

# **LA RADIOPROTEZIONE NELLE ATTIVITA' INDUSTRIALI E DI RICERCA**

## **MANUALE INFORMATIVO AD USO DEI LAVORATORI**

*a cura del Gruppo Regionale Lombardo  
dell'Associazione Nazionale Professionale Esperti Qualificati  
(ANPEQ)*

*ottobre 2002*

*Alla redazione del presente manuale hanno contribuito:*

**GIULIANO BELLINI<sup>(1)</sup>, LUISA BIAZZI<sup>(2)</sup>, ROBERTO BRAMBILLA<sup>(3)</sup>,  
GIUSEPPE EULISSE<sup>(3)</sup>, DANIELE FANTINATO<sup>(4)</sup>, CARLO LIVERANI<sup>(5)</sup>,  
DOMENICO IPPOLITO<sup>(6)</sup>, ANNA MARIA SEGALINI<sup>(1)</sup>**

La prima parte del manuale (modificata e integrata per gli aspetti specifici industriali e di ricerca scientifica) è tratta da "La radioprotezione nelle attività sanitarie: manuale informativo ad uso dei lavoratori" pubblicato dalla Regione Lombardia-Sanità in ottobre 2001, alla cui stesura hanno collaborato anche Anna Anversa<sup>(7)</sup> e Stefano De Crescenzo<sup>(7)</sup>

- (1) Milano
- (2) Università di Pavia – Fisica Medica
- (3) IRCCS – Ospedale Maggiore di Milano – Servizio di Fisica Sanitaria
- (4) IRCCS – Fondazione S.Maugeri – Servizio di Fisica Sanitaria
- (5) Monza
- (6) ENI – Divisione AGIP – Unità Radioprotezione
- (7) Direzione Generale Sanità-U.O.Prevenzione-Regione Lombardia

## PRESENTAZIONE

Il presente manuale segue quello dal titolo “La radioprotezione nelle attività sanitarie: manuale informativo ad uso dei lavoratori” pubblicato dalla Regione Lombardia-Sanità in ottobre 2001.

Esso riguarda la radioprotezione nelle attività industriali e di ricerca scientifica ed è dedicato specificatamente ai lavoratori che impiegano radiazioni ionizzanti in tali ambiti. Per tale motivo il capitolo 1 è comune al manuale dedicato alle attività sanitarie per quanto attiene agli aspetti generali, mentre si differenzia laddove le parti specifiche lo richiedono.

Così come precisato dall'Assessore regionale alla Sanità nella premessa al manuale informativo per i lavoratori che operano nelle strutture sanitarie, anche questo manuale è stato concepito affinché esso “rappresenti un utile strumento per dare concreta applicazione agli obblighi di informazione dei lavoratori, previsti, oltre che dal D.Lgs.626/94 sul piano generale, in maniera specifica dall'art.61, comma 3, lettera e) del D.Lgs.230/95” e lo si mette a disposizione dei datori di lavoro “con l'auspicio che possa essere ampiamente utilizzato nell'ambito dell'attuazione degli adempimenti mirati alla prevenzione dei rischi da esposizione professionale alle radiazioni ionizzanti”.

Il Direttivo ANPEQ esprime viva soddisfazione per il lavoro svolto dagli autori che risponde ad un'esigenza sentita nel settore della radioprotezione industriale e della ricerca e con piacere mette questo Manuale a disposizione degli operatori della radioprotezione con la precisazione che le norme di radioprotezione del Manuale rappresentano un'indicazione di carattere generale riguardo ai fattori da prendere in considerazione e vanno personalizzate secondo le singole specifiche realtà aziendali, in relazione alla tipologia e all'entità del rischio da radiazioni ionizzanti e a fronte di un'analisi condotta, caso per caso, in base alle modalità secondo cui il lavoro che può esporre a rischio si deve esplicare.

LUISA BIAZZI, VICEPRESIDENTE ANPEQ

.....

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1. Le origini storiche e tecnologiche della radioprotezione.....	4
1.2. Le radiazioni di origine naturale .....	6
1.3. Le interazioni delle radiazioni con i tessuti .....	7
1.3.1. Gli effetti delle radiazioni sulle cellule .....	8
1.3.2. Gli effetti delle radiazioni sull'organismo.....	8
1.4. I principi della radioprotezione .....	13
1.5. La normativa nazionale di radioprotezione .....	14
1.5.1. Criteri di classificazione dei lavoratori e delle zone .....	17
1.5.2. Sorveglianza fisica .....	19
1.5.3. Sorveglianza medica .....	20
1.5.4. La protezione sanitaria della popolazione .....	21
1.6. Glossario .....	22
<b>2. SORGENTI NATURALI DI RADIAZIONI IONIZZANTI NEGLI AMBIENTI DI LAVORO.....</b>	<b>26</b>
2.1. Descrizione .....	26
2.2. Esposizioni da radon.....	27
2.3. Esposizioni nelle attività di volo .....	29
<b>3. STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE E DI RICERCA .....</b>	<b>30</b>
3.1. Spettrometro per analisi mediante raggi X di fluorescenza (XRF), con tubo radiogeno o con con tubo radiogeno o con radioisotopi.....	32
3.2. Diffratometro con tubo radiogeno (XRD) con fascio schermato e libero.....	39
3.3. Microscopio elettronico.....	45
3.4. Detector per gascromatografia a cattura elettronica (ECD).....	49
3.5. Misuratore di polveri in aria con campionamento continuo dell'aria ambiente.....	52
3.6. Apparecchio con tubo radiogeno per radiografia in bunker.....	53
3.7. Apparecchiatura con radioisotopi per radiografia (gammagrafia) in bunker.....	58
3.8. Acceleratore lineare per radiografia in bunker.....	61
3.9. Apparecchio con tubo radiogeno per radiografia o con radioisotopi per gammagrafia in campo aperto.....	67
3.10. Armadio “cabinet” per radiografia.....	72
3.11. Misuratore di spessore, livello, densità a trasmissione con sorgente radioattiva o tubo radiogeno.....	75
3.12. Misuratore di spessore a retrodiffusione con sorgente radioattiva o tubo radiogeno.....	80
3.13. Ionizzatore d'aria.....	83
3.14. Rivelatore di fumo a camere di ionizzazione.....	84
3.15. Impiantatori ionici.....	87
<b>4. NORME DI RADIOPROTEZIONE INTEGRATIVE IN CASO D'INCENDIO.....</b>	<b>90</b>
<b>5. PARTICOLARI RACCOMANDAZIONI DI RADIOPROTEZIONE AI DATORI DI LAVORO .....</b>	<b>91</b>

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. Le origini storiche e tecnologiche della radioprotezione.

L'8 novembre 1895, Wilhelm Conrad Roentgen, professore di fisica all'Università di Wurzburg, stava studiando le caratteristiche dei raggi prodotti all'interno di un tubo nel quale era stato prodotto il vuoto e generata un'alta differenza di potenziale tra due elettrodi in esso contenuti. Questi raggi, chiamati *raggi catodici*, avevano origine in prossimità dell'elettrodo *catodo* ed erano diretti verso l'elettrodo *anodo*. Roentgen studiava, in particolare, la luminescenza indotta dal fascio di raggi catodici sul vetro del tubo.

A un certo punto decise di "oscurare" questa luminescenza ricoprendo il tubo con un mantello sottile di cartone nero, in grado di impedire il passaggio dei raggi del sole o di una lampada ad arco; in queste condizioni notò una debole emissione luminosa provenire da un piccolo schermo fluorescente di carta spalmato di platinocianuro di bario, che si trovava casualmente a una certa distanza dal tubo.

La fluorescenza indotta sullo schermo durante il funzionamento del tubo persisteva anche allontanando lo schermo fluorescente o ponendo il tubo stesso in una cassetta di legno chiusa ermeticamente.

Tutto questo non trovava ragionevole spiegazione con il fenomeno dei raggi catodici, oggetto di studio da parte di numerosi fisici in quel periodo (J.J. Thomson dimostrò nel 1897 che i raggi catodici sono costituiti da cariche

elettriche negative, in seguito chiamate *elettroni*). Roentgen si accorse inoltre, con grande emozione, che interponendo la propria mano tra il tubo e lo schermo fluorescente appariva su questo l'ombra delle proprie ossa!

A questo punto comprese che qualcosa di sconosciuto, avente origine nel tubo, era in grado di attraversare il cartone opaco, o la cassetta di legno, la propria mano e di giungere a produrre fluorescenza sullo schermo: aveva scoperto i **raggi X**, così chiamati da Roentgen proprio per sottolinearne la natura sconosciuta.

Nel giro di poche settimane Roentgen fu in grado di studiare e di descrivere le più importanti caratteristiche dei raggi X, e in particolare:

- la loro capacità di impressionare lastre fotografiche;
- la loro capacità di produrre ionizzazione in aria o in altri gas;
- la loro capacità di attraversare, senza apprezzabile attenuazione, molti materiali a basso numero atomico e a bassa densità;
- il loro significativo assorbimento durante il passaggio attraverso materiali ad alto numero atomico e ad alta densità.

Il primo lavoro presentato da Roentgen, intitolato "Un nuovo tipo di raggi", riportava, oltre alle modalità di produzione e alle caratteristiche principali dei raggi X, anche l'immagine ormai famosa delle "ombre delle ossa della mano" della moglie.

Proprio il diverso grado di assorbimento dei raggi X in materiali a diverso numero atomico e a diversa densità è la caratteristica che viene sfruttata in

radiologia clinica per "vedere" l'interno del corpo umano e, nell'industria e nella ricerca, per esaminare peculiarità o difetti interni di oggetti radioopachi all'indagine visiva.

La scoperta dei raggi X diede al clinico medico, da alcuni decenni già in possesso dello *stetoscopio* (lo "strumento che guarda dentro il torace") scoperto da Laennec, un formidabile mezzo diagnostico in grado di indagare l'*invisibile*, attraverso il *criptoscopio*, lo "strumento che osserva le cose nascoste".

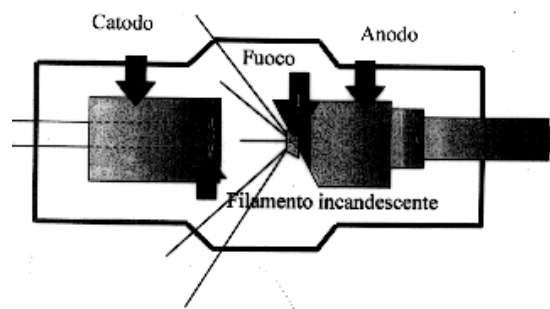
Lo sviluppo delle tecniche radiologiche negli anni successivi fu impressionante anche grazie alla realizzazione nel 1912 da parte di Coolidge di un particolare tipo di tubo a raggi X, dello stesso tipo di quelli ancor oggi utilizzati, sia pure con importanti aggiornamenti tecnici.



W. Roentgen

Il tubo di Coolidge è schematicamente costituito da un'ampolla di vetro, nella quale è praticato il vuoto spinto e nella quale si trovano due elettrodi, un catodo e un anodo (o anticatodo), quest'ultimo costituito da un metallo ad alto numero atomico (ad esempio, tungsteno); nelle vicinanze del catodo si trova un filamento che, riscaldato, emette

elettroni. Nella figura seguente è riportato uno schema di massima.



Schema di un tubo a raggi X

Gli elettroni emessi dal filamento riscaldato vengono attratti dall'anticatodo (che è l'elettrodo positivo): l'emissione dei raggi X è dovuta all'interazione degli elettroni (i raggi catodici studiati da Röntgen) con gli atomi dell'anticatodo.

All'epoca della realizzazione di Coolidge era già stata dimostrata da M. Von Laue la natura fisica dei raggi X: sono *onde elettromagnetiche*, fisicamente dello stesso tipo della luce visibile, caratterizzate da una diversa lunghezza d'onda, estremamente piccola (dell'ordine di  $10^{-10}$  m).

Poche settimane dopo la scoperta dei raggi X da parte di Röntgen, il fisico francese Becquerel, ricercando una relazione tra i raggi X appena scoperti e i fenomeni di fluorescenza indotti su sali di uranio, scopriva il fenomeno della *radioattività naturale* e avviava il mondo scientifico dell'epoca alla scoperta della costituzione intima della materia.

Tra il 1898 e il 1902 Pierre Curie e la moglie Marie Skłodowska scoprirono altri elementi (tra i quali il radio) in grado di presentare il fenomeno della radioattività, dimostrando quindi che questo non è esclusivamente caratteristico dell'uranio.

Nel 1934 Irene Curie (figlia dei Curie) e il marito Frederic Joliot scoprirono il



I coniugi Curie

fenomeno della *radioattività artificiale*, cioè la possibilità di produrre artificialmente elementi radioattivi non presenti in natura e aprirono la strada alla scoperta di un grande numero di isotopi radioattivi artificiali (oggi sono centinaia gli isotopi radioattivi producibili artificialmente).

La possibilità successiva di marcare con isotopi radioattivi cellule, molecole o farmaci ha fornito ai ricercatori la possibilità di seguire il comportamento degli stessi all'interno del corpo umano, in particolare consentendo di rilevare, dall'esterno del corpo, la distribuzione della radioattività in un particolare organo (la cosiddetta scintigrafia) ovvero di eseguire indagini funzionali attraverso lo studio dell'accumulo e dell'eliminazione del composto in un

organo o in un tessuto biologico. Proprio lo stesso Becquerel, pochi anni dopo la scoperta della radioattività naturale, doveva accorgersi che le radiazioni scoperte da lui e da Röntgen producono effetti sugli organismi viventi: nasceva quindi da una parte la **Radioprotezione**, cioè la disciplina che tratta della protezione dalle radiazioni e, parallelamente, una nuova disciplina della medicina, la **Radioterapia**, basata sullo sfruttamento terapeutico degli effetti biologici delle radiazioni.

## 1.2. Le radiazioni di origine naturale

La scoperta dei raggi X, avvenuta solo un secolo fa, e la diffusa preoccupazione destata dagli effetti devastanti delle esplosioni nucleari prodotte durante l'ultima guerra mondiale hanno diffuso l'idea che le radiazioni ionizzanti fossero solo un prodotto dell'attività umana. In realtà le radiazioni ionizzanti esistono da sempre sul nostro pianeta e la specie umana si è evoluta vivendo e riproducendosi in un campo di radiazioni naturali, chiamato *fondo naturale di radiazioni*. Le radiazioni naturali hanno origine in parte dal sole e dallo spazio e in parte dalla crosta terrestre; inoltre isotopi radioattivi naturali sono normalmente presenti nel nostro organismo, come in tutti gli esseri viventi. L'intensità del fondo naturale è molto variabile da luogo a luogo, è diversa all'aperto e dentro gli edifici; all'interno degli edifici può cambiare, spesso in modo significativo, in funzione di differenti materiali da costruzione e della presenza di radon, gas nobile radioattivo che emana dal suolo e, in

assenza di ventilazione, tende a rimanere al suolo, essendo più pesante dell'aria. In Tabella 1 sono mostrati i contributi all'esposizione di un individuo della popolazione a causa del

fondo naturale di radiazioni. Per la definizione di dose si rimanda al glossario al termine di questo capitolo.

**Tabella 1 Esposizione media di un individuo dovuta a fonti di irradiazione naturali presenti nell'ambiente (1).**

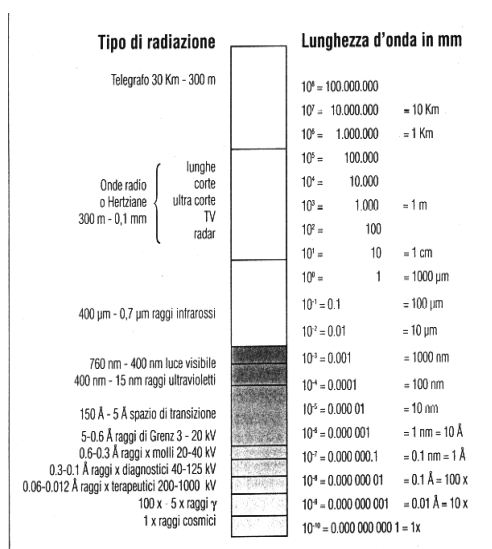
Fonte	(mSv/anno)
raggi cosmici	0.355
radionuclidi presenti in natura prodotti dalla radiazione cosmica	0.015
<b>radionuclidi primordiali</b>	
Irradiazione esterna	0.41
$^{40}\text{K}$	0.18
Famiglie radioattive ( $^{238}\text{U}$ e $^{232}\text{Th}$ )	1.42 (*)
<b>Totale</b>	<b>2.38</b>

(\*) estremamente variabile (dipende dal contributo dovuto alla inalazione di radon, gas radioattivo naturale emesso sia dal terreno sia dai materiali di costruzione degli edifici)

### 1.3. L'interazione delle radiazioni con i tessuti

I raggi X appartengono alla famiglia delle radiazioni elettromagnetiche, che comprende anche la luce visibile, l'infrarosso, l'ultravioletto e i raggi gamma provenienti da decadimenti radioattivi; il solo elemento discriminante tra queste radiazioni è la lunghezza d'onda o la frequenza (che è inversamente proporzionale alla

lunghezza d'onda). I raggi X, (come anche le radiazioni elettromagnetiche provenienti dai decadimenti radioattivi) a differenza della luce visibile, dell'infrarosso e dell'ultravioletto, sono radiazioni ionizzanti, perché nel loro passaggio attraverso la materia producono ionizzazioni, cioè alterazioni della struttura elettronica degli atomi; quando questo avviene con gli organismi viventi (in particolare con l'uomo) possono prodursi danni biologici, a volte di estrema gravità.



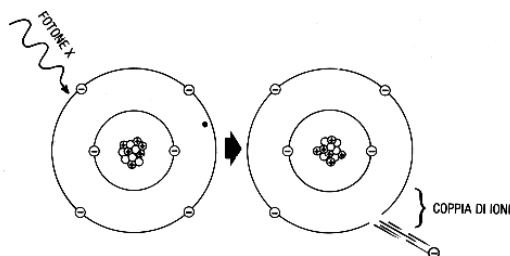
**Spettro della radiazione elettromagnetica**

Nel seguito vengono riportati i principali meccanismi biologici che comportano danno a seguito di esposizione alle radiazioni ionizzanti e descritti i vari tipi di danno.

### 1.3.1. Gli effetti delle radiazioni sulle cellule

Il passaggio di radiazioni ionizzanti in una cellula vivente può dare origine a una complessa catena di eventi poiché nella cellula stessa sono presenti molecole molto diverse, alcune molto semplici (l'acqua), altre molto complesse (il DNA).

In ogni caso, il primo evento è la ionizzazione primaria di un atomo o di una molecola della cellula.



**Fenomeno della ionizzazione**

La ionizzazione provoca la formazione di nuove entità chimiche, a volte molto reattive, come nel caso dei radicali liberi derivanti dalla ionizzazione dell'acqua; in questi casi possono avvenire reazioni chimiche capaci di modificare il contenuto della cellula stessa e quindi in grado di produrre un effetto biologico dipendente dalla natura del danno, dai componenti cellulari danneggiati e dalla specifica funzione della cellula interessata.

La cellula umana contiene 46 cromosomi, che possono essere schematizzati come catene di geni: le caratteristiche di ciascun individuo sono determinate da questi geni e dalla loro disposizione. Ogni cambiamento della struttura di un gene, cioè ogni mutazione, si trasmette alle cellule figlie, che hanno origine dalla cellula mutata.

Dopo un grande numero di replicazioni di cellule mutate può comparire un effetto macroscopico nell'organismo.

Se la mutazione interessa le cellule germinali dell'individuo, è possibile che da una di queste cellule abbia origine un embrione; in questo caso la mutazione avrà un effetto genetico, potendo comparire nell'individuo figlio e/o nei figli che da questo saranno generati.

### 1.3.2. Gli effetti delle radiazioni sull'organismo

Gli effetti delle radiazioni ionizzanti sull'organismo possono essere di due tipi: somatici e genetici. Gli effetti somatici si riferiscono ai danni che si osservano nell'individuo esposto e si esauriscono con lui; gli effetti genetici sono riferiti alle conseguenze dei danni prodotti sulle cellule germinali e



trasmessi ai discendenti; tali conseguenze si manifestano solo nelle generazioni future.

Gli effetti biologici, inoltre, possono essere suddivisi in "stocastici" e "deterministici".

Gli effetti stocastici sono di tipo probabilistico, ovvero la loro frequenza di comparsa, comunque molto piccola, è funzione della dose; non hanno gradualità di manifestazioni con la dose assorbita, cioè sono del tipo tutto - o - niente quale che sia la dose.

Gli effetti deterministici sono viceversa prevedibili, nel senso che è possibile predire se una persona irradiata con una data dose svilupperà questi effetti. Presentano un valore soglia di dose al di sopra del quale colpiscono tutti o quasi tutti gli irradiati e mostrano un aggravio di sintomi con l'aumentare della dose.

Possono manifestarsi entro qualche giorno o qualche settimana dall'irradiazione (effetti immediati) o dopo mesi o anni (effetti tardivi). I valori soglia al di sopra dei quali compaiono effetti rilevabili clinicamente sono dell'ordine del sievert o anche più.

Gli effetti somatici possono essere di tipo deterministico o stocastico. Tra gli

effetti somatici deterministici, oltre a quelli dovuti all'esposizione globale acuta di un individuo a dosi elevate, di cui viene riportato in Tabella 2 un quadro schematico e semplificato della sintomatologia in rapporto alla dose, rientrano:

- le radiodermiti, dal semplice eritema cutaneo immediato alla "radiodermite del radiologo", che insorge dopo diversi anni di latenza, ma che non regredisce più, fino ad evolvere, potenzialmente, in epiteloma spinocellulare;
- le alterazioni ematologiche, essenzialmente rappresentate da manifestazioni di aplasia midollare, con riduzione del numero di granulociti, linfociti e piastrine, e da anemie;
- le alterazioni a carico dell'occhio, essenzialmente rappresentate dalla cataratta, che può insorgere, anche a distanza di diversi anni, a seguito dell'esposizione ad una dose unica di 5-8 Sievert (Sv);
- danni agli organi genitali, quali la riduzione della fertilità o la sterilità per dosi superiori a 1 Sv.

**Tabella 2 Sintomatologia a seguito di esposizione globale acuta di un individuo ad alte dosi**

Settimane dopo l'esposizione	Dose (Sv)		
	1-3 (subletale)	4 (letale)	> 6 (sopraletale)
1	fase latente	Nausea e vomito (1 giorno)	nausea e vomito, malessere, diarrea, febbre bocca e gola infiammate, ulcerazioni, deperimento, morte
2		Depilazione, malessere generale	
3	perdita appetito, depilazione, infiammazione gola, emorragie	Perdita appetito, emorragia, diarrea, febbre, deperimento, morte eventuale	
4	diarrea, guarigione		
<b>Sopravvivenza</b>	Certa salvo complicazioni; (2.5 Sv sono mortali nel 5% dei casi)	Possibile nel 50% dei casi	impossibile

Gli effetti somatici stocastici sono quelli più importanti dal punto di vista radioprotezionistico in quanto, almeno in via teorica e come vedremo più avanti, si possono verificare anche per livelli di dose molto bassi; viceversa gli effetti deterministici si verificano solo per valori di dose elevati e sono quindi da escludere in attività ospedaliere comportanti l'impiego di radiazioni ionizzanti. Gli effetti somatici stocastici sono rappresentati da lesioni neoplastiche, quali le leucemie e altre forme tumorali solide (cancro del polmone, tumore della mammella, carcinoma della tiroide, tumori dello scheletro, etc.). Tali effetti hanno tempi di latenza piuttosto lunghi: il tempo di latenza minimo varia da tre anni per le leucemie e i tumori ossei a dieci anni per gli altri tumori solidi. Vanno inoltre considerati i danni embrionali e fetali: infatti, a seguito dell'azione delle

radiazioni sul prodotto del concepimento, si possono osservare sia la morte fetale, sia alterazioni dello sviluppo con rischi di malformazioni. Nel primo mese di gravidanza dosi dell'ordine di 0.1 Sv ricevute dall'embrione possono provocare l'aborto. Dalla fine del primo mese fino al terzo si possono produrre diversi tipi di malformazione, mentre dalla fine del terzo mese si possono indurre effetti tardivi, a carattere probabilistico, manifestantisi nei primi anni di vita del bambino. Tra i danni al feto è inoltre da citare il rischio di ritardo mentale grave a seguito di irradiazione nel periodo compreso tra l'ottava e la quindicesima settimana di gestazione e, con minor intensità, tra la sedicesima e la venticinquesima settimana; l'aborto e le malformazioni fetali sono effetti a carattere deterministico con un valore soglia di circa 50 mSv. Gli effetti

ereditari, almeno a livello delle dosi considerate a livello radioprotezionistico, sono di tipo stocastico. Essi sono dovuti a due componenti principali: le mutazioni geniche e le aberrazioni cromosomiche. Le mutazioni geniche si distinguono in dominanti e recessive in rapporto alle modalità di trasmissione. Anche le aberrazioni cromosomiche sono di due tipi: aberrazioni numeriche, in relazione alla presenza di cromosomi in più o in meno rispetto al numero caratteristico della specie; aberrazioni strutturali quando, pur mantenendosi questo numero invariato, i geni presenti su uno o più cromosomi sono in eccesso o in difetto rispetto alla norma. Vi sono infine molte condizioni di origine ereditaria aventi trasmissibilità irregolare; esse riguardano, per esempio, le predisposizioni a malattie particolari di grande rilevanza sociale, oppure condizioni non rilevabili nel singolo individuo, ma sulle popolazioni nel loro complesso (fertilità, durata della vita). Al fine di una valutazione più completa del rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti è inoltre utile aver presente, per confronto, i dati

relativi all'esposizione degli individui della popolazione alla radiazione dovuta al fondo naturale contenuti in Tabella 1. Per un più diretto confronto fra il rischio dovuto all'esposizione alle radiazioni ionizzanti ed il rischio dovuto ad altre attività lavorative, in Tabella 3 è mostrata la riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative, mentre in Tabella 4 è mostrata quella associata a varie cause di tipo non lavorativo. Per confronto viene indicata la riduzione media della durata di vita dovuta all'esposizione alle radiazioni ionizzanti valutata utilizzando i fattori di rischio indicati nella pubblicazione 60 della ICRP e considerando che la perdita media di speranza vita, in caso di tumore, risulta rispettivamente, di 13.4 anni per un individuo della popolazione e di 12.7 anni per un lavoratore. Il confronto è effettuato per una esposizione continua di 5 mSv/anno, ovvero l'esposizione massima che si riscontra normalmente nei lavoratori in ambiente sanitario, e di 1 mSv/anno, ovvero il limite di dose per le persone del pubblico.

**Tabella 3 Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative.**

<b>Attività lavorativa</b>	<b>Riduzione media della durata di vita (giorni)</b>
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
<b>Valore medio</b>	<b>60</b>
<b><u>Esposizione alle radiazioni (5 mSv/anno)</u></b>	<b>40</b>

**Tabella 4 Riduzione media della durata di vita associata a varie cause di tipo non lavorativo /2//3/.**

<b>Causa</b>	<b>Riduzione media della durata di vita ( giorni )</b>
abuso di alcool	4000
essere celibe, vedovo o divorziato	3500
fumo (1 pacchetto di sigarette/giorno)	2250
essere nubile, vedova o divorziata	1600
essere sovrappeso ( + 20% )	1040
incidenti con veicoli a motore	207
alcool	130
incidenti in casa	74
fumo passivo	50
<b><u>esposizione lavorativa alle radiazioni (5 mSv/anno)</u></b>	<b>40</b>
cadute	28
<b><u>esposizione alle radiazioni di individui della popolazione (1 mSv/anno )</u></b>	<b>18</b>
esami RX-diagnostici	6
caffè	6

#### 1.4. I principi della radioprotezione.

Scopo della radioprotezione è la prevenzione *totale* degli effetti dannosi non stocastici (che, come detto in precedenza, avvengono sopra una determinata soglia di dose) e la limitazione a livelli considerati *accettabili* della probabilità di accadimento degli effetti stocastici.

La prevenzione degli effetti deterministici si ottiene fissando limiti di equivalente di dose individuale a valori sufficientemente bassi, tali che nessuna dose soglia venga mai raggiunta. La limitazione degli effetti stocastici si ottiene con il “sistema di limitazione delle dosi”, che si propone di contenerli ai livelli più bassi ragionevolmente ottenibili.

La radioprotezione si fonda su tre principi:

- primo principio, detto di **giustificazione**: nessuna attività umana che esponga alle radiazioni

deve essere accolta o proseguita, a meno che la sua introduzione o prosecuzione produca un beneficio netto e dimostrabile;

- secondo principio, detto di **ottimizzazione**: ogni esposizione umana alle radiazioni deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali (principio ALARA, dalle iniziali della frase inglese: “tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile”);
- terzo principio, detto di **limitazione delle dosi individuali**: l'equivalente di dose ai singoli individui non deve superare determinati limiti appropriatamente sicuri, stabiliti per le varie circostanze.

Nella tabella 5 è riportato, sia pure in maniera schematica e incompleta, il corso storico della radioprotezione dagli albori a oggi.

**Tabella 5 : Alcune date importanti nella storia della radioprotezione in ambito non sanitario.**

Periodo	Evento
1915	Prime raccomandazioni per la protezione dei lavoratori emanate dalla British Roentgen Society
Anni venti	Definizione della <i>dose di tolleranza</i> , uguale per lavoratori e popolazione, pari a 1 R/settimana al corpo intero, cioè 50 R/anno.
1925	I Congresso internazionale di Radiologia a Londra e costituzione dell'ICRU (Commissione Internazionale per le unità di misura)
1928	II Congresso internazionale di Radiologia a Stoccolma e costituzione dell'ICRP (Commissione internazionale per la radioprotezione)
1931	Il <i>röntgen</i> ( R ) è adottato come unità di misura della dose da esposizione al fine di “misurare” i raggi X
Anni quaranta	Definizione di <i>dose genetica</i> intesa come dose media alle gonadi tra gli individui in età fertile. Detta dose è posta che sia “dose di tolleranza”

1941	Il Comitato USA per la radioprotezione raccomanda per il Radio il “deposito corporeo massimo di 0.1 $\mu\text{Ci}$ ”
Anni cinquanta	Ipotesi di linearità nella relazione dose/effetto stocastico, caduta del concetto di dose di tolleranza, ricerca di una dose a basso rischio biologico
1952	Le malattie professionali da Radio, raggi X e sostanze radioattive sono incluse, in Italia, nella tabella delle lavorazioni per cui è obbligatoria l’assicurazione contro gli infortuni e le malattie professionali
1953	Il <i>rad</i> è adottato come unità di misura della dose assorbita
1956	È introdotto in Italia per decreto l’obbligo delle visite mediche preventive e periodiche sui lavoratori addetti a mansioni che implicano l’uso del Radio, dei raggi X e delle sostanze radioattive.
1956-1959	L’ICRP definisce le dosi massime ammissibili al corpo intero per i lavoratori (5 rem/anno) e per gli individui della popolazione (0,5 rem/anno), la dose genetica media per gli individui di una vasta popolazione (5 rem in 30 anni), e propugna la lotta a ogni rischio indebito
1959	La Comunità Europea emana proprie direttive di radioprotezione
1960	L’ICRP raccomanda di porre in atto ogni sforzo inteso a ridurre le esposizioni nei limiti più ristretti possibili
1964	L’Italia ha la normativa di radioprotezione (il DPR n. 185)
1965	Principio ALARA (as low as reasonably achievable): le dosi siano mantenute tanto basse quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali
1977	L’ICRP raccomanda un nuovo sistema di limitazione delle dosi
1995	L’Italia ha una nuova <i>normativa di radioprotezione</i> , in attuazione di varie direttive Euratom (il D.Lgs. n. 230) che tra l’altro riduce i limiti di dose annui e tratta della radioattività naturale, compreso il radon
2000	Viene modificato e integrato il D.Lgs. 230/95 recependo la Direttiva Comunitaria 96/29 che riguarda i lavoratori e introduce una normativa specifica per i lavoratori di “impresa esterna”
2001	Disposizioni in materia di tutela e sostegno della maternità (D. Lgs. 8/03/01 e 26/03/01 n. 151 Suppl. G.U. n.96 del 26/4/01)
Marzo 2002	Entrano in vigore le disposizioni sul radon

### 1.5 La normativa nazionale di radioprotezione.

In Italia esiste un *regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare*, nel quale rientra quindi, come caso particolare, la detenzione e

l'impiego di macchine generatrici di raggi X o la detenzione e l'impiego di sorgenti radioattive artificiali a scopi industriali o di ricerca, nonché le disposizioni riguardanti la radioattività naturale, con particolare attenzione alle problematiche relative al radon.

Il testo fondamentale in materia di protezione sanitaria contro il rischio derivante dall'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti è il *Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230*; questo al fine di recepire la Direttiva Euratom 96/29, è stato modificato e integrato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, D.Lgs. 4 gennaio 2001 (imprese esterne), D.Lgs. 9 maggio 2001, n. 257. L'obiettivo fondamentale del D. Lgs. 230/95 può essere riassunto dall'art. 2 che recepisce le raccomandazioni internazionali emanate dall'*I.C.R.P.60 del 1991* (International Commission on Radiological Protection) e di cui di seguito vengono riportati i passi più rilevanti:

1. *Nuovi tipi o nuove categorie di pratiche che comportano un'esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere giustificati, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai loro vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare.*
2. *I tipi o le categorie di pratiche esistenti sono sottoposti a verifica per quanto concerne gli aspetti di giustificazione ogniqualvolta emergano nuove ed importanti prove della loro efficacia e delle loro conseguenze.*
3. *Qualsiasi pratica deve essere svolta in modo da mantenere l'esposizione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali.*
4. *La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti,*

*gli studenti e gli individui della popolazione.*

Nel seguito, salvo diversa indicazione, si farà quindi riferimento al citato decreto legislativo n. 230/95, del quale si riporta l'indice.

## **Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230 e successive modifiche e integrazioni**

### *Sommario*

**Capo I:** Campo di applicazione. Principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti.

**Capo II:** Definizioni.

**Capo III:** Organi.

**Capo III bis:** Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni

**Capo IV:** Lavorazioni minerarie.

**Capo V:** Regime giuridico per importazione, produzione, commercio, trasporto e detenzione.

**Capo VI:** Regime autorizzativo per le installazioni e particolari disposizioni per rifiuti radioattivi.

**Capo VII:** Impianti.

**Capo VIII:** Protezione sanitaria dei lavoratori.

**Capo IX:** Protezione sanitaria della popolazione.

**Capo X:** Stato di emergenza nucleare.

**Capo XI:** Norme penali.

**Capo XII:** Disposizioni transitorie e finali.

**Allegato I:** Determinazione delle condizioni di applicazione delle disposizioni per le materie radioattive e per le macchine radiogene.

**Allegato I bis:** Condizioni per l'applicazione del Capo III bis

**Allegato II:** Spedizioni, importazioni ed esportazioni di rifiuti radioattivi.

**Allegato III:** Determinazione, ai sensi dell'art. 82, delle modalità e dei criteri per l'adozione della sorveglianza fisica nonché dei criteri e delle modalità per la classificazione dei lavoratori, degli apprendisti e degli studenti, nonché delle aree di lavoro.

**Allegato IV:** Determinazione, ai sensi dell'art. 96, dei limiti di dose per i lavoratori, per gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico gli individui della popolazione, nonché dei criteri di computo e di utilizzazione delle grandezze radioprotezionistiche connesse.

**Allegato V:** Determinazione, ai sensi degli artt. 78 e 88, delle modalità, titoli di studio, accertamento delle capacità tecnico professionali per l'iscrizione negli elenchi degli esperti qualificati e dei medici autorizzati. Istituzione degli elenchi degli esperti qualificati e dei medici autorizzati e determinazione ai sensi degli articoli 77 e 88 delle modalità, titoli di studio, accertamento della capacità tecnico-professionale per l'iscrizione.

**Allegato VI:** Determinazione, ai sensi dell'art. 74, delle modalità e dei livelli di esposizione professionale di emergenza.

**Allegato VII:** Determinazione, ai sensi dell'articolo 18 delle modalità della notifica delle pratiche di importazione e di produzione, a fini commerciali, di materie radioattive, di prodotti, apparecchiature e dispositivi in genere contenenti dette materie, nonché delle esenzioni da tale obbligo; determinazione, ai sensi dell'articolo 18-bis delle disposizioni procedurali per il rilascio dell'autorizzazione per l'aggiunta intenzionale di materie radioattive nella produzione e

manifattura di beni di consumo e per l'importazione o l'esportazione di tali beni di consumo; determinazione delle modalità di notifica delle pratiche di cui al comma 1 dell'articolo 22 e dei valori di attività e dei valori di concentrazione di attività per unità di massa di cui alle lettere a) e b) del comma 2 dello stesso articolo; determinazione, ai sensi dell'articolo 19 delle modalità di attuazione dell'obbligo di informativa relativo alle materie radioattive immesse in commercio, nonché delle esenzioni da tale obbligo.

**Allegato VIII:** Determinazione dei criteri e delle modalità per il conferimento della qualifica di sorgente di tipo riconosciuto, ai sensi dell'articolo 26

**Allegato IX:** Determinazione, ai sensi dell'articolo 27, comma 2, delle condizioni per la classificazione in Categoria A ed in Categoria B dell'impiego delle sorgenti di radiazioni, delle condizioni per l'esenzione dal nulla osta e delle modalità per il rilascio e la revoca del nullaosta.

**Allegato X:** Determinazione, ai sensi dell'articolo 31, delle disposizioni procedurali per il rilascio dell'autorizzazione all'attività di raccolta di rifiuti radioattivi provenienti da terzi e delle esenzioni da tale autorizzazione.

**Allegato XI:** Determinazione ai sensi dell'art. 62, comma 3, dell'art. 81, comma 6 e dell'art. 91, comma 5, delle modalità di tenuta della documentazione relativa alla sorveglianza fisica e medica della protezione dalle radiazioni ionizzanti e



del libretto personale di radioprotezione per i lavoratori esterni.  
**Allegato XII:** Determinazione, ai sensi dell'art. 115 comma 2, dei livelli di intervento nel caso di emergenze radiologiche e nucleari.

### 1.5.1 Criteri di classificazione dei lavoratori e delle zone.

Secondo il D. Lgs. n. 230/95 si definisce *lavoratore esposto* chiunque sia suscettibile, durante l'attività lavorativa, di un'esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

I lavoratori che non sono suscettibili di un'esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a detti limiti sono da classificarsi *lavoratori non esposti*.

I lavoratori esposti, a loro volta, sono classificati in Categoria A e Categoria B.

I lavoratori esposti sono classificati in *Categoria A* se sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, a uno dei seguenti valori:

- 6 mSv di dose efficace;
- i tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose equivalente per il cristallino (150 mSv in un anno solare), per pelle, mani, avambracci, piedi e caviglie (500 mSv in un anno solare).

I lavoratori esposti non classificati in Categoria A sono classificati in *Categoria B*.

Nella tabella seguente sono riportati i limiti di dose in funzione della classificazione.

**Tabella 6: Limiti di dose in funzione della classificazione dei lavoratori.**

	<b>Lavoratori esposti</b>	<b>Lavoratori non esposti</b>
Dose efficace	<b>20 mSv/anno</b>	<b>1 mSv/anno</b>
Dose equivalente cristallino	<b>150 mSv/anno</b>	<b>15 mSv/anno</b>
Dose equivalente pelle e estremità	<b>500 mSv</b>	<b>50 mSv</b>

Il sistema di limitazione delle dosi individuali rappresenta un mezzo per garantire che il lavoro che si espone ai rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti possa essere ricompreso tra i "lavori comunemente ritenuti sicuri" (utile al proposito il raffronto con i dati contenuti nella tabella 3).

Per quanto riguarda la *classificazione degli ambienti di lavoro*, la normativa prescrive al datore di lavoro di classificare e segnalare gli ambienti in cui è presente il rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti e regolamentarne l'accesso.

In particolare, viene definita *zona controllata* un ambiente di lavoro in cui sussistono per i lavoratori in essa operanti le condizioni per la classificazione di lavoratori esposti di categoria A.

Viene definita *zona sorvegliata* un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata.

A integrazione di quanto sopra indicato, si segnalano alcuni aspetti della normativa citata di particolare rilevanza:

1. l'accertamento delle condizioni che portino alla classificazione dei lavoratori è di *competenza esclusiva* dell'esperto qualificato; al datore di

- lavoro compete, ovviamente, solo la definizione delle attività che i lavoratori devono svolgere;
2. il criterio di classificazione non viene più associato al tipo, al luogo, ai tempi, all'abitudine o all'occasionalità ed alle modalità di svolgimento del lavoro, ma resta legato al *rischio effettivo* di ricevere dosi superiori a limiti prefissati, in considerazione del rischio di irradiazione esterna e contaminazione interna e anche in considerazione di esposizioni potenziali conseguenti a eventi anomali e malfunzionamenti che siano suscettibili di aumentare le dosi dei singoli derivanti dalla normale attività lavorativa programmata. Quanto sopra comporta, per esempio, che la presenza di operatori in zone classificate non determini automaticamente la classificazione dei lavoratori stessi come lavoratori esposti. In altre parole, esemplificando, all'interno di una zona controllata è possibile avere lavoratori classificati esposti di *categoria A* e/o lavoratori classificati esposti di *categoria B* e/o lavoratori classificati *non esposti*, a seconda dell'entità del rischio radiologico associato all'attività lavorativa.
  3. Un'attenzione particolare viene dedicata dalla normativa agli apprendisti e studenti.
  4. Un'attenzione particolare viene altresì dedicata dalla normativa anche alla tutela della lavoratrice gravida e del neonato: viene infatti prescritto che, ferma restando l'applicazione delle norme speciali

concernenti la tutela delle lavoratrici madri, le donne gestanti non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1 mSv durante il periodo della gravidanza. È inoltre vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

5. I principali casi di non applicazione della citata normativa possono essere riassunti come segue:
  - a) esposizione di pazienti nell'ambito di un esame diagnostico o di una terapia che li concerne;
  - b) esposizione di persone che coscientemente e volontariamente collaborano a titolo non professionale al sostegno e all'assistenza di pazienti sottoposti a terapia o a diagnosi medica;
  - b) esposizione di volontari che prendono parte a programmi di ricerca medica o biomedica, essendo tale esposizione disciplinata da altro provvedimento legislativo.
6. Il D.Lgs. 241/00 ha introdotto, tra l'altro, al Capo III bis la tutela dei lavoratori nei confronti della esposizione derivante da attività con particolari sorgenti naturali di radiazioni che non può essere trascurata dal punto di vista della radioprotezione.

Le attività lavorative considerate sono:

- quelle che si svolgono in tunnel, sottovie, catacombe, grotte e in tutti i luoghi di lavoro sotterranei, oppure in superficie in zone ben

individuare, in relazione alla possibile esposizione a radon e a radiazioni gamma;

- quelle che implicano l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali, o che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali;
- quelle in stabilimenti termali o quelle connesse ad attività estrattive non disciplinate dal Capo IV;
- quelle su aerei, con riferimento al personale navigante.

Sono previsti una serie di obblighi per gli esercenti le attività di cui sopra, i quali devono provvedere, a seconda dei casi, a misurazioni di radon e/o a valutazioni di esposizione nei luoghi di lavoro; in caso di superamento dei livelli di azione fissati nell'Allegato 1 bis, gli esercenti devono adottare azioni di rimedio entro tempi definiti. Qualora tali azioni di rimedio risultino inefficaci, l'esercente adotta i provvedimenti previsti dal Capo VIII.

Per quanto riguarda questo argomento in ambienti di lavoro, si rinvia al **capitolo 2** per una trattazione più ampia inerente le varie tipologie produttive e le vaste porzioni di lavoratori coinvolti.

### 1.5.2 Sorveglianza fisica

Il Capo VIII del D.Lgs. n. 230 (*Protezione sanitaria dei lavoratori*) prevede che i datori di lavoro, esercenti attività comportanti la classificazione degli ambienti di lavoro in una o più zone controllate o sorvegliate oppure la classificazione degli addetti interessati come lavoratori esposti, assicurino la

sorveglianza fisica per mezzo di *esperti qualificati* iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato medico centrale del lavoro.

Tra le attribuzioni specifiche dell'esperto qualificato si ricordano (art. 79 del D.Lgs 230/95):

- a) redazione della relazione contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti le attività esponenti a rischio al fine di integrare il documento di cui all'art. 4 del Decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626 (*il decreto sul miglioramento della sicurezza del lavoro*) per gli aspetti concernenti i rischi da radiazioni ionizzanti e la collaborazione con il *Servizio di prevenzione e protezione dell'azienda* (art. 80 comma 3, D.Lgs 230/95);
- b) fornire indicazioni al datore di lavoro affinché gli ambienti di lavoro in cui sussista un rischio da radiazioni *vengano individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato*;
- c) fornire indicazioni al datore di lavoro affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione;
- d) fornire indicazioni al datore di lavoro per *predisporre norme interne di protezione e di sicurezza, consultabili* nei luoghi frequentati dai lavoratori, in particolare nelle zone controllate;
- e) fornire indicazioni al datore di lavoro perché siano forniti ai lavoratori, ove necessario, i *mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione*;

- f) fornire indicazioni al datore di lavoro al fine di *rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione*
- g) effettuare l'esame e la verifica delle attrezzature, dei dispositivi e degli strumenti di protezione e in particolare:
- procedere *all'esame preventivo* e rilasciare il *relativo benessere*, dal punto di vista della sorveglianza fisica, dei progetti di installazione che comportano rischi di esposizione, nonché delle modifiche alle installazioni implicanti rilevanti trasformazioni delle condizioni, dell'uso o della tipologia delle sorgenti.
  - effettuare la *prima verifica*, dal punto di vista della sorveglianza fisica, di nuove installazioni e delle eventuali modifiche apportate alle stesse.
  - eseguire la *verifica periodica* dell'efficacia dei dispositivi e delle tecniche di radioprotezione.
  - effettuare la *verifica periodica* delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti di misurazione;
- h) effettuare la *sorveglianza ambientale* di radioprotezione nelle zone controllate e sorvegliate;
- i) procedere alla *valutazione delle dosi* in considerazione del rischio di irradiazione esterna e, ove pertinente, del rischio di contaminazione interna.

### 1.5.3 Sorveglianza medica

I datori di lavoro esercenti attività comportanti la classificazione degli addetti interessati come lavoratori

esposti devono assicurare la *sorveglianza medica* per mezzo di *medici autorizzati*, iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato medico centrale del lavoro, nel caso di lavoratori esposti di categoria A e per mezzo di *medici autorizzati* o *medici competenti* (D.Lgs 277/91) nel caso di lavoratori esposti di categoria B (art. 83 del D.Lgs 230/95);.

Il datore di lavoro deve inoltre provvedere a che:

- i lavoratori esposti siano tutti sottoposti a *visita medica preventiva* a cura del medico addetto alla sorveglianza medica (medico autorizzato o medico competente, come già spiegato);
- i lavoratori esposti classificati in categoria B siano sottoposti a *visita medica periodica* almeno una volta all'anno a cura del medico autorizzato o del medico competente;
- i lavoratori esposti classificati in categoria A siano sottoposti a *visita medica periodica* almeno con periodicità semestrale a cura di un medico autorizzato

Per quanto riguarda la *visita medica preventiva*, essa deve comprendere una anamnesi completa dalla quale risultino anche le eventuali esposizioni precedenti, dovute sia alle mansioni esercitate sia a esami e trattamenti medici, e un esame clinico generale completato da adeguate indagini specialistiche e di laboratorio per valutare lo stato generale di salute del lavoratore.

In base alle risultanze della visita medica preventiva il medico addetto alla sorveglianza medica comunica per

iscritto al datore di lavoro la classificazione dei lavoratori come:

- idonei;
- idonei a determinate condizioni;
- non idonei (devono essere immediatamente allontanati dal lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti)

Contro il giudizio del Medico Autorizzato è ammesso ricorso entro 30 giorni dalla data di comunicazione del giudizio stesso all'Ispettorato medico centrale del lavoro.

In base alle risultanze delle *visite mediche periodiche e straordinarie* il medico addetto alla sorveglianza medica della protezione può disporre anche la sorveglianza medica dopo la cessazione del lavoro che ha esposto i lavoratori alle radiazioni ionizzanti.

Particolarmente innovativo rispetto alla precedente normativa è poi l'obbligo, da parte del medico addetto alla sorveglianza medica, di illustrare al lavoratore il significato delle dosi ricevute, delle introduzioni di radionuclidi, degli esami medici e radiotossicologici.

Tra le attribuzioni specifiche del medico addetto alla sorveglianza medica si ricordano i seguenti adempimenti (art. 83 del D.Lgs 230/95):

- a) analisi dei rischi individuali connessi alla destinazione lavorativa e alle mansioni al fine della programmazione di indagini specialistiche e di laboratorio atte a valutare lo stato di salute del lavoratore, anche attraverso accessi diretti negli ambienti di lavoro;
- b) gestione dei documenti sanitari personali;

- c) prestazione di consulenza al datore di lavoro per la messa in atto di infrastrutture e procedure idonee a garantire la sorveglianza medica dei lavoratori esposti, sia in condizioni di lavoro normale che in caso di esposizioni accidentali o di emergenza.

#### **1.5.4 La protezione sanitaria della popolazione.**

Il Capo IX del D.Lgs. 230/95 è relativo, oltre che alla protezione del paziente di cui si è già accennato, anche alla *protezione sanitaria della popolazione*. Di questo aspetto vengono qui riportati solo gli elementi fondamentali.

Viene esplicitato il *divieto di utilizzare sorgenti di radiazioni ionizzanti sulle persone se non per scopi medici di diagnostica, di terapia o di ricerca*. Viene affermato con forza che chiunque espliciti attività comportanti l'uso di sorgenti di radiazioni ionizzanti *deve evitare* che le persone del pubblico siano esposte al rischio di ricevere o impegnare dosi superiori ai limiti, anche a seguito di contaminazione di matrici ambientali.

In particolare viene sottolineato che, in caso di contaminazione radioattiva non prevista o accidentale all'interno di una installazione o durante un'operazione di trasporto che comporti un rischio di significativo incremento del rischio di esposizione delle persone, l'esercente, ovvero il vettore autorizzato al trasporto, deve intraprendere le iniziative idonee ad evitare l'aggravamento del rischio. Nei casi di maggiore gravità, cioè nel caso che l'evento comporti diffusione della contaminazione all'aria, all'acqua, al

suolo e ad altre matrici, o comunque esposizione delle persone all'esterno del perimetro dell'installazione, l'esercente deve darne immediata comunicazione al Prefetto, ai Vigili del fuoco, agli organi del Servizio Sanitario Nazionale e all'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente).

Sempre al fine di ridurre rischi di esposizione alle persone del pubblico, il D.Lgs. 230/95 prevede la necessità di adottare le misure necessarie affinché la gestione dei rifiuti radioattivi, ad esempio provenienti da un servizio di Medicina Nucleare ovvero da un laboratorio di ricerca scientifica o da un impiego industriale, avvenga nel rispetto delle specifiche norme di buona tecnica e delle eventuali prescrizioni tecniche contenute nei provvedimenti autorizzativi.

Il trasporto di sorgenti radioattive o di rifiuti radioattivi deve avvenire per mezzo di un Vettore Autorizzato che esegue il trasporto con veicoli appositamente omologati.

## 1.6 Glossario

- **attività (A):** quoziente di dN diviso per dt, in cui dN è il numero atteso di transizioni nucleari spontanee di una determinata quantità di un radionuclide da uno stato particolare di energia in un momento determinato, nell'intervallo di tempo dt;
- **becquerel (Bq):** nome speciale dell'unità di attività (A); un becquerel equivale ad una transizione per secondo.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando l'attività è espressa in curie

(Ci) sono i seguenti:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq (esattamente)}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

- **contaminazione radioattiva:** contaminazione di una matrice, di una superficie, di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive. Nel caso particolare del corpo umano, la contaminazione radioattiva include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta;
- **datore di lavoro di impresa esterna:** soggetto che, mediante lavoratori di categoria A, effettua prestazioni in una o più zone controllate di impianti, stabilimenti, laboratori, installazioni in genere, gestiti da terzi; non rientrano nella presente definizione i soggetti la cui attività sia la sola a determinare la costituzione di una o più zone controllate presso le installazioni dei terzi, ai quali soggetti si applicano le disposizioni generali del presente decreto
- **detrimento sanitario:** stima del rischio di riduzione della durata e della qualità della vita che si verifica in una popolazione a seguito dell'esposizione a radiazioni ionizzanti. Essa include la riduzione derivante da effetti somatici, cancro e gravi disfunzioni genetiche;
- **dose:** grandezza radioprotezionistica ottenuta moltiplicando la dose assorbita (D) per fattori di modifica determinati a norma dell'articolo 96, al fine di qualificare il significato della dose assorbita stessa per gli scopi della radioprotezione;

- **dose efficace (E):** somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ponderate nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose efficace è il sievert (Sv)
- **dose efficace impegnata (E(t)):** somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti  $H_T(t)$  risultanti dall'introduzione di uno o più radionuclidi, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto  $w_T$ ; la dose efficace impegnata  $E(t)$  è definita da:  

$$E(t) = \sum_T w_T H_T(t)$$
dove  $t$  indica il numero di anni per i quali è effettuata l'integrazione; l'unità di dose efficace impegnata è il sievert;
- **dose impegnata:** dose ricevuta da un organo o da un tessuto, in un determinato periodo di tempo, in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi;
- **dose equivalente ( $H_T$ ):** dose assorbita media in un tessuto o organo  $T$ , ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose equivalente è il sievert;
- **dose equivalente impegnata:** integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in un tessuto o organo  $T$  che sarà ricevuta da un individuo, in quel tessuto o organo  $T$ , a seguito dell'introduzione di uno o più radionuclidi;
- **emergenza:** una situazione che richiede azioni urgenti per proteggere lavoratori, individui della popolazione ovvero l'intera popolazione o parte di essa;
- **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 procedure stabilite;

- **esposizione:** qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti. Si distinguono:
  - 1) **l'esposizione esterna:** esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo;
  - 2) **l'esposizione interna:** esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo;
  - 3) **l'esposizione totale:** combinazione dell'esposizione esterna e dell'esposizione interna;
- **esposizione accidentale:** esposizione di singole persone a carattere fortuito e involontario;
- **esposizione d'emergenza:** esposizione giustificata in condizioni particolari per soccorrere individui in pericolo, prevenire l'esposizione di un gran numero di persone o salvare un'installazione di valore e che può provocare il superamento di uno dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti;
- **esposizione parziale:** esposizione che colpisce soprattutto una parte dell'organismo o uno o più organi o tessuti, oppure esposizione del corpo intero considerata non omogenea;
- **esposizione potenziale:** esposizione che, pur non essendo certa, ha una probabilità di verificarsi prevedibile in anticipo;
- **esposizione soggetta ad autorizzazione speciale:** esposizione che comporta il

superamento di uno dei limiti di dose annuale fissati per i lavoratori esposti, ammessa in via eccezionale solo nei casi indicati nel decreto di cui all'articolo 82;

- **fondo naturale di radiazioni:** insieme delle radiazioni ionizzanti provenienti da sorgenti naturali, sia terrestri che cosmiche, semprechè l'esposizione che ne risulta non sia accresciuta in modo significativo da attività umane;
- **gray (Gy):** nome speciale dell'unità di dose assorbita

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando la dose assorbita è espressa in rad sono i seguenti:

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

- **gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione:** gruppi che comprendono persone la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione;
- **incidente:** evento imprevisto che provoca danni ad un'installazione o ne perturba il buon funzionamento e può comportare, per una o più persone, dosi superiori ai limiti;
- **intervento:** attività umana intesa a prevenire o diminuire l'esposizione degli individui alle radiazioni dalle sorgenti che non fanno parte di una pratica o che sono fuori controllo per effetto di un incidente, mediante azioni sulle sorgenti, sulle vie di esposizione e sugli individui stessi;
- **introduzione:** attività dei radionuclidi che penetrano nell'organismo provenienti dall'ambiente esterno;
- **lavoratore esterno:** lavoratore di categoria A che effettua prestazioni in una o più zone controllate di

impianti, stabilimenti, laboratori, installazioni in genere gestiti da terzi in qualità sia di dipendente, anche con contratto a termine, di una impresa esterna, sia di lavoratore autonomo, sia di apprendista o studente;

- **lavoratori esposti:** persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico. Sono lavoratori esposti di categoria A i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti con il decreto di cui all'articolo 82; gli altri lavoratori esposti sono classificati in categoria B;
- **limiti di dose:** limiti massimi fissati per le dosi derivanti dall'esposizione dei lavoratori, degli apprendisti, degli studenti e delle persone del pubblico alle radiazioni ionizzanti causate dalle attività disciplinate. I limiti di dose si applicano alla somma delle dosi ricevute per esposizione esterna nel periodo considerato e delle dosi impegnate derivanti dall'introduzione di radionuclidi nello stesso periodo;
- **livelli di allontanamento:** valori, espressi in termini di concentrazioni di attività o di attività totale, in relazione ai quali possono essere esentati dalle prescrizioni le sostanze radioattive o i materiali contenenti sostanze radioattive derivanti da pratiche soggette agli obblighi previsti dal decreto;
- **livello di intervento:** valore di dose oppure valore derivato, fissato al fine di predisporre interventi di radioprotezione;
- **materia radioattiva:** sostanza o insieme di sostanze radioattive contemporaneamente presenti. Sono



- fatte salve le particolari definizioni per le materie fissili speciali, le materie grezze, i minerali quali definiti dall'articolo 197 del trattato che istituisce la Comunità europea dell'energia atomica e cioè le materie fissili speciali, le materie grezze e i minerali nonché i combustibili nucleari;
- **matrice ambientale:** qualsiasi componente dell'ambiente, ivi compresi aria, acqua e suolo.
  - **medico autorizzato:** medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite;
  - **persone del pubblico:** individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività e gli individui durante l'esposizione di cui all'articolo 3, comma 5;
  - **popolazione nel suo insieme:** l'intera popolazione, ossia i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico;
  - **pratica:** attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni provenienti da una sorgente artificiale, o da una sorgente naturale di radiazioni, nel caso in cui radionuclidi naturali siano trattati per le loro proprietà radioattive, fissili o fertili, o da quelle sorgenti naturali di radiazioni che divengono soggette a disposizioni ai sensi del capo III bis. Sono escluse le esposizioni dovute ad interventi di emergenza;
  - **radiazioni ionizzanti o radiazioni:** trasferimento di energia in forma di particelle o onde elettromagnetiche con lunghezza di onda non superiore a 100 nm o con

frequenza non minore di  $3 \cdot 10^{15}$  Hz in grado di produrre ioni direttamente o indirettamente.

- **rifiuti radioattivi:** qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione;
- **servizio riconosciuto di dosimetria individuale:** struttura riconosciuta idonea alle rilevazioni delle letture dei dispositivi di sorveglianza dosimetrica individuale, o alla misurazione della radioattività nel corpo umano o nei campioni biologici. L'idoneità a svolgere tali funzioni è riconosciuta secondo procedure stabilite;
- **sievert (Sv):** nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace. Se il prodotto dei fattori di modifica è uguale a 1:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

Quando la dose equivalente o la dose efficace sono espresse in rem valgono le seguenti relazioni:

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

- **smaltimento:** collocazione dei rifiuti, secondo modalità idonee, in un deposito, o in un determinato sito, senza intenzione di recuperarli;
- **smaltimento nell'ambiente:** immissione pianificata di rifiuti radioattivi nell'ambiente in condizioni controllate, entro limiti autorizzati o stabiliti;
- **sorgente artificiale:** sorgente di radiazioni diversa dalla sorgente naturale di radiazioni;
- **sorgente di radiazioni:** apparecchio generatore di radiazioni ionizzanti (macchina radiogena) o materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, dei quali, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività, o la concentrazione di radionuclidi o l'emissione di radiazioni;

- **sorgente naturale di radiazioni:** sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale, sia terrestre che cosmica;
- **sorgente non sigillata:** qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata;
- **sorgente sigillata:** sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili;
- **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;
- **sorveglianza medica:** l'insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti sanitari adottati dal medico, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti;
- **sostanza radioattiva:** ogni specie chimica contenente uno o più radionuclidi di cui, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività o la concentrazione.
- **zona classificata:** ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate. E' zona controllata un ambiente di lavoro, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui si verificano le condizioni stabilite con il decreto di cui all'articolo 82 ed in cui l'accesso è segnalato e regolamentato. E' zona sorvegliata un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata.”.

## 2 SORGENTI NATURALI DI RADIAZIONI IONIZZANTI NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

### 2.1 Descrizione.

Le sorgenti di radiazioni ionizzanti di cui trattasi sono quelle di origine naturale sia terrestre che cosmica e sono tipiche di:

a) attività lavorative durante le quali i lavoratori ed eventualmente persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro, quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;

b) attività lavorative durante le quali i lavoratori ed eventualmente persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro diversi da quelli di cui alla lettera a) in zone ben individuate o con caratteristiche determinate;

c) attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e

provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori ed eventualmente di persone del pubblico;

d) attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico ed eventualmente dei lavoratori;

e) attività lavorative in stabilimenti termali, o attività estrattive quando il materiale grezzo coltivato, nella sua composizione media, abbia un tasso di uranio naturale e/torio inferiore all'1 per cento in peso;

f) attività lavorative su aerei per quanto riguarda il personale navigante.

## 2.2 Esposizioni da RADON

### 2.2.1 Identificazione e caratteristiche delle sorgenti.

Il radon (Rn-222) e il toron (Rn-220) e i loro discendenti, in particolare quelli del Rn-222, e cioè polonio 218 (Po-218), piombo 214 (Pb-214), bismuto 214 (Bi-214), polonio 214 (Po-214), piombo 210 (Pb-210), bismuto 210 (Bi-210), polonio 210 (Po-210), sono presenti nei luoghi dove si svolgono le attività sub a), b) ed e).

Il radio 226 (Ra-226), il torio 232 (Th-232), il potassio 40 (K-40) e alcuni radionuclidi delle terre rare interessano le attività sub c), d) e le attività estrattive.

Il radio 226 (Ra-226) si trova negli stabilimenti termali.

Mentre il Rn-222 e i suoi discendenti presentano rischi soprattutto per inalazione, essendo essenzialmente emettitori di radiazione alfa e beta, gli altri radionuclidi nominati presentano rischi anche per esposizione esterna dovuta alla radiazione gamma.

### 2.2.2 Modi di esposizione.

**Nelle attività sub a), b) ed e)** l'esposizione alle radiazioni avviene essenzialmente per inalazione dei contaminanti radioattivi dell'aria ambiente, mescolati all'aria come nel caso del radon gas, oppure attaccati al particolato respirabile come nel caso dei discendenti del radon.

**Nelle attività sub c) e d)** l'esposizione alle radiazioni avviene anche per irraggiamento esterno da materiali in lavorazione o da residui di lavorazione, per il loro contenuto di radionuclidi emettitori gamma.

**Negli stabilimenti termali**, oltre alla possibilità d'inalazione di contaminanti radioattivi, occorre tenere presente la possibilità di irraggiamento esterno da radio nei liquidi o fanghi radioattivi.

### 2.2.3 Mezzi di protezione.

Per le modalità di distribuzione delle sorgenti radioattive naturali nell'ambiente di lavoro e di vita e per i modi con i quali si viene esposti alle loro radiazioni non risultano praticamente utilizzabili o efficaci mezzi di protezione personali. Sono invece da adottare provvedimenti ambientali di bonifica e comunque di riduzione dell'esposizione.

### 2.2.4 Rischi per le persone e l'ambiente.

#### 2.2.4.1) Rischi per le persone

Trattandosi di esposizioni a ridotta intensità di dose, prolungate nel tempo, sono da escludere effetti immediati mentre sono da considerare gli effetti di tipo tardivo probabilistico, soprattutto a carico dell'apparato respiratorio.

#### 2.2.4.2 Rischi per l'ambiente

Le attività sub c) e d) possono determinare l'eventuale significativa contaminazione dell'ambiente, in

particolare in prossimità di insediamenti produttivi e/o di depositi specialmente di scarti di produzione.

La normativa individua attualmente le seguenti attività a rischio:

- a) industria che utilizza minerali fosfatici e depositi per il commercio all'ingrosso di fertilizzanti;
- b) lavorazione di minerali nella estrazione di stagno, ferro-niobio da pirocloro e alluminio da bauxite;
- c) lavorazione di sabbie zirconifere e produzione di materiali refrattari;
- d) lavorazione di metalli delle terre rare (radionuclidi del gruppo dei lantanidi ossia con numero atomico Z compreso tra 57-Lantanio e 71-Lutezio);
- e) lavorazione ed impiego di composti del torio, per quanto concerne elettrodi per saldatura con torio, produzione di lenti o vetri ottici e reticelle per lampade a gas;
- f) produzione di pigmento al biossido di titanio;
- g) estrazione e raffinazione di petrolio ed estrazione di gas, per quanto concerne presenza e rimozione di fanghi e incrostazioni in tubazioni e contenitori.

#### 2.2.5 Provvedimenti di radioprotezione.

La protezione dall'esposizione alle radiazioni naturali ha due capisaldi:

- I) indagini conoscitive sulla concentrazione di contaminanti nell'aria e/o sulle dosi per irradiazione esterna, a fronte di livelli di azione stabiliti per legge, che sono 500 Bq/m<sup>3</sup> per le attività sub a) e b), e 1 mSv/anno per le altre attività (0,3 mSv/anno per le persone del pubblico, ove applicabile);
- II) interventi correttivi per il rientro al di sotto dei livelli di azione nel caso essi vengano superati. Gli interventi

correttivi s'indirizzeranno, secondo i casi, verso provvedimenti tecnici di bonifica (ventilazione, controllo delle vie di entrata dei contaminanti negli ambienti) e/o di riduzione delle esposizioni (revisione della organizzazione delle attività, adeguata rilocalizzazione delle fonti di radiazione ove possibile, ecc.).

Per i provvedimenti di fase II e per le misurazioni di fase I con l'eccezione delle attività sub a) e b), l'esercente delle attività si avvale dell'Esperto qualificato. Per le misurazioni di fase I relativamente alle attività sub a) e b) l'esercente si avvale di organismi riconosciuti, che rilasciano una relazione tecnica contenente il risultato delle misurazioni. Trascorsi tre anni dall'inizio della fase II senza che i provvedimenti abbiano dato ancora esito favorevole, si applicano le norme di sorveglianza fisica e di sorveglianza medica della radioprotezione di cui al Capo VIII del D.Lgs. 230/95.

#### 2.2.6 Strumentazione

Si impiegano strumenti o rivelatori di concentrazione di radon e/o dei suoi discendenti per misure istantanee o integrate nel tempo e strumenti per la misura del rateo di dose gamma. Gli strumenti devono essere debitamente tarati e calibrati.

#### 2.2.7 Tempi e frequenza delle valutazioni.

Per la fase I occorre un intervento di misurazione effettuato in modo da ottenere risultati rappresentativi della concentrazione media annuale dell'inquinante. Le misure vanno ripetute negli anni successivi con frequenze che dipendono dai livelli misurati durante la prima indagine.

La fase I deve essere completata entro 24 mesi dall'inizio dell'attività. In via transitoria per le attività già in essere, il periodo di 24 mesi inizia per le attività sub a) dal 1° marzo 2002, per le attività sub b) dalla prima individuazione ufficiale delle zone a rischio da parte delle Province o delle Regioni autonome, per le attività sub c), d), e) dal 1° settembre 2003.

Per la fase II si procede ad una nuova misurazione di verifica dell'efficacia dei provvedimenti correttivi entro tre anni dall'inizio dell'intervento ed eventualmente al completamento di ulteriori interventi se i primi non sortiscono effetti favorevoli.

Nel caso gli interventi correttivi si prolunghino oltre i primi tre anni, si provvederà inoltre alle dosimetrie personali e ambientali nell'ambito della sorveglianza fisica della radioprotezione

#### 2.2.8 Comunicazioni agli organi di vigilanza.

Un importante adempimento, tipico delle situazioni con sorgenti di radiazioni naturali qualora venga superato il livello di azione applicabile, è l'invio, entro 1 mese, di una comunicazione con allegata la relazione con le avvenute misurazioni di fase I ad ARPA, ASL competente per territorio e Direzione provinciale del lavoro, integrata con l'analisi delle lavorazioni per le attività sub c), d) ed e).

### **2.3 Esposizioni nelle attività di VOLO**

#### 2.3.1 Esposizione del personale di navigazione aerea.

Tra le sorgenti naturali di radiazioni va considerato anche lo spazio cosmico, in particolare il sole è una sorgente importante di radiazioni ionizzanti. L'intensità della

radiazione emessa dal sole non è costante, ma ha un andamento che si può considerare ciclico, che raggiunge livelli massimi nei periodi in cui si verificano importanti tempeste solari. Il campo magnetico terrestre fa sì che una quota delle particelle emesse dal sole rimanga "intrappolata" intorno alla terra nelle "fascie di Van Allen", inoltre l'atmosfera scherma una parte dei raggi cosmici, che sono comunque rilevabili anche a livello del suolo e la cui intensità, in quota, dipende anche dalla latitudine, essendo come abbiamo detto influenzata anche dal campo magnetico terrestre.

Quando si sale ad alta quota lo schermo offerto dall'atmosfera diventa via via meno efficiente, e l'intensità della radiazione aumenta con l'altitudine

Per questa ragione l'allegato 1 bis al Decreto Legislativo 230/95 ha considerato l'esposizione a radiazioni del personale addetto alla navigazione aerea.

Il decreto precisa che:

- per i voli effettuati entro gli 8000 metri di quota il personale navigante può ricevere una dose annua inferiore a 1 mSv, quindi entro il limite massimo che le norme fissano per la popolazione;
- per voli effettuati tra 8000 e 15000 metri la valutazione della dose assorbita da questi lavoratori può essere fatta sulla base di calcoli, i cui risultati devono essere convalidati con misure effettuate su due velivoli che effettuino rotte a lungo raggio, a latitudini diverse.

Per voli a 15000 o più metri di quota, che peraltro non riguardano la navigazione aerea commerciale e quindi interessano un numero limitatissimo di lavoratori la valutazione della dose deve essere

effettuata, oltre che con il calcolo, mediante la misura effettuata con particolari dosimetri, che siano in grado di misurare anche variazioni di breve durata dell'intensità. In questo modo è possibile,

anche per chi dovesse effettuare viaggi spaziali, misurare e valutare correttamente la dose assorbita.

### 3 STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE E DI RICERCA

Esistono vari tipi di apparecchiature dedicate ai diversi tipi di analisi, controlli e misure, che utilizzano le proprietà delle radiazioni ionizzanti per ottenere i risultati richiesti. Possono essere suddivise in strumenti da laboratorio (par 3.1÷3.5) e strumenti per uso più generale in campo aperto, in ambienti industriali, in bunker, ecc. (par 3.6÷3.15).

#### 3.1) SPETTROMETRO PER ANALISI MEDIANTE RAGGI X DI FLUORESCENZA (XRF), CON TUBO RADIOGENO O CON RADIOISOTOPI.

E' utilizzato per l'analisi chimica (qualitativa o quantitativa) dei più svariati materiali.

#### 3.2) DIFFRATTOMETRO CON TUBO RADIOGENO.

E' impiegato per l'analisi della struttura molecolare di diverse sostanze.

#### 3.3) MICROSCOPIO ELETTRONICO.

E' utilizzato per la microscopia con grossi ingrandimenti (oltre 10.000 volte). In casi particolari, con speciali accessori, può funzionare anche come spettrometro.

#### 3.4) DETECTOR PER GASCROMATOGRAFIA A CATTURA ELETTRONICA (ECD).

E' usato per l'analisi chimica di composti generalmente clorurati.

#### 3.5) MISURATORE DI POLVERI IN ARIA CON CAMPIONAMENTO CONTINUO DELL'ARIA AMBIENTE.

E' impiegato per la determinazione della quantità di polvere/particolato in aria.

#### 3.6) APPARECCHIATURA CON TUBO RADIOGENO PER RADIOGRAFIA IN BUNKER.

E' usata per controlli non distruttivi di oggetti anche di grandi dimensioni (quali serbatoi e manufatti di carpenteria metallica).

#### 3.7) APPARECCHIATURA CON RADIOISOTOPI PER RADIOGRAFIA (GAMMAGRAFIA) IN BUNKER.

E' usata come nel caso 6) ma per spessori e dimensioni superiori.

#### 3.8) ACCELERATORE LINEARE PER RADIOGRAFIA IN BUNKER.

E' impiegato come nei casi 6) e 7) ma per spessori e dimensioni superiori.

#### 3.9) APPARECCHIATURA CON TUBO RADIOGENO PER RADIOGRAFIA O CON RADIOISOTOPI PER GAMMAGRAFIA IN CAMPO APERTO.

E' usata per controlli non distruttivi di manufatti metallici direttamente sul luogo di produzione o di impiego.

3.10) ARMADIO “CABINET” PER RADIOGRAFIA.

E' utilizzato come nel caso 6) ma per oggetti di piccole dimensioni.

3.11) MISURATORE DI SPESSORE, LIVELLO, DENSITA' A TRASMISSIONE CON SORGENTE RADIOATTIVA O TUBO RADIOGENO.

E' usato per la misura di queste variabili su prodotti industriali (laminati piani e fluidi tecnici di varia natura con materiale interposto tra sorgente e rivelatore.

3.12) MISURATORE DI SPESSORE A RETRODIFFUSIONE CON SORGENTE RADIOATTIVA O TUBO RADIOGENO.

E' un sistema analogo a quello di cui al punto 11) ma con sorgente e rivelatore posizionati dalla stessa parte rispetto al materiale da controllare.

3.13) IONIZZATORE D'ARIA.

E' usato per la ionizzazione dell'aria nei pressi di particolari processi produttivi.

3.14) RIVELATORE DI FUMO A CAMERE DI IONIZZAZIONE.

E' usato per la rilevazione di incendio quando i sistemi convenzionali risultino meno efficienti.

3.15) IMPIANTATORI IONICI.

E' usato, in particolare, per la produzione di circuiti integrati.

### **3.1) SPETTROMETRO PER ANALISI MEDIANTE RAGGI X DI FLUORESCENZA (XRF) CON TUBO RADIOGENO O CON RADIOISOTOPI**

Lo strumento effettua l'esame spettrometrico dei raggi X di fluorescenza emessi dai componenti dei materiali sottoposti ad analisi. L'emissione è stimolata dal fascio di raggi X generati da un tubo radiogeno (o da una o più sorgenti radioattive) contenute nello strumento.

L'analisi spettrometrica viene eseguita mediante la selezione dello spettro di energia dei raggi X di fluorescenza emessi dal materiale analizzato oppure con la misura differenziale dei raggi X di fluorescenza filtrati da una serie di dischi metallici selettivi.

Sono disponibili:

- 3.1.1) Spettrometri da laboratorio con tubo radiogeno
- 3.1.2) Spettrometri da laboratorio con radioisotopi
- 3.1.3) Spettrometri portatili con radioisotopi

#### **3.1.1) SPETTROMETRO DA LABORATORIO CON TUBO RADIOGENO**

##### **3.1.1.1) Descrizione**

Lo spettrometro da laboratorio con tubo radiogeno è costituito da una struttura metallica di grandi dimensioni o da tavolo, chiuso, con fasci di raggi X confinati e protetti, che contiene al suo interno il sistema di alta tensione, il tubo radiogeno, la camera di analisi e tutti gli elementi meccanici ed elettronici necessari al suo funzionamento. Integrate nello strumento vi sono la segnalazione luminosa di sorgente di raggi X attiva e

l'indicazione della tensione e della corrente di funzionamento.

##### **3.1.1.2) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena**

Tensione: 20 - 100 kVp  
Corrente: 0,05 - 100 mA  
Filtrazione: 0,3mm berillio  
Anodo tipico: rodio

Nella parte frontale dello strumento sono situati il quadro di controllo dei parametri operativi del tubo radiogeno ed il pozzetto per il posizionamento del campione da sottoporre ad analisi. L'apparecchio può essere dotato di un caricatore per cambio campioni automatico.

##### **3.1.1.3) Impieghi tipici**

Analisi chimiche qualitative e quantitative. Il risultato dell'analisi è presentato su monitor e su stampante.

##### **3.1.1.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) Collimazione del fascio primario di raggi X.
- b) Schermatura delle pareti della "camera di analisi".
- c) Microinterruttori su tutti i pannelli di accesso allo strumento.
- d) Sistema di schermatura della guaina del tubo radiogeno.
- e) Segnalazione delle condizioni di funzionamento della fonte radiogena con indicazione dei kV e dei mA.
- f) Segnalazione luminosa indicante l'emissione di raggi X.

##### **3.1.1.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.



L'operatore impiega lo spettrometro posizionando il campione nel pozzetto di analisi e quindi agendo sul quadro di controllo dello strumento per impostare i parametri operativi e dare inizio all'analisi che avviene in modo automatico: questa operazione, della durata di 20 - 30 secondi, non richiede ulteriori interventi dell'operatore.

#### 3.1.1.6) Radioprotezione

3.1.1.6.a) Rischi per le persone: da minimi a trascurabili.

Il sistema, per progetto e struttura dell'apparecchiatura, è esente da radiazione significativa al suo esterno oltre il livello del fondo naturale. La presenza e l'uso della macchina non presuppongono perciò la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti.

3.1.1.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

3.1.1.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale del campo di radiazione alle superfici esterne attraverso la ricerca di eventuali punti di fuga di radiazione, da ripetersi cautelativamente in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di interventi di manutenzione. La misura, al netto del fondo, dovrebbe essere nulla agli effetti pratici: infatti, date le modalità d'uso della macchina, non è ammissibile la presenza all'esterno di campi significativi.
- In caso contrario, peraltro puramente speculativo, e nel caso che la intensità di dose in un punto qualsiasi dell'intorno della macchina corrispondesse ad una dose annua prossima o superiore a 1 mSv,

occorrerebbe far apportare adeguate modifiche.

3.1.1.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, camera di ionizzazione a condensatore o rivelatori a integrazione.

3.1.1.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: annuale, opportuna per verificare eventuali danneggiamenti e il buon funzionamento dei sistemi di sicurezza.

#### 3.1.1.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sull'apparecchiatura radiogena la segnaletica di "Pericolo Radiazioni".
- II. E' severamente vietato manomettere i sistemi di segnalazione e sicurezza installati sull'apparecchiatura nonché l'apparecchiatura stessa.
- III. L'uso dell'apparecchiatura è consentito unicamente a personale specificatamente formato, autorizzato dal Responsabile dell'attività.
- IV. I dispositivi di protezione e segnalazione vanno sempre mantenuti efficienti; è vietato l'utilizzo dell'apparecchiatura quando i suddetti dispositivi non risultino funzionanti.
- V. Gli operatori devono utilizzare l'apparecchiatura attenendosi scrupolosamente alle norme riportate sui manuali d'uso che devono essere disponibili nei locali in cui è installata l'apparecchiatura stessa.
- VI. Gli operatori devono limitarsi all'impiego dell'apparecchiatura senza effettuare operazioni che comportino lo smontaggio della stessa e l'accesso diretto (al tubo radiogeno) (ai sistemi di accelerazione delle cariche elettriche).
- VII. Agli operatori non autorizzati è vietato effettuare operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'apertura dell'apparecchiatura, la rimozione dei sistemi di protezione e l'accesso diretto (al tubo radiogeno) (ai sistemi di accelerazione delle

cariche elettriche) quando la macchina è alimentata.

VIII. Le operazioni di manutenzione di natura elettrica o meccanica possono essere effettuate anche da personale classificato non esposto, munito di autorizzazione interna, unicamente con apparecchiatura spenta e comunque in assenza di raggi X.

IX. Le operazioni di manutenzione che possano coinvolgere la sezione emettitrice o che comunque possano comportare lo smontaggio dell'apparecchiatura, con conseguente rischio di esposizione, devono essere effettuate da personale specializzato, incaricato dall'Impresa che assume l'appalto, meglio se dal Fornitore dell'apparecchiatura.

X. In caso di incendio o di allagamento dei locali, il personale operatore dovrà mettere in sicurezza l'apparecchiatura disattivando l'alimentazione elettrica della stessa.

I lavoratori devono:

a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti per le apparecchiature. Gli specifici dispositivi di sicurezza e protezione consistono normalmente in schermatura,

otturatori, microinterruttori, luci di segnalazione e/o allarme, segnali acustici.

b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei dispositivi di sicurezza, protezione e segnalazione ottica e/o acustica nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.

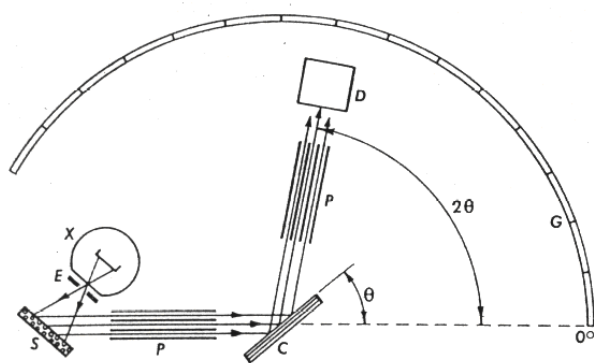
c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.

d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.

e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.

f) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.

g) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

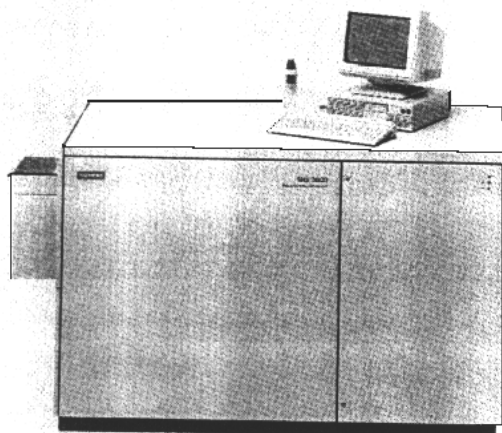


di riflessione. [Figura: Encyclopedia Americana]

Fig. 3.1.1 A - Schema di principio dello spettrometro a raggi X di fluorescenza.

X: sorgente di radiazione primaria, E: collimatore per ridurre la radiazione diffusa, S: campione da analizzare, P: "Soller slit" o collimatore della radiazione di fluorescenza (può essere presente soltanto il primo), C: monocristallo di diffrazione secondo la legge di Bragg  $n\lambda = 2d\sin\theta$ , D: rivelatore della radiazione di fluorescenza, G: scala del goniometro,  $\theta$ : angolo di Bragg,  $2\theta$ : angolo

Fig. 3.1.1 B - Aspetto esterno di uno spettrometro da laboratorio (SIEMENS SRS 3000).



Come si può osservare le varie parti componenti, ed il campione da analizzare, sono completamente racchiusi da un involucro capace di schermare efficacemente la radiazione.

[Figura: Siemens AG]

### **3.1.2) SPETTROMETRO DA LABORATORIO CON RADIOISOTOPI**

#### **3.1.2.1) Descrizione**

Tale strumento, chiuso, con fasci di radiazioni confinati e protetti, ha dimensioni ridotte e capacità analitiche mirate all'individuazione di specifici elementi in relazione al tipo di radioisotopo utilizzato come fonte primaria di raggi X di fluorescenza.

#### **3.1.2.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti**

Ferro 55 (Fe55); Cadmio 109 (Cd109); Plutonio 238 (Pu238); Curio 244 (Cm244),  
con attività da 74 MBq a 37 GBq.

#### **3.1.2.3) Impieghi tipici**

Determinazione di alcuni elementi chimici come zolfo, piombo, vanadio ecc.

#### **3.1.2.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

Nelle normali condizioni di funzionamento le sorgenti risultano fisicamente inaccessibili.

La struttura dello strumento è realizzata in modo tale da schermare totalmente le radiazioni emesse.

#### **3.1.2.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguato del personale addetto.

L'operatore posiziona il campione da analizzare nell'apposito pozzetto e agisce sul quadro di controllo dello strumento.

#### **3.1.2.6) Radioprotezione**

3.1.2.6.a) Rischi per le persone: da trascurabili a valutabili.

In condizioni di normale funzionamento il sistema è tale da racchiudere, oltre la sorgente, il campione ed il rivelatore in un insieme schermato che non rilascia radiazione significativa all'esterno. Inoltre, in alcuni casi, esistono dispositivi per il rientro della sorgente in involucro schermante quando non in uso.

La presenza e l'impiego di queste macchine non comporta la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti.

Per la presenza di una sorgente radioattiva, occorre istituire un programma di verifica ambientale e dei sistemi di sicurezza.

3.1.2.6.b) Rischi per l'ambiente: non trascurabili data la presenza di sorgenti radioattive.

Il rischio è determinato essenzialmente dall'eventuale smarrimento di una o più sorgenti in occasione di operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione oppure in occasione della rottamazione della macchina o dell'impianto.

3.1.2.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misure iniziali della intensità del campo di radiazione all'esterno degli involucri o delle barriere. Poiché lo strumento è costruito in modo da racchiudere sia la sorgente che il campione, non si dovrebbe rilevare alcun incremento di intensità di dose di radiazione oltre il fondo ambientale.
- Se, al contrario, la misura fosse tale da comportare in qualsiasi punto all'esterno dello schermo una dose annua nell'intorno o superiore a 1 mSv, occorrerebbe far apportare adeguate modifiche.

- Verifica delle condizioni ottimali degli schermi contro radiazione di fuga localizzata.
- Verifica del corretto funzionamento dei dispositivi di rientro o segregazione della sorgente.
- Verifica del corretto funzionamento di tutti gli altri dispositivi che impediscono l'analisi in condizioni di mal funzionamento dei sistemi di protezione.
- Verifica dell'assenza di contaminazione in prossimità dell'alloggiamento della sorgente o almeno nelle zone accessibili, mediante smear test e successivo conteggio con geiger o meglio con analizzatore multicanale ove possibile.
- Ripetizione delle misure e verifiche dopo ogni operazione di manutenzione o riparazione in caso di eventuali danneggiamenti anche solo sospettati.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.
- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti.
- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione della macchina.

3.1.2.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione a parete sottile, geiger, rivelatori a integrazione idonei per basse energie.

3.1.2.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

3.1.2.7)                      NORME                      DI  
RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sull'apparecchiatura radiante la segnaletica di "Pericolo Radiazioni";
- II. E' vietato manomettere i sistemi di segnalazione e sicurezza installati sull'apparecchiatura nonché l'apparecchiatura stessa.
- III. L'uso dell'apparecchiatura è consentito unicamente a personale specificatamente formato, autorizzato dal Responsabile dell'attività.
- IV. I dispositivi di protezione e segnalazione devono essere sempre mantenuti efficienti ed è vietato l'utilizzo dell'apparecchiatura quando i suddetti dispositivi non risultino funzionanti.
- V. Gli operatori devono utilizzare l'apparecchiatura attenendosi scrupolosamente alle norme riportate sui manuali d'uso che devono essere disponibili presso l'apparecchiatura stessa.
- VI. Gli operatori devono limitarsi all'impiego delle apparecchiature senza effettuare operazioni che comportino lo smontaggio e l'accesso diretto alle sorgenti radioattive.
- VII. E' vietato effettuare operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'apertura dell'apparecchiatura e l'accesso diretto alle sorgenti radioattive;
- VIII. Gli operatori non devono esporre le mani o parti del corpo davanti alla finestra di emissione.
- IX. Le operazioni di manutenzione devono essere affidate alla Ditta Fornitrice o ad altra Ditta specializzata e non devono comportare ovviamente la contaminazione dell'apparecchiatura e dell'ambiente circostante.
- X. A manutenzione ultimata la ditta incaricata deve rilasciare il certificato di non contaminazione.
- XI. In caso di incendio o allagamento con il coinvolgimento dell'apparecchiatura, il personale incaricato deve limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento dell'incendio o di contenimento avendo cura di informare il Responsabile dell'attività che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato. Le modalità di recupero verranno definite dall'Esperto Qualificato; l'apparecchiatura danneggiata non dovrà comunque essere recuperata a mani nude.

I lavoratori devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti: gli specifici dispositivi di sicurezza e protezione consistono normalmente in schermatura, otturatori, microinterruttori, luci di segnalazione e/o allarme, segnali acustici.
- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei dispositivi di sicurezza, protezione e segnalazione ottica e/o acustica nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.
- f) Mantenere il coperchio protettivo sulla finestra di emissione delle radiazioni quando l'apparecchiatura non è utilizzata.
- g) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- h) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

### **3.1.3) SPETTROMETRO PORTATILE CON RADIOISOTOPI**

#### **3.1.3.1) Descrizione**

Lo spettrometro si compone di due elementi separati e collegati elettricamente:

- l'unità elettronica di comando, visualizzazione e controllo;
- la "testa di misura" contenente la/le sorgente/i radioattiva/e, con i relativi sistemi di schermatura, otturazione sorgente/i e di rivelazione radiazioni (cristallo scintillatore con

fotomoltiplicatore o altri tipi di rivelatore)

La testa di misura è di piccole dimensioni (es. 50 mm x 100 mm x 200 mm) con una finestra di uscita del fascio di radiazioni dietro cui sono alloggiate le sorgenti radioattive.

Il portasorgente ha funzione di collimatore e di sistema di esposizione sorgenti in corrispondenza della finestra di misura. Il portasorgente è dotato di una molla di richiamo che garantisce il mantenimento della sorgente in posizione protetta in condizioni non operative.

#### **3.1.3.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti**

Ferro 55 (Fe55); Cadmio 109 (Cd109); Plutonio 238 (Pu238); Curio 244 (Cm244), con attività da 100 MBq a 3000 MBq. L'impiego più corrente prevede l'accoppiata di Fe55 e Cd109

#### **3.1.3.3) Impieghi tipici**

Analisi di leghe metalliche PMI (Positive Material Identification) ossia identificazione di materiali in base alla lega con cui sono fabbricati.

#### **3.1.3.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) Schermatura delle sorgenti in condizione di riposo.
- b) Portasorgente/collimatore in tungsteno ad azionamento elettrico, comandato dall'unità di elaborazione, dotato di doppia molla di ritorno per garantire la posizione schermata in condizioni non operative, ovvero in mancanza di alimentazione o di guasto.
- c) Idoneo sistema di segnalazione ottico e acustico per evidenziare il tipo e le condizioni di esposizione delle sorgenti.

d) Sistema di apertura e chiusura degli otturatori comandato dall'unità elettronica (dopo il controllo di autodiagnostica). La chiusura dell'otturatore avviene al termine dell'analisi.

### 3.1.3.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

L'operatore impiega lo spettrometro posizionando la finestra di emissione a contatto del campione da analizzare e agendo sul pulsante di avvio: questa operazione, della durata di 20 - 30 secondi, richiede che l'operatore mantenga la finestra di emissione perfettamente a contatto del campione perchè spostamenti (anche piccoli), oltre a falsare la misura, possono provocare irraggiamenti indebiti da radiazione diffusa.

### 3.1.3.6) Radioprotezione

3.1.3.6.a) Rischi per le persone: da trascurabili a valutabili in funzione delle dimensioni del campione da analizzare rispetto alla finestra di uscita.

Per la presenza di fasci di radiazioni anche significativi, sebbene solo in caso di non corretto impiego, esistono in linea di massima i presupposti per la classificazione delle zone e per la eventuale classificazione dei lavoratori addetti.

Occorre istituire la sorveglianza fisica e in alcuni casi la sorveglianza medica, mediante incarico ad un esperto qualificato e ad un medico autorizzato/competente.

3.1.3.6.b) Rischi per l'ambiente: non trascurabili data la presenza di sorgenti radioattive.

Il rischio è determinato essenzialmente dall'eventuale smarrimento di una o più sorgenti in occasione di operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione oppure in occasione della rottamazione della macchina o dell'impianto.

### 3.1.3.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misure iniziali dell'intensità del campo di radiazione all'esterno dell'involucro.
- Verifica del corretto funzionamento dei dispositivi di rientro o segregazione della sorgente.
- Verifica del corretto funzionamento di tutti gli altri dispositivi che impediscano l'analisi in condizioni di malfunzionamento dei sistemi di protezione.
- Verifica dell'assenza di contaminazione in prossimità dell'alloggiamento della sorgente mediante smear test e successivo conteggio con geiger o meglio con analizzatore multicanale ove possibile.
- Ripetizione delle misure e verifiche dopo ogni operazione di manutenzione e in caso di eventuali danneggiamenti anche solo sospettati.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.
- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti.
- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione della macchina.

3.1.3.6.d) Strumentazione consigliata:  
camera di ionizzazione a parete sottile,  
geiger, rivelatori a integrazione idonei  
per basse energie.

3.1.3.7) NORME DI  
RADIOPROTEZIONE  
Vedi il paragrafo 3.1.2.7)

3.1.3.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

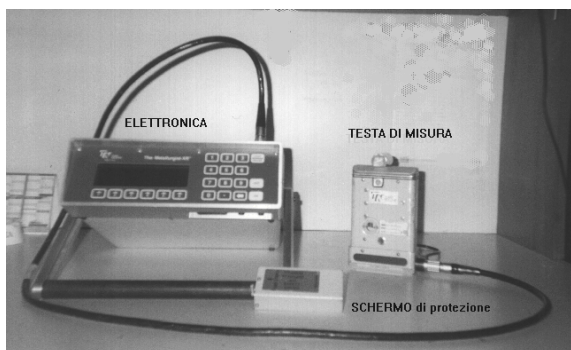


Fig. 3.1.3 A - Aspetto esterno di uno spettrometro portatile a radioisotopi. Si riconoscono, da sinistra, il pannello di comando e controllo, la testa di misura con un campione metallico in analisi e, in primo piano, il coperchio di protezione.

## 3.2) DIFFRATTOMETRO CON TUBO RADIOGENO

Il diffrattometro viene utilizzato per l'analisi della struttura cristallina dei campioni. L'analisi diffrattometrica viene eseguita attraverso la misura dell'angolo di diffrazione del fascio di raggi X prodotto dal campione.

Sono disponibili:

- 3.2.1) diffrattometri con camera d'analisi schermata
- 3.2.2) diffrattometri per analisi con fascio in aria libera

### 3.2.1) DIFFRATTOMETRO CON CAMERA D'ANALISI SCHERMATA

#### 3.2.1.1) Descrizione

Il diffrattometro a raggi X da laboratorio è costituito da una struttura metallica di rilevanti dimensioni (es. 1500 mm x 1000 mm x 2000 mm), che contiene al suo interno il tubo radiogeno la camera di analisi e tutti gli elementi meccanici ed elettronici necessari al suo funzionamento; integrati nello strumento

vi sono la segnalazione luminosa di raggi X attiva e la indicazione della tensione e della corrente di funzionamento.

#### 3.2.1.2) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena

Tensione massima: 100 kVp

Corrente massima: 100 mA

Filtrazione: 0,3 mm berillio

Anodo: rodio, rame o altro

Sul piano di lavoro è posta la cuffia del tubo radiogeno dotata di una o più finestre di emissione. Ad ogni finestra può essere accoppiata una camera di misura.

#### 3.2.1.3) Impieghi tipici

Analisi di strutture atomiche e

molecolari con goniometri e camere per bassi angoli; i risultati dell'analisi sono presentati su monitor e stampante.

#### 3.2.1.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Collimazione del fascio primario di raggi X.
- b) Otturatori di schermatura della finestra della cuffia.
- c) Schermatura completa della camera di analisi.
- d) Eventuali pannelli schermanti che circoscrivono il piano di lavoro, dotati di microinterruttori.
- e) Sistema di schermatura della guaina del tubo.
- f) Segnalazione delle condizioni di funzionamento del tubo radiogeno (kV e mA).
- g) Segnalazione luminosa indicante l'emissione di raggi X.

#### 3.2.1.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione e addestramento adeguati del personale addetto.

L'operatore impiega il diffrattometro posizionando il materiale nel portacampioni e agendo sul quadro di controllo dello strumento: questa operazione è effettuata con otturatore chiuso.

#### 3.2.1.6) Radioprotezione

3.2.1.6.a) Rischi per le persone: nonostante l'elevata intensità del fascio, i rischi sono trascurabili in condizione di corretto esercizio.

La macchina, in perfetta efficienza, è esente per progetto da radiazione significativa al suo esterno; inoltre sicurezze elettriche impediscono il funzionamento del tubo radiogeno in

assenza di accoppiamento delle camere d'analisi e con sportello schermato di visualizzazione aperto.

Ai fini della radioprotezione, non vi sono i presupposti per la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti, tranne che nelle attività di ricerca e progetto particolarmente a rischio.

3.2.1.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

#### 3.2.1.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale del campo di radiazione sulle superfici esterne delle camere di analisi e sui pannelli del box schermante e quindi verifica della efficienza delle sicurezze elettriche, da ripetersi periodicamente e comunque in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di riparazioni. La misura, al netto del fondo, dovrebbe essere nulla agli effetti pratici: non è ammissibile la presenza all'esterno di campi significativi, date le modalità d'uso della macchina. Si evidenzia come il tubo radiogeno normalmente è in grado di funzionare in modo continuativo anche per tempi molto prolungati: questo consente di effettuare la misura su tutta la superficie esterna con un rivelatore di radiazione X, completata, se opportuno, da successive verifiche in punti critici mediante rivelatori ad integrazione.
- Nel caso si misuri in un punto qualsiasi della superficie esterna un valore di dose significativo rispetto al fondo, occorre far revisionare ed eventualmente far adeguare il sistema di schermi della macchina.

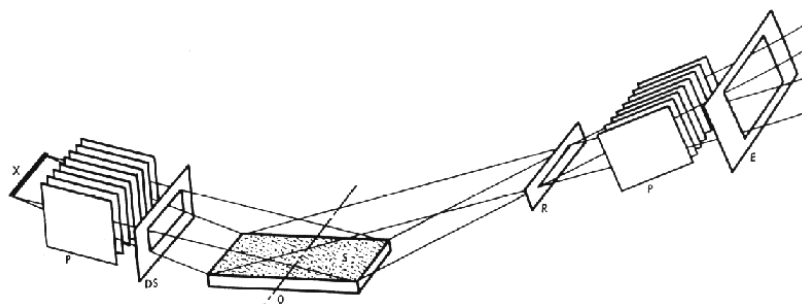


3.2.1.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione e rivelatori ad integrazione.

3.2.1.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

3.2.1.7) NORME DI  
RADIOPROTEZIONE  
Vedi il paragrafo 3.1.1.7)

Fig. 3.2.1 A - Schema di principio del diffrattometro a raggi X per campioni policristallini.



X: sorgente lineare sottile di radiazione X, eventualmente corredata di monocromatore per migliorare il rapporto con la radiazione di fondo, P: "Soller slit" o collimatore, DS: apertura per il controllo della divergenza del fascio, S: campione da analizzare, in rotazione attorno all'asse O, R: apertura ricevente a fessura, E: apertura anti diffusione all'ingresso del rivelatore (non mostrato). La distanza tra X ed O deve essere uguale alla distanza tra O ed R. Il campione ed il complesso di rivelazione sono parti di un sistema chiamato goniometro. Poiché anche il diffrattometro è basato sulla legge di Bragg, il goniometro è realizzato in maniera tale che ad una rotazione  $\vartheta$  del campione attorno all'asse O corrisponda una rotazione  $2\vartheta$  del complesso di rivelazione. [Figura: Encyclopedia Americana]



Fig. 3.2.1 B - Aspetto esterno di un diffrattometro con cabinet schermato per analisi di materiali policristallini (BRUKER D8 ADVANCE). Attraverso le ante schermate si nota il goniometro con al centro il portacampioni rotante, a sinistra la sorgente costituita dalla cuffia con tubo a raggi-X e a destra il rivelatore a scintillazione accoppiato al monocromatore secondario".

### **3.2.2) DIFFRATTOMETRO PER ANALISI CON FASCIO IN ARIA LIBERA**

#### **3.2.2.1) Descrizione**

Questo tipo di diffrattometro è analogo allo strumento descritto al punto precedente ma utilizza camere di analisi con fasci liberi: la schermatura delle radiazioni è garantita dalla struttura del box in metallo e in vetro "anti X" che è parte integrante dell'apparecchio

#### **3.2.2.2) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena**

Tensione massima: 100 kVp

Corrente massima: 100 mA

Filtrazione: 0,3 mm berillio

Anodo: rodio

#### **3.2.2.3) Impieghi tipici**

Analisi di polveri, di cristalli singoli e di vari composti a temperatura ambiente e/o controllata: i risultati dell'analisi sono presentati su monitor e stampante.

#### **3.2.2.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) Collimazione del fascio primario di raggi X.
- b) Otturatori di schermatura del fascio.
- c) Pannelli schermanti che circoscrivono il piano di lavoro, dotati di microinterruttori.
- d) Sistema di schermatura della guaina del tubo.
- e) Segnalazione delle condizioni di funzionamento del tubo radiogeno (kV e mA).
- f) Segnalazione luminosa indicante l'emissione di raggi X.

#### **3.2.2.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

Il modo d'impiego di questo strumento è analogo a quello descritto al paragrafo 3.2.1).

#### **3.2.2.6) Radioprotezione**

3.2.2.6.a) Rischi per le persone: anche consistenti per possibili irradiazioni alle mani.

L'interno dell'area di analisi, delimitata da pannelli schermanti, costituisce zona controllata; esistono normalmente sicurezze elettriche per impedire il funzionamento del tubo radiogeno con pannelli aperti.

Il sistema, ancorché in perfetta

efficienza, non è necessariamente esente da radiazione significativa neppure all'esterno delle barriere schermanti; inoltre possono sopravvenire variazioni operative o degrado strutturale o funzionale delle protezioni aggiuntive tali da modificare le primitive condizioni di sicurezza. Non si può escludere che l'area circostante lo strumento sia zona sorvegliata e gli addetti classificati lavoratori esposti; in tal caso sono richieste la sorveglianza fisica e la sorveglianza medica.

3.2.2.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

3.2.2.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale sia del campo di radiazione all'esterno delle barriere ed ai posti operatore sia della efficienza delle sicurezze elettriche, da ripetersi periodicamente e comunque in occasione di mutamenti delle condizioni operative, di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di interventi di manutenzione.
- In caso di valori di dose ingiustificatamente elevati o di disuniformità marcate ed anomale nella distribuzione spaziale dei valori di dose all'esterno delle barriere, devono essere adottati provvedimenti tecnici sulle barriere stesse ed amministrativi sulle modalità operative coerenti con il principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) al fine di ridurre il più ragionevolmente possibile il valore di dose assorbita in aria all'esterno della struttura.
- Sono necessarie la sorveglianza fisica e in alcuni casi anche la sorveglianza medica dei lavoratori addetti.

3.2.2.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione e dosimetri a integrazione.

3.2.2.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

### 3.2.2.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata all'esterno dei box formati dagli schermi di protezione posti sui piani dei diffrattometri la segnaletica indicante "Pericolo Radiazioni" e "Vietato l'accesso ai non autorizzati".
- II. Le operazioni di centratura ed allineamento del fascio devono essere effettuate alla potenza più bassa compatibile con le esigenze operative e non devono comportare l'esposizione delle estremità al fascio diretto di radiazioni.
- III. E' vietato manomettere i sistemi di segnalazione e sicurezza installati sull'apparecchiatura nonché l'apparecchiatura stessa.
- IV. L'uso dell'apparecchiatura è consentito unicamente a personale specificatamente formato, autorizzato dal Responsabile dell'attività.
- V. I dispositivi di protezione e segnalazione devono essere mantenuti efficienti; è vietato l'utilizzo dell'apparecchiatura quando i suddetti dispositivi non risultino funzionanti.
- VI. Gli operatori devono utilizzare l'apparecchiatura attenendosi scrupolosamente alle norme riportate sui manuali d'uso che devono essere disponibili nei locali in cui l'apparecchiatura è installata.
- VII. Gli operatori devono limitarsi all'impiego delle apparecchiature senza effettuare operazioni che comportino lo smontaggio della stessa e l'accesso diretto al tubo radiogeno.
- VIII. Agli operatori non autorizzati è vietato effettuare operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'apertura dell'apparecchiatura, la rimozione dei sistemi di protezione e l'accesso diretto al tubo radiogeno quando la macchina è alimentata.

- IX. Le operazioni di manutenzione di natura elettrica o meccanica possono essere effettuate anche da personale classificato non esposto, munito di autorizzazione interna, unicamente con apparecchiatura spenta e comunque in assenza di raggi X.
- X. Le operazioni di manutenzione che possano coinvolgere la sezione emettitrice o che comunque possano comportare lo smontaggio dell'apparecchiatura, con conseguente rischio di esposizione, devono essere effettuate da personale specializzato, incaricato dall'Impresa che assume l'appalto, meglio se dal Fornitore dell'apparecchiatura.
- XI. In caso di incendio o di allagamento dei locali, il personale operatore dovrà mettere in sicurezza l'apparecchiatura disattivando l'alimentazione elettrica della stessa.

I lavoratori devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti per le apparecchiature a raggi X: gli specifici dispositivi di sicurezza e protezione consistono normalmente in schermatura, otturatori, microinterruttori, luci di segnalazione e/o allarme, segnali acustici.
- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei dispositivi di sicurezza, protezione e segnalazione ottica e/o acustica nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.
- f) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- g) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

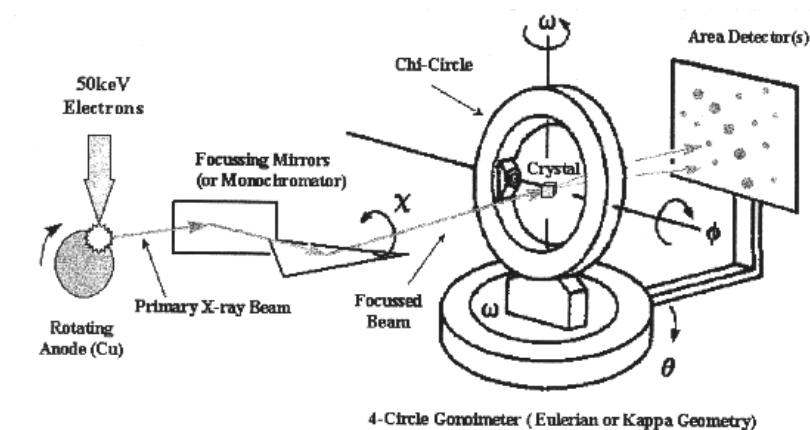


Fig. 3.2.2 A - Schema di principio del diffrattometro a raggi X per studi strutturali di cristalli singoli.

Il cristallo è fissato al centro di una struttura (goniometro) che gli consente di essere ruotato attorno a più assi. Il fascio X monocromatico e focalizzato viene diffratto e rivelato da rivelatori o da una pellicola fotografica in punti che si trovano su

cerchi concentrici del piano di rivelazione, intersezioni del piano con coni aventi vertice nel cristallo ed apertura  $4\theta$ . [Figura: Dr. Bernhard Rupp, univ. Vienna]

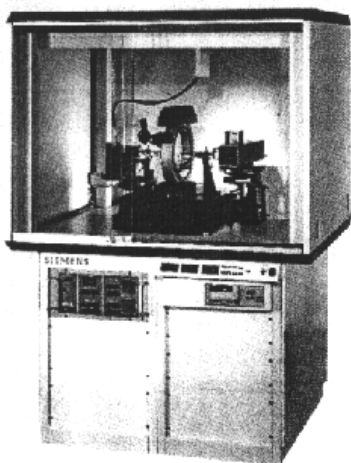


Fig. 3.2.2 B - Aspetto esterno di un diffrattometro a camera schermante per studi strutturali di cristalli singoli (SIEMENS P4). Il volume interessato dalla radiazione X è completamente segregato. All'interno si vede il goniometro, alla destra del quale c'è il tubo radiogeno col monocromatore ed il collimatore, ed alla sinistra il sistema di rivelazione.

[Figura: Siemens AG]

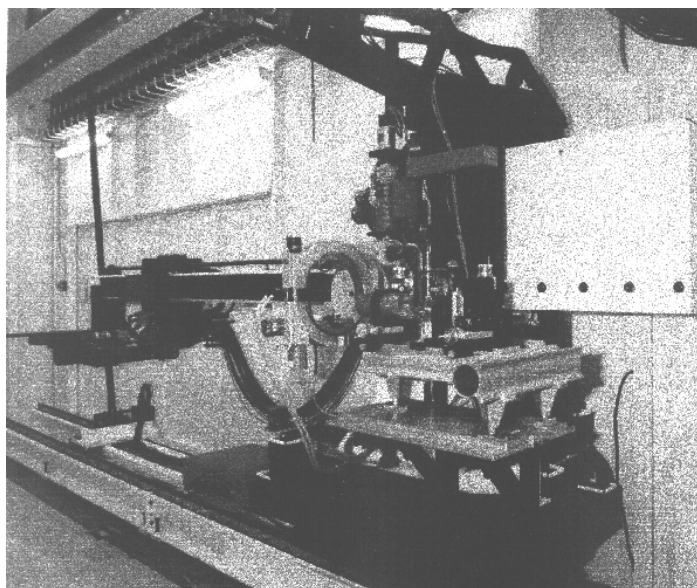


Fig. 3.2.2 C - Vista di un diffrattometro con fascio parzialmente libero (X12B).

La fotografia mostra una parte dell'apparecchiatura, montata su una rotaia di 6,3 m, ed in particolare lo stadio porta campione ed il braccio inclinabile del rivelatore. Non è visibile la parte del tubo radiogeno con i collimatori. L'apparecchiatura è installata in un locale con pareti schermanti, e verosimilmente non vi si trovano persone durante il funzionamento.

[Figura: Brookhaven National Laboratory]

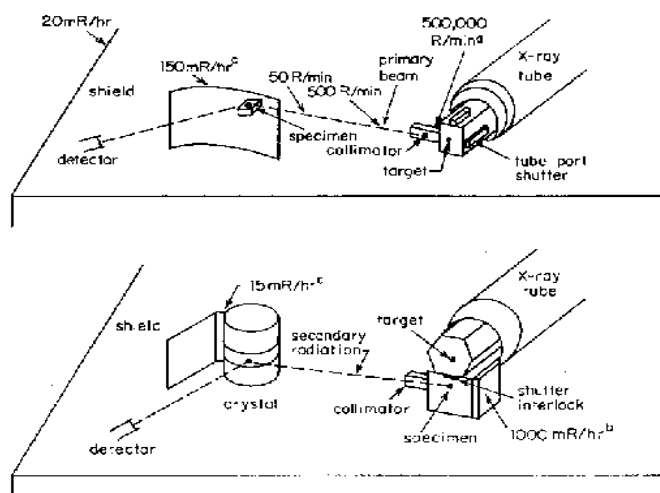


Fig. 2.2 D - Valori dei campi di radiazione misurati in prossimità dei componenti di apparecchiature per analisi con raggi X a fascio libero. La parte superiore della figura si riferisce ad un diffrattometro, quella inferiore ad uno spettroscopio a fluorescenza. Le differenze nelle intensità di esposizione sono assai rilevanti.

[Figura: J. Shapiro. Harvard University Press]

### 3.3) MICROSCOPIO ELETTRONICO

#### 3.3.1) Descrizione

Il microscopio elettronico è costituito da un complesso che contiene al suo interno tutti gli elementi meccanici ed elettronici relativi alla generazione, accelerazione e focalizzazione degli elettroni, il pozzetto portacampioni, i mezzi di teleposizionamento del campione e i rivelatori dell'immagine.

L'acceleratore di elettroni è completamente chiuso all'interno dello strumento e fisicamente inaccessibile. Sia il percorso degli elettroni che il pozzetto portacampioni devono essere mantenuti sotto vuoto durante il funzionamento: il cosiddetto cannone elettronico non funziona se non in questa condizione.

Un secondo complesso costituisce la consolle di comando del microscopio.

Esistono due tipi di microscopio elettronico: a scansione (*SEM*) e a

trasmissione (**TEM**). Dal punto di vista radiologico non esistono differenze sostanziali tra i due tipi, in quanto il fascio elettronico, a seguito dell'urto col mezzo interessato, emette radiazione X.

Le differenze consistono nel modo di ottenere l'immagine ingrandita dell'oggetto.

Nel TEM l'oggetto viene attraversato dal fascio di elettroni che si comporta in modo analogo ad un fascio luminoso (e come questo è deflesso da lenti, elettriche e magnetiche), però di lunghezza d'onda associata molto minore, quindi con possibilità di ingrandimenti molto più forti. Gli elettroni accelerati, dopo aver attraversato il campione, colpiscono uno schermo fluorescente, osservabile dall'esterno, sul quale formano l'immagine ingrandita del campione, generando tuttavia anche raggi X di frenamento.

Nel SEM il fascio elettronico, accelerato e focalizzato sull'oggetto, viene costretto a compiere sull'oggetto stesso una scansione sincrona con quella del punto luminoso del monitor di visione.

Gli elettroni secondari, emessi dall'oggetto e raccolti da un rivelatore, producono un segnale sul monitor funzione della topografia dell'oggetto. L'ingrandimento è proporzionale al rapporto tra le dimensioni dell'immagine sullo schermo e quelle della zona esplorata dell'oggetto.

### 3.3.2) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena

	Tensione	Corrente:
SEM:	35 - 50 kVp,	~ 10 $\mu$ A
TEM:	150 - 350 kVp,	~ 100 $\mu$ A

### 3.3.3) Impieghi tipici

Microscopia ad alto ingrandimento (> 10.000), con adeguati accessori (camere

per microanalisi e relativa elettronica) si può effettuare la spettrometria mediante raggi X di fluorescenza e l'analisi di strutture.

### 3.3.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- Collimazione del fascio di elettroni.
- Schermatura delle pareti della "camera di misura".
- Impossibilità di operare in assenza di vuoto nel pozzetto porta campioni.
- Segnalazione delle condizioni di funzionamento.

### 3.3.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

L'operatore colloca il campione nel pozzetto e dopo aver fatto il vuoto nella camera d'analisi esegue l'osservazione dal quadro di controllo dello strumento.

### 3.3.6) Radioprotezione

#### 3.3.6.a) Rischi per le persone: trascurabili

La macchina è esente per progetto e struttura da radiazione significativa al suo esterno: infatti l'involucro della stessa e le eventuali finestrelle di visione sono di materiale e spessore idonei a produrre un efficace effetto schermante della radiazione X.

La presenza e l'uso della macchina non presuppongono perciò la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti.

#### 3.3.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

#### 3.3.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale del campo di radiazione all'esterno del microscopio vero e proprio e del monitor, da ripetersi

cautelativamente in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di interventi di manutenzione. L'esame consiste nella verifica radiometrica su tutta la superficie esterna della torretta del tubo elettronico e del monitor, quando presente. Eventuali posizioni critiche, dove si sospetti radiazione di fuga, possono essere studiate con rivelatori ad integrazione. La misura, al netto del fondo dovrebbe essere nulla agli effetti pratici. Non è ammissibile la presenza all'esterno di campi significativi, date le modalità d'uso della macchina.

- Nel caso si misuri, in un punto qualsiasi della superficie esterna, un valore di dose significativo rispetto al fondo, occorre far revisionare ed eventualmente adeguare la schermatura dell'apparecchiatura.
- Di norma non si ravvisa la necessità di sorveglianza fisica periodica.

3.3.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, ed eventualmente rivelatori a integrazione.

3.3.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: a discrezione.

### 3.3.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sull'apparecchiatura radiante la segnaletica di "Pericolo Radiazioni".
- II. E' vietato manomettere i sistemi di segnalazione e sicurezza installati sull'apparecchiatura nonché l'apparecchiatura stessa.
- III. L'uso dell'apparecchiatura è consentito unicamente a personale specificatamente formato, autorizzato dal Responsabile dell'attività.

- IV. I dispositivi di protezione e segnalazione vanno sempre mantenuti efficienti; è vietato l'utilizzo dell'apparecchiatura quando i suddetti dispositivi non risultino funzionanti.
- V. Gli operatori devono utilizzare l'apparecchiatura attenendosi scrupolosamente alle norme riportate sui manuali d'uso che devono essere disponibili presso l'apparecchiatura stessa.
- VI. Il personale deve limitarsi all'impiego dell'apparecchiatura senza effettuare operazioni che comportino lo smontaggio dell'apparecchiatura e l'accesso diretto alla sezione emettitrice.
- VII. Le operazioni di manutenzione di natura elettrica o meccanica potranno essere effettuate da personale classificato non esposto unicamente con apparecchiatura spenta o non alimentata.
- VIII. In caso di incendio o di allagamento dei locali nei quali sia coinvolta l'apparecchiatura, disattivare l'alimentazione elettrica.

I lavoratori devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti.
- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei suddetti dispositivi nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, alcune parti dell'apparecchiatura.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.
- f) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- g) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.



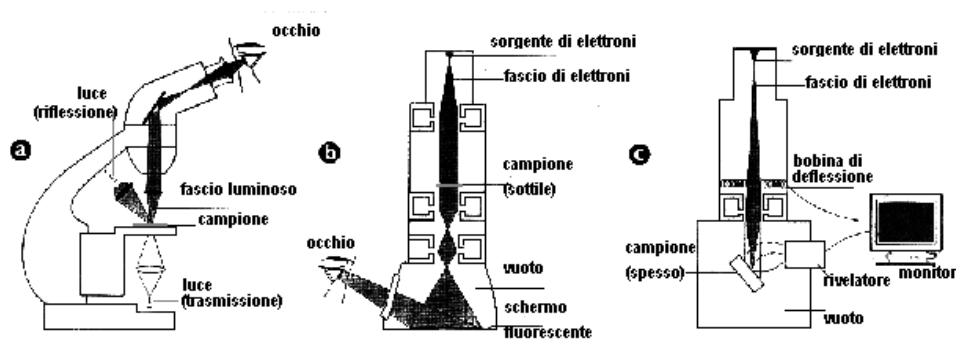


Fig. 3.3 A - I principi di funzionamento del microscopio ottico (a) e dei microscopi elettronici a trasmissione (TEM) (b) ed a scansione (SEM) (c) messi a confronto. Nel TEM il fascio di elettroni si comporta in modo simile al fascio di luce del microscopio ottico, viene rifratto da lenti magnetiche anziché da lenti ottiche e va a formare l'immagine sopra uno schermo fluorescente, osservabile direttamente. Nel SEM si utilizza invece la tecnica televisiva. Il fascio di elettroni focalizzato sul campione viene deflesso continuamente per esplorarne tutta la superficie. Gli elettroni secondari emessi, il cui numero è proporzionale alle caratteristiche del punto del campione da cui provengono, sono rivelati ed il segnale risultante va a formare un punto di immagine sullo schermo di un monitor televisivo, che in genere è anche dotato di memoria. [Figura: Philips Electron Optics]

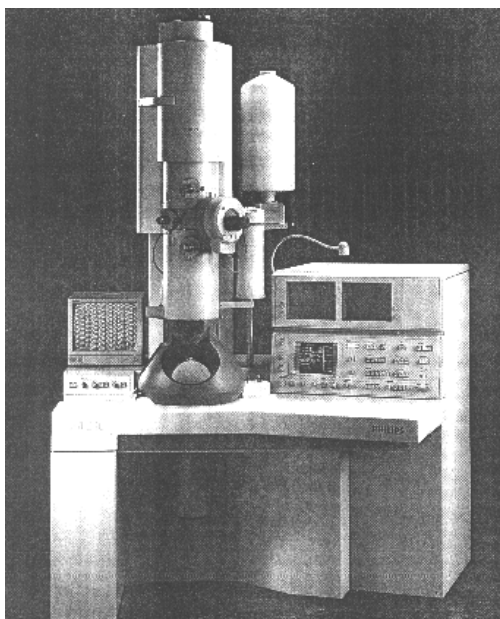


Fig. 3.3 B - Microscopio TEM da laboratorio per la scienza dei materiali (PHILIPS CM200).

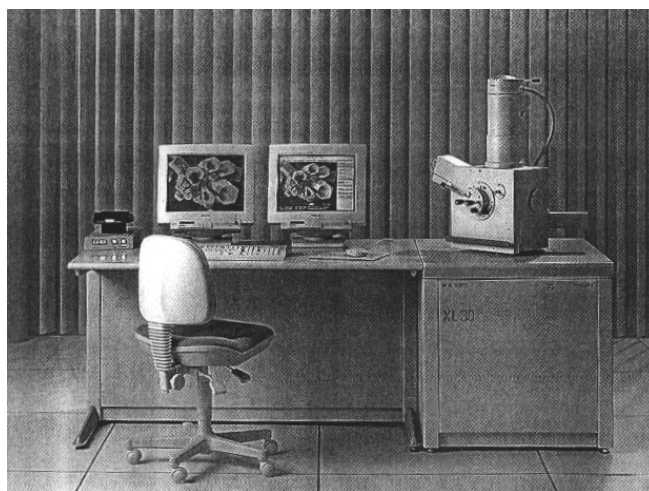
La colonna che contiene l'ottica elettronica, il campione e lo schermo di visione è sotto vuoto e quindi sigillata. Le pareti e la finestra di osservazione alla base sono tali da non lasciar uscire la pur modesta radiazione X che si genera all'interno.

[Figura: Philips Electron Optics]

Fig. 3.3 C - Un moderno microscopio SEM (PHILIPS XL30).

Sulla consolle, a destra, si trova il complesso della colonna elettro-ottica del portacampione e del rivelatore di elettroni secondari, tutto sotto vuoto. Le caratteristiche dal punto di vista radiologico sono analoghe a quelle del TEM. Al centro della consolle si trovano gli schermi televisivi per l'osservazione del campione.

[Figura: Philips Electron Optics]



### **3.4) DETECTOR PER GASCROMATOGRAFIA A CATTURA ELETTRONICA (ECD)**

#### **3.4.1) Descrizione**

Il rivelatore (con dimensioni di circa 100 mm x 50 mm x 50 mm) è accoppiato a un gascromatografo ed è costituito da una camera schermata contenente un radioisotopo.

La ionizzazione, generata dal radioisotopo beta emittente nel gas “carrier”, mantiene una corrente costante nel circuito di misura; la presenza nel gas “carrier” del composto da analizzare genera nel circuito di misura un segnale, che viene visualizzato sul sistema di lettura, provocato dalla riduzione della corrente di ionizzazione.

#### **3.4.2) Impieghi tipici**

Analisi chimica di composti generalmente clorurati (p. es. trielina in acqua, policlorobifenile-pcb, ecc.).

#### **3.4.3) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena**

Si impiega quasi esclusivamente una sorgente di Nichel 63 (Ni63) elettrodepositato su nichel metallico, con attività massima di 555 MBq (15 mCi); è quindi in pratica una sorgente di tipo sigillato.

#### **3.4.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) La struttura non consente l'accesso diretto alla sorgente.
- b) Lo spessore della struttura scherma le radiazioni della sorgente verso l'esterno.

- c) Eventuale sistema di canalizzazione per lo scarico del “carrier” gas analizzato.

#### **3.4.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

L'operatore ha il compito di montare e smontare l'ECD (compresi i tubi di raccordo) sul gascromatografo; dopo questa operazione è possibile effettuare l'analisi senza ulteriore intervento sull'ECD.

#### **3.4.6) Radioprotezione**

- 3.4.6.a) Rischi per le persone: da minimi a trascurabili.

L'apparecchiatura è esente per progetto, struttura e tipo di sorgente da irradiazione o contaminazione significativa al suo esterno; la presenza ed uso della sorgente non presuppongono perciò la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti.

- 3.4.6.b) Rischi per l'ambiente: non trascurabili.

La sorgente, se non gestita con cura, potrebbe andare dispersa nell'ambiente, specialmente in caso di sostituzione della sorgente o di rottamazione dell'ECD.

- 3.4.6.c) Provvedimenti di radioprotezione:

- Sebbene si escluda l'emissione di radiazioni all'esterno dell'ECD, tuttavia l'ECD richiede una particolare attenzione nell'utilizzo prolungato nel tempo: infatti la formazione di eventuale ossido di nichel potrebbe dare luogo a

contaminazione trasferibile dovuta al trasporto verso l'esterno di particelle di Ni63 asportate dallo strato elettrodepositato. Si suggerisce pertanto la conservazione dell'ECD in ambiente inerte e la manipolazione con guanti monouso.

- Effettuazione del conteggio periodico della contaminazione all'ugello di uscita del gas e sulle superfici prossime, da ripetersi cautelativamente in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di riparazioni dell'ECD. Il conteggio, al netto del fondo, deve essere nullo agli effetti pratici.
- In caso contrario occorre procedere alla sostituzione del blocco rivelatore.
- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti. Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione dell'ECD.

3.4.6.d) Strumentazione consigliata: scintillazione liquida (smear test umido).

3.4.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

### 3.4.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sulle superfici esterne di ogni ECD la segnaletica "Pericolo Radiazioni".
- II. L'uso del gascromatografo con ECD è consentito unicamente a personale autorizzato dal Datore di Lavoro. Un elenco di tale personale deve essere disponibile presso il Responsabile dell'attività o del laboratorio.

- III. I lavoratori addetti devono eseguire le operazioni di montaggio o smontaggio dell'ECD, facendo uso, a scopo cautelativo, di guanti di gomma monouso.
- IV. E' vietato eseguire operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'accesso alla sorgente radioattiva e comunque manomettere l'ECD.
- V. L'operatore deve utilizzare l'ECD attenendosi scrupolosamente alle norme riportate sui manuali d'uso che devono essere disponibili nel locale in cui è installata l'apparecchiatura stessa.
- VI. L'operatore deve porre particolare attenzione al rispetto dei parametri operativi consigliati mantenendo la camera dell'ECD in flusso continuo di gas inerte.
- VII. Le operazioni di manutenzione dell'ECD devono essere effettuate da personale della Ditta Fornitrice o altra Ditta specializzata. Al termine della manutenzione deve essere fornito il certificato di non contaminazione.
- VIII. L'ECD non impiegato deve essere custodito in ambiente inerte.
- IX. Si raccomanda di mantenere applicato all'estremità superiore della colonna dell'ECD il tubo per la raccolta del gas di scarico contenente il residuo dell'analisi. Il tubo deve essere convogliato sotto cappa o verso l'esterno per ridurre i rischi di eventuale contaminazione dell'ambiente di lavoro.
- X. In caso di incendio dei locali con coinvolgimento dell'ECD, il personale deve limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento e contenimento dell'incendio, avendo cura di informare il Responsabile dell'attività che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato. Le modalità di recupero verranno definite dall'Esperto Qualificato.

I lavoratori devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti.

- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei suddetti dispositivi nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.
- f) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- g) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

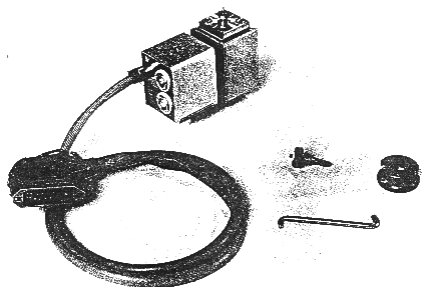


Fig. 3.4 A - La fotografia mostra un ECD, con i suoi organi di collegamento al gascromatografo e ai circuiti di alimentazione elettrica e di rivelazione. L'ECD vero e proprio è il parallelepipedo più a destra, riconoscibile dal condotto di scarico diretto verso l'alto.

[Figura: Carlo Erba Instruments]

Fig. 3.4 B - Principio di funzionamento del rivelatore per cattura di elettroni (ECD) di un gascromatografo.

La camera di ionizzazione che si trova alla fine della colonna del gascromatografo è sede di una corrente di elettroni secondari costante, per effetto della ionizzazione prodotta da una sorgente beta, quando il gas che fluisce è soltanto il "carrier" (per es. argon, o azoto, puri). Le frazioni di gas o vapori che si separano lungo la colonna capillare, al loro passaggio attraverso la camera catturano elettroni secondari provocando variazioni della corrente che servono a identificare e misurare la frazione. [Figura: Amersham International]

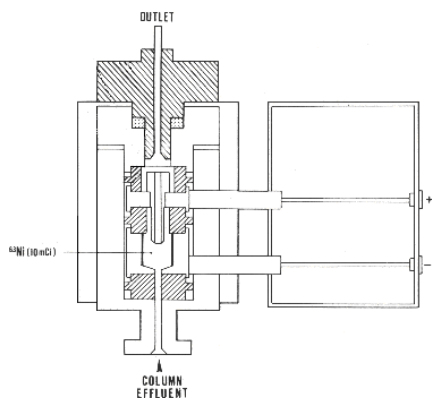
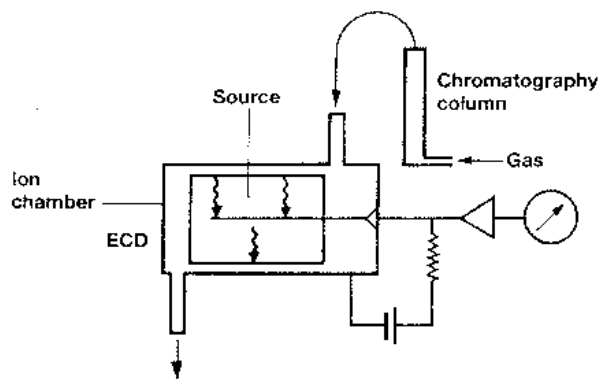


Fig. 3.4 C - Schema costruttivo di un ECD. La colonna capillare del gascromatografo è connessa alla apertura inferiore dell'ECD; il gas che fluisce attraverso la camera sulle cui pareti si trova l'emettitore beta ( $^{63}\text{Ni}$  elettrodepositato) produce variazioni di corrente nel circuito che si chiude attraverso i connettori + e -, ed esce poi dall'apparecchio attraverso lo scarico ("outlet"). Potrebbe darsi il caso di contaminazione radioattiva condotta all'esterno. [Figura: Carlo Erba Instruments]

### **3.5) MISURATORE DI POLVERI IN ARIA CON CAMPIONAMENTO CONTINUO DELL'ARIA AMBIENTE**

#### **3.5.1) Descrizione**

Questi misuratori normalmente si compongono di un sistema di aspirazione dell'aria da analizzare e di una camera di analisi costituita da un sistema sorgente - rivelatore con la relativa elettronica di controllo. L'aria aspirata viene convogliata su un filtro che viene inserito, in modo automatico, fra la sorgente radioattiva e il rivelatore di radiazioni. La quantità di polvere trattenuta sul filtro viene determinata misurando l'attenuazione delle particelle beta emesse dalla sorgente radioattiva posta sotto il filtro.

Il sistema di analisi è racchiuso in una struttura avente dimensioni di 500 mm x 500 mm x 500 mm.

Solitamente questi sistemi sono installati all'interno di cabine pressurizzate assieme ad altre apparecchiature per l'analisi della qualità dell'aria.

#### **3.5.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti**

Vengono utilizzate esclusivamente sorgenti radioattive con emissione beta, come Promezio 147 (Pm147), Carbonio 14 (C14) o Krypton 85 (Kr85), con attività rispettivamente di 9,25 MBq (0,25 mCi), 370 MBq (10 mCi) e 1.850 MBq (50 mCi). Attualmente l'isotopo più usato è il Carbonio 14.

#### **3.5.3) Impieghi tipici**

Determinazione della quantità di polvere (particolato) in aria.

#### **3.5.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

Struttura che non consente accesso diretto alla sorgente.

#### **3.5.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

In condizioni di esercizio il sistema di misura non necessita della presenza di operatori; l'unico intervento eseguito dall'operatore è la sostituzione del rotolo di carta da filtro, previa applicazione del disco di schermatura sulla finestra di emissione delle particelle beta.

#### **3.5.6) Radioprotezione**

##### **3.5.6.a) Rischi per le persone: trascurabili.**

Il sistema è tale da racchiudere sia la sorgente che il campione ed il rivelatore in un insieme schermato che non rilascia radiazione significativa all'esterno.

Ai fini della radioprotezione, la presenza e l'impiego di queste macchine non comportano la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti.

La presenza della sorgente radioattiva comporta l'istituzione della sorveglianza fisica mediante un esperto qualificato appositamente incaricato.

3.5.6.b) Rischi per l'ambiente: non trascurabili data la presenza di sorgenti radioattive

Il rischio è determinato essenzialmente dall'eventuale smarrimento di una o più sorgenti in occasione di operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione oppure in occasione della rottamazione della macchina o dell'impianto.

3.5.6.c) Provvedimenti di radioprotezione:

- Misure iniziali dei valori di dose di radiazione all'esterno dell'involucro. Non si dovrebbe misurare, al netto del fondo, alcun valore di dose di radiazioni.
- Se, al contrario, la misura fosse tale da comportare in qualsiasi punto all'esterno dello schermo un valore di dose significativo rispetto al fondo, occorre far revisionare ed eventualmente far adeguare il sistema di schermi.
- Verifica delle condizioni ottimali degli schermi contro radiazione di fuga localizzata.
- Verifica dell'assenza di contaminazione in prossimità dell'alloggiamento della sorgente mediante smear test e conteggio con rivelatori a finestra sottile.
- Ripetizione delle misure e verifiche dopo ogni operazione di manutenzione o riparazione e in caso di danneggiamenti anche solo sospettati.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.

- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti.

- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione della macchina.

3.5.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione a parete sottile, geiger, rivelatori a integrazione.

3.5.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

3.5.7) **NORME DI RADIOPROTEZIONE**  
Vedi il paragrafo 3.1.2.7)

### **3.6) APPARECCHIATURA CON TUBO RADIOGENO PER RADIOGRAFIA IN BUNKER**

#### 3.6.1) Descrizione

L'apparecchiatura comprende un tubo radiogeno e un sistema di rivelazione costituito da una lastra radiografica ad alta densità di annerimento. Il sistema è utilizzato per controlli non distruttivi di oggetti anche di grandi dimensioni e notevolmente radioopachi; per esempio per il controllo di parti di macchinario, pareti di serbatoi e manufatti di carpenteria metallica.

#### 3.6.2) Caratteristiche tipiche della fonte radiogena

Tensione: 100 ÷ 500 kVp  
Corrente massima: 12 mA

### 3.6.3) Impieghi tipici

Evidenziazione di fessurazioni e altri difetti sia nella saldatura che nel corpo del manufatto, riprodotti su lastra radiografica sviluppata.

### 3.6.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Schermatura di pareti e porte del locale ("bunker").
- b) Microinterruttori sulle porte di accesso al locale.
- c) Segnalazione delle condizioni di funzionamento del tubo radiogeno (kV, mA).
- d) Segnalazione luminosa/acustica indicante emissione di raggi X.

### 3.6.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

Il tubo radiogeno ed il pezzo da controllare sono confinati entro ambienti di congrue caratteristiche schermanti, che sono accessibili solamente al personale addetto al trasporto e posizionamento dei materiali da esaminare.

Durante l'emissione dei raggi X, il personale sosta in una zona di comando adiacente ma esterno al locale in cui è alloggiato il tubo radiogeno.

L'intervento dell'operatore consiste nella predisposizione del pezzo da esaminare, nel posizionamento della pellicola radiografica presso il tavolo di comando e nella predisposizione dei parametri radiografici.

Nelle installazioni più importanti il bunker è un locale in calcestruzzo con pareti e soffitto di grosso spessore. In alcuni casi le pareti sono rinforzate con

piombo. Gli accessi, talvolta di grandi dimensioni per consentire la introduzione di grandi manufatti da radiografare, hanno portoni realizzati con acciaio e piombo di adeguato spessore, ma talvolta anche con calcestruzzo. Gli accessi per il personale possono essere a forma di labirinto per ridurre lo spessore della porta di servizio.

### 3.6.6) Radioprotezione

#### 3.6.6.a) Rischi per le persone: consistenti.

L'interno del bunker costituisce zona controllata.

Il sistema, ancorché in perfetta efficienza, non è necessariamente esente da radiazione significativa neppure all'esterno delle barriere schermanti; inoltre possono sopravvenire variazioni operative o degrado strutturale o funzionale delle protezioni tali da modificare le primitive condizioni di sicurezza.

L'area circostante il bunker, ed in particolare il locale di comando, è solitamente zona sorvegliata; le altre aree dello stabilimento sono zone non classificate.

Le persone addette alle prove possono essere lavoratori non esposti o classificati in funzione delle modalità operative.

#### 3.6.6.b) Rischi per l'ambiente: trascurabili.

#### 3.6.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Sicurezze elettriche per impedire o interrompere il funzionamento del tubo radiogeno ad accessi aperti, onde evitare l'ingresso accidentale di

persone all'interno del bunker durante l'emissione di raggi X dal tubo.

- Dispositivi di allarme ottici e visivi che segnalano la presenza di radiazione a tubo in funzione.
- Dispositivi di interruzione in emergenza della alimentazione elettrica della macchina situati all'interno del bunker.
- Verifica del campo di radiazione all'esterno delle barriere, in particolare ai punti critici: al contorno delle porte, ai posti operatore ed a distanza adeguata per la valutazione dell' "effetto cielo".
- Verifica dell'efficienza delle sicurezze elettriche e dei dispositivi di segnalazione ed allarme, iniziale, periodica ed in occasione di mutamenti nelle condizioni operative, di danneggiamenti accidentali, reali o presunti, e di riparazioni, al fine di adottare eventuali provvedimenti.
- Dosimetria ambientale con dosimetri a integrazione almeno nel locale di comando.
- Per gli addetti, sistema di allarme acustico ed eventuale dosimetria personale.
- Nomina di un esperto qualificato.

3.6.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, geiger, dosimetri a integrazione.

3.6.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

### 3.6.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata all'esterno del bunker in corrispondenza degli ingressi la segnaletica indicante "Pericolo Radiazioni Ionizzanti", "Vietato l'ingresso alle Persone non Autorizzate", "Zona Controllata", "indicazione delle sorgenti radiogene e del tipo di rischio".
- II. L'accesso al Bunker è consentito esclusivamente al PERSONALE ESPOSTO (classificato in CATEGORIA "A" o "B").  
L'ACCESSO DI ALTRO PERSONALE AL BUNKER PUO' AVVENIRE SOLO CON GLI APPARECCHI GAMMAGRAFICI CHIUSI NEI RICOVERI DI STOCCAGGIO E LE APPARECCHIATURE RADIOGENE DISABILITATE E CON IL CONSENSO SPECIFICO DEL RESPONSABILE.
- III. L'accesso alla Sala Controllo e alla Camera Oscura è consentito a persone diverse da quelle citate al punto precedente esclusivamente con le sorgenti radiogene non operative.
- IV. Prima dell'inizio del lavoro l'operatore deve indossare il dosimetro personale e munirsi di monitor acustico di radiazioni (con valore di soglia prefissata) secondo le indicazioni dell'Esperto Qualificato.
- V. Il dosimetro personale deve essere indossato in corrispondenza della parte superiore del corpo, utilizzando la "clip" di cui è dotato; è proibito conservarlo nelle tasche per evitare che l'eventuale presenza di oggetti metallici possa influenzare la correttezza del valore di dose registrato durante l'esposizione.
- VI. Il danneggiamento o lo smarrimento del dosimetro personale deve essere immediatamente comunicato all'Esperto Qualificato.
- VII. Qualora il dosimetro dovesse essere dimenticato nelle vicinanze di una sorgente di radiazioni, deve essere avvertito immediatamente l'Esperto Qualificato, notificando contemporaneamente le circostanze del fatto.
- VIII. Le porte del Bunker devono rimanere sempre chiuse; possono restare aperte solo



per il tempo strettamente necessario all'introduzione dei materiali da sottoporre a controllo (Portone accesso materiali) o durante le operazioni che precedono l'esecuzione del controllo radiografico (Porta pedonale - se presente).

IX. Attenersi scrupolosamente alle seguenti "Modalità di esercizio del Bunker":

- Seguire attentamente la sequenza di attivazione dei sistemi di sicurezza.
- Tutti gli accessi al bunker devono essere perfettamente chiusi.
- Il sistema di controllo deve confermare l'assenza di persone.
- Non devono risultare microinterruttori di sicurezza a "fune" o a "fungo" in condizioni di allarme (l'azionamento di questi dispositivi interrompe la sequenza di emissione e sblocca l'eventuale serratura elettrica).
- Le eventuali chiavi di abilitazione all'emissione delle radiazioni devono essere inserite e bloccate nell'apposito alloggiamento.
- Il bunker diviene accessibile solo al termine del tempo di esposizione che deve essere confermato dai monitori geiger di controllo della presenza del campo di radiazioni nell'ambiente.
- Durante l'esecuzione delle radiografie il motore del portone è completamente disabilitato e la porta di accesso al labirinto ha la serratura elettrica bloccata.
- In caso di apertura manuale (di emergenza) delle porte, a causa dell'interruzione dell'energia elettrica ai sistemi di comando, l'emissione di radiazioni cessa immediatamente.

X. Qualsiasi anomalia riscontrata nel Sistema di Sicurezza e Controllo deve essere immediatamente notificata; contemporaneamente DEVE essere SOSPESA ogni attività operativa.

XI. Usare sempre guaine di eiezione e telecomandi in perfetta efficienza, in particolare non utilizzare guaine schiacciate e disporre le stesse sempre con ampi raggi di curvatura per evitare rischio di ostacoli alla corretta eiezione/ricovero

della sorgente. Anche i cavi di collegamento tra il tubo RX e la cassetta di comando devono essere in perfetta efficienza.

XII. Durante le operazioni di preparazione delle esposizioni, l'operatore deve trattenersi il minore tempo possibile vicino all'apparecchio gammagrafico.

XIII. L'apparecchio gammagrafico deve essere posizionato, compatibilmente con le esigenze operative, il più vicino possibile al labirinto di accesso, con la parte dotata del comando dell'otturatore rivolta verso l'ingresso del labirinto, per ridurre al minimo il tempo necessario alla apertura/chiusura dell'otturatore stesso.

XIV. Non passare MAI davanti all'apparecchio gammagrafico con l'otturatore APERTO (Il rateo di dose sul fascio primario a 1 m di distanza, da una sorgente avente un'attività di 3700 GBq (100Ci) è pari a circa 120 µSv/s per Ir-192 e 320 µSv/s per il Co-60.)

XV. Qualora la sorgente radioattiva, alla fine dell'esposizione programmata, non dovesse rientrare nel contenitore DEVE ESSERE IMMEDIATAMENTE SOSPESA OGNI ATTIVITA' OPERATIVA e DEVE ESSERE IMMEDIATAMENTE AVVERTITO L'ESPERTO QUALIFICATO. Le disposizioni per il recupero della sorgente devono essere concordate con l'Esperto Qualificato.

XVI. In caso di incendio in bunker in cui venga coinvolta anche la sorgente radioattiva, il personale incaricato dovrà limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento dell'incendio o di contenimento, avendo cura di informare il Responsabile dell'attività che provvederà ad avvisare l'Esperto Qualificato. Le modalità di intervento per il recupero della sorgente, eventualmente danneggiata, verranno definite dall'Esperto Qualificato.

I lavoratori devono:

- a) Essere sempre muniti del dosimetro integratore individuale.
- b) Essere muniti dell'apposito avvisatore acustico di radiazioni al fine di

- evidenziare eventuali condizioni di pericolo.
- c) Eseguire i controlli radiografici attenendosi scrupolosamente alle norme interne di protezione e sicurezza.
  - d) Prima di iniziare qualsiasi operazione radiografica, accertarsi che siano efficienti e funzionanti i dispositivi di sicurezza e segnalazione installati.
  - e) Evitare l'effettuazione di controlli radiografici qualora non sia possibile ottemperare alle norme di sicurezza.
  - f) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica
- forniti dal Datore di Lavoro.
- g) Segnalare al Dirigente o al Preposto carenze e malfunzionamenti dei dispositivi di sicurezza e di protezione nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
  - h) Non rimuovere né modificare senza autorizzazione i dispositivi di sicurezza ed i mezzi di protezione e segnalazione.
  - i) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
  - j) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

Fig. 3.6 A - Alcuni apparecchi per radiografie in bunker.

Questi apparecchi sono compatti e maneggevoli dovendosi adattare alle forme e posizioni delle parti dei manufatti da esaminare, ma sono caratterizzati da tensioni di lavoro relativamente elevate per la notevole radioopacità e gli spessori dei materiali e manufatti, ciò che rende particolarmente critica la schermatura del bunker. [Figura: Gilardoni S.p.A.]

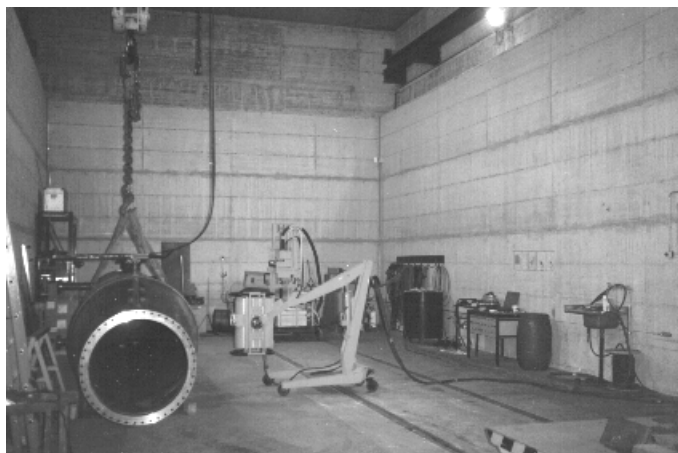
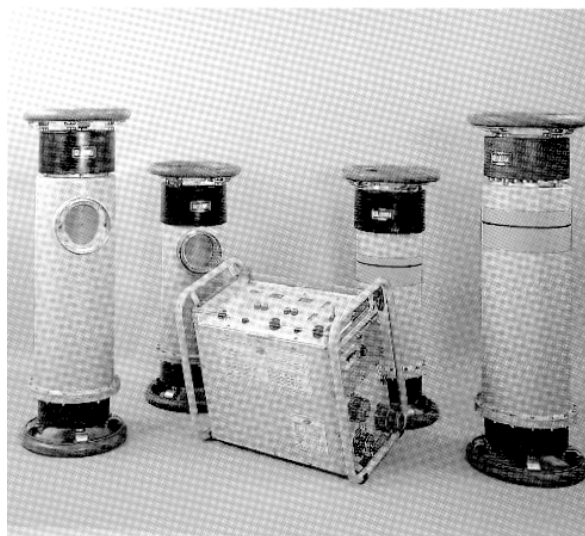


Fig. 3.6 B - Utilizzazione di un tubo RX carrellato, per il controllo non distruttivo in bunker delle saldature di un manufatto cavo di acciaio.

La fotografia mostra anche alcuni particolari della struttura e dell'allestimento interno del bunker, che deve essere tale da schermare efficacemente la radiazione fotonica che vi si genera, ed essere inoltre equipaggiato con adeguate sicurezze che impediscano la attivazione della fonte di radiazioni quando all'interno sono presenti persone.

### **3.7) APPARECCHIATURA CON RADIOISOTOPI PER RADIOGRAFIA (GAMMAGRAFIA) IN BUNKER**

#### 3.7.1) Descrizione

L'apparecchiatura è costituita da un contenitore schermante in cui è alloggiata una sostanza radioattiva (radioisotopo gamma emittente) e un sistema di rivelazione costituito da una lastra radiografica utilizzata per controlli non distruttivi di oggetti anche di grandi dimensioni e notevolmente radioopachi; per esempio per il controllo di parti di macchinario, pareti di serbatoi e manufatti di carpenteria metallica.

#### 3.7.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti

Cobalto 60 (Co60), Iridio 192 (Ir192), Selenio 75 (Se75), Itterbio 169 (Yb169), con attività fino ad alcuni TBq.

#### 3.7.3) Impieghi tipici

Evidenziazione di fessurazioni e altri difetti sia nella saldatura che nel corpo del manufatto, riprodotti su lastra radiografica sviluppata.

#### 3.7.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Pareti e portone del bunker schermati.
- b) Accessi controllati con microinterruttore sulle porte.
- c) Contenitore della sorgente gamma schermato, con dispositivo di telecomando dalla sala controllo per eiezione e rientro della sorgente.
- d) Sistema di sicurezza con interdizione della possibilità di

eiezione della sorgente in caso di comando elettrico.

- e) Sistema di allarme in caso di eiezione manuale della sorgente con porte aperte.
- f) Sistema di sicurezza con interdizione all'apertura delle porte in presenza di radiazione.
- g) Monitori d'area con soglia di intensità di dose prefissabile, per segnalazione di allarme luminoso ed acustico in sala controllo.
- h) Sistema di segnalazione di presenza di persona in bunker (telecamera o radar).

#### 3.7.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

In condizioni di riposo la sorgente si trova all'interno di un contenitore schermante: di norma viene utilizzato uranio impoverito opportunamente incamiciato; recentemente, in casi particolari, è utilizzato il tungsteno.

La sorgente può uscire dal contenitore soltanto in seguito all'apertura dell'otturatore. La sorgente viene sospinta da un telecomando flessibile di lunghezza adeguata, mediante il quale avviene anche il suo rientro al termine dell'impiego.

La sorgente scorre in una guaina chiusa all'estremità opposta.

La sorgente ed il pezzo da controllare sono confinati in bunker di adatte caratteristiche schermanti, accessibile al personale solamente per il tempo necessario al trasporto ed al posizionamento dei materiali da esaminare.

Il personale addetto opera in un locale di comando adiacente ma esterno al bunker. E' da tale locale che la sorgente viene telecomandata, in particolare per quanto concerne l'eiezione ed il rientro nel contenitore.

Nelle installazioni più importanti il bunker è un edificio di calcestruzzo con pareti e soffitto di grosso spessore, rinforzato in alcuni casi con fogli di piombo. Gli accessi, talvolta di grandi dimensioni per consentire la introduzione di grandi manufatti da radiografare, hanno portoni realizzati con acciaio e piombo di adeguato spessore, ma talvolta anche con calcestruzzo. Il personale può accedere attraverso un ingresso secondario con porta non schermata ma protetta da uno speciale passaggio a labirinto.

### 3.7.6) Radioprotezione

#### 3.7.6.a) Rischi per le persone: consistenti.

Per le caratteristiche delle sorgenti utilizzate, l'interno del bunker costituisce zona controllata.

Il sistema, ancorché in perfetta efficienza, non è necessariamente esente da radiazione significativa all'esterno delle barriere schermanti. Inoltre possono sopravvenire variazioni operative o degrado strutturale o funzionale delle protezioni tali da modificare le primitive condizioni di sicurezza.

L'area circostante il bunker, ed in particolare il locale di comando, è solitamente zona sorvegliata; le altre aree dello stabilimento sono zone non classificate.

Le persone sono classificate lavoratori esposti: sono perciò da

prevedere la sorveglianza fisica e la sorveglianza medica.

#### 3.7.6.b) Rischi per l'ambiente: da modesti a trascurabili.

La sorgente è di tipo sigillato ("special form") e inserita in un contenitore particolarmente protettivo a causa della sua forte attività. Ciò costituisce una protezione anche dai rischi da radiazione derivanti dalla movimentazione della sorgente nel suo contenitore. I costruttori adottano dal canto loro adeguati provvedimenti contro le conseguenze di eventi catastrofici, per esempio l'incendio.

Sono perciò poco probabili eventi come la dispersione di radionuclide o anche lo smarrimento della sorgente. D'altra parte una frequente manutenzione è una garanzia ulteriore del buono stato di conservazione del sistema contenitore-sorgente radioattiva.

#### 3.7.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Sicurezze elettriche sulle porte, comandate da un rivelatore di radiazioni, per impedire l'accesso con sorgente in esposizione.
- Segnalatori ottici o acustici in sala controllo e all'esterno degli accessi, comandati da rivelatori di radiazioni collocati all'interno del bunker.
- Procedure operative per assicurare l'assenza di persone all'interno del bunker durante l'esposizione della sorgente.
- Verifica del campo di radiazione all'esterno delle barriere, in particolare ai punti critici: al contorno delle porte, ai posti

- operatore e a distanza adeguata per la valutazione dell' "effetto cielo".
- Verifica dell'efficienza delle sicurezze elettriche e dei dispositivi di segnalazione ed allarme, in occasione di mutamenti nelle condizioni operative, di danneggiamenti accidentali, reali o presunti, e di riparazioni.
- Dosimetri individuali per i lavoratori esposti, integrati da monitori portatili e sistema di allarme acustico individuale.
- Dosimetria ambientale di routine con

dosimetri a integrazione almeno nel locale di comando.

- Nomina di un esperto qualificato.

3.7.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, dosimetri a integrazione.

3.7.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno semestrale.

3.7.7) NORME DI  
RADIOPROTEZIONE  
Vedi il paragrafo 3.6.7)

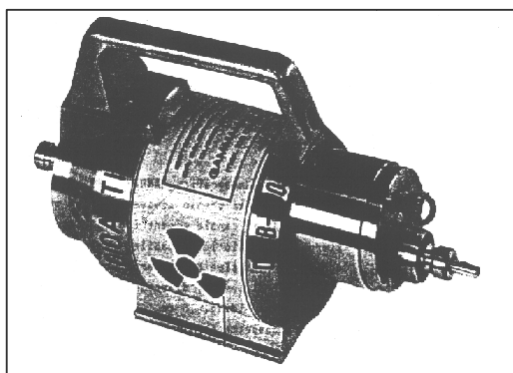


Fig. 3.7 A - Aspetto di un contenitore per una sorgente di iridio 192 fino a 3,7 TBq per gammagrafie in bunker ed in campo aperto.

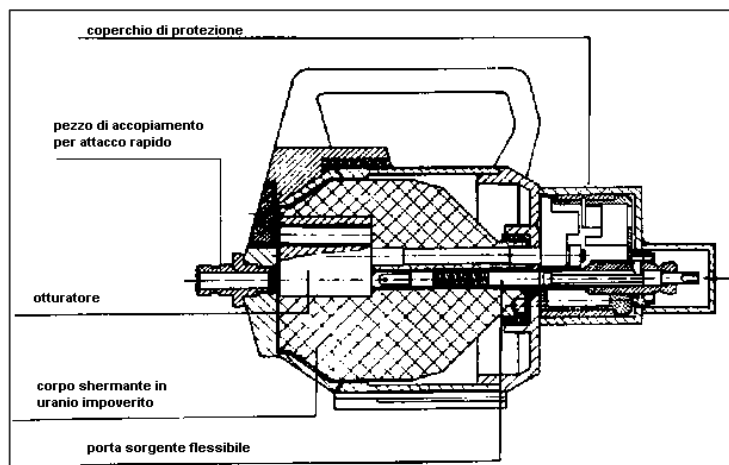


Fig. 3.7 B - Disegno costruttivo di un contenitore per una sorgente di iridio 192 fino a 3,7 TBq per gammagrafie in bunker ed in campo aperto.

Il corpo del contenitore è realizzato con uranio impoverito, dalle eccezionali proprietà schermanti data l'elevata densità. La sorgente di iridio 192 è conservata nel canale centrale. In condizioni di riposo non vi è emissione di radiazione per la presenza dell'otturatore eccentrico. In condizioni operative la sorgente viene spinta fino al punto di impiego attraverso una guaina flessibile che si applica al pezzo

di accoppiamento frontale, tramite un telecomando che si collega alla parte posteriore del portasorgente. Si procede inversamente per il rientro della sorgente. Il contenitore ha un sistema di chiusura di sicurezza con chiave.

[Figura: Gammamat]

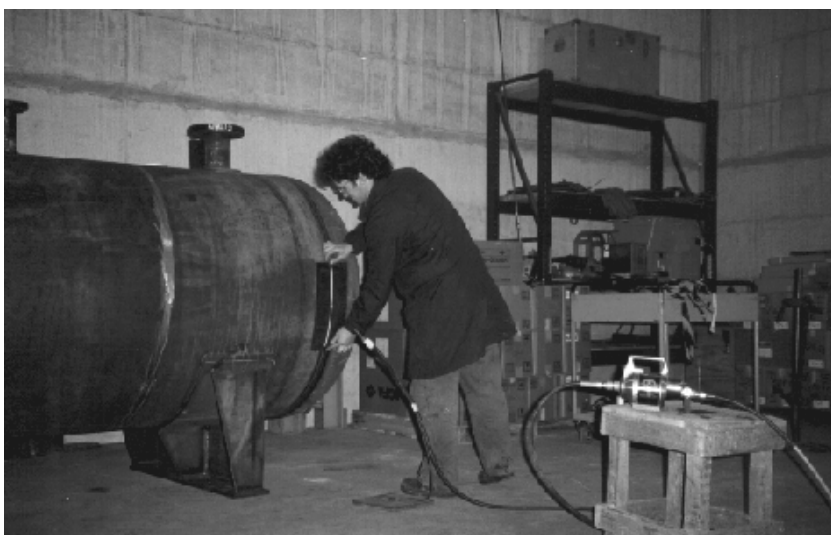


Fig. 3.7 C - Il contenitore per gammagrafia della fig. 7 A in fase di installazione per una gammagrafia in bunker. Sono visibili la guaina flessibile di guida della sorgente e, posteriormente al contenitore, la guaina flessibile del telecomando. La eiezione ed il rientro della sorgente sono comandati da una posizione al riparo dalla radiazione diretta e dalla radiazione diffusa, all'esterno del bunker.

Fig. 3.7 D - Un contenitore per gammagrafia analogo a quello della fig. 7 A, ma per sorgenti di Co60 sempre sino a 3,7 TBq in fase di installazione per una gammagrafia in bunker.

Anche in questa immagine sono visibili la guaina flessibile di guida della sorgente e, posteriormente al contenitore, la guaina flessibile del telecomando. La eiezione ed il rientro della sorgente sono comandati da una posizione al riparo dalla radiazione diretta e dalla radiazione diffusa, all'esterno del bunker.



### 3.8) ACCELERATORE LINEARE PER RADIOGRAFIA IN BUNKER

#### 3.8.1) Descrizione

Un acceleratore lineare di elettroni è costituito essenzialmente da una guida d'onda a radiofrequenza. Alla estremità di ingresso della guida

vengono introdotti, ad impulsi, sia la radiofrequenza che gli elettroni prodotti dal cannone elettronico. Gli elettroni, relativistici, viaggiano lungo la guida alla velocità di fase dell'onda a radiofrequenza e sono quindi sottoposti ad una forza costante lungo tutto il tragitto. Per quanto la forza del campo elettrico entro la guida sia

relativamente modesta, la sua applicazione lungo tutto il tragitto ha un effetto additivo e gli elettroni colpiscono il bersaglio con energie anche di decine di MeV, producendo radiazione X di frenamento di pari energia massima. Gli elettroni viaggiano nel vuoto spinto. La guida al suo interno presenta, ad intervalli, delle strozzature o iridi che servono a variare, secondo andamenti opportuni, la velocità di fase dell'onda. Bobine focalizzatrici mantengono compatto lo sciame di elettroni in viaggio.

L'apparecchiatura si compone di diverse parti. La testa radiante, la guida d'onda ed il generatore di radiofrequenza devono necessariamente stare in vicinanza dell'oggetto da radiografare. Le altre parti, cioè i dispositivi di comando e gli alimentatori di potenza, sono di solito alloggiati al di là delle barriere schermanti.

### 3.8.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti

L'energia massima dei raggi X degli acceleratori per radiografia si colloca normalmente nell'intervallo tra alcuni MeV e circa 10 MeV, con correnti massime di alcune centinaia di mA in impulsi con "duty cycle" dell'ordine di 10-3. In questo intervallo di energie la resa in raggi X, in condizioni ottimali, è descritta da un segmento di retta in un diagramma a coordinate logaritmiche, dove alla differenza di potenziale totale di accelerazione di 1 MV corrispondono  $6 \cdot 10^{-4} \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \mu\text{A} \cdot \text{min}$  ed alla differenza di potenziale di 7 MV corrispondono  $10^{-1} \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \mu\text{A} \cdot \text{min}$ , in aria.

### 3.8.3) Impieghi tipici

Gli acceleratori lineari di particelle si rendono necessari quando servono energie delle radiazioni superiori a quanto si possa ottenere praticamente con generatori di alta tensione di tipo tradizionale.

Gli acceleratori lineari trovano una utile applicazione industriale nella radiografia di parti metalliche di elevato spessore (oltre 50 mm di acciaio) ove altre tecniche o sorgenti radioattive non risultano adeguate, non ultimo per il tempo occorrente ad ottenere l'immagine sulla pellicola radiografica.

### 3.8.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Addestramento del personale addetto.
- b) Conferma di assenza di personale in bunker per mezzo di un percorso di controllo obbligato con azionamento sequenziale e temporizzato di pulsanti di verifica per un tempo prefissato.
- c) Sistema di segnalazione di presenza di persona in bunker (sensore radar).
- d) Sistema di abilitazione all'emissione delle radiazioni mediante chiavi di consenso.
- e) Microinterruttori di blocco emissione raggi e allarme a "funne" o a "fungo" su tutte le pareti del bunker.
- f) Microinterruttori di consenso sugli accessi.
- g) Sistema di interdizione degli accessi in presenza di radiazioni nel bunker. L'apertura manuale di emergenza degli accessi arresta l'emissione delle radiazioni.

- h) Monitore d'area tipo Geiger-Muller (a doppia sonda) con soglia di allarme prefissabile e sistema di autodiagnosi.
- i) Segnalazione luminosa ROSSA (e allarme sonoro) di presenza radiazioni, comandata dal monitor di cui al punto precedente, posta in sala comandi e all'esterno di bunker.
- j) Pareti e portone del bunker schermanti.
- k) Cartelli indicatori di "Zona Controllata" e "Zona Sorvegliata".
- l) "Norme di Sicurezza" esposte sulle porte di accesso al bunker e alla sala controllo.

### 3.8.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

La radiografia si effettua in bunker. Date le caratteristiche della radiazione e le forme e le dimensioni degli oggetti da radiografare, il bunker deve avere grandi dimensioni e nello stesso tempo essere delimitato da barriere con adeguato potere schermante, ivi compresa la necessità di eliminare ogni possibile fuga di radiazioni alle porte o ai passaggi per i materiali, le persone e le condutture. Tutto questo richiede la soluzione di delicati problemi costruttivi ed economici.

Premesso che solo i lavoratori addetti possono operare con l'acceleratore, l'abilitazione all'emissione delle radiazioni avviene solo dopo che:

- l'operatore, dopo aver predisposto le lastre per l'esposizione, ha effettuato correttamente il percorso obbligato di controllo, che lo porta a percorrere

l'intero perimetro del bunker ed è uscito dalla porta del labirinto nei campi prestabiliti;

- tutti gli accessi al bunker sono perfettamente chiusi;
- il sistema di segnalazione presenza conferma l'assenza di persone entro il bunker;
- le chiavi di abilitazione all'emissione delle radiazioni sono inserite e bloccate.

Il bunker è di nuovo accessibile solo al termine dell'esposizione indicata dal sistema di rivelazione delle radiazioni.

### 3.8.6) Radioprotezione

3.8.6.a) Rischi per le persone: consistenti.

Le radiazioni emesse creano situazioni di pericolo anche a distanze di molte decine di metri dall'origine.

Si aggiunge a questo il rischio creato dal generatore di radiofrequenza.

Gli acceleratori di energia superiore a 10 MeV producono attivazione neutronica dei materiali.

Se il progetto delle schermature è stato condotto nel rispetto del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), oltre le barriere create dalle pareti del bunker non dovrebbero esserci campi di radiazione significativi. Tuttavia, anche in tale ipotesi, non possono escludersi anomalie o perdite di efficacia che devono essere costantemente verificate.

L'interno del bunker è "zona controllata"; l'area circostante il bunker, ed in particolare il locale comando, può essere "zona sorvegliata".

Il personale addetto alle radiografie va classificato come lavoratore esposto.



Occorre istituire la sorveglianza fisica e la sorveglianza medica.

3.8.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

3.8.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Bunker con pareti, soffitto (ed anche pavimento, qualora non poggi direttamente sul terreno) in grado di ridurre, all'esterno e nelle condizioni più gravose di lavoro, la intensità di dose al di sotto di quella ammissibile per la popolazione (questo significa, nei casi pratici, costruire barriere di calcestruzzo di spessore di circa due metri o equivalenti).
- Porte e passaggi con adeguate superfici di sovrapposizione schermanti e/o realizzati con la tecnica del labirinto.
- Divieto di permanenza nel bunker durante l'esecuzione della radiografia.
- Porte fornite di dispositivi di sicurezza elettrici per interdire l'alimentazione dell'acceleratore a porta non perfettamente chiusa (è opportuno che tali dispositivi siano ridondanti).
- Installazione all'interno del bunker e dei labirinti di accesso, in punti facilmente e prontamente accessibili, di interruttori di emergenza per interrompere l'alimentazione alla macchina in caso di necessità.
- Sistema di segnalazione di presenza con effetto sulla alimentazione elettrica della macchina, a protezione

di chi eventualmente fosse rimasto all'interno del bunker.

- "Percorso obbligato di ispezione", con l'azionamento in sequenza di una serie di pulsanti di abilitazione del fascio.
- Segnalazioni ottiche ed acustiche di impianto in funzione da attivarsi automaticamente all'inizio del "percorso obbligato di ispezione".
- Segnalazioni ottiche ed acustiche di impianto in funzione da attivarsi automaticamente all'inizio dell'erogazione delle radiazioni, attivate da rivelatori di radiazioni all'interno del bunker.
- Lavoratori esposti dotati di dosimetro e di monitor acustico a soglia di dose.
- Verifiche periodiche delle barriere e dei punti critici (labirinti, contorno di porte, ecc.).
- Dosimetria ambientale almeno nella sala controllo.
- Nomina di un esperto qualificato e di un medico autorizzato.

3.8.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, dosimetri a integrazione.

3.8.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno trimestrale.

3.8.7) NORME DI  
RADIOPROTEZIONE  
Vedi il paragrafo 3.6.7)

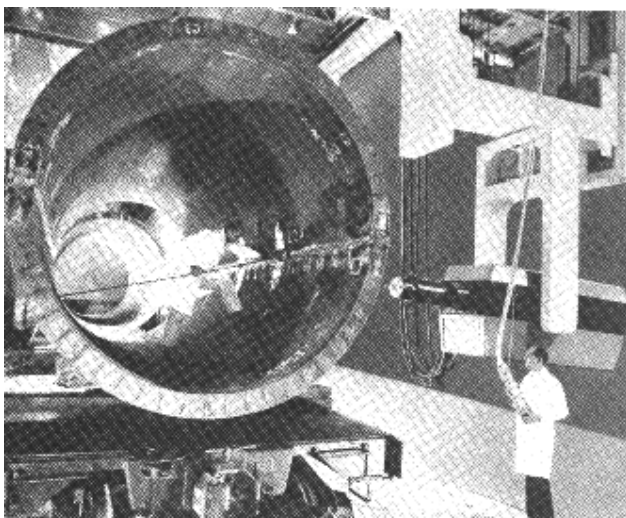
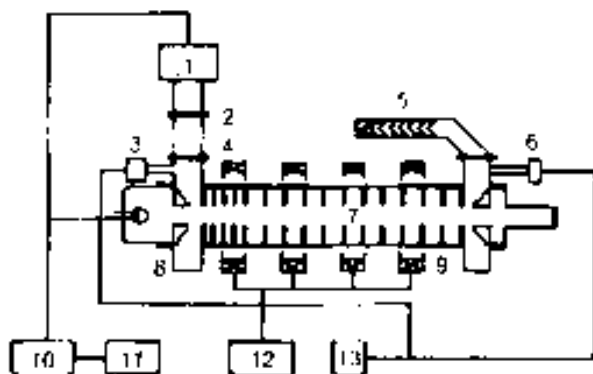


Fig. 3.8 A - Acceleratore lineare in bunker. La fotografia mostra il contenitore del complesso guida d'onda - bersaglio per un acceleratore da 8 MeV montato su un affusto brandeggiabile e con solo 3 gradi di libertà. Dopo il posizionamento nella corretta posizione, la macchina viene telecomandata dall'esterno del bunker.

[Figura: Gilardoni Spa]

Fig. 3.8 B - Acceleratore lineare in bunker. La fotografia mostra il contenitore del complesso guida d'onda - bersaglio, con condutture sia di alimentazione elettrica sia di ventilazione di un acceleratore "portatile" da 4 MeV. L'apertura (poco visibile) di uscita della radiazione X si trova in corrispondenza della maniglia, ed è diretta verso sinistra nella foto. La macchina viene telecomandata dall'esterno del bunker.



[Figura: Manuale dell'Ingegnere - Hoepli]

Fig. 3.8 C - Schema dell'acceleratore lineare.

I pacchetti di elettroni emessi dal cannone elettronico vengono accelerati progressivamente nella guida d'onda a radiofrequenza alla quale è stata data allo scopo una forma corrugata, o ad "iridi", ed escono dalla guida andando a colpire un bersaglio che emette radiazione X nella stessa direzione degli elettroni. La energia a radiofrequenza viene invece deviata e dissipata in un apposito dispositivo di assorbimento.



### **3.9) APPARECCHIATURA CON TUBO RADIOGENO (PER RADIOGRAFIA) O RADIOISOTOPO (PER GAMMAGRAFIA) IN CAMPO APERTO.**

#### **3.9.1) Descrizione**

L'attrezzatura consiste in una macchina radiogena o radioisotopo utilizzati per controlli non distruttivi di strutture inamovibili, per esempio per il controllo di parti di impianti, condotte, serbatoi e manufatti civili.

#### **3.9.2) Caratteristiche tipiche delle fonti radiogene**

Cobalto 60 (Co60), Iridio 192 (Ir192), Selenio 75 (Se75), Itterbio 169 (Yb169), con attività dell'ordine di alcuni TBq ovvero macchina radiogena con tensioni fino a 350 kVp.

#### **3.9.3) Impieghi tipici**

Evidenziazione di fessurazioni e altri difetti sia nella saldatura che nel corpo del manufatto, riprodotto su lastra radiografica sviluppata.

#### **3.9.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) Mezzi (catenelle e/o nastro bicolore) per la delimitazione della "Zona Controllata" e della "Zona Sorvegliata" secondo le indicazioni contenute nella relazione tecnica dell'esperto qualificato.
- b) Telecomando dell'apparecchio gammagrafico posto alla massima distanza possibile dal punto di esposizione della sorgente.
- c) Eventuale collimatore del fascio.
- d) Cassetta di comando dell'apparecchio radiografico posta

alla massima distanza possibile dal tubo radiogeno, posteriormente alla finestra di emissione.

- e) Cartelli indicatori di "Zona controllata" e di "Zona Sorvegliata" sulle relative delimitazioni.
- f) "Norme di Sicurezza" esposte e a disposizione degli operatori.
- g) Monitore portatile individuale tipo Geiger.
- h) Monitore acustico individuale tascabile.
- i) Monitore d'area con luce lampeggiante e segnalazione acustica.

#### **3.9.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

Prima di ogni operazione nel cantiere di lavoro, devono essere delimitate la "Zona Controllata" e la "Zona Sorvegliata" secondo le indicazioni contenute nella relazione tecnica dell'esperto qualificato.

#### ***A) Sorgente Gamma***

In condizioni di riposo la sorgente si trova all'interno di un contenitore schermante, di norma uranio impoverito opportunamente incamiciato.

La sorgente può emergere dal contenitore soltanto in seguito alla apertura dell'otturatore, sospinta da un telecomando flessibile di lunghezza adeguata, mediante il quale avviene anche il suo rientro al termine dell'impiego.

La sorgente scorre in una guaina chiusa all'estremità opposta.

Sia la sorgente che l'oggetto da controllare si trovano in luogo aperto, senza barriere schermanti che non siano gli spessori stessi degli oggetti irradiati. Pertanto, la protezione dalle radiazioni è garantita da distanza di sicurezza e da tempi di esposizione adeguati.

Il personale operante aziona la sorgente utilizzando il telecomando flessibile, lungo almeno una decina di metri e proiettando il fascio, quando possibile, in una direzione preferenziale per mezzo di un collimatore. In tale direzione non devono trovarsi persone, se non a grande distanza (da 10 a 200 metri o più).

Prima di effettuare le esposizioni, l'operatore esegue una prova di eiezione ricovero della sorgente per la verifica del corretto aggancio della stessa al telecomando.

### ***B) Macchina radiogena***

Le modalità sono sostanzialmente le stesse previste per la sorgente gamma; tuttavia non esistono le procedure per il telecomando della sorgente.

Il tubo radiogeno, una volta collocato in posizione, viene azionato a distanza attraverso la sua alimentazione elettrica.

#### **3.9.6) Radioprotezione**

##### **3.9.6.a) Rischi per le persone: consistenti.**

Nella gammagrafia e nella radiografia in campo aperto sono a rischio sia gli addetti ai lavori sia la popolazione.

Si possono identificare, come nei casi di emissione di radiazione in ambienti circoscritti, una "Zona

Controllata" ed una "Zona sorvegliata". Tali zone, nel cantiere di lavoro, sono delimitate e segnalate; l'accesso alla zona controllata è regolamentato. Viene esercitata una sorveglianza particolare per evitare o limitare la esposizione delle persone non classificate.

Tuttavia esistono per gli addetti ai lavori concrete possibilità di ricevere dosi consistenti, o per difficoltà pratiche ad assicurare una protezione molto efficace, o per una maggiore probabilità di esporsi accidentalmente a radiazione diretta o diffusa, ad esempio in caso di problemi di rientro della sorgente. Indipendentemente dai risultati che si riescono ad ottenere con una attenta condotta delle operazioni, chi si trova normalmente ad operare con o presso la sorgente o l'oggetto da studiare è lavoratore esposto di categoria A: devono pertanto essere istituite la sorveglianza fisica e la sorveglianza medica della radioprotezione.

Non è trascurabile inoltre la possibilità di irraggiamento esterno di persone del pubblico, o per eventi imprevisti o per possibili carenze nella sorveglianza.

##### **3.9.6.b) Rischi per l'ambiente: da modesti a significativi.**

Nella gammagrafia, la sorgente di tipo sigillato, e un involucro particolarmente protettivo prevengono rischi da irraggiamento e contaminazione anche durante il trasporto.

Sorgente e contenitore sono inoltre omologati per resistere al fuoco per un certo tempo. Sono perciò poco

probabili eventi come la contaminazione.

La frequente manutenzione è una garanzia ulteriore del buono stato di conservazione.

#### 3.9.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Osservanza della normativa tecnica sul trasporto delle sorgenti radioattive e sulle caratteristiche dei veicoli.
- Comunicazioni preventive di legge alle autorità competenti della località dove si dovranno eseguire le prove.
- Istituzione e delimitazione con contrassegni delle zone controllata e sorvegliata.
- Controllo dell'accesso alla zona controllata.
- Valutazione della dose ambientale nelle zone e nelle immediate vicinanze se aperte ai non addetti.
- Efficace sorveglianza affinché nessuna persona del pubblico, o comunque non classificata esposta, acceda alle zone classificate durante le prove.
- Operazioni in campo aperto di norma condotte da due addetti.
- Esecuzione delle prove durante orari o periodi di minimo affollamento dell'area e, se necessario, dopo averne ottenuto l'evacuazione.
- Verifiche frequenti del regolare funzionamento del telecomando di eiezione e rientro della sorgente, anche prima di iniziare le prove.
- Verifica dello stato della guaina di eiezione.
- Presenza di un segnalatore ottico o acustico di radiazione nelle vicinanze della sorgente.

- Dosimetria individuale dei lavoratori esposti con dosimetri integratori accompagnati da dispositivi segnalatori acustici a soglia.
- Nomina di un esperto qualificato e di un medico autorizzato.

#### 3.9.6.d) Strumentazione consigliata: dosimetri a integrazione, camera di ionizzazione e geiger per bassa ed alta intensità, rispettivamente per misure in condizioni normali e di incidente.

#### 3.9.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno semestrale presso il datore di lavoro e sopralluoghi estemporanei ai siti operativi in funzione delle situazioni di rischio per una verifica in campo della diligente applicazione delle disposizioni dell'esperto qualificato.

### 3.9.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. La zona operativa deve essere delimitata e segnalata.
- II. L'accesso alle Zone delimitate durante le esposizioni è consentito esclusivamente al PERSONALE CLASSIFICATO ai fini della radioprotezione.
- III. Prima dell'inizio del lavoro l'operatore deve indossare il dosimetro personale e munirsi di monitor acustico di radiazioni (con valore di soglia prefissato) secondo le indicazioni dell'Esperto Qualificato.
- IV. Il dosimetro personale deve essere indossato in corrispondenza della parte superiore del corpo, utilizzando la "clip" di cui è dotato; è proibito conservarlo nelle tasche per evitare che l'eventuale presenza di oggetti metallici possa influenzare la correttezza del valore di dose registrato durante l'esposizione.

V. Il danneggiamento o lo smarrimento del dosimetro personale deve essere immediatamente segnalato.

VI. Qualora il dosimetro dovesse essere dimenticato nelle vicinanze di una sorgente di radiazioni, deve essere avvertito immediatamente l'Esperto Qualificato, notificando contemporaneamente le circostanze del fatto.

VII. **IN GAMMAGRAFIA**. Il telecomando e la guaina di eiezione della sorgente devono essere in perfetta efficienza; devono essere inoltre disposti con la massima cura e con ampi raggi di curvatura per evitare il formarsi di possibili schiacciamenti tali da impedire il corretto svolgimento delle manovre di eiezione/ricovero della sorgente. La guaina di eiezione impiegata deve essere sempre la più corta possibile, compatibilmente con le esigenze operative.

Durante le esposizioni il telecomando deve essere, quando possibile, posizionato posteriormente alla finestra di emissione del contenitore (o protetto dall'effetto di schermatura fornito da strutture presenti), e alla massima distanza possibile.

VIII. **IN RADIOGRAFIA**. L'apparecchio radiogeno e i cavi di collegamento tra il tubo radiogeno e la cassetta di comando devono essere in perfetta efficienza.

Durante le esposizioni la cassetta comandi dell'apparecchio radiogeno deve essere posizionata posteriormente alla finestra di emissione del fascio primario e alla massima distanza possibile dal tubo radiogeno.

IX. Prima di effettuare le esposizioni l'operatore deve verificare la funzionalità del monitor acustico di radiazioni.

X. Prima di effettuare le esposizioni l'operatore deve eseguire una prova di eiezione (con percorso ridotto) e rientro sorgente per la verifica del corretto aggancio della sorgente al telecomando di eiezione.

XI. Durante le operazioni di preparazione delle esposizioni l'operatore deve trattenersi il minore tempo possibile vicino all'apparecchio gammagrafico.

XII. L'apparecchio gammagrafico deve essere posizionato con la finestra di eiezione in verso opposto alla posizione dell'operatore.

XIII. Non passare MAI davanti all'apparecchio gammagrafico con l'otturatore APERTO (Il rateo di dose sul fascio diretto a 1 m di distanza cdi una sorgente di Iridio-192 con attività di riferimento di 1850 GBq (50 Ci) è pari a circa 60 µGy/s)

XIV. Qualsiasi anomalia riscontrata nel Sistema di Sicurezza e Controllo deve essere immediatamente notificata; contemporaneamente DEVE essere SOSPESA ogni attività operativa.

XV. Qualora la sorgente radioattiva non dovesse rientrare nel contenitore, DEVE ESSERE IMMEDIATAMENTE SOSPESA OGNI ATTIVITA' OPERATIVA e DEVE ESSERE IMMEDIATAMENTE AVVERTITO L'ESPERTO QUALIFICATO mantenendo in essere le delimitazioni previste. Le disposizioni per il recupero della sorgente devono essere concordate con l'Esperto Qualificato.

I lavoratori devono:

- Essere sempre muniti del dosimetro integratore individuale.
- Essere muniti dell'apposito avvisatore acustico al fine di evidenziare, eventuali condizioni di pericolo.
- Eseguire i controlli radiografici attenendosi scrupolosamente alle norme interne di protezione e sicurezza.
- Prima di iniziare qualsiasi operazione radiografica, accertarsi che siano efficienti e funzionanti i dispositivi di sicurezza e segnalazione installati.
- Evitare l'effettuazione di controlli radiografici qualora non sia possibile ottemperare alle norme di sicurezza.
- Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica forniti dal Datore di Lavoro.
- Segnalare al Dirigente o al Preposto carenze e malfunzionamenti dei dispositivi di sicurezza e di protezione

- nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- h) Non rimuovere né modificare senza autorizzazione i dispositivi di sicurezza ed i mezzi di protezione e segnalazione.
  - i) Non compiere di propria iniziativa

operazioni o manovre che possano compromettere la protezione e la sicurezza.

- j) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

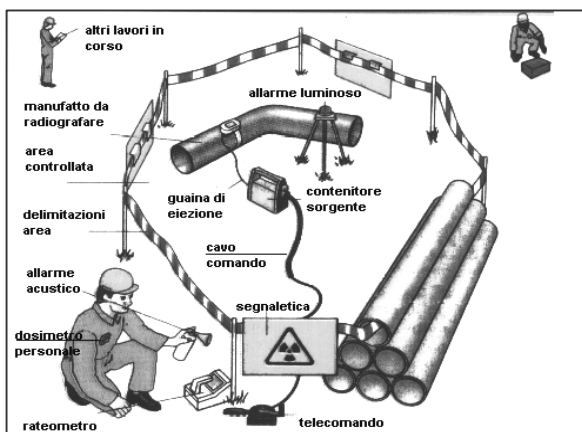


Fig. 3.9 A - Esempio dell'allestimento di una postazione per controlli gammagrafici in campo aperto e dei provvedimenti di sicurezza da mettere in atto.

Il disegno, schematico, non mette in evidenza le distanze, che tuttavia hanno un ruolo fondamentale nella radioprotezione delle persone che dovessero per necessità rimanere nella zona del cantiere e non disponessero di adeguate barriere protettive, anche in certi casi dalla radiazione diffusa di cielo.

Fig. 3.9 B - Un apparecchio radiografico carrellato e con alimentazione autonoma, utilizzato per radiografie panoramiche di tubazioni, anche in campo aperto.

[Figura: GAMMAIND - iCM]

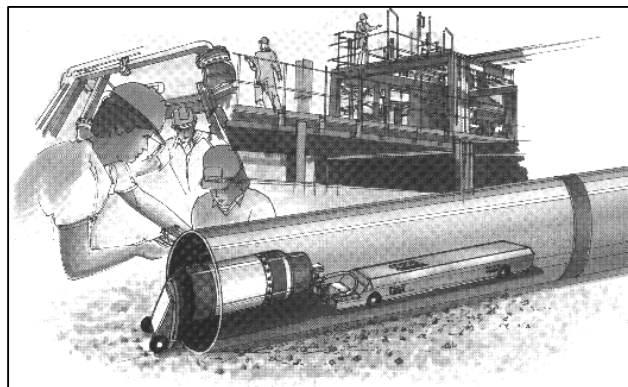
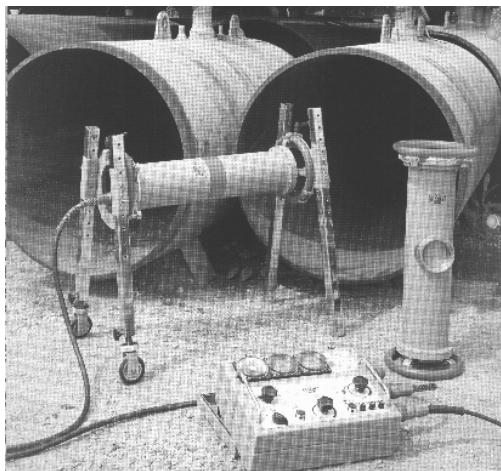


Fig. 3.9 C - Esempio di applicazione dell'apparecchio di Fig. 3.9.C per radiografie in campo aperto.

A sinistra un apparecchio per esposizioni panoramiche, a destra per esposizioni direzionali, in primo piano il tavolo di comando.



NOTA: L'attività di radiografia in campo aperto prevede l'utilizzo di tutte le apparecchiature illustrate ai precedenti paragrafi 6; 7; 8, naturalmente senza le protezioni offerte dal bunker e quindi con un allestimento del sito del tipo illustrato in Figura 9 A.



### 3.10) ARMADIO “CABINET” PER RADIOGRAFIA

#### 3.10.1) Descrizione

Il “cabinet” è una macchina radiogena utilizzata per la verifica di qualità di pezzi di non grandi dimensioni

#### 3.10.2) Caratteristiche tipiche delle sorgenti

Tensione: ~ 150 kVp.

Corrente massima: alcuni mA

#### 3.10.3) Impieghi tipici

Controlli di qualità di pezzi di modeste dimensioni e non eccessivamente radioopachi, per esempio per il controllo di piastre circuitali o di componenti di macchine elettroniche.

#### 3.10.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- Schermatura delle pareti dell'armadio “cabinet”.
- Segnalazione delle condizioni di funzionamento del tubo (kV, mA).
- Segnalazione luminosa/acustica indicante emissione di raggi X.

#### 3.10.5) Modalità d'uso

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

Il tubo radiogeno e il pezzo da controllare sono racchiusi entro la macchina che ha l'aspetto esteriore di un armadio ed è costruita in modo da assicurare una schermatura adeguata e l'assenza di radiazione di fuga.

La macchina di solito ha dimensioni tali da poter essere collocata sopra un

tavolo e viene utilizzata per radiografia o radioscopia a lettura diretta o su monitor. Ne esistono di dimensioni assai maggiori (svariati metri cubi) corredate di dispositivi elettro-ottici per la radioscopia (intensificatori di brillantezza e monitor).

Tutte queste macchine, anche le più grandi, durante l'emissione dei raggi X, non consentono l'accesso di una persona al loro interno.

Un'apparecchiatura di tipo analogo viene anche utilizzata per il controllo bagagli, ad esempio negli aeroporti. La macchina degli aeroporti differisce dal “cabinet” essenzialmente perché non è completamente chiusa: l'oggetto da controllare è portato in corrispondenza del fascio da un nastro trasportatore; le aperture di entrata ed uscita, per l'inserimento dei bagagli da controllare, sono schermate da cortine di gomma piombifera.

#### 3.10.6) Radioprotezione

3.10.6.a) Rischi per le persone: trascurabili.

La macchina in perfetta efficienza è esente per progetto da radiazione significativa al suo esterno; inoltre sicurezze elettriche impediscono il funzionamento del tubo radiogeno ad accesso aperto.

Non vi sono i presupposti per la classificazione della zona esterna al “cabinet” e del personale addetto.

3.10.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

3.10.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale del campo di radiazione alle superfici esterne. La

misura al netto del fondo ambientale dovrebbe essere nulla agli effetti pratici. Non è ammissibile la presenza di campi di radiazione significativi all'esterno del cabinet, date le modalità d'uso della macchina.

- Nel caso si misuri, in un punto qualsiasi della superficie esterna, una intensità di dose tale da far computare, al netto del fondo ambientale, una dose annua superiore o anche soltanto prossima a 1 mSv e/o si riscontri una dose locale o un annerimento localizzato di una pellicola radiografica, occorre far revisionare ed eventualmente far

adeguare il sistema di schermi della macchina.

- Verifica della efficienza delle sicurezze elettriche da ripetersi in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di riparazioni.

3.10.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, pellicole radiografiche.

3.10.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: generalmente annuale.

3.10.7) **NORME DI RADIOPROTEZIONE**  
Vedi il paragrafo 3.1.1.7)

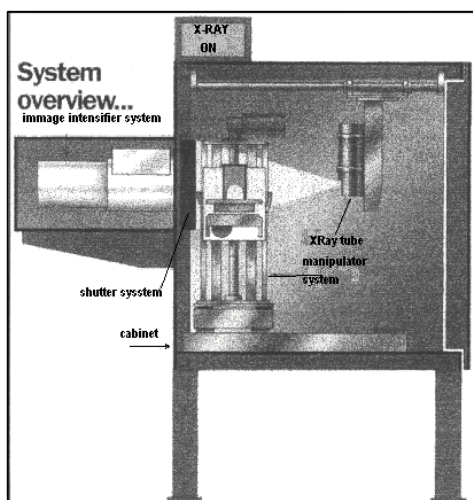


Fig. 3.10 A - Funzionamento di un “cabinet” per radiografia industriale.

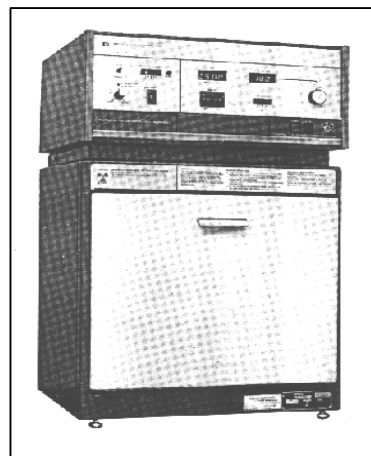
Tubo radiogeno, oggetto da radiografare e dispositivi di rivelazione (qui un sistema di intensificazione per scopia, ma potrebbe essere una lastra fotografica) sono tutti racchiusi entro il cabinet a tenuta di radiazione X. La porta di accesso per l'introduzione dell'oggetto e dell'eventuale lastra è munita di microinterruttore di comando della alimentazione elettrica del tubo radiogeno.

[Figura: Andrex A/S]

Fig. 3.10 B - Cabinet da banco per radiografia industriale di oggetti di piccole dimensioni (FAXITRON).

In alto sono alloggiati i circuiti di alimentazione e di comando del tubo, nella parte inferiore si trova il vano porta oggetto ed il portalastra. Non è possibile aprire la portina a tubo in funzione. Le pareti della macchina sono tali da schermare efficacemente la radiazione X.

[Figura: Hewlett Packard]



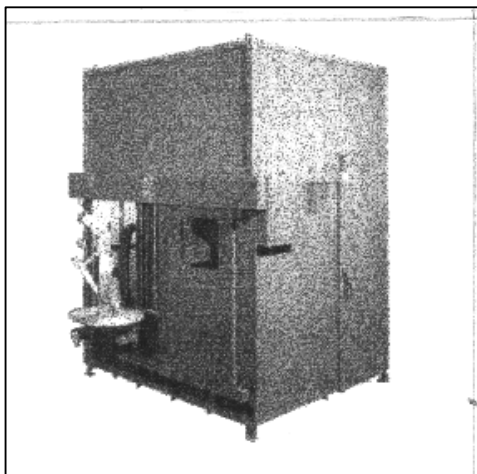


Fig. 3.10 C - Armadio per radiografia industriale di oggetti di medie dimensioni (MA-7).

La macchina possiede un manipolatore per il carico e lo scarico dell'oggetto da radiografare. Nonostante le dimensioni, le macchine di questa categoria sono progettate per essere utilizzate da operatori situati sempre all'esterno, dove, in condizioni operative normali, la radiazione è praticamente nulla.

[Figura: Advanced X-Ray Inc.]

Fig. 3.10 D - Esempio di cabinet per radioscopia semiautomatica. [Figura: Gilardoni Spa]

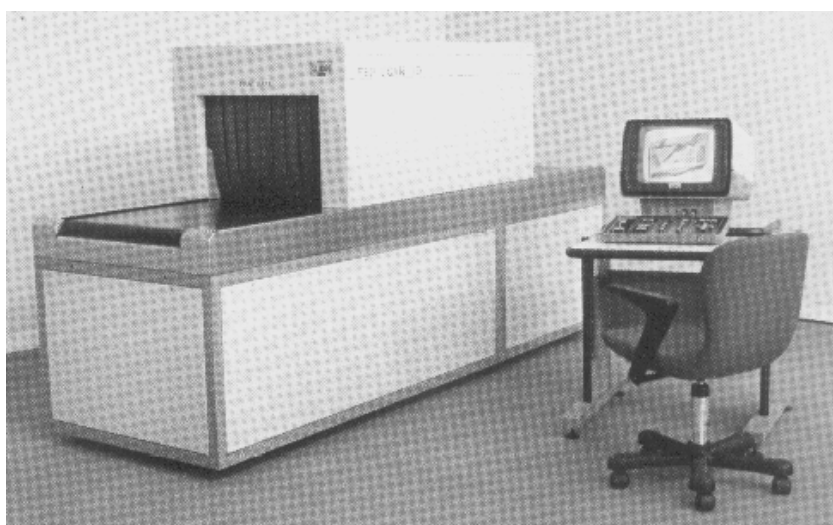
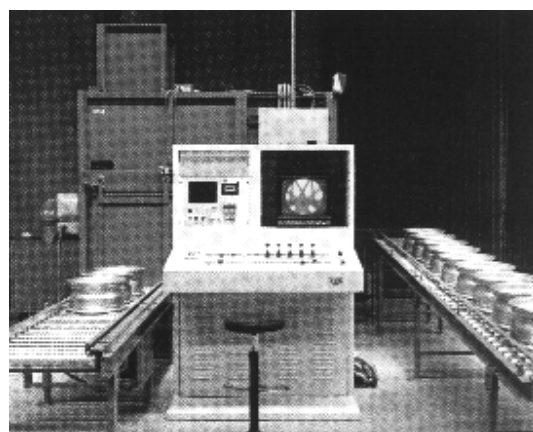


Fig. 3.10 E - Esempio di apparecchiatura per il controllo bagagli.

[Figura: Gilardoni Spa]

### **3.11) MISURATORE DI SPESSORE, LIVELLO, DENSITÀ A TRASMISSIONE CON SORGENTE RADIOATTIVA O TUBO RADIOGENO**

#### **3.11.1) Descrizione**

Questi misuratori sono apparecchi che utilizzano un tubo a raggi X ovvero un radioisotopo.

#### **3.11.2) Caratteristiche tipiche delle fonti radiogene**

- per misuratori di spessori: Americio 241 (Am241), Cobalto 60 (Co60), Cesio 137 (Cs137), Curio 244 (Cm244), Ferro 55 (Fe55), Kripto 85 (Kr85), Promezio 147 (Pm147), Stronzio 90 (Sr90), con attività da decine di MBq a decine di GBq ovvero tubi radiogeni con tensioni da 10 kV a 300 kV e correnti 1-2 mA;
- per misuratori di livello e densità: Americio 241 (Am241), Bario 133 (Ba133), Cesio 137 (Cs137), Cobalto 60 (Co60), con attività variabili in funzione delle caratteristiche del materiale, delle dimensioni del contenitore e del tipo di contenuto ma dello stesso ordine di grandezza delle precedenti.

#### **3.11.3) Impieghi tipici**

Sono usati per misure di spessori, livello, densità su prodotti industriali (laminati piani e fluidi tecnici di varia natura).

Nell'uno e nell'altro caso il materiale da controllare è interposto fra la fonte radiogena ed il rivelatore.

#### **3.11.4) Mezzi per la protezione dalle radiazioni**

- a) Indicatori luminosi o meccanici di apertura e di chiusura dell'otturatore, della sorgente.
- b) Barriere di protezione secondo le necessità e le possibilità tecniche operative.
- c) Eventuale telecomando per chiusura/apertura dell'otturatore, montato all'esterno delle barriere.
- d) Cartelli indicatori di "Zona".
- e) Norme di Protezione e Sicurezza esposte.

#### **3.11.5) Modalità d'uso**

Il datore di lavoro deve provvedere all'informazione, formazione ed addestramento adeguati del personale addetto.

Secondo l'applicazione, sorgente, oggetto e rivelatore possono trovarsi in campo libero con opportune barriere schermanti oppure essere racchiuse in un involucro. Le sorgenti sono allocate in involucro schermante con otturatore chiuso quando non in uso. Nel caso di radioisotopo trattasi di sorgenti di tipo sigillato.

#### **3.11.6) Radioprotezione**

3.11.6.a) Rischi per le persone: da trascurabili a valutabili.

In condizioni di normale funzionamento le macchine, che eseguono misure o controlli su piccoli oggetti e racchiudono sia la sorgente che il campione ed il rivelatore, non presentano radiazione significativa all'esterno. Inoltre esistono dispositivi incorporati per la schermatura della finestra di emissione quando il sistema non è in uso.

La presenza e l'impiego di queste apparecchiature non comportano la

classificazione dei lavoratori addetti all'impianto di produzione.

Nelle applicazioni in campo aperto con barriere schermanti, l'area attorno alla fonte radiogena e che delimita anche il fascio di radiazioni è verosimilmente tale da costituire zona controllata durante il funzionamento. Non può escludersi la presenza di radiazione di intensità consistente anche all'esterno della barriera. In tali casi esistono in linea di massima i requisiti per la classificazione delle zone e per la eventuale classificazione dei lavoratori incaricati di particolari compiti.

3.11.6.b) Rischi per l'ambiente: trascurabili con raggi X, non trascurabili con radioisotopo.

Poichè le sorgenti sono di tipo sigillato, il rischio è determinato essenzialmente dalla possibilità di perdita o rottura di una o più sorgente in occasione di operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione della sorgente, oppure rottamazione della macchina o dell'impianto.

3.11.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misure iniziali dell'intensità del campo di radiazione all'esterno degli involucri o degli schermi ed in corrispondenza delle delimitazioni delle zone, con ripetizione delle misure e verifiche dopo ogni operazione di manutenzione o riparazione ed in caso di danneggiamenti anche solo sospettati.
- Verifica delle barriere di protezione contro le radiazioni.

- Verifica del corretto funzionamento dei dispositivi di chiusura della sorgente.
- Verifica del corretto funzionamento di tutti gli altri dispositivi di radioprotezione predisposti.
- Verifica dell'assenza di contaminazione in prossimità dell'alloggiamento della sorgente mediante smear test e successivo conteggio con geiger o meglio con analizzatore multicanale ove possibile.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.
- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione della macchina.
- Nomina dell'esperto qualificato.
- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti.

3.11.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, geiger, dosimetri integratori.

3.11.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

### 3.11.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sull'apparecchiatura radiogena la segnaletica di "Pericolo Radiazioni";
- II. E' vietato manomettere i sistemi di segnalazione e sicurezza installati sull'apparecchiatura nonché l'apparecchiatura stessa.

- III. Non è consentita la manipolazione del sistema sorgente-rivelatore. La manipolazione e la manutenzione sono consentite solo al personale espressamente autorizzato e specificatamente formato.
- IV. E' vietato effettuare operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'apertura dell'apparecchiatura e l'accesso diretto alle sorgenti radioattive.
- V. Con sorgente aperta (luce rossa, se presente) non avvicinarsi a meno della distanza di sicurezza indicata dall'Esperto Qualificato.
- VI. Tutte le operazioni, incluse quelle di manutenzione, da effettuare a meno della distanza di sicurezza, devono essere svolte con otturatore chiuso.
- VII. Non rimuovere le eventuali barriere di protezione predisposte.
- VIII. L'operatore deve informare tempestivamente il datore di lavoro o il preposto in caso di cattivo funzionamento o di guasto dello strumento o dei dispositivi di radioprotezione. In caso di necessità il datore di lavoro o il preposto devono a loro volta informare l'Esperto Qualificato.
- IX. In caso di incendio o allagamento con il coinvolgimento dell'apparecchiatura (con sorgente radioattiva), gli operatori incaricati devono limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento dell'incendio o di contenimento avendo cura di informare il Responsabile dell'attività che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato. Le modalità di recupero verranno definite dall'Esperto Qualificato. L'apparecchiatura danneggiata non dovrà comunque essere recuperata a mani nude.

- X. In caso di incendio o di altro incidente che richieda l'intervento di personale esterno allo stabilimento (Vigili del Fuoco, ecc.), tale personale deve essere informato della presenza e della ubicazione della sorgente radioattiva.

I lavoratori devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti per le apparecchiature: gli specifici dispositivi di sicurezza e protezione consistono normalmente in schermatura, otturatori, microinterruttori, luci di segnalazione e/o allarme, segnali acustici.
- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei dispositivi di sicurezza, protezione e segnalazione ottica e/o acustica nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Evitare l'impiego dell'apparecchiatura qualora i mezzi di segnalazione e protezione non siano efficienti.
- f) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- g) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

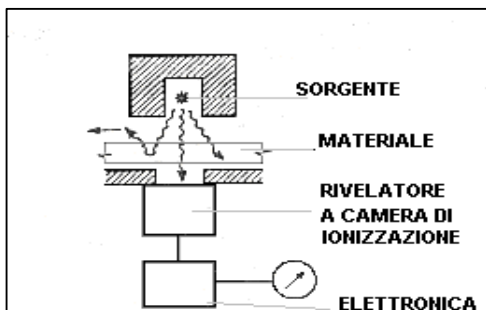


Fig. 3.11 A - Schema di principio di un misuratore di spessore, livello, densità a trasmissione (con sorgente radioattiva beta, gamma o con tubo radiogeno). Se la densità del materiale è costante, la intensità della radiazione è proporzionale allo spessore. Inversamente, se è costante lo spessore, per esempio di un liquido che fluisce in un tubo, se ne può misurare la densità o il livello. [Figura: Amersham International]

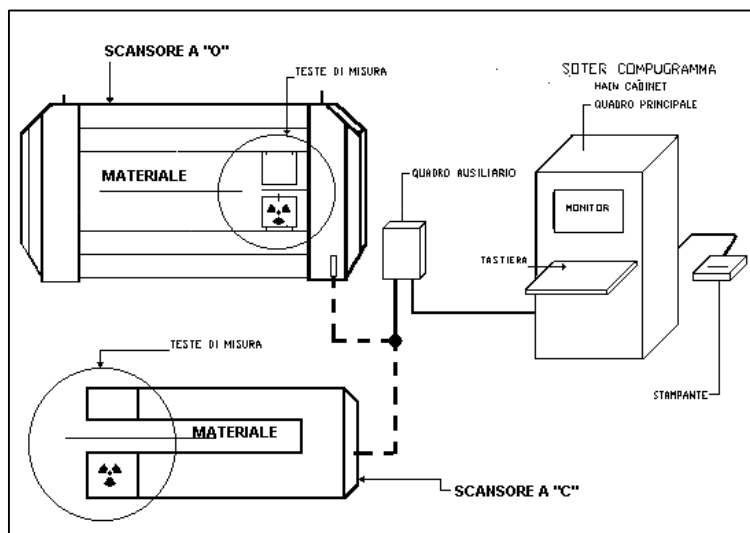


Fig. 3.11 B - Configurazione tipica di un misuratore di spessore/grammatura a trasmissione. La parte evidenziata nel cerchio rappresenta il sistema di misura schematizzato in Fig. 11 A. (Figura: SOTER Srl)

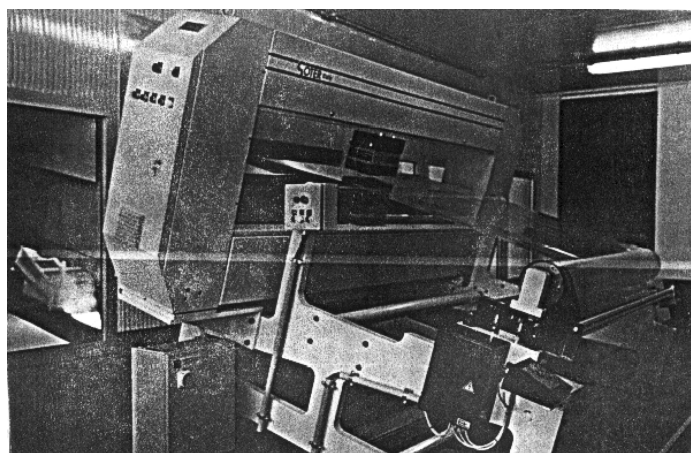


Fig. 3.11 C

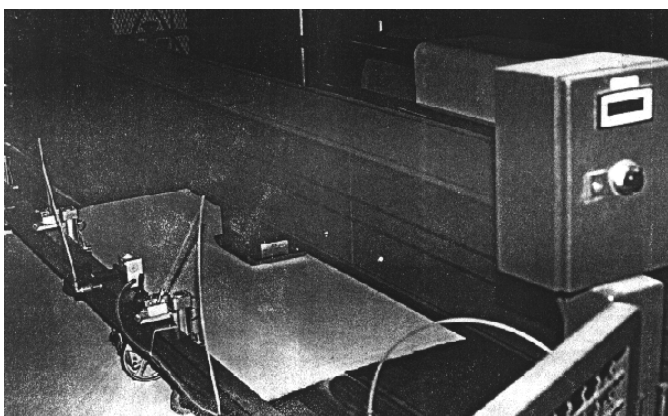


Fig. 3.11 D

Esempio di utilizzazione della trasmissione beta per la misura dello spessore di un film plastico. Si misurano in modo analogo anche gli spessori delle lamiere nei laminatoi. La sorgente è puntiforme (in questo caso Kr85), il rivelatore è una camera a ionizzazione. Sono stati presi provvedimenti costruttivi per ridurre al minimo la radiazione dispersa, ma il fascio è libero ed occorre comunque preoccuparsi della protezione dalla radiazione diretta e dalla radiazione diffusa. (Figura: SOTER Srl)



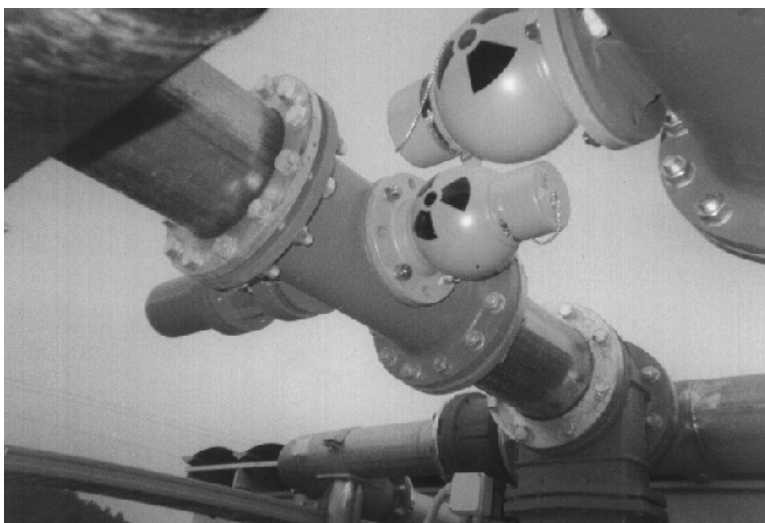


Fig. 3.11 E

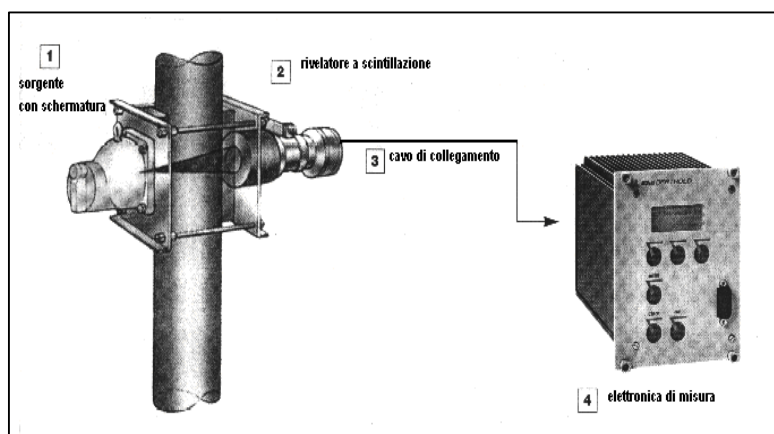


Fig. 3.11 F

Esempio di utilizzazione della trasmissione gamma per la misura della densità di un liquido che scorre in un tubo.

La sorgente ed il rivelatore sono serrati al tubo in posizioni opposte diametralmente. La sorgente è di solito Cs-137 (max 37,000 MBq) o Co-60 (max 3,700 MBq), il rivelatore è un contatore a scintillazione. La sorgente è fortemente schermata, ma la radiazione di fuga non è del tutto trascurabile. [Figura 3.11F: EG&G Berthold]

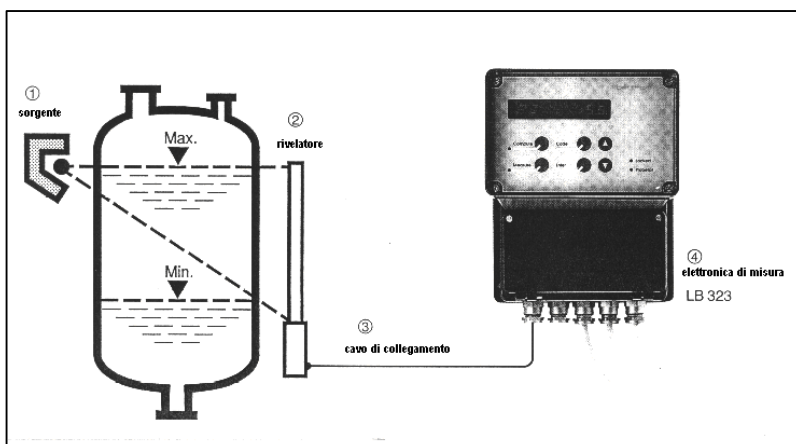


Fig. 3.11 G - Schema di misuratore di livello a trasmissione gamma.

In questo caso viene utilizzato un rivelatore lineare ed una sorgente puntiforme, ma è altrettanto comune l'inverso. [Figura: EG&G Berthold]



Fig. 3.11 H - Esempio di installazione di una sorgente per la misura di livello. La sorgente è di solito Co60 o Cs137, il rivelatore è un contatore Geiger o a scintillazione.



### **3.12) MISURATORE DI SPESSORE A RETRODIFFUSIONE CON SORGENTE RADIOATTIVA O TUBO RADIOGENO**

#### **3.12.1) Descrizione**

Questi misuratori sono apparecchi che utilizzano un tubo a raggi X ovvero un radioisotopo.

#### **3.12.2) Caratteristiche tipiche delle fonti radiogene**

- Radiazione beta: Kripto 85 (Kr85), Promezio 147 (Pm147), Ruterio 106 (Ru106), Stronzio 90 (Sr90), Tallio 204 (Tl204), con attività da decine di MBq ad alcuni GBq;
- Radiazione gamma o X: Americio 241 (Am241), Curio 244 (Cm244), con attività di decine di GBq ovvero tubi radiogeni con tensioni (10 - 60) kVp e correnti (1 - 2) mA.

#### **3.12.3) Impieghi tipici**

La retrodiffusione beta si impiega per la misura di spessori sottili di un materiale depositato su un substrato, per esempio per la misura di rivestimenti metallici di componenti

elettrici o elettronici, o di vernici su lamiere. La sorgente emette radiazione beta verso il materiale e le particelle retrodiffuse sono raccolte e misurate da un rivelatore situato dietro la sorgente. La misura fornisce le informazioni sullo spessore.

La retrodiffusione gamma o X si usa per spessori più elevati o per sfruttare la fluorescenza X (misura di spessore di rivestimenti metallici su supporto metallico). La sorgente emette radiazione gamma o X verso il materiale ed i fotoni retrodiffusi o di fluorescenza X sono raccolti da un rivelatore il cui segnale d'uscita fornisce informazioni sullo spessore.

#### **3.12.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni**

- a) Indicatori luminosi o meccanici di apertura e di chiusura dell'otturatore della sorgente.
- b) Barriere di protezione secondo le necessità e le possibilità tecniche operative.
- c) Eventuale telecomando per chiusura/apertura dell'otturatore, montato all'esterno delle barriere.
- d) Cartelli indicatori di "Zona".

e) Norme di Protezione e Sicurezza esposte.

### 3.12.5) Modalità d'uso

Secondo l'applicazione e l'attività del radioisotopo ovvero la tensione del tubo radiogeno, oggetto e rivelatore possono essere tutti racchiusi nello stesso contenitore oppure trovarsi in campo libero dietro opportuni schermi. Le sorgenti sono allocate in involucro schermante con otturatore chiuso quando non in uso. Nel caso di radioisotopo trattasi di sorgente di tipo sigillato.

### 3.12.6) Radioprotezione

3.12.6.a) Rischi per le persone: da trascurabili a valutabili.

In condizioni di normale funzionamento le macchine, che eseguono misure o controlli su piccoli campioni e racchiudono sia la sorgente che il campione ed il rivelatore, non presentano radiazione significativa all'esterno. Inoltre esistono dispositivi incorporati per la schermatura della finestra di emissione quando il sistema non è in uso.

La presenza e l'impiego di queste macchine non comportano la classificazione dei lavoratori addetti all'impianto di produzione.

Nelle applicazioni in campo aperto con barriere schermanti, l'area delimitata dalla barriera è verosimilmente tale da costituire "Zona Controllata" durante il funzionamento, ma non può escludersi la presenza di radiazione di intensità consistente anche all'esterno della barriera. In tali casi esistono in linea di massima i requisiti per la classificazione delle

zone e per la eventuale classificazione dei lavoratori.

3.12.6.b) Rischi per l'ambiente: trascurabili per raggi X, non trascurabili per radioisotopo.

Poiché le sorgenti sono di tipo sigillato, il rischio è determinato essenzialmente dalla possibilità di perdita o rottura di una o più sorgente in occasione di operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione della sorgente, oppure rottamazione della macchina o dell'impianto.

3.12.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misure iniziali dell'intensità del campo di radiazione all'esterno degli involucri o degli schermi, con ripetizione delle misure e verifiche dopo ogni operazione di manutenzione o riparazione ed in caso di danneggiamenti anche solo sospettati.
- Verifica delle barriere di protezione contro le radiazioni.
- Verifica del corretto funzionamento dei dispositivi di chiusura della sorgente.
- Verifica del corretto funzionamento di tutti gli altri dispositivi di radioprotezione predisposti.
- Verifica dell'assenza di contaminazione in prossimità dell'alloggiamento della sorgente mediante smear test e successivo conteggio con geiger o meglio con analizzatore multicanale ove possibile.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione

dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.

- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio alla rottamazione della macchina.
- Nomina dell'esperto qualificato.
- Ordinata gestione amministrativa delle sorgenti, con registrazioni dei loro movimenti.

3.12.6d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione a parete sottile, geiger, dosimetri integratori.

3.12.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

3.12.7) **NORME DI  
RADIOPROTEZIONE**  
Vedi il paragrafo 3.11.7)

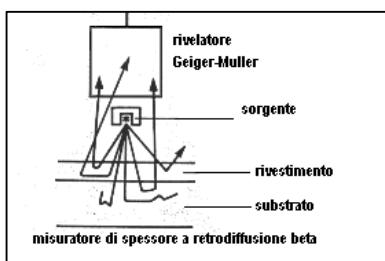


Fig. 3.12 A - Principio di funzionamento dei misuratori di spessori a retrodiffusione beta.

Sorgente e rivelatore sono posti dalla stessa parte rispetto al campione di cui si vuole misurare lo spessore. L'intensità della radiazione beta retrodiffusa da campioni sottili è funzione dello spessore e del numero atomico. [Figura: Amersham International]

Fig. 12 B - Principio di funzionamento dei misuratori di spessori a retrodiffusione di fotoni.

Sorgente e rivelatore sono posti dalla stessa parte rispetto al campione di cui si vuole misurare lo spessore. Esiste una relazione conosciuta tra angolo di retrodiffusione, spessore del materiale diffondente e suo numero atomico, ed è quindi possibile determinare lo spessore se è noto il numero atomico, o viceversa. [Figura: Amersham International]

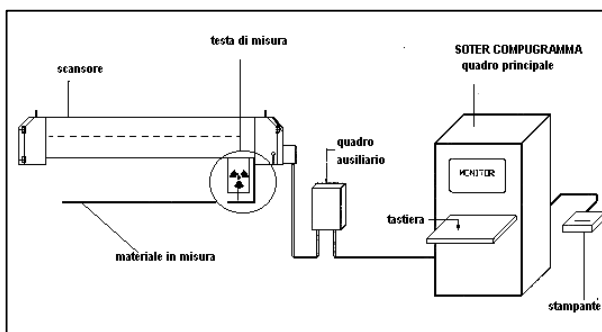
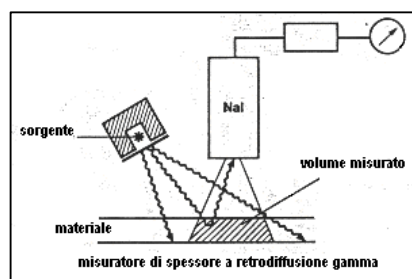
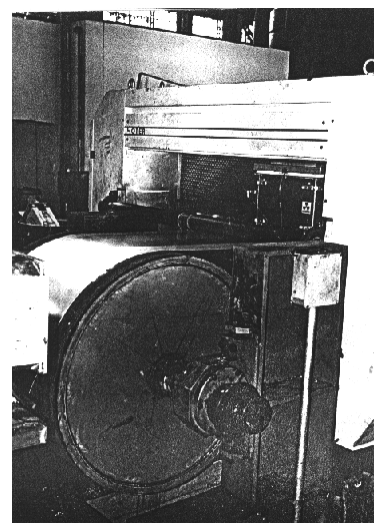


Fig. 12 C - Configurazione tipica di un misuratore di spessore/grammatura a retrodiffusione. La parte evidenziata nel cerchio rappresenta il sistema di misura schematizzato nelle Fig. 12 A o 12 B. [Figura: SOTER Srl]

Fig. 12 D - Esempio di applicazione del principio di fluorescenza X per la misura di spessore (zinco su acciaio; sorgente raggi x da 30 KVp). [Figura: SOTER Srl]



### 3.13) IONIZZATORE D'ARIA

#### 3.13.1) Descrizione

Sorgenti di tipo sigillato che comunemente consistono di uno strato sottile di materia radioattiva depositato su un supporto metallico e protetto da uno strato sottile di metallo nobile. Il dispositivo ha forma piatta per il massimo effetto di ionizzazione dell'aria che lo lambisce.

#### 3.13.2) Caratteristiche tipiche delle fonti radiogene

Normalmente emettitori alfa, ad esempio Polonio 210 (Po210), con attività variabile, comunque sempre relativamente modeste nelle applicazioni usuali. Nel passato venivano usate anche sorgenti contenenti Tritio (H3)

#### 3.13.3) Impieghi tipici

Nelle lavorazioni in cui sia necessario eliminare le cariche elettrostatiche dai materiali lavorati.

Tali apparecchiature sono presenti prevalentemente nell'industria tessile, elettronica, della plastica e della carta.

#### 3.13.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Barriere di protezione secondo le necessità e le possibilità tecniche operative.
- b) Cartello indicatore di "Zona".
- c) Norme di Protezione e Sicurezza esposte.

#### 3.13.5) Modalità d'uso

La sorgente di radiazioni viene collocata generalmente all'interno di un condotto d'aria: l'aria ionizzata

contribuisce a neutralizzare le cariche statiche accumulate sui materiali.

#### 3.13.6) Radioprotezione

3.13.6.a) Rischi per le persone: da minimi a trascurabili.

Il dispositivo è esente per progetto e struttura da radiazione o contaminazione significative al suo esterno; la sua presenza e l'uso in ambienti di lavoro o altrove non presuppongono perciò la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori addetti all'impianto di produzione.

3.13.6.b) Rischi per l'ambiente: non trascurabili.

Esiste il rischio che la sorgente o il dispositivo che la contiene possano essere dispersi nell'ambiente in caso di riparazioni, sostituzione o rottamazione.

#### 3.13.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Conteggio periodico della contaminazione sulle superfici prossime alla sorgente mediante smear-test e successivo conteggio con geiger a finestra sottile, da ripetersi cautelativamente in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti. Il conteggio, al netto del fondo, deve essere nullo agli effetti pratici.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione dell'apparecchiatura ed installare una nuova sorgente.
- Adozione di provvedimenti specifici di decontaminazione e protezione,

con l'intervento di un esperto qualificato, nel caso di danneggiamenti che possano avere interessato le sorgenti.

- Accurata gestione amministrativa delle sorgenti e degli apparecchi, con registrazione ed inventario periodico ed in occasione di manutenzioni e revisioni della apparecchiatura di reparto.
- Previsione delle azioni da compiere in occasione di sostituzioni o di invio della macchina alla rottamazione.
- Nomina dell'esperto qualificato.

3.13.6.d) Strumentazione consigliata: geiger a finestra sottile.

3.13.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: almeno annuale.

### 3.13.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata sull'apparecchiatura radiante la segnaletica di "Pericolo Radiazioni";
- II. Il personale deve limitarsi all'impiego delle apparecchiature senza effettuare operazioni che comportino lo smontaggio e l'accesso diretto alle sorgenti radioattive.
- III. E' vietato effettuare operazioni di manutenzione e/o pulizia che comportino l'apertura dell'apparecchiatura e l'accesso diretto alle sorgenti radioattive;
- IV. Le operazioni di manutenzione devono essere affidate alla Ditta Fornitrice o ad altra Ditta specializzata e non devono comportare ovviamente la contaminazione dell'apparecchiatura e dell'ambiente circostante.
- V. A manutenzione ultimata la ditta incaricata deve rilasciare il certificato di non contaminazione.

VI. In caso di incendio o allagamento con il coinvolgimento dell'apparecchiatura, il personale incaricato deve limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento dell'incendio o di contenimento avendo cura di informare il Responsabile dell'attività che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato. Le modalità di recupero verranno definite dall'Esperto Qualificato; l'apparecchiatura danneggiata non dovrà comunque essere recuperata a mani nude.

I lavoratori devono:

- a) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- b) Non rimuovere o smontare l'apparecchiatura.
- c) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

## 3.14) RIVELATORE DI FUMO A CAMERE DI IONIZZAZIONE

### 3.14.1) Descrizione

Un circuito elettrico a ponte ha due rami costituiti da due camere di ionizzazione, ognuna contenente una sorgente di radiazioni. Una delle camere è sigillata, l'altra "esterna" è in comunicazione con l'ambiente.

In condizioni d'aria non contaminata da aerosol, le correnti nelle due camere sono uguali ed il ponte è in equilibrio.

Se nella camera esterna entrano gli aerosol tipici di un principio di incendio, vi è una cattura di particelle cariche ed il ponte si sbilancia dando origine ad un segnale di allarme.

### 3.14.2) Caratteristiche tipiche delle fonti radiogene

- emettitori alfa: Americio 241 (Am241) o più raramente Radio 226 (Ra226), con attività da poche

decine di kBq (meno di 1  $\mu$ Ci) ad alcuni MBq (72  $\mu$ Ci in vecchi modelli). Le sorgenti sono di tipo sigillato.

#### 3.14.3) Impieghi tipici

Segnalazione di fumi conseguenti ad incendio.

#### 3.14.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

Sorgenti di tipo sigillato che comunemente consistono di uno strato sottile di ossido del metallo radioattivo depositato su un supporto di argento e sigillato da un rivestimento di oro e palladio.

#### 3.14.5) Modalità d'uso

Le camere ed il circuito elettrico sono contenuti in piccole scatole di plastica o metallo con feritoie, munite di contatti elettrici e di organi di fissaggio per la loro installazione in determinati punti di ambienti civili ed industriali, o all'interno di apparecchiature.

#### 3.14.6) Radioprotezione

##### 3.14.6.a) Rischi per le persone: valutabili.

Il dispositivo è esente per progetto e struttura da radiazione o contaminazione significative al suo esterno; la sua presenza in ambienti di vita o di lavoro, o entro macchine o strutture, non presuppone perciò la classificazione di alcuna zona o dei lavoratori che operano nei locali.

Lo stesso non può dirsi per i locali di deposito o di manipolazione presso i commercianti o i fabbricanti, dove però saranno in genere presenti zone classificate e lavoratori esposti e dove

dovranno esercitarsi la sorveglianza fisica e medica della radioprotezione.

##### 3.14.6.b) Rischi per l'ambiente: intrinsecamente trascurabili.

Va osservato che un impianto può contenere anche decine o centinaia di rivelatori, quindi è tutt'altro che improbabile la scomparsa di uno o più rivelatori, specialmente a seguito di manutenzioni o modifiche di impianto. In tal caso i rischi non sono più trascurabili.

##### 3.14.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Nei luoghi di installazione, esiste un rischio potenziale per le persone, che può richiedere interventi di verifica da parte dell'esperto qualificato ma solamente nel caso di danneggiamenti che possano avere interessato le sorgenti,
- Verifica periodica di contaminazione sulla superficie esterna del dispositivo e sulle superfici prossime mediante smear test e successivo conteggio con geiger a finestra sottile. La misura, al netto del fondo ambientale, deve essere nulla agli effetti pratici.
- In caso di presenza di contaminazione, rimuovere il rivelatore con la sorgente radioattiva, provvedere alla decontaminazione delle superfici contaminate ed installare un nuovo rivelatore.
- Accurata gestione amministrativa dei rivelatori installati, mediante registrazione dei numeri di matricola dei singoli rivelatori riportati anche sulla planimetria del locale, verifica periodica d'inventario e in occasione di interventi sull'impianto.

- Adozione di provvedimenti specifici di protezione durante le operazioni di installazione e rimozione, che, nel caso di danneggiamenti, possono creare rischi reali per le persone e per l'ambiente.
- Nel caso di deposito o di manipolazione, nomina di un esperto qualificato e di un medico autorizzato/competente.

3.14.6.d) Strumentazione consigliata: geiger a finestra sottile.

3.14.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: orientativamente annuale/biennale in atmosfere normali; più frequentemente in atmosfere aggressive e cautelativamente in occasione di danneggiamenti accidentali, reali o presunti.

### 3.14.7) NORME DI RADIOPROTEZIONE

- I. Mantenere applicata su ogni rivelatore la segnaletica indicante: Pericolo Radiazioni, il simbolo del radionuclide contenuto e la sua attività.
- II. E' assolutamente vietato manomettere i rivelatori di fumo.
- III. Le operazioni di manutenzione e/o pulizia dei rivelatori dovranno essere effettuate presso centri attrezzati fuori dai locali del Detentore.
- IV. I lavoratori autorizzati, impiegando guanti di gomma, potranno effettuare la sostituzione dei rivelatori integri in ogni loro parte meccanica e già sottoposti al controllo di contaminazione.
- V. Aggiornare, dopo ogni variazione, la planimetria con i rivelatori di fumo detenuti, indicando la loro ubicazione e l'attività corrispondente.

VI. Eventuali rivelatori di scorta o da alienare dovranno essere posti in sacchetti di plastica e custoditi in sicurezza dal Responsabile dell'attività.

VII. L'eventuale alienazione dei rivelatori non utilizzati dovrà essere affidata a Impresa specializzata che provvederà a inoltrare le sorgenti radioattive presso Centri autorizzati allo smaltimento rilasciando un idoneo certificato.

VIII. In caso di incendio o di allagamento dei locali con coinvolgimento dei rivelatori di fumo radioattivi, il personale incaricato dovrà limitare il proprio intervento unicamente alle operazioni di spegnimento o di contenimento dell'incendio, avendo cura di informare il datore di lavoro che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato. Le modalità di intervento per il recupero dei rivelatori verranno definite dall'Esperto Qualificato. I rivelatori danneggiati non dovranno comunque essere recuperati a mani nude.

I lavoratori addetti alla vendita, installazione e il personale del detentore, per quanto di competenza, devono:

- a) Usare con cura ed in modo corretto i dispositivi di sicurezza e protezione predisposti.
- b) Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le eventuali deficienze dei suddetti dispositivi nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza.
- c) Non rimuovere né modificare, senza averne avuta l'autorizzazione, i dispositivi di sicurezza, segnalazione e protezione.
- d) Non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non siano di competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.
- e) Essere edotti sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione dell'installazione.
- f) Osservare le modalità di esecuzione del lavoro e le norme interne.

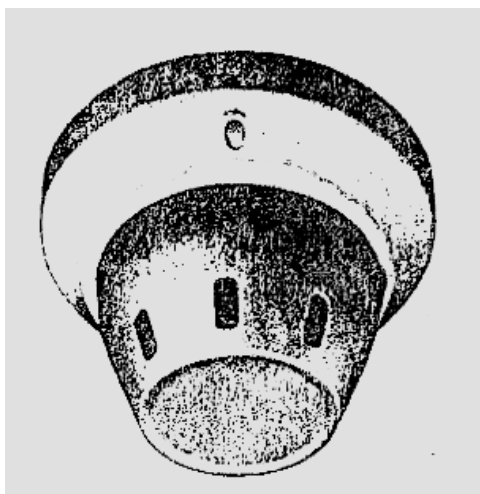


Fig. 3.14 A - Vista esterna di un rivelatore di fumo a camere di ionizzazione (ADT serie 3500).

Rivelatori di questo genere sono installati al soffitto o sotto pavimenti flottanti di ambienti di ogni tipo: uffici, alberghi, officine, magazzini, luoghi di cura, locali di spettacolo, biblioteche; all'estero anche in abitazioni. Sono visibili le feritoie che mettono in comunicazione l'ambiente con la camera di ionizzazione non sigillata. La radiazione all'esterno di un rivelatore è non misurabile. Le sorgenti di americio o di radio sono di tipo sigillato, e sono realizzate di solito depositando un ossido del radionuclide su un supporto metallico e rivestendo poi il tutto con una lega di oro e palladio. Poiché le singole sorgenti vengono ottenute per tranciatura, è possibile che

dai bordi col tempo si liberi contaminazione radioattiva. L'evenienza che le superfici esterne del rivelatore siano contaminate è piuttosto remota, in particolare se l'atmosfera dell'ambiente non è particolarmente aggressiva, anche se non la si può escludere in linea di principio. [Figura: ADT]

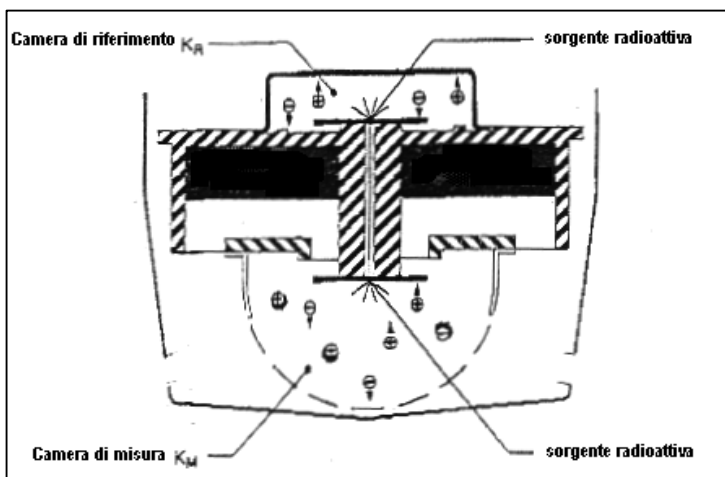


Fig. 3.14 B - Principio di funzionamento dei rivelatori di fumo a camere di ionizzazione.

Il dispositivo ha due camere di ionizzazione: una sigillata (la superiore nella figura), l'altra in comunicazione con l'ambiente. Ambedue contengono una sorgente alfa (di solito Am-241, più raramente Ra-226) con attività dell'ordine delle decine di kBq. I circuiti elettrici delle due camere fanno parte di un ponte di misura, che si disequilibra soltanto quando nella camera non sigillata entrano dall'esterno degli aerosoli

originati da un principio di incendio. La tensione di errore che si origina attiva un sistema di allarme e/o un sistema automatico di spegnimento. [Figura: Cerberus Ltd.]

### 3.15) IMPIANTATORI IONICI.

#### 3.15.1) Descrizione

La tecnica dell'impiantazione ionica fu inventata poco tempo dopo l'invenzione del transistor (1951) ed è oggi largamente usata nel campo dell'elettronica. Essa consiste nel drogaggio di un dato materiale (cristallo di silicio) attraverso

l'introduzione di impurezze di tipo N e P. A tal fine produce gli ioni di interesse, ne aumenta la velocità attraverso uno specifico acceleratore e li invia contro il bersaglio di interesse (wafer). L'elemento drogante si distribuisce nel materiale in profondità, in funzione dell'energia, con una distribuzione, gaussiana.



### 3.15.2) Caratteristiche tipiche

I normali impiantatori ionici sono in grado di accelerare gli ioni di interesse da alcune decine di keV fino ad alcuni MeV. Essi sono costituiti schematicamente da:

sorgente di ioni: è la camera nella quale vengono ionizzati gli elementi droganti tramite bombardamento con elettroni;

magnete di analisi: permette il passaggio dei soli specifici ioni di interesse sfruttando le deviazioni subite da ioni di massa diversa nell'attraversamento di un campo magnetico;

acceleratore: è costituito da una colonna o da un sistema di elettrodi in grado di accelerare gli ioni fino all'energia richiesta:

sistema di scansione: permette l'impiantazione del wafer in maniera uniforme, visto che le dimensioni del fascio di ioni, variabili da qualche mm a qualche cm, risultano minori delle dimensioni dei wafer e la distribuzione del fascio non è in generale omogenea; sistema di vuoto: garantisce rigorosamente le condizioni di vuoto richieste nelle varie fasi di impiantazione.

### 3.15.3) Impieghi tipici

E' usato, in particolare, per la produzione di circuiti integrati.

### 3.15.4) Mezzi di protezione dalle radiazioni

- a) Schermatura delle pareti dell'armadio "cabinet".
- b) Segnalazione delle condizioni di funzionamento del tubo (kV, mA).
- c) Segnalazione luminosa/acustica indicante emissione di raggi X.

### 3.15.5) Modalità d'uso

Gli impiantatori ionici sono dotati di blocchi di sicurezza e coperture fisse che impediscono l'accesso alle parti sotto tensione e a quelle in movimento.

Impiegano gas e liquidi velenosi e sono pertanto dotati di sistemi di sicurezza sull'aspirazione.

Gli impiantatori ionici impiegano alte tensioni per accelerare cariche elettriche in varie fasi; in queste fasi vengono generati raggi X; i componenti che generano queste radiazioni sono rivestiti di piombo al fine di ridurre i campi di radiazione esterni a livelli ampiamente accettabili.

### 3.15.6) Radioprotezione

3.15.6.a) Rischi per le persone: trascurabili.

La macchina in perfetta efficienza è esente per progetto da radiazione significativa al suo esterno; inoltre sicurezze elettriche impediscono il funzionamento del tubo radiogeno ad accesso aperto.

In condizioni di normale impiego non esistono le condizioni per definire zone classificate e lavoratori esposti ai fini radioprotezionistici.

3.15.6.b) Rischi per l'ambiente: nessuno.

3.15.6.c) Provvedimenti di radioprotezione

- Misura iniziale del campo di radiazione alle superfici esterne. La misura al netto del fondo ambientale dovrebbe essere nulla agli effetti pratici. Non è ammissibile la presenza di campi di radiazione significativi all'esterno del sistema,

- date le modalità d'uso della macchina.
- Nel caso si misuri, in un punto qualsiasi della superficie esterna, una intensità di dose tale da far computare, al netto del fondo ambientale, una dose annua superiore o anche soltanto prossima a 1 mSv e/o si riscontri una dose locale o un annerimento localizzato di una pellicola radiografica, occorre far revisionare ed eventualmente far adeguare il sistema di schermi della macchina.

- Verifica della efficienza delle sicurezze elettriche da ripetersi in occasione di danneggiamenti accidentali reali o presunti e di riparazioni.

3.15.6.d) Strumentazione consigliata: camera di ionizzazione, pellicole radiografiche.

3.15.6.e) Frequenza periodica delle valutazioni di radioprotezione: generalmente annuale.

3.15.7) NORME DI  
RADIOPROTEZIONE  
Vedi il paragrafo 3.1.1.7)

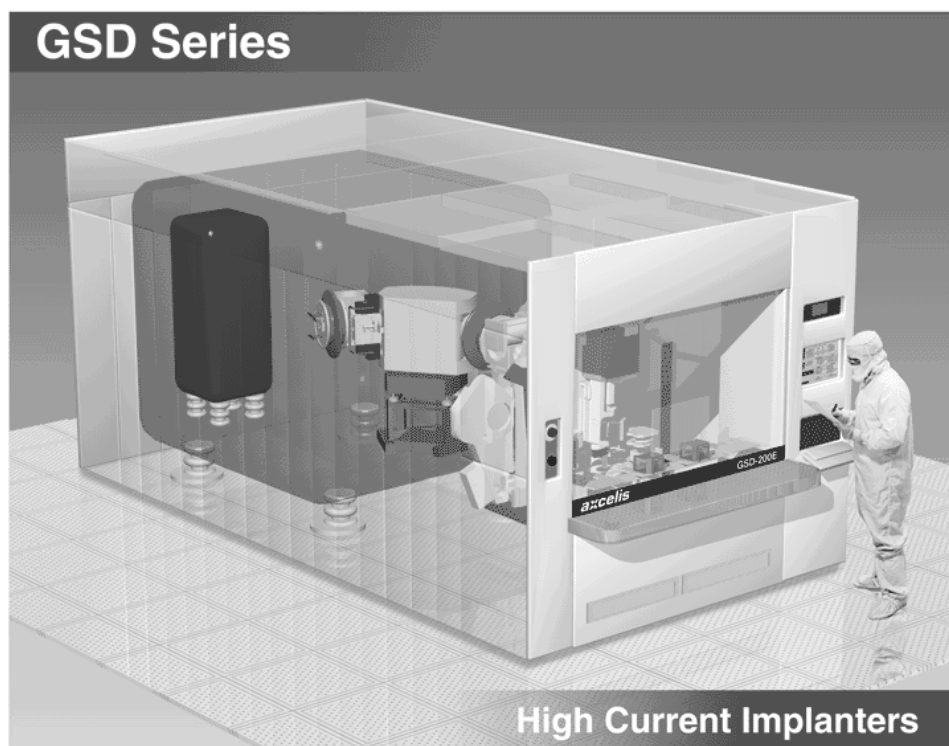


Fig. 3.15 - Schema funzionale di un impiantatore di ioni.

## **NORME DI RADIOPROTEZIONE INTEGRATIVE IN CASO DI INCENDIO**

Le presenti procedure devono considerarsi integrative di quelle vigenti per i casi d'incendio che non coinvolgono sorgenti radioattive, il fatto che una materia sia radioattiva non influisce sulle sue caratteristiche fisiche generali, nel senso che in caso di incendio le sostanze radioattive subiranno delle trasformazioni di tipo classico: fusione, ebollizione, evaporazione, sublimazione con la formazione di prodotti di combustione in forma di scorie, ceneri, polveri aerosol, vapori o gas.

I criteri generali da seguire in caso d'incendio sono i seguenti.

- La protezione dalle sostanze radioattive, tenuto conto delle circostanze nelle quali si sviluppa l'incendio e delle caratteristiche di tali sostanze, deve ritenersi fra gli interventi prioritari da svolgere.
- L'attacco al fuoco dovrà essere portato da più lontano possibile e dal minimo numero necessario di persone.
- Le persone impegnate nelle operazioni di spegnimento dovranno essere munite, secondo le necessità, di autorespiratori o di maschere antigas-antipolvere per evitare di inalare particelle dannose.
- L'utilizzo di acqua dovrà essere ridotto al minimo per evitare l'estensione delle contaminazioni. Dovrà essere utilizzata di preferenza acqua polverizzata, con getto tanto più forte quanto più grave sarà l'incendio. Quando possibile bisognerà utilizzare estintori portatili, preferendoli all'acqua. E' da evitare l'impiego di un getto diretto contro le apparecchiature contenenti le sorgenti radioattive.
- Dopo lo spegnimento sarà necessario ridurre al minimo la manipolazione dei materiali che potrebbero produrre bruciature, ferite o semplici graffiature onde evitare i rischi di contaminazione interna.
- I materiali di scarto prodotti durante l'incendio dovranno essere smaltiti dopo un controllo degli eventuali livelli di contaminazione presenti, svolto a cura dell'esperto qualificato che registrerà tutte le valutazioni.
- Il personale non dovrà eseguire lavori o rimanere in vicinanza del materiale radioattivo localizzato.
- In caso di incendio nei locali nei quali siano installati i rivelatori di fumo radioattivi, il personale dovrà limitarsi unicamente alle operazioni di spegnimento, avendo cura di informare il Responsabile dell'impianto che provvederà a darne segnalazione all'Esperto Qualificato.
- Le modalità di intervento per il recupero di eventuali rivelatori danneggiati verranno definite dall'Esperto Qualificato.
- Le sorgenti radioattive non utilizzate non costituiscono rifiuto urbano o speciale; pertanto l'eventuale alienazione di tali sorgenti dovrà essere affidata a Società specializzate ed autorizzate che dovranno rilasciare la documentazione relativa alla presa in carico ed al definitivo condizionamento e stoccaggio delle sorgenti.

## **PARTICOLARI RACCOMANDAZIONI DI RADIOPROTEZIONE AI DATORI DI LAVORO**

rilasciare la documentazione relativa alla presa in carico ed al definitivo condizionamento e stoccaggio delle sorgenti.

I datori di lavoro devono:

- disporre ed esigere che i lavoratori osservino le modalità di esecuzione del lavoro, le norme interne ed usino i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti;
- assicurarsi che i lavoratori autonomi o dipendenti da terzi incaricati di particolari compiti nell'ambito aziendale (es: manutenzione delle fonti radiogene, ecc.) siano edotti sui rischi specifici associati a tale attività e siano sottoposti a sorveglianza dosimetrica personale;
- assicurarsi che con le società esterne, che si avvalgono di lavoratori di categoria A e B o con i lavoratori autonomi, a cui vengono affidati lavori in appalto in completa autonomia, nel testo contrattuale sia chiaramente evidenziato che la Sorveglianza Fisica della Protezione deve essere garantita dall'organizzazione dell'Appaltatore mediante il proprio Esperto Qualificato;
- assicurarsi che al personale subordinato o ad esso equiparato, autonomo o dipendente da terzi, per cui non è prevista la classificazione come lavoratore esposto, prima dell'accesso alle Zone a rischio radiologico sia fornita l'informazione sui rischi specifici da radiazioni ionizzanti esistenti. Tale personale dovrà comunque essere dotato a scopo cautelativo di sistemi per la verifica della eventualmente dose assorbita. Inoltre su apposito registro è necessario annotare nome, cognome, Datore di Lavoro e tempo di permanenza dei suddetti lavoratori nella Zona.
- rendere edotti i lavoratori sui rischi specifici cui sono esposti e sulle modalità di esecuzione del lavoro.
- Le sorgenti radioattive non utilizzate, non costituiscono rifiuto urbano o speciale; pertanto l'eventuale alienazione di tali sorgenti dovrà essere affidata a Società specializzate ed autorizzate che dovranno