

STUDIO DELLA SICUREZZA DI UNA STAZIONE DI RIFORNIMENTO DI IDROGENO PER AUTOTRAZIONE MEDIANTE L'USO INTEGRATO DI TECNICHE DI ANALISI DI RISCHIO

Casamirra, M., Castiglia, F., Giardina, M., Lombardo, C.
Dipartimento di Ingegneria Nucleare - Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italia

SOMMARIO

Il continuo aumento della popolazione mondiale e la naturale aspirazione dei paesi in via di sviluppo a raggiungere standard economici e di qualità della vita vicini a quelli dei paesi industrializzati sono le principali cause di una consistente crescita della domanda di energia e del contemporaneo aumento delle emissioni di gas serra, prima fra tutte quella di anidride carbonica. Soddisfare tale domanda, mantenendo questi gas a livelli non pericolosi per l'ambiente e riducendo così il rischio di cambiamenti climatici nel medio termine (oltre che garantire l'approvvigionamento energetico) rappresenta una delle sfide tecnologiche del nuovo secolo. Com'è noto, un tale scenario potrebbe contemplare un uso esteso di un vettore energetico, quale l'idrogeno, producibile da più fonti energetiche primarie, tra loro intercambiabili e disponibili su larga scala, caratterizzato da impatto ambientale, sia locale che globale, quasi nullo e distribuibile preferenzialmente attraverso una rete. L'accettabilità sociale di tale tecnologia fortemente innovativa richiede che gli impianti di produzione, immagazzinamento, distribuzione dell'idrogeno siano oggetto di approfondite analisi di rischio ma anche di una attenta valutazione delle incertezze a questo rischio associate. Nel presente lavoro ci si propone di affrontare alcune delle problematiche legate agli aspetti di sicurezza riguardanti l'impiego del vettore energetico idrogeno in una stazione di rifornimento per autotrazione, evidenziando anche le correlate caratteristiche di incertezza e fissando in particolare l'attenzione sulle fenomenologie che interessano la compressione, lo stoccaggio e la erogazione di tale vettore.

1.0 INTRODUZIONE

Soddisfare la continua crescita della domanda di energia, mantenendo i gas serra a livelli non pericolosi per l'ambiente, riducendo così il rischio di cambiamenti climatici nel medio termine, rappresenta una delle sfide tecnologiche del nuovo secolo.

Com'è noto, un tale scenario potrebbe contemplare un uso esteso di un vettore energetico, quale l'idrogeno, producibile da più fonti energetiche primarie, tra loro intercambiabili e disponibili su larga scala, caratterizzato da impatto ambientale, sia locale che globale, quasi nullo e distribuibile preferenzialmente attraverso una rete.

Il vettore idrogeno è in grado di soddisfare i requisiti sopra indicati: infatti esso è un gas che brucia in aria dando come unico prodotto di reazione acqua; può essere prodotto sia da fonti fossili che rinnovabili, sia da fonte nucleare; può essere distribuito in rete abbastanza agevolmente compatibilmente con gli usi finali e con lo sviluppo delle tecnologie di trasporto e di stoccaggio; infine, può essere impiegato in diverse applicazioni (produzione di energia elettrica centralizzata o distribuita, generazione di calore, trazione) con un impatto locale abbastanza ridotto.

Lo sviluppo delle tecnologie basate sull'idrogeno comporta mutamenti sostanziali nel sistema energetico, dalle fonti utilizzate alle tecnologie d'uso finale; richiede tempi lunghi e investimenti ingenti per lo sviluppo delle infrastrutture necessarie e per la sua graduale introduzione nel mercato e può essere attuato solo con un forte sostegno pubblico e nell'ambito di ampie collaborazioni internazionali.

L'applicazione di tecnologie innovative basate sull'uso dell'idrogeno, ad esempio nel settore dei trasporti, ha spinto ad estendere le attività di ricerca sull'uso di questo gas anche per l'impiego nel campo dell'autotrazione terrestre su veicoli sia leggeri che pesanti (autovetture, autobus, autoveicoli da trasporto e trazione).

Per contro, l'utilizzo dell'idrogeno pone una molteplicità di problemi di ordine tecnico legati alle sue caratteristiche fisiche. La sua scarsa conducibilità elettrica, per cui può accumulare cariche elettrostatiche, che possono dar luogo a scintille in grado di innescare (con la adatta concentrazione) la combustione, il fatto che esso bruci con una fiamma pressochè invisibile in luce diurna (ciò può rendere non immediatamente identificabile un incendio), ed ancora l'effetto di infragilimento ("Embrittlement") dei materiali con cui viene

in contatto, se questi non sono scelti con cura, fa sì che l'impiego di questo gas richieda particolari e stringenti misure di sicurezza durante le fasi della produzione, del trasporto, dello stoccaggio e dell'utilizzazione.

L'accettabilità sociale di una tecnologia fortemente innovativa come quella sopra descritta richiede sicuramente che gli impianti di produzione, immagazzinamento, distribuzione siano oggetto di approfondite analisi di rischio ma anche di una attenta valutazione delle incertezze a questo rischio associate.

Nel presente lavoro ci si propone di affrontare problematiche legate agli aspetti di sicurezza riguardanti l'impiego del vettore energetico idrogeno in una stazione di rifornimento per autotrazione, ponendo in evidenza anche le correlate caratteristiche di incertezza, in particolare fissando l'attenzione sulle fenomenologie che interessano la compressione, lo stoccaggio e la erogazione di tale vettore.

A tale scopo ci si è serviti di una applicazione integrata delle consuete tecniche di analisi di rischio in modo da superare le difficoltà legate all'incapacità di ciascuna di esse di fornire una valutazione completa ed esaustiva della sicurezza di un sistema, se utilizzate singolarmente.

Si è proceduto, quindi, ad individuare i modi di guasto dei componenti dell'impianto, delle loro cause e dei loro effetti tramite l'impiego di analisi di tipo FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), nonché all'individuazione degli eventi incidentali che possono svolgersi in tali sistemi, ricorrendo ad analisi di processo di tipo HAZOP (HAZard OPERability Analysis).

La probabilità di accadimento degli eventi indesiderati (TOP EVENTS) individuati mediante l'uso di quest'ultimo tipo di analisi, è stata valutata, sia in modo classico che sfumato, utilizzando codici di calcolo come lo STARS [1] ed il TREEZZY (TREE fuZZY) [2], sviluppato dal nostro gruppo di ricerca.

2.0 DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO DI RIFERIMENTO

L'impianto preso a riferimento è costituito da una stazione di rifornimento di tipo CGH2, cioè idrogeno prodotto in "situ" e stoccato sotto forma di gas compresso ad un'unica pressione pari a 350 bar.

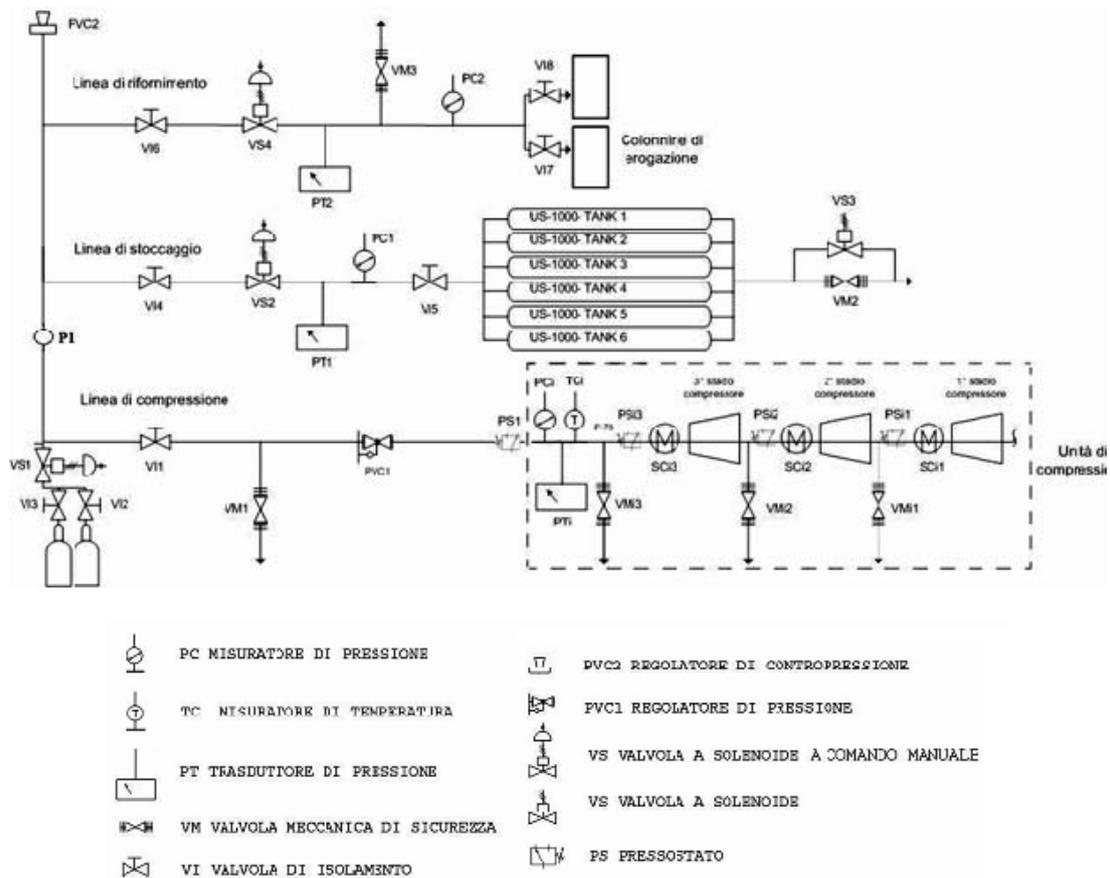


Figura. 1: Particolare dell'area di compressione di stoccaggio e di distribuzione dell'idrogeno.

In Fig.1 viene riportato lo schema d'impianto oggetto di studio, in esso possono individuarsi i seguenti sottosistemi:

- linea di compressione: è il sottosistema costituito da un compressore a tre stadi e dalla linea su cui sono posizionati i componenti di controllo e sicurezza della linea stessa;
- linea di stoccaggio: è il sottosistema costituito dai vessel di stoccaggio dell'idrogeno e dalla linea su cui sono posizionati i componenti di controllo e sicurezza della linea stessa;
- linea di rifornimento: è il sottosistema costituito dalle colonnine di erogazione e dalla linea su cui sono posizionati i componenti di controllo e sicurezza della linea stessa.

In uscita dal compressore è prevista la presenza di una valvola di regolazione della pressione PVC1 e di un pressostato PS1 che comanda lo spegnimento del compressore, una volta raggiunta la pressione di esercizio. Sempre in uscita dall'ultimo stadio di compressione è collocato il misuratore di pressione, PCi. Il segnale fornito da PCi, convertito in segnale elettrico mediante il trasduttore di pressione PTi, viene inviato ad un'unità PLC (Programmable Logic Controller) che regola l'intervento dei dispositivi durante l'esecuzione delle operazioni sia di normali esercizio che di emergenza. Inoltre, esso provvede a spegnere il compressore nel caso in cui, durante le normali operazione di riempimento dei vessel di stoccaggio, si riscontri assenza di segnale proveniente dalla linea di stoccaggio.

Per quanto riguarda l'unità di stoccaggio, troviamo un misuratore di pressione (PC1) il cui segnale, anche in questo caso, viene convertito in segnale elettrico mediante un trasduttore di pressione (PT1) e inviato al PLC, che è in grado di elaborarlo e provvedere all'apertura o chiusura della valvola a solenoide VS2. In caso di funzionamento anomalo, se necessario, il PLC provvede anche allo spegnimento del compressore e all'apertura della valvola a solenoide VS3 del sistema di sfiato dell'unità di stoccaggio.

Infine, anche nella linea di rifornimento il controllo della valvola a solenoide VS4 è affidato all'unità PLC, che provvede alla sua apertura o chiusura durante l'operazione di rifornimento. Quando l'autoveicolo è collegato all'erogatore, il gestore apre la valvola posta sulla pistola e mette in comunicazione lo stoccaggio con il serbatoio dell'automezzo. Il rifornimento inizia per travaso dalle bombole dell'unità di stoccaggio e viene completato quando la pressione nel serbatoio del veicolo raggiunge i 300 bar. Questa pressione viene controllata da un pressostato con relativo trasduttore di pressione posto all'interno dell'erogatore.

I sistemi di protezione di cui è dotato l'impianto in esame sono costituiti da:

- rivelatori di idrogeno distribuiti in vari punti dell'impianto necessari a rivelare la presenza di idrogeno nell'ambiente;
- PLC capace di intervenire a favore della sicurezza dell'impianto, se allertato dai sensori di idrogeno o da eventuali segnali anomali provenienti dalla strumentazione di misura presente sulle linee, spegnendo il compressore; isolando le linee in pressione e se necessario, facendo intervenire le linee di sfiato di emergenza;
- allarme sonoro messo in funzione sulla base di segnale proveniente dai rivelatori di idrogeno; necessario a segnalare all'operatore la necessità di intervenire manualmente spegnendo il compressore ed isolando le linee;
- intervento dell'uomo per lo spegnimento del compressore e l'isolamento delle linee.

3.0 ANALISI DI RISCHIO DELL' IMPIANTO

Come precedentemente accennato, in questo lavoro vengono presentati i risultati ottenuti dall'applicazione delle tecniche FMEA, HAZOP ed FTA alla stazione di rifornimento di idrogeno sopra descritta. L'applicazione dell'analisi FMEA ha comportato la compilazione di più di 50 schede, mentre per quanto riguarda l'analisi Hazop sono state compilate solamente due schede ed infine è stata valutata la probabilità di accadimento dei due Top Events (TE), chiamati rispettivamente perdita d'idrogeno nell'ambiente (TE1) e

sovrapressione di uno dei vessel di stoccaggio (TE2), individuati tramite l'ultima delle analisi sopra menzionate.

A causa del numero veramente elevato di schede compilate, per ragione di brevità, nel seguito vengono riportate solo alcune delle analisi più significative.

3.1 ANALISI FMEA

Com'è noto l'analisi dei modi e degli effetti del guasto (FMEA) è un metodo qualitativo di analisi di sicurezza di tipo bottom-up, che è particolarmente adatto per lo studio dei guasti dei materiali, dei componenti e degli apparati e dei loro effetti sul livello funzionale del sistema. La iterazione di questo passo (identificazione di uno dei modi di guasto alla volta e valutazione dell'effetto sul sistema) può portare alla identificazione di tutti i modi di guasto del sistema. Inoltre tale tipo di analisi fa uso degli indici occurrence, probability e detectability utilizzati per ottenere il Risk Priority Number (RPN) [3], un indicatore critico che consente di classificare i modi di guasto in livelli e che risulta compreso tra 1 e 1000.

Di seguito viene riportata solo la scheda FMEA relativa ai modi di guasto della valvola meccanica di isolamento V15 che collega la linea di stoccaggio con quella di compressione e che risulta posizionata direttamente all'ingresso dei vessel di stoccaggio (vedi Tabella1).

I tassi di guasto usati nella compilazione delle schede FMEA sono stati desunti da [4] e [5].

V15 VALVOLA DI ISOLAMENTO – SCHEDA 1

N°	Modi di guasto	Fase operativa	Effetti locali	Effetti sull'impianto	Metodi di rilevazione	Misure per mitigare	Osservazioni	Tasso di guasto λ (y^{-1})	OCC	SEV	DET	RPN
Unità : Sistema di rifornimento. Processo : Operazione di rifornimento dei veicoli Componente : V15 VALVOLA DI ISOLAMENTO È posizionata all'ingresso dell'unità di stoccaggio. Descrizione : Sistema di isolamento della linea di stoccaggio. Le valvole sono aperte durante l'operazione di rifornimento.												
1	Perdita verso l'esterno	Aperta	Fuga di gas con pericolo di accumulo di idrogeno	Diminuzione della pressione sulla linea di stoccaggio e di rifornimento & accumulo di idrogeno nell'ambiente.	I rilevatori di gas segnalano la presenza di idrogeno.	Viene interrotto il rifornimento. Il PLC chiude la valvola a solenoide dell'unità di stoccaggio (VS2) e la valvola a solenoide della linea di rifornimento (VS4).	La condizione di guasto è particolarmente pericolosa in quando non si può arrestare il flusso di idrogeno proveniente dall'unità di stoccaggio.	$1,75 \cdot 10^{-3}$	1	8 (II)	3	24

Tabella 1: Scheda FMEA della valvola meccanica di isolamento V15.

Fra i modi di guasto di questo componente, quello riportato in Tabella 1, risulta degno della massima attenzione per l'impianto in quanto a partire da esso può originarsi una fuga d'idrogeno nell'ambiente.

3.2 ANALISI HAZOP

L'analisi HAZOP condotta sull'impianto ha permesso di studiare il processo in esame prendendo in considerazione un singolo nodo interno P1 (situato sul ramo di collegamento tra la linea di stoccaggio e quella di compressione) ed i parametri significativi del processo cioè portata di idrogeno che fluisce e pressione di esercizio.

Tale analisi ha permesso di individuare due Top Events:

- perdita di idrogeno nell'ambiente (TOP1);
- sovrapressione di uno dei vessel di stoccaggio (TOP2).

I risultati ottenuti dall'applicazione dell'analisi Hazop vengono riportati nelle tabelle 2 e 3.

Unità : Linea di collegamento del compressore con l'unità di stoccaggio. Processo : Operazione di riempimento dell'unità di stoccaggio. Nodo P1						
Deviazione	Parametro	Cause	Conseguenze	Protezioni	Commenti	TOP
Nessuna	Portata di idrogeno	Guasto del compressore.	Interruzione del riempimento dei vessel in pressione.	Il PLC chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio.	L'operazione di riempimento dei vessel di stoccaggio viene interrotta.	
		La valvola di isolamento VII della linea di compressione chiusa.	Aumento della pressione nella linea di compressione.	Il PLC spegne il compressore & chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio. Interviene il sistema di sfiato VM1 posto sulla linea di compressione.	Si può avere un aumento indesiderato della pressione se fallisce il funzionamento del sistema di sfiato VM1 posto sulla linea di compressione.	
Maggiore di	Portata di idrogeno	Il pressostato PS1 stacca il compressore ad una pressione superiore a quella di stoccaggio.	Sovrapressione dei vessel di stoccaggio	Il sistema misuratore pressione - trasduttore di pressione rileva la sovrapressione. Il PLC spegne il compressore & chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio.	Se l'aumento di pressione è elevato interviene il sistema di sfiato di emergenza nell'unità di stoccaggio.	
		Flusso elevato in uscita dal compressore & malfunzionamento del regolatore di pressione PVC1	Aumento della pressione & possibile sovrapressione dei vessel di stoccaggio	Il pressostato PS1 spegne il compressore. Il sistema misuratore pressione - trasduttore di pressione rilevano la sovrapressione.	Se l'aumento di pressione è elevato interviene il sistema di sfiato di emergenza nell'unità di stoccaggio.	
Minore di	Portata di idrogeno	Il pressostato PS1 stacca il compressore prima del raggiungimento della pressione di stoccaggio.	Il riempimento dei vessel di stoccaggio non viene completato.	Il PLC chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio	Le conseguenze si limitano ad un non completo riempimento dell'unità di stoccaggio	
		Malfunzionamento del regolatore di pressione PVC1.	Il riempimento dei vessel viene completato in tempi prolungati.	Nessuna	-	
		Perdita di idrogeno da una delle valvole della linea compressione-stoccaggio.	Immissione di idrogeno nell'ambiente.	Il PLC, attivato dai rivelatori di idrogeno, spegne il compressore & chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio.	In condizioni sfavorevoli si può avere l'ignizione del gas.	TOP 1

Tabella 2: Analisi Hazop relative al nodo P1 e al parametro portata di idrogeno.

Unità : Linea di comunicazione del compressore con l'unità di stoccaggio.

Processo : Operazione di riempimento dell'unità di stoccaggio.

Nodo P1

Deviazione	Parametro	Cause	Conseguenze	Protezioni	Commenti	TOP
Maggiore di	Pressione di stoccaggio	Il pressostato PS1 stacca il compressore ad una pressione superiore a quella di stoccaggio.	Sovrapressione dei vessel di stoccaggio.	Il sistema misuratore pressione & trasduttore di pressione rileva la sovrapressione. Il PLC spegne il compressore & chiude la valvola a solenoide VS2 sulla linea di stoccaggio.	Se l'aumento di pressione è elevato interviene il sistema di sfiato di emergenza dell'unità di stoccaggio.	TOP 2
		Flusso elevato in uscita dal compressore & malfunzionamento del regolatore di pressione PVC1.	Aumento della pressione & possibile sovrapressione dei vessel di stoccaggio.	Il pressostato spegne il compressore. Il sistema misuratore pressione & trasduttore di pressione rilevano la sovrapressione.	Se l'aumento di pressione è elevato interviene il sistema di sfiato di emergenza nell'unità di stoccaggio.	-
Minore di	Pressione di stoccaggio	Il pressostato PS1 stacca il compressore ad una pressione inferiore a quella di stoccaggio.	Il riempimento dei vessel di stoccaggio non viene completato.	Il PLC chiude la valvola a solenoide VS2 dell'unità di stoccaggio.	Le conseguenze si limitano ad un non completo riempimento dell'unità di stoccaggio.	-
		Malfunzionamento del regolatore di pressione PVC1.	Nessuna	-	-	-

Tabella 3: Analisi Hazop relative al nodo P1 e al parametro pressione di stoccaggio.

3.3 ANALISI FTA

Come detto nel precedente paragrafo, l'analisi HAZOP ha portato a riconoscere due distinti TE. Qui, per motivi di brevità, ci limiteremo a presentare le analisi relative al TE1, cioè: "perdita di idrogeno nell'ambiente" durante la fase di riempimento dei vessel di stoccaggio, essendoci già occupati del TE2 in [6]. In queste condizioni operative la linea di distribuzione dell'impianto risulta isolata dal resto dell'impianto, per tale motivo si è ritenuto di assumere l'ipotesi che un'eventuale fuga di idrogeno nell'ambiente possa provenire dai componenti presenti sulle linee di compressione e di stoccaggio.

Lo scenario incidentale ipotizzato può essere attribuito alle seguenti cause:

- Perdita di idrogeno dovuta ad uno qualunque dei componenti presenti sulla linea di compressione e su quella di stoccaggio insieme con il fallimento di una qualunque delle protezioni presenti nell'impianto;
- Perdita di idrogeno dovuta al verificarsi di uno degli eventi naturali: impatto di un veicolo o di un aereo sull'impianto, terremoto, tornado o perdita da una delle tubazioni, eventi per i quali l'impianto non presenta alcun tipo di protezione.

Si suppone di sottoporre a manutenzione le valvole a solenoide VS2, VS3, le valvole meccaniche di sfiato VM1 e VM2 ed il PLC ogni 876 ore (pari a circa 36 giorni) di funzionamento dell'impianto, come suggerito in [5].

Lo sviluppo dell'albero relativo alla perdita di idrogeno nell'ambiente durante la fase di riempimento dei vessel di stoccaggio viene riportato nelle figure 4-6.

In Tabella 4 vengono riportati i tassi di guasto utilizzati per valutare la probabilità di accadimento del Top Event.

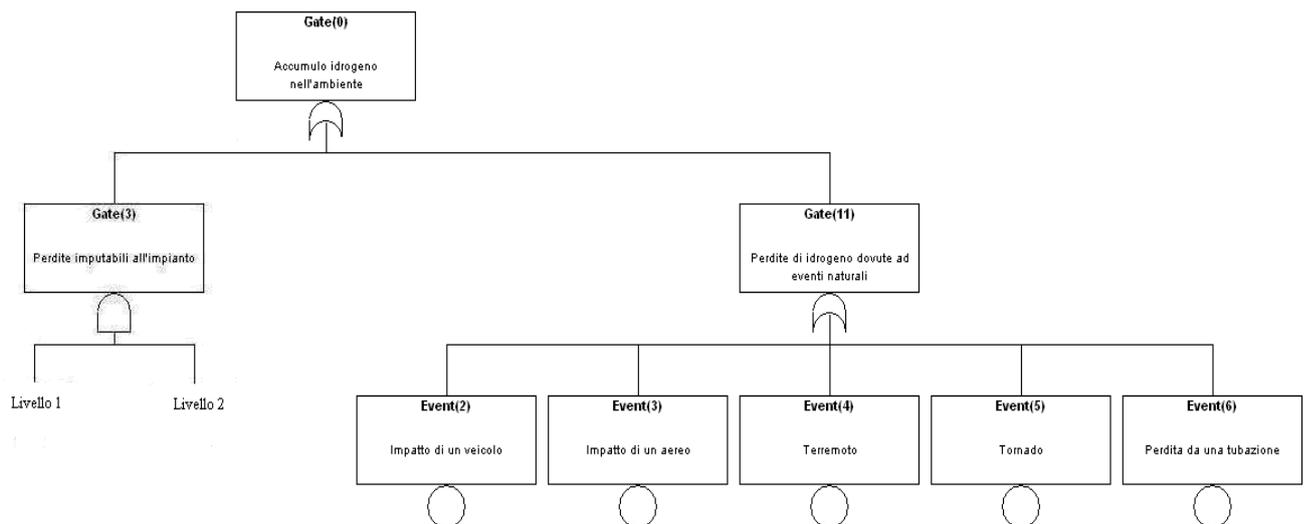


Figura 4: Sviluppo dell'albero relativo al Top Event "perdita di idrogeno nell'ambiente".

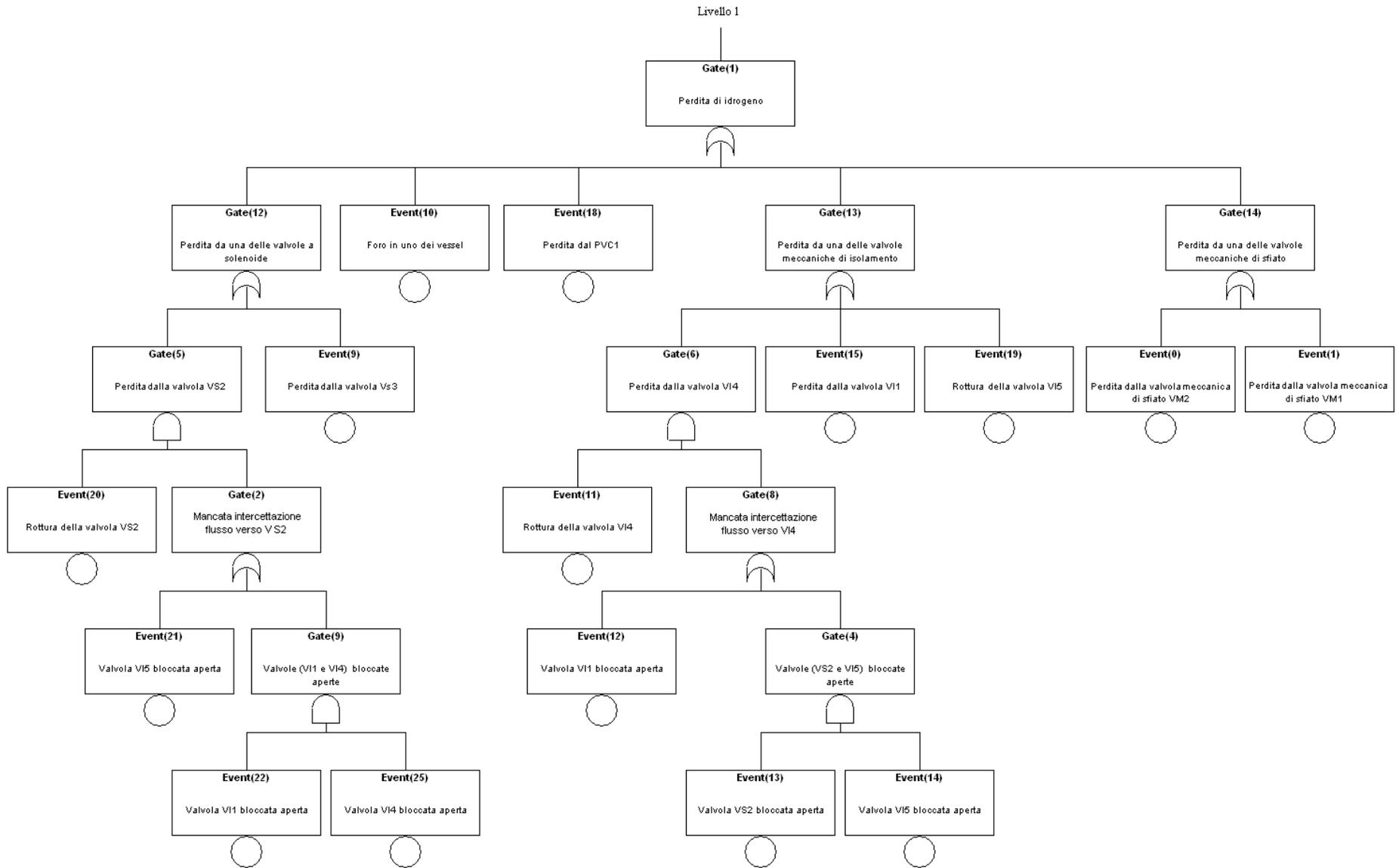


Figura 5: Sviluppo del livello 1 riguardante il guasto dei componenti dell'impianto.

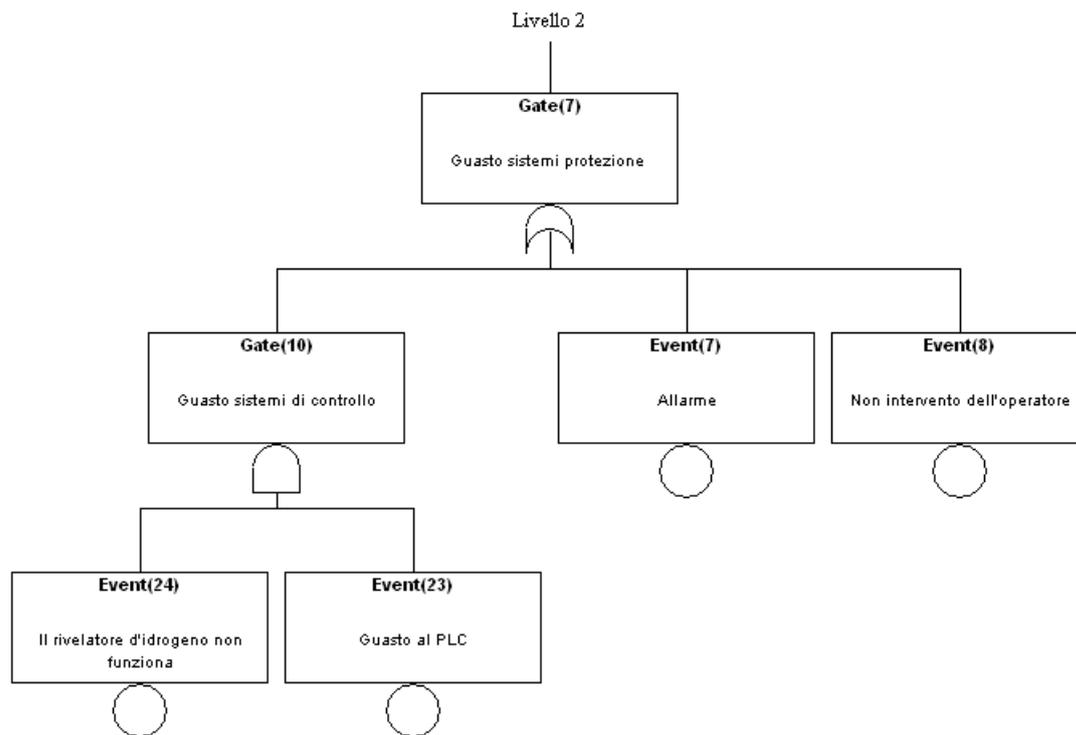


Figura 6: Sviluppo del livello 2 riguardante il guasto dei sistemi di protezione.

Name	Model	Failure rate	Repair Rate	UnavT0	Test interval	Time to first test	Comment
Event(0)	Repairable and inspected	1.200e-005	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Perdita esterna dalla valvola meccanica di sfiato VM2
Event(1)	Repairable and inspected	1.200e-005	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Perdita esterna dalla valvola meccanica di sfiato VM1
Event(10)	Not repairable	2.100e-010	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Foro in uno dei vessel
Event(11)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Rottura della valvola V4
Event(12)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Valvola V1 bloccata aperta
Event(13)	Repairable and inspected	6.900e-006	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Valvola VS2 bloccata aperta
Event(14)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Valvola V15 bloccata aperta
Event(15)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Perdita esterna dalla valvola V11
Event(18)	Not repairable	5.300e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Perdita esterna dal PVC1
Event(19)	Not repairable	1.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Rottura corpo della valvola V5
Event(2)	Not repairable	1.100e-009	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Impatto di un veicolo
Event(20)	Repairable and inspected	8.600e-007	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Rottura della valvola VS2
Event(21)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Valvola V15 bloccata aperta
Event(22)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Valvola V11 bloccata aperta
Event(23)	Repairable and inspected	8.300e-007	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Guasto al PLC
Event(24)	Not repairable	4.500e-006	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Il rivelatore d'idrogeno non funziona
Event(25)	Not repairable	2.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Valvola V14 bloccata aperta
Event(3)	Not repairable	1.410e-010	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Impatto di un aereo
Event(4)	Not repairable	1.410e-009	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Terremoto
Event(5)	Not repairable	1.410e-009	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Tornado
Event(6)	Not repairable	2.700e-008	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Perdita da una tubazione
Event(7)	Not repairable	2.200e-007	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Allarme
Event(8)	Not repairable	3.800e-008	0.000e+000	0.000e+000	0.00	0.000e+000	Non intervento dell'operatore
Event(9)	Repairable and inspected	8.000e-007	0.000e+000	0.000e+000	876.00	0.000e+000	Perdita esterna dalla valvola Vs3

Tabella 4: Tassi di guasto utilizzati nella valutazione del TOP1.

Tenendo conto delle ipotesi precedentemente riportate e considerando un tempo di missione per l'impianto pari ad un anno, il risultato ottenuto utilizzando il codice di calcolo STARS, fornisce per la probabilità di accadimento del Top Event il valore:

$$P(TE) = 3.13 \cdot 10^{-4} \text{ per un anno di funzionamento.}$$

In Figura 7 vengono riportati i MCS (Minimal Cut Sets) ottenuti con il codice STARS raggruppati per ordine, in essa sono presenti 5 MCS di ordine uno, 14 MCS di ordine 3, 6 MCS di ordine 4, 2 MCS di ordine 5 con indisponibilità via via decrescente.

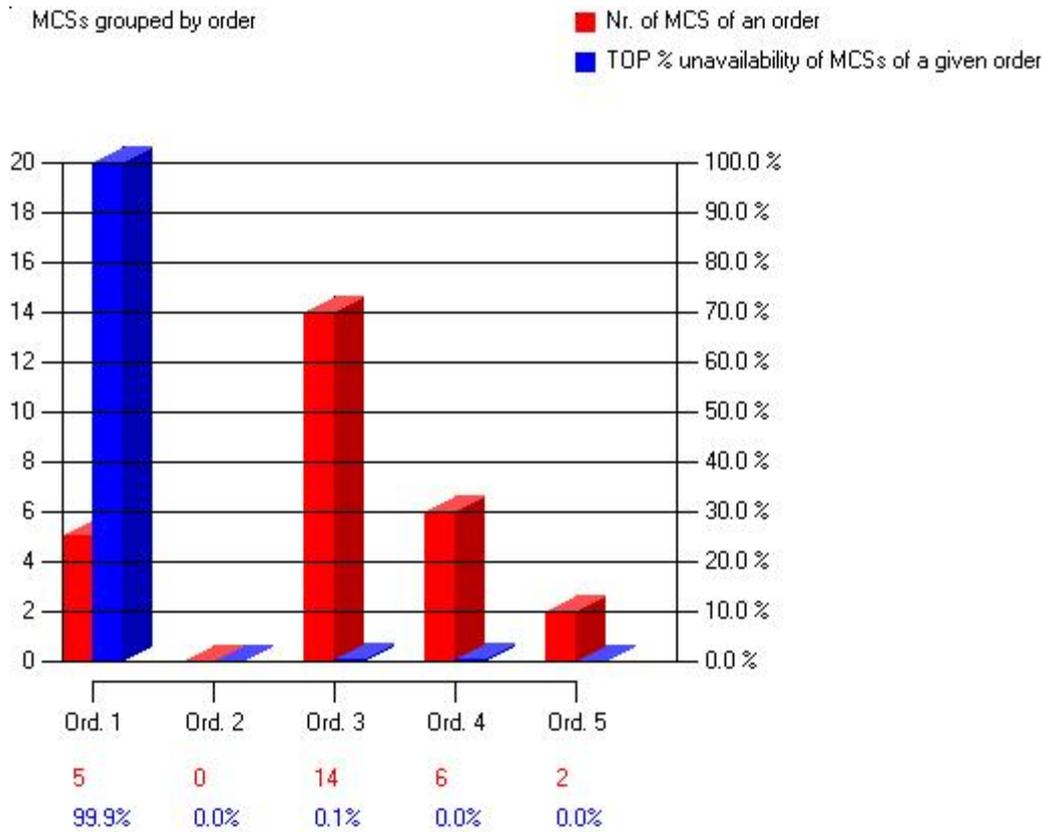


Figura 7: Minimal Cut Sets raggruppati per ordine.

Invece il risultato ottenuto utilizzando il codice di calcolo TREEZZY, considerando sempre come tempo di missione un anno, fornisce per la probabilità di accadimento del Top Event il valore:

$$P(TE) = [2.7 \cdot 10^{-4} ; 3.1 \cdot 10^{-4} ; 3.6 \cdot 10^{-4}] \text{ per un anno di funzionamento.}$$

Tale TE ricade all'interno della categoria B- RARE [7] e rappresenta un evento non atteso durante la vita dell'impianto.

4.0 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si sono affrontate alcune delle problematiche legate agli aspetti di sicurezza riguardanti l'impiego del vettore energetico idrogeno in una stazione di rifornimento per autotrazione, e sono state evidenziate anche le correlate caratteristiche di incertezza con particolare attenzione alle fenomenologie che interessano la compressione, lo stoccaggio e la erogazione di tale vettore.

A tale scopo ci si è serviti di una applicazione integrata delle tecniche di analisi di rischio in modo da superare le difficoltà legate alla scarsa attitudine di ciascuna di esse a fornire una valutazione completa ed esaustiva della sicurezza di un sistema, se utilizzate singolarmente.

Si è proceduto, quindi, ad individuare i modi di guasto dei componenti dell'impianto, delle loro cause e dei loro effetti tramite l'impiego di analisi di tipo FMEA, nonché all'individuazione dei processi incidentali che possono svolgersi in tali sistemi, ricorrendo ad analisi di tipo HAZOP.

L'analisi Hazop ha messo in luce che due eventi indesiderati per l'impianto sono:

- perdita di idrogeno nell'ambiente (TOP1);
- sovrappressione di uno dei vessel di stoccaggio (TOP2).

La probabilità di accadimento del TOP1 è stata qui valutata in modo classico utilizzando il codice di calcolo STARS ed in modo sfumato mediante l'uso del codice TREEZZY che conferma il risultato dello STARS con un intervallo di incertezza modesto.

Per quanto riguarda invece il TOP2 l'analisi di rischio affrontata mediante l'impiego delle stesse tecniche è stata riportata in [6].

RIFERIMENTI

- [1] STARS Study User Guide, 1990-1995, Microsoft Corp.
- [2] S. Bellini, M. C., F. Castiglia, M. Giardina, TREEZZY2, a Fuzzy Logic Computer Code for Fault Tree and Event Tree Analyses, 7th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, 14-18/06/2004, Berlin, Germany.
- [3] Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry; SEMATECH Technology Transfer #92020963B-ENG.
- [4] Offshore Reliability Data Handbook, 2nd Edition; OREDA Manager, DNV Technica, Norway.
- [5] O.A. Rosyid, D. Jablonski, U. Hauptmanns, Risk analysis for the infrastructure of a hydrogen economy, International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 3194 – 3200.
- [6] M. Casamirra; F. Castiglia; L. Corchia; M. Giardina; C. Lombardo; G. Messina, Risk analysis of the storage unit in a hydrogen refuelling station; International Conference on Hydrogen Safety, San Sebastian, September, 11-13, 2007.
- [7] A. E. P. Brown, P.M. Buchier, Hazard identification analysis of a hydrogen plant, Process Safety Progress (Vol.18, No.3), 1999.