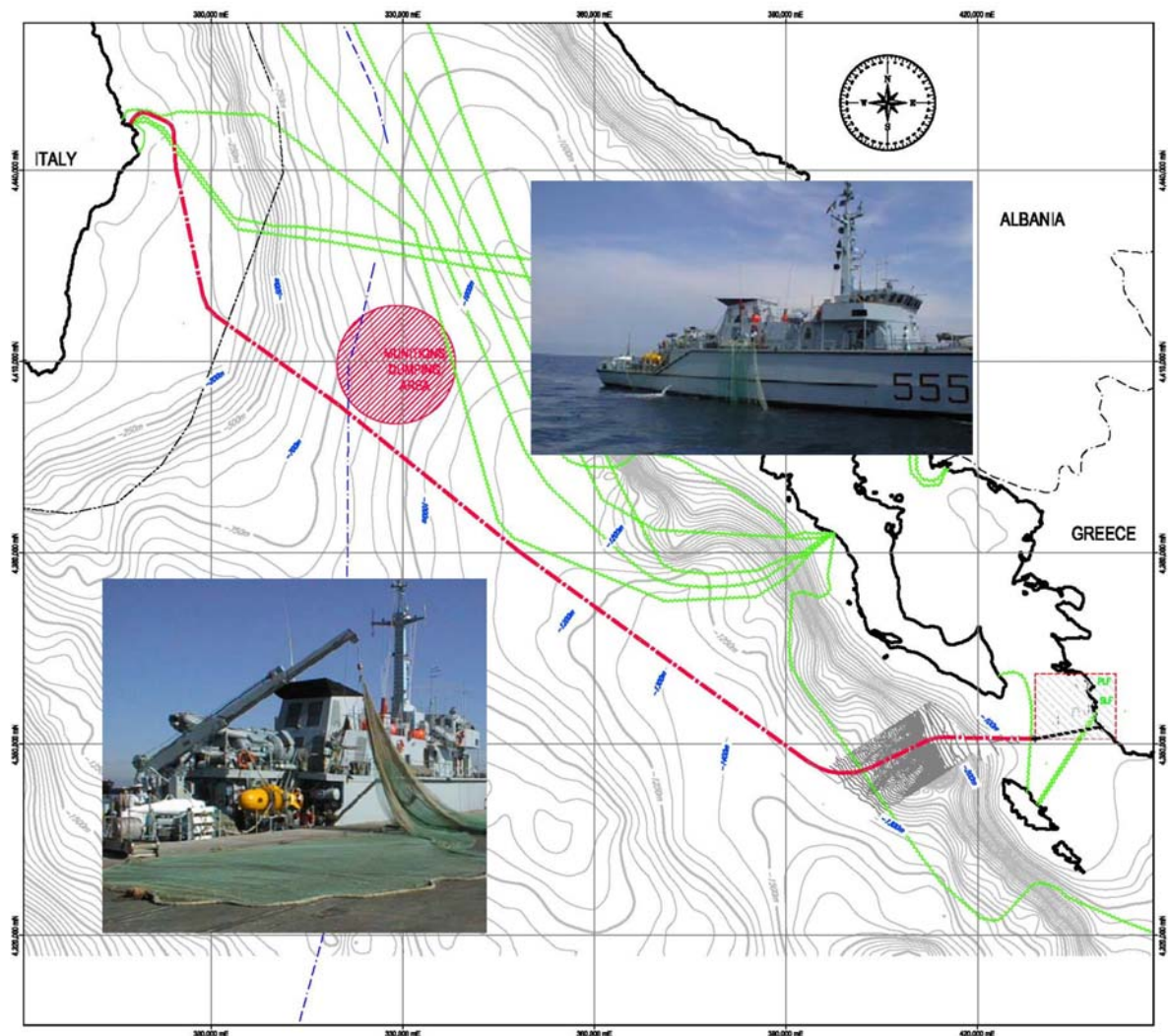


# IGI Poseidon Atene, Grecia

**Metanodotto di Interconnessione  
Grecia – Italia  
Progetto Poseidon  
Tratto Italia**

Valutazione della  
Mitigazione del Rischio  
derivante da Ordigni  
Inesplosi



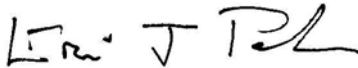
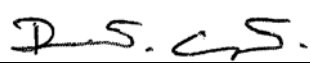




# IGI Poseidon Atene, Grecia

**Metanodotto di Interconnessione  
Grecia – Italia  
Progetto Poseidon  
Tratto Italia**

**Valutazione della  
Mitigazione del Rischio  
derivante da Ordigni  
Inesplosi**

Preparato da	Firma	Data
Matteo Sottile		15 Dicembre 2009
Verificato da	Firma	Data
Chiara Maria Traverso		15 Dicembre 2009
Eric Parker		15 Dicembre 2009
Approvato da	Firma	Data
Roberto Carpaneto		15 Dicembre 2009

Rev.	Descrizione	Preparato da	Verificato	Approvato	Data
2	Terza Emissione	MTS	CMT/EP	RC	Dicembre 2009
1	Seconda Emissione	MTS	CMT/EP	RC	Novembre 2009
0	Prima Emissione	MTS	CMT/EP	RC	Novembre 2009



## INDICE

	<u>Pagina</u>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b>	<b>II</b>
<b>ELENCO DELLE FIGURE</b>	<b>III</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
1.1 GENERALE	1
1.2 SCOPO DEL RAPPORTO	1
1.3 ORGANIZZAZIONE DEL RAPPORTO	2
<b>2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI ORDIGNI INESPLOSI</b>	<b>3</b>
2.1 ANALISI DELLA PRESENZA DI ORDIGNI INESPLOSI NEL MARE ADRIATICO	3
2.1.1 Ordigni Convenzionali Mk 82 e Mk 84	6
2.1.2 Bombe a Grappolo	7
2.2 PENETRAZIONE DEGLI ORDIGNI NEL FONDALE MARINO	16
<b>3 METODI DI INDAGINE PER L'IDENTIFICAZIONE DI ORDIGNI INESPLOSI</b>	<b>18</b>
3.1 GENERALITÀ	18
3.2 TECNOLOGIE DI INDAGINE E STRUMENTAZIONE	19
3.2.1 Magnetometro	19
3.2.2 Gradiometro	20
3.2.3 Elettromagnetometro	21
3.2.4 Side Scan Sonar	22
3.2.5 Sub Bottom Profiler	23
3.2.6 Multibeam Echo Sounder	24
3.2.7 Confronto degli Strumenti di Rilevamento	25
3.3 TECNOLOGIE DI SUPPORTO ALL'ACQUISIZIONE DEI DATI	25
3.3.1 Tecnologia AUV	25
3.3.2 Tecnologia ROV	27
3.4 ORGANIZZAZIONE DELL'INDAGINE	28
3.4.1 Detailed Marine Survey	28
3.4.2 Pre-lay Survey	29
3.4.3 Probabilità di Identificazione degli Ordigni durante le Fasi di Rilievo	30
<b>4 STRATEGIA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DALLA PRESENZA DI ORDIGNI INESPLOSI</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSIONI</b>	<b>33</b>
<b>RIFERIMENTI</b>	

## ELENCO DELLE TABELLE

<b><u>Tabella No.</u></b>	<b><u>Pagina</u></b>
Tabella 2.1: Ordigni individuati nel Sud Adriatico	6
Tabella 2.2: Bombe a Grappolo utilizzate nel Conflitto del Kosovo secondo la NATO	8
Tabella 2.3: Numero di Munizioni usate durante il Conflitto in Kosovo secondo Fonti di Informazione Secondarie	10
Tabella 2.4: Caratteristiche Principali delle Sottomunizioni usate in Kosovo	10
Tabella 2.5: Principali Caratteristiche delle Bombe a Grappolo utilizzate in Kosovo	16
Tabella 2.6: Stima della Penetrazione e del Grado di Seppellimento degli Ordigni	17
Tabella 3.1: Confronto degli Strumenti di Rilevamento	25
Tabella 3.2: Probabilità di Identificazione degli Ordigni durante le Fasi di Rilievo	30

## ELENCO DELLE FIGURE

<b><u>Figura No.</u></b>	<b><u>Pagina</u></b>
Figura 2.1: Aree di Scarico di Ordigni trovate nel Nord Adriatico	3
Figura 2.2: Aree di Scarico di Ordigni trovate nel Sud Adriatico	4
Figura 2.3: Area di Scarico vicino al Tracciato della Condotta	5
Figura 2.4: Bomba Mk 82	7
Figura 2.5: Bomba Mk 84	7
Figura 2.6: Bombe e Sottomunizioni impiegate contro Obiettivi Mobili, Fissi e non conosciuti	11
Figura 2.7: Bombe e Sottomunizioni utilizzate contro Diverse Categorie di Obiettivi	11
Figura 2.8: CBU-87/B	12
Figura 2.9: BLU-97/B	13
Figura 2.10: RBL-755	14
Figura 2.11: RBL-755-21	14
Figura 2.12: CBU-99/B	15
Figura 2.13: Mk-118	15
Figura 3.1: Magnetometro	20
Figura 3.2: Gradiometro	21
Figura 3.3: Elettromagnetometro	22
Figura 3.4: Side Scan Sonar	23
Figura 3.5: Sub Bottom Profiler	24
Figura 3.6: Multibeam Echo Sounder	25
Figura 3.7: Sistema AUV	26
Figura 3.8: Nave di supporto al sistema AUV	27
Figura 3.9: Sistema ROV	28

**RAPPORTO  
VALUTAZIONE DELLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA  
ORDIGNI INESPLOSI  
METANODOTTO DI INTERCONNESSIONE GRECIA – ITALIA  
PROGETTO POSEIDON - TRATTO ITALIA**

## **1 INTRODUZIONE**

### **1.1 GENERALE**

Nell'ambito del progetto "Interconnessione Italia – Grecia" (IGI), relativo alla realizzazione di un metanodotto per l'importazione in Italia, attraverso la Grecia, del gas naturale proveniente dalle aree del Mar Caspio e del Medio Oriente, Edison S.p.A. e DEPA S.A. hanno sviluppato congiuntamente il progetto della sezione sottomarina (attraverso il Canale d'Otranto) del suddetto metanodotto denominato Poseidon, dando origine alla Società IGI Poseidon S.A.. Tale progetto fa parte dell'Interconnessione Turchia - Grecia - Italia che è un progetto di interesse europeo inserito nell'Asse Prioritario NG3 del programma TEN-E e parte del Priority Interconnection Plan. L'infrastruttura, la cui lunghezza complessiva a mare è di circa 200 km, consentirà una importazione iniziale di gas in Italia di circa 8 Miliardi di Nm<sup>3</sup>/anno e potranno essere effettuati futuri potenziamenti.

La suddetta condotta sottomarina IGI Poseidon passa nei pressi di una area che è stata utilizzata per lo scarico di munizioni, vicino alla base della scarpata continentale italiana, in profondità di acqua variabili da 850 a 1000 m. La rotta passa esternamente all'area di scarico mappata, tuttavia non si può escludere che un certo numero di munizioni possano essere state scaricate al di fuori dei confini dell'area designata a tale scopo. Alla luce di queste problematiche, IGI Poseidon ha richiesto a D'Appolonia una valutazione della possibile mitigazione del rischio derivante da ordigni inesplosi sulla condotta sottomarina.

### **1.2 SCOPO DEL RAPPORTO**

Il conflitto interno del 1998-1999 tra il Comitato di Liberazione del Kosovo e le forze armate della Repubblica Federale della Jugoslavia portò alla campagna di bombardamenti NATO (Operazione delle Forze Alleate) che ebbe luogo tra il 24 Marzo e il 10 Giugno 1999. Durante questa campagna di bombardamenti gli aerei della NATO sganciarono un numero consistente di bombe a grappolo (Landmine Action, 2007)\*. Fonti ufficiali affermano che sulla via del ritorno dalla Operazione delle Forze Alleate gli aerei della NATO sganciarono le bombe inutilizzate nella zona sud del Mar Adriatico, che andarono ad aggiungersi agli ordigni già rilasciati in questo mare durante conflitti precedenti.

Lo scopo del presente rapporto è caratterizzare gli ordigni inesplosi che potrebbero essere presenti lungo il tracciato della condotta, definire i possibili scenari di rischio e suggerire un'ideale strategia di indagine per la rilevazione di tali ordigni.

---

\* I riferimenti sono riportati alla fine del testo.



Diverse fonti sono state analizzate per ottenere informazioni riguardo le munizioni utilizzate nelle operazioni di campo, con particolare riguardo a quelle utilizzate nel Conflitto del Kosovo del 1999. Per valutare le caratteristiche delle singole tipologie di ordigni si è fatto riferimento a letteratura specializzata (Parsch, 2007). La stima della penetrazione nel fondale marino ha preso in considerazione i dati disponibili da indagini geotecniche precedenti nell'area in questione. Inoltre sono state identificate le migliori tecnologie disponibili per l'individuazione di ordigni inesplosi sul fondale marino ed è stata proposta una strategia di indagine per la mitigazione del rischio.

### **1.3 ORGANIZZAZIONE DEL RAPPORTO**

La caratterizzazione degli ordigni inesplosi presenti in Adriatico e la loro presenza sui fondali interessati dal passaggio della condotta Poseidon sono descritte nel Capitolo 2, dove viene anche stimata la loro penetrazione nel fondale marino. Il Capitolo 3 descrive le possibili metodologie per l'identificazione degli ordigni, mentre il Capitolo 4 suggerisce una strategia di indagine da adottare per il raggiungimento di tale scopo. Le conclusioni sono riportate nel Capitolo 5.

## 2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI ORDIGNI INESPLOSI

### 2.1 ANALISI DELLA PRESENZA DI ORDIGNI INESPLOSI NEL MARE ADRIATICO

Per lungo tempo dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, lo scarico a mare è stato considerato la migliore soluzione disponibile per lo smaltimento di residui bellici e artiglieria obsoleta. Per questo motivo, il Mare Adriatico è stato, in passato, soggetto allo scarico di consistenti quantità di armi chimiche e convenzionali. Nel 1999, la NATO ha condotto un'operazione di bonifica degli ordigni gettati a mare durante l'Operazione delle Forze Alleate appena conclusa, al fine di ridurre i rischi che tali ordigni avrebbero potuto causare a pescatori, sommozzatori, e a tutte le altre attività subacquee. Tale operazione, denominata "Operation Allied Harvest", ha avuto luogo nel giugno 1999 (Albertsen, 2004) e non è stata completata. Durante questa operazione, nell'Adriatico del Nord e del Sud è stato ritrovato un numero consistente di ordigni inesplosi. Le aree di scarico a mare e il tipo di munizioni ritrovate durante questa operazione sono mostrati in Figura 2.1 e Figura 2.2 per il Nord e Sud Adriatico rispettivamente. Gli ordigni inesplosi in questione derivavano principalmente da attività di bonifica di porti che avevano subito bombardamenti e da vecchie riserve di munizioni.

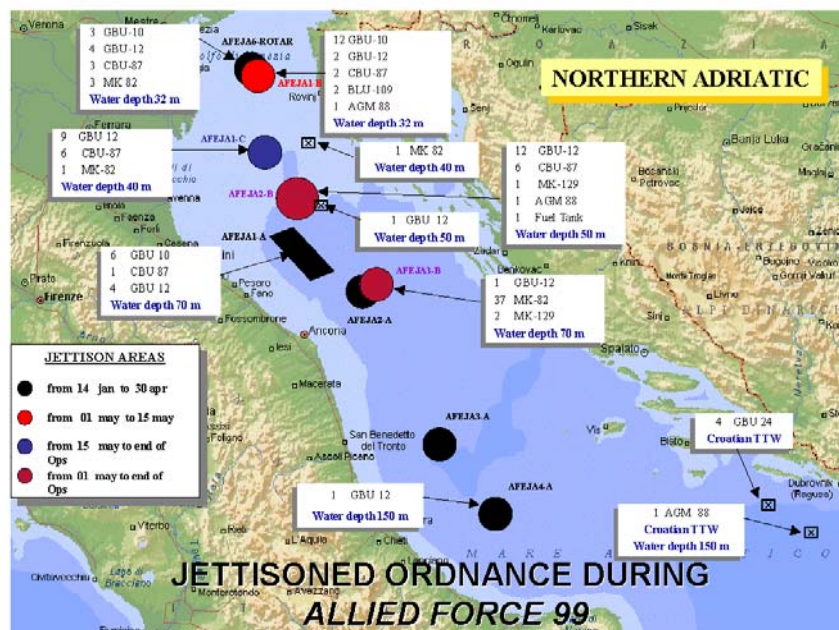


Figura 2.1: Aree di Scarico di Ordigni trovate nel Nord Adriatico

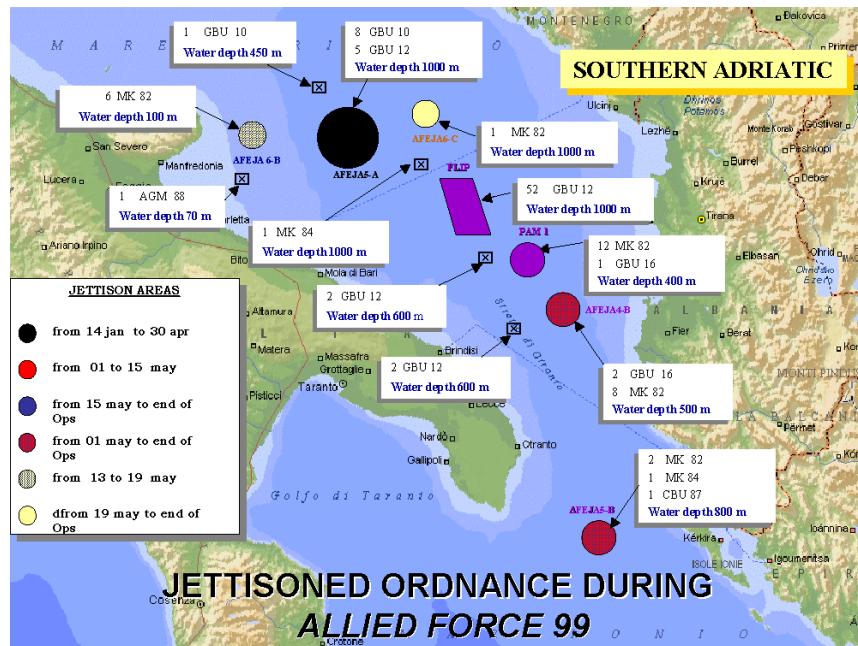
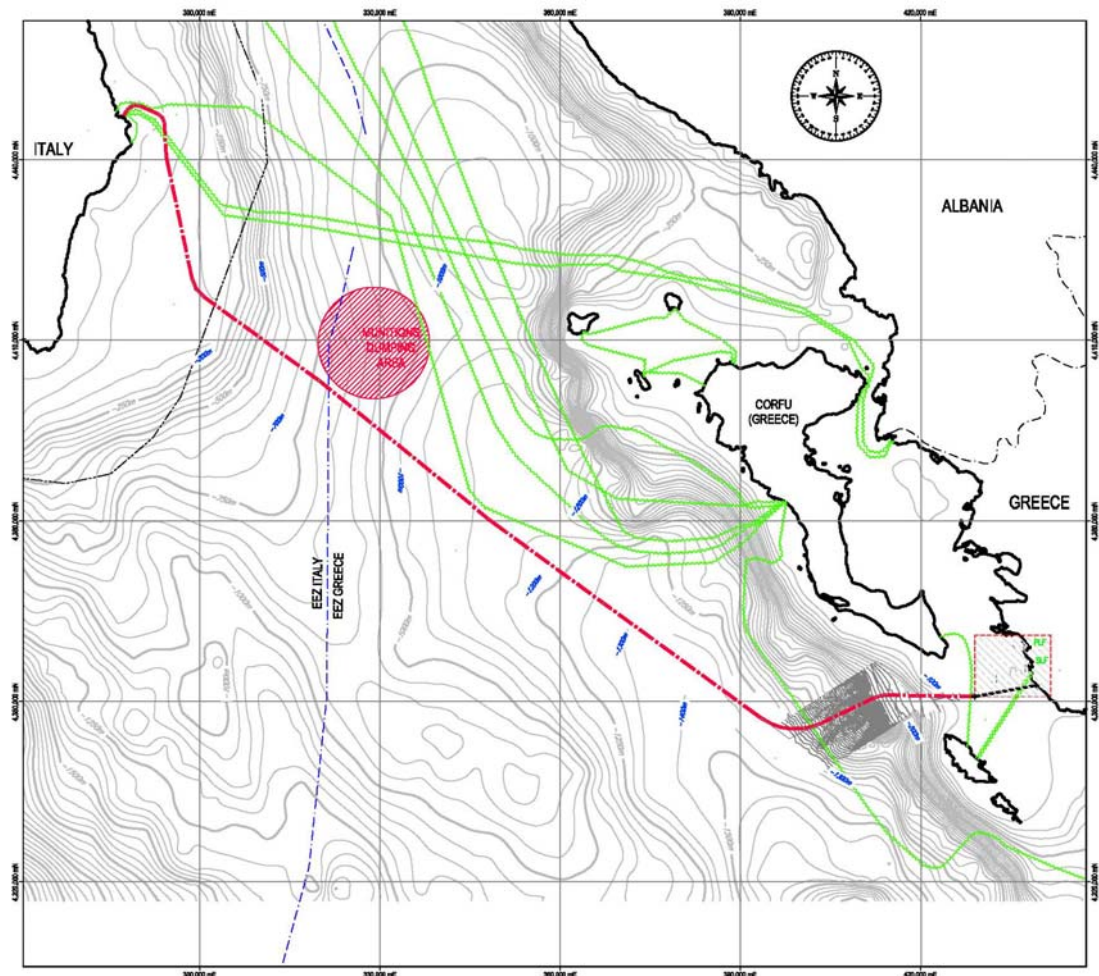


Figura 2.2: Aree di Scarico di Ordigni trovate nel Sud Adriatico

La Figura 2.3 mostra nel dettaglio la posizione della rotta della condotta sottomarina rispetto all'area di scarico di munizioni (D'Appolonia, 2009). L'analisi della Figura 2.3 evidenzia che una delle "aree di rilascio" a mare della NATO è situata vicino alla rotta della futura condotta sottomarina IGI, nella zona adiacente alla scarpata continentale italiana. Tale area, secondo le informazioni contenute in Figura 2.2, è stata utilizzata dal 15 Maggio 1999 alla fine del conflitto del Kosovo e non è ancora stata oggetto di bonifica.



**Figura 2.3: Area di Scarico vicino al Tracciato della Condotta**

Gli ordigni inesplosi che possono trovarsi sul fondale o al di sotto di questo rappresentano una condizione di rischio per le fasi di installazione ed esercizio della condotta. Inoltre, non si può escludere che alcuni ordigni inesplosi possano essere situati al di fuori delle aree indicate per lo scarico a mare.

La Tabella 2.1 fornisce un elenco delle tipologie di ordigni identificati durante le operazioni di bonifica che sono state condotte nelle zone indicate in Figura 2.2 nell'area Sud dell'Adriatico. Parte delle munizioni indicate in Figura 2.2 (in particolare l'ordigno CBU-87) non sono riconosciute dagli attuali trattati internazionali come "armi convenzionali". Tali munizioni fanno parte della categoria delle cosiddette "bombe a grappolo" ("cluster bombs"), considerate i più pericolosi ordigni inesplosi a causa delle loro dimensioni, peso e numero di sottomunizioni. Nell'area oggetto di studio sono state quindi individuate due tipologie di ordigni, "Ordigni Convenzionali" e "Bombe a grappolo", le cui caratteristiche principali sono di seguito riportate.

**Tabella 2.1: Ordigni individuati nel Sud Adriatico**

Munizione	Sottomunizioni	Descrizione	No.
Mk-82 / 84	-	Bomba aeronautica da caduta	44
CBU-87/B	BLU-97/B	Bomba a grappolo	13
AGM-88	-	Missile antiradar	4
GBU-10	-	Bomba a guida laser	6
GBU-12	-	Bomba a guida laser	29
GBU-16	-	Bomba a guida laser	2

### 2.1.1 Ordigni Convenzionali Mk 82 e Mk 84

Con il termine “ordigno convenzionale” si intende un ordigno il cui utilizzo non viola le norme di diritto internazionale. Questa categoria di ordigni comprende innumerevoli tipologie di bombe, tra cui le bombe da caduta ritrovate nell’area oggetto di studio.

Le bombe multiuso da caduta non guidate Mk 82 e Mk 84 (Figura 2.4 e Figura 2.5) sono bombe della categoria Mk 80. Esse utilizzano sostanzialmente lo stesso tipo di armamento ma differiscono per peso e dimensioni. Esse sono solitamente equipaggiate con una spoletta meccanica anteriore (M904) e una posteriore (M905) oppure con il radar di prossimità FMU-113. Queste bombe sono utilizzate per la maggior parte delle operazioni di bombardamento dove sono richieste forti esplosioni che provochino effetti rilevanti. La Mk 82 e la Mk 84 sono state progettate per essere notevolmente aerodinamiche. Il bossolo di queste bombe è relativamente leggero e l’esplosivo costituisce circa il 45% del loro peso totale. La parte posteriore di queste bombe è modificata con un sistema di trascinamento BSU-49/B. L’air bag che si spiega nella parte posteriore permette all’ordigno di raggiungere alte velocità ed essere sganciato a basse altitudini, in quanto rallenta la bomba repentinamente e consente all’aereo di allontanarsi in sicurezza dalla zona di sgancio. Nella coda delle bombe è inserito un piccolo bossolo contenente il paracadute ed un cordone che aprendo il bossolo permette il rilascio del paracadute. Il paracadute è costituito da un tessuto di nylon ad alta resistenza e bassa porosità. Quando la bomba è sganciata dall’aereo un cordone sfilata la copertura posteriore che si apre, rilasciando parte della sacca di nylon. La bomba può essere rilasciata in modalità basso-trascinamento (il bossolo rimane chiuso dopo il rilascio) o alto-trascinamento. Il pilota può selezionare una delle due modalità di configurazione in base ai requisiti della missione. Le Mk 82 e Mk 84 sono progettate per assicurare una alta affidabilità nell’esplosione, nella formazione del cratere e nella frammentazione. Queste bombe sono state utilizzate contro un’ampia gamma di obiettivi, compresi mezzi di artiglieria, autocarri, rifugi sotterranei, siti per il lancio di missili terra-aria, siti di artiglieria antiaerea. Le dimensioni principali della Mk 82 e della Mk 84 sono mostrate in Tabella 2.5 a fine capitolo.



**Figura 2.4: Bomba Mk 82**



**Figura 2.5: Bomba Mk 84**

### **2.1.2 Bombe a Grappolo**

Con il termine “ordigno non convenzionale” si intende un ordigno il cui utilizzo viola le norme di diritto internazionale. Nell’ambito degli ordigni non convenzionali si considerano le bombe a grappolo o “cluster bombs”, che rappresentano l’unica tipologia di ordigni di tale categoria ritrovati nell’area in questione.

L’utilizzo di bombe a grappolo si è protratto per l’intera durata della campagna NATO in Kosovo (ICRC, 2001). Il massimo picco di utilizzo di tali armi si è avuto tra il 3 ed il 13 Maggio 1999. Durante questo breve periodo di appena undici giorni circa 157000

sottomunizioni sono state sganciate nell'ambito della Operazione delle Forze Alleate. Di queste sottomunizioni, circa 111000 sono state sganciate in Kosovo.

Una bomba a grappolo è un bossolo metallico che viene sganciato da un aereo. Il bossolo, ad una altitudine prestabilita o dopo uno specifico tempo di rilascio, si apre ed espelle in aria parecchie dozzine o centinaia di bombe, dette anche sottomunizioni, anch'esse metalliche. Una volta cadute a terra, a volte con l'aiuto di un paracadute, queste bombe sono state progettate per esplodere a causa dell'impatto con il terreno. Le bombe usate in Kosovo sono in grado di distruggere carri armati, veicoli corazzati e truppe di attacco. Tuttavia, una grande quantità di bombe non esplodono all'impatto col terreno e possono facilmente detonare in un secondo tempo, provocando un grave rischio anche dopo la fine del conflitto. Il margine di errore dichiarato dalle aziende produttrici è del 5% ma l'errore rilevato nella realtà può raggiungere anche il 50%. Le bombe a grappolo si trasformano quindi in vere e proprie mine inesplose. La differenza sostanziale tra le mine antiuomo e le bombe a grappolo è che mentre delle prime è nota la mappatura delle aree nelle quali queste sono state collocate, delle seconde non è possibile stabilire con precisione le aree di rilascio in quanto vengono sganciate da mezzi aerei. Questo significa che tali ordigni vengono mappati solo una volta che sono esplosi. La non detonazione di queste bombe può essere attribuita a diversi fattori, tra i quali malfunzionamenti tecnici. Svariate fonti non ufficiali di informazione hanno fatto dichiarazioni riguardanti il numero totale di munizioni e sottomunizioni utilizzate in Kosovo, in particolare nella Operazione delle Forze Alleate. I dati presentati direttamente dalla NATO alla Missione delle Nazioni Unite in Kosovo (UNMIK) mostrano il dettaglio delle tipologie e del numero di bombe a grappolo usate in tale conflitto e sono presentati nella Tabella 2.2.

**Tabella 2.2: Bombe a Grappolo utilizzate nel Conflitto del Kosovo secondo la NATO**

Tipologia di munizioni	Munizioni sganciate	Tipologia di sottomunizioni	Sottomunizioni sganciate
CBU-87/B	727	BLU-97/B	146854
CBU-99/B	98	Mk-118	24206
RBL-755	429	RBL-755-21	63063
Totale munizioni:	1254	Totale sottomunizioni:	234123

Il numero totale di sottomunizioni, pari a 234123, rappresenta un valore minimo confermato da fonti ufficiali, come deducibile dalle seguenti considerazioni (Landmine Action, 2009):

- il numero totale di bombe a grappolo dichiarato dalla NATO è maggiore del numero dichiarato dalla Missione delle Nazioni Unite in Kosovo;
- le organizzazioni atte alla bonifica degli ordigni hanno rilevato la presenza di sottomunizioni in aree del Kosovo che non erano state dichiarate tra gli obiettivi da colpire con le munizioni elencate in Tabella 2.2;

- alcune tipologie di bombe a grappolo, come ad esempio la AGM-154 Joint Standoff Weapon e i missili TLAM-D Tomahawk sono stati dichiarati come armi utilizzate durante la campagna ma non appaiono nei dati resi disponibili dalla NATO. Non è chiaro se questo avvenga perchè i dati sono classificati solo per una certa tipologia di munizioni o perchè non siano state usate all'interno della provincia del Kosovo.

Alcune fonti di stampa riportano un numero totale di sottomunizioni sostanzialmente superiore. Riassumendo i dati disponibili dalle differenti fonti secondarie, la Tabella 2.3 presenta il numero di munizioni utilizzate nella Operazione delle Forze Alleate suddivisi in base ai differenti Stati utilizzatori.



**Tabella 2.3: Numero di Munizioni usate durante il Conflitto in Kosovo secondo Fonti di Informazione Secondarie**

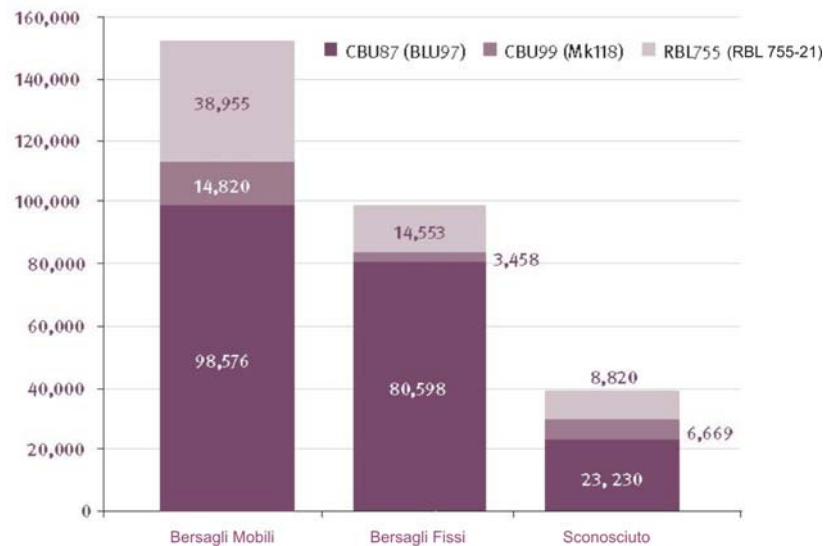
Stato utilizzatore	Tipologia di bomba	Tipologia di sottomunizione	No. usato	Sottomunizioni per bossolo	Numero di sottomunizioni
U.S.A.	CBU-87/B	BLU-97/B	1002	202	235525
	missile TLAM-D	BLU-97/B	Sconosciuto	166	
	JSOW (AGM-154)	BLU-97/B	Sconosciuto	154	
	CBU-99/B	Mk-118	139	247	34333
U.K.	RBL-755	RBL-755-21	531	147	78057
Olanda	CBU-87/B	BLU-97/B	165	202	33330
Ex Yugoslavia	BL755, KB-1 e KB-2				Sconosciuto

La discordanza tra alcuni dei dati riportati deve essere tenuta in considerazione per una più consapevole lettura di questo rapporto. La Tabella 2.4 presenta le caratteristiche principali delle diverse tipologie di sottomunizioni.

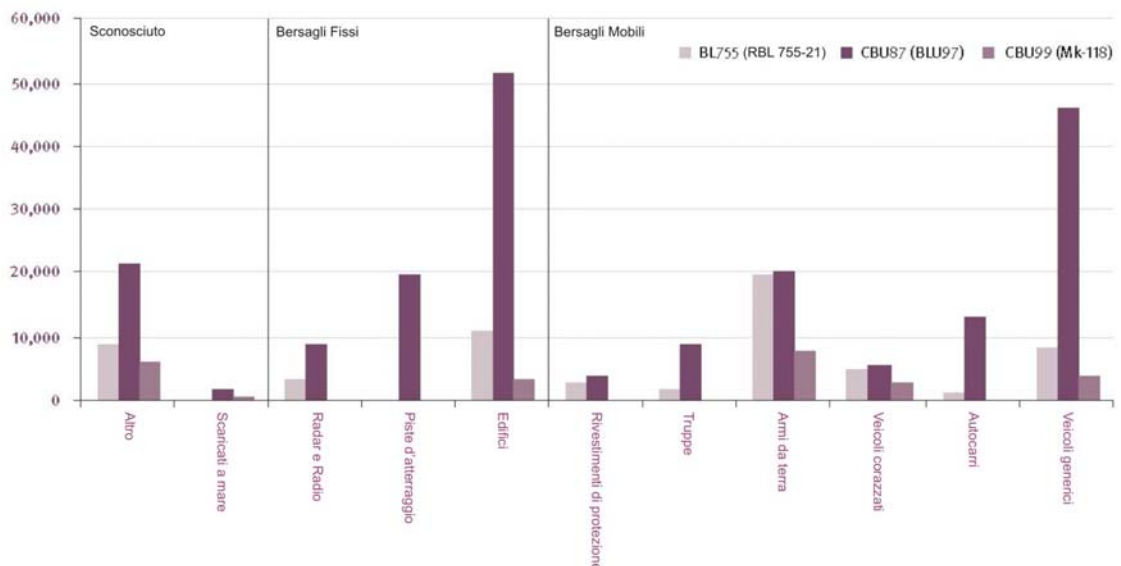
**Tabella 2.4: Caratteristiche Principali delle Sottomunizioni usate in Kosovo**

Tipologia di sottomunizione	Meccanismo di lesione
BLU-97/B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carica anti-corazza</li> <li>- Produce frammenti di 30 g in grado di ferire persone a 150 m</li> <li>- Anello incendiario allo zirconio che si rompe incendiando i frammenti</li> </ul>
Mk-118 "Rockeye"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carica anti-corazza</li> <li>- Frammentazione secondaria</li> </ul>
RBL-755-21	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carica anti-corazza</li> <li>- 2.000 frammenti in grado di ferire persone e penetrare veicoli non corazzati</li> <li>- Spugna di zirconio che produce un effetto incendiario</li> </ul>

La documentazione presentata dalla NATO alla Missione delle Nazioni Unite in Kosovo fornisce dei dati relativamente completi riguardo agli obiettivi contro i quali sono stati sganciate le bombe a grappolo. Gli obiettivi colpiti dalle bombe a grappolo possono essere divisi in 'mobili', 'fissi' e 'non conosciuti'. La Figura 2.6 e Figura 2.7 mostrano il numero di bombe a grappolo usate contro categorie di obiettivi generali e specifiche rispettivamente.



**Figura 2.6: Bombe e Sottomunizioni impiegate contro Obiettivi Mobili, Fissi e non conosciuti**



**Figura 2.7: Bombe e Sottomunizioni utilizzate contro Diverse Categorie di Obiettivi**

### 2.1.2.1 Bomba a Grappolo CBU-87/B e Sottomunizioni BLU-97/B

La bomba ad effetti combinati CBU-87/B è una bomba a grappolo aerea multi funzione, usata dalla forza aerea statunitense (Figura 2.8). CBU è l'acronimo inglese di Cluster Bomb Unit, che rappresenta l'unità principale della bomba a grappolo. Quando viene sganciata da un mezzo aereo, l'unità principale si separa in svariate bombe più piccole che producono tante piccole esplosioni interessando un'area più vasta di quella normalmente interessata da una bomba tradizionale. Questa tipologia di bomba non è necessariamente utilizzata per la sua precisione, ma per distruggere obiettivi multipli contemporaneamente o assicurarsi che un obiettivo venga colpito insieme al proprio perimetro esterno. La bomba è progettata per essere sganciata da un aereo a qualsiasi altitudine e a qualsiasi velocità. Si tratta di una bomba con funzionamento a caduta libera, posizionata solidalmente all'aereo in modo da poter prendere la mira prima dello sgancio. Una volta che è stata sganciata, questa bomba non necessita di nessun altro tipo di istruzioni a differenza delle bombe guidate o intelligenti. Questa bomba può essere sganciata da una vasta gamma di aerei moderni.

Le dimensioni principali della CBU-87/B sono mostrate in Tabella 2.5 a fine capitolo. Ogni bomba a grappolo contiene 202 mini-bombe o sottomunizioni (es. BLU-97/B) ad effetto combinato efficaci contro mezzi corazzati, persone e materiale, consentendo in un singolo attacco una varietà di obiettivi e una vasta area di copertura. I produttori di questi ordigni hanno dichiarato che la percentuale di sottomunizioni inesplose per ogni bomba è intorno al 5%. Questo significa che su 202 mini-bombe cadute, circa 10 non esplodono all'impatto. In realtà tali percentuali si sono dimostrate essere apprezzabilmente maggiori. Le sottomunizioni sono contenute all'interno di un bossolo SUU-65B TMD. Durante la discesa nell'aria, la bomba inizia a ruotare. Dopo aver raggiunto una certa altitudine, la bomba si apre e sgancia le mini-bombe. Quando le mini-bombe impattano il suolo, esse coprono una vasta area e innescano esplosioni separate. La CBU-87/B può essere regolata in modo da poter coprire minori o maggiori aree. In base alla velocità di rotazione e all'altitudine alla quale la bomba principale si apre, essa può coprire un'area tra 22 x 22 metri e 122 x 244 metri. Diminuire queste correzioni consente di colpire un'area più ristretta. Aumentare queste correzioni consente di colpire un'area più vasta. La velocità di rotazione può avere 6 livelli di variazione. La CBU-87/B è munita di un sensore di vicinanza FZU-39B. Il sensore ha 12 tempi di selezione che indicano quando la bomba deve essere aperta e scaricare le sottomunizioni. Quando la bomba (CBU-87/B) si apre, durante la caduta libera, per l'attivazione del sensore di vicinanza, essa si separa in tre pezzi e le sottomunizioni (BLU-97/B) cadono al suolo.



**Figura 2.8: CBU-87/B**

La bomba ad effetto combinato BLU-97/B è una sottomunizione usata in svariate tipologie di bombe a grappolo (Figura 2.9). Le sottomunizioni hanno la forma di lattine e sono immagazzinate in grande numero (circa 150-200) all'interno di un unico contenitore per attaccare obiettivi leggeri. Essa è efficace contro mezzi corazzati, persone e materiale, contiene una carica sagomata, un bossolo d'acciaio e un anello di zirconio con funzione anti-persona e capacità incendiaria. Il contenitore della bomba è d'acciaio ed è progettato per rompersi in circa 300 frammenti preformati per danneggiare mezzi corazzati leggeri e persone. Il corpo della sottomunizione è di forma cilindrica, lunga circa 20 centimetri e ha un diametro di 6 centimetri e il colore è giallo lucido. Le dimensioni principali della BLU-97/B sono riportate in Tabella 2.5. Quando le bombe vengono sganciate, esse si separano e in modo indipendente dalla bomba principale cadono al suolo. Esse contengono una sacca gonfiabile in cima che consente di rallentare il loro percorso e disperderle. Durante la discesa al suolo, le bombe sono soggette a forze gravitative. Una volta che le bombe raggiungono un minimo di 6 g, cioè 6 volte l'accelerazione gravitazionale, esse si armano. Inoltre, durante la loro caduta le bombe sono soggette ad un movimento rotatorio. L'armamento richiede un tempo di circa 2.6 secondi. Queste bombe risultano molto efficaci e quindi sono utilizzate principalmente come anti-persone, anti-materiale e anti-corazza. Dato che queste bombe sono disperse su un'area relativamente ampia e che una percentuale di esse non detona all'impatto col suolo, devono essere considerate nella valutazione del rischio da ordigni inesplosi. Se queste munizioni sono maneggiate o smontate possono esplodere, quindi nelle zone dove esse sono presenti è necessaria una campagna di bonifica. Originariamente tali ordigni utilizzavano il ciclotolo come sostanza esplosiva, mentre recentemente è stato introdotto il PBXN-107.



**Figura 2.9: BLU-97/B**

#### 2.1.2.2 Bomba a Grappolo RBL-755 e Sottomunizioni RBL-755-21

La RBL-755 assomiglia ad una bomba standard con scopo generico ma con la differenza che ha una “sella” dura sulla parte esterna necessaria per il rilascio dell'espulsore e una caratteristica aletta per l'armatura della bomba nella parte superiore (Figura 2.10). Le

quattro alette posteriori, apparentemente squadrate, sono in realtà cave e telescopiche. Un'intelaiatura centrale di alluminio sostiene sette compartimenti, ognuno dei quali contiene 21 sottomunizioni, denominate RBL-755-21, per un totale di 147 sottomunizioni contenute all'interno dell'ordigno principale. Le dimensioni principali della RBL-755 e delle sottomunizioni RBL-755-21 sono riportate nella Tabella 2.5.



**Figura 2.10: RBL-755**

Le RBL-755-21 (Figura 2.11) sono rilasciate attraverso una cartuccia centrale e una sacca gonfiabile per ogni comparto che opera in un modo simile ad un airbag . Il rilascio delle sottomunizioni RBL-755-21 avviene tramite la rotazione di un braccio meccanico attivato da un flusso di aria. Ogni sottomunizione è contenuta all'interno della propria unità di sicurezza e armamento ed è chiusa a telescopio. La sottomunizione è allargata da una molla di rilascio. Una singola sottomunizione produce più di duecentomila frammenti. La bomba RBL-755 differisce dalla bomba BL-755 unicamente per la dotazione di un radar altimetrico che funziona da spoletta meccanica di vicinanza, in grado di scatenare l'espulsione della bomba all'altitudine ottimale e permettendo quindi alla bomba di essere rilasciata da una altezza e distanza di sicurezza.



**Figura 2.11: RBL-755-21**

### 2.1.2.3 Bomba a Grappolo CBU-99/B e Sottomunizioni Mk-118

La bomba a grappolo anti-serbatoio CBU-99/B “Rockeye II” è formata da 247 sottomunizioni Mk-118 Mod 0 inserite all’interno di un bossolo SUU-75/B (Figura 2.12). La serie SUU-75/B di bossolo contenente le mini-bombe è una variante del modello Mk 7 “Rockeye” ampiamente utilizzato dalla marina militare statunitense. Il bossolo Mk 7 è sganciato come singola unità dal sistema di rilascio dell’aereo. Le dimensioni principali del CBU-99/B sono riportate in Tabella 2.5. La bomba anti-serbatoio Mk-118 è costituita da un sistema a spoletta meccanica Mk-1, una testata sagomata e un insieme di alette stabilizzanti (Figura 2.13). Quando la bomba a grappolo CBU-99/B è rilasciata dall’aereo, i cavi di armamento sono tirati in modo sufficiente da armare la spoletta meccanica e sganciare le alette. Il funzionamento della spoletta innesca le cariche all’interno del bossolo; esse tagliano a metà l’involucro del bossolo e disperdono le sottomunizioni. Quando la bomba Mk-118 si separa dall’involucro del bossolo, l’aletta alla base della spoletta meccanica di armamento ruota e la spoletta viene armata. Se la bomba colpisce un obiettivo “pesante”, ad esempio un oggetto di calcestruzzo o una corazza, il detonatore elettrico infiamma immediatamente la testata sagomata. Se la bomba colpisce un obiettivo “leggero”, ad esempio il terreno o un sacchetto di sabbia, la bomba penetra tale obiettivo finché la decelerazione non lascia che l’inerzia bruci il perno colpito e faccia attivare la detonazione della testata.



**Figura 2.12: CBU-99/B**



**Figura 2.13: Mk-118**

**Tabella 2.5: Principali Caratteristiche delle Bombe a Grappolo utilizzate in Kosovo**

Tipo	Lunghezza (mm)	Diametro (mm)	Massa (kg)
Mk 82	2184	279	328
Mk 84	3861	457	1323
CBU-87/B	2340	400	431
BLU-97/B	230	64	1.54
RBL-755	2451	419	264
RBL-755-21	305	66	1.02
CBU-99/B	2310	337	450
Mk-118	343	57	0.59

## 2.2 PENETRAZIONE DEGLI ORDIGNI NEL FONDALE MARINO

Una problematica molto importante durante la pianificazione di indagini per l'individuazione di ordigni sottomarini è rappresentata dalla conoscenza del grado di seppellimento di tali oggetti nel fondale marino. Oggetti completamente sommersi infatti, generano risposte degli strumenti diverse rispetto ad oggetti parzialmente sommersi che giacciono sul fondo, e sono più facili da essere identificati.

Il grado di seppellimento di un oggetto sul fondale marino dipende principalmente dal peso dell'oggetto, che ne determina la velocità di caduta libera in acqua, e dalla consistenza dello strato di terreno più superficiale del fondale marino. Le bombe a grappolo e le bombe convenzionali presenti nell'area di studio hanno una massa totale dell'ordine di qualche centinaio di kg, ad eccezione della bomba convenzionale Mk 84 che supera il migliaio di kg. Le sottomunizioni contenute all'interno delle bombe a grappolo, invece, hanno una massa che varia da 0.5 a 2 kg circa. La Tabella 2.5 presenta le principali caratteristiche geometriche ed la massa degli ordigni. Questi dati sono stati utilizzati per effettuare una valutazione preliminare della penetrazione di tali ordigni nel fondo. I terreni presenti nella zona dell'Adriatico nella quale è prevista la posa della condotta IGI Poseidon sono principalmente argille soffici, con resistenze al taglio non drenate dell'ordine di 2-4 kPa (Marin Matteknik AB, 2007).

In generale, dopo essere stato sganciato dall'aereo, un ordigno precipita in caduta libera fino a raggiungere il fondale marino. A questo punto, in base alla velocità, alla posizione dell'oggetto al momento dell'impatto e alla sua massa, esso penetra il terreno fino ad esaurire la propria energia. Attraverso il calcolo della velocità terminale di un oggetto in caduta libera in un fluido e riferendosi ad esperimenti sulla penetrazione dovuta all'impatto di oggetti in argille soffici (Aubeny and Shi, 2006), è possibile fare una stima del grado di seppellimento sotto alcune ipotesi semplificative di seguito riportate:

- l'ordigno è considerato di forma cilindrica, avente per diametro ed altezza i valori riportati in Tabella 2.5;
- l'ordigno penetra il terreno in posizione verticale;

- le forze inerziali che contribuiscono alla resistenza del terreno alla penetrazione sono trascurate;
- le condizioni di carico generate dall'impatto dell'ordigno sul fondale sono considerate quasi-statiche.

Considerati la profondità d'acqua alla quale si trova l'area di scarico (850-1000 m), i pesi e le caratteristiche geometriche degli ordigni e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti in zone adiacenti a quella oggetto di studio, è stato possibile effettuare la stima preliminare della penetrazione e del grado di seppellimento degli ordigni. La sintesi dei risultati è riportata in Tabella 2.6.

**Tabella 2.6: Stima della Penetrazione e del Grado di Seppellimento degli Ordigni**

Ordigno	Massa (kg)	Lunghezza (m)	Diametro (m)	Penetrazione stimata (m)	Grado di seppellimento stimato (%)
Mk 84	1323	3.86	0.46	5 – 30	100
CBU-99/B	450	2.31	0.34	2 – 10	85 – 100
CBU-87/B	431	2.34	0.40	1 – 4	40 – 100
Mk 82	328	2.18	0.28	1.5 – 10	70 – 100
RBL-755	264	2.45	0.42	0.2 – 1	10 – 40
BLU-97/B	1.54	0.23	0.06	0.02 – 0.1	10 – 45
RBL-755-21	1.02	0.31	0.07	0.01 – 0.05	5 – 15
Mk-118	0.59	0.34	0.06	0 – 0.02	0 – 10

Dalla Tabella 2.6 si evince che sia gli ordigni convenzionali inesplosi che le bombe a grappolo “non aperte” (cioè che contengono ancora le sottomunizioni) hanno dei gradi di seppellimento relativamente alti e che saranno situati presumibilmente al di sotto del fondale. Tale risultato è principalmente dovuto all'elevata massa di questi ordigni, che ne determina la velocità di impatto al fondo. Le sottomunizioni invece, avendo valori della massa molto minori (due ordini di grandezza in meno), hanno una maggiore tendenza a rimanere posati sul fondale e sono soggetti a bassi gradi di seppellimento. Il grado di seppellimento, tuttavia, è un parametro relativo che confronta la penetrazione stimata di un oggetto con le sue reali dimensioni. I gradi di seppellimento alti degli ordigni più grandi perciò non corrispondono necessariamente ad una minore superficie emersa sul fondo, in quanto le dimensioni di tali ordigni sono enormemente maggiori rispetto a quelle delle sottomunizioni. La parte emergente di ordigni con grado di seppellimenti maggiore potrebbe quindi essere anche superiore alle dimensioni di una sottomunizione non seppellita.

Le stime qui fornite, ottenute sulla base delle ipotesi semplificative citate, sono da ritenersi soltanto indicative del reale grado di seppellimento degli ordigni. Valutazioni più approfondite del grado di seppellimento degli ordigni richiedono l'ausilio dell'analisi numerica.



### **3 METODI DI INDAGINE PER L'IDENTIFICAZIONE DI ORDIGNI INESPLOSI**

#### **3.1 GENERALITÀ**

In generale il rischio è la probabilità che si verifichino eventi che producano danni a persone o cose, per effetto di una fonte di pericolo. Gli ordigni descritti nei paragrafi precedenti potrebbero essere in grado, a seguito di detonazione, di causare danni anche strutturali alla condotta e rappresentano quindi una fonte di pericolo. I danni potenzialmente causati dall'esplosione di un ordigno di una delle tipologie precedentemente descritte che interessi la condotta, possono essere valutati attraverso una analisi di rischio che simuli diversi scenari di impatto ordigno-condotta.

La finalità di una valutazione preliminare degli ordigni potenzialmente presenti lungo la rotta della condotta è quella di programmare le indagini di sito necessarie per rilevarne la presenza e quindi ridurre il rischio sia durante la fase di installazione che durante la fase di vita della condotta stessa.

L'esistenza di svariate tipologie di ordigni inesplosi rende più difficile l'individuazione e la localizzazione di tali oggetti: la forma e le dimensioni degli ordigni inesplosi variano infatti da piccole munizioni di artiglieria a bombe vere e proprie. Ognuno di questi oggetti può essere fabbricato da una vasta gamma di metalli ed esplosivi e a volte anche la plastica è usata come materiale strutturale. Inoltre, spesso gli ordigni non giacciono esattamente sul fondale marino e quindi non sono sempre facilmente distinguibili. Solitamente un completo o parziale seppellimento rende più difficile l'individuazione di oggetti attraverso l'utilizzo di metodi di geofisica convenzionale. Infatti, le diverse profondità alle quali un oggetto può essere localizzato al di sotto della superficie del fondo fanno variare sensibilmente l'efficacia dei sensori. Un parametro fondamentale ai fini dell'individuazione di oggetti sul fondale tramite tecniche geofisiche è quindi la distanza tra i sensori degli strumenti e l'oggetto stesso. L'instabilità dell'ambiente marino, dovuta alla presenza di correnti sottomarine, maree e azione delle onde contribuisce negativamente alla ricerca, individuazione e localizzazione di tali oggetti.

Le tecnologie più comuni per l'identificazione della presenza di oggetti sul fondale o parzialmente seppelliti sono descritte nel seguito (USACE, 2004). L'identificazione di ordigni inesplosi sul fondo può essere effettuata combinando diverse tipologie di investigazione geofisica come magnetometro, elettromagnetometro, side scan sonar e sub bottom profiler ed multibeam echosounder (Halpin e Morrison, 2009).

Tali strumenti possono essere trascinati da un mezzo navale ad una profondità circa costante rispetto al fondo oppure essere accoppiati a sistemi AUV o ROV e seguire l'andamento del fondale.

## 3.2 TECNOLOGIE DI INDAGINE E STRUMENTAZIONE

### 3.2.1 Magnetometro

La magnetometria è una tecnica geofisica che consente di individuare materiali ferromagnetici nascosti nella struttura da indagare. Il metodo si basa sul principio dell'induzione magnetica, in base al quale se un conduttore elettrico di lunghezza  $L$  si muove con una velocità  $V$  attraverso un campo magnetico di intensità  $B$ , all'estremità del conduttore si genera una differenza di potenziale  $E$  così calcolabile:

$$E = B \cdot L$$

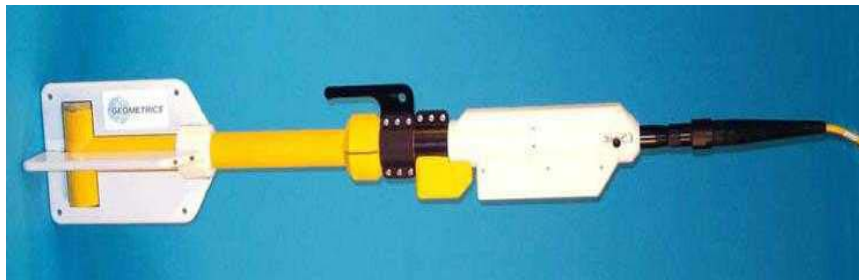
Se le estremità del conduttore in movimento sono collegate con un circuito esterno stazionario rispetto al campo magnetico, la tensione indotta  $E$  causa il passaggio di una corrente di intensità  $I$ , la quale determina una caduta di potenziale  $IR$ , dove  $R$  è la resistenza elettrica del conduttore in movimento. La differenza di potenziale  $V$  alle estremità del conduttore diventa:

$$V = E - IR$$

In pratica il magnetometro è composto da una sonda messa in movimento sulla superficie della struttura da indagare. La sonda consiste di una bobina attraversata da una corrente alternata di frequenza costante che genera un campo magnetico alternato. Gli oggetti metallici da indagare che si trovano all'interno dell'area di influenza del campo magnetico, alterano la differenza di potenziale della bobina in base al principio illustrato.

Il magnetometro marino (Figura 3.1) è uno strumento ad alta sensibilità e precisione adatto per indagini marine profonde e superficiali, volte all'identificazione di oggetti metallici e non metallici. I magnetometri sono strumenti progettati per misurare i campi magnetici associati con materiali ferrosi. In generale esistono due tipi di magnetometri: i magnetometri a passaggio di flusso (flux-gate) che misurano le componenti verticale e orizzontale del campo magnetico, e i magnetometri a protoni, che misurano l'intensità del campo totale. Il materiale ferromagnetico è caratterizzato dal fatto di assumere una magnetizzazione molto forte (susceptività elevata). La magnetizzazione non è linearmente proporzionale al campo magnetico esterno, ma ha un comportamento tipico, detto di isteresi. All'aumentare del campo esterno, la magnetizzazione raggiunge un valore di saturazione. Anche se il campo esterno si annulla, rimane una magnetizzazione rimanente. Per annullare tale magnetizzazione rimanente bisogna applicare un campo coercitivo, di segno opposto a quello applicato in precedenza. Il magnetometro a protoni si basa invece sulla risonanza nucleare magnetica. Alcuni nuclei possiedono un momento magnetico ed uno spin. Immersi in un campo magnetico esterno i nuclei seguono un moto di precessione intorno ad un asse orientato lungo la direzione del campo magnetico. La frequenza di precessione è proporzionale al campo magnetico. Il parametro caratteristico di questo fenomeno è il rapporto giromagnetico, pari al rapporto del momento magnetico e del momento angolare associato allo spin del nucleo. Il moto di precessione induce un campo elettrico alternato. Dalla frequenza del campo elettrico è possibile risalire all'intensità del campo magnetico. L'utilizzo di un magnetometro ai vapori di cesio o a precessione di protoni consente l'identificazione di oggetti metallici anche sepolti. Al termine dell'elaborazione dei dati rilevati i risultati sono restituiti in forma di cartografia tematica che evidenzia le eventuali anomalie magnetiche generate da oggetti sul fondale o interrati.

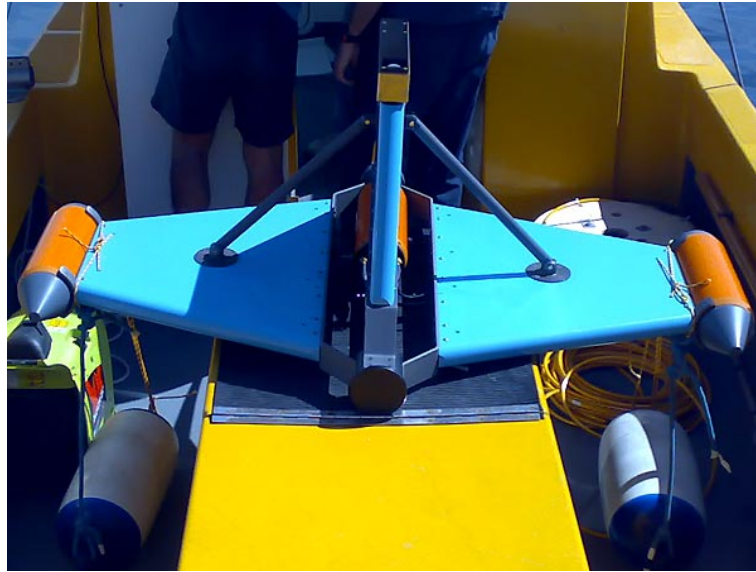
La magnetometria è una tecnologia ampiamente utilizzata per individuare ordigni inesplosi ferrosi (EPA, 2005). Di solito questo metodo presenta problemi quando è utilizzato in ambienti marini. I magnetometri sono in grado di percepire, rispetto ad altri metodi, le distorsioni a maggiori profondità, e sono anche in grado di determinare piccole anomalie, tuttavia, essi sono suscettibili anche ad oggetti ferrosi come chiglie di navi di passaggio e detriti metallici, quali ancore e terreni derivati da depositi ricchi di minerali ferrosi. Inoltre, maggiore è la corrosività dell'ambiente sottomarino, particolarmente in acque poco profonde salate, maggiore è la quantità di ossigeno disponibile che porta ad una corrosione dei materiali ferrosi, riducendo la suscettibilità magnetica.



**Figura 3.1: Magnetometro**

### 3.2.2 Gradiometro

Mentre i magnetometri sono generalmente utilizzati per la rilevazione di oggetti con contenuto ferroso anche di dimensioni ridotte, in quanto sono in grado di fornire misurazioni del campo magnetico totale ad alta sensibilità, i gradiometri a gravità (Figura 3.2) sono più utilizzati per rilevare oggetti di dimensioni maggiori. Essi sono strumenti meno sensibili ma allo stesso tempo, dato che misurano il gradiente del campo magnetico totale, sono meno soggetti ad errori interpretativi dovuti ai disturbi magnetici. Entrambe le tipologie di strumenti comunque possono essere utili nella valutazione dell'esistenza di oggetti sommersi che altrimenti non sarebbe possibile con le tecniche del sonar o dalle immagini. L'utilizzo di un gradiometro durante un'ispezione visiva con un ROV integrata all'interno di una indagine di rischio di un sito sottomarino può migliorare notevolmente la qualità della valutazione, in particolar modo dove c'è la possibilità che esistano oggetti antropogenici. I bersagli magnetici sono localizzati attraverso la misurazione del gradiente magnetico (tasso di variazione del campo magnetico nello spazio) attorno ad essi, dando abbastanza informazioni per un singolo punto da determinare non solo se il bersaglio è all'interno del range di riferimento, ma anche esattamente dove questo si trova.



**Figura 3.2: Gradiometro**

### **3.2.3 Elettromagnetometro**

L'induzione elettromagnetica è il fenomeno fisico grazie al quale in un circuito elettrico si generano correnti elettriche quando esso è immerso in un campo magnetico che varia nel tempo. Il verso della corrente indotta si determina con la legge di Lenz, in base alla quale la corrente indotta ha il verso tale da produrre un campo magnetico che tende ad opporsi alla variazione del campo magnetico che l'ha generata.

L'induzione elettromagnetica funziona esponendo un oggetto ad un campo magnetico variabile nel tempo e rilevando il campo magnetico secondario prodotto dalle correnti indotte nell'oggetto. Il campo magnetico è generato e rilevato usando delle bobine di fili metallici. I sistemi di induzione elettromagnetica esistenti sono di due tipi: ad onda continua e ad onda transitoria. Il metodo ad onda continua utilizza un'onda di forma continua per generare il campo magnetico primario, mentre il campo magnetico secondario è rilevato annullando elettronicamente la componente del campo primario al ricevitore. Il metodo transitorio invece utilizza un campo magnetico pulsante come primario e il campo magnetico secondario è rilevato dopo che il campo primario ha avuto un sufficiente decadimento. Entrambi i sistemi consentono di ottenere le stesse informazioni, e solitamente la scelta di un metodo piuttosto che l'altro ricade su esigenze di tipo operativo e di semplicità in fase interpretativa a seconda del tipo di applicazione. Nel caso di rilevamento di ordigni inesplosi, il metodo transitorio è solitamente preferito perché non richiede il bilanciamento dei campi magnetici primario e secondario.

L'elettromagnetometro (Figura 3.3) è uno strumento in grado di misurare rapidamente la conducibilità dei terreni, consentendo di ubicare i valori di eventuali anomalie di segnale interpretabili come strutture, stratificazioni e oggetti non ferrosi. Esso è attualmente utilizzato per applicazioni in acque basse, mentre non sono ancora noti utilizzi di tale strumento nel campo delle acque profonde. Per quanto riguarda l'operatività dell'elettromagnetometro, esso presenta almeno due problematiche. La prima riguarda la presenza dell'acqua salata, che è corrosiva. L'ambiente marino infatti, a causa dei fenomeni

di corrosione, favorisce l'invecchiamento precoce di tutte le strumentazioni che deteriorano rapidamente guarnizioni o parti meccaniche ed elettroniche sensibili. La seconda problematica è invece legata al controllo e all'allineamento della stringa di sensori di rilevamento. L'alta conduttività elettrica dell'acqua marina limita la penetrazione dell'energia elettrica ed elettromagnetica. Nel dominio del tempo, il decadimento del segnale avviene maggiormente che a terra, e il tempo di risposta del sistema si modifica di conseguenza .

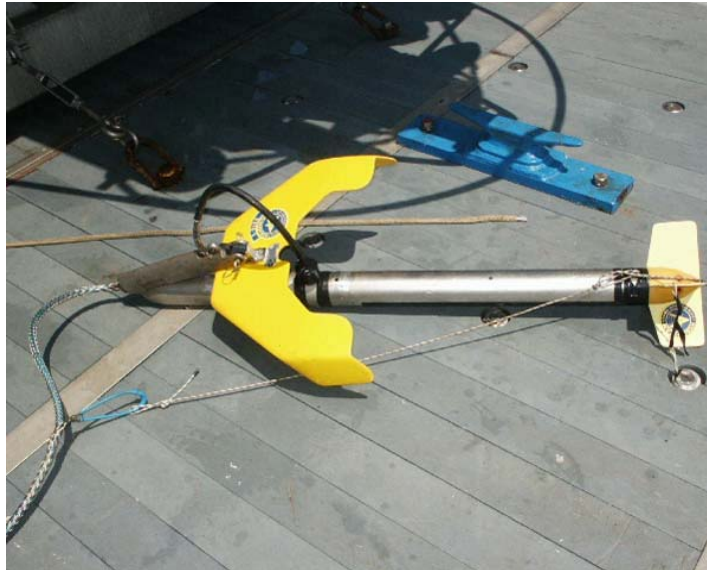


**Figura 3.3: Elettromagnetometro**

### **3.2.4 Side Scan Sonar**

Il sistema sonar a scansione laterale (dall'inglese Side Scan Sonar) è uno strumento che permette l'esplorazione di larghe aree di fondale marino in un tempo ristretto e viene comunemente utilizzato su imbarcazioni in movimento con una velocità di crociera tra i 2 e i 6 nodi (Figura 3.4). Gli elementi principali di un sonar a scansione laterale sono: il cosiddetto "tow-fish" che comprende i due trasduttori, il cavo per la trasmissione dei dati ed un sistema composto da un processore, un'unità di controllo e un registratore. La principale caratteristica del sonar a scansione laterale consiste nel trasduttore che, essendo di lunghezza multipla (tipicamente 30 volte o più) della lunghezza d'onda, possiede una larghezza di fascio emittente particolarmente ristretta sul piano orizzontale (circa 1 grado) e più larga sul piano verticale (40-60 gradi), fornendo una buona risoluzione di direzionalità. Il Side Scan Sonar fornisce come prodotto finale un'immagine su carta o a video, risultante dalla "mosaicatura" di tante strisce corrispondenti a successivi segnali ricevuti dal fondale in seguito all'invio di un impulso. Questo strumento, infatti, emette un fascio sonoro verso il fondo marino. Quando il segnale colpisce un oggetto (sia esso sospeso o adagiato sul fondo) questo torna al ricevitore che registra il corpo come massimo riflettente. In pratica, nel sonogramma, l'oggetto risulta molto scuro in quanto il segnale acustico è stato quasi completamente riflesso. Ovviamente l'oggetto interrompe il viaggio del segnale acustico verso il fondale, provocando delle zone d'ombra sonora ("acoustic shadow") cioè zone in cui

il segnale non arriva affatto o, se arriva, non viene restituito al “tow-fish”. Il risultato sul sonogramma sono delle zone molto chiare.



**Figura 3.4: Side Scan Sonar**

### **3.2.5 Sub Bottom Profiler**

Il Sub Bottom Profiler (Figura 3.5) consente di identificare la sequenza litostratigrafica presente sul fondale marino. Il principio funzionamento di questo strumento è basato sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei sedimenti: maggiore è la velocità di propagazione e più marcata risulterà la risposta acustica. La penetrazione e la riflessione delle onde acustiche dipendono sia dalle proprietà fisiche del materiale attraversato, che dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale. La frequenza del segnale può essere variata tra valori di 2 e 8 kHz mentre la potenza tra 1 e 5 kW. Gli impulsi riflessi dai sedimenti sono ricevuti dallo stesso trasduttore acustico usato per la trasmissione ed il segnale elettrico risultante è registrato su carta da un registratore grafico. Il sistema si avvale della tecnologia digitale “Chirp” avanzata per produrre immagini ad alta risoluzione. Nell'area da indagare, vengono effettuati dei transetti distanti tra loro a seconda del grado di risoluzione e di precisione che si vuole ottenere dal rilievo. Il sistema Sub Bottom Profiler è sempre costituito da una unità hardware che rimane a bordo dell'imbarcazione, che ha la funzione di registrare e processare le informazioni acquisite, e da un trasduttore racchiuso in un involucro pesciforme che viene immerso in mare fissato alla barca, portato a traino o montato su un veicolo ROV. I dati acquisiti (profili sismici) vengono interpretati per ricostruire gli spessori sedimentari di medesime litologie di sedimenti. I risultati interpretativi vengono riportati su carte dove vengono evidenziate attraverso la mappature di “isocronopache” gli spessori dei sedimenti indagati. La presenza, all'interno dell'area indagata, di oggetti costituiti di materiali metallici o plastici genera anomalie nel segnale acustico di ritorno che dipendono dal materiale di cui è costituito l'oggetto e dalle dimensioni dell'oggetto stesso. La presenza di tali anomalie è da valutarsi durante la fase di

interpretazione dei dati e da integrare con i risultati ottenuti tramite le altre tecniche di indagine geofisica descritte all'interno di questo capitolo.



**Figura 3.5: Sub Bottom Profiler**

### **3.2.6 Multibeam Echo Sounder**

Il Multibeam Echo Sounder (Figura 3.6) o ecoscandaglio multifascio è un sistema utilizzato per i rilevamenti batimetrici ad alta risoluzione. Contrariamente agli scandagli tradizionali (singlebeam), che emettono un solo fascio alla volta, il Multibeam invia simultaneamente più segnali (beams) e permette di ottenere una copertura del fondale lungo una fascia di ampiezza variabile a seconda delle caratteristiche dello strumento utilizzato e della profondità dell'area investigata. Il software di navigazione ed acquisizione dati che permette la pianificazione, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, deve essere interfacciato, oltre che con lo stesso Multibeam, con una girobussola, un sensore di moto e un sistema di posizionamento di precisione: questi strumenti permettono di posizionare con precisione l'imbarcazione (DGPS), di apportare, in tempo reale, le correzioni necessarie a compensare il movimento dell'imbarcazione (sensore di moto integrato con sensore d'onda, rollio e beccheggio), i cambiamenti di direzione (girobussola), mentre le variazioni della velocità del suono nell'acqua sono misurate mediante una sonda SVP (Sound Velocity Profiler). Questa tecnica consente un significativo miglioramento del dettaglio e della qualità delle batimetrie, nonché una notevole riduzione dei tempi di acquisizione e rilevamento.



**Figura 3.6: Multibeam Echo Sounder**

### 3.2.7 Confronto degli Strumenti di Rilevamento

Al fine di determinare gli strumenti geofisici più appropriati per il rilevamento di oggetti sul fondale marino, è indispensabile conoscere le tipologie di materiali rilevabili da tali strumenti. La Tabella 3.1 mostra un confronto tra diversi strumenti di rilevamento .

**Tabella 3.1: Confronto degli Strumenti di Rilevamento**

	Oggetti metallici		Oggetti non metallici
	Ferrosi	Non ferrosi	
Magnetometro	Rilevabili	Non rilevabili	Non rilevabili
Gradiometro	Rilevabili	Non rilevabili	Non rilevabili
Elettromagnetometro	Rilevabili	Rilevabili	Non rilevabili
Side Scan Sonar	Rilevabili	Rilevabili	Rilevabili
Sub Bottom Profiler	Rilevabili	Rilevabili	Rilevabili

## 3.3 TECNOLOGIE DI SUPPORTO ALL'ACQUISIZIONE DEI DATI

### 3.3.1 Tecnologia AUV

I veicoli sottomarini autonomi (dall'inglese Autonomous Underwater Vehicle, AUV), di cui un esempio è mostrato in Figura 3.7, sono dei robot che operano in acqua e che sono in grado di portare a termine delle missioni in maniera autonoma (Lynn e Herbert, 2007). Essi si distinguono dai tradizionali ROV, veicoli operati da remoto, dall'inglese Remotely



Operated Vehicles, per il fatto che non hanno bisogno di essere collegati via cavo ad un pilota umano. Questi sistemi sono perciò in grado di far risparmiare il costo totale di una missione, non necessitando di una nave attrezzata e di personale qualificato per la guida a distanza del robot. Inoltre permettono di portare a termine missioni che sarebbero impossibili a causa del cavo ombelicale di collegamento con la nave di supporto. La differenza sostanziale tra i ROV e gli AUV è quindi l'assenza dell'azione umana, per sostituire la quale vengono studiate tecniche di intelligenza artificiale e di robotica autonoma, che permettano ai veicoli di svolgere pienamente il compito per cui sono preposti, anche in presenza di imprevisti o di scenari non necessariamente conosciuti a priori.



**Figura 3.7: Sistema AUV**

La tecnologia AUV è progettata per l'acquisizione di dati geofisici ad elevate profondità, per indagini su siti e rotte in acque profonde fino a 3000 metri. Durante le operazioni di posizionamento la nave di supporto (Figura 3.8) utilizza un sistema GPS differenziale. Il sistema di navigazione inerziale dell'AUV è continuamente aggiornato dalla nave di supporto attraverso un collegamento acustico. Il sistema di posizionamento dell'AUV utilizza un input proveniente dal sistema HiPAP (High Precision Acoustic Positioning) dalla nave di supporto. Successivi controlli dell'analisi dei dati possono chiarire meglio la posizione rispetto al fondale. La precisione della rotta di navigazione è +/- 15 m in tempo reale, e +/- 5 metri dopo l'analisi dei dati. Grazie all'alta precisione nel posizionamento dell'AUV e il risparmio di tempo che si riesce ad ottenere rispetto alle tecniche tradizionali (sistemi ROV), i sistemi AUV si stanno imponendo quale metodologia più utilizzata quando sono richieste alte precisioni. Solitamente, nelle normali indagini geofisiche si utilizzano sonar da 120 kHz. Ad una frequenza di 120 kHz, l'AUV opera a velocità di 4 nodi e mantiene un'altitudine di circa 40 metri dal fondale. La spaziatura risultante per canale è 225 metri (450 metri per strisciata), il quale dovrebbe portare a definire oggetti di un metro di lunghezza. Con una frequenza di 410 kHz l'AUV opera più vicino al fondale ad una distanza di circa 20 metri. La spaziatura effettiva risultante per canale va da 50 a 70 metri, e dovrebbe portare all'identificazione di oggetti di mezzo metro. Il sub bottom profiler

integrato utilizza impulsi o trasmessi o generati in una banda di frequenza tra 2 e 8 kHz, per creare profili acustici del sottosuolo.



**Figura 3.8: Nave di Supporto al Sistema AUV**

### 3.3.2 Tecnologia ROV

Il sistema ROV (dall'inglese Remotely Operated Vehicle) è un robot teleoperato usato in applicazioni sottomarine (Figura 3.9). Esso è usualmente dotato di telecamere e bracci meccanici, e viene spesso utilizzato dall'industria dell'oil and gas per operazioni di siminamento ed ispezione, monitoraggio di attrezzature sottomarine delle piattaforme petrolifere, esecuzione di operazioni di manutenzione particolarmente difficoltose. Gli ROV fanno uso di tecnologie molto avanzate e sono realizzati in leghe speciali, normalmente di titanio, che rendono questi robot molto resistenti alle sollecitazioni meccaniche e alla corrosione marina. Gli impianti elettrici ed elettronici che costituiscono la tecnologia ROV sono complessi, sia per le svariate funzioni che devono essere svolte da questi sistemi, sia per il fatto che questi sistemi operano in fondo al mare, e devono essere protetti dalla presenza interna di acqua che può causare cortocircuiti. Da particolari tipologie di ROV videografici e fotografici, combinate con un adeguato illuminamento e appropriate tecniche di manovra, è possibile ottenere informazioni di alta qualità. Questa tecnologia è estremamente importante in operazioni subacquee in acque profonde. I ROV sono tipicamente posizionati utilizzando un posizionamento acustico USBL (Ultra Short Base Line) per eseguire ispezioni, bonifiche lungo le rotte di condotte sottomarine, installazioni e monitoraggio. Oltre a videocamere e fotocamere, sul ROV possono essere montati altri strumenti utilizzati per l'individuazione di oggetti sul fondale marino come ad esempio rilevatori metallici o di massa (magnetometri, elettromagnetometri, gradiometri, etc.).



**Figura 3.9: Sistema ROV**

### **3.4 ORGANIZZAZIONE DELL'INDAGINE**

La scelta di una particolare tecnologia, della tecnica di analisi dei dati e dell'apparecchiatura di localizzazione degli ordigni per un certo sito, dipendono dalle condizioni del fondo, dalla tipologia di ordigni da individuare e dalla dimensione dell'area che deve essere investigata. L'organizzazione dell'indagine per l'identificazione di ordigni inesplosi deve prevedere due fasi complementari che sono di seguito descritte. Per la scelta della strategia di indagine e della strumentazione è stato fatto riferimento a progetti simili in condizioni di acque profonde.

#### **3.4.1 Detailed Marine Survey**

La prima fase di indagine, da eseguire durante il rilievo marino di dettaglio, solitamente indicato come Detailed Marine Survey (DMS), servirà a caratterizzare la batimetria della zona oggetto di studio e ad individuarne la presenza di elementi anomali sul fondale e al di sotto di esso che possano in qualche modo interferire la condotta. In particolare, il DMS dovrà consentire la caratterizzazione della morfologia del fondale, la stratificazione dei terreni al di sotto di esso e la presenza di oggetti posati sul fondo o seppelliti lungo il tratto interessato dalla possibile presenza di ordigni. Gli strumenti adatti a questo tipo di indagine sono i seguenti: Multibeam Echo Sounder, Side Scan Sonar e Sub Bottom Profiler.

Il tratto di rotta oggetto di studio si trova a profondità del fondale comprese tra 850 e 1000 m, nel cosiddetto campo delle acque profonde, nel quale esistono difficoltà aggiuntive rispetto ai tradizionali rilievi geofisici marini. La problematica principale è rappresentata dalla manovrabilità degli strumenti, che vengono movimentati da una nave e si muovono solidalmente con essa. La strumentazione viene montata su un "tow fish", cioè un oggetto idrodinamico collegato tramite un cavo ad una imbarcazione. Il cavo, che una volta immerso in acqua tende a disporsi a catenaria, non consente una risposta immediata degli strumenti ad ogni cambiamento di velocità o di direzione dell'imbarcazione e determina di fatto problemi

operativi in fase di indagine. Questa risposta differita della strumentazione dovuta alla disposizione dei cavi sommersi si amplifica all'aumentare della profondità di acqua alla quale si svolgono le attività. Per questo motivo, ed essendo l'indagine in questione da eseguirsi in acque profonde, si consiglia l'utilizzo di un sistema AUV, che offre diversi vantaggi rispetto al metodo tradizionale. Il sistema AUV è in grado di portare a compimento rilievi sottomarini in modo autonomo, senza la necessità di essere collegato ad una nave tramite cavi. Inoltre, il sistema AUV ha il vantaggio di avere integrati al suo interno strumenti necessari a questo tipo di rilievo come Side Scan Sonar e Sub Bottom Profiler.

Date le dimensioni anche ridotte degli ordigni di interesse da individuare, nel tratto a rischio la spaziatura della maglia di rilevamento dovrà essere infittita. Si consiglia l'utilizzo di un Multibeam Echosounder e Side Scan Sonar ad una frequenza di 500 kHz in modo da individuare oggetti di dimensioni anche ridotte (dell'ordine della decina di centimetri), con un infittimento della spaziatura delle linee di misura portato a 5 m. In caso di disturbo al fondo, dovuto alla presenza di rottami o relitti di origine umana, è consigliabile eseguire un re-routing oppure effettuare ulteriori linee includendo il Sub Bottom Profiler. L'esame dei dati raccolti dovrà essere effettuato da personale specializzato presente a bordo, in modo da identificare eventuali anomalie e completare le linee di rilievo previste prima della demobilizzazione. Durante il processo di interpretazione dei dati acquisiti in questa prima fase di indagini, l'individuazione di anomalie che possano essere correlate alla presenza di oggetti di dimensioni simili a quelle degli ordigni, dovrà essere tenuta in considerazione per lo svolgimento della successiva fase di indagine.

#### **3.4.2 Pre-lay Survey**

La seconda fase di indagine dovrà essere svolta durante la posa della condotta IGI. Questa fase di rilevamenti viene eseguita immediatamente prima o in avanzamento alla posa della condotta stessa, alla luce di una attenta analisi dei possibili scenari di rischio dovuti alla presenza di ordigni inesplosi lungo la rotta condotta in base a quanto è emerso dal Detailed Marine Survey. Nelle zone considerate potenzialmente a rischio di presenza di ordigni, vengono approfondite la quantità e tipologia di dati acquisiti rispetto a quelli acquisiti durante il Detailed Marine Survey. La distanza dei rilevamenti rispetto al fondale viene diminuita rispetto all'indagine precedente con l'ausilio del sistema ROV, sul quale possono essere montati gli strumenti necessari a rilevare oggetti ferrosi e non ferrosi presenti sul fondale. Il sistema ROV è in grado di essere manovrato in remoto dalla nave stessa. In questa fase di indagine è necessario utilizzare strumenti in grado di rilevare oggetti metallici, ferrosi e non ferrosi, appoggiati sul fondale o seppelliti al di sotto di esso. Gli strumenti utili a tale scopo sono il magnetometro e l'elettromagnetometro. Il primo è in grado di rilevare oggetti ferrosi, ed è quindi utile per il rilevamento di ordigni con una rilevante componente ferrosa, mentre il secondo è in grado di rilevare oggetti sia ferrosi che non ferrosi, e copre quindi una gamma più ampia di materiali rilevabili. Per questo tipo di indagini, al magnetometro classico sarebbe preferibile un gradiometro, che rispetto al magnetometro consente di ridurre errori interpretativi causati da disturbi magnetici.

L'utilizzo di questi strumenti montati sul sistema ROV consente di eseguire il rilievo a distanze dal fondo molto più ridotte rispetto a quelle ottenute utilizzando un sistema AUV. In questo modo è possibile diminuire la dispersione del segnale magnetico prodotto, la cui intensità diminuisce in modo esponenziale all'aumentare della distanza tra l'oggetto ricercato e lo strumento. A supporto dei sopraccitati rilievi, si consiglia l'utilizzo di una ispezione visuale da effettuarsi attraverso fotocamere e videocamere montate sul sistema

ROV. L'ispezione visuale rappresenta un supporto tecnologico importante in fase di identificazione degli oggetti appoggiati sul fondale o parzialmente seppelliti, in quanto permette di identificare meglio la forma, le dimensioni e la natura degli oggetti stessi.

### 3.4.3 Probabilità di Identificazione degli Ordigni durante le Fasi di Rilievo

Alla luce delle attività previste in fase sia di Detailed Marine Survey che di Pre-lay Survey, e considerate le caratteristiche degli ordigni potenzialmente presenti nell'area di studio che sono state analizzate nel capitolo precedente, è possibile effettuare una valutazione della probabilità di identificare tali ordigni durante le fasi di rilievo.

**Tabella 3.2: Probabilità di Identificazione degli Ordigni durante le Fasi di Rilievo**

Ordigno	Tipo di ordigno	Massa (kg)	Condizione di seppellimento stimata	Probabilità di identificazione attesa	
				Detailed Marine Survey	Pre-lay Survey
Mk 84	Ordigno convenzionale	1323	Totalmente seppellito	Media	Media
CBU-99/B	Bomba a grappolo	450	Parzialmente o totalmente seppellito	Media	Media - Buona
CBU-87/B	Bomba a grappolo	431	Parzialmente o totalmente seppellito	Buona	Media – Buona
Mk 82	Ordigno convenzionale	328	Parzialmente o totalmente seppellito	Buona	Media - Buona
RBL-755	Bomba a grappolo	264	Parzialmente seppellito	Buona	Buona
BLU-97/B	Sottomunizione	1.54	Parzialmente seppellito	Media – Bassa	Buona
RBL-755-21	Sottomunizione	1.02	Parzialmente seppellito o sul fondo	Media – Bassa	Buona
Mk-118	Sottomunizione	0.59	Parzialmente seppellito o sul fondo	Media – Bassa	Buona

## **4 STRATEGIA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DALLA PRESENZA DI ORDIGNI INESPLOSI**

Alla luce delle problematiche e delle raccomandazioni espresse nei capitoli precedenti, la metodologia che si suggerisce di adottare per la mitigazione del rischio dovuto alla presenza di ordigni inesplosi è riassunta nei seguenti punti:

- valutazione delle caratteristiche delle diverse tipologie di ordigni che possono essere presenti all'interno dei corridoi della condotta (Capitolo 2 del presente rapporto);
- analisi dei dati ottenuti dal rilievo geomorfologico di dettaglio effettuato nell'ambito del Detailed Marine Survey (DMS) per individuare la presenza di oggetti parzialmente o totalmente seppelliti nel fondo marino all'interno del corridoio della condotta per tutta la sua lunghezza;
- analisi dei possibili scenari di rischio dovuti alla presenza di ordigni inesplosi lungo la rotta. Si anticipa che l'impatto di residui bellici contro la condotta potrebbe avvenire o durante la fase di installazione o durante la fase di esercizio della condotta stessa;
- definizione ed esecuzione di un Pre-lay Survey. Tale indagine dovrà essere eseguita prima della posa della condotta con lo scopo specifico di individuare gli eventuali ordigni inesplosi;
- bonifica delle aree dove sono stati identificati ordigni inesplosi o, se possibile, parziale re-routing;
- indagine di post-detonazione avente lo scopo di verificare l'effettiva detonazione e, se necessario, rimozione di ogni pezzo di metallo residuo di dimensioni tali da poter creare difficoltà durante l'installazione della condotta. Questa operazione può essere eseguita attraverso l'utilizzo di un ROV collegato a speciali cestini in grado di contenere i residui metallici.

Tutte le aree all'interno del corridoio della condotta nelle quali, dai rilievi di geofisica convenzionale, si siano riscontrate possibili anomalie, devono essere investigate anche se non si trovano nelle vicinanze dell'area designata per lo scarico. Lo scopo è quello di localizzare la presenza di possibili ordigni sul fondo e quindi consentire una fase di installazione sicura. Le eventuali munizioni individuate all'interno di queste aree devono essere bonificate attraverso una apposita operazione controllata per garantire la sicurezza anche durante la fase di funzionamento della condotta. In caso di individuazione di ordigni inesplosi, può essere presa in considerazione l'ipotesi di una modifica parziale della rotta nel tratto interessato al fine di diminuire la pericolosità. Esiste anche la possibilità che degli ordigni inesplosi vengano identificati all'interno dei corridoi durante le normali ispezioni in fase di funzionamento della condotta. È molto consigliabile che la localizzazione degli ordigni avvenga sotto la supervisione di un gruppo di esperti, militari o ex-militari, che si trovino a bordo insieme ai tecnici e agli operatori durante la fase di Pre-lay Survey. La funzione di questo gruppo di esperti sarà di fornire un supporto tecnico e di qualificata esperienza nel riconoscimento degli ordigni sia dall'interpretazione dei dati acquisiti con gli strumenti magnetometrici che durante l'indagine visuale con il sistema ROV. Date la pericolosità di tali operazioni e la difficoltà nella decisione delle azioni da intraprendere in caso di ritrovamento ed identificazione di ordigni inesplosi, si ritiene opportuno, ancorché la

zona di maggior interesse si trovi al di fuori del limite territoriale delle acque nazionali, pianificare questo tipo di attività in collaborazione con le Autorità nazionali competenti.

L'obiettivo principale delle operazioni di bonifica è quello di eliminare, dalla rotta della condotta o dai corridoi all'interno dei quali tale condotta è stata posata, ordigni che possano rappresentare una minaccia sia per l'installazione sia per il funzionamento futuro della condotta. La bonifica deve prevedere la detonazione in sicurezza degli ordigni. La rimozione fisica degli ordigni dalla condotta è infatti sconsigliata dagli esperti artificieri in quanto si potrebbe incorrere in rischi maggiori rispetto a quelli che si hanno con la detonazione in sito. I metodi di bonifica da utilizzare a mare devono essere sicuri e provati, già consolidati dall'utilizzo in operazioni passate in Adriatico. La bonifica deve essere eseguita in accordo con un "Piano di Bonifica", predisposto da una Società in possesso di idonea certificazione per le lavorazioni in questione, incaricata dalla Società aggiudicataria dell'esecuzione dei lavori. Il Piano di Bonifica dovrà includere procedure di valutazione del rischio durante le fasi di esecuzione del lavoro, misure di mitigazione per la minimizzazione dell'impatto su fauna e flora sottomarina e piano di monitoraggio (Herbert, 2009).

## **5 CONCLUSIONI**

La condotta sottomarina IGI Poseidon passa nei pressi di una area utilizzata per lo scarico di munizioni, vicino alla base della scarpata continentale italiana, in profondità di acqua variabili da 850 a 1000 m. La rotta passa esternamente all'area di scarico mappata, tuttavia non si può escludere che un certo numero di munizioni possano essere presenti anche al di fuori dei confini di tale area.

Alla luce di queste problematiche, IGI Poseidon ha richiesto una valutazione della possibile mitigazione del rischio derivante da ordigni inesplosi sulla condotta sottomarina. A tal fine D'Appolonia ha sviluppato uno studio che si può riassumere nei seguenti punti:

- analisi della presenza di ordigni inesplosi nel Mar Adriatico;
- identificazione delle tipologie di bombe;
- definizione delle principali caratteristiche per ogni tipologia;
- valutazione del possibile grado di penetrazione nel fondale marino;
- identificazione dei metodi di indagine disponibili per l'identificazione degli ordigni inesplosi;
- presentazione di una strategia di indagine per la mitigazione del rischio.

I dati raccolti mostrano che nell'area di scarico mappata nelle vicinanze del tracciato sono state ritrovate, durante l'operazione di bonifica "Operation Allied Harvest" svoltasi dalle forze NATO nel 1999, bombe di tipo convenzionale e bombe a grappolo. L'area in questione è stata utilizzata durante la guerra del Kosovo e non è ancora stata oggetto di bonifica. Durante tale conflitto sono state utilizzate un gran numero di bombe a grappolo, considerate i più pericolosi ordigni inesplosi a causa delle loro dimensioni, peso e numero di sottomunizioni.

Alla luce di quanto esposto, si suppone con ogni probabilità che l'area di scarico munizioni situata tra il Golfo di Otranto e l'Isola di Corfù sia costituita prevalentemente da due tipologie di ordigni, "Ordigni Convenzionali" e "Bombe a grappolo". Tali bombe potrebbero essere in grado, per mezzo della detonazione, di causare danni anche strutturali alla condotta.

Il grado di seppellimento di questi ordigni è stato valutato in funzione delle loro dimensioni e del loro peso e delle caratteristiche degli strati più superficiali del terreno. I calcoli hanno mostrato come nel caso in cui una bomba convenzionale non sia esplosa o una bomba a grappolo non si sia aperta prima di raggiungere il fondale, essa potrebbe trovarsi integra e parzialmente seppellita sul fondo oppure completamente sepolta. Nel caso in cui, invece, una bomba a grappolo si sia aperta, le sottomunizioni generate dalla munizione principale si potranno trovare in condizioni di parziale seppellimento oppure appoggiate sul fondale marino.

L'identificazione di ordigni inesplosi sul fondo può essere effettuata combinando diverse tipologie di investigazione geofisica come magnetometro, elettromagnetometro, Side Scan Sonar, Sub Bottom Profiler. Per l'indagine in questione si suggerisce di procedere suddividendo i rilevamenti in due fasi distinte e separate: un Detailed Marine Survey nel



quale utilizzare un sistema AUV con Multibeam Echo Sounder, Side Scan Sonar e Sub Bottom Profiler integrati, e un Pre-lay Survey nel quale utilizzare un sistema ROV sul quale montare un gradiometro o un elettromagnetometro, e una videocamera per l'ispezione visuale.

La metodologia che si suggerisce di adottare per la mitigazione del rischio dovuto alla presenza di ordigni inesplosi è riassunta nei seguenti punti:

- valutazione delle caratteristiche delle diverse tipologie di ordigni che possono essere presenti all'interno dei corridoi della condotta (Capitolo 2 del presente rapporto);
- analisi dei dati ottenuti dal rilievo geofisico convenzionale effettuato nell'ambito del Detailed Marine Survey (DMS) per individuare la presenza di oggetti parzialmente o totalmente seppelliti nel fondo marino all'interno del corridoio della condotta per tutta la sua lunghezza;
- analisi dei possibili scenari di rischio dovuti alla presenza di ordigni inesplosi lungo la rotta. Si anticipa che l'impatto di residui bellici contro la condotta potrebbe avvenire o durante la fase di installazione o durante la fase di esercizio della condotta stessa;
- definizione ed esecuzione di un Pre-lay Survey. Tale indagine dovrà essere eseguita prima della posa della condotta con lo scopo specifico di individuare gli eventuali ordigni inesplosi;
- bonifica delle aree dove sono stati identificati ordigni inesplosi o, se possibile, parziale re-routing;
- indagine di post-detonazione avente lo scopo di verificare l'effettiva detonazione e, se necessario, rimozione di ogni pezzo di metallo residuo di dimensioni tali da poter creare difficoltà durante l'installazione della condotta.

MTS/CMT/EP/RC:tds

## RIFERIMENTI

Albertsen, J., 2004, "Operation Allied Harvest", Presentazione alla Conferenza Estiva NDRF, Frederikshavn, Danimarca, 25-27 Agosto.

Aubeny, C. P. e H. Shi, 2006, "Interpretation of Impact Penetration Measurements in Soft Clays", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Giugno.

D'Appolonia, 2009, "Risposte alle Richieste di Chiarimenti e Integrazioni del Ministero dell'Ambiente e della Regione Marche", Terminale GNL Tritone Offshore Marche, Doc. No. 08-202-H10, Rev. 0, 22 Luglio.

EPA, 2005, "Handbook on the Management of Munitions Response Actions", EPA 505-B-01-001, Maggio.

Halpin, S. e M. Morrison, 2009, "Marine UXO identification and Avoidance for a Shallow Water Pipeline Route", Offshore Technology Conference, OTC 19957, Houston, Texas, U.S.A., 4-7 Maggio.

Herbert, J., 2009, "Risk Mitigation of Chemical Munitions in a Deepwater Geohazard Assessment", Offshore Technology Conference, OTC 19826, Houston, Texas, U.S.A., 4-7 Maggio.

ICRC, International Committee of the Red Cross, 2001, "Cluster bombs and landmines in Kosovo: Explosive remnants of war", Giugno.

Landmine Action, 2009, "Cluster munitions in Kosovo: Analysis of use, contamination and casualties", Febbraio.

Lynn, B. S. e J. E. Herbert, 2007, "Special Session: AUVs: Groundtruthing High-Resolution AUV Side Scan Sonar Contacts for Unexploded Ordnance in a Deepwater GeoHazard Assessment", Offshore Technology Conference, OTC 18844, Houston, Texas, U.S.A., 30 Aprile-3, Maggio.

Marin Matteknik AB, 2007, "Reconnaissance Marine Survey", Interconnettor Greece – Italy (IGI), MMT Project no: 100297, Dicembre.

Parsch, A., 2007, USMILAV, United States Military Aviation, "Designation of U.S. Aeronautical and Support Equipment".

USACE, United States Army Corp of Engineers, 2004, Geotechnical and Structures Laboratory ERDC/GSL TR-04-8, "Guidelines for Planning Unexploded Ordnance (UXO) Detection Surveys", Agosto.