



Dose occupazionale nelle Centrali Nucleari ed  
in altre installazioni industriali

**Ing. Francesco Mancini**

**Convegno AIRP**  
**“Nuovo Nucleare in Italia”**  
*Roma 24 febbraio 2011*

1. **ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback**
2. **Dose occupazionale in Europa:**
  - ✓ **progetto ESOREX**
  - ✓ **Francia**
3. **Dose occupazionale negli Stati Uniti:**
  - ✓ **NRC - NUREG-0713 Vol. 30**
  - ✓ **Radioprotezione oggi e domani**
4. **Principi di Radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari**
  - ✓ **Principi e criteri per la progettazione di nuove centrali nucleari**
  - ✓ **Lezioni apprese, gestione conoscenza, educazione e training**
  - ✓ **Integrazione criteri di radioprotezione nella fase di progettazione**
5. **Conclusioni**

## 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback



### ▪ **OECD**

- ✓ L'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) è un'organizzazione intergovernativa di paesi industrializzati fondata nel 1958
- ✓ Fanno parte dell'OECD: Australia, Austria, Belgio, Canada, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Islanda, Italia, Giappone, Korea, Lussemburgo, Messico, Olanda, Nuova Zelanda, Norvegia, Polonia, Repubblica Slovacca, Spagna, Svezia, Svizzera, Turchia, Regno Unito e Stati Uniti

### ▪ **NEA/OECD**

- ✓ La Nuclear Energy Agency (NEA) è un'agenzia dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) fondata nel 1958 con lo scopo di assistere i paesi membri a mantenere e sviluppare attraverso la cooperazione, le basi scientifiche, tecnologiche e legali richieste per la sicurezza, l'uso economico dell'energia nucleare per scopi pacifici

### ▪ **ISOE**

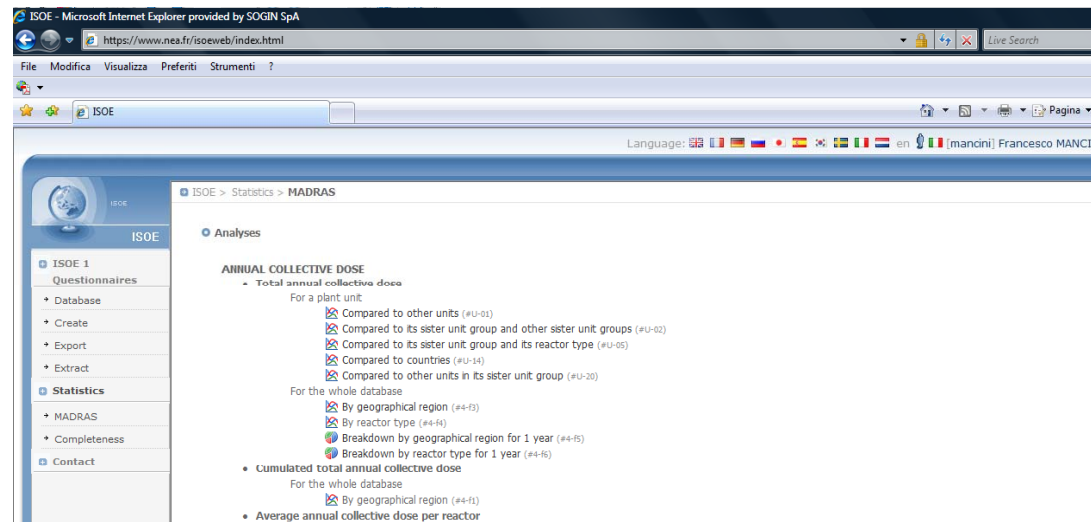
- ✓ L'International System on Occupational Exposure (ISOE), fondato nel 1992, sponsorizzato dalla NEA/OECD e dalla IAEA costituisce un forum di professionisti di radioprotezione di centrali nucleari e autorità di controllo per discutere, promuovere e coordinare l'applicazione della radioprotezione dei lavoratori nelle Centrali Nucleari
- ✓ L'obiettivo dell'ISOE è migliorare la gestione dell'esposizione occupazionale nelle centrali nucleari attraverso lo scambio ampio e periodico delle informazioni, dati ed esperienze sui metodi per ottimizzare la radioprotezione occupazionale

# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Database ISOE



- Un elemento chiave dell'ISOE è seguire il trends dell'esposizione occupazionale dalle centrali nucleari del mondo per il benchmarking, analisi comparative e scambio di esperienze tra i membri ISOE
- Le informazioni sono riportate nell'ISOE Occupational Exposure Database (ISOEDAT)



<https://www.nea.fr/isoeweb/index.html>

# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Database ISOE

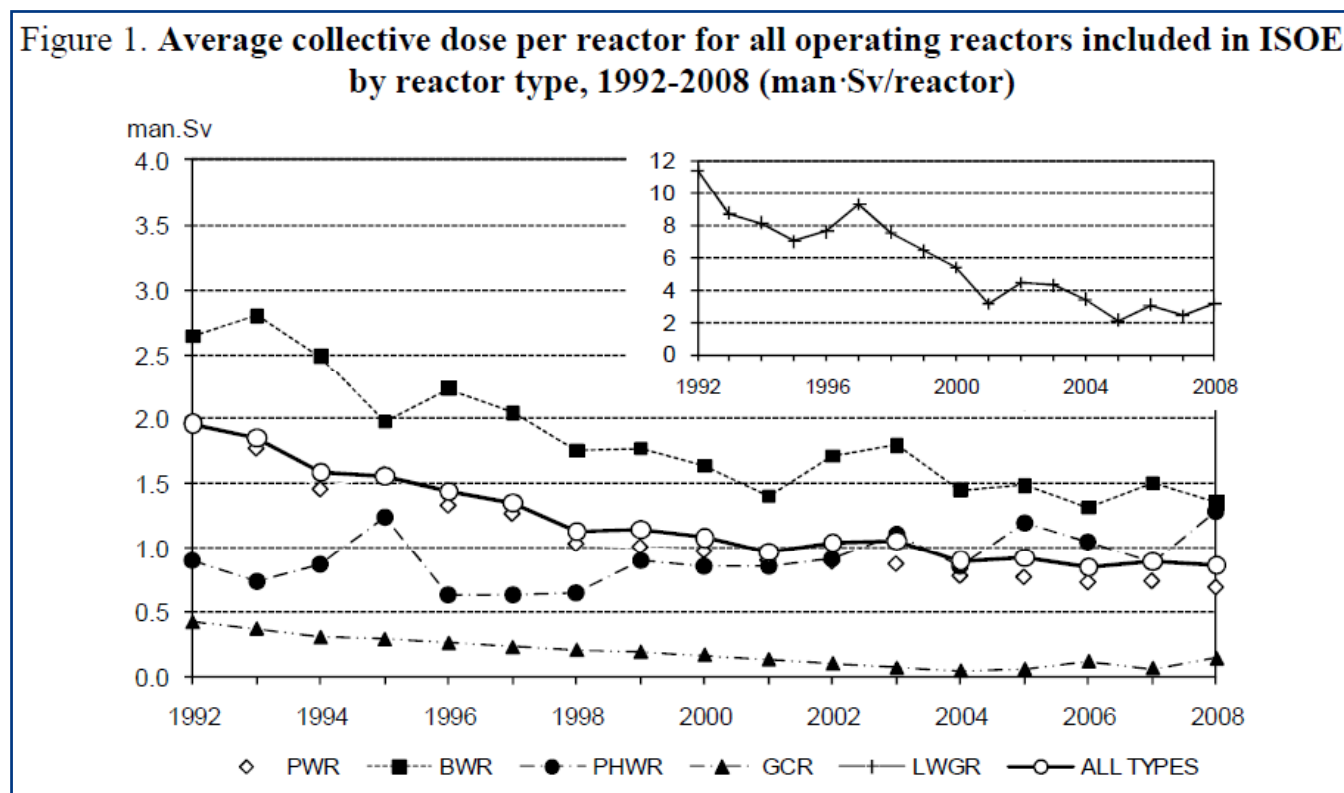


- Il **database ISOE** include i seguenti tipi di dati:
  - ✓ Informazioni dosimetrici da NPPs commerciali in esercizio, shutdown o in una fase di decommissioning, che includono la **dose collettiva** per:
    - Normale esercizio;
    - Manutenzione/ricarica combustibile;
    - Ricariche non previste;
    - Particolari lavori e categoria di lavoratori
  - ✓ Informazioni rilevanti sulla riduzione di dose per specifici impianti, materiali, chimica dell'acqua, procedure di start-up/shutdown, programma di riduzione del cobalto, etc..
  - ✓ Raccolta di informazioni di radioprotezione per operazioni specifiche, lavori, procedure, attrezzature o tasks (lezioni di radioprotezione apprese):
    - Riduzione dose efficace;
    - Efficacia decontaminazione;
    - Implementazione dei principi di workmanagment
- Utilizzando il database ISOE i membri possono eseguire vari confronti e analisi di tendenze per paese, per tipo di reattore o altri criteri.

# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio

- Le figure seguenti mostrano l'andamento della dose collettiva media annuale e su periodi di 3 anni per reattore, tipo di reattore per il periodo 1992-2008.
- In generale la dose collettiva per unità di reattore decresce in maniera consistente nel periodo coperto dal database ISOE, con il 2008 che mantiene i valori medie raggiunti negli ultimi anni.

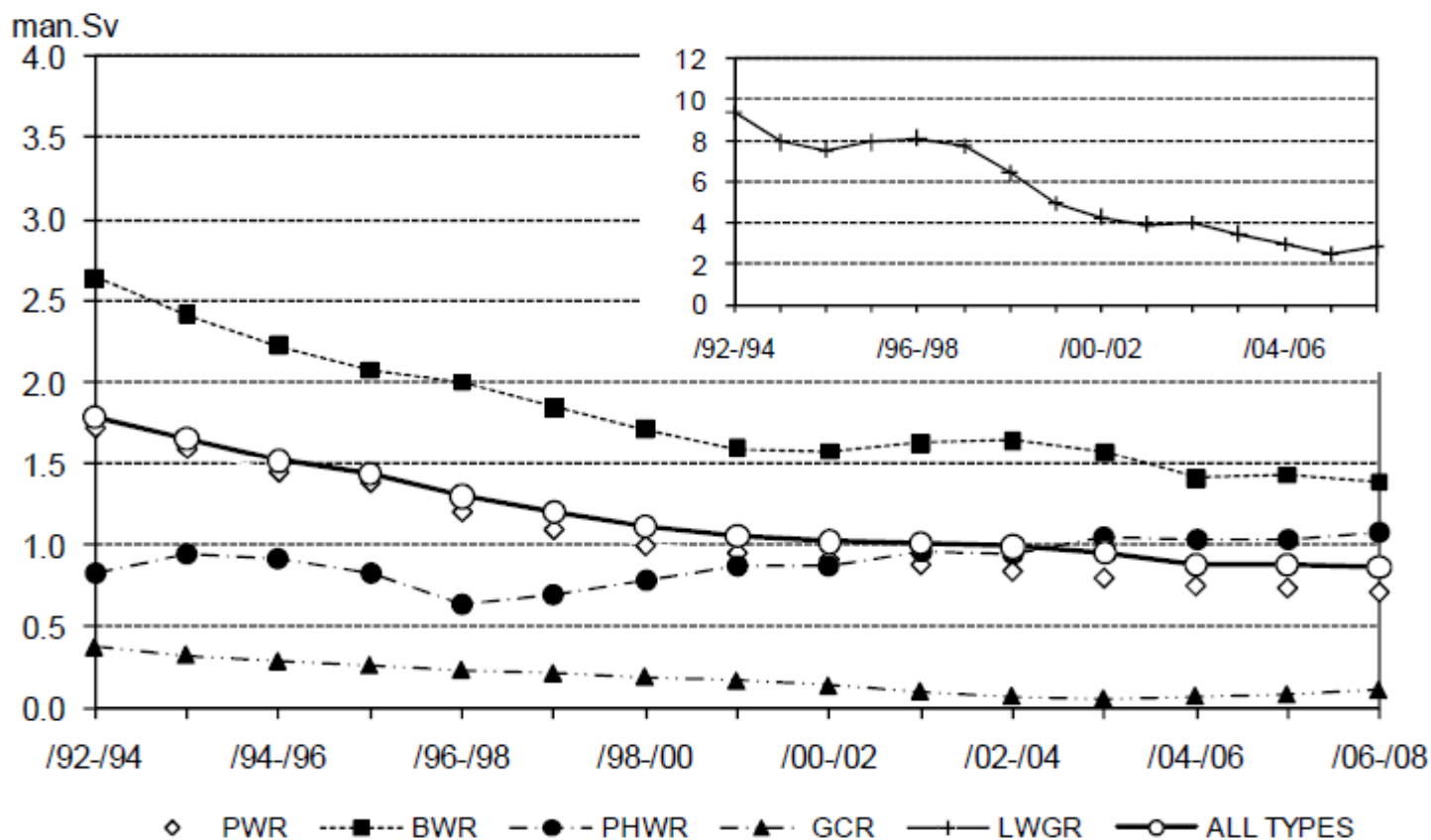


# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio



Figure 2. 3-year rolling average per reactor for all operating reactors included in ISOE by reactor type, 1992-2008 (man·Sv/reactor)



Note: Inset charts shows average collective dose for LWGRs.

## 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

### Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio



- La tabella riassume le dosi medie collettive per reattore nell'anno 2008

Table 2. Summary of average collective doses for operating reactors (2008)

	2008 average annual collective dose (man·Sv/reactor)	3-year rolling average for 2006-2008 (man·Sv/reactor)
Pressurised water reactors (PWR/VVER)	0.69	0.72
Boiling water reactors (BWR)	1.35	1.38
Pressurised heavy water reactors (PHWR/CANDU)	1.27	1.07
All reactors, including gas cooled (GCR) and light-water graphite reactors (LWGR)	0.86	0.86



# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio



### □ Europa

- In Europa nel 2008 la dose collettiva media per **PWR** e VVER è stata di circa **0.54 Sv·persona/reattore**, la metà dei paesi mostrano un leggero decremento negli ultimi 3 anni e l'altra metà un leggero aumento.
- La dose collettiva per i **BWR** è stata di circa **0.91 Sv·persona/reattore**, che è il valore più basso negli ultimi 3 anni
- Il trend su tre anni della dose media collettiva per reattore, che fornisce meglio il trend generale della dose, mostra una continuità nella decrescita per i PWR e VVER, andando da 0.65 Sv·persona/reattore per 2004-2006 a 0.56 Sv·persona/reattore per 2006-2008 (decrescita del 13%).
- Per i BWR, dopo un incremento del 2005-2007, l'andamento è nuovamente decrescente, il valore del 2006-2008 (1.09 Sv·persona) risulta, comunque più alto di quello del periodo 2004-2006 (1.01 Sv·persona)

## 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

### Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio



#### □ Asia

- In Asia nel 2008 la dose collettiva per reattore è diminuita per tutti i tipi di reattori eccetto per i PWR giapponesi. La dose collettiva media su tre anni mostra un decremento per i PHWR della Corea e un andamento stabile per i BWR giapponesi e i PWR coreani.
- La dose collettiva media per reattore **PWR del Giappone, 1.57 Sv-persona**, è aumentata dall'anno precedente, dovuta principalmente all'aumento di ispezioni e lavori di modifica durante le ispezioni.
- Per i reattori coreani PWR la dose collettiva media per reattore è stata di 0.49 Sv-persona, per i PHWR coreani è stata di 0.59 Sv-persona e la dose media su tre anni è stata di 0.66 Sv-persona
- Riguardo i **BWR giapponesi** la dose collettiva nel 2008 è diminuita a **1.45 Sv-persona** da 1.47 Sv-persona nel 2007.

# 1. ISOE: dosi occupazionali, trend e feedback

## Andamento esposizioni occupazionali: reattori in esercizio



### □ Nord America

- In Nord America, i paesi partecipanti all'ISOE includono gli Stati Uniti, Canada e Messico. Nel 2008, ci sono stati un totale di 46 reattori partecipanti all'ISOE, che includono 14 PWR, 11 BWR e 21 PHWR
- Negli **Stati Uniti** la dose collettiva media per i **PWR** è stata di **0.68 Sv·persona** per l'anno 2008 con un decremento del 1% rispetto al 2007, 0.69 Sv·persona
- Per i **BWR** la dose collettiva media degli stati Uniti è stata di **1.29 Sv·persona** con un decremento del 16% di quella del 2007, 1.54 Sv·persona
- La dose collettiva media su 3 anni per i PWR è stata di 0.75 Sv·persona nel periodo 2006-2008, con un decremento del 4% rispetto al periodo 2005-2007, 0.78 Sv·persona
- Per i BWR la dose collettiva media nel periodo 2006-2008 è stata di 1.42 Sv·persona, il 9% in meno di quella del periodo 2005-2007, 1.56 Sv·persona.
- In Canada sono licenziati 22 **CANDU**. La dose collettiva per il 2008 per 20 reattori (3 unità in ammodernamento) in esercizio è stata di **1.38 Sv·persona**. Per le tre unità in ammodernamento la dose collettiva è stata di 3.07 Sv·persona/reattore
- Nel **Messico**, ci sono due unità **BWR**, la dose collettiva per il 2008 è stata di **4.69 Sv·persona/reattore**. Il crud ( $^{60}\text{Co}$ ) continua ad avere un impatto sulla dose occupazionale

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX



- Con l'entrata in vigore della Direttiva EURATOM 96/29 e la riduzione dei limiti di dose la radioprotezione per i lavoratori è diventata più restrittiva
- E' stato parte del progetto ESOREX (European Study on Occupational Radiation Exposure) analizzare se i nuovi limiti di dose hanno portato ad un cambiamento nell'esposizione occupazionale
- Per valutare questo sono stati presi a riferimento:
  1. Riduzione della dose media individuale;
  2. Riduzione della dose collettiva;
  3. Casi con dose > 20 mSv;
  4. Shift delle distribuzioni di dosi a valori più bassi.
- Per individuare il cambiamento è importante non solo guardare le dosi medie individuali ma anche quelle collettive, infatti la riduzione del limite annuo di dose da 50 a 20 mSv avrebbe dovuto portare ad una diminuzione dei casi di esposizione sopra il nuovo limite

Radiation Protection Dosimetry (2007), Vol. 125, No. 1–4, pp. 121–126

DOSE TRENDS IN OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE IN EUROPE RESULTS FROM THE ESOREX PROJECT

Gerhard Frasch, and Karla Petrova

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX

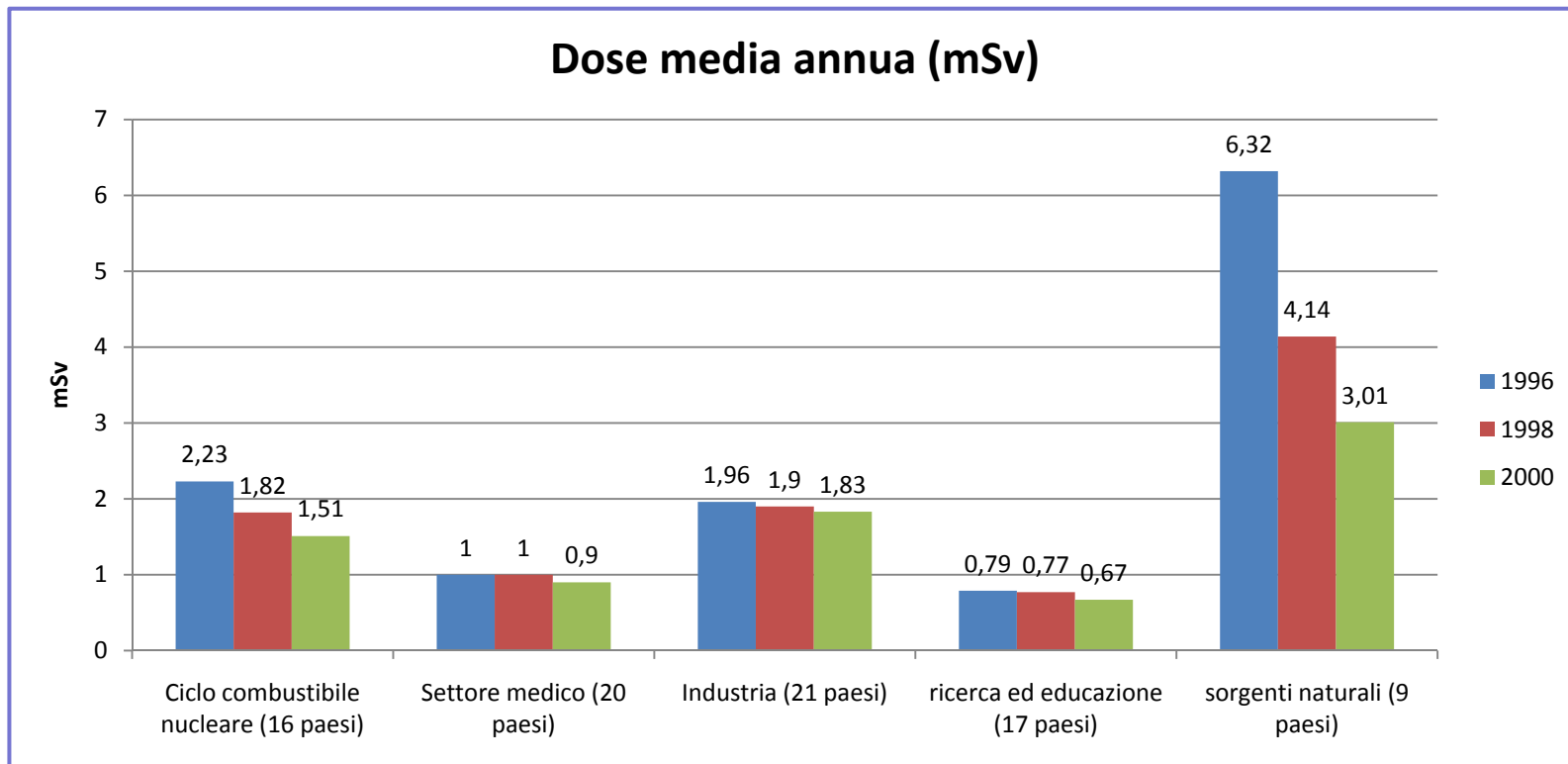


- Nel 2000 circa 1 milione lavoratori in Europa sono stati classificati di Categoria A o B e monitorati. Circa il 35% di questi ha ricevuto una dose rilevabile
- La dose collettiva è risultata di circa 450 Sv·persona con una dose media di 1,3 mSv

		1996	1998	2000
<b>Ciclo combustibile nucleare (16 paesi)</b>	dose media annuale (mSv)	2,23	1,82	1,51
	dose collettiva (Sv·persona)	224,9	172,7	162,6
	No. di casi per 10.000 esposti con dose > 20 mSv/anno	40,3	34,3	11,3
<b>Settore medico (20 paesi)</b>	dose media annuale (mSv)	1	1	0,9
	dose collettiva (Sv·persona)	176,9	173,8	171,3
	No. di casi per 10.000 esposti con dose > 20 mSv/anno	5,2	4,4	4,4
<b>Industria (21 paesi)</b>	dose media annuale (mSv)	1,96	1,9	1,83
	dose collettiva (Sv·persona)	75,6	73,2	69,1
	No. di casi per 10.000 esposti con dose > 20 mSv/anno	15,3	14	12,6
<b>ricerca ed educazione (17 paesi)</b>	dose media annuale (mSv)	0,79	0,77	0,67
	dose collettiva (Sv·persona)	12,3	11,9	10,5
	No. di casi per 10.000 esposti con dose > 20 mSv/anno	0,4	1,6	0,9
<b>sorgenti naturali (9 paesi)</b>	dose media annuale (mSv)	6,32	4,14	3,01
	dose collettiva (Sv·persona)	70,2	44,5	39
	No. di casi per 10.000 esposti con dose > 20 mSv/anno	346	234,2	99,9

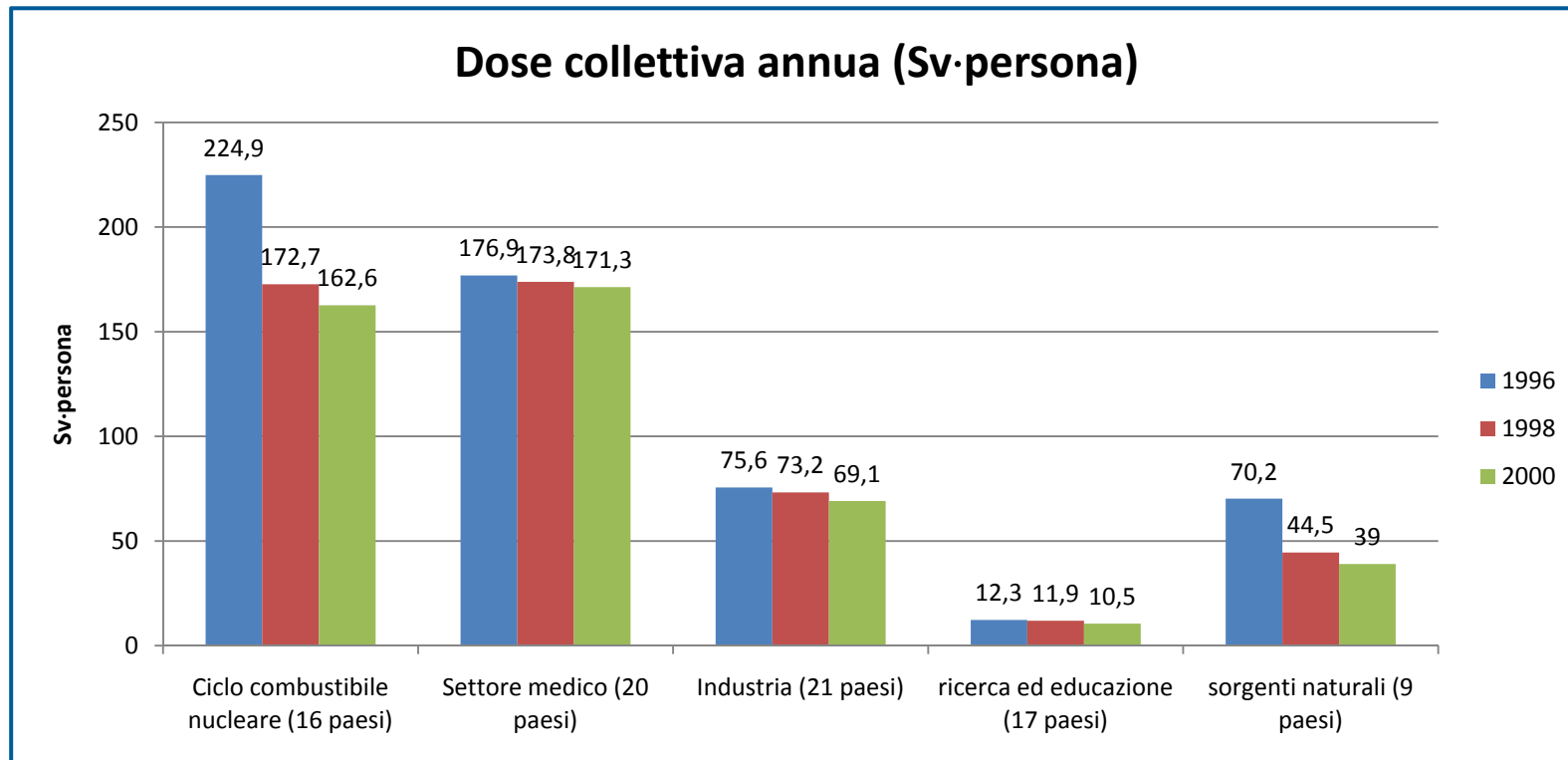
## 2. Dose occupazionale in Europa

**ESOREX**



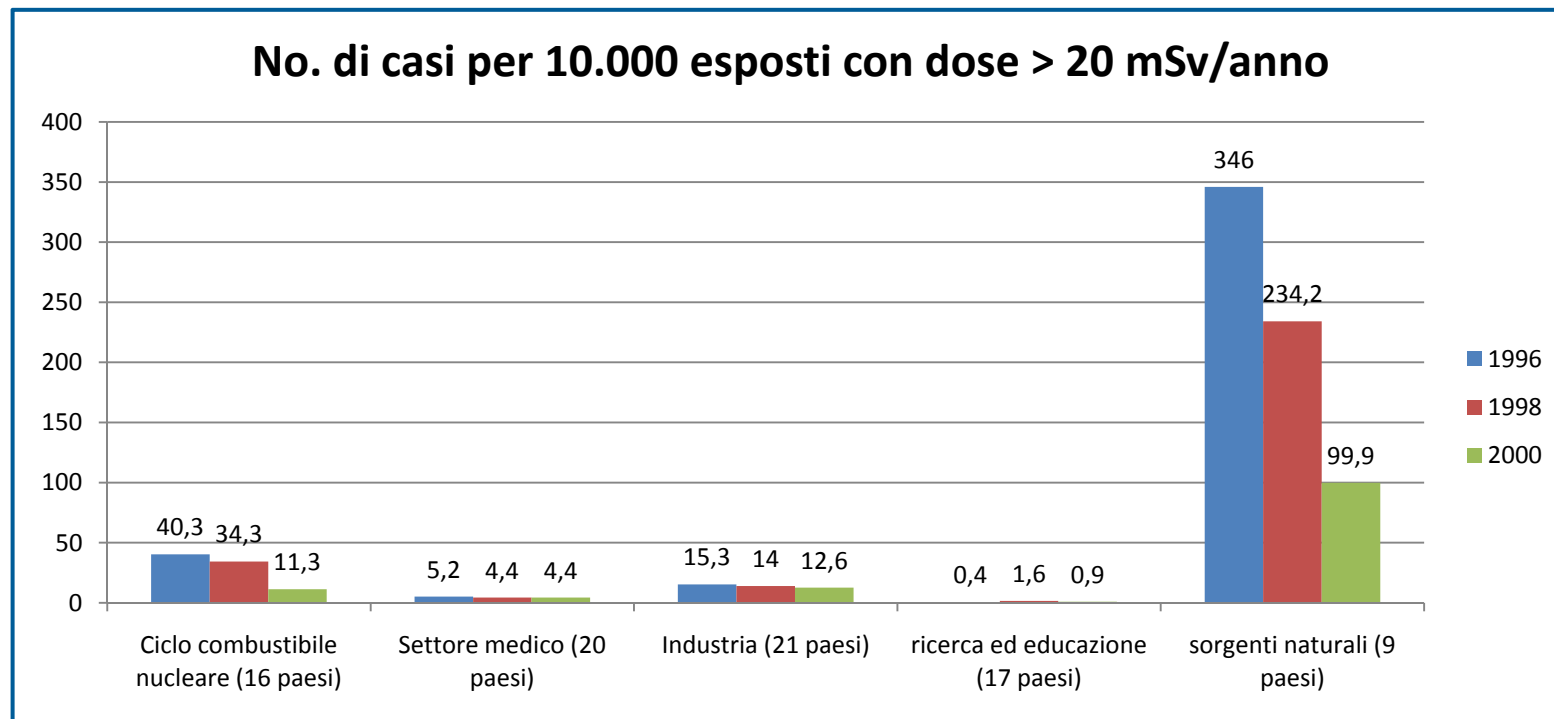
## 2. Dose occupazionale in Europa

**ESOREX**



## 2. Dose occupazionale in Europa

**ESOREX**





## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX



#### Ciclo del combustibile

- Dal 1996 al 2000 è evidente una riduzione delle esposizioni nel settore nucleare
- La dose media annua è passata da 2.2 a 1,5 mSv e la dose collettiva da 225 a 163 Sv·persona
- Il numero di lavoratori con dose annua > 20 mSv è passato da 40 a 11 per 10.000 lavoratori monitorati
- La distribuzione della dose mostra uno spostamento verso valori più bassi

#### Settore medico

- Rispetto al settore nucleare ci sono meno differenze poiché i livelli di esposizione erano già bassi
- La dose media resta nel 2000 di 0,9 mSv e la dose collettiva mostra una diminuzione del 3.4%
- Il numero di lavoratori con dose annua > 20 mSv è diminuito leggermente da 5.2 a 4.4 per 10.000 lavoratori monitorati
- Anche la distribuzione della dose mostra piccole variazioni

#### Settore industriale

- Si sono osservate piccole variazioni
- La dose media è diminuita di circa il 10% a 1.8 mSv e la dose collettiva del 9% passando da 76 a 69 Sv·persona
- Il numero di lavoratori con dose annua > 20 mSv è diminuito leggermente da 15.3 a 12.6 per 10.000 lavoratori monitorati
- Anche la distribuzione della dose mostra piccole variazioni

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX



### Ricerca ed insegnamento

- I valori di esposizione in questo settore sono mediamente bassi
- C'è stata una diminuzione della dose media da 0.8 a 0.7 mSv e del 15% della dose collettiva
- I casi con dose annua > 20 mSv/anno in questo settore sono rari

### Sorgenti naturali

- In questo settore si sono avuti i cambiamenti più evidenti anche se i dati sono da leggere con cautela perché provengono dai soli paesi che eseguono il monitoraggio
- La dose media annua è scesa a 3 mSv, più del 50%, e c'è stata una riduzione della dose collettiva del 44% a 39 Sv-persona
- C'è stata una riduzione del 71% dei casi con dose annua > 20 mSv

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX: dati Francia 2008



- Numero di lavoratori monitorati: 306,629 (2008)
- Numero di installazioni: circa 70,000 aziende con lavoratori esposti alle radiazioni

*Table 1: Summary statement of monitoring using passive external dosimetry in 2008 field of activity*

Field of activity	Workers monitored	Collective dose (person.Sv)	Individual dose average mSv	Breakdown of workers by dose intervals						
				<MDL mSv	MDL- 1 mSv	1-6 mSv	6-15 mSv	15- 20 mSv	20- 50 mSv	> 50 mSv
Nuclear industry	57,848	24.38	0.42	36,021	15,660	5,458	688	20	1	0
Medical and veterinary	183,771	15.46	0.08	153,863	27,087	2,619	175	19	6	2
Industry	50,412	11.92	0.24	37,202	9,272	3,079	837	15	5	2
Research	14,598	0.60	0.04	13,432	1,051	114	1	0	0	0
<b>Total</b>	<b>306,629</b>	<b>52.36</b>	<b>0.17</b>	<b>240,518</b>	<b>53,070</b>	<b>11,270</b>	<b>1,701</b>	<b>54</b>	<b>12</b>	<b>4</b>

*MDL: minimum detectable level*

European Study Of Occupational Radiation Exposure  
ESOREX 2010 Book of Country Reports Prague 7. – 9. June Czech Republic

<http://www.esorex2010.cz/downloads>

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX: dati Francia 2008



*Table 2: Summary statement of monitoring using passive external dosimetry in 2008: distribution according to activity sector in the medical field*

Activity sector	Workers monitored	Collective dose person.Sv	Individual dose average mSv	Breakdown of workers by dose intervals						
				<MDL mSv	MDL-1 mSv	1-6 mSv	6-15 mSv	15-20 mSv	20-50 mSv	> 50 mSv
Radiology	110,408	11.01	0.10	89,183	19,294	1,761	145	17	6	2
Radiotherapy	8,920	1.02	0.11	7,146	1,547	213	13	1	0	0
Nuclear medicine	3,346	0.97	0.28	2,307	701	335	3	0	0	0
Non-sealed sources in vitro	4,170	0.07	0.02	4,064	100	5	1	0	0	0
Dental medicine	32,073	0.93	0.03	29,881	2,098	90	4	0	0	0
Occupational Medicine	7,774	0.68	0.09	6,290	1,358	119	7	0	0	0
Veterinary medicine	15,137	0.34	0.02	14,214	876	45	2	0	0	0
Military medicine	1,943	0.44	0.23	778	1,113	51	1	0	0	0
Total	183,771	15.46	0.08	153,863	27,087	2,619	175	19	6	2

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX: dati Francia 2008



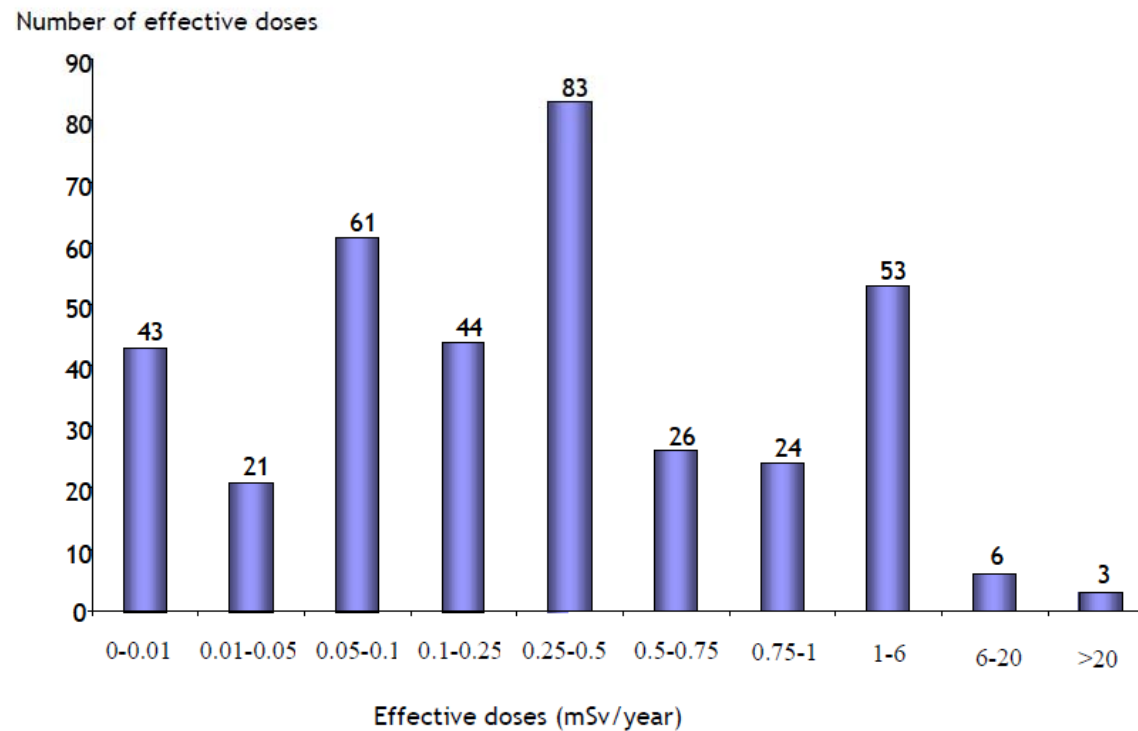
*Table 4: 2008 statement of annual individual dose for flight personnel (Air France and Air Caledonia International)*

Number of workers	Distribution of annual individual doses						Average dose	Maximum dose
	< 1 mSv	1-2 mSv	2-3 mSv	3-4 mSv	4-5 mSv	> 5 mSv	mSv	mSv
20,275	3,553 (17.5%)	5,891 (29%)	5,287 (26%)	4,616 (23%)	925 (4.5%)	3 -	2.2	5.1

## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX: dati Francia 2008

*Figure 2: Distribution of calculated doses in the assessment cases of establishments performing NORM activities.*



## 2. Dose occupazionale in Europa

### ESOREX: dati Francia 2008



*Table 5: 2008 statement of alerts resulting from exceeding regulatory dose limits*

<b>Alerts from exceeding regulatory dose limits</b>	<b>57</b>
Nuclear plants	4
Industry	17
Transport	0
Medical field	36
Research	0
<b>Other events</b>	<b>190</b>
Nuclear plants, industry and research	183
Medical field	7

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti



- ❑ **NUREG – 713 Vol. 30:** Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors and Other Facilities 2008

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0713/>

- ❑ Tipologia di installazione:
  - ✓ industria radiografica;
  - ✓ fabbricazione e distribuzione sorgenti radioattive;
  - ✓ stoccaggio combustibile esaurito;
  - ✓ ciclo combustibile ed arricchimento uranio;
  - ✓ centrali nucleari.



### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

**Dati 2008**



	<b>N. di Attività</b>	<b>N. lavoratori controllati</b>	<b>Dose collettiva [mSv*persona]</b>	<b>Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]</b>
<b>Industria radiografica</b>	<b>61</b>	<b>2.967</b>	<b>14608</b>	<b>4,92</b>
<b>Fabbricazione e distribuzione sorgenti</b>	<b>18</b>	<b>1.934</b>	<b>2221</b>	<b>1,15</b>
<b>Stoccaggio combustibile esaurito</b>	<b>2</b>	<b>53</b>	<b>12,48</b>	<b>0,24</b>
<b>Ciclo combustibile ed arricchimento uranio</b>	<b>9</b>	<b>7.184</b>	<b>4209</b>	<b>0,59</b>
<b>Reattori ad acqua leggera</b>	<b>104</b>	<b>118.692</b>	<b>91959</b>	<b>0,77</b>

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

**Dati 2008**



Attività	Distribuzione dose individuale (mSv)									
	No Mis.	< 1.0	1.0- 2.5	2.5 - 5.0	5.0 - 7.5	7.5 - 10	10 -20	20-30	30-40	40-50
<b>Industria radiografica</b>	380	693	429	452	298	229	371	93	20	2
<b>Fabbricazione e distribuzione sorgenti</b>	593	893	224	100	61	26	24	6	6	1
<b>Stoccaggio combustibile esaurito</b>	32	17	3	1						
<b>Ciclo del combustibile e arricchimento uranio</b>	4414	1515	648	416	164	24	3			
<b>Reattori ad acqua leggera</b>										
<b>BWR (35)</b>	27150	21809	7276	3841	1098	392	221	5		
<b>PWR (69)</b>	62724	30022	10061	3737	749	191	48			
<b>Totale (104)</b>	89874	51831	17337	7578	1847	583	269	5	0	0
<b>Totale</b>	95293	54949	18641	8547	2370	862	667	104	26	3

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

#### Industria radiografica: 1998-2008



	Anno	N. di Attività	N. lavoratori controllati	N. Lavoratori dose individuale misurabile	Dose collettiva [mSv*persona]	Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]	Dose Media (N. tot. Lavoratori dose misurabile) [mSv]
<b>Industria radiografica</b>	1998	141	4.940	3.439	18587,75	3,76	5,40
	1999	131	3.557	2.689	15481,1	4,35	5,76
	2000	128	3.157	2.454	15251,43	4,83	6,21
	2001	123	3.560	3.040	21062,13	5,92	6,93
	2002	100	3.420	2.842	17292,22	5,06	6,08
	2003	118	3.115	2.651	15842,49	5,09	5,98
	2004	113	3.568	3.014	16035,91	4,49	5,32
	2005	90	3.009	2.623	15045,75	5,00	5,74
	2006	78	2.388	1.981	11093,47	4,65	5,60
	2007	74	2.607	2.224	13151,71	5,04	5,91
2008	61	2.967	2.587	14607,57	4,92	5,65	

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

#### Fabbricazione e distribuzione sorgenti: 1998-2008



	Anno	N. di Attività	N. lavoratori controllati	N. Lavoratori dose individuale misurabile	Dose collettiva [mSv*persona]	Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]	Dose Media (N. tot. Lavoratori dose misurabile) [mSv]
<b>Fabbricazione e distribuzione sorgenti</b>	1998	28	1.922	644	4013,56	2,09	6,23
	1999	40	2.205	836	4189,93	1,90	5,01
	2000	39	2.460	1.187	4154,02	1,69	3,50
	2001	35	1.705	1.184	3447,43	2,02	2,91
	2002	29	1.437	1.052	3280,92	2,28	3,12
	2003	33	2.372	1.796	4366,6	1,84	2,43
	2004	28	2.539	1.787	3472,58	1,37	1,94
	2005	23	2.566	1.557	3885,47	1,51	2,50
	2006	23	1.391	903	2845,56	2,05	3,15
	2007	23	2.106	1.463	2913,26	1,38	1,99
2008	18	1.934	1.341	2221,23	1,15	1,66	

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

#### Stoccaggio combustibile esausto: 1998-2008



	Anno	N. di Attività	N. lavoratori controllati	N. Lavoratori dose individuale misurabile	Dose collettiva [mSv*persona]	Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]	Dose Media (N. tot. Lavoratori dose misurabile) [mSv]
<b>Stoccaggio combustibile esaurito</b>	1998	1	53	21	25,61	0,48	1,22
	1999	2	86	33	51,72	0,60	1,57
	2000	2	146	83	55,71	0,38	0,67
	2001	2	154	107	130,88	0,85	1,22
	2002	2	75	67	60,13	0,80	0,90
	2003	2	55	46	27,91	0,51	0,61
	2004	1	37	27	12,57	0,34	0,47
	2005	2	59	30	7,69	0,13	0,26
	2006	2	59	26	21,08	0,36	0,81
	2007	2	57	26	16,97	0,30	0,65
2008	2	53	21	12,48	0,24	0,59	

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

#### Ciclo del combustibile e arricchimento uranio: 1998-2008



	Anno	N. di Attività	N. lavoratori controllati	N. Lavoratori dose individuale misurabile	Dose collettiva [mSv*persona]	Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]	Dose Media (N. tot. Lavoratori dose misurabile) [mSv]
<b>Ciclo del combustibile ed arricchimento uranio</b>	1998	10	10.684	3.613	9498,65	0,89	2,63
	1999	10	9.773	3.935	10203,33	1,04	2,59
	2000	9	9.336	4.649	13393,98	1,43	2,88
	2001	9	8.145	3.980	11622,62	1,43	2,92
	2002	8	7.937	3.886	6608,99	0,83	1,70
	2003	8	7.738	3.633	5562,97	0,72	1,53
	2004	8	7.562	3.813	5139,29	0,68	1,35
	2005	9	7.695	3.370	4965,02	0,65	1,47
	2006	9	7.417	3.415	5215,25	0,70	1,53
	2007	9	7.536	3.225	4287,17	0,57	1,33
	2008	9	7.184	2.770	4208,98	0,59	1,52

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti



#### Reattori ad acqua leggera: 1998-2008

	Anno	N. di Attività	N. lavoratori controllati	N. Lavoratori dose individuale misurabile	Dose collettiva [mSv*persona]	Dose Media (N. tot. Lavoratori) [mSv]	Dose Media (N. tot. Lavoratori dose misurabile) [mSv]
Reattori ad acqua leggera	1998	104	114.367	57.466	131873,9	1,15	2,29
	1999	104	113.916	59.031	136657,1	1,20	2,32
	2000	104	110.557	57.233	126516,8	1,14	2,21
	2001	104	104.928	52.292	111085,5	1,06	2,12
	2002	104	107.900	54.460	121261,9	1,12	2,23
	2003	104	109.990	55.967	119555,7	1,09	2,14
	2004	104	110.290	52.873	103679	0,94	1,96
	2005	104	114.344	57.566	114558,1	1,00	1,99
	2006	104	116.354	58.788	110211,9	0,95	1,87
	2007	104	114.583	57.267	101200,1	0,88	1,77
	2008	104	118.692	57.356	91959,4	0,77	1,60

## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

### Radioprotezione oggi e domani



#### □ Background

- L'industria nucleare ha sempre cercato di migliorare le proprie prestazioni riguardo alla sicurezza dalle radiazioni
- Negli ultimi 25 anni questo processo di continuo miglioramento ha portato a risultati importanti riguardo alla radioprotezione dei lavoratori della popolazione e dell'ambiente
- Alla luce della rinascita dell'energia nucleare negli Stati Uniti, l'industria nucleare sta sviluppando strategie di miglioramento e indirizzo nell'area della radioprotezione
- Nell'area della radioprotezione occupazionale, ogni impianto ha sviluppato un programma ALARA che ha coinvolto i lavoratori dell'impianto ad ogni livello, staff di radioprotezione, site management e company management
- Negli ultimi 25 anni la dose **collettiva media** annua per reattore è passata da **7.74 Sv-persona** a **1.06 Sv-persona**, con un decremento di circa un fattore sette
- Allo stesso tempo la **dose annua media** per lavoratore è stata ridotta da **6.6 mSv** a **1,4 mSv**, con un fattore di riduzione superiore a quattro



## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

### Radioprotezione oggi e domani



#### □ **Andare incontro ai cambiamenti**

- In considerazione dell'estensione dell'esercizio dell'attuale parco di Centrali Nucleari e in vista della costruzione ed esercizio di nuove centrali, l'industria nucleare ha costituito un gruppo di lavoro di utilities e manager di radioprotezione per le centrali nucleari
- Il nome dato a questa iniziativa è "RP2020", poiché l'iniziativa prevede un piano temporale fino all'anno 2020 e che dovrebbe comprendere la prima fase dell'esercizio delle nuove centrali nucleari
- Come prima iniziativa il gruppo di lavoro sta individuando una lista dei cambiamenti futuri che dovrebbero essere di indirizzo nella progettazione e gestione della radioprotezione
- I cambiamenti da segnalare sono:
  - forza lavoro;
  - standards.

## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

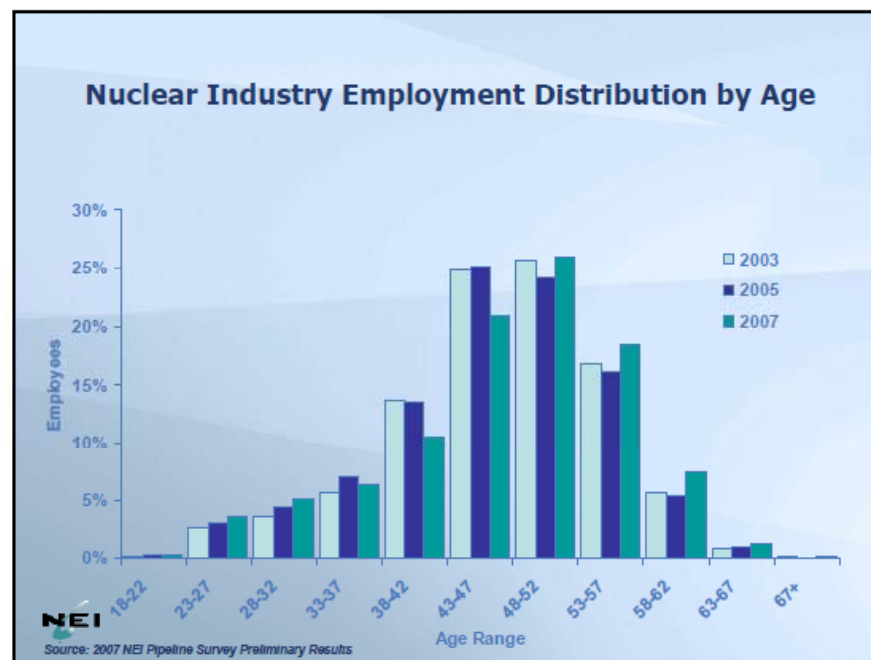
### Radioprotezione oggi e domani



#### □ Andare incontro ai cambiamenti

#### Forza lavoro

- Un significativo cambiamento che è stato identificato è lo sviluppo della forza lavoro dei fisici sanitari e tecnici di radioprotezione di cui si avrà bisogno per i prossimi 70 anni per le centrali nucleari commerciali, si richiedono più di 3 generazioni di nuovi professionisti della radioprotezione



## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

### Radioprotezione oggi e domani



#### ❑ **Andare incontro ai cambiamenti**

##### Forza lavoro

- Metà della forza lavoro ha 50 anni o più e probabilmente lascerà il lavoro nei prossimi 10 anni. Solo il 10% è sotto i 40 anni
- Questo significa che l'industria nucleare di potenza ha bisogno di sviluppare più di 1000 nuovi fisici sanitari e tecnici nei prossimi 10 anni, o avrà bisogno di cambiare sostanzialmente l'organizzazione della radioprotezione futura per non aver bisogno di un tale staff

##### Standards

- Nel dicembre 2007 l'ICRP ha pubblicato la Pubblicazione 103 contenenti il nuovo set di raccomandazioni. La IAEA sta aggiornando i suoi BSS per la radioprotezione per riflettere le nuove raccomandazioni ICRP
- Tutti e due questi documenti formano le basi per le nuove generazioni di regolamentazione di radioprotezione del mondo
- Tali cambiamenti saranno un'evoluzione per molti paesi nei quali le regole di radioprotezione sono già basate sull'ICRP60
- Negli Stati Uniti la radioprotezione è fondamentalmente basata sulla ICRP26 per la radioprotezione occupazionale e sulla ICRP2 per quella della popolazione

### 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

#### Radioprotezione oggi e domani



#### □ Andare incontro ai cambiamenti

##### Standards

- Per esempio molti paesi adottano i limiti di dose occupazionali raccomandati dalla ICRP60, per un valore medio di 20 mSv su un periodo di 5 anni, che non ecceda i 50 mSv ogni anno
- Di fatto molti paesi hanno semplicemente adottato un limite annuo di dose di 20 mSv
- Negli Stati Uniti la NRC adotta un limite di 50 mSv per anno, basato sulle raccomandazioni della ICRP26

Table 1. **Regulatory occupational dose limits (whole body) in ISOE participating countries<sup>5</sup>**

<b>Occupational dose limits (whole body)</b>	<b>Country</b>
20 mSv in one single year	Germany, Italy, the Netherlands, Pakistan, <sup>6</sup> Romania, Slovenia, <sup>6</sup> United Kingdom
20 mSv/year per 12 rolling months	Belgium, France
100 mSv/5 years and 50 mSv per any single year	Armenia, Brazil, Bulgaria, Canada, China, Czech Republic, Finland, Hungary, Japan, Korea, Lithuania, Russian Federation, Slovak Republic, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland
50 mSv/year	Mexico, United States

## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

### Radioprotezione oggi e domani



#### ❑ **Andare incontro ai cambiamenti**

##### Standards

- Sebbene la maggior parte delle esposizioni occupazionali negli Stati Uniti sono inferiori ad una dose di 20 mSv/anno, gli appartenenti a certe categorie di lavoratori ricevono qualche volta valori di dose superiori
- Al momento, meno del 0,1% dei circa 100.000 lavoratori esposti nelle centrali nucleari, ricevono una dose occupazionale più grande di 20 mSv, con un andamento che continua a migliorare.

## 3. Dose occupazionale negli Stati Uniti

### Radioprotezione oggi e domani



#### □ **RP2020 – Strategia per la radioprotezione**

- Lo scopo principale della RP2020 (2008-2009) è lo sviluppo e l'implementazione delle strategie nell'area della radioprotezione.
- Esempi di strategie perseguite sono le seguenti:
  1. Informare sui possibili cambiamenti delle normative di radioprotezione negli US
  2. Riduzione dei campi di radiazioni nelle centrali nucleari;
  3. Migliorare le tecnologie utilizzate (es. monitoraggio in remoto, schermature..);
  4. Standardizzare le pratiche di radioprotezione tra compagnie che esercitano impianti nucleari;
  5. Allineare la forza lavoro di radioprotezione alla domanda;
  6. Migliorare la trasparenza nell'informazione verso il pubblico circa le radiazioni e la radioprotezione associata con l'utilizzo dell'energia nucleare.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari

- ❑ Principi e criteri per la progettazione di nuove centrali nucleari
- ❑ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate
- ❑ Gestione della conoscenza
- ❑ Educazione e training
- ❑ Integrazione criteri di radioprotezione nella fase di progettazione



**Publicato: July 2010 ©OECD 2010 NEA No.6407**

**Free download: <http://home.nea.fr/pub/ret.cgi?id=new#6407>.**

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Principi e criteri per la progettazione di nuove centrali nucleari

#### ■ Riferimenti e principi internazionali

I principi di giustificazione, ottimizzazione e limitazione delle dosi, applicati durante l'esercizio di un impianto, dovrebbero essere considerati anche nella fase progettuale

#### ■ Filosofia della radioprotezione in fase progettuale

Ci deve essere una ripartizione equilibrata delle risorse rispetto a tutte le tipologie di rischio presenti nell'esercizio di un impianto.

Nella fase di progettazione si dovrebbero tenere in conto già considerazioni sulla Radioprotezione Operativa in modo da assicurare una significativa riduzione delle dosi e dei costi di manutenzione a lungo termine, e facilitare anche le operazioni successive di decommissioning



## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Principi e criteri per la progettazione di nuove centrali nucleari

#### ■ Ruolo dell'autorità di controllo

L'autorità di controllo dovrà fornire delle guide che abbiano lo scopo di:

- tenere conto delle lezioni e delle esperienze passate;
- identificare criteri di selezione per la protezione radiologica (dose constraints, alpha valore)
- una ceck-list per la costruzione e il processo di approvazione

#### ■ Ruolo dei progettisti e degli operatori

I progettisti devono tener conto dell'incremento che ci dovrebbe essere della vita media delle future centrali, circa 80 anni, da cui discendono almeno tre considerazioni:

- l'importanza dell'organizzazione nella gestione delle conoscenze, considerando i cambiamenti significativi che ci potranno essere nella tecnologia dell'informazione;
- la necessità dell'addestramento di 2 o più generazione di lavoratori e l'attenzione a registrare le esperienze pratiche giornaliere
- stabilire un sistema appropriato per la registrazione e lo scambio di informazioni provenienti dalle operazioni di manutenzione durante tutta la lunga vita operativa dell'impianto.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ **Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate**

- Analisi di dati esistenti
- Buona pratica
- Raccolta dati e Networks
- Analisi degli andamenti di dose

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Analisi di dati esistenti**

- Per l'identificazione di buone pratiche, enti regolatori e operatori dovrebbero rivedere le dosi occupazionali per NPP di progetto simile, in particolare analizzando gli andamenti nel tempo di vita del reattore, in termini di dose collettiva per tutto il personale della centrale, per gruppi di lavoratori (manutenzione, esercizio, etc..) così come in termini di distribuzione della dose collettiva;
- L'analisi dell'andamento della dose può essere utilizzata sia per fissare gli obiettivi di dose per le nuove NPPs (in termini di dose collettiva e/o individuale media) sia per identificare buone pratiche comparando i valori di dose delle NPPs dello stesso tipo
- Ciascun lavoro che porta regolarmente ad alte dosi dovrebbe essere analizzato per identificare la sorgente della dose, l'entità della dose e il rateo di dose. Per i nuovi reattori si dovrebbe evitare la necessità di lavori con alti valori di dose.
- Se l'eliminazione di tali lavori non è possibile dovranno essere implementate misure che riducano l'esposizione nel rispetto del principio ALARA.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Analisi di dati esistenti**

Table 1. Typical high dose jobs at light-water reactors

<b>"Top ten" high dose jobs</b>	
Control rod drive maintenance <sup>1</sup>	Recirculation pump maintenance and replacement
In-core radiation monitors (IRM)	Residual heat removal system valve maintenance (RHR)
In-service inspection	Safety relief valve maintenance (SRV)
Main steam isolation valve maintenance (MSIV)	Calibration and repair of transversing in-core probes (TIP)
Pressuriser valve maintenance	
Reactor water clean-up pump maintenance (CUW)	
<b>Other high dose jobs</b>	
Cavity decontamination	Reactor water cleanup heat exchanger maintenance
Chemical and volume control system maintenance	Refuelling
Insulation removal and replacement	Scaffold installation and removal
Instrumentation calibration and repair	Snubber inspection and repair
Local leak rate testing	Steam generator maintenance
Operation-surveillance routines and valve line-ups	Steam generator replacement
Plant modifications	Power range monitors (PRM)
Radioactive waste system maintenance	Start-up or source-range monitors (SRM)
Radioactive waste processing, storage, shipment	Torus inspection and repair
Reactor coolant pump maintenance	Weld overlay job of recirculation system piping
Reactor head work	

Source: NEA (2009).

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ Buona pratica

- Una buona pratica è un programma, processo, strategia o attività che:
  - Ha mostrato essere efficace nel controllo e nell'ottimizzazione dell'esposizione da radiazioni occupazionali;
  - È stata implementata, mantenuta e valutata;
  - È basata su informazioni correnti;
  - È trasferibile ed è di utilità per NPPs simili.
  
- Il progettista dovrebbe valutare quali buone pratiche possano essere incorporate in nuovi progetti. Queste possono includere miglioramenti implementati da operatori di precedenti generazioni di reattori.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Raccolta dati e Networks**

- Nella raccolta dei dati e nel networking, devono essere considerati i seguenti aspetti:
  - Il feedback e l'esperienza di una dato tipo di NPP, potrebbero essere condivisi tra operatori così come con i progettisti, in modo da condividere i miglioramenti avuti durante il ciclo di vita dell'impianto;
  - Feedback ed esperienza in relazione al miglioramento generale (a livello nazionale ed internazionale) nel progetto, esercizio e smantellamento delle NPPs.

#### ISOE

- L'ISOE è la fonte mondiale più ampia di esperienze ed informazioni per le esposizioni occupazionali nella gestione delle NPPs, e offre ai suoi membri una varietà di risorse per la gestione delle esposizioni occupazionali che includono:
  - Un network globale di professionisti della radioprotezione di operatori ed autorità di controllo;
  - Il più grande database di esposizioni occupazionali da NPPs;
  - Analisi annuali degli andamenti di dose;
  - Un forum di discussione della gestione di esposizioni occupazionali;
- Il database ISOE sull'esposizione occupazionale dei lavoratori di NPPs può fornire vari tipi di andamenti di dose, per lavoro, tipologia di impianto...

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Raccolta dati e Networks**

##### ALARA Networks

- European ALARA Network (**EAN**);
  - Regional European and Central Asian ALARA Network (**RECAN**);
  - Asia Region ALARA Network (**ARAN**);
  - European study on Occupational Radiation Exposure (**ESOREX**).
- 
- I tre networks regionali ALARA si occupano dell'ottimizzazione radiologica per facilitare la disseminazione di buone pratiche ALARA in tutti i campi di attività che utilizzano radiazioni ionizzanti (nucleare, industriale, ricerca e medicina);
  - Gli obiettivi dell'ESOREX sono di fornire alla Commissione Europea e alle competenti autorità nazionali di radioprotezione, informazioni affidabili su come sono è strutturato il monitoraggio individuale e come sono registrati i dati dosimetrici nei paesi europei.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Raccolta dati e Networks**

##### Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA)

- E' un network di enti regolatori europei per lo scambio di esperienza e discussione di questioni di significative di sicurezza per facilitare lo sviluppo di un approccio comune alla sicurezza nucleare nei paesi dell'Unione Europea

##### US ALARA Committees: BWR e PWR

- Le Utilities degli Stati Uniti hanno organizzato nel 1980 un comitato ALARA per facilitare buone pratiche ALARA e le lezioni apprese da ricariche del combustibile
- Il comitato ALARA General Electric è composto da 39 reattori BWR, si riunisce tre volte all'anno;
- L'Associazione PWR RP/ALARA è composta di 69 reattori PWR, si riunisce due volte all'anno.



## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Analisi degli andamenti di dose:**

##### ✓ Andamento dosi individuali nelle NPPs

- I dati ufficiali delle dosi dei paesi europei suggeriscono come un obiettivo realistico nel futuro per le esistenti NPPs esposizioni medie annuali di circa 1 mSv per personale d'impianto e 1,5 mSv per lavoratori esterni
- Per le nuove NPPs questo potrebbe significare che, dopo una fase di start-up, i valori di dose media su un periodo di 3 anni possano essere realisticamente portate al di sotto di 1 mSv per il personale di centrale e 1,5 mSv per lavoratori esterni.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Lezioni apprese dall'analisi di esperienze passate

#### ■ **Analisi degli andamenti di dose:**

##### ✓ Andamento dose collettiva nelle NPPs

- Da circa il 1990 la dose media collettiva delle NPPs è scesa di più di un fattore 2.
- Per le centrali PWR questa evoluzione è da circa 2 Sv-persona/anno a sotto i 0,75 Sv-persona/anno per unità.
- Per i BWR, la diminuzione è leggermente inferiore, da circa 2,6 Sv-persona/anno a 1,5 Sv-persona/anno per unità
- Per le nuove generazioni di PWR la dose collettiva annuale è vicina ai 0,25 Sv-persona/anno per unità.
- Dati questi andamenti, è ragionevole che le utilities che costruiranno nuove NPPs, e le autorità di controllo coinvolte nella valutazione delle licenze per le nuove centrali nucleari dovrebbero prendere in considerazione queste esperienze nello stabilire le esposizioni programmate
- In accordo con l'attuale andamento, l'obiettivo di dose collettivo per le nuove unità, potrebbe essere dell'ordine di 0,25 Sv-persona/anno per unità per i PWR
- Per i BWR dovrebbe essere sotto 1,5 Sv-persona/anno per unità, ma ulteriori dati sono necessari per fare una valutazione più accurata per i BWR.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Gestione della conoscenza

- Nel caso della radioprotezione per future NPP la gestione della conoscenza ha un ampio spettro di obiettivi, che includono:
  - Assicurare adeguata tracciabilità attraverso le generazioni dei lavoratori;
  - Assicurare adeguata tracciabilità per le decisioni prese in fase di progetto e modifiche ingegneristiche successive;
  - Identificare best practices interne ed esterne e consentire la loro adozione;
  - Organizzare la raccolta e la registrazione della conoscenza, incluse l'esperienza e le competenze sviluppate nel lavoro di tutti i giorni;
  - Anticipare i requisiti relativi ai cambiamenti nella tecnologia dell'informazione per almeno un secolo
- Considerando la lunga vita delle future NPPs, circa 80 anni, su due o più generazioni di lavoratori, il modo in cui le decisioni di radioprotezione saranno registrate e rese disponibili sull'intera vita dell'impianto è un fattore chiave per la gestione della conoscenza complessiva

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ **Educazione e training in radioprotezione**

#### ■ **Livelli e tipi di educazione in Radioprotezione**

- L'educazione ed il training nella Radioprotezione operativa è una questione chiave dalla progettazione al decommissioning delle installazioni
- Poiché non è trascurabile il rischio che ci possa essere una perdita del personale qualificato nel prossimo futuro, è molto importante tenere traccia dell'esperienza in modo da renderla disponibile per le future generazioni

#### ■ **Personale da formare**

- Progettisti
- Professionisti di radioprotezione Operativa
- Tutti i lavoratori esposti

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ **Integrazione dei criteri di radioprotezione nella fase di progetto**

- **Definizione degli obiettivi di Radioprotezione**
- Gli obiettivi che può avere il management dell'utility possono essere per esempio:
  - Minimizzare gli accessi di routine in aree dell'impianto con soglie prefissate di campi di radiazioni;
  - Ridurre la dose collettiva e/o individuale ai lavoratori sotto un valore fissato
- In questa fase il management delle utility può trasferire informazione ai progettisti su come sono stati risolti problemi di gestione delle esposizioni negli impianti in esercizio
- Una "gap analysis" tra ciò che esiste negli impianti attuali e quello che è previsto in quelli futuri può aiutare l'utility e i progettisti a focalizzare meglio gli obiettivi di progettazione per la radioprotezione

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ **Integrazione dei criteri di radioprotezione nella fase di progetto**

#### ■ **Processo di screening**

- L'inserimento dei principi di radioprotezione nella fase di progetto ha come obiettivo che le dosi ai lavoratori e alla popolazione siano ALARA;
- Per questo scopo il costruttore o l'operatore di una NPP deve utilizzare, nella prima fase del processo di progettazione, strumenti di screening e check-list per identificare i fattori applicabili durante le fasi più dettagliate del processo di progetto;
- Esempi di fattori che sono in relazione alla sicurezza radiologica che possono trovarsi in tali check-list sono:
  - Capacità di monitoraggio delle aree di lavoro;
  - Ottimizzazione della dose ai lavoratori e alla popolazione;
  - Valutazione radiologica dei mezzi necessari ad assicurare l'ottimizzazione e la minimizzazione dei rifiuti radioattivi

#### ■ **Comitato di riesame ALARA e di radioprotezione**

- Il Comitato di revisione ALARA e di radioprotezione, in fase di progetto e costruzione, ha la responsabilità di identificare omissioni, deficienze e problemi nei campi di riduzione di dose;
- Deve fornire soluzioni ai problemi identificati

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Criteri di radioprotezione nella fase di progetto

#### ■ **Considerazioni sulla gestione a vita intera dell'impianto**

- La gestione dell'intera vita dell'impianto gioca un ruolo importante nella determinazione dell'analisi costi/benefici rispetto alla progettazione ALARA. I fattori da considerare sono:
  - È importante per i progettisti delle nuove centrali tenere conto delle implicazioni nella progettazione della vita di esercizio dell'impianto, circa 80 anni, come la necessità di migliorare o sostituire i componenti maggiori;
  - La necessità di fornire schermature rimovibili e strutture a compartimenti per facilitare la rimozione e la sostituzione di grandi componenti ogni 20-30 anni;
  - Monitorare le tubazioni in acciaio al carbonio candidate alla sostituzione ogni 20-30 anni per evitare perdite nell'ambiente

#### ■ **Futura fine vita di una NPP**

- Dovrebbero essere da subito integrate in fase di progetto le esperienze disponibili provenienti dal decommissioning;
- Sia considerazioni tecniche che regolatorie devono essere prese in considerazione per evitare procedure di progetto e di esercizio che potrebbero aumentare la natura ed il numero di difficoltà incontrate durante il decommissioning e lo smantellamento.
- I primi impianti nucleari erano stati progettati per una vita operativa di circa 30 anni o meno, i nuovi impianti per 80 anni. E' quindi importante considerare gli aspetti di radioprotezione operativa che indirizzeranno le future attività di clean-up e demolizione.

## 4. Principi di radioprotezione per la progettazione delle nuove Centrali Nucleari



### □ Criteri di radioprotezione nella fase di progetto

#### ■ **Ruolo di una ceck-list ALARA di progetto**

- La ceck-list dei fattori che potenzialmente hanno un impatto sull'esposizione dei lavoratori da considerare in fase di progetto è un tool essenziale per il processo di screening
- Sia nel processo di screening o nei processi ALARA e di ottimizzazione gli ingegneri di progetto dovrebbero essere in comunicazione con il personale di sicurezza, per assicurare sia considerata nel processo la prospettiva del personale che ha la maggiore esperienza nella sicurezza radiologica

Elementi che possono essere inseriti in una ceck-list ALARA



- General structures, systems and components (SSC) design.
- System layout, component configuration, accessibility, and access control.
- Management and minimisation of radioactive wastes.
- Permanent and temporary shielding.
- Surfaces which may become contaminated and measures to facilitate decontamination.
- Choices of equipment and techniques for systems containing radioactive materials.
- Valves containing radioactive fluids.
- Piping containing radioactive fluids.
- Tanks containing radioactive fluids.
- Pumps containing radioactive fluids.
- Filter or filter systems in systems containing radioactive materials.
- Heating, ventilation, and air conditioning systems.
- Process instrumentation controls and sampling.
- Radiation detection instrumentation or monitoring.
- New facility design or significant change to an existing facility.



## 5. Conclusioni



- ❑ **Le dosi collettive e medie individuali per le centrali nucleari mostrano un costante decremento nel tempo**
- ❑ **Le dosi collettive medie annue per reattore sono attualmente di circa 0,7 Sv·persona per i PWR e di 1,3 Sv·persona per i BWR**
- ❑ **L'obiettivo per le nuove centrali nucleari potrebbe essere quello di arrivare a valori di dose collettiva annua di 0,25 Sv·persona per i PWR e sotto 1,25 Sv persona per i BWR**
- ❑ **E' realistico pensare che il valore di dose media individuale annua per le future centrali nucleari possa scendere sotto 1 mSv per il personale di centrale e 1,5 mSv per quello delle ditte esterne**

- ❑ **I valori delle dosi medie individuali sono confrontabili con quelle di altre realtà industriali**
- ❑ **In alcuni settori industriali la distribuzione della dose individuale è spostata su range di dosi più elevati, es. radiografia industriale**
- ❑ **Per la progettazione delle nuove centrali nucleari ai fini della radioprotezione occupazionale si deve tener conto:**
  - **esperienze passate;**
  - **andamenti dosimetrici;**
  - **ciclo di vita intera dell'installazione (fino al decommissioning);**
  - **elevata vita di esercizio dei nuovi impianti (circa 80 anni).**