

I FATTORI UMANI NELLE OPERAZIONI DI CARICO/SCARICO DI UNITÀ FLOTTANTI OFF-SHORE

Michele PICCINI[°], Claudia VIVALDA*, Andrea CARPIGNANO[°]

[°] POLITECNICO DI TORINO, Dipartimento di Energetica, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino, Italia

* BUREAU VERITAS, 17 bis Place Des Reflets, La Defense II, Courbevoie, Francia

SOMMARIO

In questo articolo sono presentati due approcci metodologici che permettono di affrontare problemi fondamentali nella gestione delle unità flottanti di produzione, stoccaggio e scarico (Floating Production Storage and Offloading units, FPSO), che rappresentano attualmente uno dei picchi più alti della tecnologia marittima ed off-shore nel campo delle attività estrattive di petrolio e gas naturale. Le strutture metodologiche descritte coinvolgono diverse discipline, come la sicurezza dei sistemi, i fattori umani, le teorie della decisione. Una prima tecnica, che ha raggiunto un definitivo e convalidato grado di sviluppo, permette di affrontare il problema della scelta della configurazione più idonea nelle operazioni di carico/scarico di idrocarburi tra FPSO e nave cisterna, in relazione alle condizioni ambientali, meteorologiche, geografiche e ad aspetti di tipo tecnico/progettuale ed economico/finanziario. Il secondo approccio, focalizzato su aspetti più propriamente umani, è attualmente in fase di definizione e si propone come obiettivo la realizzazione di uno strumento in grado di valutare e modificare procedure operative e di emergenza esistenti e fornire un supporto sistematico per la costruzione e compilazione di nuove procedure.

1. INTRODUZIONE

Il recente sviluppo delle unità flottanti di produzione, stoccaggio e scarico (Floating Production Storage and Offloading units, FPSO) nel campo delle attività estrattive off-shore di petrolio e gas naturale, ha manifestato l'urgenza di approfondite analisi di affidabilità e sicurezza per queste installazioni, che rappresentano attualmente uno dei picchi più alti della tecnologia marittima ed off-shore.

Le attività descritte in questo articolo si inseriscono in un progetto più ampio a cui partecipa l'ente francese Bureau Veritas (Francia), con l'obiettivo di valutare il rischio associato alle attività operative e di gestione delle FPSO, dell'affidabilità dei relativi sistemi fondamentali, della disponibilità dal punto di vista produttivo e, specialmente, dell'impatto ambientale in situazioni incidentali.

In questo ambito è indispensabile citare i seguenti progetti di ricerca ed industriali, che hanno preparato il terreno per lo sviluppo dell'attività descritta:

- il progetto europeo AZURE, co-ordinato da Bouygues Offshore ad annoverante Bureau Veritas tra i partecipanti, che ha lo scopo di progettare una catena flottante completa per l'estrazione di gas naturale liquefatto (GNL). Il complesso è costituito da una FPSO, un terminale flottante di rigassificazione (FSRU) e un braccio di carico e scarico di gas liquefatto installato sulla FPSO e sul FSRU, che viene collegato ad una nave cisterna di supporto (shuttle tankers). Lo sviluppo del progetto è accompagnato da un'analisi di sicurezza ed una particolare attenzione è rivolta alle modalità di trasferimento di idrocarburi tra FPSO/FSRU e nave cisterna di supporto;
- il Joint Industrial Project Risk FPSO, co-ordinato da Bechtel Offshore (USA), che aveva l'obiettivo di dimostrare alle autorità americane (MMS, USCG) l'accettabilità dei sistemi FPSO nel Golfo del Messico, tramite un'analisi di rischio quantitativa (Quantitative Risk Assessment, QRA) delle installazioni e delle relative operazioni (incluse le attività di scarico).

L'approccio descritto nei capitoli successivi rappresenta il tentativo di sviluppare una struttura metodologica sistematica e standardizzabile per affrontare i rischi associati alle operazioni di carico/scarico delle FPSO, tenendo in considerazione tutti gli aspetti rilevanti dal punto di vista della sicurezza operativa:

- *fattori tecnici e sistemici*, relativi in particolar modo alle diverse configurazioni attualmente utilizzate per effettuare le operazioni oggetto dell'analisi (soggette anche a valutazioni di tipo economico);
- *fattori umani*, che le statistiche dimostrano essere di importanza determinante (sia dal punto di vista operativo sia da quello organizzativo) nell'insorgere e nell'evoluzione di sequenze incidentali;
- *fattori ambientali*, cruciali in domini come quelli marittimo e off-shore profondamente legati ad aspetti di tipo geografico e meteorologico.

L'attività di ricerca descritta nella seconda parte di quest'articolo rappresenta la naturale continuazione di uno studio precedente, che ha avuto come scopo la realizzazione di una metodologia in grado di supportare la valutazione e la selezione della configurazione più appropriata di carico/scarico di un sistema FPSO,

mediante l'applicazione di tecniche proprie delle analisi di sicurezza di tipo sistemico ed umano (oggettive), abbinate a giudizi di esperti (soggettivi) [1], [2].

L'obiettivo attualmente perseguito è rappresentato dallo sviluppo di una struttura metodologica che sia orientata a:

- analizzare e valutare le sequenze operative nelle diverse fasi di carico/scarico (in situazioni nominali e/o incidentali e di emergenza), con particolare riferimento ai possibili errori umani, alle operazioni di controllo, alla gestione delle responsabilità e alle attività di "decision making";
- fornire una metodologia sistematica in grado di fornire linee guida per l'analisi e la selezione delle procedure operative più idonee in funzione di parametri di scelta stabiliti, ed eventualmente di supportarne la compilazione nei casi in cui le prescrizioni esistenti non si rivelino adeguate in un'ottica di affidabilità umana e di sicurezza di sistema.

Dopo una breve descrizione dei passi fondamentali e dei risultati del primo studio (per una descrizione più approfondita di queste attività si rimanda ai documenti ed agli articoli citati nei riferimenti bibliografici), gli aspetti fondamentali e le prospettive di sviluppo della nuova attività di ricerca descritta verranno illustrati ed esposti in modo esteso.

2. LE UNITÀ FLOTTANTI DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E SCARICO (FPSO)

2.1. Caratteristiche generali

Le FPSO sono rappresentate da unità galleggianti appositamente progettate oppure navi cisterna convertite, utilizzate per l'estrazione offshore di idrocarburi da campi petroliferi sottomarini di piccole dimensioni e di rapido esaurimento oppure localizzati in corrispondenza di alti fondali: situazioni, quindi, per cui sarebbe economicamente svantaggiosa o addirittura impossibile la costruzione di complessi sistemi estrattivi fissi. Le FPSO sono normalmente dotate di sistemi di ancoraggio e condotte sottomarini, collegati alla nave tramite apposite strutture (submerged turrets) posizionate a prua o nella zona mediana, e da sistemi di processo per la separazione di acqua ed elementi volatili dal petrolio greggio, la compressione del gas, l'additivazione chimica e lo stoccaggio. Il prodotto stoccato temporaneamente nelle taniche dell'unità flottante viene poi trasferito a terra (operazioni di scarico) mediante pipeline sottomarine oppure con navi cisterna che periodicamente provvedono a svuotare le taniche della FPSO. Un esempio di FPSO è mostrato in figura 1.

2.2. Configurazioni operative di carico/scarico e profili di missione

In questa sezione si analizza un po' più in dettaglio il trasferimento di petrolio greggio e gas dal campo off-shore di estrazione verso le raffinerie terminali di terra. Esso viene attualmente effettuato con tre possibili configurazioni operative [3]:

1. *navi cisterna direttamente connesse alle FPSO*: in questo caso le navi cisterna sono utilizzate per scaricare direttamente gli idrocarburi dalle FPSO con frequenze stabilite durante le attività produttive e per trasportarli a terminali appositamente predisposti. A seconda delle posizioni relative assunte dalle due unità durante le operazioni, si possono avere due configurazioni diverse, dette "trasferimento lungobordo" ("alongside transfer", in cui la nave cisterna affianca la FPSO e viene mantenuta in questa posizione tramite appositi cavi di ormeggio; il trasferimento di idrocarburi avviene tramite un tubo flessibile o un braccio meccanico) e "trasferimento in tandem" (in cui la connessione con la nave cisterna viene mantenuta con gomene; il trasferimento di idrocarburi avviene tramite una tubazione flottante o un braccio meccanico);
2. *unità singole di superficie*: queste strutture, ancorate ad una distanza conveniente, ricevono idrocarburi dalle FPSO e sono equipaggiate di terminali di scarico attorno ai quali le navi cisterna possono normalmente posizionarsi secondo la direzione del vento;
3. *condotte sottomarine*: in questo caso la connessione è direttamente realizzata tra la FPSO e i terminali di terra.

A seconda delle condizioni ambientali e delle procedure adottate dai diversi operatori, le navi cisterna possono essere munite di sistemi di posizionamento dinamico (Dynamic Positioning Systems, DP), oppure assistite da rimorchiatori, o da navi di supporto per tutta la durata delle fasi di scarico.

I risultati di dettagliate analisi di rischio effettuate per questo tipo di operazioni, confermati dalle analisi storiche e dalle statistiche, mostrano come i pericoli principali associati alle attività di carico/scarico siano rappresentati da collisioni tra le FPSO e le navi cisterna, e la rottura delle tubazioni utilizzate per il trasferimento degli idrocarburi, con eventuali danni strutturali alle unità e rilasci più o meno ingenti di idrocarburi nell'ambiente.

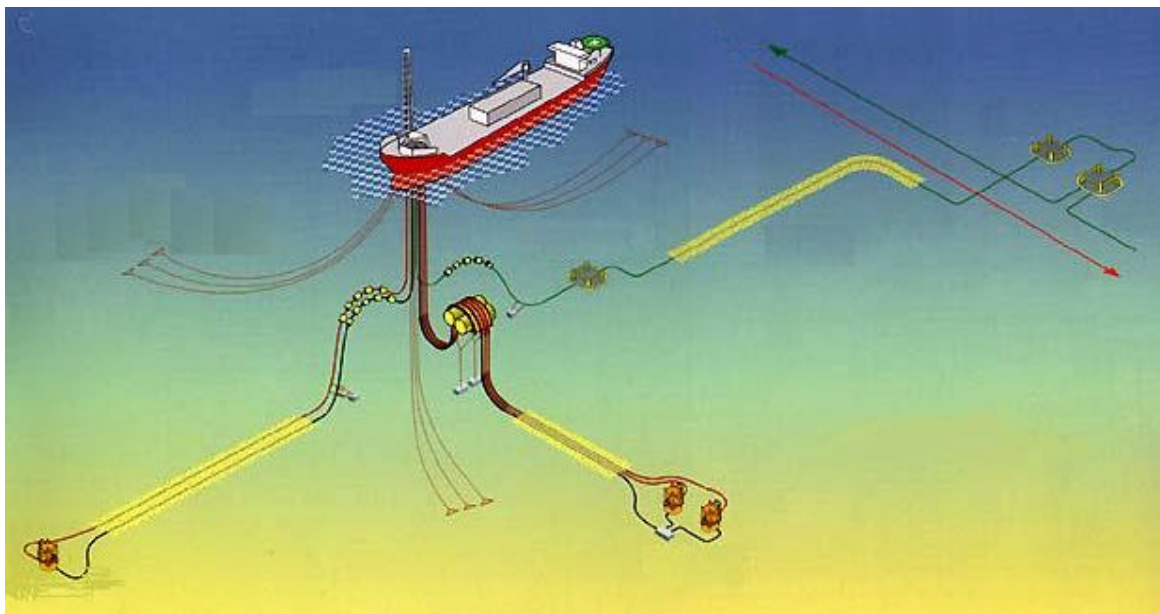


Figura 1. Un'unità flottante di produzione, stoccaggio e scarico

Un esempio di profilo di missione è descritto nel seguito, dove si possono identificare cinque fasi operative nel caso di configurazione con shuttle tanker direttamente connesso alla FPSO:

- *Approccio alla FPSO*: lo shuttle tanker deve avvicinarsi alla FPSO seguendo una traiettoria opposta alla direzione del vento, per evitare la collisione in caso di perdita di controllo. A circa tre miglia di distanza la propulsione viene interrotta procedendo per inerzia fino alla posizione ideale per l'attracco. È necessario preliminarmente stabilire un contatto radio tra le due unità con scambio delle informazioni fondamentali relative alle caratteristiche dei sistemi di ormeggio e scarico.
- *Ancoraggio alla FPSO*: l'attracco viene realizzato con o senza il sussidio di uno o più rimorchiatori. Per mezzo di un cannone viene lanciato sulla FPSO un apposito cavo, utilizzato poi per trainare a bordo le gomene di ormeggio.
- *Connessione della tubazione flessibile*: la sequenza è simile alla precedente, con lancio di un apposito cavo che permette di issare a bordo le tubazioni di trasferimento degli idrocarburi, connesse poi al sistema di scarico della FPSO.
- *Carico dello shuttle tanker*: le fasi iniziali avvengono con portate ridotte al fine di verificare che tutti i sistemi coinvolti nell'operazione funzionino correttamente; le portate vengono quindi elevate ai valori massimi. In parallelo, i serbatoi laterali della FPSO vengono riempiti d'acqua e i corrispondenti sullo shuttle tanker svuotati, in modo da mantenere costante l'assetto delle due unità. Un errore operativo in questa fase può condurre a gravi instabilità delle due unità ed elevate sollecitazioni strutturali. Anche eventuali mutamenti delle condizioni ambientali durante le operazioni possono indurre gravi danni causando talvolta la rottura degli ancoraggi tra le due unità con conseguente rottura della linea di carico altre volte addirittura la collisione dei due scafi.
- *Distacco delle tubazioni di trasferimento e dei cavi di ancoraggio, allontanamento*: le sequenze sono inverse a quelle illustrate nei passi precedenti

Come si può facilmente comprendere, le sequenze operative associate alle operazioni di carico/scarico sono profondamente influenzate da fattori esterni di tipo ambientale ed atmosferico e strettamente vincolate all'intervento diretto degli operatori nello svolgimento delle diverse fasi. La criticità di tali operazioni fa nascere negli operatori e negli enti di certificazione l'esigenza di procedure accurate e disegnate sulla base di un'attenta analisi di rischio che tenga in opportuna considerazione non solo gli aspetti sistemici e ambientali ma anche l'influenza dei fattori umani.

3. ANALISI DI SICUREZZA DELLE OPERAZIONI DI CARICO/SCARICO DI UNITÀ FLOTTANTI DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E SCARICO

3.1. Obiettivo dello studio: l'approccio metodologico generale

Le attività di carico e scarico delle unità FPSO rappresentano un nodo cruciale dal punto di vista della sicurezza di operatori e popolazione, della salvaguardia dell'ambiente e delle prestazioni e disponibilità dell'installazione. In quest'ottica, appare chiaro come un metodo che permetta di discutere le diverse pratiche operative attualmente in uso e di confrontarle, con lo scopo di selezionare la più appropriata per la situazione

Un approccio sistematico e completo che affronti il problema dell'analisi di differenti pratiche operative deve necessariamente includere discipline diverse, come la sicurezza dei sistemi, i fattori umani, la teoria della decisione, ecc. Il confronto e la successiva selezione devono inoltre basarsi su criteri che tengano conto di vari fattori quali localizzazione geografica, condizioni meteorologiche e oceaniche, procedure esistenti, aspetti di sicurezza, elementi tecnici ed economici, caratteristiche delle missioni specifiche e vincoli operazionali.

```

graph TD
    A[PROCESSO DI SELEZIONE] --> B[DEFINIZIONE DEL SISTEMA]
    A --> C[ANALISI DI RISCHIO QUANTITATIVA DELLA CONFIGURAZIONE SELEZIONATA]
    B --> D[DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ]
    D --> E[HAZARD ANALYSIS PRELIMINARE PER CIASCUNA MODALITÀ OPERATIVA]
    E --> F[CONFRONTO DELLE MATRICI DI RISCHIO]
    F --> G[CONFRONTO DEI CRITERI SELETTIVI]
    G --> H[SOLUZIONE OTTIMALE]
    C --> H
    H --> I[RACCOMANDAZIONI]
    I --- J[Interviste e check lists;  
Metodologie per l'analisi di sicurezza e di affidabilità umana;  
Adattamento alla situazione specifica.]
  
```

Soluzione ottimale

PROCESSO DI SELEZIONE

DEFINIZIONE DEL SISTEMA

DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ

HAZARD ANALYSIS PRELIMINARE PER CIASCUNA MODALITÀ OPERATIVA

CONFRONTO DELLE MATRICI DI RISCHIO

CONFRONTO DEI CRITERI SELETTIVI

SOLUZIONE OTTIMALE

ANALISI DI RISCHIO QUANTITATIVA DELLA CONFIGURAZIONE SELEZIONATA

RACCOMANDAZIONI

Interviste e check lists;
Metodologie per l'analisi di sicurezza e di affidabilità umana;
Adattamento alla situazione specifica.

Figura 2. Approccio metodologico generale

La prima fase dell'approccio metodologico è rappresentato dal *processo di selezione*, in cui le differenti configurazioni di scarico vengono confrontate al fine di selezionare la più adatta alle condizioni operative e sistemiche della nuova installazione. Al fine di stabilire una base comune per il confronto, vengono effettuati i passi seguenti:

- La fase selettiva vera e propria assume poi un andamento ricorsivo: il confronto viene effettuato sulla base di appropriati criteri in parte derivati dei risultati forniti da un'analisi di sicurezza (nella forma di Hazard Analysis e matrici di rischio). Valori qualitativi o quantitativi vengono assegnati a ciascun criterio per effettuare la selezione della soluzione ottimale.

- numero di eventi potenziali situati nelle regioni intermedie o critiche delle matrici di rischio;
- potenziale sviluppo di effetti domino;
- esistenza di misure correttive/preventive efficaci;
- possibili fattori aggravanti (localizzazione geografica, condizioni meteorologiche e oceaniche);

- implicazioni tecnologiche;
- fattori economici.

La seconda fase dell'approccio metodologico descritto è rappresentata dall'*analisi di rischio quantitativa* della pratica operativa selezionata. Informazioni fondamentali sono fornite già nelle fasi preliminari, e adattamenti specifici di metodologie di Hazard Analysis permettono l'identificazione degli scenari incidentali più credibili, la cui investigazione può essere effettuata con tecniche quali Event Tree e Fault Tree Analysis.

La struttura degli ET/FT deve essere adattata alla situazione specifica, tenendo in considerazione fattori quali:

- esperienza degli operatori nella pratica operativa selezionata;
- addestramento dell'equipaggio della nave cisterna;
- politica di gestione delle responsabilità tra equipaggio della FPSO e della nave cisterna;
- modalità di regolamentazione del traffico nel sito;
- ruolo delle eventuali navi di supporto;
- caratteristiche dei sistemi di interfaccia uomo-macchina.

Le operazioni che costituiscono questa fase metodologica combinano strutture logiche con valutazioni soggettive che emergono durante le fasi fondamentali di interazione dell'analista con esperti (progettisti ed operatori): in questo modo si tende a costruire un modello sistemico ed operativo il più vicino possibile al comportamento del sistema reale, che sia in grado di fornire risultati attendibili dalla cui interpretazione possano scaturire raccomandazioni valide relative a modifiche e migliorie delle procedure operative e degli aspetti sistemici e progettuali.

4. SVILUPPI E PROSPETTIVE: UNA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE, LA SELEZIONE E LA COSTRUZIONE DI PROCEDURE OPERATIVE E DI EMERGENZA

4.1. Introduzione

Lo sviluppo della metodologia descritta nei capitoli precedenti e la sua successiva applicazione hanno permesso di evidenziare il ruolo chiave dei fattori umani durante le operazioni di carico/scarico di unità FPSO, sia dal punto di vista più propriamente operativo, sia da quello di carattere organizzativo e manageriale. La necessità di affrontare tale questione rappresenta l'impulso verso una prospettiva di ricerca attualmente in corso di definizione, che ha un duplice obiettivo:

1. analizzare e valutare le sequenze operative nelle diverse fasi di carico/scarico (in situazioni nominali e/o incidentali e di emergenza), con particolare riferimento ai possibili errori umani, alle operazioni di controllo, alla gestione delle responsabilità e alle attività di "decision making";
2. fornire una metodologia sistematica in grado di fornire linee guida per l'analisi e la selezione delle procedure operative più idonee in funzione di parametri di scelta stabiliti, ed eventualmente di supportarne la compilazione nei casi in cui le prescrizioni esistenti non si rivelino adeguate in un'ottica di affidabilità umana e di sicurezza di sistema.

Tale metodologia dovrebbe pertanto porre un'enfasi particolare sui fattori umani coinvolti nelle attività operative legate alla gestione delle unità FPSO, ma guardare anche ad aspetti non direttamente tecnici (ad esempio quelli di carattere economico-finanziario).

Tale esigenza nasce osservando il modo in cui tali tematiche vengono normalmente affrontate:

- 1) i fattori umani sono attualmente riconosciuti essere uno dei contributi principali agli eventi incidentali in campo marittimo, ma al momento nel domino marittimo e offshore non esiste ancora una metodologia completamente soddisfacente per tenerli in adeguata considerazione;
- 2) gli aspetti economici sono spesso il riferimento principale nelle scelte operative e progettuali ma attualmente non vengono sistematicamente confrontati con aspetti più strettamente legati alla sicurezza. Nei capitoli successivi saranno illustrate le linee prospettiche di sviluppo di questa metodologia.

4.2. Le basi di una struttura metodologica

Come anticipato nel capitolo precedente, l'idea fondamentale che sta alla base di questo progetto di ricerca è la realizzazione di una metodologia generale e completa che permetta di fornire ad una compagnia petrolifera un supporto nella scelta tra diverse possibili configurazioni e di implementare le più adatte procedure operative e di emergenza oppure, se la scelta di una configurazione è già stata effettuata, nel migliorarne le relative procedure.

L'obiettivo è quindi lo sviluppo di una metodologia sistematica di tipo top-down, che sia insieme analitica e descrittiva, in grado sia di analizzare procedure esistenti ed eventualmente migliorarle, sia di svilupparle completamente nel caso non esistano: tale metodologia dovrebbe inoltre poter essere applicata a installazioni diverse e non avere come presupposto un caso base di sviluppo particolare.

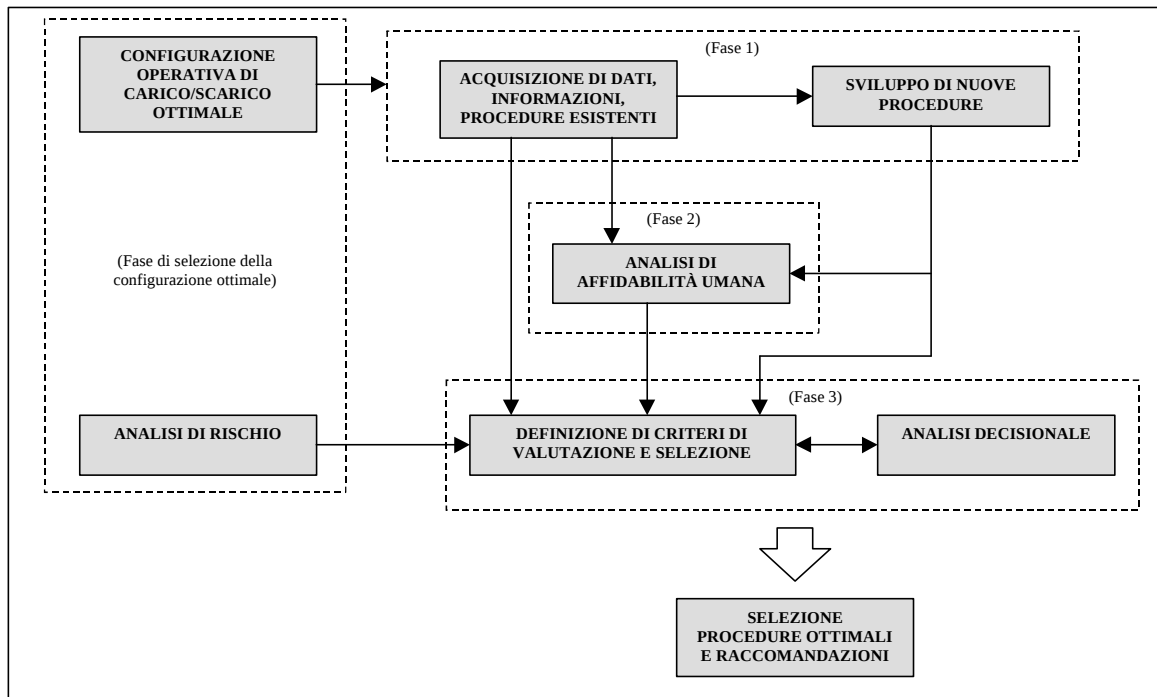


Figura 3. Struttura metodologica generale proposta

I due aspetti fondamentali caratteristici del problema sono rappresentati da:

- *configurazioni di carico/scarico*: diretto (“tandem” o “alongside”), unità singole di superficie oppure condotte sottomarine, e questioni correlate (uso di un rimorchiatore, utilizzo di un sistema di posizionamento dinamico, ecc.);
- *procedure operative e di emergenza*: rappresentano le sequenze operative alle quali gli operatori devono attenersi al fine di effettuare le attività di carico/scarico mantenendo il sistema entro i dovuti requisiti di sicurezza o al fine di riportare il sistema in condizioni di sicurezza in seguito a comportamenti anomali o situazioni incidentali.

Nei capitoli precedenti è stato descritto un valido strumento per risolvere il problema della selezione della configurazione operativa più adatta in base alle esigenze specifiche: i risultati della relativa applicazione risultano pertanto essere l’input fondamentale per una metodologia che si concentri sugli aspetti umani e procedurali, fortemente dipendenti dal tipo di configurazione operativa a cui essi sono associati.

I passi fondamentali della metodologia proposta sono illustrati in figura 3 e descritti nei paragrafi successivi.

4.3. Fase 1: acquisizione di dati, informazioni, procedure esistenti e sviluppo di nuove procedure

Nell’ipotesi che la selezione della configurazione operativa ottimale per la situazione specifica sia già stata effettuata applicando l’approccio descritto in precedenza, questa fase consiste nell’acquisizione delle informazioni necessarie concernenti gli aspetti tecnici propri della configurazione in analisi, le caratteristiche ambientali (meteorologiche, oceaniche, localizzazione geografica, ecc.) e aspetti più propriamente operativi: si farà uso soprattutto di tecniche validate di intervista e di checklist, rivolte in particolar modo a progettisti ed operatori. Una possibile traccia di questionario destinata ad operatori esperti nella gestione di FPSO è mostrata in figura 4, ed evidenzia quelli che debbono essere considerati gli elementi fondamentali che devono necessariamente emergere da questa fase di indagine.

Come evidenziato nella struttura, questa fase ha in realtà un duplice scopo: da un lato elicitarne dai soggetti intervistati il maggior numero di informazioni e dati su questioni tecniche, logistiche, ambientali e dettagli sulle procedure esistenti, dall’altro raggiungere una conoscenza il più approfondita possibile del sistema e delle attività correlate. Questo, al fine di poter eventualmente costruire delle nuove procedure operative e di emergenza, che costituiranno una base di valutazione, confronto e miglioramento del manuale operativo a disposizione degli operatori, oppure il mezzo per definire e proporre procedure operative e di emergenza “ex novo”.

Un supporto fondamentale in questa fase di analisi viene offerto dalle tecniche di Task Analysis, attualmente in fase di valutazione.

1. Background generale:
Qual è la tua esperienza con le unità FPSO?

2. Descrivi le configurazioni fondamentali di FPSO con cui hai lavorato o stai attualmente lavorando:

2.1 Localizzazione

- Area geografica
- Profondità oceanica
- Distanza dalla costa
- Distanza dalle rotte principali
- Intensità del traffico
- Eventuale esistenza di regole per la gestione o il monitoraggio del traffico

2.2 Caratteristiche della nave

- Dimensioni e stazza
- Tipo di nave (FSO, FPS, FPSO, nave cisterna)
- Età della nave
- Livelli di manutenzione
- Caratteristiche strutturali
- Eventuali equipaggiamenti speciali (es. sistema di posizionamento dinamico)
- Caratteristiche dell'eventuale nave cisterna
- Caratteristiche dell'eventuale rimorchiatore
- Presenza di un elicottero
- Caratteristiche del sistema di scarico
- Caratteristiche del sistema di ancoraggio
- Numero annuale di rotazioni di navi di supporto e/o navi cisterna

2.3 Equipaggio

- Numero di componenti dell'equipaggio
- Livello medio di esperienza
- Numero di madrelingua fra i componenti dell'equipaggio
- Numero annuale di rotazioni nei turni
- Presenza eventuale di operatori specializzati

3. Descrivi ciascuna fase delle procedure operative di scarico nel maggior dettaglio possibile:

3.1 Sequenze operative

- Azioni che devono essere eseguite e persone a cui tali azioni sono assegnate
- Persone responsabili del controllo della corretta esecuzione
- Modalità di comunicazione tra FPSO e nave cisterna
- Modalità di comunicazione tra i componenti dell'equipaggio di bordo
- Livello di addestramento

3.2 Rischi potenziali

- Per l'installazione
- Per la nave cisterna
- Per il personale a bordo dei due natanti
- Per l'ambiente
- Per le attività produttive

3.3 Errori potenziali

3.4 Procedure di emergenza disponibili

4. Valuta questi aspetti legati alle procedure e all'esperienza:

- Livello di dettaglio del manuale esistente delle procedure operative a disposizione degli operatori
- Grado di aderenza alle procedure ufficiali prescritte da parte degli operatori
- Personale opinione sulle caratteristiche e sul ruolo di una procedura "ideale"

5. Valuta questi aspetti legati ad incidenti, comportamenti anomali, riduzione del rischio:

- Approssimativamente con che frequenza (ad es. per operazione o per anno) si verificano anomalie o incidenti in relazione alla specifica installazione?
- Descrivi gli incidenti, quasi-incidenti o i comportamenti anomali che hai dovuto affrontare nella tua esperienza. Pensi che si sarebbero potuti evitare? Come?
- Hai avuto l'opportunità di effettuare un rapporto degli eventi ai gestori della compagnia? Tali rapporti vengono conservati per costituire una banca dati per ritorni di esperienza?
- Come potrebbe essere migliorata la sicurezza? Considera ogni aspetto: progetto dell'installazione, procedure operative e di emergenza, mezzi di comunicazione o segnalazione, organizzazione dell'equipaggio, addestramento, assegnazione delle responsabilità.

Figura 4. Traccia per un questionario

4.4. La Task Analysis

È ampiamente riconosciuto come la Task Analysis rappresenti un nodo cruciale durante l'attività di sviluppo di procedure operative: le metodologie sviluppate negli ultimi anni, hanno permesso di mettere a punto tecniche sistematiche per analizzare gli elementi costitutivi e la struttura di una sequenza operativa.

Con il termine *Task Analysis* si indica un insieme di processi e tecniche che permettono di identificare e esaminare i compiti di sequenze operative che devono essere eseguiti da operatori quando interagiscono con i sistemi controllati.

Una ricerca bibliografica [4] ha mostrato come le metodologie maggiormente utilizzate (in quanto caratterizzate da un buon grado di flessibilità e in grado di fornire un elevato livello di completezza e approfondimento) siano le seguenti:

Fase operativa:												
Condizioni atmosferiche:												
Azione n°	Obiettivo	Operatore in carico			Informazioni disponibili	Operazioni richieste	Tempo		Retroazioni e situazione fisica	Comunicazioni	Possibili errori	Possibili deviazioni e recuperi
		Ord.	Esec.	Sup.			Ric.	Disp.				

LEGENDA

Fase operativa: una tra approccio, ancoraggio, connessione, trasferimento degli idrocarburi, sconnessione, disancoraggio, allontanamento

Condizioni atmosferiche: specificare le caratteristiche atmosferiche prese in considerazione

Azione n°: numero progressivo dell'azione

Obiettivo: obiettivo della relativa azione

Operatore in carico: persona responsabile della trasmissione degli ordini (ord.), dell'esecuzione delle operazioni (esec.) e della supervisione (sup.)

Informazioni disponibili: schermi video, allarmi, ecc., disponibili agli operatori

Operazioni richieste: comandi specifici/operazioni correlate all'azione (specificare anche la strumentazione e i sottosistemi coinvolti)

Tempo: tempo richiesto (ric.) e disponibile (disp.) per l'esecuzione dell'operazione

Retroazioni e situazione fisica: ritorni di informazioni da altri operatori o apposita strumentazione (specificare anche lo stato fisico dei sottosistemi coinvolti nell'azione dopo l'esecuzione)

Comunicazioni: scambio di informazioni con altri operatori o strumentazioni esterne all'ambiente in questione

Possibili errori: identificazione di possibili errori associati ai comandi e alle operazioni definite

Possibili deviazioni e recuperi: identificazione delle possibili conseguenze degli errori descritti nella colonna precedente (specificare le eventuali azioni con effetto di recupero)

Figura 5. Modello di task analysis di tipo tabulare

- *analisi gerarchica* (Hierarchical Task Analysis, HTA): una volta identificati gli obiettivi del sistema, i mezzi per raggiungerli sono analizzati con un dettaglio progressivamente crescente, utilizzando strutture prevalentemente ad albero;
- *analisi tabulare* (Tabular Task Analysis, TTA): le azioni richieste sono descritte prendendo in considerazione i molteplici aspetti implicati, che sono riportati in una struttura di tipo tabulare;
- *analisi temporale* (Timeline Analysis, TA): prevede una scomposizione cronologica dei compiti, con particolare riferimento a frequenze e durate, come pure alle interazioni tra i diversi operatori coinvolti.

In figura 5 è mostrato un modello di Tabular Task Analysis appositamente sviluppato per gli scopi di questa indagine, che oltre alle caratteristiche proprie delle tecniche di tipo tabulare presenta anche aspetti tipici di un'analisi temporale e gerarchica, oltre ad indagare elementi fondamentali per la successiva analisi di affidabilità umana. L'applicazione di tale modello, (singolarmente o unitamente alle tecniche precedentemente citate), permette di ricavare e organizzare descrizioni e sequenze di compiti sufficientemente dettagliati e strutturati, e supportare la costruzione e la stesura di procedure operative e di emergenza.

Nel caso di attività particolarmente complesse, comunque, l'output di una Task Analysis simile a quella mostrata è spesso ancora troppo grezzo e non sufficientemente articolato per poter essere utilizzato direttamente a livello applicativo: è necessario procedere ad un ulteriore processo di raffinazione, detto di *decomposizione diretta* [5]. Applicando tale tecnica, un compito è decomposto in un insieme di sotto-compiti, attraverso una semplice elencazione delle attività elementari necessarie per portarlo a termine. Tale processo, che può essere considerato una versione semplificata di analisi di tipo gerarchico, permette di arrivare al livello di dettaglio appropriato per la situazione specifica.

Spesso inoltre le metodologie descritte possono portare a trascurare sotto-compiti funzionalmente isolati o azioni che sono "nascoste" nei termini linguistici e pertanto date per scontate. Tali casi possono essere evidenziati, con questionari del tipo: "quali precondizioni devono essere riscontrate o ottenute prima che tale azione possa essere eseguita?", oppure: "quali condizioni esecutive devono essere mantenute mentre l'azione è in fase di esecuzione?". Nuove azioni eventualmente necessarie possono in questo modo essere rilevate.

L'applicazione delle metodologie descritte, cui in questa fase dello sviluppo della metodologia generale si sta cercando di dare una veste il più sistematica e strutturata possibile, permette di rendere la stesura (o la correzione e l'aggiornamento) delle procedure operative e di emergenza un processo completo e aderente alla realtà operativa oggetto dell'analisi.

4.5. Fase 2: analisi di affidabilità umana

Questo passo della struttura metodologica ha una particolare valenza, perché rappresenta il nucleo in cui gli aspetti di tipo più squisitamente umani vengono valutati, sia da un punto di vista qualitativo (con una approfondita identificazione e categorizzazione degli errori umani associati alle diverse fasi operative) sia da un punto di vista quantitativo (con una analisi di affidabilità umana in grado di fornire valori di probabilità associati all'eventuale fallimento nell'esecuzione delle varie sequenze operative e di emergenza).

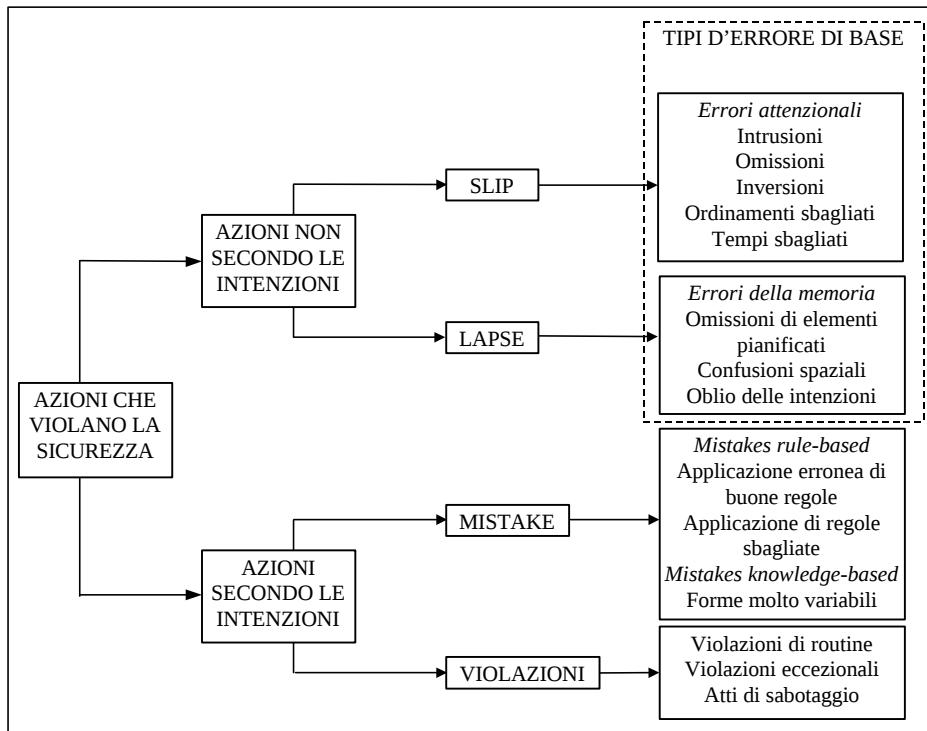


Figura 6. Tassonomia di riferimento (da [6])

L'*analisi degli errori umani* (Human Error Analysis, HEA) avrà come punto di partenza i risultati ottenuti dalle fasi precedenti (check-list, questionari, task analysis) che saranno integrati dall'analista con l'applicazione della propria esperienza sia nella fase di identificazione vera e propria delle possibili modalità di errore, sia nella fase di classificazione degli stessi. Al fine di poter categorizzare gli errori identificati in modo completo e strutturato ci si dovrà avvalere, in questa fase, di una adeguata tassonomia (cioè di un insieme di regole e categorie che permettano di raccogliere e classificare dati).

Numerose tassonomie sono state sviluppate nell'ambito dello sviluppo di modelli di comportamento umano. Per quanto riguarda la metodologia attuale, si è deciso di utilizzare una metodologia "ingegneristica", trascurando modelli di tipo cognitivo più approfonditi e dettagliati ma troppo dispendiosi in termini di tempo di applicazione e di difficile integrazione in analisi probabilistiche sistemiche. La tassonomia di riferimento della metodologia proposta [6] è mostrata in figura 6.

Secondo questa classificazione gli errori comportano due tipi di deviazioni: quelle, non desiderate, delle azioni dalle intenzioni ("slips" e "lapses") e quelle delle azioni pianificate da un qualche percorso adeguato che conduce all'obiettivo prefissato ("mistakes"). La differenza risiede perciò nell'intenzione, corretta nel primo caso, errata nel secondo. La differenza tra errori e violazioni, si basa invece sul concetto di "intenzionalità". È infatti necessario tenere conto però del fatto che, in massima parte, gli esseri umani non pianificano ed eseguono le loro azioni in condizioni di isolamento, bensì in un ambiente sociale regolato. Mentre è possibile definire gli errori in relazione ai processi cognitivi individuali, le violazioni possono essere descritte solo in riferimento ad un contesto sociale all'interno del quale il comportamento è regolato da procedure operative, codici stabiliti dalla pratica, regole e simili. Per i nostri scopi, le violazioni possono essere definite come delle deviazioni deliberate (commesse tuttavia in buona fede e senza intenti di sabotaggio) da quelle pratiche che sono ritenute necessarie per mantenere un sistema potenzialmente rischioso in condizioni operative di sicurezza.

Una volta effettuata l'identificazione e la classificazione dei possibili errori relativi alle sequenze operative analizzate, si passerà all'*analisi di affidabilità umana* vera e propria (Human Reliability Analysis, HRA). Lo strumento che sembra adattarsi meglio a questo scopo è THERP (Technique for Human Error Rate Prediction, [7]). Si tratta di un metodo ibrido in quanto gli errori umani vengono modellizzati usando alberi di probabilità e modelli di dipendenza combinati con considerazioni sui fattori di influenza delle prestazioni (PSFs, Performance Shaping Factors).

Un'operazione di adeguamento dovrà essere effettuata per quanto riguarda la tassonomia di riferimento, che dovrà essere collegata ed adattata a quella propria di THERP: su tale classificazione, mostrata in figura 7, si basa la banca dati del capitolo 20 del manuale d'uso, cui la tecnica è fortemente legata, nel quale sono contenuti i dati derivati da un insieme di informazioni ottenuto per via sperimentale (specialmente simulatori) e da giudizi di esperti.

ERRORI DI OMISSIONE: (1) Omissione dell'intera procedura. (2) Omissione di un passo della procedura. ERRORI DI COMMISSIONE: (1) Errore di selezione: (a) selezione di un controllo errato; (b) inappropriata organizzazione del controllo (errori di inversione, perdita di connessioni, ecc.); (c) formulazione di ordini o informazioni errate. (2) Errori di sequenza. (3) Errori temporali: (a) anticipo; (b) ritardo. (4) Errori qualitativi: (a) eccesso; (b) insufficienza.

Figura 7. Tassonomia di THERP (da [7])

Questa notevole banca dati, accoppiata al fatto che il metodo è fortemente orientato all'analisi ingegneristica degli errori e che è stato il primo ad essere utilizzato estensivamente in maniera completa, fanno sì che THERP sia particolarmente adatto per le analisi di affidabilità con fattori umani.

Il metodo, nato prevalentemente in ambito nucleare è stato con l'andare del tempo esteso ad altri domini, come quello aeronautico o termoelettrico [8], e la sua applicazione anche in campo marittimo off-shore, previo uno specifico adattamento all'ambito specifico, non sembra presentare difficoltà. In figura 8 è mostrato un tipico albero degli eventi di tipo umano.

In definitiva, questa fase si traduce sostanzialmente in una analisi di affidabilità umana delle procedure ottenute, tenendo in considerazione gli input derivanti da differenti condizioni meteorologiche, oceaniche e ambientali, caratteristiche proprie della specifica localizzazione geografica, esperienza degli operatori e altri fattori di influenza; questo al fine di fornire un ampio spettro di possibilità analizzate in modo qualitativo e quantitativo che andranno a costituire uno dei gruppi di input della successiva fase di valutazione e selezione.

In particolare l'analisi di affidabilità umana permetterà di ottenere, per ogni procedura analizzata, una stima della probabilità di insuccesso e un'indicazione delle operazioni critiche in essa contenute con riferimento a problemi connessi alla strumentazione disponibile, caratteristiche organizzative e relazionali dello staff operativo e impatto dei fattori esterni quali ad esempio le condizioni ambientali.

4.6. Fase 3: definizione di criteri di valutazione e selezione, analisi decisionale

La fase finale della struttura metodologica è caratterizzata da input provenienti da tutte le fasi precedenti:

- Dati e informazioni specifiche acquisite dai dati di progetto del campo nonché dai questionari compilati nella fase 1; tra queste le caratteristiche tecniche dell'unità, caratterizzazione ambientale del campo, composizione ed esperienza dell'equipaggio, organizzazione delle attività a bordo e gestione delle responsabilità, consapevolezza dei rischi presenti, approccio alla gestione dell'emergenza.
- Procedure, check lists esistenti e/o sviluppate nella fase 1.
- Risultati qualitativi e quantitativi delle analisi di affidabilità umana (fase 2); identificazione delle fasi più critiche delle procedure operative per frequenza di accadimento o entità delle conseguenze sulla base dell'analisi THERP.
- Dati e informazioni provenienti dall'analisi di rischio effettuata durante la selezione della configurazione operativa; identificazione dei modi di guasto in grado di compromettere le operazioni, studio dell'influenza dei fattori ambientali, ricaduta sulle operazioni di una inadeguata manutenzione del sistema ed infine stima delle conseguenze di incidente orientata sia della valutazione di eventuali danni che a fornire indicazione sulla dislocazione e protezione degli operatori.

L'obiettivo è di definire, come nel caso della metodologia descritta nel capitolo 2, degli opportuni criteri di valutazione e selezione ai quali applicare tecniche di analisi decisionale adatte ed accurate ([9], [10], [11]), in grado di tenere in adeguata considerazione gli aspetti di tipo umano, sistemico, tecnico/progettuale, ambientale ed economico/finanziario, e di valutarne in modo adeguato le dipendenze in modo tale da supportare gli operatori nelle scelte finali.

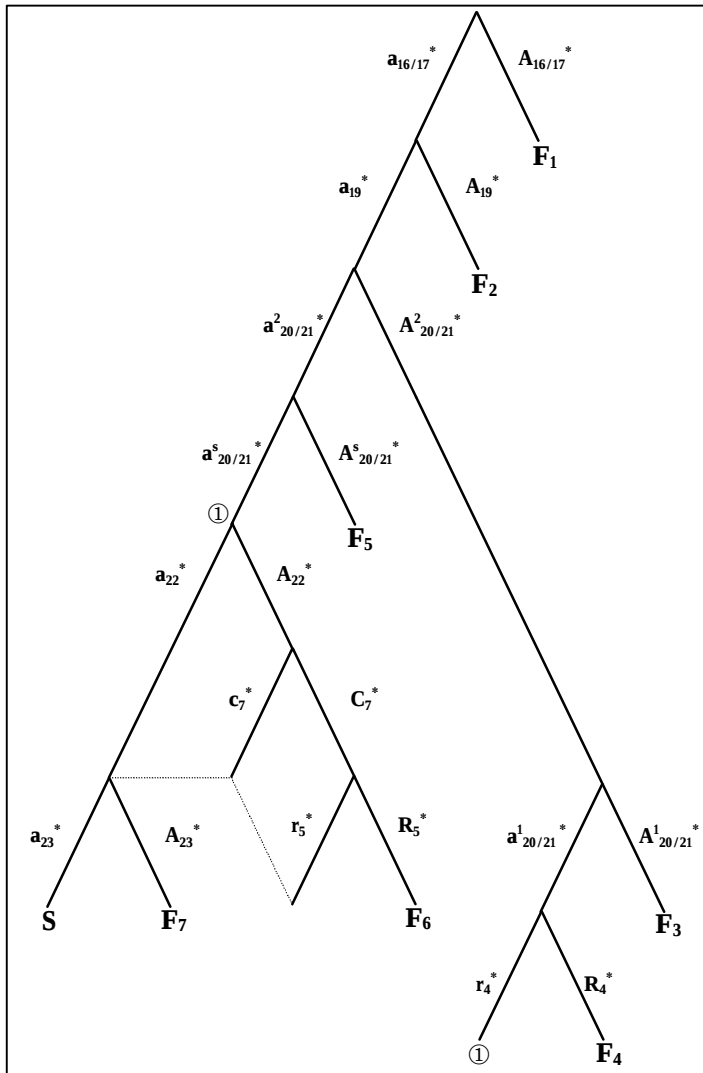


Figura 8. Albero THERP di eventi di tipo umano (da [7])

La sfida attuale è di adattare le esistenti metodologie di analisi decisionale al fine di consentirne un'applicazione diretta da parte dell'operatore, e permettere di ottenere indicazioni utili relativamente a modifiche delle procedure esistenti o alla definizione di nuove sequenze operative più adatte alle diverse situazioni specifiche.

5. CONCLUSIONI

In questo articolo sono state presentate due strutture metodologiche che permettono di affrontare problemi fondamentali nella gestione delle unità flottanti di produzione, stoccaggio e scarico (Floating Production Storage and Offloading units, FPSO). Entrambe le attività nascono dall'esigenza di proporre approcci sistematici e standardizzabili per valutare i rischi associati alle operazioni di carico/scarico delle FPSO, tenendo in considerazione tutti gli aspetti rilevanti dal punto di vista della sicurezza operativa:

- *fattori tecnici e sistemici*, relativi in particolar modo alle diverse configurazioni attualmente utilizzate per effettuare le operazioni oggetto dell'analisi (soggette anche a valutazioni di tipo economico);
- *fattori umani*, fondamentali come illustrato dalle statistiche che dimostrano l'importanza determinante del contributo umano (sia dal punto di vista operativo sia da quello organizzativo) nell'innescare e nell'evoluzione di sequenze incidentali;
- *fattori ambientali*, cruciali in domini come quelli marittimo e off-shore profondamente legati ad aspetti di tipo geografico e meteorologico.

Una prima metodologia, il cui sviluppo è ormai stato completato e testato in un caso studio, ha avuto come scopo la realizzazione di una metodologia in grado di supportare la valutazione e la selezione della configurazione più appropriata di carico/scarico di un sistema FPSO, mediante l'applicazione di tecniche

proprie delle analisi di sicurezza di tipo sistemico ed umano, abbinate a giudizi di tipo soggettivo e decisionale.

È stato poi illustrato un nuovo progetto di ricerca, attualmente in fase di studio e definizione, che ha come scopo una struttura metodologica orientata a:

- analizzare e valutare le sequenze operative nelle diverse fasi di carico/scarico (in situazioni nominali e/o incidentali e di emergenza), con particolare riferimento ai possibili errori umani, alle operazioni di controllo, alla gestione delle responsabilità e alle attività di “decision making”;
- fornire una metodologia sistematica in grado di fornire linee guida per l’analisi e la selezione delle procedure operative più idonee in funzione di parametri di scelta stabiliti, ed eventualmente di supportarne la compilazione nei casi in cui le prescrizioni esistenti non si rivelino adeguate in un’ottica di affidabilità umana e di sicurezza di sistema.

Gli sviluppi dell’approccio globale sono orientati sia a definire in modo dettagliato i contributi delle varie discipline coinvolte, sia a trovare il giusto equilibrio tra le varie tecniche al fine di ottenere uno strumento che sia al tempo stesso sistematico, di semplice utilizzazione e sostanzialmente di carattere generale nel dominio off-shore delle unità FPSO.

L’attività illustrata appare molto promettente ed in grado di sistematizzare attività di per se soggette a grande variabilità dovuta alla diversa esperienza operativa degli equipaggi e alla forte influenza che su di esse presentano le condizioni meteorologiche nonché la localizzazione geografica di operazione.

6. RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare Marc Lassagne, ricercatore presso la sede di Houston di Bureau Veritas, per il prezioso e competente supporto all’attività sugli aspetti legati alle metodologie di analisi decisionale.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Vivalda, A. Macdonald, M. Cain, R. Aggarwal, O. Lie, H. Sharkis, Collision risk associated with FPSOs in deep water Gulf of Mexico, International Conference OTC 99, Houston, Maggio (1999)
- [2] C. Vivalda, F. Merlier, Safety assessment of loading/offloading activities for Floating Production Storage and Offloading Units, European Safety and Reliability Conference, Edimburgo, Scozia, UK, Maggio (2000)
- [3] C. Vivalda, F. Merlier, Aid for the selection of safer loading/offloading practices for Floating Production Storage and Offloading Units, ERA Technology Annual Conference on Offshore Installations, Londra, UK, Dicembre (1998)
- [4] B. Kirwan, L.K. Ainsworth, A guide to task analysis, Taylor & Francis, Londra (1992)
- [5] T. Paulsen, R. Rosness, G.A. Vatn, Development of work procedures: integrating task analysis and the writing process, European Safety and Reliability Conference, Trondheim, Norvegia, Giugno (1998)
- [6] J. Reason, Human error, Cambridge university Press, Cambridge (1990).
- [7] A.D Swain, H.E. Guttmann, Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications, NUREG/CR-1278, SAND 80-0200 RX, AN, Final Report (1983)
- [8] A. Carpignano, M. Piccini, P.C. Cacciabue, Human reliability for the safety assessment of a thermoelectric power plant, European Safety and Reliability Conference, Trondheim, Norvegia, Giugno (1998)
- [9] F. Beaudouin, B. Munier, Y. Serquin, Multiattributed utility theory: towards a more general framework, 12th ESReDA Seminar on Decision Analysis and Its Applications in Safety and Reliability, pp. 1-14 (1997)
- [10] W. Edwards (ed.), Utility theories: measurements and applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA (1992)
- [11] R.L. Keeney, H. Raiffa, Decision with multiple objectives: preferences and value trade offs, Cambridge University Press (1993)