



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

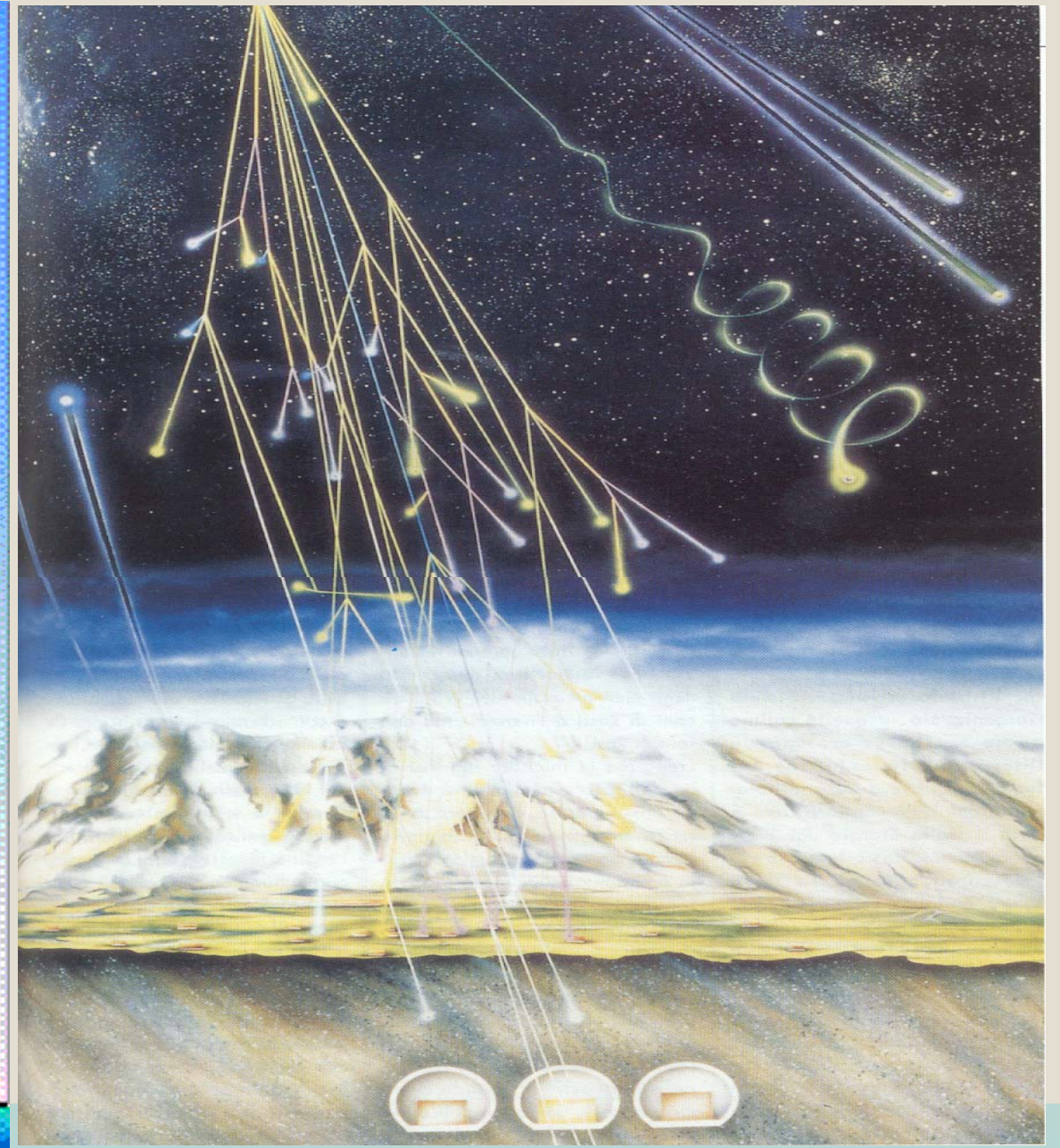
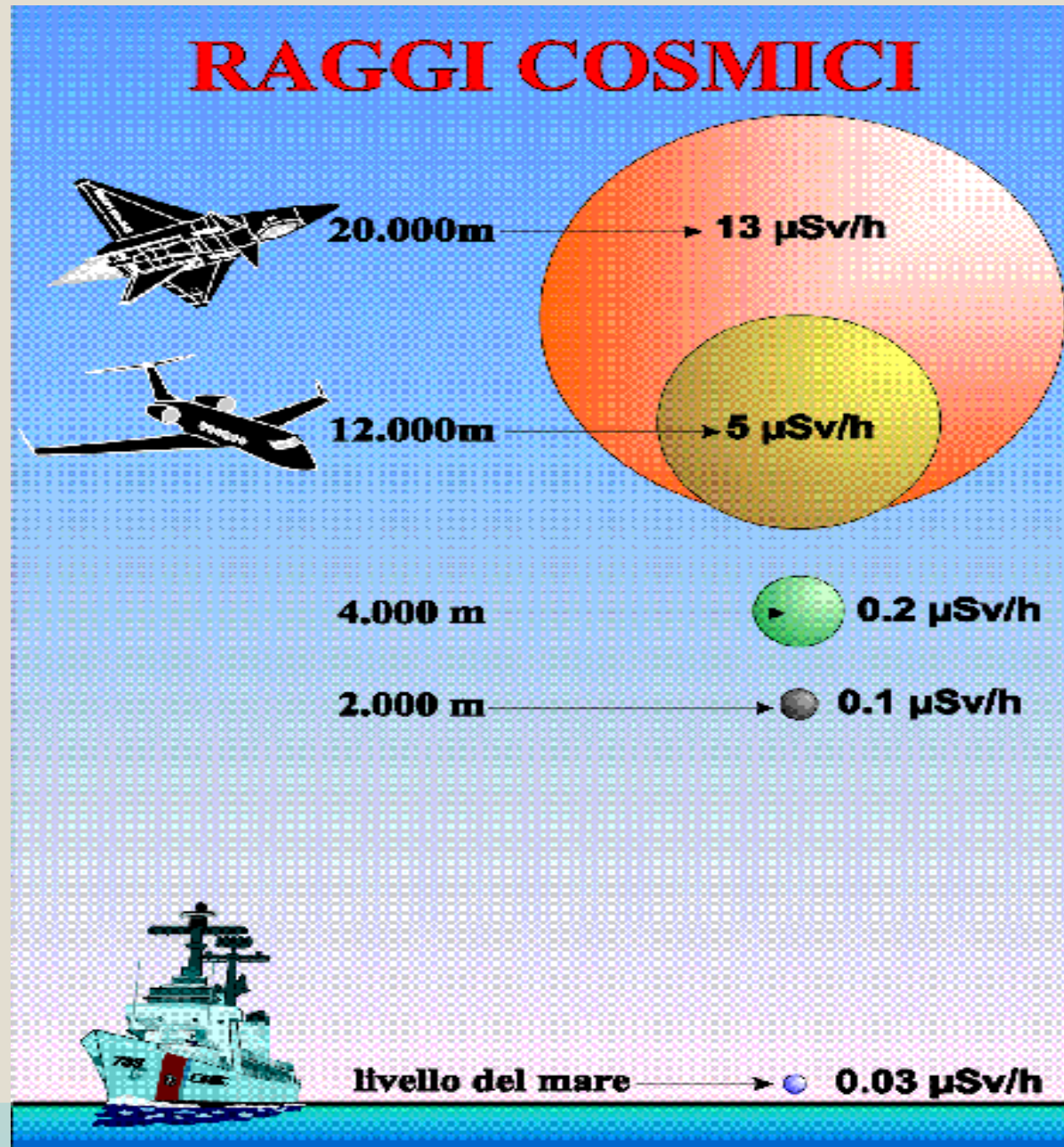
Antonella Nardoni

DO Produzioni Zootecniche



Gli effetti delle radiazioni sono dovuti
alla cessione della loro energia
(direttamente o indirettamente)
alla materia attraversata.

Radiazione cosmica



Il Radon nel terreno



Esposizione in esami clinici e altre attività

Examination	Conventional X ray dose (mSv)	Computed tomography dose (mSv)
Head	0.07	2
Teeth	< 0.1	-
Chest	0.1	10
Abdomen	0.5	10
Pelvis	0.8	10
Lower spine	2	5
Lower bowel	6	-
Limbs and joints	0.06	-

Source	Dose (mSv)
Artificial sources	
<i>Nuclear industry</i>	
Uranium mining	4.5
Uranium milling	3.3
Enrichment	0.1
Fuel fabrication	1.0
Nuclear reactors	1.4
Reprocessing	1.5
<i>Medical uses</i>	
Radiology	0.5
Dentistry	0.06
Nuclear medicine	0.8
Radiotherapy	0.6
<i>Industrial sources</i>	
Irradiation	0.1
Radiography	1.6
Isotope production	1.9
Well-logging	0.4
Accelerators	0.8
Luminizing	0.4
Natural sources	
<i>Radon sources</i>	
Coal mines	0.7
Metal mines	2.7
Premises above ground (radon)	4.8
<i>Cosmic sources</i>	
Civil aircrew	3.0

Radioattività ambientale in Italia



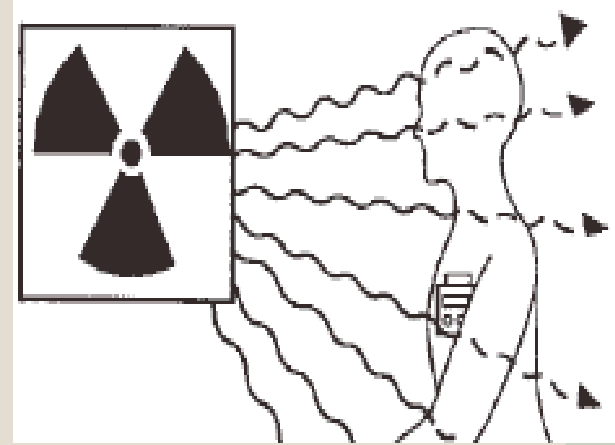
Modalità di esposizione

Esistono due diverse modalità di esposizione dell'uomo:

- esposizione esterna;
- esposizione interna.

Modalità di esposizione

- Nell'**esposizione esterna**, la sorgente di radiazioni è situata all'esterno del corpo.
- L'irradiazione in questo caso cessa al termine dell'esposizione, cioè non appena la sorgente viene spenta o allontanata.
- L'entità dell'irradiazione dipende dal **tempo di esposizione**, dalla presenza o meno di **materiali schermanti** tra la sorgente e la persona esposta e dalla **geometria di esposizione** (per esempio è inversamente proporzionale al quadrato della distanza).



Modalità di esposizione

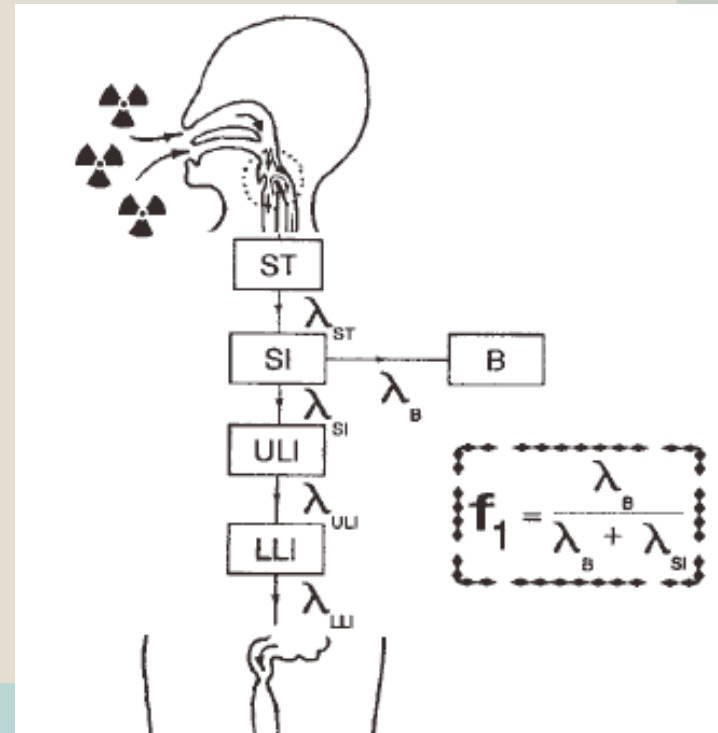
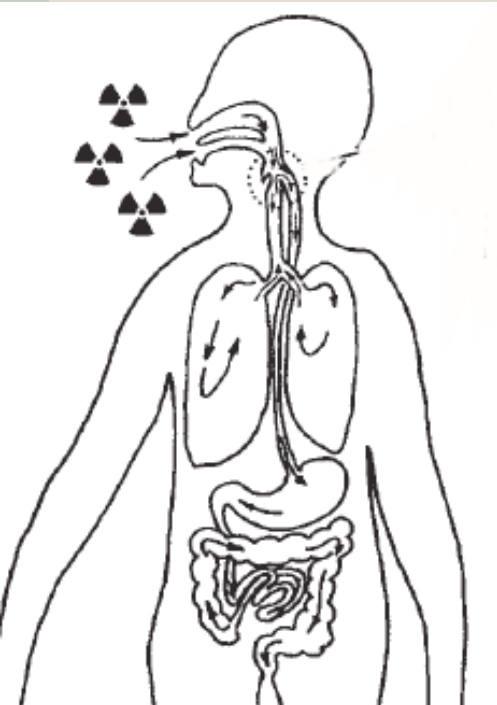
- Si parla invece di **esposizione interna** nei casi in cui nell'organismo della persona esposta siano state incorporate sostanze radioattive. Queste sostanze sono di norma metabolizzate con modalità legate alle loro proprietà chimiche e trattenute nell'organismo fino alla loro eliminazione con i normali meccanismi di escrezione o al loro decadimento fisico.
- Per tutta la durata della loro permanenza nell'organismo queste sostanze radioattive, che possono anche essere concentrate in particolari organi, continuano ad irradiarne i tessuti.



Modalità di esposizione

L'irradiazione interna può pertanto proseguire anche per periodi molto prolungati dopo l'esposizione (in alcuni casi per tutta la vita dell'individuo esposto).

Perché si possa parlare di esposizione interna vi deve essere comunque un'introduzione di sostanze radioattive (per **inalazione**, assorbimento transcutaneo, **ingestione** o iniezione).



Dall'irraggiatore all'irraggiato

Dall'emissione...

Sorgente radioattiva

Attività → becquerel, curie

Materiale irraggiato

Esposizione → C/kg, röntgen

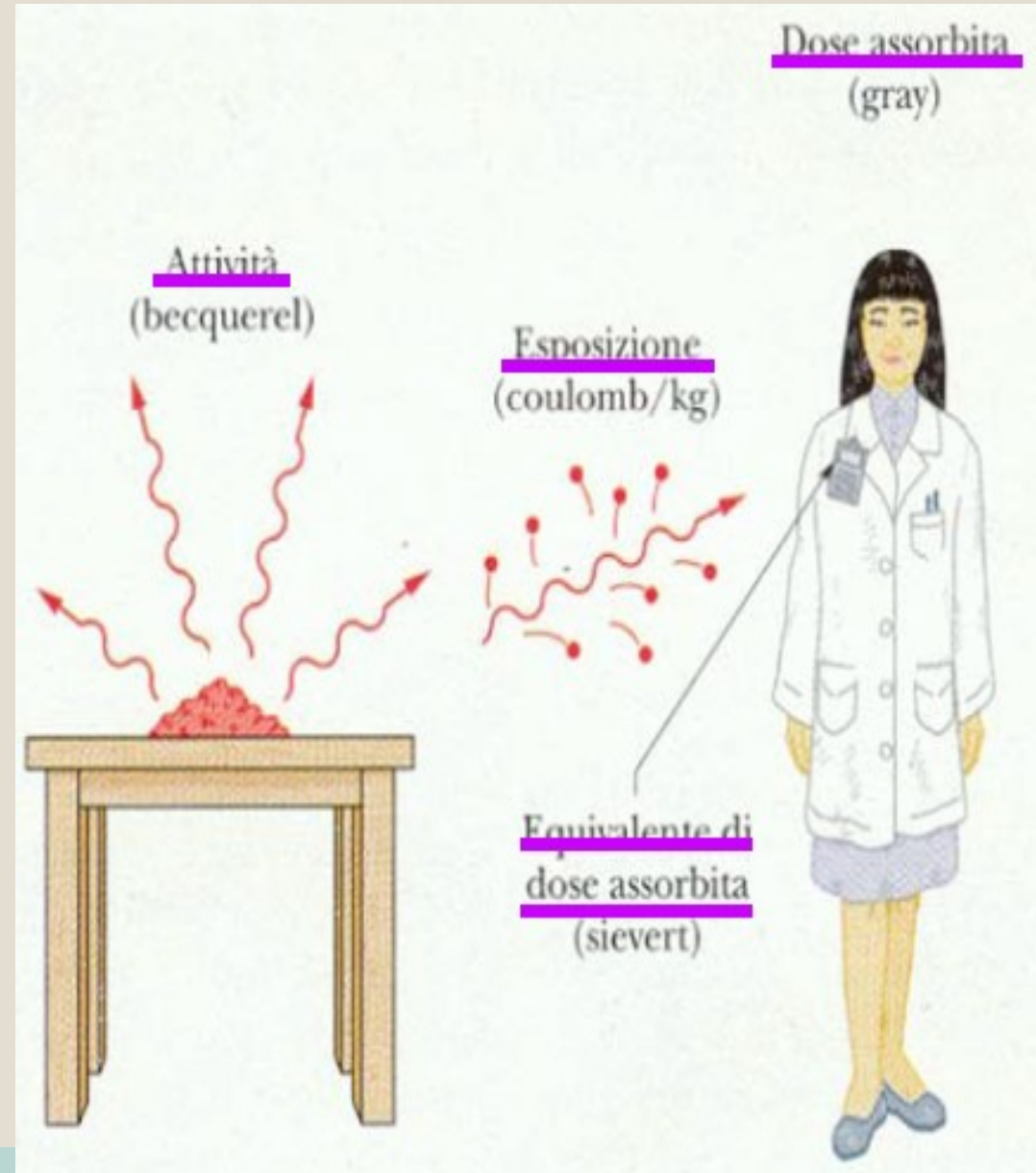
Assorbimento

Dose assorbita → gray, rad

Danno biologico

Dose equivalente/efficace
→ sievert, rem

...all'assorbimento

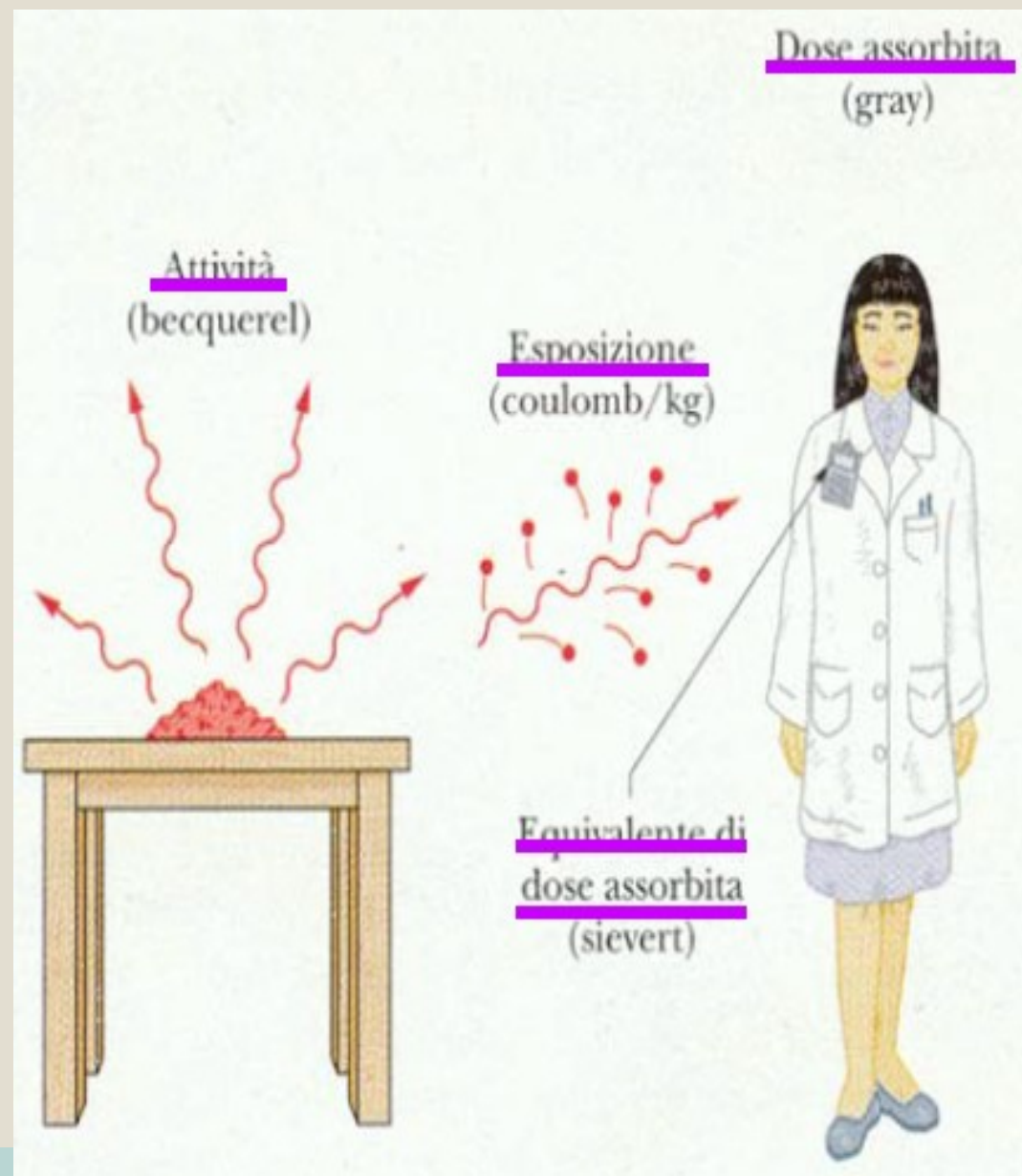


Emissione e assorbimento di radiazioni

Le radiazioni emesse da una sorgente radioattiva vengono irradiate nello spazio in tutte le direzioni.

Una loro frazione, dipendente dall'angolo solido e dalla distanza, colpisce il soggetto esposto cedendogli energia.

I danni che esso ne riceve dipendono dall'energia, dal tipo di radiazione, dagli organi che ne vengono colpiti.



Gli effetti biologici dipendono da....



Effetti biologici delle radiazioni

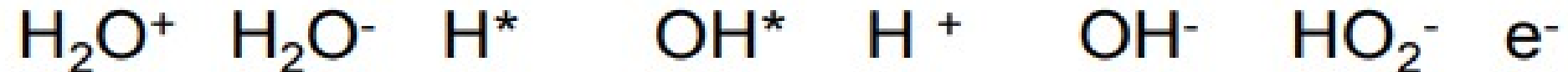
Da quanto detto è chiaro che questi danni sono legati alla **quantità di energia ceduta ai tessuti** viventi sotto forma di **ionizzazione e eccitazione**.

Da questa circostanza deriva la conseguenza che il **danno biologico** è in ogni caso **correlabile** con la grandezza dosimetrica **dose assorbita** nel **tessuto** (energia assorbita per unità di massa).

Danno microscopico

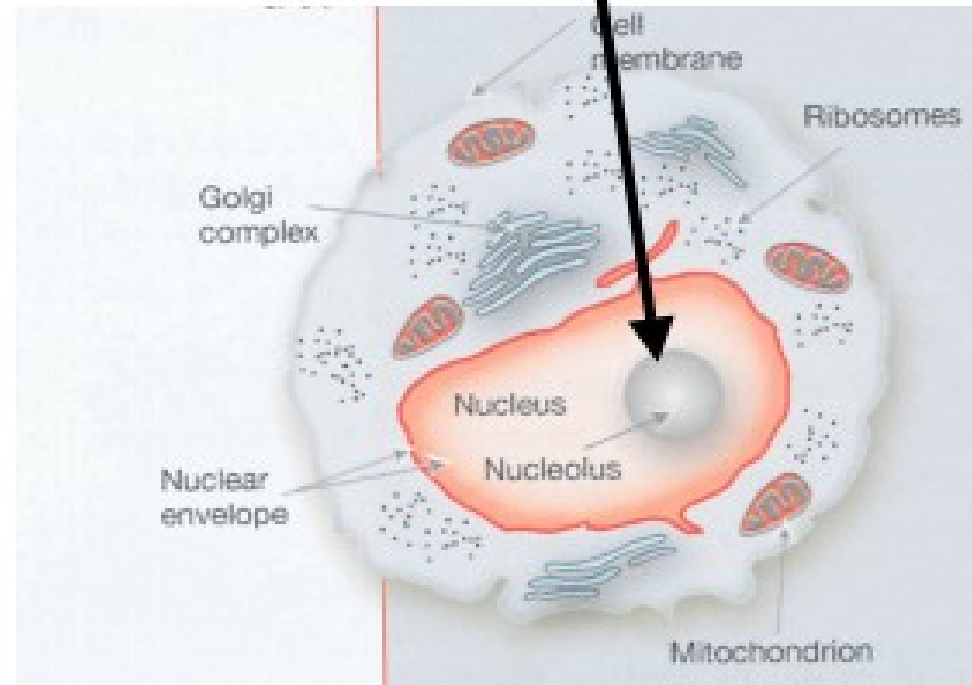
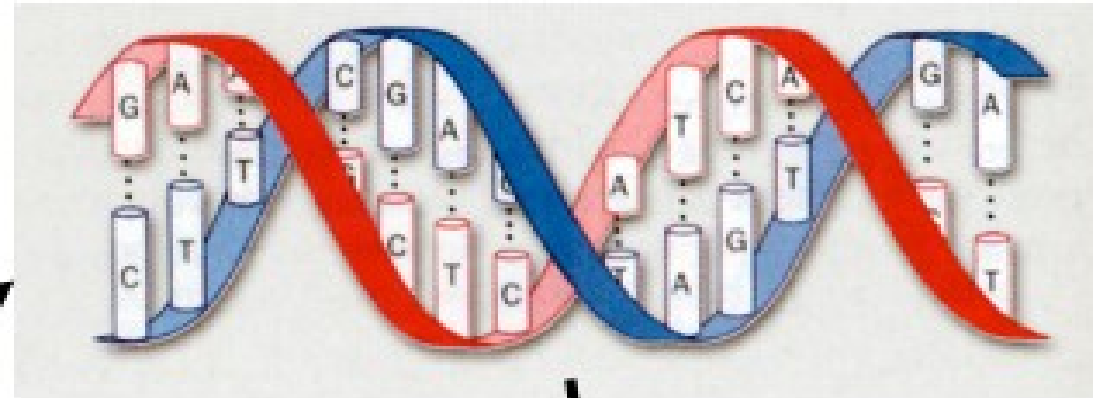
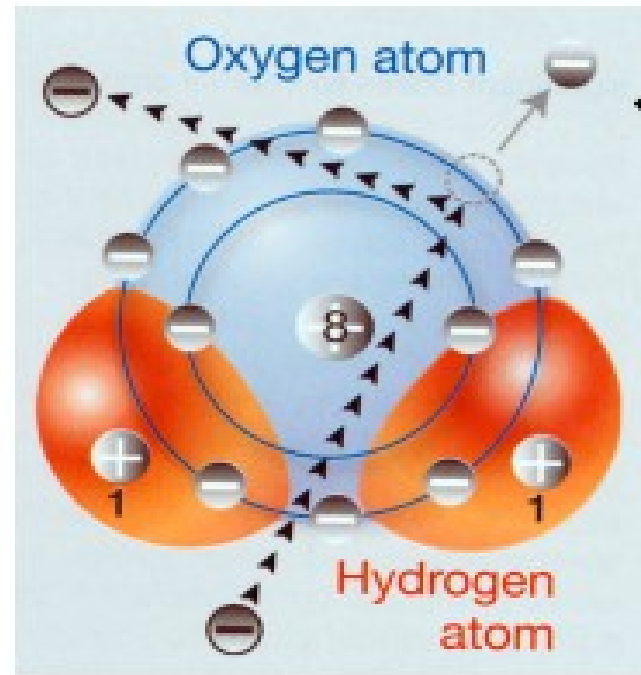
A livello microscopico, le radiazioni ionizzanti depositano energia che eccita e ionizza le molecole.

Il tessuto biologico è composto in gran parte di acqua. La ionizzazione dell'acqua produce RADICALI LIBERI, ed in particolare:



I radicali liberi, all'interno della cellula, danneggiano le BIOMOLECOLE (come il DNA) che ne governano la funzionalità.

Dalla ionizzazione al danno cellulare....



Il danno
biologico
al livello....

Molecolare

RNA
DNA
INTERFERENZE PROCESSI METABOLICI

Subcellulare

MEMBRANE
NUCLEI
CROMOSOMI
MITOCONDRI
LISOSOMI

Cellulare

INIBIZIONE DIVISIONE CELLULARE
MORTE CELLULARE
DEGENERAZIONE MALIGNA

Tessuto/Organo

SISTEMA NERVOSO
MIDOLLO OSSEO
INTESTINO
INDUZIONE DI NEOPLASIE

Animale in toto

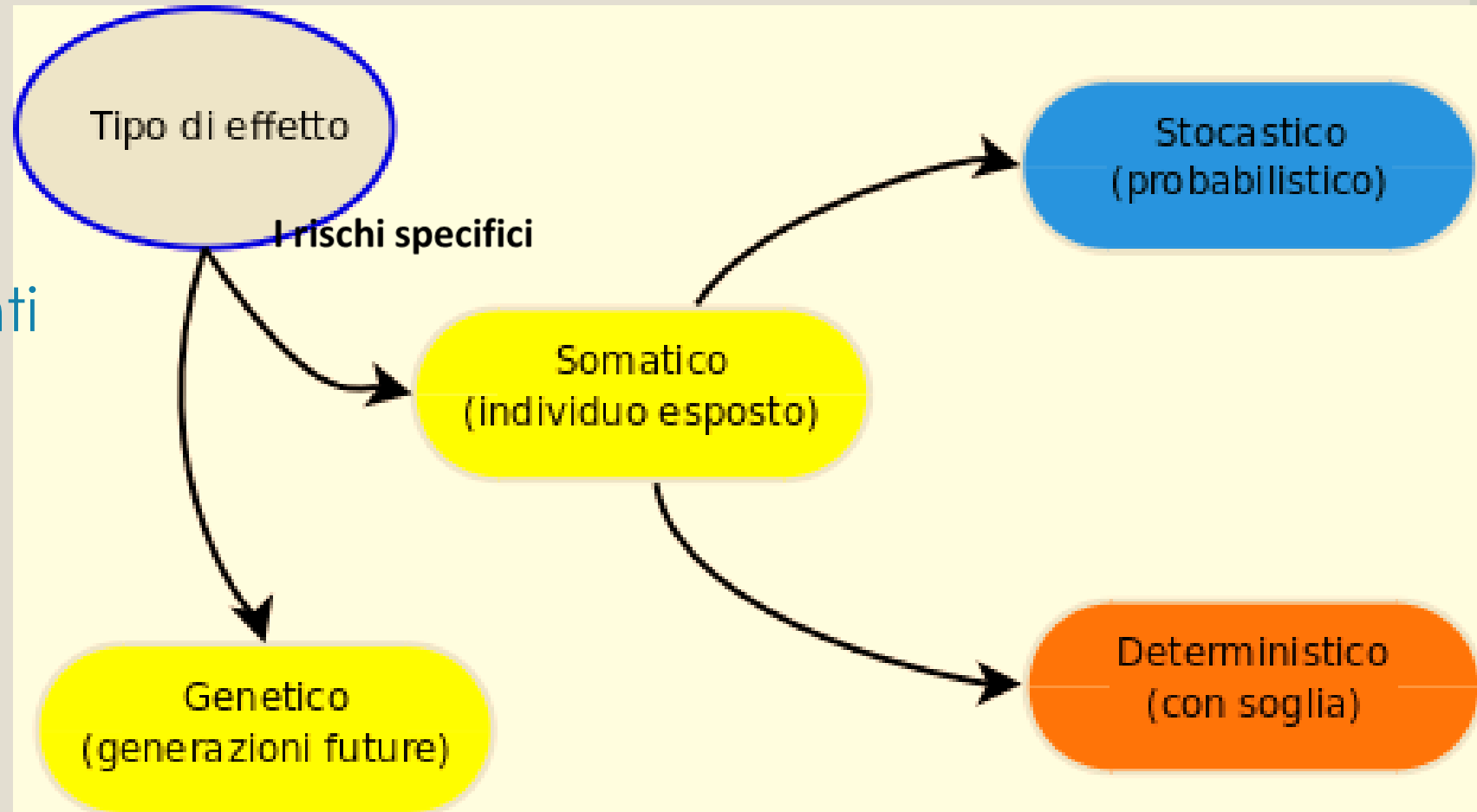
MORTE
ACCORCIAMENTO DELLA VITA

Popolazione di
animali

MUTAZIONI GENETICHE
MUTAZIONI CROMOSOMICHE

I rischi specifici

Il danno biologico da radiazioni ionizzanti può interessare direttamente l'individuo esposto (danno somatico) oppure i suoi discendenti (danno genetico).



Danno cellulare

EFFETTI SOMATICI NEI TESSUTI IRRADIATI

Effetti acuti e tardivi

Dovuti a variazioni funzionali
e morfologiche dei tessuti

Effetti deterministici

EFFETTI GENETICI NEI DISCENDENTI

Neoplasie maligne

- Leucemie
- Tumori solidi

Difetti ereditari di diversa
gravita'

- malattie
- malformazioni
- difetti mentali

Effetti stocastici

L'assorbimento delle radiazioni nella materia dipende dal tipo e energia della radiazione incidente e dal tipo di tessuto o organo colpito.

Effetti biologici delle radiazioni

Gli effetti biologici da radiazioni ionizzanti sono legati a complessi fenomeni che dall'evento iniziale di ionizzazione o eccitazione portano a danni alle cellule:

- **morte;**
- **perdita della capacità riproduttiva della cellula;**
- **alterazioni dannose senza perdita della capacità riproduttiva.**

Se l'energia ceduta è sufficiente (radiazioni ionizzanti: $E < 100 \text{ eV}$), si verificano nel materiale effetti distruttivi (frammentazioni, rotture di legami, ionizzazione, ...).

Particelle cariche: $\alpha, \beta^\pm, p \Rightarrow$ ionizzazione diretta degli atomi del mezzo
Particelle neutre: $n, X, \gamma \Rightarrow$ ionizzazione indiretta tramite produzione di particelle cariche secondarie

Effetti biologici delle radiazioni

La sensibilità di una cellula alla radiazione dipende dalla fase della vita della cellula. Cellule con più **alta radiosensibilità** hanno la più **alta frequenza di divisione cellulare**.

Nei mammiferi

Cellule estremamente radiosensibili: midollo osseo, tessuti linfatici, mucosa intestinale, ovaie e testicoli, cellule dell'embrione.

Cellule meno radiosensibili: encefalo, muscoli, ossa e reni.

L'effetto delle radiazioni sull'uomo dipende non soltanto dalla dose equivalente totale ma anche dal tempo e dal modo in cui essa viene somministrata:

- una dose equivalente non **frazionata** nel tempo è più dannosa della stessa dose frazionata (⇒ radioterapia)
- una dose somministrata all'intero volume del corpo è più dannosa della stessa dose somministrata soltanto a qualche parte del corpo
- una dose somministrata ad una parte radiosensibile del corpo è più dannosa della stessa dose somministrata ad una parte radioresistente
- dose somministrata a tessuto più **ossigenato** è più dannosa della stessa dose a tessuto poco vascolarizzato

Effetti dannosi

Considerando l'organismo nella sua interezza si possono avere implicazioni profondamente diverse, nel caso di.....

**...morte cellulare o
perdita della
capacità riproduttiva.**

**...alterazioni cellulari
senza perdita della
capacità
riproduttiva.**

Effetti deterministici (necrosi)

Il numero di cellule può diminuire anche notevolmente. Se i meccanismi di riparazione/ripristino non bastano per recuperare il tessuto perso, la funzionalità dell'organo o tessuto è compromessa. Esiste comunque un valore di soglia al di sotto del quale tale effetto non si manifesta e al di sopra del quale la gravità del danno arrecato aumenta al crescere della dose. Questo tipo di effetto è detto deterministico: esiste cioè una connessione causale fra dose ed effetto.

Effetti somatici deterministici

Sono quelli che l'individuo subisce entro
“breve tempo” a seguito di esposizione di
entità rilevante, la cui incidenza è
caratterizzata da una relazione

dose-effetto con soglia;

Effetti somatici deterministici

Indicativamente la soglia di sensibilità dell'organismo "in toto" è, per un **irraggiamento acuto**, dell'ordine di **0,25 Gy**, valore intorno al quale cominciano a manifestarsi le prime alterazioni ematologiche, rappresentate da un modesto, precoce e transitorio calo linfocitario, mentre la comparsa di qualche **aberrazione cromosomica** si verifica già per **l'assorbimento di una dose di un fattore 2-3 più bassa**.

Effetti stocastici

Le conseguenze sono del tutto diverse nel caso le cellule irradiate sopravvivano, anche se modificate, conservando comunque la capacità di riprodursi. Le cellule generate successivamente, dopo un periodo più o meno di latenza, possono degenerare provocando l'insorgenza di tumori, con probabilità crescente in funzione della dose ricevuta, proporzionalmente alla dose stessa, senza un valore di soglia e comunque per valori molto inferiori alla soglia per effetti deterministici. Questo tipo di effetto è detto stocastico: la probabilità di comparsa di tale effetto è cioè correlabile con la dose ricevuta soltanto sulla base di considerazioni statistiche

Effetti somatici stocastici

Che conseguono a seguito di esposizioni, anche di bassa entità, la cui incidenza è caratterizzata da una relazione

dose-probabilità.

Effetti genetici stocastici

Che conseguono ai discendenti della popolazione esposta, la cui incidenza si suppone avvenga anche nella specie umana, in conformità ad una relazione **dose-probabilità.**

Effetti biologici delle radiazioni

Caratteristiche degli effetti deterministici:

- Dose (elevata) determina 
 - Gravità
 - Frequenza
- Relazione dose effetto non lineare (sigmoide)
- Dose soglia dipendente da: 
 - Tipo e qualità della radiazione
 - Fattore di protrazione della dose
 - Tessuto o organo irradiato
 - Variabilità individuale
 - Sensibilità del metodo diagnostico
- Danno policitico (volume tessuto irradiato)
- Reversibilità (entro certi limiti)
- Insorgenza per lo più precoce
- Danno (relativamente) specifico

Effetti biologici delle radiazioni

Caratteristiche degli effetti stocastici:

- Dose (anche molto bassa) $\left\{ \begin{array}{l} \text{Non determina la gravità (legge del "tutto o nulla")} \\ \text{Determina la probabilità di comparsa} \end{array} \right.$
- Relazione dose-effetto lineare passante per l'origine.
- Dose soglia supposta assente per i fini della radioprotezione.
- Danno monocitico.
- Latenza lunga o molto lunga.
- Assenza di reversibilità.
- Danno aspecifico.
- Attribuzione eziologica su base probabilistica.

Misura delle radiazioni

Le radiazioni ionizzanti sono rivelate attraverso strumenti e metodi che si basano sulla capacità di ionizzazione del materiale che viene attraversato dalla radiazione stessa.

La strumentazione ha l'importante funzione di indicare oltre alla presenza di radiazioni, il tipo, il rateo di dose assorbita da esposizione e la dose assorbita integrata in un prefissato intervallo di tempo.

La misura si divide in due tipi:

- misura diretta con strumentazione portatile
- misura indiretta si effettua in laboratorio, mediante prelevamenti di alcuni campioni, con strumentazione di maggiore sensibilità

Misura delle radiazioni

La strumentazione impiegata per la rivelazione e la misurazione delle radiazioni si può distinguere in tre categorie:

1. **strumentazione portatile**
2. **strumentazione fissa**
3. **strumentazione dosimetrica per la sorveglianza individuale e ambientale**

Misura delle radiazioni

Strumentazione portatile

Impiegata nel programma di sorveglianza
per l'indicazione dei livelli di irradiazione
o di contaminazione radioattiva

Misura delle radiazioni

Strumentazione fissa

Che permette di

- fornire informazioni sul tipo di radiazione misurata,
- registrare i livelli misurati
- segnalare con allarme acustico il superamento dei valori di misura prefissati

Misura delle radiazioni

Strumentazione dosimetrica per la sorveglianza individuale e ambientale

Strumenti di misura di dimensioni adatti per essere indossati dai lavoratori che frequentano le zone con presenza di radiazione e/o contaminazione. Tale strumentazione, che fornisce l'indicazione della dose accumulata in un prefissato intervallo di tempo, è suddivisa a sua volta in due tipi di dosimetri:

Misura delle radiazioni

Strumentazione dosimetrica per la sorveglianza individuale e ambientale

- dosimetri passivi, cioè dosimetri che per fornire il risultato richiedono una fase di lettura successiva a quella di esposizione;
- dosimetri attivi o elettronici, ovvero dosimetri in grado di fornire la misura della dose accumulata in tempo reale, cioè durante l'esposizione.

Misura delle radiazioni

Strumentazione dosimetrica per la sorveglianza individuale e ambientale

I dosimetri per la **sorveglianza dosimetrica individuale** permettono di indicare la dose assorbita dai singoli operatori per verificare la permanenza dei valori di dose al di sotto dei valori preventivamente stabiliti e consentire di accertare, per via indiretta, che permangano le condizioni di sicurezza esaminate in fase di verifica ambientale

Misura delle radiazioni

Strumentazione dosimetrica per la sorveglianza individuale e ambientale

I dosimetri per la **sorveglianza dosimetrica ambientale** consentono di controllare gli ambienti di lavoro e di verificare che i livelli di dose da radiazioni ionizzanti non siano tali da comportare rischi per i lavoratori e per l'insieme della popolazione