

# Le radiazioni: usi, danni e miti

---

*Come orientarsi  
fra scienza, pseudoscienza e nuove paure*

# Radiazioni: che cosa sono?

---

*Una definizione molto semplificata:*

*Trasporto di energia, da una sorgente a un bersaglio,  
con o senza trasporto di materia:  
con effetti diversi sul bersaglio,  
a seconda della natura e dell'energia*

# Natura delle radiazioni

---

## ■ *Campi elettromagnetici*

- *Originati da cariche elettriche accelerate*

*Onde radio, radar, microonde*

- *Originati da processi negli atomi*

*Raggi IR, luce, raggi UV, raggi X*

## ■ *Radiazioni nucleari*

- *Originati da disintegrazioni di certi nuclei atomici*

*Radiazione  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , raggi cosmici*

# In ogni caso...

---

- *Interagiscono con la materia, vivente e non*
- *Vari modi di interagire*
- *In ogni caso*

## *Cessione di energia*

- *Ionizzazione di atomi e molecole*  
*oppure*
- *Riscaldamento*
- *Altri piccoli effetti*

# Ionizzazione

---

- *Atomi e molecole:*

- *Elettroni legati a nuclei atomici*

- *Radiazione di energia elevata*

- *Molta energia ceduta al singolo atomo*
- *Possibilita' che uno o piu' elettroni siano staccati dall'atomo*
- *Conseguenza: rottura di legami chimici, variazioni nella struttura molecolare*

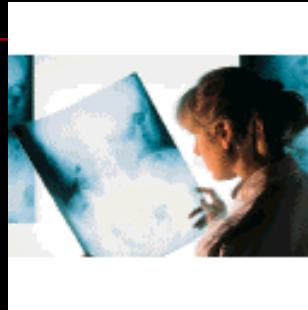
# Riscaldamento

---

- *Radiazione di energia modesta: piccolo assorbimento di energia da parte della singola molecola*
  - *Esempio: La molecola d'acqua assorbe volentieri energia da campi elettromagnetici a microonde (onde radio ad alta frequenza), senza ionizzarsi*
- *L'energia assorbita riscalda l'insieme delle molecole che assorbono:*
  - *Forno a microonde (grande), telefonino (piccolissimo)*

# Esempi: radiazioni ionizzanti

*Apparecchio a RX*



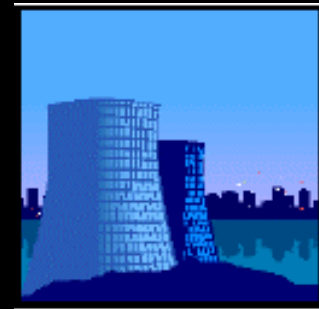
*Acceleratore di particelle*



*Sorgente radioattiva*



*Reattore nucleare*



*Raggi cosmici*



# Esempi: radiazioni non ionizzanti

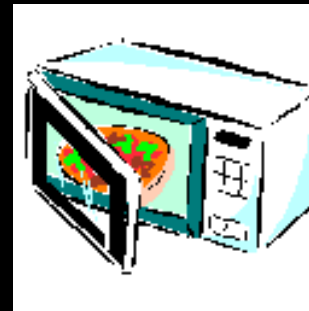
*Trasmittitore radio/TV, Radar*



*Telefono cellulare*



*Forno a microonde*



*Linea ad alta tensione\**



*Motore elettrico a c. alternata\**



*\*uso improprio: meglio campo elettromagnetico*



# Impatto sul progresso tecnologico

---

## *Campi elettromagnetici*

- *Trasporto e distribuzione dell'energia elettrica, usi quotidiani e industriali*
- *Energia solare*
- *Comunicazioni: telefon(in)o, radio/TV, radar (trasporti via terra, mare, aria), Internet, satelliti, fibre ottiche*
- *Diagnostica e terapia medica (raggi X, TAC, laser, risonanza magnetica, radar terapia, ...)*

# Impatto sul progresso tecnologico

---

## *Radiazioni nucleari*

- *Produzione di energia (centrali nucleari)*
- *Diagnostica medica (Scintigrafia, Raggi gamma, PET,...)*
- *Terapia medica (Cobalto, acceleratori lineari, adroterapia, ...)*
- *Archeologia, beni culturali (datazione, restauro,...)*

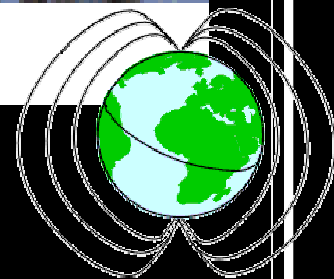
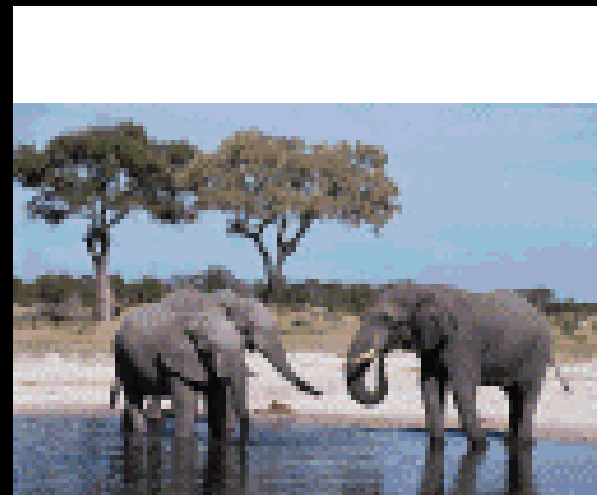
# Una invenzione controversa?

*No: tutti fenomeni naturali*

*Le radiazioni sono state scoperte,  
non inventate*

*I campi elettromagnetici sono  
presenti in natura (fulmini, c.  
magnetico terrestre, luce, fondo  
fossile a microonde)*

*Anche le radiazioni ionizzanti  
sono un fenomeno naturale  
(raggi cosmici, radioattività  
ambientale)*



# Il fondo di radiazione ionizzante

---

## *Origini diverse*

- *Sole e raggi cosmici*
- *Rocce, materiali*
- *Il nostro corpo*  
*(isotopi radioattivi, come il Potassio 40)*
- *Sorgenti artificiali*  
*(Raggi X, televisori, ...)*

# La dose

---

- *Concetto chiave per tutto il problema*
- *Quantita' di radiazione assorbita*  
*(Analogia: medicinale)*
- *Dipende da*
  - *tipo, energia, intensita' della radiazione*
  - *estensione dell'esposizione*  
*(Analogia: tintarella)*
- *Si misura in **rem** (sottomultiplo: **millirem**)*

# Fondo ambientale di radiazione

## *Dose annua da sorgenti naturali*

**Circa 300 mrem/anno**

▪ Radon	200 mrem
▪ Corpo umano	40 mrem
▪ Rocce	28 mrem
▪ Raggi cosmici	27 mrem

## *Dose annua da sorgenti artificiali*

**Circa 70 mrem/anno**

▪ Usi medici	53 mrem
▪ Prodotti di consumo	10 mrem
▪ Un volo transatlantico	2 mrem
▪ Guardare la TV	1 mrem
▪ Fallout da esplosioni atomiche	<1 mrem
▪ Produzione di energia	<1 mrem

# Esempi di sorgenti ambientali - 1

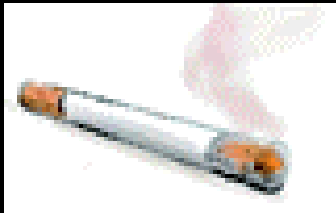
---



Cibi, particolarmente quelli ricchi in potassio



Radiografie; es. panoramica dentale > 10 mrem

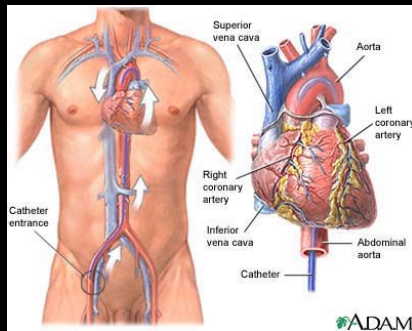


Fumo; 30 sigarette > 1000 mrem/anno,  
equivalente a circa 1500 RX al torace!

# Esempi di sorgenti ambientali - 2



Volo ad alta quota; equipaggio 200-300 mrem/anno



Cateterismo cardiaco: > 2000 mrem



Piazza S.Pietro: esposizione superiore a quella consentita negli ambienti di lavoro di una centrale nucleare

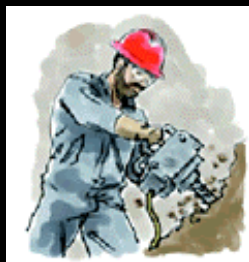


# Esempi di sorgenti ambientali - 3

---



Orologio luminoso – 8 mrem/anno



Minatore in miniera di uranio – 300 mrem/anno



Acqua potabile, emanazione da intonaco, pareti: *radon*  
200 mrem/anno

# Ma quali sono gli effetti biologici?

---

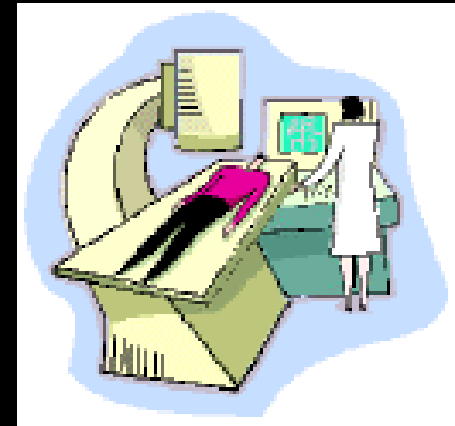
*Radiazioni ionizzanti: dipende dalla dose ricevuta*

*Alte dosi: effetti molto gravi, talvolta letali*

*Usate per curare tumori*

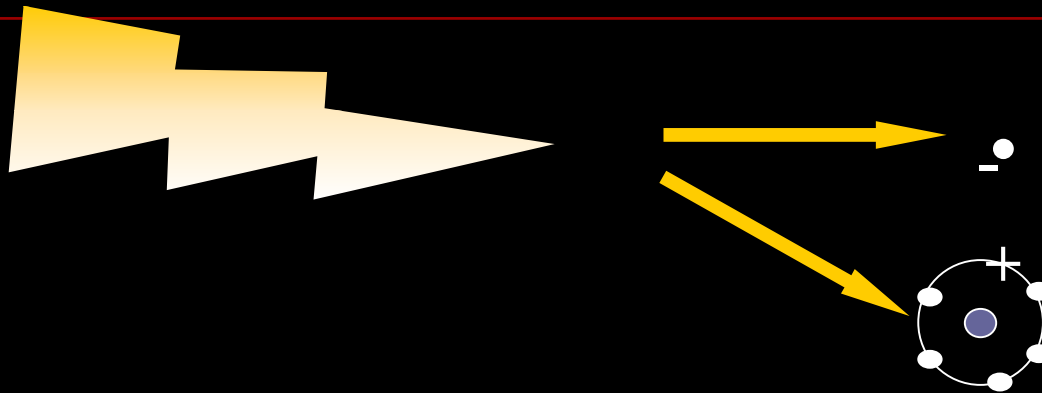
*Basse dosi: effetti molto piccoli, difficili da mettere in evidenza*

*Usate in diagnostica*



# L'origine del danno biologico

---

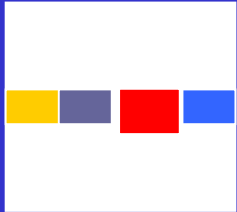


*Creazione di radicali liberi,  
specie chimiche molto attive*

*Attivazione di reazioni biochimiche che alterano la  
struttura cellulare*

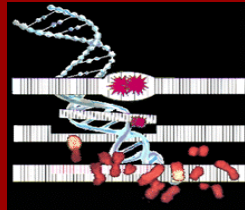
# La madre di tutte le biomolecole...

## DNA



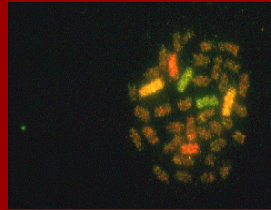
### Cambiamento di Codice

Un gene puo' cambiare il suo segnale per produrre una proteina



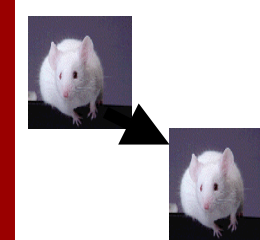
### Mutazione

Talvolta un gene specifico muta e non e' piu' in grado di produrre la sua proteina



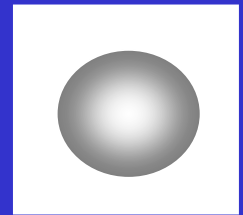
### Aberrazioni cromosomiche

Talvolta il danno colpisce un intero cromosoma, che si spezza o ricombina in modo anormale



### Instabilita' genomica

Talvolta il danno al DNA produce cambiamenti tardivi che possono contribuire all'insorgere del cancro



### Distruzione cellulare

Il DNA danneggiato puo' causare apoptosi, la morte programmata della cellula

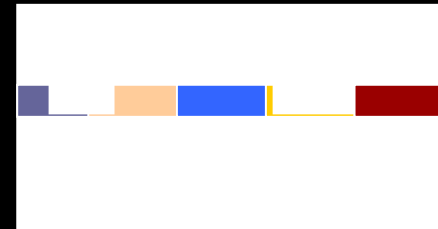
# Effetti sul nostro corpo: alte dosi



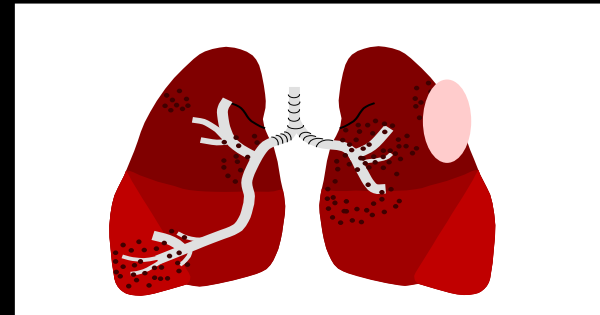
Morte di molte cellule



Malattia da radiazioni



Molte alterazioni genetiche



Cancro

# Effetti sul nostro corpo: basse dosi

---

- *Alcuni osservati chiaramente:*
  - *Aumento di attivita' di "riparazione genetica"*
  - *Adattamento della "risposta cellulare"*
  
- *Altri non osservati in modo certo:*
  - *Instabilita' genomica?*
  - *Mutazioni?*
  - *Cancro?*

# Effetti a basse dosi: ci sono o no ??

---

- *Perche' potrebbero non esserci?*
  - *Le cellule usano meccanismi biochimici di autoriparazione, estremamente efficaci*
- *Perche' e' cosi' difficile osservarli?*
  - *Presenza di radiazione di fondo ambientale*
  - *Molte cause del cancro, quasi tutte non legate a radiazioni*
  - *Non c'e' modo di distinguere il cancro indotto da radiazioni da quello indotto da un'altra causa*

# Quindi, distinguiamo:

---

Rad. ionizzanti: nella materia, vivente e non, possono rompere legami chimici, guastare o distruggere cellule, introdurre mutazioni nel DNA, ...

Rad. non ionizzanti: non possono rompere legami chimici, possono però indurre riscaldamento locale, trasporto di cariche elettriche negli elettroliti biologici, oppure indurre piccolissimi effetti magnetici



# Come e' andata a Chernobyl?

## Incidente gravissimo

*Gravi errori umani in una centrale con standard di sicurezza scandalosamente bassi*

*Conseguenze sanitarie accertate (Rapporto UNSCEAR all' ONU):*

*Perdita diretta di circa 50 vite umane*

*Previsione di circa altri 1000*

*decessi in 30-40 anni*

*Incremento di tumori alla tiroide nei bambini*



## Per confronto:

Numero tipico di decessi riportato dai media:

30-50000, anche 300000!

Folklore: molte mutazioni (pesci giganti, vitelli a tre teste, etc); aumento vertiginoso di malformazioni alla nascita; e molto altro ancora

# E l'uranio impoverito?

Uranio: presente in natura

---

*4 parti per milione, praticamente ovunque*

*3 tonnellate/km<sup>3</sup> in mare*

*Insieme ai fertilizzanti fosfatici*

*(Guerra in Iraq: equivalente a quello venuto con 17 anni di fertilizzazioni dei terreni)*

*Ne mangiamo (da sempre) circa 2 microgrammi/anno*

*Usato (impoverito) per molti scopi pratici (contrappesi, schermature per apparecchi a RX e acceleratori lineari per uso medico, ...)*

# Uranio e Balcani

---

- *Inchiesta condotta da Mandelli, noto ematologo*
- *Incidenza complessiva di cancro leggermente ridotta nel contingente che e' stato nei Balcani rispetto a un gruppo di controllo*
- *Tuttavia, limitata maggior incidenza di linfomi di Hodgkin*
- *Cause del linfoma di Hodgkin: non conosciute*

# Uranio

---

*E' certamente vero :*

*Alte dosi di radiazioni ionizzanti possono provocare leucemie*

*Ma :*

*Comportamento biologico e proprieta' fisiche dell'uranio, e i meccanismi e livelli di contaminazione realistici, rendono **estremamente improbabile** che i casi osservati siano dovuti a radiazioni*

# E le radiazioni non ionizzanti?

*Nessun effetto misurabile, a parte il riscaldamento ad alta frequenza (che, ad alte intensita', diventa "cottura" – vedi forno a microonde)*

*Usate in radiodiagnostica  
(risonanza magnetica)*

*Usate in terapia  
(radar terapia)*



# Ma e' proprio vero?

*Qual e' allora l'origine della paura delle linee ad alta tensione ?*

*Studio epidemiologico USA del 1979, sulla correlazione fra leucemia infantile ed esposizione a campi magnetici da linee ad alta tensione*

*Metodologia statistica sbagliata; nessuno studio successivo ha indicato nulla*

## Lo studio epidemiologico

Due modi per stabilire un nesso fra due fenomeni:

Modo A):

Relazione diretta causa-effetto  
(Es. avvelenamento da funghi)

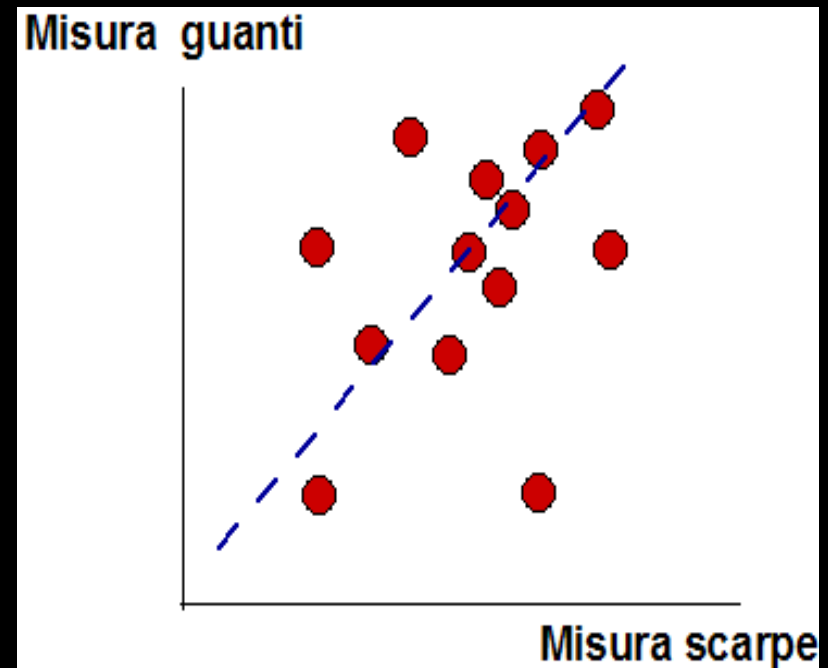
Modo B):

Correlazione statistica fra misure  
(Es. eccesso di peso-infarto)

La correlazione puo' essere forte oppure debole; se e' debole il grado di fiducia statistico e' molto basso, e l'effetto si distingue male

# La correlazione statistica

- *Un esempio semplice:  
misura di scarpe e di guanti*
- *Donne o uomini con piedi grandi tendono ad avere mani grandi, e viceversa*
- *Ma la regola non e' assoluta  
(come la retta tratteggiata)*
- *La correlazione misura in modo quantitativo la tendenza*



# Correlazione fra fenomeni - 1

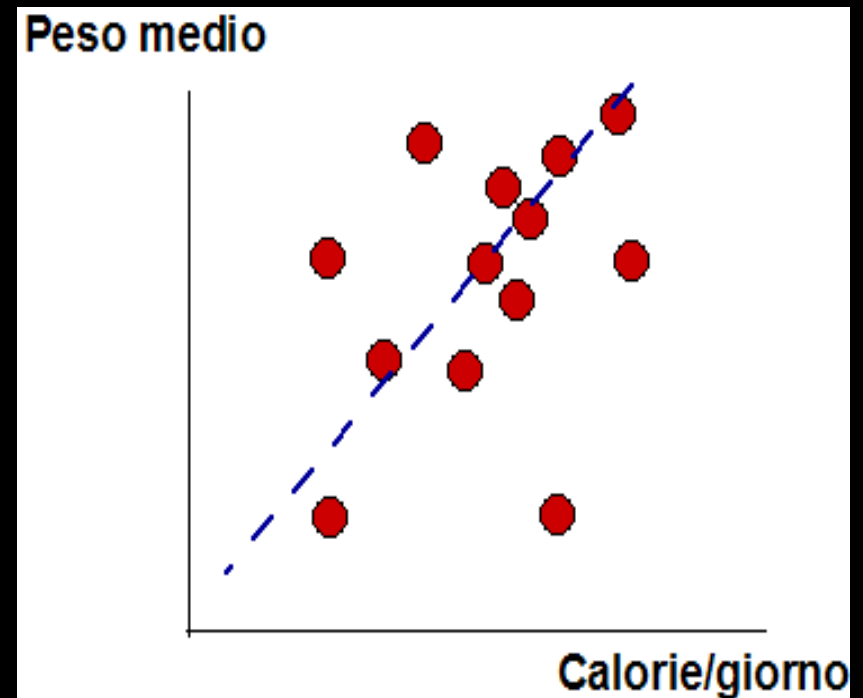
- *Esempio:*

*Peso medio e calorie per giorno*

- *Correlazione chiara*

- *Cosa c'è dietro?*

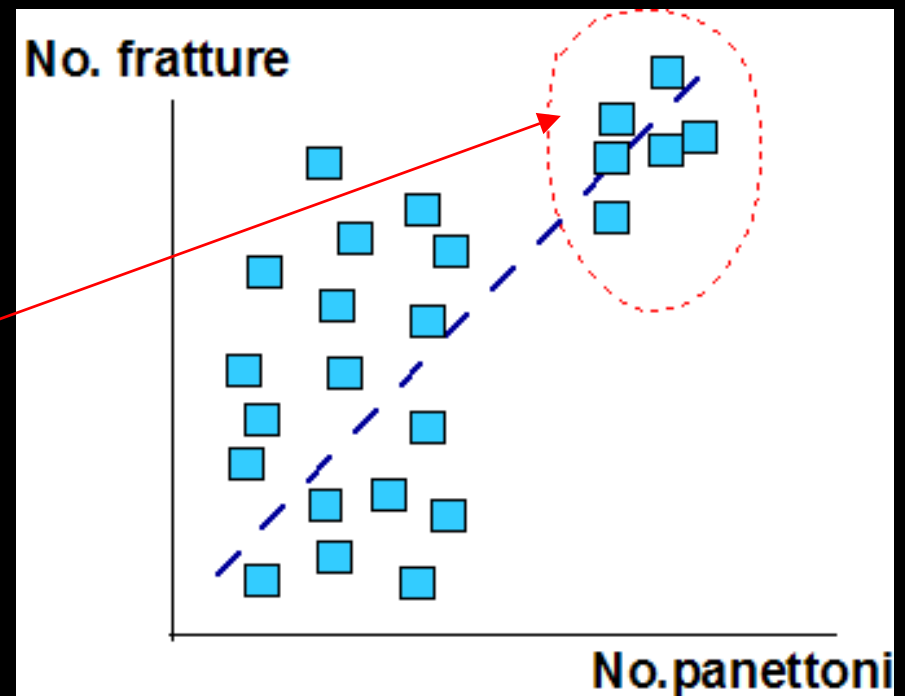
*Meccanismo biochimico di causa-effetto ben noto*





# Correlazioni fra fenomeni - 2

- *Altro esempio:*  
*numero di fratture della tibia e numero di panettoni consumati per giorno dell'anno*
- *Mangiare il panettone fa male alle ossa?*
- *Nessun meccanismo di causa/effetto ipotizzabile*



# Correlazione e causa-effetto

---

- *Relazione di causa/effetto conosciuta*
  - *→ Correlazione sempre osservata*
  
- *Correlazione osservata*
  - *→ Non necessariamente relazione di causa/effetto!*

# Tralicci e leucemie - 1

---

- *Lavoro originale: trovata (debole) correlazione fra incidenza di leucemie infantili e codice di allacciamento dell'abitazione alla linea elettrica*
- *Non c'era la misura dell'esposizione ai campi magnetici generati dalle linee elettriche*
- *Ma: chi abita vicino ai tralicci tende ad essere piu' povero di chi abita lontano ...*
- *E: chi e' piu' povero tende ad ammalarsi di cancro di piu' rispetto a chi e' piu' ricco ...*

# Tralicci e leucemie - 2

---

- *Nessuna ricerca successiva ha portato ad alcuna evidenza di una relazione di causa/effetto*
- *Tuttavia: la protesta, la protezione e la bonifica del cosiddetto “elettrosmog” e’ diventata nel frattempo un’industria (comitati, avvocati, giudici, partiti, media, imprese specializzate, ...) e non e’ prevedibile un ritorno alla ragione*

# Esempio: una correlazione forte

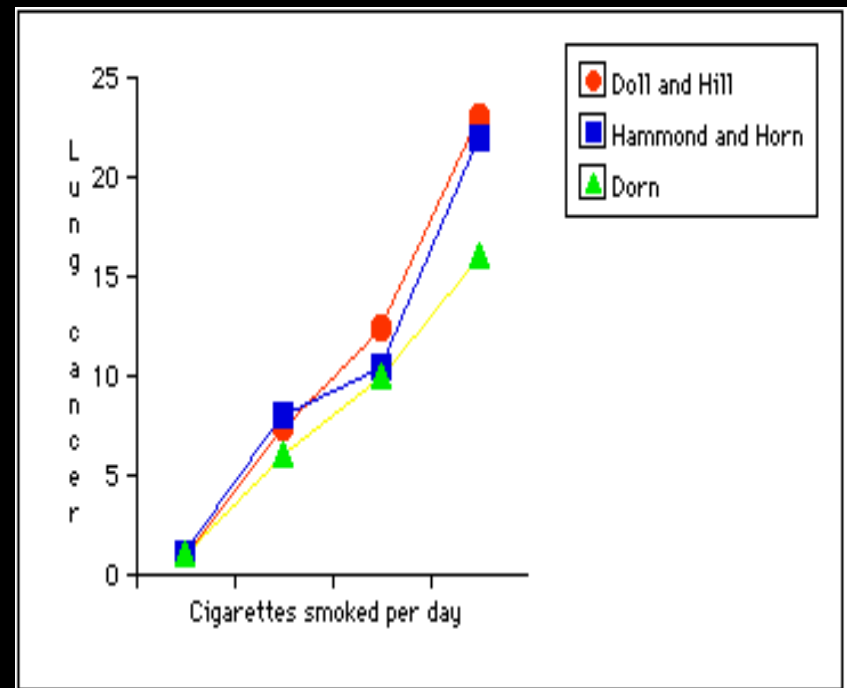
## *La relazione fumo-tumore polmonare*

Ascisse: sigarette al giorno

Da zero a >1 pacchetto

Ordinate: probabilita' di morte per tumori al polmone (%)

[Grafico da Kimball]



# Esempio: nessuna correlazione

## *Leucemie e campi elettromagnetici in Danimarca*

Ascisse: anni

Ordinate:

*Sinistra: incidenza di  
leucemie infantili*

*Destra: potenza elettrica  
per abitante*

[Grafico da R.Adair]

R K Adair

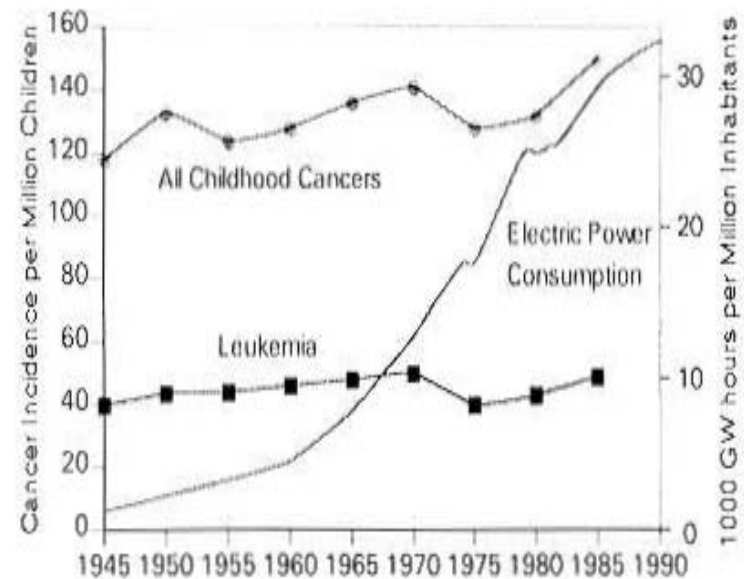


Figure 2. The incidence of all childhood cancer and childhood leukaemia in Denmark [128] from 1945 to 1990 along with the per capita use of electric power.

# Malgrado tutto, una morale: anzi due

---

*Ogni cittadino, elettore e contribuente dovrebbe sentire la necessità, nel suo proprio interesse, di interessarsi alla scienza e i suoi metodi: e' tanto indispensabile, per vivere nel mondo di oggi, quanto la patente o la conoscenza delle lingue straniere*

*Ogni cittadino, elettore e contribuente dovrebbe abituarsi ad accogliere le notizie di argomento scientifico-tecnico diffuse dai media (incluso il Web!) con un po' di cautela: così come tante scoperte mirabolanti di cui si è informati ogni giorno, molte notizie catastrofiche sono poco conclusive, o fuorvianti, o infondate*