

**ALLEGATO 1.C.3**  
**SCHEDE DESCRITTIVE DEI MODELLI UTILIZZATI**

## **PBREAK**

### **Descrizione riassuntiva**

PBREAK effettua una previsione della fuoriuscita di gas a seguito di un foro o di una rottura in una tubazione ad alta pressione.

### **Descrizione tecnica**

PBREAK simula il flusso in una tubazione immediatamente dopo il cedimento improvviso della tubazione stessa. Quando si verifica la rottura, il gas viene rilasciato nell'atmosfera circostante, la pressione nella tubazione nelle immediate vicinanze della rottura cala, provocando così un'onda di espansione, che si propaga lungo la tubazione allontanandosi dal punto della rottura alla velocità del suono. Il gas viene rappresentato come un gas reale e la propagazione dell'onda di espansione viene rappresentata adiabaticamente tenendo in considerazione l'effetto dell'attrito nelle equazioni sia dell'energia che della quantità di moto. Le equazioni differenziali parziali per i punti lungo la tubazione vengono risolte utilizzando un modello alle differenze finite. PBREAK rappresenta una singola tubazione rettilinea, che nella realtà fa solitamente parte di una rete più ampia. La rappresentazione di parti più estese della rete farebbe aumentare la complessità del modello e i tempi di elaborazione. Per semplificare la situazione, il collegamento al resto della rete può essere definito da una di quattro possibili condizioni al contorno: assenza di flusso, pressione costante, flusso costante o volume costante. Oltre a prevedere il flusso di massa per il gas in uscita dalla tubazione nel punto della rottura, PBREAK prevede anche i flussi e le pressioni del gas nei nodi lungo il percorso della tubazione.

## **CORCE**

### **Descrizione riassuntiva**

CORCE effettua una previsione dei flussi di massa dovuti a una fuoriuscita da un serbatoio ad alta pressione. Si possono calcolare fuoriuscite di prodotto in un'unica fase o in due fasi in condizioni stazionarie o transitorie. Questo modello comprende inoltre gli effetti di una fuoriuscita accidentale da un sistema di scarico della pressione. I tipi di carburante per i quali è stato elaborato il modello sono gas naturale, condensati stabilizzati e non stabilizzati, GNL, GPL, butano e propano.

CORCE è un metodo semplice, rapido ed affidabile per calcolare le condizioni alla fonte per i modelli matematici utilizzati per prevedere le conseguenze e i pericoli derivanti dalla perdita da un serbatoio o da un contenitore ad alta pressione.

### **Descrizione tecnica**

CORCE si basa su equazioni che descrivono la conservazione della massa e dell'energia all'interno del serbatoio ad alta pressione. Si ipotizza che all'interno del serbatoio ciascuna fase sia omogenea e che le pareti siano perfettamente isolate e che non vi sia quindi trasferimento di calore verso l'interno del serbatoio. Per carburanti a componenti multipli la fase del serbatoio viene calcolata in base a correlazioni derivate da GASVLE, un metodo accurato per la previsione delle proprietà fisiche per sistemi a componenti singoli o multipli. Quando lo stato in cui si trovano i sistemi a componenti multipli è caratterizzato da due fasi, la composizione chimica delle due fasi viene calcolata utilizzando una semplice teoria di equilibrio della fase fluida.

Viene calcolato il flusso di massa per lo sfiato dei gas, dei liquidi o di due fasi ipotizzando che il flusso sia isoentropico e ideale, utilizzando rispettivamente l'equazione di Bernoulli o il modello dell'equilibrio omogeneo (HEM).

CORCE è stato validato mediante confronto con misurazioni sperimentali riportate in letteratura e si è riscontrato che rientra solitamente entro il 30% dei valori misurati.

## **BOILH**

### **Descrizione riassuntiva**

BOILH è un programma per il calcolo della velocità di dispersione e vaporizzazione di una pozza in ebollizione di liquido criogenico quale il GNL. Può anche essere utilizzato per sostanze quali propano o butano, anche se per queste sostanze le ipotesi effettuate dal modello sono meno valide che per il GNL. E' applicabile a fuoriuscite istantanee o continue a terra e ha a disposizione alcune opzioni per poter prendere in considerazione diverse configurazioni di serbatoi o di sistemi di contenimento.

### **Descrizione tecnica**

BOILH è un modello 'box-type' per risolvere le equazioni per la diffusione e la vaporizzazione di una pozza liquida. La velocità di diffusione viene determinata mediante una semplice relazione di diffusione frontale che dipende dalla forza gravitazionale prodotta dal liquido, tenendo conto di un elemento di resistenza costituito da un'altezza minima della pozza. La velocità di vaporizzazione viene determinata grazie alla soluzione di equazioni per l'afflusso di calore verso l'interno della pozza. Le ipotesi del modello sono meno valide per liquidi che si avvicinano al punto di ebollizione a pressione atmosferica. Si ritiene invece che il modello funzioni al meglio per liquidi criogenici in ebollizione quali il GNL. La pozza assorbe calore dal substrato sottostante, per convezione dall'atmosfera e per irraggiamento. Il flusso di calore dal di sotto della pozza dipende dal tipo di substrato e dalle sue proprietà.

Il calore trasferito alla pozza per convezione dipende dalle condizioni atmosferiche in prossimità della superficie della pozza. La velocità media di vaporizzazione viene calcolata in base alle proprietà dei materiali, alle condizioni atmosferiche in prossimità della superficie della pozza e alla dimensione della pozza. Vengono presi in considerazione diversi tipi di configurazione di serbatoi e di sistemi di contenimento, che permettono di tenere conto dell'aumento della superficie disponibile per il trasferimento di calore quando la pozza entra

in contatto con un elemento di contenimento, anche se il superamento del contenimento non è compreso nel modello.

I risultati del modello sono stati confrontati con quelli ottenuti da una serie di esperimenti effettuati da Advantica sulla diffusione del GNL su diversi tipi di superfici. BOILH è stato inoltre confrontato con altri modelli analoghi nell'ambito di uno studio comparativo di diversi modelli.

## **LSMS**

### **Descrizione riassuntiva**

LSMS è un programma per il calcolo della velocità di diffusione e vaporizzazione di una pozza di liquido in evaporazione. Può essere applicato a sostanze criogeniche e volatili e anche a liquidi intermedi quali il propano. LSMS dispone di un'opzione sia per miscele, quali il GNL, che per liquidi puri. Può essere applicato a fuoriuscite istantanee, variabili nel tempo e continue su terreno permeabile o impermeabile e in acqua. Inoltre si può applicare anche a fuoriuscite in cui è importante la dinamica del flusso, quali l'interazione con pareti di contenimento. Per questo tipo di fuoriuscite LSMS può prevedere la quantità di liquido che oltrepassa il contenimento e la successiva velocità di diffusione e vaporizzazione del liquido in questione. LSMS costruisce un modello degli effetti delle bolle nella pozza, compreso il rigonfiamento del livello.

### **Descrizione tecnica**

LSMS è un modello monodimensionale per 'acque poco profonde', che risolve equazioni per la profondità, la velocità, la temperatura e la composizione di una pozza liquida in funzione del tempo e della posizione. Viene calcolata una media delle variabili in funzione della profondità della pozza e viene utilizzata l'approssimazione per acque poco profonde. Si ipotizza cioè che la pressione nella pozza sia idrostatica, in modo che essa dipenda solo dalla profondità del fluido. LSMS è limitato a fuoriuscite assialsimmetriche o piane. La velocità di vaporizzazione viene determinata in base al flusso di calore dal terreno verso la pozza, alle pareti di contenimento (se presenti) e all'irraggiamento solare. Sono compresi inoltre gli effetti del vento che allontana il vapore dalla superficie della pozza. Il modello comprende una serie di diversi tipi di substrati. Nel caso di una miscela liquida, il componente più volatile, quale il metano nel GNL, evapora in modo preferenziale e il modello calcola la sua concentrazione nel restante liquido. Ciò può provocare un cambiamento graduale delle proprietà termodinamiche della pozza. Si possono specificare diversi tipi di configurazioni di

sistemi di contenimento e prevedere le quantità di liquido che oltrepassano il contenimento, oltre alla successiva velocità di diffusione e vaporizzazione.

I risultati ottenuti con il modello sono stati confrontati con quelli di una serie di esperimenti effettuati da Advantica, che hanno analizzato la diffusione del GNL su diverse superfici (terreno, calcestruzzo e acqua) e il comportamento di fuoriuscite di butano. Sono stati inoltre paragonati ai risultati ottenuti con una serie di fuoriuscite di piccola entità di metano liquido su superfici diverse, finanziati dall'American Gas Research Institute, con una serie di esperimenti di fuoriuscite continue di GNL su calcestruzzo, effettuati da Gaz de France e anche con esperimenti di laboratorio in scala che hanno analizzato il superamento di un contenimento in un flusso d'acqua, realizzati dalla Direzione per la Salute e la Sicurezza del Regno Unito. Nel caso di fuoriuscite liquide semplici (istantanee o costanti e continue) su terreno piatto, uniforme e impermeabile, LSMS è stato paragonato a BOILH e i risultati sono analoghi.

## **HAGAR**

### **Descrizione riassuntiva**

HAGAR è un programma per calcolare la dispersione di gas densi, quali vapore freddo di GNL, derivanti da fuoriuscite continue, istantanee o variabili nel tempo. HAGAR può essere utilizzato anche per la dispersione di getti densi in due fasi dopo che la linea centrale del getto raggiunge il terreno. In questo caso JINX2P genera automaticamente un file di input di HAGAR.

### **Descrizione tecnica**

HAGAR è un modello integrale per la dispersione di gas densi che risolve un'insieme di equazioni di conservazione di massa, quantità di moto, energia e specie. Tiene conto della

classe di stabilità atmosferica, del profilo della velocità del vento e dell'umidità relativa. Comprende anche gli effetti del trasferimento di calore dal terreno. Una caratteristica della versione attuale di HAGAR è la sua capacità di prevedere gli effetti di una serie di ostacoli isolati (quali serbatoi di GNL o muri di contenimento) e di superfici inclinate sul processo di dispersione. Si possono includere ostacoli di piccole dimensioni come aumentata asperità del terreno. HAGAR è stato sottoposto ad intensa attività di validazione rispetto a dati ottenuti sul campo, quali quelli di Maplin Sands e Thorney Island, e a fuoriuscite nella galleria del vento.

## **JINX/JINX2P/JINXTR**

### **Descrizione riassuntiva**

La serie di modelli JINX prevede la dispersione di un getto gassoso o dispersione forzata in un flusso atmosferico trasversale. E' stato sviluppato e validato mediante il confronto con i risultati di vasti esperimenti sul campo e nel galleria del vento effettuati da Advantica. JINX è un strumento semplice, preciso e ben collaudato per valutare la sicurezza di sistemi di scarico della pressione e di sfiato. Può essere utilizzato per prevedere il comportamento di determinate fuoriuscite di gas accidentali a getto. JINXTR comprende gli effetti dell'interazione con il terreno per le fuoriuscite orizzontali vicine al livello del suolo e stampa inoltre ulteriori informazioni che permettono di effettuare valutazioni per rilasci in condizioni transitorie. JINX2P comprende modifiche per un flusso in due fasi.

### **Descrizione tecnica**

JINX è un modello matematico di tipo integrale per la previsione della dispersione di getti dovuti alla variazione di momenti o dispersioni forzate di gas nell'atmosfera. Il programma prevede la traiettoria prevalente e la diluizione di un getto gassoso per una vasta gamma di proprietà e condizioni dei gas (per esempio peso molecolare, pressione e temperatura) e condizioni atmosferiche. Il programma utilizza il flusso di massa della fuoriuscita e il diametro del foro per determinare se la fuoriuscita avviene a velocità del suono o subsonica. In entrambi i casi tiene conto degli effetti di comprimibilità nel calcolare il momento iniziale del flusso. Le equazioni relative alla conservazione di massa, quantità di moto, specie ed entalpia vengono quindi risolte per i flussi totali nel getto.

## **FYRBL**

### **Descrizione riassuntiva**

FYRBL permette di calcolare i livelli di irraggiamento termico incidente adiacente a fireball create da fuoriuscite istantanee da serbatoi pressurizzati cilindrici o sferici. La fireball viene rappresentata come una sfera le cui proprietà fisiche e termodinamiche variano per tutto il ciclo vitale della fireball stessa.

### **Descrizione tecnica**

Vengono calcolati i valori relativi a durata, diametro massimo, altezza e potere emissivo superficiale sulla base di dati sperimentali. Si considera che la durata sia spinta dal momento per piccole fuoriuscite e dal galleggiamento in atmosfera per fuoriuscite più grandi. Il diametro massimo e l'altezza si basano sui dati disponibili in letteratura. Il dato sulla potenza massima emissiva alla superficie può basarsi sulla pressione della fuoriuscita o può essere inserito dall'utente. La durata della fireball viene suddivisa in una serie di intervalli temporali: tempo necessario fino al suo innalzamento, al raggiungimento del raggio massimo e dell'altezza massima e tempo necessario perché la fireball inizi a disperdersi. Per ciascuno di questi intervalli temporali è stata sviluppata una correlazione che descriva la variazione della dimensione, dell'altezza e del potere emissivo superficiale della fireball.

L'orientamento, l'inclinazione e la distanza del ricevitore relativamente alla fireball possono essere variati. E' inoltre disponibile un'opzione per calcolare il livello massimo di irraggiamento presso un ricevitore. I livelli di irraggiamento termico incidente possono essere calcolati a intervalli diversi per tutta la durata del ciclo vitale della fireball; viene calcolato il flusso di calore complessivo presso il ricevitore.

Il modello è stato validato confrontandolo con i dati ottenuti da una serie di esperimenti effettuati con masse di carburanti variabili da pochi chilogrammi a decine di tonnellate.

## **THRRAIN**

### **Descrizione riassuntiva**

THRRAIN prevede il comportamento di getti turbolenti in un flusso d'aria trasversale o in aria ferma. Si può applicare a fuoriuscite sia in fase di combustione che non innescate. Se la fuoriuscita non sta bruciando il modello può essere applicato a qualsiasi materiale gassoso non reagente, mentre per le fuoriuscite innescate il modello è limitato a gas naturale, etilene o propano. THRRAIN può essere applicato a tutti i getti liberi e anche a fuoriuscite orizzontali o quasi orizzontali nelle quali il getto interagisce con il terreno. Può essere utilizzato anche per l'interazione di un getto di fuoco con un ostacolo cilindrico, nel qual caso calcola il carico termico a cui è soggetto quell'ostacolo.

### **Descrizione tecnica**

Il modello risolve una serie di equazioni differenziali ordinarie simultanee per flussi totali di massa totali, quantità di moto in direzione orizzontale, verticale e trasversale e frazione della miscela. Il modello utilizza una formulazione monodimensionale del modello di turbolenza k-e. Una fiammella laminare viene utilizzata per fuoriuscite in fase di combustione per specificare la relazione tra la frazione della miscela e densità, temperatura e prodotti di combustione nel flusso. Se la fuoriuscita è in fase di combustione vengono previsti i livelli di particolato risolvendo le equazioni per la frazione di massa del particolato. Il modello procede lungo la traiettoria della fuoriuscita, iniziando dal punto della fuoriuscita e utilizza una tecnica Runge-Kutta di 4° ordine per risolvere le equazioni di cui sopra.

I flussi di irraggiamento all'interno degli incendi vengono calcolati utilizzando un modello di flusso semplice. Il flusso in uscita dalla superficie della fiamma, rappresentato da una serie di tronchi di cono invertiti non interagenti, viene calcolato per una serie di posizioni assiali. Vengono utilizzati fattori di vista per calcolare il flusso ricevuto in qualsiasi posizione esterna alla fiamma. L'assorbimento dell'irraggiamento dall'atmosfera viene calcolato in funzione

della temperatura locale della fiamma, della distanza dal ricevitore e delle condizioni ambientali dell'aria. Si tiene conto dell'interazione con un ostacolo cilindrico mediante un semplice approccio empirico che comporta cambiamenti improvvisi nel momento del flusso trasportato dal getto e una relazione di aumento del trascinamento nella scia dell'ostacolo. I flussi di convezione e irraggiamento verso l'ostacolo sono calcolati per fuoriuscite reagenti.

THRAN è stato validato ampiamente a confronto con un'ampia gamma di fuoriuscite di gas naturale, da eventi subsonici su scala ridotta in laboratorio a eventi alla velocità del suono su scala naturale, comprese le fuoriuscite che reagiscono con un cilindro. Il modello è stato anche confrontato con successo con i dati disponibili per una vasta gamma di rilasci non innescati di materiali diversi dal gas naturale.

## **MORSE**

### **Descrizione riassuntiva**

MORSE prevede la sovrappressione alla fonte derivante da un'esplosione di gas naturale o propano entro una serie di diversi tipi di ambiente. E' dotato di opzioni per la previsione della sovrappressione in campo aperto o dei carichi trasmessi a oggetti distanti dalla fonte dell'esplosione.

MORSE è costituito da una serie di modelli fenomenologici collegati tra loro.

### **Descrizione tecnica**

L'ambiente in cui si trova la fonte dell'esplosione può essere definito come area congestionata a pressione costante, area congestionata compatta, area congestionata su più livelli (pipe-rack) o come area confinata. La diminuzione della sovrappressione in campo aperto viene rappresentata nel modello utilizzando una correlazione TNT o un modello di avvezione dell'onda.

Il carico trasmesso a un oggetto viene previsto o con un semplice modello del carico d'urto o con un modello dei carichi più generico. Nell'ambito di MORSE le opzioni per default forniscono all'utente i collegamenti più appropriati tra i modelli.

### **Modelli della fonte di esplosione**

- Fonte costante – In questo caso la sovrappressione alla fonte viene specificata a seconda del carburante. Sono disponibili valori estremi superiori di default basati su dati sperimentali.
- Area della fonte congestionata compatta – Questo modello prevede la sovrappressione entro un'area di forma all'incirca cubica, congestionata in modo uniforme. Combina una

correlazione tra la velocità della fiamma basata su dati sperimentali e un metodo teorico per prevedere la generazione della pressione per la velocità della fiamma. Permette all'utente di includere gli effetti dovuti alla concentrazione del carburante, alla turbolenza iniziale entro la zona di origine o al confinamento perimetrale. Questo modello può essere utilizzato per nubi di gas naturale, propano, butano o etilene.

- Area congestionata su più livelli – Questo modello prevede la sovrappressione entro un'area congestionata lunga e stretta disposta prevalentemente in una direzione (come per esempio un pipe-rack). E' simile al modello per la fonte compatta, con alcune modifiche che tengono conto della geometria specifica. Permette all'utente di includere gli effetti dovuti alla concentrazione del carburante, alla turbolenza iniziale o al confinamento perimetrale.
- Volume confinato – Questo modello prevede la sovrappressione generata entro un'area circoscritta, quale l'alloggiamento del compressore. Calcola inoltre la potenza di un'eventuale esplosione esterna e utilizza l'esplosione esterna quale fonte per i calcoli della successiva diminuzione della sovrappressione.

### **Modello delle interazioni**

Quando sono state definite una serie di aree, il modello delle interazioni utilizza la geometria dell'area della fonte di esplosione e la portata della nube di carburante – aria per indicare se l'area di gas combusti prodotta dall'esplosione si espanderà a un'altra delle zone definite.

### **Modelli di dispersione in campo aperto**

- Correlazione con il TNT – Si tratta di una correlazione per la diminuzione della pressione basata su dati sperimentali.

- Modello di avvezione dell'onda – Questo approccio più complesso utilizza metodi fisici per prevedere la propagazione dell'onda d'urto attraverso l'aria. E' adatto solo se il modello della fonte di esplosione prevede un profilo dettagliato del tempo di sovrappressione.

### **Modelli dei carichi**

- Modello dei carichi da impatto immediato – Modello molto semplice dei carichi basato su correlazioni.
- Modello dei carichi generico – Modello più complesso su basi teoriche, che tiene conto dei carichi differenziali, di trascinamento e inerziali prodotti dalla propagazione dell'onda di pressione che incontra un ostacolo.

## **BLEVE**

### **Descrizione riassuntiva**

BLEVE è un programma per la previsione delle sovrappressioni nelle fasi vapore e liquido derivanti dal cedimento catastrofico di un serbatoio di stoccaggio pressurizzato.

### **Descrizione tecnica**

In un BLEVE sono presenti due fonti di esplosione, che derivano dall'espansione della fase gassosa al di sopra del liquido e della fase liquida che produce una fiammata al momento della rottura del serbatoio. Ciascuna di queste fonti viene trattata separatamente dal programma, anche se le metodologie sono basate sul "Yellow Book" TNO per entrambi i casi.

Per quanto riguarda l'esplosione del vapore, l'energia totale disponibile nella fase gassosa viene calcolata in base alla temperatura e alla pressione, tenendo conto delle perdite dovute alle deformazioni del serbatoio e alla formazione di proiettili. L'energia risultante viene quindi utilizzata per calcolare la diminuzione della sovrappressione d'urto con l'aumento della distanza. Per l'esplosione del liquido evaporante si utilizza un modello empirico che mette in relazione la diminuzione della sovrappressione con il surriscaldamento iniziale del liquido quando emerge dal serbatoio.