	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

Per quanto sopra esposto, le condizioni necessarie per giustificare la presenza di gas combustibile all'interno del locale motore elica di prua si sono verificate. Bisogna valutare se tale presenza aveva o meno la potenzialità di generare una atmosfera esplosiva.

È utile ricordare che una atmosfera esplosiva è costituita da una miscela di gas combustibile (nel caso in esame una miscela di idrocarburi) ed un comburente (l'ossigeno presente nell'aria). Affinché la miscela possa innescarsi in un punto e la fiamma possa trasferirsi rapidamente al resto della miscela è necessario che gas ed aria siano presenti nel giusto rapporto. I valori per i quali il rapporto aria/gas consente l'inflammazione viene denominato area di infiammabilità o esplodibilità; in detta area si individuano un limite inferiore ed uno superiore. Il rapporto stechiometrico, in corrispondenza del quale si ha il massimo rendimento della reazione, tende a posizionarsi più vicino al limite inferiore che a quello superiore.


Per i gas maggiormente attesi all'interno della tanca i limiti inferiore e superiore di esplodibilità sono riportati nella Tabella 4.

Tabella 4 – limiti di esplodibilità in aria<sup>8</sup>

	<b>butano</b>	<b>propano</b>	<b>pentano</b>
LEL %	1,8	2,1	1,4
<i>stechiometrico</i>	4	4	3
UEL %	8,4	9,5	7,8

Si osserva che già da valori percentuali inferiori al 2% è possibile la formazione di una atmosfera esplosiva fino ad arrivare ad un massimo di circa il 9%. Non conoscendo l'esatta composizione della miscela convogliata all'interno del locale motore elica di manovra (comprensiva anche di eventuale gas inerte), non se ne può calcolare con precisione i limiti di infiammabilità; tuttavia, per gli scopi della presente analisi e per le caratteristiche dei gas, molto simili tra loro, è sufficiente mediare aritmeticamente i valori e considerare una miscela con area di infiammabilità variabile nell'intervallo 1,8÷8,5 %. Questo significa che, avendo considerato un volume libero del locale pari a 120 m<sup>3</sup>, sarebbero stati necessari volumi di gas in ingresso al locale di circa 2÷10 m<sup>3</sup> e, all'interno di questo intervallo, come rappresentato nella Immagine 24 e Immagine 25, sarebbero stati sufficienti circa 3,5÷4 m<sup>3</sup> di gas per generare i maggiori effetti pressioni in corrispondenza della composizione stechiometrica. Detto gas combustibile dovrebbe essere aumentato in volume di un quantitativo per considerare che la massa gassosa aspirata dal ventilatore posizionato sul ponte di coperta conteneva certamente anche aria, preesistente sul ponte e in parte spostata dall'arrivo dei gas, e gas inerte presente all'interno della tanca. Se si considerasse una miscela aria/gas combustibile/anidride carbonica in ingresso al locale motore elica di prua si potrebbe osservare che l'anidride carbonica tenderebbe a far diminuire la concentrazione di ossigeno nella miscela mentre l'aria agirebbe in senso opposto apportando ossigeno. Dal punto di vista

<sup>8</sup> Norma CEI 31-35

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI          2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

della capacità di formazione di una miscela infiammabile la presenza della anidride carbonica, nella situazione descritta, è poco significativa in quanto ridurrebbe di poco l'area di infiammabilità della miscela ed agirebbe abbassando il limite superiore di infiammabilità lasciandone quasi inalterato il limite inferiore (vds Immagine 24 e Immagine 25 riportate come esempio ed applicabili al propano ed al butano). La retta indicata con  $C_{st}$  indica la composizione stechiometrica che rappresenta il miglior rapporto combustibile/ossigeno ai fini di una reazione completa, ad essa corrispondono i maggiori valori di sovrappressione generata.

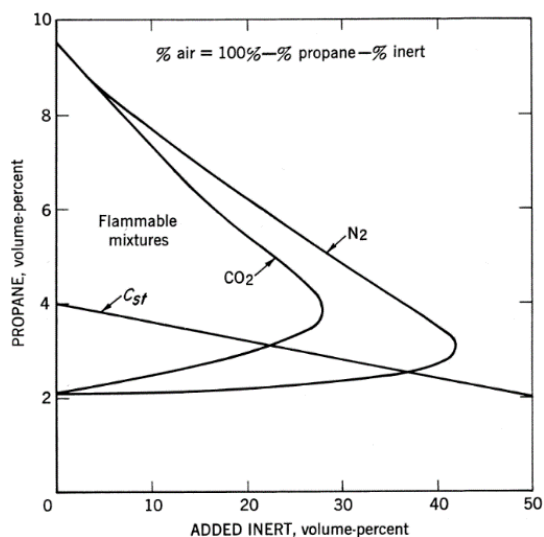



Immagine 24: variazioni dell'area di infiammabilità di miscele propano/aria/ $\text{CO}_2$  e propano/aria/azoto al variare della percentuale di gas inerte<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Zabetakis M.G., Flammability characteristics of combustible gases and vapors, U.S. Bureau of Mine bulletin 627. Washington, 1965

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

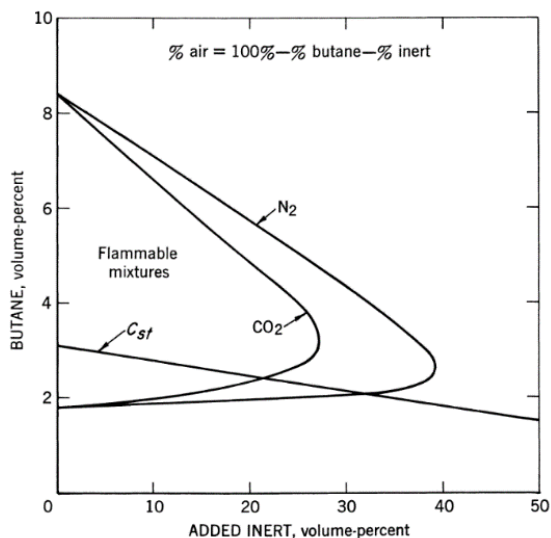



Immagine 25: variazioni dell'area di infiammabilità di miscele butano/aria/CO<sub>2</sub> e butano/aria/azoto al variare della percentuale di gas inerte<sup>10</sup>

L'evento si può schematizzare come segue:

- il ventilatore aspira aria dal ponte di coperta mentre, contemporaneamente, altrettanta aria viene reimpressa nell'ambiente dagli estrattori posizionati leggermente più a prua ed ai lati; vi è anche una condotta di aria non forzata che unisce il locale motore elica di manovra al ponte di coperta.
- il ventilatore viene investito da una nube di gas combustibili e anidride carbonica, li aspira e li immette nella condotta sottostante;
- all'interno del locale motore elica di manovra giunge un volume di aria/gas combustibile/anidride carbonica che si viene a mescolare con l'aria ambiente iniziando a formare una miscela;
- detta miscela viene riportata sul ponte di coperta e rimescolata con i gas presenti.
- il ventilatore in coperta continua ad aspirare e ad immettere altro gas verso i locali sottostanti.

A questo punto ci si chiede se, con il circuito descritto, sia stato possibile convogliare circa  $2 \div 10 \text{ m}^3$  di gas combustibili (preferibilmente  $3,5 \div 4 \text{ m}^3$  per massimizzare gli effetti pressori) all'interno del locale motore elica di prua. In mancanza di dati certi, si formulano alcune ipotesi sulla presenza percentuale di gas inerte nella miscela aspirata e si valutano i tempi necessari per formare l'atmosfera esplosiva all'interno del locale. Si sa, dalle stime di Mariperman (vds Relazione citata in rife [20]) che ha avuto modo di esaminare tutto l'impianto di ventilazione, che il ventilatore era in grado di convogliare all'interno del locale motore elica di prua almeno  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  considerando le perdite di carico, le canalizzazioni e lo

<sup>10</sup> Zabetakis M.G., Flammability characteristics of combustible gases and vapors, U.S. Bureau of Mine bulletin 627. Washington, 1965

	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI</b> <b>2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

stato delle valvole come rilevati in sede di sopralluogo. Ne discendono i tempi riportati in Tabella 5 riferiti al solo butano ma approssimabili all'intera miscela.

Tabella 5 – tempi di ventilazione (con riferimento al butano)

gas inerte (CO <sub>2</sub> ) (%)	gas inerte (CO <sub>2</sub> ) (m <sup>3</sup> )	gas combustibili (m <sup>3</sup> )	miscela aspirata (m <sup>3</sup> )	tempo (s)
0	0	2,2÷10,1	2,2÷10,1	<b>2,7÷12,6</b>
5	6	2,3÷9	2,3÷15	<b>2,8÷11</b>
10	12	2,4÷8,2	16,4÷20,2	<b>20÷25</b>


Dai calcoli emerge che, passando da una miscela pura di gas combustibili (ipotesi limite non realistica) ad una miscela contenente anche gas inerte, i tempi di ventilazione necessari per consentire la formazione di una atmosfera esplosiva, all'interno del locale motore elica di prua, sono compresi tra poco meno di 3 secondi a circa 25 secondi (ipotesi limite con miscela prevalentemente costituita da gas inerte) più il tempo occorrente per percorrere le condotte che separano il ponte di coperta dal locale motore elica di manovra (circa 3 s stimando in 6 m/s la velocità dell'aria in ingresso al locale motore elica di manovra nota la portata e la sezione della condotta di 56 x 23 cm). Ad una ipotesi di miscela aspirata contenente mediamente un eguale quantitativo di gas combustibili, di anidride carbonica e di aria (5 m<sup>3</sup> x 3) corrisponde un tempo di ventilazione di circa 11 secondi. Considerando il movimento dei gas provenienti dalla tanca dell'Agip Abruzzo (che non si può assimilare ad una sorgente continua) è lecito ipotizzare che la miscela presente sul ponte di coperta ed aspirata sia stata inizialmente più ricca di gas combustibile e di gas inerte e successivamente più ricca di aria. Nel corso di questa variazione percentuale la miscela sul ponte di coperta è certamente transitata nell'area di infiammabilità ed ha assunto le caratteristiche di atmosfera esplosiva sia sul ponte di coperta che all'interno della condotta di ventilazione. Per quanto riguarda il locale motore elica di manovra la miscela venutasi a formare si è arricchita di gas combustibile ed è transitata nell'area di infiammabilità arricchendosi via via di gas combustibile passando dal limite inferiore. Inoltre, non bisogna pensare ad una miscela aria/gas con concentrazione uniforme in tutto il volume del locale ma, bensì, a sacche con maggior o minor presenza di gas e con una elevata turbolenza e rimescolio negli istanti che hanno seguito l'innesco.

I tempi teorici necessari per formare una atmosfera esplosiva nel locale motore elica di manovra sono decisamente contenuti e si ritiene che il quadro dei tempi, pur variando le ipotesi assunte, sia pienamente verosimile.

#### 6.4.2.2. Ipotesi di gas combustibile già presente all'interno del traghetto

Ci si chiede se il gas combustibile potesse essere già presente all'interno del Moby Prince. Valgono le seguenti considerazioni:

- È possibile che all'interno dei veicoli trasportati fossero presenti bombole di gas.


	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

- Considerando che l'esplosione è avvenuta in un locale posizionato sotto il locale garage è necessario escludere dalle ipotesi il gas metano che, essendo più leggero dell'aria, in caso di fuga avrebbe teso verso l'alto.
- Restringendo le possibilità ai gas pesanti (butano, propano o loro miscela), si nota che sopra al camion rimasto schiacciato tra le due boccaporte era presente un semicabinato tipo Florida 23 di 6,5 m del cantiere Intermare la cui scheda tecnica è disponibile al link: [https://nautipedia.it/index.php/INTERMARE\\_FLORIDA\\_23](https://nautipedia.it/index.php/INTERMARE_FLORIDA_23). Tra gli optional viene indicato il fornello a gas: è quindi possibile che sia stato presente.



Immagine 26: semicabinato Florida 23

- Una imbarcazione dotata di fornello a gas è generalmente alimentata da bombole per impiego nautico o camperistico contenenti gas liquefatto di taglia da 1 kg, 2 kg, 3 kg, ecc. Per un semicabinato tipo quello su menzionato, idoneo per uscite giornaliere con pochi spazi a disposizione, si ritiene che considerare una bombola di 1 kg sia già una ipotesi conservativa; probabilmente, l'impiego di un bombolino ancora più piccolo potrebbe essere una ipotesi più appropriata. In ogni caso, la presente analisi mantiene la sua validità anche considerando bombole di taglia superiore.
- Se si ipotizzasse l'inizio della fuga di gas prima o durante l'imbarco dei veicoli, questa non sarebbe passata inosservata, essendo il gas odorizzato; l'inizio della fuga andrebbe posta temporalmente dopo l'imbarco dei veicoli, in assenza di personale e, quindi, per rotture dovute a vibrazioni e non in seguito a manovre sul circuito gas. La chiusura del circuito gas è norma di sicurezza e prescrizione per l'imbarco.
- Considerando una serie di eventi negativi, qualunque essi siano, tali da consentire la fuoriuscita di gas ed il completo svuotamento di una bombola contenente 1 kg di gas liquefatto, si sarebbe formata una sacca di gas pesante che avrebbe occupato un volume di circa 500 litri (indicazione approssimata che varia in funzione del tipo di gas liquefatto e della temperatura).
- Se la bombola fosse stata posizionata all'interno del semicabinato, in prossimità del fornello, il gas sarebbe rimasto confinato all'interno dell'imbarcazione, avendo questa una carena stagna.


 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI          2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

- Se la bombola fosse stata installata a regola d'arte in un gavone esterno con foro di ventilazione inferiore, il gas avrebbe occupato il pozzetto per poi trafilare verso il basso attraverso i fori di svuotamento naturale (ma non il semicabinato non offre volumi disponibili per detta installazione).



Immagine 27: interno e pozzetto del Florida 23

- Se, comunque, il gas fosse completamente fuoriuscito dall'imbarcazione avrebbe invaso il piano di carico dell'autocarro. Non essendo questo stagno sarebbe trafilato verso il basso, lentamente, in funzione delle luci libere a disposizione; quindi, in un tempo non stimabile a priori ma verosimilmente nell'ordine delle ore in quanto il gas si sarebbe stratificato solo per effetto della maggiore densità e non per effetto di una pressione imposta.
- Forzando il ragionamento ed accettando un'ipotesi di fuoriuscita del gas dall'autocarro in tempi brevi questo si sarebbe portato sul ponte del locale garage stratificandosi in basso. A ritardare la stratificazione ci sarebbe stata senz'altro stata la turbolenza causata dai sistemi di ventilazione.
- Accettando l'ulteriore ipotesi di veloce stratificazione dal gas in basso, questo avrebbe cercato di occupare tutto il ponte.
- Gli ipotizzati 500 litri di gas, in condizioni di calma e stratificati in basso avrebbero occupato un volume con base pari all'area del locale garage e con altezza conseguente. Un volume con area di base di 1 m<sup>2</sup> e altezza di 1 cm occupa un volume di 10 l. Pertanto, sarebbe bastata un'area di 50 m<sup>2</sup> (che è un'area più di dieci volte inferiore all'area del locale garage inferiore) per disperdere il gas su un volume alto 1 cm. Aumentando l'area di dispersione si abbasserebbe ulteriormente l'altezza del volume occupato dal gas.
- Per gli scopi della presente analisi interessa capire se il gas disperso sul pavimento del locale garage avrebbe potuto scendere al livello inferiore, nel locale motore elica di manovra. Attraverso la struttura del ponte l'ipotesi va scartata ed accettata solo nel lunghissimo tempo per presenza di eventuali luci dovute a mancanza di viti o bulloni. Per altra via, il gas avrebbe potuto raggiungere il locale motore elica di manovra

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

attraversando la porta che è presente sulla paratia di dritta del locale garage attraverso la quale si accede ad un piccolo locale dal quale, mediante scaletta, si scende nel locale motore elica di manovra. Si tratterebbe di un percorso con ostacoli insormontabili per il gas (ipotizzando, inoltre, la porta aperta) in quanto, sotto la porta, è presente una mastra di circa una decina di centimetri e, per quanto esposto sopra, 10 cm rappresenterebbero una altezza superabile solo con enormi quantitativi di gas stratificati in basso.



Immagine 28: porta sul ponte garage con mastra inferiore

- Pur volendo forzare tutte le condizioni sopra descritte e collocando ipoteticamente il gas fuoriuscito dalla bombola all'interno del locale motore elica di manovra, per ottenere i massimi effetti esplosivi indicati al §6.4.2.1 (3,5÷4 m<sup>3</sup> di gas) sarebbero serviti circa 7÷8 kg di gas liquefatto; quindi, una bombola decisamente sproporzionata per il semicabinato Florida 23. Tra l'altro, non risulta che siano stati rilevati residui di bombola.

In chiusura di questa breve analisi, si può affermare che l'ipotesi di una atmosfera esplosiva generata da una fuga di gas liquefatto presente all'interno di uno dei veicoli trasportati ed in particolare del semicabinato presente sull'autocarro rimasto schiacciato nell'evento, sia tecnicamente da escludere.

#### 6.4.3. Analisi sulla disponibilità di sorgenti di innesco efficaci

Una volta che si viene a formare una atmosfera esplosiva è necessaria la presenza di una sorgente efficace per infiammarla. In assenza di innesco la miscela può permanere indefinitamente in fascia di infiammabilità senza però innescarsi. La forma di innesco è costituita, generalmente, da una somministrazione di calore mediante fiamma libera o scintilla con una energia che deve essere superiore alla energia minima di innesco della miscela. Nel caso della miscela aria/gas avviene che l'energia di innesco è variabile con la concentrazione dei gas ed assume il valore minimo in corrispondenza della concentrazione stechiometrica. Per i gas considerati i valori di energia minima di ignizione sono inferiori ad 1 mJ; variando la concentrazione dei gas si innalza l'energia minima di innesco fino a circa 2 mJ (vds


 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	<b>Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince</b>			<b>Codice:</b> <b>ABI</b> <b>2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

Immagine 29). Si tratta, in ogni caso, di energie di attivazione molto basse, basta considerare che una scintilla visibile ha una energia nell'ordine di centinaia di mJ.

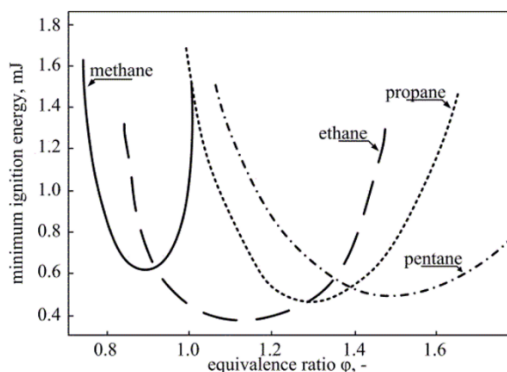


Immagine 29: variazioni dell'energia di innesco al variare della composizione percentuale rispetto all'ossigeno disponibile<sup>11</sup>

Per quanto descritto al precedente § 6.4.2 è verosimile ipotizzare che si sia formato un circuito chiuso formato da ponte di coperta, condotta di ventilazione, locale motore elica di prua e condotta di estrazione con all'interno una miscela infiammabile in movimento. È una situazione in cui è sufficiente un primo innesco in un qualunque punto del circuito affinché si verifichi l'esplosione e le sorgenti di innesco efficace erano ampiamente disponibili, come di seguito descritto.


La prima forma di innesco efficace e che si è certamente verificata è costituita dalle fiamme presenti sul ponte di coperta. Le fiamme possono essere state convogliate lungo la condotta di ventilazione o aver innescato la miscela presente nella condotta. Le fiamme presenti sul ponte di coperta si sono generate a seguito dell'inflammazione dei vapori di greggio e il loro innesco si può ricondurre a:

- scintille di origine meccanica formatesi durante la lacerazione delle lamiere delle due navi;
- autoinnesco di solfuro di ferro presente all'interno della tanca in seguito all'ingresso di aria (ossigeno). Il solfuro di ferro si può formare per reazione tra eventuale ruggine presente nella tanca e l'acido solfidrico normalmente presente insieme al greggio. Il solfuro di ferro è pirofilo e si infiamma spontaneamente in presenza di ossigeno.

Ulteriori occasioni di formazione di sorgenti di innesco efficace si possono rilevare all'interno del locale motore elica di manovra. Infatti, in relazione a quanto scritto ad inizio del § 6.4.2, il locale non era classificato come luogo con pericolo di esplosione per la presenza di sostanze esplodenti e/o atmosfera esplosiva. Ne segue che tutti gli impianti presenti al suo interno erano ordinari ed a livello progettuale non vi era alcuna necessità di considerare precauzioni per evitare la formazione di sorgenti di innesco efficaci. In particolare, l'impianto elettrico nel

<sup>11</sup> The ignition phenomenon of gases, W. Uchman, S. Werle, Journal of Power Technologies, 2018



	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI</b> <b>2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

suo complesso (circuiteria, prese, lampade, motori, scatole di giunzione, morsettiere, ecc. ecc.) non possedeva alcuna caratteristica atta a separare le inevitabili scintille/archi voltaici, che si formano durante il regolare funzionamento, dall'ambiente o a limitare la temperatura superficiale delle sue parti. Una qualsiasi manovra elettrica avrebbe potuto innescare una atmosfera esplosiva presente nel locale. Un possibile esempio (ma solo uno dei tanti ipotizzabili), che costituirebbe una sorgente di innesco altamente efficace per l'innesco di una atmosfera esplosiva, è rappresentato dal motore elica di manovra che potrebbe essere stato avviato a supporto del tentativo di liberare il Moby Prince dall'Agip Abruzzo.

#### 6.4.3.1. Coerenza e compatibilità tra sovrappressione e danni

In questo paragrafo si stima la massima sovrappressione che una miscela aria/gas avrebbe potuto generare all'interno del locale motore elica di manovra e si valuta se sia compatibile con i danni che sono stati prodotti dall'esplosione.

#### 6.4.3.2. Stima della sovrappressione

La sovrappressione massima che ogni miscela aria/gas può generare in un ambiente confinato varia con il rapporto aria/gas e non dipende dal quantitativo assoluto di gas combustibile. Infatti, spostando il rapporto verso il limite inferiore di infiammabilità si verificherà un eccesso di ossigeno che non sarà utilizzato mentre, spostando il rapporto verso il limite superiore di infiammabilità, si avrà un eccesso di combustibile che, non partecipando alla reazione, si porrà come una massa che assorbe calore determinando valori di temperatura e pressione che sono inferiori, o in qualche caso prossimi, a quelli che si ottengono quando il rapporto aria/gas è stechiometrico. Il rapporto aria/gas di una miscela contenente idrocarburi gassosi, quando è in area di infiammabilità, varia di poche unità percentuali intorno al valore di massimo rendimento allo stesso modo la sovrappressione che si viene a generare varia in un campo ristretto intorno ad un valore massimo. Questo valore massimo non può essere superato in quanto, per innalzarlo, servirebbero maggiori prodotti di combustione della miscela e quindi un maggior quantitativo di combustibile ma, se questo fosse disponibile, si altererebbe il rapporto aria/gas e si entrerebbe in una situazione di deficit di ossigeno. Ne consegue che, se si considerasse un qualunque volume confinato, la deflagrazione di una atmosfera esplosiva al suo interno genererebbe sempre valori massimi di sovrappressione molto vicini e si potrebbero verificare variazioni solo leggermente inferiori aumentando o diminuendo il rapporto aria/gas. Ogni gas combustibile, in virtù delle proprie caratteristiche chimiche determinerà uno specifico quantitativo di prodotti di reazione e quindi una ben specifica sovrappressione ambiente. Sono dati tabellati noti in letteratura tecnica. Per la famiglia di gas considerati valgono le indicazioni riportate nella Tabella 6.


	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

Tabella 6 – sovrappressioni in ambiente confinato<sup>12</sup>

	Limite Inferiore Infiammabilità		Rapporto di miglior rendimento		Limite Superiore Infiammabilità	
	Volume (%)	Sovrapressione (bar)	Volume (%)	Sovrapressione (bar)	Volume (%)	Sovrapressione (bar)
<b>butano</b>	1,9	6,06	4	<b>8,48</b>	8,4	6,3
<b>propano</b>	2,1	5,46	4	<b>8,76</b>	9,3	6,94
<b>pentano</b>	1,4	5,7	3	<b>8,63</b>	7,8	7,18
<b>esano</b>	1,2	6,76	2	<b>8,24</b>	7,4	8,34

Dalla tabella emerge che, ai fini della stima della sovrappressione massima che si può generare in un ambiente confinato, è poco rilevante quale sia la composizione percentuale dei diversi gas all'interno della miscela aria/gas. I valori massimi di sovrappressione sono tutti superiori agli 8 bar con una media di circa 8,5 bar. Si aggiunge che, in alcune situazioni, è possibile avere una situazione in cui, mentre si innesca l'atmosfera esplosiva, viene immesso altro gas combustibile nel locale; in questi casi è possibile ottenere un incremento di pressione fino a circa  $0,7 \div 1$  bar; nell'evento in esame è possibile che ciò sia in parte avvenuto. C'è anche da osservare che, in relazione alla zona dove avviene il primo innesco della atmosfera esplosiva, è possibile che la miscela lontana dal punto di innesco e non ancora infiammata venga precompressa, si avrebbe conseguentemente una maggior energia intrinseca per unità di volume e, all'atto della infiammazione, la formazione di sovrappressioni locali transitorie superiori a quelle indicate in Tabella 6.

Per quanto sopra esposto, si può stimare che una miscela aria/gas avrebbe potuto generare all'interno del locale motore elica di manovra una sovrappressione di circa  $8,5 \div 9,5$  bar.


#### 6.4.3.3. Coerenza e Compatibilità con i danni

Come detto al § 6.2 il locale motore elica di manovra ha subito, di fatto, un rigonfiamento. Le deformazioni che si vedono nella documentazione fotografica agli atti, ma anche le misurazioni delle deformazioni effettuate al tempo delle prime indagini, mettono chiaramente in evidenza che la struttura ha risposto ad una sollecitazione pressoria sulle sue superfici periferiche deformandosi verso l'esterno.

È evidente l'effetto di bombatura che ha subito il locale, sia lateralmente che superiormente, con distacco della paratia di prora lungo la saldatura inferiore. Per la regolarità dell'andamento della deformazione, si evince che l'azione di spinta sulle paratie è stata uniforme. Queste hanno risposto alla sollecitazione deformandosi in base alla loro conformazione geometrica e secondo le loro specifiche resistenze meccaniche al momento dell'esplosione.

In particolare, bisogna ricordare che le saldature, in quanto eseguite manualmente, già dalla loro messa in opera potrebbero rispondere diversamente se sollecitate con lo stesso tormento meccanico ed è noto che possono causare infragilimento del materiale se non eseguite

<sup>12</sup> Peak Overpressure for Internal Blast, Kinnert et Al., Naval Weapon Center TP 6089, 1979.

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

correttamente. In più, possono essere sede di degrado differenziato per presenza di vibrazioni, umidità, correnti vaganti, ecc.. La maggior deformazione osservata sulle paratie verticali interne rispetto al cielo del locale ed alla paratia a scafo si giustifica con il diverso spessore e quindi resistenza meccanica delle lamiere interessate. Le lamiere interne avevano uno spessore di 8 mm; la lamiera a cielo uno spessore di 13 mm e la paratia a scafo irrobustita da numerose costole di rinforzo (le deformazioni che si osservano su queste ultime sono da attribuire a forze che si sono generate in seguito alla dilatazione termica dei materiali e non all'esplosione).

Si è verificato il cedimento per deformazione, sfilamento e rottura delle viti e bulloni che mantenevano in sede la boccaporta presente a cielo; la boccaporta non ha subito particolari danni diretti da esplosione.

Mentre il perimetro del locale ha subito il forte danneggiamento che emerge dalla documentazione fotografica, gli arredi interni non hanno subito danni di rilievo. Quanto osservato è coerente con una sovrappressione quasi statica generata da una esplosione di miscela aria/gas. In particolare, una tale sollecitazione giustifica pienamente l'assenza di deformazioni delle strutture bidimensionali presenti nel locale (pareti e portelli degli armadi elettrici, fianchi della condotta d'aria, piano di calpestio del ballatoio, ecc.) in quanto su di esse l'applicazione della sovrappressione sulle superfici opposte ha determinato una situazione di equilibrio. Al contrario, l'applicazione della sovrappressione sulle pareti perimetrali, non essendo controilanciata dalla parte opposta, ha determinato la loro deformazione.

Sotto gli aspetti della compatibilità tra i valori di sovrappressione generabili da una miscela aria/gas e le sollecitazioni pressori necessarie per giustificare i danni rilevati, è disponibile il lavoro effettuato dai tecnici di Mariperman che hanno osservato, misurato e sottoposto a prove di deformazione e rottura viti analoghe a quelle che mantenevano in sede la boccaporta e pannelli assimilabili alle paratie. Hanno stimato che:


- le lamiere si sarebbero deformate plasticamente in condizioni statiche con una pressione massima di circa 6 bar da incrementare del 20÷30 % considerando le condizioni impulsive (circa 7,2÷7,8 bar);
- la boccaporta si sarebbe scardinata, con valutazioni conservative, in un range di sovrappressioni di circa 7÷8,7 bar;
- hanno inoltre stimato la sovrappressione di rottura di tubi al neon simili a quelli imbarcati (circa 10 bar).

Ne discende che i valori di sovrappressione necessari per giustificare i danni osservati e le mancate rotture variano in un intervallo di circa 8÷10 bar.

C'è piena compatibilità con i valori di 8,5÷9,5 bar definiti al § 6.4.3.2.

### 6.5. Considerazioni conclusive

Che ci sia stata una esplosione nel locale motore elica di manovra del Moby Prince è un dato certo. Una esplosione può essere ricondotta a scoppio di sostanze esplodenti o a innesco di

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

una atmosfera esplosiva. I due scenari sono stati analizzati allo scopo di verificarne la plausibilità.

Il caso di esplosione da sostanze esplodenti ha restituito uno scenario non risolto; tutte le grandezze fisiche ed i parametri che lo contraddistinguono, nonché la tipologia ed entità dei danni osservati, non formano un quadro coerente. Portando in campo di coerenza una variabile ce n'è sempre un'altra che perde di verosimiglianza. L'ipotesi di esplosione da sostanze esplodenti non è tecnicamente sostenibile.

Il caso di esplosione da atmosfera esplosiva ha restituito, invece, uno scenario risolto, con tutte le variabili tra loro coerenti e compatibili con i danni osservati. Ci sono valide motivazioni per spiegare presenza e quantità di gas combustibile in grado di formare una miscela esplosiva aria/gas all'interno del locale motore elica di manovra. Le sorgenti di innesco necessarie per innescare la miscela esplosiva erano presenti, diffuse ed energeticamente efficaci. I danni osservati sulle strutture perimetrali del locale motore elica di manovra, ma anche l'assenza di danni a livello di arredi interni, sono coerenti e compatibili con la tipologia di sollecitazione pressoria che si genera in seguito ad una esplosione da atmosfera esplosiva.

Tecnicamente, si sostiene con forza l'ipotesi che l'esplosione avvenuta a bordo del Moby Prince sia avvenuta in seguito all'impatto con l'Agip Abruzzo e per l'ingresso di vapori di greggio nel locale motore elica di manovra. Si ritiene, anche, che non ci sia alcuna correlazione con la presunta presenza di residui di esplosivo rappresentata nel corso della prima indagine da parte della Procura di Livorno. Su questo aspetto si veda il § 7.3 e il § 8 per le valutazioni dello Scrivente.

## 7. OSSERVAZIONI SULLE RELAZIONI STORICHE PRESENTI AGLI ATTI

Si commentano, di seguito, i documenti citati in riferimento evidenziandone i contenuti di maggior interesse e si formulano, ove ritenuto necessario, alcune osservazioni.


### 7.1. Rilievi Tecnici effettuati dalla Polizia Scientifica (citati in rife [2])

La Nave Moby Prince è stata oggetto di sopralluogo da parte della Polizia Scientifica di Livorno all'indomani del sinistro.

Nel corso del sopralluogo sono state osservate nel locale motore elica di manovra e nel sovrastante ponte garage estese deformazioni definite come riconducibili ad effetti deflagratori.

#### Osservazione

Nell'immediatezza dell'evento non ne è seguito un sopralluogo giudiziario. Quando si voglia identificare le cause di una esplosione, è necessario procedere rapidamente per contrastare le caratteristiche di naturale degradabilità nel tempo che hanno i residui di esplosivo; in particolare, in ambienti aggressivi come quello tipico marino e per evitare contaminazioni di e da ambienti vicini. I mesi intercorsi tra l'evento esplosivo ed i sopralluoghi, mirati ad accertare le cause dell'esplosione con prelievo di campioni da

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

sottoporre ad analisi chimiche (7 mesi, 9 mesi e 13 mesi dal giorno dell'esplosione), sono stati chiaramente eccessivi.

Non è noto il motivo per il quale la Procura di Livorno non abbia disposto un sopralluogo giudiziario già all'indomani di un evento così disastroso. Una possibile spiegazione potrebbe risiedere nella constatazione che l'esplosione si era manifestata agli occhi della Polizia Scientifica come deflagrazione da atmosfera esplosiva e solo successivamente potrebbe essersi sviluppata l'ipotesi di un attentato mediante ordigni esplosivi.

## 7.2. Analisi chimiche sui reperti prelevati nel locale motore elica di manovra (Relazioni del CTU Massari citate in rife [3], [5] e [10])

Le analisi chimiche, effettuate sui campioni prelevati nel novembre 1991 nel corso del primo incarico di consulenza, hanno evidenziato la presenza in tracce di sostanze esplodenti. Nella Relazione conclusiva si legge che i quantitativi erano così bassi e in quantità così inferiori ai limiti strumentali che non è stato possibile accertare quali reperti avessero contenuto le tracce di esplosivo.

*Dalle conclusioni della Relazione del 26 febbraio 1992:*


Le tracce di questi esplosivi erano presenti nel locale motore dell'elica di prua, anche se, essendo in quantità inferiori ai limiti strumentali, non è stato possibile accertare i singoli reperti che le contenevano.

All'interno della Relazione citata in rife [21], le risultanze chimiche del 1992 sono state criticate tecnicamente e da considerare non dimostrate.

Nel corso del secondo incarico, nel mese di maggio 1992, come richiesto dai Consulenti delle Parti, sono stati prelevati dal locale motore elica di manovra ulteriori campioni da sottoporre a ricerca di esplosivi. Tuttavia, nel mese di giugno, alla ripresa delle operazioni peritali, il CTU Massari ritenne non utile sottoporre ad analisi chimica gli ulteriori campioni prelevati e, nonostante le insistenze delle Parti, si rifiutò di analizzare i campioni.

### Osservazione

I campioni prelevati nel corso dei primi sopralluoghi, per successive analisi chimiche, sono stati preparati in numero singolo per ogni superficie/oggetto di indagine. La mancata preparazione di campioni ridondanti non ha consentito di ripetere le analisi per confermare e migliorare i risultati ottenuti. Alla luce delle incertezze che hanno caratterizzato i risultati, come riconosciuto dal CTU Massari, sarebbe stato certamente utile e ragionevole

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

procedere all'analisi chimica dei campioni prelevati il 21 maggio 1992 all'interno del locale motore elica di manovra. Anzi, sarebbe stato opportuno incrementare il numero di campioni per migliorare il giudizio complessivo sui risultati raggiunti. Rifiutarsi di sottoporre ad analisi i campioni già raccolti e disponibili, quindi ritenendo bastevoli i risultati incerti ottenuti in fase di prima indagine, corrisponde ad un approccio non scientifico. Alla verità si giunge raccogliendo il maggior numero possibile di informazioni per poi incrociarle, confrontarle e metterle in discussione.

Nel mese di novembre 2021, nell'ambito della presente attività di indagine, i reperti raccolti a maggio 1992 nel locale motore elica di manovra sono stati rinvenuti tal quali nell'archivio della Procura di Livorno nel loro involucro originale. Sono stati quindi avviati ad analisi chimica presso i laboratori del RACIS a Roma. Le analisi sono state condotte nel periodo febbraio-giugno 2022 (vds § 8 per le risultanze delle nuove analisi).

### **7.3. Analisi chimiche sui reperti prelevati in locali vari (Relazione del CTU Massari citata in rife [15])**

Nel corso del secondo incarico di consulenza si è andati a cercare, per comparazione come da quesito del Procuratore, residui di esplosivo in locali della nave diversi dal locale motore elica di manovra. Al termine dell'indagine il CTU Massari ha concluso che i campioni prelevati in diversi punti della nave non hanno evidenziato tracce di esplosivi, in particolare nel locale Cala Nostromo (pag. 21 Relazione in rife [15]).

#### Osservazione

Per un efficace confronto tra i risultati delle analisi chimiche condotte tra i vari locali, sarebbe stato opportuno replicare le analisi utilizzando le stesse metodiche utilizzate sui reperti del locale motore elica di manovra. Questo non è stato fatto e non sono state replicate proprio le analisi chimiche con metodiche di maggior selettività e sensibilità che avevano evidenziato tracce di esplosivo nel locale motore elica di manovra, come da Tabella 7 che segue. Pertanto, si ritiene che le conclusioni cui giunse il CTU Massari non siano sufficienti per esprimere valutazioni di comparazione tra i risultati ottenuti sui campioni prelevati nel locale motore elica di manovra di prua ed i campioni prelevati in altri locali della Nave. Si osserva, inoltre, che la Cala Nostromo, a differenza del locale motore elica di manovra, è stato sede di incendio violento e quindi una comparazione tra i due locali non può non tener conto dell'azione bonificatrice delle fiamme nei confronti di eventuali residui di esplosivo.


 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	


Tabella 7 – Sinottico metodologie di analisi effettuate

Metodologia	Riscontri nella ricerca di esplosivi	
	Campioni raccolti nel locale motore elica di manovra	Campioni raccolti in altri locali della Nave
Analisi colorimetrica	non rilevati esplosivi	non rilevati esplosivi
Cromatografia a strato sottile	rilevato nitrato di ammonio	non rilevati esplosivi
Microscopia SEM-EDS	non rilevati esplosivi	<b>analisi non eseguita</b>
Cromatografia ionica	non rilevati esplosivi	<b>analisi non eseguita</b>
Cromatografia HPLC con rivelatore UV	analisi non eseguita	non rilevati esplosivi
Gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS) - globale	TNT (tritol)	non rilevati esplosivi
Gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS) - mirata	TNT (tritol) DNT (dinitrotoluene) NG (nitroglicerina)	<b>analisi non eseguita</b>
Gascromatografia con rivelatore a cattura di elettroni (GC/ECD)	TNT (tritol)	<b>analisi non eseguita</b>
Gascromatografia con rivelatore Thermal Energy Analyzer (GC/TEA)	TNT (tritol) NG (nitroglicerina) DNT (dinitrotoluene) EGDN (etilenglicoldinitrato) T4 (o RDX)	<b>analisi non eseguita</b>
Cromatografia HPLC con rivelatore Thermal Energy Analyzer (HPLC/TEA)	PETN (pentrite) NG (nitroglicerina) EGDN (etilenglicoldinitrato) T4 (o RDX)	<b>analisi non eseguita</b>

Nell'ambito delle analisi chimiche effettuate nel periodo febbraio-giugno 2022, sui campioni raccolti a maggio 1992 e non analizzati, sono stati analizzati nuovamente e con metodologie all'avanguardia presso i laboratori del Racis Roma, i campioni raccolti nei locali vari del Moby Prince. I campioni esaminati hanno evidenziato la presenza di esplosivi (vds il § 8 per le risultanze delle nuove analisi).

#### 7.4. Valutazioni esplosivistiche in ambito Consulenza Tecnica (Relazione del CTU Massari citata in rife [15])

In relazione al tipo di esplosione, si afferma (pag. 22 e 23 della Relazione in rife [15]):

 <b>AGENZIA BALISTICA ITALIANA</b>	Analisi dell'evento esplosivo verificatosi a bordo della Nave Moby Prince			Codice: <b>ABI 2021-29-A</b>
	Ediz.: 1	Revisione 0	Data 15-07-2022	

4. le deformazioni del locale "bow thrust", formatisi a seguito dell'esplosione, non sono uniformi su tutte le superfici del locale ma vanno in una direzione ben definita. Esse partendo dal punto del ballatoio dove manca la ringhiera si dirigono verso l'alto all'angolo opposto della botola sovrastante.

- 22 -

La non uniformità delle deformazioni si evince chiaramente dall'esame dei disegni del locale (v. allegati n. 38 e n. 39). Queste evidenze escluderebbero già l'esplosione da gas la cui principale caratteristica è quella della uniformità delle deformazioni derivanti da una esplosione di tipo sferoiforme. Inoltre l'esplosione da gas può essere

#### Osservazioni

Le valutazioni esplosivistiche, formulate allo scopo di ricondurre l'evento ad una esplosione da sostanze esplodenti o da atmosfera esplosiva, sono basate su considerazioni erranee e non sono stati forniti elementi tecnici a supporto di quanto concluso. Anzi, la documentazione fotografica e la ricostruzione grafica delle deformazioni del locale contraddicono l'assunta direttività dell'esplosione e la generica localizzazione del centro di esplosione.

In particolare, si evidenzia quanto segue:

- Una esplosione da gas in un ambiente confinato non è di tipo *sferoiforme*, come descritta dal CTU Massari, ma è caratterizzata da un avanzamento del fronte di fiamma che è determinato dalla geometria dello spazio confinato in cui si sposta ed è funzione della posizione del punto di primo innesco.
- È errato pensare che una esplosione da gas determini necessariamente deformazioni uniformi. Si può ipotizzare in condizioni di pressione quasi statica una sollecitazione uniforme su tutte le pareti del locale ma poi, queste, risponderanno secondo le loro specifiche caratteristiche meccaniche resistenziali e geometriche.

Pertanto, la conclusione cui giunge il CTU Massari, basata sulla stretta corrispondenza *esplosione da gas ↔ deformazioni uniformi*, è errata.

- Nella relazione non vi è indicazione di dove sarebbe stata posizionata la carica esplosiva, se poggiata su una superficie orizzontale o verticale oppure appesa e libera su tutti i lati. Vi è solo una indicazione di massima verso la zona del ballatoio dove mancava un tratto di ringhiera. La ringhiera viene ipotizzata divelta dalla esplosione e, come tale, considerata elemento probante di una esplosione causata da una carica