

Ipotesi di sequenza incidentale

Alle 14:46 ora locale (06:46 ora di Roma) dell'11 marzo 2011 si è verificato nel nord del Giappone un terremoto di magnitudo 9,0 della scala Richter (30.000 volte più potente di quello che rase al suolo L'Aquila), con epicentro localizzato nel Pacifico, 130 km a est della costa dell'isola di Honshu.

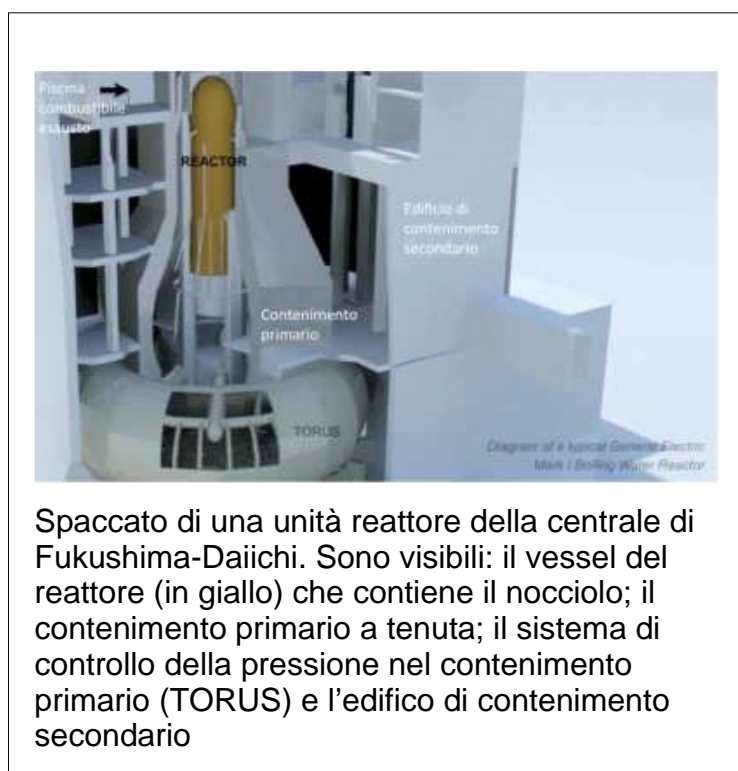
L'evento è stato seguito da uno sciame sismico di assestamento che ha coinvolto tutta la regione settentrionale giapponese con scosse di rilevante intensità, spesso al di sopra di magnitudo 6 della scala Richter.

All'evento principale ha fatto seguito uno tsunami, che raggiunto un'altezza massima misurata di 7,2 m. I tempi di arrivo delle onde dello tsunami sono stati da 30 a 50 min dall'evento sismico e, quindi, dall'allarme.

In seguito all'evento sismico principale, i sistemi di protezione normalmente presenti in tutte le centrali nucleari hanno comandato lo spegnimento automatico di 11 dei 54 reattori installati in Giappone. La reazione di fissione a catena è stata dunque interrotta in tutti i reattori interessati dal sisma e tale è rimasta anche nelle successive fasi.

Le centrali che si sono automaticamente fermate sono:

- centrale di Onagawa (reattori n. 1, 2, 3)
- centrale di Fukushima-Daiichi (reattori n. 1, 2, 3)
- centrale di Fukushima-Daini (reattori n. 1, 2, 3, 4)
- centrale di Tokai (reattore unico).



Le altre 3 unità (n. 4, 5 e 6) della centrale di Fukushima-Daiichi al momento del sisma erano in arresto freddo per ispezioni periodiche programmate.

Gli altri reattori giapponesi in aree lontane dal sisma hanno conservato lo stato (esercizio o fermata) in cui si trovavano immediatamente prima del sisma, in quanto l'accelerazione al suolo a livello locale non è stata tale da comandarne lo spegnimento automatico.

Per comprendere l'evoluzione degli incidenti nucleari avvenuti in alcuni dei reattori del sito di Fukushima occorre sapere che **in qualsiasi impianto nucleare a**

fissione, anche a seguito dello spegnimento della reazione a catena, continua a

prodursi energia termica nel nocciolo del reattore per via del calore derivante dal decadimento radioattivo dei prodotti di fissione.

Nella fase successiva all'inserimento delle barre di controllo e allo spegnimento del reattore, la potenza termica è di circa il 7% della potenza a funzionamento nominale e che essa diminuisce nel tempo con andamento esponenziale. Dopo circa un'ora la potenza si riduce all'1% di quella in esercizio. Dato che gli impianti interessati dal sisma hanno una potenza termica variabile da 1300 a 2400 MW a seconda dell'unità, dopo un'ora dallo spegnimento la potenza termica era ancora da 10 a 20 MW circa. A 11 giorni dall'evento, si stima una potenza termica nel nocciolo da 4 a 7 MW a seconda dell'unità interessata.

Tale calore deve essere smaltito, altrimenti la temperatura del combustibile sale fino a provocare il danneggiamento del nocciolo e il conseguente rilascio dei prodotti di fissione nel circuito primario del reattore. Si precisa comunque che, anche in questa evenienza estrema, fintanto che viene garantita l'integrità del contenitore in pressione (cosiddetto vessel), all'interno del quale è posto il nocciolo, e del contenimento primario esterno al vessel, non c'è rischio di rilascio di materiale radioattivo all'esterno della centrale.

Per smaltire il calore di decadimento è necessario raffreddare costantemente gli elementi di combustibile all'interno del vessel, assicurando un'adeguata portata d'acqua all'interno del circuito primario del reattore fino al raggiungimento della cosiddetta condizione di "arresto freddo". In questa situazione il nocciolo del reattore è completamente allagato e la temperatura dell'acqua è sufficientemente al di sotto della temperatura di saturazione anche con sistema depressurizzato. In altre parole, l'arresto freddo è una configurazione stabile del reattore.

Nelle unità 1, 2, 3 della centrale di Fukushima-Daiichi e nelle quattro unità della centrale di Fukushima-Daini si sono verificati, in tempi diversi, eventi incidentali durante la fase di asportazione del calore residuo di decadimento. La sequenza incidentale è stata, sostanzialmente, la stessa ma con esiti diversi.





Foto aeree del sito di Fukushima-Daiichi dove sono visibili gli edifici reattore delle Unità 1, 2, 3 e 4 (danneggiati) e delle Unità 5 e 6 (non danneggiati) nonché l'edificio con il deposito temporaneo a umido a lungo termine degli elementi di combustibile esausti

Nella **centrale Fukushima-Daiichi**, l'incidente è stato di durata ed entità limitata. Infatti, grazie al ripristino della rete elettrica, è stato possibile far fronte – in tempi relativamente brevi - alla rimozione del calore di decadimento nei reattori e portare questi ultimi in una situazione di sicurezza. L'evento occorso alle unità 1, 2, 4 (dovuto alla perdita delle pompe del circuito di asportazione del calore verso l'acqua di mare a causa dello tsunami) è stato classificato secondo la Scala INES al livello 3 (guasto grave). Il reattore numero 3 non ha accusato disfunzioni ed è stato, pertanto, portato in sicurezza prima e più facilmente degli altri.

Nell'**impianto Fukushima-Daiichi** erano in funzione al momento del sisma le unità 1, 2 e 3. I reattori si sono spenti automaticamente per inserimento automatico delle barre di controllo.

I problemi sono inizialmente insorti nell'unità 1 nella fase di rimozione del calore di decadimento che doveva essere garantita a seguito dell'avvenuto spegnimento automatico, ma la stessa sequenza incidentale può essere presa a riferimento anche per le altre due unità con una tempistica ed effetti leggermente differenti.

Il sistema di alimentazione elettrica della centrale è andato fuori servizio presumibilmente a causa dello tsunami che ha spazzato via le linee elettriche; di conseguenza, come previsto dalle procedure, sono correttamente entrati in funzione i diesel di emergenza che hanno fornito la necessaria alimentazione elettrica alle pompe dei sistemi attivi di raffreddamento del nocciolo.

Dopo circa un'ora, i diesel hanno cessato di funzionare a causa di danneggiamenti dovuti allo tsunami (da quanto è dato sapere è venuto a mancare il combustibile di alimentazione dei motori). Sempre a causa dello tsunami la rete di distribuzione

elettrica non era più disponibile e le vie di comunicazione al sito non erano più praticabili.

L'operatore degli impianti, TEPCO – Tokyo Electric Power Company, ha notificato immediatamente all'Agenzia di Sicurezza Nucleare e al Governo giapponese la situazione di emergenza per prendere eventuali misure di sicurezza.

Sono trascorse ore senza sufficiente alimentazione di acqua al nocciolo del reattore e, a causa dell'evaporazione, il livello dell'acqua si è abbassato provocando un danneggiamento del nocciolo e la formazione di idrogeno dovuta ad una reazione chimica tra il vapore e il metallo ad alta temperatura del rivestimento delle barre di combustibile.

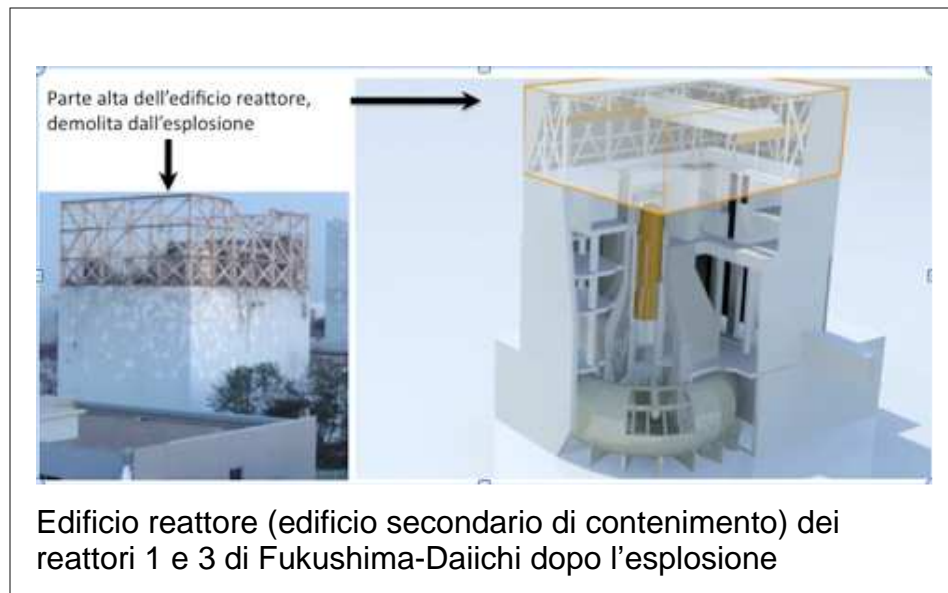
Per evitare un'eccessiva pressione nel vessel, è stato autorizzato un rilascio controllato di vapore, contenente idrogeno, nella zona compresa fra vessel e contenimento primario. Il successivo aumento di pressione anche in questo ambiente ha imposto lo scarico del vapore nell'edificio reattore (l'edificio cubico di colore azzurro, non a tenuta, visibile nelle immagini televisive). Si tratta di acqua che, essendo passata nel nocciolo del reattore, è radioattiva. Il vapore rilasciato (contenente – come già detto – idrogeno) è stato peraltro filtrato per trattenere le radiazioni all'interno del contenimento del reattore.

A questo punto, la dinamica cambia nei tre reattori.

Nei reattori 1 e 3 l'idrogeno nell'edificio reattore, venuto a contatto con l'aria, in tempi diversi nelle due unità, è esploso causando il collasso del tetto dell'edificio reattore (come ripreso dalle telecamere al di fuori del sito nucleare, vedi anche figura).

È importante sottolineare che l'evenienza di una esplosione di idrogeno nell'edificio reattore era stata prevista in fase di progetto: per questo motivo, il tetto e le pareti laterali dei piani superiori dell'edificio reattore erano stati concepiti come "sacrificiali", appositamente cedevoli per attenuare l'onda d'urto sulle strutture sottostanti.

Nel frattempo erano stati portati nel sito e messi in funzione generatori diesel mobili che hanno permesso di pompare acqua nel circuito primario e ristabilire la quantità di acqua necessaria all'interno del



vessel. Per continuare ad assicurare il raffreddamento del reattore è stato poi deciso di iniettare acqua del mare all'interno del vessel attraverso un sistema ausiliario del reattore (sistema anti incendio). Secondo le dichiarazioni di TEPCO le esplosioni in entrambe le unità (1 e 3) non hanno danneggiato il vessel del reattore ed il contenimento primario; pertanto, le conseguenze radiologiche all'esterno di queste unità sono assai limitate.

La sequenza incidentale iniziale del reattore 2 di Fukushima-Daiichi è stata del tutto simile a quella delle unità 1 e 3, ma l'evoluzione successiva è stata diversa. Anche in questo caso, a seguito del black-out di centrale e dell'arresto dei diesel di emergenza, i sistemi di emergenza non sono stati più in grado di iniettare acqua nel vessel del reattore. Il raffreddamento degli elementi di combustibile è venuto a mancare, con probabile rilevante danneggiamento del nocciolo e produzione di idrogeno, per mancanza di ripristino dell'acqua del circuito primario, nonostante fosse stata avviata l'iniezione di acqua di mare in analogia a quanto fatto nelle altre 2 unità. Un aumento di pressione nel circuito primario ha quindi impedito di continuare con questa procedura per cui si è reso necessario scaricare il vapore e l'idrogeno contenuti nel circuito primario all'interno del contenimento primario.

L'entità dello sfiato dal vessel al contenimento primario è stata tale da provocarne una parziale rottura nella parte bassa toroidale (piscina di soppressione del vapore), con una fuoriuscita incontrollata di vapore radioattivo nell'edificio reattore e, da lì, all'ambiente esterno. Dalla medesima apertura della piscina di soppressione del vapore è anche fuoriuscita l'acqua altamente radioattiva che ha allagato i locali dell'adiacente edificio turbina, connesso da un corridoio all'edificio reattore.

A queste operazioni di sfiato sono imputabili i maggiori rilasci radioattivi dai tre reattori, come dimostrato dalla sequenza temporale dei picchi delle misure di radioattività ambientale, costantemente monitorata dagli organismi nazionali ed internazionali di controllo. Proprio in conseguenza di questi eventi, il primo ministro Naoto Kan ha diramato, in via cautelativa, dapprima un ordine di evacuazione degli abitanti che vivono in un raggio di 2 chilometri dalla centrale, per poi estendere progressivamente la zona di evacuazione ad un raggio di 3, 10 ed infine 20 chilometri.

Altro evento, che ha concorso all'aggravarsi del panorama incidentale, è stato originato dalla mancata **refrigerazione degli elementi di combustibile esausti** (irraggiati dal nocciolo) che vengono stoccati per tempi relativamente brevi nelle piscine presenti sul piano di carico/scarico di ciascuna unità. Le piscine sono necessarie per il caricamento del combustibile fresco e lo scaricamento del materiale irraggiato dal nocciolo. Tutte queste operazioni devono avvenire con elementi completamente immersi per motivi di refrigerazione e schermaggio da radiazioni. Gli elementi esausti vengono lasciati per un certo periodo in piscina per permettere il decadimento degli isotopi radioattivi a più breve vita. Anche le piscine hanno bisogno di un continuo ricircolo di acqua per asportare il calore generato dal decadimento. Se questa funzione viene a mancare, gli elementi di combustibile si possono surriscaldare e fino a determinare le condizioni per una reazione chimica acqua-zirconio con produzione di idrogeno che, in determinate condizioni, può dar luogo ad esplosioni.

Alle 6 del mattino (ora locale) del 15 marzo una forte esplosione si è verificata all'interno dell'edificio reattore dell'unità 4 di Fukushima-Daiichi, provocando un incendio. La stessa sequenza sembra essersi determinata anche 24 ore dopo nella mattina del 16 marzo. Secondo il Japan Atomic Information Forum l'esplosione sembra essere stata provocata dalla deflagrazione dell'idrogeno generato dal combustibile esausto presente nella piscina di stoccaggio all'interno dell'edificio reattore. La lunga mancanza di energia elettrica nell'impianto ha, infatti, impedito il corretto raffreddamento del combustibile stoccato. Dalle notizie di agenzia sembra che la piscina si sia danneggiata e si ipotizza una perdita di refrigerante radioattivo nell'edificio reattore. Si ipotizza altresì che tale radioattività possa essere stata rilasciata all'ambiente attraverso l'edificio danneggiato.

Analogo problema si è verificato alle 8:34 locali del 16 marzo nella piscina di stoccaggio del combustibile del reattore 3 di Fukushima-Daiichi.

Nelle fasi successive, l'**obbiettivo principale degli operatori** è stato di continuare ad iniettare acqua di mare nei vessel e nei contenimenti dei reattori 1, 2 e 3 per permettere l'asportazione di calore di decadimento dal nocciolo. Inoltre, con lanci di acqua effettuati con elicotteri e getti d'acqua da terra con speciali automezzi, si è cercato di ripristinare il livello e la temperatura dell'acqua delle piscine di stoccaggio dei reattori 1, 3 e 4 (la parte superiore degli edifici reattori di queste tre unità è praticamente scoperta e quindi è possibile riversare acqua dall'alto nelle piscine). I livelli di radiazione, sebbene non così elevati da causare un danno immediato alla salute umana, hanno comunque rallentato il susseguirsi delle suddette operazioni.

Nel frattempo è stata ripristinata una linea di alimentazione elettrica proveniente da una vicina centrale elettrica, per l'unità 2, non appena terminati i necessari controlli di impianto (funzionalità delle pompe, ecc.). Per le unità 3 e 4 si sta ancora operando per il ripristino della fornitura elettrica esterna. Anche questa operazione è rallentata dai livelli di radiazione della zona.

In un primo momento gli incidenti nucleari alle varie unità del sito di Fukushima-Daiichi erano stati classificati dalla Autorità di sicurezza nucleare giapponese (NISA) al livello 4.

In seguito la classificazione ufficiale degli incidenti nei vari reattori di Fukushima è stata la seguente:

- Reattori 1, 2 e 3 di Fukushima-Daiichi: livello 5
- Reattore 4 di Fukushima-Daiichi e reattori 1, 2 e 4 di Fukushima-Daini: livello 3.

Il 12 aprile l'Agenzia giapponese per la sicurezza industriale e nucleare (NISA, Nuclear and Industrial Safety Agency) ha reso nota una nuova valutazione provvisoria dell'incidente, che è stato classificato di Livello 7. La nuova valutazione considera gli incidenti accaduti alle Unità 1, 2 e 3 come evento unico sulla scala INES ed è basata dalla stima della quantità totale di radioattività rilasciata nell'ambiente dalla centrale nucleare. Il Livello 3 della scala INES assegnato all'incidente nell'Unità 4 è stato confermato.

Per comprendere meglio, consultare la pagina: [Gli impianti nucleari di Fukushima](#)

Per approfondimenti tecnici si rimanda al Rapporto Tecnico: [Conseguenze del terremoto Tohoku-Taiheiyu-Oki sugli impianti nucleari giapponesi. Ipotesi di ricostruzione della sequenza incidentale](#)

Pagina aggiornata al 12 aprile 2011