# PIANIFICAZIONE DEL DECOMMISSIONING DI UN BUNKER CONTENENTE SORGENTI NEUTRONICHE PER LA RICERCA PETROLIFERA MEDIANTE IL CODICE DI CALCOLO MONTE CARLO MCNPX


[a] Isolan L., [a'] *+ Cucchi G., [a,b] Sumini M., [c] Zambelli G., [d] Guerra F.

[a] *Dipartimento di Ingegneria Industriale, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Via dei Colli, 16, 40136 Bologna, Italia.*

[a'] *Esperto Qualificato del DIN, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Via dei Colli, 16, 40136 Bologna, Italia.*

*Associazione Nazionale Professionale Esperti Qualificati in radioprotezione (Segretario Generale Onorario)

+ *Italy NCP Euterp Foundation*

[b] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Viale Berti Pichat, 6/2, 40127 Bologna, Italia*

[c] *Protex Italia S.r.l., via Cartesio, 30, 47122 Forlì (FC), Italia.*

[d] *Western Atlas International Inc., Via Bondi Giuseppe Stefano, 2, 48125, Ravenna, Italia.*

lorenzo.isolan@studio.unibo.it
giorgio.cucchi@unibo.it
marco.sumini@unibo.it
zambelli@protexgroup.com
fabio.guerra@bakerhuges.com

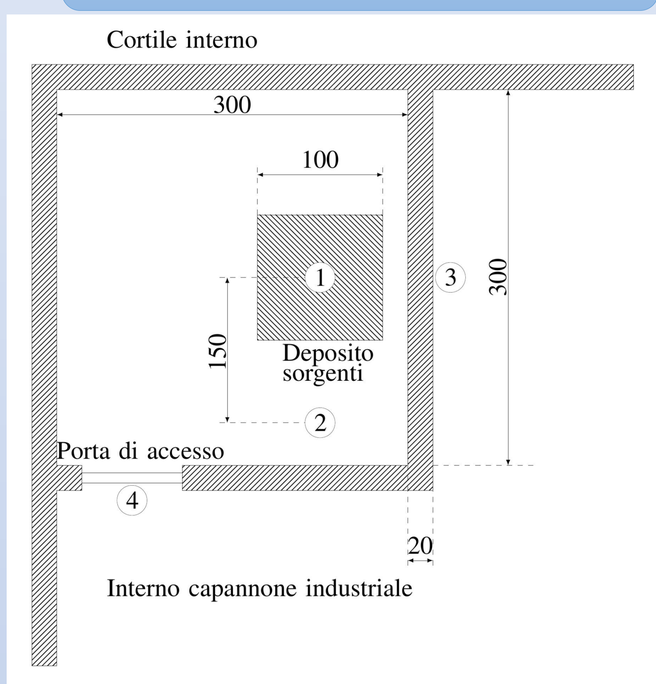


**Nel settore delle prospezioni dei terreni alla ricerca di petrolio e gas è pratica comune utilizzare tecnologie di analisi del sottosuolo che sfruttino campi di radiazione neutronici. I neutroni permettono di ottenere una caratterizzazione dettagliata del minerale e l'acquisizione delle proprietà necessarie per la pianificazione dell'estrazione delle materie prime, come la porosità, la densità, la quantificazione di materie radioattive naturali o di falde acquifere. Le sorgenti di neutroni che per decenni sono state generalmente impiegate sono le sorgenti di Americio-Berillio (AmBe). A causa dei processi di attivazione neutronica, parte dei materiali da costruzione come il calcestruzzo o le armature in ferro, la porta antincendio, il vano sorgenti ed il terreno possono ospitare isotopi radioattivi. Questo rappresenta un fattore di primaria importanza da tenere in considerazione durante le operazioni di disattivazione delle strutture, l'estrazione della banca sorgenti e l'abbattimento del bunker.**


## IL PROBLEMA AFFRONTATO

Si considera la **pianificazione della disattivazione di un bunker** utilizzato per lo stoccaggio di **8 sorgenti di AmBe** utilizzate nelle prospezioni minerarie. La composizione isotopica dei materiali, non nota, è stata sostituita con **composizioni standard** provenienti dalle librerie del codice. Il **calcolo di attivazione** è stato realizzato mediante una simulazione analogica ed il **tempo macchina impiegato è pari a circa 9 giorni per la simulazione di 5E+08 storie** 62 celle. Il modello numerico e la sorgente neutronica sono **validati dalle misure dosimetriche** effettuate in più punti interni ed esterni dal bunker mediante rivelatori Ludlum di tipo Neutron Dose Ratemeter.

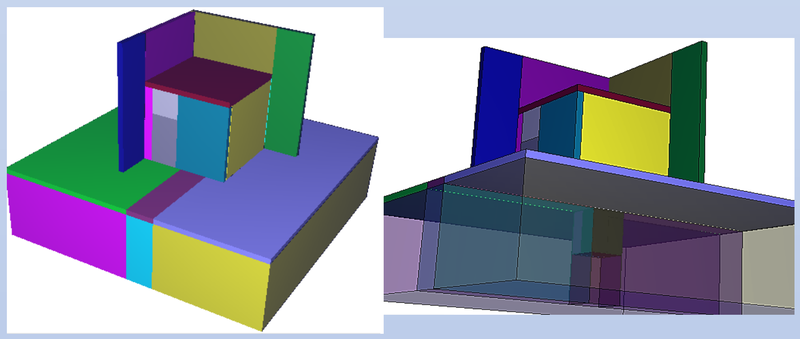
## DAI MODELLI ALLE MISURE




## ANALISI DEI RISULTATI

Tra gli isotopi stimati mediante il calcolo, 11 hanno tempo di dimezzamento superiore a 24 ore e sono presenti all'interno dei materiali strutturali del deposito sorgenti e dei componenti che lo costituiscono (ad esempio $^{60}$Co, $^{58}$Co, $^{59}$Fe, $^{54}$Mn, $^{51}$Cr ed in particolare $^{63}$Ni). Tra i vari isotopi con tempo di dimezzamento inferiore alle 24 ore si riportano, caratteristici dei problemi di attivazione neutronica dei materiali, $^{28}$Al, $^{24}$Na e $^{49}$Ca. **La stima effettuata mediante il codice MCNPX™ 2.7.0 può costituire la base da cui si intende iniziare le valutazioni di attivazione mediante tecniche sperimentali di spettrometria gamma ed altre.**

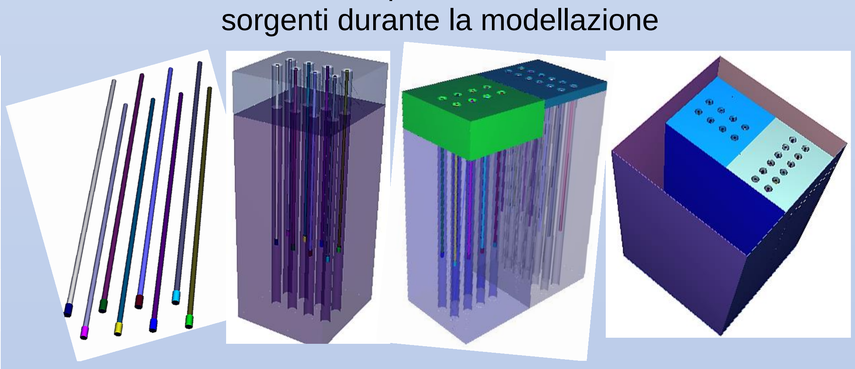
Geometria MCNPX™ della struttura simulata



**Benchmark tra misurazioni mediante una sonda Ludlum di tipo Neutron Dose Ratemeter e risultati di simulazione MCNPX.**

| Punti valutati | Misurato [μSv h$^{-1}$] | Simulato [μSv h$^{-1}$] | Errore relativo |
|---|---|---|---|
| 1 | 167 | 164,73 | 00262 |
| 2 | 72 | 61,32 | 0,0487 |
| 3 | 1,0 | 6,47 | 0,0524 |
| 4 | 1,0 | 1,23 | 0,0811 |

Viste delle varie parti costituenti la banca sorgenti durante la modellazione



## CONSEGUENZE PRINCIPALI DEI RISULTATI OTTENUTI

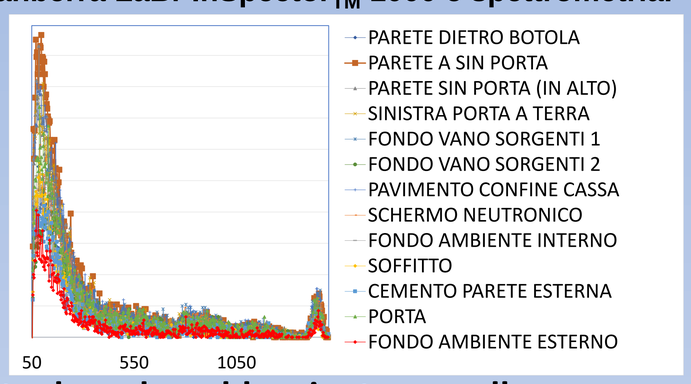
1. **Esecuzione di un monitoraggio preliminare.** Tale misura consentirà all'esperto qualificato di valutare inizialmente la situazione e di stabilire se l'eventuale contaminazione e/o attivazione rilevabile sia uniforme o presenti **punti di accumulo (come si sospetta nel caso del $^{60}$Co o nel caso del ferro strutturale).**
2. **Nei campioni con sospetta presenza di $^{63}$Ni si procederà con una analisi specifica in scintillazione liquida** con rivelatore ad ultra basso fondo dotato di sistema TDCR previa separazione radiochimica facendo uso di resine selettive.
3. **Per la misura finale della radioattivazione del materiale costituente il bunker (dove si pensa sia diffuso il $^{54}$Mn) che si eseguirà al termine delle operazioni di estrazione della banca sorgenti, si procederà al campionamento di un sottile strato di materiale.**

**Principali Radioisotopi ottenuti dalla simulazione con tempi di dimezzamento superiori a 24 ore.**

| A | Z | Nome | $T_{1/2}$ [giorni] | h(g) max inalazione [Sv Bq$^{-1}$] | Rateo di produzione [Bq s$^{-1}$] | Errore relativo | Componenti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 15 | $^{32}$P | 14.26 | 2,90E-09 | 9,09E-05 | 0.023 | Struttura Bunker |
| 35 | 16 | $^{35}$S | 87.32 | 1,03E-09 | 4,61E-05 | 0.009 | Struttura Bunker |
| 47 | 20 | $^{47}$Ca | 4.53 | 2,1E-09 | 5,95E-04 | 0.013 | Struttura Bunker – Terreno/ Sabbia |
| 46 | 21 | $^{46}$Sc | 83.79 | 6,4E-09 | 1,26E-04 | 0.005 | Terreno/ Sabbia |
| 47 | 21 | $^{47}$Sc | 3.35 | 7,3E-10 | 2,96E-03 | 0.003 | Terreno/ Sabbia |
| 51 | 24 | $^{51}$Cr | 27.70 | 3,6E-11 | 5,20E-02 | 0.001 | Porta REI120 – Struttura Banca – Terreno/ Sabbia |
| 54 | 25 | $^{54}$Mn | 312.3 | 1,5E-09 | 1,80E-03 | 0.001 | Struttura Bunker – Struttura Banca – Porta REI120 – Terra/ Sabbia |
| 59 | 26 | $^{59}$Fe | 44.503 | 3,5E-09 | 6,97E-03 | 0.002 | Struttura Bunker – Struttura Banca – Porta REI120 – Terreno/ Sabbia |
| 58 | 27 | $^{58}$Co | 70.86 | 2,0E-09 | 4,68E-03 | 0.001 | Porta – Struttura Banca |
| 60 | 27 | $^{60}$Co | 1923,55 | 2,9E-08 | 2,01E-06 | 0.006 | Porta – Struttura Banca |
| 63 | 28 | $^{63}$Ni | 36536,5 | 5,2E-10 | 1,25E-05 | 0.001 | Porta – Struttura Banca |

**MONITORAGGIO PRELIMINARE: Misure di rateo di dose effettuate in assenza di sorgenti in differenti posizioni interne ed esterne al bunker delle sorgenti neutroniche mediante il rivelatore Canberra LaBr InSpector$_{TM}$ 1000 e spettrometria.**

| Posizione di misura | Rateo di dose misurato [μSv h$^{-1}$] |
|---|---|
| Ambiente esterno al bunker | 0.080 |
| A contatto con la parete esterna del bunker | 0.090 |
| Ambiente interno al bunker | 0.120 |
| A contatto con pavimento e pareti interne al bunker | 0.140 |
| A contatto con il soffitto, sulla verticale della botola | 0.160 |




**L'utilizzo di codici di calcolo validati da misure sperimentali rappresenta l'orizzonte tecnico scientifico attuale e dovrebbe rientrare nella normale gestione della radioprotezione. In questo caso infatti, le operazioni e le misure per lo smantellamento del bunker e della banca sorgenti sono state pianificate sulla base dei risultati provenienti da MCNPX™, desumendo i possibili isotopi costituenti un rischio per i lavoratori sulla base di una modellazione conservativa della sorgente e della geometria del problema.**