

L'ANALISI DELLE CONSEGUENZE COME STRUMENTO "POSTDITTIVO" NELLA DEFINIZIONE DELLE CAUSE DI EVENTI INCIDENTALI

Maiolino L., Sportiello R. e Spampinato, S.
ISAB Energy Services srl, Ex S.S. 114 km 144, Priolo Gargallo (SR), 96010, Italia

SOMMARIO

L'Analisi dei Rischi si avvale, tra gli altri, di modelli teorico-empirici che consentono di valutare le conseguenze di scenari incidentali che evolvono a partire da un Top Event ipotizzato. Sulla base di alcune ipotesi e fissando dei "termini di sorgente" è dunque possibile valutare l'evoluzione di un evento e le sue conseguenze per le strutture di impianto, per le persone o per l'ambiente. Nel presente lavoro si vogliono proporre alcuni casi di studio di eventi incidentali in cui, applicando i modelli di valutazione delle conseguenze e sfruttando le risultanze di ispezioni condotte sul luogo in cui l'evento è avvenuto, è stato possibile valutare, le cause più probabili che hanno condotto al verificarsi dell'evento e, tra i possibili scenari, quello più plausibile in base agli effetti rilevati. L'analisi così condotta ha portato all'individuazione delle azioni più efficaci da intraprendere, in termini di soluzioni impiantistiche e/o procedurali, per evitare il ripetersi dell'evento incidentale.

Gli studi presentati nella memoria riguardano eventi incidentali avvenuti nell'ambito dello Stabilimento ISAB Energy sito in Priolo Gargallo e sono stati condotti avvalendosi anche di software accreditati a livello internazionale. Vengono in particolare illustrati due casi: il primo ha interessato un *backflow* di fumi di combustione all'interno di una linea, con conseguente collasso meccanico della stessa, fuoriuscita dei fumi di combustione e danneggiamento delle strutture circostanti. Il secondo ha interessato una valvola di non ritorno dalla quale è fuoriuscito in una prima fase ossigeno al 95% ed in seguito gas di sintesi (miscela di idrogeno, ossido di carbonio, vapore ed anidride carbonica) ad una temperatura pari a circa 1400°C.

1.0 INTRODUZIONE

L'analisi di rischio, ed in particolare lo studio delle conseguenze, costituisce parte integrante del Rapporto di Sicurezza per tutti quegli stabilimenti "[...] in cui sono presenti sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate nell'allegato I" del D.Lgs 17 agosto 1999 n. 334 (sostituito dall'Allegato A del D.Lgs 21 settembre 2005, n. 238). Il D.Lgs 17 agosto 1999 n. 334 decreto all'Art. 5 obbliga il gestore a "[...] prendere tutte le misure idonee a prevenire gli incidenti rilevanti e a limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente, nel rispetto dei principi del presente decreto e delle normative vigenti in materia di sicurezza ed igiene del lavoro e di tutela della popolazione e dell'ambiente".

Per tale motivo questo tipo di analisi trova oggi un'applicazione spesso limitata al solo scopo di rispondere agli obblighi normativi attraverso la redazione dei Rapporti di Sicurezza, all'interno dei quali vengono analizzati per lo più gli scenari incidentali più gravosi in termini di conseguenze ma, di contro, meno probabili in termini di frequenza di accadimento, trascurando così la trattazione di incidenti dalla minor magnitudo ma che accadono con maggior frequenza.

Lo studio intende mostrare che le metodiche sviluppate intorno all'analisi di rischio possono essere uno strumento potentissimo anche per l'analisi e l'individuazione delle cause di eventi incidentali che, sebbene di magnitudo non particolarmente elevata, sono realmente accaduti. Anche in questi casi è infatti indispensabile risalire alle cause specifiche che hanno generato il rilascio, in modo da poter applicare opportune azioni correttive o preventive, implementando opportune protezioni o precauzioni che evitino il ripetersi degli eventi accaduti e che salvaguardino la salute dei lavoratori, l'ambiente, le apparecchiature di processo e le strutture di impianto.

All'accadere di un evento è necessario implementare delle azioni correttive al fine di eliminare le cause che potrebbero portare all'insorgere di un evento analogo. Pertanto vengono formulate delle ipotesi che descrivano l'evoluzione dell'incidente e se ne analizzano le conseguenze. Non sempre però le ipotesi formulate sono facilmente dimostrabili e molte volte, anche dopo analisi approfondite, non è possibile escludere a priori alcune delle cause ipotizzate. Non di rado si giunge a considerare più di una conclusione plausibile, e quindi è difficile individuare i provvedimenti più adeguati alla riduzione del rischio. Va

considerato che, anche economicamente, risulta molto più giustificabile un unico intervento mirato ad eliminare la causa principale che ha scatenato l'evento, piuttosto che proporre più interventi che potrebbero contribuire in misura insignificante a ridurre la probabilità che l'evento incidentale si possa riverificare.

2.0 METODOLOGIA

La metodologia applica i modelli di valutazione delle conseguenze ad eventi realmente accaduti, simulando le conseguenze dell'evento e paragonando gli scenari così ottenuti con quanto rilevato dalle ispezioni condotte a valle dell'evento. Le simulazioni vengono implementate per le diverse cause ipotizzate, per i possibili termini di sorgente e per i possibili sviluppi legati ad uno stesso termine di sorgente. Il confronto degli scenari teorici simulati con quelli effettivamente venutisi a creare permette di supportare, dati alla mano, una o più delle ipotesi formulate quali causa dell'evento e, soprattutto, di escludere quelle ipotesi che producono invece degli scenari estremamente distanti da quelli effettivamente rilevati.

La prima fase dello studio richiede la descrizione dell'evento incidentale, non solo identificando i parametri di processo presenti al momento dell'evento, ma anche raccogliendo informazioni circa gli effetti che l'evento ha provocato sull'ambiente in termini di danno alle strutture e procedendo ad intervistare gli operatori presenti al momento dell'incidente oppure che per primi sono sopraggiunti sul luogo. Questa descrizione verrà utilizzata in fase iniziale per formulare le ipotesi sulle possibili cause incidentali, e a conclusione dei modelli di simulazione per scegliere tra le ipotesi proposte quella che ha prodotto i risultati più coerenti con le conseguenze effettive, ed a scartare quelle che invece appaiono meno plausibili. Una volta descritto l'evento incidentale, si procede a formulare le ipotesi più credibili sull'evoluzione dell'evento incidentale. Nel formulare l'ipotesi è opportuno considerare tutte le possibili cause strutturali e di processo consultando ove necessario le funzioni Ingegneria di Manutenzione, Controllo di processo, Esercizio e Manutenzione.

La fase successiva consiste nella scelta dei modelli di simulazione. La scelta del modello più idoneo a descrivere un evento non è mai semplice. Si deve infatti riuscire a descrivere nella maniera più coerente le ipotesi formulate, considerando anche i limiti che spesso i software disponibili presentano. La scelta del software sarà quindi legata all'ipotesi che si vuole rappresentare, ed anche al tipo di evento che questo genererà. In particolare negli studi che si proporranno a seguire sono stati utilizzati due dei principali software presenti sul mercato il DNV PHAST versione 6.42 ed il SAFER TRACE versione 9.0.

Infine si procederà allo studio di credibilità delle ipotesi formulate. Ovvero, sulla base delle conseguenze simulate mediante i software di modellizzazione in termini di sovrappressione, jet fire, rilasci tossici, si procede a valutare i danni che da questi parametri verrebbero prodotti. I danni così valutati possono essere confrontati con quelli effettivamente rilevati al fine di escludere le ipotesi meno credibili.

A conclusione dello studio svolto, ed essendo pervenuti alla identificazione dell'ipotesi di evoluzione dell'evento incidentale più credibile, è possibile fare delle considerazioni mirate alla scelta delle misure di prevenzione e protezione da prendere, valutando gli effetti che il ripetersi dell'evento potrebbe avere sul personale e sull'ambiente circostante, nonché, ove possibile, indicare eventuali interventi che consentano di limitare e, se possibile, evitare il ripetersi delle condizioni che hanno prodotto l'incidente stesso.

3.0 ESEMPI APPLICATIVI

I casi applicativi si riferiscono ad avvenimenti avvenuti presso l'impianto Integrato di Gassificazione e Ciclo Combinato (Complesso IGCC) di Priolo Gargallo (SR) di proprietà ISAB Energy Srl il quale ha lo scopo di produrre energia elettrica e vapore sfruttando i residui pesanti derivanti dai processi di raffinazione condotti nella contigua Raffineria di proprietà ERG Raffinerie Mediterranee Srl. Mediante il processo di gassificazione, l'asfalto non utilizzabile tal quale come combustibile a causa dell'elevato contenuto di zolfo, metalli pesanti e idrocarburi naftenici, viene trasformato in gas di sintesi (syngas). Il syngas ottenuto alimenta due turbine a gas, i cui fumi caldi producono vapore che alimenta due turbine a vapore, dando origine ad emissioni in atmosfera che rispettano i limiti di inquinamento fissati dalle normative vigenti.

3.1 Caso 1: Danneggiamento toro di distribuzione syngas, bruciatore n° 5 e linee da 4" adduzione syngas, alla camera di combustione destra del 4000-TG1

I turbogas presenti all'interno dello stabilimento ISAB Energy marcano normalmente bruciando syngas. In caso di indisponibilità di syngas, è possibile effettuare un *change over*, cambiando l'alimentazione da syngas

a gasolio. L'evento trattato è avvenuto durante la marcia a gasolio di uno dei due turbogas, dopo un change over avvenuto circa 8 ore prima del verificarsi del near accident. L'evento ha portato al blocco del turbogas per l'intervento dei rilevatori di temperatura del cabinato, con la scarica del sistema di spegnimento automatico a CO₂.

Per descrivere l'evento ci si è avvalsi di tutti i dati di progetto disponibili, tra i quali:

- Pressione in camera di combustione: circa 11 barg;
- Temperatura fumi: circa 1060°C.

Sono stati raccolti i risultati dei rilievi effettuati da Ingegneria di Manutenzione che hanno evidenziato una struttura cristallina del materiale costituente le tubazioni (Acciaio al carbonio debolmente legato) fortemente compromessa, con la presenza di grani ingrossati e fortemente decarburati. I rilievi sul campo hanno evidenziato, inoltre, il danneggiamento del pannello fonoassorbente del cabinato e la fusione del materiale della linea di adduzione del combustibile.

Oltre a ciò per descrivere l'evento ci si è avvalsi dell'analisi di processo condotta sui dati ricavati dal software *PI ProcessBook*, un data-base dei parametri di processo, dal quale sono stati estratti le seguenti variabili:

- Pressione di mandata compressore treno 1;
- Potenza attiva TG1;
- Consumo di gasolio;
- Temperatura registrata dal bruciatore n° 5.

Il trend ricavato da *PI ProcessBook* relativo a queste variabili è riportato in Fig. 1.

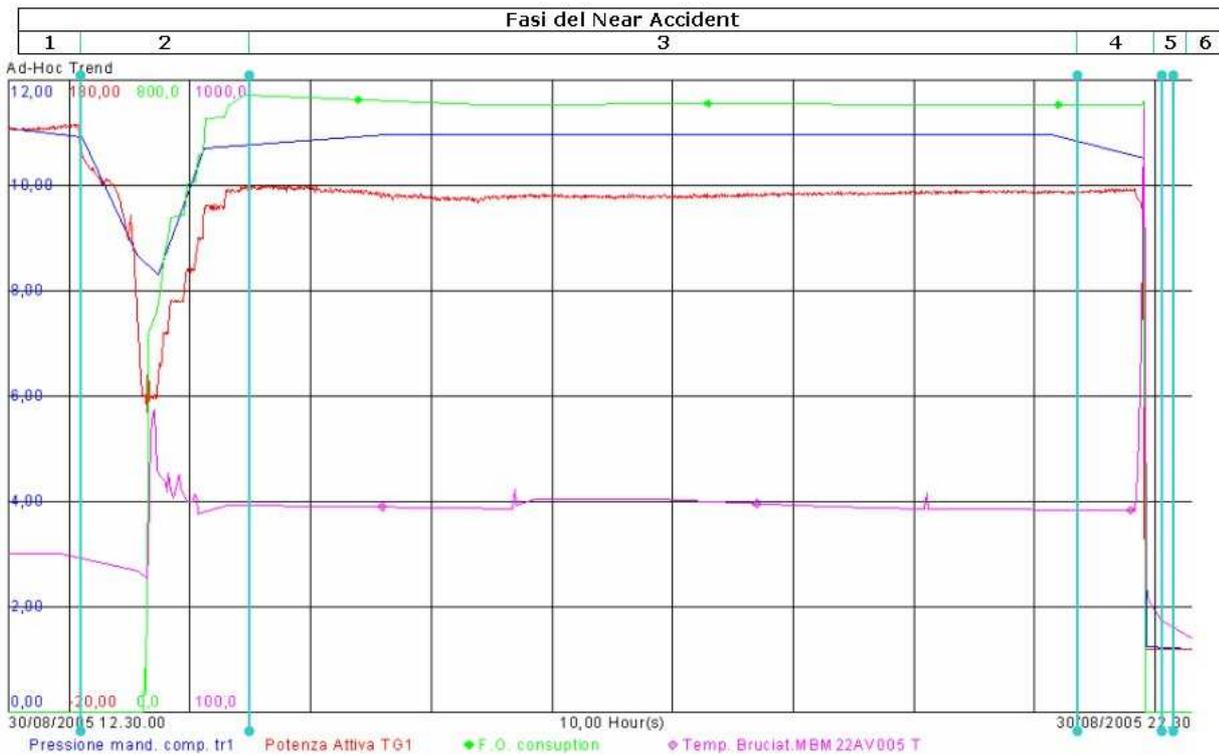


Figura 1. Trend delle principali variabili di processo e fasi dell'evento incidentale

Sulla base di questa analisi sono state formulate le ipotesi di evoluzione dell'evento così come descritto in seguito e riassunto nel Flow Chart riportato in Fig. 2.

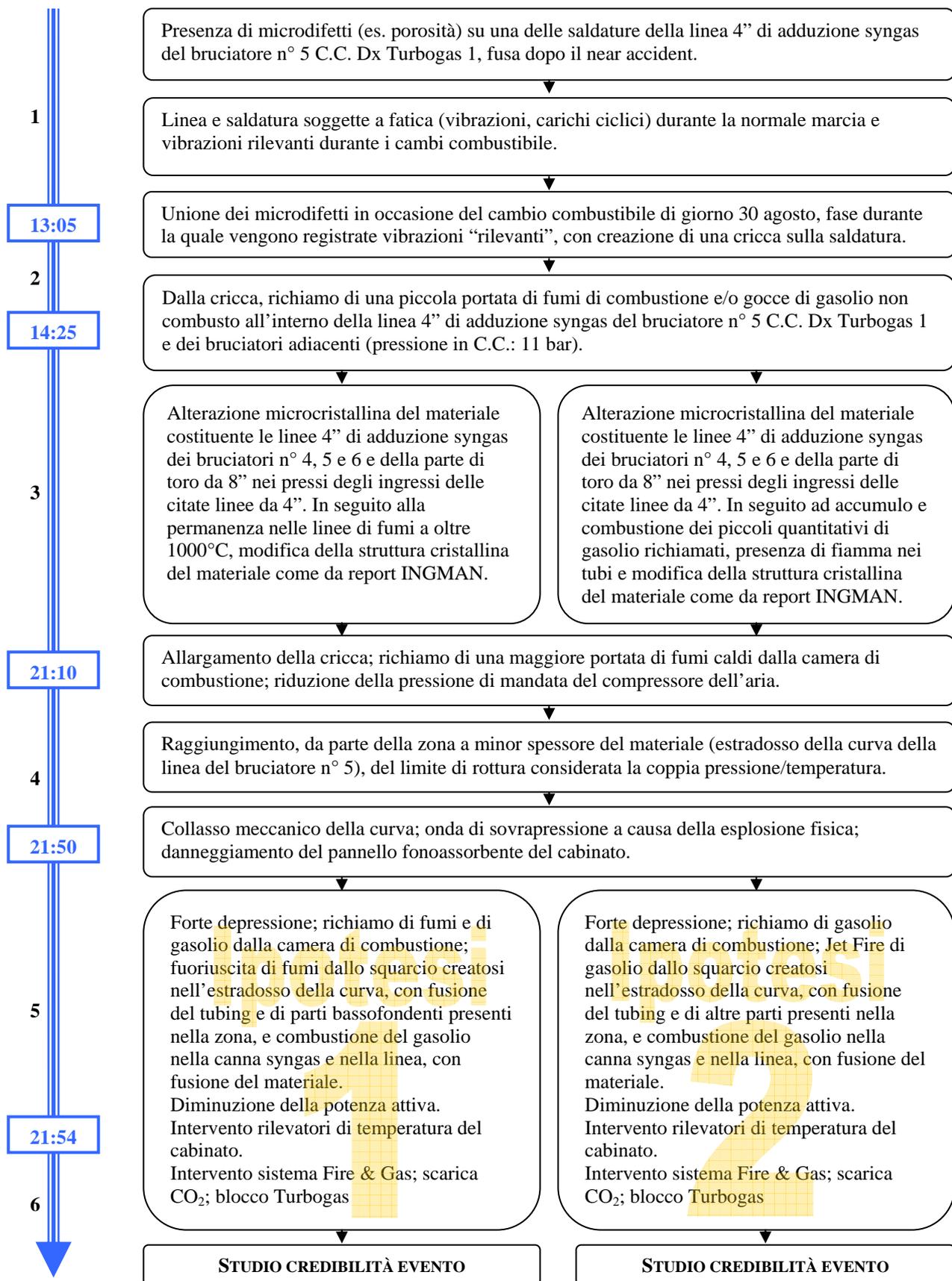


Figura 2. Ipotesi di evoluzione dell'evento incidentale

L'ipotesi più plausibile relativamente all'evoluzione dell'evento, presuppone la presenza di microdifetti (ad esempio, porosità od inclusioni) su una saldatura della linea 4" di adduzione del syngas del bruciatore n°5. Le vibrazioni e le sollecitazioni cicliche cui la saldatura è generalmente sottoposta vengono amplificate in

occasione dei *change over*, aumentando conseguentemente il danno a fatica prodotto sul materiale. Il *change over* da syngas a gasolio, avvenuto circa 8 ore prima dell'evento, avrebbe dunque prodotto un incremento dell'ampiezza delle vibrazioni che avrebbe potuto causare l'unione dei microdifetti presenti e la conseguente formazione di una cricca. La presenza di questa cricca spiegherebbe la causa primaria del collasso meccanico della curva del bruciatore, correlato al raggiungimento del limite di rottura del materiale. Il danneggiamento rilevato da Ingegneria di Manutenzione si ritiene legato alla permanenza dell'acciaio ad alta temperatura per un tempo prolungato a causa del passaggio attraverso la cricca e la permanenza nella linea 4" di fumi (che si trovano alla temperatura di circa 1000°C in camera di combustione) miscelati con l'aria primaria immessa in camera di combustione. Un'altra ipotesi parimenti plausibile prevede l'aspirazione di fumi di combustione, aria primaria e gasolio che, accumulandosi, si potrebbe essere incendiato in condizioni substechiometriche provocando la presenza di fiamma della linea stessa. Il danneggiamento del pannello fonoassorbente del cabinato, invece, sarebbe spiegabile col collasso meccanico della linea alla pressione di 11 bar che avrebbe provocato l'esplosione e l'onda di sovrappressione. A questo punto per spiegare la fusione del materiale della linea e l'intervento dei rilevatori di temperatura, del sistema Fire&Gas, la scarica di CO₂ e quindi il blocco del turbogas, nei circa 3-4 minuti di durata dell'evento, sono state avanzate le seguenti ipotesi:

- Hp1: In seguito al collasso meccanico della curva si è generata una forte depressione che ha richiamato i fumi, l'aria ed il gasolio dalla camera di combustione. La fuoriuscita di fumi dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva ha provocato la fusione del tubing e di parti bassofondenti presenti nella zona. Inoltre la combustione del gasolio all'interno della canna syngas e della linea da 4" ha causato la fusione del materiale e l'ulteriore fuoriuscita di fumi ad alta temperatura.
- Hp2: In seguito al collasso meccanico della curva si è generata una forte depressione che ha richiamato il gasolio dalla camera di combustione provocando un *Jet Fire* di gasolio dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva, con fusione del tubing e di altre parti presenti nella zona, e combustione del gasolio nella canna syngas e nella linea, con fusione del materiale

Come già detto, per valutare l'attendibilità delle due ipotesi avanzate si procede al confronto tra le conseguenze effettivamente rilevate in seguito all'incidente e quelle prevedibili implementando dei modelli teorici che simulano le conseguenze di eventi incidentali. In particolare si è simulata, in termini di conseguenze incidentali, solo l'Hp2 poiché con gli strumenti di calcolo a disposizione è possibile simulare solo le conseguenze di un *Jet Fire*. La simulazione ha consentito comunque di escluderne la credibilità, dati gli effetti che avrebbe avuto sulla struttura circostante. Relativamente ad entrambe le ipotesi, è infine stato implementato un ulteriore modello che simula l'effetto di una fiamma su una lastra piana. Grazie a tale modello è stato possibile verificare che i tempi di collasso sono compatibili a quelli ipotizzati.

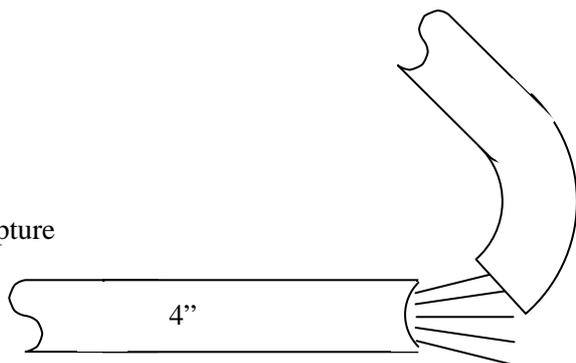
La simulazione del *Jet Fire* di gasolio è stata effettuata con il software SAFER TRACE ver. 9.0.

Sono state modellate due differenti situazioni, per verificare la compatibilità dell'ipotesi 2 con lo stato del cabinato:

- rottura totale della tubazione da 4" di adduzione del syngas (al momento del near accident si stava marciando a gasolio), *Full Bore Rupture*, compatibile con lo stato nel quale è stata trovata la tubazione al termine dell'evento e, secondo le ipotesi avanzate, con la fase finale del near accident (ultimi 3-4 minuti).
- rilascio dalla cricca, modellata come se si trattasse di un foro di diametro equivalente pari al 20% del diametro della tubazione, *20% Diameter Rupture*, creatasi nella zona dell'estradosso della curva (zona con lo spessore minore, secondo le rilevazioni condotte dall'ufficio Ispezioni e Collaudi), nell'ipotesi che la rottura totale non sia avvenuta immediatamente, ma che ci sia stato uno stadio precedente di rottura parziale.

Le due situazioni sono schematizzabili come segue:

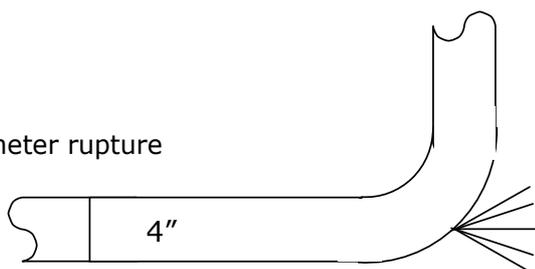
Full bore rupture



Termini di sorgente - *Full Bore Rupture*

- foro d'uscita: 100 mm
- portata di gasolio: 50 l/min (pari alla portata che normalmente fluisce attraverso una singola canna gasolio; caso peggiore)

20% diameter rupture



Termini di sorgente - *20% Diameter Rupture*

- foro d'uscita: 20 mm
- portata di gasolio: 2,5 l/min (pari al 5% della portata normale, considerando una condizione meno gravosa). Tale approssimazione si basa sulla ipotesi che venga richiamata, a causa della depressione creatasi nella linea da 4", solo una piccola quotaparte della portata totale.

Gli irraggiamenti relativi al *Jet Fire* nei due casi sono i seguenti:

Portata gasolio	Distanza in m alla quale viene raggiunta la soglia di irraggiamento di:		
	37,5 kW/m ²	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²
50 l/min (~ 45 kg/min)	Non raggiunto	24,6	26,9
2,5 l/min (~ 2,25 kg/min)	Non raggiunto	6,9	7,6

Dai valori di irraggiamento ricavati, è stato possibile concludere con buona certezza che l'evento *Jet Fire* prolungato è incompatibile con lo stato del cabinato così come esso è stato rilevato a valle del near accident. Infatti, anche nel caso meno gravoso, l'irraggiamento raggiunto ad una distanza relativamente ravvicinata avrebbe senz'altro causato, ad esempio, il collasso del lamierino di copertura del pannello di insonorizzazione. Quest'ultimo invece è stato trovato solamente deformato per sovrappressione.

I danni da irraggiamento sono stati rilevati esclusivamente al tubing ed alla coibentazione della linea; ciò è compatibile con il contatto diretto con una fiamma di durata limitata o con il contatto prolungato con i fumi caldi richiamati dalla camera di combustione a valle del collasso strutturale della curva. La durata dell'evento è stata di circa 3-4 minuti.

Per valutare le possibili cause del danneggiamento al pannello fonoassorbente, è stata ipotizzata una esplosione fisica del contenuto della linea da 4" che ha mostrato una rottura da sovrappressione e non da fusione.

Una esplosione chimica appare invece un'ipotesi meno probabile in quanto:

- la procedura di purging delle linee è avvenuta correttamente, secondo le risultanze dell'analisi a DCS, e pertanto è da escludere la presenza di syngas all'interno della linea.
- lo stato del metallo, come da nota tecnica di INGMAN, mostra che il materiale è stato soggetto ad un riscaldamento ad alte temperature per tempi prolungati. Questo porta ad escludere la presenza di acqua in fase liquida all'interno della tubazione e la sua successiva repentina vaporizzazione, con conseguente sovrappressione.
- la presenza di gasolio all'interno delle linee è una possibilità che non si può escludere, ma le caratteristiche della sostanza sono tali da poter considerare poco probabile una sua detonazione.

Come già accennato, è stato ipotizzato, suffragati dalle analisi metallografiche condotte da Ispezioni e Collaudi, che la linea sia stata interessata da un fenomeno di surriscaldamento anomalo. Tale fenomeno potrebbe aver ridotto il carico di rottura del materiale che, in corrispondenza della zona a spessore più basso (estradosso della curva; spessore misurato: 3,2 mm) ha ceduto non appena il carico di rottura, a causa del surriscaldamento, ha raggiunto valori incompatibili con la pressione interna (circa 11 bar).

Le sovrapressioni conseguenti ad un'esplosione fisica della tubazione, ipotizzata piena di vapori di gasolio o di miscela di fumi di combustione, sono state calcolate e sono le seguenti:

Sostanza considerata	Distanza in m alla quale viene raggiunta la soglia di sovrapressione di:		
	300 mbar	140 mbar	30 mbar
Miscela N ₂ -CO ₂ -O ₂ -Gasolio	2,8 (2,4 solo gasolio)	4,5	12,8

Dalla simulazione effettuata si evince che la soglia di sovrapressione di 300 mbar, per la quale sono previsti danni alle strutture, è raggiunta a distanze compatibili con la distanza tra linea e pannello fonoassorbente del cabinato. Pertanto, l'evento esplosione fisica della linea 4" è compatibile con lo stato del cabinato.

Per valutare la compatibilità dei danni riscontrati alle linee di adduzione syngas da 4" e al bruciatore n° 5 è stato proposto un modello che valuta il collasso strutturale di una lastra metallica. Il risultato della simulazione confrontato con la durata dell'evento ha consentito di confermare ancora una volta l'attendibilità dell'ipotesi n°1. La simulazione restituisce infatti un tempo previsto per il collasso della canna syngas pari a circa 140 secondi (2' 20"), compatibile con la durata totale dell'evento, pari a circa 3-4 minuti.

Durante il tempo rimanente, la fiamma ha investito la parte interna della canna syngas, danneggiandola come rilevato durante l'ispezione. Anche la linea di adduzione syngas da 4" è stata danneggiata allo stesso modo, con tempi compatibili con la durata dell'evento. È possibile riassumere la credibilità delle ipotesi come segue

Forte depressione; richiamo di fumi e gasolio dalla camera di combustione; fuoriuscita di fumi dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva, con fusione del tubing e di parti bassofondenti presenti nella zona, e combustione del gasolio nella canna syngas e nella linea, con fusione del materiale.
 Diminuzione della potenza attiva.
 Intervento rilevatori di temperatura del cabinato.
 Intervento sistema Fire & Gas; scarica CO₂; blocco Turbogas

Forte depressione; richiamo di gasolio dalla camera di combustione; Jet Fire di gasolio dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva, con fusione del tubing e di altre parti presenti nella zona, e combustione del gasolio nella canna syngas e nella linea, con fusione del materiale.
 Diminuzione della potenza attiva.
 Intervento rilevatori di temperatura del cabinato.
 Intervento sistema Fire & Gas; scarica CO₂; blocco Turbogas

STUDIO CREDIBILITÀ EVENTO

STUDIO CREDIBILITÀ EVENTO

Evento	Cred
Forte depressione; richiamo di fumi e di gasolio dalla camera di combustione; fuoriuscita di fumi dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva, con fusione del tubing e di parti bassofondenti presenti nella zona.	✓
Combustione del gasolio nella canna syngas e nella linea, con fusione del materiale durante i 3 minuti di durata dell'evento.	✓
Intervento rilevatori di temperatura del cabinato. Intervento sistema Fire & Gas; scarica CO ₂ ; blocco Turbogas	✓

Evento	Cred
Forte depressione; richiamo di gasolio dalla camera di combustione; Jet Fire di gasolio dallo squarcio creatosi nell'estradosso della curva, con fusione del tubing e di altre parti presenti nella zona.	✗
Combustione del gasolio nella canna syngas e nella linea, con fusione del materiale durante i 3 minuti di durata dell'evento.	✓
Intervento rilevatori di temperatura del cabinato. Intervento sistema Fire & Gas; scarica CO ₂ ; blocco Turbogas	✓

Lo studio condotto ha evidenziato che:

- un *Jet Fire* prolungato è incompatibile con lo stato del cabinato;
- l'irraggiamento prodotto dal contatto diretto con una fiamma di durata limitata o con i fumi di combustione caldi richiamati dalla camera di combustione è compatibile con i danni al tubing e alla coibentazione;
- l'esplosione fisica della linea 4" è compatibile con lo stato del cabinato;
- il tempo previsto per il collasso della canna syngas per contatto con la fiamma diretta è compatibile con la durata totale del near accident

L'ipotesi più credibile, in base agli effetti rilevati sul cabinato turbogas, sulle strutture, sulle tubazioni e sul bruciatore n° 5, appare essere quindi la prima.

Dall'analisi condotta è possibile concludere che l'evento incidentale in oggetto avrebbe comportato un pericolo immediato per l'operatore solo se l'apertura della cricca si fosse verificata contestualmente alla sua ispezione periodica sulla camera di combustione, poiché sarebbe stato investito dalla fuoriuscita di fumi caldi. Poiché la simulazione ha permesso di concludere che tra l'allargamento della cricca con fuoriuscita di fumi caldi e l'esplosione fisica della linea sono passati circa 40 minuti, l'operatore avrebbe avuto tutto il tempo di uscire dal cabinato prima di essere investito dall'onda di pressione e/o dai fumi caldi conseguenti alla combustione del gasolio nella linea da 4" di adduzione del syngas. Inoltre, poiché il *Jet Fire* non risulta un evento credibile, è stato possibile concludere che i sistemi di controllo e di protezione attualmente installati per evitare *backflow* di combustibile hanno perfettamente funzionato e che i sistemi di blocco hanno permesso di interrompere sul nascere l'evento incidentale al momento dell'innescarsi di un'escalation potenzialmente pericolosa.

3.2 Caso 2: Perdita dalla VDR della linea di vapore di purging della linea ossigeno (3100-R-101) con rilascio di ossigeno all'atmosfera. Blocco del gassificatore e successivo rilascio di syngas in atmosfera

Il secondo caso di studio presentato è avvenuto durante la fase di pressurizzazione del reattore di gassificazione della carica (combustione parziale della carica Fondo Visbreaking con produzione di gas di sintesi costituito da idrogeno, ossido di carbonio e anidride carbonica), durante la quale la linea ossigeno si trovava a circa 65 bar e a temperatura ambiente, con il gassificatore in marcia da circa un'ora (pressione pari a circa 60 bar). Gli operatori presenti hanno udito un forte rumore e simultaneamente dai monitor presenti in Sala Controllo è stato possibile osservare la VDR posizionata sulla linea del vapore HP dalla quale si è visto saltare il coperchio ed uscire un jet di colore bianco.

A valle di questo evento, dopo circa 5-10 secondi, è stato mandato in blocco il gassificatore; in seguito allo shut-down, si è avuto un backflow di syngas dal gassificatore. Data la temperatura del syngas (circa 1300-1400°C), la linea si è portata al color rosso e dalla VDR è iniziato ad uscire syngas ad alta temperatura, dando luogo a due bagliori distinti, chiaramente visibili dalla telecamera di controllo. Dopo 5-10 secondi, l'evento si è esaurito e dalla VDR ha iniziato ad uscire vapore. Qualche secondo dopo, si è osservata la rottura del tronchetto in corrispondenza di una riduzione da 5" a 3", ed è stato mandato in blocco il secondo gassificatore. Le ispezioni condotte da Ispezioni e Collaudi non hanno evidenziato tracce di combustione.

In questo secondo caso le testimonianze degli operatori accreditavano due ipotesi distinte, la prima che durante l'evento si fosse generato un *Jet Fire* innescato direttamente sulla VDR, ed una seconda ipotesi in cui l'evento si è sviluppato a partire da un rilascio di ossigeno che, a ritroso, fuoriusciva dall'apertura, seguito da rilascio di syngas che avrebbe generato i due *Flash Fire* registrati dalla telecamera e quindi un successivo rilascio di gas.

Per valutare la credibilità delle due ipotesi è stato simulato, usando il software SAFER TRACE ver. 9.0., il rilascio di ossigeno. È stato valutato se tale rilascio, stimato per 5-10 secondi, abbia potuto formare una nube surconcentrata potenzialmente in grado di causare l'accensione di materiale combustibile. A tal fine, sono state considerate tre concentrazioni di riferimento, pari a 35%, 50% e 75% di ossigeno. È stato in seguito simulato il rilascio di syngas, fuoriuscito per 5-10 secondi dopo il rilascio di ossigeno, per valutare la possibilità di formare una nube con concentrazioni all'interno del campo di infiammabilità. Per questo caso sono state valutate come concentrazioni di riferimento il limite superiore di infiammabilità, il limite inferiore di infiammabilità e ½ del limite inferiore di infiammabilità.

Si riportano nelle Fig. 3 e 4 le nubi formate al termine della fase di rilascio, all'inizio della fase di dispersione. I risultati evidenziano sia che sono state raggiunte concentrazioni di ossigeno in grado di causare l'accensione di materiale combustibile, sia che le concentrazioni di syngas raggiunte sono in grado di dar luogo ad un *Jet Fire* o ad un *Flash Fire*. I rilievi effettuati non hanno evidenziato tracce di combustione, per cui è possibile concludere che la nube di ossigeno, quantunque potenzialmente pericolosa, non ha trovato materiale combustibile da incendiare.

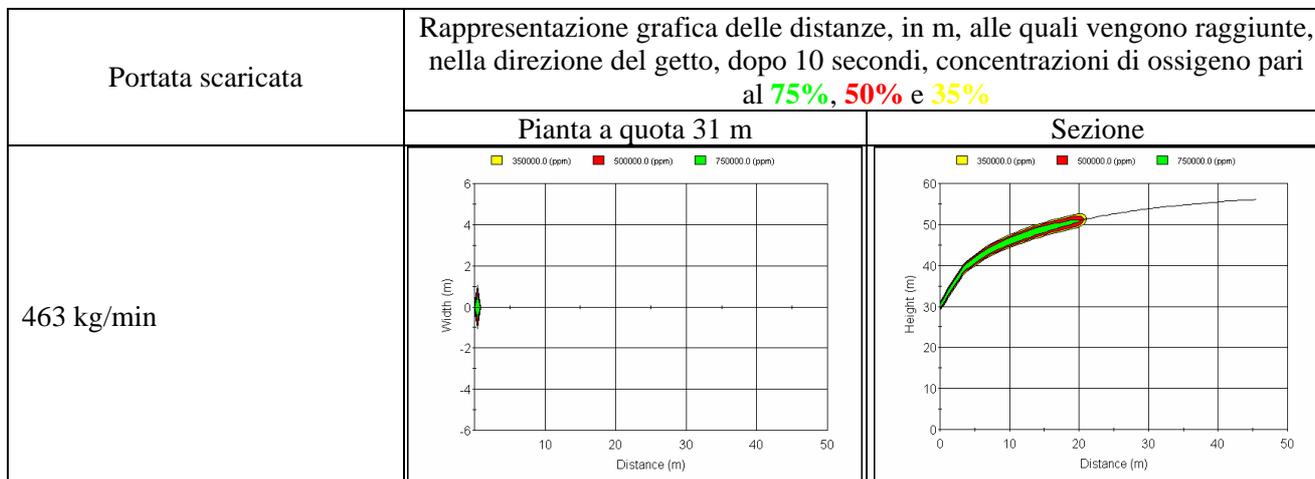


Figura 3. Sezione delle concentrazioni raggiunte della nube di ossigeno a 10 secondi dall'inizio del rilascio

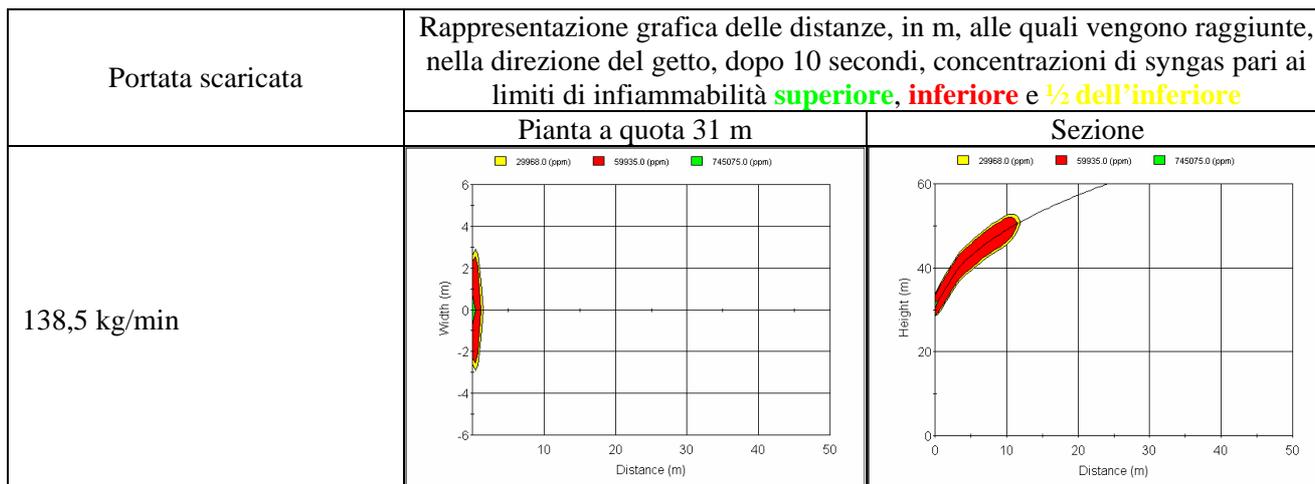


Figura 4. Sezione delle concentrazioni raggiunte della nube di syngas a 10 secondi dall'inizio del rilascio

Per valutare quale tra gli eventi *Jet Fire* e *Flash Fire* risulti quello più credibile alla luce degli effetti osservati dopo l'evento sul piano gassificatore e intorno al gassificatore stesso, si è dunque proceduto alla valutazione delle soglie di irraggiamento conseguenti ad un *Jet Fire* di syngas.

Le soglie di irraggiamento di maggior interesse per gli scopi dello studio sono le seguenti:

- 12,5 kW/m²: minima energia necessaria per l'accensione pilotata del legno e per la fusione del tubing in plastica. Soglia indicata dal D.M. 20/10/1998 come "soglia per effetti domino" e considerata per le strutture particolarmente vulnerabili, quali serbatoi atmosferici e pannellature in laminato plastico.
- 37,5 kW/m²: energia sufficiente a causare danni alle apparecchiature di processo. Minima energia necessaria per causare l'accensione del legno.

Gli irraggiamenti relativi al *Jet Fire* ricavati dal modello di simulazione sono:

Portata	Distanza, in m, alla quale viene raggiunta la soglia di irraggiamento, di:				
	37,5 kW/m ²	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
138,5 kg/min	3,0	5,1	6,6	7,7	9,8

Il Fig. 5 si riportano le rappresentazioni grafiche degli irraggiamenti raggiunti, limitandosi alle soglie più alte, e quindi a quelle in grado di causare danni alle strutture. Il Fig. 6 si riporta una rappresentazione della forma del *Jet Fire*.

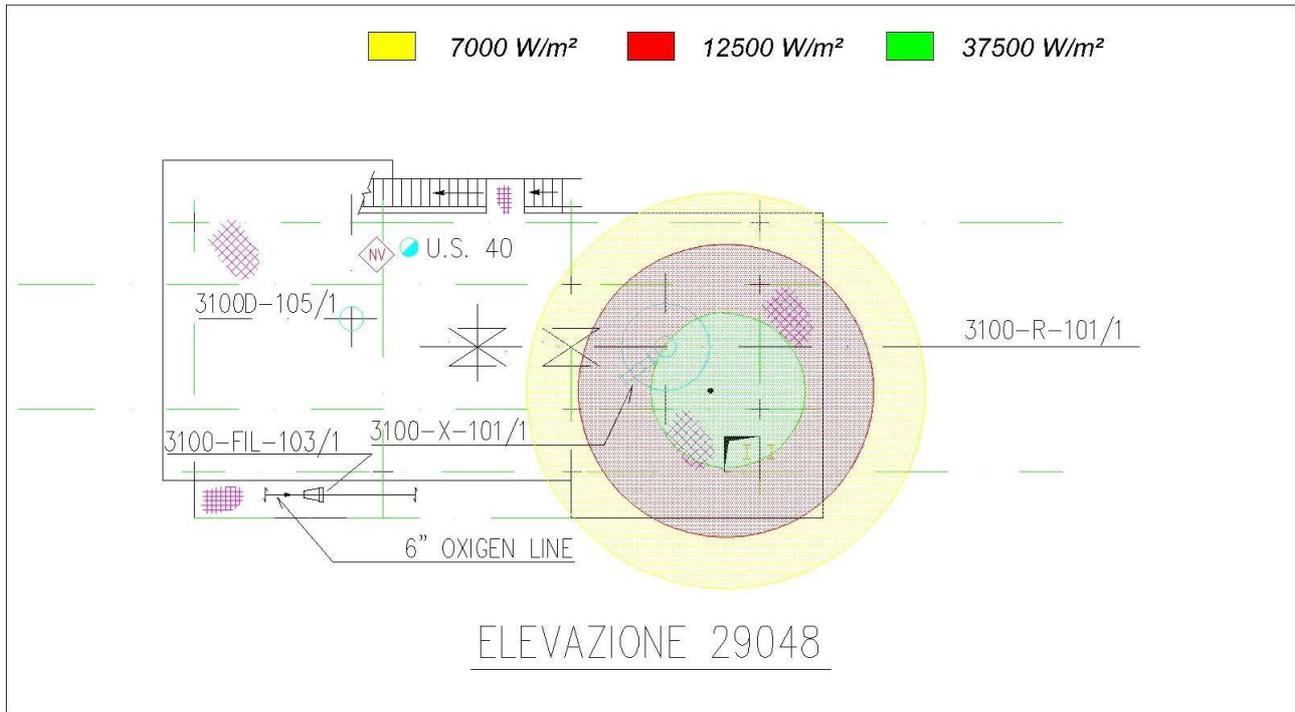


Figura 5. Irraggiamenti raggiunti in caso di *Jet Fire* di syngas

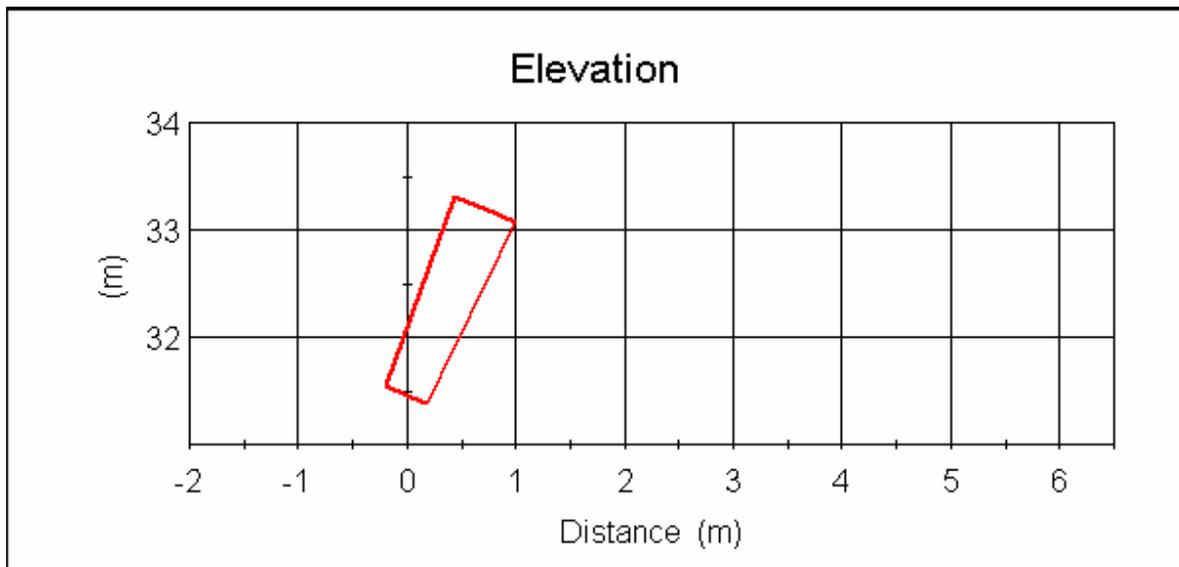


Figura 6. Forma e dimensioni del *frustrum* del *Jet Fire* di syngas

Dalle soglie di irraggiamento valutate con i modelli a nostra disposizione è possibile concludere che, in caso di *Jet Fire*, seppure di breve durata, si sarebbe dovuto constatare un danneggiamento alle apparecchiature circostanti la VDR entro un raggio di circa 5 metri, danneggiamento che invece non è stato rilevato. L'ipotesi più credibile, a valle delle ispezioni condotte e tenendo conto della testimonianza degli operatori, che affermano di aver visto due bagliori sullo schermo che, da sala controllo, stava controllando la zona del

bruciatore, è che siano avvenuti due *Flash Fire*. L'ipotesi è anche suffragata da altre testimonianze, che hanno affermato di aver sentito, oltre al primo boato concomitante al danneggiamento della VDR, altri due forti rumori, dovuti in tutta probabilità alla compressione dell'aria conseguente proprio ai due *Flash Fire*. Il *Flash Fire*, per sua natura, non causa danni alle strutture data la durata di pochi istanti, per cui questa appare l'ipotesi più probabile. Una volta terminato il rilascio, dopo alcuni secondi, la nube di syngas si è dispersa trasportata dal vento.

Lo studio condotto ha evidenziato che:

- In seguito alla fuoriuscita di ossigeno sono state raggiunte concentrazioni potenzialmente in grado di causare l'accensione di materiale combustibile. Le ispezioni conseguenti all'evento non hanno però evidenziato tracce di combustione, per cui l'ipotesi più probabile è che la nube di ossigeno formatasi si sia dispersa senza incontrare materiale combustibile.
- In seguito alla fuoriuscita di syngas sono state raggiunte concentrazioni in grado di dar luogo ad un *Jet Fire* o ad un *Flash Fire*. Dalle soglie di irraggiamento valutate con i modelli a nostra disposizione è possibile concludere che, in caso di *Jet Fire*, seppure di breve durata, si sarebbe dovuto constatare un danneggiamento alle apparecchiature circostanti la VDR, danneggiamento che invece non è stato rilevato. L'ipotesi più credibile, a valle delle ispezioni condotte e tenendo conto della testimonianza degli operatori è che siano avvenuti due *Flash Fire*. Una volta terminato il rilascio, dopo alcuni secondi, la nube di syngas si è dispersa trasportata dal vento.

Le cause che hanno portato alla deformazione e al danneggiamento della valvola di non ritorno sono stati oggetto di studi approfonditi, sia da parte IES che da parte Air Liquide in qualità di esperto nella movimentazione e nelle caratteristiche chimico-fisiche dell'ossigeno. L'ipotesi più credibile porta a supporre che la valvola non abbia subito il danneggiamento osservato come conseguenza di un unico evento, bensì come somma di più microesplosioni occorse nei mesi, che hanno portato ad uno stato progressivo di deformazione della valvola finché non si è raggiunta una condizione non più compatibile con la pressione all'interno delle linee. Le microesplosioni potrebbero essere state causate da *backflow* di syngas all'interno del corpo della valvola di non ritorno e dal successivo contatto con ossigeno (meno probabile), o di idrocarburi, che sovente vengono trovati durante le operazioni di manutenzione del tronchetto in Inconel 625, con conseguenti microesplosioni che hanno, col tempo, deformato la valvola di non ritorno. Nel caso verificatosi, il fatto che il tronchetto fosse in Inconel 625 anziché in Inconel 600 non ha in alcun modo contribuito ad evitare l'evento.

È auspicabile comunque prevedere che tutta la linea, dal gassificatore a ritroso fino alla SDV del vapore esclusa, presenti la metallurgia in Inconel 625. Inoltre si sta valutando se aumentare il rating della valvola di non ritorno dall'attuale serie 900.

L'evento occorso suggerisce di caratterizzare sperimentalmente il syngas, quantomeno in termini di temperatura di autoaccensione e di infiammabilità, in modo da definirne la reale pericolosità nelle varie condizioni di processo.

4.0 CONCLUSIONI

Nella memoria sono stati presentati due studi svolti, dalla funzione Sicurezza, Ambiente e Qualità di ISAB Energy Services, applicando l'analisi di rischio al fine di valutare le ipotesi di cause incidentali in maniera più rapida e sistematica, e di permettere altresì di dare anche una certa obiettività e metodicità di giudizio. La metodologia di studio proposta, infatti, consente di applicare modelli teorici e di simulazione che sono stati validati da gruppi scientifici e tecnici riconosciuti a livello internazionale e di avvalersi di strumenti di calcolo anch'essi di comprovata valenza, considerati universalmente come "best practice".

Per gli eventi oggetto degli studi sono state formulate diverse ipotesi, basate sulle differenti possibili evoluzioni degli scenari incidentali in base ai termini di sorgente. Attraverso i software sono stati simulati tutti gli scenari plausibili; la verifica della reale condizione delle strutture circostanti l'evento ha permesso di escludere quelli che, da simulazione, avrebbero causato danni sensibilmente superiori o inferiori rispetto a quelli rilevati. Basandosi sull'escalation che si è effettivamente verificata è stato possibile in seguito escludere gli eventi che, seppure plausibili in termini di impatto sulle strutture, mal si sposavano con le testimonianze di chi era presente. In tal modo, andando per esclusione, si è giunti ad un unico evento incidentale plausibile.

Al termine dello studio si procede sempre a due analisi fondamentali per poter chiudere la trattazione del quasi incidente o dell'incidente: la verifica degli eventuali impatti sul personale che si fosse trovato nelle

vicinanze, sia in termini di irraggiamento termico che di soglie di sovrappressione che di esposizione a sostanze tossiche, e la scelta di opportune soluzioni impiantistiche e/o procedurali per impedire che l'evento indesiderato possa ripetersi. Nei due casi analizzati è stato possibile, dopo aver analizzato le cause e valutato quale fosse la più probabile e dopo aver verificato la credibilità degli scenari incidentali possibili, avanzare delle proposte di miglioramento che, in quanto suffragate da analisi puntuali, sono state accolte ed implementate. Nello specifico, sono state prese le seguenti decisioni:

- Caso 1: Danneggiamento toro di distribuzione syngas, bruciatore n° 5 e linee da 4" adduzione syngas, alla camera di combustione destra del 4000-TG1
 - Poiché la causa scatenante è stata individuata nella formazione di una cricca in una saldatura, è stato procedurizzato un controllo radiografico delle saldature con percentuale pari ad almeno il 100%, con conservazione delle lastre radiografiche per tutto il ciclo di vita del toro e delle linee di adduzione syngas.
 - È in fase di valutazione la proposta di installare delle termocamere al di sopra delle camere di combustione, in modo da rilevare eventuali surriscaldamenti delle linee (surriscaldamenti che possono portare alla riduzione della resistenza meccanica del materiale) ed intervenire prima che le caratteristiche meccaniche della tubazione si riducano tanto da causare l'esplosione fisica della linea.
 - In seguito all'evento incidentale, sono state studiate delle migliorie al sistema Fire&Gas presente all'interno del cabinato
 - Relativamente all'analisi prevista dal D.Lgs. 334/99 "Seveso II" e successive modifiche, si è potuto constatare che l'evento incidentale, anche nelle condizioni peggiori potenzialmente prevedibili, non avrebbe potuto avere alcuna ripercussione su altre parti dell'impianto 4000, e non è previsto quindi alcun effetto domino. A maggior ragione, non è previsto alcun impatto conseguente a tale evento sull'area esterna allo stabilimento. Per queste ragioni non è necessario includere nel Rapporto di Sicurezza l'evento studiato. Occorre aggiornare il Documento di Valutazione dei Rischi.
- Caso 2: Perdita dalla VDR della linea di vapore di purging della linea ossigeno (3100-R-101) con rilascio di ossigeno all'atmosfera. Blocco del gassificatore e successivo rilascio di syngas in atmosfera
 - Prevedere che tutta la linea, dal gassificatore a ritroso fino alla SDV del vapore esclusa, presenti la metallurgia in Inconel 625 in sostituzione dei tratti attualmente in Inconel 600.
 - Valutare se aumentare il rating della valvola di non ritorno dall'attuale serie 900.
 - Prevedere controlli accurati per verificare se, in seguito ad uno *Shut Down*, si sia verificato un backflow di idrocarburi e procedere a scrupolosa pulizia prima dello *Start Up*.
 - Caratterizzare sperimentalmente il syngas, quantomeno in termini di temperatura di autoaccensione e di infiammabilità, in modo da definirne la reale pericolosità nelle varie condizioni di processo.