

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica Nucleare**  
**Programma di Radioprotezione (9 cfu)**  
**A.A. 2012-2013**

Cenni storici, International Commission on Radiological Units, International Commission on Radiation Protection. Sorgenti di radiazioni: forza della sorgente, densità della sorgente; tipi di sorgente, radiazione cosmica primaria e secondaria, sorgenti radioisotopiche, costante specifica gamma, acceleratori, tubo a raggi X, LINAC, Ciclotrone, generatori di neutroni, esplosioni nucleari. Campi di radiazione: densità di particelle, densità di corrente, densità spettrale di flusso di particelle, densità angolare di flusso di particelle, densità di flusso di particelle, fluensa spettrale di particelle, fluensa angolare di particelle, fluensa di particelle, densità spettrale di flusso di energia, densità angolare di flusso di energia densità di flusso di energia, fluensa spettrale di energia, fluensa angolare di energia, fluensa di energia. Richiami e complementi sull'interazione delle radiazioni direttamente e indirettamente ionizzanti; Il codice SRIM – Stopping and Range of Ions in Matter; straggling laterale e longitudinale di ioni pesanti; range di particelle cariche in acqua e tessuti biologici; composizioni ICRU dei tessuti biologici, formule empiriche per range di particelle cariche e per tempi di arresto; struttura dell'epidermide e penetrazione delle particelle alfa nell'epidermide; Il codice ESTAR , calcolo di potere frenante per collisione e radiativo in materiali radio protezionistici, interazione degli elettroni con l'epidermide; "mass stopping power", linear stopping power, collision stopping power, radiative stopping power, nuclear stopping power, LET; fenomeni di sky-shine; raggi delta. Grandezze di conversione dell'energia: Kerma; Rateo di kerma; Esposizione; Rateo di esposizione; Cema; Rateo di cema . Grandezze di deposizione dell'energia: Energia depositata; Energia impartita; Energia lineale; Energia specifica; Dose assorbita; Rateo di dose assorbita. Equilibrio di radiazione, equilibrio di particelle cariche, equilibrio dei raggi delta, camera ad aria libera; relazione fra grandezze di campo e grandezze radioprotezionistiche; relazione fra dose assorbita e esposizione in EPC; relazione fra kerma e dose assorbita; relazione fra dose assorbita e kerma all'interfaccia aria-tessuto biologico; teoria della cavità di Bragg e Gray. Effetti fisico-chimici dell'interazione delle radiazioni ionizzanti: ionizzazione, riscaldamento, luminescenza, termoluminescenza, formazione di tracce, cambiamento dello stato chimico. Effetti biologici dell'interazione delle radiazioni ionizzanti: effetti diretti e indiretti, noxae patogene cellulari, lesioni radiochimiche del DNA, processi di riparazione cellulare, radiosensibilità e radioresistenza cellulare, meccanismi di cancerogenesi; effetti stocastici somatici e genetici; reazioni tissutali. Grandezze di protezione; relazione fra rateo di sopravvivenza cellulare in funzione della dose assorbita per alto e basso LET; Dose Equivalente HT, fattori di peso WR , il sievert; Equivalente di dose, il rem; evoluzione dal rem al sievert, il fattore di qualità Q e l'efficacia biologica relativa EBR; fattori WR per vari tipi di radiazioni, WR per i neutroni; Dose efficace, i fattori WT; dose equivalente impegnata HT( $\tau$ ); dose equivalente collettiva; grandezze operative, H\*(d), H'(d,W), Hp(d), sfera ICRU, campo espanso, campo allineato, il problema della correlazione fra grandezze operative e grandezze di protezione, fantocci antropomorfi e fantocci virtuali, il codice MCNP, i coefficienti di conversione. Irradiazione esterna, geometrie AP, PA, LAT, ROT, ISO. Grafici dose equivalente agli organi vs. energia particelle. Irradiazione esterna del corpo umano, particelle cariche, fotoni e neutroni, interazione con midollo osseo rosso, gonadi maschili e femminili, cristallino, pelle; dose efficace per sommersione da nuvola di gamma emettitori, dose efficace per

irraggiamento da terreno contaminato. Patologia da irradiazione: eritema, eritema bolloso, eritema ulceroso, patologie sistema pilifero, patologie sistema emopoietico, patologie sistema gastro-intestinale, patologie delle gonadi – sterilità temporanea e definitiva, patologie occhio – cataratta, congiuntivite, patologie sistema respiratorio, patologie della tiroide, del tessuto osseo, dell'encefalo; ARS (sindrome acuta da irradiazione); effetti in funzione della dose assorbita; DL50%, cenni sugli effetti delle radiazioni su altri esseri viventi. Irradiazione interna, vie di ingresso della radioattività; attività introdotta, incorporata e deposta, introduzione acuta e cronica, destino della radioattività introdotta nel corpo umano, tempo di dimezzamento effettivo, funzioni di ritenzione, attività sistemica; introduzione per inalazione, AMAD, clearance e assorbimento, nuclidi di tipo F, M e S; gas e vapori di classe SR-1, SR-2 e SR-0; introduzione per ingestione, modello (H, Co, Ru, Cs, Cf), modello (Sr, Ra, U), modello (Th, Np, Pu, Am, Cm); monitoraggio individuale in-vivo, whole body counter; monitoraggio delle emissioni corporali, Personal Air Sampler, Metodologia di calcolo dell'intake a partire dai risultati sperimentali di misura nei campioni biologici. Calcolo della dose assorbita da un organo, Organo Sorgente, Regioni Bersaglio, frazione assorbita, autodose, caso di particelle poco penetranti, caso di particelle penetranti. Limitazione della dose, evoluzione storica della radioprotezione, dose di tolleranza, dose massima ammissibile, frequenza degli effetti stocastici, modello lineare quadratico, giustificazione della pratica, ottimizzazione della radioprotezione, limitazione della dose individuale e del rischio, esposizione occupazionale, medica e pubblica, dose efficace annuale dovuta al fondo di radiazione, limiti di dose, ALI (Annual Limit of Intake), DAC (Derived Annual Concentration), ECL (Effluent Concentration Limit); raccomandazioni ICRP, Direttive comunitarie, normativa nazionale, evoluzione storica dal DPR 185/64 alla normativa attuale. Il DL 230/95 e successive modificazioni e integrazioni comprensivo di allegati, sviluppo delle capacità interpretative e applicative della normativa, Classificazione dei lavoratori e delle aree, delimitazione delle aree e segnaletica; Decreto 52/2007 e Legge 99/09, registro di sorgente, libretto di sorgente, trasferimenti di sorgente, sorgenti orfane, l'Operatore Nazionale (So.G.I.N.) e il Gestore del Servizio Integrato (ENEA); caso dei rottami metallici, campagna di recupero delle sorgenti orfane. Misura della Dose Assorbita, metodo calorimetrico, metodo chimico, dosimetro di Fricke, metodo ionometrico, dosimetria di fotoni ed elettroni, Teoria di Bragg e Gray, dosimetria di neutroni, sfere di Bonner; metodi relativi, film badge, TLD, dosimetri ad albedo, rivelatori a bolle, dosimetri elettronici; dosimetria interna, DIL (Derived Intake Level), relazione DIL vs. ALI, caso di assunzione di acqua tritiata. Schermature, distanza, tempo e interposizione di schermi; barriere primarie e secondarie, Carico di Lavoro, Fattore d'Uso, Fattore di Occupazione; materiali per schermature, Criteri ALARA per il progetto di schermi; analisi di sistemi industriali per sorgenti radioisotopiche trasportabili, analisi di schermature per bunker di irraggiamento; schermatura radiazione gamma, buona geometria, cattiva geometria, fattore di build-up, tabelle dei fattori di build-up, build-up in forma di Taylor, esempi numerici applicativi; soluzione analitica del point-kernel per sorgente piana infinita e sorgente a disco; schermi multistrato, derivazione del build-up

complessivo; curve di attenuazione per fasci gamma incollisi, con build-up e policromatici, spessori emivalenti e decivalenti, utilizzo di tabelle e grafici operativi; schermi obliqui, progetto delle vie di accesso, penetrazioni, labirinti, calcoli per lo sky-shine; schermaggio dei neutroni, ruolo delle diffusioni anelastiche, materiali idrogenati, campo di radiazione secondario; il codice MCNP; il codice VISIPLAN. Radioattività naturale, NORM, TENORM; Radon, produzione e vie di accesso nei locali chiusi, energia potenziale alfa, working level month, tecniche di misura, campagna nazionale di misura, tecniche di rimedio, valori di attenzione, le ultime raccomandazioni dell'ICRP – la Pubblicazione ICRP 103 del 2007. Analisi degli Incidenti (“Radiation Accidents”), Indice globale di rischio, rassegna degli incidenti degli ultimi 60 anni; ambito militare - Palomares , Thule, e il K-19; ambito medico – Goiânia, ambito industriale – Chernobyl, incidenti coperti da segreto militare – Kyshtym.