

UN SISTEMA A TENUTA PER L'INTERVENTO OPERATIVO DELL'UOMO SU ATTREZZATURE IMPIANTISTICHE CONTAMINATE DA AGENTI ALTAMENTE NOCIVI

Gianfranco Caporossi, Giambattista Guidi, Gaetano Trezza
ENEA – C.R. Casaccia – Via Anguillarese, 301 – 00060 Roma
giambattista.guidi@casaccia.enea.it

SOMMARIO

Nell'ambito delle attività di disattivazione degli impianti nucleari, è essenziale che le attività a rischio, come lo smantellamento e/o la decontaminazione di strumentazione ed attrezzature contaminate da radionuclidi alfa emettitori, avvengano in condizioni operative di massima sicurezza. Si rende pertanto necessario organizzare tutte le attività collegate alle suddette operazioni in modo che l'operatore sia esposto al minimo rischio, intervenga isolato dagli ambienti contaminati e nello stesso tempo l'ambiente esterno non venga coinvolto dalla contaminazione per possibili eventi incidentali. A tale scopo è stato progettato e realizzato un sistema a tenuta nel quale l'uomo accede tramite scafandri ventilati e non può fisicamente venire a contatto con le attrezzature contaminate. Il sistema, nato per operare in ambito nucleare, è apparso impiegabile in situazioni nelle quali l'uomo debba intervenire in ambienti ostili o divenuti tali per contaminazioni gravi di tipo chimico, biologico anche derivanti da potenziali impieghi terroristici di agenti nocivi.

1. INTRODUZIONE

Con lo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni in molteplici campi della "scienza applicata" si è passati da un impiego di sostanze "tossiche e nocive", limitato a volte alla sola sperimentazione, ad uno sempre più esteso che, coinvolgendo anche la "produzione", assume rilevante importanza per la sicurezza dell'ambiente, della popolazione e del lavoratore stesso.

In particolare ci si riferisce all'uso di agenti chimici di specifica ed elevata tossicità, allo sviluppo di tecnologie in campo medico/biologico che possono comportare la selezione di microrganismi ad elevata pericolosità o comunque non noti sotto questo aspetto ed allo sviluppo delle tecnologie comportanti l'impiego di radionuclidi con produzione di elementi radioattivi non naturali di elevatissima radiotossicità.

L'impiego, la produzione o comunque la manipolazione di tali sostanze può comportare anche la "contaminazione" delle attrezzature di lavoro, di macchine e strumenti di ricerca che, in funzione del loro valore possono essere "eliminati" come rifiuto o recuperati per un successivo riutilizzo. In entrambi i casi si deve intervenire sulle macchine/attrezzature interessate, con lavorazioni che possono comportare operazioni di "decontaminazione" e/o "smantellamento" (fino a ridurre di volume le attrezzature a dimensioni compatibili con contenitori idonei al contenimento di tali rifiuti). Per queste lavorazioni, oltre a proteggere l'operatore che interviene, è di estremo rilievo, in particolare ove le quantità di "attrezzature" contaminate o comunque di "rifiuti" indotti dalle lavorazioni del ciclo produttivo superino i limiti consentiti, evitare che anche una minima quantità di sostanze tossico-nocive coinvolga l'ambiente e possa raggiungere alimenti, acque ecc. inserendosi nocivamente nel ciclo biologico.

Nel caso specifico delle attività "nucleari" comportanti, a qualsiasi titolo, l'impiego di sostanze radioattive naturali U^{238} , U^{235} , Th^{232} e prodotti di attivazione Pu^{239} , Am^{241} , ecc. o di fissione I^{131} , Cs^{137} , Sr^{90} , ecc. o sorgenti radioattive di cobalto, radio, cesio, ecc., il problema del rifiuto indotto dall'attività (inteso non solo come lo specifico radionuclide impiegato ma sostanzialmente come "qualsiasi oggetto contaminato o potenzialmente tale" in quanto facente parte del ciclo produttivo) è stato ed è di quotidiana rilevanza.

Presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia, dovendo affrontare, anche a causa della chiusura delle attività nucleari, impegnative campagne di disattivazione e smantellamento di impianti e di attività nucleari svolte dal 1965 al 1990 circa, oltre a procedere con interventi e protezioni di tipo convenzionale, si è ritenuto opportuno realizzare una struttura sperimentale particolarmente dedicata alla decontaminazione e allo smantellamento di attrezzature e componenti di impianto contaminati in particolare da Pu^{239} e suoi figli che, come noto, sono tra le sostanze radioattive non naturali più nocive per l'uomo e per l'ambiente. L'attrezzatura pertanto nasce specificamente per questo tipo di "rifiuto" da gestire e propone, in via sperimentale, soluzioni operative e a tutela di uomo ed ambiente atte ad escludere ogni possibilità di contaminazione o immissione all'esterno di tali radionuclidi, anche in seppur minima traccia.

L'obiettivo principale è pertanto quello di proporsi come una "stazione di smantellamento e/o decontaminazione" per attrezzature/macchine/strumentazione/rifiuti prodotti in campo nucleare ed

eventualmente in ricaduta, con eventuali specifiche varianti, in altri campi per i quali l'uomo debba intervenire in un ambiente comunque a lui "ostile".

Essendo la realizzazione di una tale "stazione di smantellamento e/o decontaminazione" opera costosa e di specifico o comunque non frequente impiego, la sua realizzazione da parte di un ente pubblico, quale l'ENEA, è giustificata in particolare se, a fronte di una sua validità dopo sperimentazione in campo nucleare, essa venga mantenuta in efficienza e disponibile a livello nazionale per esigenze pubbliche e non. Si cita, purtroppo ormai anche realistica, la necessità di intervento su "oggetti" (non meglio ora definibili) derivanti da azioni terroristiche che potenzialmente sospetti a rischio chimico, biologico o nucleare, vengano reperiti e debbano comunque essere manipolati/analizzati e ove necessario resi innocui.

Tali problemi sono stati anche nel recente passato affrontati dall'ENEA, su richiesta dell'APAT o della Magistratura, con professionalità ma con attrezzature di intervento estemporanee.

2. ASSETTI PROTETTIVI ADOPERATI IN CAMPO NUCLEARE E CONVENZIONALE

Lo scopo principale degli assetti protettivi è quello di costituire una barriera tra l'ambiente contaminato e colui che li indossa. Il tipo di barriera può spaziare da un paio di guanti fino ad un equipaggiamento totalmente incapsulante, a seconda della natura e della gravità del pericolo. E' disponibile un'ampia gamma di assetti protettivi (di seguito indicati con la sigla PPE). Considerato che i fattori di protezione forniti dai vari PPE sono compresi in un ampio range, in funzione del tipo di attività e dei fattori ambientali, è necessaria un'attenta ed accurata correlazione dei PPE con la tipologia di attività che il lavoratore è tenuto a svolgere. Il PPE deve essere in grado di fronteggiare eventi attesi ed eventi che possono presentarsi solo occasionalmente.

I fattori che influenzano la scelta del tipo di PPE sono:

- a) la tipologia di equipaggiamento disponibile;
- b) i risultati dell'analisi di rischio;
- c) il livello di protezione richiesto;
- d) le condizioni ambientali nelle quali il PPE deve essere adoperato;
- e) la disponibilità di sistemi di supporto per testare e conservare in buono stato il PPE;
- f) la frequenza ed il tipo di utilizzo;
- g) l'accettabilità da parte dell'utente (comfort, igiene, libertà di movimento);
- h) il costo di acquisto, di distribuzione, di stoccaggio, le esigenze di manutenzione e le attrezzature di supporto;
- i) le possibilità di stoccaggio, decontaminazione e di riutilizzo;
- j) la compatibilità con altri equipaggiamenti che devono essere indossati dall'utente.

Il grado di protezione richiesto agli indumenti di protezione sarà determinato dai livelli di contaminazione superficiale presenti o che possono essere probabilisticamente riscontrati e dalla tipologia e dall'entità della contaminazione in aria. E' molto importante valutare contemporaneamente i requisiti degli indumenti di protezione e degli apparecchi di protezione delle vie respiratorie.

Il fattore di protezione conseguibile con i PPE dovrebbe essere ricavato tenendo in considerazione i costi e la stima della riduzione del rischio. Nelle zone altamente contaminate è essenziale lavorare rapidamente per ridurre il tempo di lavoro che può essere un fattore critico nella riduzione delle dosi.

Gli assetti protettivi sono sostanzialmente utilizzati per consentire l'accesso dell'uomo in ambienti dove, nonostante la disponibilità di sofisticati mezzi di telemanipolazione, è necessario l'intervento umano diretto al fine di eseguire operazioni non altrimenti effettuabili mediante i telemanipolatori.

Tali ambienti, a causa delle lavorazioni svolte al loro interno, sono caratterizzati spesso da un livello di contaminazione molto elevato. Conseguentemente il rischio di contaminazione per l'operatore è tutt'altro che trascurabile e lo stesso dicasi per l'ambiente esterno.

Alcuni tra gli assetti protettivi diffusamente impiegati in ambiente nucleare (fortemente contaminato) sono i seguenti:

- *assetto Mars (Pedi)*, costituito da un giubbotto con casco in PVC trasparente e da un pantalone a perdere, realizzati con materiali che hanno adeguata resistenza all'attacco chimico e al fuoco. La ventilazione interna assicura un'efficace portata d'aria respirabile, consente lo smaltimento della CO₂, dell'umidità e del calore metabolico, mediante la fuoriuscita libera da opportuni fori dell'aria in eccesso. La leggera sovrappressione che si genera nella tuta evita, in caso di rottura accidentale, l'ingresso dell'aria ambiente contaminata (Fig. 1);
- *assetto Mururoa (Delta Protection)*, costituito da uno scafandro completo ventilato realizzato in PVC dotato di particolare resistenza al fuoco (a perdere), da guanti e stivali incorporati. Esso viene indossato utilizzando un'apertura dorsale assicurata da una chiusura lampo ed è provvisto di un casco in PVC trasparente. La ventilazione interna è garantita da un sistema costituito da erogatori che, oltre ad assicurare la sufficiente portata di aria respirabile, permette lo smaltimento della CO₂,

dell'umidità e del calore metabolico, tramite la fuoriuscita attraverso due valvole canalizzate, situate sul casco e sulle spalle, dell'aria in eccesso. La leggera sovrappressione che si genera nella tuta evita, in caso di rottura, l'ingresso dell'aria ambiente contaminata. L'assetto è munito di una banda lacerabile di sicurezza situata lungo il casco e le spalle, al fine di facilitare la vestizione (Fig. 1);

- *assetto Scalhéne (La Calhéne)*, costituito da uno scafandro completo realizzato con materiali che hanno particolare resistenza all'attacco chimico e al fuoco, da un casco realizzato in policarbonato trasparente rigido e da guanti e stivali in gomma fissati allo scafandro. La ventilazione interna, oltre ad assicurare la sufficiente portata d'aria respirabile, consente lo smaltimento della CO₂, dell'umidità e del calore metabolico mediante la canalizzazione dell'aria al di fuori della zona di lavoro. I due circuiti (alimentazione ed estrazione) sono regolati in modo da mantenere una leggera sovrappressione nello scafandro. La quantità d'aria contenuta all'interno dello scafandro è sufficiente per consentire il rientro al posto di lavoro, nei casi di interruzione dell'aria causati da mancata alimentazione o rottura del tubo. In quest'ultimo caso ciò è possibile grazie ad apposite valvole di ritegno. L'operatore si introduce nello scafandro attraverso un apposito dispositivo che garantisce il contenimento della contaminazione.

Per tutti e tre gli assetti è previsto un sistema di emergenza per l'alimentazione dell'aria con bombole di aria compressa respirabile, poste all'esterno ed un impianto interfonico. Solo per l'assetto Scalhéne è previsto inoltre un dispositivo di soccorso [1], brevettato dall'ENEA, che consente di estrarre l'operatore, se accidentalmente infortunato all'interno dell'area di intervento, in posizione orizzontale e senza il suo contributo (Fig. 2).

In tutti i Paesi maggiormente industrializzati sono stati portati a termine studi volti a migliorare le prestazioni dei PPE, a minimizzare l'esposizione interna alle radiazioni, derivante da possibile inalazione di materiale radioattivo e gli altri rischi per i lavoratori che eseguono operazioni in aree contaminate e, allo stesso tempo, incrementarne il comfort fisiologico.

Tali studi, condotti insieme ad esperti di medicina del lavoro, hanno portato alla definizione di un sistema di ventilazione per l'asportazione del calore metabolico, che consente quindi una migliore termoregolazione dell'operatore che indossa il PPE. Inoltre hanno dimostrato che, a parità di portata d'aria di ventilazione (200 l/min) e di tipologia di lavoro fisico effettuato (camminare in piano a velocità costante di 6 km/h in un ambiente climatizzato) il tempo massimo di lavorazione in condizioni di disagio (*acceptability duration*) può essere migliorato del 50% tramite la ventilazione per l'asportazione del calore metabolico. E' stata inoltre incrementata la portata d'aria di ventilazione, rispetto ai valori tradizionali, al fine di migliorare il comfort termico degli operatori (fino a valori di 600 l/min).

La norma tecnica di riferimento per gli indumenti di protezione ventilati contro la contaminazione radioattiva è la UNI EN 1073-1 che specifica i requisiti ed i metodi di prova per gli indumenti di protezione ventilati che proteggono chi li indossa dalla contaminazione radioattiva sotto forma di particelle.

Gli indumenti di protezione ventilati sono raggruppati in 5 classi in funzione del fattore di protezione nominale, definito come il rapporto tra la concentrazione dell'agente contaminante nell'atmosfera ambiente e la concentrazione di agente contaminante nell'indumento. Il fattore di protezione è un indicatore della capacità del PPE di opporsi alla infiltrazione di agenti contaminanti. Le concentrazioni prese in esame sono le concentrazioni medie registrate durante una prova normalizzata. Si va dalla classe 1, caratterizzata da un fattore 2.000, alla classe 5 contraddistinta da un fattore 50.000.

3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA ASSO [2]

L'attività di smantellamento delle scatole a guanti (SaG) dell'impianto Plutonio del C.R. Casaccia dell'ENEA è stata denominata Progetto ASSO (acronimo di Attività di Smantellamento Scatole a guanti Obsolete). Tale attività rientra nell'ambito dei programmi di disattivazione degli impianti afferenti al ciclo del combustibile nucleare del Centro ENEA della Casaccia ed attualmente è stata presa in gestione dalla società SOGIN.

Le SaG (Fig. 3) da smantellare sono 100 (60 presso l'ENEA e a 40 presso la società Nucleco), ciascuna di volume compreso tra 1 m³ e 8 m³. Una parte di queste è di dimensioni e configurazione strutturale standard, contenenti attrezzature di processo di dimensioni e massa complessiva contenute e di semplice caratterizzazione (tali cioè da non richiedere operazioni di smantellamento particolarmente complesse) mentre altre (circa il 30%) sono di configurazione strutturale e dimensioni fuori standard, contenenti attrezzature di processo e circuiti impiantistici, tali da comportare operazioni di smantellamento particolarmente onerose e complesse.

Considerato il numero delle SaG, che potrà aumentare nel caso in cui ne siano prese in considerazione altre provenienti da altri impianti e siti nucleari, ed il loro grado di contaminazione, è stata stabilita la realizzazione di un'area confinata (in seguito chiamata Postazione) nella quale concentrare tutte le operazioni di smantellamento e confezionamento dei rifiuti.

La Postazione di smantellamento è costituita da una struttura di dimensioni opportune in grado di garantire il confinamento statico e dinamico indispensabile per queste operazioni (Fig. 4). La Postazione è stata costruita in acciaio, materiale preferito al calcestruzzo, in quanto di più semplice smantellamento, e ad una soluzione tipo tenda Pedit, considerato il maggior grado di sicurezza offerto dalla struttura in acciaio. Le superfici interne, rivestite con vernici epossidiche, esposte alla contaminazione, saranno successivamente ricoperte con vernici pelabili in modo da escludere la contaminazione diretta delle parti strutturali, facilitando la successiva decontaminazione/smantellamento al termine del suo utilizzo specifico.

L'obiettivo di sicurezza perseguito nella progettazione della Postazione, a causa della radiotossicità particolarmente elevata del plutonio, è quello di assicurare in qualsiasi situazione il confinamento, all'interno della Postazione, della contaminazione presente, senza alcun coinvolgimento delle aree circostanti e soprattutto garantendo la sicurezza degli operatori che effettuano l'intervento.

La funzione di confinamento viene assolta per mezzo di due distinti sistemi:

- un sistema statico costituito dalle pareti stesse della stazione (comprehensive dei vari accessori montati sulle medesime quali i guanti, i sacchi, i connettori, le finestre, ecc.);
- un sistema dinamico costituito dalla ventilazione, in grado non solo di mantenere con continuità nella Postazione, in condizioni normali, una certa depressione rispetto alle aree circostanti, ma anche in grado di provocare, nel caso di un improvviso e significativo degrado del confinamento statico, un forte effetto aspirante attraverso la falla, in modo da impedire, anche in questa circostanza, ogni fuoriuscita di aria contaminata.

La Postazione è costituita da due aree:

- un'area di processo (Cella), in grado di assicurare, rispetto al locale ove è situata, un confinamento statico alfa, ove sarà eseguito lo smantellamento vero e proprio;
- un'area di transizione (SAS – *Safety Area Service*), posta in linea con la Cella e con essa comunicante tramite una porta. Tale area è provvista, nell'estremità opposta, di un'altra porta a tenuta alfa, comunicante con il locale che la contiene, per consentire l'introduzione delle scatole a guanti da smantellare.

Queste aree sono in grado di garantire il confinamento statico e dinamico richiesto e sono separate da una porta intermedia. L'introduzione delle SaG all'interno della Postazione avviene tramite un portale. La Postazione comprende inoltre un'area di introduzione degli operatori ed una zona di evacuazione dei componenti prodotti.

La Postazione è dotata di un sistema autonomo di ventilazione attiva, atto a mantenere il valore di depressione previsto all'interno della Cella e del SAS.

Il confinamento della Postazione è realizzato da un piano di base realizzato con riquadri di lamiera (di spessore pari a 8 mm) posti sul pavimento ed uniti tra loro con saldatura continua. Otto portali costituiscono la struttura portante, mentre il soffitto e le pareti laterali sono tamponate con pannelli metallici applicati con saldatura.

Le zone di calpestio sono protette da un foglio di plastica, da piastrelle di PVC rigido, ed infine da un altro foglio di plastica, nastrato alle pareti della Postazione.

Sulle pareti laterali della Cella, in corrispondenza delle finestre, sono stati realizzati dei passaggi guantati, in modo da poter effettuare, dall'esterno, alcune operazioni di smantellamento. Alcune penetrazioni consentono invece l'introduzione dell'energia elettrica e dei fluidi di processo.

Sul soffitto della Postazione sono previsti dei passaggi per il sollevamento eccezionale di carichi pesanti (1000 kg), tramite il carroponte della Hall tecnologica, in cui è alloggiata la Postazione stessa. Un'apertura circolare, posta sul soffitto della Cella, consente l'introduzione e l'estrazione, eccezionale, di grandi componenti, con il carroponte della Hall tecnologica. Un sistema a sacco determina il confinamento della Postazione mentre si effettuano queste operazioni.

La Cella presenta, all'interno, un piano rialzato sul quale sono ricavate due aperture circolari ($\phi \sim 60$ cm), con flange esterne per l'applicazione di sacchi in PVC.

Sotto le flange, esternamente alla Cella, sono posizionati due fusti petroliferi nei quali alloggia la parte terminale dei sacchi in PVC. Il materiale di risulta dallo smantellamento delle SaG, verrà calato, attraverso le due aperture, all'interno del sacco in PVC.

Il sistema è provvisto di un secondo sacco di contenimento alfa, preventivamente collocato tra il fusto metallico e il primo sacco, e di una protezione antilacerazione interna in PVC rigido. La separazione del fusto petrolifero dalla Cella verrà effettuata in condizioni di tenuta alfa con il metodo della saldatura e taglio dei due sacchi di PVC.

3.1 Sistema antincendio

Il Locale nel quale è installata la Postazione, fa parte delle zone dotate di rilevazione incendio. A detto sistema fanno capo due rilevatori ottici di fumo, installati all'interno della Postazione.

Il rischio di incendio, conseguente alle attività di smantellamento, è da considerare praticamente nullo poiché:

- tutte le operazioni di lavoro non comportano fiamme libere o condizioni di temperatura in grado di innescare incendi;
- il carico di fuoco, internamente alla Postazione, è estremamente basso;
- nella Postazione sarà comunque disponibile un idoneo estintore portatile;
- fuori dai periodi operativi, le utenze elettriche saranno disattivate fatto salvo quanto concerne i sistemi di sicurezza.

3.2 Impianto di ventilazione

La Cella ed il SAS sono dotati di sistema filtrante indipendente con prefiltri e filtri assoluti per l'aria d'ingresso; serrande a monte dei filtri regoleranno le portate d'aria in ingresso alla Cella ed al SAS (rispettivamente circa 450 m³/h e 100 m³/h) in grado di assicurare 2-3 ricambi/ora.

L'aria in ingresso nel SAS passa successivamente nella Cella attraverso un filtro assoluto semplice. L'aria in uscita dalla Cella viene aspirata, attraverso doppia filtrazione assoluta, a mezzo di un ventilatore (1500 m³/h) situato nel locale ventilatori dell'impianto.

All'interno del locale contenente la Postazione, sulla condotta di aspirazione, è posizionato un terzo filtro assoluto, a valle del quale viene effettuato il monitoraggio continuo dell'aria aspirata. Successivamente, l'aria viene inviata al camino di espulsione.

In caso di malfunzionamento del ventilatore, l'aria, proveniente dalla Postazione, viene eccezionalmente aspirata dall'esistente sistema di ventilatori (tre in parallelo) che provvedono alla ventilazione attiva dell'impianto. La depressione richiesta nella Cella (-20 mm c.a.) e nel SAS (-10 mm c.a.) è regolata automaticamente mediante una valvola sull'aspirazione del ventilatore asservito alla pressione della Cella. Il sistema di ventilazione è stato dimensionato in modo tale da poter fronteggiare eventuali perdite di integrità del contenimento statico, a seguito della rottura di un sacco di diametro pari a 600 mm (evento assunto come il massimo possibile tra quelli di perdita di contenimento statico ritenuti credibili), mantenendo una velocità dell'aria, in corrispondenza della sezione massima, di 1 m/s a cui corrisponde una portata di circa 1200 m³/h.

3.3 Principi operativi sui quali si basa la Postazione ASSO

Il principale obiettivo del Progetto ASSO è quello di consentire la riduzione in volume delle SaG e delle attrezzature in esse contenute, in modo da consentirne l'allontanamento in fusti di raccolta da 220 litri.

Il principio operativo fondamentale sul quale si basa il Progetto ASSO è l'intervento diretto dell'uomo. Infatti le operazioni di riduzione in volume di queste parti saranno svolte direttamente dagli operatori, con l'ausilio di macchine utensili (macchina di taglio, seghetti alternativi, trapani, cesoie, tagliatubi, ecc.) e di attrezzature di movimentazione (carrello con rulliera) o di sollevamento (gru a portale o gru zavorrata).

Il portale d'ingresso al SAS è predisposto per l'applicazione di un grosso sacco in PVC che garantirà le condizioni di tenuta alfa previste, anche se si dovesse riscontrare un valore di contaminazione trasferibile, interna al SAS, superiore ai limiti ammessi. Questo sacco ingloberà interamente la SaG da smantellare e sarà posto attorno alla flangia del portale, dopo aver abbassato la pedana di ingresso.

Le operazioni di smontaggio e smantellamento condotte nella Postazione saranno eseguite direttamente da operatori muniti di scafandri ventilati integrali e semiscafandro. Un operatore, protetto da un semiscafandro, potrà eseguire dall'esterno operazioni semplici ma ripetitive.

Lo smantellamento delle SaG esige, per garantire la massima sicurezza degli addetti, tecniche di intervento che limitino lo sforzo fisico e permettano una frequente sostituzione degli operatori per ottimizzare i tempi dei processi operativi. L'impiego del semiscafandro soddisfa tali esigenze. La tecnica di intervento con semiscafandro (Fig. 5), innovativa nel campo dello smantellamento, è intermedia tra la geometria fissa tipica della scatola a guanti e la geometria variabile di uno scafandro.

La geometria fissa è costituita da un'area attrezzata, realizzata in un vano a tenuta rispetto al Locale contenente la Postazione, inserita nella parete della Postazione.

La geometria variabile si limita a un semiscafandro sostituibile installato sulla parte superiore del dispositivo che, sia nella funzione di utilizzo, sia nella funzione di riposo, mantiene inalterata la tenuta alfa.

L'operatore potrà introdursi, senza particolari indumenti protettivi, e quindi senza alcuna produzione di rifiuti indotti, praticamente all'interno della Postazione, inserendosi nel semiscafandro.

I vantaggi derivanti dal suo impiego, rispetto alla scatola a guanti, possono così riassumersi:

- visione diretta sulla verticale dei componenti da trattare;
- movimento completo dalle spalle alle mani degli operatori (anziché dai gomiti stante la posizione fissa dei fori per i guanti come nelle scatole a guanti);
- visione panoramica senza la riflessione dovuta alla posizione verticale delle finestre;
- possibilità di rotazione del busto e della testa nelle manovre.

Il suo utilizzo permetterà di limitare le attività degli operatori con scafandri ventilati integrali a smontaggi delle grandi parti e allo stoccaggio dei materiali grossolanamente smantellati in prossimità della zona operativa del semiscafandro.

Lo smantellamento delle scatole a guanti sarà condotto da operatori che, oltre al semiscafandro, potranno indossare uno scafandro ventilato tipo Scalhéne, all'interno della Postazione (Fig. 6). Non è stato ritenuto necessario il ricorso a tecniche remotizzate, oltretutto alquanto costose, a causa della ridotta radioattività beta-gamma valutata all'interno della Postazione. Agire invece dall'esterno, con passaggi quantati, non consentirebbe di accedere agevolmente alle varie parti delle scatole a guanti.

Il sistema Scalhéne consiste in una cabina di ingresso realizzata in acciaio inox, appositamente studiata per garantire la tenuta alfa e consentire l'ingresso in scafandri ventilati a due operatori anche contemporaneamente (Fig. 7). Tale cabina è resa solidale allo specifico SAS (SAS intermedio), ricavato come appendice della Postazione.

Gli aspetti tecnici più significativi di questo assetto protettivo sono i seguenti:

- scafandro realizzato con materiali che hanno particolare resistenza all'attacco chimico e al fuoco;
- casco realizzato in policarbonato trasparente rigido;
- guanti e stivali in gomma fissati allo scafandro;
- ventilazione interna che, oltre ad assicurare la sufficiente portata d'aria respirabile, consente lo smaltimento della CO₂, dell'umidità e del calore metabolico mediante canalizzazione dell'aria al di fuori della zona di lavoro. I due circuiti di alimentazione e di estrazione sono regolati in modo da mantenere una leggera sovrappressione nello scafandro;
- introduzione dell'operatore nello scafandro attraverso un apposito dispositivo che lo preserva da qualsiasi contaminazione.

Non è comunque escluso l'impiego di assetti protettivi individuali tradizionali, più familiari agli operatori, in alternativa per le operazioni a basso rischio di contaminazione.

3.4 Vernici pelabili [3]

La tecnica delle vernici pelabili (Fig. 8) rientra nell'ambito della decontaminazione con mezzi meccanici. Essa consiste sostanzialmente in un processo a due stadi:

- 1) applicazione del polimero e della miscela decontaminante su una superficie contaminata;
- 2) rimozione dello strato di polimero stabilizzato a seguito della reticolazione.

Tale tecnica può essere adoperata in presenza di un'ampia varietà di contaminanti e di materiali. Si ottengono i migliori risultati su superfici non porose piuttosto estese e facilmente accessibili [4]. È stata utilizzata al SRS [5], al Rocky Flats per la decontaminazione delle scatole a guanti [6], all'impianto di coprecipitazione di Sellafield [7], a Chernobyl [8, 9, 10] e in una Cella Calda di un impianto per la produzione di radioisotopi in Indonesia [11].

La vernice pelabile può essere impiegata anche come agente fissatore con lo scopo di controllare la contaminazione in modo da semplificare il futuro processo di smantellamento [12, 13, 14]. Ulteriori informazioni sono reperibili nelle fonti [15, 16, 17].

[18] Le vernici pelabili costituiscono una tecnologia alternativa per la decontaminazione di vaste superfici a bassi costi. Sono state utilizzate con successo nelle operazioni di disattivazione e *decommissioning* (D&D) di centrali nucleari statunitensi e di impianti del ciclo del combustibile, per rimuovere la decontaminazione sia da superfici orizzontali che verticali.

La vernice pelabile che sarà impiegata nel Progetto ASSO è una vernice vinilica monocomponente a base acquosa. È utilizzata per bloccare meccanicamente i radionuclidi, eliminandoli poi insieme ad essa nella successiva fase di rimozione della stessa. La vernice, applicata su superfici contaminate, attira e lega i contaminanti superficiali; migra poi nelle microporosità superficiali, venendo in contatto con i contaminanti radioattivi. Durante la fase di polimerizzazione, il prodotto blocca meccanicamente i contaminanti nella matrice polimerica. La rimozione successiva del film consente la decontaminazione del substrato e produce un rifiuto solido.

Il progetto ASSO prevede che, nella postazione di smantellamento, tutte le superfici interne vengano ricoperte con uno strato di vernice pelabile, al fine di proteggerle dalla contaminazione alfa durante le

operazioni di smantellamento delle scatole a guanti. In tempi adeguati si effettuerà un'ulteriore verniciatura di tali superfici in modo da inglobare la contaminazione alfa residua tra più strati sovrapposti. Tale pellicola di vernice pelabile sarà successivamente asportata e introdotta in appositi contenitori di stoccaggio. Al termine di quest'operazione sarà possibile effettuare un monitoraggio delle superfici al fine dell'individuazione e dell'eliminazione di eventuali residui di contaminazione alfa.

L'impiego della vernice pelabile potrebbe rendere estremamente semplice lo smantellamento finale della Postazione e non dovrebbe dare luogo alla produzione di rifiuti radioattivi, se non quelli costituiti dalla sola vernice che saranno sistemati in fusti petroliferi da 220 litri.

La vernice pelabile sarà sistematicamente utilizzata anche nel SAS per fissare ogni volta sotto un ulteriore strato di vernice l'eventuale contaminazione passata dalla Cella al SAS durante l'operazione di trasferimento delle scatole a guanti dal SAS alla Cella. Qualora si riscontri la presenza di contaminazione trasferibile interna al SAS, prima di aprire la porta di comunicazione con il locale dove è installata la Postazione, la contaminazione sarà bloccata con un nuovo strato di vernice pelabile applicata nella zona interessata.

Le vernici pelabili costituiscono una tecnologia sufficientemente sviluppata e disponibile commercialmente. Si applicano facilmente e possono essere conservate fino ad un anno. Presentano una serie di vantaggi:

- riducono i contaminanti superficiali per rifiuti radioattivi di bassa attività;
- decontaminano il sito con bassi costi;
- impediscono la contaminazione dell'aria ambiente;
- minimizzano la diffusione della contaminazione;
- decontaminano il sito utilizzando composti non tossici, non volatili e privi di metalli pesanti;
- producono rifiuti solidi che non necessitano di trattamenti particolari dopo la decontaminazione;
- riducono l'esposizione dei lavoratori a superfici contaminate;
- non producono rifiuti liquidi;
- utilizzano attrezzature per la posa in opera che sono pulite facilmente con acqua.

4. VALUTAZIONI PRELIMINARI SULL'OPPORTUNITA' DI UN SISTEMA FISSO PER INTERVENTI SU MATERIALI AD ALTO RISCHIO DI CONTAMINAZIONE

Premesso che la scelta di un sistema fisso come quello fin qui descritto non esclude e non è alternativa ai sistemi tradizionali ma è essenzialmente una struttura tesa ad aumentare la sicurezza ove:

- i rifiuti siano veramente ad alto rischio, sia per l'operatore che per l'ambiente;
- la quantità dei rifiuti su cui operare sia sufficientemente elevata da giustificare la spesa per la realizzazione della struttura;
- la struttura stessa, dopo ogni impiego, sia recuperabile per successivi utilizzi anche in campo non nucleare;

si è ritenuto opportuno realizzarla e sperimentarne l'efficienza per i seguenti motivi:

- l'impiego del sistema ASSO consentirà una drastica riduzione della produzione di rifiuti indotti dalle operazioni di smantellamento e/o decontaminazione; la riduzione è collegata all'utilizzazione del sistema Scalthéne. In merito a tale sistema esiste una lunga esperienza di decontaminazione e smantellamento dell'Impianto Celle Calde del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA (impianto per analisi post-irraggiamento di combustibile nucleare irraggiato) che ha dimostrato al di fuori di ogni dubbio questa peculiarità;
- il sistema ASSO offre, comparato ai sistemi tradizionali, un maggior grado di sicurezza ambientale, garantendo un assoluto contenimento della contaminazione;
- il sistema ASSO è caratterizzato da un carico di fuoco minimo (che può essere ridotto quasi a zero);
- nel sistema ASSO il percorso di movimentazione dei rifiuti è totalmente programmato, mentre con i metodi convenzionali è necessario adattarlo di volta in volta ai vari contesti e alle varie situazioni.

Contro la scelta di un tale sistema giocano principalmente i seguenti due fattori:

- con il sistema ASSO il materiale da smantellare/decontaminare, deve essere comunque trasportato verso la Postazione. Ciò può costituire uno svantaggio, in particolare per attrezzature molto voluminose o di difficile trasportabilità. Non si può tuttavia escludere di realizzare su ruote una postazione tipo "ASSO", basata sugli stessi principi: ad esempio con un "autocarro" progettato allo scopo;
- il sistema ASSO è molto più costoso (circa 10 volte) di un sistema tipo tenda, non solo per quanto concerne la realizzazione ma anche per la sua gestione nel momento in cui non è operativo. Infatti mentre i sistemi tradizionali vanno eliminati come rifiuto o comunque, se non utilizzati, non

occupano praticamente spazio, un sistema fisso impegna sempre lo spazio connesso al suo ingombro.

5. ANALISI SULLA REALIZZAZIONE FINORA EFFETTUATA E CONCLUSIONI

L'attrezzatura è ormai realizzata ed è stata consegnata all'Impianto che dovrà utilizzarla per lo smantellamento delle scatole a guanti contaminate da plutonio e dai suoi figli.

Come visto, la Postazione oltre che su vari aspetti ingegneristici progettuali di rilievo, si basa anche su due novità quali l'utilizzo del sistema Scalhéne (per l'intervento diretto dell'uomo) e delle vernici pelabili con la doppia funzione di protezione delle pareti della Postazione (per mantenerle pulite dopo le campagne lavorative) e di decontaminazione in particolare per le superfici piane e lisce delle pareti delle SaG onde ridurre il più possibile la produzione di rifiuti di III categoria (classificazione derivante dalla Guida Tecnica APAT n. 26).

Questi due aspetti innovativi sono attualmente oggetto di analisi critica da parte dell'impianto ricevente in quanto si obietta per quanto concerne lo Scalhéne, anche se sistema provato ed efficace, di essere utilizzabile solo da personale ben addestrato e relativamente giovane, mentre per quanto attiene l'impiego di vernici pelabili si contesta non tanto la loro efficacia come decontaminante per specifiche superfici, quanto il fatto che non è ancora del tutto provato l'impiego che se ne intende effettuare a protezione delle pareti interne della Postazione per mantenerla pulita a fine campagna dopo lo *stripping* delle vernici stesse.

Di fatto non è stata effettuata, in ambito ENEA, anche se a livello progettuale ne fu a suo tempo individuata la necessità, un'ideale sperimentazione in parallelo alla realizzazione della Postazione.

Si ritiene pertanto obbligatoria un'adeguata sperimentazione anche alla luce delle difficoltà che possono insorgere nell'impiego delle vernici pelabili e ricercare le soluzioni integrative o sostitutive a tale processo per quanto concerne la funzione protettiva delle pareti interne della Postazione.

Gli autori ritengono di dover comunque riconoscere, allo stato attuale, che è stato commesso un errore di valutazione iniziale, di natura non progettuale, ma strategico quando per motivi assolutamente validi (carenza di risorse umane per impegni lavorativi concomitanti ed inderogabili) fu affidato il progetto dell'infrastruttura ASSO a leadership e personale estraneo all'impianto che avrebbe dovuto ricevere la Postazione.

L'atteggiamento critico da parte dell'impianto ricevente può essere in parte giustificato dal fatto che l'infrastruttura ASSO è percepita come una tecnologia nuova e soprattutto imposta da altri, visto che il progetto non è stato elaborato né concertato con chi dovrà operare in futuro. In particolare per quanto concerne quest'ultimo aspetto è noto che si tende in generale ad accettare rischi anche mille volte maggiori se questi sono affrontati volontariamente e coscientemente. I rischi che derivano da scelte economiche, politiche e strategiche si situano invece al massimo dell'inaccettabilità, in quanto sono percepiti come completamente sottratti alla volontà dell'individuo.

In ogni caso questa scelta ha comportato un rallentamento nei lavori di realizzazione della Postazione e potrebbe far rivedere l'ipotesi progettuale circa l'impiego delle vernici pelabili inserendo, per le operazioni a più elevato rischio, l'uso all'interno della Postazione stessa di un sistema a tenda che circondi l'attrezzatura da sottoporre a smantellamento. Tale ipotesi naturalmente sarà sottoposta a validazione e ad un'analisi costi/benefici.

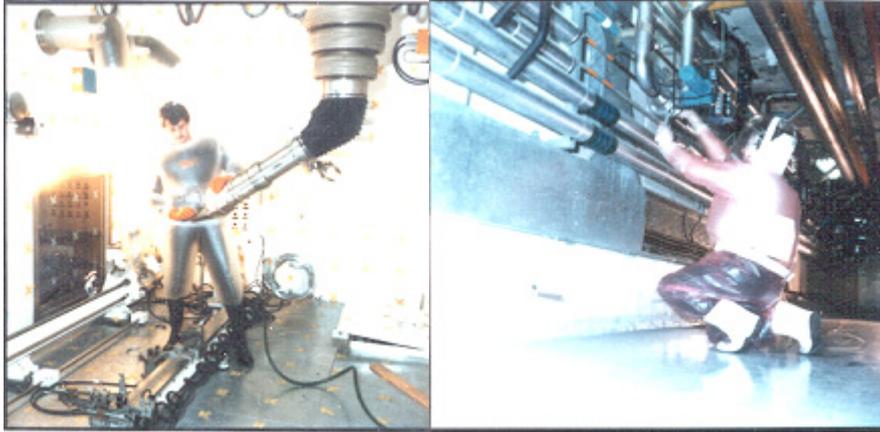
ELENCO DELLE SIGLE

ASSO: Attività di Smantellamento Scatole a guanti Obsolete

PPE: Personal Protective Equipment

SaG: Scatole a Guanti

SAS: Security Airlock System



SCAFANDRO VENTILATO
MARS (Pedi)

SCAFANDRO VENTILATO
MURUROA (Delta Protection)

Fig. 1 Scafandri ventilati Mars e Mururoa



Fig. 2 Dispositivo di soccorso ENEA per operatori
con scafandro ventilato Scalhéne



Fig. 3 Scatole a guanti

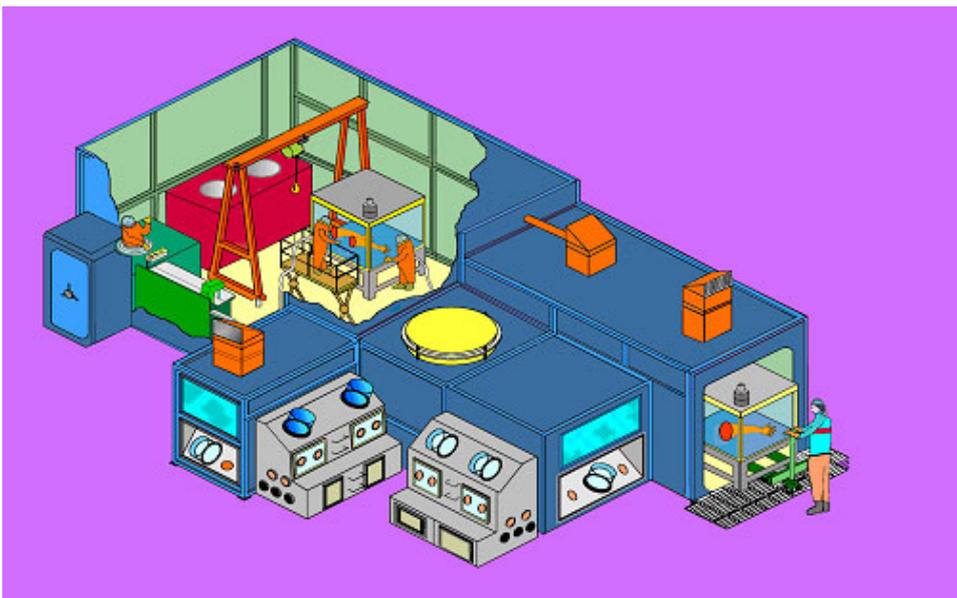


Fig. 4 Postazione ASSO



Fig. 5 Semiscafandro



Fig. 6 Operatori con scafandro ventilato Scalhéne



Fig. 7 Cabina di ingresso nello scafandro Ventilato Scalhéne



Fig. 8 Vernice pelabile

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Caporossi, B. Marsico “Dispositivo per il salvataggio di operatori in ambienti contaminati” RTI-COMB/ESAM (83)121
- [2] G. Caporossi, G. Giulianelli “Smantellamento delle scatole a guanti dell’impianto Plutonio del C.R. Casaccia – Descrizione della Postazione di smantellamento e considerazioni di sicurezza” (NT)ERG-RAD-ASSO (96)1 – Gennaio 1996
- [3] IAEA Technical Reports Series n. 395 “*State of the art technology for decontamination and dismantling of nuclear facilities*” IAEA, Vienna (1999)
- [4] US Department of Energy “*Decommissioning Handbook*” Rep. DOE/EM-0142P, USDOE, Washington DC (1994)
- [5] Boing L.E., Coffey M.J. “*Waste Minimization Handbook Vol. 1*” Rep. ANL/D&D/M-96/1, Argonne Natl. Lab., Argonne, IL (1995)
- [6] Sexton R.J. et al. “*Decontamination and dismantlement of gloveboxes in Building 371 at the Rocky Flats environmental technology site*” Decommissioning, Decontamination and Reutilization of Commercial and Government Facilities (Proc. Topical Mtg Knoxville, 1997) American Nuclear Society, La Grange Park, IL (1997)
- [7] Gamberini D. “*Decommissioning experience at BNFL, Sellafield*”, Decommissioning Experience in Europe (Proc. Eur. Comm. Workshop, 1996) Rep. EUR 16900, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1996)
- [8] Vni Piet “*Decontamination Facilities and Equipment*” Information Collection, St. Petersburg (1992) in Russian
- [9] Nechaev A.F. et al. “*Decontamination and Waste Management in the Course of Research decommissioning*” paper presented at First IAEA CRP on Decommissioning Techniques for Research Reactors, Mumbai (1998)
- [10] Zimon A.D., Pikalov V.K. “*Decontamination*” IzdAT, Moscow (1994) in Russian
- [11] Daryoko M. “*Decontamination of radioisotope production facility*” New Methods and Techniques for Decontamination in Maintenance or Decommissioning Operations, IAEA-TECDOC-1022, IAEA, Vienna (1998)
- [12] Guban M.A. et al. “*Decommissioning of a mixed oxide fuel fabrication plant at Winfrith technology centre*” Waste Management (Proc. Joint Int. Conf. Seoul, 1991), American Society of Mechanical Engineers, New York (1991)
- [13] Buck S., Sanders M.J., Pengelly M.G.A. “*Challenges and solutions for the decommissioning of production scale plutonium facilities*” Nuclear Decom ’92: Decommissioning of Radioactive Facilities (Proc. Int. Conf. London, 1992), Mechanical Engineering Publications, London (1992)
- [14] Bond, R.D., Jordan P.R. “*A modular solution to temporary containment problems*” Rep. AEAT-0501, AEA Technology, Harwell (1996)
- [15] Bregani F. “*Decontamination for decommissioning purposes*” Decommissioning of Nuclear Installations (Eur. Comm. Course Ispra, 1993), European Commission, Luxembourg (1993)
- [16] Demmer R.L. et al. “*A review of decontamination technologies under development and demonstration at the ICPP*” Decommissioning, Decontamination and Environmental Restoration of Contaminated Nuclear Sites (Proc. Conf. Washington, DC 1994), American Nuclear Society, La Grange Park, IL (1994)

- [17] Commission of the European Communities “*Decontamination with Pasty Pickling Agents Forming a Strippable Foil*” Rep. EUR 13498, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1991)
- [18] G. Caporossi, G. Guidi “*Vernice pelabile ALARA 1146 Cavity Decon – Caratteristiche e confronto delle prestazioni con prodotti similari*” – Nota tecnica (NT) RAD-ASSO (2002)19