



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

via bassi 6, 27100 pavia - tel. 0382987905
elio.giroletti@unipv.it

Elio GIROLETTI



Elio GIROLETTI
dipartimento Fisica
Università degli Studi di Pavia

NOI IRRAGGIATI? *ma va... e dove?*



- Radiazioni ionizzanti
- Effetti delle radiazioni
- Radiazioni naturali
- Radiazioni nella società
- Conclusioni

Pavia, 16 giugno 2015



LE RADIAZIONI *IONIZZANTI*

radiazione: trasporto di energia nello spazio
direttamente ionizzanti

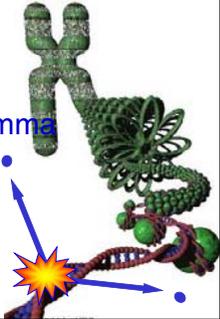
- particelle cariche (protoni, ioni, ecc.)
- alfa: α
- beta: β^+ - β^-

indirettamente ionizzanti

- elettromagnetiche: raggi X e gamma
- neutroni

Energia delle radiazioni

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



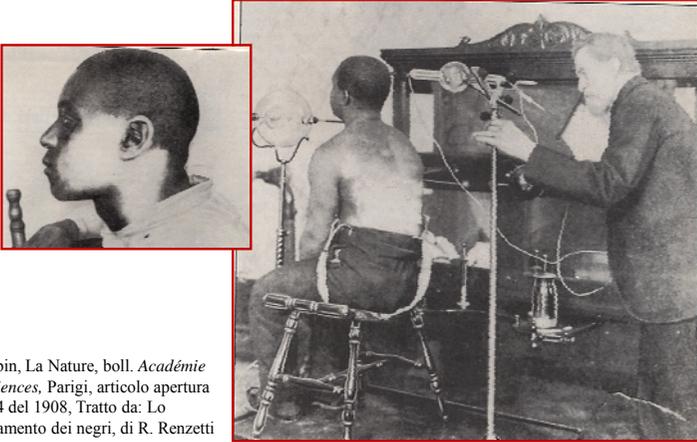
radiazioni non ionizzanti

le radiazioni emesse da:

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

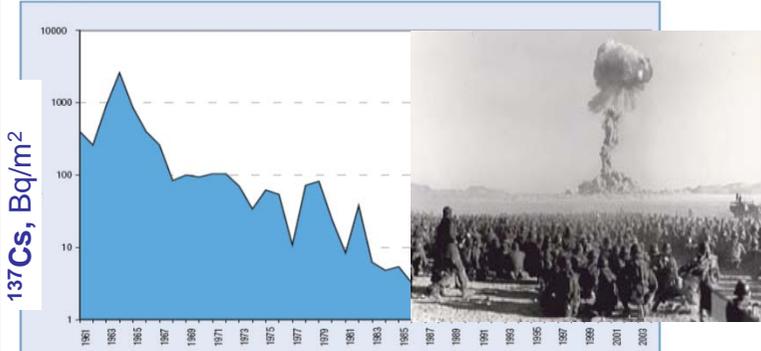
non hanno energia sufficiente per ionizzare

radioprotezione, un po' di storia...
si può cambiare il 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. Renzetti

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
 Fonte: ANPA, Stato dell' ambiente, 2004

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



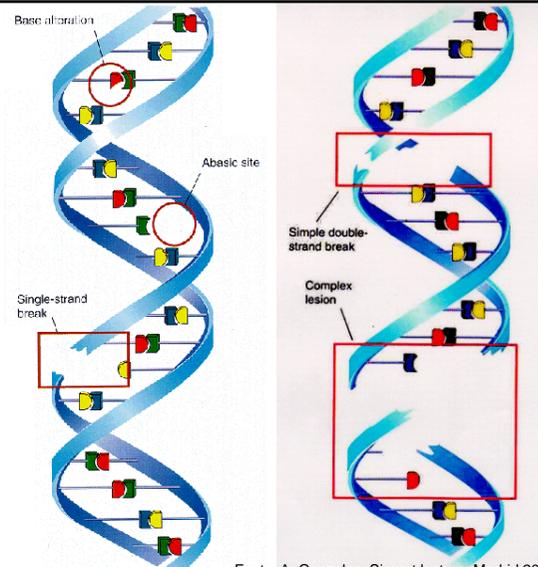
ON NE VIEILLIT PLUS
 MEUX ON Rajeunit

LA CRÈME ACTIVA
 radioactive

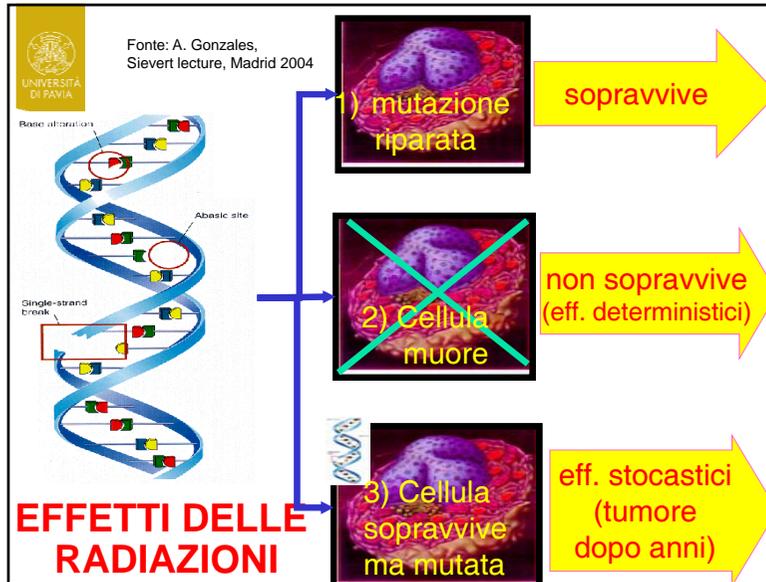
provoque une activité particulière de la vie des tissus, la peau mise en état de jeunesse constante devient plus fine et plus blanche et les rides disparaissent

Fonte: *Fonti Radioattive LURISIA*

EFFETTI delle RADIAZIONI IONIZZANTI



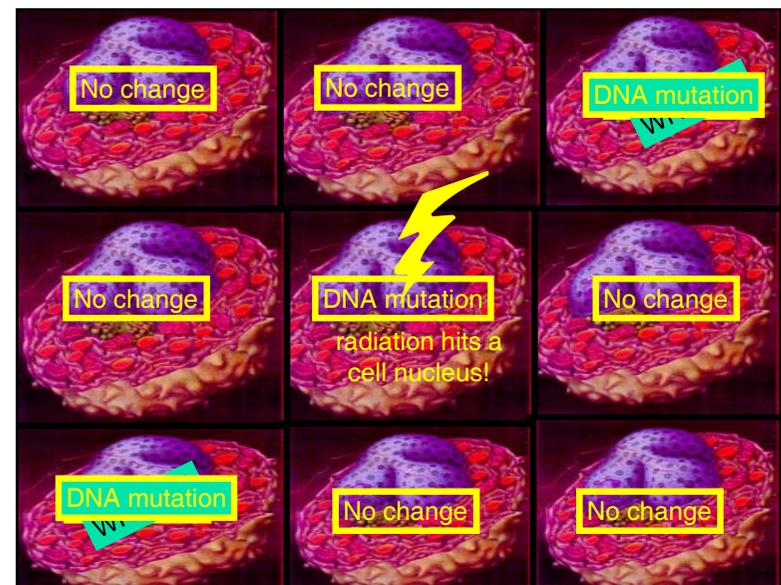
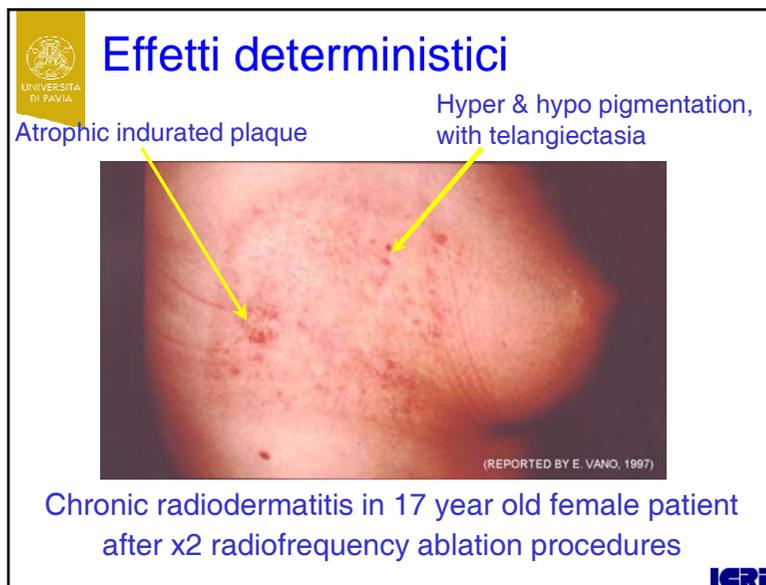
Fonte: A. Gonzales, Sievert lecture, Madrid 2004

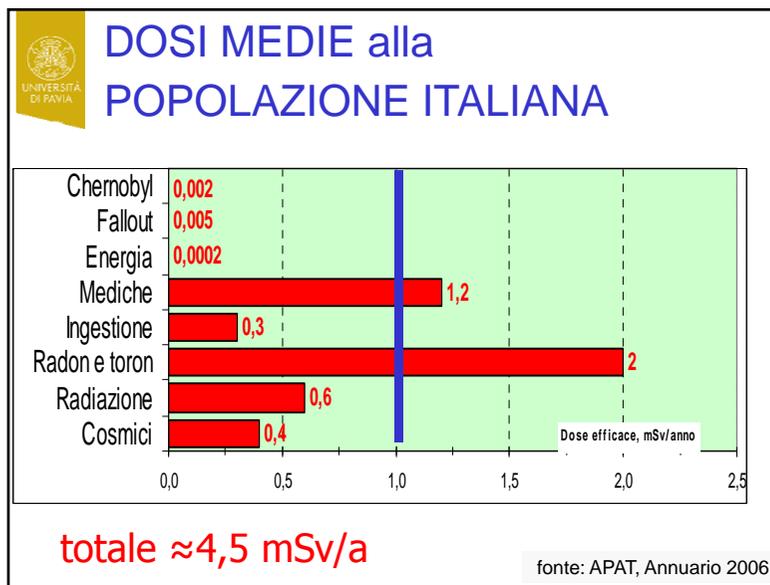
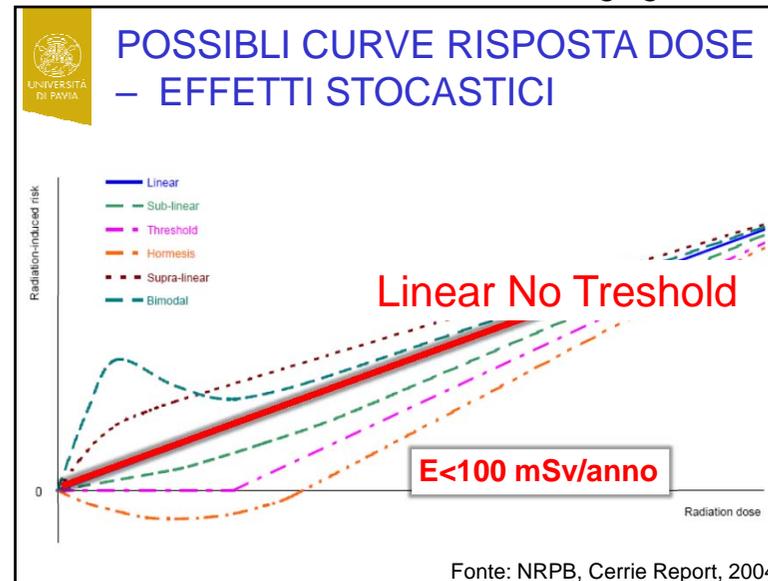
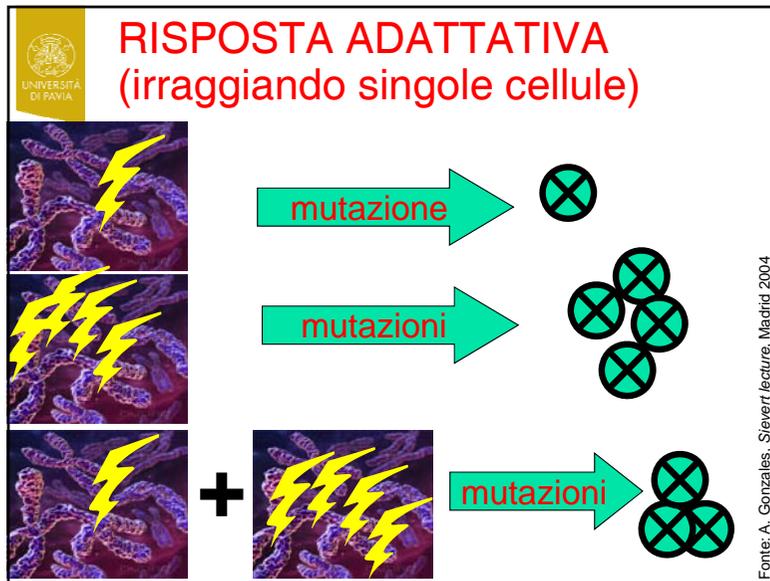


POSSIBILI EFFETTI

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





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

226Ra 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. VERITA', 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)

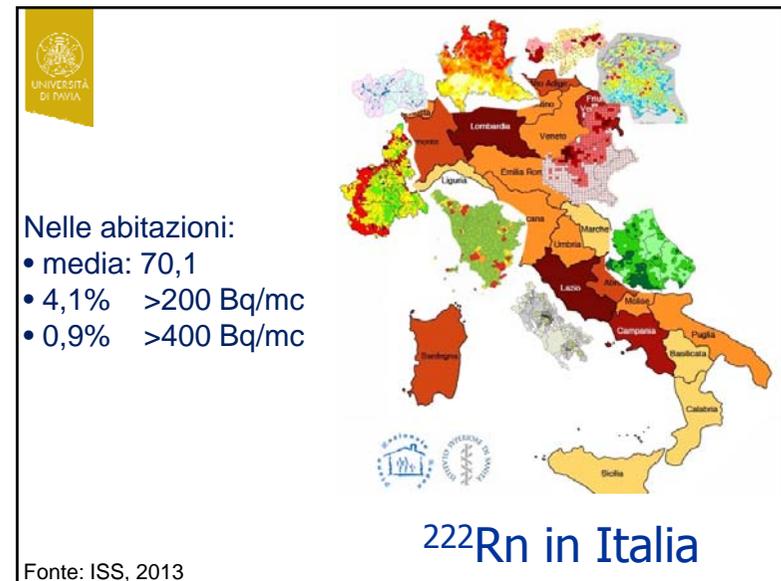
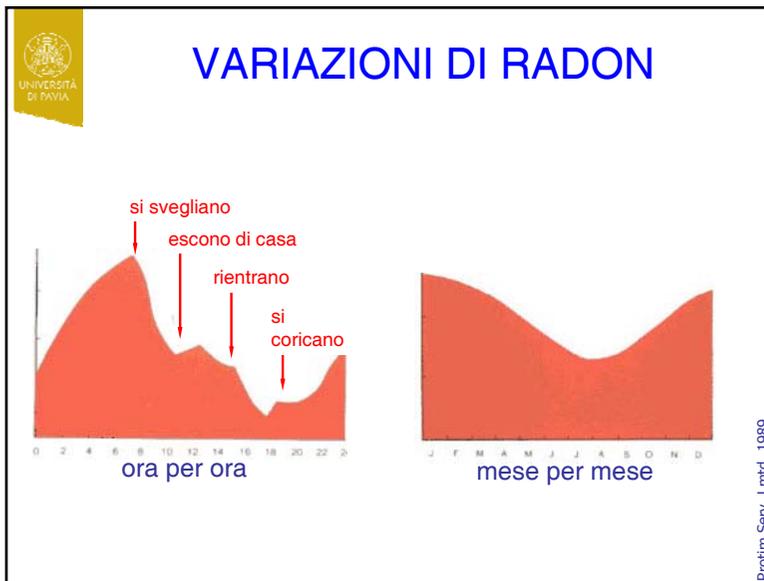
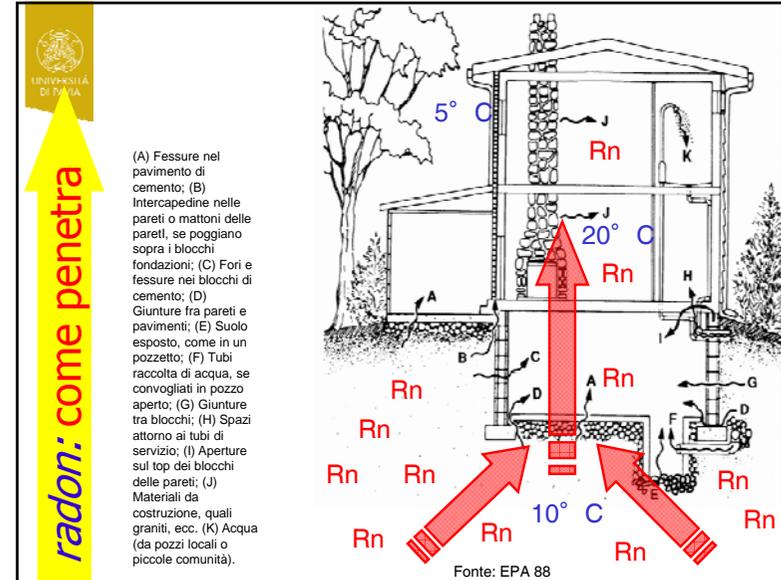
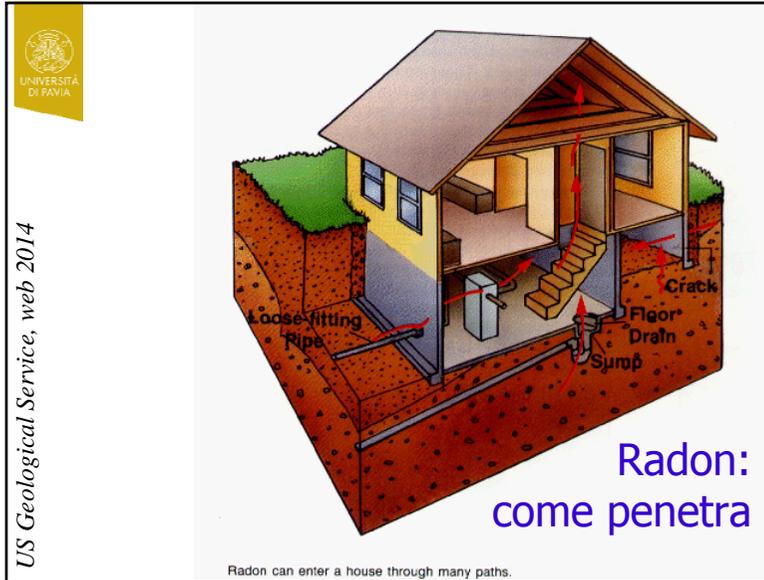
radon: famiglia del Rn-222

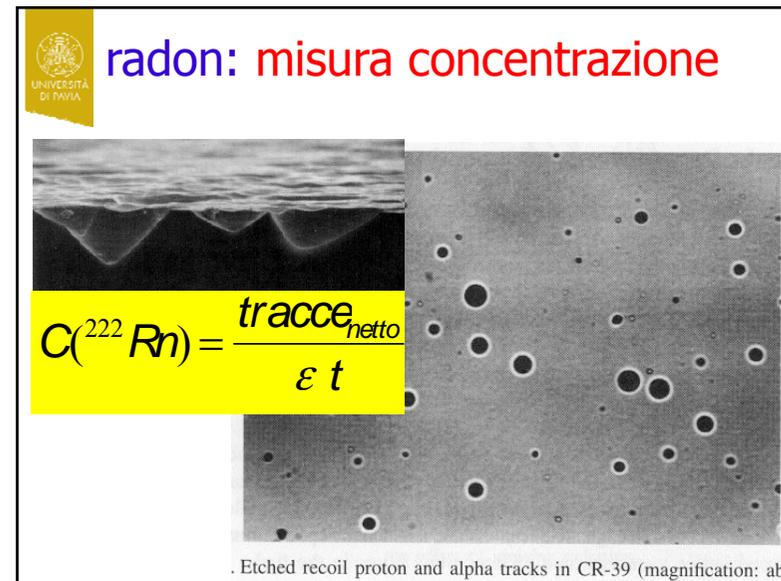
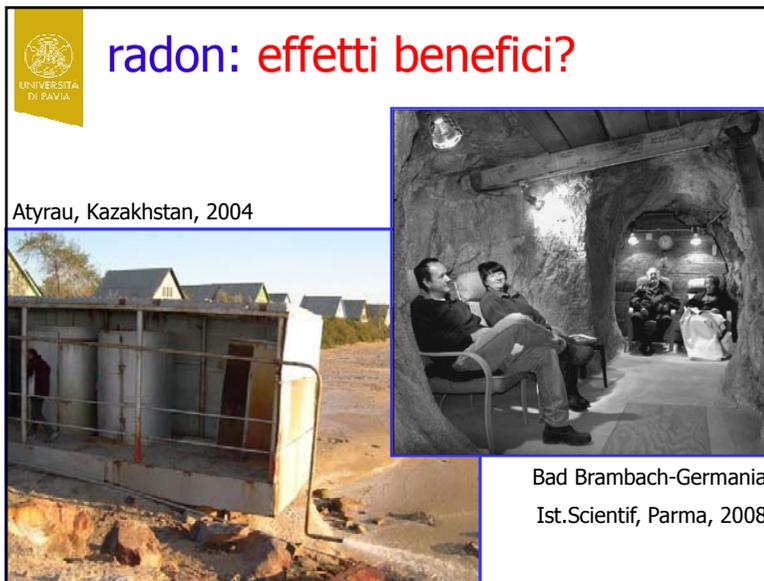
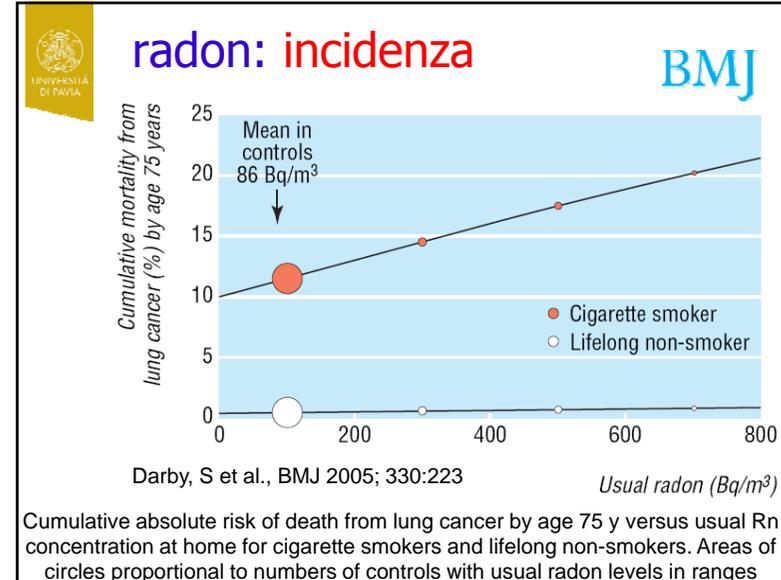
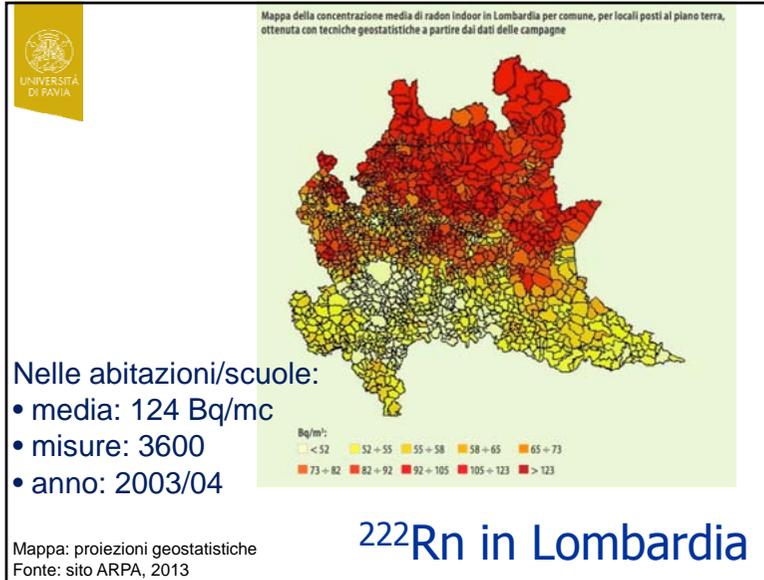
dose non deriva dal ${}^{222}Rn$ ma dai prodotti di decadimento, metalli pesanti e radioattivi, che si depositano nei polmoni:

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

radon: i 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





radon: misura concentrazione



NB: busta chiusa il Rn entra egualmente (!)

RAGGI COSMICI



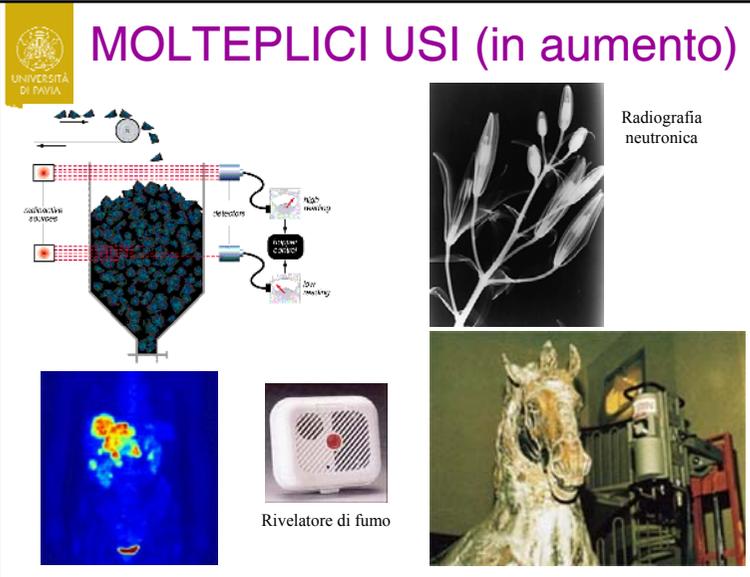
360 km	0.04 mSv/h	Eventi solari (particelle) possono causare dosi di 1000 mSv o più. Dipende dagli schermi (elettronici).
100 km	0.01	
15 km	0.01	
10 km	0.005	equipaggio di aereo: >2 mSv/anno 20 ore volo: ~0.1 mSv!
6.7 km	0.001	- Himalaya
3.7 km		- Lhasa, Tibet; Kami, Bolivia
2.25 km	~0.0001	- Città del Messico
1.6 km		- Denver
mare	0.00003	

RADIOATTIVITÀ NEL CORPO UMANO

Radionuclidi naturali	Attività [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
figli del Rn-220	30
H-3 ($T_{1/2} = 13$ a)	25
Be-7 (53,2 g)	25
Altri	7
TOTALE	~9.120 Bq

A. Romer, marzo 2004

MOLTEPLICI USI (in aumento)



Radiografia neutronica

Rivelatore di fumo

IMMAGINE RADIOGRAFICA

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

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

Fonte: Johns, Cunningham, Phys of Radiolog.

Radiografia/scopia con mezzo contrasto

Fonte: MCRP133 - 2002

il mezzo di contrasto (bario)

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

$$I(x) = \frac{I(0)}{e^{\mu x}}$$
 a parità di energia:
 $\mu_{mezzo\ contrasto} > \mu_{muscolo}$

RADIOGRAFIA ... con MEZZO CONTRASTO e anche con SOTTRAZIONE IMMAGINE

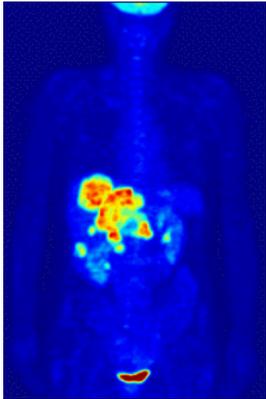
TAC Tomografia Assiale Computerizzata

TAC spirale

Figura da Brenner et al., N Engl J Med 2007;357:2277-84.

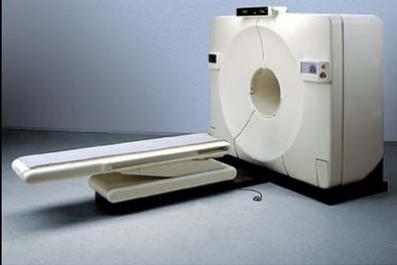
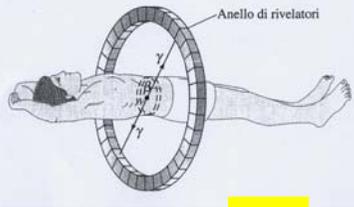
MEDICINA NUCLEARE

si iniettano atomi radioattivi legati a molecole che si concentrano nelle cellule patologiche da dove irradiano



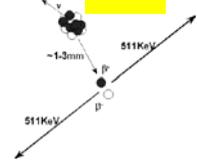

Fonte: cd-rom Regione Piemonte 2000; wikipedia 2013

PET ... antimateria ogni giorno in ospedale!

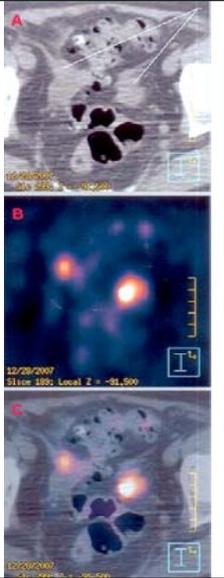



^{18}F

positron discovered by C.D. Anderson (1932) and theorized by P. Dirac (1928)



attuali frontiere TAC-PET sovrapposizione di immagini

DOSI MEDIE alla POPOLAZIONE ITALIANA

Fonte di radiazione	Dose efficace (mSv/anno)
Chernobyl	0,002
Fallout	0,005
Energia	0,0002
Mediche	1,2
Ingestione	0,3
Radon e toron	2
Radiazione	0,6
Cosmici	0,4

valori in aumento?

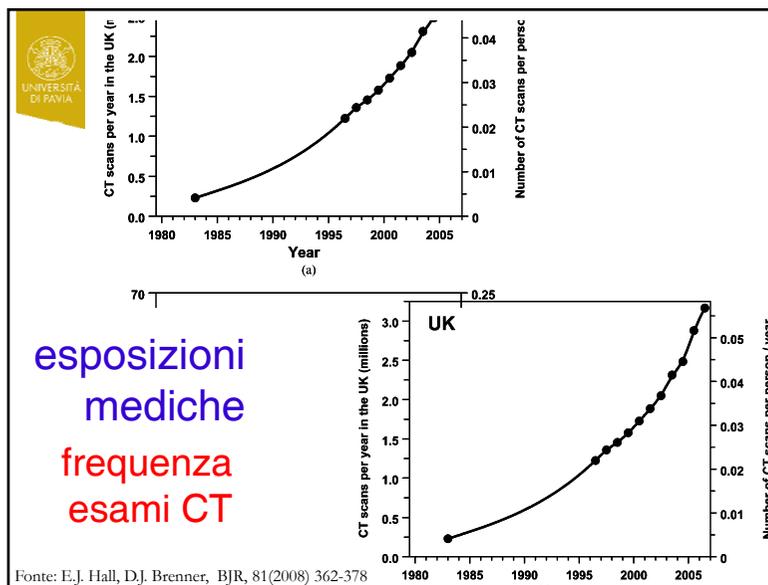
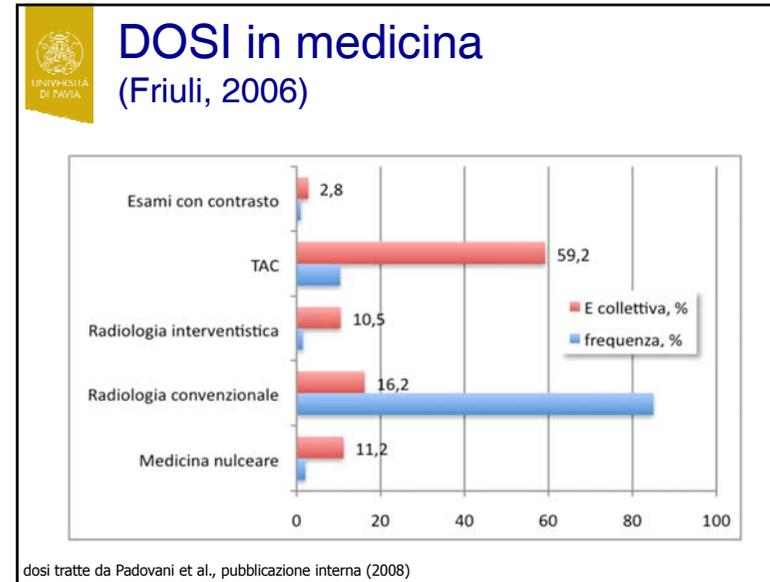
totale $\approx 4,5$ mSv/a

fonte: APAT, Annuario 2006

DOSI in radiodiagnostica

tipo di esame (precedura) 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

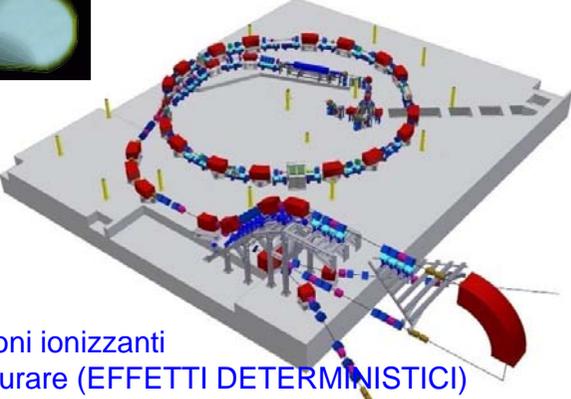
dosi tratte da Padovani et al., pubblicaz. interna (2008)



UNIVERSITÀ DI PAVIA

nuove frontiere
ADROterapia (a Pavia)

fondazioneCNAO



Le radiazioni ionizzanti possono curare (EFFETTI DETERMINISTICI)

UNIVERSITÀ DI PAVIA

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



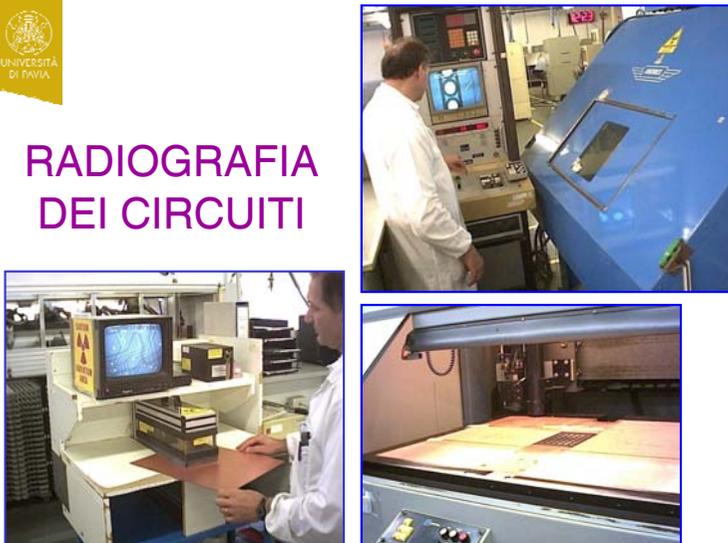
UNIVERSITÀ DI PAVIA

radiografia industriale



UNIVERSITÀ DI PAVIA

RADIOGRAFIA DEI CIRCUITI



RADIOGRAFIA DEI CIBI

RADIOGRAFIA CAMION

ora ...un confronto
IN EUROPA

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

quale priorità?

(+) 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

NOI IRRAGGIATI? *ma va... e dove?*

elio.giroletti@unipv.it

Thanks
...FOR YOUR INTEREST!

Pavia, 16 giugno 2015