

Il rapporto del Chernobyl Forum

A cura di **PAOLA BATISTONI**

ENEA
Dipartimento Fusione,
Tecnologie e Presidio Nucleare

primo piano

A vent'anni dall'incidente nella centrale nucleare bielorusa è stato pubblicato il rapporto "The Legacy of Chernobyl: Health, Environmental and Socioeconomic Impacts". Basato sui lavori di un centinaio di scienziati, economisti e specialisti in campo sanitario, il rapporto, pubblicato dal Chernobyl Forum e del quale proponiamo ampi stralci, valuta fino ad oggi le conseguenze su radioattività ambientale, salute umana ed aspetti socio-economici, del più grave incidente nucleare della storia

The Chernobyl Forum's report

Twenty years after the accident at the nuclear power plant in Belarus, the Chernobyl Forum has published a report titled "The Legacy of Chernobyl: Health, Environmental and Socioeconomic Impacts". Based on the work of around a hundred scientists, economists and health specialists, the report – of which we publish lengthy excerpts – describes the effects produced so far on environmental radioactivity, human health, society and the economy by the worst nuclear accident in history

Sono trascorsi vent'anni dal 26 aprile 1986, il giorno in cui un'esplosione al reattore n.4 dell'impianto nucleare di Chernobyl in Ucraina provocava l'incidente più grave nella storia dell'industria nucleare. L'incendio che ne risultò, durato circa 10 giorni, provocò il rilascio di una quantità senza precedenti di materiale radioattivo da un reattore nucleare su vaste aree della Bielorussia, dell'Ucraina, della Federazione Russa e, in minore misura, di altri Paesi europei, con gravi conseguenze per la popolazione e l'ambiente.

Allo scopo di valutare l'impatto sulla salute, ambientale e socio economico dell'incidente di Chernobyl, l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) ha lanciato nel 2003 il *Chernobyl Forum*, un'iniziativa che coinvolge direttamente le agenzie dell'ONU, *International Atomic Energy Agency* (IAEA), *Food and Agriculture Organization* (FAO), *United Nations Development Program* (UNDP), *United Nations Environment Program* (UNEP), *United Nations Office for the Coordination of Human Affairs* (UNOCHA), *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), *World Health Organization* (WHO) e *World Bank*, e le autorità competenti di Ucraina, Bielorussia e Federazione Russa. L'obiettivo del Forum era quello di analizzare, attraverso gruppi di esperti, i dati scientifici a disposizione e di produrre affermazioni autorevoli e consensuali sulle conseguenze dell'incidente. Un ulteriore obiettivo era quello di fornire raccomandazioni ai Paesi maggiormente colpiti per i programmi sanitari speciali e per i rimedi ambientali, e per indirizzare la ricerca futura. Il Forum è parte del programma decennale per Chernobyl lanciato dall'ONU nel 2002 con la pubblicazione del documento *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident - A Strategy for Recovery*¹.

Nell'ambito del Forum, sono stati formati due gruppi di esperti provenienti da dodici Paesi, incluse Ucraina, Bielorussia e Federazione Russa, e rappresentanti degli organismi internazionali sopra citati, tra cui scienziati di fama internazionale che hanno condotto ricerche sulle conseguenze di Chernobyl.

I due gruppi, l'*Expert Group 'Environment'* coordinato dalla IAEA e l'*Expert Group 'Health'* coordinato dalla WHO, a conclusione delle loro attività hanno prodotto due rapporti finali rispettivamente sulle conseguenze ambientali e sulla salute, *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*² e *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes*³, che sono stati discussi ed approvati dal Forum nel 2005 e successivamente pubblicati nel 2006. L'IAEA ha pubblicato inoltre un documento informativo diretto ad un pubblico più vasto, *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*⁴, che contiene una sintesi dei due rapporti tecnici sopra citati insieme ad un'analisi di impatto socio-economico condotta dalla agenzia UNDP.

Questi rapporti hanno avuto una vasta eco nella comunità scientifica e civile internazionale, provocando anche reazioni critiche e controiniziative. Riteniamo dunque di fare cosa utile per i lettori di "Energia, Ambiente e Innovazione" pubblicando qui di seguito alcuni stralci del documento informativo della IAEA⁴ che rappresenta la sintesi del lavoro di molti anni di un gran numero di esperti autorevoli a livello internazionale. I testi completi (in inglese) dei rapporti citati sono reperibili nel sito web della IAEA⁵.

Sommario

L'incidente avvenuto nel 1986 al reattore nucleare di Chernobyl è stato il più grave nella storia dell'industria nucleare ed ha causato il rilascio di un'enorme quantità di radioattività su vaste aree della Bielorussia, dell'Ucraina e della Federazione Russa.

A vent'anni di distanza, le Agenzie delle Nazioni Unite e i rappresentanti dei tre Paesi più colpiti hanno esaminato le conseguenze di tale incidente dal punto di vista della salute, ambientale e socio-economico. Il personale presente nel sito e coloro che intervennero nelle operazioni di emergenza nei primi giorni, in totale circa 1000 persone, ricevettero le dosi più elevate, in alcuni casi fatali. Nel tempo, più di 600.000 persone sono state impiegate nelle operazioni di emergenza o di recupero (*liquidatori*). Benché alcune di esse abbiano ricevuto alte dosi di radioattività, molte di loro così come la maggioranza dei residenti nelle aree 'contaminate' della Bielorussia, Russia ed Ucraina (più di 5 milioni) ricevettero dosi relativamente basse di radiazione al corpo intero, ovvero comparabili con le dosi dovute alla radioattività naturale. Le misure di mitigazione adottate dalle autorità, inclusa l'evacuazione delle aree maggiormente contaminate, hanno ridotto in modo significativo l'esposizione alle radiazioni e il conseguente impatto sulla salute. Tuttavia, l'incidente ha causato una tragedia umana con conseguenze significative di ordine sanitario, ambientale e socio-economico.

Il tumore alla tiroide causato dal *fallout* di iodio radioattivo è stato una delle conseguenze più importanti dell'incidente. Le dosi alla tiroide assorbite nei primi mesi dopo l'incidente furono particolarmente alte nei bambini e in coloro che bevevano latte contenente alti livelli di iodio radioattivo. Fino al 2002 più di 4000 casi di tumore alla tiroide erano stati diagnosticati in questo gruppo di persone, ed è molto probabile che una gran parte di tali casi sia attribuibile all'assunzione di iodio radioattivo. A prescindere dal drammatico aumento di incidenza del tumore alla tiroide tra coloro che furono esposti in giovane età, non c'è stato un aumento chiaramente dimostrato di tumori solidi o di leucemia a causa delle radiazioni nelle popolazioni maggiormente esposte. Si è verificato, tuttavia, un aumento di problemi psicologici nella popolazione coinvolta, problemi aggravati da una insufficiente informazione riguardo agli effetti delle radiazioni e dalla crisi sociale ed economica causate dal crollo della Unione Sovietica.

È impossibile determinare in modo attendibile e preciso il numero di tumori letali causati dall'esposizione a radiazioni dovuta all'incidente di Chernobyl, o l'impatto dello stress e dell'ansia. Piccole differenze nelle assunzioni relative al rischio da radiazioni possono portare a grandi differenze nelle conseguenze previste sulla salute, che sono quindi molto incerte.

Un gruppo di esperti internazionali ha elaborato delle proiezioni per fornire una stima approssimata dell'impatto dell'incidente sulla salute e per dare supporto alla programmazione dell'allocazione delle risorse sanitarie in futuro. Le proiezioni indicano che tra le popolazioni maggiormente esposte (liquidatori, evacuati e residenti nelle zone cosiddette di 'rigido controllo'), la mortalità per tumore in totale potrebbe aumentare fino a qualche per cento a causa dell'esposizione a radiazioni dovuta all'incidente di Chernobyl. Tale aumento corrisponderebbe fino ad alcune migliaia di tumori letali in più rispetto a circa centomila morti per tumori attesi in queste popolazioni per tutte le altre cause. Un aumento di questa entità (qualche punto percentuale) sarebbe difficile da evidenziare perfino con studi epidemiologici molto accurati e a lungo termine.

Dal 1986 i livelli di radiazione negli ambienti colpiti si sono ridotti di diverse centinaia di volte grazie al decadimento naturale e alle contromisure adottate. Di conseguenza, la maggioranza dei territori contaminati sono adesso sicuri per l'insediamento e le attività economiche. Tuttavia, nella Zona di Esclusione di Chernobyl e in

alcune aree limitrofe sarà necessario mantenere delle restrizioni sull'uso della terra ancora per decine di anni.

I Governi adottarono molte contromisure efficaci per limitare le conseguenze dell'incidente. Tuttavia, una ricerca recente mostra che occorre cambiare la direzione dello sforzo attuale. La riorganizzazione sociale ed economica delle regioni colpite di Bielorussia, Russia ed Ucraina deve essere considerata una priorità, così come l'eliminazione del peso psicologico sui lavoratori coinvolti nelle operazioni di emergenza e sulla popolazione in generale. Inoltre, il *decommissioning* della distrutta unità n. 4 del reattore di Chernobyl e la bonifica graduale della Zona di Esclusione di Chernobyl, inclusa la gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi, costituiscono una priorità per l'Ucraina. È indispensabile il mantenimento di tutte le conoscenze sviluppate per la mitigazione delle conseguenze, e dovrà essere proseguita la ricerca a lungo termine centrata su alcuni aspetti sanitari, ambientali e sociali.

Il presente rapporto, relativo alla radioattività ambientale, alla salute umana e agli aspetti socio-economici, rappresenta la valutazione più completa delle conseguenze dell'incidente fino ad oggi.

Vi hanno contribuito circa 100 esperti riconosciuti a livello mondiale provenienti da molti Paesi, incluse la Bielorussia, la Russia e l'Ucraina. Esso rappresenta l'opinione condivisa delle otto Agenzie dell'ONU, secondo le rispettive competenze, e dei tre Paesi colpiti.

L'incidente di Chernobyl

Il 26 aprile 2006 l'incidente più grave della storia dell'industria nucleare si verificò all'unità 4 dell'impianto nucleare di Chernobyl nella Repubblica Ucraina della ex Unione Sovietica. L'esplosione che distrusse il *vessel* del reattore e il conseguente incendio che durò almeno dieci giorni causarono il rilascio nell'ambiente di un'enorme quantità di materiale radioattivo. Il fumo alzatosi dal reattore in fiamme diffuse numerosi materiali radioattivi, soprattutto iodio (I) e cesio (Cs), su gran parte dell'Europa.

Lo I-131, il radioisotopo che maggiormente contribuisce alla dose assorbita dalla tiroide, ha emivita breve (8 giorni) e decade quindi quasi totalmente entro poche settimane dall'incidente. Il Cs-137 radioattivo, che contribuisce sia alla dose esterna sia a quella interna, ha un'emivita molto più lunga (30 anni) ed è ancora misurabile sul suolo e in alcuni cibi in gran parte d'Europa. I depositi più consistenti di radionuclidi si verificarono su vaste aree della Unione Sovietica intorno al reattore, aree che si trovano attualmente in Bielorussia, Federazione Russa e Ucraina.

Si stima che nel 1986-1987 siano stati inizialmente impiegati circa 350.000 lavoratori coinvolti nelle operazioni di emergenza e di recupero, inclusi militari, operatori dell'impianto, poliziotti locali e vigili del fuoco. Tra di essi, circa 240.000 lavoratori impiegati nelle operazioni di recupero parteciparono in importanti attività di mitigazione presso il reattore e nella zona circostante entro un raggio di 30 km. In seguito, il numero di liquidatori registrati salì a 600.000, anche se solo una piccola frazione di essi fu esposta ad alti livelli di radiazione.

Nelle aree di Bielorussia, Federazione Russa e Ucraina classificate come 'contaminate' da radionuclidi a causa dell'incidente di Chernobyl (attività per unità di superficie superiore a 37 kBq m^{-2} di Cs-137)* vivevano più di cinque milioni di

*Il Becquerel (Bq) è l'unità di misura internazionale di radioattività ed è pari ad una disintegrazione per secondo.

persone. Di queste, circa 400.000 vivevano in aree maggiormente contaminate, classificate dalle autorità sovietiche come *Aree di rigido controllo radiologico* (attività per unità di superficie superiore a 555 kBq m^{-2} di Cs-137). Tra queste ultime, 116.000 persone furono evacuate tra la primavera e l'estate del 1986 dall'area circostante il reattore (denominata *Zona di Esclusione*) e trasportate in zone non contaminate. Altre 220.000 persone furono spostate negli anni successivi. Sfortunatamente, inizialmente la popolazione colpita di quella che era al tempo l'Unione Sovietica non ricevette informazioni attendibili sull'incidente e sulla diffusione di materiale radioattivo, e le informazioni rimasero inadeguate anche negli anni successivi all'incidente. Tale mancanza e il ritardo causarono una diffusa sfiducia nei canali ufficiali di informazione, nonché l'erronea attribuzione di molte malattie all'esposizione a radiazioni.

Dal rapporto del Gruppo di Esperti sulle conseguenze sulla salute

Il rapporto fornisce un riassunto delle conseguenze sulla salute nelle popolazioni di Bielorussia, Federazione Russa e Ucraina, e risponde a cinque delle domande più importanti sull'argomento.

• Quali sono stati i livelli di esposizione a radiazione per la popolazione a seguito dell'incidente di Chernobyl?

Tre categorie di persone risultarono esposte a radiazioni a seguito dell'incidente di Chernobyl:

- i lavoratori impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero nell'impianto e nella Zona di Esclusione dopo l'incidente,
- gli abitanti evacuati dalle aree contaminate,
- gli abitanti nelle aree contaminate che non furono evacuati.

Con l'eccezione del personale del reattore che si trovava sul sito e i lavoratori coinvolti nelle operazioni di emergenza vicino al reattore distrutto durante l'incidente e subito dopo, la gran parte dei lavoratori coinvolti nelle operazioni di recupero e delle persone che vivevano nelle zone contaminate ricevettero dosi di radiazione al corpo intero relativamente basse, confrontabili con la dose dovuta al fondo di radiazione ambientale accumulata nei 20 anni successivi all'incidente. Il personale del reattore che si trovava sul sito e i lavoratori coinvolti nelle operazioni di emergenza, in totale circa 1000 persone, ricevettero durante i primi giorni dopo l'incidente le dosi più elevate, in un intervallo tra i 2 e i 20 Gy, che risultarono fatali per alcuni di loro. Le dosi ricevute dai lavoratori coinvolti nelle operazioni di recupero per periodi brevi nei quattro anni seguenti all'incidente, arrivarono fino ad oltre 500 mSv, con una media di 100 mSv secondo i Registri di Stato di Bielorussia, Federazione Russa e Ucraina. Si è stimato che la dose effettiva alle persone evacuate dalla zona di Chernobyl nella primavera – estate del 1986 fosse dell'ordine di 33 mSv in media, con punte dell'ordine di alcune centinaia di mSv.

L'ingestione di cibo contaminato con iodio radioattivo causò l'assorbimento di dosi significative alla tiroide negli abitanti delle aree contaminate di Bielorussia, Russia e Ucraina. Le dosi alla tiroide variarono in un ampio intervallo, a seconda dell'età, del livello di contaminazione del terreno con I-131, e del consumo di latte. Sono stati riportati livelli di dose alla tiroide fino a 50 Gy, con medie nelle aree contaminate da

0,03 fino a qualche Gy, a seconda della zona di residenza e dell'età. Nei residenti nella città di Pripjat nelle vicinanze del reattore di Chernobyl, le dosi alla tiroide furono sostanzialmente ridotte grazie ad una tempestiva distribuzione di pastiglie di iodio non radioattivo. L'assunzione di latte prodotto da mucche che mangiavano erba contaminata subito dopo l'incidente costituì la causa maggiore delle dosi elevate alla tiroide nei bambini e dei molti casi di tumore alla tiroide che si svilupparono in seguito.

In generale, durante i venti anni successivi all'incidente, la popolazione è stata esposta sia a sorgenti esterne (Cs-137 al suolo, ecc.) sia attraverso l'assunzione di radionuclidi (soprattutto Cs-137) nei cibi, acqua e aria. È stato stimato che la dose effettiva media per la popolazione delle aree contaminate accumulata nel periodo 1986–2005 varia dai 10 ai 30 mSv in varie province della Bielorussia, Russia e Ucraina. Nelle aree di rigido controllo radiologico, la dose media è risultata di circa 50 mSv e più. Alcuni residenti hanno ricevuto fino ad alcune centinaia di mSv. Si noti che le dosi medie ricevute dai residenti nelle zone contaminate dal *fall-out* di Chernobyl sono generalmente inferiori di quelle ricevute da popolazioni che vivono in alcune aree caratterizzate da un elevato fondo naturale di radiazione in India, Iran, Brasile e Cina (100–200 mSv in 20 anni).

La gran maggioranza dei circa cinque milioni di persone residenti nelle aree contaminate di Bielorussia, Russia e Ucraina ricevono attualmente dosi effettive annue dovute al *fallout* di Chernobyl pari a meno di 1 mSv da sommarsi alla dose dovuta al fondo naturale di radiazione. Tuttavia, circa 100.000 residenti nelle aree più contaminate ricevono ancora più di 1 mSv all'anno a causa del *fallout* di Chernobyl. Sebbene ci si attenda in futuro una riduzione piuttosto lenta dei livelli di esposizione, pari a circa il 3-5% per anno, la gran parte della dose dovuta all'incidente si è già accumulata negli anni passati.

La valutazione del Chernobyl Forum concorda con le conclusioni riportate nel Rapporto UNSCEAR 2000⁶ riguardo alle dosi individuali e collettive ricevute dalle popolazioni dei paesi maggiormente colpiti, Bielorussia, Russia e Ucraina.

• *Quante persone sono morte a causa dell'incidente e quante ancora è probabile che muoiano in futuro?*

C'è stato un enorme interesse da parte dell'opinione pubblica, gli scienziati, i mass media e i politici riguardo il numero di decessi attribuibili all'incidente di Chernobyl. Si è sostenuto che vi siano state decine o perfino centinaia di migliaia di morti a causa dell'incidente. Tali affermazioni sono molto esagerate. La confusione sull'impatto dell'incidente di Chernobyl è stata generata dal fatto che in questi anni, a partire dal 1986, migliaia di lavoratori impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero e di abitanti dei territori "contaminati" sono morti per cause diverse non attribuibili alle radiazioni. Tuttavia, le previsioni largamente diffuse di malattie e una certa tendenza ad attribuire problemi di salute all'esposizione a radiazioni hanno indotto i residenti locali ad assumere che le morti dovute a Chernobyl fossero molto più numerose.

Mortalità per Sindrome Acuta da Radiazioni

Il numero di decessi causati da Sindrome Acuta da Radiazioni (ARS) durante il primo anno dopo l'incidente è ben documentato. Secondo il rapporto UNSCEAR (2000), tale sindrome è stata diagnosticata a 134 lavoratori impiegati nelle

Tabella 1 - Dosi medie ricevute dalle popolazioni colpite dall'incidente di Chernobyl

Categoria di popolazione	Numero	Dose media (mSv)
Liquidatori (1986-1989)	600.000	~ 100
Evacuati dalla zona altamente contaminata (1986)	116.000	33
Residenti nella zona a rigido controllo (1986-2005)	270.000	> 50
Residenti in altre aree contaminate (1986-2005)	5.000.000	10 -20

operazioni di emergenza. In molti casi, si sono verificate anche complicazioni per ustioni alla pelle e sepsi dovute a forte esposizione a radiazione beta. Di questi lavoratori, 28 morirono nel 1986 per ARS. Altre due persone erano morte presso l'unità 4 del reattore per ferite non causate dalla radiazione, ed una terza morte si ritenne che fosse dovuta a trombosi coronarica. Altre 19 persone morirono nel periodo 1987-2004 per cause varie; tuttavia la loro morte non è necessariamente (in certi casi non lo è certamente) direttamente attribuibile all'esposizione a radiazioni. Tra la popolazione in generale esposta al *fallout* radioattivo di Chernobyl, le dosi di radiazione furono relativamente basse e non si verificarono decessi per ARS.

Mortalità per tumori

Non è possibile accertare in modo attendibile e preciso il numero di tumori letali causati dall'esposizione a radiazioni a seguito dell'incidente di Chernobyl. Inoltre, al momento i tumori causati dalle radiazioni non sono distinguibili da quelli dovuti ad altre cause. Un gruppo di esperti internazionali ha elaborato delle proiezioni per fornire una stima approssimata dei possibili effetti dell'incidente sulla salute, e per contribuire a pianificare l'allocazione futura delle risorse sanitarie pubbliche. Tali proiezioni sono basate sull'esperienza di altre popolazioni esposte a radiazioni e studiate per molti decenni, come i sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki. Tuttavia, non è chiara l'applicabilità delle stime di rischio derivate da altre popolazioni con diverse caratteristiche genetiche e ambientali e diversi stili di vita, che inoltre sono state esposte a livelli di dose di radiazione molto più alti. In aggiunta a ciò, piccole differenze nelle assunzioni sui rischi da esposizione a bassi livelli di dose possono determinare grandi differenze nelle previsioni dell'aumento dell'incidenza di tumori, motivo per cui tali proiezioni dovrebbero essere trattate con molta cautela soprattutto nei casi in cui le dosi aggiuntive rispetto al fondo naturale sono piccole. Secondo le previsioni del gruppo di esperti internazionali, tra le 600.000 persone che hanno avuto i livelli di esposizione più significativi (liquidatori impiegati nel 1986-87, evacuati e residenti nelle aree più contaminate) il possibile aumento di mortalità per tumori dovuto all'esposizione a radiazioni potrebbe ammontare fino a qualche punto percentuale. Ciò potrebbe tradursi in ultima analisi fino a 4000 tumori letali in aggiunta ai circa 100.000 tumori letali attesi in questa popolazione per tutte le altre cause. Tra i 5 milioni di persone residenti in altre aree contaminate le dosi ricevute sono state molto più basse e quindi ogni proiezione sull'aumento di tumori è più speculativa, ma ci si attende che tale aumento determini una differenza inferiore all'1% nella mortalità per tumore. Data la normale variazione nei tassi di mortalità per tumore, tale differenza sarebbe molto difficile da rivelare con gli strumenti epidemiologici disponibili. Fino ad ora, gli studi epidemiologici sui residenti nelle aree contaminate in

Bielorussia, Russia ed Ucraina non hanno fornito una chiara e convincente evidenza di un aumento di mortalità nella popolazione in generale dovuto all'esposizione a radiazioni, e in particolare per morti causate da leucemia, tumori solidi (diversi dal tumore alla tiroide) e da malattie diverse da tumori. Tuttavia, sono stati diagnosticati più di 4000 tumori alla tiroide nel periodo 1992–2002 in persone che erano bambini o adolescenti all'epoca dell'incidente, e fino al 2002 sono stati documentati 15 decessi correlati con l'avanzamento della malattia. È stato riportato un certo aumento di leucemia fatale, tumori solidi e malattie del sistema circolatorio dovuti alle radiazioni tra i lavoratori russi impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero. Secondo i dati del Registro Russo, nel periodo 1991-98 nel gruppo di 61.000 lavoratori russi esposti ad una dose media di 107 mSv, circa il 5% di tutti i decessi verificatisi possono essere stati causati dall'esposizione a radiazioni. Questi risultati, tuttavia, dovrebbero essere considerati come preliminari, e richiedono conferma attraverso studi ben progettati e che ricostruiscano accuratamente le dosi individuali.

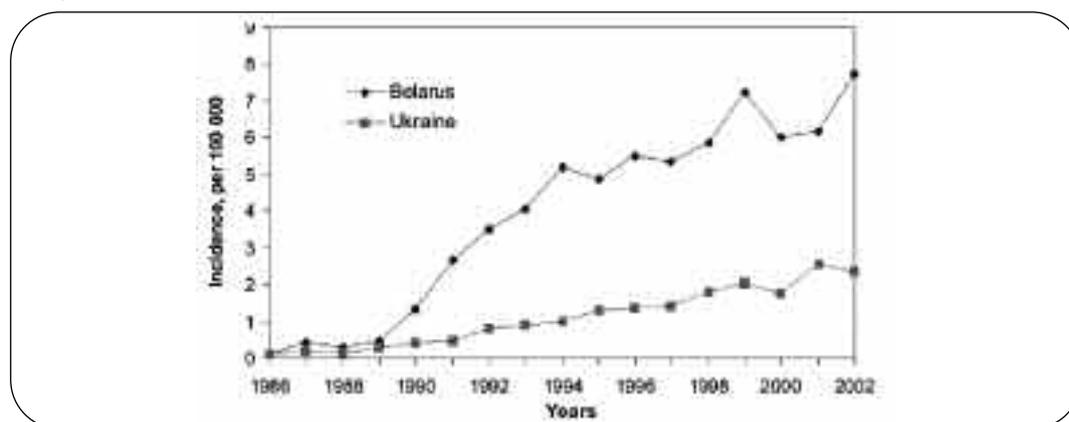
•**Quali malattie sono già comparse o possono verificarsi in futuro a causa dell'esposizione a radiazioni dovute a Chernobyl?**

Tumori alla tiroide nei bambini

Uno dei radionuclidi principali rilasciati nell'incidente di Chernobyl fu lo I-131, i cui livelli furono significativi nei primi mesi dopo l'incidente. La ghiandola tiroide accumula lo iodio dal sangue nel suo normale metabolismo. Il fallout di iodio radioattivo causò un'esposizione considerevole della tiroide nei residenti locali per inalazione e ingestione di alimenti, specialmente latte, contenenti livelli alti di radioiodio. La tiroide è uno degli organi più suscettibili all'induzione di tumore per radiazioni. I bambini costituirono la parte più vulnerabile della popolazione e in seguito all'incidente si registrò un sostanziale aumento di tumore alla tiroide tra i bambini esposti.

Dal 1992 al 2002 in Bielorussia, Russia and Ucraina furono diagnosticati più di 4000** casi di cancro alla tiroide tra coloro che erano bambini o adolescenti (0–18 anni) all'epoca dell'incidente, con la maggiore incidenza nel gruppo di età compreso tra 0 e 14 anni. La maggior parte di queste persone furono trattate, con prognosi favorevole per la loro vita. Data la rarità del tumore alla tiroide nella

Figura 1
Numero di casi di tumore alla tiroide (per 100.000 abitanti) in bambini e adolescenti esposti a I-131 in conseguenza all'incidente di Chernobyl



** Statistiche più recenti dai Registri Nazionali di Bielorussia ed Ucraina indicano che il numero totale di tumori alla tiroide tra coloro che sono stati esposti in età inferiore ai 18 anni è attualmente vicino a 5000. I numeri differiscono leggermente a seconda dei metodi di documentazione, ma il numero totale osservato nei tre Paesi è certamente ben superiore a 4000.

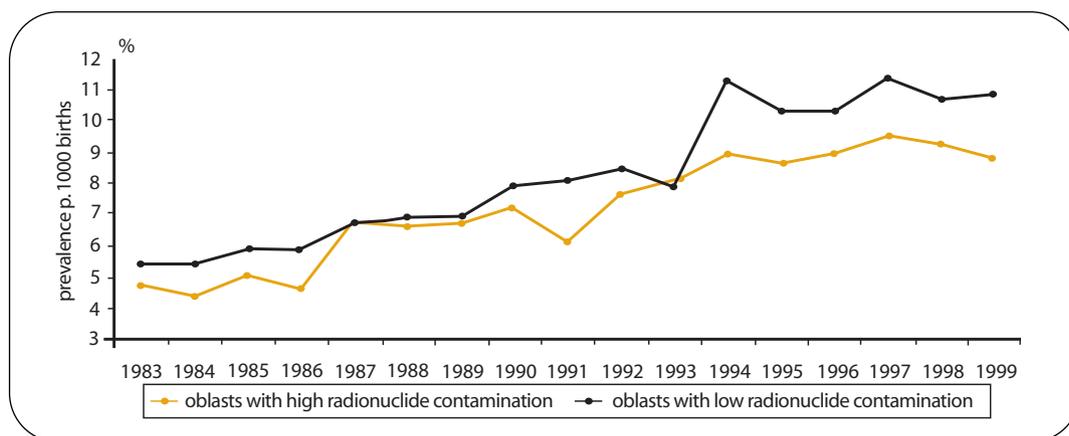
popolazione giovane, la quantità di popolazione che ricevette alte dosi alla tiroide, e considerato il valore stimato del rischio per radiazione derivato dagli studi epidemiologici, è molto probabile che una gran parte dei tumori alla tiroide osservati fino ad oggi tra coloro che sono stati esposti da bambini sia attribuibile all'esposizione a radiazione in seguito all'incidente. Ci si aspetta che l'aumento di incidenza del tumore alla tiroide dovuto a Chernobyl continuerà per molti anni ancora, anche se l'entità del rischio a lungo termine è difficile da quantificare. Si noti che le misure immediate di mitigazione prese dalle autorità nazionali contribuirono sostanzialmente a contenere le conseguenze dell'incidente sulla salute. L'assunzione di pastiglie di iodio stabile durante le prime 6-30 ore dopo l'incidente ridusse di un fattore 6 in media la dose ricevuta dai residenti di Pripjat. Pripjat era la città più grande nelle vicinanze dell'impianto nucleare di Chernobyl e circa 50.000 persone ivi residenti furono evacuate entro 40 ore dopo l'incidente. Più di 100.000 persone furono evacuate entro poche settimane dalle aree più contaminate in Ucraina e Bielorussia. Queste misure ridussero l'esposizione a radiazione e le relative conseguenze sulla salute.

Leucemia, tumori solidi e malattie del sistema circolatorio

Un certo numero di studi epidemiologici, inclusi quelli relativi ai sopravvissuti ai bombardamenti atomici, ai pazienti trattati con radioterapia e ai lavoratori professionalmente esposti in medicina e nell'industria nucleare, hanno mostrato che la radiazione ionizzante può causare tumori solidi e leucemia (con l'eccezione della leucemia linfoide cronica, CLL, che non si ritiene sia dovuta all'esposizione a radiazioni). Risultati più recenti indicano anche un aumento di rischio di malattie cardiovascolari nelle popolazioni esposte a dosi più elevate (e.g. sopravvissuti ai bombardamenti atomici, pazienti trattati con radioterapia). Un aumento del rischio di leucemia da esposizione a radiazioni era quindi atteso nella popolazione esposta. Tuttavia, dato il livello della dose ricevuta è probabile che gli studi sulla popolazione in generale non avranno valore statistico sufficiente per identificare tale aumento, e che un aumento possa essere rivelabile solo per i lavoratori impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero che furono più esposti. Gli studi più recenti suggeriscono un raddoppio dell'incidenza di leucemia (non-CLL) tra il 1986 e il 1996 nei lavoratori russi impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero che ricevettero più di 150 mGy (dose esterna). Gli studi ancora in corso sui lavoratori potranno fornire ulteriori informazioni sul possibile aumento di rischio di leucemia. Tuttavia, poiché il rischio di leucemia indotta da radiazioni diminuisce diversi decenni dopo l'esposizione, il relativo contributo alla morbosità e alla mortalità è probabile che decresca con il passare del tempo.

Si sono avuti molti studi dopo Chernobyl sull'incidenza della leucemia e tumori nelle popolazioni delle aree contaminate nei tre Paesi. La maggior parte degli studi, tuttavia, presentava limitazioni metodologiche e poco significato statistico. Di conseguenza, non c'è al momento una chiara evidenza di aumento di incidenza di leucemia e tumori (diversi dal tumore alla tiroide) nei bambini, nei soggetti esposti in utero, o negli adulti residenti nelle aree contaminate. Si pensa però che per la maggior parte dei tumori solidi il minimo periodo di latenza sia molto più lungo di quello per la leucemia e il cancro alla tiroide — dell'ordine di 10-15 anni o più — e che quindi possa essere ancora troppo presto per valutare a pieno l'impatto radiologico dell'incidente. L'assistenza medi-

Figura 2
 Numero di malformazioni congenite alla nascita su 1000 nati in quattro regioni (oblasts) della Bielorussia con alti e con bassi livelli di contaminazione



differenze nei modelli usati per valutare i rischi a basse dosi possono avere grandi effetti sulle stime di casi di cancro addizionali. Recentemente, sembra verificarsi un aumento nella morbosità e mortalità di malattie del sistema cardiocircolatorio tra i lavoratori russi impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero. L'incidenza di tali malattie dovrebbe essere valutata con particolare attenzione poiché vi può essere una possibile influenza indiretta di altri fattori confondenti, come lo stress e lo stile di vita. Anche questi risultati richiedono conferme con studi ben progettati.

Cataratte

L'esame degli occhi dei bambini e dei lavoratori impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero mostra chiaramente che possono svilupparsi le cataratte in conseguenza dell'esposizione a radiazione a seguito dell'incidente di Chernobyl. I dati ricavati dagli studi sui lavoratori impiegati nelle operazioni di emergenza e di recupero suggeriscono si può avere sviluppo delle cataratte a livelli di esposizioni più basse di quanto rilevato in precedenza, fino a circa 250 mGy. Ulteriori studi sugli occhi delle popolazioni di Chernobyl forniranno la conferma ed una maggiore capacità predittiva del rischio di comparsa di cataratta per radiazioni, e soprattutto forniranno i dati necessari per valutare la probabilità residua di patologie agli occhi.

• *Ci sono stati o ci saranno effetti ereditati o nella riproduzione?*

Dati i livelli di dose relativamente bassi a cui sono state esposte le popolazioni delle regioni colpite dall'incidente di Chernobyl, non c'è alcuna evidenza o probabilità di osservare una diminuzione di fertilità tra i maschi e le femmine della popolazione in generale come risultato diretto dell'esposizione a radiazioni. È anche improbabile che tali livelli di dose abbiano effetti importanti sul numero di nati morti, sulle gravidanze con esiti negativi, sui parti con complicazioni e sulla salute dei bambini. I tassi di natalità possono essere più bassi nelle aree contaminate per la preoccupazione di avere bambini (questo dato è

oscurato dal tasso molto alto di aborti medici) e per il fatto che i più giovani possono essersi trasferiti. Non si prevede alcun aumento rilevabile di effetti ereditari causati dalla radiazione sulla base dei bassi coefficienti di rischio stimati dal rapporto UNSCEAR (2001)⁷ o in rapporti precedenti sugli effetti sulla salute di Chernobyl. Dal 2000 non sono state fornite nuove evidenze in grado di cambiare questa conclusione. C'è stato un modesto ma costante aumento delle malformazioni congenite riportate sia nelle aree contaminate sia in quelle non contaminate di Bielorussia dal 1986. Tale aumento non sembra sia dovuto alle radiazioni e può essere il risultato di una maggiore tendenza alla registrazione.

• *L'incidente di Chernobyl ha provocato un trauma in molte persone a causa del repentino trasferimento, l'interruzione dei rapporti sociali, la paura e l'ansia per i possibili effetti sulla salute. Vi sono problemi psicologici o mentali persistenti?*

Qualunque incidente o evento traumatico può causare l'insorgenza di sintomi di stress, depressione, ansia (inclusi sintomi di stress post-traumatico) e di altri sintomi fisici non spiegati. Tali sintomi sono stati riportati anche nelle popolazioni colpite dall'incidente di Chernobyl. Tre diversi studi hanno trovato che le popolazioni esposte presentavano livelli di ansia doppi rispetto ai gruppi di controllo, e che presentavano una probabilità 3-4 volte maggiore di riportare sintomi fisici multipli non spiegati ed uno stato cagionevole di salute soggettivo rispetto ai gruppi di controllo non colpiti. In generale, sebbene le conseguenze psicologiche riscontrate nelle popolazioni esposte di Chernobyl siano simili a quelle dei sopravvissuti alle bombe atomiche, dei residenti vicino all'impianto nucleare di Three Mile Island, o di coloro che hanno subito esposizioni a sostanze tossiche nel luogo di lavoro o nell'ambiente, il contesto in cui è accaduto l'incidente di Chernobyl rende i risultati degli studi difficili da interpretare a causa della complicata serie di eventi scatenati dall'incidente, le tensioni multiple ed estreme, e i modi culturali specifici di esprimere la sofferenza. Inoltre, gli individui nelle popolazioni colpite furono ufficialmente classificati come "sofferenti" e divennero colloquialmente conosciuti come "vittime di Chernobyl", un termine che fu presto adottato dai mass media. Questa etichetta, insieme con l'ampia assistenza da parte dei governi a favore degli evacuati e dei residenti nelle zone contaminate, ha avuto l'effetto di incoraggiare gli individui a ritenersi in modo fatalistico come degli invalidi. È ben saputo che le percezioni delle persone – ancorché false – possono influenzare il modo in cui sentono e agiscono. Così, piuttosto che sentirsi dei "sopravvissuti", molte di queste persone hanno finito col pensare a sé stessi come indifesi, deboli e senza controllo sul loro futuro. Occorre intraprendere nuovi sforzi nella comunicazione del rischio, fornendo al pubblico e ai professionisti che svolgono un ruolo chiave in questo campo un'informazione accurata sulle conseguenze sulla salute fisica e mentale del disastro.

Dal rapporto del Gruppo di Esperti sulle conseguenze ambientali

Il rapporto del Gruppo di Esperti sulle conseguenze ambientali copre gli aspetti relativi al rilascio radioattivo, il deposito, il trasferimento e l'accumulazione dei radionuclidi, l'applicazione di contromisure, gli effetti indotti dalle

radiazioni sulle piante e gli animali, ed infine lo smantellamento del sarcofago (*Shelter*) e la gestione dei rifiuti radioattivi nella Zona di Esclusione di Chernobyl.

• *Rilascio e deposito di materiali radioattivi*

Le forti emissioni di radionuclidi dall'unità 4 del reattore di Chernobyl continuarono per 10 giorni dopo l'esplosione del 26 aprile. Esse contenevano gas radioattivi, aerosol condensati ed enormi quantità di particelle di combustibile. Il rilascio totale di sostanze radioattive fu di circa 14 EBq (1 EBq = 10^{18} Bq), di cui 1.8 EBq di I-131, 0,085 EBq di Cs-137, 0,01 EBq di Sr-90 e 0,003 EBq di radioisotopi del plutonio. I gas nobili contribuirono per circa il 50% del rilascio totale. Più di 200.000 chilometri quadrati d'Europa ricevettero livelli di Cs-137 superiori a 37 kBq m⁻². Più del 70% di quest'area si trovava nei Paesi maggiormente colpiti, Bielorussia, Russia e Ucraina. Il deposito fu estremamente disuguale e più intenso nelle aree in cui pioveva mentre transitavano le nubi radioattive. La gran parte dei radioisotopi di stronzio e di plutonio furono depositati entro 100 km di distanza dal reattore distrutto a causa della maggiore dimensione delle particelle. Molti dei radionuclidi più importanti avevano vite medie brevi. Di conseguenza, la gran parte dei radionuclidi rilasciati nell'incidente è decaduta. I rilasci di iodio radioattivo causò una grande preoccupazione immediatamente dopo l'incidente. Per alcuni decenni a venire il Cs-137 rimarrà il radionuclide più importante, seguito dallo Sr-90. A più lungo termine (centinaia o migliaia di anni) rimarranno gli isotopi del plutonio e l'Am-241, sebbene a livelli non significativi dal punto di vista radiologico.

• *Qual'è la portata della contaminazione urbana?*

I radionuclidi si depositarono più pesantemente sulle superfici aperte nelle aree urbane, come i prati, parchi, le strade, le piazze, i tetti e le pareti. In condizioni atmosferiche asciutte, gli alberi, i cespugli, i prati e i tetti ricevettero inizialmente i livelli più alti, mentre in condizioni di umidità le superfici orizzontali come i terreni e i prati ricevettero i livelli più alti. Concentrazioni più alte di Cs-137 furono rilevate intorno alle case dove la pioggia aveva trasportato il materiale radioattivo dai tetti fino a terra. Il deposito nelle aree urbane nella più vicina città di Pripyat e negli insediamenti circostanti avrebbe potuto dare luogo inizialmente a una significativa dose esterna. Tuttavia, ciò fu evitato in larga misura dalla tempestiva evacuazione dei residenti. Il deposito di materiale radioattivo in altre aree urbane ha causato diversi livelli di esposizione a radiazioni per le persone negli anni successivi e continua ancora oggi a livelli più bassi. A causa del vento, della pioggia e delle attività umane, incluso il traffico, il lavaggio e la pulizia delle strade, la contaminazione superficiale da materiali radioattivi si è ridotta significativamente nelle aree abitate e adibite ad attività ricreative nel 1986 e in seguito. Una delle conseguenze di questi processi è rappresentata dalla contaminazione secondaria delle fognature e dei serbatoi. Al momento, nella gran parte degli insediamenti soggetti a contaminazione radioattiva a causa dell'incidente di Chernobyl, il rateo di dose in aria sopra le superfici solide è tornato ai livelli del fondo precedenti all'incidente. Ma il rateo di dose in aria rimane elevato sopra i suoli indisturbati nei giardini e nei parchi in alcuni insediamenti in Bielorussia, Russia e Ucraina.

• Quanto sono contaminate le aree agricole?

Nei primi mesi dopo l'incidente, i livelli di radioattività nelle piante agricole e negli animali che mangiavano le piante erano dominati dai depositi superficiali di radionuclidi. Il deposito di radioiodio fu causa della preoccupazione maggiore nell'immediato, ma il problema fu limitato ai primi due mesi dall'incidente grazie al rapido decadimento dell'isotopo più importante, lo I-131. Il radioiodio fu rapidamente assorbito nel latte a tassi elevati causando una dose alla tiroide significativa nelle persone che consumavano latte, specialmente i bambini in Bielorussia, Russia e Ucraina. Nel resto d'Europa si osservarono aumenti dei livelli di radioiodio nel latte nelle aree meridionali dove gli animali da latte erano ancora al pascolo. Dopo la fase iniziale di deposito diretto, divenne sempre più importante l'assunzione di radionuclidi dal suolo attraverso le radici delle piante. I radioisotopi del cesio (Cs-137 e Cs-134) causarono i problemi maggiori ed anche dopo il decadimento del Cs-134 (emivita di 2,1 anni) nella metà degli anni 90, i livelli di Cs-137 (di più lunga vita) nei prodotti agricoli dalle aree più colpite possono ancora richiedere rimedi ambientali. Inoltre, lo Sr-90 poteva causare problemi nelle aree vicine al reattore, ma a distanze maggiori i livelli di deposito erano bassi. Altri radionuclidi, come gli isotopi del plutonio e l'Am-241, non causarono reali problemi in agricoltura, sia perché erano presenti a bassi livelli, sia perché erano poco assimilabili da parte delle radici dal terreno. In generale ci fu una sostanziale riduzione nel trasferimento di radionuclidi dai vegetali agli animali nei sistemi agricoli intensivi nei primi anni dopo il deposito come conseguenza delle condizioni atmosferiche, del decadimento fisico, della migrazione dei radionuclidi in profondità nel suolo, delle riduzioni di bio-disponibilità nel suolo ed infine grazie alle contromisure. Tuttavia, nell'ultimo decennio si è verificata una piccola ulteriore diminuzione pari al 3-7% all'anno. Il contenuto di radiocesio negli alimenti fu influenzato non solo dai livelli di deposito ma anche dal tipo di ecosistema e dal suolo, così come dalle pratiche di coltura. I problemi ancora esistenti nelle aree colpite si verificano nei sistemi agricoli estensivi caratterizzati da terreni con alto contenuto organico e con animali al pascolo in pasture non arate e non fertilizzate. Ciò colpisce particolarmente i residenti rurali nell'ex Unione Sovietica che sono comunemente agricoltori di sussistenza e che possiedono mucche al pascolo in proprio. A lungo termine il Cs-137 nel latte e nella carne e, in misura minore, negli alimenti vegetali e nei raccolti fornisce il contributo più importante alla dose interna alle persone. Poiché la concentrazione di radioattività del Cs-137 negli alimenti vegetali e animali è diminuita molto lentamente nell'ultimo decennio, il contributo relativo del Cs-137 alla dose interna continuerà a dominare nei decenni a venire. L'importanza dei radionuclidi a lunga vita, Sr-90, gli isotopi del plutonio e Am-241, rimarrà insignificante per la dose alle persone. Attualmente le concentrazioni di attività del Cs-137 nei prodotti alimentari agricoli dalle aree colpite dal *fallout* di Chernobyl sono generalmente al di sotto dei livelli di intervento nazionali e internazionali. Tuttavia, in alcune aree limitate con elevate contaminazioni da radionuclidi (parti delle regioni di Gomel e di Mogilev in Bielorussia e la regione di Bryansk in Russia) o con terreni con poco contenuto organico (le regioni di Zhytomir di Rovno in Ucraina), si può ancora produrre latte con concentrazioni di attività del Cs-137 che superano i livelli di intervento nazionali

pari a 100 Bq/kg. In queste aree, possono ancora essere giustificate contromisure e rimedi ambientali.

(.....)

• **Quali sono gli aspetti ambientali dello smantellamento del sarcofago (Shelter) e della gestione dei rifiuti radioattivi?**

La distruzione accidentale dell'unità 4 del reattore di Chernobyl causò la diffusione di un'enorme quantità di materiale radioattivo e di rifiuti radioattivi all'interno dell'unità, nel sito dell'impianto e nell'area circostante. La costruzione del sarcofago tra maggio e novembre 1986 per il contenimento ambientale del reattore distrutto, ridusse i livelli di radiazione ed evitò ulteriori rilasci di radionuclidi all'esterno. Il sarcofago fu eretto in breve tempo in condizioni di elevate esposizioni a radiazioni per il personale coinvolto. Le misure prese per accorciare i tempi di costruzione causarono dei difetti nel sarcofago e la mancanza di dati completi sulla stabilità delle strutture dell'unità 4 danneggiata. Inoltre, durante i quasi due decenni trascorsi dalla costruzione, gli elementi strutturali del sarcofago hanno subito un degrado a causa della corrosione dovuta all'umidità. Il principale rischio potenziale per il sarcofago è il collasso delle strutture superiori e il rilascio di polvere radioattiva nell'ambiente. Per evitare il collasso del sarcofago, sono pianificate delle azioni per rafforzare le strutture instabili.

Inoltre, è in programma un Nuovo Contenimento Sicuro (*New Safe Containment, NSC*) che dovrebbe funzionare per più di 100 anni come coperchio del sarcofago esistente. La costruzione del NSC potrebbe permettere lo smantellamento del sarcofago esistente, la rimozione della massa di combustibile altamente radioattivo (*Fuel Containing Mass, FCM*) dall'unità 4, ed infine il decommissioning del reattore danneggiato. Nel corso delle attività di riparazione sia nel sito del reattore nucleare di Chernobyl sia nelle sue vicinanze, furono generati grandi volumi di materiale radioattivo che furono collocati in depositi superficiali temporanei e in strutture di smaltimento. Tra il 1986 e il 1987 nella Zona di Esclusione furono create trincee e interramenti a distanze di 0,5-15 km dal reattore per evitare la diffusione di polveri, per ridurre i livelli di radiazione e permettere condizioni migliori di lavoro intorno all'unità 4 e nei dintorni. Queste strutture furono realizzate senza un'adeguata documentazione di progetto e senza barriere con adeguati progetti ingegneristici e quindi non soddisfano gli attuali requisiti di sicurezza per il deposito dei rifiuti. Durante gli anni successivi all'incidente furono impiegate grandi risorse per ottenere un'analisi sistematica ed una strategia accettabile per la gestione dei rifiuti radioattivi esistenti. Tuttavia, ad oggi non è stata ancora sviluppata una strategia largamente accettata per la gestione dei rifiuti radioattivi nell'impianto di Chernobyl e nella Zona di Esclusione, specialmente per i rifiuti ad alto livello di attività e per quelli a lunga vita. Si prevede che altri rifiuti radioattivi siano potenzialmente generati in Ucraina negli anni a venire durante la costruzione del NSC, il possibile smantellamento del sarcofago, la rimozione della FCM e il decommissioning dell'unità 4. Questi rifiuti dovranno essere smaltiti in modo appropriato.

(.....)

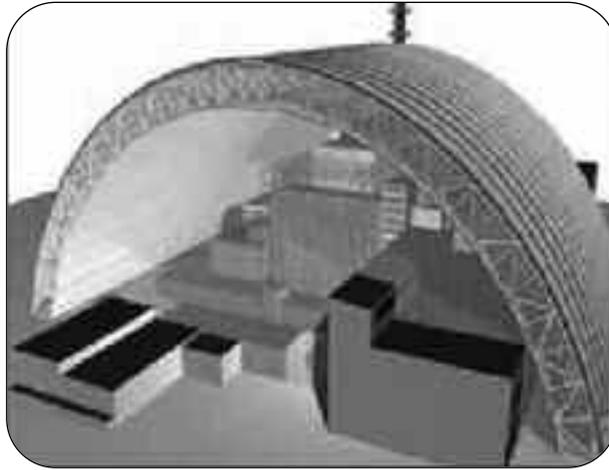


Figura 3
Il progetto di Nuovo Contenimento Sicuro (New Safe Containment, NSC) sul reattore distrutto di Chernobyl

L'impatto socio-economico dell'incidente nucleare di Chernobyl

• *Quale è stato il costo economico del disastro nucleare di Chernobyl?*

L'incidente nucleare di Chernobyl e le politiche adottate dai governi per gestirne le conseguenze hanno comportato costi enormi prima per l'Unione Sovietica e in seguito per Bielorussia, Federazione Russa e Ucraina. Sebbene questi Paesi abbiano sostenuto il peso maggiore, poiché la radiazione si diffuse fuori dai confini dell'Unione Sovietica anche altri Paesi (per es. la Scandinavia) hanno dovuto sostenere dei costi economici. I costi dell'incidente nucleare di Chernobyl possono essere valutati solo con un alto grado di approssimazione per via delle condizioni non di mercato al momento del disastro, l'alta inflazione e i tassi di scambio variabili nel periodo di transizione che seguì al crollo dell'Unione Sovietica nel 1991. Ciò nonostante, l'ordine di grandezza dell'impatto risulta chiaramente da un certo numero di stime da parte dei governi a partire dagli anni 1990, che valutano il costo dell'incidente in centinaia di miliardi di dollari in due decenni^{***}.

L'entità del carico risulta chiaramente dalla vasta gamma di costi verificatisi, sia diretti sia indiretti:

- i danni diretti causati dall'incidente;
- le spese dovute ad azioni mirate a sigillare il reattore e a mitigare le conseguenze nella Zona di Esclusione, il re-insediamento della popolazione e la costruzione di nuove case e infrastrutture, la previdenza e l'assistenza sanitaria fornita alla popolazione colpita, l'attività di ricerca sull'ambiente, la salute e la produzione di cibo pulito, il monitoraggio radiologico dell'ambiente, ed infine il recupero radio-ecologico degli insediamenti e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi;
- le perdite indirette relative al costo-opportunità di abbandonare i terreni agricoli e le foreste e di chiudere le strutture agricole e industriali;
- i costi-opportunità, compresi i costi aggiuntivi dell'energia per il venir meno del reattore nucleare di Chernobyl e la chiusura del programma nucleare in Bielorussia.

^{***} La Bielorussia, ad esempio, ha stimato perdite per 235 miliardi di dollari in 30 anni.

La gestione dell'impatto del disastro ha imposto un carico enorme sui bilanci nazionali. Ancora oggi in Ucraina il 5-7% della spesa statale va ogni anno in programmi o benefici collegati a Chernobyl. In Bielorussia, la spesa statale per Chernobyl ammontava al 22,3% del budget nazionale nel 1991, ed è diminuita gradualmente al 6,1% nel 2002. Si stima che la spesa totale in Bielorussia per Chernobyl tra il 1991 e il 2003 sia stata più di 13 miliardi di dollari. Questi costi enormi hanno causato un carico fiscale insostenibile, specialmente in Bielorussia e in Ucraina. Sebbene le spese ad alto investimento di capitale per i programmi di re-insediamento siano ormai concluse o limitate, si continua a pagare somme elevate per benefici sociali a 7 milioni di persone nei tre Paesi. Con risorse limitate, i governi affrontano così il compito di ottimizzare i programmi per Chernobyl per fornire un'assistenza più mirata, con un particolare riguardo ai gruppi che sono più a rischio dal punto di vista della salute o della condizione socio-economica.

(.....)

Bibliografia

1. Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO, 25 January 2002.
2. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Vienna, International Atomic Energy Agency, 2006, (Radiological Assessment Report Series, ISSN1020-6566) STI/PUB/1239, ISBN 92-0-114705-8.
3. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Health', Geneva, World Health Organization, 2006, ISBN 92 4 159417 9, (NLM classification: WN 620) ISBN 978 92 4 159417 2.
4. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, IAEA Division of Public Information, Vienna, Austria, April 2006, AEA/PI/A.87 Rev.2 / 06-09181.
5. <http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/>
6. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report: "SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION", <http://www.unscear.org/unscear/en/publications.html>
7. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2001: "HEREDITARY EFFECTS OF RADIATION", <http://www.unscear.org/unscear/en/publications.html>

Per informazioni:
batistoni@frascati.enea.it