



Pratiche con impiego di radiazioni ionizzanti e protezione ambientale

S. Sandri, ENEA ION-IRP, Frascati

“Evoluzione della protezione dell’ambiente dalle radiazioni ionizzanti”

Milano, 2 Febbraio 2006



Contenuti

- Protezione dell'ambiente e dell'individuo
- Limiti e vincoli di dose
- Individuo di riferimento
- Valutazione di dose
- Dose collettiva
- Progetto e ottimizzazione
- Monitoraggio e aspetti applicativi
- Protezione dell'ambiente in quanto tale



Protezione dell'ambiente nelle pratiche lavorative

- Nell'ambiente sono inclusi anche gli ambienti di lavoro.
- La protezione ambientale è per ora assicurata attraverso la protezione dell'individuo
- La finalità è per ora quella di proteggere l'individuo, ma qualcosa sta cambiando
- La protezione inizia dal progetto dei presidi di radioprotezione
- L'ottimizzazione è pertanto un principio fondamentale nella protezione ambientale rispetto alle pratiche



Vincoli di dose per ICRP

Vincolo di dose efficace (mSv/y)	Ambiti di applicazione
100	Situazioni di emergenza
20	Situazioni di esposizione controllata giustificate da beneficio individuale
1	Situazioni giustificate da beneficio sociale
0,01	Valore minimo per qualsiasi vincolo



Vincoli per l'impianto a fusione ITER

Vincoli di progetto

Vincolo per la dose efficace annuale ai lavoratori esposti	5 mSv/a
Vincolo per la dose efficace ai lavoratori esposti per turno	0.5 mSv/turno
Vincolo di dose collettiva annuale media per l'impianto	0.5 pers-Sv
Vincoli per il rateo di dose	100 μ Sv/h
Vincolo di dose collettiva annuale per la manutenzione di un sistema	30 pers-mSv



Vincoli in un progetto italiano

AREA	Limite annuale	Vincolo orario
Controllata:	20 mSv/y	5 μ Sv/h
Sorvegliata:	6 mSv/y	2 μ Sv/h
Libera:	1 mSv/y	0.3 μ Sv/h

I vincoli si riferiscono a 2000 h di attività e includono un “fattore di sicurezza” pari a 2



Protezione ambientale e individuo di riferimento

- La progettazione è finalizzata alla protezione dell'essere umano e quindi indirettamente alla protezione dell'ambiente in generale
- L'essere umano è rappresentato da un individuo di riferimento esposto alle sorgenti di radiazione in esame
- L'individuo di riferimento (reale o ipotetico) deve essere sufficientemente rappresentativo da poter essere impiegato per validare il rispetto dei vincoli di dose
- Il rispetto dei vincoli sull'individuo di riferimento garantisce la protezione della popolazione e quindi dell'ambiente (salvo altre specie)



Valutazione di dose all'individuo di riferimento

- Sono disponibili vari metodi per la valutazione di dose all'individuo
- Si va da semplici calcoli deterministici a complessi calcoli statistici, anche combinazioni di questi calcoli sono accettabili
- Le caratteristiche dell'individuo di riferimento devono essere **ragionevoli, consistenti e omogenee**
- L'approccio può essere di prospettiva o retrospettivo
 - Nel primo caso si considerano dosi future e si definisce un individuo ipotetico (ma realistico)
 - Nel secondo caso si considerano dosi passate effettive e si definisce un individuo reale



Procedura di valutazione

1. Informazioni sulla tipologia di sorgente
2. Diffusione ambientale (aria, suolo, acqua, alimenti)
3. Abitudini dell'individuo di riferimento
 - Posizioni e tempi relativi per dosi esterne
 - Abitudini di incorporazione (respirazione, ecc.) e alimentari per dosi interne
4. Applicazione dei coefficienti di conversione
5. Somma dei contributi di dosi esterna e interna



I gruppi di riferimento

- La protezione ambientale passa dalla definizione del o dei gruppi di riferimento
- Il confronto delle opzioni di protezione include la considerazione delle distribuzioni di dose per tutti i gruppi degli individui esposti.
- Ogni gruppo può essere distinto in base agli attributi sociali quali: età, genere, abitudini
- in base alle caratteristiche di esposizione come: la media, la deviazione, il minimo, la dose specifica massima, il numero di individui esposti, la probabilità di subire l'esposizione e la dose totale del gruppo.
- Altri attributi che possono essere considerati riguardano i valori sociali che influiscono sul giudizio quali: l'equità e l'interscambio tra generazioni



Progettazione e Ottimizzazione

- Il principio basilare in fase di progettazione è l'ottimizzazione
- A tal fine negli anni '70 si è cercato di fornire dei modelli matematici in grado di dare un valido supporto per la valutazione di quanto un intervento fosse ottimale in termini di bilancio costo-beneficio.
- Con il passare del tempo ci si è resi conto che l'approccio teorico dell'ottimizzazione matematica non trovava quasi mai riscontro nei progetti reali
- Si è a poco a poco abbandonata la rigidità del calcolo
- Anche nelle raccomandazioni ICRP c'è stata la stessa evoluzione



La dose collettiva

- Primi anni '70: UNSCEAR introduce dose collettiva per i lavoratori
- ICRP 26 (1977) conferma la validità del concetto come riferimento per ottimizzare un progetto. Limitare la dose collettiva in una pratica consente di contenere l'impatto su popolazione e ambiente
- In prospettiva ICRP indica la dose collettiva come una quantità legittima che aggrega troppo l'informazione. Deve essere presentata in forma di vettore o di matrice (considerando anche la variabile temporale) in cui i singoli componenti siano pesati. Per i lavoratori si ritiene ad esempio che oltre alla dose collettiva dovrebbero essere indicati: numero di lavoratori coinvolto e dose individuale media.
- La grandezza, sebbene non più indicata come strumento di ottimizzazione, è comunque considerata ancora utile per caratterizzare specifiche pratiche molto ben individuate.



Ottimizzazione e dose collettiva

- Una singola caratteristica di esposizione o grandezza di misura è generalmente insufficiente per confrontare completamente le opzioni di protezione.
- La distribuzione delle esposizioni di un gruppo è stata caratterizzata storicamente con la dose collettiva.
- La dose collettiva ha però una valenza limitata, specialmente nel caso di esposizioni pubbliche distribuite per tempi lunghi e in zone ampie.
- Per favorire il processo decisionale L'ICRP ora suggerisce la disaggregazione della distribuzione delle diverse dosi rispetto alle fonti.



Disaggregazione della dose

- In ambito professionale la distribuzione della dose rispetto alle situazioni di esposizione non è difficile da definire.
- Nel caso di esposizione del pubblico la possibilità di individuare le diverse modalità di esposizione è quasi sempre limitata e si ricorre spesso all'impiego di modelli.
- Il metodo più diretto per definire gli elementi di disaggregazione consiste spesso nel chiedersi 'quando, dove, come e da chi le esposizioni sono state ricevute.
- In alcune situazioni, per esempio quelle che coinvolgono aspetti verificabili nel lontano futuro, la definizione degli elementi può essere guidata da considerazioni etiche e di interazione tra generazioni.



Responsabilità per l'ottimizzazione

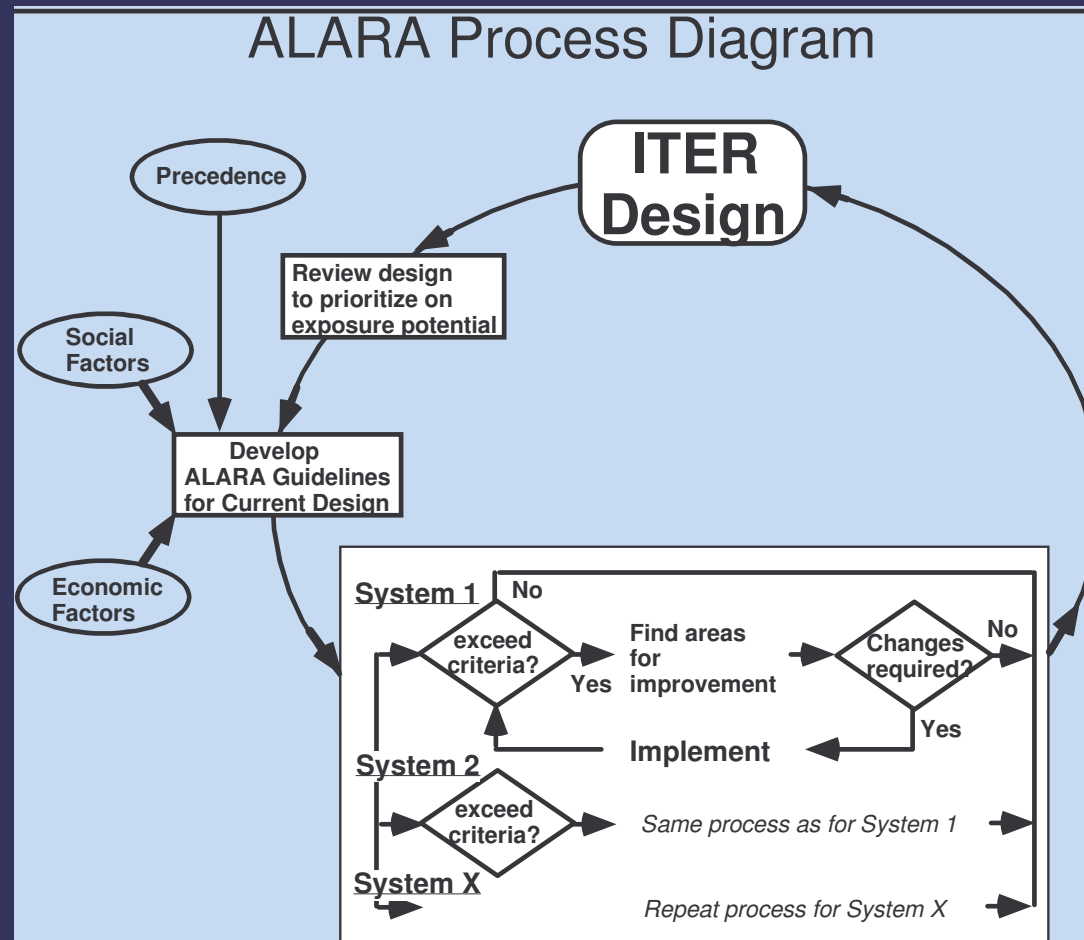
- Sia gli operatori che l'autorità nazionale preposta hanno la responsabilità di applicare il principio di ottimizzazione.
- Gli operatori progettano, propongono ed effettuano l'ottimizzazione ed usano l'esperienza per migliorarla ulteriormente.
- Le autorità richiedono (vincoli autorizzati) e promuovono l'ottimizzazione e possono verificare che sia stata effettuata efficacemente.
- Una cultura attiva della sicurezza è la chiave per la riuscita applicazione dell'ottimizzazione.



Progetto e ottimizzazione secondo ICRP

- Il doc ICRP sul suo sito web sulla problematica dell'ottimizzazione descrive i principi di fondo del concetto nel sistema di protezione ed i requisiti di base della relativa applicazione in operazioni e regolamenti.
- Il concetto di ottimizzazione subisce uno sviluppo e un consolidamento, ma non un cambiamento fondamentale rispetto alle raccomandazioni precedenti. Negli annessi al documento sono contenuti esempi dettagliati per l'applicazione pratica del principio di ottimizzazione in vari campi di protezione dalle radiazioni.
- L'ottimizzazione rappresenta quindi il nucleo centrale di un programma di protezione dalle radiazioni ben riuscito
- E costituisce un aspetto fondamentale nella protezione dell'ambiente

Ottimizzazione nel progetto ITER





Impostazione di una pratica rilevante

- Implementazione della prevenzione, che coinvolge ampiamente il progetto e tende ad impedire le esposizioni inutili prima che accadano.
- Interazione continua, considerando sia gli sviluppi tecnici che socio-economici e includendo sia i giudizi qualitativi che quantitativi.
- Coinvolgimento di tutte le parti che hanno interesse o che mostrano preoccupazioni circa lo svolgimento della pratica (“stakeholders”)
- Indicazione dell'opzione di protezione più adatta in considerazione delle circostanze economiche e sociali prevalenti.



Ottimizzazione nella progettazione industriale

- La protezione professionale dalle radiazioni nelle attività industriali con impiego di radiazioni ionizzanti ha ricevuto più attenzione che in qualunque altra pratica.
- La considerazione deriva dalla presa d'atto che il trasferimento delle responsabilità, la creazione e la definizione dei ruoli, l'istituzione di comitati ALARA, l'organizzazione di procedure del lavoro di revisione e l'istituzione dei test di verifica sono processi molto sviluppati in tutti i Paesi all'avanguardia.
- Tali processi sono inclusi nei documenti di progetto relativi alle attività industriali ed hanno consentito da tempo di adottare criteri uniformi di progettazione non solo a livello nazionale ma anche nell'ambito di ampie regioni geografiche.
- Basti pensare all'esempio dell'industria legata alla produzione di energia da fissione nucleare, ma la stessa struttura progettuale si può ritrovare nell'applicazione industriale dei grandi acceleratori di particelle o nell'impiego di sorgenti radioisotopiche.



Progettazione in campo sanitario

- ❑ Le applicazioni mediche impiegano generalmente tecnologie affermate e connesse con ben stabilite procedure di protezione professionali ed ottimizzate, che comportano anche un'adeguata protezione ambientale
- ❑ Oggi anche in questo settore nuovi sviluppi tecnologici portano delle sfide all'ottimizzazione ed al controllo dell'esposizione.
- ❑ Le esposizioni in radiodiagnostica e radioterapia convenzionali sono generalmente ben controllate ed i principi di ottimizzazione fanno parte delle disposizioni procedurali di funzionamento.
- ❑ In altre aree di pratica medica, particolarmente la radiologia interventistica o gli impieghi di radioisotopi per diagnostica e terapia, il controllo e la riduzione delle esposizioni richiede impegno continuo non solo nella progettazione ma anche nella formazione del personale qualificato.



Ottimizzazione e progettazione nella ricerca scientifica

- Nella ricerca e nella formazione molte applicazioni che comportano l'impiego di radiazioni non sono standardizzate.
- L'ottimizzazione della protezione è, tuttavia, una parte integrante della progettazione radioprotezionistica anche in questi ambiti.
- Spesso la conformità agli standard di protezione dalle radiazioni è sottoposta al controllo dei lavoratori nel corso delle loro funzioni.
- Questo rende automatica la presa di coscienza circa i bisogni di ottimizzazione delle funzioni rispetto alla protezione.
- Specifiche attività devono essere effettuate molto spesso in ambienti difficili e con poca programmazione per cui la sicurezza conta in gran parte sulle procedure e sulle prestazioni umane.
- Questi tipi di lavori sono caratterizzati spesso da alte esposizioni non tanto nella normale attività quanto nel caso di incidenti.
- La causa principale degli incidenti deriva dall'omissione del rispetto delle procedure ottimizzate e delle disposizioni di funzionamento.

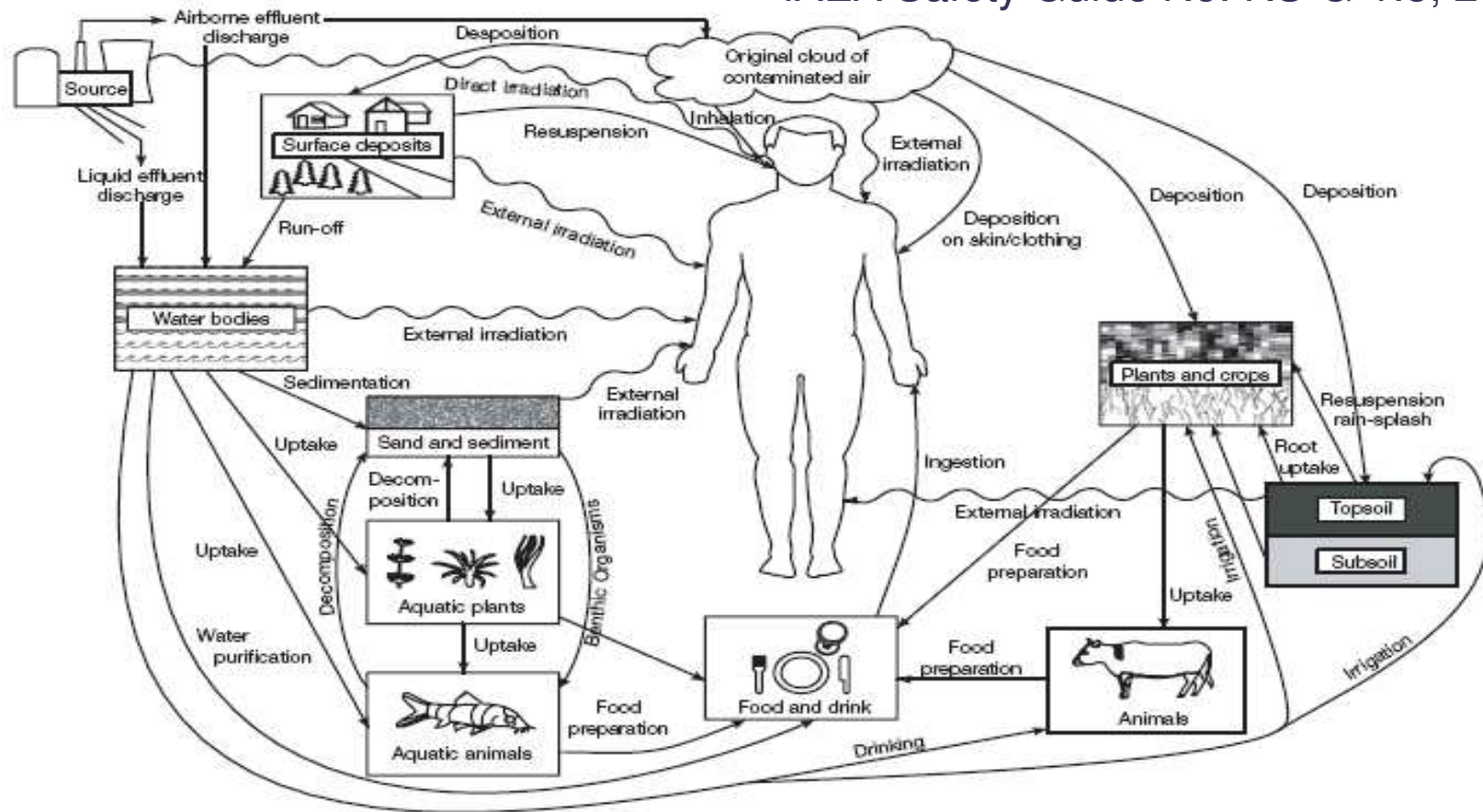


Rilasci e irraggiamento verso l'ambiente

- Sebbene la progettazione ottimizzata consenta di ridurre al minimo il coinvolgimento ambientale, non è possibile pensare ad una pratica con impiego di radiazioni ionizzanti che non interessi l'ambiente con una seppur minima esposizione radioattiva, anche limitandosi all'ambiente esterno all'impianto
- In fase di esercizio è quindi indispensabile predisporre un sistema di monitoraggio più o meno complesso che garantisca il rispetto delle condizioni progettuali

Esposizione da rilasci ambientali

IAEA Safety Guide No. RS-G-1.8, 2005



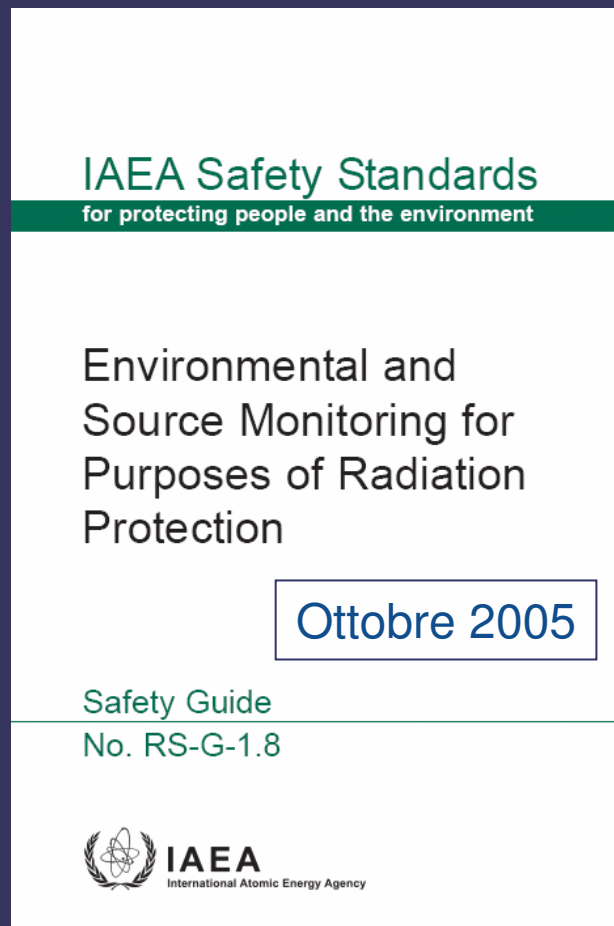


Monitoraggio

- Il monitoraggio può andare da un semplice dosimetro ambientale di tipo passivo ad un sistema di reti di controllo attive e passive
- Il sistema nella sua configurazione più completa deve prevedere il controllo di tutte le vie di esposizione che attraverso l'ambiente possono portare al coinvolgimento di un essere umano
- Devono essere considerate almeno:
 - Irraggiamento diretto, respirazione, ingestione, diffusione di radioisotopi nell'ambiente, contaminazione di vegetali per alimentazione, contaminazione di animali per alimentazione



Recente pubblicazione IAEA





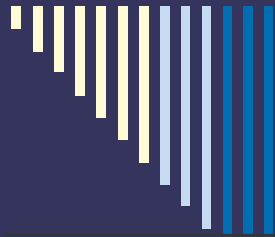
Monitoraggio esterno secondo IAEA 2005

Componente monitorata	Frequenza di monitoraggio
Irraggiamento esterno	
Rateo di dose gamma	Continuamente
Dose gamma integrata	2 volte all'anno
Rateo di dose neutroni (se previsti)	Continuamente
Dose neutroni integrata (se previsti)	2 volte all'anno



Monitoraggio da rilasci in aria

Matrice monitorata	Frequenza di monitoraggio
Atmosfera	
Aria	Campionamento continuo, misura settimanale o mensile
Pioggia	Campionamento continuo, misura mensile
Deposizione al suolo	Campionamento continuo, misura mensile
Suolo	1 volta all'anno
Alimenti e/o ingestione	
Foglie eduli	Ogni mese durante la stagione di crescita
Altri vegetali e frutta	Campioni selezionati al momento del raccolto
Grano	Campioni selezionati al momento del raccolto
Latte	Ogni mese durante il periodo del pascolo
Carni	Campioni selezionati 2 volte all'anno
Acqua potabile	2 volte all'anno
Altri indicatori terrestri	
Erba	Ogni mese durante il periodo del pascolo
Licheni, muschi e funghi	Campioni selezionati 1 volta all'anno



Monitoraggio da rilasci in acqua

Matrice monitorata	Frequenza di monitoraggio
Dispersione in acqua	
Acque di superficie	Campionamento continuo, misura mensile
Sedimenti	1 volta all'anno
Alimenti acquatici	
Pesce	Campioni selezionati 1 volta all'anno
Molluschi	Campioni selezionati 1 volta all'anno
Altri indicatori acquatici	
Erbe e spugne marine	Campioni selezionati 2 volte all'anno
Altri animali acquatici	Campioni selezionati 2 volte all'anno



Incertezze nelle stime di dose

Via di esposizione	Quantità monitorata	Sorgenti di incertezza
esterna	Rateo di dose gamma	Permanenza di individui nell'area monitorata
	Misura con dosimetro individuale	Effettivo uso del dosimetro
ingestione	Concentrazione negli alimenti	Effettivo consumo dell'alimento controllato
inalazione	Concentrazione in aria	Posizione dell'individuo, rateo di inalazione, conversioni
interna	Misura whole body	Solo gamma, assorbimento variabile, modelli metabolici
	Analisi degli escreti	assorbimento e rilascio variabili, modelli metabolici



Dosi dalle pratiche lavorative

- La maggior parte delle dosi individuali a livello mondiale è sotto 1 mSv/anno.
- Il contributo va dal 75% dell'industria nucleare al 95% di ricerca e formazione.
- La frazione di operatori che riceve dosi fra 10 e 20 mSv/anno varia fra 0.1% (ricerca e formazione e sanità) e 1% (industria nucleare ed industria generale);
- Valori di dose superiore a 20 mSv/anno variano fra 0.01% per ricerca e formazione e 0.3% per industria nucleare.
- Negli ultimi 5-10 anni è stata osservata una diminuzione nel numero di operatori che ricevono dosi superiori a 20 mSv/anno per attività industriali in generale. Si ha inoltre una diminuzione continua degli operatori esposti a dosi superiori anche a pochi mSv all'anno.
- In Italia già oggi è praticamente nullo il numero di operatori professionali esposti a più di 2-3 mSv all'anno di dose efficace. Il risultato è dovuto sia alla rinuncia alla produzione di energia nucleare sia al buon livello di progettazione radioprotezionistica raggiunto.
- Le soluzioni ottimizzate di protezione puntano comunque ad abbassare ulteriormente sia il numero di persone esposte a dosi prossime ai limiti superiori che la dose media di esposizione delle specifiche categorie e di conseguenza la dose in ambiente



Protezione di altre specie

- ❑ le Raccomandazioni ICRP si estenderanno alla protezione dalle radiazioni ionizzanti delle specie non umane
- ❑ Attualmente non si tiene conto nei progetti di radioprotezione della presenza di animali o di particolari piante che in alcuni casi potrebbero essere soggetti ad esposizioni anche piuttosto rilevanti
- ❑ Questa novità comporterà una maggiore attenzione nella fase progettuale
- ❑ L'ICRP sta impostando la protezione delle specie non umane tenendo comunque conto della necessità di armonizzarla con la struttura esistente
- ❑ L'approccio riguarderà per ora un limitato numero di specie
- ❑ I tempi potrebbero essere ancora lunghi
- ❑ Le ricadute nel campo progettuale potrebbero non essere tali da stravolgere le attuali metodiche di progetto



Considerazioni conclusive

- La protezione ambientale rispetto allo sviluppo di pratiche lavorative è ancora finalizzata alla protezione dell'individuo
- Il processo che porta alla definizione del sistema di protezione è comunque tale da garantire un impatto radiologico in genere non rilevante sull'ambiente
- La protezione ambientale intesa come protezione di altre specie richiederà tempo prima di divenire operativa
- Il nuovo approccio non dovrebbe modificare in modo rilevante le attuali metodiche di progettazione radioprotezionistica

