

Sistema di protezione radiologica

Adolfo Esposito
Radiation Protection Expert
adolfo.esposito@Inf.infn.it

Tutti gli esseri umani sono esposti alle radiazioni ionizzanti derivanti da sorgenti naturali ed artificiali.

Protoni

U-238

Na-22

Neutroni

Th-232

C-14

Elettroni

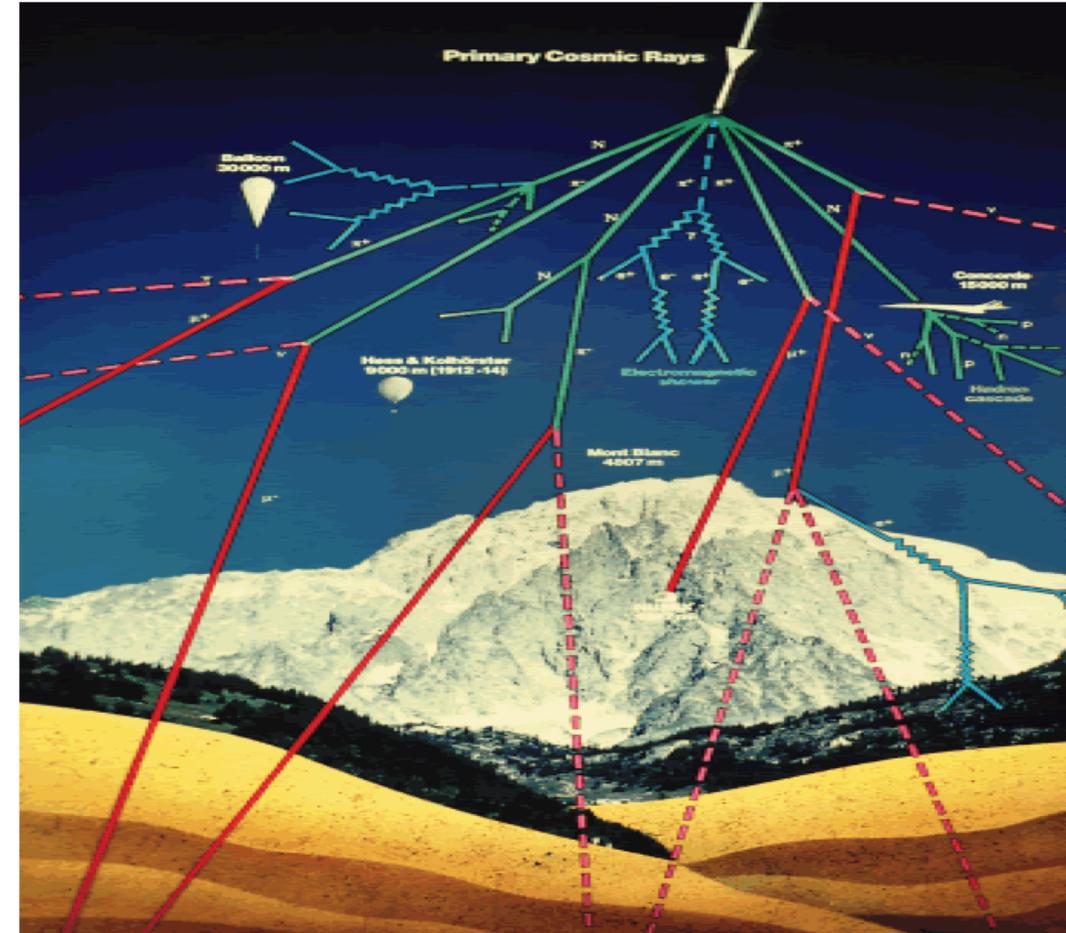
U-235

Be-7

Muoni

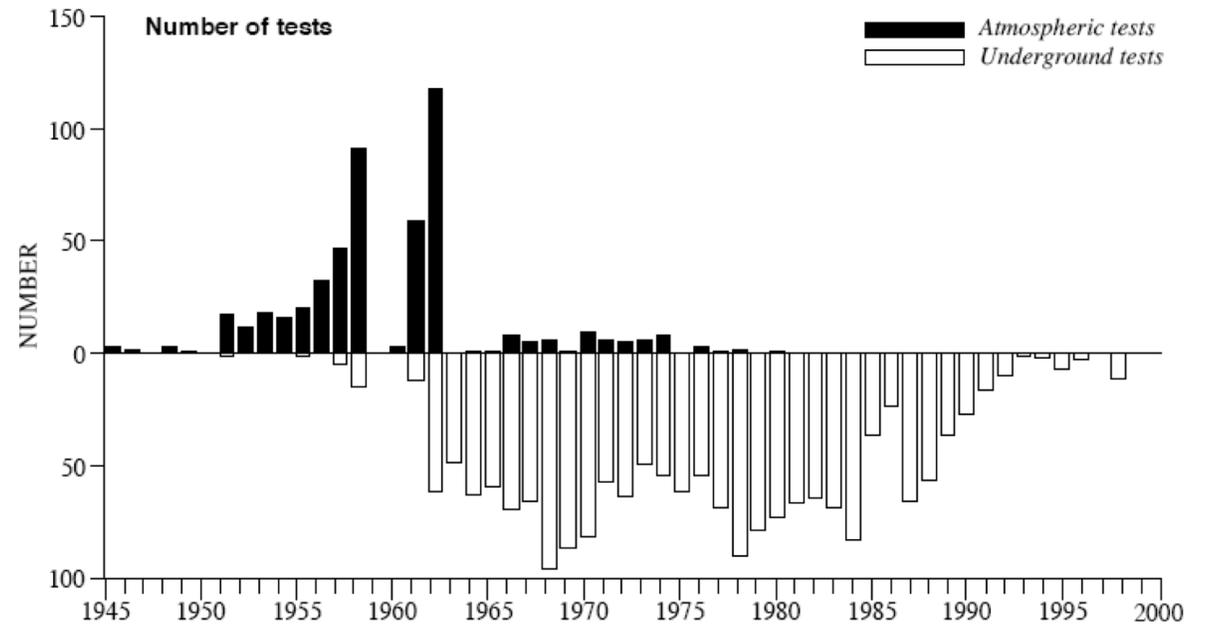
Rb-87

H-3

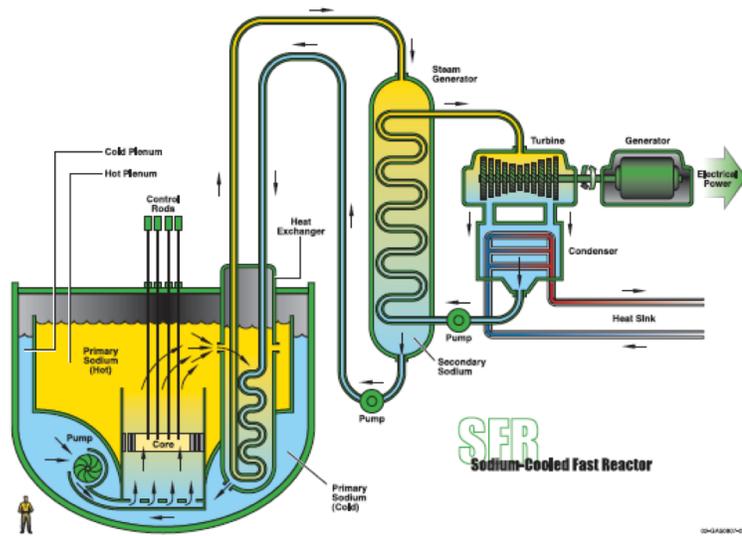


Sorgenti naturali

Sorgenti da fall-out



Sorgenti diagnostica e terapia



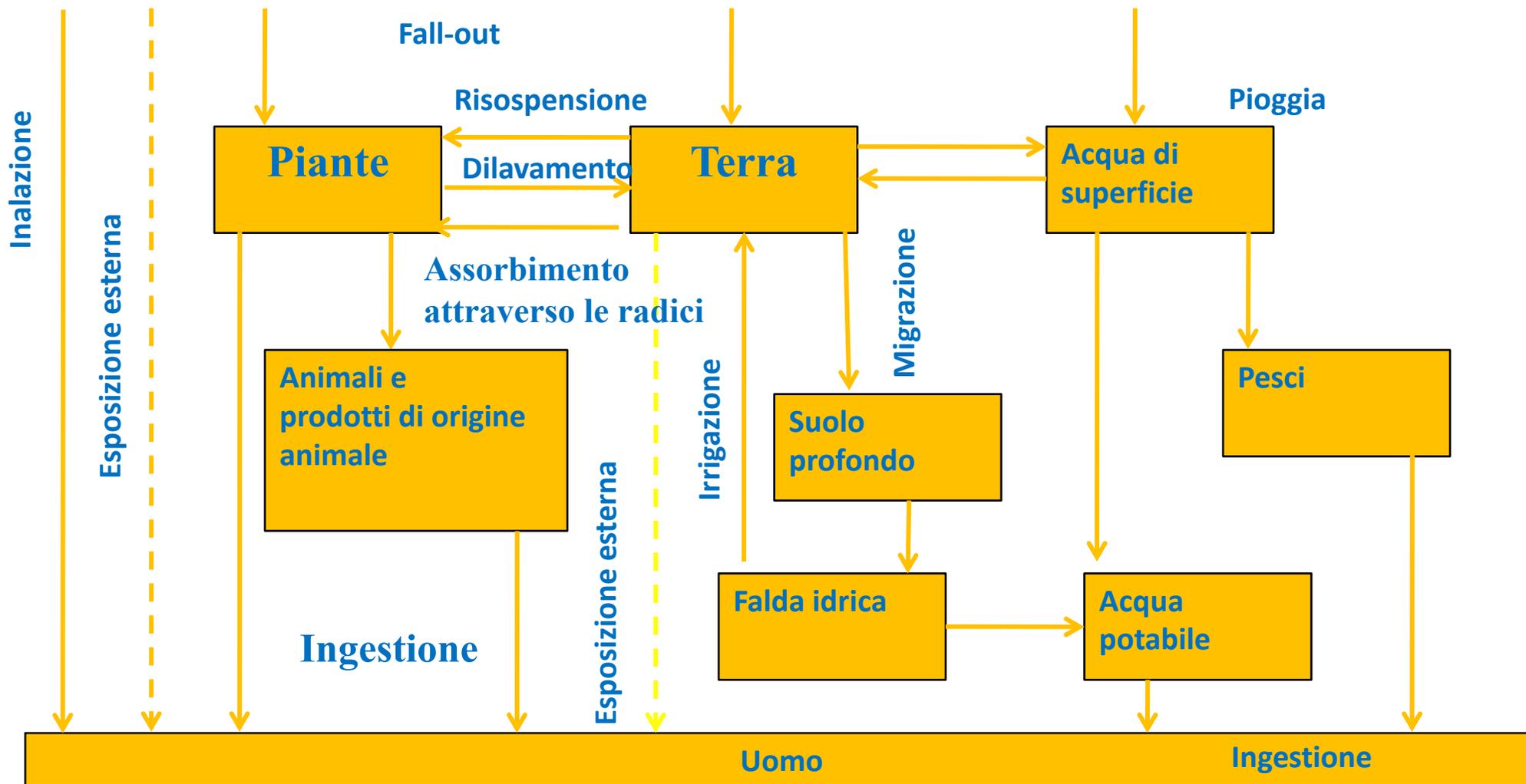
A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems



Sorgenti sui luoghi di lavoro

La sorgente di un rilascio e le condizioni nei pressi del sito dove il rilascio avviene determinano le vie di passaggio nell'ambiente della radioattività dal punto di scarico all'uomo.

Rilascio incontrollato di radionuclidi in atmosfera



Principali vie di ritorno all'uomo di radionuclidi rilasciati in atmosfera

Da un punto di vista generale radioprotezionistico e' conveniente pensare ai processi che causano queste esposizioni umane come ad una catena di eventi e situazioni .

Sorgente di radiazioni



Esposizione degli individui alla radiazione o a materiali radioattivi



Dosi agli individui

La protezione può essere raggiunta attraverso

provvedimenti alla sorgente

provvedimenti lungo il percorso di esposizione

provvedimenti sulla posizione e le caratteristiche degli esposti

Il termine 'sorgente' sta per indicare qualsiasi entità fisica o procedura che produce una dose da radiazione potenzialmente quantificabile ad una persona o ad un gruppo di persone

sorgente

materiale radioattivo

una macchina a raggi x

installazione

procedure

acceleratore particelle

ospedale

una centrale nucleare

medicina nucleare

radiazione ambientale

Diverse tipologie di situazioni di esposizione

Le situazioni di *esposizione pianificata* sono situazioni che comprendono l'introduzione e la gestione intenzionali di sorgenti. Le situazioni di esposizione pianificata possono dare origine sia a esposizioni che si prevede debbano verificarsi (esposizioni normali) sia a esposizioni che non si prevede debbano verificarsi (esposizioni potenziali)

Le situazioni di *esposizione di emergenza* sono situazioni che possono scaturire dal verificarsi di una situazione prevista, o da un atto doloso, o da qualsiasi altra situazione inattesa e richiedono un'azione urgente che eviti o riduca le conseguenze indesiderabili.

Le situazioni di *esposizione esistenti* sono situazioni di esposizione che già esistono quando deve essere presa una decisione sul controllo, comprese le situazioni di esposizione prolungata dopo le emergenze.

Categorie d'esposizione

esposizioni lavorative

esposizioni alle radiazioni a seguito di situazioni che possono ragionevolmente essere considerate di responsabilità della direzione dell'attività lavorativa

Il datore di lavoro ha la responsabilità principale della tutela dei lavoratori

Datore di lavoro
Esercente

esposizioni del pubblico

esposizioni della popolazione all'infuori delle esposizioni lavorative e delle esposizioni sanitarie dei pazienti

E' la risultante di un insieme di sorgenti di radiazione

La componente dell'esposizione del pubblico dovuta alle sorgenti naturali è di gran lunga la maggiore, ma questo non fornisce alcuna giustificazione per ridurre l'attenzione alle complessivamente inferiori, ma più facilmente controllabili, esposizioni alle sorgenti artificiali.

esposizioni mediche di pazienti

Le esposizioni alle radiazioni di pazienti si verificano nelle procedure diagnostiche, di intervento e terapeutiche.

L'esposizione è intenzionale e per il vantaggio diretto del paziente.

In radioterapia, gli effetti biologici delle alte dosi da radiazione, per esempio, l'uccisione delle cellule, sono utilizzati a favore del paziente per trattare il cancro e altre malattie

Individui esposti

Lavoratori

Un lavoratore è definito dalla Commissione come chiunque sia impiegato, a tempo pieno part-time, o temporaneamente, da un datore di lavoro e abbia diritti e funzioni riconosciuti relativamente alla protezione lavorativa dalle radiazioni.

Un lavoratore autonomo è considerato come avente le funzioni sia di datore di lavoro sia di lavoratore.

Pubblico

Ogni individuo che riceve un'esposizione che non è né lavorativa né medica

Pazienti

Ogni individuo che riceve un'esposizione connessa con una procedura diagnostica, di intervento, o terapeutica.

Giustificazione delle procedure sanitarie e sull'ottimizzazione della protezione e, per le procedure diagnostiche, sull'utilizzo di livelli di riferimento diagnostici

Lavoratori esposti

Un datore di lavoro e/o di un responsabile della sorgente ha l'obbligo di mantenere sotto controllo le sorgenti d'esposizione e tutelare i lavoratori che sono esposti per motivi lavorativi

Per ottenere questo e' necessario provvedere ad effettuare la classificazione delle zone di lavoro

Zona controllata

Una zona controllata è un'area definita, nella quale misure di protezione e mezzi di sicurezza specifici sono, o potrebbero essere, richiesti per il controllo delle esposizioni normali o per la prevenzione della diffusione di contaminazione durante le condizioni di lavoro normali, e per la prevenzione o la limitazione dell'entità delle esposizioni potenziali.

Zona sorvegliata

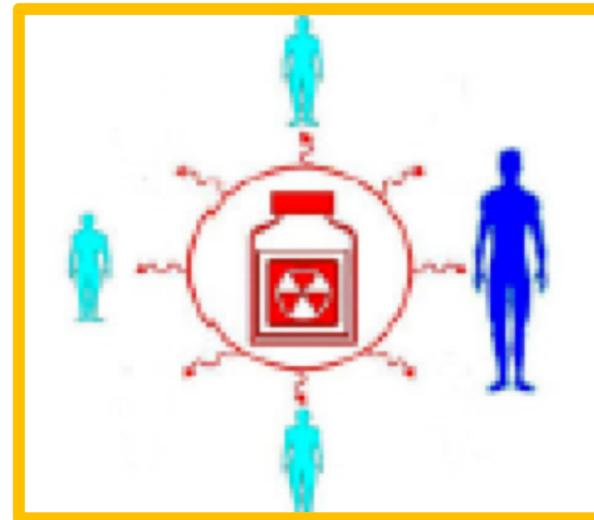
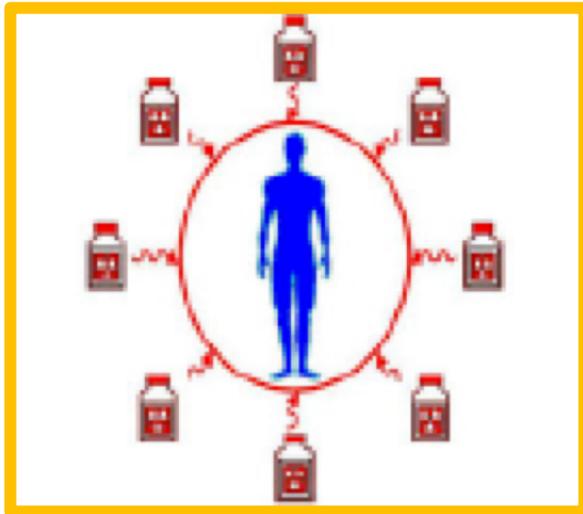
Una zona sorvegliata è quella nella quale le condizioni di lavoro sono tenute sotto controllo, ma procedure speciali non sono normalmente necessarie. Una zona controllata si trova spesso, ma non obbligatoriamente, all'interno di una zona sorvegliata.

approccio "correlato alla sorgente"

Limiti di Dose

Vincoli di dose e Livelli di Riferimento

Proteggere i singoli lavoratori dall'esposizione lavorativa e la Persona Rappresentativa dall'esposizione del pubblico



Da tutte le sorgenti regolamentate nelle situazioni di esposizione programmata

Da una sorgente in tutte le situazioni di esposizione

Limiti di dose contrapposti a vincoli di dose e livelli di riferimento per la protezione di lavoratori e di membri del pubblico.

le situazioni di esposizione programmata, la restrizione correlata alla sorgente in merito alla dose a cui gli individui possono essere esposti è il vincolo di dose (dose constraint)

Per le esposizioni potenziali, il concetto corrispondente è il vincolo di rischio (risk constraint)

Per le situazioni di emergenza e di esposizione esistente, la restrizione correlata alla sorgente è il livello di riferimento (reference level)

Due principi sono relativi alla sorgente e si applicano in tutte le situazioni di esposizione

Il principio di ottimizzazione della protezione

Il principio di giustificazione

Qualsiasi decisione che cambi la situazione di esposizione alle radiazioni dovrebbe produrre più beneficio che danno. Questo significa che, introducendo una nuova sorgente di radiazione, riducendo l'esposizione esistente, o riducendo il rischio di esposizione potenziale, si dovrebbe ottenere un beneficio individuale o sociale sufficiente a controbilanciare il detrimento causato.

La probabilità di incorrere in esposizioni, il numero di persone esposte e l'entità delle loro dosi individuali dovrebbero essere tenute tanto basse quanto ragionevolmente ottenibile, in considerazione dei fattori economici e sociali.

Esposizioni ingiustificate

Aggiunta intenzionale di sostanze radioattive in prodotti come alimenti, bevande, cosmetici, giocattoli e gioielleria o ornamenti personali.

Esami radiologici per motivi lavorativi, per assicurazione contro malattie o per scopi legali effettuati senza riferimento a indicazioni cliniche

Parafulmini con sorgenti radioattive

Un principio è riferito all'individuo e si applica alle situazioni di esposizione programmata

Il principio di applicazione dei limiti di dose

La dose totale ad ogni individuo da sorgenti regolamentate in situazioni di esposizione programmata, all'infuori dell'esposizione medica di pazienti, non dovrebbe superare gli appropriati limiti raccomandati.

Ottimizzazione

Vincoli di dose

Un vincolo di dose è una restrizione, considerata in prospettiva e correlata alla sorgente, sulla dose individuale dovuta alla sorgente stessa in situazioni di esposizione programmata (ad eccezione che nell'esposizione medica di pazienti), che serve nell'ottimizzazione della protezione come estremo superiore per la dose prevista da quella sorgente. È un livello di dose, per una data sorgente di esposizione, sopra il quale è improbabile che la protezione sia ottimizzata e per il quale, dunque, deve quasi sempre essere intrapresa un'azione.

I vincoli di dose per le situazioni programmate rappresentano un livello di protezione di base e sono sempre inferiori ai pertinenti limiti di dose

Livelli di riferimento

In situazioni di emergenza o di esposizione esistente controllabile, i livelli di riferimento rappresentano il livello di dose o rischio, al di sopra del quale si ritiene inappropriato pensare di consentire il verificarsi delle esposizioni e per il quale dunque dovrebbero essere programmate ed ottimizzate le azioni protettive. Il valore scelto per un livello di riferimento dipenderà dalle circostanze di fatto incontrate per la situazione di esposizione oggetto di considerazione.

Quadro di riferimento per vincoli di dose e livelli di riferimento

Tabella 5. Quadro di riferimento per vincoli di dose e livelli di riferimento correlati alla sorgente con esempi di vincoli per i lavoratori e per il pubblico da sorgenti predominanti singole per tutte le situazioni di esposizione che possono essere controllate.

Intervalli di vincoli e livelli di riferimento ^a (mSv)	Caratteristiche della situazione di esposizione	Requisiti di radioprotezione	Esempi
Maggiore di 20 e fino a 100^{b,c}	Individui esposti a sorgenti che non sono controllabili, o dove azioni per ridurre le dosi sarebbero sproporzionatamente distruttive. Le esposizioni sono di solito controllate agendo sulle vie di esposizione.	Dovrebbero essere fatte considerazioni per la riduzione delle dosi. Dovrebbero essere fatti sforzi crescenti per ridurre le dosi quando queste si avvicinano a 100 mSv. Gli individui dovrebbero ricevere informazioni sul rischio da radiazioni e sulle azioni per ridurre le dosi. Dovrebbe essere effettuata la valutazione delle dosi individuali.	Il livello di riferimento stabilito per la più elevata dose residua prevista in seguito ad un'emergenza radiologica.
Maggiore di 1 e fino a 20	Gli individui di solito riceveranno benefici dalla situazione che comporta esposizione ma non necessariamente dall'esposizione stessa. Le esposizioni possono essere controllate alla sorgente o, in alternativa, tramite azioni sulle vie di esposizione.	Per quanto possibile, informazioni generali dovrebbero essere messe a disposizione per consentire agli individui di ridurre le loro dosi. Per le situazioni programmate dovrebbero avere luogo la valutazione individuale di esposizione e la formazione.	Vincoli fissati per esposizioni professionali in situazioni programmate. Vincoli fissati per le persone che assistono e confortano pazienti trattati con radiofarmaci. Livello di riferimento per la più elevata dose residua programmata da radon in abitazioni.
1 o inferiore	Gli individui sono esposti ad una sorgente che dà loro poco o nessun beneficio individuale ma che fornisce un beneficio alla società in generale. Le esposizioni sono di solito controllate mediante provvedimenti presi direttamente sulla sorgente per la quale le esigenze di protezione radiologica possono essere programmate in anticipo	Dovrebbero essere rese disponibili informazioni generali sul livello di esposizione. Dovrebbero essere effettuati controlli periodici sulle vie di esposizione così come sui livelli di esposizione.	Vincoli fissati per l'esposizione del pubblico in situazioni programmate

^a Dose acuta o annuale.

^b In situazioni eccezionali, lavoratori volontari informati sui rischi possono ricevere dosi al di sopra di questo intervallo per salvare vite umane, prevenire gravi effetti sanitari radio-indotti o prevenire lo sviluppo di situazioni catastrofiche.

^c Le situazioni in cui la soglia di dose per effetti deterministici in organi o tessuti pertinenti potrebbe essere superata dovrebbero sempre richiedere un'azione.

I limiti di dose si applicano soltanto alle situazioni di esposizione programmata

**Nota bene per il cristallino
per esposizione lavorativa ora
20 mSv**

Tipo di limite	Esposizione lavorativa	Esposizione del pubblico
Dose efficace	20 mSv all'anno, come media su periodi definiti di 5 anni ^e	1 mSv in un anno ^f
Dose equivalente annuale		
Cristallino ^b	150 mSv	15 mSv
Pelle ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Mani e piedi	500 mSv	--

^a I limiti di dose efficace sono relativi alla somma delle dosi efficaci da esposizione esterna nel periodo di tempo precisato e della dose efficace impegnata conseguente all'incorporazione di radionuclidi nello stesso periodo. Per gli adulti la dose efficace impegnata è calcolata per un periodo di 50 anni dopo l'incorporazione, mentre per i bambini è calcolata per il periodo fino all'età di 70 anni.

^b Questo limite è attualmente in via di revisione da parte di un gruppo di lavoro dell'ICRP.

^c La limitazione sulla dose efficace assicura una protezione sufficiente per la pelle contro gli effetti stocastici.

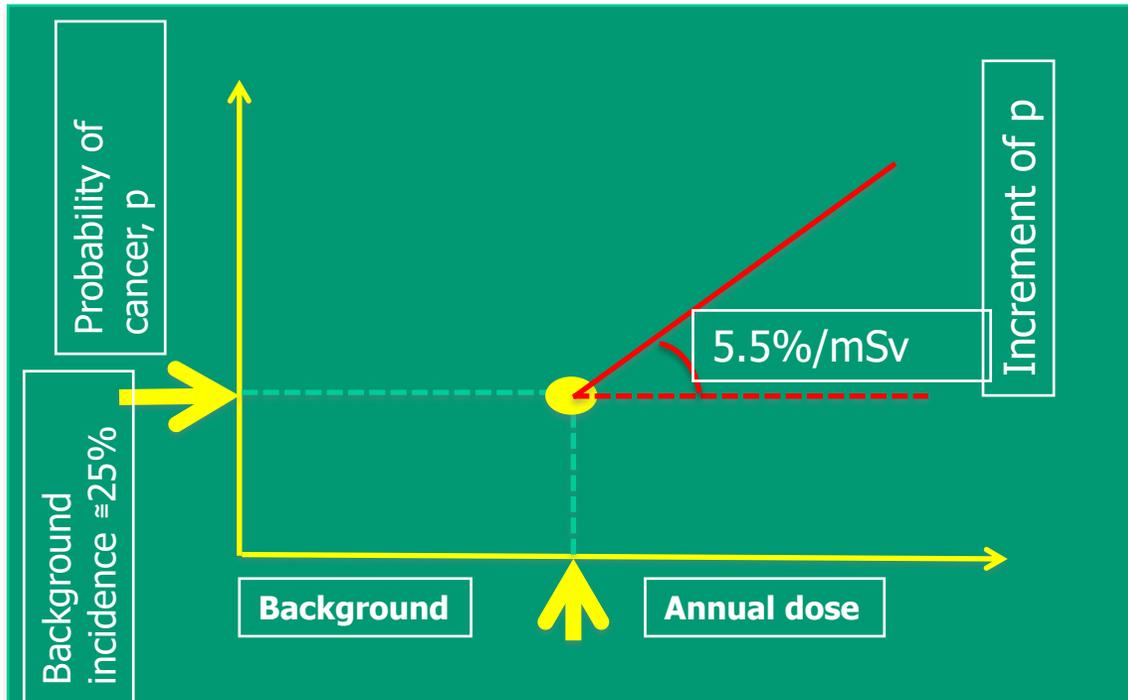
^d Mediata su 1 cm² di pelle indipendentemente dall'area esposta.

^e Con l'ulteriore indicazione che la dose efficace non dovrebbe superare 50 mSv in ogni singolo anno. Restrizioni supplementari si applicano all'esposizione lavorativa di donne incinte.

^f In circostanze speciali, un valore più elevato di dose efficace in un singolo anno potrebbe essere permesso, sempre che la media in 5 anni non superi 1 mSv all'anno.

Coefficienti di rischio nominale corretti per il detrimento (10^{-2} Sv^{-1}) per effetti stocastici a seguito di esposizione a radiazione a basso rateo di dose

Popolazione esposta	Cancro		Effetti ereditari		Totale	
	Stima attuale ⁽¹⁾	Pub. 60	Stima attuale ⁽¹⁾	Pub. 60	Stima attuale ⁽¹⁾	Pub. 60
Intera popolazione	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
Adulti	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6



Limiti di base	Considerazioni sociali
	Considerazioni sanitarie
	Inaccettabili
	Limite raccomandato
Esposizioni	Tollerabili
	Accettabili

Evoluzione limiti nel tempo

DATA	RACCOMANDATO DA	REFERENCE	EQUIVALENTE DI DOSE GIORNALIERO APPROSSIMATIVO mSv
1902	Rollins	(Rollins 1902)	100
1925	Mutscheller	(Mutscheller 1928)	2
1925	Sievert	(Sievert 1925)	2
1926	Dutch Board of Health	(Kaye 1927)	0.4
1928	Barclay and Cox	(Barclay and Cox 1928)	1.75
1928	Kaye	(Kaye 1928)	1.5
1931	Advisory Committee on X-ray and Radium Protection of the U.S.	(NBS 1931)	2
1931	Wintz and Rump	(Wintz and Rump 1931)	2.5
1932	Failla	(Failla 1932)	0.3
1934	Internation Committee on X-ray and Radium Protection	(ICRP 1934)	2
1935	Cilley et al.	(Cilley et al. 1934)	2.5
1936	Advisory Committee on X-Ray and Radium	(NBS 1936)	1

Periodo	Equivalente di dose annuale (mSv)
1931-1936	500
1936-1948	300
1948-1958	150
1958-1990	50

Limiti annuali raccomandati per il corpo intero
per lavoratori professionalmente esposti

Limiti di dose attuali

Campo di applicazione	Lavoratori esposti	Persone del pubblico
Dose efficace	20 mSv/anno¹	1 mSv/anno¹
Dose equivalente		
al cristallino	150 mSv/anno²	15 mSv/anno²
alla pelle	500 mSv/anno²	50 mSv/anno²
alle estremità	500 mSv/anno²	50 mSv/anno²

¹ Limite di dose per effetti stocastici.

² Limite di dose per effetti deterministici

Categorie di esposizione (Pubblicazione)	Raccomandazioni del 1990 e pubblicazioni successive	Raccomandazioni attuali 103
<i>Situazioni di esposizione programmata</i>		
Limiti di dose individuali ^a		
Esposizioni lavorative (60, 68, 75), incluse le operazioni di recupero (96)	20 mSv/anno di media per un predefinito periodo di 5 anni ^c	20 mSv/anno di media per un predefinito periodo di 5 anni ^c
- Cristallino	150 mSv/anno ^b	150 mSv/anno ^b
- Pelle	500 mSv/anno ^b	500 mSv/anno ^b
- Mani e piedi	500 mSv/anno ^b	500 mSv/anno ^b
- Donne incinte, resto della gravidanza	2 mSv alla superficie dell'addome o 1 mSv da incorporazione di radionuclidi	1 mSv all'embrione / feto
Esposizioni della popolazione (60)	1 mSv/anno	1 mSv/anno
- Cristallino	15 mSv/anno ^b	15 mSv/anno ^b
- Pelle	50 mSv/anno ^b	50 mSv/anno ^b
Vincoli di dose ^a		
Esposizioni lavorative (60)	≤ 20 mSv/anno	≤ 20 mSv/anno
Esposizioni della popolazione (77, 81, 82)	-	da scegliere al di sotto di 1 mSv/anno, a seconda della situazione
- generale	-	da scegliere al di sotto di 1 mSv/anno, a seconda della situazione
- smaltimento rifiuti radioattivi	≤ 0,3 mSv/anno	≤ 0,3 mSv/anno
- smaltimento rifiuti a lungo tempo di dimezzamento	≤ 0,3 mSv/anno	≤ 0,3 mSv/anno
- esposizione prolungata	< ~1 & < ~0,3 mSv/anno ^f	≤ 1 & < 0,3 mSv/anno ^f
- esposizione a lungo termine da radionuclidi a lungo tempo di dimezzamento	≤ 0,1 mSv/anno ^h	≤ 0,1 mSv/anno ^h
Esposizioni mediche (62, 94, 98)		
- volontari esposti nei programmi di ricerca biomedica, in funzione del beneficio per la società:		
- basso	< 0,1 mSv	< 0,1 mSv
- modesto	0,1 - 1 mSv	0,1 - 1 mSv
- moderato	1 - 10 mSv	1 - 10 mSv
- sostanziale	> 10 mSv	> 10 mSv
- persone che confortano e assistono	5 mSv per trattamento	5 mSv per trattamento

Categorie di esposizione (Pubblicazione)	Raccomandazioni del 1990 e pubblicazioni successive	Raccomandazioni attuali 103
<i>Situazioni di esposizione di emergenza</i>		
Livelli di intervento ^{a, d, g}		Livelli di riferimento ^{a, g}
Esposizione lavorativa (60, 96)		
- addetti al salvataggio (volontari informati)	nessun limite di dose ⁱ	nessun limite di dose se il beneficio per le altre persone sopravanza il rischio per gli addetti all'emergenza ^k
- altre operazioni di salvataggio urgenti	~500 mSv; ~5 Sv (pelle) ⁱ	1000 o 500 mSv ^k
- altre operazioni di salvataggio	...	≤ 100 mSv ^k
Esposizioni della popolazione (63, 96)		
- alimenti	10 mSv/anno ¹	
- distribuzione di iodio stabile	50 - 500 mSv (tiroide) ^{h, 1}	
- riparo al chiuso	5 - 50 mSv in 2 giorni ¹	
- evacuazione temporanea	50 - 500 mSv in una settimana ¹	
- trasferimento permanente	100 mSv nel primo anno o 1000 mSv ¹	
- tutte le misure combinate in una strategia di protezione complessiva	...	Nella pianificazione, tipicamente 20 e 100 mSv/anno, a seconda della situazione ^e
<i>Situazioni di esposizione di esistenti</i>		
Livelli di azione ^a		Livelli di riferimento ^{a, m}
Radon (65)		
- nelle abitazioni	3-10 mSv/anno (200-600 Bq/m ³)	< 10 mSv/anno (< 600 Bq/m ³)
- nei luoghi di lavoro	3-10 mSv/year (500-1500 Bq/m ³)	< 10 mSv/year (< 1500 Bq/m ³)
	Livelli di riferimento generici ^e	Livelli di riferimento ^{a, m}
NORM, fondo naturale di radiazioni, residui radioattivi nello habitat umano (82)		
Interventi:		
- con bassa probabilità di giustificazione	< ~10 mSv/anno	fra 1 e 20 mSv/anno, a seconda della situazione (vedi 5.9.2)
- che possono essere giustificati	> ~10 mSv/anno	
- con alta probabilità di giustificazione	attorno a 100 mSv/anno	

