

Un promemoria sugli incidenti nucleari

di Ettore Ruberti*

Tutti gli specialisti ed i tecnici conoscono quanto è effettivamente accaduto al quarto reattore di Chernobyl il 26 aprile 1986 e la dinamica di quanto verificatosi a Fukushima in seguito allo tsunami dell'11 marzo 2011, e malgrado i siti ufficiali delle più importanti organizzazioni internazionali (OMS, UNSCEAR, IAEA, ecc.) riportino con chiarezza i dati sugli eventi suddetti, gli articoli divulgativi spesso contengono notizie inesatte. Ritengo quindi utile riassumere

* Ricercatore dell'ENEA, Dipartimento FSN-FISS-SNI. Professore a contratto di Biologia generale e molecolare all'Università Ambrosiana. Direttore del Dipartimento di Biologia ed Ecologia di UNISRITA.

brevemente quanto è accaduto effettivamente a Chernobyl ed a Fukushima, anche se questa rivista ha già trattato estesamente l'argomento.

Chernobyl

Figlio della scelta di una tecnologia nata per fini militari in quanto adatta a produrre plutonio per testate nucleari, il reattore protagonista del drammatico incidente di Chernobyl era del tipo RBMK, acronimo dal russo *Reaktor Bolshoi Moshchnosti Kanalny* che significa "reattore di grande potenza a canali". Questo tipo di reattore era impiegato solo all'interno dell'Unione Sovietica (e nel 1986 l'Ucraina ne faceva ancora parte), mentre nei Paesi satelliti dell'URSS venivano utilizzati impianti di tipo VVER

(*Vodo-Vodyanoy Energetichesky Reaktor*) a bassa potenza, simili a quelli occidentali ad acqua pressurizzata.

Il reattore RBMK 1000, a tubi in pressione, moderato a grafite e refrigerato ad acqua leggera bollente, ha una potenza termica complessiva di 3200 MW termici che permettono di produrre 1000 MW elettrici.

Il disaccoppiamento delle funzioni di moderatore, affidate alla grafite, da quelle del refrigerante, affidate all'acqua leggera (che, contenendo idrogeno, funge anche da assorbitore di neutroni) può generare instabilità intrinseca, nel senso che alla mancanza d'acqua si accoppia un aumento della reattività del sistema (coefficiente di vuoto positivo). I reattori di tipo occidentale BWR (ad acqua bollente: *Boiled*

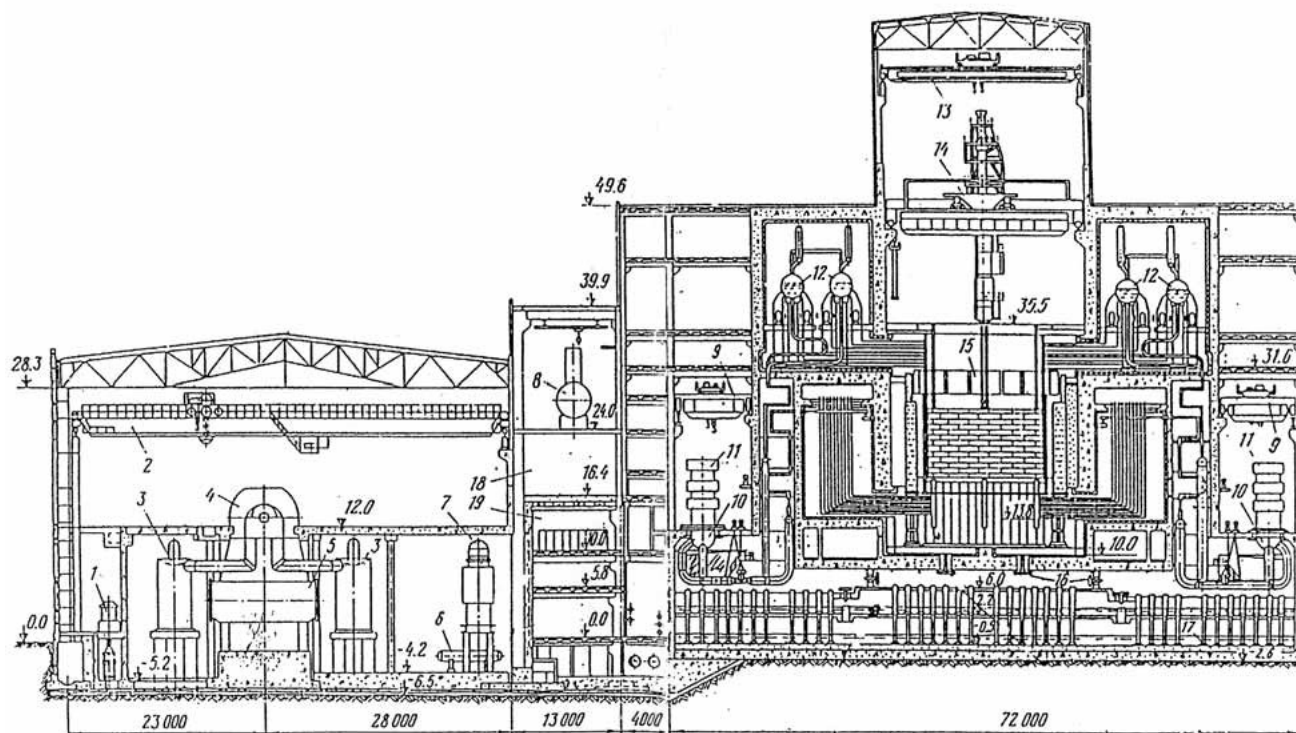


Figura 1, Vista in sezione di parte della centrale elettronucleare di Chernobyl. Nello schema è visibile il reattore, con la macchina di caricamento del combustibile, il sistema delle tubazioni, i separatori di vapore e le pompe di circolazione.

Water Reactor) e PWR (ad acqua pressurizzata: *Pressured Water Reactor*) affidano invece all'acqua entrambe le funzioni (moderazione e raffreddamento), tanto che in mancanza d'acqua la reazione nucleare si arresta.

L'erogatore di energia nucleare – o “nocciolo” – del reattore RBMK è costituito da un grande cilindro in blocchi di grafite che ha un diametro di 12 metri ed un'altezza di 7 metri. Nella matrice in grafite sono disposti, secondo un reticolo regolare, i canali per l'inserimento delle barre di controllo ed i canali di potenza, tubi in lega di zirconio nei quali sono contenuti gli elementi di combustibile (Figura 1).

Negli elementi di combustibile, costituiti da fasci di barrette cilindriche in lega di zirconio contenenti pastiglie (*pellets*) di biossido di uranio arricchito al 2%, ha luogo la reazione di fissione a catena dell'uranio con produzione di neutroni veloci e di calore.

L'acqua, spinta dalle pompe di circolazione, scorre nei canali di potenza dal basso verso l'alto alla pressione di circa 70 kg/cm², affluendo nel nocciolo alla temperatura di 270° C. Uscendo dal medesimo, l'acqua è inviata a quattro grandi separatori di vapore, dai quali la frazione liquida ritorna a fluire nei canali di potenza mediante le pompe di circolazione, mentre il vapore è convogliato ad azionare due gruppi turbina-alternatore da 500 MWe ciascuno. Il vapore esausto scaricato dalle turbine viene condensato e l'acqua risultante, preriscaldata, è rinviata al separatore di vapore tramite le pompe di alimento.

Quando il reattore è a regime la grafite ha una temperatura media di 600°C e punte di 700°C, valori inspiegabilmente elevati in quanto superiori alla soglia di reazione aria-carbonio e prossimi alla soglia di reazione acqua-carbonio. Le caratteristiche costruttive di questo tipo di reattore rendono possibile il ricambio degli elementi combustibili con il reattore in funzione, attraverso una gigantesca macchina di carico e scarico alta 35 metri ubi-

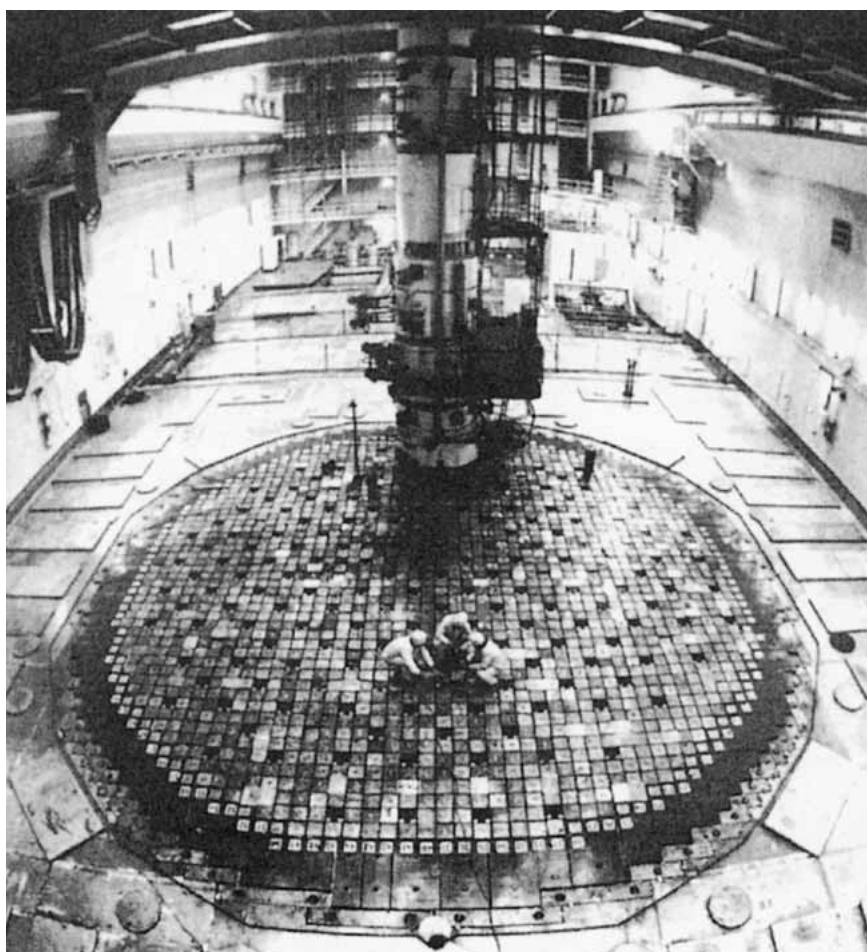


Figura 2, Piastra superiore del reattore RBMK

cata nella *hall* superiore del reattore. Tale *hall* è coperta da una struttura a capriata, che ovviamente non può essere considerata un sistema di contenimento (Figura 1).

Al contrario, le centrali occidentali dispongono di un edificio di contenimento formato da strati di cemento al boro ed acciaio ed in condizione di resistere anche alla caduta di un aereo o ad un terremoto.

Quanto avvenuto nella notte fra il 25 ed il 26 aprile 1986 all'unità 4 della centrale nucleare di Chernobyl accadde nel corso di un esperimento (gli specialisti parlano infatti di “esperimento di Chernobyl”) volto a verificare la possibilità di alimentare i sistemi di sicurezza durante il rallentamento del turbogeneratore successivo al distacco dalla rete. Tale prova fu affidata ad un tecnico non specializzato. Inoltre, durante la fase sia

preparatoria dell'esperimento che nel corso della sua realizzazione furono commessi numerosi errori di manovra e gravi violazioni a precise norme procedurali.

Va comunque chiarito che, malgrado gli errori di manovra e la volontà di terminare l'esperimento siano stati le cause iniziali del disastro, lo svilupparsi in maniera incontrollabile e le gravissime conseguenze di questo furono dovute alle caratteristiche di instabilità intrinseca a questa tipologia di reattore – particolarmente a bassa potenza – determinata da un elevato coefficiente positivo di reattività e dalla mancanza di un edificio di contenimento.

Il reattore era stato portato ad una situazione di massima instabilità in quanto le barre di controllo non erano nella loro posizione prescritta (cioè 6-8 barre inserite contro il numero minimo di 30 previ-

sto); d'altra parte, in tutto il circuito di raffreddamento si erano determinate condizioni prossime alla saturazione.

L'improvviso arresto di quattro pompe di circolazione nel momento di attuazione dell'esperimento determinò una produzione di vapore molto rapida e, conseguentemente, un fulmineo aumento di potenza del reattore dovuto alla sua instabilità intrinseca (coefficiente di vuoto positivo).

La produzione di vapore in alcune zone del nocciolo causò l'introduzione di una forte quantità di reattività positiva, tale da portare il reattore "pronto critico" alla rottura di alcuni canali di raffreddamento ed a far sbalzare di posizione la piastra-schermo superiore (figura 2). Quest'ultimo evento, in seguito documentato dalle fotografie scattate dagli elicotteri, impedì alle barre di controllo di inserirsi e, tranciando tutti i canali di potenza, generò una nuova iniezione di reattività. In seguito ad una serie di reazioni chimiche esplosive si verificarono distruzioni delle strutture del reattore, l'espulsione di blocchi di grafite e di pezzi di combustibile, l'innesco di una serie di incendi nell'area degli edifici di centrale e l'incendio della grafite del reattore esploso. La combustione della grafite (ne bruciò il 10%) produsse una colonna di fumo che si elevò fino a 1200 metri di quota, dove i venti, sempre presenti a quelle altezze, contribuirono a disperdere la radioattività sull'Europa.

Fukushima

Vediamo di riassumere quanto accaduto a Fukushima, quali danni lo tsunami abbia provocato e quali sono state le conseguenze. È necessario conoscere che cosa sia uno tsunami: al centro degli oceani si ergono le dorsali medio oceaniche, lunghissime catene da cui erutta continuamente nuovo magma (roccia fusa) che "spinge" sotto i continenti il fondo oceanico, fenomeno (qui descritto molto semplicemente a scopo didattico) che viene definito subduzione della lito-



Figura 3, Esempio degli immani danni causati dallo tsunami dell'11 marzo 2011.

sfera (esistono anche altre modalità di subduzione, ma questo esula da quanto qui discusso). Come nel caso dei terremoti, causati dalla dislocazione delle zolle (deriva dei continenti), spesso l'attrito fra le masse accumula energia che si libera attraverso onde d'urto. Quando l'onda d'urto si verifica sott'acqua, si forma un'onda di dimensioni rilevanti (tsunami). Come nel caso dei terremoti, sappiamo dove possono verificarsi, ma non quando. Basandosi sui dati storici elaborati statisticamente, i giapponesi avevano eretto barriere alte fino a sedici metri, l'onda è stata più alta (con altezza variabile a seconda

della costa, in alcuni golfi fino 24-30 metri). Ciò ha causato un disastro significativo (Figura 3): il numero di morti e dispersi rasenta i 30.000, è scoppiata una diga per l'aumento improvviso della pressione, provocando la maggior parte di morti e dispersi, sono esplose due centrali turbogas, è bruciata una raffineria (ricordate il fumo nero che era possibile vedere nei telegiornali). Nell'area della centrale di Fukushima Daiichi era stata realizzata una barriera alta 6,5 metri, l'onda di tsunami è stata di circa 14 metri; 4 reattori nucleari si trovavano su un terrapieno di 10 metri, altri 2 su un terrapieno alto

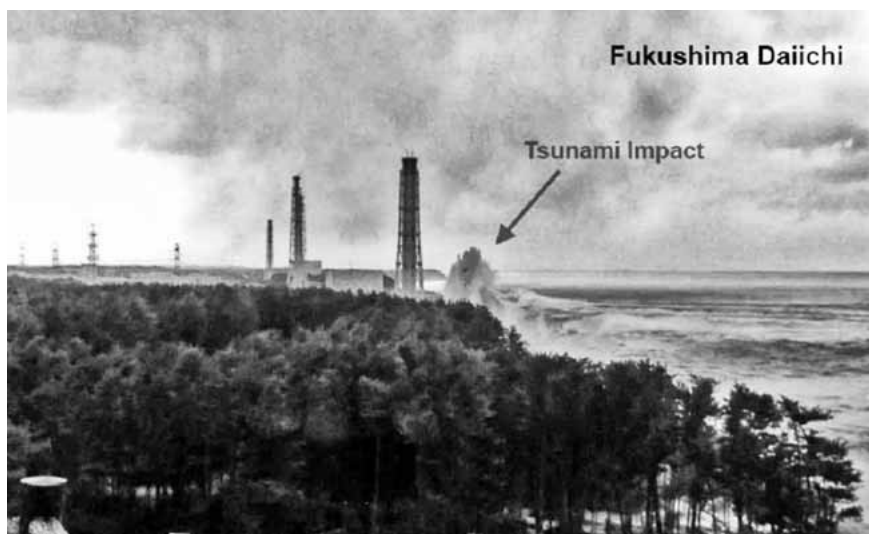


Figura 4, L'onda dello tsunami colpisce la centrale.

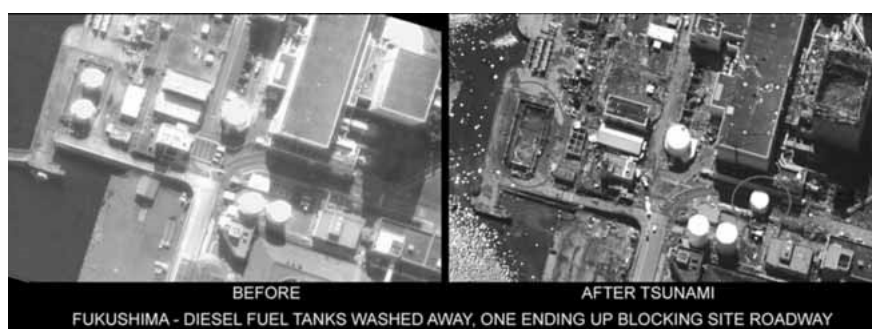


Figura 5 e 5a, I grandi serbatoi di gasolio sono spazzati via e spostati a decine di metri di distanza

13 metri (Figura 4). I reattori nucleari, come previsto dal progetto, si sono spenti in 20 (venti) secondi; i reattori 4, 5 e 6 erano già spenti per manutenzione. A questo punto la circolazione dell'acqua di raffreddamento doveva essere garantita dai generatori di emergenza, alimentati da motori diesel ma quelli ubicati sotto il livello raggiunto dall'acqua sono stati resi inattivi da questa che li ha sommersi. I generatori ubicati al di sopra del livello raggiunto dall'acqua hanno funzionato regolarmente, ma lo tsunami ha travolto i grandi serbatoi di gasolio, oltre a distruggere tutti i collegamenti con la rete elettrica (Figura 5, 5a e 6). Nei reattori 1, 2 e 3, ormai privi del raffreddamento di emergenza, la tempe-

ratura è salita fino a 900-1000 gradi e le barre di zircalloy (la lega di cui sono fatti gli elementi di combustibile contenitori del pellet radioattivo di uranio e plutonio, che continuava ad emettere prodotti di decadimento), hanno iniziato ad ossidarsi liberando grandi quantità di idrogeno. In condizioni normali l'acqua si scinde in idrogeno ed ossigeno a 3500 gradi ma, in presenza del catalizzatore zirconio, la scissione è avvenuta alla temperatura appunto di 800 gradi. Per contenere l'aumento della pressione nel contenitore del nocciolo dei reattori i tecnici hanno deciso di liberare il vapore contenente idrogeno ed anche i prodotti di fissione più volatili. L'idrogeno è 14,4 volte più leggero dell'aria e in condizio-

ni normali si sarebbe disperso ma in questo caso si è raccolto nella parte superiore degli edifici dei reattori, dove si è ricombinato con l'ossigeno. Come sappiamo già dai tempi del liceo, quando tale ricombinazione avviene sopra i 550 gradi, si verifica in maniera esplosiva, infatti si parla di gas tonante. Le esplosioni che si sono verificate, sono state dunque esplosioni chimiche e non nucleari (Figure 7, 7a e 8). Questo ha portato alla distruzione della parte superiore degli edifici 1, 3 e 4 ed alla liberazione di una nube radioattiva che ha reso critica una zona di circa 22 km di diametro. La nube si è espansa sopra l'Oceano Pacifico, verso il Nord America e l'Atlantico. Il massimo registrato in Italia, misurato presso il Centro Ricerche Ambiente Marino dell'ENEA (Pozzuolo di Leri SP), è stato di un quinto della radiazione di fondo che ci colpisce ogni giorno. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), nella zona dei 22 km, gli effetti a lungo termine (neoplasie) imputabili alle dosi ricevute risultano non rilevabili rispetto alle fluttuazioni statistiche di "fondo" delle patologie oncologiche. Tra gli oltre 33mila lavoratori della centrale ed impegnati a Fukushima nei mesi successivi all'incidente, non sono stati registrati casi di sindrome acuta da radiazioni; vi è un rischio ipotetico di tiroiditi autoimmuni ed ipotiroidismo in 13 lavoratori con elevata esposizione alla tiroide; sono assenti i rischi di patologie cardiovascolari da radiazioni (forse da stress). Ad oggi nessun caso di neoplasia imputabile a radiazioni si è verificato; tra i 174 lavoratori esposti a più di 100 mSv (il doppio di quanto è consentito in un anno dalla normativa), potrebbe esserci un rischio, ma è difficilmente correlabile (Tabella 1).

Per quanto concerne il riversamento in mare, causato in gran



Figura 6, La distruzione della rete elettrica.

¹ Ossia il riversamento in mare, praticato fino ad alcuni anni fa, dei liquidi di scarto provenienti dalle centrali inglesi, dalle coste della cittadina di Southampton.

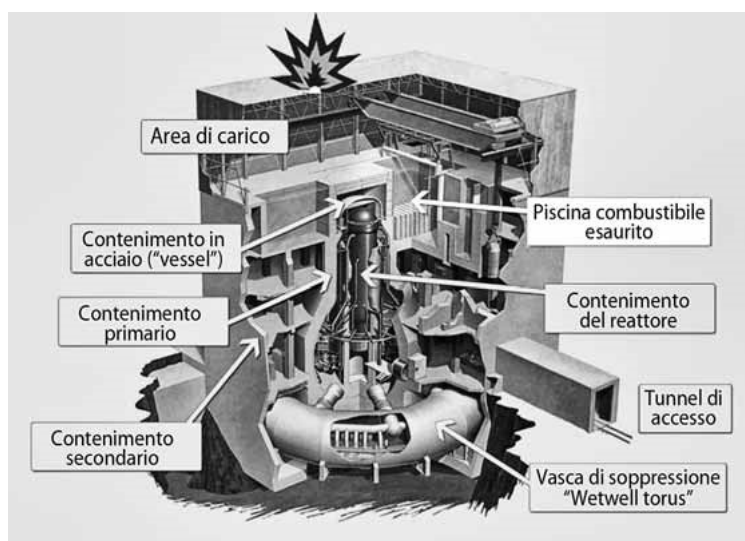
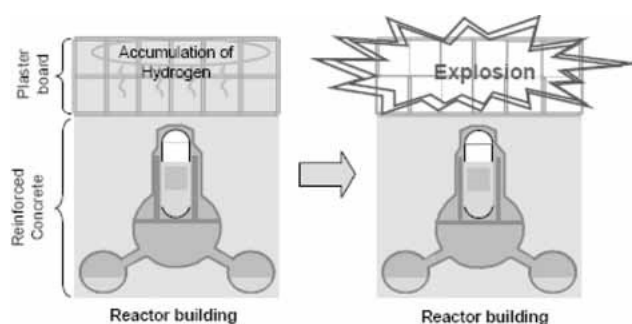


Figura 7 e 7a, Schema del reattore BWR, con indicata l'area dell'edificio ove è avvenuta la ricombinazione esplosiva dell'idrogeno.



parte da errori della TEPCO (ossia la società che gestisce gli impianti), la quantità di liquidi radioattivi corrisponde a quella riversata ogni anno a Southampton (il cosiddetto dumping¹), ossia 60mila tonnellate di acqua. Considerando che espressi in volume sono 60mila metri cubi di acqua, se divisi in contenitori di 2m di altezza occuperebbero non molto di più di 3 ettari. Per confronto l'Oceano Pacifico occupa un terzo del Pianeta come superficie ed ha una profondità media di 4000 metri.

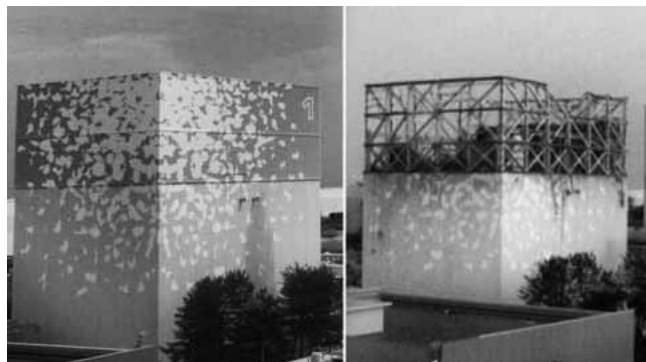


Figura 8, La parte superiore dell'edificio di uno dei reattori, prima e dopo l'esplosione.

Per quanto i danni nei pressi delle coste della regione di Fukushima siano stati significativi, e dove le perdite continue impediscono la pesca e l'allevamento, l'acqua radioattiva si disperde nell'oceano Pacifico; qualunque notizia di oceani contaminati e radiazione che giunge sino in America, con tonni e salmoni radioattivi è completamente falsa: l'aumento di radioattività nell'oceano è trascurabile ed inferiore alla radioattività del carbonio 14 e potassio 40 naturalmente presenti in mare. Anche considerando solo la regione in prossimità delle coste della Prefettura di Fukushima, le perdite dei reattori ammontano a meno di una parte su 100mila della radioattività presente.

È vero che alcuni reattori si sono fusi parzialmente, ma i danni, sia pur relevantissimi, sono confinati all'interno degli impianti.

In conclusione, mi sembra il caso di sottolineare che, specialmente nel caso di Fukushima, per rispondere allo stato di ansia della popolazione, addirittura di vero terrore delle radiazioni, in questo fomentata dai mass media, si sono estese le norme di sicurezza, rendendo illegali quantità di radiazioni al di sotto della soglia del pericolo, spostando forzatamente una parte della popolazione stessa. Ciò ha causato stati di ansia tra i cittadini allontanati per lunghi periodi dalle loro abitazioni ed ha provocato malattie psicosomatiche e morti da depressione e da stress nella parte più sensibile della popolazione, ossia anziani e persone affette patologie, a causa di un meccanismo che gli psicologi definiscono da rafforzamento.

Effective dose (E) mSv	March 2011-March 2014		
	TEPCO	Contractors	Total
250<E	6	0	6
200<E≤250	1	2	3
150<E≤200	25	2	27
100<E≤150	118	20	138
75<E≤100	266	129	395
50<E≤75	319	948	1,267
20<E≤50	615	4,454	5,069
10<E≤20	551	4,157	4,708
5<E≤10	444	3,899	4,343
1<E≤5	725	7,271	7,996
E≤1	1,068	8,240	9,308
Total	4,138	29,122	33,260
Maximum (mSv)	678.80	238.42	678.80
Average (mSv)	23.64	11.01	12.59

Tabella 1, La dose efficace di radiazioni ricevuta dai lavoratori (Cumulative Effective Dose, Internal and External)