

Lezioni dal corso di  
***'Gestione degli impianti di conversione  
dell'energia'***

Università Federico II di Napoli  
08/05/2012

# **INCIDENTI NUCLEARI DI THREE MILE ISLAND E CHERNOBYL**

# Classificazione degli incidenti nucleari

La scala INES (International Nuclear Event Scale) consente di classificare la gravità di un incidente nucleare secondo una crescente compresa tra 0 a 7.

La scala INES permette di suddividere gli eventi in guasti (da 1 a 3) o incidenti (da 4 a 7). Si parla di incidenti in presenza di eventi con danni significativi a cose e persone, mentre i guasti sono correlati a danni di poco conto a cose e persone.

Infine, al livello 0 trovano posto le deviazioni ovvero gli eventi che non determinano problemi alla sicurezza dell'impianto.

Nella scala INES la differenza di gravità tra i livelli è logaritmica in base dieci. Un evento di classe 6 è 1.000 volte più grave di uno di classe 3.

# La classificazione INES

1. Anomalia
2. Guasto
3. Guasto grave
4. Incidente senza conseguenze significative all'esterno dell'impianto
5. Incidente con possibili conseguenze all'esterno dell'impianto
6. Incidente grave
7. Incidente molto grave

# Gli incidenti nucleari accaduti

In ordine, i principali sono:

- 1957, Kyshtym (URSS), scala INES 6
- 1957, Sellafield (Gran Bretagna), scala INES 5
- 1979, THREE MILE ISLAND (USA), scala INES 5
- 1986, CHERNOBYL (URSS), scala INES 7
- 1999, Tokaimura (GIAPPONE, 1999), scala INES 4
- 2011, FUKUSHIMA (GIAPPONE), INES 7\*

\*: valutazione provvisoria

# THREE MILE ISLAND /1

L'impianto di Three Mile Island era costituito da 2 reattori (TMI-1 e TMI-2) del tipo PWR per una potenza complessiva di  $1.700 \text{ MW}_e$ .

L'incidente inizia alle ore 04.30 del 28/03/1979, quando a causa di un'avaria sul circuito secondario del generatore di vapore (GV) di TMI-2 il reattore sale di temperatura per mancata refrigerazione; in 8 s è avviato lo spegnimento rapido e la pressione viene fatta scendere mediante l'apertura di una valvola di sfiato.

Dopo 13 s la valvola di sfiato dovrebbe chiudersi, ma a causa di un malfunzionamento meccanico rimane aperta continuando a far fuoriuscire refrigerante.

## THREE MILE ISLAND /2

Dopo 14 s partono le pompe di riserva del secondario del GV. Gli operatori, però, non si accorgono che due valvole sono chiuse per ben 8 minuti non circola alcunché.

Contemporaneamente, il reattore continua a perdere acqua e, comunque, non viene refrigerato per mancanza di circolazione nel secondario del GV.

Dopo 2 min, intervengono i sistemi di raffreddamento di emergenza che allagano il nocciolo. Ma nonostante l'elevato livello del liquido, la pressione continua a scendere a causa della perdita e l'acqua inizia a vaporizzare.

Dopo 60 min le pompe di circolazione iniziano a vibrare per l'eccessiva presenza di vapore ed occorre disattivarle. La temperatura nel nocciolo continua a salire.

# THREE MILE ISLAND /3

Dopo 90 min iniziano a suonare gli allarmi per eccessiva radioattività nel contenitore primario, segno che è iniziato il danneggiamento del nocciolo con rottura della guaina protettiva delle barre di combustibile.

Dopo 3 h è proclamata l'emergenza generale.

Dopo 10 h si verifica un'esplosione nel contenitore primario dovuto alla detonazione dell'idrogeno che si è generato dalla reazione dello zirconio delle guaine del combustibile con l'acqua refrigerante.

Dopo 16 h, finalmente gli operatori si accorgono che la valvola di sfogo è rimasta aperte e finalmente provvedono a chiuderla, attivando nuovamente i sistemi di emergenza.

## Conseguenze

Durante le 16 ore dell'incidente, la parte superiore del nocciolo è rimasta scoperta raggiungendo temperature superiori ai 2.000 °C.

Nel 1984 è stato aperto il vessel e, grazia all'ausilio di una piccola videocamera, sono constatati visivamente i danni nella parte superiore del nocciolo, nonché i frammenti di materiale che si sono depositati sul fondo.

L'impatto sanitario è stato minimo perché all'esterno è stata misurata al massimo una dose assorbita di 0,8 mSv (confrontabile con il fondo naturale di radioattività).

Alla fine la grande paura del "melting down" si è conclusa con un sostanziale danno economico di 2 miliardi di dollari.

# Sindrome cinese

Il 16/03/1979 (12 giorni prima dell'incidente di TMI-2) nelle sale cinematografiche statunitense uscì il film dal titolo "The China Syndrome" (in Italiano, "Sindrome cinese"). Il suddetto film descrive il rischio nucleare di un incidente (immaginario) che ricorda molto da vicino quanto poi successo a TMI-2. Il titolo fa riferimento ad una teoria ipotetica la quale dice che in caso di un incidente ad una centrale elettrica nucleare, in cui ci sia la fusione del nocciolo del reattore, niente riuscirebbe a fermarlo; questi, fondendo, perforerebbe la crosta terrestre, «in teoria fino alla Cina».

Si tratta di una teoria definitivamente smentita dall'evoluzione degli incidenti di TMI-2 e Chernobyl.

# L'impianto di CHERNOBYL

L'impianto era costituito da 4 reattori RBMK (di progettazione sovietica), ognuno in grado di produrre 1.000 MW<sub>e</sub>, tutti costruiti tra il 1970 ed il 1983.

I reattori RBMK sono refrigerati ad acqua bollente e moderati mediante grafite, a differenza dei BWR di progettazione occidentale che tipicamente utilizzano l'acqua sia come refrigerante che come moderatore.

Rispetto ai BWR di tipo occidentali, gli RBMK evidenziano una maggiore instabilità in quanto in mancanza di refrigerante la reazione di fissione non rallenta perché il moderatore continua a rallentare i neutroni favorendo la persistenza della reazione a catena. Diversamente, nei BWR occidentale, senza refrigerante, la reazione rallenta per mancanza del moderatore.

# Da dove nasce Chernobyl

Il 25/04/1986 era previsto lo spegnimento del reattore numero 4 per manutenzione programmata. Si decise di profittare dell'occasione per verificare se, in assenza dell'alternatore, per inerzia le pompe di circolazione fossero in grado di refrigerare fino all'avvio dei motori diesel al servizio dei generatori elettrici di emergenza.

L'esperimento non aveva ancora ricevuto tutte le approvazioni degli enti preposti, ma fu deciso di eseguirlo ugualmente per non attendere la successiva fermata per manutenzione programmata.

# Protagonisti di Chernobyl

In sala controllo c'erano:

- Anatoly Dyatlov, vice capo-ingegnere, fu il principale responsabile dell'incidente perché dirigeva le operazioni
- Alexander (Sasha) Yuvchenko, ingegnere addetto alle turbine
- Alexander Akimov, ingegnere, capoturno in sala controllo
- Leonis Toptunov, giovanissimo ingegnere, si occupava di monitorare la potenza del reattore

Indirettamente in qualche misura sono anche responsabili:

- Nikolai Fomin, ingegnere capo, sebbene dormisse mentre si svolgeva l'esperimento in centrale
- Victor Brukhanov, direttore dei lavori di costruzione tra il 1970 ed il 1986

# Cronistoria del 25 aprile 1986 /1

Alle 01:00: inizia il lento spegnimento del reattore da  $3.200 \text{ MW}_{\text{th}}$

Alle 13:05: potenza termica dimezzata

Alle 14:00: nel dispregio delle più elementari norme di sicurezza, viene disattivato il sistema di refrigerazione di emergenza

## Cronistoria del 25 aprile 1986 /2

Alle 01:00: potenza termica a 200 MW<sub>th</sub>. Il reattore funziona con appena 8 barre inserite nel nocciolo (le norme prevedono almeno 30 barre per non entrare nella zona di instabilità)

Alle 01:10: i tecnici disattivano parzialmente il sistema di spegnimento di emergenza in maniera da poter ridurre la portata di refrigerante. Diversamente, temperatura e pressione del vapore scenderebbero troppo fino allo spegnimento automatico del reattore.

Alle 01:22 i tecnici chiudono la valvola di immissione del vapore nel turboalternatore. Viene disattivato il sistema di spegnimento automatico di emergenza per poter ripetere l'esperimento in caso di insuccesso al primo tentativo. Il reattore è privo dei sistemi di emergenza di refrigerazione e di spegnimento automatico.

## Alle 01:23 del 26/04/1986 ...

Alle 01.23 i tecnici riscontrano un brusco incremento della potenza termica. Infatti, le pompe di circolazione (che lavorano solo per inerzia) riescono ad elaborare sempre meno portata di refrigerante mentre, a causa della sempre maggiore vaporizzazione della poca acqua circolante, la temperatura continua ad aumentare e la cattura neutronica diminuisce.

A questo punto, gli operatori si rendono conto del pericolo ed azionano il pulsante manuale di spegnimento.

Tutte le barre di controllo (fatte di boro rivestito di grafite) sono lasciate cadere nel nocciolo, ma nel giro di pochi secondi si avvertono forti urti e due successive esplosioni, una riconducibile ad un eccesso di pressione, l'altra per esplosione dell'idrogeno generato da reazioni termochimiche ad alta temperatura.

## Le prime conseguenze

Il reattore, privo di un edificio di confinamento primario, si scoperchia e la grafite ad alta temperatura in contatto con l'aria inizia a bruciare in atmosfera propagando l'incendio ad altri edifici della centrale.

Il fumo che esce dall'edificio (distrutto!) del reattore diffonde in atmosfera particella e polveri radioattive che, grazie all'azione dei venti, nel giro di qualche giorno arriveranno in Europa.

Al di là di una fase iniziale, per spegnere l'incendio serviranno oltre 5.000 tonnellate di carburo di boro (per catturare neutroni e rallentare la reazione a catena), di dolomite (per assorbire calore), piombo (per schermare le radiazioni), oltre a sabbia ed argilla (per seppellire il tutto). L'incendio fu definitivamente spento solo a maggio inoltrato.

# L'incendio /1

La squadra capitanata dal tenente Vladimir Pravik arrivò sul luogo del disastro per prima con il comando di spegnere un incendio causato da un corto circuito.

Non erano stati informati della tossicità dei fumi e del materiale caduto dopo l'esplosione nell'area circostante la centrale. Alle 5:00 del mattino alcuni incendi sul tetto e attorno all'area erano stati estinti.

Pravik morì il 9 maggio 1986, 13 giorni dopo l'esplosione e così morirono altri vigili del fuoco in azione la mattina del 26 aprile 1986.

## L'incendio /2

Il reattore continuò a bruciare per giorni e venne spento con l'ausilio di elicotteri che sganciarono tonnellate di boro, silicati, sabbia e dolomia, materiali adeguati per trattare un incendio di tale natura poiché particolarmente efficaci nella schermatura delle radiazioni e soprattutto secchi, così da non produrre colonne di vapori radioattivi.

Si ricordano le vittime dell'elicottero precipitato durante una manovra di sgancio materiali il cui equipaggio era composto da quattro giovani piloti: Volodymyr Kostjantynovyc Vorobjov, Oleksandr Jevhenovič Junhkind, Leonid Ivanonovyc Chrystyč e Mykola Oleksandrovič Hanžuk.

# L'evacuazione /1

La commissione d'inchiesta capitanata da Valerij Legasov giunse a Pripjat' la sera del 26 aprile.

Viste le condizioni di numerose persone già sotto terapia decisero la notte del 27 aprile l'evacuazione della città.

Fu detto ai cittadini di portare con sé pochi effetti personali, che sarebbero stati trasferiti in misura precauzionale e che in breve tempo avrebbero potuto far ritorno alle loro abitazioni.

Le autorità sovietiche iniziarono ad evacuare la popolazione dell'area circostante 36 ore dopo l'incidente

## L'evacuazione /2

Giunsero da Kiev decine di autobus che successivamente vennero abbandonati in una sorta di cimitero nella zona interdetta, dove ancora oggi si possono osservare migliaia di mezzi utilizzati per lo sgombero e la gestione della zona. Molti sono veicoli militari.

L'evacuazione è stata documentata e si può notare la sottile calma che quel giorno imperversava in città. Nessuno era realmente consci di ciò che stava accadendo.

Non a caso, decine di persone si soffermarono fino a tardi, la notte dell'esplosione, per ammirare la luce scintillante sopra il reattore.

Nel maggio 1986, circa un mese dopo, tutti i residenti nel raggio di 30 km dall'impianto, circa 116.000 persone, erano stati trasferiti

# Che fine hanno fatto i protagonisti?

In sala controllo c'erano:

- Anatoly Dyatlov, principale responsabile, è morto nel 1995 per infarto mentre scontava una condanna a 10 anni di carcere;
- Alexander (Sasha) Yuvchenko, addetto alle turbine, ancora oggi vivo sia pur con gravi conseguenze;
- Alexander Akimov, capoturno in sala controllo, è morto dopo 15 giorni a causa delle radiazioni assorbite;
- Leonis Toptunov, che si occupava di monitorare la potenza del reattore, è morto dopo 3 giorni a causa delle radiazioni assorbite;
- Nikolai Fomin, ingegnere capo, fu riconosciuto responsabile dell'incidente e condannato a 10 anni di carcere.

# I bilancio ufficiale delle vittime

Popolazione	Numero	Radiazioni assorbite	Malati	Periodo	Patologia	Mortalità in eccesso	Periodo	Causa
Personale della centrale						2	1986	esplosione
						1	1986	trombosi coronarica
Soccorritori (emergency workers)	1057	2-20 <u>gray</u> (ovvero più di 2-20 <u>sievert</u> )	134	1986	sindrome acuta da radiazioni	28	1986	radiazioni
						19	1987-2004	varie cause, di cui 3 leucemie
Popolazione in età 0-18 anni al 1986		0,03 - qualche <u>gray</u>	4000 (+1000% casi in più del normale)	1986-2002	tumore della tiroide	15	1986-2002	tumore della tiroide
Liquidatori	600.000	100 <u>millisievert</u>	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie
Evacuati	116.000	10-30 <u>millisievert</u>	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie
Popolazione residente vicino	270.000	50 <u>millisievert</u>	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie
Popolazione residente lontano contaminate da 37 KBq/m <sup>2</sup> in su	5.000.000	10-20 <u>millisievert</u>	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie	non rilevato epidemiologicamente	1986-2002	tumori e leucemie

# Dosi accumulate secondo l'OMS

Popolazione (anni di esposizione)	Numero	Dose ricevuta sul totale dei 20 anni
Liquidatori (1986–1987)	240.000	> 100 mSv
Evacuati (1986)	116.000	> 33 mSv
Residenti nelle zone a stretto controllo (86/05)	270.000	> 50 mSv
Residenti nelle zone di bassa contaminazione (86/05)	5.000.000	10 – 20 mSv

## Per approfondimenti

Si consiglia la visione di *“Ora zero, apocalisse a Chernobyl”*, puntata de *“La storia siamo noi”* programma storico edito dalla RAI a cura di Giovanni Minoli.

In alcuni periodi dell'anno (generalmente in prossimità dell'anniversario dell'incidente) la puntata può essere vista in streaming video, collegandosi a [www.lastoriasiamonoi.rai.it](http://www.lastoriasiamonoi.rai.it). In ogni caso, è sempre possibile fare una ricerca tra le puntate disponibili attraverso il motore di ricerca del sito indicando “chernobyl” come parola chiave.

Esistono, poi, libri specialistici riservati all'argomento.