



# GUIDA DELLE MIGLIORI PRASSI SULLA DISTRUZIONE DELLE MUNIZIONI CONVENZIONALI

# INDICE

II.	INTRODUZIONE	155
	1. Finalità	155
	2. Ambito	155
	3. Procedure generali per le attività di smilitarizzazione	155
	4. Impatto ambientale	157
	5. Aspetti economici della smilitarizzazione	157
	6. Monitoraggio del processo di smilitarizzazione	157
	7. Processo di distruzione	157
II.	SCARICO DELLE MUNIZIONI	158
	1. Scarico in mare	158
	2. Discarica	158
III.	COMBUSTIONE A CIELO APERTO/DETONAZIONE A CIELO APERTO	159
	1. Detonazione a cielo aperto	159
	2. Combustione a cielo aperto	159
IV.	COMBUSTIONE A CICLO CHIUSO	160
	1. Forno rotativo	160
	2. Inceneritore a letto fluido	161
	3. Forno a carro	162
	4. Impianto di decontaminazione a gas caldo	163
	5. Camera di detonazione confinata o controllata	163
V.	TECNICHE SUPPLEMENTARI PER L'ELIMINAZIONE DELLE MUNIZIONI	164
	1. Disassemblaggio	164
	2. Riduzione meccanica	164
	3. Frammentazione criogenica	165
VI.	TECNICHE DI SEPARAZIONE	166
	1. Tecniche di fusione	166
	2. Lavaggio con getto d'acqua	167
	3. Lavaggio con solventi	168
VII.	TECNICHE DI CONVERSIONE SPERIMENTALI	168
	1. Ossidazione in acqua supercritica	168
	2. Pirolisi ad arco plasma	168
	3. Ossidazione elettrochimica	169
	4. Biodegradazione	169
VIII.	DISCUSSIONE	170
IX.	CONCLUSIONI	172
X.	ABBREVIAZIONI	172
XI.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	173

La presente guida è stata elaborata dal governo dei Paesi Bassi.

FSC.DEL/59/08/Rev.1

2 giugno 2008

# I. Introduzione

Nel documento OSCE sulle scorte di munizioni convenzionali, FSC.DOC/1/03 del 19 novembre 2003 si afferma che la presenza di munizioni comporta sempre rischi per la sicurezza degli individui. La distruzione di tutte le eccedenze di munizioni rappresenta la soluzione ideale al problema. La presente guida si propone di illustrare le migliori prassi per la distruzione delle munizioni convenzionali.

## 1. Finalità

Scopo della presente guida è fornire linee guida per un'efficace distruzione delle eccedenze di munizioni che permangono, ad esempio, in seguito a un conflitto o derivano dalla ristrutturazione delle forze armate prevista da una riforma della difesa. La guida mira a contribuire all'elaborazione e all'applicazione di elevati standard comuni nel settore. Le raccomandazioni, la pianificazione e la gestione di progetti di distruzione specifici richiedono l'elaborazione di ulteriori e dettagliate linee guida nei limiti delle norme e delle procedure nazionali. Dette linee guida potrebbero avvalersi delle migliori prassi esistenti in materia.

## 2. Ambito

La guida si limita a trattare la distruzione delle munizioni convenzionali. Ne sono escluse la neutralizzazione delle armi nucleari e delle armi chimiche e biologiche, anche se, di tanto in tanto, viene fatto riferimento alle munizioni chimiche; non viene inoltre trattata la distruzione di UXO (ordigni inesplosi) e la bonifica dell'area interessata.

Per quanto concerne le tecniche di distruzione fisica si va dalla combustione e dalla detonazione a cielo aperto a processi industriali altamente sofisticati.

In questa sede verranno esposti i pro e i contro di ogni processo summenzionato.

La scelta della tecnica di distruzione più adeguata per una determinata area; dipenderà principalmente:

- (i) dalle risorse disponibili in quell'area;
- (ii) dalle condizioni fisiche delle scorte, e cioè se le munizioni sono trasportabili o meno;
- (iii) dai quantitativi di munizioni ed esplosivi ai fini delle economie di scala;
- (iv) dalle capacità nazionali, e
- (v) dalla legislazione nazionale in materia di tutela ambientale e sicurezza degli esplosivi.

In generale, la distruzione di grandi quantitativi di munizioni offre maggiori economie di scala e di conseguenza una maggiore varietà di tecnologie efficaci e a basso costo.

## 3. Procedure generali per le attività di smilitarizzazione

La pianificazione di un progetto di smilitarizzazione ha come punto di partenza le munizioni e la risposta alle seguenti domande fondamentali:

### 3.1 È sicuro spostare le munizioni?

In caso contrario, la munizione potrà essere eliminata soltanto attraverso tecniche di demolizione controllata "in situ".

**3.2 Le munizioni possono essere trasportate internazionalmente conformemente alle Raccomandazioni delle Nazioni Unite sul trasporto di merci pericolose e alle normative intermodello connesse, quali gli Accordi Europei relativi al trasporto internazionale ferroviario (RID) e su strada (ADR) di merci**

***pericolose, e il Codice internazionale marittimo per le merci pericolose (IMDG)?***

Per poter soddisfare i requisiti fondamentali del movimento transfrontaliero, le munizioni devono essere state catalogate come beni pericolosi di Classe 1 e gli imballaggi certificati TÜV "Type" e approvati ai sensi dei requisiti ONU. Poiché si tratta di un processo lungo e potenzialmente dispendioso, di norma viene utilizzato soltanto in presenza di ingenti quantitativi [1].

***3.3 Quali sono le implicazioni riguardo ai costi di trasporto?***

Ai fini del bilancio, qualsiasi trasporto transfrontaliero dovrebbe rappresentare il 30%-40% dei costi totali previsti per la smilitarizzazione.

***3.4 Quante munizioni sono presenti in loco?***

La quantità di munizioni da smilitarizzare è un fattore decisivo ove vi siano stringenti vincoli di bilancio. Il costo unitario per pezzo risulta eccessivo a meno che l'organizzazione titolare del progetto non abbia pronto accesso agli impianti di smilitarizzazione già esistenti e dotati delle infrastrutture, degli strumenti e di personale competente. Per la risposta alla presente domanda si rimanda al paragrafo 1.3.2.

***3.5 Le informazioni tecniche sono sufficienti?***

Tale domanda trova risposta eloquente nel seguente esempio: si consideri un progetto di smilitarizzazione di proiettili con carica altamente esplosiva. In questo caso sono disponibili varie procedure di smilitarizzazione. L'opzione privilegiata è la fusione della carica esplosiva con acqua calda (superiore agli 81° C) al fine di poterla poi riutilizzare nella produzione di esplosivi detonanti commerciali. Essa costituisce il modo di riutilizzo e riciclaggio migliore, a impatto ambientale minimo. Tuttavia è lungi dall'essere facile. Di tutte le cariche esplosive soltanto il TNT ha un punto di fusione basso.

La carica esplosiva alternativa più comune, l'RDX, non si può fondere al di sotto dei 205,5°C. Nel contempo, l'RDX, la cera e l'alluminio vengono aggiunti al TNT per vari motivi operativi. Esso mantiene un basso punto di fusione ed è relativamente facile caricare il proiettile attraverso un sistema di fusione e colata (melt-pour). Può anche essere fuso e rimosso, ma l'RDX ricristallizzato comporta un notevole pericolo. L'aggiunta di polvere sottile di alluminio aggrava ulteriormente il problema. Informazioni tecniche di questo tipo sono essenziali per poter scegliere la tecnica di smilitarizzazione più adatta. Nell'esempio summenzionato, l'assenza di informazioni sulla carica esplosiva renderebbe impossibile stabilire quale sia la procedura di smilitarizzazione migliore e potrebbe portare alla scelta di un processo potenzialmente pericoloso.

***3.6 Il lavoro viene assegnato tramite gara d'appalto oppure a un'impresa commerciale contattata individualmente?***

In quest'ultimo caso, potrebbe rendersi necessaria una stima indipendente dei costi.

***3.7 Ci sono vincoli di tempo?***

Vi potrebbero essere limiti di tempo operativi, logistici o finanziari con possibili ripercussioni sul bilancio del progetto e sulla tempistica dell'erogazione dei fondi.

***3.8 Vi sono implicazioni di sicurezza?***

Con l'impiego sempre più frequente di munizioni teleguidate di precisione e di sistemi elettronici di controllo si accrescono le probabilità che le munizioni contengano dati elettronici riservati. Tali componenti richiedono un trattamento speciale e una verifica di distruzione.

***3.9 Vi sono vincoli ambientali?***

L'eliminazione delle munizioni mira a minimizzare o ad annullare qualsiasi impatto ambientale negativo. Tutta-

via, detti obiettivi sono onerosi e potrebbero non essere giustificabili o possibili per piccoli quantitativi.

### **3.10 Vi sono vincoli al riutilizzo o alla fabbricazione di nuove armi con i materiali di recupero?**

La legislazione nazionale può vietare o limitare il riutilizzo o la fabbricazione di nuove armi con i materiali di recupero, soprattutto nel caso di esplosivi e propellenti.

## **4. Impatto ambientale**

Non esistono procedure di distruzione delle munizioni e degli esplosivi che garantiscano una totale tutela dell'ambiente. Tuttavia, laddove possibile, dovranno essere adottati provvedimenti che permettano di limitare al massimo l'impatto sull'aria, sul suolo e sulle risorse idriche. Nella pianificazione della distruzione vanno sempre prese in considerazione misure per il controllo dell'inquinamento. La raccolta dei rottami e del materiale residuo contribuisce a ridurre l'impatto ambientale [3]. Da tenere ben presenti sono le legislazioni locali in materia di ambiente.

## **5. Aspetti economici della smilitarizzazione**

È difficile e potenzialmente fuorviante comparare i costi delle varie procedure di smilitarizzazione poiché numerose sono le variabili quali il trasporto, l'investimento di capitali, la manodopera, l'energia, lo smaltimento dei rifiuti e il valore dei materiali riciclabili.

## **6. Monitoraggio del processo di smilitarizzazione**

Le attività di smilitarizzazione vanno monitorate e verificate in corso d'opera al fine di garantire che il progetto rispetti la tempistica concordata e che i documenti pertinenti vengano redatti in maniera accurata. Laddove i pagamenti siano rateizzati in base ai risultati ottenuti i

relativi certificati di avvenuta eliminazione debbono essere contrassegnati dall'Autorità di convalida competente. La frequenza della convalida viene di norma dettata dall'ambito e della complessità del progetto. Nel caso di progetti su vasta scala di lunga durata vi è in genere la presenza di un verificatore in loco.

## **7. Processo di distruzione**

Il presente documento si avvale della terminologia di classificazione delle munizioni definita dall'OSCE nel summenzionato documento di riferimento. In questa sede si applicano le seguenti classificazioni:

- (i) Munizioni per armi di piccolo calibro e leggere (SALW)
- (ii) Munizioni per principali sistemi d'arma e di equipaggiamento, ivi compresi i missili
- (iii) Razzi
- (iv) Mine terrestri e altri tipi di mine
- (v) Altre munizioni convenzionali, materiale esplosivo e dispositivi di detonazione.

La scelta delle tecnologie di distruzione delle munizioni dipende inoltre dai quantitativi da distruggere e dalle tecnologie disponibili in loco.

La presente guida fornisce una panoramica delle tecnologie più utilizzate. Il punto di partenza è lo smaltimento delle munizioni (Capitolo II) corredato da una cronistoria o da una sequenza di tecnologie utilizzate. Nel Capitolo III vengono illustrate la combustione e la detonazione a cielo aperto, mentre nel Capitolo IV la combustione e la detonazione a ciclo chiuso. Nel Capitolo V vengono discusse le tecnologie con linea di montaggio inversa e nel Capitolo VI le procedure di separazione delle parti metalliche e degli esplosivi. Nel capitolo VI si accenna inoltre all'importanza del riutilizzo e del riciclaggio dei materiali, sebbene la tematica principale del presente documento sia la distruzione delle munizioni.



Il Capitolo VII si sofferma sulle tecnologie di distruzione di quei prodotti chimici derivanti dalle munizioni che potrebbero rivelarsi problematici in sede di incenerimento.

Il Capitolo VIII illustra i vantaggi e le migliori prassi vigenti riepilogate in una tabella. Infine, il Capitolo IX presenta una sinossi delle principali conclusioni concernenti le metodologie a disposizione per la distruzione delle munizioni.

## II. Scarico delle munizioni

### 1. Scarico in mare

Lo scarico delle munizioni è vietato per legge in quei paesi che hanno ratificato i vari accordi e convenzioni in materia (Convenzione di Londra del 1972 e Protocollo del 1996 [3], OSPAR 22 settembre 1992, [4]). La maggior parte dei paesi dell'Europa occidentale ne sono firmatari.

Le sostanze chimiche tossiche in lisciviazione dagli scarichi di munizioni migrano, soprattutto attraverso gli acquiferi, in maniera incontrollata inquinando vaste aree, ivi comprese le forniture di acqua potabile a uso umano della zona.

Lo scarico delle munizioni può inoltre condurre a situazioni indesiderate dal momento che i governi non ne hanno più il controllo.

### 2. Discarica

Quando le munizioni vengono depositate in laghi o in siti di discarica, i composti chimici tossici che lisciviano dalla munizione per un periodo di tempo lungo e indeterminato finiranno per inquinare l'ambiente. Numerosi componenti utilizzati nelle munizioni sono nocivi per l'ambiente. Tra questi componenti figurano i metalli pesanti (per es. piombo, antimonio, zinco, rame), gli esplosivi (per es. 2,4,6-trinitro-toluene, nitroglicerina (NG) e RDX) e componenti di propellenti (per es. dinitrotoluene (DNT), difenilammina (DPA) e dibutilftalato (DBP)). Sono altresì dannosi per l'ambiente componenti di materiale pirico quali esacloroetano e sali di bario e stronzio nei proiettili traccianti e nelle composizioni per illuminazione.

## III. Combustione a cielo aperto/Detonazione a cielo aperto

### 1. Detonazione a cielo aperto

La distruzione delle munizioni tramite detonazione a cielo aperto (OD) e combustione a cielo aperto (OB) è ancora oggi ampiamente usata e nota come OBOD.



Figura 3.1: Proiettili d'artiglieria e mine anticarro pronte per essere distrutte.

Nella detonazione a cielo aperto, le munizioni vengono ammassate e distrutte tramite detonazione per simpatia, utilizzando cariche di esplosivi ancora in servizio. La distruzione avviene grazie all'esplosione delle cariche di demolizione che sono a stretto contatto con le munizioni ammassate. Trattasi quindi di procedura valida soltanto per munizioni con un rapporto peso/esplosivo relativamente alto.

L'onda d'urto della detonazione generata dalle cariche ospite fa detonare le munizioni. La detonazione a cielo aperto ha il vantaggio di permettere l'efficace distruzione di grandi quantitativi di munizioni. Il raggio di demolizione deve essere abbastanza ampio da poter garantire che gli effetti dell'esplosione, del rumore e della frammentazione siano circoscritti al sito. In genere, nella maggior parte dei casi, il raggio d'azione nelle aree di non combattimento è notevolmente ridotto.

La detonazione a cielo aperto permette inoltre di distruggere le munizioni senza l'ausilio di attrezzature speciali. Vi sono tuttavia alcuni svantaggi:

- rischio di inquinamento incontrollato del terreno, degli acquiferi e dell'aria [5].
- rischi derivanti dall'onda d'urto e dai frammenti
- possibilità che non tutti i pezzi di munizione vengano distrutti correttamente e che di conseguenza permangano nella zona degli ordigni inesplosi (UXO)
- produzione condizionata dalle ore di luce giornaliere e da condizioni meteorologiche adeguate.

Al fine di evitare la migrazione incontrollata di potenziali inquinanti, è preferibile effettuare la detonazione a cielo aperto in siti che non siano vulnerabili alla lisciviazione degli inquinanti verso le falde freatiche.

Gli effetti dell'onda d'urto e dei frammenti possono essere attenuati limitando il numero di munizioni da distruggere per detonazione oppure proteggendo adeguatamente l'area. Il ricorso a dette misure supplementari di sicurezza dipende dalla vulnerabilità delle infrastrutture circostanti.

A causa dell'inquinamento incontrollato, la detonazione a cielo aperto di grandi quantitativi di munizioni è vietata nella maggior parte dei paesi occidentali.

La detonazione a cielo aperto tuttavia deve essere effettuata con indumenti di protezione per il personale competente per evitare l'esposizione agli inquinanti [6]. È sufficiente proteggere la pelle e le vie respiratorie con tute (monouso), guanti e mascherine antipolvere.

## 2. Combustione a cielo aperto

La combustione a cielo aperto viene utilizzata soprattutto per la distruzione delle eccedenze di propellenti (grandi quantità) e di composizioni pirotecniche. Anche gli esplosivi non confinati (grandi quantità) possono essere distrutti con questa tecnica, preferibilmente in piccole quantità, per evitare che la combustione di esplosivi e propellenti si trasformi in una vera e propria detonazione.



Figura 3.2: Sacchi contenenti propellenti pronti per la combustione a cielo aperto.

La combustione a cielo aperto di munizioni contenenti fumo, materiale pirotecnico e coloranti o agenti irritanti è vietata per legge negli Stati Uniti e in numerosi altri paesi a causa dell'alta concentrazione di prodotti pericolosi generata durante questo tipo di combustione [7].

Generalmente, la combustione a cielo aperto si effettua su strutture appositamente costruite, quali piattaforme di cemento o contenitori metallici, per evitare il contatto con la superficie del terreno e la lisciviazione verso le falde freatiche. I contenitori per l'OB devono essere fatti di materiale sufficientemente resistente alla combustione e abbastanza ampi e profondi per contenere i residui del trattamento. Per favorirne il raffreddamento e agevolarne l'ispezione antilisciviazione, i contenitori possono essere posizionati leggermente più in alto rispetto al terreno. È consigliabile coprire i contenitori quando non sono in uso [8].

In conclusione, si può affermare che il ricorso alla combustione e alla detonazione a cielo aperto dovrebbe essere limitato alle zone non vulnerabili alla lisciviazione verso le falde freatiche. In caso di lisciviazione, la combustione a cielo aperto rappresenta un problema e di conseguenza è obbligatorio l'uso di costruzioni a tenuta stagna, quali contenitori di cemento o metallo. Il personale addetto alla distruzione deve indossare indumenti adeguati, quali tute di protezione (monouso) e maschere per la respirazione.

## IV. Combustione a ciclo chiuso

### 1. Forno rotativo

Il forno rotativo permette la distruzione termocontrollata delle munizioni o degli esplosivi in un tempo predefinito e il trattamento dei gas di scarico.

Il tipo di forno più frequentemente utilizzato per la distruzione delle munizioni è il forno rotativo.

Le munizioni vengono trasportate da una tramoggia di carico (a sinistra) che regola l'afflusso delle munizioni (da una seconda camera) da introdursi nel forno per unità di tempo. Si tratta di un importante congegno di sicurezza che impedisce concentrazioni troppo elevate di munizioni nel forno. Le munizioni reagiscono all'alta temperatura del forno riscaldato da bruciatori ubicati





Figura 4.1: Visione esterna di un forno rotativo  
(per gentile concessione NAMSA)

all'estremità finale del forno stesso e alimentati da gas o da oli combustibili. Il forno rotativo è un tamburo cilindrico rotante in acciaio a pareti spesse dotato all'interno di una vite d'Archimede. Le munizioni si muovono all'interno del tamburo riscaldato grazie alla velocità di rotazione controllata. Dato che i vari tipi di munizioni richiedono tempi di permanenza diversi, la velocità di rotazione deve essere regolata. Gli esplosivi si accendono dopo un determinato tempo di permanenza nel forno. I prodotti di reazione si mescolano con l'aria in eccesso per poi bruciare completamente nella camera di post combustione (post bruciatori). La combustione è così completa. I prodotti di reazione solidi vengono raccolti da un aspiratore per cenere, da cicloni e filtri a sacco o in ceramica. I prodotti gassosi vengono trattati con getti ad acqua e installazioni per la rimozione degli ossidi di azoto. Queste ultime sono particolarmente importanti in presenza di esplosivi quali il TNT a causa dell'alta concentrazione di ossidi di azoto (Nox) che si possono formare. In questo modo, le emissioni di gas di scarico si conformano ai "rigorosi requisiti" delle autorità nazionali preposte alla tutela dell'ambiente [9].

I forni rotativi, a seconda delle loro dimensioni e criteri operativi, possono essere utilizzati per la combustione di esplosivi in grandi quantità e propellenti, munizioni di piccolo calibro (fino a 20.000 proiettili l'ora), spolette, detonatori e altri dispositivi d'innesco. Se del caso, le munizioni di calibro medio e grande vengono sottoposte a un pretrattamento per esporre la carica esplosiva. Dette metodologie verranno illustrate nei capitoli successivi.

I forni rotativi sono stati ampiamente utilizzati su base commerciale negli USA, Germania, Francia, Italia, Regno Unito, Albania e Ucraina. In conclusione, si può affermare che il forno rotativo è particolarmente adatto per la distruzione di una vasta tipologia di munizioni e per far fronte alle crescenti esigenze di smilitarizzazione.

In Bosnia, l'UNDP sta utilizzando dei Sistemi mobili per la distruzione di munizioni (TADS). Detti sistemi possono essere ubicati ovunque al 25% dei costi di un forno rotativo fisso. I sistemi mobili consentono la distruzione di munizioni di piccolo calibro anche in grandi quantitativi.



Figura 4.2: Sistemi mobili per la distruzione di munizioni  
impiegati dall'UNDP in Bosnia.

## 2. Inceneritore a letto fluido

I rifiuti esplosivi sono pompati all'interno del letto sotto forma di slurry non detonabile [10] (area rossa). Il letto è costituito da particelle di sabbia (principalmente ossido di silicio) dal diametro ben definito. Il flusso di aria calda

trasforma le particelle di sabbia in uno stato fluido. Si tratta di una procedura molto valida per l'incenerimento in tutta sicurezza dei rifiuti esplosivi.

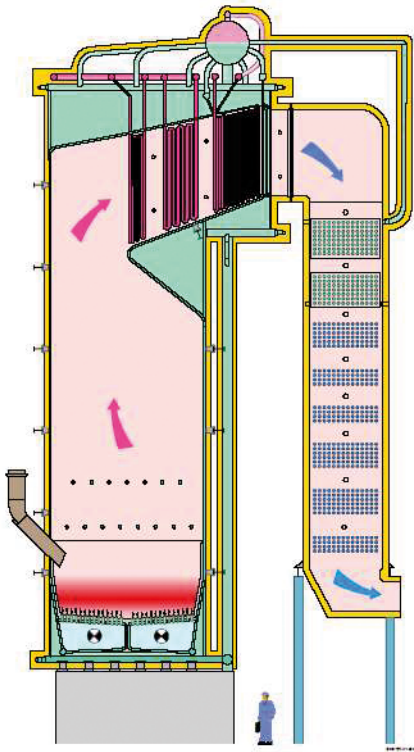


Figura 4.3: Inceneritore a letto fluido

Le dimensioni del letto fluido sono assai variabili. La figura 4.4 illustra un imponente impianto industriale. Tuttavia per incenerire rifiuti esplosivi sono sufficienti piccole installazioni con un diametro di 0,5 m.

Il principale vantaggio del forno a letto fluido è il basso consumo energetico che permette di sfruttare il calore in eccesso del forno per riscaldare un forno/camera a sé stante utilizzato per il trattamento termico di piccoli quantitativi di munizioni di medio calibro. (vedere anche 4.3 Forno a carro).

L'inceneritore a letto fluido viene impiegato soprattutto per la distruzione di esplosivi in grandi quantità e propellenti sotto forma di slurry, cioè di miscela a base di materiale energetico e acqua.

Non sempre è possibile ricorrere all'inceneritore a letto fluido per lo smaltimento di composizioni pirotecniche a causa della formazione di prodotti che reagiscono a contatto con le particelle di sabbia del letto. Questo può portare alla formazione di granuli che interferiscono con il corretto funzionamento del letto fluido.

### 3. Forno a carro

Questo tipo di forno viene utilizzato per il trattamento termico di munizioni (parti) di piccolo calibro quali accenditori, detonatori e spolette in piccoli quantitativi, mentre per grandi quantitativi si ricorre al forno rotativo. Il forno a carro viene anche impiegato per il trattamento termico dei rottami metallici contaminati da piccole quantità di esplosivo. In genere, il forno a carro viene utilizzato unitamente ad altre installazioni, quali un altro tipo di forno. Il calore necessario al riscaldamento del forno è generato dal calore in eccesso prodotto dal forno più grande.



Figura 4.4: Forno a carro con porta semiaperta.

Le munizioni vengono poste sul carrello (che scorre su rotaie all'interno del forno). Le munizioni o i rottami metallici vengono lasciati nel forno per 30 minuti. I gas prodotti dal forno vengono incanalati in un sistema di controllo dell'inquinamento (PCS) ubicato in un'installazione limitrofa (per esempio, l'inceneritore a letto fluido). Dopo il trattamento termico le parti metalliche che restano sul carrello vengono certificate come Prive di esplosivi (FFE), imballate e trasportate all'industria dei rottami metallici.

#### 4. Impianto di decontaminazione a gas caldo

L'impianto di decontaminazione a gas caldo (ovvero una versione più grande del forno a carro) viene utilizzato per trattare pezzi che contengono tracce di materiale energetico, fino a garantire l'assenza di quantità significative di tale materiale. I pezzi da trattare vengono caricati su cestelli, legati a pallet metallici o fissati direttamente alla superficie di un carrello appositamente progettato. Il carrello viene poi trasferito in una camera di decontaminazione in modo tale che carrello e camera formino una scatola sigillata. Nella camera viene poi immessa aria calda per mantenerne la temperatura a 300° C per 1-2 ore.



Figura 4.5: Impianto di decontaminazione a gas caldo. Sul carrello vengono posizionate griglie metalliche cariche di munizioni pretrattate.

Questo tipo di installazione è particolarmente adatto per ripulire grandi quantitativi di rottami contaminati.

#### 5. Camera di detonazione confinata o controllata

Questo tipo di installazione viene impiegata per la distruzione delle munizioni tramite detonazione per simpatia. Il principio sfrutta la detonazione per simpatia di una piccola carica di esplosivi, soprattutto esplosivi plastici, posizionata a stretto contatto con le munizioni da distruggere. La camera è progettata per sopportare la sovrappressione generata dagli esplosivi di detonazione, ma non riesce a resistere alla forza dirompente delle detonazioni circostanti. Il carico massimo di esplosivi che possono essere detonati contemporaneamente dipende dalle dimensioni e dalla struttura della camera di detonazione. Detta camera è ottimale per lo smaltimento di piccoli quantitativi di munizioni di medio calibro, ivi comprese le granate a mano e le mine antiuomo. Per poter distruggere munizioni di calibro maggiore (proiettili maggiori di 105 mm) nella camera di detonazione è prima necessario sottoporle a riduzione.



Figura 4.6: Versione mobile della camera di detonazione con unità di controllo anti-espansione e anti-inquinamento atmosferico.

Al fine di evitare la contaminazione del personale dovranno essere seguite alcune semplici misure protettive simili a quelle utilizzate per la combustione e la detonazione a cielo aperto.

## V. Tecniche supplementari per l'eliminazione delle munizioni

Al Capitolo 4 sono state illustrate alcune tecniche di detonazione e di combustione a ciclo chiuso che nella maggior parte dei casi prevedono obbligatoriamente di limitare i quantitativi di munizioni da distruggere o di attenuarne gli effetti peggiori. Per munizioni di calibro maggiore potrebbe rendersi necessario il disassemblaggio delle munizioni. Questa procedura di disassemblaggio permette:

- di mettere a punto esplosivi discreti pronti ad essere successivamente eliminati
- di ridurre meccanicamente gli esplosivi

### 1. Disassemblaggio

Questa procedura dovrebbe essere effettuata nelle fabbriche produttrici di munizioni. Nella detta procedura, i vari componenti delle munizioni vengono separati con l'ausilio di strumenti a volte impiegati anche nella loro fabbricazione. La strumentazione deve essere adattata alla procedura di disassemblaggio e manovrata da personale qualificato. Detta procedura consta di numerose operazioni:

- rimozione dei dispositivi di accensione, spolette e accenditori, dal proiettile
- rimozione delle spolette dai proiettili
- separazione delle cariche di amplificazione dalle spolette
- rimozione degli accenditori e degli accenditori principali centrali dalla cartuccia
- separazione delle cartucce propellenti dai proiettili e rimozione del propellente.

La riduzione può essere effettuata mediante una giusta combinazione di strumenti e personale qualificato. Per il disassemblaggio meccanico si fa ricorso a sistemi ad



Fig. 5.1: Disassemblaggio manuale di mina antiuomo (Donetsk, Ukraina)

azionamento meccanico. A differenza del disassemblaggio manuale, il disassemblaggio meccanico consente di ottenere elevati tassi di produzione; è una procedura efficace e richiede personale ridotto. Per poter adempiere a tutti i requisiti di riduzione è necessaria una vasta gamma di strumenti.

### 2. Riduzione meccanica

Lo riduzione meccanica utilizza vari tipi di attrezzature quali il tornio, la sega (soprattutto seghe a nastro) e cannelli da taglio idroabrasivi. Lo strumento da taglio serve per aprire la munizione, separare la spoletta dal proiettile, la cartuccia dal proiettile, ecc., senza dover ricorrere alle attrezzature specialistiche impiegate nella procedura con linea di montaggio inversa. Tuttavia, la quantità impiegata di lavoro e il numero di munizioni che possono essere distrutte è paragonabile alla procedura di disassemblaggio.





Figura 5.2: Torno per il taglio di un mortaio da 81mm

La riduzione può essere ottenuta oltre che con il tornio, segando o tagliando la munizione in parti più piccole, a patto che vengano prese tutte le precauzioni del caso. Le tecniche summenzionate possono essere eseguite in qualsiasi parte del mondo. Il loro utilizzo nell'ambito della procedura con linea di montaggio inversa può portare a situazioni rischiose, dato che le cariche esplosive sono sensibili alla frizione. È possibile scegliere il summenzionato metodo di riduzione solo se viene garantita l'incolumità del personale. Nella maggior parte dei casi, l'uso di processi controllati a distanza è sufficiente nonché obbligatorio al fine di garantire la sicurezza della procedura.

Le munizioni possono poi anche essere sezionate con l'ausilio della tecnologia idroabrasiva ad alta pressione a condizione che la pressione dell'acqua non superi il limite dei 2000 bar. La pressione d'esercizio in genere è di 200 bar. Si tratta di una tecnica in uso sulle piattaforme petrolifere off-shore e impiegata in passato per tagliare condutture e aprire depositi di stoccaggio contenenti vapori di idrocarburi.

Grazie alla sua flessibilità, la tecnica di taglio idroabrasiva (HAC) permette di tagliare un'ampia gamma di munizioni, dai 40 mm di calibro, alle bombe aeree, ai

missili. Si tratta inoltre di una tecnica sicura, operando entro determinati limiti di pressione. Il sistema HAC è particolarmente adatto per il taglio di munizioni contenenti esplosivi al plastico.



Figura 5.3: Attrezzatura per il taglio idroabrasivo. Nel riquadro in basso a sinistra, esempio di taglio su munizione da 155 mm.

In conclusione, la riduzione meccanica è una procedura adeguata se monitorata a distanza.

### 3. Frammentazione criogenica

Detta tecnica è stata messa a punto per la smilitarizzazione delle munizioni chimiche. [10] Le munizioni vengono raffreddate in un container contenente azoto liquido. L'acciaio dei proiettili si sbriciola per effetto della bassa temperatura. In seguito, i proiettili vengono trasportati in una pressa idraulica, frantumati per recuperare l'esplosivo o l'agente chimico e nel contempo ridotti in frammenti metallici più piccoli.

Dato che l'agente chimico contenuto nei proiettili non può evaporare a causa delle basse temperature, i frammenti metallici e l'agente chimico vengono trattati in un forno speciale dove avviene la pulizia dei gas combusti.





Fig. 5.4: Impianto per la frammentazione criogenica presso Alsetex, Francia (per gentile concessione NAMSA)

La frammentazione criogenica è ampiamente diffusa in Europa per la smilitarizzazione commerciale di unità e componenti contenenti piccoli quantitativi di esplosivo. Per effetto del congelamento gli esplosivi si desensibilizzano e possono così essere demoliti e quindi trattati in un forno. Decine di migliaia di bombe a grappolo sono state eliminate utilizzando questa tecnica.

## VI. Tecniche di separazione

Tra le tecniche generalmente utilizzate per separare il contenuto esplosivo dagli involucri metallici figurano:

- tecniche di fusione
- lavaggio con getto d'acqua ad alta pressione
- lavaggio con solventi

### 1. Tecniche di fusione

Le tecniche di fusione sono ampiamente utilizzate per rimuovere dalle munizioni esplosivi e cariche contenenti materiale fuso. L'esempio più comune è il TNT e i suoi derivati, quali TNT/RDX, che vengono colati a temperature pari o superiori a  $80,35^{\circ}\text{C}$ . Le tecniche di fusione sono utilizzabili per tutte le munizioni a base di TNT mentre non lo sono per le munizioni con RDX a causa dell'elevato punto di fusione ( $205,5^{\circ}\text{C}$ ).

Le munizioni vengono riscaldate con acqua/vapore caldo o nei forni a induzione. Gli esplosivi fondono a temperature superiori agli  $80,35^{\circ}\text{C}$  e fuoriescono dall'involucro. In seguito, gli esplosivi fusi vengono raccolti e sottoposti a ulteriore trattamento o eliminazione. Spesso vengo-



Fig. 6.1: Fusione del TNT con autoclavi presso l'impianto per l'eliminazione delle munizioni di Ankara (per gentile concessione NAMSA)

no utilizzati nella produzione di esplosivi deflagranti commerciali.

- Il vapore del TNT deve essere smaltito attraverso un sistema di scarico adeguato
- Le munizioni debbono essere sottoposte a trattamento termico supplementare per eliminare lo strato

residuo di esplosivi (forno a carro oppure decontaminazione con gas caldo (Capitolo 4)).

Le tecniche di fusione sono inoltre impiegate per la smilitarizzazione di munizioni al fosforo bianco (WP). Dette munizioni vengono immerse in un bagno di acqua calda (50°C). Il fosforo fonde a 42°C e può essere raccolto sott'acqua. Questa procedura è necessaria a causa della violenta reattività del fosforo con l'ossigeno dell'aria. Il fosforo bianco così recuperato ha un valore commerciale. Per eliminare piccoli quantitativi di munizioni al fosforo bianco è possibile ricorrere alla detonazione a cielo aperto (OD), anche se in questi casi è sempre opportuno richiedere un parere esperto visti i problemi di contaminazione ambientale.



Figura 6.2: Recupero del fosforo bianco tramite fusione

## 2. Lavaggio con getto d'acqua

Il principio del lavaggio delle cariche esplosive con getto d'acqua sfrutta l'elevata pressione del getto. Il getto d'acqua viene orientato sulla carica esplosiva tramite un ugello rotante. Grazie al lavaggio con acqua ad alta pressione è possibile rimuovere ogni sorta di carica esplosiva dall'involucro metallico della munizione. Il lavaggio è particolarmente indicato per rimuovere composti al plastico (PBX) e altri esplosivi non fusi.



Figura 6.3: Lavaggio con getto d'acqua di proiettili da 155 mm

L'impianto illustrato nella figura 6.3 può lavare contemporaneamente 2 pezzi.

In mezz'ora, tutti gli 8 pezzi raffigurati verranno lavati.

Il lavaggio con getto d'acqua presenta le seguenti caratteristiche:

- Il getto rimuove completamente qualsiasi tipo di esplosivo (non soltanto quelli fusi, non rimane minima traccia di materiale esplosivo).
- Meno inquinamento negli edifici e meno vapore di TNT sono sinonimi di migliori condizioni di igiene del lavoro.
- L'acqua utilizzata per il lavaggio viene riciclata (non vi sono dunque problemi di smaltimento delle acque reflue).
- Gli esplosivi possono essere separati dall'acqua e riutilizzati.
- Gli esplosivi possono essere trasformati in slurry e classificati come classe 4.1 [11].

Il lavaggio con getto d'acqua può essere usato molto efficacemente in combinazione al sistema di taglio idroabrasivo (Capitolo 5.2).

### 3. Lavaggio con solventi

La presente tecnica si avvale di un solvente che scioglie prontamente gli esplosivi. Dato che la maggior parte degli esplosivi, quali TNT e RDX, non sono (o quanto meno molto poco) solubili in acqua, è necessario optare per altri solventi. Molti esplosivi si sciolgono in solventi quali cloruro di metilene, alcool metilico, acetone o toluene. Va ricordato che, poiché sono necessarie grandi quantità di solvente, è obbligatorio disporre di ampi impianti di recupero e di deposito. Il lavaggio con solventi permette di riciclare gli esplosivi. La presente tecnica è da preferirsi nel caso di riutilizzo di esplosivi militarmente molto validi ed è applicabile soltanto a piccoli quantitativi di munizioni.

Il lavaggio con solventi può essere anche impiegato per ripulire le parti metalliche, ad esempio i proiettili, dopo aver rimosso l'esplosivo per fusione. Il solvente scioglie il sottile strato di esplosivi che rimane all'interno del proiettile dopo la fusione.

Questo tipo di procedura deve essere eseguito in condizioni di sicurezza adeguate; alcuni solventi producono vapori ad alta pressione e potrebbero formare miscele esplosive a contatto con l'aria, mentre altri possono essere nocivi per la salute umana a causa della loro tossicità (toluene, cloruro di metilene).

## VII. Tecniche di conversione sperimentali

Nei Capitoli 3 e 4 è stata presentata la combustione dei rifiuti esplosivi come tecnica di conversione. Nel corso degli ultimi vent'anni sono state testate nuove tecnologie per la conversione dei rifiuti esplosivi quali:

- ossidazione
- pirolisi ad arco plasma
- ossidazione elettrochimica
- reazione chimica
- biodegradazione

Le summenzionate tecniche su piccola scala sono progettate e utilizzate per tipologie molto specifiche di rifiuti.

### 1. Ossidazione in acqua supercritica

L'ossidazione in acqua supercritica (SCWO), detta anche Ossidazione idrotermica, distrugge i rifiuti organici tossici e pericolosi in un impianto compatto, completa-

mente chiuso. Questa caratteristica la rende interessante per la distruzione di composizioni pirotecniche a base di cloro (ad esempio esacloretano, cloruro di polivinile), ma anche per altri agenti irritanti e chimici. Si tratta di una procedura altamente sofisticata per la distruzione di composizioni a base di cloro e che impedisce la formazione di diossine.

### 2. Pirolisi ad arco plasma

Il reattore al plasma consta di una centrifuga interna in cui i rifiuti pericolosi vengono scaldati da cannelli di fusione, producendo così un arco plasma con una temperatura di 20000°C. Le acque reflue del sistema di depurazione dei fumi sono trattate in una unità per l'evaporazione dell'acqua. In questo modo, le acque reflue non vengono scaricate nelle fognature. Il residuo secco dell'evaporatore deve essere poi smaltito in un sito di deposito per il materiale pericoloso a causa del suo contenuto tossico (metalli tossici).

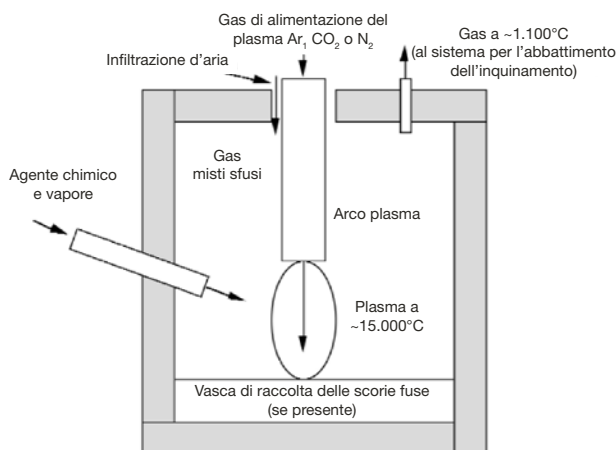


Figura 7.1: Disegno schematico di un reattore al plasma

La tecnologia all'arco plasma è stata ideata per la distruzione di rifiuti pericolosi quali agenti chimici contenenti arsenico. Dato che il prodotto che si ottiene dal reattore è una composizione vitrea in cui vengono catturati i composti tossici, il prodotto finale deve essere immagazzinato in un sito di deposito per rifiuti pericolosi.

I composti energetici (esplosivi, propellenti e materiale pirotecnico), in presenza di una piccola quantità di ossigeno, vengono ossidati in un reattore al plasma e trasformati in prodotti gassosi composti principalmente da monossido di carbonio, biossido di carbonio e idrocarburi piccoli quali metano, etene ed etano. I forni ad arco hanno tempi di avvio (5 minuti circa per andare a regime) e tempi di arresto molto brevi. La procedura richiede notevoli quantità di energia, è alquanto dispendiosa ma particolarmente indicata per neutralizzare alcuni tipi di munizioni e per decontaminare parti metalliche.

### 3. Ossidazione elettrochimica

La tecnologia AEA SILVER II™ sfrutta il potere altamente ossidante degli ioni  $Ag^{2+}$  generati facendo passare una corrente elettrica attraverso una soluzione di nitrato d'argento in acido nitrico in una cella elettrochimica

simile a quelle utilizzate nei processi elettrochimici industriali. Le reazioni elettrochimiche impiegate nella tecnologia SILVER II™ appartengono a una classe di processi chimici noti come ossidazione elettrochimica mediata (MEO). I processi MEO sono stati proposti come alternativa all'incenerimento tradizionale di rifiuti pericolosi. Tuttavia, dato che si tratta di processi relativamente nuovi per sviluppo e applicazione, l'esperienza in materia è ancora limitata.

Detta tecnologia può essere utilizzata per neutralizzare esplosivi primari quali l'azoturo di piombo e il piombo stifnato.

### 4. Biodegradazione

La biodegradazione sfrutta la capacità dei microrganismi di consumare gli agenti chimici contenuti nelle munizioni quali il TNT e altri esplosivi o componenti di propellenti. La biodegradazione può essere impiegata a guisa di un processo chimico in un'installazione simile a un reattore.



Figura 7.2: Impianto di biodegradazione

Sono necessari ampi depositi di stoccaggio a causa dei bassi tassi di reazione. Per questo motivo sarebbe meglio

ricorrere al landfarming, cioè alla bonifica biologica, poiché numerosi microrganismi in grado di convertire le sostanze chimiche sono già presenti nel suolo. Il landfarming crea nel suolo le condizioni ottimali per convertire tramite microrganismi composti energetici organici:

- percentuale di ossigeno
- ph del suolo
- percentuale di acqua nel suolo
- nutrimento supplementare per i microrganismi.

La biodegradazione con ausilio di reattore è indicata per il trattamento di ampie concentrazioni di rifiuti esplosivi, mentre il landfarming viene utilizzato per la bonifica in loco di siti militari contaminati (a bassa concentrazione di materiali energetici). È controindicata invece, per il trattamento di propellenti (rifiuti) contenenti metalli pesanti (quali additivi per l'erosione della canna o l'inibitore del tasso di combustione).

## VIII. Discussione

Per la distruzione delle munizioni è disponibile un gran numero di tecnologie diverse. Per poter valutare le migliori prassi si possono adottare alcuni criteri come linee guida.

1. La tecnologia applicata deve portare alla distruzione irreversibile delle munizioni e degli esplosivi, propellenti e materiale pirotecnico in esse contenuto.
2. La tecnologia adottata deve essere rispettosa dell'ambiente e sicura per il personale preposto alla sua applicazione. Si debbono inoltre applicare i principi dell'analisi completa di un sistema ambientale.
3. La tecnologia applicata deve essere conveniente in termini economici, con requisiti energetici minimi per le procedure di distruzione e un quantitativo limitato di rifiuti.
4. La combinazione di varie tecnologie deve essere adatta alla distruzione della maggior parte dei tipi di munizioni.
5. Talvolta, la tecnologia applicata deve poter mettere le munizioni in condizioni di sicurezza direttamente nel luogo in cui sono site, soprattutto se si tratta di munizioni pericolose da trasportare.

La scelta della tecnologia ottimale per la smilitarizzazione delle munizioni dipende fortemente dalla situazione sul terreno. In genere, si opta per una serie di tecnologie combinate piuttosto che per una sola. Qui di seguito viene riportata una lista delle tecnologie più utilizzate e relative condizioni per la loro applicazione.



Tecnologia	Condizioni di applicazione
Detonazione a cielo aperto	Nessun'altra tecnologia disponibile o con un buon rapporto costo/benefici. Trasporto non possibile. Elevato rischio per la sicurezza della zona in cui sono site le munizioni. Munizioni di calibro grande e medio.
Combustione a cielo aperto	Nessun'altra tecnologia disponibile o con un buon rapporto costo/benefici. Preferibili piccoli quantitativi di esplosivi.
Forno rotativo	Grandi quantitativi di munizioni di piccolo e medio calibro. Dopo la riduzione può essere applicata a munizioni di grande calibro.
Letto fluido	Grandi quantitativi di esplosivi e propellenti. Possibile recupero energetico. Combinazione con il forno a carro.
Forno a carro	Piccoli quantitativi di accenditori, detonatori, spolette e materiali pirotecnici.
Decontaminazione a gas caldo	Grandi quantitativi di rottami metallici contaminati.
Camera di detonazione	Quantitativi limitati di munizioni.
Tecniche di riduzione	Utilizzate in combinazione con le opzioni previste per il riutilizzo. Pretrattamento per l'impiego di altre tecnologie.
Tecnologie di separazione	Riciclaggio e riutilizzo.
Tecnologie sperimentali di conversione	Applicazioni specifiche per materiali pericolosi atte a impedire la formazione di sostanze altamente tossiche e a tutelare l'ambiente.

In pratica, la smilitarizzazione delle munizioni è sempre frutto della combinazione di una o più tecnologie summenzionate. Dette tecnologie devono essere disponibili a livello locale, ma fattore ancor più importante è la presenza di personale competente.

In presenza di grandi quantitativi di munizioni è conveniente costruire un impianto fisso, mentre nel caso di quantitativi modesti è opportuno avvalersi di impianti mobili. Prospettiva promettente è la trasformazione a livello locale di munizioni in rifiuti di classe 4.1. attraverso la separazione degli esplosivi dalle parti metalliche e

la loro successiva miscelazione con acqua e additivi [10]. Detta conversione, tuttavia, richiede l'uso di tecnologie sofisticate, l'accesso agli impianti di smaltimento dei rifiuti pericolosi, fra i quali quelli prodotti dall'inceneritore di rifiuti esplosivi (EWI), ecc.

Per applicazioni speciali si raccomanda l'uso di tecnologie sperimentali. Basti pensare alla tecnologia di incenerimento convenzionale che producono sostanze altamente tossiche quali le diossine.

## IX. Conclusioni

Le procedure contemplate nella presente guida possono mitigare i rischi derivanti dalla smilitarizzazione delle munizioni con un impatto economico e ambientale minimo. L'attuabilità delle singole tecniche dipende dalla situazione sul terreno e dalle economie di scala.

Gli esplosivi che non possono essere riciclati debbono essere distrutti. Una tecnologia promettente è la trasformazione degli esplosivi in rifiuti di classe 4.1 attraverso la miscelazione del materiale energetico con acqua e additivi. I rifiuti di classe 4.1 così ottenuti possono venire inceneriti altrove in sicurezza presso installazioni industriali/commerciali.

Un numero ristretto di componenti delle munizioni deve essere smaltito tramite procedure specifiche di cui al Capitolo 6. Nella fattispecie, si tratta soprattutto di agenti chimici e composizioni con fumo contenenti esacloroetano o fosforo bianco. I summenzionati tipi di munizioni vanno trattati separatamente con l'ausilio di misure supplementari di sicurezza.

## X. Abbreviazioni

CN	Cloroacetofenone
CS	O-clorobenzildimalonitrile
CW	Armi chimiche
DBP	Dibutilftalato
DNT	Dinitrotoluene
DPA	Difenilammina
NG	Nitroglicerina

OB	Combustione a cielo aperto
OD	Detonazione a cielo aperto
RDX	Esogeno, ciclotrimetilentrinitroammina
SCWO	Ossidazione in acqua supercritica
TNT	2,4,6,-trinitrotoluene
UXO	Ordigno inesploso

## XI. Documenti di riferimento

- [1] *Standard internazionali per gli interventi di sminamento (IMAS), 2a edizione 2003*, Servizio delle Nazioni Unite per l'azione contro le mine (UNMAS) DC2 0650, Nazioni Unite, New York, NY 10017, USA, 2003
- [2] Mitchell, A. R., Coburn, M. D., Schmidt, R. D., Pagoria, P. F. & Lee, G. S., *Resource Recovery and Reuse (R3) of Explosives by Conversion to Higher Value Products*, Lawrence Livermore National Laboratory, Energetic Materials Center, Livermore, California 94550, USA
- [3] *Convenzione di Londra 1972, Organizzazione marittima internazionale*, Convenzione sulla prevenzione dell'inquinamento marino provocato dallo scarico di rifiuti e di altre sostanze 1972 e relativo Protocollo 1996
- [4] Convenzione OSPAR di Parigi, *Convenzione per la protezione dell'ambiente marino dell'Atlantico nordorientale, Annesso II*, 22 settembre 1992
- [5] *Development of a Protocol for Contaminated sites Characterisation*, KTA 4-28, Final Report, September 2003
- [6] N. H. A. Van Ham; F. R. Groeneveld, *ARBO onderzoek EOCL* (in Dutch), Report TNO 1999 A89, 1999
- [7] Teir, S., *Modern Boiler Types and Applications*, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Energy Engineering and Environmental Protection Publications Steam Boiler Technology eBook Espoo, 2002
- [8] *A Destruction Handbook* (UN) Department for Disarmament Affairs Conventional Arms Branch, S-3170 United Nations New York, USA
- [9] Direttiva UE 2000/76, dicembre 2000
- [10] *Cryofracture process, General Atomics. Cryofracture technology for the destruction of AP mines*, International Demil Conference St. Petersburg 2004
- [11] Van Ham, N. H. A., *Safety Aspects of Slurry Explosives*, in Application of demilitarized gun and rocket propellants in commercial explosives, NATO Science Series II- Volume 3

NOTA





NOTA