

DEFINIZIONI

RADIAZIONI: emissione e propagazione di energia attraverso lo spazio o la materia.

Il termine radiazioni viene utilizzato per descrivere fenomeni fisici apparentemente diversi fra loro, quali la luce e il calore, la radiazione elettromagnetica, la radiazione corpuscolare, la radiazione cosmica...

RADIAZIONI IONIZZANTI: ogni radiazione capace di produrre il fenomeno fisico della ionizzazione che consiste nel rendere un atomo elettricamente carico (ione). Nei tessuti biologici gli ioni possono dar luogo a fenomeni fisici o chimici che possono influenzare i normali processi biologici, comportando modificazioni o morte delle cellule.

RADIOATTIVITÀ: processo di trasformazione (decadimento) spontaneo di nuclei con emissione di radiazioni corpuscolari o elettromagnetiche

RADIOISOTOPI: isotopi radioattivi

Sono isotopi quei nuclei aventi fra loro uguale numero di protoni (n° atomico Z) e differente numero di neutroni, quindi differente n° di massa (A). Gli isotopi dello stesso elemento hanno quindi identiche proprietà chimiche ma diverse caratteristiche fisiche.

SORGENTI RADIOATTIVE: sostanze che contengono radioisotopi ed usate per scopi medici, industriali, di ricerca, ecc.

MACCHINE RADIOGENE: ogni dispositivo capace di produrre radiazioni ionizzanti, eccetto le sorgenti radioattive. (>30 keV; $5 \div 30$ keV se $H > 1 \mu\text{Svh}$ ad 10 cm)

RADIAZIONI CORPUSCOLARI

Radiazioni costituite da particelle o atomi: α , β , neutroni,

RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Radiazioni costituite da onde elettromagnetiche: raggi X, γ

RADIAZIONI DIRETTAMENTE IONIZZANTI:

Radiazioni corpuscolari elettricamente cariche che ionizzano direttamente la materia che attraversano: α , β

RADIAZIONI INDIRETTAMENTE IONIZZANTI:

Radiazioni corpuscolari elettricamente neutre o radiazioni elettromagnetiche che nell'interazione con la materia che attraversano producono dei secondari carichi i quali, a loro volta, ionizzano la materia: raggi X, γ , neutroni

radiazioni α = costituite da un atomo di elio (due neutroni e due protoni); sono poco penetranti (pochi micron in acqua o pochi cm in aria) e quindi ad alta ionizzazione specifica. Non superano lo strato morto della pelle e sono pericolose soltanto se i materiali α -emettitori sono introdotti nell'organismo. Radionuclidi: U-238, Po-210, Am-241, Ra-226, Rn-222 ...

radiazioni β = particelle leggere (elettroni o positroni) con penetrazione di pochi mm in acqua o pochi metri in aria. L'introduzione nel corpo di materiali β -emettitori può essere pericolosa ma molto meno di quella degli α -emettitori Radionuclidi: H-3, C-14, P-32, Sr-90, Tc 99, ...

radiazioni x e γ = radiazioni elettromagnetiche, simili alla luce e alle onde radio, molto penetranti. Soltanto materiali ad alta densità quali il piombo sono in grado di fermarli. La pericolosità dei raggi x e γ , specialmente nel caso di irraggiamento esterno, è strettamente connessa con l'elevata capacità di penetrazione che essi hanno nei vari materiali, tessuti viventi compresi. Radionuclidi: Cs-137, Co-60, I-121 ...

radiazioni neutroniche = sono particelle neutre (neutroni) molto penetranti, non ionizzano direttamente ma la loro interazione con la materia può generare particelle α , β , γ che a loro volta producono ionizzazione. Sono fermati da materiali leggeri quali acqua, paraffina, polietilene e calcestruzzo in spessori più o meno grandi. Radionuclidi: Cf-252, Am-Be ...

L' **energia** delle radiazioni ionizzanti si misura in Joule o, più comunemente e diffusamente, in elettronvolt (eV).

Un elettronvolt è l'energia che una carica elementare (protone o elettrone) acquisisce quando attraversa un campo elettrico con differenza di potenziale di 1 Volt.. Multipli sono il keV, il MeV, il GeV, etc.

L'energia ceduta dalle radiazioni ionizzanti al mezzo attraversato, cioè la **dose assorbita (D)**, si misura in gray (**Gy**), che equivale a 1 Joule/Kg

Per tener conto della diversa pericolosità delle radiazioni ionizzanti incidenti su tessuti viventi si introduce il **fattore di peso (o di ponderazione) della radiazione, W**. Pertanto il prodotto della dose assorbita D per il fattore di peso W prende il nome di **equivalente di dose (H)**, che si misura in **Sievert (Sv)** con i suoi sottomultipli (**μSv** e **mSv**), essa è la grandezza fondamentale per la dosimetria perché è un indicatore del rischio per gli effetti biologici delle radiazioni.

Radioattività naturale

Radioattività naturale terrestre: costituita dai principali radionuclidi primordiali, che sono il K-40, il Rb-87 e gli elementi delle serie radioattive dell'U-238, dell'U-235 e del Th-232. La concentrazione dei radionuclidi naturali nel suolo e nelle rocce varia fortemente da luogo a luogo in dipendenza della conformazione geologica delle diverse aree.

Radioattività naturale in aria: Nell'aria, la radiazione naturale è dovuta principalmente alla presenza di radon (Rn-222) e toron (Rn-220), cioè di gas (7,5 volte più pesanti dell'aria) appartenenti alle famiglie dell'uranio e del torio. Il contributo maggiore alla dose assorbita deriva dal radon e principalmente dalla sua inalazione in luoghi chiusi, esso può essere emanato dalle rocce, dai suoli e da materiali da costruzione di origine naturale.

Radioattività naturale nelle acque: le acque contengono una certa quantità di radioattività, dovuta sia alle piogge che trasportano le sostanze radioattive dell'aria, sia alle acque di drenaggio che convogliano nei bacini idrici sostanze radioattive presenti nelle rocce e nel suolo. Significativamente radioattive sono le acque calde solfuree negli impianti termali.

Radiazione cosmica: costituita dai raggi cosmici (protoni, alfa, nuclei pesanti), che provengono, per la maggior parte, dal profondo spazio interstellare e sono costituiti principalmente da particelle cariche positivamente. C'è anche una componente solare che trae origine dalle esplosioni nucleari sul sole e consiste essenzialmente di protoni. L'interazione della radiazione cosmica con la materia produce un gran numero di radionuclidi detti cosmogenici, di questi le dosi più elevate le forniscono il C-14 e il H-3 che vengono introdotti nel corpo umano attraverso la catena alimentare.

Radioattività naturale presente nel corpo umano: l'organismo può ritenersi in equilibrio, tramite la dieta e gli scambi respiratori, con l'ambiente in cui sono presenti numerosi radionuclidi naturali quali:

- H3, Be7, C14, originati dall'interazione della radiazione cosmica con l'atmosfera terrestre;
- K40, Rb87, La138, presenti primordialmente nella litosfera;
- U238, U235, Th232 e loro prodotti di decadimento.

Questi vengono introdotti nell'organismo degli individui in quantità variabile in relazione al luogo di residenza abituale ed alle particolarità della dieta alimentare da essi seguita.

TAB. I - Esposizione media mondiale alle sorgenti naturali.

UNSCEAR

Sorgente di esposizione	Dose efficace annuale (mSv)	
	Media	Intervallo tipico
Radiazione cosmica		
Componenti direttamente ionizzanti e fotoni	0,28	
Neutroni	0,10	
Radionuclidi cosmogenici	0,01	
Totale	0,39	0,3-1,0
Esposizione esterna alla radiazione terrestre		
All'aperto	0,07	
In luoghi chiusi	0,41	
Totale	0,48	0,3-0,6
Esposizione per inalazione		
Serie dell'uranio e del torio	0,006	
Radon (Rn-222)	1,15	
Toron (Rn-220)	0,10	
Totale	1,26	0,2-10
Esposizione per ingestione		
K-40	0,17	
Serie dell'uranio e del torio	0,12	
Totale	0,29	0,2-0,8
Totale	2,4	1-10

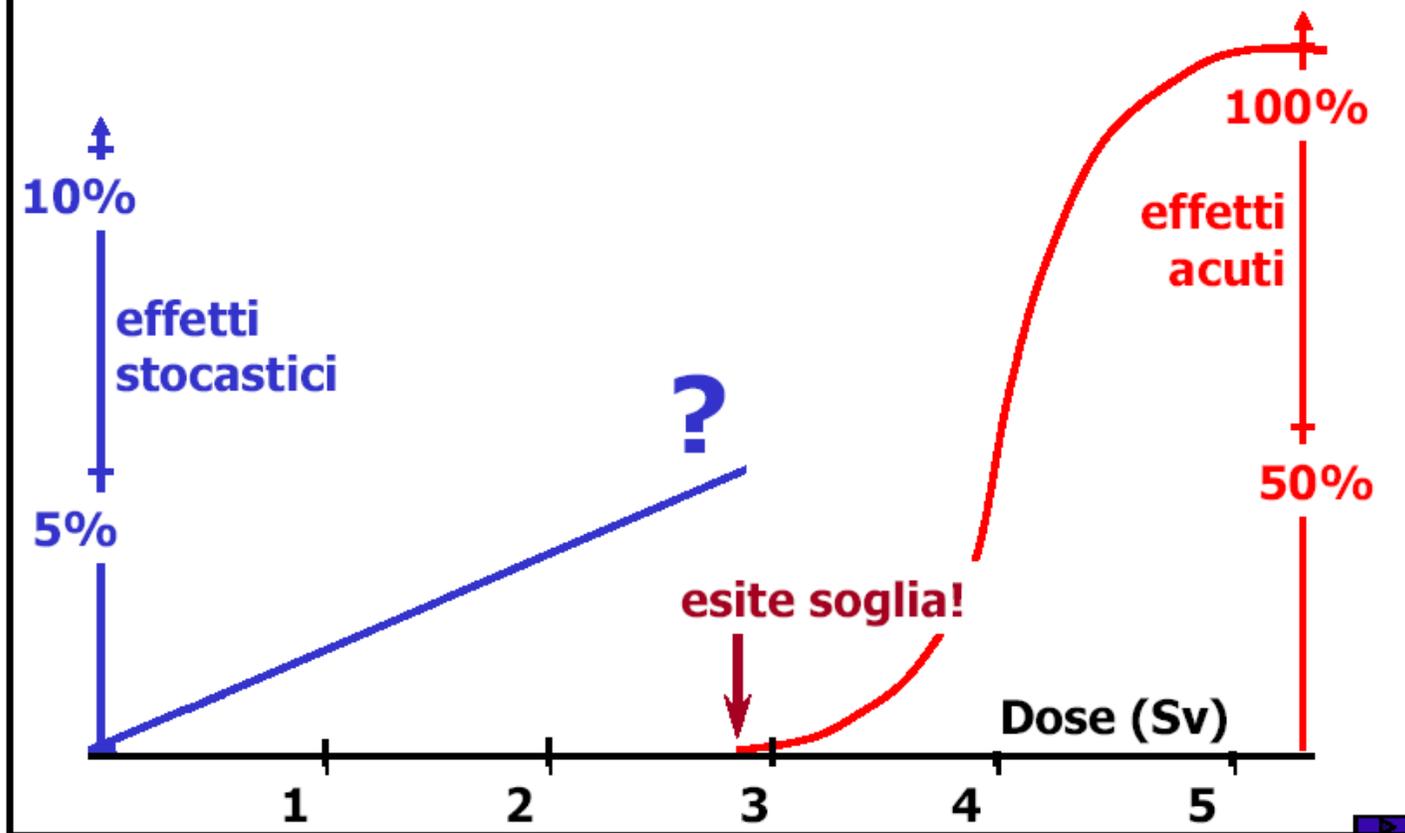
possibili danni delle radiazioni

danni deterministici: *frequenza e gravità* variano con la **dose**; è individuabile una **soglia**; comprendono: *radiodermite, cataratta, sterilità, sindrome acuta da raggi, ...*

danni stocastici: *probabilità e non la gravità* di accadimento è **proporzionale** alla dose; sembra **non** esistere **soglia**; distribuiti **casualmente**; appaiono **dopo anni**; comprendono: *leucemie, tumori e malattie ereditarie nella progenie*



relazione dose/effetto per differenti detrimenti da radiazioni



Dosi-soglia per danni deterministici

Danno	Tipo di Esposizione	
	Eq. Dose Acuta in singola Esposizione (Sv)	Eq. Dose Accumulata Molto frazionata (Sv)
Testicoli		
sterilità temporanea	0,15	NA
sterilità permanente	3,5-6,0	NA
Ovaio		
sterilità	2,5-6,0	6,0
Cristallino		
Opacità	0,5-2,0	5
cataratta	5,0	> 8
Midollo osseo		
depressone dell'emopoiesi	0,5	NA
aplasia mortale	1,5	NA

La tabella è ricavata dalle Pubblicazioni ICRP n. 41 (1984) e n. 60 (1990).

Tipo di esposizione, la prima colonna si riferisce ad un'esposizione unica o comunque ricevuta in ore o giorni, la seconda colonna riguarda la dose accumulata per esposizioni molto frazionate o protratte (p.es. in radioterapia).

NA significa "non applicabile", perché la soglia dipende più dall'intensità di dose che dalla dose totale ricevuta.

Limiti di dose per i **Lavoratori Esposti**

D_L

DOSE EFFICACE (esposizione globale)

DOSE EQUIVALENTE (esposizione parziale)

limiti primari

ANNO

20 mSv

500 mSv

$D > 3/10 D_L$
Zona Controllata
accesso
regolamentato

2000 ore/anno

3 μ Sv/h

Limiti di dose per le persone del **Pubblico ed i Lavoratori Non Esposti**

D_P

DOSE EFFICACE (esposizione globale)

DOSE EQUIVALENTE (esposizione parziale)

limiti primari

ANNO

1 mSv

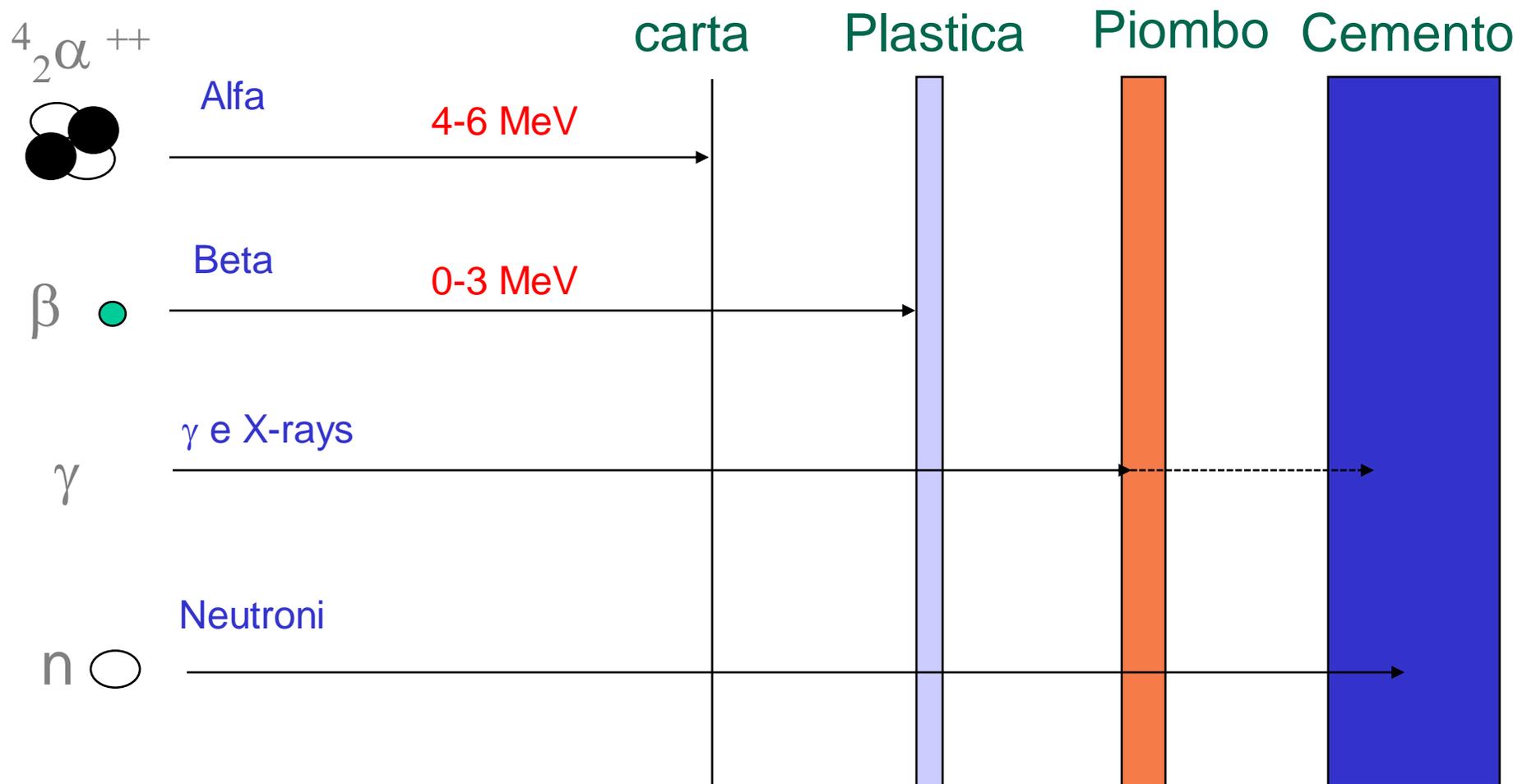
50 mSv

$D > D_P$
Zona Sorvegliata

0,5 μ Sv/h

$D < D_P$ Zona libera

attenuazione delle radiazioni



esperto qualificato:

persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel D.Lgs 230/95

sorveglianza fisica:

l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione;

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

obiettivi fondamentali:

1. evitare al personale qualsiasi esposizione indebita;
2. ridurre al minimo il rischio di esposizione incidentale;
3. in caso di incidente, limitare le dosi alle persone coinvolte;
4. facilitare il controllo, del non superamento delle dosi individuali.

funzioni:

1. controllo permanente di tutti gli ingressi in ciascun'area e consenso di accesso solo al personale autorizzato;
2. evacuazione di ciascun'area, tramite un giro ronda cerca uomo, per la predisposizione all'invio del fascio;
3. disabilitazione di alcuni elementi di linea che impediscono l'invio del fascio in un'area non predisposta;
4. blocco immediato del fascio in caso di apertura accidentale di una porta o a causa di una emergenza;
5. computo e limitazione del tempo di permanenza nelle zone controllate per il personale autorizzato;
6. Segnalazione acustica e luminosa, locale e centrale, dello stato di funzionamento del sistema e degli allarmi.

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

MODALITA' OPERATIVE, Per ciascuna sala sono individuati tre stati

Ingresso libero: L'accesso è consentito senza limitazioni a tutti. Le serrature sono sbloccate e le porte possono essere aperte a spinta. All'esterno sono illuminate le scritte "INGRESSO LIBERO". Tutti gli altri elementi sono spenti ed il sistema non abilita l'accensione del fascio.

Ingresso controllato : L'accesso è consentito solo al personale autorizzato. Le porte sono bloccate dalle elettroserrature ed alcune possono essere aperte solo se è presentata davanti ad un lettore una scheda personale abilitata, viene così registrato l'ingresso e l'uscita di ciascun lavoratore ed il relativo tempo di permanenza. L'apertura accidentale (manuale) di una porta genera allarme. Per inserire questo stato è necessario evacuare la sala ed eseguire preliminarmente una ronda cerca uomo. All'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO CONTROLLATO". In assenza di allarme il sistema abilita l'invio del fascio nelle sale adiacenti, ma non nella stessa sala.

Ingresso vietato: L'accesso è interdetto a tutti e la presentazione di una scheda non apre le porte, che sono bloccate dalle elettroserrature e la loro eventuale apertura accidentale (manuale) genera sempre allarme. All'interno sono accese le luci gialle rotative; i pulsanti di emergenza sono abilitati ed una pressione su di essi genera allarme; all'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO VIETATO". Il sistema abilita l'invio del fascio nella sala.

sistema fisso

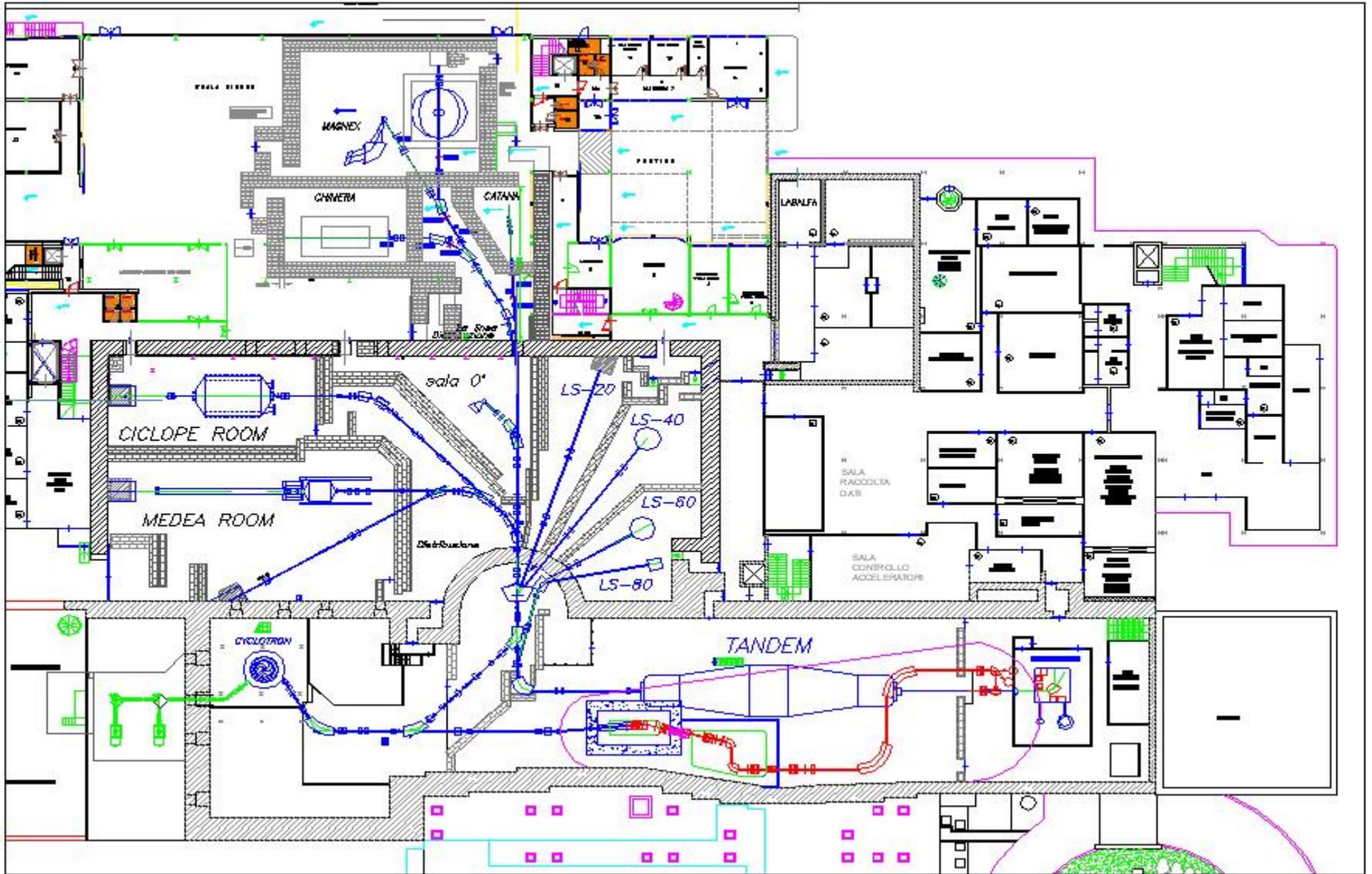
Rete di monitoraggio con delle stazioni fisse dislocate in quasi tutti i locali occupati dal personale

funzioni:

- Rivelare le radiazioni ambientali misurando i livelli delle grandezze che indicano il rischio biologico associato alla loro esposizione (rateo di dose equivalente [Sv/h]).
- visualizzare in un ambiente permanentemente occupato (sala controllo) i valori misurati
- confrontare i valori misurati con dei livelli di allarme preimpostati e segnalare otticamente ed acusticamente il superamento degli stessi.
- registrare, ad intervalli prestabiliti, i valori misurati nell'arco delle 24 ore e consentire sia la loro visualizzazione con grafici e tabelle che l'esecuzione di calcoli matematici (calcolo dell'accumulo di dose nel tempo).

Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai L.N.S.

- ACCELERATORI
(neutroni e radiazioni gamma)
- LINEE DI TRASPORTO DEL FASCIO ED APPARATI SPERIMENTALI
(neutroni e radiazioni gamma)
- APPARECCHIATURE SOTTOPOSTE AD ALTE TENSIONI
(radiazioni X)
- BERSAGLI ATTIVATI
(radiazioni beta e gamma)
- SORGENTI E MATERIE RADIOATTIVE
(radiazioni alfa, beta, gamma, neutroni)
- TUBI A RAGGI X
(radiazioni X)



Il primo testo normativo che ha introdotto in Italia una disciplina dell'impiego pacifico dell'energia nucleare è la **legge 31/12/1962 n.1860**, rivolta essenzialmente agli **impieghi industriali e scientifici**. Essa è stata modificata e completata da ulteriori decreti, è tuttora in vigore e costituisce un importante provvedimento nelle attività nucleari in Italia.

La legge quadro attualmente in vigore in Italia per la protezione e l'impiego delle radiazioni ionizzanti è il

DECRETO LEGISLATIVO 17 Marzo 1995, n° 230

con successive modifiche ed integrazioni

Emanata in Attuazione delle direttive 89/618/Euratom,
90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom

(è in corso di revisione per il recepimento di direttive più recenti)

SEGNALETICA



Simbolo generico



Simbolo specifico



Simbolo specifico