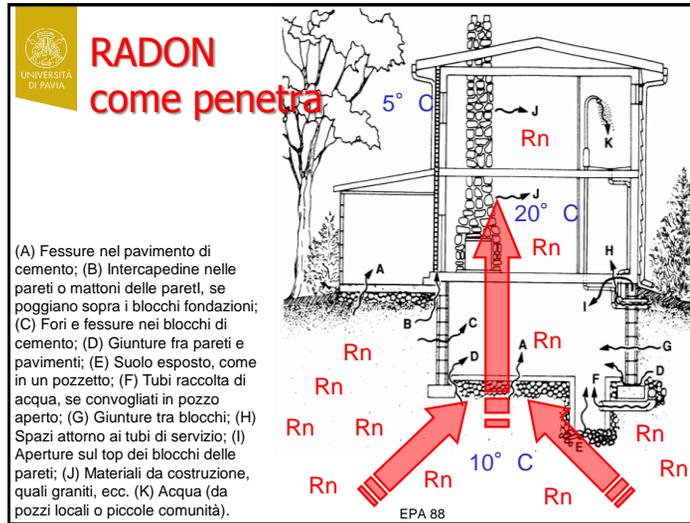
Al

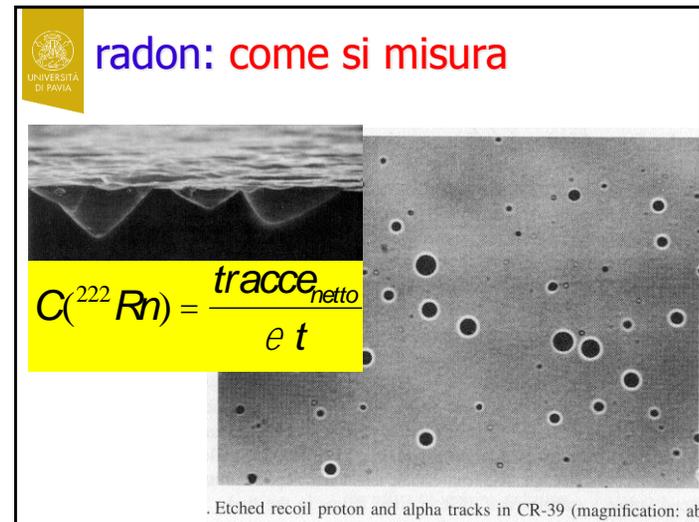
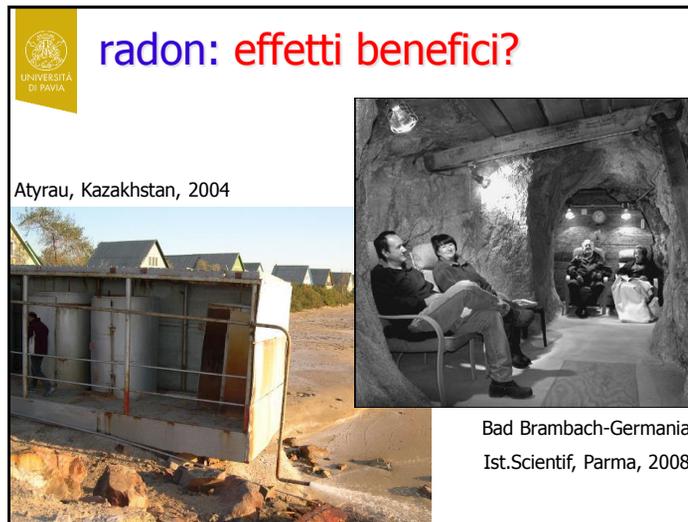
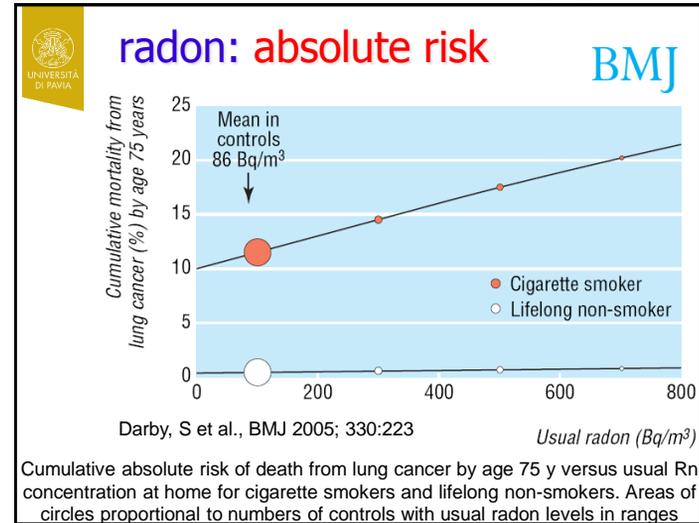
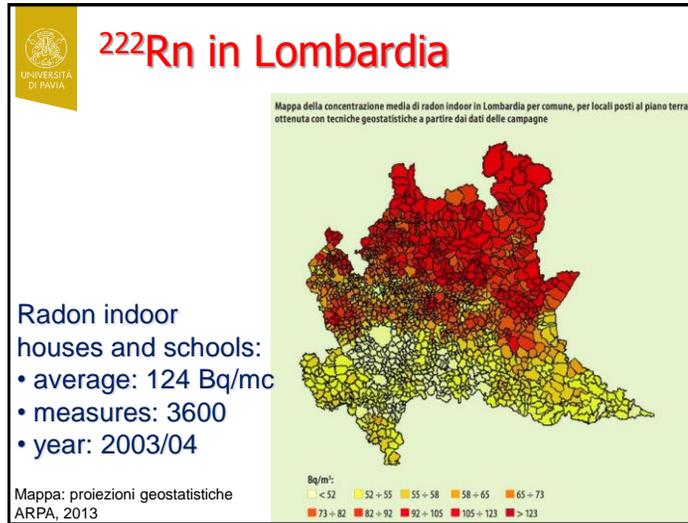
ICRP 66

RADON come penetra

US Geological Service, web 2014

Radon can enter a house through many paths.





radon: come si misura



NB: busta chiusa il Rn entra egualmente (!)

RADIOATTIVITA' IN CORPO



| Natural radionuclides | activity [Bq] |
|-------------------------------------|------------------|
| K-40 (T _{1/2} = 1,27E9 a) | 4,500 |
| C-14 (T _{1/2} = 5400 a) | 3,800 |
| Rb-87 (T _{1/2} = 48,8E9 a) | 650 |
| Pb-210, Bi-210, Po-210 | 60 |
| Rn-220 daughters | 30 |
| H-3 (T _{1/2} = 13 a) | 25 |
| Be-7 (53,2 g) | 25 |
| Others | 7 |
| TOTAL | ~9-10 kBq |

Elettricità Svizzera Italiana A. Romer, marzo 2004

BANANA equivalent dose, BED



- Banana Equivalent Dose (BED) is for indicating the potential dose due to naturally occurring radionuclides by eating one average-sized banana (containing ≈ 0.5 g of ^{40}K).
- ^{40}K will give a committed dose of 6.2 nSv/Bq over 50 years, when ingested by an average adult (ICRP)
- BED comes as about $6.2 \text{ nSv/Bq} \times 31 \text{ Bq/g} \times 0.5 \text{ g} \approx 96.1 \text{ nSv} = 0.096 \text{ } \mu\text{Sv}$ (in informal publications: 1 BED $\approx 0.1 \text{ } \mu\text{Sv}$)
- For example, the exposure from consuming a banana is $\approx 1\%$ of the average daily exposure, which is 100 BED. The maximum permitted radiation leakage for a nuclear power plant is equivalent to $\approx 2,500$ BED ($250 \text{ } \mu\text{Sv}$) per year, while an abdomen CT scan delivers $>100,000$ BED ($>10 \text{ mSv}$). A lethal dose is approximately $\approx 35,000,000$ BED (3500 mSv).

COOKING RADIOACTIVITY

| Natural Radioactivity in Food | | |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Food | ^{40}K pCi/kg | ^{226}Ra pCi/kg |
| Banana | 3,520 | 1 |
| Brazil Nuts | 5,600 | 1,000-7,000 |
| Carrot | 3,400 | 0.6-2 |
| White Potatoes | 3,400 | 1-2.5 |
| Beer | 390 | --- |
| Red Meat | 3,000 | 0.5 |
| Lima Bean raw | 4,640 | 2-5 |
| Drinking water | --- | 0-0.17 |

1 pCi=0.037 Bq

MOLTEPLICI USI (in aumento)

Radiografia neutronica

Rivelatore di fumo

RADIOGRAFIA

$$I(x) = \frac{I_0}{e^{\mu x}}$$

μ = coefficiente attenuazione lineare; $I(0)$ = raggi X entranti; $I(x)$ = raggi X primari uscenti; a parità di energia: $\mu_{metallo} > \mu_{osso} > \mu_{musco} > \mu_{aria}$

Radiografia/scopia con mezzo contrasto (+ sottraz. immagine)

mezzo di contrasto (bario, Ba)

- non è radioattivo
- ai raggi X è più opaco del tessuto

a parità di energia: $\mu_{Ba} > \mu_{H_2O}$

$$I(x) = \frac{I(0)}{e^{\mu x}}$$

$\mu_{fototeletrico} \propto Z^5$

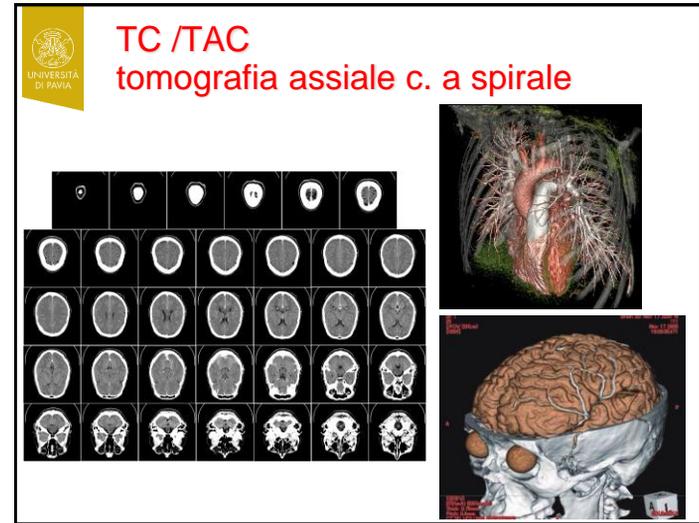
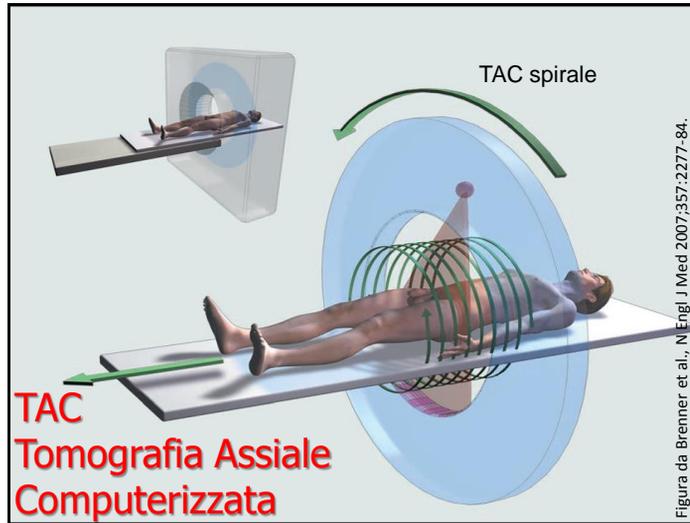
ANGIOGRAPHY with image subtraction

brain aneurysma

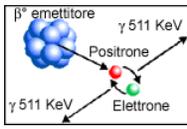
stenosis

Aneurysma

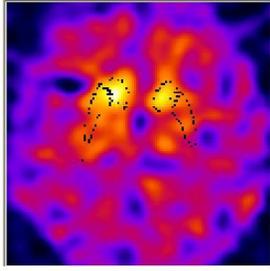
Femoral arterie



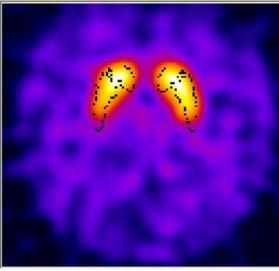
positron emission tomography, PET



β^+ emettitore γ 511 KeV
Positrone γ 511 KeV
Elettrone



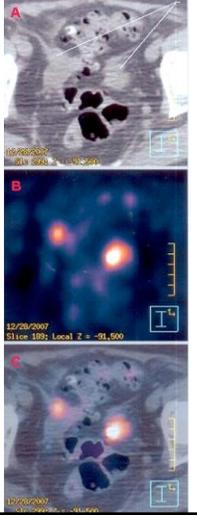
Paziente normale



Parkinson avanzato

Ospedale di cremona

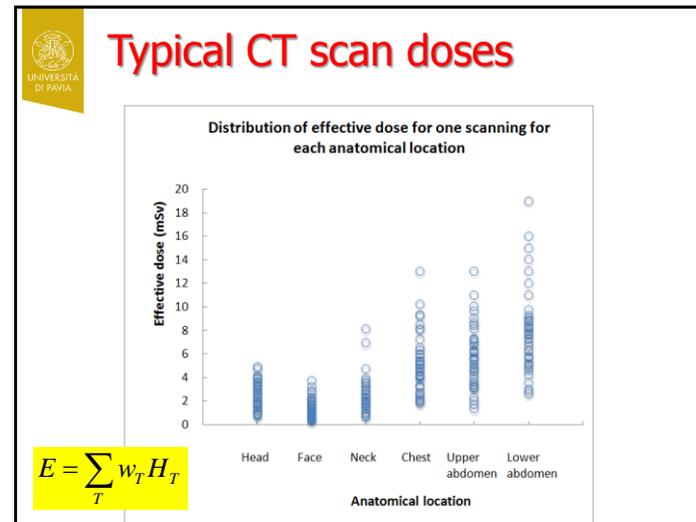
attuali frontiere TAC-PET sovrapposizione di immagini

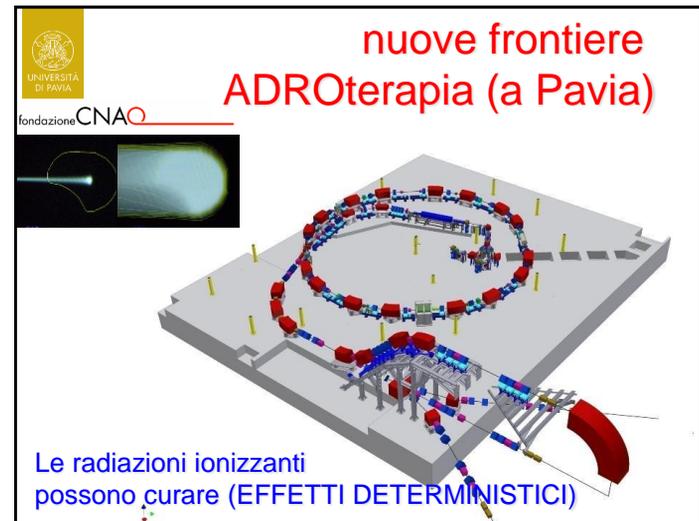
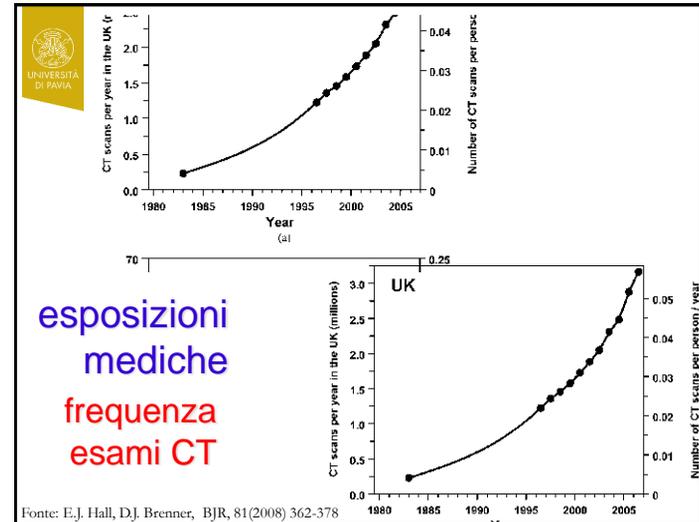
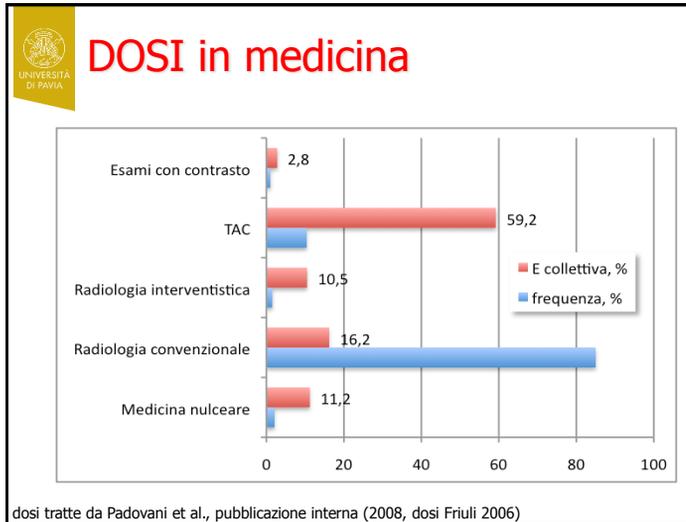



DOSI in radiagnostica

| tipo di esame (procedura) anno 2006 | Dose efficace mSv | Dose proced/ DoseRxTorace PA, n.rel. |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Ortopantomografia | 0,01 | 0,5 |
| Singola radiografia al torace, PA | 0,02 | 1 |
| Densitometria ossea | 0,03 | 1,5 |
| Cranio | 0,05 | 3 |
| Procedura radiografica torace | 0,14 | 7 |
| Mammografia | 0,32 | 16 |
| Addome | 0,75 | 38 |
| Rachide lombare | 0,94 | 47 |
| Pelvi e anca | 1,04 | 52 |
| Rachide in toto | 1,52 | 76 |
| TC rachide | 1,58 | 79 |
| Tratto gastrointestinale superiore | 2 | 100 |
| TC testa | 2,25 | 113 |
| Urografia | 2,9 | 145 |
| Tratto gastrointestinale Inferiore | 4,09 | 205 |
| Radiologia interventistica | 7,59 | 380 |
| Radiologia interventistica | 8,2 | 410 |
| TC altre | 8,33 | 417 |
| TC Torace | 8,9 | 443 |
| Radiol. interventistica cardiologica | 11,37 | 569 |
| TC Pelvi | 14,1 | 705 |
| TC addome | 16 | 802 |

dosi tratte da Padovani et al., pubblicaz. interna (2008)





QUALITY CONTROL
test objects for image assessment

Test for monitors and laser printers

Test geometry in fluoroscopy

Test radiography

Test for mammography

IAEA course, Radiation Protection in Digital radiology

radiografia industriale

RADIOGRAFIA CAMION

MISURA DI SPESSORE in trasmissione (Kr-85)

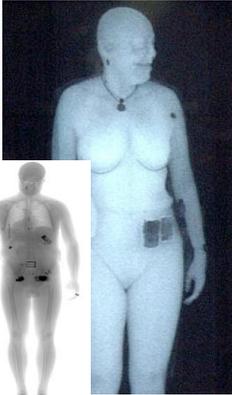
rivelatore

materiale

sorgente

ITP - Bosnasco
29-gen-2002

BODY SCANNER



ANSI N43.17 & NCRP Dose Limits

- 0.1 μSv *effective dose/scan*
- 0.25 mSv *effective dose/year* (backscatter or absorption technol.)

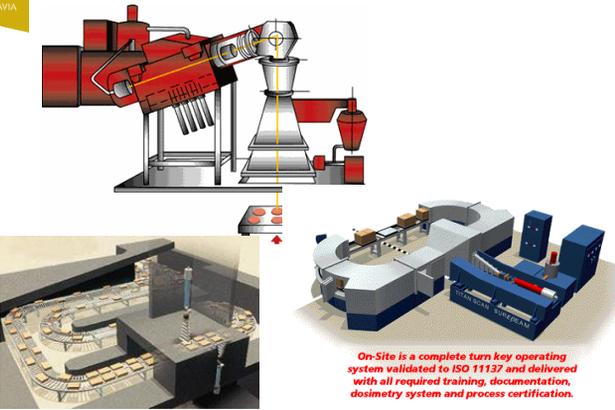
the dose from an airport soft X-ray scanner can be $\approx 0.02 \mu\text{Sv}$ - this is just the external dose received by an air traveller flying at 10,000 m in 15 s!

HPA, UK, 2010

Accelerator in industry

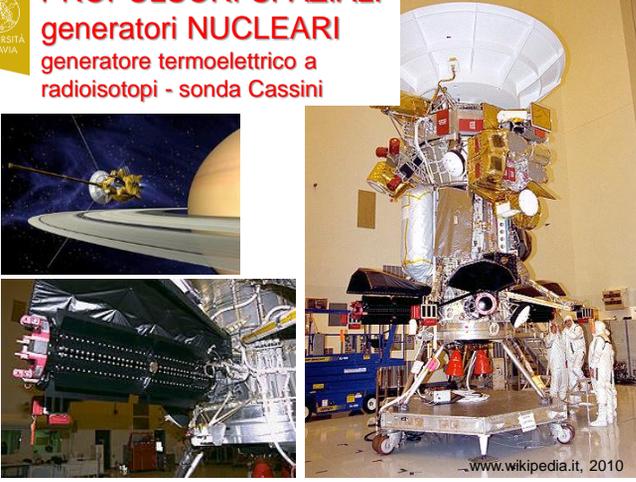
- Generally, high energy particle beams induce nuclear reactions and activation
- In industrial applications, nuclear reactions and activation are undesirable and avoided, but other effects of ionizing radiations are researched
- These desired effects include:
 - Sterilization
 - Cross linking of polymers
 - Curing of composite materials
 - Modification of crystals
 - Doping of semi conductors
 - Beam aided chemical reactions
 - Thermal or mechanical effects of the particle beam

LINAC esterilizar



On-Site is a complete turn key operating system validated to ISO 11137 and delivered with all required training, documentation, dosimetry system and process certification.

PROPULSORI SPAZIALI
generatori NUCLEARI
generatore termoelettrico a radioisotopi - sonda Cassini



...www.wikipedia.it, 2010

why do you spend so much for the fundamental physics...?

why do you spend so much for...?

ANGIOGRAPHY
3D with two tubes...

why do you spend so much for...?

ADROtherapy at CNAO, Pavia, Italy

POOR RADIOLOGY

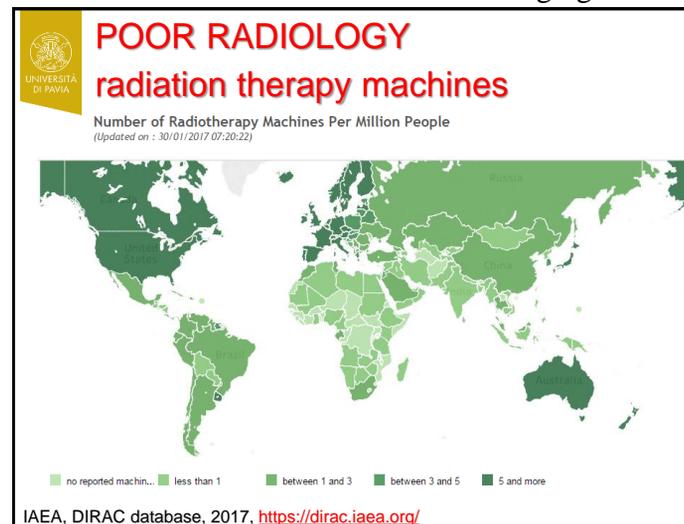
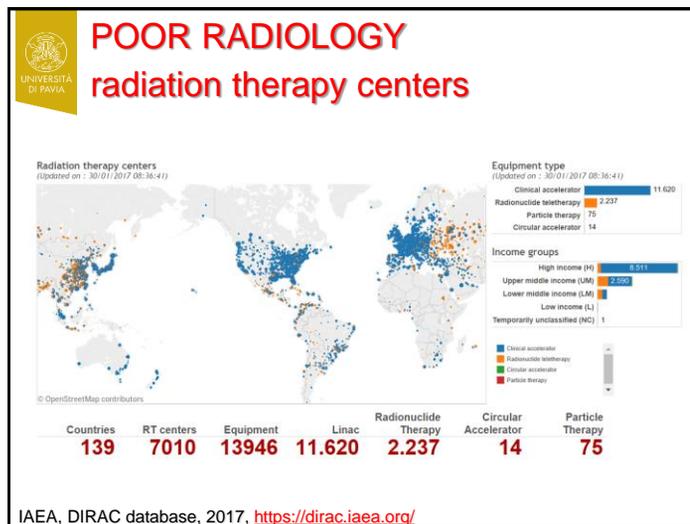
Annual average per-caput dose (in mSv)

| | | | |
|------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| High Health-care | Medium Health-care | Low Health-care | Global average |
| 1.88 | 0.32 | 0.03 | 0.61 |

Radio-diagnostic procedures
Average annual frequency per 1000

| | | | |
|------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| High Health-care | Medium Health-care | Low Health-care | Global average |
| 1308 | 332 | 20 | 482 |

UNSCEAR Report



quale priorità?

| sorgente | decessi stimati/anno |
|--------------------------|----------------------|
| radon (+) | 1500 – 5000 |
| esami medici inutili (*) | 500 - 800 |
| antenne - elettrodotti | <5 |

(+) fonte: Min.Salute 2002; (*) ipotizzando una possibile riduzione della dose media annua pari a 0,26 mSv attraverso i programmi di qualità radiologica (20% delle dosi impartite in radiodiagnostica -1,3 UNSCEAR 2000-)

Elio GIROLETTI
dipartimento Fisica
Università degli Studi di Pavia

STAGE STUDENTI: INFN + DIP. FISICA

NOI IRRAGGIATI? ma va! ...e come?

Thanks
...FOR YOUR INTEREST!

elio.giroletti@unipv.it