

Fukushima: Impatto radiologico e ambientale

Le Unità di misura e i valori di dose da fonte naturale.

La dose è una grandezza fisica correlata con l'energia che la radiazione rilascia nella massa del mezzo attraversato: si parla, in questo caso, di "**dose assorbita**" e la sua unità di misura è il gray, che è pari ad un joule per chilogrammo.

Gli effetti delle radiazioni, ad esempio sull'organismo o su un determinato organo, dipendono però non solo dalla energia ceduta alla materia, ma anche da altri elementi specifici delle radiazioni, quali: il tipo di radiazione (alfa, beta, gamma, neutroni,...) che l'energia che trasportano. Se si tiene conto anche di questi elementi, la grandezza "dose assorbita" si trasforma in "**dose equivalente**" ("dose assorbita" moltiplicata per un fattore di ponderazione) la cui unità di misura è il sievert . Questa unità è però molto grande e quindi normalmente viene usata un suo sottomultiplo: il millisievert (mSv), pari ad un millesimo di sievert. Per le radiazioni X, gamma e radiazioni beta la misura in gray è equivalente alla misura in sievert.

Poiché bassi livelli di dose possono indurre, in ipotesi, sugli esseri umani solo effetti probabilistici e non immediati, per ogni organo o tessuto dell'organismo vengono indicati dei fattori di ponderazione specifici per questo tipo di effetti, fattori che modificano la grandezza: "dose equivalente", dando luogo ad una terza grandezza di dose: la "**dose efficace**", la cui unità di misura è ancora il sievert e il suo sottomultiplo il millisievert, indicata con mSv.

Quindi in termini correnti la dose viene calcolata tenendo conto dell'energia assorbita dall'organismo, del tipo e dell'energia della radiazione e dell'organo bersaglio della radiazione.

La "International Commission on Radiological Protection" (ICRP), organismo scientifico, sovranazionale ed apolitico (dalle cui pubblicazioni derivano le normative in tema di radioprotezione e quindi anche le Direttive europee e la normativa nazionale) ha fissato in 1 millisievert all'anno (1 mSv/a) la dose massima che un individuo della popolazione può ricevere da sorgenti artificiali create dall'uomo per attività industriali.

Ciò non toglie che un singolo organo possa essere interessato anche da dosi maggiori per diagnostica o terapia medica: per esempio per una radiografia della colonna, o una TAC, o per una scintigrafia si può ricevere una dose efficace tra 8 ed oltre 20 mSv (millisievert) senza che si verifichino particolari effetti negativi. Va in più tenuto conto che in questi casi si tratta di dose "acuta", cioè somministrata in un tempo breve, mentre normalmente le dosi dovute alle attività industriali sono "croniche" cioè diluite nel tempo. Ciò, secondo la Commissione ora citata, comporta all'incirca il dimezzamento degli effetti negativi.

In merito agli effetti va tenuto presente che le radiazioni sono sempre presenti nella vita quotidiana di ogni uomo fin dai primordi della sua presenza sulla scena terrestre: si parla di "esposizione naturale" alle radiazioni. Le sorgenti "naturali" di radiazione che interessano l'organismo di tutti i viventi sono di triplice origine:

- 1) "raggi cosmici" provenienti dal sole e dalle galassie, che colpiscono la terra dallo spazio,
- 2) radiazioni dei "radionuclidi primordiali" e dei loro figli di decadimento presenti nelle rocce e nel terreno,

3) radiazioni dei “radionuclidi cosmogenici” cioè di nuclei radioattivi generati dalla attivazione indotta dai neutroni secondari della radiazione cosmica.

Tra queste sorgenti naturali, particolare rilevanza ha il gas nobile: radon, figlio di decadimento dei radionuclidi primordiali presente nell’ambiente e nelle case. Una certa importanza, per il loro particolare metabolismo che li coinvolge nella costituzione del DNA, sono il trizio ed il carbonio 14, prodotti dai neutroni secondari. Le dosi che un individuo può ricevere da tutte queste sorgenti naturali variano enormemente da luogo a luogo della terra, raggiungendo in alcune regioni valori di dose efficace notevolmente elevate fino a circa 250 mSv/a. Le dosi sono più elevate in terreni vulcanici (p.e. Campania, Alto Lazio), od ad alta quota (p.e. Città del Messico) o in località sedi di cure termali (Ramsar Iran, Misasa Giappone) o in distretti ricchi di materiali radioattivi (Guarapari Brasile: sulla spiaggia di questa città si arriverebbe a circa 720 mSv/a).

In Italia la dose efficace media da fonte naturale è di 3,3 mSv/a (fonte ISPRA) con ampie oscillazioni, mentre il valore medio a livello planetario è di 2,4 mSv/a.

Vi sono poi processi industriali che tendono a concentrare la radioattività naturale, quale per esempio l’industria dei fertilizzanti o la produzione di energia termoelettrica che concentra nelle ceneri le tracce di radioattività naturale presenti nel carbone.

L’altra grandezza che viene impiegata, quando si parla di radiazioni, è l’attività, che serve a misurare il fenomeno della radioattività. Il Becquerel è l’unità di misura dell’attività che ha come simbolo: Bq e che corrisponde ad un decadimento radioattivo al secondo.

Gli effetti delle radiazioni

L’esposizione a radiazioni ionizzanti può comportare degli effetti negativi sulla salute, soprattutto in relazione alla entità della dose ricevuta. I classici paragrafi del capitolo della radiopatologia si distinguono in: effetti deterministici ed effetti stocastici (probabilistici). I primi, detti anche “effetti tissutali”, comprendono effetti che sono caratterizzati dai seguenti elementi:

- si manifestano al di sopra di una soglia di dose, soglia che varia da effetto ad effetto; ad esempio la dose per la comparsa di un semplice arrossamento della cute (eritema) è dell’ordine dei 3 Gy di raggi X;
- si manifestano dopo un periodo di latenza breve, che può essere anche della frazione di ore se la dose è stata particolarmente elevata; fa eccezione a questa regola la cataratta che si manifesta dopo una latenza di circa 2 anni;
- si manifestano con una gravità crescente al crescere dell’entità della dose; così mentre una dose di 3 Gy produce arrossamento della pelle, una dose di 12 Gy produce ulcerazione della cute e una, di circa 30 Gy, produce la necrosi del tessuto irradiato.

Effetti immediati sono rilevabili solo a partire da 1 Sv al corpo intero con alterazioni temporanee e reversibili del sistema emopoietico, soprattutto a carico dei linfociti. A 4,5 Sv si ha la morte nel 50% dei soggetti esposti a meno che non vengano messi in atto interventi terapeutici.

Gli effetti stocastici sono invece effetti che si manifestano a caso nella popolazione esposta e che per ipotesi si suppone possano manifestarsi anche a dosi basse. Sostanzialmente si tratta di induzione di tumori nei

soggetti esposti o di danni genetici nei figli degli esposti. Nella realtà questi ultimi effetti ereditari non sono mai stati osservati nella specie umana, ma si estrapolano alla specie umana sulla base di quanto viene evidenziato da esperimenti di radiobiologia animale. La valutazione degli effetti oncogeni delle radiazioni viene evidenziata attraverso studi epidemiologici e sono caratterizzati dai seguenti elementi:

- hanno un lungo periodo di latenza (almeno 2 anni per la leucemia e una decina di anni per i tumori solidi);
- la loro comparsa è soggetta alle leggi del caso, per cui la probabilità della loro comparsa, e non la loro gravità, è correlata con la entità della dose;
- la correlazione tra probabilità di comparsa ed entità della dose è di tipo lineare;
- si suppone, come prima enunciazione del principio di precauzione, che non vi sia una soglia, ma che dosi anche prossime allo zero possano indurre tumori con una correlazione lineare. Nella realtà al di sotto di 100-200 mSv non vi sono certezze epidemiologiche, talché tale valore di dose costituisce una specie di soglia epidemiologica per gli effetti stocastici.

Va sottolineato a proposito di questo ultimo punto che l'organismo sopranazionale più sopra citato (ICRP) avverte esplicitamente che l' "ipotesi lineare senza soglia" è uno strumento per l'attuazione dei principi di radioprotezione succintamente indicati come: principio di giustificazione e principio di ottimizzazione e che è errato servirsi di tale ipotesi per il calcolo dei morti a seguito di basse dosi ricevute da una popolazione.

Vi sarebbe poi un terzo tipo di effetti, dei quali la letteratura corrente fa solo degli accenni, rappresentato dalle conseguenze sul comportamento del singolo e della collettività. Questi si manifestano con caratteristiche peculiari quali:

- comparsa anche "sine materia" , nel senso che anche a dose nulla insorge paura e panico per tema di essere stati esposti;
- entità della gravità dipendente dalle attitudini psicologiche e dalle convinzioni personali;
- insorgenza immediata dopo supposta o reale esposizione.

Questo ultimo tipo di effetti è quello che ha prodotto i maggiori problemi ad esempio tra le popolazioni coinvolte nell'incidente di Chernobyl.

Le dosi alla popolazione

Oltre alle dosi da fonte naturale la popolazione è soggetta alle dosi dovute ai vari impieghi delle radiazioni ionizzanti in vari settori di attività: dall'impiego medico agli impieghi industriali ed energetici. L'UNSCEAR, organismo scientifico delle Nazioni Unite che periodicamente produce documenti informativi per i membri dello stesso Organismo in tema di "Radiazioni atomiche", indica i seguenti valori di dose efficace media annuale per la popolazione mondiale:

Esami medici	0,4 mSv
Test nucleari	0,005 mSv

Chernobyl	0,002 mSv
Produzione energia elettrica	0,0002 mSv

Merita precisare che la popolazione italiana a seguito dell'incidente di Chernobyl ha ricevuto mediamente una dose efficace nel periodo 1986-2005 di circa 0,5 mSv (le ultime valutazioni dell'UNSCEAR indicano il valore di 0,33 mSv). La valutazione della dose alla popolazione, soprattutto per gli impieghi energetici, viene fatta sulla base di una analisi ambientale che prende in esame le varie vie attraverso le quali l'individuo può essere esposto a radiazioni. Si considera pertanto l'esposizione diretta dall'impianto, quella dalla radioattività dispersa in aria e quella depositata al suolo, inoltre l'esposizione dovuta all'inalazione di aria contaminata ed infine l'esposizione dovuta alla ingestione di bevande e di alimenti contaminati sulla base di una dieta "conservativa", cioè molto spesso approssimata per eccesso. Considerando tutte queste vie di esposizione si prende a riferimento un "gruppo critico" o meglio oggi "l'individuo rappresentativo", quello cioè che riceverebbe la dose più alta. Sui valori dosimetrici riferiti a questo individuo si stabilisce la "formula di scarico" cioè la quantità di radioattività che può essere immessa nell'ambiente. Il valore dosimetrico di riferimento per la definizione della formula, in condizioni di normale esercizio di un impianto, è di 0,01 mSv/a.

In condizioni incidentali la valutazione della dose è più complessa, anche se basata sugli stessi parametri ambientali sopra indicati. Vengono in questo caso fissati dei "livelli dosimetrici di riferimento" **in funzione dell'adozione di particolari interventi di protezione per la popolazione.** A titolo informativo la tabella seguente riporta i livelli dosimetrici di riferimento, indicati da vari organismi sopranazionali, espressi in millisievert di dose equivalente, se riferite a singoli organi, o di dose efficace se riferite al corpo intero per l'attuazione di alcune contromisure protettive. Il criterio di adozione delle contromisure richiede la non attuazione di esse se la dose è al di sotto del valore inferiore, mentre l'adozione della contromisura risulta giustificata se la dose assume valori più alti del limite di riferimento superiore.

Contromisura	Corpo intero	Singolo organo	Pelle	ORGANISMO
Ricovero al chiuso	5 – 50	50-500	-	ICRP
	5 – 50	50-500	-	IAEA
	5 – 50	50-500	-	WHO
	5 – 25	50-500	50 - 250	UE
iodioprophilassi	-	50-500	-	ICRP
	-	50-500	-	IAEA
	-	50-500	-	WHO
	-	50-250	-	UE
evacuazione	50-500	50-5000	-	ICRP
	50-500	50-5000	-	IAEA
	50-500	50-5000	-	WHO
	100-500	300 -1500	1000 - 3000	UE

La normativa italiana (D.Lgs. 230/95), in modo più semplice, indica i seguenti valori cui far riferimento per l'attuazione delle misure protettive:

Azione protettiva	Livelli di intervento (mSv)
Riparo al chiuso	da alcune unità ad alcune decine (dose efficace)
Somministrazione di Iodio stabile	da alcune decine ad alcune centinaia (dose equivalente)
Evacuazione	da alcune decine ad alcune centinaia (dose efficace)

Mentre per quanto riguarda i valori soglia di "dose assorbita" nel corso di un intervallo di tempo inferiore a due giorni, la normativa italiana, in accordo con i criteri internazionali, indica, per l'attuazione delle contromisure, i seguenti valori:

Organo o tessuto	Dose proiettata (Gy)
Corpo intero (midollo osseo)	1
Polmoni	6
Pelle	3
Tiroide	5
Cristallino	2
Gonadi	3
Feto	0,1

Questi ultimi valori rappresentano anche i valori soglia per la comparsa di effetti di tipo deterministico.

Le dosi ai lavoratori

La legislazione italiana (D.Lgs.230/95) stabilisce che per i lavoratori esposti di categoria A il limite annuale in condizione di normale lavoro in ogni attività comportante esposizione a radiazioni ionizzanti è di 20 mSv.

In condizioni di emergenza e per interventi assolutamente necessari affidati a personale delle squadre speciali di emergenza vengono indicati dalla normativa italiana i seguenti livelli operativi:

100 mSv di dose efficace

300 mSv di dose equivalente al cristallino

1 Sv alle estremità (mani, avambracci, piedi e caviglie)

1 Sv di dose equivalente alla pelle.

Tali limiti, in via eccezionale e allo scopo di salvare vite umane, possono anche esser superati, previa informazione ed accettazione da parte di volontari selezionati.

La situazione in Giappone (29/03/2011)

La situazione radiologica negli impianti di Fukushima Daiichi presenta una situazione confusa con livelli di contaminazione elevati in particolare nel condensatore della turbina del reattore 2 in analogia a quanto già verificato per i reattori 1 e 3. La TEPCO nel pozzo dell'edificio turbina ha rilevato livelli di esposizione di 1 Sv/h, fatto che indica una perdita attraverso la turbina di acqua contaminata proveniente dal nucleo del reattore. La contaminazione dell'acqua rilevata è stata di circa 4×10^6 Bq/cm³ dovuta alla presenza di svariati prodotti di fissione: cobalto, cesio, iodio, ecc. Valori analoghi sono stati misurati anche in corrispondenza di un cunicolo per il passaggio della caverteria dell'impianto n. 2.

È ragionevole pensare che entro l'impianto ci siano elevati livelli di radiazione con ratei di dose dell'ordine di alcune decine di millisievert all'ora, tali pertanto da richiedere una limitazione della permanenza degli operatori.

Livelli di esposizione di un certo rilievo sono stati pure riscontrati entro la recinzione degli impianti con valori di picco che hanno raggiunto e a volte superato il Sv/h. Va rilevato come alcuni prelievi di campioni di terreno all'interno della recinzione hanno indicato una molto modesta contaminazione da plutonio, la cui provenienza al momento risulta incerta (perché riscontrata in altre zone del Giappone) e forse attribuibile alle ricadute radioattive delle esplosioni nucleari sperimentali degli anni '50-'60.

Nella maggior parte del Giappone i valori di esposizione misurati risultano inferiori a 0,0001 mSv/h, inferiori a quelli riscontrabili in molte località italiane a cause della radiazione di fondo. Solo nelle provincie adiacenti a quella di Fukushima i valori misurati sono di circa 0,001 mSv/h pari ad una dose annuale (se questo livello venisse mantenuto per un anno) di circa 9 mSv.

Le dosi nell'area evacuata di raggio 20 km sono molto maggiori, mentre nelle due provincie direttamente colpite dai rilasci i valori sono attualmente più elevati. In particolare nella città di Fukushima sono stati misurati valori che, se fossero mantenuti per un anno, implicherebbero una dose efficace annua di poco inferiore ai 50 mSv, che è la dose alla popolazione che in caso di grave incidente nucleare ne implicherebbe l'evacuazione. Si prevede, tuttavia, che l'intensità di dose possa ridursi nei prossimi giorni e nelle prossime settimane.

Lo iodio rilevato nell'acqua potabile di Tokio è stato un fenomeno temporaneo dovuto alla forte pioggia del 15 marzo, che ha dilavato iodio e cesio presenti in modesta quantità in aria. Il livello di contaminazione dell'acqua è risultato superiore a quello ammesso per i neonati, ma inferiore a quello per gli adulti. Le ultime notizie riportano che tali valori sono stati superati nell'acqua potabile anche di altre città.

Altre notizie riportano che alcuni vegetali a foglia larga coltivati nell'area di Tokio mostrano un livello di radioattività superiore a quello di legge (890 Bq/kg contro un limite di 500 Bq/kg).

In 28 delle 45 prefetture per le quali sono disponibili i dati, non è stata rilevata deposizione al suolo di materiale radioattivo nel periodo 18-29 marzo. Mentre in 7 delle altre 17 prefetture interessate dal rilascio i valori stimati di deposizione giornaliera al suolo sono risultati minori di 500 Bq/m² per lo I131 e minori di 100 Bq/m² per il cesio 137.

Misure di concentrazione di attività sono anche state effettuate nell'acqua marina alla distanza di 30 km dalla costa. Il risultato delle misura ha fornito valori che hanno raggiunto il massimo il 24 (fino a 70 Bq/L di I131 e di circa 30 Bq/L di Cs 137); i valori sono risultati in decrescita a partire dal giorno successivo.

17 degli operatori dell'impianto hanno ricevuto dosi efficaci superiori a 100 mSv fino a 180 mSv. L'alto valore del rateo di dose presente negli impianti ha costretto a ruotare il personale per non far superare i livelli di riferimento per il personale di emergenza, che nel caso specifico sono stati aumentati dalla Autorità di governo fino a 250 mSv, al fine di consentire l'attuazione di interventi volti ad evitare o minimizzare rilasci successivi.

Tre operatori hanno lavorato con piedi e caviglie immersi nell'acqua del locale dove è ubicato il condensatore della turbina del reattore n.3, riportando una contaminazione notevole agli arti per un periodo di tempo elevato (circa 2 ore). In questo modo i tre operatori, ricoverati in ospedale, non hanno solamente ricevuto una dose efficace superiore a 100 mSv, ma anche una dose equivalenti alle estremità che in un primo momento era stata valutata in 5-6 Sv; ma il modesto eritema riscontrato in sede clinica ha fatto ridimensionare la dose a circa 3 Sv, con la conseguenza di dimissioni dall'ospedale senza bisogno di alcuna terapia.

L'evoluzione delle conseguenze di questo gravissimo incidente (per ora classificato ufficialmente da parte delle autorità giapponesi a livello 5 della scala INES dell'IAEA) dipenderà dall'evoluzione della situazione impiantistica altamente complessa e da eventuali ulteriori rilasci. Dal momento in cui termineranno, la contaminazione di iodio potrà rientrare nel giro di due-quattro settimane, mentre quella da cesio richiederà attenzione per un tempo maggiore.

A quanto risulta finora, sembra che la dispersione di radioattività sia limitata agli elementi più volatili a differenza dell'incidente di Chernobyl, dove vi è stata una dispersione anche di elementi più radiotossici, che hanno raggiunto notevoli altezze a causa della esplosiva salita a potenza del reattore RBMK 1000 e dell'incendio della grafite.

La situazione in Italia

I risultati delle misure di concentrazione in aria effettuati hanno evidenziato, a partire dal 23 marzo (ISPRA), la presenza di piccole tracce di Iodio 131 variabili tra 0,04 e 1,40 mBq/m³ e, in un campione, piccole tracce di Cesio 137. Alcune misure su campioni di iodio in forma gassosa hanno confermato la presenza di tracce di questo isotopo variabili tra 0,15 e 1,90 mBq/m³. Sono state inoltre rilevate tracce di Iodio 131 nella deposizione al suolo. Le concentrazioni sono in generale accordo con quelle rilevate in altri paesi Europei.

I valori riscontrati non hanno alcuna rilevanza dal punto di vista radiologico e sono tali da non costituire alcun rischio di tipo sanitario. Pertanto, giustamente, il Ministro Fazio ha rivolto agli italiani parole rassicuranti per mitigare gli effetti di natura psicologica, che già hanno spinto la popolazione all'ansia e all'acquisto di iodio nelle farmacie.

Aggiornamenti sistematici sull'evoluzione della situazione radiologica e ambientale si possono trovare nel link sotto indicato:

<http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/>