

LNF-92/060 (NT)

Le radiazioni ionizzanti
Ionizing radiation

Servizio Fisica Sanitaria

Opuscolo d'informazione per i lavoratori dei Laboratori Nazionali di Frascati
Information Pamphlet for Frascati National Laboratories Employees

INFN - Laboratori Nazionali di Frascati
Servizio Documentazione

LNF-92/060 (NT)
25 Giugno 1992

4° Edizione 1992

**LE RADIAZIONI IONIZZANTI
IONIZING RADIATION**

*Opuscolo d'informazione per i lavoratori dei Laboratori Nazionali di Frascati
Information Pamphlet for Frascati National Laboratories Employees*

A cura dell'Unità Funzionale Fisica Sanitaria
Prepared by the Health Physics Service

*Pubblicato dal / Published by
Servizio Documentazione
dei Laboratori Nazionali di Frascati
C.P. 13 - I-00044 Frascati (Roma)*

LE RADIAZIONI IONIZZANTI

PREMESSA

L'art. 61 comma d) del D.P.R. n. 185/64(*) fa obbligo ai datori di lavoro, ai dirigenti e ai preposti di: "rendere edotti i lavoratori dei rischi specifici cui sono esposti,...".

L'art. 64 stabilisce che i lavoratori devono:

- a. osservare, oltre le norme del presente Capo, le disposizioni impartite dal datore di lavoro, o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;
- b. usare, con cura ed in modo corretto, i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c. segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza;
- d. non rimuovere né modificare, senza averne ottenuta l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
- e. non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza.

Il presente opuscolo è stato scritto con il duplice scopo di dare un contributo per l'adempimento dell'obbligo stabilito dall'art. 61 d) e di rendere i lavoratori più consapevoli dell'importanza di ottemperare, a loro volta, agli obblighi loro imposti dall'art. 64.

Pertanto esso è indirizzato a tutti indistintamente i lavoratori (dipendenti e ospiti) dei Laboratori Nazionali di Frascati e, per tale motivo, è scritto nel linguaggio più semplice possibile, anche se l'uso di qualche termine tecnico si è reso inevitabile.

(*) Decreto del Presidente della Repubblica 13 febbraio 1964 n. 185, pubblicato sul Supplemento ordinario della "Gazzetta Ufficiale" n. 95 del 16 aprile 1964 (Sicurezza degli impianti e protezione sanitaria dei lavoratori e delle popolazioni contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti derivanti dall'impiego pacifico dell'energia nucleare).

IONIZING RADIATION

INTRODUCTION

Article 61, Section d) of the DPR 185/64(*) obligates employers and management to:
"inform employees of the specific risks to which they are exposed..."

Article 64 sets forth that employees must:

- a. in addition to the rules of this chapter, observe the rules regarding individual and collective safety given by the employer or by persons in charge, relating to their jobs;
- b. use the safety devices, protective equipment and dosimeters provided by the employer carefully and correctly;
- c. immediately alert the employer, manager or person in charge of any defect in the safety devices, and safety equipment or the dosimeters, as well as of any dangerous circumstances of which they become aware;
- d. not remove or modify, without prior authorization, the devices or other protective, signaling, safety or measuring means;
- e. not do anything, on their own initiative, outside their own competence that can affect general safety.

This pamphlet has been written both to satisfy the obligations set forth in article 61 d) and to make the employees aware of the importance of complying with their obligations as per article 64.

This pamphlet is therefore intended for all workers at the Frascati National Laboratories (employees and visitors alike) and is written in the clearest possible language even though the use of technical terms is inevitable.

(*) Decree 185 by the President of the Republic, February 13, 1964 published in the ordinary Supplement to the "Gazzetta Ufficiale" No. 95 April 16, 1964 (Plant safety and health protection for workers and the general population against the danger of ionizing radiation due to peaceful uses of nuclear energy).

COSA SONO LE RADIAZIONI IONIZZANTI?

Il termine "radiazione" viene abitualmente usato, anche se talvolta in modo non completamente appropriato, per descrivere fenomeni apparentemente assai diversi tra loro, quali l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, del suono da uno strumento musicale, di particelle elementari da una sorgente radioattiva. Caratteristica comune a tutti questi tipi di emissione è il trasporto di energia nello spazio. Questa energia viene ceduta quando la radiazione è assorbita nella materia. Ciò si può dimostrare constatando un aumento di temperatura in prossimità del punto in cui è avvenuto l'assorbimento.

L'aumento di temperatura non è però l'unico effetto prodotto dall'assorbimento di radiazione nella materia. Infatti, la luce può impressionare una lastra fotografica, il calore può generare un incendio, il suono può rompere un vetro, le particelle ionizzanti possono danneggiare l'organismo umano.

L'azione lesiva sull'organismo è una diretta conseguenza dei processi di eccitazione e ionizzazione di atomi e molecole dei tessuti biologici dovuti agli urti delle particelle che sono dette appunto "particelle ionizzanti" o anche "radiazioni ionizzanti" quando hanno energia sufficiente per produrre questi processi.

A seconda che la ionizzazione del mezzo irradiato avvenga per via diretta o indiretta si usa distinguere tra "radiazioni direttamente ionizzanti" e "radiazioni indirettamente ionizzanti". Sono direttamente ionizzanti le particelle cariche (elettroni, particelle alfa, etc.); sono invece indirettamente ionizzanti i raggi X, i raggi gamma, i neutroni, etc.

Le macchine acceleratrici installate nei Laboratori Nazionali di Frascati sono in grado di produrre tutti i tipi di radiazioni ionizzanti sopra menzionati.

CHE COSA E' IL GRAY?

La quantità di energia ceduta dalle radiazioni ionizzanti all'unità di massa del mezzo irradiato si chiama "dose assorbita". L'unità di misura della dose assorbita è il gray (Gy). Un gray equivale a 1 J kg^{-1} . Poiché il gray è un'unità molto grande, in pratica, si fa spesso uso dei suoi sottomultipli, il microgray ($1 \mu\text{Gy} = \text{un milionesimo di gray}$) e il milligray ($1 \text{ mGy} = \text{un millesimo di gray}$). Nel recente passato la dose assorbita veniva misurata in rad ($1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$).

In radioprotezione si suole far uso anche di un'altra grandezza dosimetrica, l'esposizione, la cui unità di misura è attualmente il C kg^{-1} , mentre nel passato veniva misurata in roentgen (R) (sottomultiplo il milliroentgen - mR). I valori numerici dell'esposizione espressi in R sono praticamente uguali ad un centesimo di quelli della dose assorbita in tessuto espressa in Gy.

WHAT IS IONIZING RADIATION?

The term "radiation" is used, sometimes inappropriately, to describe many different phenomena. Examples of these are the emission of light from a lamp, heat from a flame, sound from an instrument and elementary particles from a radioactive source. The characteristic common to all these emissions is that they carry energy into space. This energy is imparted to the matter when the radiation is absorbed as demonstrated by the rise in temperature at the point of absorption.

This increase in temperature is not however the only effect caused by the absorption of radiation. In fact, light can darken a film, heat can cause a fire, sound can break glass and ionizing particles can damage the human organism.

The damage to the human body is a direct consequence of the excitation and ionization processes in tissue atoms and molecules due to collisions with incident particles. The particles that have enough energy to produce these processes are called "ionizing particles" or "ionizing radiation". If the ionization is direct the radiation is called "directly ionizing radiation" or if indirect "indirectly ionizing radiation". Charged particles (electrons, alpha particles etc.) are directly ionizing while X-rays, gamma rays, neutrons etc. are indirectly ionizing.

The accelerators at the Frascati National Laboratories can produce all these types of ionizing radiations.

WHAT IS A GRAY?

The amount of energy imparted by the ionizing radiation to the unit of mass of the matter irradiated is called "absorbed dose". The absorbed dose is expressed in gray (Gy). A gray is equal to 1 J kg^{-1} . Since the gray is a very large unit, references are often made to the microgray ($1 \mu\text{Gy} = 1$ millionth of a gray) or to the milligray ($1 \text{ mGy} = 1$ thousandth of a gray). Until recently the absorbed dose was measured in rad ($1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$).

Another quantity often used in radiation protection is the "exposure". The unit of the exposure is the C kg^{-1} , while in the past this quantity was expressed in roentgen (R) (or milliroentgen - mR). The exposure expressed in R is almost equal to 1/100 of the absorbed dose in soft tissue expressed in Gy.

CHE COSA E' IL SIEVERT?

Il sievert (Sv) è l'unità di misura della grandezza radioprotezionistica che si usa per valutare il rischio dovuto all'esposizione alle radiazioni ionizzanti, cioè l'equivalente di dose.

L'equivalente di dose (H) è uguale al prodotto della dose assorbita (D) per un fattore (Q), detto fattore di qualità, che dipende dal tipo di radiazione considerata.

Il valore di Q è 1 per gli elettroni, i raggi X, i raggi gamma; 10 (portato a 20 nelle ultime raccomandazioni dell'ICRP) per i neutroni di energia intermedia; 20 per le particelle alfa da qualche MeV; etc.

Questo significa che a parità di dose assorbita, le particelle alfa sono considerate pericolose quanto i neutroni di energia intermedia e questi 20 volte più di elettroni, raggi X e raggi gamma.

Anche il sievert è un'unità tutt'altro che comoda in pratica, per cui spesso si fa uso del microsievert ($1 \mu\text{Sv} = \text{un milionesimo di sievert}$) e del millisievert ($1 \text{mSv} = \text{un millesimo di sievert}$). Nel recente passato l'equivalente di dose veniva misurato in rem ($1 \text{rem} = 0.01 \text{Sv}$).

QUALI SONO GLI EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI SULL'UOMO?

E' noto che le radiazioni ionizzanti possono causare gravi danni all'organismo umano. Basterà ricordare al proposito le conseguenze sofferte dalle popolazioni giapponesi colpite dalle radiazioni delle bombe atomiche lanciate sulle città di Hiroshima e Nagasaki durante l'ultima guerra mondiale, la sorte di taluni radiologi che hanno fatto uso incauto dei raggi X, alcuni incidenti verificatisi nelle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare, etc.

Gli effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo possono essere suddivisi in effetti immediati, effetti tardivi ed effetti genetici. I primi due tipi di effetti colpiscono direttamente l'individuo irradiato, gli ultimi la sua progenie.

Gli effetti immediati si manifestano sull'individuo irradiato entro qualche giorno o al più qualche settimana dall'esposizione e sono tanto più gravi quanto maggiore è la dose ricevuta; esiste però un valore soglia per la dose sotto la quale non si verificano. Alcune informazioni riguardo questi effetti sono riportate nella Tabella I, ove le dosi indicate s'intendono ricevute al corpo intero in breve tempo (irradiazioni acute globali).

Quando l'irradiazione acuta riguarda una parte sola del corpo umano, si parla di irradiazione parziale. In questo caso, naturalmente, il danno interessa soltanto gli organi rimasti esposti. L'esempio più tipico è l'eritema (arrossamento della pelle), la cui soglia di manifestazione può ritenersi situata intorno ai 3.5-4 Gy, nel caso dei raggi X della qualità usata in roentgen-diagnostica (60-110 kV filtrati con 1-3 mm di alluminio).

WHAT IS A SIEVERT?

A sievert (Sv) is the dose equivalent unit. The dose equivalent is the quantity used in radiation protection to evaluate the risk of exposure to ionizing radiations.

The dose equivalent (H) is the product of the absorbed dose (D) in the tissue and Q, the quality factor, which depends on the quality (type and energy) of radiation under consideration.

Q is 1 for electrons, X rays and gamma rays, 10 (taken up 20 in the last ICRP recommendations) for neutrons of intermediate energy, and 20 for alpha particles.

Then, for an equal absorbed dose, alpha particles are considered so dangerous as neutrons of intermediate energy and these twenty times more dangerous than electrons, X-rays and gamma rays.

The sievert is also too large to be very practical and therefore the microsievert ($1\mu\text{Sv} =$ a millionth of a sievert) and the millisievert ($1\text{ mSv} =$ a thousandth of a sievert) are used. Until recently dose equivalent was measured in rem ($1\text{ rem} = 0.01\text{ Sv}$).

WHAT EFFECT DOES IONIZING RADIATION HAVE ON THE HUMAN BEINGS?

It is well known that ionizing radiation can greatly damage the human body. The effects on the Japanese who were exposed to the radiations from the atomic bombs of Hiroshima and Nagasaki during the last world war, the effects on those radiologists who have been careless in the use of X-ray equipments, the accidents that have occurred in the course of peaceful applications of nuclear energy, are all reminders of this.

The effects of radiation on human beings can be divided into acute (immediate) effects, late effects and genetic effects. The first two of these become manifest in the exposed individual himself, the third affects his descendants.

The acute effects appear within a few days or, at most, a few weeks from the exposure and their seriousness depends on the amount of radiation received. There is however a threshold dose below which no effects appear. Information regarding these effects are shown in Table I. The doses indicated are received by the whole body in a short period of time (acute whole body exposure).

When acute exposure involves only a part of the body, it is referred to as partial exposure and, naturally, the damage is only to the organs or tissues actually exposed. The most common example of this is an erythema (or skin rash). The threshold for this appearing is around 3.5-4 Gy in the case of X-rays like those used in roentgen diagnosis (60-110 kV filtered by 1-3 mm of aluminum).

TABELLA I

Dose ricevuta	Effetto
fino a 0.25 Gy	Per lo più nessun sintomo soggettivo o oggettivo.
0.5 Gy	In alcuni individui può comparire lieve nausea, riduzione dell'appetito, lieve malessere, riduzione precoce dei linfociti, riduzione modesta dei globuli bianchi nella seconda e terza settimana.
1 Gy	Nausea in una frazione elevata degli individui irradiati, accompagnata in taluni da vomito, astenia, affaticamento facile, alterazione del sangue.
2 Gy	Sindrome acuta da radiazioni (forte nausea, vomito, inappetenza, etc.) con esito talvolta mortale.
4 Gy	Sindrome acuta da radiazioni in fase grave; il 50% degli individui non adeguatamente curati muore tra 30 e 60 giorni.
6 Gy	Sindrome acuta da radiazioni in forma ancora più grave; quasi tutti gli individui muoiono entro 30 giorni.

Si noti che tutte le dosi fin qui indicate sono particolarmente elevate e possono essere effettivamente ricevute dai lavoratori soltanto nel caso di eventuali gravi incidenti, peraltro estremamente improbabili.

Il rischio maggiore per i lavoratori è invece in relazione alle piccole dosi che essi possono ricevere durante il lavoro e che sono responsabili degli effetti tardivi (sostanzialmente carcinogenesi) e genetici. Entrambi questi effetti si manifestano in modo statistico tra gli individui di una popolazione irradiata ed è impossibile stabilire nei singoli casi una relazione di causalità tra l'effetto osservato e la dose ricevuta. L'unica correlazione con la dose che si può pensare di effettuare riguarda la maggior frequenza di tali effetti in gruppi sufficientemente numerosi di individui esposti rispetto alla frequenza spontanea o di fondo.

In radioprotezione si assume cautelativamente che esista una relazione di linearità senza soglia tra la frequenza degli effetti di cui trattasi e la dose assorbita. Ciò significa che non si può considerare un valore di dose, per quanto modesto, che non comporti una certa probabilità di provocare un danno. Non esiste cioè un valore di dose completamente sicuro.

La International Commission on Radiological Protection (ICRP) nella sua Pubblicazione 60 del 1991 ha assunto, sulla base delle più recenti evidenze epidemiologiche, i seguenti coefficienti di rischio stocastico (probabilità degli eventi per unità di dose) nel caso di lavoratori adulti:

per la carcinogenesi ad esito fatale	4×10^{-5}	per millisievert ricevuto
per la carcinogenesi ad esito non fatale	0.8×10^{-5}	per millisievert ricevuto
per gli effetti genetici gravi	0.8×10^{-5}	per millisievert ricevuto.

TABLE I

Absorbed Dose	Effects
Up to 0.25 Gy	Generally speaking, no subjective or objective symptoms.
0.5 Gy	In some subjects slight nausea, decreased appetite, slight discomfort, rapid decrease in the lymphcell count and slight reduction in the white blood count in the 2 nd and 3 rd week after exposure.
1 Gy	Nausea in a large part of the exposed individuals, sometimes accompanied by vomiting, weakness, fatigue and changes in the blood count.
2 Gy	Acute radiation syndrome (extreme nausea, vomiting, loss of appetite etc.). Sometimes fatal.
4 Gy	Acute radiation syndrome in advanced stages. 50% of the individuals who are not properly taken care of die within 30-60 days.
6 Gy	More advanced acute radiation syndrome. Almost all individuals die within 30 days.

It should be noted that all of the doses which we have been talking about are particularly high and workers can actually be exposed to such levels only in the case of a very serious accident, which is highly improbable.

Actually, the greatest risk to the workers is instead related to the small doses which they can receive during working hours and which are responsible for late effects (essentially increased cancer risk) and genetic effects. Both effects are only statistically observable among exposed large groups of people and it is not possible to establish a cause-effect relationship between the observed effect and the dose received for every particular case. The only correlation to the dose that can possibly be made concerns the larger frequency of such effects in sufficiently large groups of exposed individuals as compared to the spontaneous (or background) frequency of such effects in other groups not exposed to radiation.

In radiation protection a linear relationship, without threshold, between effects and the dose received is assumed. This means that there is no dose small enough not to have a certain probability of causing injuries. In other words, there is no dose value that is completely safe.

The International Commission on Radiological Protection in his Publication 60 of 1991 assumed, the following nominal coefficients for stochastic effects (probability per unit of dose), for adult workers:

fatal cancer	4×10^{-5}	per millisievert received
non fatal cancer	0.8×10^{-5}	per millisievert received
severe hereditary effects	0.8×10^{-5}	per millisievert received.

QUALI SONO I CRITERI CHE SI SEGUONO NELLO SVOLGIMENTO DELLE ATTIVITA' CON RISCHIO DA RADIAZIONI IONIZZANTI?

I criteri che si seguono nello svolgimento delle attività con rischio da radiazioni ionizzanti si basano su tre fondamentali principi di radioprotezione.

Il primo stabilisce che nessuna attività comportante il rischio da radiazioni ionizzanti può essere accolta a meno che la sua introduzione produca un beneficio netto e dimostrabile (giustificazione della pratica). Ad esempio, in Italia, è stato giustamente proibito l'uso dei parafulmini radioattivi perché i benefici connessi con il loro impiego non erano affatto superiori a quelli dei parafulmini tradizionali, che non comportano alcun rischio.

Il secondo principio stabilisce la fondamentale regola che ogni esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile (ottimizzazione della radioprotezione).

Il terzo, infine, stabilisce dei limiti di dose per i singoli individui che non devono comunque essere superati nelle varie circostanze (limiti di dose individuali).

QUALI SONO I LIMITI DI DOSE PER I SINGOLI INDIVIDUI?

I limiti di dose raccomandati sono diversi a seconda delle varie categorie di individui considerati. Detti limiti, che nella legislazione italiana vengono ancora denominati "dosi massime ammissibili", sono riportati in Tabella II nel caso di irradiazione uniforme del corpo intero.

TABELLA II

	Dose annuale (mSv)	Dose trimestrale (mSv)
Lavoratori professionalmente esposti	50 (in media)	30
Lavoratori non professionalmente esposti o gruppo particolare 1) della popolazione	15	
Gruppo particolare 2) della popolazione	15	
Gruppo particolare 3) della popolazione	5	
Lavoratori dipendenti da terzi	15	
Lavoratori autonomi	15	4

WHAT ARE THE CRITERIA TO FOLLOW WHEN WORKING WITH THE RISK OF IONIZING RADIATION?

The criteria to be followed when working with the risk of ionizing radiation are based on three fundamental principles of radiation protection.

The first is that no activity which involves a risk of radiation shall be adopted unless its introduction produces a positive net benefit (justification of a practice). For example, in Italy the use of radioactive lightning rods was forbidden (and rightly so) because they offered no benefit over traditional lightning rods which involve no risk at all.

The second principle establishes the fundamental rule that all exposures to ionizing radiation must be kept "as low as reasonably achievable" (ALARA) (optimisation of protection).

The third sets the dose limits for individuals that must not be exceeded in various circumstances (individual dose limits).

WHAT ARE THE INDIVIDUAL DOSE LIMITS?

The recommended dose limits vary according to the category of workers under consideration. These limits which in Italian law are referred to as the "maximum permissible doses" are shown below and refer to uniform irradiation of the whole body.

TABLE II

	Annual dose (mSv)	Quarterly dose (mSv)
Radiation workers	50 (mean)	30
Workers who enter controlled areas occasionally, but are not regarded as radiation workers (Gruppo particolare 1) della popolazione)	15	
Workers who work with instrument which emit radiation or contain radiation sources (Gruppo particolare 2) della popolazione)	15	
Member of the public (Gruppo particolare 3) della popolazione)	0.5	
Contractors' personnel	15	
Self employed workers	15	4

Per le irradiazioni parziali (per es. estremità o taluni organi) la legge prevede limiti di dose più elevati di quelli presentati nella Tabella II, ma che per brevità si preferisce qui non riportare. A titolo d'esempio basterà citare soltanto che, nel caso del personale professionalmente esposto, la dose massima ammissibile per irradiazione delle estremità (mani, piedi, caviglie) è 0.15 Sv in 13 settimane e 0.6 Sv in un anno.

Si fa tuttavia presente che la International Commission on Radiological Protection (ICRP) nella sua Pubblicazione 60 ha di recente raccomandato, nel caso di esposizioni lavorative, un più modesto limite di dose per l'irradiazione uniforme del corpo intero, pari a 20 mSv/anno mediati su un periodo di 5 anni, con ulteriore limitazione di non superare 50 mSv in ogni singolo anno.

COME SI STABILISCE LA CATEGORIA DI APPARTENENZA DI UN LAVORATORE E QUINDI IL SUO LIMITE DI DOSE?

Prima di rispondere a questa domanda conviene ricordare che si definisce "zona controllata" ogni area dove i lavoratori possono ricevere una dose da radiazioni superiore a 15 mSv per anno. Le zone controllate sono segnalate mediante l'applicazione di appositi contrassegni (v. figura).



I lavoratori che svolgono abitualmente la propria attività in zona controllata vengono detti "professionalmente esposti" (es. operatori delle macchine acceleratrici, personale tecnico dei Servizi di Fisica Sanitaria, etc.). Quelli che invece vi accedono soltanto occasionalmente "non professionalmente esposti" o "gruppo particolare 1) della popolazione" (es. un disegnatore che debba talvolta recarsi in zona controllata per effettuare dei rilievi etc.).

Entrambe queste categorie di lavoratori sono sottoposte alla sorveglianza fisica individuale (controllo dosimetrico), mentre soltanto i professionalmente esposti sono sottoposti alla sorveglianza medica della protezione contro le radiazioni ionizzanti effettuata dal medico autorizzato (visite preventive, visite periodiche con intervalli di tempo non superiori al semestre, visite straordinarie per variazioni di rischio, sorveglianza medica eccezionale in caso di incidenti).

• Le definizioni di legge delle altre categorie di persone introdotte con la Tabella II sono qui di seguito riportate.

Al "gruppo particolare 2) della popolazione" appartengono le persone che manipolano apparecchi emittenti radiazioni o contenenti sostanze radioattive in quantità tali che le radiazioni emesse non superino la dose massima ammissibile per questa categoria di persone (es. ricercatori che usano solo modeste sorgenti di calibrazione). A seconda della natura e dell'intensità della sorgente usata, anche queste persone vengono sottoposte a controllo dosimetrico personale.

The law allows higher dose limits for partial exposure (organs or tissues) but these are not listed here. As an example, however, in the case of radiation workers the maximum permissible dose for irradiation of extremities (hands, feet or ankles) is 0.15 Sv in 13 weeks and 0.6 Sv in a year.

Recently the International Commission on Radiological Protection (ICRP) in his Publication 60 recommended, in case of occupational exposures, a dose limit in terms of effective dose of 20 mSv/year, averaged over 5 years, with the further provision that the dose should not to exceed 50 mSv in any single year.

HOW TO DEFINE A WORKER CATEGORY AND CONSEQUENTLY HIS DOSE LIMIT?

Before answering this question it is important to point out that all areas where workers can receive doses in excess of 15 mSv per year are defined as "controlled areas" and are posted as such with a sign showing the design in the figure.

Workers whose jobs are usually performed in controlled areas are defined as "radiation workers" (for example, accelerator operators, health physicists, etc.).

Those workers who go into these areas only occasionally are defined as "gruppo particolare 1) della popolazione" (for example, a draftsman who sometimes has to go into the controlled area for a survey, etc.). Both these categories of workers are subject to individual physical surveillance (personnel monitoring), while only the radiation workers undergo preventative medical surveillance against ionizing radiation (pre employment or preventative examinations, periodic check-ups not less than once every six months, extra examinations when there is a change in risk, and extra medical surveillance in the case of accident).

The other categories in Table II, as defined by Italian law, are explained as follow.

"Gruppo particolare 2) della popolazione" includes persons who handle instruments which emit radiation, or contain radioactive substances, in quantities where the radiation emitted is not above the maximum permissible dose for this category of individuals. An example would be a researcher who uses low activity calibration sources. According to the kind and the intensity of the sources used, these people, as well, can be subject to individual monitoring.

The members of the public or "gruppo particolare 3) della popolazione" are those who normally work or live near controlled areas and because of this can receive radiation doses above the limits set for the population at large (for example, administrative personnel).



Al "gruppo particolare 3) della popolazione" appartengono le persone che si trovano abitualmente nelle vicinanze della zona controllata (es. personale amministrativo) e che per tale ragione possono ricevere un'irradiazione superiore a quella fissata per la popolazione nel suo insieme.

I termini "lavoratori dipendenti da terzi" e "lavoratori autonomi" sono autoesplicativi. Al primo gruppo appartiene, ad esempio, il personale della ditta di pulimento chiamato ad operare in zona controllata; al secondo (meno abituale nei LNF) un eventuale artigiano che lavori in proprio (idraulico, elettricista, etc.) chiamato ad effettuare una qualche riparazione in zona controllata. Naturalmente, in tali circostanze, anche a questi lavoratori viene assicurata la sorveglianza fisica individuale, mediante l'assegnazione di dosimetri personali.

L'operazione di individuazione della categoria di appartenenza di ciascun lavoratore viene detta "classificazione di radioprotezione". Nei Laboratori Nazionali di Frascati tale operazione viene effettuata per conto della Direzione dall'Esperto Qualificato sulla base delle informazioni fornite dal responsabile delle attività mediante la compilazione di un modulo detto "scheda di radioprotezione".

COSA SI INTENDE PER CONTROLLO DOSIMETRICO PERSONALE?

Per controllo dosimetrico personale s'intende la rilevazione della dose ricevuta da ciascun lavoratore durante lo svolgimento della sua attività con rischio da radiazioni ionizzanti. Tale controllo, che è obbligatorio nelle zone controllate, viene effettuato nei Laboratori Nazionali di Frascati con vari sistemi: dosimetri a termoluminescenza (chips, bulbi), stilodosimetri, etc.

A proposito dell'uso pratico di questi strumenti conviene ricordare che essi devono essere indossati all'altezza del petto, salvo diversa indicazione da parte del personale dell'Unità Funzionale Fisica Sanitaria. Si consiglia in linea di massima di attaccarli al bavero del camice o di altro indumento, con il numero di identificazione rivolto verso l'esterno, ovvero di tenerli nel taschino della giacca. Si ricorda inoltre che i dosimetri non devono mai essere lasciati sui tavoli di lavoro o altrove; non devono mai essere scambiati con quelli di altre persone o essere usati per scopi diversi da quelli per cui sono stati assegnati; al termine del lavoro, devono essere riposti nelle apposite bacheche; il loro eventuale smarrimento deve essere immediatamente segnalato al personale dell'Unità Funzionale Fisica Sanitaria.

Conviene infine osservare che il portare un dosimetro di per sè non serve a prevenire l'esposizione alle radiazioni. Tuttavia la conoscenza del dato dosimetrico consente di programmare opportunamente le successive esposizioni, in modo da mantenere la dose ricevuta da ciascun lavoratore quanto più bassa possibile e comunque al di sotto dei limiti stabiliti dalle vigenti leggi.

The terms "contractors' workers" and "self employed workers" are self explanatory. The first group would include, for example, the cleaning company employees who work in a controlled area. The second (less common at LNF) a plumber, an electrician etc. called into a controlled area to repair something. Naturally in such circumstances these workers are individually monitored by means of personal dosimeters.

The procedure of classifying each worker is called "radiation protection classification" and at the Frascati National Laboratories it is carried out by the radiation safety specialist using information supplied by the group leaders on a form called "the radiation protection form".

WHAT IS MEANT FOR INDIVIDUAL MONITORING?

Individual monitoring means the checking with appropriate instruments of the dose received by each worker during occupational exposure. This monitoring, which is obligatory in the controlled areas, is performed by use of various systems: thermoluminescent dosimeters (chips, bulbs), stylodosimeters, etc.

As far as the practical use of these instruments is concerned, remember that they are to be worn at chest level with the identification number facing outwards, unless otherwise instructed by the Health Physics Service. The dosimeters should be attached to the lapel, stylodosimeters should be kept in the breast pocket. Remember that dosimeters must not be left on work tables or anywhere else and must never be exchanged with other people nor used in circumstances for which they were not intended. At the end of work they must be returned to their cubby holes. If lost, this must be immediately reported to the Health Physics Service.

Perhaps it is useful to point out that the wearing of a dosimeter in itself does not prevent exposure to radiation. However, knowing the data relative to the dose received allows the planning of future exposure so that the doses received by each worker can be kept at a minimum and, at any rate, not exceed the limits set by law.

QUALI SONO LE SORGENTI DI RADIAZIONI NEI LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI?

Le principali sorgenti di radiazioni presenti nei Laboratori Nazionali di Frascati sono gli acceleratori di particelle: l'acceleratore lineare (Linac) e l'anello di accumulazione (Adone). Tra breve entrerà in funzione anche un acceleratore lineare superconduttore, denominato LISA.

Diversi sono i rischi da radiazione a seconda delle varie condizioni di funzionamento di queste macchine. In generale si può comunque dire che il campo di radiazione nelle varie aree frequentate dai lavoratori è costituito prevalentemente da radiazione gamma, cui si aggiungono in taluni casi anche neutroni. Le intensità delle due componenti dipendono dallo spessore degli schermi interposti, dalla dislocazione dei locali considerati, dalle caratteristiche del fascio di particelle accelerate, etc.

In taluni ambienti si possono avere rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti anche quando le macchine sono ferme. Ciò avviene in particolare per il Linac. Alcune parti di questa macchina, specialmente quelle in rame e acciaio, vengono infatti "attivate" durante il funzionamento e si comportano quindi come sorgenti di radiazioni, continuando ad emettere anche dopo che l'acceleratore ha cessato di funzionare. I punti più pericolosi sono quelli in cui più frequentemente va a urtare il fascio, come ad esempio il convertitore e i collimatori.

Anche alcune parti dell'anello Adone possono restare attivate, ma in misura normalmente assai più modesta del Linac.

Oltre alle macchine acceleratrici, nei Laboratori Nazionali di Frascati viene fatto uso anche di sorgenti radioattive per la calibrazione degli strumenti. Ve ne sono di vari tipi e i relativi problemi di radioprotezione sono diversi a seconda delle sorgenti considerate. Agli utenti, vengono sempre consegnati, insieme alla sorgente prescelta, custodita in un apposito contenitore di sicurezza, un cartello di segnalazione e una scheda con la descrizione delle caratteristiche del materiale radioattivo e delle principali precauzioni da attuare.

Possono infine essere posti in funzione nei Laboratori Nazionali di Frascati, oltre agli acceleratori, alcuni altri tipi di macchine radiogene, cioè altri tipi di apparecchi in grado di generare radiazioni ionizzanti. Si devono considerare tali i tubi, le valvole, le apparecchiature e ogni altro dispositivo in genere, che acceleri particelle elementari cariche ad energie superiori a 20 keV, ovvero tra 5 keV e 20 keV, qualora l'intensità di esposizione superi 0.1 mR/h a una distanza di 10 cm da qualsiasi punto della superficie esterna del dispositivo stesso.

Anche gli apparecchi di televisione rientrano tra le macchine radiogene qualora l'intensità di esposizione ecceda 0.5 mR/h a 5 cm di distanza dalla superficie esterna dell'apparecchio.

Non sarà infine superfluo ricordare che si può avere emissione di radiazione, anche se indesiderata, ogniqualvolta si applichi un'alta tensione sotto vuoto (per es. la cavità a radiofrequenza installata su Adone). In tutti questi casi è pertanto opportuno richiedere sempre un controllo preventivo da parte dell'Unità Funzionale Fisica Sanitaria.

WHAT ARE THE SOURCES OF RADIATION AT THE FRASCATI NATIONAL LABORATORIES?

The main radiation sources at the Frascati National Laboratories are the particle accelerators: the linear accelerator (Linac) and the storage ring (Adone). In a short time a new superconducting linear accelerator (LISA) will be operating.

The radiation risks vary according to the various working phases of these machines. Generally speaking, the radiation field, in the areas where the workers are, is dominated by gamma rays to which neutrons are sometimes added. The intensity of the two components depends upon the thickness of the shields, the location of the areas involved and the characteristics of the beam of accelerated particles.

In some areas there can be risk of exposure to ionizing radiation even when the machines are shut off. This is particularly true of the Linac. Some parts of this machine, especially those made of copper and of steel, are "activated" when the machine is on and behave like radiation sources, continuing to emit even after the machine is turned off. The most dangerous parts are those where the beam collides most frequently, as for example the positron converter and the collimators.

Some parts of the Adone ring can also remain activated but to a lesser degree than those of the Linac.

Aside from the accelerators, radioactive sources are used in the Laboratory for instrument calibration. There are many different types and the radiation protection problems vary according to the sources considered. A radioactive source is consigned to the user in a safety container, together with a radiation hazard sign and an explicative form with a description of the characteristics of the radioactive material and the main precautions to take.

Lastly, radiation generating devices other than accelerators may be used in the Laboratory. Tubes, valves, instruments and generally any device that accelerates elementary charged particles to an energy higher than 20 keV or else in the range from 5 keV to 20 keV when the exposure rate is larger than 0.1 mR/h at a distance of 10 cm from any point of the external surface of the device itself, are to be considered radiation generating machines.

Even television sets are considered radiation generating machines when the exposure rate is larger than 0.5 mR/h at 5 cm from the external surface.

It is necessary to remember moreover that radiation may be emitted every time a vacuum high voltage is applied (as for example the radiofrequency cavity on the Adone). In all such cases it is therefore advisable to request beforehand a check by the Health Physics Service.

QUALI SONO I VALORI DELLE DOSI CHE SI POSSONO RICEVERE NEI VARI AMBIENTI DI LAVORO DEI LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI?

Ovviamente, i valori di dose che si possono ricevere nei vari ambienti di lavoro sono estremamente diversi a seconda che si tratti di normali condizioni di lavoro o di situazioni accidentali. I valori più elevati sono naturalmente quelli relativi alle irradiazioni accidentali. L'esposizione diretta ai fasci primari e secondari degli acceleratori o la sosta in alcuni degli ambienti percorsi dai fasci, potrebbero infatti avere conseguenze veramente gravi per chi ne fosse interessato. Si tratta dunque di eventi assolutamente da prevenire.

La potenza del fascio di elettroni del Linac è tale che l'esposizione diretta ad esso, anche solo per pochi secondi, avrebbe sicuramente conseguenze letali.

Anche l'esposizione diretta ai fasci di radiazione di sincrotrone dei laboratori Puls e Wiggler è estremamente pericolosa. In questo caso però le caratteristiche dei fasci sono tali da lasciar ipotizzare soltanto irradiazioni parziali. La potenza dei fasci è tuttavia così elevata da poter causare in pochi istanti danni praticamente irreversibili sulla zona del corpo eventualmente rimasta esposta.

Per quanto riguarda i livelli di radiazione diffusa nei luoghi ove passano i fasci, merita citare che in alcuni punti del tunnel del Linac quando l'acceleratore è in funzione, si potrebbero ricevere dosi al corpo intero di entità letale standovi per tempi brevissimi.

Conviene infine aggiungere che situazioni di grave pericolo si potrebbero verificare in certi punti della Sala Adone durante la fase di iniezione del fascio e in altri durante il lavoro con il fascio accumulato, e che in alcune altre aree (per es. zona recintata del laboratorio Ladon) si potrebbero facilmente ricevere dosi più elevate di quelle massime ammissibili, anche se non di livello tale da provocare effetti immediati.

In considerazione della gravità degli eventi descritti, l'accesso alle aree di cui sopra, quando vi sono presenti i fasci, è severamente interdetto al personale, mediante sistemi automatici di sicurezza. Tali sistemi sono descritti in dettaglio nelle norme interne di radioprotezione, ove sono indicate anche tutte le precauzioni e le regole da seguire per un corretto svolgimento dell'attività lavorativa presso il complesso Linac-Adone.

Per quanto riguarda invece le aree ove, in relazione alle varie fasi di funzionamento delle macchine, è consentito l'accesso al personale, si può affermare che le dosi sono in esse sempre sufficientemente modeste da assicurare il più ampio rispetto dei limiti raccomandati.

Nella Tabella III sono riportate a titolo di esempio le dosi registrate negli ultimi tre anni in alcune delle aree abitualmente frequentate dal personale. Le rilevazioni sono state effettuate mediante dosimetri lasciati ininterrottamente esposti negli ambienti indicati in punti prefissati, scelti sulla base dei risultati delle mappe dosimetriche periodicamente effettuate dall'Unità Funzionale Fisica Sanitaria.

WHAT ARE THE DOSES THAT CAN BE RECEIVED IN VARIOUS PLACES WITHIN THE FRASCATI NATIONAL LABORATORIES?

Obviously the doses that can be received at the Frascati National Laboratories are totally different when we consider normal circumstances from when we consider accident situations. The higher values obviously apply to accidental exposure. In fact, direct exposure to the primary or secondary accelerator beams or staying in the area where the beam lines pass could be extremely dangerous for the person involved. These situations are therefore to be avoided at all costs.

The power of the Linac electron beam is so large that direct exposure to it, even for a few seconds, would certainly be lethal.

Direct exposure to the synchrotron radiation beams at the Puls and Wiggler Laboratories is also extremely dangerous. In this case, however, the characteristics of the beam are such that there would probably only be partial irradiation. The power of the beam is, in any case, so high that in a few seconds it would produce irreversible damage to the parts of the body which were exposed.

As for the radiation levels in the places where the beam lines pass, it should be pointed out that staying for even an extremely short time in some parts of the Linac tunnel could cause lethal exposure to the whole body.

In certain places in the Adone Hall very dangerous situations could arise during the injection phase and when the beam is stored. Doses which are above the limits could be received in other areas (such as the enclosed area in the Ladon Lab.), even though these latter doses would not be enough to have acute effects.

Because of the seriousness of this matter, access to the above areas in the presence of the beams is strictly prohibited to personnel by means of interlock systems. These systems as well as all the precautions and rules to follow for safe working in the Linac-Adone areas are described in detail in the "Operating Radiation Protection Rules".

In the areas where, on the other hand, access to personnel is allowed during the various operations of the machine, the doses are sufficiently low to assure that recommended limits are fully respected.

Table III lists, as an example, the doses recorded in the last three years in some workplaces. These doses were taken from the readings of dosimeters exposed uninterruptedly in specific locations in the areas indicated. These locations were chosen based upon the results of dose maps periodically made by the Health Physics Service.

TABELLA III

Adone	Equivalenti di dose (mSv)					
	1988		1989		1990	
	Gamma	Neutroni	Gamma	Neutroni	Gamma	Neutroni
Sala Controllo (consolle)	0	0	0	0	0	0
Sala Conteggio	0	0	0	0	0	0
Porta Schermante S. Controllo	0	0	0	0	0	0
Porta Schermante S. Conteggio	0	0	0	0	0	0
Porta Schermante S. Anello	0	0	0	0	0	0
Porta Piazzale	0.66	0	0.67	0	0	0
Ladon						
Consolle	0	n.c.	0	n.c.	0	n.c.
Area Sperimentale	0	0	0	0	0	0
Laboratorio PULS						
Piano Primo	0	0	0	0		0
Piano Terra	0	0	0	0	0	0
Puls Muro Canale	0	n.c.	0	n.c.	0	n.c.
Laboratorio PWA						
Sala Esperienze	0	0	0	0	0	0.20
Sala Preparazioni	0	0	0	0	0	0
Linac						
Ingresso Tunnel	0	n.c.	0	n.c.	0	n.c.
Sala Modulatori	1.46	n.c.	1.04	n.c.	0	n.c.

n.c. = non controllato

Per quanto riguarda le sorgenti radioattive, è utile riferire, a titolo di esempio, i valori approssimativi delle intensità di dose che si avrebbero in assenza di schermature in punti posti a varie distanze da esse. Tali valori sono riportati nella Tabella IV per tre tipiche sorgenti scelte tra quelle abitualmente impiegate nei Laboratori Nazionali di Frascati per la calibrazione della strumentazione: un emettitore beta (^{90}Sr - ^{90}Y); un emettitore gamma (^{60}Co); una sorgente di neutroni (^{241}Am -Be).

TABELLA IV

Distanza dalla sorgente (cm)	Sorgente ^{90}Sr - ^{90}Y da ~ 259 MBq (*) (mSv/h)	Sorgente ^{60}Co da 37 MBq (mSv/h)	Sorgente ^{241}Am -Be da 37 GBq (mSv/h)	
			Gamma	Neutroni
10	250	1.21	2.2	2.2
20	61.3	0.3	0.55	0.55
50	9.2	0.05	0.088	0.088
100	1.1	0.012	0.022	0.022
200	0.14	0.003	0.0055	0.0055

(*) dati relativi a misure effettuate con una sorgente circolare di diametro 17 mm depositata su un supporto cilindrico di acciaio alto 12 mm.

TABLE III

Adone	Dose Equivalent (mSv)					
	1988		1989		1990	
	Gamma	Neutrons	Gamma	Neutrons	Gamma	Neutrons
Control Room (console)	0	0	0	0	0	0
Data Taking Room	0	0	0	0	0	0
Safety Door/Control Room	0	0	0	0	0	0
Safety Door/Data Taking Room	0	0	0	0	0	0
Safety Door/ Adone Hall	0	0	0	0	0	0
Door (to the fenced area)	0.66	0	0.67	0	0	0
Ladon						
Console	0	n.c.	0	n.c.	0	n.c.
Experimental Area	0	0	0	0	0	0
PULS Laboratory						
1st floor	0	0	0	0	0	0
Ground floor	0	0	0	0	0	0
Grasshopper beam line	0	n.c.	0	n.c.		n.c.
PWA Laboratory						
Experimental Room	0	0	0	0	0	0.20
Preparation Room	0	0	0	0	0	0
Linac						
Tunnel (Entrance)	0	n.c.	0	n.c.	0	n.c.
Modulator Room	1.46	n.c.	1.04	n.c.	0	n.c.

n.c. = not checked

As concerns the radioactive sources, examples of the approximate dose equivalent rates at various distances from them are shown in Table IV. Three typical not shielded sources in use at the Frascati National Laboratories for instrument calibration, have been chosen for illustrative purposes: a beta emitter (^{90}Sr - ^{90}Y), a gamma emitter (^{60}Co) and a neutron source (^{241}Am -Be).

TABLE IV

Distance from the source (cm)	Source ^{90}Sr - ^{90}Y of ~ 259 MBq (*) (mSv/h)	Sorgente ^{60}Co of 37 MBq (mSv/h)	Sorgente ^{241}Am -Be of 37 GBq (mSv/h)	
			Gamma	Neutrons
10	250	1.21	2.2	2.2
20	61.3	0.3	0.55	0.55
50	9.2	0.05	0.088	0.088
100	1.1	0.012	0.022	0.022
200	0.14	0.003	0.0055	0.0055

(*) measurements made with a circular source 17 mm in diameter deposited on a cylindrical steel base 12 mm high.

L'attività di una sorgente radioattiva si esprime in becquerel (Bq). Un Bq equivale a una disintegrazione al secondo.

Conviene osservare che, anche con le sorgenti, si potrebbero verificare situazioni di grave pericolo se usate senza i dovuti accorgimenti (per es. sostandovi troppo vicino, spostandole senza far uso delle apposite pinze, etc.).

Si è già detto che informazioni puntuali per ciascun radionuclide vengono fornite agli utenti all'atto del prelievo. Notizie più generali sul loro uso sono inoltre fornite nelle apposite norme di radioprotezione.

QUALI SONO LE DOSI EFFETTIVAMENTE RICEVUTE DAI LAVORATORI NEI LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI?

Nelle abituali condizioni di lavoro, le dosi ricevute dal personale nei Laboratori Nazionali di Frascati sono di norma estremamente modeste e comunque nettamente al di sotto dei limiti di dose stabiliti dalla legge per le varie categorie di lavoratori. Negli ultimi tre anni poi nessun lavoratore ha ricevuto dosi al corpo intero diverse del fondo strumentale.

The activity of a radioactive source is expressed in becquerel (Bq). A Bq is equal to a disintegration per second.

It is important to note that seriously dangerous situations could arise from improper use of the sources (staying too close, moving them without using the proper tongs, etc).

It has already been mentioned that specific information for each radionuclide are supplied with the source itself. More general information are supplied in the "Operating Radiation Protection Rules".

WHAT ARE THE DOSES THAT ARE ACTUALLY RECEIVED BY WORKERS AT THE FRASCATI NATIONAL LABORATORIES?

Under normal conditions the personnel at the Frascati National Laboratories receives very low doses, certainly much below the legal limits recommended for the various categories of workers. During the last three years no workers received whole body dose equivalents different from the background level.