

Sviluppo di una metodologia per la disattivazione e messa in sicurezza di laboratori radiochimici all'interno del C.R. Casaccia

Silvio Valeri¹, Filippo Agresti¹, Enrico Calì¹, Lorenzo Florita¹, Stefano Ruscitti¹, Luigi Scaramuzzo¹, Luciano Sperandio¹

¹ENEA – IRP-SIL – Istituto di Radioprotezione - Laboratorio sorveglianza di radioprotezione degli impianti e dei luoghi di lavoro - C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Roma (RM)

Introduzione

La disattivazione e la messa in sicurezza di laboratori di ricerca nei quali siano state impiegate sorgenti non sigillate richiedono un percorso standardizzato, tracciabile e riproducibile, finalizzato a dimostrare l'assenza di contaminazione residua. L'adattamento della metodologia internazionale MARSSIM (Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual) a spazi indoor confinati consente di pianificare le indagini radiometriche, ottimizzare il numero di campionamenti e verificare la conformità mediante metodi di inferenza statistica non parametrica, quali il Sign Test. Viene individuato un flusso operativo che confronta le richieste della metodologia MARSSIM con quelle di un caso ipotetico ma realistico, così come riportato nel seguito:

1. **MARSSIM** e requisiti metodologici;
2. **Input tecnici**, assunzioni statistiche e requisiti strumentali;
3. **Declinazione operativa** specifica, vincoli fisici e soluzioni pratiche adottate.

Il presente lavoro descrive l'approccio sviluppato dal laboratorio IRP-SIL dell'ENEA per applicare tale metodologia a una specifica tipologia di laboratorio di ricerca, rappresentativa di strutture che, nell'ambito dell'ENEA, potrebbero essere sottoposte a disattivazione. L'obiettivo è proporre una procedura operativa coerente, verificabile e replicabile, potenzialmente estendibile ad ambienti con caratteristiche e problematiche radiologiche analoghe.

Caso studio

Laboratorio RIA inattivo da 10 anni. Dimensioni: 33 m² con cappe, superfici di lavoro per circa 10 m². Utilizzo di beta emettitori a bassa energia tra cui ³H, ¹⁴C, ¹²⁵I, ⁵¹Cr, ³²P, ³⁵S.

MATERIALI E METODI

1 – Inquadramento Storico e Obiettivi di Rilascio

- **MARSSIM**
 - Esecuzione dell'Historical Site Assessment (HSA);
 - Definizione dei Data Quality Objectives (DQO) e livelli di rilascio autorizzati (DCGL_w).
- **INPUT**
 - Registro storico delle sorgenti impiegate, registro incidenti/sversamenti e planimetrie;
 - Valori limite per definire un'area contaminata in termini di attività superficiale α, β, γ .
- **OPERATIVITÀ**
 - Esclusione fisica dei radionuclidi a vita breve/intermedia (10 anni di inattività);
 - Focalizzazione emettitori beta a bassa energia ³H, ¹⁴C;
 - Individuazione limite di rilascio 0.4 Bq/cm² per β (IAEA SSR-6).

2 – Zonizzazione e Classificazione delle Aree (Survey Units)

- **MARSSIM:**
Ripartizione delle superfici in unità omogenee:
 - Classe 1: Contaminazione potenziale/accertata;
 - Classe 2: Basso potenziale di contaminazione;
 - Classe 3: Aree a impatto trascurabile.
- **INPUT**
 - Calcolo delle superfici totali e calpestabili;
 - Definizione dei confini fisici tra banchi e pavimentazioni.
- **OPERATIVITÀ**
 - Classe 1: Cappe aspiranti e banchi da lavoro (~10 m²);
 - Classe 2: Pavimentazione calpestabile libera (~23 m²), area scintillatori e frigoriferi;
 - Classe 3: Pareti perimetrali e pavimento del corridoio accesso.

3 – Dimensionamento Statistico del Campionamento (N)

- **MARSSIM:**
 - Scelta del test statistico Sign Test per contaminanti assenti o trascurabili nel fondo;
 - Impostazione degli errori decisionali α (Tipo I), β (Tipo II), calcolo dello shift relativo Δ/σ ;
 - Incremento cautelativo obbligatorio del 20%.
- **INPUT**
 - Definizione di $\alpha = 0.05$ (confidenza 95%) e $\beta = 0.05$ (potenza 95%);
 - Stima della variabilità σ . In assenza di dati pregressi $\sigma = 30\%$ ($\Delta/\sigma \approx 1.0$);
 - Consultazione della Tabella 5.5 del MARSSIM per estrarre N.
- **OPERATIVITÀ**

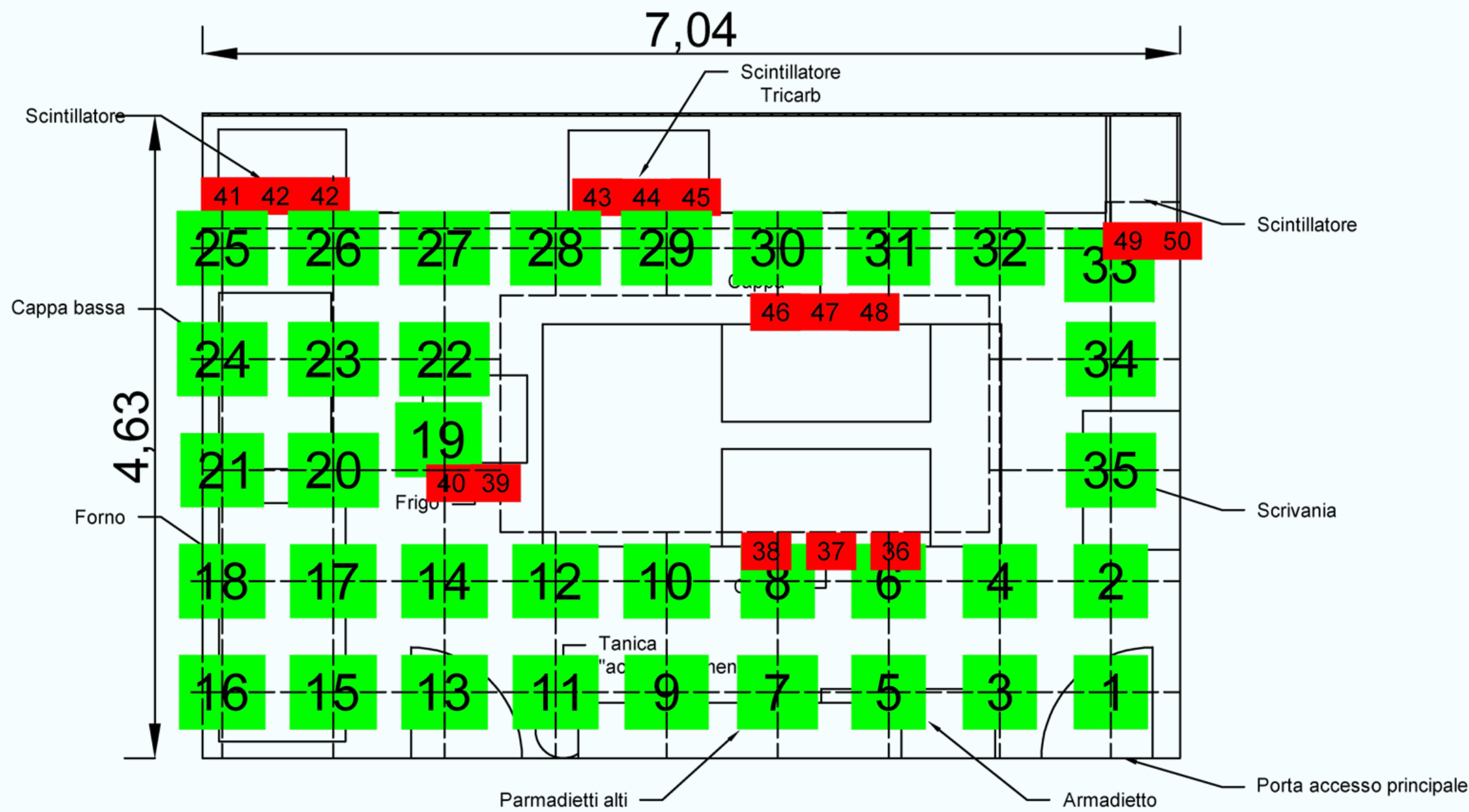
Table 5.5 Values of N for Use with the Sign Test

Δ/σ	$\alpha=0.01$					$\alpha=0.025$					$\alpha=0.05$					$\alpha=0.10$					$\alpha=0.25$						
	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	
0.1	4095	3476	2984	2463	1704	3476	2907	2459	1989	1313	2984	2454	2048	1620	1244	725	1704	1313	1018	725	345						
0.2	1035	879	754	623	431	879	735	622	503	333	754	622	518	410	258	184	431	333	258	184	88						
0.3	468	398	341	282	195	398	333	281	227	150	341	281	234	185	117	83	195	150	117	83	40						
0.4	270	230	197	162	113	230	1921	162	131	87	197	162	136	107	68	48	113	87	68	48	23						
0.5	178	152	130	107	75	152	126	107	87	58	130	107	89	71	45	33	75	58	45	33	16						
0.6	129	110	94	77	54	110	92	77	63	42	94	77	65	52	33	23	54	42	33	23	11						
0.7	99	83	72	59	41	83	70	59	48	33	72	59	50	40	26	18	41	33	26	18	9						
0.8	80	68	58	48	34	68	57	48	39	26	58	48	40	32	21	15	34	26	21	15	8						
0.9	66	57	48	40	28	57	47	40	33	22	48	40	34	27	17	12	28	22	17	12	6						
1.0	57	48	41	34	24	48	40	34	28	18	41	34	29	23	15	11	24	18	15	11	5						
1.1	50	42	36	30	21	42	35	30	24	17	36	30	26	19	14	10	21	17	14	10	5						
1.2	45	38	33	27	20	38	32	27	22	15	33	27	23	18	13	9	14	11	10	9	4						
1.3	41	35	30	26	17	35	29	24	21	14	30	24	21	17	11	8	11	10	9	8	4						
1.4	38	33	28	23	16	33	27	23	19	12	28	23	20	16	10	7	10	12	10	8	4						
1.5	35	30	27	22	15	30	26	22	17	12	27	22	18	15	10	8	9	11	11	8	4						
1.6	34	29	24	21	15	29	24	21	17	11	24	21	17	14	9	7	8	11	11	8	4						
1.7	33	28	24	20	14	28	23	20	16	11	24	20	17	14	9	7	7	10	10	8	4						
1.8	32	27	23	20	14	27	22	20	16	11	23	20	16	12	9	7	6	11	11	9	6	4					
1.9	30	26	22	18	14	26	22	18	15	10	22	18	16	12	9	7	5	10	10	9	6	4					
2.0	29	26	22	18	12	26	21	18	15	10	22	18	15	12	8	6	4	10	10	8	6	3					
2.5	28	23	21	17	12	23	20	17	14	10	21	17	15	11	8	5	3	12	10	8	5	3					
3.0	27	23	20	17	12	23	20	17	14	9	20	17	14	11	8	5	2	12	9	8	5	3					

APPLICAZIONE AL CASO STUDIO

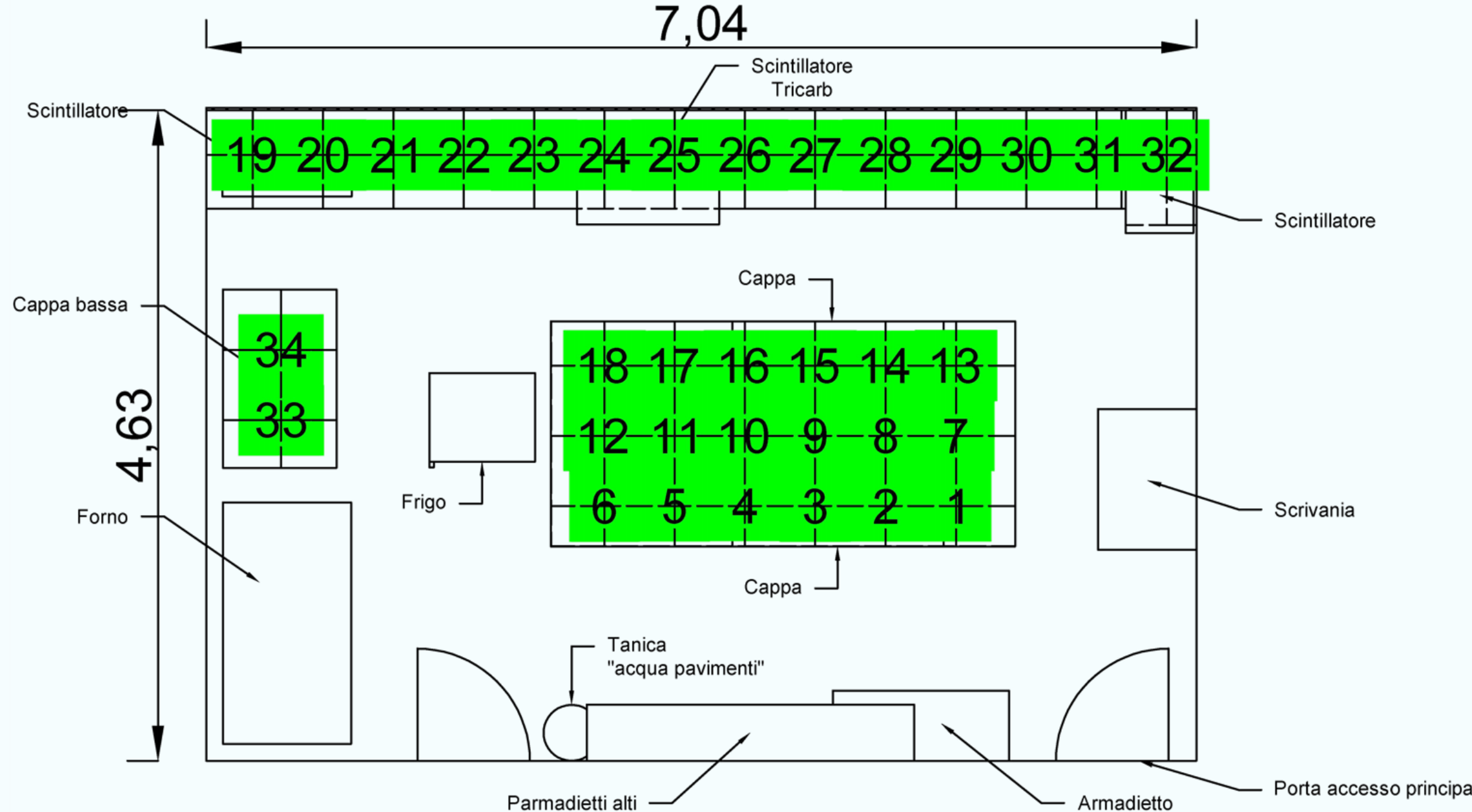
4 – Disegno della Griglia e Strategia di Misura

- **MARSSIM**
 - Classi 1 e 2: maglia sistematica con “random start”. Classe 3: campionamento random;
 - Scansione dinamica e prelievi statici discreti e scelta maglia triangolare se possibile.
- **INPUT**
 - Calcolo del passo della griglia $L = \sqrt{A/N}$;
 - Scansione attiva. Classe 1: 100%; Classe 2: 10–100%; Classe 3: giudiziale.
- **OPERATIVITÀ**
 - Griglia rettangolare causa spazi ridotti. Classe 1: $L = 0.50$ m. Classe 2: $L = 0.80$ m;
 - Scansione diretta non applicabile al ³H. Utilizzo di smear in doppio.



Caso studio: Griglia superfici Classe 1 sopra e Classe 2 sotto.

In verde i punti della griglia previsti. In rosso i punti fuori griglia preventivati.



5 – Gestione Punti Critici, DQA e Decisione di Rilascio

- **MARSSIM:**
 - Esecuzione Sign Test, valutazione separata EMC (hot spot) e verifica qualità (DQA).
- **INPUT**
 - Definizione dei protocolli per arredi fissi. Traslazione dei nodi di griglia per preservare N;
 - Validazione dei limiti di rivelabilità (MDC) e de-escalation dei materiali “freddi”.
- **OPERATIVITÀ**
 - Monitoraggio mirato su punti critici (maniglie, comandi, scarichi) con esito < limite;
 - Rifiuto confermato di H_0 ($p < 0.05$), curva di potenza > 99.9% e probabilità di conformità per il rilascio pari al 100%.

Conclusioni – Take home message

Il caso di studio mostra che l'approccio MARSSIM può essere adattato alla disattivazione di laboratori radiochimici di piccole dimensioni, integrando il campionamento statistico delle superfici con indagini mirate nei punti a maggiore probabilità di contaminazione. La metodologia MARSSIM presenta i seguenti vantaggi:

- **Tracciabilità e Difendibilità:** passaggio da valutazioni radiometriche soggettive a una metrica statistica non parametrica oggettiva;
- **Flessibilità Applicativa:** integrazione tra griglie geometriche ortogonali (adatte a spazi indoor) e controlli deterministici su punti singolari (EMC);
- **Risoluzione Metrologica per beta a bassa energia:** gestione del vincolo fisico di ³H e ¹⁴C mediante LSC su superficie da 300 cm² + smear test per ricerca generica di contaminazione superficiale;
- **Ottimizzazione Logistica:** pianificazione accurata del numero di campioni necessari per:
 - Garantire la continuità dei servizi di sorveglianza (se condotti internamente);
 - Effettuare un piano economico per il campionamento;
 - Minimizzare i volumi di rifiuti radioattivi.