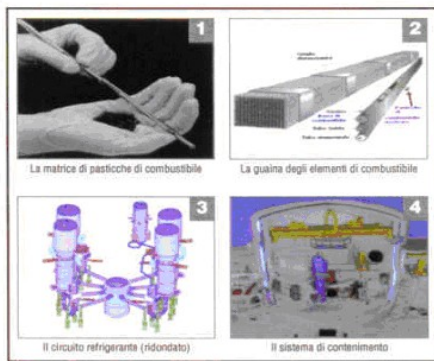
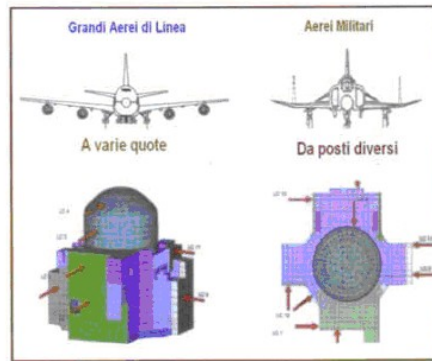


Giuseppe Quartieri

INTRODUZIONE ALLA SICUREZZA DI SISTEMI NUCLEARI



Sicurezza: Nuclear safety



Sicurezza: Nuclear security

IBN Editore

Giuseppe Quartieri

INTRODUZIONE ALLA SICUREZZA DI SISTEMI NUCLEARI

IBN Editore

© IBN Istituto Bibliografico Napoleone
Tel. 06-4452275 – Fax 06-62288537
www.ibneditore.it
e-mail: IBN@aviolibri.it

Finito di stampare nel mese di novembre 2010 presso la Eb.o.d. s.a.s. Milano

INDICE

Prefazione

p.

1

CAPITOLO N° 1 LA CULTURA DELLA SICUREZZA

p.

5

Introduzione

p.

5

Definizione e accettazione del rischio

p.

15

La percezione del rischio

p.

18

La metodologia della sicurezza nella industria nucleare

p.

25

Introduzione alla cultura della sicurezza

p.

30

Significato della "security" nucleare

p.

32

Relazione fra sicurezza e "security"

p.

33

Misure per la “security” e per la “sicurezza”

p.

33

Team di valutazione della sicurezza

p.

34

Metodologia della sicurezza

p.

35

Le misure di sicurezza iniziale

p.

37

Barriere di sicurezza

p.

38

Aree controllate

p.

39

Rapporto di sicurezza

p.

40

La sicurezza delle centrali nucleari a fissione

p.

40

Sintesi preliminare sull'energia nucleare da fissione

p.

43

Cenni storici

p.

45

Conclusioni del capitolo

p.

47

Riferimenti

p.

50

Riferimenti legislativi

p.

52

CAPITOLO N° 2

L'APPROCCIO PER SISTEMI ALLA SICUREZZA NUCLEARE

p.

59

L'approccio per sistemi alla sicurezza nucleare

p.

59

Ulteriori Requisiti di Progettazione dell'Impianto di una Centrale Nucleare

p.

63

Supporto logistico integrato

p.

64

Modelli di sistema

p.

65

Concetto di "sotto-sistema"

p.

64

Lo schema teoria di valutazione

p.

69

Descrizione dei sistemi centrali nucleari

p.

73

La struttura di sistema

p.

73

Concetto e misura di complessità di sistema

p.

76

Resilienza dei sistemi

p.

78

Ingegneria dei sistemi e resilienza

p.

79

Ingegneria della sicurezza, rischio intrinseco e resilienza

.....
p.

.....
80

| | |
|--|--|
| Introduzione all'analisi di Markov | |
| p. | |
| 82 | |
| L'armonizzazione energetica | |
| p. | |
| 84 | |
| Definizioni di approccio sistemistico alla sicurezza | |
| p. | |
| 86 | |
| Definizioni | |
| p. | |
| 87 | |
| Piano di Controllo di Sicurezza | |
| p. | |
| 87 | |
| Alcuni aspetti economici | |
| p. | |
| 89 | |
| L'analisi dei costi energetici | |
| p. | |
| 91 | |
| Le "externalities" | |
| p. | |
| 93 | |
| Costo di produzione del KWh nucleare | |
| p. | |
| 94 | |
| Supporto logistico integrato: un approccio sistemistico alla sicurezza delle centrali nucleari | |
| p. | |
| 97 | |

Piano di controllo di sicurezza

p.

98

Organizzazione della sicurezza

p.

98

Attività del programma di sicurezza (safety/security)

p.

99

Ombrello dell'ingegneria di sistema: supporto logistico integrato

p.

99

Interazione e integrazione tra logistica e progettazione

p.

99

Funzioni logistiche nelle fasi del ciclo di vita: Requisiti operativi

p.

100

Attività del Programma di Sicurezza

p.

101

Ombrello dell'Ingegneria di Sistema

p.

102

Filosofia di Manutenzione

p.

102

Requisiti tecnici di interesse logistico

p.

103

Cenno alla quarta generazione

p.

104

Differenza con le centrali a fusione

p.

105

Riferimenti

p.

106

CAPITOLO N° 3

ELEMENTI DI FISICA DELLA FISSIONE NUCLEARE

p.

113

Introduzione alla fisica atomica

p.

113

Modello atomico di Bohr

p.

114

Unità di misura in scala atomica

p.

116

Nuclidi

p.

117

Forze Nucleari

.....
p.

.....
119

La Carta dei Nuclidi

.....
p.

.....
121

L'abbondanza naturale degli isotopi

.....
p.

.....
122

Energia di legame

.....
p.

.....
124

La distribuzione delle energie dei neutroni da fissione

.....
p.

.....
127

Energia di legame e difetto di massa

.....
p.

.....
128

Livelli energetici dell'Atomo

.....
p.

.....
129

Modi di decadimento radioattivo naturale

.....
p.

.....
130

Decadimento alfa (α)

.....
p.

.....
131

Decadimento beta (β)

p.

133

Decadimento con neutrino

p.

134

L'emissione gamma (γ)

p.

135

Conversione interna

p.

136

La transizione isomeriche e isomeri

p.

137

Canali di decadimento

p.

137

Previsione di un tipo di decadimento

p.

137

Radioattività

p.

138

La emivita di radioattività

p.

140

Equilibrio radioattivo

p.

141

Le interazioni neutroniche

p.

144

La diffusione (scattering)

p.

144

L'urto inelastico o diffusione inelastica

p.

145

Le reazioni di assorbimento

p.

146

Il modello a goccia del nucleo

p.

147

L'energia critica

p.

149

Materiale fissile

p.

149

Materiale Fissionabile

p.

149

Materiale fertile

p.

149

Energia rilasciata dalla fissione

p.

150

Elementi di fisica delle reazioni nucleari nei reattori

p.

152

Produzione d'uranio

p.

153

Elementi di fisica della reazione di fissione

p.

156

La riduzione a neutroni termici: Termalizzazione

p.

156

Reattori a grafite

p.

157

Conclusioni parziali

p.

158

Riferimenti

p.

159

Appendice N° 1 - Introduzione alla fisica atomica e molecolare

p.

160

Introduzione alla fisica dell'atomo di idrogeno

p.

160

Modello elettromagnetico statico della molecola di idrogeno

p.

161

Fenomeni nucleari all'interno del nucleo

p.

162

Un'altra spiegazione dell'accoppiamento fra due protoni

p.

163

Appendice N° 2 - Neutrini e Quark

p.

164

Sommario

p.

164

La congettura iniziale del neutrino e del quark

p.

164

Alcune discordanze e inconsistenze sul neutrino e sui quarks

p.

166

Riferimenti d'Appendice

p.

168

Appendice N° 3 - L'analisi quantitativa dell'interazione protone-protone

.....
p.

.....
170

**Appendice N° 4 - Una introduzione alla interpretazione teorica esotica di
filipov delle cause dell'incidente di Chernobyl**

.....
p.

.....
174

La questione irrisolta

.....
p.

.....
175

I dati di fuori controllo del reattore

.....
p.

.....
177

Analisi della influenza del coefficiente di reattività del vapore

.....
p.

.....
177

CAPITOLO N° 4

LA ANALISI DI SICUREZZA DEI REATTORI NUCLEARI

.....
p.

.....
179

Introduzione

.....
p.

.....
179

I primi reattori nucleari e la sicurezza

.....
p.

.....
179

Analisi di affidabilità e sicurezza di una centrale nucleare BWR (ABWR)

.....
p.

.....
183

Descrizione di sistema di un reattore BWR

p.

183

Rilevazione dei guasti a fatica con catene di Markov

p.

185

Analisi probabilistica della sicurezza

p.

188

I risultati dell'analisi

p.

195

Analisi di affidabilità e sicurezza di una centrale nucleare PWR

p.

198

Descrizione di sistema di un reattore PWR

p.

198

Lo studio "PRA"

p.

199

Descrizione di un PWR

p.

201

Rischi analizzati

p.

203

I risultati (fino all'anno 1989)

p.

206

L'approccio impiegato

p.

206
Progetto e operazioni

p.

207
Curve di rischio

p.

208
I reattori innovativi ad acqua leggera pressurizzati (AP 1000)

p.

210
Riferimenti

p.

212

**CAPITOLO N° 5
LA SICUREZZA NUCLEARE: IL SAFETY CASE**

p.

213
introduzione

p.

213
Garanzia di sicurezza adeguata

p.

216
Digressione sulla certificazione al software

p.

219

L'approccio "safety case"

p.

224

Fattori di sicurezza nucleare

p.

227

Le misure di sicurezza del reattore CP1

p.

229

Barriere di sicurezza: nozioni additive

p.

229

Aree controllate: nozioni additive

p.

229

Rapporto di sicurezza: nozioni additive

p.

230

La sicurezza delle centrali nucleari a fissione: nozioni additive

p.

230

Sicurezza delle centrali nucleari: approccio per sistemi e strategia globale

p.

233

Aspetti ulteriori delle barriere di sicurezza

p.

238

Controllo di pressione del contenimento

p.

241

Sottosistema ECCS (Emergency Core Cooling System)

p.

241

Ulteriori sottosistemi di sicurezza

p.

242

Riferimenti

p.

243

Norme e direttive di riferimento

p.

243

CAPITOLO N° 6

SVILUPPO DELL'ANALISI DI SICUREZZA

p.

245

Introduzione

p.

245

Piccolo Glossario

p.

245

Concetti basilari

p.

247

L'analisi dei rischi

p.

248

Risultati e applicazioni concreti dell'analisi per sistemi

p.

252

Gli incidenti fondamentali

p.

257

Altre interpretazioni fisiche delle cause del guasto

p.

270

Resistenza sismica e attacco terroristico

p.

274

Sabotaggio e attacco terroristico

p.

275

Riferimenti

p.

276

Norme e direttive di riferimento

p.

278

CAPITOLO N° 7

TEORIA, CLASSIFICAZIONE E COLLEZIONE DEI GUASTI

p.

281

Introduzione

p.

281
Affidabilità come obiettivo prioritario

p.

282
Affidabilità e semplicità

p.

282
La teoria delle affidabilità dei sistemi

p.

284
Fattori influenzanti la accuratezza

p.

285
La definizione di tasso di guasto

p.

286
La definizione di intensità (istantanea) dei guasti

p.

287
Confronto tra tasso di guasto ed intensità di guasto

p.

287
Funzionamento corretto di un sistema e/o componente

p.

288
Classificazione dei guasti

p.

289

Errore Umano

p.

290

Raccolta dati da prove integrate di affidabilità

p.

293

Codici dei dati di guasto

p.

296

Inventario e classificazione degli incidenti

p.

299

La scala INES

p.

301

Lista degli incidenti

p.

302

Liste varie

p.

303

L'incidente di Three Mile Island

p.

304

Tipi di incidenti

p.

305

Perdita di calore

p.

306

Trasporto

.....
p.

.....
306
Guasto di un apparato

.....
p.

.....
306
Sorgenti radioattive perse

.....
p.

.....
306
Altri tipi

.....
p.

.....
307
Analisi degli incidenti di impianti nucleari di potenza

.....
p.

.....
307
Rapporto di incidenti di NRC

.....
p.

.....
307
Il programma di analisi ASP di NRC

.....
p.

.....
308
Incidente da aereo

.....
p.

.....
310
Organizzazioni di raccolta dati di guasto

.....
p.

.....
311

Riferimenti

p.

313

**CAPITOLO N° 8
LE ANALISI DI AFFIDABILITÀ, QUALITÀ E SICUREZZA**

p.

315

Sommario

p.

315

Affidabilità e Qualità

p.

315

La affidabilità e la RAMS: qualità in ricerca e sviluppo

p.

317

Sistemi e componenti

p.

318

Caratteristiche principali di un sistema

p.

320

Generalità sulla scienza ed ingegneria della sicurezza dei sistemi

p.

323

Guasti: definizioni e classificazioni

p.

324

Le Non Conformità ed i Guasti in Qualità ed Affidabilità (RAMS)

p.

324

L'importanza del programma di affidabilità (RAMS)

p.

324

Metodi di stima della RAMS (Dependability)

p.

326

Interdipendenza fra guasti

p.

326

Definizioni concernenti i guasti di modo comune

p.

329

Definizioni di guasti dipendenti primari, secondari e guasti di comando

p.

330

La classificazione dei guasti di causa-comune secondo la loro natura

p.

331

Le stime di "Dependability"

p.

333

Programmi software disponibili

p.

335

Le tecniche di analisi di RAMS (Dependability and Safety)

p.

335

Breve analisi dei vari metodi

p.

338

Criteri di scelta del metodo di analisi

p.

339

Vantaggi e svantaggi dei suddetti metodi

p.

340

Paragone fra i vari metodi di analisi

p.

342

L'analisi dell' Albero dei Guasti – Introduzione

p.

344

Altri programmi commerciali classici

p.

350

La decomposizione delle Reti

p.

350

Procedura costruttiva dell'Albero dei Guasti

p.

352

Algoritmo costruttivo

p.

352

La specificazione dell'Albero dei Guasti

p.

356

Una formulazione matematica semplice

.....
p.

.....
356

Appendice N° 1 - La Qualità nella progettazione edilizia (contenitore esterno)

.....
p.

.....
358

Riferimenti

.....
p.

.....
359

CAPITOLO N° 9

MODELLO MATEMATICO DI SICUREZZA DELLE CENTRALI NUCLEARI

.....
p.

.....
363

Metodi di analisi di sicurezza delle centrali nucleari

.....
p.

.....
365

Le regole fondamentali: aspetti operativi

.....
p.

.....
368

Argomenti significativi per la sicurezza delle centrali nucleari

.....
p.

.....
371

La valutazione della sicurezza di una centrale nucleare

.....
p.

.....
371

Fattori esterni ed ambientali

.....
p.

.....
374

Sicurezza in esercizio operativo

p.

374

Conclusioni

p.

379

Riferimenti

p.

380

CAPITLO N° 10

LA SCELTA DEI SITI E LA GESTIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

p.

389

Localizzazione e sicurezza

p.

389

La analisi della localizzazione delle centrali nucleari

p.

390

Criteri per la scelta della localizzazione

p.

391

I parametri da considerare

p.

396

Fase di verifica

p.

399

Fase di conferma

.....
p.

.....
401
L'iter di richiesta di autorizzazione

.....
p.

.....
401
Vittoria di battaglia o di guerra

.....
p.

.....
401
La gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi

.....
p.

.....
402
Le regole fondamentali: aspetti operativi

.....
p.

.....
407
Riferimenti

.....
p.

.....
409

CONCLUSIONI

.....
p.

.....
410

PREFAZIONE

Tutti i popoli sono ormai ben consci di vivere nella “società del rischio”, la cosiddetta “*risk society*”, i cui rischi provengono normalmente da problemi di sicurezza – nel senso di *safety* – standard ma anche e forse soprattutto da problemi di sicurezza nel senso di “*security*” ossia intrusioni, sabotaggi, terrorismi vari ecc. I popoli sanno che alla base della vita moderna prevale il concetto di accettabilità del rischio connesso ad una vita standard fatto di rischi prodotti da cibi biologici non sempre naturali, da automobili veloci, da treni veloci e da aerei supersonici e via discorrendo. Sembra, ad esempio, che la maggioranza della popolazione accetti il rischio di usare questi mezzi di trasporto poiché li ritiene sicuri e confortevoli. Alla stessa stregua il popolo accetta di impiegare energia elettrica proveniente da centrali termiche alimentate a petrolio oppure a gas metano nonostante gli incidenti come la “Marea Nera” oppure i vari incidenti accaduti nelle miniere di produzione di gas e di petrolio in tutto il Mondo.

Gli italiani come quasi tutti i popoli del mondo accettano l'inquinamento prodotto dai gas di scarico delle automobili (polveri sottili, benzene, ossidi di carbonio, PM10, PM2,5 e anche PM1 ecc) nel centro delle grandi città, nella pianura padana ecc. dimenticando o facendo finta di dimenticare le conseguenze serie dell'inquinamento cittadino che produce secondo le analisi e le statistiche, ormai accertate, una quantità consistente di esempi di “cancerogenesi”.

Gli studi epidemiologici (ISS, CNR, Organizzazione Mondiale della Sanità, Istituto di Ricerca sui Tumori, ecc.) hanno accertato in modo inequivocabile l'esistenza di “cancerogenesi” prodotta da inquinamento cittadino. Le analisi pubblicate da detti Enti di ricerca parlano di alcune migliaia di morti all'anno prodotti dalla inalazione dei gas di scarico da riscaldamento, inquinamento cittadino ecc.

La mobilità alternativa viene considerata e studiata dagli ecologi con apertura mentale al fine di trovare una possibilità di movimenti cittadini alternativi e sostenibili: auto elettriche. La normativa europea è diventata ancora più severa in merito all'inquinamento in genere e a quello cittadino in particolare.

Nell'ambito di questa grande problematica ambientale si pone anche il problema futuro dell'eventuale inquinamento prodotto dalle centrali nucleari e soprattutto il problema della sicurezza degli impianti nucleari.

Gli italiani pagano l'energia elettrica il 30% e, in alcuni casi, il 40% in più di quella pagata in altri Paesi europei (Francia, Germania ecc.).

L'Italia ha abbandonato da decenni – tra l'altro a causa di un referendum male interpretato – la soluzione nucleare da fissione alla produzione di energia elettrica con gravi ripercussioni negative dal punto di vista economico ed industriale. L'Italia acquista energia elettrica prodotta da Paesi confinanti quali la Francia, la Svizzera, la Slovenia per una percentuale del quasi 20% di fabbisogno nazionale di energia elettrica. Tra l'altro questi Paesi hanno installato le loro centrali nucleari, entro pochi chilometri dai confini con l'Italia per cui un eventuale incidente critico o “accidente” come si suole dire negli ambiti scientifici e tecnologici specifici, avrebbe gli stessi effetti di un qualsiasi incidente prodotto in una centrale nucleare che fosse stata installata entro i confini italiani.

La Legge 23 luglio 2009, n. 99, pone solide basi giuridiche per la realizzazione di nuove Centrali Nucleari in Italia nell'ambito del cosiddetto “Rinascimento Nucleare”. Ciò nonostante, la “questione energetica” continuerà ad essere uno dei problemi dominanti il secolo attuale, sia in termini di sicurezza (*safety & security*) delle installazioni e degli approvvigionamenti, sia in riferimento allo sviluppo socio-economico, alle tematiche ambientali e sociali ed all'accettabilità. Tutti questi aspetti sono peculiari di questi approcci intellettuali. La scienza e la tecnologia potranno fornire molte risposte concrete, che da sole però non bastano. Altre discipline dovranno essere messe in campo, come la sociologia e la politica, ed in questo contesto diventa importante un'informazione chiara, completa e corretta, che nel nostro Paese manca o addirittura è distorta.

Anche dal punto di vista della sicurezza - *safety* - degli impianti nucleari deve essere altresì considerato che la mancanza di decisioni o almeno di orientamenti ragionati, sia pure non ultimativi, ingenera nella gente insicurezza e sfiducia che, unitamente ad una insufficiente informazione, la porta ad esprimere un rifiuto a priori. La sicurezza delle installazioni e dei processi nucleari è, assieme a quello della sicurezza aerospaziale e aeronautica, il comparto tecnologico in cui la scienza e l'ingegneria della sicurezza ha ricevuto la maggiore attenzione scientifica, tecnologia ed ingegneristica sin dai primi anni del suo sviluppo.

Nella filiera nucleare la sicurezza è il principale obiettivo, dalla realizzazione degli impianti, ai processi produttivi fino allo smaltimento dei rifiuti. Essa, oggi, si articola in tre fondamentali fasi, la prima di natura fisica sulle reazioni nucleari, la seconda di natura prettamente ingegneristica sul progetto del sistema e la terza sugli aspetti radiologici, radioprotezione e fattori ambientali.

La comunità scientifica e tecnologica si interessa in modo attivo di questi argomenti che, in questo libro, si tenta di sviluppare in modo scientificamente rigoroso, presentando i fondamenti della cultura nucleare e della sicurezza nelle centrali nucleari e della gestione dei materiali nucleari e dei rifiuti radioattivi, nonché del ruolo chiave dell'Agenzia per la Sicurezza Nucleare in questo settore.

D'altra parte si pone, alla attenzione del popolo e degli ecologi di tutti i tipi, il grande argomento della accettabilità delle centrali nucleari in Italia. Questo problema ha assunto una connotazione peculiare e propria solo dell'ambiente, della morale e degli approcci sociali italiani.

Questo libro si propone di dare un piccolo contributo alla soluzione o almeno alla chiarificazione di questo tipo di problemi. Purtroppo questa proposta è solo una introduzione al vasto argomento della sicurezza degli impianti nucleari a fissione e non ha alcuna pretesa di essere esaustiva. Alcuni argomenti, come la radioprotezione, le procedure esecutive di evacuazione ed altro, non sono trattati affatto per mancanza di tempo e di spazio e con la riserva di coprirli con un secondo volume dedicato al completamento della sicurezza (tecnologica e fisica) delle centrali nucleari.

L'argomento del rinascimento del nucleare è stato trattato a fondo da molti autori che hanno scritto molti libri specifici in questo periodo.

L'argomento è specialistico ed ostico per il lettore normale inoltre presuppone che l'Italia rientri nel novero dei Paesi che si servano di energia nucleare a fissione. Di fatto, si accetta l'ipotesi di lavoro programmatico che l'Italia abbia intenzione di raggiungere, nel prossimo futuro (normalmente si accenna al 2020), una ripartizione armonizzata, chiamata "mix", di fonti di energia costituita dal 50% di energia da fonte fossile (carbone, petrolio e gas naturale), 25% da fonte nucleare da fissione e infine 25% da fonti rinnovabili ed integrative quali solare, eolico, biomassa, geotermia ecc.

In questa cornice si sviluppa il tentativo di questo libro di illustrare i problemi e le soluzioni adottate per il raggiungimento della massima sicurezza delle centrali nucleari. Si considerano i due aspetti fondamentali della sicurezza: la "safety" e la "security". Nella lingua anglosassone esistono queste due parole per distinguere fra il concetto di sicurezza intrinseca -safety - di natura tecnologia prodotta da guasti del sistema complesso (centrale nucleare, aereo, missile, satellite ecc.) e/o da errori umani con effetti negativi per la salute del personale addetto o della popolazione circostante e conseguente perdita di proprietà. Gli anglosassoni impiegano invece la parola "security" per intendere la sicurezza in termini di protezione da infrazioni varie, intrusione, criminalità, sabotaggi e terrorismo di ogni tipo. Nella nostra lingua esiste sola la parola "sicurezza" che include tutti gli aspetti possibili ed è quindi "omnicomprensiva".

Questo volume si propone e può trattare solo il primo aspetto della sicurezza, la "safety" lasciando ad un altro volume successivo la trattazione della "security" delle centrali nucleari.

L'opposizione e la diffidenza al nucleare è tipicamente italiana. Così, la problematica della localizzazione dei siti di deposito (ma anche smaltimento) di scorie radioattive subisce una strenua opposizione da parte di alcune frange di ecologi, che si possono definire falsi ecologi. In generale il problema delle scorie radioattive investe tutto il ciclo del combustibile nucleare. La pubblicazione della lista dei siti di localizzazione è un compito difficile che gli enti addetti stanno assolvendo o dovranno assolvere quanto prima.

La applicazione della nuova legge 31/2010 è molto interessante poiché definisce alcuni criteri gestionali per la definizione del consenso alla approvazione e alla sostenibilità delle centrali nucleari da parte delle popolazioni locali.

Molti ancora parlano del "NIMBY" ossia di quella sindrome per cui si accettano gli impianti nucleari purché non siano installate nel proprio "giardino", nonostante il retromarcia del grande pioniere ecologo James E. Lovelock, che a quasi 90 anni ha cambiato idea circa la installazione di impianti nucleari.

Quindi la sfida alla costruzione del consenso si può vincere solo con una grande attività di formazione e discussione sul territorio. Questo libro è un piccolo contributo al raggiungimento di questa vittoria anche con un tentativo di chiarificazione di alcuni concetti fondamentali della "sicurezza nucleare".

Alla stessa maniera, la VAS è strettamente condizionata dal consenso e approvazione da parte del popolo. Frattanto, a livello politico, si verificano turbolenze e accadono fenomeni personali non rassicuranti per i cittadini producendo un incremento di timori. Finalmente è stata varata la Agenzia per la Sicurezza Nucleare. Si rimane in attesa delle nomine e delle linee guida di lavoro al quale si spera di potere partecipare. In tale ambito lo scrivente ha esperienza quasi trentennale nel campo della analisi della sicurezza di sistemi complessi, della programmazione e della gestione della affidabilità e quindi della "dependability" che mette a disposizione del nuovo "Top Management".

Alla fine del libro si presentano alcune conclusioni sintetiche sul fronte d'onda della tecnologia della sicurezza di reattori nucleari avanzati analizzandone gli aspetti tecnici comparativi. Tuttavia, il libro non si propone di presentare una valutazione globale della migliore tecnologia di sicurezza nucleare attualmente nel mercato, poiché, alla base, rimangono i concetti fondamentali della garanzia della sicurezza che, in qualche modo, consentono a tutte le varie tecnologie nucleari di pervenire a risultato paragonabili. Al momento si sta profilando una nuova filosofia e un nuovo concetto di sicurezza cosiddetta "passiva" ma deve ancora superare le maglie e la falce del tempo di prova e delle esperienze operative concrete.

Oltre al problema sostanziale dell'accettabilità permane quindi il problema del tipo o dei tipi di reattori che verranno resi operativi. Sembrerebbe, per ora, che gli accordi politici ed economici abbiano operato la scelta manageriale ma ciò non esclude che si possano realizzare i due tipi più avanzati di reattori nucleari moderni. Tutte le forze politiche, economiche, intellettuali, finanziarie, ecologiche e di qualsiasi altro tipo dovrebbero convincersi che l'atteggiamento migliore è quello di parlare pure del nucleare e non solo delle fonti rinnovabili (solare, eolico ecc.) e risparmio in modo da non fare apparire di avere solo un approccio aprioristico e ideologico.

Per concludere questa premessa è necessario chiarire ancora un punto di natura sostanziale. In questo libro si assume che sia nella natura degli eventi e fenomeni umani il fatto concettuale che la "sicurezza"

(safety/security) di cui si parla rispecchi un approccio scientifico e tecnologico e non un approccio politico, psicologico e sociologico e meno che mai religioso e fideistico. L'eccezione prevista ma non del tutto inclusa, per ragioni di spazio tempo, è la "security" ossia la ineluttabile considerazione progettuale di possibilità di intrusioni, sabotaggi, terrorismi vari e via di seguito, al fine di tenere in debito conto gli effetti dell'attentato del "11 Settembre 2001".

Si assumono, quindi, validi i concetti fondamentali che regolano i fattori umani e l'approccio di ingegneria umana secondo il quale gli scienziati, i progettisti (fisici, ingegneri, chimici ecc.) che hanno progettato e progettano "sistemi di impianti nucleari a scopo di produzione di energia elettrica" siano persone normali, dotati di equilibrio e serenità psichica.

Qualcuno può considerare l'approccio scientifico e tecnologico alla sicurezza un approccio "riduttivo" ma non si può fare altrimenti. In altre sedi, in altri luoghi, in altri tempi si potranno prendere in considerazioni approcci più generali alla sicurezza dell'uomo. Eventualmente, l'approccio scientifico ed ingegneristico alla "sicurezza" non fa altro che interpretare le istanze più generali (psicologiche, politiche economiche, religiose ecc.) e trasformarle nell'ambito di una applicazione concreta che dà una risposta, entro un campo limitato, ad un insieme complesso di requisiti e vincoli definiti dai sistemi più grandi su menzionati.

Lo scopo del libro è quindi ben chiaro, definito e delimitato anche se inteso "riduttivo" da certi approcci intellettuali, d'altronde viviamo tutti nella "Risk Society".

Eppoi "reperita juvant".

Giuseppe G.M. Quartieri

Corpo del libro (10 capitoli)

CONCLUSIONI

Poiché si toccano anche argomenti molto scottanti, severi e critici non solo dal punto di vista scientifico, tecnologico e tecnico, ma anche sensibili dal punto di vista economico e della riservatezza, allora si è usato il metodo di citare molto spesso ed elencare i lavori pubblicati al merito inserendoli nei riferimenti in calce al capitolo. Per cercare di attuare obiettività e oggettività, si è fatto uso estensivo di riferimenti e pubblicazioni scientifiche e tecniche italiane ed internazionali. Laddove non è indicato il riferimento, direttamente nel contesto, si intende di avere rimandato automaticamente al riferimento del capitolo specifico ed, eventualmente, ai riferimenti degli altri capitoli e/o dell'intero libro.

Non si può che esporre una posizione definita e netta a favore di una soluzione di impiego di reattori nucleari per la generazione di energia elettrica integrata dalle fonti fossili e dalle fonti alternative così come detto nella prefazione.

I fattori che influenzano la sicurezza di un reattore nucleare, pur se devono essere mantenuti sotto controllo in ogni istante e dappertutto, dipendono sempre dal luogo e dal sito dove viene installato il sistema nucleare. Di conseguenza, diventa scopo del libro di presentare, prima di tutto, una panoramica del problema, dei metodi e degli approcci alla sicurezza di impianti nucleari. Non si segue né si predilige un iter o un approccio di una filiera nucleare piuttosto che di un'altra. L'indicazione o la scelta vera e propria di un reattore nucleare piuttosto che di un altro è compito di un Ministero oppure di una Agenzia (ad es. l'Agenzia per la sicurezza nucleare) ecc. La proposta di questo libro è quella di analizzare l'ampio scenario della sicurezza delle centrali nucleari. Cercando di coprire al meglio i tanti aspetti possibili della sicurezza (safety/security).

Si è indicato una strada che conduce alla ottimizzazione delle filiere più moderne attuali della terza generazione avanzata e, nel futuro, della quarta generazione.

In questi ultimi anni, il discorso energetico si è fatto sempre più caldo ed acceso ricalcando sempre più il fatto che il nucleare è diventato essenziale anche per l'Italia. L'informazione e la comunicazione sugli impianti nucleari hanno subito, negli ultimi decenni una sorta di distorsione sistemica e quindi i fisici ed in genere gli scienziati hanno dovuto iniziare, in contrapposizione, una intensa attività di informazione più dettagliata, precisa e rigorosa come è nella metodologia della scienza.

Nonostante tutto, molti aspetti economici e politici sono diventati secondari a dispetto del pensiero degli economici, delle banche e investitori vari. Solo l'ecologia ha retto lo scontro con il fronte d'onda degli scienziati nucleari, singoli pensatori, organizzazioni ed associazioni italiane e internazionali (IAEA, DOE, Galileo 2001, AIN, CIRTEN, EERA, ENEF, EPRI, HSEEA, NERI, NERAC ecc.). Alcuni movimenti verdi, con il loro capostipite James Lovelock in testa, hanno cambiato atteggiamento rispetto al nucleare che viene considerato pulito e sicuro.

In questo ambito si colloca questo volume sulla sicurezza dei sistemi nucleari. Purtroppo per ragioni di spazio-tempo il volume non può coprire a fondo tutti gli aspetti della materia: non è omnicomprensivo. Alcuni argomenti sono trattati velocemente e altri anche senza approfondimento matematico. Questi aspetti verranno ripresi con l'elaborazione di altri volumi specifici in un prossimo futuro. Pertanto qualcuno potrà osservare che il volume, almeno in alcuni punti, è vago e non rigoroso oltre a presentare delle ripetizioni. Solo una prossima edizione, non troppo condizionata da alcuni eventi contingenti, potrà tentare di ovviare a queste osservazioni. Mentre la logica del "repetita juvant" supporta lo sforzo, la logica del tempo, che cambia di padre in figlio, è, per sua struttura normale, inclusa nelle equazioni che regolano il funzionamento della sicurezza dei sistemi complessi e nelle strutture algebriche che soprassedono al controllo operativo. Al primo capitolo, la elaborazione (del sottoscritto) della tabella a tre livelli di sicurezza dei reattori nucleari da cui appare in modo chiaro che il primo livello – quello fisici e chimico – è il più fondamentale, dopo appare il secondo livello quello ingegneristico, che si è sviluppato in molti capitoli, e infine viene il livello oncologico interno ed esterno che non è sviluppato per molti motivi. Tre tipi di barriere di "safety" vengono quindi applicate a questi tipi di sistemi complessi. Si sa che l'Italia predilige gli approcci di "pietra" ossia la realizzazione di opere civili di calcestruzzo e quindi in Italia si guarda, con interesse economico, prima di tutto a questo aspetto, ma per "fisici" (sistemici e nucleari) questi aspetti appaiono secondari e leggermente insulsi rispetto ai problemi "nucleari in senso stretto".

Per uno studioso di sistemi complessi di sicurezza (safety & security), diventa quindi imperativo morale, anche nell'ambito della logica del tempo, elaborare la visione e la situazione attuale dei più moderni ritrovati ed applicazioni di sicurezza di reattori nucleari, ben consci dei potenziali miglioramenti che la evoluzione temporale della scienza dei sistemi può apportare alla soluzione definitiva .

Nella elaborazione di queste conclusioni in termini di "safety" non si può dimenticare il nuovo approccio *passivo* alla filosofia della sicurezza – safety - degli impianti nucleari, e quindi se ne presenta una breve sintesi dei risultati dell'analisi dello stato attuale della sicurezza.

L'approccio alla sicurezza passiva sviluppato dalla Westinghouse Electric Company negli ultimi 20 anni di ricerca applicata è sfociato nel nuovo sistema AP-1000 (www.AP1000.westinghousenuclear.com) descritto anche in un opuscolo intitolato: AP1000, Simple, Safe, Innovative. Questo approccio passivo è diventato il punto di riferimento rispetto al quale si deve misurare ogni altro risultato di sicurezza e prima di tutto la nuova terza generazione avanzata.

Va però subito chiarito che prendere a riferimento la soluzione moderna di reattore nucleare di terza generazione avanzata non significa assegnare ad essa il primo posto nella classifica della sicurezza delle centrali nucleari avanzate moderne.

Si allude al nuovo reattore (AP1000) che non ha durata di vita provata (né livelli di sicurezza provati anche se dai calcoli dovrebbero essere leggermente superiori) rispetto ai classici reattori della terza generazione avanzata a ridondanza multipla attiva che hanno vita decennale o più che decennale. Di conseguenza, se fosse posta la domanda di paragone diretto non si potrebbe fare altro che considerare i reattori EPR di terza generazione avanzata dello stesso livello di sicurezza dell'AP1000.

In ogni caso si ritiene necessario riportare le *pretese specifiche* di superamento di sicurezza di AP 1000 rispetto a quelle dei reattori classici anche di terza generazione avanzata, in particolare, del reattore EPR europeo. Tutte le asserzioni, le valutazioni, i dati presentati e i risultati di prove dovrebbero, a modesto avviso dello scrivente, essere controllati e verificati in modo sistematico dagli addetti a tale lavoro nell'ambito della nuova Agenzia per la Sicurezza Nucleare. Non basta né mai basterà affidare la affidabilità e sicurezza operativa dei reattori nucleari solo alle ispezioni (di qualità!) periodiche e ai controlli sistemici e sistematici, bisogna rivedere, verificare e controllare tutti gli aspetti del progetto, dalle specifiche tecniche iniziali ai piani di sviluppo, dalle analisi di "dependability" e di sicurezza al piano di prove sui componenti, sui sottosistemi e sul sistema finale. Non basta né basterà controllare solo le capacità "antisismiche" dei reattori ossia le barriere di secondo stadio, quelle ingegneristiche. In ogni caso, tutti gli ambienti dell'impianto nucleare devono essere antisismici.

Peraltro, dal punto di vista della scienza ed ingegneria dei sistemi vanno eseguiti i debiti controlli progettuali. Ad esempio i due documenti fondamentali: il Design Control Document (DCD) e il Probabilistic Risk Assessment (PRA) devono essere accuratamente controllati e rivisti al fine di eseguire la giusta convalida.

La nuova filosofia di progettazione della "safety" degli impianti basati sull'impiego delle forze passive, va controllata e convalidata a fondo in modo rigoroso e scientificamente inoppugnabile.

L'applicazione del principio di "semplicità" assieme con l'impiego di forze naturali (gravità, circolazione naturale d'aria, convezione e compressione dei gas) potrebbe porre, di primo acchito, il nuovo sistema AP1000 in prima posizione ma, *repetita juvant*, bisogna considerare anche gli aspetti di durata di vita operativa e altri dati relativi che ancora mancano.

La Westinghouse, di fatto, sostiene, nel suddetto opuscolo, che non reputa necessario realizzare un impianto dimostrativo, poiché le forze naturali sono ben note e funzionano sempre alla stessa maniera (basta che il reattore non si trovi nello spazio!) oltre ad avere lavorato bene durante il piano di prove intense e approfondite.

Tuttavia appare il caso di ricordare che, per il miglioramento della affidabilità di un sistema complesso la regola elementare e più semplice rimane sempre quella dell'impiego di una o più ridondanze passive, attive e/o in "stand-by". Pertanto le barriere ingegneristiche devono includere ambedue i criteri quello di semplicità e quello della ridondanza.

Prima di accennare brevemente ad alcuni elementi di paragone fra diversi sistemi nucleari è il caso di ricordare quale è l'evento peggiore ossia la *fusione termica del "cuore"*.

La fusione termica (liquefazione) del cuore del reattore è l'incidente più critico previsto e, normalmente, gli operatori addetti al controllo devono agire, immediatamente, in modo da inondare la cavità che contiene il "cuore" con flussi di acqua che provengono da serbatoi d'acqua di rifornimento (per la refrigerazione e raffreddamento) in modo da riempire d'acqua la parte inferiore del "vessel recipiente (in pressione) del reattore " che include il nocciolo (cuore). L'acqua passa attraverso una struttura isolante che circonda la parete del "vessel del reattore" e che consente all'acqua stessa di raggiungere il volume inferiore della cavità del volume del "vessel" per cominciare la refrigerazione. A mano a mano che il flusso di acqua continua ad affluire, il livello dell'acqua attorno alla cavità isolata continua a salire fino a riempire completamente l'anello d'acqua attorno alla parete cilindrica del "vessel". Si produce pure del vapore che viene ventilato in modo da raffreddare la parete del "vessel" dalla parte della cavità del reattore. La refrigerazione così ottenuta è (o dovrebbe essere) sufficiente a prevenire che i detriti fusi nella parte inferiore della cavità del nocciolo possano fare fondere l'acciaio delle pareti del "vessel" e quindi vadano a depositarsi nel contenitore attorno al "vessel". Riuscire a mantenere i detriti fusi all'interno della parete del "vessel" significa proteggere la integrità del "contenitore" evitando l'eventuale accadimento di un incidente severo al di fuori del "vessel" come, ad esempio, l'esplosione del vapore oppure la interazione del cuore e/o del cemento armato con materiali fusi del cuore.

Gli elementi fondamentali di paragone possono essere presentati sotto forma di tabelle specifiche di stima e di "rating" come si usa fare nel campo delle valutazioni della qualità e sicurezza.

La prima tabella, riportata nel suddetto opuscolo, è certamente offerta dalla applicazione dei principi di semplificazione del progetto e di riduzione di componenti nell'assunto che l'affidabilità di un sistema complesso è inversamente proporzionale alla numerosità dei componenti.

La valutazione del paragone è riportata anche in tabelle presenti nei siti e depliant di Westinghouse. In generale va ricordato che le analisi di affidabilità, come illustrato nel settimo capitolo, presentano errori standard la cui curva passa dal 200% di errore possibile nei calcoli di affidabilità eseguiti nelle prime fasi del

progetto ad un errore minimo del 20% nelle ultime fasi di progetto, dopo le prove di qualificazione e certificazione. Quest'ultimo tipo di errore del 20% si può associare ai risultati presentati in queste tabelle prodotte dalla riduzione di componenti.

In generale, sussistono vari altri aspetti di sicurezza che si applicano a tutti i sistemi ma sempre in modo positivo, proattivo e affermativo. I sistemi nucleari moderni sono sicuri e puliti.

| Tab- N° 1.11 SEMPLIFICAZIONE del NUMERO di COMPONENTI (POMPE, CAVI, VOLUMI ecc.) di REATTORI NUCLEARI AVANZATI | | |
|---|---|---------------|
| Componenti | Impianto standard di riferimento da 1000 MWe | AP1000 |
| Numero di pompe | 280 | 180 |
| Numero di valvole di classe di sicurezza | 2.800 | 1.400 |
| Lunghezza in piedi (ft) di tubazioni di classe di sicurezza | 110.000 | 19.000 |
| Lunghezza di cavi (milioni di piedi 10 ⁶ ft) | 9.1 | 1,2 |
| Volume di costruzioni antisismiche (milioni di piedi al cubo) | 12.7 | 5,6 |

Si nota quindi una forte diminuzione di numero di componenti impiegati che, deve, a aprioristicamente, incrementare la affidabilità del sistema reattore nucleare AP 1000, rispetto al suo simile precedente e/o a reattori di tecnologia e concezione precedenti.

Nella tabella successiva si riportano alcuni aspetti specifici della nuova tecnologia operativa Westinghouse:

| Tab. N° 2.11 TECNOLOGIA OPERATIVA DI AP1000 | |
|--|--|
| Componente | Uso di tecnologia prioritaria |
| Vessel del reattore e Parti interne | 4 Doel e Tihange 3 |
| CRDM (Control Rod Drive Mechanism) | Esperienza multi decennale nel mondo nei reattori precedenti |
| Combustibile | Combustibile americano proveniente dal Sud del Texas, 1 & 2, Doel 4 e Tihange 3 |
| Grandi generatori di vapore di modello F | In progetti simili a AND 2, San Onofrio, Waterland, Palo Verde |
| Pompe a canne per il raffreddamento del reattore | Bollitori fossili ed altre applicazioni industriali (pompe per motori a canne invertite) |
| Pressurizzatore | Impiegato in 70 impianti della Westinghouse nel mondo |

Come accennato prima e ai capitoli N° 4, 6 e 9 il nuovo reattore ad acqua pressurizzato a sicurezza passiva si basa su un principio molto semplice: in caso di incidente critico (accidente) del progetto-base, quale la rottura delle tubazioni principali di refrigerazione, l'impianto è progettato per garantire la sicurezza raggiungendo e mantenendo le condizioni di sicurezza senza azioni da parte degli operatori e senza la necessità di impiego di potenza alternata (ac) e di pompe. Di fatto, il moderno reattore a sicurezza passiva garantisce la sicurezza senza affidarsi all'impiego di componenti attivi quali generatori di potenza diesel e pompe. Piuttosto il reattore nucleare affida la propria sicurezza all'impiego di forze naturali quali la gravità, la circolazione naturale dell'aria e dell'acqua, agli effetti naturali dei gas compressi, al fine di mantenere sotto controllo il "cuore" del reattore e il confinamento di eventuali prodotti fissili radioattivi. *Dal punto di vista dell'ingegneria*, gli elementi moderni fondamentali della difesa in profondità sono:

1. I sottosistemi non correlati alla sicurezza: si tratta di sottosistemi che, in caso di un eventuale incidente severo del tipo surriscaldamento del nocciolo, vengono automaticamente innescati a fornire il primo livello di difesa ingegneristica in profondità al fine di ridurre la necessità di attuare qualche sottosistema implicato nella sicurezza.
2. I sottosistemi passivi correlati alla sicurezza: sono in grado di ristabilire automaticamente il raffreddamento del nocciolo e il suo mantenimento garantendo in modo definitivo la integrità del contenitore a seguito

di qualche incidente di base di progetto. Si assume, in questi casi, di trattare solo guasti singoli senza azioni specifiche da parte degli operatori con o senza implicazione di sorgenti di potenza alternata. Normalmente il progetto include anche altri fattori e/o elementi di mitigazione degli errori potenziali aumentando la capacità della difesa ingegneristica in profondità intrinseca a sottosistemi passivi di sicurezza.

3. In caso di surriscaldamento del cuore, il progetto del contenitore esterno viene eseguito o deve essere realizzato in modo da includere un serbatoio di acqua all'esterno del "vessel" (normalmente posizionato in alto) in grado di apportare acqua di raffreddamento dal contenitore (che fa da schermo in calcestruzzo) alla cavità attorno al "vessel". Questo sottosistema consente di raffreddare il "vessel" del reattore dall'esterno in modo da prevenire il verificarsi di un guasto dall'interno del "vessel" con eventuale conseguenza di fuoriuscita di detriti fusi dal "vessel" e scarico nel contenitore. Riuscire a mantenere i detriti fusi all'interno del "vessel" riduce in modo significativo la possibilità che, di conseguenza, si verifichi un guasto del contenitore (schermato di calcestruzzo) con fuoriuscita di prodotti radioattivi nell'ambiente esterno. Normalmente si tratta di un guasto prodotta dalla interazione dei detriti fusi (esterni al vessel) con il calcestruzzo. Ovviamente per passare a contatto con il calcestruzzo i detriti fusi di materiale fissile devono prima di tutto avere bucatato lo schermo di acciaio attorno la "vessel".
4. Come più volte detto, la guaina attorno alle barre di combustibile effettua il primo livello di barriera – quella fisico-ingegneristica dopo la matrice di materiale fissile – per il rilascio di radiazione radioattiva nel caso, altamente improbabile, di incidente critico (accidente). Come pure accennato, il recipiente in pressione (pressure vessel) del reattore e le tubazioni di refrigerazione del reattore forniscono in modo indipendente l'uno dall'altro il secondo livello di protezione della difesa in profondità, rispetto alla fuoriuscita di prodotti radioattivi e fissili. Quindi lo schermo di acciaio (inossidabile) assieme al contenitore in calcestruzzo (di circa un metro di spessore) fornisce barriere ingegneristiche ulteriori, costituendo quella che normalmente si chiama la "terza barriera" che fornisce flussi di aria in circolazione naturale (ad es. nel caso di AP1000) per il raffreddamento del contenitore di acciaio. Questo tipo di accorgimento ingegneristico ha permesso di impiegare la convezione naturale dell'aria per raffreddare lo schermo di acciaio e migliorare il raffreddamento con evaporazione ottenuto facendo cadere flussi acqua da un grande serbatoio posizionato in alto nella parte superiore del contenitore esterno sopra al contenitore di acciaio.

A livello internazionale, i requisiti di affidabilità e sicurezza delle centrali nucleari sono imposti a specifica dalle Agenzie addette al compito ad. esempio la NRC e/o la IAEA, In particolare, i requisiti di affidabilità e sicurezza normalmente imposti riguardano:

1. CDF, Core Damage Frequency, = Frequenza di Danno del Cuore.
2. LRF, Large Release Frequency, = Frequenza di Grandi Rilascio (di grandi quantità di prodotti fissili).

Nella tabella seguente si riportano i valori standard pubblicati in vari ambienti (tra i quali quello della Westinghouse):

| Tab. N° 3.11 Prestazioni tecniche di sicurezza in termini di PRA (Probabilistic Risk Assessment) | | | |
|---|--|---|--|
| Requisito di CDF a Specifica (secondo NRC, CDF eventi per anno) | Valori di CDF raggiunti da impianti commerciali classici (2 e 3 generazione anche avanzata) | Requisito CDF di Specifica (secondo URD) | Prestazione CDF raggiunta da AP1000 |
| 1×10^{-4} | 5×10^{-5} | 1×10^{-5} | 5×10^{-7} |

In ogni reattore, però, i sottosistemi non correlati alla sicurezza servono in ogni caso a supportare le attività di operazione normale e costituiscono la prima linea di difesa ingegneristica in caso di innesco di incidente critico o di instabilità. Appare molto importante considerare anche la importanza di questi sottosistemi non direttamente correlati alla sicurezza dei reattori poiché per essi si può ridurre le attività di manutenzione, di ispezioni e di prove. Tuttavia, non si condivide la scelta di progettare e realizzazione questi sottosistemi in maniera non antisismica, poiché, devono essere sempre ambienti vivibili e con operatori che ci lavorano dentro.

Dalla stessa analisi PRA il valore di LRF (Large Release Frequency) riportati, ad esempio, dalla Westinghouse, per il sistema AP1000 è:

LRF, Frequenza di Grande Rilascio (di prodotti fissili)

e quindi radioattività) = 8×10^{-8} eventi per anno

Per i valori assunti dalle stese caratteristiche vengono presentati dagli altri costruttori di centrali nucleari valori del tutto simili o uguali.

Prima di concludere però bisogna dedicare un po' di interesse al problema della "security" che è l'altro aspetto della sicurezza che non è stato trattato a fondo in questo libro. Con riferimento a quanto scritto e definito nel sito del DOE e a quello della National Security degli USA, si deducono alcuni aspetti essenziali della "security" che devono essere aggiunti in modo consistente alla gestione dell'effetto del sabotaggio e terrorismo del tipo "accidente" delle Torri Gemelle del 11 settembre 2001. In modo molto cauto e tra le righe, questi aspetti che si stanno per enucleare sono inclusi nello statuto della Agenzia della Sicurezza Nucleare e si possono riassumere nei seguenti argomenti:

1. Sviluppare programmi di lavoro che garantiscono la protezione della "security" ossia la protezione delle informazioni e dei dipartimenti della Agenzia per la Sicurezza Nucleare per l'incremento e le applicazioni di nuove tecnologie. Scopo del lavoro è quindi preservare l'integrità, la "dependability" (affidabilità, disponibilità, mantenibilità) ossia la confidabilità dell'informazione e dei sistemi informativo.
2. Gestire le operazioni di "security" della Agenzia per la sicurezza Nucleare sviluppando politiche e gestioni manageriali concernenti le responsabilità intrinseca dell'Agenzia.
3. Prevenire la proliferazione di armi nucleari ed ingegnere armi di distruzione di massa controllando il sabotaggio, il terrorismo.

Legato a questi argomenti c'è la trattazione e il controllo della sicurezza del personale che, per tutti gli altri campi è regolamentata dalla legge 81/2009 e che in fondo, fa parte di quel territorio di sovrapposizione fra "safety/health" e "security".

Compito della Agenzia per la Sicurezza Nucleare è anche quello di controllare e garantire, in modo diligente, che tutti i programmi effettuati siano eseguiti in modo sicuro, senza pericoli e pulita dal punto di vista ambientale. Diventa compito della Agenzia anche la gestione delle scorie radioattive in modo sicuro e pulito. Come si nota il lavoro da fare per il raggiungimento della "security" è tanto.

Per ottenere obiettività il testo appare pieno di riferimenti e di fonti che si spera siano oggettivi e autorevoli. Si spera di avere chiarito in modo inequivocabile che la sicurezza – safety – di centrali come il quarto reattore di Chernobyl è del tutto diversa da quella delle moderne centrali di terza generazione e di terza generazione avanzata. L'accento al miglioramento della sicurezza che viene dalla quarta generazione è d'obbligo anche se il periodo di sviluppo è ancora troppo elevato; si parla di dovere aspettar almeno 30 o 40 anni.

L'ultimo argomento trattato è quello del ciclo del combustibile riportato nel decimo capitolo. Questo annoso problema viene affrontato con decisione in questi ultimi tempi con la pubblicazione della mappa dei siti (anche geologici) potenziali e le relazioni con le proposte europee di concentrazione della scorie radioattive in siti geologici al nord dell'Europa (quasi al polo nord). Sembra che ci siano concrete realizzazioni di ricerche italiane nel campo del ri-lavorazione con nuovo processo delle scorie radioattive con irraggiamento di neutroni veloci (da reattore veloci) per farle decadere a renderle inoffensive.

L'autore quindi si augura che la lettura degli argomenti trattati in questo libro possa contribuire a fugare alcuni preconcetti e pregiudizi del lettore nel campo della sicurezza delle centrali nucleari. Si augura inoltre che possano cadere alcune divisioni intellettuali, pregiudizi morali ed etici oltre suddivisioni di approccio "manageriale" sull'argomento della sicurezza delle centrali nucleari in modo che se ne fornisca una serena e obiettiva informazione alla popolazione e di conseguenza la "accettabilità" delle stesse diventi un compito più semplice da raggiungere.

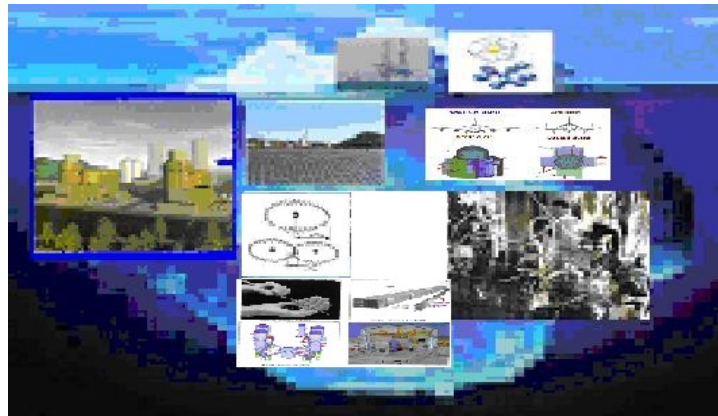
Giuseppe Quartieri

Questo volume fa parte di un piano di opera di elaborazione di libri sulla energetica con particolare riguardo allo sviluppo del nucleare e delle energie alternative o, anche dette, integrative che globalmente va sotto il nome di "Iceberg Energetico":

- Volume 1: L'Iceberg Energetico
- Volume 2: Introduzione alla sicurezza dei sistemi nucleari
- Volume 3: La security, i siti e il ciclo del combustibile nucleare
- Volume 4: Metodi Matematici di "Dependability" e Sicurezza di Sistemi Complessi
- Volume 5: Energie alternative ed integrative.

Questo secondo volume tratta gli aspetti moderni della sicurezza delle centrali nucleari intese come sistemi complessi e complicati. Purtroppo è solo una introduzione alla sicurezza nucleare e alla relativa metodologia. In primo luogo gli elementi elaborati si propongono di introdurre i concetti e le applicazioni di sicurezza nucleare mettendo in evidenza la metodologia deterministica e probabilistica, senza fare riferimento sostanziale ai metodi matematici sottostanti in modo da allargare al massimo la tipologia del lettore. A tale fine, si impiega in modo estensivo il metodo dell'ingegneria dei sistemi con ampio uso della tecnica della descrizione ed analisi di sistema.

Inoltre, gli argomenti concernenti la "security" non sono trattati a fondo per ovvie limitazioni di spazio e di tempo. Gli argomenti concernenti la scelta dei siti, la relativa sicurezza e la sicurezza del ciclo del combustibile nucleare sono trattati ma sempre nell'ottica di sviluppare un volume a parte più approfondito



Giuseppe Quartieri, fisico (PhD) - indirizzo applicativo elettronica nucleare (1965) – borsa di studio per la specializzazione, Post-Doc, in Elettronica Superiore del CNR, sotto gli auspici del Comitato Tecnico Scientifico del Ministero della Difesa (1967), ha fatto ricerca e lavorato, dal 2 maggio 1968, nell'industria elettronica, aeronautica e aerospaziale per oltre 25 anni nel campo della Affidabilità, Dependability, Safety e Sistemi Qualità di sistemi complessi (avionica di aerei, elettronica di bordo, navionica, e sistemi di navigazione terrestre) [finendo nel 1993].

Nel 1984, ha ripreso l'insegnamento di elettronica e sistemi con diversi incarichi di insegnamento di elettronica applicata, avionica, affidabilità, Dependability, Supporto Logistico Integrato, Sistemi Qualità presso varie università [Università di Perugia, Università di Siena, UNILUDES (Lugano-Svizzera) ecc.] oltre alla formazione per la Regione Lazio. Contemporaneamente svolge libera attività di consulenza industriale nel campo della affidabilità, dependability, compatibilità elettromagnetica, protezione da radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, sistemi di gestione per la qualità (elettronica, telecomunicazioni, dispositivi medici, nucleare, ecc.) ed in genere organizzazione aziendale e scienza ed ingegneria dei sistemi.

Negli ultimi dieci anni ha ripreso ad interessarsi dei problemi energetici (nucleare, solare, eolico ecc.) avendo fatto parte e facendo parte di associazioni quali Galilei 2001, AICQ, AIFB, ANFeA ecc. Oltre a questo ha scritto e pubblicato un libro sulla sicurezza del volo, vari altri libri sulla qualità, affidabilità e quasi cento articoli scientifici e tecnologici. Attualmente è Responsabile Nazionale dello sviluppo di politiche energetiche di ADC.